

Aus der Forschungsabteilung für funktionelle Bildgebung
Zentrum für Diagnostische Radiologie und Neuroradiologie
(Leiter: Herr Prof. Dr. med. Martin Lotze)



Die neuronalen Korrelate des Kreativen Schreibens - eine fMRT Studie

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Medizin
(Dr. med.)
der
Universitätsmedizin
der
Ernst-Moritz-Arndt-Universität
Greifswald
2012

vorgelegt von:
Carolin Shah
geboren am 19.09.1985
in Starnberg

Dekan: Herr Prof. Dr. rer. nat. Heyo K. Kroemer

1. Gutachter: Herr Prof. Dr. Martin Lotze

2. Gutachter: Herr Prof. Dr. Josef Unterrainer

Ort, Raum: Universitätsklinikum Greifswald, Demoraum Radiologie (F0.23)

Tag der Disputation: 11.09.2012

Inhaltsverzeichnis

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	1
1. EINLEITUNG	3
2. MATERIAL UND METHODEN	8
2.1. TEILNEHMER	8
2.2. VERSUCHSAUFBAU	8
2.2.1. HINWEISE ZUM ABLAUF DES VERSUCHS	8
2.2.2. STRUKTUR DES PARADIGMAS	9
2.3. DATENERHEBUNG	11
2.3.1. BEURTEILUNG DES VERHALTENS WÄHREND DER MESSUNGEN	11
2.3.2. BEURTEILUNG VON KREATIVITÄT	11
2.3.3. fMRT-DATENAKQUISITION	12
2.4. DATENAUSWERTUNG	12
2.4.1. fMRT-DATENANALYSE	12
3. ERGEBNISSE	15
3.1. BEURTEILUNG DES VERHALTENS WÄHREND DER MESSUNGEN	15
3.2. BEURTEILUNG VON KREATIVITÄT	15
3.3. fMRT-DATEN	16
3.3.1. KONTROLLBEDINGUNGEN	16
3.3.2. HAUPTBEDINGUNGEN	17
3.3.3. SUBTRAKTIONSANALYSE ZWISCHEN DEN AUFGABEN „KREATIVES SCHREIBEN“ UND „ABSCHREIBEN“	21
3.3.4. KORRELATIONSANALYSEN ZWISCHEN fMRT-DATEN UND KREATIVITÄTSMESSUNGEN	22
4. DISKUSSION	23
4.1. fMRT-ERGEBNISSE	23
4.1.1. BRAINSTORMING	23
4.1.2. KREATIVES SCHREIBEN	27
4.1.3. KORRELATIONSANALYSEN DER SUBTRAKTIONSANALYSE „KREATIVES SCHREIBEN - ABSCHREIBEN“ MIT KREATIVITÄTSSKALEN UND CAT-ERGEBNISSEN	30
4.2. DISKUSSION UNSERES PARADIGMAS	32
4.3. PARALLELEN VON EEG-ERGEBNISSEN UND fMRT-ERGEBNISSEN BEZÜGLICH DER ROLLE DES PRÄFRONTALEN KORTEX IN KREATIVEN PROZESSEN	34
4.4. KRITIK AN DER VORLIEGENDEN STUDIE	35
5. SCHLUSSFOLGERUNG	37

ANHANG	38
1. TEXTMATERIAL A UND B	38
2. DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DES VERBALEN KREATIVITÄTS-TESTS (SCHOPPE, 1975)	40
3. ZUSATZTABELLEN	41
3.1. TABELLE I. FMRT-AKTIVIERUNGEN WÄHREND DER AUFGABE „LESEN“	41
3.2. TABELLE II. FMRT-AKTIVIERUNGEN WÄHREND DER AUFGABE „ABSCHREIBEN“	42
ZUSAMMENFASSUNG	43
LITERATURVERZEICHNIS	45
PUBLIKATION	49
DANKSAGUNG	63

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
BA	Brodmann Areal
BOLD	Blood Oxygen Level Dependent
CAT	Consensual Assessment Technique
d.h.	das heißt
dACC	dorsaler anteriorer cingulärer Kortex
dIPFC	dorsolateraler präfrontaler Kortex
dPMC	dorsaler prämotorischer Kortex
EEG	Elektroenzephalographie
EPI	Echo Planar Imaging
fMRT	funktionelle Magnetresonanztomographie
FOV	Field of View
FWHM	Full Width at Half Maximum
IFG	inferiorer frontaler Gyrus
KI	Kreativitätsindex
M1	primärmotorischer Kortex
MNI	Montreal Neurological Institute
MP-RAGE	Magnetization Prepared Rapid Gradient Echo
mPFC	medialer präfrontaler Kortex
MR-Tomograph	Magnetresonanztomograph
PCC	posteriorer cingulärer Kortex
PET	Positronen-Emissions-Tomographie
PFC	präfrontaler Kortex
PMC	prämotorischer Kortex
S1	primärsensibler Kortex
SMA	supplementärmotorischer Kortex
SPM	Statistical Parametric Mapping
STS	superiorer temporaler Sulcus

Tab.	Tabelle
TE	Echozeit
TR	Repetitionszeit
VKT	Verbaler Kreativitätstest

1. EINLEITUNG

Eine der Hauptspielarten künstlerischen Ausdrucks des Menschen ist das Schreiben faszinierender Literatur. Eine neurowissenschaftliche bildgebende Untersuchung dieser Fähigkeit, genauer gesagt der des Kreativen Schreibens, erfolgte bisher jedoch nicht.

Unter der Voraussetzung, dass Kreativität als kognitiver Prozess betrachtet wird, kann angenommen werden, dass jeder Mensch ein latentes Potenzial für die Erschaffung kreativer Kunstwerke besitzt [Ward, 1999]. Derzeit sind sich die meisten Kreativitätsforscher einig, dass Kreativität im Allgemeinen „die Fähigkeit ist, ein Werk zu erschaffen, das sowohl neuartig (das heißt (d.h.) originell, unerwartet) als auch angemessen (d.h. in sinnvollem Bezug zur Aufgabenstellung stehend) ist“ [Sternberg, 1999]. Die Aufgabenstellung für eine kreative Arbeit sollte heuristisch sein (d.h. die Aufgabe sollte *keinen* klaren und schnell identifizierbaren Lösungsweg besitzen) und die qualitative Bewertung von Kreativität sollte durch mehrere, in diesem Bereich erfahrene Juroren erfolgen [Amabile, 1996].

Bezüglich des professionellen Schreibens in literarischem Kontext versteht man unter Kreativem Schreiben den kompetent angeleiteten sowie kritisch reflektierend begleiteten Erwerb von Techniken des literarischen Schreibens [Ortheil, 2005]. Bezüglich des Schreibprozesses selbst entwickelten Flower und Hayes [Flower und Hayes, 1981] ein Modell („cognitive process theory of writing“), das drei Hauptkomponenten enthält:

1. die äußeren Umstände der Aufgabenstellung (Thema, Leserschaft, Dringlichkeit, bisher zum Thema erschienene Literatur),
2. das Langzeitgedächtnis des Autors (themenspezifisches Wissen, Kenntnis verschiedener Schreibstile) und
3. den tatsächlichen Schreibprozess bestehend aus den Phasen „Planung“, „Translation“ und „Korrektur“.

Während der „Planung“ erfolgen die Generierung von Ideen, das Setzen eines konkreten Ziels und die Organisation der Ideen innerhalb eines sinnvollen Gedankengerüsts. Die „Translation“ entspricht dem Zu-Papier-bringen des Textes und erfordert damit die Anwendung sprachlicher und motorischer Fähigkeiten. Die „Korrektur“ dient der Bewertung und Verbesserung des geschriebenen Textes und kann neuerlich zu Planungs- und Translationsprozessen führen. Ebenso wie Planungsprozesse können Korrekturprozesse den Schreibprozess jederzeit unterbrechen.

Die „cognitive process theory of writing“ begreift jede Textkomposition als einen kognitiven Prozess, der durch Entscheidungsfindung, komplexe hierarchische Organisation sowie zielgerichtetes Denken charakterisiert ist. Das Modell basiert auf Tonbandaufnahmen „lauten Denkens“ während der Erstellung von Texten. Dazu wurden die Autoren gebeten, während des Schreibprozesses laut mit sich selbst zu sprechen und all ihre Gedanken, auch solche, die sich als falsch erwiesen oder unvollständig waren, auf diese Weise zu Protokoll zu geben.

Bisher erschienen nur wenige neurowissenschaftliche Arbeiten zur Erforschung des Schreibens kreativer Geschichten. Während die rein motorischen Prozesse des Schreibvorganges bereits teilweise untersucht wurden [Katanoda et al., 2001], sind die neuronalen Korrelate der kognitiven Schreibprozesse - insbesondere die der kreativen Prozesse - bisher nicht analysiert worden.

Derzeitige Kreativitätsstudien können in Untersuchungen des „Aha-Effekts“, des divergenten Denkens und der Durchführung künstlerischer Darbietungen unterteilt werden. Allerdings unterscheiden sich die Aussagen dieser Studien deutlich, so dass *Kreativität* nicht mit *einer* bestimmten Gehirnregion in Verbindung gebracht werden kann [Dietrich und Kanso, 2010]. In vorangegangener Forschung wurden vielmehr frontale, temporale und parietale Gehirnregionen als möglicherweise kreativitätsrelevant beschrieben [Heilmann et al., 2003].

Der präfrontale Kortex (PFC) scheint eine wichtige Rolle für die Problemlösung mittels des „Aha-Effekts“ und während des divergenten Denkens zu spielen [Dietrich, 2004; Dietrich und Kanso, 2010]. Insbesondere der rechte PFC (Brodmann Areal (BA) 9/10) wurde mit divergenten semantischen Prozessen während der Generierung von Reizwortgeschichten in Verbindung gebracht [Howard-Jones et al., 2005]. Andere Studien [Bechtereva et al., 2004] beschrieben hinsichtlich der Untersuchung der Erstellung von Reizwortgeschichten eine Assoziation verbaler Kreativität mit Aktivität in links parieto-temporalen Regionen (BA 39/40). Auch eine klinische Läsionsstudie [Troyer, 1998] berichtete über die Relevanz des Frontal- und Temporallappens bezüglich verbaler Sprachgewandtheit: Die phonematische Sprachkompetenz (d.h. Produktion von möglichst vielen Worten zu beispielsweise den Anfangsbuchstaben „F“, „A“ oder „S“) ist vornehmlich bei Strukturschäden des Frontallappens beeinträchtigt, während die semantische Sprachkompetenz (d.h. Produktion

von möglichst vielen Worten zu inhaltlichen Kategorien, wie zum Beispiel „Tiere“ mit den Subkategorien „Haustiere“, „Großtiere“, „im Wasser lebende Tiere“, „Insekten“) vor allem bei Schäden des Temporallappens reduziert ist.

Hinsichtlich der Erstellung von kreativen (Reizwort-)Geschichten erfolgten bisher eine funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT)-Studie [Howard-Jones et al., 2005] und zwei Positronen-Emissions-Tomographie (PET)-Studien [Bechtereva et al., 2004; Bechtereva et al., 2000]. Es ist anzumerken, dass in diesen Studien Reizwörter als Ausgangspunkt für die Geschichten dienten und die Erstellung der Geschichten auf einen mentalen Prozess begrenzt war. Ein tatsächliches Niederschreiben der Geschichten während der fMRT-Messung erfolgte jedoch nicht.

Im Gegensatz zu den vorangegangenen Studien diente in vorliegender Arbeit ein literarischer Textausschnitt als Grundlage für das Schreiben einer individuellen kreativen Geschichte. Außerdem wurde erstmalig das *handschriftliche Niederschreiben* des Textes *während* der fMRT-Messung ermöglicht. Hierdurch wurde ein neurowissenschaftlicher Untersuchungsaufbau geschaffen, der den aktuellen Forderungen nach *realistischen* kreativen Paradigmen entspricht [Fink et al., 2007]. Das Schreiben einer Fortsetzung eines gegebenen Textausschnitts stellt eine gängige Trainingsmethode des kreativen Schreibens dar und entsprach einer, wie eingangs gefordert, heuristischen Aufgabenstellung. Die geschriebenen Texte dienten anschließend der Kontrolle der Gehirnaktivitäten während der Messung und konnten zugleich als reale Produkte einer *qualitativen* Bewertung von Kreativität unterzogen werden. Diese Bewertung erfolgte anhand der „Consensual Assessment Technique“ (CAT) nach Amabile [Amabile, 1996], welche auf übereinstimmenden Urteilen professioneller Juroren basiert.

Des Weiteren waren in unserer Aufgabenstellung die eingangs genannten Kriterien eines kreativen Produktes gemäß Sternberg [Sternberg, 1999] erfüllbar: Die geschaffenen Texte können Originalität, Neuartigkeit sowie Angemessenheit hinsichtlich Aufgabenstellung und Kontext aufweisen.

Zur Aufstellung der folgenden Hypothesen a bis c bezogen wir uns auf 1. vorangegangene theoretische Überlegungen, 2. neurowissenschaftliche Ergebnisse hinsichtlich verbaler Kreativität und der Erstellung von Reizwortgeschichten und 3. Verhaltensbeobachtungen während des Schreibprozesses.

- a. Kreatives Schreiben kann während einer fMRT-Messung ausgeführt werden. Ein kategorisches Design vorausgesetzt ermöglicht eine derartige Studie die Identifikation kognitiver und kreativer Hirnprozesse. Die geschriebenen Texte dienen der Kontrolle derjenigen Prozesse, die tatsächlich während der fMRT-Messung erfolgten und ermöglichen zugleich die Bewertung der aus diesen Prozessen resultierenden Produkte. Die Struktur unseres Paradigmas, die auf dem Modell des kognitiven Schreibprozesses nach Flower und Hayes [Flower und Hayes, 1981] basiert, ermöglicht die Isolierung einzelner zerebraler Netzwerke, die in den Prozess des Kreativen Schreibens involviert sind.
- b. Eine Subtraktionsanalyse zwischen den Hirnaktivierungen der Aufgabe „Kreatives Schreiben“ und der Kontrollbedingung „Abschreiben“ („Kreatives Schreiben minus Abschreiben“) erlaubt die Darstellung der kognitiven Hirnaktivitäten während des Schreibprozesses. Wir erwarteten einerseits Prozesse im Sinne eines Abrufs von Inhalten aus dem Langzeitgedächtnis und andererseits Vorgänge, die das Generieren von Ideen widerspiegeln.
- c. Korrelationsanalysen der funktionellen Bilddaten mit sowohl den Ergebnissen des Verbalen Kreativitäts-Tests (VKT) [Schoppe, 1975] als auch den Beurteilungen der kreativen Texte gemäß der CAT (nach Amabile) können zur Identifikation kreativitätsrelevanter neuronaler Funktionen beitragen. Gemäß den Ergebnissen vorangegangener bildgebender Studien zu verbaler Sprachkompetenz [Troyer et al., 1998] und zur Erstellung kreativer Reizwortgeschichten [Howard-Jones et al., 2005] erwarteten wir kreativitätsrelevante Gehirnaktivierungen in frontalen und temporalen Regionen.

Zusammengefasst bestand das Ziel unserer Studie darin, die kognitiven Netzwerke des kreativen Schreibprozesses mit Hilfe eines neuartigen fMRT-Paradigmas darzustellen. Um die einzelnen Prozesse des Kreativen Schreibens differenziert zu untersuchen, folgten wir bezüglich der Struktur unseres Paradigmas der „cognitive process theory of writing“ [Flower und Hayes, 1981]. Entsprechend den Phasen der „Planung“ und der „Translation“ dieser Theorie untersuchten wir in der vorliegenden Arbeit die Gehirnaktivität während der beiden Aufgabenstellungen „Brainstorming“ und „Kreatives Schreiben“. Zur Erforschung der *kognitiven* Gehirnprozesse erfolgte anschließend eine Subtraktionsanalyse zwischen der Hauptbedingung „Kreatives Schreiben“ und der Kontrollbedingung „Abschreiben“. Um darüberhinaus diejenigen Areale zu isolieren, die die *kreativen* Anteile der kognitiven Prozesse widerspiegeln, führten wir die Berechnung zweier Korrelationsanalysen durch: Die Blood-Oxygen-Level-Dependent (BOLD)-Antworten der Subtraktionsanalyse „Kreatives Schreiben minus Abschreiben“ wurden zum einen mit den Ergebnissen des verbalen Kreativitätstestes (nach Schoppe) und zum anderen mit den Beurteilungen der verfassten Texte (gemäß CAT nach Amabile) korreliert.

2. MATERIAL UND METHODEN

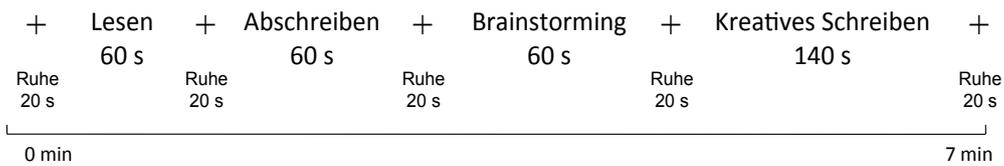
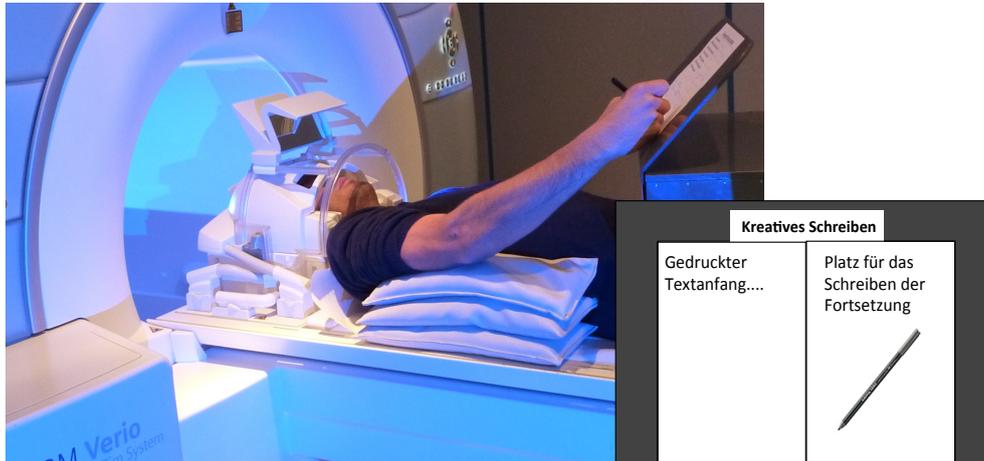
2.1. Teilnehmer

28 Studenten (14 männliche und 14 weibliche Teilnehmer) im Alter von $24,0 \pm 1,9$ Jahre nahmen an der Studie teil. Bei keinem der Teilnehmer bestanden gesundheitliche Einschränkungen. Alle Teilnehmer willigten schriftlich zur Teilnahme an der Studie ein. Keiner der Probanden besaß Erfahrung im professionellen Kreativen Schreiben. Die Probanden gehörten den Studienfächern Medizin, Betriebswirtschaftslehre, Rechtswissenschaften, Anglistik, Politikwissenschaften, Kommunikationswissenschaften, Psychologie sowie Lehramt für Geschichte, Philosophie und Theologie an. Es bestand ein positives Votum durch die Ethikkommission der medizinischen Fakultät der Universität Greifswald.

2.2. Versuchsaufbau

2.2.1. Hinweise zum Ablauf des Versuchs

Vor der Messung im Magnetresonanztomographen (MR-Tomographen) wurden die Probanden anhand eines standardisierten Merkblatts über die Abfolge der einzelnen Aufgaben im MR-Tomographen informiert (siehe Abbildung (Abb.) 1 A). Die Probanden sollten die Aufgaben so lange ausführen und gegebenenfalls wiederholen, bis die Zeit für die jeweilige Aufgabe abgelaufen war. Die zu erstellenden Geschichten sollten so kreativ wie möglich, jedoch bezüglich der Aufgabenstellung stets angemessen sein. Dieser Hinweis entspricht der gängigen Definition für kreative Produkte gemäß Sternberg [Sternberg, 1999]. Den Probanden war es erlaubt, während der Phase des „Kreativen Schreibens“ von der Geschichte, die sie während der Phase des „Brainstormings“ generiert hatten, abzuweichen. Des Weiteren wurden die Teilnehmer darauf aufmerksam gemacht, dass Kopfbewegungen und Bewegungen des schreibenden Arms die Qualität der akquirierten Daten stark beeinträchtigen würden und deshalb nach Möglichkeit zu vermeiden waren. Während der Ruhephasen zwischen den einzelnen Aufgaben waren die Probanden dazu angehalten, visuell ein Kreuz zu fixieren. Mündliche Äußerungen waren bis auf solche in Notfallsituationen nicht erlaubt.

A Aufgaben pro Durchgang**B Messaufbau im MR-Tomograph****Abbildung 1:****Aufgabensequenz im MR-Tomographen (A) und Messaufbau im MR-Tomographen (B)**

A: Die Aufgaben wurden in festgelegter Reihenfolge vorgelegt. Um eine konstant hohe Konzentration während der Messungen zu ermöglichen, war die Bearbeitungszeit auf 60 s limitiert. Lediglich die Aufgabe „Kreatives Schreiben“ wurde für 140 Sekunden ausgeführt. Nach jeder Aufgabe erfolgte die visuelle Fixierung eines aufgedruckten Kreuzes für 20 s.

B: Positionierung des Probanden während des Schreibvorganges im MR-Tomographen. Das DIN-A4 Blatt bot bis auf den gedruckten Textanfang Platz für das freie Schreiben. Als Stift diente ein üblicher Filzschreiber. Die visuelle Kontrolle wurde durch ein doppeltes Spiegelsystem ermöglicht.

2.2.2. Struktur des Paradigmas

Die Teilnehmer wurden für die Durchführung der Aufgaben in Rückenlage im MR-Tomographen positioniert. Über der Hüfte der Probanden wurde ein individuell verstellbares Pult installiert, auf dem die Aufgaben zur Bearbeitung lagen. Die Aufgabenstellungen waren auf DIN-A4 Seiten gedruckt, die ausreichend Platz zur Bearbeitung der Aufgaben boten. Die visuelle Kontrolle war durch ein an der Kopfspule angebrachtes doppeltes Spiegelsystem ermöglicht. Sandsäcke, die den Oberarm der Probanden stützten, dienten der Reduktion von Armbewegungen (siehe Abb. 1 B).

Der Studienassistent wechselte die DIN-A4 Seiten mit den Aufgabenstellungen im Rahmen der fest vorgegebenen Abfolge sowie zeitlichen Struktur des Paradigmas.

Das Experiment bestand für jeden Probanden aus zwei Durchgängen, A und B. Jeder Durchgang beinhaltete die gleichen Aufgaben in gleicher Reihenfolge, bezog sich jedoch auf unterschiedliche Texte (Text A und Text B). Die Reihenfolge, in der die Durchgänge A und B dem jeweiligen Probanden präsentiert wurden, war zur Vorbeugung methodischer Fehler randomisiert. Bei den Texten A und B handelte es sich um Ausschnitte aus dem Roman *Der Untergeher* von Thomas Bernhard, die von unserem Koautor der Universität Hildesheim ausgewählt und zur Verfügung gestellt wurden. Text B war im Stil eines Zeitungsartikels verfasst und wich dementsprechend stilistisch deutlich von Text A ab, der im Erzählstil gehalten war. Die Texte A und B sowie zwei Beispiele für kreative Fortsetzungen befinden sich im Anhang.

Jeder Durchgang A und B beinhaltete die folgenden Aufgaben:

1. Stilles „Lesen“ des gesamten Textes (~ 120 Wörter) für 60 Sekunden.
2. „Abschreiben“ des ersten Teils des gegebenen Textes (~ 35 Wörter) mit einem Filzstift für 60 Sekunden.

Diese beiden Aufgaben dienten als Kontrollbedingungen. Die Probanden wurden angewiesen, die Aufgaben während der 60 Sekunden kontinuierlich auszuführen und gegebenenfalls anschließend die Aufgabe erneut zu beginnen. Diese kontinuierliche Durchführung der Aufgaben wurde durch den neben dem Pult stehenden Studienassistenten gewährleistet.

3. „Brainstorming“: Die ersten 30 Wörter des Textes wurden für 60 Sekunden präsentiert. Während dieser Zeit generierte der Proband Ideen für eine individuelle, kreative Fortsetzung des Textes. Es war nicht erlaubt, während dieser Phase bereits Text niederzuschreiben.
4. „Kreatives Schreiben“: Niederschreiben einer individuellen, kreativen Fortsetzung des präsentierten Textteils innerhalb von 140 s. Die Probanden sollten einen neuartigen und originellen, aber bezüglich der Aufgabenstellung stets angemessenen Text schreiben. Den Probanden war es erlaubt, von den Ideen, die sie während des „Brainstormings“ generiert hatten, Abstand zu nehmen und neue Ideen niederzuschreiben.

Zwischen den Aufgaben sollten die Probanden jeweils für 20 Sekunden ein aufgedrucktes Kreuz visuell fixieren. Dies diente der Aufzeichnung von Baseline-Aktivitäten sowie der Trennung der verschiedenen aufgabenspezifischen Gehirnaktivitäten.

2.3. Datenerhebung

2.3.1. Beurteilung des Verhaltens während der Messungen

Zur Beurteilung von Befinden und Verhalten der Probanden während der fMRT-Messung wurden die Probanden gebeten nach den Messungen einen Fragebogen auszufüllen. Anhand visueller Analogskalen von 10 cm Länge beurteilten die Probanden den Messaufbau, die eigene Konzentrationsfähigkeit sowie den Grad der Übereinstimmung zwischen den Geschichten, die sie sich während der Aufgabe des „Brainstormings“ ausgedacht hatten und denen, die sie während der Aufgabe des „Kreativen Schreibens“ niedergeschrieben hatten.

2.3.2. Beurteilung von Kreativität

Um die individuelle Kreativität der Probanden zu erfassen, wandten wir zwei Methoden an: die „Consensual Assessment Technique“ (CAT) nach Amabile [Amabile, 1996] und den „Verbalen Kreativitäts-Test“ (VKT) nach Schoppe [Schoppe, 1975].

Zur Beurteilung gemäß der CAT wurden die verfassten kreativen Texte maschinell getippt und in randomisierter Reihenfolge an fünf unabhängige Juroren geschickt. Die Juroren waren mit dem Gebiet des literarischen Schreibens vertraut (Deutschlehrer). Sie bewerteten die Kreativität eines jeden verfassten Textes auf einer 10 cm langen visuellen Analogskala (von 0 = nicht kreativ, bis 10 = sehr kreativ). Anschließend wurde für jeden Probanden der Mittelwert seiner persönlichen Textbewertungen A und B berechnet. Daraus ergab sich für jeden Probanden ein individueller Kreativitätsscore. Zur Ermittlung des Grades der internen Konsistenz der Beurteilungen der Juroren berechneten wir Cronbach's α mit der Statistiksoftware Statistical Package for the Social Sciences (SPSS 19.0).

Ebenfalls zur Beurteilung der individuellen Kreativität wurden die Probanden nach der fMRT-Messung gebeten den VKT zu bearbeiten. Dieser verbale Kreativitätstest untersucht mittels neun Subtesten verbale Sprachkompetenz und verbale Produktionsfähigkeit. Die Auswertung des VKT erfolgte gemäß den vorgegebenen Instruktionen (für weitere

Informationen siehe Anhang). Der VKT ergab für jeden Probanden einen individuellen Kreativitätsindex (KI).

2.3.3. fMRT-Datenakquisition

Die funktionellen Bilder wurden mit einem 3 Tesla Siemens-Magnetom-Verio Magnetresonanztomographen (Siemens, Erlangen, Deutschland) und einer 32-Kanal Kopfspule aufgezeichnet. Für jeden Durchgang A und B wurden mittels echoplanarer Bildgebung (EPI) 275 zweidimensionale Bilder akquiriert. Die Repetitionszeit (TR) betrug 2000 ms, die Echozeit (TE) 30 ms, der Flip-Winkel $\alpha = 90^\circ$ und das Sichtfeld (FOV) $192 \times 192 \text{ mm}^2$. Jedes Volumen bestand aus 34 Schichten mit einer Voxelgröße von $3 \times 3 \times 3 \text{ mm}^3$ und einer Lücke von 1 mm zwischen den Schichten.

Die selben Schichten wurden mittels zweier Gradientenechosequenzen mit TR = 488 ms, zwei Echozeiten TE (1) = 4,92 ms, TE (2) = 7,38 ms und $\alpha = 60^\circ$ abgetastet. Anhand der gewonnenen 34 Phasen- und 68 Betragsbilder erfolgte die Berechnung einer Magnetfeldkarte, die Magnetfeldinhomogenitäten kartiert. Diese entstehen durch Kopfbewegungen und führen zu geometrischen Verzerrungen in den EPIs.

Für jeden Probanden wurde außerdem ein anatomisches T1-gewichtetes dreidimensionales magnetization prepared rapid gradient echo (MP-RAGE)-Bild akquiriert. Insgesamt wurden 176 anatomische Bilder aufgezeichnet (TR = 1900 ms, TE = 2,52 ms, $\alpha = 90^\circ$, Voxelgröße von $1 \times 1 \times 1 \text{ mm}^3$).

2.4. Datenauswertung

2.4.1. fMRT-Datenanalyse

Die fMRT-Daten wurden mit Hilfe der Statistical Parametric Mapping (SPM) Software (SPM5; Wellcome Department of Cognitive Neuroscience, London, UK) und der Matlab Version 7.4 (MathWorks; Natick, MA) ausgewertet.

Die Vorverarbeitung der Daten umfasste die folgenden Prozesse: „realignment“, „unwarping“, „coregistration“, „segmentation“, „normalization“ und „smoothing“.

Zur Korrektur von Bewegungsartefakten wurde jedes funktionelle Bild mit Hilfe einer Starrkörpertransformation in räumlichen Bezug zum ersten funktionellen Bild der Sequenz gesetzt („realignment“). Anschließend wurden die ebenfalls durch Bewegung entstandenen

Magnetfeldinhomogenitäten und die daraus resultierenden geometrischen Verzerrungen in den EPis korrigiert („unwarping“). Daraufhin erfolgte der Ausgleich der unterschiedlichen räumlichen Lagen von T1-gewichteten anatomischen Bildern und funktionellen Bildern („coregistration“). Zur Berücksichtigung von verschiedenen Gewebearten wurde das T1-Bild in graue und weiße Substanz sowie in cerebrospinale Flüssigkeit zerlegt („segmentation“). Um im Verlauf die Hirnaktivierungen in Raumkoordinaten angeben zu können erfolgte die Transformation der Bilder in den Montreal Neurological Institute (MNI)-Standardraum („normalization“). Die resultierenden Bilder wurden zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses mit einem $9 \times 9 \times 9 \text{ mm}^3$ (full width at half maximum (FWHM)) Gauß' Filterkernel geglättet („smoothing“).

Die absoluten Realignment-Parameter x , y , z , pitch, roll und yaw wurden für jede Aufgabe des Paradigmas über alle Teilnehmer gemittelt. Damit ergab sich für jede Aufgabe ein Mittelwert für die Translations- und die Rotationsbewegungen. Zur Kontrolle der Varianz durch Veränderungen der Kopfposition wurden die während des Realignment-Prozesses geschätzten Bewegungsparameter später als Kovariate eingeführt.

Die sich anschließende statistische Auswertung der Daten beinhaltete die First-Level- und die Second-Level-Analyse. Auf der Ebene der First-Level-Analyse wurden anhand des allgemeinen linearen Modells für jeden Probanden sogenannte „individual statistical maps“ für die Haupt- („Brainstorming“ und „Kreatives Schreiben“) und die Kontrollbedingungen („Lesen“ und „Abschreiben“) berechnet („fixed effects“-Analyse). Zur Entfernung langsamer Signaldrifts wurde ein temporärer High-Pass-Filter von 128s verwendet.

Anschließend wurden auf der Ebene der Second-Level-Analyse die zu den jeweiligen Bedingungen gehörenden Daten der einzelnen Probanden zusammengefasst („random effects“-Analyse). Dies erfolgte um die Varianz zwischen den einzelnen Probanden auszugleichen und um Aussagen über die Gehirnaktivitäten der gesamten Gruppe während der einzelnen Bedingungen treffen zu können. Zur Berechnung der signifikanten Gehirnaktivierungen wurden in dieser Analyse Einstichproben t -Teste angewandt.

Eine Analyse des Zusammenhangs zwischen den BOLD-Antworten der Subtraktionsanalyse „Kreatives Schreiben minus Abschreiben“ und den Ergebnissen des verbalen Kreativitätstests (nach Schoppe) beziehungsweise den CAT-Ergebnissen (nach Amabile) erfolgte mit Hilfe einer einfachen linearen Korrelation.

Die anatomische Zuordnung der signifikanten Hirnaktivierungen wurde mit Hilfe der SPM Anatomy Toolbox Version 1.6 [Eickhoff et al., 2005] durchgeführt. Im Falle einer unzureichenden Zuordnung wurde die zerebrale Lokalisation der Hirnaktivierungen mit den anatomischen Masken der Automatic Anatomic Labeling Software [Tzourio-Mazoyer et al., 2002] vervollständigt. Die Gehirnaktivierungen wurden sowohl auf das MNI-Standardgehirn als auch auf das T1-gewichtete Collins-Einzel-Probanden-Gehirn gelegt.

Wir berichten im Folgenden über signifikante Hirnaktivierungen oberhalb einer Intensitätsschwelle von $p < 0,001$ (unkorrigiert). Die Mindestanzahl der zusammenhängenden Voxel betrug bezüglich der Haupteffekte mehr als 10 Voxel und bezüglich der Subtraktions- und Korrelationsanalysen mehr als 5 Voxel.

3. ERGEBNISSE

3.1. Beurteilung des Verhaltens während der Messungen

Die Probanden beurteilten die Situation des Schreibens im MR-Tomographen als akzeptabel („Angemessenheit des Versuchsaufbaus“: $6,4 \pm 2,3$ Punkte). Die Probanden tendierten dazu, während des „Kreativen Schreibens“ eine andere Geschichte niederzuschreiben als diejenige, die sie sich während des „Brainstormings“ ausgedacht hatten („Parallelität der Geschichten“: $4,6 \pm 2,3$ Punkte (0 = unterschiedlicher Text; 10 = gleicher Text)). Die Konzentrationsfähigkeit wurde sowohl während der Aufgabe des „Brainstormings“ als auch während der Aufgabe des „Kreativen Schreibens“ als relativ hoch beurteilt (Durchschnitt $7,5 \pm 1,8$ Punkte). Die Durchgänge A und B unterschieden sich bezüglich der Konzentrationsfähigkeit nicht (Durchschnittswert $t < 1,23$ (27); $P > 0,23$).

3.2. Beurteilung von Kreativität

Die Inter-Juroren-Reliabilität bezüglich des Kriteriums Kreativität (gemäß CAT) war befriedigend (Cronbach's $\alpha = 0,72$). Der VKT ergab einen durchschnittlichen Kreativitätsindex von $107,14 \pm 8,84$ Punkten (Spannbreite unserer Probanden: 92 - 127 Punkte).

Die Ergebnisse des VKT (nach Schoppe) und die Beurteilungen der CAT (nach Amabile) korrelierten nicht miteinander ($r = 0,27$; n.s.).

3.3. fMRT-Daten

Die durchschnittlichen Translations- beziehungsweise Rotationsbewegungen betragen 0,07 mm und 0,01° für „Lesen“, 0,23 mm und 0,03° für „Brainstorming“ sowie 0,39 mm und 0,05° für „Kreatives Schreiben“. Diese Bewegungsumfänge, die 0,5 Millimeter nicht überschritten, waren sehr gering.

In der Darstellung der fMRT-Ergebnisse wurden beide Durchgänge A und B zusammengefasst, da sie sich bezüglich der Konzentrationsfähigkeit der Probanden nicht unterschieden.

3.3.1. Kontrollbedingungen

Die Kontrollbedingung „**Lesen**“ zeigte ein linksseitig lokalisiertes Netzwerk von Hirnaktivierungen, das die bekannten Systeme für Lesen einschloss [Shaywitz and Shaywitz, 2008]: das Broca Areal (BA 44/45) und sein Homolog sowie parieto-temporale Regionen (bilateraler superiorer temporaler Sulcus (STS), linkes Wernicke Areal (BA 22/40) und die okzipito-temporale Region (BA 19/37). Zusätzliche Hirnaktivität war beidseitig im dorsolateralen präfrontalen Kortex (dlPFC, BA 9/46), im anterioren Cingulum (BA 24/32) und in der anterioren Insel lokalisiert (alle rechtshemisphärisch). Des Weiteren zeigten sich Aktivierungen im bilateralen primären Motorkortex, dem sensomotorischen Kortex (beide in der somatotopischen Repräsentation von Artikulation) sowie dem im linken präfrontalen Gyrus (BA 4) gelegenen Motorsystem der Hand. Außerdem beobachteten wir Hirnaktivierungen in sekundärmotorischen Arealen (supplementärmotorischer Kortex (SMA) und prämotorischer Kortex (PMC) sowie im linken Putamen, im bilateralen Thalamus, in den Kleinhirnhemisphären und im Kleinhirnwurm. Der primäre visuelle Kortex zeigte bilaterale Aktivierungen (siehe Anhang: Zusatztabellen, Tabelle (Tab.) I).

Die Kontrollbedingung „**Abschreiben**“ zeigte vorwiegend Aktivierungen in motorischen Hirnregionen wie dem primär motorischen Kortex (BA 4, M1; Maximum linkshemisphärisch in der somatotopischen Repräsentation von Handbewegungs- und bilateralen Artikulationsarealen gelegen), dem sensomotorischen Kortex (BA 1/2/3, primärsensibler Kortex (S1); Lokalisation der Aktivierung in der zur Motoraktivität korrespondierenden somatotopischen Repräsentation), dem vorderen Anteil des bilateralen superioren Parietallappens (BA 7) sowie in sekundärmotorischen Arealen (BA 6, SMA, PMC).

Die sekundärmotorischen Areale umfassten darüberhinaus das posteriore Ende des mittleren frontalen Gyrus (auf der linken Seite dem sogenannten Exnerschen Areal entsprechend (Roux et al., 2009)), das frontale Augenfeld, den linken Thalamus, das linke Putamen und das Kleinhirn. Weitere Aktivitäten waren in visuellen und sprachassoziierten Arealen lokalisiert: der bilaterale visuelle Kortex, der bilaterale okzipito-temporale Kortex und frontale Regionen wie zum Beispiel der bilaterale dlPFC (BA 9/46), die linke Insel und der rechte inferiore frontale Gyrus (IFG) (BA 44) (siehe Anhang: Zusatztabellen, Tab. II).

3.3.2. Hauptbedingungen

Die Hauptbedingung „**Brainstorming**“ zeigte ein bilaterales, aber überwiegend linksseitig betontes Netzwerk von Hirnaktivierungen (siehe Tab. I und Abb. 2). Die stärkste Aktivität umfasste den linken IFG (Broca Areal BA 44/45 und BA 47), die linke anteriore Insel sowie den linken dlPFC (BA 9/46) und reichte bis zu linken lateralen orbito-frontalen Regionen (BA 11). Der dorsale prämotorische Kortex (dPMC) (BA 6) war beidseitig aktiviert. Weitere Aktivität wurde in der linken SMA (BA 6), dem medialen präfrontalen Kortex (mPFC) (BA 8) und dem dorsalen anterioren Cingulum (dACC) (BA 24/32) beobachtet. Eine weitere großflächige Aktivierung betraf linksseitig - bandförmig ansteigend - den temporalen Pol (BA 38), den superioren temporalen Kortex (BA 22 und STS) und den inferioren parietalen Kortex (BA 39/40 mit Wernicke-Areal). Der rechte posteriore STS zeigte hingegen nur eine eng umschriebene Aktivierung. Zusätzliche Aktivierungen lagen im bilateralen visuellen Kortex (BA 17/18/19) sowie im Kleinhirn (rechts anteriore und links posteriore Kleinhirnhemisphären sowie Kleinhirnwurm).

TABELLE I. fMRT-Aktivierungen während der Aufgabe „Brainstorming“

Region		Brodmann Areal	t-Wert	MNI-Koordinaten		
				x	y	z
Frontal	linker inferiorer frontaler Gyrus (pars triangularis)	44/45	10.53	-42	21	3
	linker inferiorer frontaler Gyrus (pars opercularis)	44/45	7.54	-48	15	9
	linker inferiorer frontaler Gyrus (pars orbitalis)	47	8.83	-45	18	-3
	rechter inferiorer frontaler Gyrus (pars triangularis)	44/45	4.21	51	21	24
	rechter inferiorer frontaler Gyrus (pars opercularis)	44/45	4.12	48	18	27
	rechter inferiorer frontaler Gyrus (pars orbitalis)	47	7.50	45	24	-9
	linke anteriore Insel	13	9.51	-33	24	0
	rechte anteriore Insel	13	7.59	39	24	-6
	linker inferiorer frontaler Gyrus/ mittlerer orbitaler Gyrus	10	4.27	-45	45	0
	rechter inferiorer frontaler Gyrus/ mittlerer orbitaler Gyrus	11	5.86	39	33	-12
	linkes anteriores Cingulum	24/32	4.87	-9	27	30
	linker superiorer frontaler Gyrus/mPFC	8	6.29	-6	21	42
	rechter superiorer frontaler Gyrus/mPFC	8	4.85	3	24	60
	linker superiorer frontaler Gyrus/SMA	6	9.36	-3	9	60
	linker mittlerer frontaler Gyrus/dPMC	6	9.69	-42	0	51
	rechter mittlerer frontaler Gyrus/dPMC	6	4.01	48	15	51
linker mittlerer frontaler Gyrus/dIPFC	9/46	5.56	-51	18	27	
Parietal	linker supramarginaler Gyrus	40	4.75	-48	-51	24
	linker angulärer Gyrus	39	4.57	-45	-51	21
	linker inferiorer Parietallappen	40	3.70	-54	-51	36
Temporal	linker medialer temporaler Gyrus/STS		7.54	-48	-39	6
	rechter medialer temporaler Gyrus/STS		6.35	51	-30	0
	linker superiorer temporaler Gyrus	21	6.56	-57	-39	9
	rechter superiorer temporaler Gyrus	21	6.09	51	-27	0
	linker medialer temporaler Gyrus	21	6.02	-57	-9	-6
	linker temporaler Pol	38	4.84	-48	15	-21
Okzipital	rechter Okzipitallappen	17/18	10.21	21	-90	-3
	linker Okzipitallappen	17/18	9.26	-21	-90	-6
	linker okzipitaler Gyrus	19	5.55	-24	-84	-18
Cerebellum	rechte anteriore Hemisphäre (Larsell H VI)		5.57	36	-66	-21
	Kleinhirnwurm		4.71	6	-75	-21
	linke posteriore Hemisphäre (Larsell H VII)		4.62	-39	-63	-30

Die Hauptbedingung „**Kreatives Schreiben**“ (siehe Tab. II und Abb. 2) aktivierte vornehmlich motorisch assoziierte Gehirnareale: den primär motorischen Kortex (BA 4, M1; rechtshemisphärisch entsprechend der somatotopischen Repräsentation von Hand und Artikulation), die korrespondierenden somatosensorischen Areale (BA 1/2/3, S1), die bilateralen sekundärmotorischen Areale (dPMC, SMA), das mittlere Cingulum, die bilateralen superioren Parietallappen (BA 7), den linken Thalamus und das Kleinhirn (vornehmlich rechter anteriorer Kleinhirnlappen sowie Kleinhirnwurm). Diese Aktivierungen erstreckten sich beidseitig bis in okzipito-temporale (BA 19/37) und visuelle (BA 17/18) Areale. Weitere Kleinhirnaktivierungen lagen in beiden posterioren Kleinhirnhemisphären. Frontale Aktivierungen zeigten sich im bilateralen IFG (BA 44), in beiden mittleren frontalen Gyri (BA 9) und im rechten dIPFC (BA 9/46). Temporale Aktivierungen umfassten den linken posterioren Anteil des superioren temporalen Gyri (BA 22/ STS).

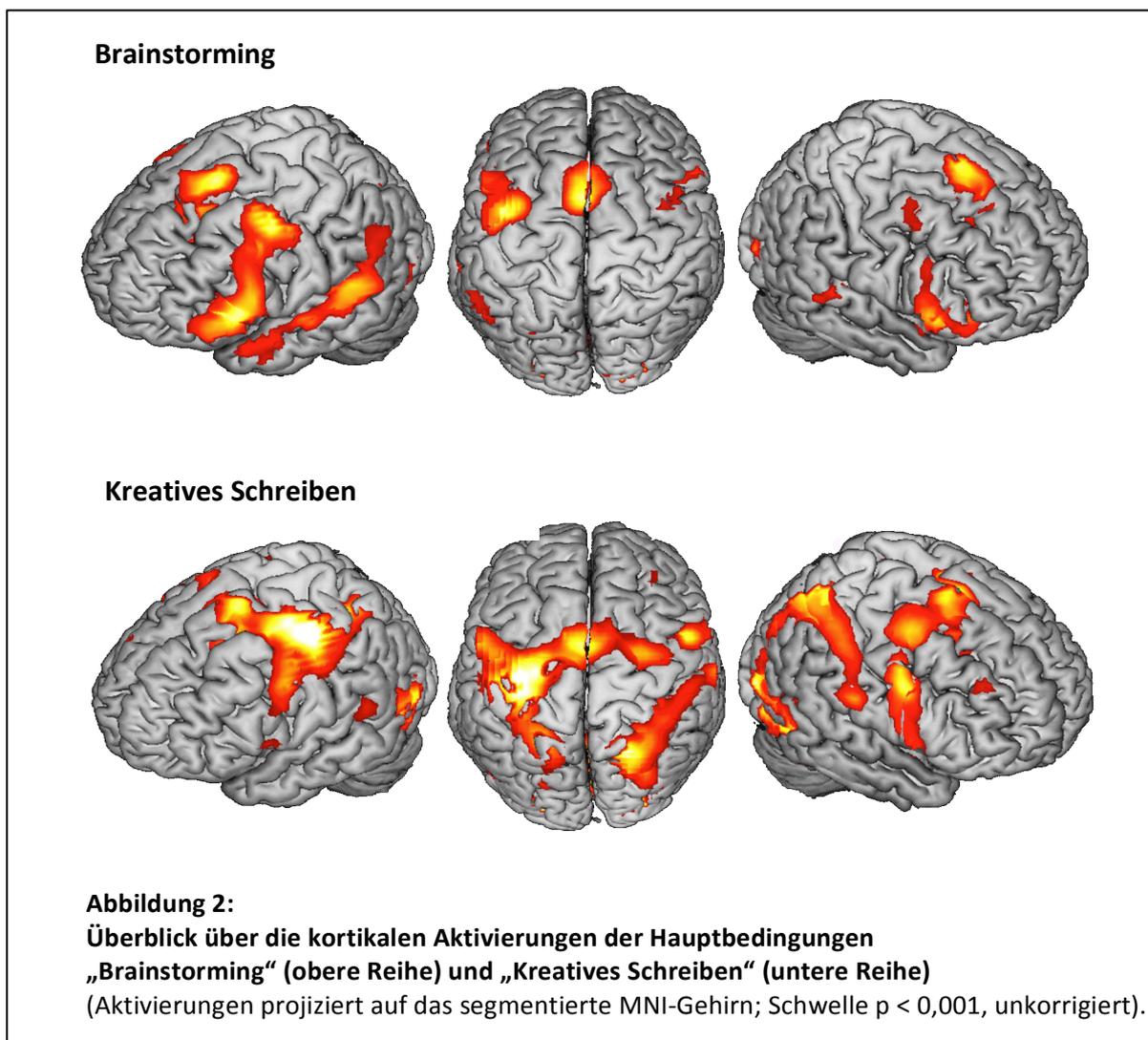


TABELLE II. fMRT-Aktivierungen während der Aufgabe „Kreatives Schreiben“

Region		Brodmann Areal	t-Wert	MNI-Koordinaten			
				x	y	z	
Frontal	linker präzentraler Gyrus/M1	4	11.32	-36	-18	57	
	rechter präzentraler Gyrus/M1	4	5.84	63	-12	27	
	linker präzentraler Gyrus/dPMC	6	10.12	-27	-15	60	
	rechter präzentraler Gyrus/dPMC	6	7.66	27	-3	51	
	linker superiorer frontaler Gyrus/SMA	6	9.20	-3	0	66	
	rechter superiorer frontaler Gyrus/SMA	6	6.51	9	9	54	
	linkes mittleres Cingulum	24/32	5.31	-9	12	42	
	rechter mittlerer frontaler Gyrus	9	8.81	51	6	33	
	linker mittlerer frontaler Gyrus	9	7.49	-57	3	39	
	rechter mittlerer frontaler Gyrus	9/46	4.37	33	45	36	
	rechter inferiorer frontaler Gyrus (pars opercularis)	44	5.19	63	12	12	
	linker inferiorer frontaler Gyrus (pars opercularis)	44	4.54	-54	12	3	
	Parietal	linker postzentraler Gyrus/S1	1/2/3	10.50	-36	-24	54
		rechter postzentraler Gyrus/S1	1/2/3	5.96	42	-33	45
rechter superiorer Parietallappen		7	10.17	21	-60	60	
linker superiorer Parietallappen		7	7.66	-24	-54	57	
Temporal	linker superior temporaler Sulcus	22	4.80	-57	-42	12	
Okzipito-temporal	rechter inferiorer temporaler Gyrus	37	9.30	48	-60	-12	
	linker inferiorer temporaler Gyrus	37	8.14	-45	-72	-3	
	rechter okzipitaler Gyrus	19	8.61	33	-87	3	
	linker okzipitaler Gyrus	19	8.38	-39	-81	3	
Okzipital	rechter Okzipitallappen	17/18	11.85	27	-90	0	
	linker Okzipitallappen	17/18	9.88	-21	-93	-3	
Cerebellum	rechte posteriore Hemisphäre (Larsell H VIII)		10.22	15	-60	-42	
	rechte anteriore Hemisphäre (Larsell H IV-V)		9.67	18	-51	-18	
	Kleinhirnwurm		8.18	6	-63	-33	
	linke posteriore Hemisphäre (Larsell H VII)		6.03	-30	-57	-24	
Thalamus	linker Thalamus		5.74	-12	-18	12	

3.3.3. Subtraktionsanalyse zwischen den Aufgaben „Kreatives Schreiben“ und „Abschreiben“

Die Subtraktionsanalyse „Kreatives Schreiben“ minus „Abschreiben“ („Kreatives Schreiben – Abschreiben“; Tab. III, Abb. 3) zeigte die stärkste Aktivierung im rechten medialen Temporalpol (BA 38). Eine etwas geringer ausgeprägte Aktivierung stellte sich im linken Temporalpol (BA 38) dar. Weitere Aktivierungen wurden im bilateralen posterioren Cingulum (BA 31) sowie im bilateralen Hippocampus beobachtet. Alle Aktivierungen zeigten eine Lateralisation zur rechten Hemisphäre.

Abbildung 3:
fMRT-Ergebnisse der Subtraktionsanalyse
„Kreatives Schreiben – Abschreiben“

„Kreatives Schreiben – Abschreiben“ zeigte Aktivierungen in beiden Temporalpolen, beiden Hippocampi und im posterioren Cingulum (Aktivierungen projiziert auf das segmentierte MNI-Gehirn; Schwelle $p < 0,001$, unkorrigiert).

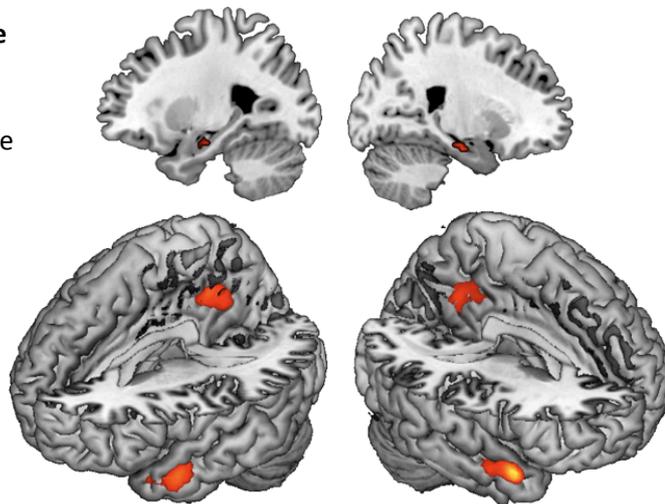
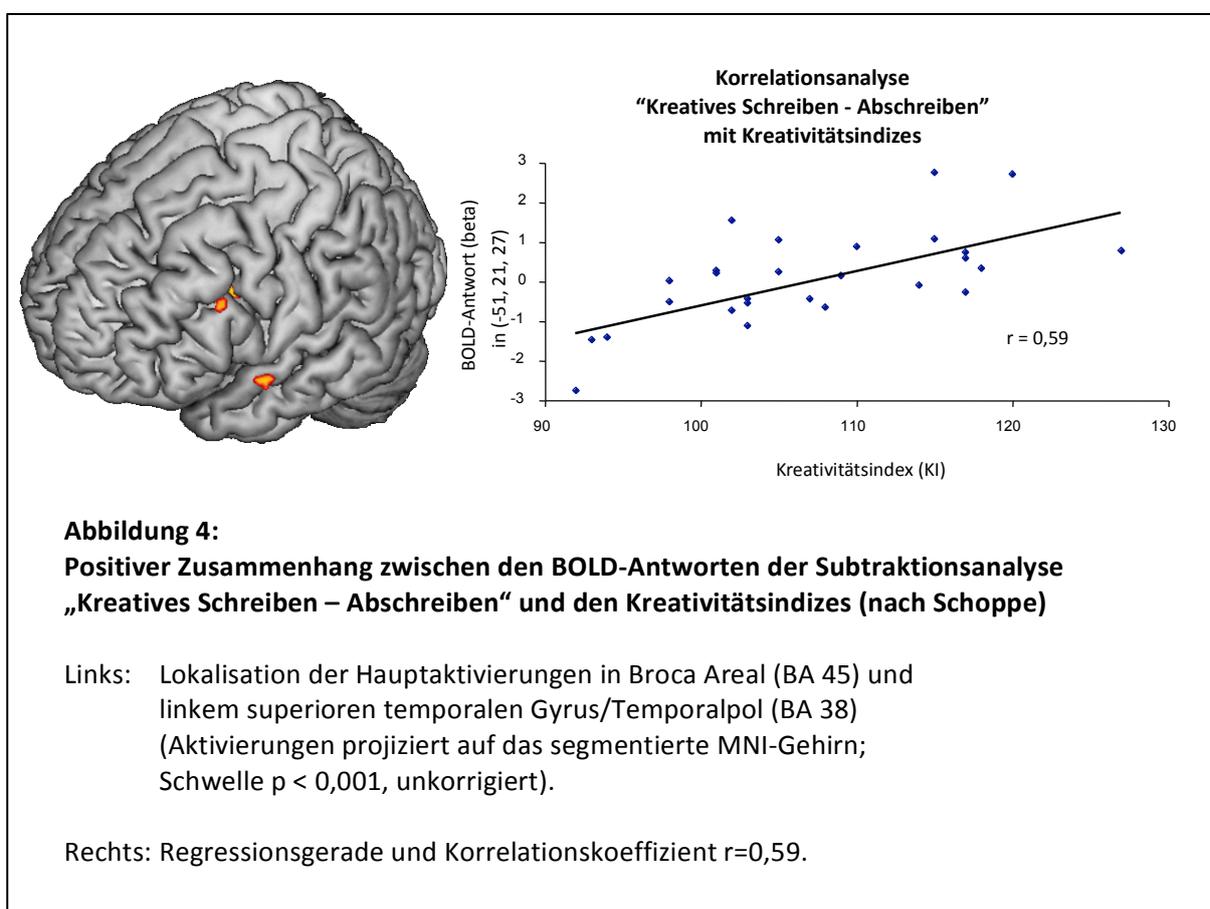


TABELLE III. fMRT-Aktivierungen der Subtraktionsanalyse „Kreatives Schreiben - Abschreiben“

Region	Brodmann Areal	t-Wert	MNI-Koordinaten		
			x	y	z
Temporal	rechter medialer Temporalpol	38	45	12	-27
	linker Temporalpol	38	-42	3	-27
Hippocampus	rechter Hippocampus	4.76	18	-18	-15
	linker Hippocampus	3.73	-27	-15	-18
Cingulum	rechtes posteriores Cingulum	31	12	-48	36
	linkes posteriores Cingulum	31	-12	-48	39

3.3.4. Korrelationsanalysen zwischen fMRT-Daten und Kreativitätsmessungen

Ein positiver Zusammenhang zwischen den BOLD-Antworten der Subtraktionsanalyse „Kreatives Schreiben – Abschreiben“ und den Kreativitätsindizes (nach Schoppe) zeigte sich in Aktivierungen des linken superioren temporalen Gyrus am Übergang zum Temporalpol (BA 38, T = 3,78; -54, 0, -12) sowie des linken IFG (BA 45, T = 3,69; -51, 21, -27; siehe Abb. 4). Eine Korrelationsanalyse zwischen den BOLD-Antworten der Subtraktionsanalyse „Kreatives Schreiben – Abschreiben“ und den CAT-Ergebnissen (nach Amabile) lieferte keine signifikanten Ergebnisse.



4. DISKUSSION

In der vorliegenden Studie wandten wir ein Paradigma an, das die Untersuchung der Erstellung kreativer Texte *während* der fMRT-Messung ermöglichte. Diesbezüglich kann unsere Studie als ein erster Beitrag zu wissenschaftlicher Literatur angesehen werden, der das Schreiben von kreativen Texten so realistisch wie möglich abbildet. Zu diesem Zweck untersuchten wir gemäß dem Modell von Flower und Hayes [Flower und Hayes, 1981] die BOLD-Antworten während den Aufgaben „Brainstorming“ und „Kreatives Schreiben“.

Unsere Ergebnisse zeigten während der Aufgabe des „Brainstormings“ die Aktivierung eines zerebralen Netzwerkes mit den folgenden Funktionen: im bilateralen IFG sowie im linken Temporallappen lokalisierte Sprachprozesse, im PFC lokalisierte Abläufe komplexer hierarchischer Organisation und im dACC lokalisierte kognitive Entscheidungsprozesse. Während der Aufgabe des „Kreativen Schreibens“ beobachteten wir Aktivierungsmuster, die mit dem Schreiben selbst sowie mit Sprachprozessen und kognitiven Funktionen assoziiert waren. Die Subtraktionsanalyse „Kreatives Schreiben – Abschreiben“ zeigte insbesondere Aktivierungen in Arealen, die mit dem Abruf von Erinnerungen, semantischer Integration, freier Assoziation sowie spontaner Kognition in Verbindung gebracht werden.

Die Ergebnisse bezüglich der Lokalisation verbaler Kreativitätsprozesse deuteten auf ein linkshemisphärisch gelegenes fronto-temporales Netzwerk hin, das aus Aktivierungen im linken IFG (BA 45) und im linken superioren temporalen Gyrus am Übergang zum Temporalpol (BA 38) bestand.

4.1. fMRT-Ergebnisse

4.1.1. Brainstorming

Die stärkste und weitläufigste Aktivierung erstreckte sich vom linken IFG bis zum präzentralen Gyrus, der SMA und dem linken medialen ACC. Sie korrespondiert mit der Hauptaktivierung einer Untersuchung zur Generierung von neuartigen Konzepten und Ideen in verbalen Kreativitätstests (zum Beispiel *Alternative Verwendungsarten* und *Namen erfinden*) [Fink et al., 2009].

Diese linksseitig lateralisierten frontalen Aktivierungen im bilateralen IFG (BA 44/45 und BA 47) erstreckten sich weiter bis zur anterioren Insel. Aktivierungen dieser Art sind vornehmlich mit Sprachprozessen und verbaler Sprachkompetenz assoziiert. Insbesondere der linke IFG (BA 44/45) spielt eine Schlüsselrolle in der verbalen Informationsverarbeitung kognitiver Aufgaben [Gernsbacher und Kaschak, 2003]. Der linke IFG (BA 44/45) ist des Weiteren in Wortabfrage-Prozesse und das konzeptionelle System von Sprachproduktion involviert [Price, 2010]. Auch klinische Läsionsstudien berichten über eine Assoziation zwischen Strukturschäden im Frontallappen (BA 4, BA 6, BA 44) und reduzierter phonematischer Sprachkompetenz [Baldo et al., 2006]. Beim Vorliegen linksseitiger dorsolateraler frontaler Strukturschäden wurde insbesondere über die reduzierte Fähigkeit berichtet „Kategorien“ in Tests zur phonematischen und semantischen Sprachkompetenz zu wechseln [Troyer, 1998]. Daher ist davon auszugehen, dass die in diesen frontalen Spracharealen beobachteten Aktivierungen ein flexibles und divergentes verbales Agieren widerspiegeln, das den Anforderungen an verbale Sprachkompetenz ähnelt. Es liegt folglich nahe, dass die Probanden während der Aufgabe des „Brainstormings“ das verbale Konzept für die Geschichte entwarfen.

Die im linken dlPFC (BA 9/46) und im linken dACC (BA 24/32) beobachteten Gehirnaktivitäten scheinen weitere wichtige Strukturen für die Planung einer Geschichte darzustellen und werden mit höherer kognitiver Kontrolle sowie der Initiation des Schreibens in Verbindung gebracht. Der dlPFC wurde bereits in vorangegangener Forschung hinsichtlich Kreativität [Dietrich, 2004; Dietrich und Kanso, 2000] und darüberhinaus auch bezüglich der Erstellung kreativer Geschichten [Howard-Jones, 2005] für wichtig erachtet, da er Funktionen des Arbeitsgedächtnisses, kognitive Flexibilität und divergentes Denken unterstützt. Bekannte Funktionen des PFC sind weiterhin irrelevante Informationen zu unterdrücken und internes zielgerichtetes Verhalten auszuführen [Cohen et al., 2000]. Aktivitäten im dACC wurden mit der Bearbeitung kognitiv anspruchsvoller Aufgaben sowie mit Selektionsprozessen assoziiert [Bush et al., 2000]. Später wurde insbesondere ein Zusammenhang mit belohnungsbasierter Entscheidungsfindung beschrieben [Bush et al., 2002]. Die Aktivierungen im dlPFC (BA 9/46) und im dACC (BA 24/32) könnten daher - im Sinne einer Kontrollfunktion - die Selektion von Ideen widerspiegeln und damit die Konstruktion einer originellen aber auch kohärenten Geschichte ermöglichen. Damit

würden diese Hirnaktivierungen die Erfüllung des Kriteriums der „Angemessenheit“ eines kreativen Produktes (nach Sternberg) ausdrücken.

Die zweitgrößte Aktivierung erstreckte sich linksseitig von antero-temporalen Regionen (Temporalpol, BA 38) bis in parieto-temporale Areale (BA 39/40, Wernicke-Areal, BA 22, STS).

Linksseitige parieto-temporale Regionen sind bekanntermaßen in Sprachprozesse involviert. Aktivierungen des Temporallappens wurden bereits vielfach als elementar für das Sprach- und Satzverständnis, die prälexikale Auffassung und die auditive Verarbeitung von Sprache beschrieben [Price, 2010]. Fink und Kollegen [Fink et al., 2009] schilderten außerdem bereits den Zusammenhang zwischen linksseitigen inferioren parieto-temporalen Aktivierungen (BA 39/40) und der Lösung verbal kreativer Aufgaben mittels divergenten Denkens sowie eines frei-assoziativen Denkstils. Darüberhinaus sprachen Bechtereva und Kollegen [Bechtereva et al., 2004] diesen Arealen bereits eine zentrale Bedeutung während der Erstellung von Reizwortgeschichten aus inhaltlich nicht zusammenhängenden Wortsets zu. Ebenso spiegelten Aktivierungen dieser Areale die Anwendung von „Aha-Effekt“-Strategien [Starchenko et al., 2003] wider.

Die genannten Studien beschreiben dabei die wichtige Rolle dieser Regionen in Prozessen des flexiblen Denkens. Unsere Ergebnisse unterstreichen somit die bereits beschriebene Relevanz der bilateralen parietalen Aktivierungen (BA 39/40) während der Lösung verbal-kreativer Aufgaben.

Die im primären visuellen Kortex beobachtete Aktivität könnte die visuelle Verarbeitung sprachlicher Stimuli reflektieren [Gernsbacher und Kaschak, 2003]. Howard-Jones und Kollegen [Howard-Jones et al., 2005] interpretierten ähnliche okzipitale Aktivierungen bereits als visuelle Vorstellung von Szenen der in ihrer Studie erfundenen Geschichten.

Zusätzlich konnten während der Aufgabe des „Brainstormings“ Aktivitäten in Motorarealen (linke SMA, linker dPMC (beides BA 6), anteriores Kleinhirn und rechter Kleinhirnwurm) beobachtet werden, obwohl der Assistent, der während der Messung links neben den Probanden stand, keine sichtbaren Bewegungen der Probanden wahrnahm. Eine Funktion des dominanten dPMC (BA 6) ist es, komplexe Bewegungskonzepte abzuspeichern, die

anschließend, zum Beispiel während solcher Aktivitäten wie der des Schreibens, abgerufen werden können [Rintjes et al., 1999]. Das anteriore Kleinhirn wiederum bündelt multisensorische Einflüsse des Kortex zu einer efferenten motorischen Kopie und ermöglicht damit die kontinuierliche Korrektur komplexer Handbewegungen [Bloedel, 1992]. Hieraus kann gefolgert werden, dass die Aufgabe des „Brainstormings“ nicht auf kognitive Mechanismen und Ideengeneration reduziert werden kann. Die Planung einer Geschichte scheint indes zusätzliche mentale Vorstellungen zu umfassen, die sogar die Vorbereitung der nachfolgenden Schreibphase beinhalten. Dies weist auf ein wesentlich holistischeres und integrativeres Modell der Gehirnaktivität während literarischer Textkomposition hin als bisher angenommen.

Zusammengefasst lässt sich feststellen, dass die Aufgabe des „Brainstormings“ ein Netzwerk von Aktivierungen hervorruft, das in seinen Funktionen den Planungsprozessen der „cognitive process theory of writing“ [Flower und Hayes, 1981] nahe kommt:

1. Das „erschaffende“ Element des Planens – das dem Neuartigkeits- und Originalitätskriterium eines kreativen Produktes nach Sternberg zugeordnet werden kann – spiegelt sich in frontalen und parieto-temporalen Gehirnaktivitäten wider. Diese unterstützen, wie oben beschrieben, kreativitätsrelevante Prozesse wie divergentes Denken, kognitive Flexibilität und verbale Sprachkompetenz.
2. Das „organisierende“ und „zielbewusste“ Element des Planens – das dem Kriterium der Angemessenheit eines kreativen Produktes nach Sternberg zugeordnet werden kann – zeigt sich in Aktivitäten des dlPFC und des dACC. Diese Areale unterstützen Selektionsprozesse, zielgerichtetes Handeln und die Koordination parallel ablaufender Aufgaben.

4.1.2. Kreatives Schreiben

Das Aktivierungsmuster während der Aufgabe des „Kreativen Schreibens“ beinhaltete vornehmlich Areale, die mit der Ausführung des Schreibens assoziiert waren: der primärmotorische Kortex, der dPMC und die SMA (BA 6), der linke superiore Parietallappen (BA 7) und die rechte anteriore Kleinhirnhemisphäre [Katanoda et al., 2001]. Des Weiteren zeigte die Aufgabe „Kreatives Schreiben“ starke Aktivierungen in bilateralen okzipitotemporalen Regionen, die dem posterioren Lesesystem zuzuordnen sind [Shaywitz und Shaywitz, 2008] sowie Aktivierungen im bilateralen primären visuellen Kortex. Vergleichbar der Aufgabe des „Brainstormings“ könnte die Aktivität im Okzipitallappen nicht nur mit visuellem Feedback assoziiert sein, sondern auch die visuelle Vorstellung der Szenen ausdrücken, die niedergeschrieben wurden [Howard-Jones, 2005].

Des Weiteren zeigten die Aktivierungen während dieser Aufgabe Sprachprozesse (BA 44, links BA 22/STS), die Aktivierung des Arbeitsgedächtnisses und höhere, im dlPFC lokalisierte kognitive Kontrollfunktionen (bilaterales BA 9, rechtes BA 9/46). Ein ausgeprägter Gedächtnisabruf (Aktivität des bilateralen Temporalpols, der Hippocampi und des posterioren Cingulum) wurde vor allem in der weiter unten beschriebenen Subtraktionsanalyse „Kreatives Schreiben – Abschreiben“ deutlich. Die Aktivierungen dieser kognitiven Funktionsareale zeigten eine Lateralisation zur rechten Hemisphäre.

Die Aktivierungen des IFG (BA 44) und des posterioren Anteils des linken superioren temporalen Gyrus (BA 22 und STS) entsprechen, ähnlich den Abläufen während der Aufgabe des „Brainstormings“, sprachassoziierten [Price, 2010] und verbal-kreativen [Fink et al., 2009] Prozessen. Die auffällige Aktivierung im dlPFC weist auf die Relevanz anhaltender Aufmerksamkeit hin [Curtis und D’Esposito, 2003] und scheint dazu beizutragen, eine Vielzahl relevanter Informationen im Gedächtnis zu behalten. Hierdurch kann vermutlich das Arbeiten mit mehreren Ideen und Strategien sowie der parallele Ablauf verschiedener, multimodaler Prozesse während der Aufgabe des „Kreativen Schreibens“ ermöglicht werden. Darüber hinaus wurde bereits aufgezeigt, dass der dlPFC wichtige Hirnfunktionen hinsichtlich des kreatives Denkens unterstützt [Dietrich, 2004].

Diese Ergebnisse zeigen, dass präfrontale Regionen wichtige kognitive Funktionen des Kreativen Schreibens umfassen. Dazu gehören eine hohe Beteiligung des

Arbeitsgedächtnisses bezüglich der Durchführung der Aufgabe selbst sowie die von Ortheil [Ortheil, 2005] geforderte selbstkritische Haltung des Schriftstellers. Zusätzlich ermöglichen die weitreichenden Verbindungen des Frontallappens zu den entsprechenden Arealen Zugriff auf spezifisches Wissen, das für jedes kreative Schaffen gefordert wird [Heilmann et al., 2003].

Die Subtraktion der rein motorischen Prozesse der Aufgabe „Abschreiben“ von den Prozessen der Aufgabe des „Kreativen Schreibens“ („Kreatives Schreiben – Abschreiben“) zeigte rechtsseitig lateralisierte Aktivierungen in Hirnarealen, die vornehmlich einen Gedächtnisabruf repräsentieren: die bilateralen Hippocampi, beide Temporalpole und das posteriore Cingulum einschließlich Aktivität im ventralen Precuneus.

Bekanntermaßen spielt der Hippocampus eine Schlüsselrolle in Gedächtnisprozessen. Solche Aktivierungen scheinen auf einen auffallend starken Abruf von episodischen Gedächtnisinhalten während des Schreibens hinzudeuten. Darüberhinaus unterstützt der Hippocampus bezüglich der Sprachproduktion Funktionen des Wortabrufs [Price, 2010]. Insbesondere der linke Hippocampus ist an der spontanen und frei-assoziativen Produktion von Worten beteiligt [Price, 2010; Whitney et al., 2009]. Tatsächlich könnte die Aufgabe des „Kreativen Schreibens“ einer frei-assoziativen Textproduktion entsprechen, die auf episodischen Erinnerungen basiert.

Weitere Hirnaktivierungen, die einen Gedächtnisabruf repräsentieren, konnten in anterioren temporalen Strukturen mit rechtshemisphärischer Betonung lokalisiert werden. Der rechte Temporalpol reflektiert die Aktivierung des episodischen Gedächtnisses, während der linke Temporalpol den Abruf semantischer Gedächtnisinhalte repräsentiert [Olson et al., 2007]. Beide Temporalpole tragen außerdem zum Verständnis der Bedeutung von Sätzen in komplexem sprachlichen Kontext bei [Price, 2010]. Sie ermöglichen damit semantische Integrationsprozesse [Binder et al., 2009; Jung-Beeman, 2005]. Interessanterweise wurde der rechte anteriore Temporalpol bereits als Schlüsselregion für die Lösung verbaler Probleme mittels „Aha-Effekt“ beschrieben [Jung-Beeman et al., 2004], bei der ebenfalls semantische Integration erforderlich ist. Die zentrale Stellung der Temporalpole im semantischen System vermag auf den hohen Stellenwert der Integration verschiedener kontextabhängiger und sprachlicher Ideen in ein kohärentes Textkonzept hinweisen. Es ist somit davon auszugehen, dass gerade die Funktionen des episodischen

sowie semantischen Gedächtnisabrufes und die Beteiligung der semantischen Integration den Unterschied zwischen der Aufgabe des „Kreativen Schreibens“ und der Aufgabe des bloßen „Abschreibens“ ausmachen.

Darüberhinaus konnten in der Subtraktionsanalyse Aktivierungen im posterioren cingulären Kortex (PCC) beobachtet werden. Abgesehen von den Temporalpolen trägt auch dieser Teil des Kortex zum Satzverständnis bei [Price, 2010]. Im Detail weist der PCC Verbindungen zum hippocampalen System auf und ist in die konzeptionellen Aspekte der Sprachproduktion involviert [Price, 2010]. Außerdem unterstützt er in seiner Funktion, ebenso wie der rechte Temporalpol, den Abruf episodischer Gedächtnisinhalte [Binder et al., 2009]. Interessant ist die Beteiligung des PCC im Rahmen selbst-bezogener Integration [Northoff und Bermpohl, 2004] sowie dessen Beschreibung als eine der zentralen Strukturen des zerebralen „default networks“ [Buckner et al., 2008]. Das „default network“ ist während nicht-fokussierter Aufmerksamkeit aktiv und repräsentiert das Bewusstsein für die externale Umgebung. Auch in diesem Zusammenhang unterhält der PCC Verbindungen zu den genannten Gedächtnisstrukturen (Hippocampus und Temporallappen), wodurch seine Rolle bezüglich des episodischen Gedächtnisabrufes zusätzliche Gewichtung erfährt. Da das „default network“ eine Schlüsselrolle in den mentalen Prozessen von Fantasie, Vorstellungsvermögen und Gedankenwelt spielt, wird es auch als das „innere mentale Leben“ des Menschen bezeichnet [Buckner et al., 2008]. Weiterhin wurde es auch mit Tagträumen in Zusammenhang gebracht [Mason et al., 2007]. Es stellt, anders ausgedrückt, die „spontane Wahrnehmung“ des Menschen dar [Buckner et al., 2008]. Die Funktionen der beschriebenen Areale könnten darauf hindeuten, dass die im kreativen Schreiben unerfahrenen Probanden ihre Texte in einer frei-assoziativen Schreibweise erstellten und damit auf eine Art, die einem Zustand defokussierter Aufmerksamkeit gleich kommt. Diese Ergebnisse würden die Beobachtung von Flower und Hayes [Flower und Hayes, 1981] stützen, dass ein frei-assoziativer Schreibstil vor allem ein Kennzeichen weniger professioneller Schriftsteller ist.

Zusammengefasst können die Ergebnisse der Aufgabe des „Kreatives Schreiben“ als die Translation konzeptioneller und verbaler Ideen in einen Prozess handschriftlichen Schreibens verstanden werden. Während dieser Translation spielen Selektionsprozesse, semantische Integration und motorische Koordination eine wichtige Rolle. Bezugnehmend

auf die „cognitive process theory of writing“ [Flower und Hayes, 1981] konnten wir während der Aufgabe des „Kreativen Schreibens“ die Relevanz spezifischer Fähigkeiten wie die motorischen Funktionen der Hand, die Verarbeitung von Sprache, semantische Integration, die Beteiligung des Arbeitsgedächtnisses und insbesondere den hohen episodischen sowie semantischen Gedächtnisabruf belegen. Darüberhinaus scheinen, zumindest bei unerfahrenen Probanden, freie Assoziation und spontane Kognition typische Charakteristika der Erstellung kreativer Texte zu sein.

4.1.3. Korrelationsanalysen der Subtraktionsanalyse „Kreatives Schreiben - Abschreiben“ mit Kreativitätsindizes und CAT-Ergebnissen

Die Korrelationsanalyse der BOLD-Antworten der Subtraktionsanalyse „Kreatives Schreiben - Abschreiben“ mit den Kreativitätsindizes (nach Schoppe) zeigte einen positiven Zusammenhang zwischen Aktivität in fronto-temporalen Arealen und verbaler Kreativität. Erkenntnisse aus vorangegangener Forschung hinsichtlich fronto-temporaler Demenz hatten hingegen *Defizite* in fronto-temporalen Regionen mit einem *Emporkommen* künstlerischer Kreativität in Verbindung gebracht [Miller et al., 2000]. Die Autoren [Miller et al., 2000] beschrieben jedoch, dass diese Patienten nur eine Art „Pseudo-Kreativität“ ausbilden würden. Andere Autoren zeigten, dass solche Patienten in den üblichen Kreativitätstests deutlich schlechter abschnitten [de Souza et al., 2010]. Auch wenn die Ergebnisse einer funktionellen Bildgebungsstudie mit gesunden Probanden - wie der unseren - nicht gänzlich mit den Ergebnissen von Läsionsstudien zu vergleichen sind, unterstreichen unsere Ergebnisse doch die Beteiligung der fronto-temporalen Areale an kreativen Prozessen.

Die Korrelationsanalyse zeigte die stärkste Aktivierung im Bereich des anterioren Teils des linken superioren temporalen Gyrus. Diese Aktivierung reichte bis in den Temporalpol hinein. Sie bezieht sich funktionell auf das semantische System [Olson et al., 2007] und reflektiert insbesondere semantische Integrationsprozesse [Jung-Beeman et al., 2005]. Die zweitstärkste Aktivierung war im linken IFG (BA 45) lokalisiert und wird mit Wortabrufprozessen während der Sprachproduktion [Price, 2010] sowie dem lexikalischen Abruf in Prozessen verbaler Sprachkompetenz [Heim et al., 2009] in Verbindung gebracht. Eine solche Aktivität wurde bereits mehrfach mit verbal-kreativen Prozessen assoziiert [Fink et al., 2009; Howard-Jones et al., 2005; Mashal et al., 2007]. Darüberhinaus belegen unsere Ergebnisse eine Lateralisation verbaler Kreativität zur dominanten Hemisphäre. Dennoch

können die beschriebenen Areale nicht das „Zentrum literarischer Kreativität“ darstellen, da ein objektiver und vorwiegend quantitativer verbaler Kreativitätstest, wie der in die Korrelationsanalyse eingeflossene VKT, nicht die Kreativität bezüglich realer literarischer Textproduktion abbilden kann. Nichtsdestotrotz sind Wortgewandtheit, Flexibilität und der effiziente Gedächtnisabruf semantischen Wissens bekanntermaßen Fähigkeiten des Menschen, die der Schaffung kreativer und kulturell wertvoller Werke - und damit auch dem Schreiben von Literatur - dienen. Da die in der Korrelationsanalyse aufgezeigten fronto-temporalen Aktivierungen offensichtlich den Zugang zu verbaler Kreativität unterstützen, scheinen diese Areale wichtige Funktionen des kreativen Schreibprozesses darzustellen.

Die Berechnung der Korrelationsanalyse zwischen den BOLD-Antworten der Subtraktionsanalyse „Kreatives Schreiben - Abschreiben“ und den CAT-Ergebnissen ergab keinen positiven Zusammenhang. Dies könnte darin begründet liegen, dass die CAT-Bewertungen bezüglich des Kriteriums der Kreativität keine Subqualität beinhalteten, die in den Hirnaktivierungen darstellbar gewesen wäre.

Es ist von Bedeutung festzuhalten, dass der VKT - im Gegensatz zu den CAT-Ergebnissen, die eine persönliche Leistung repräsentieren - lediglich *verbal-produktive* Fähigkeiten abbildet. Von diesen aus der Korrelationsanalyse gewonnenen Ergebnissen kann folglich nicht zwangsläufig auf die für das *Kreative Schreiben* relevanten Fähigkeiten geschlossen werden. Die neuronalen Strukturen, die die *Qualität* der kreativen Leistung repräsentieren, müssen folglich weiter erforscht werden.

In Zusammenschau aller funktionellen Daten kann festgestellt werden, dass literarische Textkomposition auf höchst komplexen Gehirnmechanismen basiert, die in unterschiedlichen Hirnregionen beheimatet sind und die ineinander greifen. Individuelle literarische Kreativität kann daher keiner bestimmten Gehirnregion oder einzelnen Hirnfunktion zugeordnet werden.

4.2. Diskussion unseres Paradigmas

Kreativität im Allgemeinen ist mit Hilfe neurowissenschaftlicher Methoden bisher kaum untersucht worden. Da die existierenden Studien eine große Bandbreite hinsichtlich ihres Designs und der verwendeten Definition von Kreativität aufweisen [Dietrich und Kanso, 2010], existiert bis heute kein kohärentes Konzept der beteiligten Hirnfunktionen. In den meisten Fällen [Chavez-Eakle et al., 2007; de Souza et al., 2010; Fink et al., 2009] wurden die bekannten, objektiven Kreativitätstests (z.B. Torrance Test of Creative Thinking) untersucht, welche die Kreativität in einzelne Fähigkeiten aufspalten. Es ist anzuerkennen, dass diese Fähigkeiten (divergentes Denken, verbale Sprachkompetenz, kognitive Flexibilität und semantische Integration) auch für das Kreative Schreiben von Bedeutung sind. Dies zeigte auch die Korrelationsanalyse zwischen den BOLD-Antworten der Subtraktionsanalyse „Kreatives Schreiben - Abschreiben“ und den Kreativitätsindizes (nach Schoppe). Dennoch ist zu bezweifeln, dass das breite Spektrum der zerebralen Funktionen des Kreativen Schreibens von gewissen einzelnen kognitiven Fähigkeiten abhängt und dass quantitative Tests, die von der Messung realer kreativer Leistung doch erheblich abweichen, geeignete Messmethoden zur Erfassung von Kreativität darstellen. Im Gegensatz dazu verstehen wir Kreativität im Zuge des literarischen Schreibens - gemäß unseren Ergebnissen - als eine komplexe kognitive Funktion, die als zentrale Bestandteile Selektions- und Kombinationsprozesse, einen vielgestaltigen Erinnerungsabruf und semantische Integration umfasst.

Um das kreative Schreiben möglichst realitätsnah abzubilden, wurde in vorliegender Studie ein neuartiges Paradigma angewandt. Inhaltlich kann es den bereits etablierten Untersuchungen zur Erstellung kreativer Geschichten zugeordnet werden [Bechtereva und Nagornova, 2007]. Zu beachten ist dabei jedoch, dass derartige Studien [Bechtereva et al., 2004; Howard-Jones et al., 2005] nur eine mentale Generierung von Geschichten erlaubten und diese Geschichten auf Reizwörtern basierten, die zu gleichen oder unterschiedlichen semantischen Feldern gehörten. Howard-Jones und Kollegen [Howard-Jones et al., 2005] analysierten damit vornehmlich das divergente Denken während der Erstellung kreativer Geschichten.

In der vorliegenden Studie waren dagegen nicht Reizwörter, sondern der Beginn eines literarischen Textes der Bezugspunkt für das Erfinden einer kreativen Geschichte. Unser Ziel bestand darin, den gesamten Prozess des Kreativen Schreibens zu untersuchen. Diese

verschiedenen Ansätze der Forschungsgruppen sind möglicherweise auch der Grund für das unterschiedliche Ausfallen der Ergebnisse. Es ist davon auszugehen, dass das Schreiben von Literatur mehr als divergente Denkprozesse umfasst und dass das Erfinden von ungewöhnlichen, teils auch unrealistischen Reizwortgeschichten nicht mit einer freien, literarischen Textproduktion vergleichbar ist.

Um die Untersuchung des gesamten Prozesses des Kreativen Schreibens zu ermöglichen, bestand ein zentraler Aspekt der vorliegenden Studie in der Entwicklung eines möglichst realistischen und zugleich jedoch realisierbaren fMRT-Messaufbaus. Derartige realitätsnahe „Papier- und Stift-Aufgaben“ im MR-Tomographen waren bisher aufgrund der zwangsweise auftretenden motorischen Artefakte und der Unmöglichkeit des freihändigen Schreibens für nur sehr eingeschränkt durchführbar erklärt worden [Fink et al., 2007]. Dennoch sollte in unserer Studie ein Paradigma entsprechend dem Aufbau vorheriger Studien [Bechtereva et al., 2004; Howard-Jones et al., 2005] vermieden werden, da nur ein *reales Produkt*, wie zum Beispiel eine *während* der fMRT-Messung niedergeschriebene Geschichte, als Kontrolle und Evidenz der tatsächlichen Gehirnaktivitäten während der Datenakquisition dienen kann.

Trotz der oben genannten Problematik hinsichtlich der Erstellung realitätsnaher Paradigmen [Fink et al., 2007] entwarfen wir ein fMRT-Setting, das die reale Durchführung des Kreativen Schreibens ermöglichte. Zusätzlich wurden Kontrollbedingungen etabliert, die der Korrektur motorischer Aktivitäten dienen. Des Weiteren existierte die Möglichkeit, die während der fMRT-Messung verfassten Texte einer *qualitativen* Bewertung gemäß der CAT [Amabile, 1996] zugänglich zu machen. Dies war relevant, da qualitative Messmethoden, die zusätzlich das Kriterium der Angemessenheit eines kreativen Produktes berücksichtigen können, für eine sinnvolle Beurteilung der Kreativität notwendig sind [Fink et al., 2007]. Diese qualitativen Messmethoden stehen den quantitativen Messmethoden der gängigen Kreativitätstests gegenüber, die primär auf die Beurteilung der verbal-produktiven Fähigkeiten ausgelegt sind.

Um die zahlreichen kognitiven und kreativen Prozesse während des Kreativen Schreibens zu analysieren, folgten wir der in der Kreativitätsforschung üblichen Methode des Vergleichs zwischen Haupt- und Kontrollbedingungen [Bechtereva und Nagornova, 2007; Fink et al., 2007]. Die Ergebnisse einer ebenfalls durchgeführten Subtraktionsanalyse „Brainstorming - Lesen“ stehen diesbezüglich in Einklang mit den Ergebnissen einer ähnlich konstruierten

Subtraktionsanalyse einer Studie zur Erstellung kreativer Geschichten von Bechtereva und Kollegen [Bechtereva et al., 2004]. Analog dazu berechneten wir die Subtraktionsanalyse für die beiden Schreibaufgaben („Kreatives Schreiben - Abschreiben“).

4.3. Parallelen von EEG-Ergebnissen und fMRT-Ergebnissen bezüglich der Rolle des präfrontalen Kortex in kreativen Prozessen

Elektroenzephalographie (EEG)-Studien berichteten über gesteigerte frontale und frontoparietale alpha-Bereich Synchronisation während der Verarbeitung verbal kreativer Aufgaben [Fink et al., 2009]. Für andere Gebiete, wie zum Beispiel dem Schaffen eines Gemäldes, wurde bei künstlerisch erfahrenen Probanden im Vergleich zu unerfahrenen Probanden eine gesteigerte delta-Bereich Synchronisation und alpha-Bereich Desynchronisation beobachtet [Bhattacharya und Petsche, 2005]. Abgesehen von der Tatsache, dass gerade diejenigen Hirnareale, die während der Lösung von Aufgaben durch unerfahrene Probanden mit höherer Kreativität assoziiert wurden, bei den erfahrenen Probanden keine entsprechenden Anstiege zeigten, liefern diese Ergebnisse den Beleg für die zentrale Rolle des präfrontalen Kortex in der Verarbeitung kreativer Information. Obwohl unterschiedliche neuronale Strukturen mit verschiedenen kreativen Fähigkeiten assoziiert wurden, war der PFC funktionell stets in kreativ-kognitive Prozesse involviert. Die konstante Aktivierung des PFC zeigt die Wichtigkeit der Funktionen des Arbeitsgedächtnis, der temporalen Integration und der anhaltende Aufmerksamkeit sowie die Notwendigkeit von Planungsprozessen, selbstreflektierendem Bewusstsein und kognitiver Flexibilität während aller kreativitätsbezogenen Aufgaben [Dietrich, 2004]. Derzeit ist allerdings noch unklar, wie diese komplexen Prozesse genau im präfrontalen Kortex repräsentiert sind.

EEG-Studien zeigten in Abhängigkeit von der Art der Aufgabe und der untersuchten Probanden sowohl Anstiege als auch Abfälle in Stärke und Synchronisation verschiedener Frequenzbanden [Petsche et al., 1997]. Allerdings besteht eine fortwährende Debatte, wie EEG-Synchronisation interpretiert werden kann [Klimesch et al., 2007]. Bisher untersuchte nur eine Studie ein Paradigma kreativer Problemlösung mit Hilfe von EEG und fMRT [Fink et al., 2009]. Die Autoren berichteten dabei über eine hohe räumliche Übereinstimmung von alpha-Bereich Synchronisation und fMRT-Aktivierung im präfrontalen Kortex der linken Hemisphäre. Diese Ergebnisse wurden als aktive Inhibition von konkurrierenden Prozessen

beschrieben [Fink et al., 2009]. Die Interpretation gründet auf der Annahme von Heilman und Kollegen [Heilman et al., 2003], dass der präfrontale Kortex über seine Verbindungen in temporo-parietale Regionen diejenigen semantischen Schaltkreise hemmt, die ähnliche semantische Information abspeichern. Demgegenüber werden solche semantischen konzeptionellen Netzwerke verstärkt aktiviert, die bisher nur schwach oder gar nicht aktiviert waren. Die Autoren vermuten, dass diese regulierenden Prozesse des PFC für die Entwicklung alternativer Lösungen und somit für das divergente Denken essentiell seien [Heilman et al., 2003].

4.4. Kritik an der vorliegenden Studie

In unserer Analyse erfolgte die Untersuchung gesunder Probanden mit akademischer Laufbahn und folglich einer relativ hohen Intelligenz. Da im Allgemeinen eine Beziehung zwischen Intelligenzniveau und Kreativität beobachtet wurde [Jung et al., 2009], können unsere Ergebnisse nur unter Berücksichtigung der beobachteten Population betrachtet werden. Darüberhinaus wiesen unsere Probanden, von der normalen Schulbildung abgesehen, keinerlei Erfahrung im Bereich des Kreativen Schreibens auf. Folglich war keiner der Probanden in der Lage, spezifisches Wissen oder Übung in Schreibtechniken in die Studie einzubringen, wie es möglicherweise für eine exaktere Untersuchung wünschenswert gewesen wäre. Des Weiteren erreichte keiner der Probanden im VKT Kreativitätsindizes von über 130 Punkten und damit das Niveau, ab dem hohe verbale Kreativität erwartet werden kann. Unsere Probanden erfüllten somit nicht die idealen Voraussetzungen hinsichtlich einer Untersuchung des Kreativen Schreibens.

Dennoch ist das Verfassen von Texten und Geschichten eine allgemeine menschliche Fähigkeit, auch wenn davon ausgegangen werden muss, dass sich die zerebralen Prozesse erfahrener und unerfahrener Probanden unterscheiden.

Hinsichtlich der Struktur des Paradigmas war die Zeitvorgabe für die Bearbeitung der einzelnen Aufgaben relativ kurz gehalten (ein bis zwei Minuten). Dies erfolgte, um die Konzentration der Probanden aufrechtzuerhalten, führte jedoch zu der Kritik, dass der Zeitraum für die kreative Fortsetzung eines literarischen Textes („Kreatives Schreiben“) nicht ausreichend sei. Die Zeitvorgabe für die Bearbeitung der Aufgabe des „Kreativen

Schreibens“ (140 s) resultierte aus einem Kompromiss zwischen einerseits dem Bedürfnis der Probanden ihre Ideen ausführlich auszudrücken und andererseits den zeitlichen Beschränkungen eines fMRT-Blockdesigns.

Die Berechnung der Korrelationsanalyse bezüglich der BOLD-Antworten der Subtraktionsanalyse „Kreatives Schreiben minus Schreiben“ und den CAT-Ergebnissen zeigte keine Gehirnaktivierungen. Des Weiteren konnte kein Zusammenhang zwischen den CAT-Ergebnissen (nach Amabile) und den VKT-Ergebnissen (nach Schoppe) gefunden werden.

Dem Kritikpunkt der Bewegungsartefakte versuchten wir entgegenzuwirken, indem der Kopf der Probanden eng gepolstert und der schreibende Arm durch Sandsäcke gestützt wurde. Außerdem installierten wir ein individuell verstellbares Schreibpult und Spiegelsystem. Zusätzlich wurde nach der Messung eine Bewegungskorrektur durchgeführt und die verbleibenden Bewegungsparameter als Kovariate eingeführt. Dennoch ist nicht auszuschließen, dass die BOLD-Antworten motorischer und sprachlicher Prozesse möglicherweise mit den kognitiven und kreativen Prozessen interferierten oder diese im tatsächlichen kreativen Moment sogar überschatteten. Darüberhinaus erschwerte die Komplexität sowie die Dauer der Aufgaben die Zuordnung der beobachteten Hirnaktivierungen zu den spezifischen Funktionen des kreativen Schreibprozesses.

5. Schlussfolgerung

Wir untersuchten die Gehirnaktivierungen während der Prozesse des Kreativen Schreibens, indem wir ein fMRT-Experiment aufbauten, welches das tatsächliche Aufschreiben von Geschichten in einem MR-Tomographen ermöglichte. Die Aufgabe „Brainstorming“ zeigte, dass das Generieren neuartiger und origineller Ideen sowie die gedankliche Erstellung des Konzeptes einer Geschichte fronto-parieto-temporale Gehirnareale aktivierte. Die ebenfalls beobachtete prämotorische Aktivität wies außerdem auf die bereits gleichzeitig ablaufende Vorbereitung des eigentlichen Schreibprozesses hin. Die Aufgabe „Kreatives Schreiben“ umfasste sowohl Prozesse des handschriftlichen Schreibens als auch kognitive Prozesse, die vornehmlich den Abruf des episodischen Gedächtnisses, die semantische Integration und eine frei-assoziative und spontane Textproduktion widerspiegeln. Die in den Prozess des „Kreativen Schreibens“ involvierte verbale Kreativität (gemäß des VKT) wurde durch Aktivierungen im linken IFG (BA 45) und im linken superioren temporalen Gyrus am Übergang zum Temporalpol (BA 38) repräsentiert.

Zusammengefasst geben unsere Ergebnisse einen Überblick über die Gehirnaktivitäten kreativer Schreibprozesse. Unser Paradigma weist jedoch auch einige, allerdings akzeptable und kontrollierbare, methodische Einschränkungen auf. Die vorliegende Studie stellt somit einen ersten Schritt zur Erforschung des Kreativen Schreibens mit Hilfe neurowissenschaftlicher Methodik dar, zeigt aber auch Grenzen und Variationsmöglichkeiten für zukünftige Untersuchungen auf.

Für eine präzisere Untersuchung dieses Themas sollte der Prozess des Kreativen Schreibens weiter unterteilt werden. Hierdurch könnten einzelne Subprozesse besser analysiert und so die neuronalen Korrelate spezifischer kognitiver Prozesse deutlicher dargestellt werden.

Vor diesem Hintergrund wird weitere Forschung notwendig sein, um das neuronale Geheimnis des Schreibens exzellenter und fesselnder Literatur zu lüften.

Anhang

1. Textmaterial A und B

Text A: Vorgänge im Gebirge (Thomas Bernhard aus *Der Untergeher*)

Ein Mann, ein Geiger, ein unbekannter Geiger, dessen Name mir beim besten Willen nicht einfallen will, sagte, als man ihn in einem Wirtshaus in Gletsch bat, ein wenig zu geigen, dass er seine Geige vergessen oder vielmehr verloren habe.

Tatsächliche Fortsetzung des Textes A:

Er glaube, er habe sie in Lax verloren, auf seinem Weg ins Gebirge, auf dem der Schnee derart dick den Boden bedecke, dass er gar nicht gespürt habe, wie sie hinabgefallen sei, sie sei ohne Geräusch hinabgefallen, er habe dieses Hinabfallen gar nicht bemerkt. Er sei an diesem Abend noch in ein Wirtshaus gegangen, wo man ihn aufgefordert habe, ein wenig zu geigen, und habe erst in diesem Moment entdeckt, dass er gar keine Geige mehr hatte. Vor allem deshalb sei er ein unbekannter Geiger geblieben, und zwar sein Leben lang.

Ein Beispiel für eine höchst kreative Fortsetzung des Textes A:

Er glaubte, dass sein Esel sie gefressen habe, der mochte schon immer Holz und hatte sicher daran geknabbert. Außerdem wäre sie eh nicht so wichtig gewesen. Er könne schließlich auch Kamm blasen. Also nahm der Geiger seinen Kamm und begann der Runde ein Lied zu blasen. Nach der Vorführung haben alle stark geklatscht und der Geiger, nun Kammläser

**Text B: Grausamer Selbstmord eines alten Mannes in Innsbruck
(Thomas Bernhard aus *Der Untergeher*)**

...Ursache ungeklärt...Vielleicht aus Einsamkeit, wie ein Experte glaubt, aus depressivem Frauenhass, hat letzten Donnerstag ein kinderloser Witwer die weibliche Belegschaft einer Wäscherei schockiert.

Tatsächliche Fortsetzung des Textes B:

Dass Alter kaum vor Perversionen schützt, beweist die eisige Gelassenheit, mit der der Mann am Morgen zur Tat schritt. Einen welken Rosenstrauß im Arm, betrat er das Geschäft, rief noch „Grüß Gott“ und bat um ein Glas Wasser für die Herztabletten. Kaum allein, verschwand er still im Nebenraum und legte seinen Kopf zwischen die Rollen einer Wäschemangel. Das Geräusch beschrieb ein Zeuge als das Knirschen einer Autopresse, sämtliche Wände bis zum zweiten Stock durchdringend.

Ein Beispiel für eine höchst kreative Fortsetzung des Textes B:

Der Mann betrat, wie ein normaler Kunde das Geschäft und gab Sachen zur Reinigung ab. Diese waren voller Blut von seiner Frau. Nachdem er diese am Vortag durch mehrere Messerstiche in der Küche ermordet hatte, wollte er nun die Sache „bereinigen“. Er selbst steckte seinen Kopf zwischen die Trocknerrollen und fand dadurch einen grausamen Tod.

2. Detaillierte Beschreibung des Verbalen Kreativitäts-Tests (Schoppe, 1975)

Der Verbale Kreativitäts-Test (VKT) nach Schoppe [Schoppe, 1975] erfasst verbal-produktive Attribute von Kreativität. Während einer Testdauer von 37 Minuten werden zwei Hauptprinzipien verbaler Produktion geprüft:

- I) der Abruf von Assoziationen (zum Beispiel *Produktion von Wörtern mit der gleichen Wortendung; Produktion von Sätzen aus Wörtern entsprechend gegebener Anfangsbuchstaben; Produktion verschiedener Wörter mit der gleichen funktionellen Bedeutung*) und
- II) der Abruf von Ideen (zum Beispiel *Ungewöhnliche Verwendungsarten; Utopische Situationen; Wortneuschöpfungen*).

Die Testauswertung erfolgte gemäß den mitgelieferten Instruktionen. Inadäquate Lösungen wurden anhand gegebener Kriterien ausgemustert. Die Rohwerte aller Einzelaufgaben wurden in sechs Standardwerte transformiert. Diese Standardwerte bezogen sich auf die entsprechende Standardpopulation (Ausbildung: Studenten, N=500, Alter: 20-35 Jahre). Der Mittelwert der sechs Standardwerte entsprach dem individuellen Kreativitätsindex (KI).

3. Zusatztabelle

3.1. TABELLE I. fMRT-Aktivierungen während der Aufgabe „Lesen“

Region		Brodmann Areal	t-Wert	MNI-Koordinaten			
				x	y	z	
Frontal	linker präzentraler Gyrus/M1	4	12.36	-33	-24	60	
	rechter präzentraler Gyrus/M1	4	6.34	51	3	36	
	linker mittlerer frontaler Gyrus/PMC	6	10.68	-24	-15	60	
	rechter mittlerer frontaler Gyrus/PMC	6	7.86	27	-3	51	
	linker superiorer frontaler Gyrus/SMA	6	10.53	-3	3	63	
	rechter superiorer frontaler Gyrus/SMA	6	8.69	6	9	51	
	rechtes mittleres Cingulum	24/32	7.91	6	15	42	
	linkes mittleres Cingulum	24/32	7.10	-6	-12	42	
	rechter mittlerer frontaler Gyrus	9/46	7.53	30	39	30	
	linker mittlerer frontaler Gyrus	9/46	4.22	-36	42	30	
	rechter inferiorer frontaler Gyrus	44/45	5.45	54	18	-3	
	linker inferiorer frontaler Gyrus	44/45	5.12	-54	15	3	
	rechte anteriore Insel		7.96	30	24	6	
	linke anteriore Insel		5.21	-30	24	6	
	rechtes anteriores Cingulum	24/32	4.99	9	27	27	
	linkes anteriores Cingulum	24/32	4.92	-6	18	30	
	linker präzentraler Gyrus/M1	4	12.36	-33	-24	60	
	Parietal	linker postzentraler Gyrus/S1	1/2/3	10.74	-36	-27	54
		rechter postzentraler Gyrus/S1	1/2/3	5.42	60	-15	27
		linker superiorer Parietallappen	7	7.12	-21	-54	54
rechter superiorer Parietallappen		7	6.93	24	-57	51	
linker supramarginaler Gyrus		40	5.76	-45	-42	21	
Temporal	linker superiorer temporaler Gyrus/STS	22	9.94	-51	-42	12	
	rechter superiorer temporaler Gyrus/STS	22	6.19	54	-24	3	
Okzipito-temporal	linker inferiorer temporaler Gyrus	37	7.09	-45	-69	-3	
	rechter inferiorer temporaler Gyrus	37	6.63	45	-63	-3	
	rechter okzipitaler Gyrus	19	11.96	33	-87	3	
	rechter Okzipitallappen	19	8.08	-36	-81	-9	
Okzipital	rechter Okzipitallappen	17/18	14.77	18	-93	3	
	linker Okzipitallappen	17/18	14.51	-18	-93	-3	
Cerebellum	Kleinhirnwurm		10.73	0	-60	-18	
	rechte anteriore Hemisphäre		10.50	18	-51	-18	
	linke posteriore Hemisphäre		6.90	-18	-66	-39	
Thalamus	linker Thalamus		8.22	-12	-18	9	
	rechter Thalamus		4.42	12	-18	9	
Putamen	linkes Putamen		5.13	-21	-3	9	

3.2. TABELLE II. fMRT-Aktivierungen während der Aufgabe „Abschreiben“

Region		Brodmann Areal	t-Wert	MNI-Koordinaten		
				x	y	z
Frontal	linker präzentraler Gyrus/M1	4	14.77	-33	-24	60
	rechter präzentraler Gyrus/M1	4	6.90	57	-21	42
	linker superiorer frontaler Gyrus/SMA	6	11.27	-6	6	51
	rechter superiorer frontaler Gyrus/SMA	6	10.17	9	6	54
	rechtes mittleres Cingulum	24/32	7.33	9	15	42
	linkes mittleres Cingulum	24/32	7.20	-3	-3	48
	linker mittlerer frontaler Gyrus/PMC	6	10.54	-27	-12	57
	rechter mittlerer frontaler Gyrus/PMC	6	8.30	27	-3	54
	linker präzentraler Gyrus/dPMC	6/9	7.18	-54	0	42
	rechter präzentraler Gyrus/dPMC	6/9	5.86	54	6	36
	rechter mittlerer frontaler Gyrus/dIPFC	9/46	7.03	30	39	30
	linker mittlerer frontaler Gyrus/dIPFC	9/46	4.83	-36	42	33
	rechter inferiorer frontaler Gyrus (pars opercularis)	44	6.26	57	15	0
	linkes anteriores Cingulum	32	3.91	-6	18	30
	linke anteriore Insel		4.31	-27	27	6
	linker präzentraler Gyrus/M1	4	14.77	-33	-24	60
	rechter präzentraler Gyrus/M1	4	6.90	57	-21	42
Parietal	linker postzentraler Gyrus/S1	1/2/3	11.74	-39	-27	54
	rechter postzentraler Gyrus/S1	1/2/3	6.66	63	-15	27
	linker superiorer Parietallappen	7	8.80	-21	-57	57
	rechter superiorer Parietallappen	7	8.66	21	-57	54
	linker supramarginaler Gyrus	40	7.11	-45	-30	24
Temporal	linkes Operculum Rolando		4.35	-42	0	15
Okzipito-temporal	rechter Okzipitallappen	19	8.35	39	-84	3
	rechter inferiorer temporaler Gyrus	37	7.95	51	-57	-6
	linker inferiorer temporaler Gyrus	37	7.20	-48	-69	-3
Okzipital	linker Okzipitallappen	17/18	10.80	-18	-93	-3
	rechter Okzipitallappen	17/18	10.22	36	-84	-3
Cerebellum	rechte anteriore Hemisphäre (Larsell H IV-V)		10.45	21	-51	-18
	Kleinhirnwurm		9.53	3	-57	-18
	linke posteriore Hemisphäre (Larsell H VII)		5.82	-33	-54	-24
Thalamus	linker Thalamus		6.86	-15	-21	9
Putamen	linkes Putamen		4.83	-18	-3	9

Zusammenfassung

Diejenigen Areale des Gehirns, die funktionell mit verbal-kreativen Prozessen in Verbindung stehen und darüberhinaus die Erstellung einer innovativen Geschichte ermöglichen sind bis heute weitestgehend unerforscht.

In der vorliegenden Studie nutzten wir die funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT), um verschiedene Teilaspekte des kreativen Schreibprozesses zu untersuchen. 28 Probanden wurden dazu einem Testverfahren unterzogen, das auf einem gänzlich neuen fMRT-Paradigma basierte. Es beinhaltete die Aufgaben „Brainstorming“ (Ideengeneration hinsichtlich einer individuellen Textfortsetzung eines gegebenen literarischen Textausschnitts) und „Kreatives Schreiben“ (tatsächliches Niederschreiben einer kreativen Fortsetzung des gegebenen Textausschnitts) sowie die Kontrollbedingungen „Lesen“ und „Abschreiben“.

Die Erfassung der individuellen verbalen Kreativität eines jeden Probanden erfolgte zum einen mit Hilfe eines verbalen Kreativitätstests, zum anderen durch eine professionelle Beurteilung aller Texte. Die Aufgabe des „Brainstormings“ zeigte ein Netzwerk von parieto-fronto-temporalen Gehirnaktivierungen, das kognitive, sprachliche und kreative Prozesse widerspiegelte. Des Weiteren aktivierte die Aufgabe des „Brainstormings“ visuelle Funktionen sowie das Vorstellungsvermögen und induzierte darüberhinaus bereits die motorische Vorbereitung des Schreibens. Die Hirnaktivitäten während der Aufgabe des „Kreativen Schreibens“ zeigten die motorischen und visuellen Funktionen des handschriftlichen Schreibens ebenso wie kognitive und sprachassoziierte Prozesse.

Eine Subtraktionsanalyse zwischen den Aktivierungen des „Kreativen Schreibens“ und des (bloßen) „Abschreibens“ eines Textes stellte die folgenden kognitiv-kreativen Leistungen dar: den Abruf episodischer Gedächtnisinhalte, eine hohe Beteiligung semantischer Integrationsprozesse sowie die Anwendung eines frei-assoziativen und spontanen Denkstils. Diese Prozesse zeigten sich in rechts-hemisphärisch betonten Aktivierungen beider Temporalpole, beider Hippocampusformationen und des bilateralen posterioren cingulären Kortex.

Eine Korrelationsanalyse zwischen den Ergebnissen der Subtraktionsanalyse „Kreatives Schreiben minus Abschreiben“ und den Ergebnissen des verbalen Kreativitätstests stellte

Aktivierungen im linken inferioren frontalen Gyrus (Brodmann Areal (BA) 45) und im linken superioren temporalen Gyrus am Übergang zum Temporalpol (BA 38) dar. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass an den untersuchten Schreibprozessen verbal-kreative Fähigkeiten wie Wortgewandtheit, semantischer Gedächtnisabruf sowie semantische Integrationsprozesse beteiligt sind.

Literaturverzeichnis

- Amabile TM. 1996. Creativity in Context. Boulder, CO: Westview Press. pp 19-79.
- Baldo JV, Schwartz S, Wilkins D, Dronkers NF. 2006. Role of frontal versus temporal cortex in verbal fluency as revealed by voxel-based lesion symptom mapping. *J Int Neuropsychol Soc* 12(6):896-900.
- Bechtereva NP, Korotkov AD, Pakhomov SV, Roudas MS, Starchenko MG, Medvedev SV. 2004. PET study of brain maintenance of verbal creative activity. *Int J Psychophysiol* 53(1):11-20.
- Bechtereva NP, Nagornova Zh V. 2007. [Changes in EEG coherence during tests for nonverbal (figurative) creativity]. *Fiziol Cheloveka* 33(5):5-13.
- Bechtereva NP, Starchenko MG, Kliucharev VA, Vorob'ev VA, Pakhomov SV, Medvedev SV. 2000. [Study of the brain organization of creativity. Part II. Positron emission tomography]. *Fiziol Cheloveka* 26(5):12-8.
- Bhattacharya J, Petsche H. 2005. Drawing on mind's canvas: differences in cortical integration patterns between artists and non-artists. *Hum Brain Mapp.* 26(1):1-14.
- Bhattacharya J, Petsche H, Pereda E. 2001. Long-range synchrony in the gamma band: role in music perception. *J Neurosci.* 15; 21(16):6329-37.
- Binder JR, Desai RH, Graves WW, Conant LL. 2009. Where is the semantic system? A critical review and meta-analysis of 120 functional neuroimaging studies. *Cereb Cortex* 19(12):2767-96.
- Bloedel JR. 1992. Functional heterogeneity with structural homogeneity: how does the cerebellum operate?. *Behav Brain Sci* 5:666-78.
- Buckner RL, Andrews-Hanna JR, Schacter DL. 2008. The brain's default network: anatomy, function, and relevance to disease. *Ann N Y Acad Sci* 1124:1-38.
- Bush G, Luu P, Posner MI. 2000. Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends Cogn Sci* 4(6):215-22.
- Bush G, Vogt BA, Holmes J, Dale AM, Greve D, Jenike MA, Rosen BR. 2002. Dorsal anterior cingulate cortex: a role in reward-based decision making. *Proc Natl Acad Sci U S A* 99(1):523-8.

- Chavez-Eakle RA, Graff-Guerrero A, Garcia-Reyna JC, Vaugier V, Cruz-Fuentes C. 2007. Cerebral blood flow associated with creative performance: a comparative study. *Neuroimage* 38(3):519-28.
- Cohen JD, Botvinick M, Carter CS. 2000. Anterior cingulate and prefrontal cortex: who's in control? *Nat Neurosci* 3(5):421-3.
- Curtis CE, D'Esposito M. 2003. Persistent activity in the prefrontal cortex during working memory. *Trends Cogn Sci* 7(9):415-23.
- de Souza LC, Volle E, Bertoux M, Czernecki V, Funkiewiez A, Allali G, Leroy B, Sarazin M, Habert MO, Dubois B and others. 2010. Poor creativity in frontotemporal dementia: a window into the neural bases of the creative mind. *Neuropsychologia* 48(13):3733-42.
- Dietrich A. 2004. The cognitive neuroscience of creativity. *Psychon Bull Rev* 11(6):1011-26.
- Dietrich A, Kanso R. 2010. A review of EEG, ERP, and neuroimaging studies of creativity and insight. *Psychol Bull* 136(5):822-48.
- Eickhoff SB, Stephan KE, Mohlberg H, Grefkes C, Fink GR, Amunts K, Zilles K. 2005. A new SPM toolbox for combining probabilistic cytoarchitectonic maps and functional imaging data. *Neuroimage* 25(4):1325-35.
- Fink A, Benedek M, Grabner RH, Staudt B, Neubauer AC. 2007. Creativity meets neuroscience: experimental tasks for the neuroscientific study of creative thinking. *Methods* 42(1):68-76.
- Fink A, Grabner RH, Benedek M, Reishofer G, Hauswirth V, Fally M, Neuper C, Ebner F, Neubauer AC. 2009. The creative brain: investigation of brain activity during creative problem solving by means of EEG and fMRI. *Hum Brain Mapp* 30(3):734-48.
- Flower LS, & Hayes, J. R.. 1981. A cognitive process theory of writing. *College Composition and Communication* 32(4):365-87.
- Gernsbacher MA, Kaschak MP. 2003. Neuroimaging studies of language production and comprehension. *Annu Rev Psychol* 54:91-114.
- Heilman KM, Nadeau SE, Beversdorf DO. 2003. Creative innovation: possible brain mechanisms. *Neurocase* 9(5):369-79.
- Heim S, Eickhoff SB, Amunts K. 2009. Different roles of cytoarchitectonic BA 44 and BA 45 in phonological and semantic verbal fluency as revealed by dynamic causal modelling. *Neuroimage* 48(3):616-24.

- Howard-Jones PA, Blakemore SJ, Samuel EA, Summers IR, Claxton G. 2005. Semantic divergence and creative story generation: an fMRI investigation. *Brain Res Cogn Brain Res* 25(1):240-50.
- Jung RE, Gasparovic C, Chavez RS, Flores RA, Smith SM, Caprihan A, Yeo RA. 2009. Biochemical support for the "threshold" theory of creativity: a magnetic resonance spectroscopy study. *J Neurosci* 29(16):5319-25.
- Jung-Beeman M. 2005. Bilateral brain processes for comprehending natural language. *Trends Cogn Sci* 9(11):512-8.
- Jung-Beeman M, Bowden EM, Haberman J, Frymiare JL, Arambel-Liu S, Greenblatt R, Reber PJ, Kounios J. 2004. Neural activity when people solve verbal problems with insight. *PLoS Biol* 2(4):E97.
- Katanoda K, Yoshikawa K, Sugishita M. 2001. A functional MRI study on the neural substrates for writing. *Hum Brain Mapp* 13(1):34-42.
- Kowatari Y, Lee SH, Yamamura H, Nagamori Y, Levy P, Yamane S, Yamamoto M. 2009. Neural networks involved in artistic creativity. *Hum Brain Mapp* 30(5):1678-90.
- Mashal N, Faust M, Hendler T, Jung-Beeman M. 2007. An fMRI investigation of the neural correlates underlying the processing of novel metaphoric expressions. *Brain Lang* 100(2):115-26.
- Mason MF, Norton MI, Van Horn JD, Wegner DM, Grafton ST, Macrae CN. 2007. Wandering minds: the default network and stimulus-independent thought. *Science* 315(5810):393-5.
- Miller BL, Boone K, Cummings JL, Read SL, Mishkin F. 2000. Functional correlates of musical and visual ability in frontotemporal dementia. *Br J Psychiatry* 176:458-63.
- Northoff G, Bermpohl F. 2004. Cortical midline structures and the self. *Trends Cogn Sci* 8(3):102-7.
- Oldfield RC. 1971. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 9(1):97-113.
- Olson IR, Plotzker A, Ezzyat Y. 2007. The Enigmatic temporal pole: a review of findings on social and emotional processing. *Brain* 130(Pt 7):1718-31.
- Ortheil H-J. 2005. Creative Writing. In: Schütz E, Bittkow, S., Oels, D., Porombka, S., Wegmann, T., editor. *Das BuchMarktBuch; Der Literaturbetrieb in Grundbegriffen*. Reinbek bei Hamburg: Rowolt Taschenbuch Verlag. pp 100-103.

- Price CJ. 2010. The anatomy of language: a review of 100 fMRI studies published in 2009. *Ann N Y Acad Sci* 1191:62-88.
- Rijntjes M, Dettmers C, Buchel C, Kiebel S, Frackowiak RS, Weiller C. 1999. A blueprint for movement: functional and anatomical representations in the human motor system. *J Neurosci* 19(18):8043-8.
- Roux FE, Dufor O, Giussani C, Wamain Y, Draper L, Longcamp M, Demonet JF. 2009. The graphemic/motor frontal area Exner's area revisited. *Ann Neurol* 66(4):537-45.
- Schoppe K-J, editor. 1975. *Verbaler Kreativitäts-Test (V-K-T) [Verbal creativity test]*. Göttingen: Hogrefe.
- Shaywitz SE, Shaywitz BA. 2008. Paying attention to reading: the neurobiology of reading and dyslexia. *Dev Psychopathol* 20(4):1329-49.
- Starchenko MG, Bekhtereva NP, Pakhomov SV, Medvedev SV. 2003. [Study of the brain organization of creative thinking]. *Fiziol Cheloveka* 29(5):151-2.
- Sternberg RJ, Lubart, T. I. 1999. The Concept of Creativity. Prospects and Paradigms. In: Sternberg RJ, editor. *Handbook of Creativity*. Cambridge: Cambridge University Press. pp 3-15.
- Troyer AK, Moscovitch M, Winocur G, Alexander MP, Stuss D. 1998. Clustering and switching on verbal fluency: the effects of focal frontal- and temporal-lobe lesions. *Neuropsychologia* 36(6):499-504.
- Tzourio-Mazoyer N, Landeau B, Papathanassiou D, Crivello F, Etard O, Delcroix N, Mazoyer B, Joliot M. 2002. Automated anatomical labeling of activations in SPM using a macroscopic anatomical parcellation of the MNI MRI single-subject brain. *Neuroimage* 15(1):273-89.
- Ward TB, Smith, S. M., Finke, R. A. 1999. Creative Cognition. In: Sternberg RJ, editor. *Handbook of Creativity*. Cambridge: Cambridge University Press. pp 189-212.
- Whitney C, Weis S, Krings T, Huber W, Grossman M, Kircher T. 2009. Task-dependent modulations of prefrontal and hippocampal activity during intrinsic word production. *J Cogn Neurosci* 21(4):697-712.

Publikation

◆ Human Brain Mapping 00:00–00 (2011) ◆

Neural Correlates of Creative Writing: An fMRI Study

Carolyn Shah,¹ Katharina Erhard,¹ Hanns-Josef Ortheil,² Evangelia Kaza,¹
Christof Kessler,³ and Martin Lotze^{1*}

¹Functional Imaging Unit, Institute for Diagnostic Radiology and Neuroradiology,
University of Greifswald, Germany

²Institute for Creative Writing and Cultural Journalism, University of Hildesheim, Germany

³Department of Neurology, University of Greifswald, Germany

Abstract: Cerebral activations involved in actual writing of a new story and the associated correlates with creative performance are still unexplored. To investigate the different aspects of the creative writing process, we used functional magnetic resonance imaging while 28 healthy participants performed a new paradigm related to creative writing: “brainstorming” (planning a story) and “creative writing” (writing a new and creative continuation of a given literary text), as well as an additional control paradigm of “reading” and “copying.” Individual verbal creativity was assessed with a verbal creativity test and creative performance with a qualitative rating of the creative products. “brainstorming” engaged cognitive, linguistic, and creative brain functions mainly represented in a parieto-frontal-temporal network, as well as writing preparation, and visual and imaginative processing. “creative writing” activated motor and visual brain areas for handwriting and additionally, cognitive and linguistic areas. Episodic memory retrieval, free-associative and spontaneous cognition, and semantic integration were observed in a right lateralized activation pattern in bilateral hippocampi, bilateral temporal poles (BA 38), and bilateral posterior cingulate cortex in a “creative writing” minus “copying” comparison. A correlation analysis of “creative writing” minus “copying” with the creativity index revealed activation in the left inferior frontal gyrus (BA 45) and the left temporal pole (BA 38). Thus, verbal creativity during “creative writing” is associated with verbal and semantic memory as well as semantic integration. *Hum Brain Mapp* 00:000–000, 2011. © 2011 Wiley Periodicals, Inc.

Key words: creativity; writing; temporal lobe

INTRODUCTION

Carolyn Shah and K. Erhard contributed equally to this work. Additional Supporting Information may be found in the online version of this article.

Contract grant sponsor: University of Greifswald.

*Correspondence to: Martin Lotze, M.D., Functional Imaging Unit, Center for Diagnostic Radiology and Neuroradiology, University of Greifswald, Walther-Rathenau-Str. 46; 17475 Greifswald, Germany. E-mail: martin.lotze@uni-greifswald.de

Received for publication 14 July 2011; Revised 20 September 2011; Accepted 22 September 2011

DOI: 10.1002/hbm.21493

Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com).

Writing fascinating literature is one of the main artistic expressions of humans. However, actual writing of a creative story in a functional magnetic resonance imaging (fMRI) scanner has not yet been investigated. Currently, most creativity researchers agree that creativity “is the ability to produce work that is both novel (i.e., original, unexpected) and appropriate (i.e., useful, adaptive concerning task constraints)” [Sternberg, 1999]. Furthermore, a creative task should be heuristic (i.e., an open-ended task and problem discovery is an important aspect), and a qualitative assessment of creativity should be grounded in domain-specific judgments [Amabile, 1996].

In general, it can be assumed that everyone has a latent potential for producing creative artwork, considering creativity as cognitive processes [Ward, 1999]. With respect to professional writing in a literary context, creative writing comprises the critically reflected and professionally supervised acquisition of literary writing techniques [Ortheil, 2005]. Flower and Hayes [Flower, 1981] developed a model of the writing process that considered text composition as a cognitive process characterized by decisions, high hierarchical organization, and goal-directed thinking. In their “cognitive process theory of writing,” the writing process consists of “planning,” “translating,” and “reviewing.” Flower and Hayes [1981] developed the “cognitive process theory of writing” from behavioral observations by protocol analysis about thinking aloud during the act of composing. The act of writing contains the task environment, the writer’s long-term memory and the writing processes. All these elements are characterized by a high hierarchical organization, and goal-directed thinking. The writing process consists of “planning” by generating ideas from a long-term-memory retrieval, organizing the ideas into a meaningful structure and goal-setting, “translating” by transcribing the ideas into a written text and applying the knowledge of language, and “reviewing” by evaluating and revising the written text.

Previous neuroscientific research on creative writing is sparse and thus little is known about its neural correlates. Some knowledge has been gathered on motor processes associated with writing [Katanoda et al., 2001]. However, the neural correlates of cognitive processes during writing are still unexplored. Current creativity studies can be categorized into divergent thinking, insight, and art performance; however, their results vary and creativity is apparently not associated with any particular brain area [Dietrich and Kanso, 2010]. In previous research, possible creativity-relevant brain areas were mainly observed in frontal, temporal, and parietal brain regions [Heilman et al., 2003]. The prefrontal cortex (PFC) in particular seems to play a critical role for insight solutions and divergent thinking [Dietrich, 2004; Dietrich and Kanso, 2010]. Earlier studies about creative story generation associated verbal creativity predominantly with left parieto-temporal regions (BAs 39/40), [Bechtereva et al., 2004] and divergent semantic processing with the right PFC (BAs 9/10) [Howard-Jones et al., 2005]. A clinical lesion study [Troyer, 1998] on verbal fluency referred phonemic-fluency associated with switching to the frontal lobe and semantic-fluency associated with clustering to the temporal lobe.

To date, only one fMRI study [Howard-Jones et al., 2005] and two positron emission tomography (PET) studies [Bechtereva et al., 2004; Bekhtereva et al., 2000] investigated creativity applying a story-generation task. However, in all these studies, story generation was restricted to a mental process without physically performing the story writing itself. In contrast, we instructed participants to actually write down their individual continuation of a given literary text during fMRI scanning. Therefore, we applied an avail-

able neuroscientific fMRI scanner setting according to the contemporary methodologies of creativity [Fink et al., 2007]. The produced written text should serve as a control for brain activities during scanning, and as a real product of the scanning process enabling a qualitative assessment of the creative performance by the consensual assessment technique (CAT) according to Amabile [1996]. For this reason, we developed a paradigm based on a common practice and training method of creative writing (working creatively with a given literary text). Writing a continuation of a literary text is obviously a heuristic and open-ended task [Amabile, 1996]. The requirements of the common definition of creativity [Sternberg, 1999] were met by our scanning task, including originality and novelty by composing an individual text version, and appropriateness by adapting to the given story beginning and its literary context. Thus, our task might comply better with real-life creativity of literary writing.

Based on previous theoretical considerations, earlier neuroscientific findings on verbal creativity and story generation and behavioral observations on writing we hypothesized the following:

- a. Actual and real-life creative writing can be performed during fMRI-scanning and should enable the identification of cognitive and creative processes by using a categorical design. Additionally, this offers a control for cerebral processes by producing a written text during scanning and enables an assessment of the performance during fMRI-scanning.
- b. The usage of our new paradigms based on the behavioral observations of Flower and Hayes [1981] should help to isolate different cerebral networks associated with processes involved in creative writing.
- c. Subtraction analysis between the actual “creative writing” condition and the control condition “copying” (“creative writing - copying”) should reveal the cognitive writing network, in particular the network of active writing a new own creative text version compared to copying one. We expected memory processes for long-term memory retrieval referring probably to stored knowledge and generating ideas.
- d. Creativity relevant neural functions can be identified by regression analysis of verbal creativity scores (CI) and blinded assessment of creativity of the written text. In accordance to previous imaging studies on verbal fluency [Troyer, 1998] and creative story generation [Howard-Jones, 2005] the creativity relevant regions are proposed in frontal and temporal regions.

Altogether, the aim of our study was to develop a new fMRI paradigm to explore the cerebral network of creative writing processes. For that purpose, we followed the

“cognitive process theory of writing” of Flower and Hayes [Flower and Haynes, 1981] to differentiate the processes related to creative writing. With respect to the “planning” and “translating” phases, we investigated brain activity during “brainstorming” and “creative writing” of a new continuation of a given literary text. “creative writing” was contrasted with the control condition “copying” a part of the text, to explore the cognitive and creative brain activity. By performing an additional correlation analysis for the creativity index (CI), Schoppe, 1975 of the participants and the ratings of the written text [CAT according to Amabile (Amabile, 1996)], we intended to isolate those areas that should predominantly indicate creativity during the writing process.

MATERIALS AND METHODS

Participants

Fourteen male and 14 female native German speakers (average age 24.0 ± 1.9 years), having no psychological or neurological disorders, participated in this study. All participants were strongly right-handed (average score of the Edinburgh Handedness Test [Oldfield, 1971]: $+99.68 \pm 1.67$). All participants were inexperienced in creative writing and gave their written informed consent to the study, which was approved by the Ethics Committee of the Medical Faculty of the University of Greifswald.

Instructions

Before scanning, participants received written instructions about the sequence of the tasks, the prohibition of head- and body movements except for necessary hand- and eye movements, the need of visual fixation of the presented cross during rest and the prohibition of oral communication except in case of an emergency.

Each of the tasks in the scanner was described in a highly standardized way. Participants were asked to carry out a task as long as it was presented to them. Furthermore, for “brainstorming” and “creative writing” participants were instructed to compose as creative stories as possible, with the restriction that stories should always be realistic and appropriate to the task. This explanation was derived from the most common definition of creativity of Sternberg and Lubart [1999]. Participants were allowed to write down a different story during “creative writing” as obtained during “brainstorming.”

Experimental Design

Participants lay supine on the scanner couch during task execution. The tasks were printed on sheets of paper (210×297 mm²), which were successively placed by an assistant on the inclined surface of a plastic desk positioned over the participants’ hips (see Fig. 1). The assistant

was standing beside the scanner during the fMRI investigation, changing the paper sheets between the different scanning tasks. Visual contact with the paper sheets for reading and writing was enabled by a double-mirror system attached to the head coil. The participants’ right upper arm was supported by cushions to restrict arm movements during writing, and the desk position was individually adjusted with respect to the arm length.

The presented texts A and B were passages of “The Loser,” written by Thomas Bernhard and selected by our coauthor from the University of Hildesheim. Text B is kept in the format of a newspaper report and is therefore highly different to the first text. The text and two examples for a highly creative continuation of the text are provided in the Supporting Information.

The experimental design included two blocks, each containing a different text, A or B, presented to each participant in a random order to prevent methodological artifacts. Each block included the four tasks in the following constant order:

1. Covert “reading” of the text (~120 words) for 60 s.
2. “Copying” the first part of the given text (~35 words) by writing with a felt-tip pen for 60 s.

Both Tasks 1 and 2 served as control conditions.

Participants were supposed to perform them continuously during the entire 60 s. In case they reached the end of the presented text before termination of this period, they had to start over. The constant performance during the activation period was controlled by the first author standing next to a participant in the scanner room.

3. “Brainstorming”: the first 30 words of the previous text were presented for 60 s, during which the participants thought about the presented text, generating ideas for their highly creative continuation without being allowed to actually write.
4. “Creative writing”: the actual writing of a new, creative continuation of the same given text for 140 s. The participants were instructed to physically write a new, individual, original but appropriate continuation of the given text. They were allowed to free themselves from the ideas obtained during “brainstorming” if they wished.

Between tasks, a fixation cross was presented for 20 s to assess baseline activities and to separate the various task-dependent brain activities.

Behavior Evaluation

To assess the participants’ behavior during scanning, a feedback questionnaire was given containing visual analogue scales (VAS) 10 cm in length. The participants were asked about the appropriateness of the setting, the concentration level during the scanning tasks, and the grade of

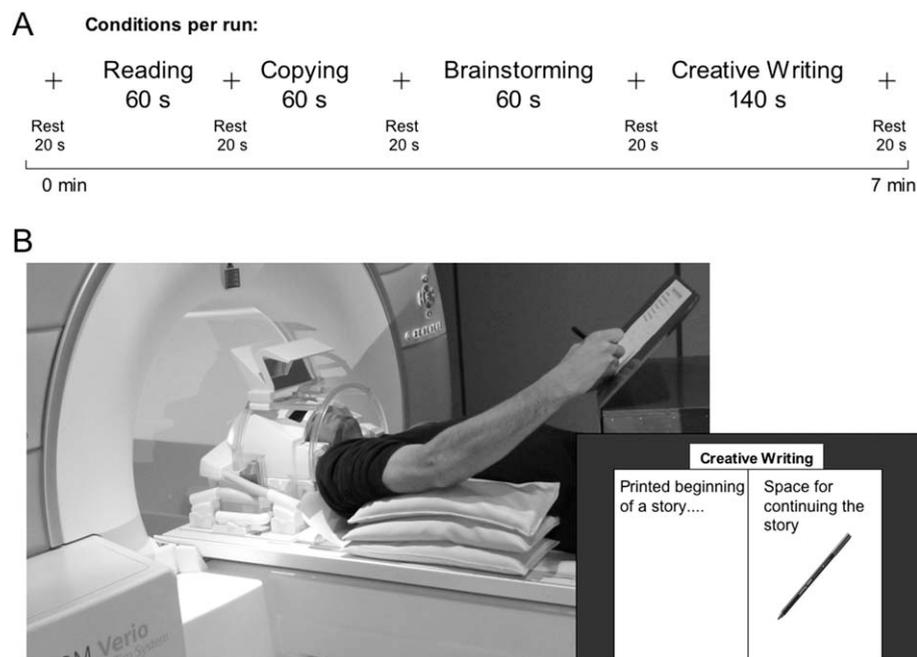


Figure 1.

Scanning conditions and scanning environment. **A:** Conditions were presented in a uniform sequence. To ensure subjects' constant concentration during scanning, task duration was restricted to 60 s, while actual "creative writing" was performed for 140 s. Each condition was followed by a fixation cross lasting 20 s.

B: Participant positioning during writing in the scanner. The space for writing included the whole paper sheet except the printed text beginning. Writing was performed with a conventional felt-tip pen. Visual control was enabled by a double mirror system.

parallelism between the stories during "brainstorming" and "creative writing."

Creativity Evaluation

To assess participants' creativity, we applied two established methods: the CAT according to Amabile [1996], and a German verbal-productive creativity test, the "Verbaler Kreativitäts-Test" [Schoppe, 1975]; for further information see Supporting Information).

In accordance with the CAT [Amabile, 1996], all produced texts were typewritten and sent in a randomized order to five independent judges, who were generally familiar with the domain (German teachers). All judges rated the creativity of each text on a 10-cm-long VAS (from 0: not creative at all, to 10: extremely creative). The creativity score was calculated for every participant using the mean value over both texts A and B of the "creativity" criterion rating from all judges. To examine the interjudge reliability, we computed Cronbach's alpha using the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS 19.0).

The verbal creativity test [Schoppe, 1975], yielding a creativity index (CI) (see Supporting Information), consisted of nine subtests analyzing the participants' verbal fluency and verbal production skills. Test evaluation was performed according to given instructions.

fMRI Data Acquisition

Data were acquired at a 3T Siemens Magnetom Verio (Siemens, Erlangen, Germany) with a 32-channel head coil. For each block, A and B, 275 two-dimensional echo-planar images (EPI) were acquired with repetition time $TR = 2,000$ ms, echo time $TE = 30$ ms, flip angle $\alpha = 90^\circ$, and field-of-view (FOV) 192×192 mm². Each volume consisted of 34 slices with a voxel size of $3 \times 3 \times 3$ mm³ with a 1-mm gap between them. The first two volumes of each session were discarded to allow for T1 equilibration effects. Thirty-four phase and magnitude images were acquired in the same FOV by a gradient echo sequence with $TR = 488$ ms, $TE(1) = 4.92$ ms, $TE(2) = 7.38$ ms, and $\alpha = 60^\circ$ to calculate a field map aiming at correcting geometric distortions in the EPI images. An anatomical T1-weighted three-dimensional magnetization prepared rapid gradient echo image was acquired for each participant. The total number of sagittal anatomical slices amounted to 176 ($TR = 1,900$ ms, $TE = 2.52$ ms, $\alpha = 90^\circ$, voxel size = $1 \times 1 \times 1$ mm³).

Data Analysis

Data were analyzed using SPM5 (Wellcome Department of Cognitive Neuroscience, London, UK) running on Matlab version 7.4 (MathWorks; Natick, MA). Unwarping of

geometrically distorted EPIs was performed in the phase encoding direction using the FieldMap Toolbox available for SPM5. Each individual scan was realigned to the first scan to correct for movement artifacts. The absolute realignment parameters x , y , z , pitch, roll and yaw were averaged over all participants for each condition, yielding the mean values of translational and rotational motion for a condition. The realigned and unwarped EPIs were coregistered to the T1-weighted anatomical image. For normalization, the coregistered T-1 image was segmented, normalized to the Montreal neurological institute (MNI) template, and the EPIs were resliced at $3 \times 3 \times 3 \text{ mm}^3$. The resulting images were smoothed with a $9 \times 9 \times 9 \text{ mm}^3$ [full-width at half maximum (FWHM)] Gaussian Kernel filter to increase the signal-to-noise ratio. A temporal high-pass filter (128 s) was applied to remove slow signal drifts. Movement parameters estimated during the realignment procedure were introduced as covariates into the model to control for variance due to head displacements. Individual statistical maps (fixed effect) of the main (“brainstorming” and “creative writing”) and control (“reading” and “copying”) conditions were evaluated for each participant using the general linear model. Corresponding contrast images of each participant were then entered into a random effect analysis at the second level of SPM5, which accounts for the variance between participants. One-sample t tests were performed to evaluate significant activations per condition. A correlation analysis of verbal CIs with the imaging data was performed by calculating a simple regression. Spatial assignment of significant brain areas was conducted with the SPM Anatomy Toolbox Version 1.6 [Eickhoff et al., 2005] and, if regions were not defined by ANATOMY, using anatomical masks from the Automated Anatomical Labeling software [Tzourio-Mazoyer et al., 2002]. Brain activations were superimposed on the MNI render brain and on the T1-weighted Collins single-participant brain. We reported significant brain activations above an intensity threshold of $P < 0.001$, uncorrected, and an extent voxel size threshold of 10 voxels for the main effects, and of 5 voxels for the comparison and correlation analyses.

RESULTS

Behavioral Results

Participants rated the situation of writing in the scanner as acceptable (appropriateness of the setting: 6.4 ± 2.3 credits). The participants tended to write a different version of text continuation during “creative writing” than what was invented during “brainstorming” [story parallels: 4.6 ± 2.3 (0 = different text; 10 = same text)]. Concentration during “brainstorming” and “creative writing” was rated as moderately high (average 7.5 ± 1.8), and both texts A and B did not differ with respect to concentration [average $t < 1.23$ (27); $P > 0.23$].

Evaluation of Creativity

The inter-judge reliability of the CAT for the criterion “creativity” was satisfactory (Cronbach’s alpha = 0.72). The verbal creativity test revealed an average CI of 107.14 ± 8.84 (range of our participants: 92–127 credits). The CI and CAT results were not associated ($r = 0.27$; n.s.).

Imaging Data

The averaged translational and rotational motion was 0.07 mm and 0.01 degrees for reading, 0.23 mm and 0.03 degrees for brainstorming and 0.39 mm and 0.05 degrees for creative writing. Thus movements were on average quite low, not exceeding half a millimetre. The fMRI results were calculated over both texts, since they did not differ with respect to participants’ concentration during the performance.

Main Effects

“Reading” revealed a left lateralized brain network involving the typical neural systems for reading [Shaywitz and Shaywitz, 2008]: Broca’s area (BA 44/45) and its homologue, parieto-temporal regions [bilateral superior temporal sulci (STS), left Wernicke’s area of BA 22/40], and the occipito-temporal region (BA 19/37)]. Additional cognitive brain activity was observed bilaterally in the dorsolateral PFC (dlPFC, BA 9/46), anterior cingulum (BA 24/32), and the anterior insula (all with lateralization to the right hemisphere). Activations were additionally manifested in the motor system comprising the bilateral primary motor and sensorimotor cortices (both in the somatotopic representation of articulation), and the hand motor system located in the left precentral gyrus (BA 4). Furthermore, secondary motor areas [supplemental motor area (SMA) and premotor cortex (PMC)] were activated, as well as the left putamen, the thalami, the cerebellar hemispheres, and the vermis. The primary visual cortex was activated bilaterally (see Supporting Information Table I).

“Copying” manifested its activation network predominantly in motor regions, including the primary motor cortex (BA 4, M1; the maximum located in the left hemispheric somatotopic representation of hand movements and additionally in bilateral articulation areas), the sensorimotor cortex (BA 1/2/3, S1; in the corresponding somatotopic representation of motor activity), the anterior part of the bilateral superior parietal lobule (BA 7), and secondary motor areas (BA 6, SMA, PMC), including the posterior end of the middle frontal gyrus [on the left representing Exner’s Area (Roux et al., 2009)] and the frontal eye field, left thalamus, left putamen, and the cerebellum. Further activations were observed in visual and linguistic areas as the bilateral visual cortex, the bilateral occipito-temporal cortex, and the frontal regions, including the bilateral dlPFC (BA 9/46), the left insula, and the right

TABLE I. Brain regions activated during “brainstorming”

Region		Brodmann area	<i>t</i> value	MNI-coordinates		
				<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>
Frontal	Left inferior frontal gyrus (p. triang.)	44/45	10.53	-42	21	3
	Left inferior frontal gyrus (p. oper.)	44/45	7.54	-48	15	9
	Left inferior frontal gyrus (p. orb.)	47	8.83	-45	18	-3
	Right inferior frontal gyrus (p. triang.)	44/45	4.21	51	21	24
	Right inferior frontal gyrus (p. oper.)	44/45	4.12	48	18	27
	Right inferior frontal gyrus (p. orb.)	47	7.50	45	24	-9
	Left anterior insula	13	9.51	-33	24	0
	Right anterior insula	13	7.59	39	24	-6
	Left inferior frontal gyrus/middle orbital gyrus	10	4.27	-45	45	0
	Right inferior frontal gyrus/ middle orbital gyrus	11	5.86	39	33	-12
	Left anterior cingulate cortex	24/32	4.87	-9	27	30
	Left superior frontal gyrus/mPFC	8	6.29	-6	21	42
	Right superior frontal gyrus/mPFC	8	4.85	3	24	60
	Left superior frontal gyrus/SMA	6	9.36	-3	9	60
	Left middle frontal gyrus/dPMC	6	9.69	-42	0	51
	Right middle frontal gyrus/dPMC	6	4.01	48	15	51
	Left middle frontal gyrus/dlPFC	9/46	5.56	-51	18	27
Parietal	Left supramarginal gyrus	40	4.75	-48	-51	24
	Left angular gyrus	39	4.57	-45	-51	21
	Left inferior parietal lobule	40	3.70	-54	-51	36
Temporal	Left medial temporal gyrus/STS		7.54	-48	-39	6
	Right medial temporal gyrus/STS		6.35	51	-30	0
	Left superior temporal gyrus	21	6.56	-57	-39	9
	Right superior temporal gyrus	21	6.09	51	-27	0
	Left medial temporal gyrus	21	6.02	-57	-9	-6
	Left temporal pole	38	4.84	-48	15	-21
Occipital	Right occipital lobe	17/18	10.21	21	-90	-3
	Left occipital lobe	17/18	9.26	-21	-90	-6
	Left occipital gyrus	19	5.55	-24	-84	-18
Cerebellum	Right ant. cerebell hem. (Larsell H VI)		5.57	36	-66	-21
	Cerebellar vermis		4.71	6	-75	-21
	Left post. cerebell hem. (Larsell H VII)		4.62	-39	-63	-30

inferior frontal gyrus (IFG, BA 44; see Supporting Information Table II).

“Brainstorming” revealed a bilateral but more left-focused network of activation (see Table I and Fig. 2). The strongest activation was observed in the left IFG (i.e., Broca’s area BA 44/45, and BA 47), including the left anterior insula, left dlPFC (BA 9/46), and reaching to left lateral orbito-frontal regions (BA 10). The right hemispheric brain activity was observed similarly in the right IFG (BA 44/45, and BA 47), including the right anterior insula and right orbital regions (BA 11). The dorsal PMC (dPMC, BA 6) was activated bilaterally. Further activity was observed in the left medial SMA (BA 6), medial PFC (BA 8), and the dorsal anterior cingulate cortex (dACC, BA 24/32). A broad left activation comprised the inferior parietal cortex (BA 39/40, including Wernicke’s area), the superior temporal cortex (BA 22 and STS), and the temporal pole (BA 38). The right posterior STS showed a more circumscribed activation. Furthermore, bilateral visual cortical hemispheres (BAs 17/18/19) and the cerebellum (right anterior

and left posterior cerebellar hemisphere and vermis) were activated.

“Creative writing” (see Table II and Fig. 2) activated predominantly motor-associated areas including the primary motor cortex (BA 4, M1; located in the somatotopic area of the right hand and right articulation representation) with the corresponding somatosensory areas (BA 1/2/3, S1), as well as bilateral secondary motor areas (dPMC, SMA), the middle cingulum, bilateral superior parietal lobules (BA 7), the left thalamus, and cerebellar activity (mainly the right anterior lobe and vermis). The activation extended to bilateral occipital-temporal regions (BAs 37 and BA 19) and to the bilateral visual cortex (BA 17/18). Furthermore, cerebellar activations were observed in the right anterior and both posterior lobes, as well in the vermis. In particular, the frontal activations were located in bilateral IFG (BAs 44), bilateral middle frontal gyrus (BA 9), and the right dlPFC (9/46), as well as temporal lobe activations in the posterior part of the superior temporal gyrus (BA 22/STS).

TABLE II. Brain regions activated during “creative writing”

Region		Brodmann area	<i>t</i> value	MNI-coordinates			
				<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	
Frontal	Left precentral gyrus/M1	4	11.32	-36	-18	57	
	Right precentral gyrus/M1	4	5.84	63	-12	27	
	Left precentral gyrus/dPMC	6	10.12	-27	-15	60	
	Right precentral gyrus/dPMC	6	7.66	27	-3	51	
	Left superior frontal gyrus/SMA	6	9.20	-3	0	66	
	Right superior frontal gyrus/SMA	6	6.51	9	9	54	
	Left middle cingulate gyrus	24/32	5.31	-9	12	42	
	Right middle frontal gyrus	9	8.81	51	6	33	
	Left middle frontal gyrus	9	7.49	-57	3	39	
	Right middle frontal gyrus	9/46	4.37	33	45	36	
	Right inferior frontal gyrus (p. oper.)	44	5.19	63	12	12	
	Left inferior frontal gyrus (p. oper.)	44	4.54	-54	12	3	
	Parietal	Left postcentral gyrus/S1	1/2/3	10.50	-36	-24	54
		Right postcentral gyrus/S1	1/2/3	5.96	42	-33	45
Right superior parietal lobule		7	10.17	21	-60	60	
Left superior parietal lobule		7	7.66	-24	-54	57	
Temporal	Left superior temporal sulcus/superior temporal gyrus	22	4.80	-57	-42	12	
Occipito-temporal	Right inferior temporal gyrus	37	9.30	48	-60	-12	
	Left inferior temporal gyrus	37	8.14	-45	-72	-3	
	Right occipital gyrus	19	8.61	33	-87	3	
	Left occipital gyrus	19	8.38	-39	-81	3	
Occipital	Right occipital lobe	17/18	11.85	27	-90	0	
	Left occipital lobe	17/18	9.88	-21	-93	-3	
Cerebellum	Right post. cerebell hem. (Larsell H VIII)		10.22	15	-60	-42	
	Right ant. cerebell. hem. (Larsell H IV-V)		9.67	18	-51	-18	
	Cerebellar vermis		8.18	6	-63	-33	
	Left post. cerebell hem. (Larsell H VII)		6.03	-30	-57	-24	
Thalamus	Left thalamus		5.74	-12	-18	12	

Differences Between the Contrasts of Creative Task Minus the Control Paradigm

“Creative writing” minus “copying” (“creative writing – copying”; see Table III, Fig. 3) focused the highest activation in the right medial temporal pole (BA 38) and the left temporal pole (BA 38). Activations were further located in the bilateral posterior cingulate cortex (BA 31) and the bilateral hippocampus. All regions showed lateralized activity to the right hemisphere.

Correlation Analysis of “Creative Writing – Copying” With CI and CAT Results

A positive correlation of “creative writing – copying” with the CI was observed in the left superior temporal gyrus reaching the temporal pole (BA 38, $t = 3.78$; $-54, 0, -12$) and the left IFG (BA 45, $t = 3.69$; $-51, 21, 27$; see Fig. 4).

Correlation analyses between the fMRI images of “creative writing – copying” and the CAT results did not show any significant results.

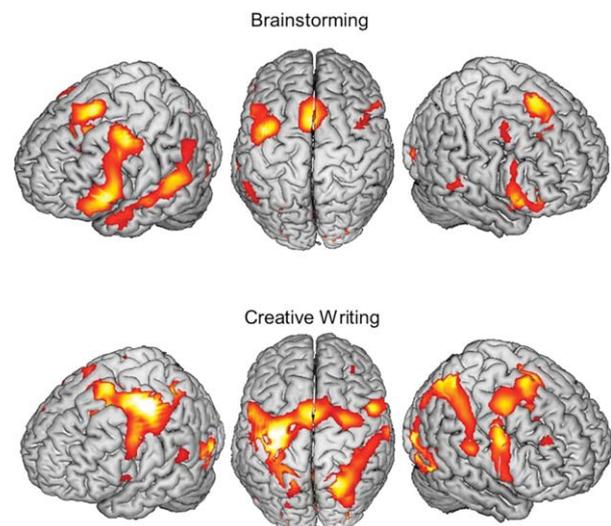


Figure 2.

Overview of the cortical activation map for the main effects of the conditions “brainstorming” (top row) and “creative writing” (bottom row) projected on the segmented MNI-brain thresholded with $P < 0.001$, uncorrected. [Color figure can be viewed in the online issue, which is available at wileyonlinelibrary.com.]

TABLE III. Brain regions for “creative writing - copying”

Region		Brodmann area	<i>t</i> value	MNI-coordinates		
				<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>
Temporal	Right medial temporal pole	38	7.68	45	12	-27
	Left temporal pole	38	5.73	-42	3	-27
Hippocampus	Right hippocampus		4.76	18	-18	-15
	Left hippocampus		3.73	-27	-15	-18
Cingulum	Right posterior cingulate cortex	31	5.69	12	-48	36
	Left posterior cingulate cortex	31	3.93	-12	-48	39

DISCUSSION

This study can be regarded as the first contribution to scientific literature that applies an actual writing paradigm with a creative story-generation task as realistic as possible during fMRI-scanning. For this purpose we investigated BOLD response during “brainstorming” and “creative writing” according to the writing model of Flower and Hayes [1981]. Our results provide a cerebral network during “brainstorming,” predominantly including language processing located in the bilateral IFG and left temporal activation, high hierarchical organization in the PFC, and cognitive decision processes in the dACC. “Creative writing” itself included activation patterns associated with handwriting, language processing, and cognitive areas. More specifically, the contrast “creative writing – copying” revealed areas associated with memory retrieval, semantic integration, free association, and spontaneous cognition. The findings on verbal creativity were located in a left fronto-temporal network, consisting of the left IFG (BA 45) and the left temporal pole (BA 38).

Brainstorming

The strongest and most widespread activation of left frontal brain regions in “Brainstorming” (located in the left IFG, extending to the precentral gyrus, the SMA, and the medial left ACC) corresponds to the main brain activations in the generation of novel concepts and ideas in verbal creative tasks (e.g., “alternative uses” and “name invention”), [Fink et al., 2009].

The left lateralized frontal activations in the bilateral IFG (BAs 44/45 and 47) extending to the anterior insula are predominantly associated with language processing and verbal fluency. In particular, the left IFG (BAs 44/45) plays a key role in cognitive tasks demanding verbal information processing [Gernsbacher and Kaschak, 2003] and is critical for word retrieval and the conceptual system of speech production [Price, 2010]. Clinical lesion studies reported an association of damage to the frontal lobe (BAs 4, 6, 44) with letter fluency [Baldo et al., 2006], and dorso-lateral damage with impaired switching during verbal fluency [Troyer et al., 1998]. Therefore, we suggest that the observed activation in these frontal linguistic areas during “brainstorming” might be associated with a flexible and divergent verbal thinking style quite similar to verbal flu-

ency. Hence, they enable the verbal concept for composing the story.

The brain activities in the left dlPFC (BAs 9/46) and dACC (BAs 24/32) seem to be essential structures in “planning” a story, and are associated with higher cognitive control and initiation of writing. Suppression of irrelevant information and executive functions in internal goal-directed behavior are common, well-known functions of the PFC [Cohen et al., 2000]. The dlPFC is considered to be critical for creativity [Dietrich, 2004; Dietrich and Kanso, 2010] and even for creative story generation [Howard-Jones et al., 2005], maintaining working memory, cognitive flexibility, and divergent thinking. The dACC is associated with cognitively demanding tasks and selection processes [Bush et al., 2000], and especially reward-based decision making [Bush et al., 2002]. “Appropriateness,” however, is one of the criteria indicating creativity [Sternberg, 1999] and the dlPFC (BAs 9/46) and dACC (BAs 24/32) might enable the construction of an original and

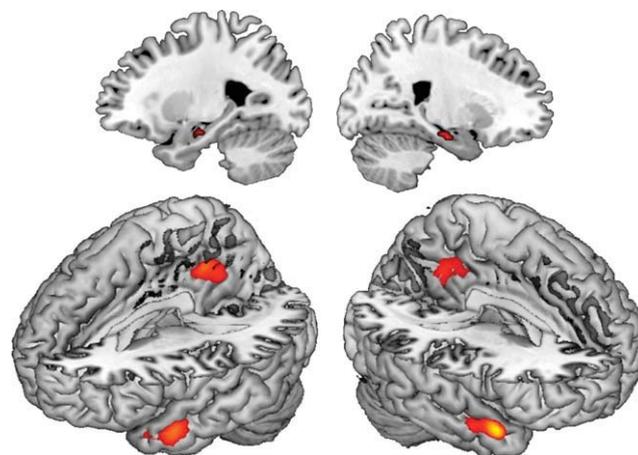


Figure 3.

fMRI-results of the contrast “creative writing - copying,” $P < 0,001$, uncorrected. “Creative writing - copying” revealed strongest activation in the right medial temporal pole. Further activation was located in the left temporal pole as well as bilateral hippocampi and bilateral posterior cingulate cortex. [Color figure can be viewed in the online issue, which is available at wileyonlinelibrary.com.]

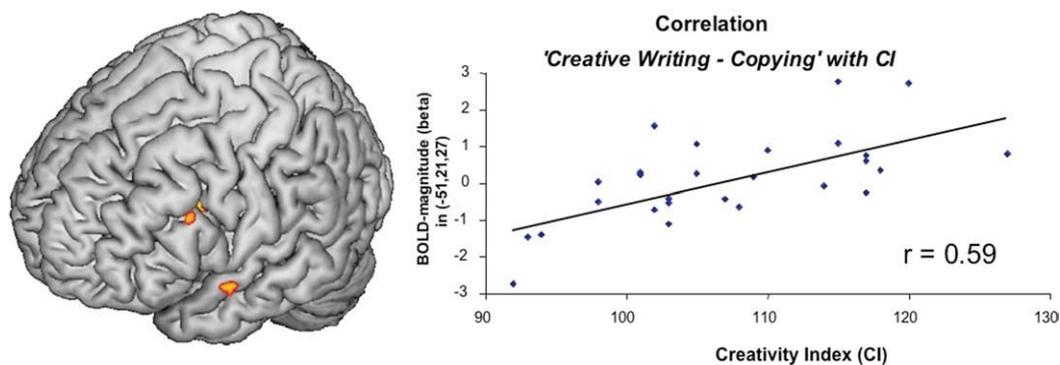


Figure 4.

Positive Correlation between BOLD-magnitude obtained during “creative writing - copying” and the creativity index, $P < 0,001$, uncorrected. Predominantly activation in the Broca’s area (BA 45) and the temporal pole showed positive associations with the creativity index. The positive correlation of BOLD-magnitude and the CI are plotted on the right showing an r of 0.59. [Color figure can be viewed in the online issue, which is available at wileyonlinelibrary.com.]

coherent story concept using idea selection and keeping a monitoring eye on the preparation phase.

The second largest activation pattern in “brainstorming” was revealed in the left parieto-temporal regions (BAs 39/40, Wernicke’s area, BA 22, STS) extending to anterior temporal regions (BA 38). In general, left parieto-temporal regions are involved in fundamental language processing, and temporal lobe activations have been reported to be crucial for language and sentence comprehension, prelexical perception, and auditory processing of language [Price, 2010]. In earlier research, the left inferior parieto-temporal regions (BAs 39/40) were considered to be crucial for solving verbal creative tasks by divergent and free-associative thinking [Fink et al., 2009], for story generation from different semantic word sets [Bechtereva et al., 2004], and for insight strategy [Starchenko et al., 2003], thereby suggesting that the most important functions of these regions were related to the flexibility of thinking and involved in imagination and fantasy. Thus, our results agree with the importance of bilateral parietal (BAs 39/40) areas for creative verbal tasks.

Activity in the primary visual cortex might reflect a higher demand of visual processing compared to the resting period during linguistic stimuli processing [Gernsbacher and Kaschak, 2003]. Howard-Jones et al. [2005] interpreted similar occipital activations by visual imagination of the story’s scenario. In addition, motor areas were active [left SMA, left dPMC (both BAs 6), anterior cerebellar lobe, and the right vermis], although no visible motion was observed by the assistant standing at the left side of the participant during “brainstorming.” The dominant dPMC (BA 6) stores complex movement concepts, which are recruited during tasks like writing [Rijntjes et al., 1999]. The anterior cerebellar lobe integrates multisensory inputs of the cortex to a motor efference copy, enabling a continuous correction of complex hand movements [Bloedel, 1992]. Altogether, our findings support the assumption that “brainstorming” cannot be reduced to

cognitive mechanisms and idea generation. Planning a story seems to comprise mental imagination that already includes the preparation for the following writing-execution phase. This provides evidence for a more holistic and integrative brain activity model during the composition of a literary story.

In general, our “brainstorming” findings provide a brain network that obviously corresponds to the “planning” processes according to the “cognitive process theory of writing” of Flower and Hayes [Flower, 1981]. The “generating” element of “planning,” which also relates to the novelty and originality criteria of creativity according to Sternberg [1999], can be sustained by the observed corresponding brain activity in the frontal and parieto-temporal network involving many creativity-relevant processes, like divergent thinking, cognitive flexibility, and verbal fluency. “Organizing” and “goal setting” indicates a more critical and rational cognitive thinking style, which further constitutes the appropriateness creativity criterion. Therefore, the dlPFC and the dACC can be considered as the corresponding brain regions, since they are associated with insight, selection processing, and maintaining the management of several parallel tasks. Our results emphasize that literary story composition is based on very complex brain mechanisms, which are not localizable to any single brain area.

Creative Writing

The activation pattern during “creative writing” included areas previously associated with the execution of writing: the primary motor cortex, the PMC, the SMA (both BAs 6), the left superior parietal lobe (BA 7), and the right anterior cerebellar hemisphere [Katanoda et al., 2001]. Furthermore, “creative writing” revealed a strong activation in bilateral occipito-temporal regions assignable to the posterior reading system [Shaywitz and Shaywitz, 2008] as well as in bilateral primary visual areas. As in

“brainstorming,” activation in the occipital lobe might be associated not only with visual feedback but might also cause a visual imagery of the scenes planned to be written down [Howard-Jones et al., 2005].

Otherwise, the cognitive writing processes of “creative writing” are assumed to include language processing (BAs 44, left BA 22/STS) as well as working memory and higher cognitive control in the dlPFC (bilateral BAs 9, right BA 9/46), and memory retrieval functions (bilateral temporal pole, hippocampi, and posterior cingulate cortex) in “creative writing – copying.” Obviously, the cognitive writing regions manifested a right hemisphere lateralization.

The activation of the IFG (BA 44) and the posterior part of the left superior temporal region (BA 22 and STS) referred to language-related processing [Price, 2010] and verbal creativity [Fink et al., 2009], again similar to “brainstorming.” The prominent activity in the dlPFC points to the importance of sustained attention and a high working memory load [Curtis and D’Esposito, 2003]. “Creative writing” might involve the dlPFC, keeping in mind several relevant pieces of information for working successfully with all ideas, strategies, and different parallel multimodal processes during writing. Moreover, the dlPFC has been suggested to supply essential brain processes for creativity [Dietrich, 2004]. Thus, our results suppose that these frontal regions are critical cognitive writing areas with respect to the high working memory load of the task itself, the required self-critical attitude of the writer [Ortheil, 2005], and because of general connections to areas with stored domain-specific knowledge, which is required for creative emergence [Heilman et al., 2003].

After subtracting motor processes (“creative writing – copying”), we observed a right lateralized activation network of predominantly memory retrieval functions, including temporal poles, hippocampi, and the posterior cingulate cortex, with a few foci located in the ventral pre-cuneus. The hippocampus plays a key role in the memory system and thus refers to rigorous episodic memory retrieval during writing. In particular, the hippocampus was reported to be involved in word retrieval during speech production [Price, 2010] and, especially the left hippocampus, for word production in a spontaneous and free-associative style [Price, 2010; Whitney et al., 2009]. Our “creative writing” task is comparable to verbal and episodic production in a free associative context. Memory retrieval is further associated with anterior temporal structures. The right temporal pole is involved in episodic, and the left temporal pole in semantic, memory retrieval [Olson et al., 2007]. Furthermore, in a complex language context, the bilateral anterior temporal regions are associated with sentence semantics [Price, 2010] and semantic integration processing [Binder et al., 2009; Jung-Beeman, 2005]. Particularly, the right anterior temporal pole was associated with insight in solving verbal problems [Jung-Beeman et al., 2004], which demands semantic integration. The key role of the temporal poles in the semantic systems

might point to the important integration of the various contextual and verbal ideas, which must be transformed into a coherent concept for the story during creative writing. Taken together, by contrasting “creative writing” with “copying,” activations were observed in the bilateral temporal poles, which might account for semantic memory access and semantic integration processes additionally involved in inventing a new story instead of copying one.

Besides the temporal poles, the posterior cingulate cortex (PCC) subserves sentence comprehension [Price, 2010]. In particular, the PCC shows connections with the hippocampal system and is thus involved in episodic memory [Binder et al., 2009] as well as the conceptual processing of speech production [Price, 2010]. Furthermore, the PCC is involved in self-referential integration [Northoff and Bermpohl, 2004] and has been described as a main structure of the brain’s “default network” [Buckner et al., 2008], which is active during nonfocused attention and representing the awareness of the external environment. Within the “default network,” the PCC is also connected with the same memory structures (hippocampal system and temporal lobe), which emphasizes its role in episodic memory retrieval. Hence, the default network plays a key role in many mental processes (fantasy, imagination, thoughts), has been considered as our “inner mental life” [Buckner et al., 2008], and was even correlated with daydreaming [Mason et al., 2007]. Altogether, it provides the “spontaneous cognition” of humans [Buckner et al., 2008]. Obviously, the participants who are inexperienced in creative writing produce their individual text continuation during scanning by a kind of free-associative writing on the paper, quite similarly to an unfocused attention task. Our cognitive writing results are in accordance with the observation on a free-association style remarkable for poor writers by Flower and Hayes [1981].

In summary, “creative writing” can be understood as translating the conceptual and verbal ideas into a handwriting process after selection, semantic integration, and motor coordination. Corresponding to the “cognitive process theory of writing” of Flower and Hayes [1981], we revealed the importance of domain-relevant knowledge for creative writing, including language processing, working memory functions, and predominantly, the memory system: episodic and semantic memory retrieval and the semantic integration in an original and coherent story concept. Furthermore, free association and spontaneous cognition are typical characteristics for actual story writing.

Correlation Analysis of “Creative Writing – Copying” With the CI and CAT Results

The correlation analysis of “creative writing – copying” with the CI demonstrated a positive association of activations in left fronto-temporal areas with verbal creativity. Previous research on fronto-temporal dementia has

associated deficits in the fronto-temporal region with an emergence of artistic creativity [Miller et al., 2000]. However, these authors [Miller et al., 2000] illustrated that patients with fronto-temporal dementia might exhibit simply a kind of “pseudo-creativity,” as they are rather less successful in common objective creativity tests [de Souza et al., 2010]. Findings of functional imaging studies in healthy participants are not completely comparable with reports in a lesion model, but our results underline a crucial involvement of these areas during “creative writing.”

The activation in the anterior part of the superior frontal gyrus, reaching the left temporal pole (BA 38), refers predominantly to the semantic system [Olson et al., 2007] and especially to semantic integration [Jung-Beeman, 2005]. The second region of activation, a part of the left IFG (BA 45), was associated with word retrieval during speech production [Price 2010], lexical retrieval during verbal fluency [Heim et al., 2009], and verbal creative processing [Fink et al., 2009; Howard-Jones et al., 2005; Mashal et al., 2007]. Finally, our results provide a lateralization on the language dominant hemisphere for verbal creativity. However, we are aware that these correlations do not highlight the “center of literary creativity,” because an objective and predominantly quantitative test may not at all be commensurate with complex literary story composition, and the CI assesses a personal trait rather than the actual creative performance inside the scanner. Nevertheless, fluency, flexibility, and efficient memory retrieval of stored semantic knowledge are common human abilities for a creative and cultural achievement such as writing literature. Thus, these areas provide important personal prerequisites for creative writing processes representing the access of verbal creativity located in the fronto-temporal network. Finally, we could not identify activation in any regions positively associated with the CAT [Amabile, 1996], probably because the ratings did not reflect any creative quality associated with brain activation. However, since the CI, representing a personal trait vs. the CAT representing the personal performance during scanning, showed just as low an association, we cannot well deduce those abilities from verbal creativity to creative writing performance and are furthermore uncertain about qualitative creative brain correlates.

Taken together, “creative writing” involves various cognitive brain processes and brain areas representing verbal creativity. Nevertheless, individual literary creativity does not seem obviously localizable in any single brain area or assignable to any single cerebral function.

Discussion of Our Paradigm

Creativity is generally a poorly understood neuroscientific field of research, and to date, a coherent concept of its critical brain network does not exist because previous studies showed wide variation in their design and definition of creativity [Dietrich and Kanso, 2010]. Many studies [Chavez-Eakle et al., 2007; de Souza et al., 2010; Fink et al., 2009] applied common objective creativity tests (i.e.,

Torrance Test of Creative Thinking), which separate creativity into single abilities. We agree that these abilities are important during creative writing, and of course, our correlation analysis of “creative writing – copying” with the CI revealed brain areas associated with them (i.e., divergent thinking, verbal fluency, cognitive flexibility, and the semantic system). Nevertheless, we doubt that the large spectrum of creative writing properties depends on a single mental ability and that such quantitative tests are adequate measurements, as differing from real-life creativity. In contrast, we understand creativity during literary writing as a complex cognitive function in which additional selection, combination, and integration of an original and coherent story concept do play a central role, as emphasized by our results. For this reason, to assess an almost real-life creative writing task, we applied a paradigm that can be classified into the established creativity task set of “story composition” [Bechtereva and Nagornova, 2007]. Earlier story-generation studies [Bechtereva et al., 2004; Howard-Jones et al., 2005] applied given word sets from different or the same semantic areas. In our study, a given beginning of a literary story was the reference for creativity, and we focused on investigating the entire process of creative writing. In contrast, Howard-Jones et al. [2005] used story generation to examine divergent thinking processes, which might explain the differences between their results and ours. However, we assume that writing literature cannot be reduced to divergent thinking processes and that the creation of unusual, but often unrealistic, stories from the given word sets cannot be comparable with literary creativity.

For this purpose, the main critical aspect was to develop an available fMRI setting. According to Fink et al. [2007], such “paper-and-pencil tasks” inside an fMRI scanner are limited because of their task-related motor artifacts and the impossibility of free-hand writing inside the scanner. Nevertheless, we avoided performing our task in ways commonly used in the earlier story-generation studies [Bechtereva et al., 2004; Howard-Jones et al., 2005], since only a real product, such as the written text produced during “creative writing,” can serve as a control and evidence for participants’ actual brain activities during the scanning task. We faced the reported limitations [Fink et al., 2007] by providing a scanning environment that enables real, creative performance of writing, as well as implementing controls for motor artifacts. Moreover, the texts produced during scanning could be used to assess the quality of creative performance by the CAT, applying domain-specific judgments [Amabile, 1996]. We agree about the necessity of qualitative creativity measures, considering additionally the appropriateness of a creative product in contrast to the quantitative measures which are mainly constrained to the fluency of ideas [Fink et al., 2007].

To analyze the various creative thinking processes, we followed the common method of comparisons in creativity research [Bechtereva and Nagornova, 2007; Fink et al., 2007]. Our results of “brainstorming - reading” are in

accordance with another story-generation study [Bechtereva et al., 2004] applying a similar comparison. Additionally, we accomplished an analogous comparison (“creative writing – copying”) for both writing conditions. Obviously, “creative writing” allows a more personal and free-associative thinking style, with the disadvantage of more inhomogeneity between the investigated participants. Nevertheless, our results do not disagree with contemporary creativity studies and are in accordance with earlier findings on cognitive writing processes assumed to be involved in creative writing.

Parallels of EEG Findings and fMRI Observations on the Prefrontal Role for Creative Processing

EEG studies reported increased frontal and frontoparietal alpha synchronization associated with creative task processing [e.g., Fink et al., 2009]. For other domains, such as composing a drawing, others found increased delta band synchronization and alpha band desynchronization in experts compared to nonexperts [Bhattacharya and Petsche, 2005]. Besides of the fact that areas positively associated with increased creativity during task solving in nonexperts might not be the same increasingly active in an expert group, there is evidence for the importance of the prefrontal cortex for creative information processing. Although distinctive neural processes are associated with creative abilities in different domains, the prefrontal cortex is functionally involved in processes generally necessary for creative cognition, since this area processes not only working memory, temporal integration and sustained attention, but also self-reflected consciousness, cognitive flexibility and planning [Dietrich, 2004]. To date, it is not well understood, how these complex processes are represented in the prefrontal lobe. EEG studies revealed both increases and decreases in power and synchrony of different frequency bands depending on the nature of the task and the participants investigated [e.g., Petsche et al., 1997]. Additionally, there is an ongoing debate of how EEG-Synchronization may be interpreted [e.g., Klimesch et al., 2007]. The only study comparing results of EEG and fMRI for the same paradigm of creative problem solving [Fink et al., 2009] reported high spatial overlap of synchronicity in the alpha band and fMRI activation in the prefrontal cortex of the left hemisphere. The authors interpreted their findings as an active inhibition of competing processes: the generation of novel, original ideas necessitates semantic selection “by selectively activating remote conceptual or semantic networks of the brain and inhibiting brain circuits that store similar semantic information” [Fink et al., 2009].

Limitations of the Study

Finally, there are several limitations of our study. We recruited healthy participants with an academic education and consequently a high-level of intelligence. In general, a relationship was observed between the intelligence level

and creativity [Jung et al., 2009]. All participants were further inexperienced in creative writing (except normal school education). Consequently, none of them could bring a well of domain-specific knowledge or training in any writing techniques. No participants attained high CI scores (>130) in the creativity test [Schoppe, 1975], a level where high verbal creative performance might be expected. Our participants may have not displayed the exact prerequisites of creative writing. However, writing texts or stories is a common human ability, although the brain mechanisms might differ between inexperienced participants and trained ones.

To ensure participants’ concentration during writing, the period for the single scanning tasks was quite small (1–2 min). This resulted in the criticism of insufficient scanning time for developing an entire creative story. The correlations between the CAT ratings (Amabile, 1996) and the CI, as well as the BOLD effects, failed significance.

Furthermore, we attempted to overcome the critical aspect of movement artifacts by a special arrangement of the scanning environment (e.g., special desk, double-mirror system, and cushioning of arm and head). After scanning, we accomplished movement correction and remaining movement parameters were introduced as covariates. However, we cannot completely exclude the possibility that the BOLD response from the dominant motor and language performance might have interfered with the cognitive and creative brain processes, and even overshadowed the real creative moment. Finally, the complexity and the duration of our scanning tasks complicated the association of the observed brain areas with their functions during the creative writing process.

The length of the creative writing task was a compromise between the participants’ need to express their ideas extensively and the time restrictions of an fMRI block design. Nearly 140 s was the minimum period judged necessary to write a new story, which some participants already considered as too short. During the creative writing task a person was developing ideas and writing them down continuously, presumably resulting in sustained neuronal activity throughout the whole task. This fact would result in superimposing BOLD curves, which can be approximated by a boxcar function over the entire task.

Additionally, we used the default high pass filter value of 128 s for all conditions, which might cut some responses from the longer lasting conditions. However, when comparing different high pass filters (128, 200, and 280 s) in two randomly selected participants, resulting fMRI-maps were comparable while highest activated voxels differed within a range of one t value. Overall, a future study might investigate the same condition in several smaller time units.

CONCLUSION

In conclusion, by applying actual story writing in an fMRI-scanner, we investigated the brain network during “creative writing.” We found that “brainstorming”

involves fronto-parieto-temporal brain activity for generating novel and original ideas and composing the concept of the story. The observed premotor activity in “brainstorming” indicates the integrated preparation of the writing process. “Creative writing” combines handwriting processes and cognitive writing processes, which are predominantly associated with episodic memory, semantic integration, and a free associative and spontaneous cognitive text production. Verbal creativity involved in “creative writing” revealed a left fronto-temporal network consisting of the left IFG (BA 45) and the left temporal pole (BA 38). Altogether, our results provide an overview on the brain network involved in creative writing processes by applying our new and successful real-life creative writing paradigm with actual writing inside the scanner including acceptable and controlled methodologically restrictions. This study was a first step to investigate creative writing with neuroscientific methods and revealed restrictions and possibilities for future research.

For a more precise investigation of the topic, the process of creative writing might be further subdivided and focused on single subprocesses to establish the neural correlates of specific neurocognitive processes. Therefore, future research will be necessary to understand the neuronal secret of writing excellent and absorbing literature.

REFERENCES

- Amabile TM (1996): Creativity in Context. Boulder, CO: Westview Press. pp 19–79.
- Baldo JV, Schwartz S, Wilkins D, Dronkers NF (2006): Role of frontal versus temporal cortex in verbal fluency as revealed by voxel-based lesion symptom mapping. *J Int Neuropsychol Soc* 12:896–900.
- Bechtereva NP, Nagornova ZV (2007): Changes in EEG coherence during tests for nonverbal (figurative) creativity. *Fiziol Cheloveka* 33:5–13.
- Bechtereva NP, Starchenko MG, Kliucharev VA, Vorob'ev VA, Pakhomov SV, Medvedev SV (2000): Study of the brain organization of creativity. Part II. Positron emission tomography. *Fiziol Cheloveka* 26:12–18.
- Bechtereva NP, Korotkov AD, Pakhomov SV, Roudas MS, Starchenko MG, Medvedev SV (2004): PET study of brain maintenance of verbal creative activity. *Int J Psychophysiol* 53:11–20.
- Bhattacharya J, Petsche H (2005): Drawing on mind's canvas: Differences in cortical integration patterns between artists and non-artists. *Hum Brain Mapp* 26:1–14.
- Binder JR, Desai RH, Graves WW, Conant LL (2009): Where is the semantic system? A critical review and meta-analysis of 120 functional neuroimaging studies. *Cereb Cortex* 19:2767–2796.
- Bloedel JR (1992): Functional heterogeneity with structural homogeneity: How does the cerebellum operate? *Behav Brain Sci* 5:666–678.
- Buckner RL, Andrews-Hanna JR, Schacter DL (2008): The brain's default network: Anatomy, function, and relevance to disease. *Ann N Y Acad Sci* 1124:1–38.
- Bush G, Luu P, Posner MI (2000): Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends Cogn Sci* 4:215–222.
- Bush G, Vogt BA, Holmes J, Dale AM, Greve D, Jenike MA, Rosen BR (2002): Dorsal anterior cingulate cortex: A role in reward-based decision making. *Proc Natl Acad Sci USA* 99:523–528.
- Chavez-Eakle RA, Graff-Guerrero A, Garcia-Reyna JC, Vaugier V, Cruz-Fuentes C (2007): Cerebral blood flow associated with creative performance: A comparative study. *Neuroimage* 38:519–528.
- Cohen JD, Botvinick M, Carter CS (2000): Anterior cingulate and prefrontal cortex: Who's in control? *Nat Neurosci* 3:421–423.
- Curtis CE, D'Esposito M (2003): Persistent activity in the prefrontal cortex during working memory. *Trends Cogn Sci* 7:415–423.
- de Souza LC, Volle E, Bertoux M, Czernecki V, Funkiewiez A, Allali G, Leroy B, Sarazin M, Habert MO, Dubois B, Kas A, Levy R (2010): Poor creativity in frontotemporal dementia: A window into the neural bases of the creative mind. *Neuropsychologia* 48:3733–3742.
- Dietrich A (2004): The cognitive neuroscience of creativity. *Psychon Bull Rev* 11:1011–1026.
- Dietrich A, Kanso R (2010): A review of EEG, ERP, and neuroimaging studies of creativity and insight. *Psychol Bull* 136:822–848.
- Eickhoff SB, Stephan KE, Mohlberg H, Grefkes C, Fink GR, Amunts K, Zilles K (2005): A new SPM toolbox for combining probabilistic cytoarchitectonic maps and functional imaging data. *Neuroimage* 25:1325–1335.
- Fink A, Benedek M, Grabner RH, Staudt B, Neubauer AC (2007): Creativity meets neuroscience: Experimental tasks for the neuroscientific study of creative thinking. *Methods* 42:68–76.
- Fink A, Grabner RH, Benedek M, Reishofer G, Hauswirth V, Fally M, Neuper C, Ebner F, Neubauer AC (2009): The creative brain: Investigation of brain activity during creative problem solving by means of EEG and fMRI. *Hum Brain Mapp* 30:734–748.
- Flower LS, Hayes JR (1981): A cognitive process theory of writing. *Coll Compos Commun* 32:365–387.
- Gernsbacher MA, Kaschak MP (2003): Neuroimaging studies of language production and comprehension. *Annu Rev Psychol* 54:91–114.
- Heilman KM, Nadeau SE, Beversdorf DO (2003): Creative innovation: Possible brain mechanisms. *Neurocase* 9:369–379.
- Heim S, Eickhoff SB, Amunts K (2009): Different roles of cytoarchitectonic BA 44 and BA 45 in phonological and semantic verbal fluency as revealed by dynamic causal modelling. *Neuroimage* 48:616–624.
- Howard-Jones PA, Blakemore SJ, Samuel EA, Summers IR, Claxton G (2005): Semantic divergence and creative story generation: An fMRI investigation. *Brain Res Cogn Brain Res* 25:240–250.
- Jung RE, Gasparovic C, Chavez RS, Flores RA, Smith SM, Caprihan A, Yeo RA (2009): Biochemical support for the “threshold” theory of creativity: A magnetic resonance spectroscopy study. *J Neurosci* 29:5319–5325.
- Jung-Beeman M (2005): Bilateral brain processes for comprehending natural language. *Trends Cogn Sci* 9:512–518.
- Jung-Beeman M, Bowden EM, Haberman J, Frymiare JL, Arambel-Liu S, Greenblatt R, Reber PJ, Kounios J (2004): Neural activity when people solve verbal problems with insight. *PLoS Biol* 2:E97.
- Katanoda K, Yoshikawa K, Sugishita M (2001): A functional MRI study on the neural substrates for writing. *Hum Brain Mapp* 13:34–42.
- Klimesch W, Sauseng P, Hanslmayr S (2007): EEG alpha oscillations: The inhibition-timing hypothesis. *Brain Res Rev* 53:63–88.

- Mashal N, Faust M, Hendler T, Jung-Beeman M (2007): An fMRI investigation of the neural correlates underlying the processing of novel metaphoric expressions. *Brain Lang* 100:115–126.
- Mason MF, Norton MI, Van Horn JD, Wegner DM, Grafton ST, Macrae CN (2007): Wandering minds: The default network and stimulus-independent thought. *Science* 315:393–395.
- Miller BL, Boone K, Cummings JL, Read SL, Mishkin F (2000): Functional correlates of musical and visual ability in fronto-temporal dementia. *Br J Psychiatry* 176:458–463.
- Northoff G, Bermpohl F (2004): Cortical midline structures and the self. *Trends Cogn Sci* 8:102–107.
- Oldfield RC (1971): The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 9:97–113.
- Olson IR, Plotzker A, Ezzyat Y (2007): The Enigmatic temporal pole: A review of findings on social and emotional processing. *Brain* 130 (Part 7):1718–1731.
- Ortheil H-J (2005): Creative writing. In: Schütz E, Bittkow S, Oels D, Porombka S, Wegmann T, editors. *Das BuchMarktBuch; Der Literaturbetrieb in Grundbegriffen*. Reinbek bei Hamburg: Rowolt Taschenbuch Verlag. pp 100–103.
- Petsche H, Kaplan S, von Stein A, Filz O (1997): The possible meaning of the upper and lower alpha and frequency ranges for cognitive and creative tasks. *Int J Psychophysiol* 26:77–97.
- Price CJ (2010): The anatomy of language: A review of 100 fMRI studies published in 2009. *Ann N Y Acad Sci* 1191:62–88.
- Rijntjes M, Dettmers C, Buchel C, Kiebel S, Frackowiak RS, Weiller C (1999): A blueprint for movement: Functional and anatomical representations in the human motor system. *J Neurosci* 19:8043–8048.
- Roux FE, Dufoir O, Giussani C, Wamain Y, Draper L, Longcamp M, Demonet JF (2009): The graphemic/motor frontal area Exner's area revisited. *Ann Neurol* 66:537–545.
- Schoppe K-J, editor (1975): *Verbaler Kreativitäts-Test (V-K-T) [Verbal Creativity Test]*. Göttingen: Hogrefe.
- Shaywitz SE, Shaywitz BA (2008): Paying attention to reading: The neurobiology of reading and dyslexia. *Dev Psychopathol* 20:1329–1349.
- Starchenko MG, Bekhtereva NP, Pakhomov SV, Medvedev SV (2003): Study of the brain organization of creative thinking. *Fiziol Cheloveka* 29:151–152.
- Sternberg RJ, Lubart TI (1999): The concept of creativity, prospects, and paradigms. In: Sternberg RJ, editor. *Handbook of Creativity*. Cambridge: Cambridge University Press. pp 3–15.
- Troyer AK, Moscovitch M, Winocur G, Alexander MP, Stuss D (1998): Clustering and switching on verbal fluency: The effects of focal frontal- and temporal-lobe lesions. *Neuropsychologia* 36:499–504.
- Tzourio-Mazoyer N, Landeau B, Papathanassiou D, Crivello F, Etard O, Delcroix N, Mazoyer B, Joliot M (2002): Automated anatomical labeling of activations in SPM using a macroscopic anatomical parcellation of the MNI MRI single-subject brain. *Neuroimage* 15:273–289.
- Ward TB, Smith SM, Finke RA (1999): Creative cognition. In: Sternberg RJ, editor. *Handbook of Creativity*. Cambridge: Cambridge University Press. pp 189–212.
- Whitney C, Weis S, Krings T, Huber W, Grossman M, Kircher T (2009): Task-dependent modulations of prefrontal and hippocampal activity during intrinsic word production. *J Cogn Neurosci* 21:697–712.

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Professor Martin Lotze für die hervorragende Betreuung der vorliegenden Arbeit und für die gemeinsame Entwicklung des Paradigmas. Ich danke ihm und der Universität Greifswald für die Möglichkeit, das Projekt auf dem 16th Annual Meeting of the Organisation for Human Brain Mapping in Barcelona, Spanien, vorgestellt haben zu dürfen.

Ebenfalls möchte ich meiner Koautorin Frau Katharina Erhard herzlich für die fruchtbare Zusammenarbeit danken. Durch ihr analytisches Vorgehen hat sie entscheidend zum Gelingen dieses Projekts beigetragen. Frau Dr. Evangelia Kaza danke ich für die hochqualifizierte Betreuung des Projekts hinsichtlich methodischer Aspekte und ihre enorme Hilfsbereitschaft. Des Weiteren danke ich Herrn Professor Hanns-Josef Ortheil, der mich durch das Treffen in Hildesheim inspiriert hat und mir die wesentlichen Aspekte des Creative Writing vermittelt hat. Weiterhin danke ich Herrn Martin Domin und allen anderen Personen, die am Aufbau des fMRT-Paradigmas mitwirkten.

Außerdem möchte ich mich bei Frau Bärbel Neumann, Frau Barbara Bach-Heuser, Frau Ulrike Shah, Herrn Peter Stechl und Herrn Klaus Neumann herzlich bedanken, die sich dazu bereit erklärten die kreativen Texte als Juroren zu beurteilen.

Mein weiterer Dank gilt allen Probanden, die sich für diese Studie zur Verfügung stellten.

Abschließend möchte ich meinem Lebensgefährten Herrn Daniel Schlauch danken, der mich während der Durchführung dieses Projekts begleitet hat. Er hat mich in jeder Hinsicht unterstützt und stellte sich darüberhinaus als Fotomodell für die Abbildung 1 zur Verfügung. Ebenso danke ich meinen Eltern und meinem Bruder, die mir während der Arbeit mit wertvollen Hinweisen zur Seite standen und so ebenfalls zu diesem Projekt beigetragen haben.

Carolin Shah