

Aus der Klinik für Neurologie
der Medizinischen Fakultät des
Universitätsklinikums des Saarlandes,
Homburg/Saar

Die individuelle Neigung zu einem Berufsfeld und deren neuronales Korrelat

*Dissertation zur Erlangung des Grades eines
Doktors der theoretischen Medizin (Dr. rer. med.)
der Medizinischen Fakultät
der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES
2023*

vorgelegt von Stefan Gurses
geboren am: 19.08.1969
in: Gießen

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	2
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	5
TABELLENVERZEICHNIS	7
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	8
1 ZUSAMMENFASSUNG	10
1.1 DEUTSCHSPRACHIGE ZUSAMMENFASSUNG	10
1.2 ABSTRACT	11
2 EINLEITUNG	12
2.1 BERUFSWAHL	12
2.1.1 <i>John L. Hollands “Theory of Vocational Personalities in Work Environment”</i>	13
2.1.2 <i>Ergänzende Konstrukte im Modell von J. L. Holland</i>	16
2.1.3 <i>Bedeutung des Modells von J. L. Holland</i>	18
2.2 NEURONALE PLASTIZITÄT DES GEHIRNS	19
2.3 KERNSPINTOMOGRAPHIE: INSTRUMENT ZUR ERFORSCHUNG DER NEUROPLASTIZITÄT	20
2.3.1 <i>Physikalische Grundlagen</i>	20
2.3.2 <i>Von MRT-Schnittbildern zur Voxelbasierten Morphometrie</i>	22
2.3.3 <i>Statistische Auswertung der MRT-Bilder</i>	26
2.3.4 <i>Nachweis der neuronalen Plastizität mittels Voxelbasierter Morphometrie</i>	26
2.4 FRAGESTELLUNG UND ZIELE DER ARBEIT.....	29
3 MATERIAL UND METHODE	31
3.1 FORSCHUNGSDESIGN	31
3.2 TEILNEHMERINNEN UND TEILNEHMER	31
3.2.1 <i>Wahrung der Anonymität</i>	31
3.2.2 <i>Altersstruktur und Geschlechterverteilung der Probanden</i>	32
3.3 SITUATIVER-INTERESSEN-TEST (ONLINE-SIT)	32
3.3.1 <i>Aufbau des Online-SIT</i>	33
3.3.2 <i>Technische Umsetzung und Berechnung der Ergebnisse des SIT</i>	34
3.3.3 <i>Nutzung der SIT-Daten</i>	35
3.3.4 <i>Korrelationen der Merkmalspaare des SIT</i>	35
3.4 KERNSPINUNTERSUCHUNG: STRUKTURELLE KERNSPINTOMOGRAPHIE.....	36
3.4.1 <i>Vorbereitung der Probanden zur MRT-Untersuchung</i>	36
3.4.2 <i>Technische Daten des Kernspintomographen</i>	37

3.4.3	<i>Parameter der MRT-Aufnahmen</i>	37
3.5	ERHEBUNG VON KOVARIATEN.....	37
3.6	STATISTISCHE ANALYSE MIT SPM	38
3.6.1	<i>Konvertierung der DICOM-Daten in SPM</i>	38
3.6.2	<i>Preprocessing: Normalisierung, Segmentierung und Glättung in SPM</i>	38
3.6.3	<i>Durchführung von Zwei-Gruppen-T-Tests mittels SPM</i>	38
3.6.4	<i>Topographische Zuordnung der Cluster in SPM</i>	40
3.6.5	<i>Interpretation der Ergebnisse</i>	40
4	ERGEBNISSE	42
4.1	NEURONALE KORRELATE ZUM MERKMAL <i>REALISTIC</i>	45
4.2	NEURONALE KORRELATE ZUM MERKMAL <i>INVESTIGATIVE</i>	51
4.3	NEURONALE KORRELATE ZUM MERKMAL <i>ARTISTIC</i>	55
4.4	NEURONALE KORRELATE ZUM MERKMAL <i>SOCIAL</i>	62
4.5	NEURONALE KORRELATE ZUM MERKMAL <i>ENTERPRISING</i>	65
4.6	NEURONALE KORRELATE ZUM MERKMAL <i>CONVENTIONAL</i>	69
4.7	ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE	71
5	DISKUSSION	74
5.1	DISKUSSION DER METHODE	74
5.1.1	<i>Diskussion zum Situativen Interessentest</i>	74
5.1.2	<i>Diskussion der VBM-Methode</i>	76
5.2	DISKUSSION DER VBM-ERGEBNISSE AUS DIESER STUDIE	80
5.2.1	<i>Diskussion der neuronalen Korrelate zum Merkmal Realistic</i>	84
5.2.2	<i>Diskussion der neuronalen Korrelate zum Merkmal Investigative</i>	86
5.2.3	<i>Diskussion der neuronalen Korrelate zum Merkmal Artistic</i>	87
5.2.4	<i>Diskussion der neuronalen Korrelate zum Merkmal Social</i>	89
5.2.5	<i>Diskussion der neuronalen Korrelate zum Merkmal Enterprising</i>	91
5.2.6	<i>Diskussion der neuronalen Korrelate zum Merkmal Conventional</i>	93
5.3	ABSCHLIEBENDE BETRACHTUNG UND LIMITATIONEN	94
5.4	OFFENE FRAGEN UND AUSBLICK	95
6	LITERATURVERZEICHNIS	97
	DANKSAGUNG	106
	PUBLIKATION	107
	LEBENS LAUF	108

EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG GEMÄß § 7 ABS. 1 NR. 2..... 109

ANHANG.....110

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Hexagon-Modell	15
Abbildung 2: Korrelationen zwischen Hollands Self-Directed Search (SDS).....	16
Abbildung 3: „Hohe Konsistenz“ im Hexagon-Modell.	17
Abbildung 4: Prinzip der neuronalen Plastizität	19
Abbildung 5: Schema zur Voxelbasierten Morphometrie.	23
Abbildung 6: Altersverteilung der Probanden	32
Abbildung 7: Angaben zu Aufbau und Durchführung des Online-Tests.....	33
Abbildung 8: Zwei Fragen zur Personorientierung "Artistic" und "Social".....	34
Abbildung 9: Korrelationen der Merkmale bei Stangls Freizeit-Interessen-Test	36
Abbildung 10: Verteilung der Eigenschaftsmerkmale	42
Abbildung 11: Pearson-Korrelationen zwischen den RIASEC-Scores des SIT	43
Abbildung 12: Erklärung zu der visuellen Darstellung der statistischen Treffer	44
Abbildung 11: Korrelat zu „Triplett enthält Realistic“; MNI -9 -13 55.....	45
Abbildung 14: Negatives Korrelat zu „Triplett enthält Realistic“, MNI -30 -78 -56.....	46
Abbildung 13: Negatives Korrelat zu „Triplett enthält Realistic“, MNI 33 51 0	47
Abbildung 14: Korrelat zu „Triplett enthält Realistic“, MNI -47 -36 10	48
Abbildung 15 Korrelat in zu „Triplett enthält Realistic“, MNI 62 -48 6.....	48
Abbildung 16: Korrelat zu „Triplett enthält Realistic“, MNI 9 -61 1.....	49
Abbildung 17: Korrelat zu „Triplett enthält Realistic“, MNI 30 -91 -14	49
Abbildung 18: Korrelat zu „Triplett enthält Realistic“, MNI -33 -91 -14	50
Abbildung 19: Korrelat zu „Triplett enthält Realistic“, MNI 6 -36 55.....	50
Abbildung 20: Korrelat zu „Triplett enthält Realistic“, MNI 38 24 45.....	51
Abbildung 21: Negatives Korrelat zu „Triplett enthält Investigative“, MNI 23 -97 9.....	52
Abbildung 22: Negatives Korrelat zu „Triplett enthält Investigative“, MNI 11 -12 76.....	53
Abbildung 23: Negatives Korrelat zu „Triplett enthält Investigative“, MNI 9 -13 57.....	53
Abbildung 24: Negatives Korrelat zu „Triplett enthält Investigative“, MNI -29 -10 61	54
Abbildung 25: Negatives Korrelat zu „Triplett enthält Investigative“, MNI 12 -67 51.....	54
Abbildung 26: Korrelat zu „Triplett enthält Artistic“, MNI -30 62 -9	55
Abbildung 27: Korrelat zu „Triplett enthält Artistic“, MNI 18 50 -24.....	56
Abbildung 28: Korrelat zu „Triplett enthält Artistic“, MNI -30 -42 66	56
Abbildung 29: Korrelat zu „Triplett enthält Artistic“, MNI 8 -61 66.....	57
Abbildung 30: Korrelat zu „Triplett enthält Artistic“, MNI -47 -30 37	58
Abbildung 31: Negatives Korrelat zu „Triplett enthält Artistic“, MNI -42 27 -9.....	59
Abbildung 32: Korrelat zu „Triplett enthält Artistic“, MNI 8 -30 15.....	60
Abbildung 33: Korrelat zu „Triplett enthält Artistic“, MNI -23 -4 -12	61
Abbildung 34: Korrelat zu „Triplett enthält Social“, MNI -24 -36 12	62
Abbildung 35: Korrelat zu „Triplett enthält Social“, MNI -48 -10 -18.....	63

Abbildung 36: Korrelat zu „Triplett enthält Social“, MNI -36 -51 -17	63
Abbildung 37: Negatives Korrelat zu „Triplett enthält Social“, MNI 60 8 33	64
Abbildung 38: Korrelat zum Merkmal „Triplett enthält Enterprising“, MNI 62 -13 16	65
Abbildung 39: Korrelat zum Merkmal „Triplett enthält Enterprising“, MNI -60 -16 18	66
Abbildung 40: Korrelat zum Merkmal „Triplett enthält Enterprising“, MNI -39 -64 54	66
Abbildung 41: Korrelat zum Merkmal „Triplett enthält Enterprising“, MNI 9 -37 27	67
Abbildung 42: Korrelat zum Merkmal „Triplett enthält Enterprising“, MNI 51 3 22	68
Abbildung 43: Negatives Korrelat zum Merkmal „Triplett enthält Enterprising“, MNI -8 -19 1	69
Abbildung 44: Negatives Korrelat zum Merkmal „Triplett enthält Conventional“, MNI 2 -30 15	70
Abbildung 45: Negatives Korrelat zum Merkmal „Triplett enthält Conventional“, MNI 12 -24 -5	71

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Korrelat zu „Triplett enthält Realistic“	46
Tabelle 2: Negative Korrelate zu „Triplett enthält Realistic“	47
Tabelle 3: Korrelate zu „Triplett enthält Realistic“	51
Tabelle 4: Negative Korrelate zu „Triplett enthält Investigative“	55
Tabelle 5: Korrelate zu „Triplett enthält Artistic“	58
Tabelle 6: Negatives Korrelat zu „Triplett enthält Artistic“	59
Tabelle 7: Korrelate zu „Triplett enthält Artistic“	61
Tabelle 8: Korrelate zu „Triplett enthält Social“	64
Tabelle 9: Negatives Korrelat zu „Triplett enthält Social“	64
Tabelle 10: Korrelate zu „Triplett enthält Enterprising“	68
Tabelle 11: Negative Korrelate zu „Triplett enthält Enterprising“	69
Tabelle 12: Negatives Korrelat zu „Triplett enthält Conventional“	70
Tabelle 13: Negatives Korrelat zu „Triplett enthält Conventional“	71
Tabelle 14: Übersicht der Ergebnisse	72
Tabelle 18: Übersicht der Ergebnisse mit Zuordnung der Funktion	81

Abkürzungsverzeichnis

BA	B rodmann- A real
CON	C ingulo- O percular- N etwork
CSF	C erebrospinal F luid
cSMA	c audales s upplementär- m otorisches A real
CT	C omputer T omographie
DARTEL	D iffeomorphic A natomical R egistration T hrough E xponentiated L ie
DICOM	D igital I maging and C ommunications in M edicine
DMN	D efault- M ode- N etwork
DOI	D igital O bject Identifier
DTI	D iffusion t ensor imaging
FIT	F reizeit- I nteressentest
FPN	F rontoparietal- N etwork
FWE	F amily W ise E rror
FWHM	F ull W idth H alf M aximum
GM	G ray M atter
HF-Signal	H ochfrequenz-Signal
ICBM	I nternational C onsortium for B rain M apping
IPL	I nferiorer P arietallappen
MNI	M ontral N eurological Institute
MP-RAGE	M agnetization p repared r apid g radient e cho
MRI	M agnetic R esonance I maging
MRT	M agnetresonanztomographie
NifTI	N euroimaging I nformatics T echnology Initiative
OP	O perculum P arietalis
PCC	P osteriorer C ortex C ingularis
PET	P ositronenemissionstomographie
RIASEC	"R ealistic", "I nvestigative", "A rtistic", "S ocial", "E nterprising", "C onventional"
SBM	S urfacebased M orphometry
SD	S tandard D eviation
SDS	S elf- D irected- S earch
SIT	S ituativer I nteressentest
SMA	S upplementär- M otorisches A real
SPL	S uperiorer P arietallappen
SPL	S uperiorer P arietallappen
SPM	S tatistical P arametric M apping

STS	S uperiorer T emporallappensulcus
TPJ	T emporoparietal j unction
VBM	V oxel b asierte M orphometrie
WM	W hite M atter

1 Zusammenfassung

1.1 Deutschsprachige Zusammenfassung

Jeder Mensch steht in seinem Leben vor der Entscheidung, in welche Richtung die Weichen für die berufliche Zukunft gestellt werden sollen. Diese Situation liegt häufig in der Phase der Pubertät, in der Jugendliche ohnehin große Schwierigkeiten haben, sich selbst mit den persönlichen Neigungen und Kompetenzen einzuschätzen. Als Hilfsmittel zur Orientierung und zur professionellen Beratung durch Lehrkräfte und Berufsberater haben sich seit mehreren Jahrzehnten psychologische Tests als Instrumente zur Einschätzung der Kompetenzen und Vorlieben etabliert. Viele basieren auf der von John L. Holland seit den 50er Jahren entwickelten „Theory of Vocational Personalities in Work Environment“ mit seinem RIASEC-Modell. Auf dieser Theorie basierende Tests sind mittlerweile weltweit verbreitet und werden bis heute kontinuierlich weiterentwickelt.

Auch der online verfügbare Situative Interessentest (SIT) von Professor Stangl basiert auf Hollands Theorie. Dem Nutzer teilt er nach 30 kurzen Einschätzungen mit, welches Persönlichkeitsprofil auf ihn zutrifft: **R**ealistic (handwerklich-technisch), **I**nvestigative (untersuchend-forschend), **A**rtistic (künstlerisch-kreativ), **S**ocial (erziehend-pflegend), **E**nterprising (führend-verkaufend) oder **C**onventional (ordnend-verwaltend).

Mit den heute zur Verfügung stehenden bildgebenden Verfahren der Magnetresonanztomographie und den Möglichkeiten der Voxelbasierten Morphometrie (VBM) lassen sich trotz individueller Form und Größe der untersuchten Gehirne statistische Analysen der Verteilung von Grauer und Weißer Hirnsubstanz durchführen. Auch die Erkenntnisse hinsichtlich der Funktionen einzelner Hirnareale haben in den vergangenen 20 Jahren rasante Fortschritte erzielt, sodass Zusammenhänge zwischen den statistischen Treffern in der Grauen und Weißen Substanz und den mentalen Funktionen der Areale hergestellt werden können.

Mit der vorliegenden Arbeit ergeben sich Hinweise, dass es statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen allen Dimensionen der RIASEC-Theorie Hollands und den neuronalen Strukturen des Gehirns gibt. Es zeigt sich darüber hinaus eine hohe Wahrscheinlichkeit dafür, dass die durch den Test zugewiesenen Eigenschaften der Persönlichkeit (RIASEC) mit den aus der Literatur bekannten Funktionen der signifikanten Cluster korrelieren. Die korrespondierenden Ergebnisse der Arbeit wurden im Verlag „Frontiers in Education“ publiziert (DOI:10.3389/ feduc.2021.633962).

1.2 Abstract

Many young people decide their professional direction during adolescence. This often coincides with vulnerable phases of puberty-related maturation that is usually accompanied by difficulties in assessing one's personal inclinations and competences. Several psychological tests have been established among teachers and career advisers serving as a tool for professional coaching the teenagers' competences and preferences. Many tools are based on the "Theory of Vocational Personalities in Work Environment" developed by John L. Holland since the 1950s, comprising the 'RIASEC' model. Today, this theory provides the basis for tests which are used and refined all over the world.

Professor Stangl's online assessable "Situational Interest Test" (SIT) is based on Holland's theory. By means of 30 short assessments the SIT questionnaire assesses the participant's personality traits: Realistic ('Doers'), Investigative ('Thinkers'), Artistic ('Creators'), Social ('Helpers'), Enterprising ('Persuaders'), and Conventional ('Organizers').

Modern Magnetic Resonance Imaging (MRI) is able to discriminate between the brain's compartments as Gray and White Matter using Voxel-Based Morphometry (VBM). This tool allows to reshape and to normalize human brains' structure to statistically examining individual brains. Up to now findings from 20 years of functional MRI gave detailed insights in correlations between brain structures and mental functions. Hence, knowledge on structural base of cognitive or behavioral patterns is available as a brain's map for assigning anatomical regions to their functions.

With the present work, evidence emerges that there are statistically significant relationships between all dimensions of Holland's RIASEC theory and the neural structures of the brain.. Results show correspondence between the personality traits assigned by the RIASEC test and the functions of significant structural alterations in distinct brain areas well-known from literature. The corresponding results of this work were published by "Frontiers in Education" (DOI: 10.3389/feduc.2021.633962).

2 Einleitung

2.1 Berufswahl

Die Wahl des Berufes stellt für viele junge Menschen eine bedeutsame Weichenstellung für das zukünftige Leben dar. In den vergangenen Jahrtausenden wurde der individuellen Berufswahl verhältnismäßig wenig Beachtung geschenkt. „Arbeit“ diente dazu, das eigene Überleben und das der Menschen im näheren Sozialgefüge, der Familie oder der Sippe, zu sichern. In den meisten Fällen wurde die Berufswahl durch die äußeren Rahmenbedingungen bestimmt, sei es die historisch gewachsene Zugehörigkeit zu einer Berufsgruppe oder zu einer gesellschaftlichen Schicht. Eine echte Freiheit bezüglich der Berufswahl war nicht wirklich gegeben. Der Sohn des Kaufmanns wurde Kaufmann – der des Schmieds wurde Schmied. Frauen waren ohnehin durch ihre gesellschaftlich geprägte Rolle weitgehend von einer Berufswahl ausgeschlossen. Hinzu kam die Tatsache, dass bestimmte gesellschaftliche Gruppen oder religiöse Minderheiten von bestimmten Berufsrichtungen ausgeschlossen waren. So blieb zum Beispiel im Mittelalter jüdischen Mitbürgerinnen und Mitbürgern der Zugang zu Handwerksberufen verwehrt. Insgesamt war es unbedeutend, ob der Mensch eine persönliche Entfaltung oder Selbstverwirklichung in der Ausübung der beruflichen Tätigkeit erlangte (SAILMANN 2018).

Mit der Epoche der Aufklärung veränderte sich zunehmend die Haltung zur Berufswahl. 1715 sprach der Thüringer Universalgelehrte Johann Gottfried Gregorii die Empfehlung aus, dass die Wahl des Berufes auf einer „sorgsamem Selbstexploration“ beruhen solle, bei der die Leistungsfähigkeit und die Neigungen berücksichtigt werden sollten. Die Aufgabe der Beratung schrieb Gregorii den Pädagogen zu (GREGORII 1715).

Eine erste systematische Beschreibung der Beratung zur Berufswahl findet sich zu Beginn des 20. Jahrhunderts bei dem amerikanischen Sozialreformer Frank Parsons (1854 – 1908). Basierend auf der amerikanisch-freiheitlichen Idee, dass der Mensch das Recht auf Glück und Entfaltung hat, wurde in diesem Zusammenhang auch der Anspruch erklärt, dass die Ausübung eines Berufs zu Zufriedenheit und Selbstverwirklichung führen könne und solle. Parson beschreibt in seinem Buch, das erst nach seinem Tod veröffentlicht wurde, das Vorgehen der Berufsberatung. Danach wird eine hohe Berufszufriedenheit erreicht, wenn berufsrelevante Charaktereigenschaften des Beratungsempfängers (z.B. Interessen, Werte, Neigungen, Begabungen) in möglichst großer Übereinstimmung mit den Charakteristika und Anforderungen des Berufs stehen. Damit wurden die Grundlagen für die in der Folge entwickelten Matching- bzw. Trait-and-Factor-Theorien gelegt (JONES 1994; PARSON 1909).

Insgesamt gehen die Matching- und Trait-and-Factor-Theorien also davon aus, dass der Beruf dann optimal gewählt wurde, wenn eine optimale Passung zwischen dem Persönlichkeitsprofil und dem Anforderungsprofil des Berufes gefunden wird. Zu kritisieren ist, dass hier der Einfluss des sozialen Umfelds unberücksichtigt bleibt. Ob ein Beruf als richtig gewählt empfunden wird, ist aber

ganz offensichtlich ebenfalls vom Einfluss des Sozialgefüges – insbesondere von der Bewertung der Peer Groups – abhängig (BEINKE 2006).

2.1.1 John L. Hollands “Theory of Vocational Personalities in Work Environment”

John Lewis Holland (1919-2008) veröffentlichte Ende der 50er Jahre seine erste umfassende Matching- bzw. Trait-and-Factor-Theorie. Das Modell wurde in den darauffolgenden Jahrzehnten kontinuierlich weiterentwickelt („Making vocational choices“ 2. Auflage 1985 und 3. Auflage 1997). Es basiert auf folgenden fünf Grundannahmen:

- a) Es gibt sechs Personorientierungen (Personmodell),
- b) es gibt sechs Umwelterorientierungen (Umweltmodell),
- c) die Orientierungen stehen in Beziehung zueinander (RIASEC-Modell),
- d) Personen suchen nach Umwelten, die ihrem Persönlichkeitstyp entsprechen (Zuordnung Person-Umwelt) und
- e) die Wechselwirkungen zwischen Persontyp und Umwelttyp bestimmen das Verhalten (Zufriedenheit, Leistung, Erfolg, ...)

(EDER & BERGMANN 2015; JOERIN FUX et al. 2013; HOLLAND 1997; HOLLAND 1996; HOLLAND 1985)

Interessant für die vorliegende Arbeit sind insbesondere die Aspekte „Personorientierung“ und „RIASEC-Modell“, weil sie die Grundlage für die Analyse der Persönlichkeitstypen bilden. Diese werden später mit den Ergebnissen der MRT-Daten in Relation gesetzt. Die weiteren oben genannten Grundannahmen Hollands sind eher für eine berufliche Laufbahnberatung von Bedeutung.

Personorientierung

Kern des Modells ist die Annahme, dass es lediglich sechs grundlegende Orientierungen der Persönlichkeit gibt: *Realistic (R)*, *Investigative (I)*, *Artistic (A)*, *Social (S)*, *Enterprising (E)* und *Conventional (C)* (EDER & BERGMANN 2015; JOERIN FUX et al. 2013; HOLLAND 1997).

1. *Realistic (R): Praktisch-technische Orientierung (handwerklich-technisch)*: Personen mit dieser Vorliebe beschäftigen sich gerne mit konkreten Gegenständen, die manuell bzw. maschinell bearbeitet werden. Kraft, Geschick und Koordination werden gerne eingesetzt.
2. *Investigative (I): Intellektuell-forschende Orientierung (untersuchend-forschend)*: Menschen mit dieser Personorientierung setzen sich gerne mit physischen, biologischen oder kulturellen Phänomenen auseinander. Sie arbeiten systematisch, beobachtend. Im Mittelpunkt steht die Forschung. Probleme werden mit Hilfe von neuen Ideen, logischem Denken oder genauem Beobachten untersucht.
3. *Artistic (A): Künstlerisch-sprachliche Orientierung (künstlerisch-kreativ)*: Personen mit diesem Schwerpunkt bevorzugen offene, unstrukturierte Tätigkeiten, mit denen sie kreative Produkte mit Hilfe von Materialien, Musikinstrumenten oder dem eigenen Körper

erschaffen, etwas verschönern oder das kulturelle Leben bereichern. Sie haben Interesse an Sprachen, bildender Kunst, Musik, Schauspiel oder Schriftstellerei.

4. *Social (S): Soziale Orientierung (erziehend-pflegend)*: Personen mit dieser Vorliebe kümmern sich gerne um andere Menschen, indem sie sie ausbilden, lehren, beraten, pflegen oder heilen. Sie zeigen soziales Einfühlungsvermögen, Geduld und pädagogisches Geschick bei der Erfüllung ihrer Aufgaben. Sie gelten als idealistisch, warmherzig, gesellig und tolerant.
5. *Enterprising (E) Unternehmerische Orientierung (führend-verkaufend)*: Menschen mit einer unternehmerischen Orientierung organisieren, leiten oder führen gerne. Sie bevorzugen Tätigkeiten, mit denen sie andere beeinflussen, motivieren oder manipulieren, um organisatorische oder wirtschaftliche Ziele zu erreichen. Sie gelten als selbstbewusst, mitreißend, motivierend, ehrgeizig, dominant, dynamisch und verantwortungsbereit.
6. *Conventional (C) Konventionelle Orientierung (ordnend-verwaltend)*: Personen mit dieser Orientierung arbeiten gerne genau und ordentlich. Sie bevorzugen Tätigkeiten, bei denen es um einen geordneten und systematischen Umgang mit Daten oder Materialien geht, z.B. das Ordnen von Materialien und Daten oder Anlegen von Dokumentationen und Aufzeichnungen. Sie gelten als genau, ordentlich, gewissenhaft, ausdauernd, praktisch und eher vorsichtig.

Bei diesen Beschreibungen handelt es sich um überzeichnete, idealtypische Bilder der Orientierungen. Sie treffen auf reale Menschen immer nur mehr oder weniger vollständig zu. Holland geht aber davon aus, dass die meisten Personen wenigstens eine dieser Orientierungen als Haupttypus aufweisen (HOLLAND 1997).

Die meisten Menschen zeigen daneben noch andere Orientierungen. Daher schlägt Holland vor, Personen mit einem Drei-Buchstaben-Code („3-Letter-Code“) zu typisieren, wobei die Reihenfolge der Buchstaben der Ausprägung des Persönlichkeitsmerkmals entspricht. Beispiel: Eine Person mit dem Code „SEC“ hat die stärkste Orientierung im Bereich „Social“, die zweitstärkste bei „Enterprising“ und die drittstärkste bei „Conventional“ (EDER & BERGMANN 2015; JOERIN FUX et al. 2013; LEUNG 2008). Damit ergeben sich aus den möglichen Kombinationen der sechs Haupttypen insgesamt 120 Subtypen.

Umweltorientierung

Holland postuliert, dass die gleichen Merkmale der Personorientierung auch auf die (berufliche) Umwelt anwendbar sind. Dementsprechend gibt es Berufe, die dadurch charakterisiert sind, dass sie bestimmte Eigenschaften von ihren ausübenden Personen abverlangen. So erwartet ein handwerklich-technisch geprägter Beruf aus der „Realistic-Umwelt“ handwerklich-technisches Können und ein erzieherisch-pflegerischer Beruf („Social-Orientierung“) soziale Kompetenz vom ausübenden Menschen. Nachvollziehbar wird diese Annahme, wenn man davon ausgeht, dass sich Berufe ursprünglich nicht zufällig gebildet haben, sondern durch die Menschen geprägt wurden, die sie

ausübten. So wurden wahrscheinlich Tätigkeiten aus den Berufen ausgelagert, die nicht zu den Menschen passten. Umgekehrt wählten solche Menschen den Beruf nicht, die darin keine bevorzugten Tätigkeiten sahen (EDER & BERGMANN 2015).

Das RIASEC-Modell

Die Theorie Hollands besagt, dass die sechs Haupttypen (R, I, A, S, E und C) in einem strukturellen Zusammenhang zueinanderstehen. Die Darstellung in einem Hexagon soll die Beziehung der Orientierungen zueinander bildlich darstellen und findet sich bereits seit 1973 in Hollands Modell. Darauf wird auch in neuerer Literatur hingewiesen (EDER & BERGMANN 2015).

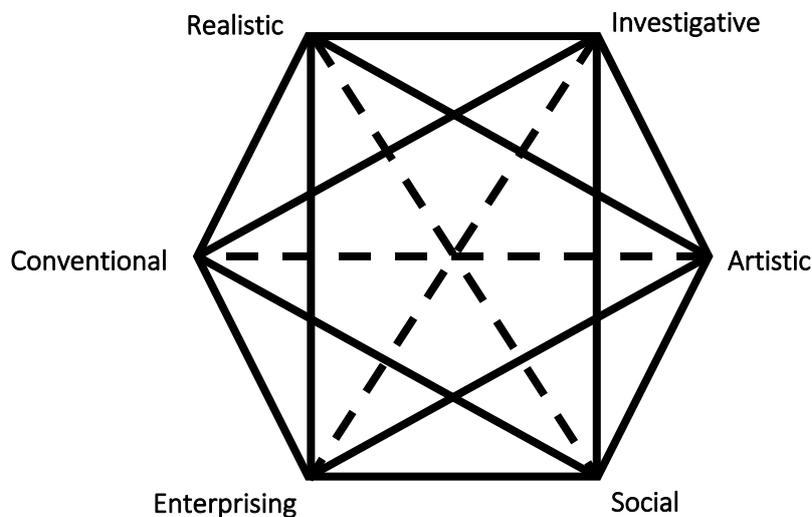


Abbildung 1: Hexagon-Modell zur Bestimmung der Ähnlichkeit zwischen den Persönlichkeits- bzw. Umwelttypen

Holland geht davon aus, dass die psychologische Nähe der jeweiligen Orientierungen umso größer ist, desto näher sie im Hexagon beieinanderliegen („Calculus-Hypothese“). Gegenüberliegende Orientierungen verhalten sich demzufolge antagonistisch (EDER & BERGMANN 2015; NAGY et al. 2015).

Das RIASEC-Modell hat in Hollands Theorie eine gewichtige Bedeutung. Die Tragfähigkeit des Modells konnte durch Folgeuntersuchungen belegt werden. Beispielhaft sei hier eine Studie von YU & ALVI (1996) genannt, die die Korrelationen der beruflichen Interessen bei 409 Schülern einer weiterführenden Schule untersuchte (Abbildung 2). Es wurde gezeigt, dass die Korrelationskoeffizienten der untersuchten Persönlichkeitsmerkmale größer sind, wenn die Merkmale R, I, A, S, E oder C im Hexagon näher beieinander liegen, und die Koeffizienten kleiner sind, wenn sie weiter auseinander liegen. Damit wurde zudem die Calculus-Hypothese gestützt.

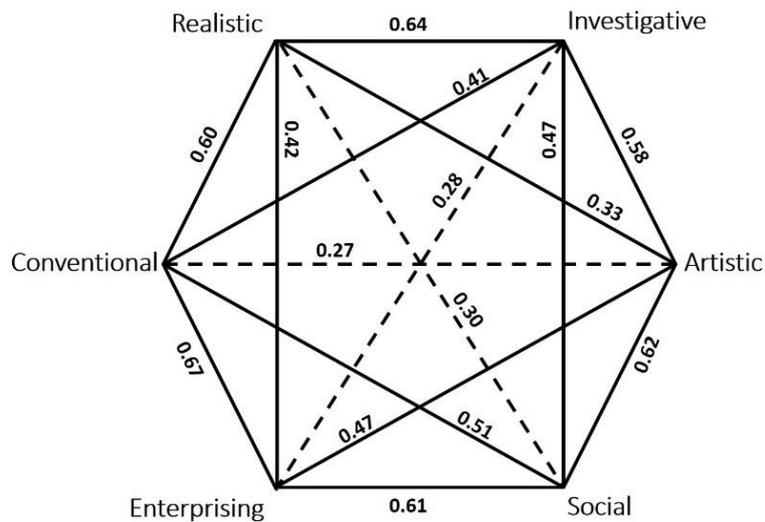


Abbildung 2: Nach Yu & Alvi (1996): Korrelationen zwischen Hollands Self-Directed Search (SDS) -Werten, angeordnet als Hexagon (409 Schüler einer technischen Sekundarstufe in China). Bei den zugeordneten Zahlen handelt es sich um die Korrelationskoeffizienten. Ein Korrelationskoeffizient von „0“ würde bedeuten, dass es keinen Zusammenhang zwischen den Merkmalen gäbe. Ein Koeffizient von „1“, dass beide Merkmale völlig übereinstimmen.

2.1.2 Ergänzende Konstrukte im Modell von J. L. Holland

Zusätzlich zu den vorgenannten Grundannahmen entwickelte Holland zusätzliche Konstrukte, die der praktischen Umsetzung des Modells dienen. Von gewisser Bedeutung für diese Arbeit sind die Begriffe der Kongruenz, Konsistenz und der Differenziertheit (vgl. 5.1.1 und 5.4) (STANGL 2016; EDER & BERGMANN 2015).

Kongruenz

Die Kongruenz bezeichnet den Grad der Übereinstimmung zwischen der Person- und der Umweltorientierung. Die Passung ist dann hoch, wenn der Mensch in einer (beruflichen) Umwelt tätig ist, die der Orientierung der Person genau entspricht. Dies ist beispielsweise dann der Fall, wenn eine Person mit der Orientierung „Conventional“ in einem beruflichen Umfeld tätig ist, das ebenfalls der Orientierung „Conventional“ zuzuordnen ist. Dies führt automatisch zu einer höheren beruflichen Zufriedenheit und größerem beruflichem Erfolg. Eine geringe Kongruenz läge in diesem Fall vor, wenn die Person im Berufsfeld „Artistic“ tätig wäre, was eine geringere berufliche Zufriedenheit und einen geringeren Erfolg zur Folge hätte (vgl. 2.1.1.5 Wechselwirkung zwischen Persontyp und Umwelttyp) (EDER & BERGMANN 2015; LEUNG 2008). Zur Verdeutlichung stelle man sich einen Verwaltungsbeamten vor, der am Theater als Schauspieler arbeiten müsste oder umgekehrt einen kreativ-chaotischen Alleinunterhalter, der tagtäglich Steuererklärungen zu bearbeiten hätte.

Konsistenz

Die Konsistenz oder Kohärenz beschreibt das Innenverhältnis der Umwelt- bzw. Personorientierung. HOLLAND (1985) definiert eine „hohe Konsistenz“ einer Person- oder Umweltorientierung, wenn die zwei Orientierungen, die am stärksten ausgeprägt sind, im Hexagonmodell beieinanderliegen.

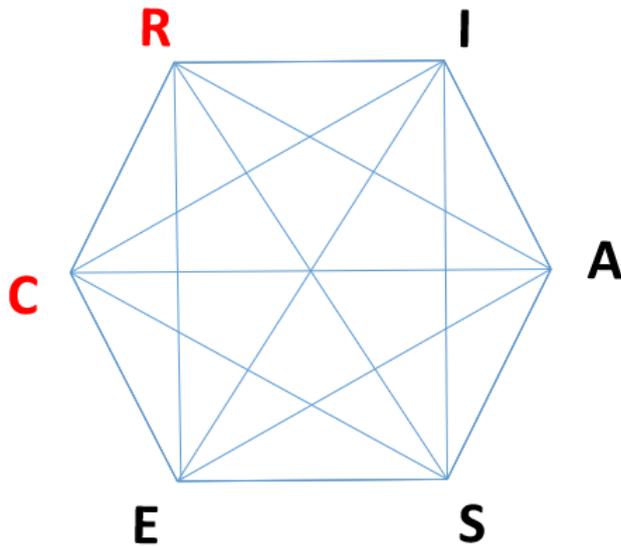


Abbildung 3: Wenn die zwei stärksten Merkmale des Triplets (hier „CRA“) im Hexagon nebeneinander liegen, spricht HOLLAND (1985) hinsichtlich der Person- oder Umweltorientierung von einer „hohen Konsistenz“.

Eine im 3-Letter-Code ausgedrückte Orientierung „CRA“ wäre konsistent, weil im Hexagon „Conventional“ neben „Realistic“ liegt. Die Orientierung „CAR“ wäre dagegen inkonsistent, weil sich „Conventional“ im Hexagon genau gegenüber von „Artistic“ befindet. Nach Hollands Theorie lässt sich hier vermuten, dass die Person mit einem inkonsistenten Persönlichkeitsprofil eher Schwierigkeiten in ihrer beruflichen Karriere haben wird. Das liegt zum einen daran, dass sich die Person entscheiden muss, welche der beiden gegensätzlichen Neigungen sie in ihrem Berufsleben „bedienen“ möchte. Zum anderen gibt es nur wenige Berufe, die in sich inkonsistent sind, sodass es nur schwer möglich ist, eine hohe Kongruenz bei der Berufswahl zu erreichen (STANGL 2016; EDER & BERGMANN 2015).

Differenziertheit

Ähnlich wie bei dem Konstrukt der Konsistenz beschreibt die Differenziertheit das Innenverhältnis einer Orientierung, hier aber im Sinne von der Stärke und Klarheit, mit der die Person- oder Umweltorientierung ausgeprägt ist. Ein differenziertes Profil liegt dann vor, wenn es deutliche Höhen und Tiefen aufweist. Bei wenig differenzierten Orientierungen zeigen sich mehrere Neigungen/Interessen gleich stark bzw. gleich schwach. Es wird angenommen, dass Persönlichkeiten mit einer starken Differenzierung weniger Probleme bei der Auswahl eines beruflichen Lebenswegs empfinden, weil

die Interessen der Person schon klar herausgeformt sind. Es fällt so leichter, die persönlichen Neigungen mit einem passenden Beruf in Verbindung zu bringen (EDER & BERGMANN 2015).

2.1.3 Bedeutung des Modells von J. L. Holland

Die Theorie von John L. Holland zu „Vocational Personalities in Work Environment“ zählt zu den einflussreichsten Modellen zur Berufswahl weltweit. Berufspsychologische Testinstrumente, die auf seiner Idee basieren, wurden in mehr als 40 Ländern verbreitet. Auch für den deutschsprachigen Raum konnten auf Grundlage dieser Theorie seit den 70er Jahren Instrumente entwickelt bzw. englischsprachige Tests adaptiert werden, mit denen Jugendliche in der schwierigen Phase der Berufsfindung Unterstützung finden (LEUNG 2008; GOTTFREDSON 1999).

Die Bedeutung des Modells von Holland als theoretische Grundlage nimmt für viele Anwendungsbereiche weiter zu. Zwei grundlegende Bereiche ergeben sich schon aus der Struktur der Theorie: die Personaldiagnostik und Umweltdiagnostik (EDER & BERGMANN 2015).

Beleg für die wachsende Bedeutung im deutschsprachigen Raum ist auch die in den letzten Jahren beobachtbare Zunahme an Literatur, die sich auf Hollands Theorie bezieht (HARTMANN et al. 2015).

Anwendung der Theorie Hollands in der Laufbahnberatung

Der in seiner ursprünglichen Form englischsprachige Test, der von HOLLAND (1971 und 1985) selbst entwickelt wurde, heißt „Self-Directed Search“ (SDS). Er bildet das Fundament vieler Adaptationen weltweit. Erwähnenswert für den deutschsprachigen Raum sind der „Person-Umwelt-Struktur-Test“ von EDER & BERGMANN (1988), dessen Weiterentwicklung „Allgemeiner Interessen-Struktur-Test“ (AIST) von BERGMANN & EDER (1992, 2005 und 2018) und der „Freizeit-Interessen-Test“ (FIT) von STANGL (1991). Heute besonders verbreitet ist die Adaptation und Weiterentwicklung von JOERIN FUX et al. (2003 und 2013) unter dem Namen „EXPLORIX“ mit Ausgaben für Deutschland, Österreich und die Schweiz (EDER & BERGMANN 2015; HARTMANN et al. 2015).

Computergestützte Eignungstests zur Laufbahnberatung

Neben Printversionen („Papier-Bleistift-Methode“) entwickelte sich seit den 90er Jahren ein breites Angebot aus computer- bzw. internetgestützten Tests zur Laufbahnberatung. Zu nennen sind hier insbesondere das „Linzer Beratungsmodell“ von BERGMANN & EDER (1994) und das Konzept der Studienberatung „was-studiere-ich.de“ des Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst in Baden-Württemberg, erarbeitet von HELL et al. (2005). Auch die oben erwähnten Printversionen der Tests „EXPLORIX“ und der „Freizeit Interessen-Test“ von STANGL (1991) in seiner Weiterentwicklung „Situativer-Interessen-Test“ (SIT) sind online durchführbar (STANGL 2016; EDER & BERGMANN 2015; HARTMANN et al. 2015).

2.2 Neuronale Plastizität des Gehirns

Unter „Neuronaler Plastizität“ oder „Neuroplastizität“ versteht man die Anpassung und Veränderlichkeit neuronaler Netzwerke im Nervensystem. Es werden funktionelle und strukturelle Anpassungen unterschieden. Es ist möglich, in einem Netzwerk die Effizienz der synaptischen Übertragung zu erhöhen, ohne dass dabei anatomische Veränderungen auftreten. Hier spricht man von einem Phänomen der funktionellen Plastizität. Ein anatomisch fassbarer Umbau von Nervenzellstrukturen als Anpassungsleistung ist dagegen eine Form der strukturellen Neuroplastizität (WENGER et al. 2017; KAPFHAMMER 2000).

Donald Olding Hebb (1904-1985) war Professor für Psychologie an der McGill-Universität in Montreal (Kanada). Er gilt als Entdecker der Neuronalen Plastizität. Mit seiner Theorie legte er den Grundstein zum heutigen Verständnis von Gedächtnisleistungen und Lernprozessen.

“When an axon of Cell A is near enough to excite a Cell B and repeatedly or persistently takes part in firing it, some growth process or metabolic change takes place in one or both cells such that A’s efficiency, as one of the cells firing B, is increased.” (HEBB 1949, Seite 62)

Mit dieser Kernaussage aus dem Buch „The Organization of Behavior“ veröffentlichte Hebb im Jahre 1949 seine Theorie, dass wiederholte oder dauerhafte Nutzung von Verbindungen zweier Neurone zu Wachstums- und Stoffwechselprozessen führt, die eine verbesserte Effizienz der Kommunikation untereinander zur Folge hat. Diese Annahme bezog sich demnach sowohl auf die funktionelle wie auch auf die strukturelle Neuroplastizität (MORRIS 1999; SEJNOWSKI 1999).

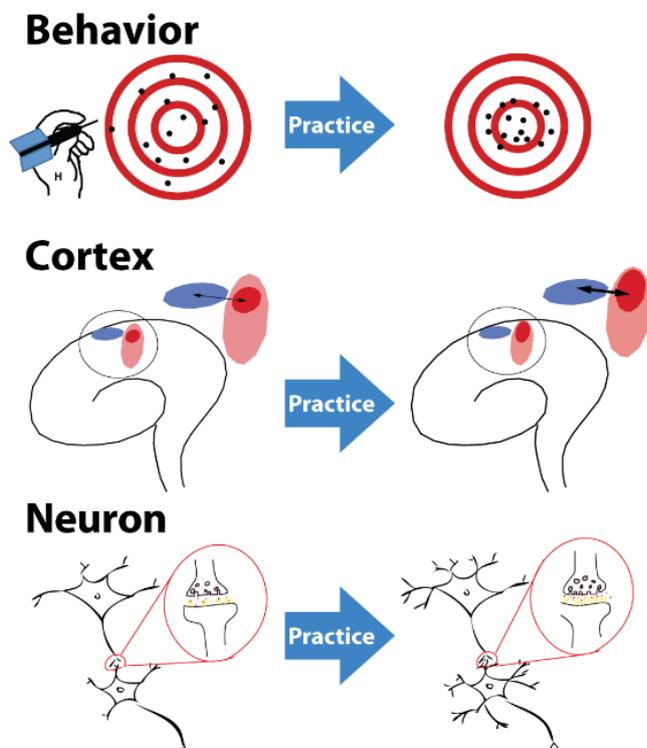


Abbildung 4: Prinzip der neuronalen Plastizität (KIM 2021)

Hinsichtlich der postulierten anatomischen Veränderungen ging Hebb davon aus, dass möglicherweise die Zahl oder Größe der Synapsen zunähme (Cooper 2005).

Die Theorie, auch als Hebb'sche Lernregel bekannt, konnte zum damaligen Zeitpunkt nicht verifiziert werden. Erst im Jahre 1972 wurde von BLISS & LOMO (1972) der Nachweis erbracht, dass im Hippocampus von Kaninchen nach häufiger elektrischer Stimulation die Effizienz der Signalverarbeitung und -weiterleitung zunahm (BLISS & LOMO 1972).

Auch strukturelle Veränderungen konnten in den Folgejahren nachgewiesen werden. So z.B. die Zunahme der Varikosität an sensorischen Neuronen bei der Meeresschnecke *Aplysia* (BAILEY et al. 2015; BAILEY & CHEN 1988) oder die Zunahme von „dendritic spines“ an postsynaptischen Dendriten nach Lernprozessen bei Mäusen (YANG et al. 2014).

Mit den heutigen Möglichkeiten der Bildgebung mittels Kernspintomographie (Magnetresonanztomographie) lassen sich neuronale Verdichtungen, die eine Konsequenz von Lernen und Anpassung darstellen, auch beim Menschen in vivo nachweisen (WHITWELL 2009, ASHBURNER & FRISTON 2000).

2.3 Kernspintomographie: Instrument zur Erforschung der Neuroplastizität

Bereits Mitte des letzten Jahrhunderts wurde das physikalische Phänomen der Magnetresonanz erforscht. 1952 erhielten die beiden Forscher Felix Bloch und Edward Purcell, die unabhängig voneinander arbeiteten, den Nobelpreis für Physik für ihre Arbeit.

Das erste MRT-Bild, ähnlich einem CT-Schnittbild, konnte 1973 durch Paul Lauterbur veröffentlicht werden. Für die medizinische Diagnostik gewinnt die Kernspintomographie seit den 1980er Jahren zunehmend an Bedeutung. Bis dahin standen die geringe Auflösung der Bilder und die lange Untersuchungsdauer über mehrere Stunden einer medizinischen/diagnostischen Nutzung entgegen (REITH 2011; STÖCKER & SHAN 2007).

Seit Ende der 1990er Jahre haben sowohl die Magnetresonanztomographen als auch unsere Computersysteme ein solches Leistungsvermögen erreicht, dass eine statistische Analyse von MRT-Bildern möglich wurde und sinnvoll erschien. Mit dem mittlerweile etablierten Verfahren der „Voxelbasierten Morphometrie“ kann letztendlich Aufschluss über die Volumina von Grauer und Weißer Substanz des Gehirns gegeben werden, sodass diese Daten einer statistischen Analyse zugeführt werden können (ASHBURNER & FRISTON 2000).

2.3.1 Physikalische Grundlagen

Grundlage für die Magnetresonanztomographie ist das physikalische Phänomen, dass Atome mit einer ungeraden Zahl an Protonen einen Eigendrehimpuls, den sogenannten Kernspin, aufweisen. Wasserstoffatomkerne, die im menschlichen Organismus sehr häufig vorkommen, besitzen nur ein Proton. Damit zeigen sie einen Kernspin und sind – jedes für sich – ein magnetisches Moment. Da dieses magnetische Moment in alle Raumrichtungen gleichmäßig verteilt ist, lässt sich in der Summe kein Magnetismus nachweisen.

Unter Einfluss eines von außen einwirkenden, statischen Magnetfeldes richten sich die Atome mit magnetischem Moment nach diesem Magnetfeld parallel aus. Werden nun hochfrequente Radiowellen (*HF-Signal*) mit einem Pulswinkel (*flip-angle*) von 90° zur Richtung des Magnetfeldes gesandt (*elektromagnetisches Störfeld*), wird die Magnetisierung der Atomkerne aus der Richtung des statischen Feldes ausgelenkt. Sie rotieren bzw. taumeln nun um die Feldrichtung des statischen Magnetfeldes. Diese Kreiselbewegung wird auch *Präzession* genannt. Nach Abschaltung des elektromagnetischen Störfeldes richten sich die magnetisierbaren Atomkerne wieder parallel im noch immer bestehenden äußeren Magnetfeld aus (*Relaxation*). Dabei wird jene Energie wieder frei, die durch die Hochfrequenz-Radiowellen zuvor eingebracht wurde, indem nun Hochfrequenz-Radiowellen abgestrahlt werden. Diese ausgesandten Radiowellen können von den Radiofrequenzspulen, ähnlich einer Antenne, empfangen und von einem Computer aufgezeichnet werden. Je nach chemischer Zusammensetzung und Verteilung der Wasserstoffatomkerne gelingt die Relaxation verschieden schnell. Für unterschiedliche Gewebe mit unterschiedlicher Dichte an Atomkernen mit magnetisch wirksamem Spin ergeben sich folglich entsprechend unterschiedliche Abklingzeiten (*Relaxationszeiten*). Letztlich bestimmt die Signalhöhe im jeweiligen Messvolumen (*Voxel*) die Graustufe im Bildpunkt auf dem Monitor (*Pixel*). Der Computer berechnet aus den Graustufen und der Lokalisation des Signals das MRT-Bild (LANFERMANN et al. 2015; REITH 2011).

MRT-Sequenzen: T1- und T2-Gewichtung, MP-RAGE

Sequenzen mit T1- und T2-Gewichtung gehören zur Grundausstattung von MRT-Geräten (LANFERMANN et al. 2015). MP-RAGE-Sequenzen, die T1-gewichtete 3D-Aufnahmen in kurzer Untersuchungszeit ermöglichen, haben sich zur Erstellung von 3D-Bildern des Gehirns weltweit etabliert und zählen zu den bedeutendsten Aufnahmetechniken in diesem Anwendungsbereich (WANG et al. 2014). Daher sollen hier exemplarisch diese Messsequenzen kurz dargestellt werden.

Nach Abschaltung des HF-Signals bewegen sich die Spins von der Transversalmagnetisierung zurück in die stabile Ausgangslage im statischen Magnetfeld, der Longitudinalmagnetisierung. Diese abnehmende transversale Magnetisierung erzeugt in der Empfangsspule das Magnetresonanz-Signal (*MR-Signal*). Dabei gibt es zwei Wechselwirkungen während der Abnahme des MR-Signals: die Spin-Gitter-Wechselwirkung (*Longitudinalrelaxation, T1-Relaxation*) und die Spin-Spin-Wechselwirkung (*Transversalrelaxation, T2-Relaxation*). Die T1-Relaxation zeigt den Vorgang des Wiederaufbaus der Longitudinalmagnetisierung, die T2-Relaxation das Nachlassen der Transversalmagnetisierung. Die T2-Relaxation ist beeinflusst vom Energieaustausch der Spins untereinander (*Spin-Spin-Wechselwirkung*), durch fluktuierende, zum Teil sehr schnell wechselnde lokale Magnetfeldveränderungen zwischen den benachbarten Spins (REITH 2011).

Aufnahmen mit T1-Gewichtung ergeben durch ein gutes Signal-Rausch-Verhältnis sehr detailreiche anatomische Darstellungen. T2-gewichtete Aufnahmen zeigen dagegen pathologische Veränderungen, wie z.B. Ödembildungen, besonders deutlich (LANFERMANN et al. 2015).

Eine Sonderform T1-gewichteter Aufnahmen sind MP-RAGE-Sequenzen (*magnetization prepared rapid gradient echo*), die sich besonders bei der strukturellen MRT des Gehirns durchgesetzt haben. Um ein MRT-Bild zu erhalten, muss jede Gewebeschicht mehrmals hintereinander angeregt werden. Die Zeit zwischen den Anregungen mittels HF-Signal wird Repetitionszeit genannt. Werden die Repetitionszeiten kurz gewählt, haben nicht alle Protonen die Gelegenheit, sich vollständig zu relaxieren. Bei der MP-RAGE-Sequenz wird außerdem der Puls-Winkel (*flip-angle*) von 90° auf etwa 10° reduziert. Das hat zur Folge, dass die Spins durch den reduzierten Einfallswinkel der HF-Strahlen nicht bis zum 90°-Winkel ausgelenkt werden und somit schneller wieder in Richtung des anliegenden Magnetfeldes zurückkehren. Sie geben dabei zwar ein schwächeres Signal ab, sind im Gegenzug aber schneller wieder bereit, durch ein erneutes HF-Signal von der Longitudinalrichtung im statischen Magnetfeld abgelenkt zu werden. Das schwächere Signal hat jedoch einen niedrigeren Kontrast zur Folge. Bei der MP-RAGE-Sequenz wird dieser Verlust ausgeglichen, indem vor der eigentlichen Anregung durch das HF-Signal in jeder untersuchten Schicht durch zusätzliche Magnetspulen im MRT-Gerät (Gradientenspulen) ein Vorsättigungsimpuls (*presaturation*) antiparallel zum eigentlichen, statischen Magnetfeld erzeugt wird. Bei einer 180° Vorsättigung wird also die gesamte Längsmagnetisierung invertiert. Die T1-Relaxation beginnt nicht bei „0“, sondern bei „-1“. Somit wird der Kontrastbereich verdoppelt. Mit diesem Verfahren lassen sich kontrastreiche T1-gewichtete Aufnahmen des gesamten Gehirns innerhalb von 10 Minuten mit einer Auflösung von unter 1 mm³ erreichen (WEISHAUPT 2014; STÖCKER & Shan 2007).

2.3.2 Von MRT-Schnittbildern zur Voxelbasierten Morphometrie

Aufnahmen mit einer Auflösung $\leq 1 \text{ mm}^3$ bieten eine ausreichende Trennschärfe der anatomischen Strukturen, sodass eine reliable Volumenmessung der Gehirnstrukturen möglich ist. Messvolumina, also dreidimensionale „Messpunkte“ in einem 3D-Bild werden als *Voxel* bezeichnet. Dieses Wort setzt sich aus den Begriffen *volumetric* und *pixel* zusammen. Ein Voxel entspricht einem Volumenpunkt bzw. eher einem Volumenquader in einem dreidimensionalen Bild – ähnlich wie ein Pixel einem Punkt in einem zweidimensionalen Bild entspricht. Da ein Voxel einem definierten Rauminhalt entspricht, lässt sich über die Anzahl der Voxel in einem Gebiet auch das Volumen der betreffenden Region vermessen.

Jeder Mensch ist ein anatomisches Individuum. So sind auch alle menschlichen Schädel und Gehirne unterschiedlich geformt. Das hat zur Folge, dass vor einer Vermessung und einem Vergleich der anatomischen Strukturen und Volumina, der Voxelbasierten Morphometrie, zunächst eine Vergleichbarkeit der untersuchten Gehirne hergestellt werden muss. Erst dann können die Daten einer statistischen Auswertung zugeführt werden. Die erforderlichen Arbeitsschritte im Zuge der Voxelbasierten Morphometrie mit der Erstellung einer statistischen Karte sind im Wesentlichen die *Normalisierung*, *Segmentierung* und *Glättung* der Bilder. Dieses Vorgehen wird auch als *Preprocessing* bezeichnet (PIEPERHOFF et al. 2007; GOOD et al. 2001; ASHBURNER & FRISTON 2000).

Die so aufbereiteten Daten erlauben es, Karten vieler unterschiedlicher Gehirne durch unmittelbare Überlagerung miteinander zu vergleichen und statistisch auszuwerten (PIEPERHOFF et al. 2007).

Das Verfahren der Voxelbasierten Morphometrie (VBM) wurde bereits 1999 von John Ashburner und Karl J. Friston ausführlich beschrieben. Die statistische Aussagekraft der so erhaltenen Karten und damit die Validität der Ergebnisse wurde in einer Studie an 50 gesunden Probanden überprüft (ASHBURNER & FRISTON 2000) und im Nachgang mit einer Vielzahl weiterer Untersuchungen belegt (WHITWELL 2009).

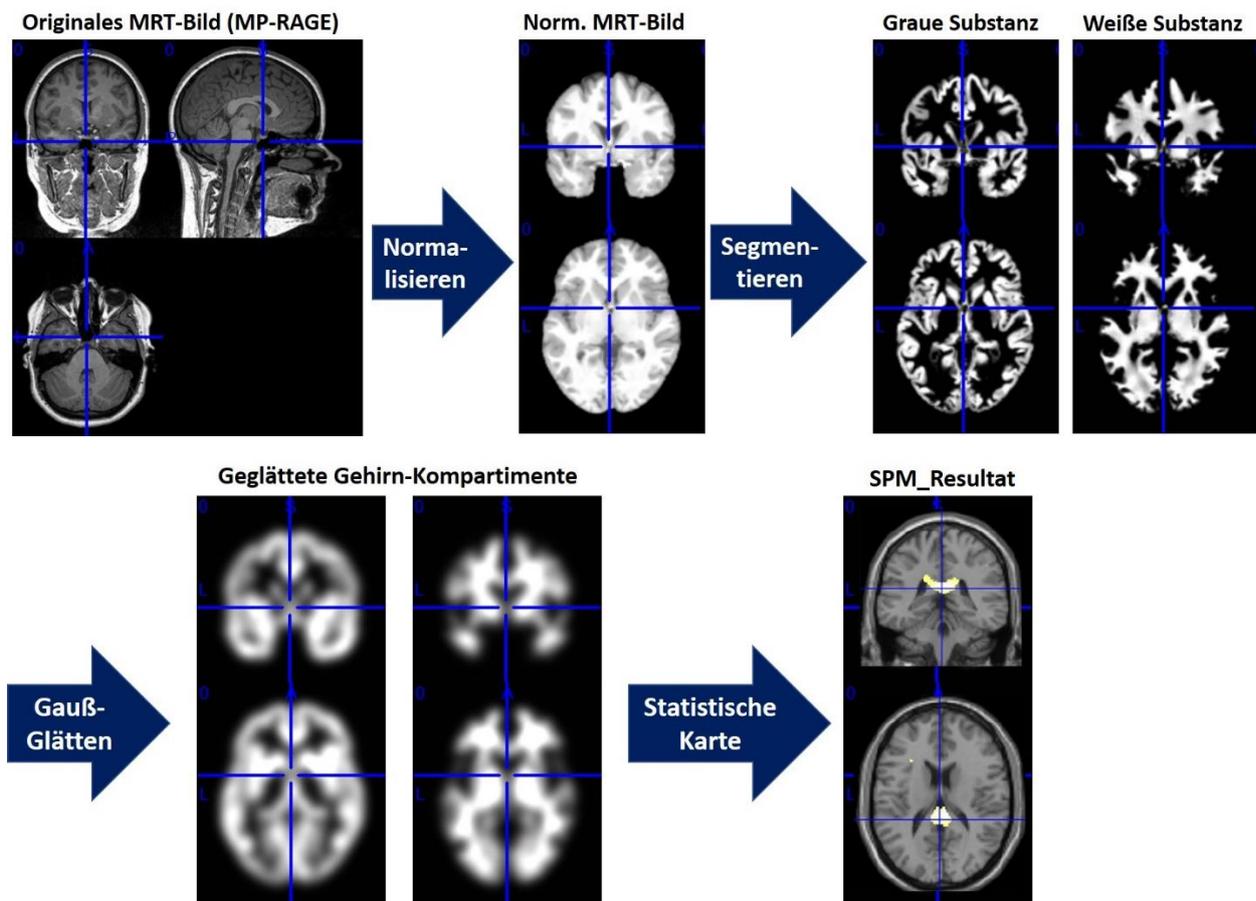


Abbildung 5: Schema zur Voxelbasierten Morphometrie. Dargestellt sind die Normalisierung, Segmentierung, Glättung und die Berechnung einer statistischen Karte

Normalisierung

Bei dem Vorgang der Normalisierung handelt es sich um die Anpassung eines individuellen Gehirns an ein Referenzgehirn. Im Idealfall korrespondieren nach der Normalisierung die Bildpunkte mit denen des Referenzhirns und damit auch die neuroanatomischen Gewebe. In den 1990er Jahren wurde als Referenz noch der stereotaktische Atlas von Talairach und Tournoux zugrunde gelegt (TALAIRACH & TOURNOUX 1988). Diese Gehirnkarte basiert auf der Kartographie eines einzigen postmortalen Gehirns einer 60-jährigen gesunden Französin. Als Referenz hat sich heute das Modell

des International Consortium for Brain Mapping (ICBM) bewährt. Es basiert auf dem Referenzhirn des Montreal Neurological Institute (MNI): Zunächst wurden Aufnahmen von 241 Gehirnen an manuell definierten Orientierungspunkten des Talairach-Gehirns ausgerichtet. Der gewonnene „Durchschnitt“ bildete nun die Grundlage für eine weitere Anpassung. 305 MRT-Gehirnaufnahmen gesunder Probanden wurden an dieses Ergebnis linear angepasst (s.u.). Das Ergebnis wurde als „MNI305 Template“ bezeichnet. Das International Consortium for Brain Mapping nutzte dieses Referenzgehirn, um 152 weitere MRT-Aufnahmen gesunder Gehirne daran anzupassen. Das entstandene Template (ICBM152) gilt zurzeit als Standard und ist seit einigen Jahren in den meisten Programmen zur statistischen Bildanalysen, so auch in Statistical Parametric Mapping (SPM), als Zusatzpaket und Referenz enthalten (BRETT et al. 2002).

Die Normalisierung kann auf unterschiedliche Weise geschehen. Grundsätzlich wird die lineare von der nichtlinearen Normalisierung unterschieden. Bei einer linearen Normalisierung wird durch Verschiebung, Skalierung (Vergrößern/Verkleinern), Scherung, und Rotation das Bild an ein Referenzgehirn angenähert. Da bei diesem Verfahren stets das ganze Bild gleichmäßig angepasst wird, spricht man von einer *linearen* oder auch *affinen* Normalisierung (GASER 2005).

Bei der nichtlinearen Normalisierung hingegen werden lokale Verzerrungen angewandt, um eine noch bessere Anpassung an ein Referenzgehirn zu erreichen (GASER 2005).

Für die Voxelbasierte Morphometrie ist die nichtlineare Normalisierung zu bevorzugen, wenn unterschiedliche Gehirne miteinander verglichen werden sollen. Es wird eine bessere Korrespondenz der zu untersuchenden Strukturen erreicht, da diese nach der Normalisierung in etwa an gleicher Stelle lokalisiert sind (GASER 2005).

Zur Durchführung einer nichtlinearen Normalisierung gibt es eine Vielzahl von Algorithmen, die die Transformation automatisiert berechnen. Ein wesentliches Problem ist aber darin zu sehen, dass bei der Transformation die gewünschten lokalen Verzerrungen zu unerwünschten Veränderungen des Verhältnisses von GM, WM und CSF führen. Als Algorithmus mit relativ geringer Fehlerquote hat sich der diffeomorphe Bildbearbeitungsalgorithmus DARTEL (Diffeomorphic Anatomical Registration Through Exponentiated Lie Algebra) etabliert. Hier werden die Anpassungen an den Referenzraum iterativ in kleinen Schritten unter Anwendung einer komplexen mathematischen Berechnung vorgenommen. Es wird für die Normalisierung ein Deformationsfeld (*Flussfeld* oder auch *Jacobi-Matrize*) berechnet, mit dem schließlich voxelweise das ursprüngliche in das normalisierte Matrixfeld überführt wird (UNRATH et al. 2011; ASHBURNER 2007).

Die Güte dieses Verfahrens wurde bereits im Vergleich zu anderen Normalisierungsalgorithmen untersucht und bestätigt (KLEIN et al. 2009).

Segmentierung

Im nächsten Schritt werden die Bilddaten segmentiert, das heißt, dass jedes Voxel den Strukturen Graue Substanz (GM), Weiße Substanz (WM) und cerebrospinale Flüssigkeit (CSF) zugeordnet werden. Möglich wird das durch die Analyse der Bildhistogramme. Über jede Häufigkeit einer

Graustufe (Bildintensität) wird eine Gaußkurve gelegt. Ein Algorithmus entscheidet nun über die Wahrscheinlichkeit der Zugehörigkeit eines jeden Voxels zu den oben genannten Bildintensitäten und damit zu den entsprechenden Strukturen: Je näher die Bildintensität am Maximum der Gaußkurve liegt, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass dieses Voxel zu der genannten Struktur gehört. Im Bereich des Schädels weist das Bild eine der Grauen Substanz ähnliche Intensität auf. Um die daraus resultierenden Berechnungsfehler zu minimieren, werden die Daten des Bildes zusätzlich mit A-Priori-Informationen der Verteilung der Gewebetypen bereits segmentierter Gehirne über einen Bayes-Schätzer verknüpft (ein Bayes-Schätzer ist eine Schätzfunktion der mathematischen Statistik, bei der zusätzlich zu den vorhandenen Daten vorhandenes Vorwissen eingebracht wird). Die Ergebnisse der Segmentierung werden als „optimiert“ bezeichnet, weil an dieser Stelle anatomisches Wissen eingebracht wird (GASER 2005).

Häufig wird als Instrument zur Segmentierung das in der VBM-Toolbox für SPM8 enthaltene Werkzeug genutzt. Die Genauigkeit und Reliabilität wurden von EGGERT et al. (2012) bestätigt.

Glättung

Bei dem Arbeitsschritt der Glättung wird der Grauwert der erfassten Voxel mit dem benachbarten Voxeln verrechnet. Hier findet eine dreidimensionale Gaußfunktion Anwendung. Diese Gauß-Glättung wird durch Anwendung eines Gauß-Filters (*Gauß-Kernels*) mit einer bestimmten, festzulegenden Halbwertsbreite (*Full Width Half Maximum, FWHM*) durchgeführt. Die Glättung erhöht die Genauigkeit der statistischen Analyse, weil Signalsprünge innerhalb der Datensätze entfernt werden und eine Annäherung an eine Normalverteilung erreicht wird. Zufällige Effekte und Störungen (Artefakte), die nur ein Voxel betreffen, werden durch die Verrechnung mit den benachbarten Voxel herausgemittelt und fallen damit statistisch weniger stark ins Gewicht. Damit mindert die Glättung auch den Effekt einer Alphafehler-Kumulation (BAIER 2015; KURTH et al. 2015, WHITWELL 2009, WOHL-SCHLÄGER et al. 2007).

Optimiertes Preprocessing-Protokoll

Zur Verbesserung der Datenqualität wurde von GOOD et al. (2001) ein optimiertes Verfahrensprotokoll zur Aufbereitung der Bilder eingeführt. Der wesentliche Unterschied der beiden Verfahren besteht darin, dass bei dem optimierten Verarbeitungsprotokoll eine vorläufige Segmentierung in GM und WM unter Einflussnahme von A-Priori-Informationen und dem Bayes-Schätzer schon im Vorgang der Normalisierung vorgenommen wird. Ein Deformationsfeld (*Jacobi-Matrize*) wird berechnet und die Bilder der Grauen und Weißen Substanz werden nun getrennt voneinander anhand der Matrize normalisiert, danach wieder zu einem T1-Bild zusammengefügt und erst dann dem Schritt der Segmentierung – unter erneuter Anwendung des Bayes-Schätzers und der A-Priori-Informationen – zugeführt. Zudem fließen bei der Erhebung der Volumina Informationen über das für die Normalisierung angewandte Deformationsfeld in den Vorgang der Glättung ein (GOOD 2001).

Beide Protokolle können in SPM automatisiert ausgeführt werden, wobei vom Anwender die Auswahl zwischen den zwei Verfahren „standard“ oder „optimized“ getroffen wird.

2.3.3 Statistische Auswertung der MRT-Bilder

Zur statistischen Auswertung hat sich das auf MATLAB basierte Programm SPM (*Statistical Parametric Mapping*) etabliert. Die Entwicklung des Software-Pakets zur bildgestützten Analyse von Bildmaterial unterschiedlicher Herkunft (PET, MRT, ...) begründete zu Beginn der 1990er Jahre Karl Friston vom Hammersmith Hospital in London. Die erste Version (SPM91 oder SPMclassic) wurde zum beliebtesten Werkzeug zur Analyse von PET-Bildern des regionalen zerebralen Blutflusses. Als Open Source Projekt haben seitdem viele Wissenschaftler aus der ganzen Welt an der Weiterentwicklung mitgearbeitet. Mit zunehmender Leistungsfähigkeit der zur Verfügung stehenden Computer wurde das Programm um viele Module erweitert. In der heute gebräuchlichen, aktuelleren Version (SPM8) können alle oben erwähnten Arbeitsschritte zur Vorbereitung und Auswertung der Bilddaten einschließlich statistischer Testverfahren (z.B. T-Test) automatisiert durchgeführt werden (ASHBURNER 2012).

Auch eine anatomische Zuordnung von Treffern ist aufgrund der Verknüpfung mit anatomischen Landkarten, z.B. der SPM Anatomy Toolbox von Simon Eickhoff, möglich (EICKHOFF et al. 2005).

Die Software ist bislang unter den GNU General Public Licence Bedingungen lizenziert und steht nichtkommerziellen Anwendern kostenlos zur Verfügung.

2.3.4 Nachweis der neuronalen Plastizität mittels Voxelbasierter Morphometrie

Nachweise neuronaler Anpassungsleistungen finden sich sowohl in Längs- als auch in Querschnittstudien. In Längsschnittstudien wird beispielsweise der Effekt von Trainingsmaßnahmen bei einer einzigen Probandengruppe nach festgelegten Zeitintervallen untersucht (z.B. Untersuchungen vor, während und nach Erwerb einer bestimmten Fähigkeit). Dagegen wird bei Querschnittstudien eine Probandengruppe mit einer bestimmten Kompetenz einer ansonsten möglichst ähnlichen Kontrollgruppe ohne diese Fähigkeit gegenübergestellt (z.B. Tänzer versus Nicht-Tänzer).

Bislang finden sich in der Literatur wesentlich mehr Längsschnittstudien, bei denen die Voxelbasierte Morphometrie zur Anwendung kommt, als Querschnittstudien.

Untersuchung neuronaler Anpassungsvorgänge in Längsschnittstudien

Neuronale Anpassungsvorgänge können insbesondere in Längsschnittstudien nachgewiesen werden. Bereits wenige Wochen körperliches Training (DRAGANSKI et al. 2004), intensives Lernen (DRAGANSKI et al. 2006), Musiktherapie (KRICK et al. 2015) oder Yoga (GARNER et al. 2019) genügen, um mit der MRT-Bildgebung und statistischen Analyse eine Zunahme der Grauen Substanz als strukturelle neuronale Veränderung belegen zu können.

Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass die nach kurzer Zeit nachweisbare Zunahme der Grauen Hirnmasse, trotz anhaltendem Training, nach einigen Wochen wieder teilweise rückläufig zu sein scheint, obwohl die erlernten Fähigkeiten erhalten bleiben. Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass die zunächst für die Bewältigung der Aufgabe notwendige Zunahme an synaptischen Verbindungen zwischen den Neuronen (Graue Substanz) im Laufe der Zeit zugunsten verbesserter Leitungsbahnen (Weiße Substanz) wieder aufgegeben wird. (WENGER et al. 2017; HÜBENER & BONHOEFFER 2014)

Allerdings kommt es auch bei einer längerfristigen Nicht-Nutzung von Fähigkeiten nachweislich zu einer Abnahme der Grauen Masse in den assoziierten Hirnregionen. So nimmt beispielsweise das Volumen in Teilen des Motorcortex nach einer unfallbedingten langfristigen Ruhigstellung einer Extremität deutlich ab. In diesen Fällen gehen jedoch angeeignete Fähigkeiten verloren (LANGER et al. 2012).

Untersuchung neuronaler Anpassungsvorgänge in Querschnittstudien

In der Fachliteratur wird auch in Querschnittstudien die Zunahme von Grauer Substanz in mit besonderen Aufgaben assoziierten Hirnregionen nach langandauerndem Training mehrfach beschrieben: Etwa von SLUMING et al. (2002) im Broca-Areal bei Berufsmusikern oder von HÄNGGI et al. (2015) im Motorcortex, supplementmotorischen Areal und Kleinhirn bei Profi-Handballern.

Es wird jedoch in der Literatur ebenfalls beschrieben, dass sich die motorischen Areale professioneller Ballett-Tänzerinnen wohl durchaus signifikant von Nicht-Tänzerinnen unterscheiden. Es findet sich aber entgegen der Erwartung keine Verdichtungen der Grauen Hirnmasse in den relevanten Hirnarealen, sondern lokal begrenzte Abnahmen (HÄNGGI et al. 2010). Ähnlich verhält es sich mit den Ergebnissen bei Untersuchungen der Gehirnstruktur von professionellen Schachspielern (HÄNGGI et al. 2014) und Pianisten (VAQUERO et al. 2016). Bei Letzteren wurde festgestellt, dass ein früherer Start des Klavierspielens zu besseren Fähigkeiten, insbesondere hinsichtlich der Nutzung der linken Hand, führt. Gleichzeitig konnte nachgewiesen werden, dass das Volumen der Grauen Substanz im rechten Putamen, das für die Kontrolle von Bewegungsabläufen der linken Hand zuständig ist, geringer war als bei Pianisten, die erst später mit dem Instrument in Berührung kamen (VAQUERO et al. 2016).

Untersuchung mentaler Eigenschaften mittels VBM

In der Literatur finden sich bislang schon einige wenige Studien, die Persönlichkeitsmerkmale mittels VBM untersuchen. So haben beispielsweise BESTEHER et al. (2019) die psychologische Eigenschaft der Impulsivität und DEYOUNG et al. (2010) Unterschiede zwischen Persönlichkeitsmerkmalen der „Big Five“ (Offenheit, Gewissenhaftigkeit, Extraversion, Verträglichkeit und Neurotizismus), einem seit Mitte der 80er Jahre immer weiter etablierten und heute führenden Modell der

Persönlichkeitspsychologie (JOHN et al. 2008), beleuchtet. Es konnten statistische Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen der (Selbst-) Tests und den VBM-Resultaten nachgewiesen werden.

Besonderes Augenmerk ist auf eine Studie von SCHROEDER et al. (2012) zu legen, die hinsichtlich des Untersuchungsansatzes mit der hier vorliegenden Arbeit vergleichbar ist. SCHROEDER et al. (2012) konnten nachweisen, dass zwei der beruflichen Interessensmerkmale Hollands (Realistic und Investigative) mit Gehirnregionen korrelieren, die in der Literatur mit den assoziierten Eigenschaften dieser Interessensgebiete in Verbindung gebracht werden.

An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass Interessen zunächst nicht grundsätzlich mit neuronal angelegten Fähigkeiten gleichzusetzen sind. Es ist aber davon auszugehen, dass sie in einer Wechselbeziehung zueinander stehen. Andererseits werden Interessen durch Fähigkeiten gelenkt, da das Individuum erfolgreiche, positiv verlaufende Interaktionen gerne wiederholt (VOLMAN et al. 2013). Die damit verbundenen Übungseffekte triggern zusätzlich neuronale Anpassungen der Strukturen im Gehirn und verbessern damit die Kompetenzen und somit wiederum die Freude und das Interesse an der Tätigkeit (WENGER 2017).

Die Arbeitsgruppe von Eveline Crone (Universität Leiden, Niederlande) untersuchte die Emotionalität der Lernfreude, die insbesondere im Kindesalter durch positives Feedback das Interesse an Lerngegenständen entfacht (VAN DUIJVENVOORDE et al. 2008). Diese positive Haltung zu erfolgreichen Handlungen könnte bis zum Erwachsenenalter hin die Richtung der beruflichen Interessen beeinflussen.

Hollands Personorientierung und korrespondierende neuronale Strukturen

Bislang gibt es nur wenige Studien, die sich mit Zusammenhängen zwischen beruflichen Interessen und deren neuronalen Korrelaten mittels Voxelbasierter Morphometrie nähern. Lediglich die oben bereits erwähnte Arbeit von SCHROEDER et al. (2012) nutzt ein auf Hollands Theorie basierendes Instrument zur Erfassung beruflicher Interessen. SCHROEDER et al. (2012) beschreiben statistisch signifikante neuronale Korrelationen bei den Merkmalen „*Realistic*“ und „*Investigative*“. Hinsichtlich der Personorientierung „*Realistic*“ nennen sie statistische Treffer sowohl in sensomotorischen Arealen als auch im sekundären visuellen Cortex. Bezüglich der Personorientierung „*Investigative*“ (intellektuell-forschend) fanden SCHROEDER et al. (2012) positive Korrelationen zur allgemeinen Intelligenz, verbunden mit einem höheren Volumen in frontalen, temporalen und okzipitalen Hirnregionen.

Für beide Merkmale kann festgehalten werden, dass die gefundenen neuronalen Korrelate und deren in der Literatur assoziierten Funktionen in hohem Maße mit den von Holland beschriebenen Eigenschaften der Personorientierungen in Verbindung gebracht werden können.

Aussagekraft der Studien

Es lässt sich, die vorgenannten Abschnitte zusammenfassend, festhalten, dass sich die Voxel-basierter Morphometrie zur Erfassung von Volumenveränderungen Grauer und Weißer Substanz in den letzten Jahrzehnten etabliert hat. Zweifelsohne können die Volumenänderungen als Anpassungsleistungen des Gehirns auf kurz- und langfristige Trainingsmaßnahmen betrachtet werden. Insbesondere bei Querschnittstudien gilt es zu bedenken, dass nicht stereotyp bei einem Volumenzuwachs der Grauen Substanz von einer erhöhten und bei einem geringeren Volumen von einer schwächeren Leistungsfähigkeit dieses Gehirnareals ausgegangen werden kann.

Die mentalen Eigenschaften der Persönlichkeitstypen Hollands werden sich in der Gehirnstruktur widerspiegeln, da Interessen bzw. Kompetenzen in korrespondierenden neuronalen Netzwerken verankert sind. Es ist jedoch mit einer Querschnittstudie nicht möglich zu differenzieren, ob eine Fähigkeit bzw. ein Interesse und das damit verbundene neuronale Korrelat bereits von vorneherein angelegt war oder durch gezieltes Training erworben wurde. Außerdem können sich Interessenschwerpunkte mit zunehmender Lebenserfahrung ändern. So kommt es allgemein häufig vor, dass neue Fähigkeiten entdeckt werden und sich damit Interessen ändern. Andererseits führen neue Interessen und Training dazu, sich andere Fähigkeiten anzueignen oder diese zu erweitern. Es ist daher weder bei den vorgestellten Studien das Ziel gewesen noch kann es für die Zukunft das Ziel sein, allein aufgrund einer Momentaufnahme individueller Gehirnstrukturen Rückschlüsse auf besondere Interessen und Fähigkeiten oder perspektivisch bevorzugte Einsatzgebiete zu ziehen.

2.4 Fragestellung und Ziele der Arbeit

Beratungsinstrumente zur Berufswahl sind im pädagogischen Alltag von Lehrkräften und Berufsberatern fest verankert. Es werden Neigungen, Interessen und Fähigkeiten abgefragt und analysiert. Auf Basis dieser Daten werden Empfehlungen für berufliche Entscheidungen gegeben. International und insbesondere im deutschsprachigen Raum hat sich als Grundlage vieler Beratungsinstrumente das Modell von John L. Holland etabliert. Viele dieser Tests sind mit einer Bearbeitungszeit von über einer Stunde sehr zeitaufwendig. Aufgrund der detaillierten Befragung ist anzunehmen, dass ihre Ergebnisse für den Nutzer besonders aufschlussreich sind.

Das Gehirn ist das Zentrum der Persönlichkeit eines jeden Menschen. Neigungen, Interessen und Fähigkeiten sind dort als „biologisch-chemische Realität“ abgebildet. Mit Hilfe der Kernspintomographie lässt sich zunehmend genau die Lokalisation menschlicher Eigenschaften erkennen. Neigungen und Fähigkeiten bedingen sich häufig gegenseitig. Erfolg durch eine Eigenschaft führt zu Motivation zur Wiederholung, Wiederholung trainiert diese Eigenschaft, Training führt zu Anpassungen und morphologisch nachweisbarer Zunahme von Synapsen und Leiterbahnen im Gehirn. Die Anwendung der Eigenschaft fällt in der Folge immer leichter und macht zufrieden. Im Umkehrschluss führen Misserfolge zu Vermeidung. Fehlendes Training führt ebenfalls zu Veränderungen im Gehirn, nämlich zu nachweisbaren Abbauprozessen in den dafür genutzten Arealen. Die Zu- und Abnahme

von Gewebe im Gehirn ist in immer genauerem Maße durch Bildgebung und statistische Auswertung belegbar.

Grundsätzlich ist anzunehmen, dass sich nach einer intensiven Exploration von Interessen und Neigungen Zusammenhänge in der Gehirnmorphologie finden lassen. Belege dafür finden sich in der Literatur bei DEYOUNG (2010), SCHROEDER et al. (2012) und BESTEHER et al. (2019). Fraglich erscheint, ob schon eine kurze Befragung über Interessen und Neigungen, wie sie in Stangls Situativem Interessentest vorgenommen wird, statistische Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen und den untersuchten Gehirnen erkennen lassen.

Der Situative Interessentest von Professor Werner Stangl basiert auf dem seit den 1970er Jahren sehr einflussreichen Modell von John L. Holland zur Vorbereitung einer Berufsentscheidung. Der Online-Test führt für den Anwender in wenigen Minuten zu einem Ergebnis. Mit der vorliegenden Arbeit sollen Hinweise gefunden werden, ob die Ergebnisse einer (so wenig aufwendigen) Selbsteinschätzung der Interessenlage statistisch signifikant mit der Gehirnmorphologie und den in der Literatur damit assoziierten Persönlichkeitseigenschaften der Probanden korrelieren.

Daraus ergibt sich folgende Hypothese:

Es besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen den Ergebnissen des Situativen Interessentests und der Gehirnmorphologie der Befragten.

Die resultierende Null-Hypothese lautet demnach:

Es besteht kein signifikanter Zusammenhang zwischen den Ergebnissen des Situativen Interessentests und der Gehirnmorphologie der Befragten.

3 Material und Methode

3.1 Forschungsdesign

Bei der hier vorgestellten Untersuchung handelt es sich um eine Querschnittstudie. Nach Akquise der Probanden wurde der anonyme Situative-Interessentest (Online-SIT) und eine MRT-Bildgebung des Gehirns durchgeführt. Zur Erhebung von Kovariaten, die in weiteren Studien Verwendung fanden, kamen ein Fragebogen und ein Computerprogramm zur Messung von räumlichem Denken und Zahlenraum zum Einsatz. Die Fragebogeninstrumente und die MRT-Messungen wurden sowohl von der saarländischen Ethikkommission (Votum Nr. 142/12) als auch von den rheinlandpfälzischen und saarländischen Bildungsministerien zuvor genehmigt (Az: A 4/B – 2.7.4.1).

3.2 Teilnehmerinnen und Teilnehmer

Nach Festschreibung des Forschungsdesigns und Genehmigung der Studie durch die Ethikkommission wurde regional für die Teilnahme geworben. Zum einen wurden an der Berufsbildenden Schule Zweibrücken Ignaz-Roth-Schule in Bildungsgängen der Höheren Berufsfachschule und der Fachschule für Altenpflege Vorlesungen zum Thema „Gehirn und Lernen“ durch Dr. Christoph Krick gehalten. In diesem Zusammenhang wurde auch über die bestehenden Forschungsprojekte der Klinik für Diagnostische und Interventionelle Neuroradiologie berichtet. Im Anschluss an die Vorlesungen gab es für die Hörerschaft die Gelegenheit, sich sofort in eine Liste für Interessenten einzutragen oder ein Informationsblatt zur späteren Kontaktaufnahme (siehe Anlage: „Einladung ans Neurozentrum Homburg“) mitzunehmen. Außerdem wurde durch Gespräche innerhalb der Schülerschaft Interesse auch in anderen Bildungsgängen für die Teilnahme geweckt. Da ein großer Anteil der Schülerinnen und Schüler noch minderjährig war, wurden im Zuge der Einverständniserklärung auch die Erziehungsberechtigten zur Teilnahme animiert. Ebenso konnte unter Studenten und Auszubildenden der Universität des Saarlandes und unter dem Lehrerkollegium der berufsbildenden Schule Interessenten gefunden werden.

Insgesamt konnten für die Untersuchungsreihe auf vier Tage verteilt 112 Messungen im Kernspin und 104 Online-SITs durchgeführt werden. Nach Bereinigung der Daten (Ausschluss unvollständiger oder fehlerhafter Messungen) verblieben **n=104** vollständige Datensätze.

3.2.1 Wahrung der Anonymität

Die Anonymität wurde gewährleistet, indem sich die Teilnehmerinnen und Teilnehmer selbst einen Code aus Zahlen und Buchstaben nach dem Schema (Zahl-Zahl-Buchstabe-Buchstabe-Zahl-Zahl) festlegten. Mit diesem individuellen Schlüssel wurden alle Datensätze versehen. Zusätzlich musste der Code auf der Teilnehmerliste eingetragen werden, um bei einem pathologischen Zufallsbefund im MRT eine Zuordnung herstellen zu können. Diese Liste wurde getrennt von den

erhobenen Daten im Klinikum unter Verschluss gehalten und nach Abschluss der Studie vernichtet. Die Probanden wurden im Vorfeld schriftlich über das Verfahren informiert.

3.2.2 Altersstruktur und Geschlechterverteilung der Probanden

Die Probanden waren im Durchschnitt etwa 30 Jahre alt ($28.7y \pm SD 12.8y$).

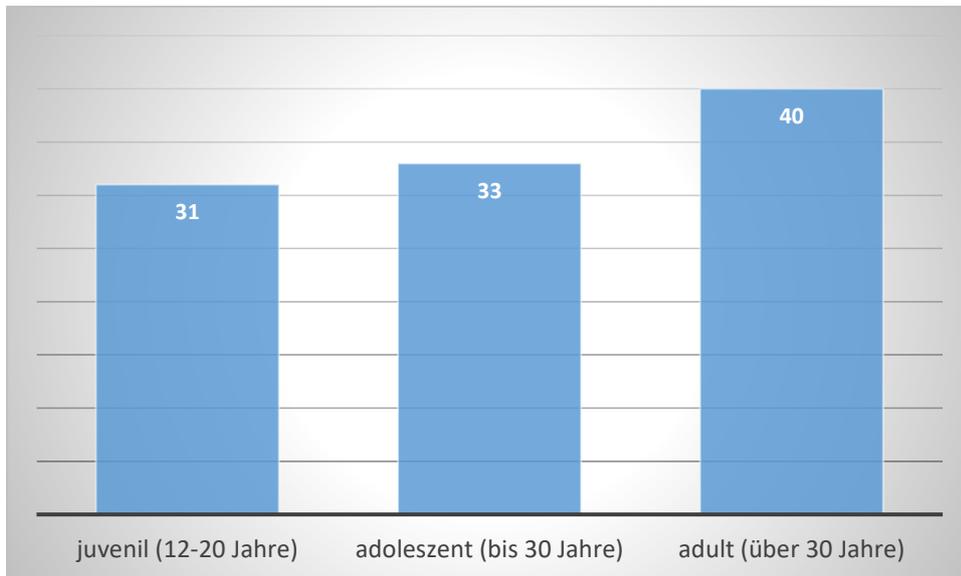


Abbildung 6: Altersverteilung der Probanden (n=104)

Für die Teilnahme am Online-SIT wurde ein Mindestalter von 12 Jahren festgesetzt. So sollte sichergestellt werden, dass es keine Probleme mit dem Verständnis der Fragestellungen gibt. Der älteste Proband war 65 Jahre alt. Es haben fast doppelt so viele weibliche (n=67) wie männliche (n=37) Probanden teilgenommen.

3.3 Situativer-Interessen-Test (Online-SIT)

Der Situative Interessentest von STANGL (2016) ist eine kostenlose, computergestützte Weiterentwicklung der Print-Ausgabe des Freizeit-Interessen-Tests. Er ist auf der Internetpräsenz von Professor Stangl zu finden (<http://arbeitsblaetter.stangl-taller.at/TEST/SIT/index.php>).

Der Test ist seit 2003 bei PSYNDEX-Tests, der Datenbank des Leibniz-Zentrums für Psychologische Information und Dokumentation (ZPID), unter der Nummer 9005219 registriert. (PSYNDEX-TESTS 2017)

Für die Datenerhebung wurde die zu diesem Zeitpunkt aktuelle Version 3.0 vom 26. September 2013 genutzt.

3.3.1 Aufbau des Online-SIT

Zunächst findet der Nutzer auf der Startseite eine kompakte Anleitung zur Durchführung. Sechs kurze Sätze informieren den Besucher der Webseite, wie der Online-Test aufgebaut und wie er auszuführen ist.

[werner  stangl]s arbeitsblätter: tests

Situativer Interessen Test (SIT)



In diesem Fragebogen geht es um **Tätigkeiten**, die man manchmal im Beruf oder in der Freizeit ausüben kann. Es werden **konkrete Situationen** beschrieben, in denen jeweils **zwei Tätigkeiten paarweise** einander gegenübergestellt sind.

Sie müssen sich bei jedem Paar **für eine der beiden Tätigkeiten entscheiden**, wobei Sie eine starke Bevorzugung durch einen Klick auf das Auswahlfeld ganz nahe bei einer dieser Tätigkeiten ausdrücken.

Es wird bei den 30 Situationen aber auch Bereiche und Tätigkeiten geben, die Sie weniger interessieren - in diesem Fall entscheiden Sie sich bitte für die, die Sie noch am ehesten interessieren - und klicken Sie diese an.

Denken Sie nicht zu lange nach, sondern **entscheiden Sie sich spontan!**

Es kommt **in keinem Fall** darauf an, ob Sie die Fähigkeiten für diese Tätigkeiten auch tatsächlich besitzen - wichtig ist immer nur Ihr Interesse für eine der beiden Tätigkeiten, wenn Sie sich entscheiden müssten, eine davon auszuüben.

Bitte **lassen Sie keine der 30 Fragen aus**, denn nur dann ist eine automatische Auswertung und auch richtige Interpretation möglich!

Abbildung 7: Angaben zu Aufbau und Durchführung des Online-Tests (STANGL 2016)

Der Anwender wird im weiteren Verlauf mit 30 fiktiven Situationen konfrontiert (Settings), die jeweils einer der sechs Kategorien der Umweltorientierung Hollands entsprechen. Innerhalb dieser Settings soll sich der Anwender spontan entscheiden, welche der zwei angebotenen Tätigkeiten bevorzugt würden. Die angebotenen Tätigkeiten entsprechen in hohem Maß den Kategorien der Personorientierung Hollands. Der Nutzer verortet sich per Mausklick in einem vierstufigen Auswahlfeld. Es besteht nicht die Möglichkeit einer ausgeglichenen Verortung – es muss aufgrund der Vierstufigkeit des Auswahlfeldes eine Präferenz preisgegeben werden. Professor Stangl hat den Test so gestaltet, dass sämtliche 15 mögliche Paare der Personorientierung jeweils in einem Setting entsprechend der sich gegenüber gestellten Kategorien der Tätigkeitsangebote dargestellt werden. Alle möglichen Paare der Kategorien werden folglich zweimal abgefragt – jeweils einmal in dem Setting, das einem der beiden Kategorien der Tätigkeitsangebote entspricht. Beispielsweise wird bei den angebotenen Tätigkeiten aus den Kategorien der Personorientierung „*Artistic*“ und „*Social*“ einmal

die Auswahl in einem Setting der Umweltorientierung „Artistic“ und einmal in einer Situation zur Auswahl gestellt, die der Situation „Social“ entspricht, abgefragt.

Abbildung 8: Zwei Fragen zur Personorientierung "Artistic" und "Social" dargestellt in den Umweltorientierungen „Artistic“ und „Social“. Der Anwender verortet seine Neigung per Mausclick in einem vierstufigen Auswahlfeld. (STANGL 2016)

So ergeben sich insgesamt lediglich 30 Fragen, die durch ihre Konstruktion jedoch eine hohe Trennschärfe hervorrufen. Es werden sowohl die Kategorie der Personorientierung als auch die Kategorie der Umweltorientierung berücksichtigt. Alle möglichen fünfzehn Paare der Orientierung werden abgebildet und durch den Anwender in Relation zueinander gesetzt.

Nach Verortung zu allen Fragen gelangt der Nutzer zur Auswertung und Darstellung der Ergebnisse. Es werden die erreichten Punktwerte zu allen sechs Kategorien Hollands angezeigt und nachfolgend ein Beratungsschwerpunkt auf die drei Kategorien mit den höchsten Score-Werten gelegt (3-Letter-Code). Zudem lassen sich Hollands ergänzende Konstrukte der Konsistenz und Differenziertheit ablesen (vgl. 2.1.2).

3.3.2 Technische Umsetzung und Berechnung der Ergebnisse des SIT

Das Online-Angebot wurde von Professor Stangl auf Basis eines Java-Scripts realisiert. Auf Nachfrage stellte Prof. Stangl die Berechnungsgrundlage zur Verfügung:

Bei höchster Zustimmung für ein Merkmal einer Personorientierung innerhalb derselben Umweltkategorie (z.B die Zustimmung zu einer Tätigkeit der Personorientierung „Realistic“ in einem Setting der Umweltorientierung „Realistic“) können insgesamt 20 Punkte erreicht werden (Wert R1). Ebenso können 20 Punkte erreicht werden für die Zustimmung zu einer Tätigkeit der Personorientierung „Realistic“ in einem Setting der anderen fünf Umweltorientierungen (R2). Die Summe der beiden ermittelten Werte R1 und R2 wird mit dem Faktor fünf multipliziert. Den so generierten Wert bezeichnet Stangl als „Rohscore“. Es sind folglich bei völliger Zustimmung im Höchstfall 200 Punkte für eine Kategorie erreichbar. Zum Ausgleich vorhandener Messfehler hat Professor Stangl auf der Basis von 99.056 Datensätzen statistische Korrekturwerte ermittelt, die mit den Rohscores verrechnet werden. Die Ergebnisse werden abschließend gerundet. Die drei Merkmale mit der höchsten Punktzahl ergeben den „3-Letter-Code“ der Personorientierung (vgl. 2.1.1).

3.3.3 Nutzung der SIT-Daten

Im Rahmen der Studie wurde mithilfe des Situativen Interessentests der 3-Letter-Code aller Teilnehmer erfasst. Dieser Code gibt jeweils die drei Persönlichkeitsmerkmale an, die bei dem betreffenden Individuum besonders stark ausgeprägt sind. Aufgrund der hohen Zahl möglicher Varianten des 3-Letter-Codes (120 Möglichkeiten) und der verhältnismäßig kleinen Zahl der Probanden (n=104) wurde der Code nicht direkt in die statistische Auswertung einbezogen, sondern in Daten-
gruppen zusammengefasst und anschließend in SPM einem ungepaarten T-Test zugeführt.

- 3-Letter-Code enthält „R“ versus 3-Letter-Code enthält nicht „R“
- 3-Letter-Code enthält „I“ versus 3-Letter-Code enthält nicht „I“
- 3-Letter-Code enthält „A“ versus 3-Letter-Code enthält nicht „A“
- 3-Letter-Code enthält „S“ versus 3-Letter-Code enthält nicht „S“
- 3-Letter-Code enthält „E“ versus 3-Letter-Code enthält nicht „E“
- 3-Letter-Code enthält „C“ versus 3-Letter-Code enthält nicht „C“

3.3.4 Korrelationen der Merkmalspaare des SIT

Die Konstruktion des Online-SIT ist identisch mit Stangls Freizeit-Interessen-Test (FIT). Hier handelt es sich um eine ältere „Papier und Bleistift“-Version. Die Korrelationen der Merkmalspaare des FIT zeigen, dass die Calculus-Hypothese, nach der benachbarte Merkmals-Typen stärker korrelieren als weiter entfernte, nicht durchgängig nachweisbar ist (vgl. Abbildung 9). So beträgt die Korrelation zwischen den benachbarten Merkmalen I und R -0,25. Zwischen den weiter entfernten Merkmalen I und C besteht jedoch mit -0,10 eine höhere Korrelation (STANGL 1991). Dies mag an der im Vergleich zum SDS und anderen Adaptationen unterschiedlichen Testkonstruktion liegen. Obwohl der SIT ebenfalls auf der Theorie Hollands basiert, werden hier eher Differenzen als Kohärenzen berechnet. Bei der Testkonstruktion des SIT sollen sich die Teilnehmerinnen und Teilnehmer jeweils zwischen zwei konträren Angeboten entscheiden. Diese Konstruktion legt den Fokus eher auf Unterschiede, er differenziert stärker zwischen den RIASEC-Merkmalen. Hollands SDS und andere Adaptionen, wie beispielsweise EXPLORIX, fragen anhand von Beispielsituationen nach Übereinstimmungen. Der Score-Wert wird dort über die Häufigkeit von Zustimmungen zu Tätigkeitsbeispielen errechnet (HOLLAND 1985; JOERIN FUX et al. 2013). Daher liegt der Schwerpunkt bei diesen Testkonstruktionen auf Kohärenzen.

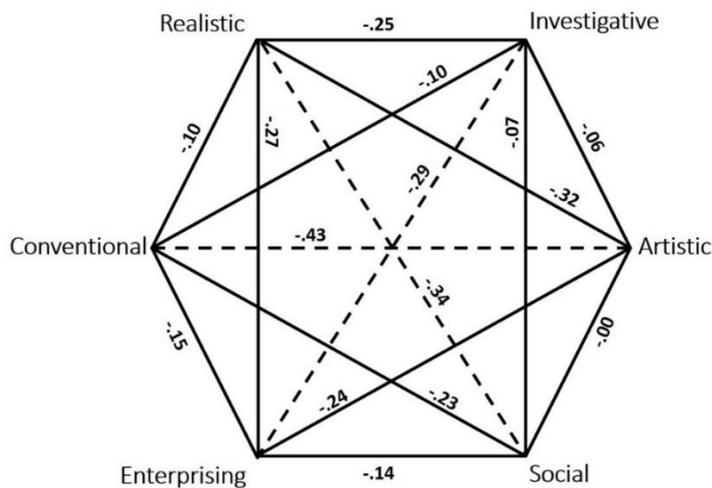


Abbildung 9: Korrelationen der Merkmale bei Stangls Freizeit-Interessen-Test (nach STANGL 1991)

Es ist anzunehmen, dass die Korrelationen der Merkmalspaare des Situativen Interesses Tests, denen des Freizeit-Interessen-Tests (FIT) ähneln. Hierzu liegen jedoch keine Veröffentlichungen vor. Im Zuge dieser Arbeit wurden mittels SPSS die Pearson-Korrelationen zwischen den Merkmalspaaren berechnet. Die Ergebnisse der Korrelationen finden sich in Abschnitt 4.1 und spiegeln im Wesentlichen jede des FIT wider.

3.4 Kernspinuntersuchung: Strukturelle Kernspintomographie

Nach Ausschluss der wenigen Kontraindikationen (magnetisierbare Metalle am oder im Körper, Klaustrophobie und allergische Reaktionen gegen Kontrastmittel) steht einem breiten Einsatz als Forschungsinstrument ohne medizinische Fragestellung auch bei gesunden Probanden nichts im Wege.

Jede MRT-Sitzung bestand aus einer 30-sekündigen „Localizer“-Aufnahme, um die Lage des Kopfes im Scanner abzubilden, und der nachfolgenden hochaufgelösten Vermessung der Gehirnstruktur (siehe 3.4.3).

3.4.1 Vorbereitung der Probanden zur MRT-Untersuchung

Zur Erhebung etwaiger Kontraindikationen mussten die Teilnehmer der Studie bzw. deren Erziehungsberechtigte vor Beginn der Untersuchungen einen Informations- und Einverständnisbogen lesen und die Kenntnisnahme mit ihrer Unterschrift bestätigen (vgl. Anhang). Tatsächlich mussten zwei Interessenten wegen magnetisierbarer Metalle im Körper von der Studie ausgeschlossen werden. Um etwaige Ängste vor dem Gerät abzubauen, konnten die Interessenten vor ihrer eigenen Untersuchung den Tomographen und die Steuereinheit kennenlernen und Fragen stellen. Es bestand für den Probanden zu jeder Zeit die Möglichkeit, die Teilnahme abubrechen. Wohl auch aufgrund der bewusst freundlichen und angenehm gestalteten Atmosphäre wurde diese Option nicht genutzt.

Um die Anonymität der Teilnehmer auch hinsichtlich der MRT-Bilder zu gewährleisten, wurden die gewonnenen Dateien nicht mit dem Namen und Geburtsdatum versehen, sondern ebenfalls mit dem vom Teilnehmer selbst festgelegten Zahlen/Buchstabencode benannt.

3.4.2 Technische Daten des Kernspintomographen

Die Kernspinaufnahmen wurden an der Klinik für Diagnostische und Interventionelle Neuroradiologie am Universitätsklinikum des Saarlandes in Homburg erstellt. Es stand ein 3 Tesla MRT-Gerät der Firma Siemens, Modell Skyra, mit einer 20 Kanal-Kopfspule zur Verfügung.

3.4.3 Parameter der MRT-Aufnahmen

Für die Anwendung der Morphometrie sind laut GASER (2005) T1-gewichtete Aufnahmen gut geeignet. Dementsprechend wurde eine T1-gewichtete MP-RAGE-Sequenz (*magnetization prepared rapid gradient echo*) mit folgenden Parametern verwendet:

- Repetitionszeit (TR): 1900ms,
- Echozeit (TE): 2,13ms,
- Inversionszeit (TI): 900ms,
- Anregungswinkel (Flip-Angle): 9°,
- Matrix 256 x 256, 192 Schichten
- Voxelgröße: 0,94mm x 0,94mm x 0,9mm,
- Schichtdicke: 0,9mm.

Die Messzeit der MP-RAGE-Messung betrug 4,5 Minuten.

3.5 Erhebung von Kovariaten

Neben den MRT-Aufnahmen und den Ergebnissen des Online-SIT wurden flankierend mittels Fragebogen weitere Daten erhoben. Der eingesetzte Bogen (siehe Anhang) wurde bereits bei Studien ähnlicher Fragestellung an der Klinik für Diagnostische und Interventionelle Neuroradiologie am Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar eingesetzt (KREIS 2015). Für die vorliegende Arbeit wurden Informationen zu Alter und Geschlecht der Probanden aus dem Datenpool übernommen. Der Fragebogen enthält einen Abschnitt, der auf einem Bogen der Arbeitsgruppe für Kinder-, Jugendlichen- und Familiendiagnostik der Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie der Universität Köln basiert und ermittelt Hinweise auf ängstliches bzw. depressives Verhalten und Aufmerksamkeitsstörungen bei Jugendlichen zwischen 11 bis 18 Jahre (DÖPFNER et al. 1994). Mit der Befragung sollte sichergestellt werden, dass keiner der Teilnehmer unter schweren psychischen Beeinträchtigungen oder neurologischen Vorerkrankungen leidet, die die Untersuchungsergebnisse verfälschen könnten.

3.6 Statistische Analyse mit SPM

Zur Aufarbeitung und statistischen Analyse der Bilddaten wurde das auf MATLAB basierende Programm „Statistical Parametric Mapping in der Version 8 (SPM8) genutzt. Die Bilddaten standen im DICOM-Format (*Digital Imaging and Communications in Medicine*) zur Verfügung. Sie wurden in SPM8 importiert und mit den darin enthaltenen Werkzeugen konvertiert, normalisiert, segmentiert und geglättet, um vergleichbare Bilder für die statistische Analyse zu gewinnen (*Preprocessing*). Auch die statistische Auswertung wurde mit SPM durchgeführt.

3.6.1 Konvertierung der DICOM-Daten in SPM

Eine Datei im DICOM-Format kann neben Bilddaten auch viele andere für Diagnose und Behandlung relevante Informationen enthalten, wie etwa Stammdaten, behandelnde Ärzte und sonstige Befunde. Diese Informationen sind für eine statistische Auswertung der Bilddaten irrelevant und müssen für eine Weiterverarbeitung mit MATLAB bzw. SPM in ein kompatibles Format überführt werden. Die Extraktion der Bilddaten wurde in SPM automatisiert durchgeführt und über das ANALYZE™-7.5-Format letztendlich in das NIFTI-Datenformat (*Neuroimaging Informatics Technology Initiative*) umgewandelt. Aus einer DICOM-Datei entstanden zwei Dateien – eine mit den Bilddaten (~.img) und eine mit Header-Informationen (~.hdr).

3.6.2 Preprocessing: Normalisierung, Segmentierung und Glättung in SPM

Die Vorgänge der Normalisierung, Segmentierung und Glättung wurden mit der VBM-Toolbox (*VBM8*) in SPM8 realisiert. Dieses Add-On wurde von der *Structural Brain Mapping Group* um Dr. Christian Gaser an der Universität Jena entwickelt (<http://www.neuro.uni-jena.de/vbm/>). Der gesamte Vorgang des Preprocessings entsprach dem „optimierten Verarbeitungsprozess“ von GOOD et al. (2001). Als Vorlage (*Template*) für die Normalisierung wurde das Referenz-Gehirn ICBM152 gewählt. Die Normalisierung selbst erfolgte unter Anwendung des diffeomorphischen Bildbearbeitungsalgorithmus DARTEL. Danach betrug die Voxelgröße 1mm^3 . Nach der Segmentierung mit dem Algorithmus aus der VBM-Toolbox *VBM8* erfolgte die Gauß-Glättung mit einem FWHM von $10 \times 10 \times 10\text{mm}$. Mit der Gauß-Glättung wird eine Annäherung der Wahrscheinlichkeiten an eine Normalverteilung erreicht und damit die Genauigkeit der Ergebnisse des T-Tests verbessert. Zusätzlich werden Artefakte, die nur einige Voxel betreffen, durch die Verrechnung mit den benachbarten Voxel herausgemittelt, sodass sie weniger stark ins Gewicht fallen (vgl. 2.3.2).

3.6.3 Durchführung von Zwei-Gruppen-T-Tests mittels SPM

Über die SPM-Funktionalität der „second-level-analysis“ zum Verrechnen von verschiedenen Kollektiven wurden Zwei-Gruppen-T-Tests zu jedem Merkmal des RIASEC-Modells erstellt. Es wurden entsprechend der im Abschnitt 3.3.3 dargelegten Differenzierung zum Vorhandensein eines

Merkmals (Gruppenkontroll-Variable) zwei Gruppen gebildet: Eine Gruppe der Gehirne von Personen, die das Merkmal im ermittelten Tripletten enthalten versus die Gruppe von Gehirnen der Personen, die das Merkmal in ihrem Tripletten nicht enthalten.

Die geglätteten Bilddaten der grauen bzw. weißen Hirnsubstanz der beiden selektierten Gruppen wurden in das SPM-Testverfahren eingegeben und sodann die Unterschiede auf dem Signifikanzniveau von 99,5% (Alphafehler $p < 0,005$) kontrastiert. Ein Signifikanzniveau von 99,5% sagt aus, dass ein falsch positives Ergebnis mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,005 (0,5%) zu erwarten ist. Darüber hinaus musste die Signifikanz p des Maximums im Cluster unter 0,002 liegen. Das Signifikanzniveau wurde auf so hohem Niveau gewählt, um das Risiko des Fehlers 1. Art (Alphafehler), also einer Zurückweisung der Nullhypothese („Es besteht kein Zusammenhang“) und damit der Generierung falsch positiver Ergebnisse zu minimieren. Zusätzlich mussten signifikante Ergebnisse eine minimale Clustergröße aufweisen, um Artefakte und Alphafehler in den Ergebnissen zu minimieren (WHITWELL 2009). In der hier vorliegenden Studie wurde der Schwellenwert auf 40 zusammenhängende Voxel festgelegt.

Danach wurden die statistischen Treffer auf dem überlagerten „Standardgehirn“ (Referenzhirn des Montreal Neurological Institute (*MNI*)) farbig codiert. Die Codierung entsprach hierbei der Prüfgröße des T-Tests. Der T-Wert steht in engem Zusammenhang mit dem p -Wert. Je näher der T-Wert bei „0“, desto unwahrscheinlicher ist das Vorhandensein eines Zusammenhangs und desto höher ist folglich der p -Wert. Signifikante Ergebnisse zeigen also einen hohen T- aber einen niedrigen p -Wert. Beide Werte werden bei der Darstellung der Ergebnisse jeweils zusätzlich numerisch in Tabellen angegeben.

In SPM wird bei einem ungepaarten T-Test jedes Voxel einzeln dem Test unterzogen. Somit werden in den normalisierten Bildern der untersuchten Gehirne multiple T-Tests durchgeführt. Hier besteht das Problem, dass die Fehler 1. Art (Alphafehler) leicht kumulieren und zu verfälschten Ergebnissen führen. Bei einem Signifikanzniveau von 99,5% besteht eine Wahrscheinlichkeit von 0,005 (0,5%), dass das Ergebnis falsch positiv ist. Bezogen auf die hohe Zahl der multiplen Tests hat dies zur Folge, dass sich die Anzahl zufälliger (also falsch-) positiver Ergebnisse aufsummiert. Das beschriebene Phänomen wird auch als „Family-Wise-Error“ (FWE) bezeichnet. Die im Preprocessing angewandte Gauß-Glättung, die Festlegung eines hohen Signifikanzniveaus und die Anwendung einer minimal geforderten Größe zusammenhängender Cluster wirken der Fehlerwahrscheinlichkeit entgegen.

Neben den erwähnten Faktoren zur Eindämmung des Alphafehlers bietet SPM eine automatisierte Signifikanzkorrektur, die FWE-Korrektur, an. Eine zusätzliche Anwendung dieser Korrekturroutine führt allerdings dazu, dass sich die Anzahl der Voxel, die die Signifikanzschwelle überschreiten, reduziert (WHITWELL 2009). Dieses Risiko ist höher, wenn die Teilnehmerzahl an der Untersuchung geringer ist.

Eine Standardkonvention für das Preprocessing, den anzusetzenden p -Wert, die Signifikanzschwelle zusammenhängender Voxel und die Verwendung eines bestimmten Verfahrens zur

Reduktion des Alphafehlers gibt es bislang nicht. Sie ist abhängig von der Fragestellung und wird individuell festgelegt (WHITWELL 2009).

Mit dieser Arbeit wird bei einer verhältnismäßig kleinen Teilnehmerzahl eine erste Sondierung hinsichtlich möglicher morphologischer Zusammenhänge zu den Ergebnissen des SIT durchgeführt. Daher wurde bei der statistischen Aufbereitung der Daten auf die Anwendung einer FWE-Korrektur verzichtet. Um das kenntlich zu machen, werden die p-Werte bei der Darstellung der Ergebnisse mit dem Hinweis versehen, dass sie unkorrigiert sind („ $p_{(uncorr.)}$ “).

3.6.4 Topographische Zuordnung der Cluster in SPM

Die Zuordnung der statistischen Treffer (Cluster) zur Topografie des Referenz-Gehirns ICBM152 erfolgte in SPM8 mit dem Add-on „Anatomy Toolbox“ der Version 2.2b. Dieses Werkzeug wurde am Forschungszentrum Jülich von der Arbeitsgruppe „Architektur und Hirnfunktion“ von Professor Simon Eickhoff unter der Leitung von Professorin Katrin Amunts entwickelt (EICKHOFF et al. 2005).

3.6.5 Interpretation der Ergebnisse

Die Voxelbasierte Morphometrie basiert auf der Analyse von Bildinformationen der MRT-Aufnahmen. Es werden einzelne Pixel im dreidimensionalen Raum untersucht und in Abhängigkeit ihrer Graustufe den zellulären Gewebestrukturen zugeordnet. Aus der Anzahl der grauen oder weißen Voxel werden Rückschlüsse auf das Volumen der tatsächlichen Hirnsubstanzen geschlossen. Dieses Verfahren ermöglicht keinen Rückschluss auf die exakten anatomischen Verhältnisse, wie etwa die genaue Anzahl und Vernetzung von Nervenzellen oder die Dichte der Nervenbahnen in der Grauen bzw. Weißen Substanz. In der Analyse in SPM wird lediglich untersucht, ob ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Volumen eines Bildbereiches, das aufgrund seiner Helligkeit einer der beiden Hirnsubstanzen zugeordnet wurde, und dem Ergebnis des SIT besteht.

Im Verfahren des Preprocessing wurden die Anteile der Grauen Substanz und die der Weißen Substanz getrennt. Auch die statistische Untersuchung erfolgt jeweils nacheinander in den (geglätteten) Bilddaten der Grauen und der Weißen Substanz. Da Voxel, die der cerebrospinalen Flüssigkeit (CSF) zuzuordnen sind, aus den Daten entfernt wurden, kann es sich bei identifizierten statistischen Effekten nur um Graue oder Weiße Substanz handeln. Wenn bei der statistischen Analyse des Bildmaterials der Grauen Substanz nun ein statistischer Effekt für die Gruppe, die das Merkmal enthält, angezeigt wird, lässt sich daraus schließen, dass an dieser Stelle wahrscheinlich ein größeres Volumen an Grauer Hirnsubstanz vorhanden ist als in der Kontrollgruppe, die das untersuchte Merkmal nicht enthält. Solche statistischen Effekte werden in dieser Arbeit auch als „Korrelationen“, die betroffenen morphologischen Strukturen als „Korrelate“ bezeichnet.

Bei der statistischen Auswertung wurden auch negative (inverse) Zusammenhänge untersucht. Ein negativer Zusammenhang in der Weißen Substanz sagt aus, dass an der Position des

statistischen Effekts die Weiße Substanz weniger Volumen einnimmt. Da alle Bildinformationen entweder der Grauen oder Weißen Substanz des Bildmaterials zugeordnet sind, lässt dieser negative Zusammenhang in der Weißen Substanz darauf schließen, dass an dieser Position die Graue Substanz ein größeres Volumen aufweist. Negative statistische Zusammenhänge werden in dieser Arbeit als „negative oder inverse Korrelate“ bezeichnet.

Die hohe Wahrscheinlichkeit, dass an einer bestimmten Position im Gehirn der untersuchten Gruppe ein größeres Volumen an Grauer Substanz vorliegt, wird folglich entweder durch eine Korrelation im Bildmaterial der Grauen Substanz angezeigt oder durch eine negative Korrelation in der Weißen Substanz. Ein geringeres Volumen an Grauer Substanz ist anzunehmen, wenn eine negative Korrelation in dem Bildmaterial der Grauen Substanz bzw. eine Korrelation im Bildmaterial der Weißen Substanz aufgezeigt werden konnte.

4 Ergebnisse

4.1 Ergebnisse des SIT

Die folgende Tabelle gibt Aufschluss darüber, wie häufig das Merkmal jeweils an der ersten, zweiten oder dritten Position im 3-Letter-Code auftritt.

Tabelle 1: Position der Eigenschaftsmerkmale im 3-Letter-Code (n=104)

	Realistic	Investigative	Artistic	Social	Enterprising	Conventional
an Position 1	30	14	27	13	8	12
an Position 2	18	12	12	30	12	20
an Position 3	13	30	14	21	14	12
Häufigkeit	61	56	53	65	36	44

Das folgende Diagramm veranschaulicht die absolute Häufigkeit, mit der ein Eigenschaftsmerkmal (R, I, A, S, E oder C) in den erfassten 3-Letter-Codes (Triplets) vorkommt:

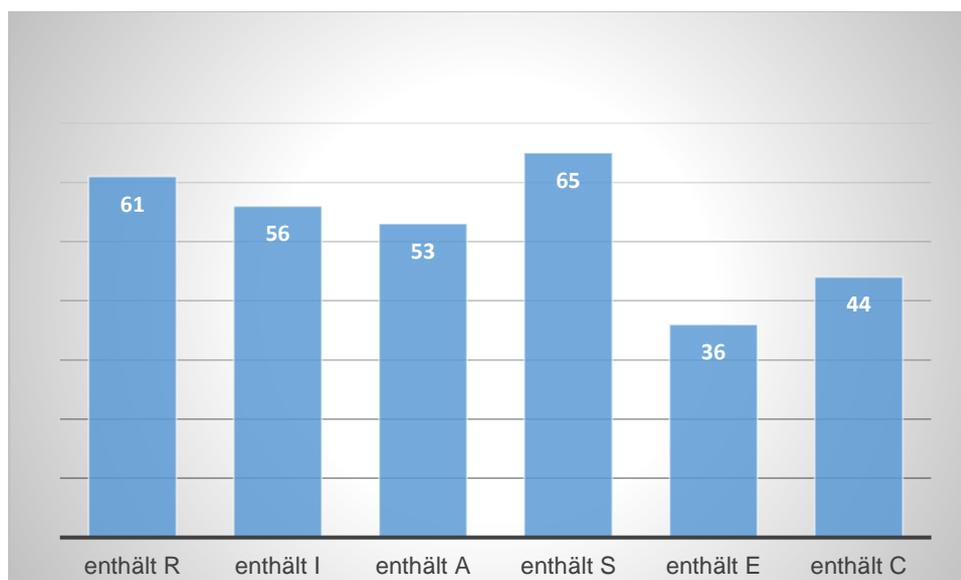


Abbildung 10: Anzahl der Fälle, in denen das Eigenschaftsmerkmal enthalten ist (n=104)

Die Korrelationen der Merkmalspaare der SIT-Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung spiegeln die Calculus-Hypothese Hollands in ähnlicher Weise wider wie die des FIT (Abbildung 9). Auch hier ist die erwartete stärkere Korrelation zwischen benachbarten Merkmalspaaren nicht durchgängig vorhanden (vgl. 3.3.4)

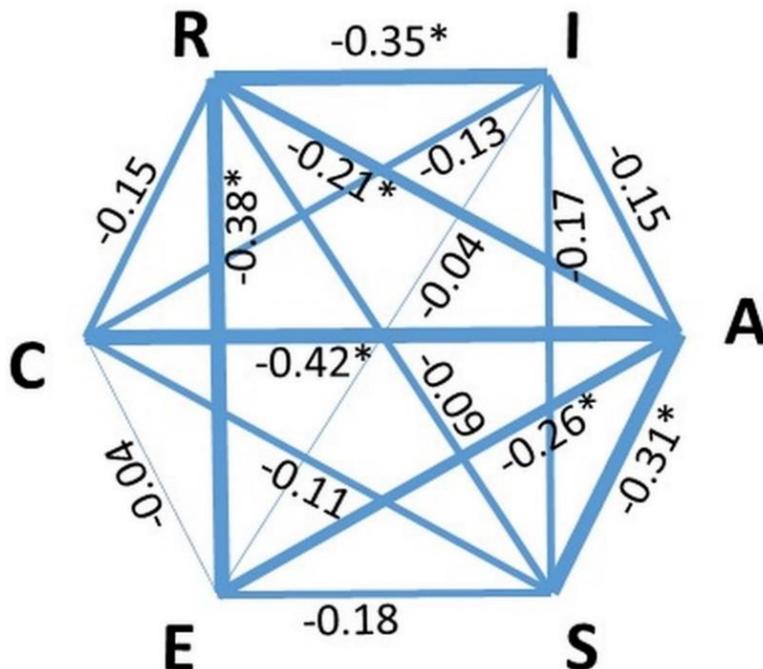


Abbildung 11: Pearson-Korrelationen zwischen den RIASEC-Scores des SIT aus der vorliegenden Studie. Signifikanzen ($p < 0,05$) sind mit einem Stern gekennzeichnet. Ein Korrelationskoeffizient von „0“ würde bedeuten, dass es keinen Zusammenhang zwischen den Merkmalen gäbe. Ein Koeffizient von „-1“, dass beide Merkmale völlig übereinstimmen

4.2 Ergebnisse der SPM-Analyse

Um eine möglichst strukturierte Darstellung der zahlreichen statistischen Treffer zu ermöglichen, werden alle Ergebnisse sortiert nach den RIASEC-Persönlichkeitsmerkmalen aufgeführt. Dabei werden jeweils zunächst die Effekte beschrieben, die auf eine höhere Anzahl von Voxeln in der Grauen Substanz hinweisen. Darunter zählen signifikante statistische Korrelate im Bildmaterial der Grauen Substanz und negative (inverse) statistisch signifikante Zusammenhänge im Bildmaterial der Weißen Substanz. Danach werden Effekte beschrieben, die auf ein geringeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen. Dies ist der Fall, wenn signifikante statistische Korrelate im Bildmaterial der Weißen Substanz zu vermuten sind, bzw. negative Zusammenhänge im Bildmaterial der Grauen Substanz (vgl. 3.6.5).

Innerhalb dieser Gliederung werden die jeweiligen Ergebnisse hinsichtlich ihrer Größe und Lage im MNI-Raum (Referenzgehirn des Montreal Neurological Institute (MNI)) beschrieben (vgl. 2.3.2) und mit den anatomischen Bezeichnungen der betroffenen Hirnareale in Verbindung gebracht. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die visuellen Darstellungen, die durch SPM generiert wurden.

Die statistischen Treffer sind auf dem anatomischen Schnittbild des Referenz-Gehirns (ICBM-152-Template (MNI), vgl. 2.3.2) farblich markiert, wobei die Helligkeit der Farbe der Höhe der Prüfgröße des T-Tests entspricht. Um die Lage der statistischen Treffer im dreidimensionalen Raum erfassen zu können, werden immer drei anatomische Schnitte dargestellt: Sagittalschnitt mit Blick auf das Profil von rechts (y- und z-Achse), Coronalschnitt mit Blick von hinten (x- und z-Achse) und Axialschnitt mit Blick von oben (y- und x-Achse). Negative Koordinaten auf der x-Achse befinden sich auf der linken Hemisphäre, auf der y-Achse in den posterioren Strukturen und auf der z-Achse im caudalen Anteil. Das blaue Fadenkreuz ist auf den Maximum-Wert des jeweiligen Clusters ausgerichtet und entspricht hinsichtlich der Position den Angaben der x-, y- und z-Werte in Millimetern bezogen auf das Referenzgehirn. Der Nullpunkt aller Achsen befindet sich zwischen linker und rechter Hemisphäre und verläuft durch die vordere Kommissur, wobei der Nullpunkt der z-Achse die anterior-posterioren Kommissurlinie schneidet (vgl. Abbildung 12).

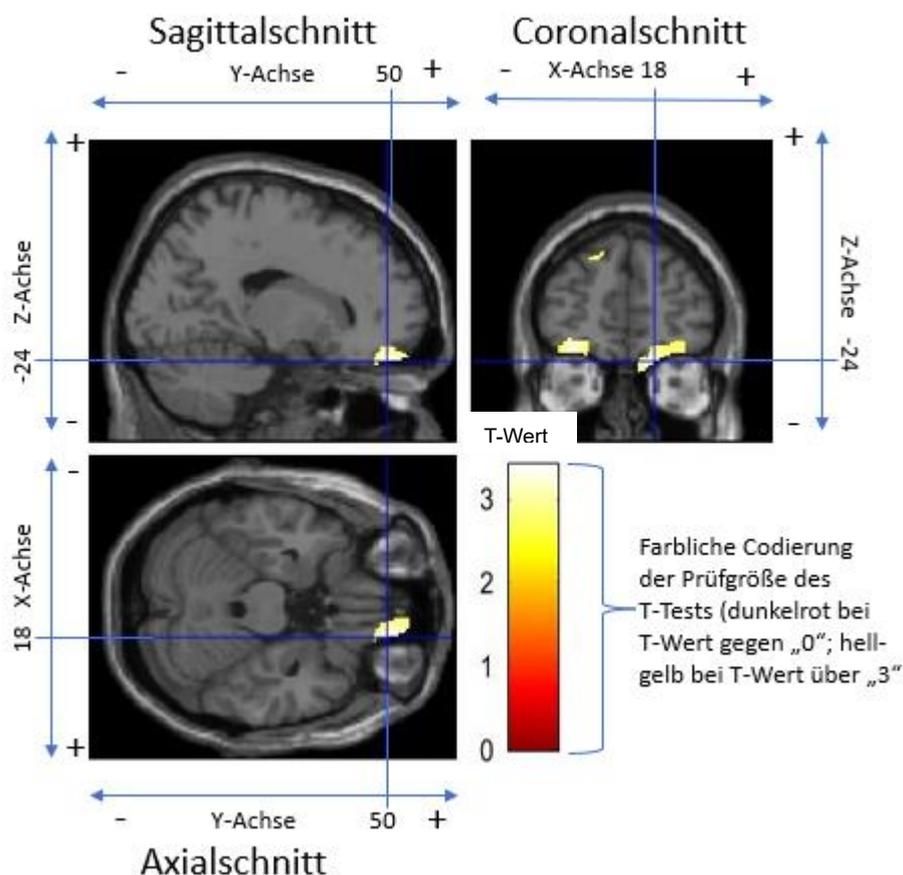


Abbildung 12: Erklärung zu der visuellen Darstellung der statistischen Treffer am Beispiel von „Korrelat zu „Triplett enthält Artistic“, MNI 18 50 -24“

Abschließend werden zu jedem Ergebnis die von SPM berechneten statistischen Daten in einer Tabelle dargestellt. In der ersten Spalte wird die Lokalisation des Spitzenwerts im MNI-Referenzgehirn (Position auf der x-, y- und z-Achse) in Millimeter angegeben. Die zweite Spalte benennt die Maxima innerhalb des Clusters (peak-level): Genannt wird der von SPM berechnete T- und p-Wert.

Die dritte Spalte (cluster-volume) zeigt das Volumen als Anzahl der Voxel des statistischen Treffers ($k\epsilon$).

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der statistischen Analyse aller Konstellationen gemäß der in Kapitel 3.3.3 erläuterten Gruppenbildungen vorgestellt. Beginnend mit den Gehirnen der Personen, bei denen im Persönlichkeitstest das Merkmal „Realistic“ zu den drei stärksten Merkmalen zählt im Vergleich zu den Gehirnen der Personen, bei denen dies nicht der Fall ist. Es werden nacheinander alle Konstellationen zu den weiteren Gruppen „I“, „A“, „S“, „E“ bzw. „C“ aufgeführt (vgl.3.3.3).

4.2.1 Neuronale Korrelate zum Merkmal *Realistic*

Korrelate zum Merkmal *Realistic*, die auf ein größeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen

Es findet sich lediglich ein signifikantes Cluster im Bildmaterial der Grauen Substanz. Es hat ein Volumen von 390 Voxel bei MNI -9 -13 55. Dieser Bereich gehört zum caudalen Anteil des supplementärmotorischen Areals (cSMA), einem Teil des prämotorischen Cortex, und ist dem Brodmann-Areal 6 zuzuordnen.

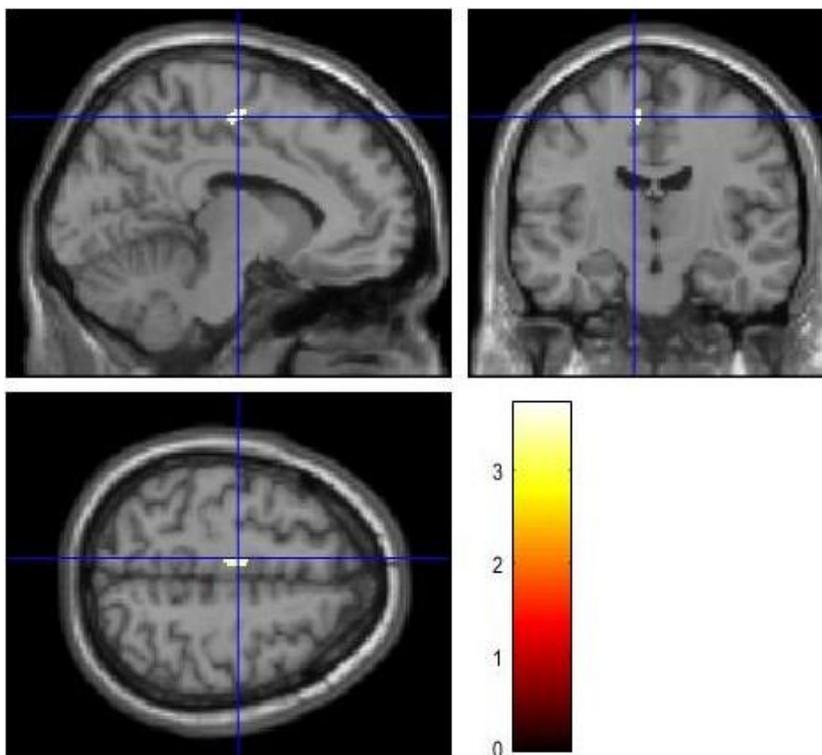


Abbildung 13: Korrelat zu „Triplett enthält Realistic“; MNI -9 -13 55

Tabelle 2 Korrelat zu „Triplett enthält Realistic“

MNI (mm)			peak-level		cluster-volume
x	y	z	T	p _(uncorr.)	kE
-9	-13	55	3,73	0.000	390

Korrelate zum Merkmal Realistic, die auf ein geringeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen

Ein negatives Korrelat im Bildmaterial der Grauen Substanz mit einem Volumen von 386 Voxeln befindet sich im linken Kleinhirn (MNI -30 -78 -56), das den Lappchen VIIa und VIIb zugeordnet werden kann.

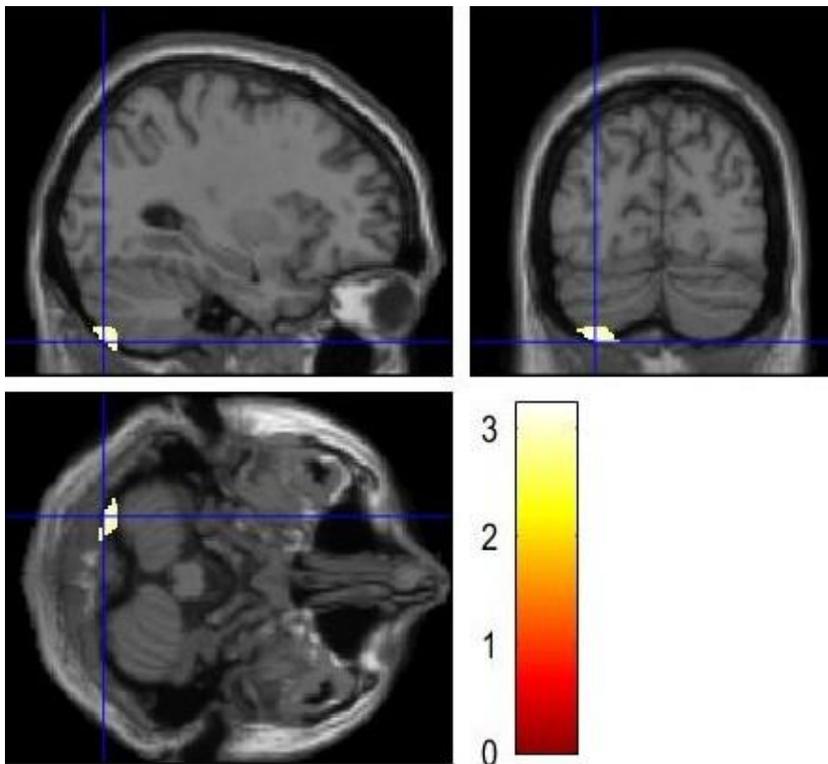


Abbildung 14: Negatives Korrelat zu „Triplett enthält Realistic“, MNI -30 -78 -56

Ein weiteres Cluster zeigt sich im Frontalpol (MNI 33 51 0) mit einem Volumen von 183 Voxeln.

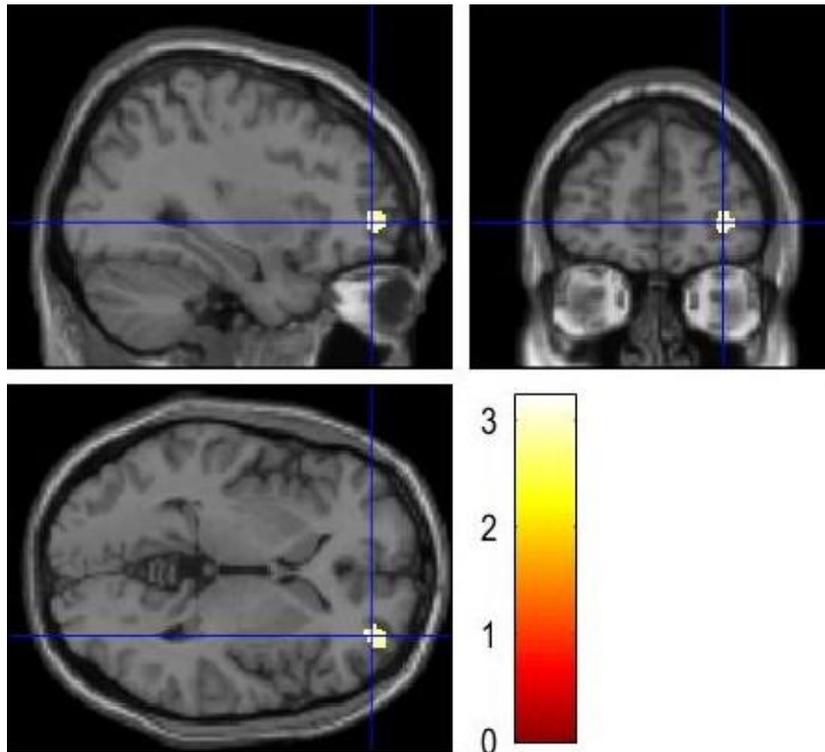


Abbildung 15: Negatives Korrelat zu „Triplett enthält Realistic“, MNI 33 51 0

Tabelle 3: Negative Korrelate zu „Triplett enthält Realistic“ im Bildmaterial der Grauen Substanz, die auf ein geringeres Volumen der Grauen Substanz hinweisen

MNI (mm)			peak-level		cluster-volume
x	y	z	T	p _(uncorr.)	kE
-30	-78	-56	3.23	0.001	386
33	51	0	3.18	0.001	183

Im Bildmaterial der Weißen Substanz finden sich sieben Cluster, die mit dem Merkmal „Realistic“ in Zusammenhang stehen und dort auf ein geringeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen.

Der größte Treffer hat ein Volumen von 522 Voxeln und befindet sich im linken oberen und mittleren Temporal-Gyrus (Maximum bei MNI -47 -36 10), wobei auch ein kleiner Teil des inferioren Parietallappens betroffen ist. Analog dazu findet sich rechtshirinig ein weiteres Cluster mit einem Volumen von 116 Voxeln mit einem Maximum bei MNI 62 -48 6. In diesem Bereich befindet sich der temporoparietale Übergang.

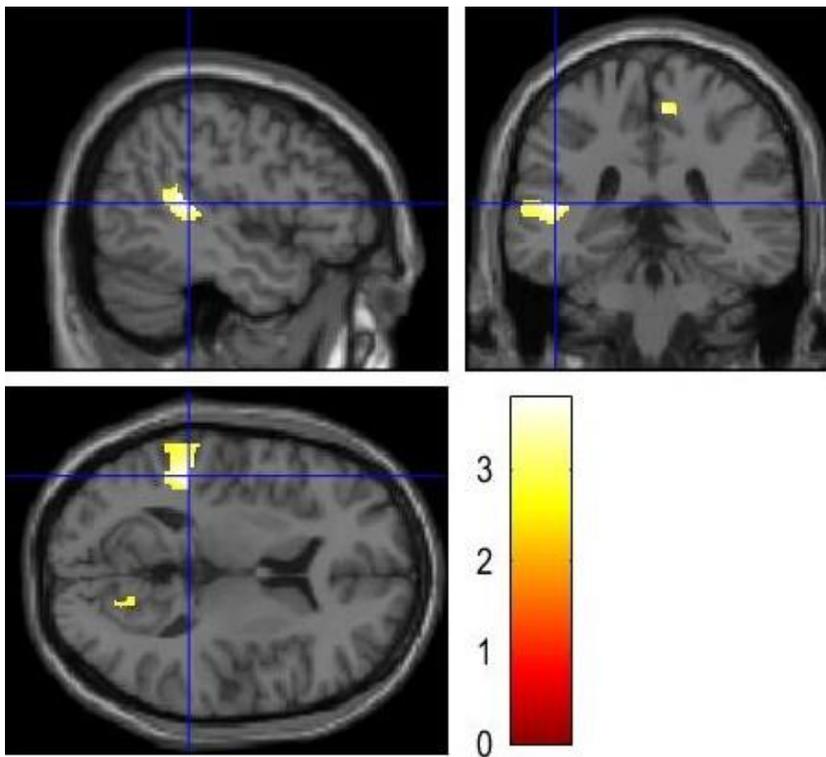


Abbildung 16: Korrelat zu „Triplett enthält Realistic“, MNI -47 -36 10

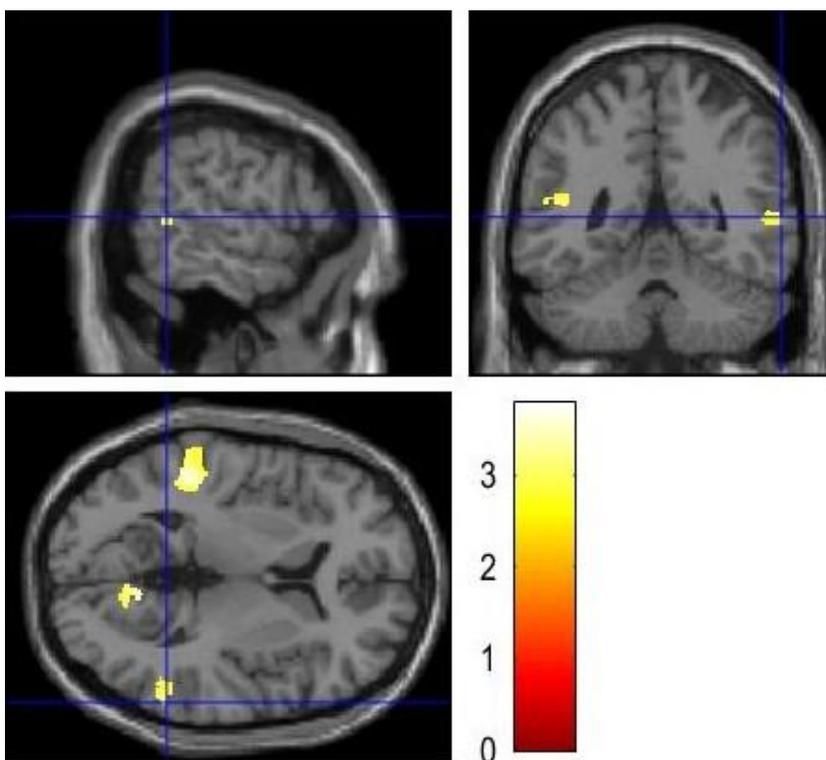


Abbildung 17 Korrelat in zu „Triplett enthält Realistic“, MNI 62 -48 6

Das Cluster mit dem Maximum bei MNI 9 -61 1 mit 333 Voxeln liegt in der primären Sehrinde (hOc1) im Brodmann-Areal 17.

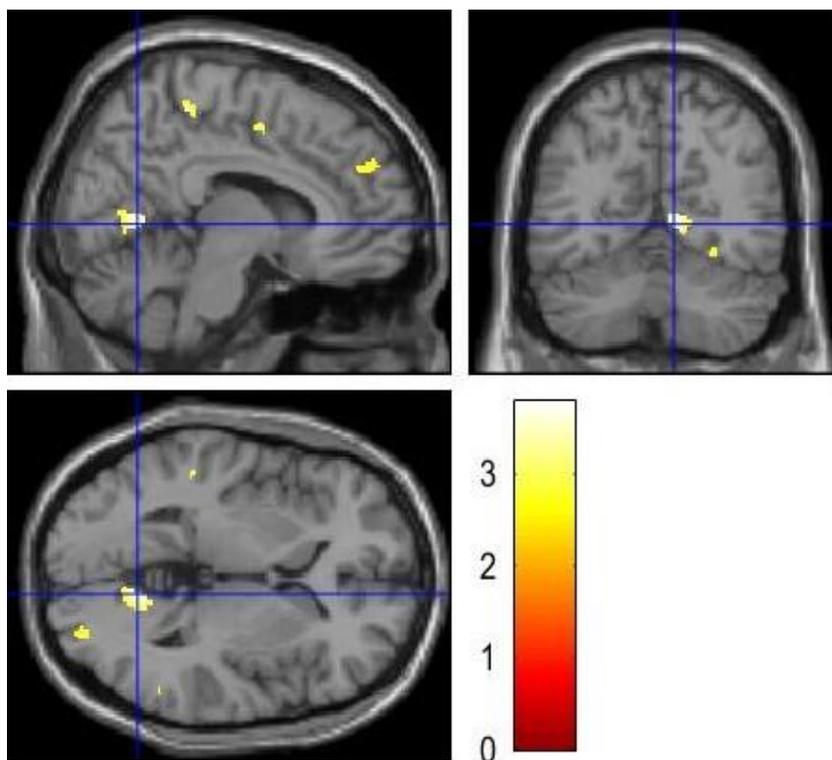


Abbildung 18: Korrelat zu „Triplett enthält Realistic“, MNI 9 -61 1

Die Cluster bei MNI 30 -91 -14 (508 Voxel) bzw. -33 -91 -14 (442 Voxel) finden sich in der sekundären und tertiären Sehrinde (hOc2, hOc3 und hOc4 rechts- bzw. linkshemisphärisch, Brodmann-Areal 18).

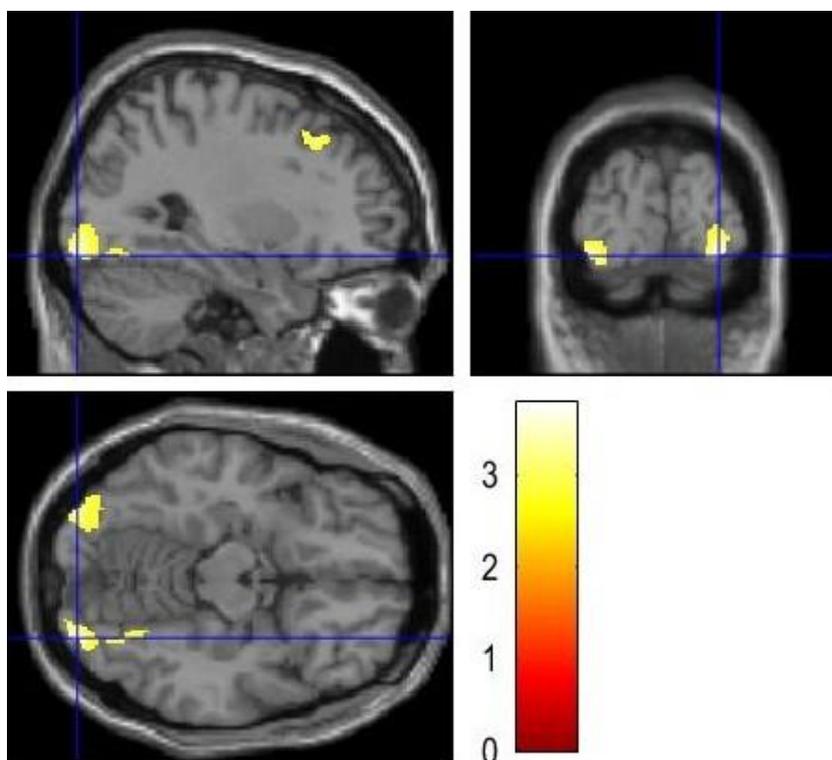


Abbildung 19: Korrelat zu „Triplett enthält Realistic“, MNI 30 -91 -14

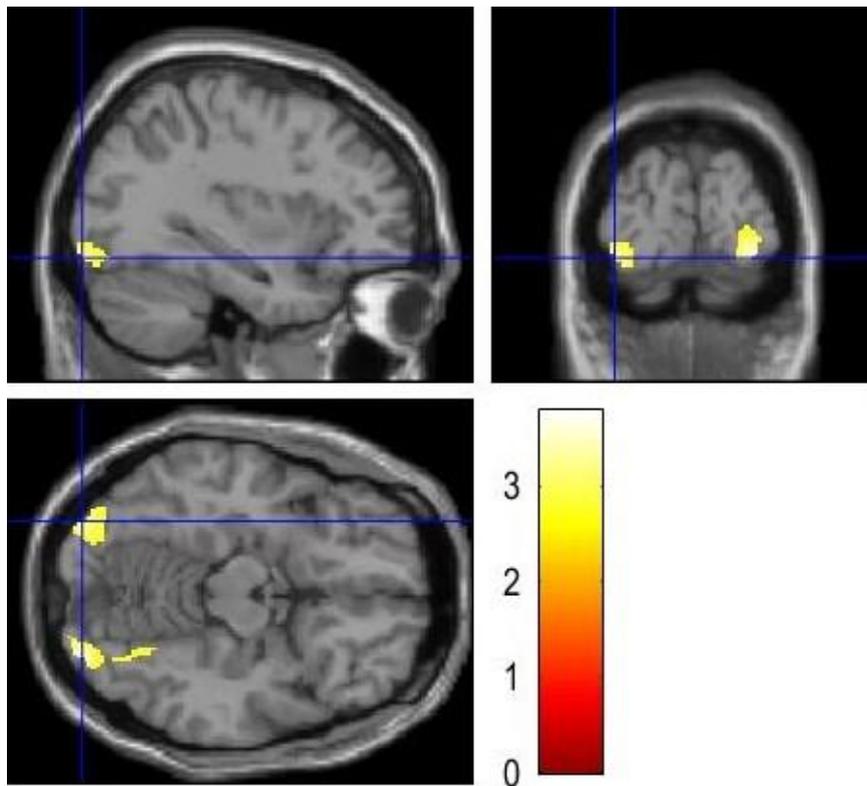


Abbildung 20: Korrelat zu „Triplett enthält Realistic“, MNI -33 -91 -14

Bei MNI 6 -36 55 findet sich ein Effekt mit einer Größe von 84 Voxeln. Hier liegen die Brodmann-Areale 4a und 5m.

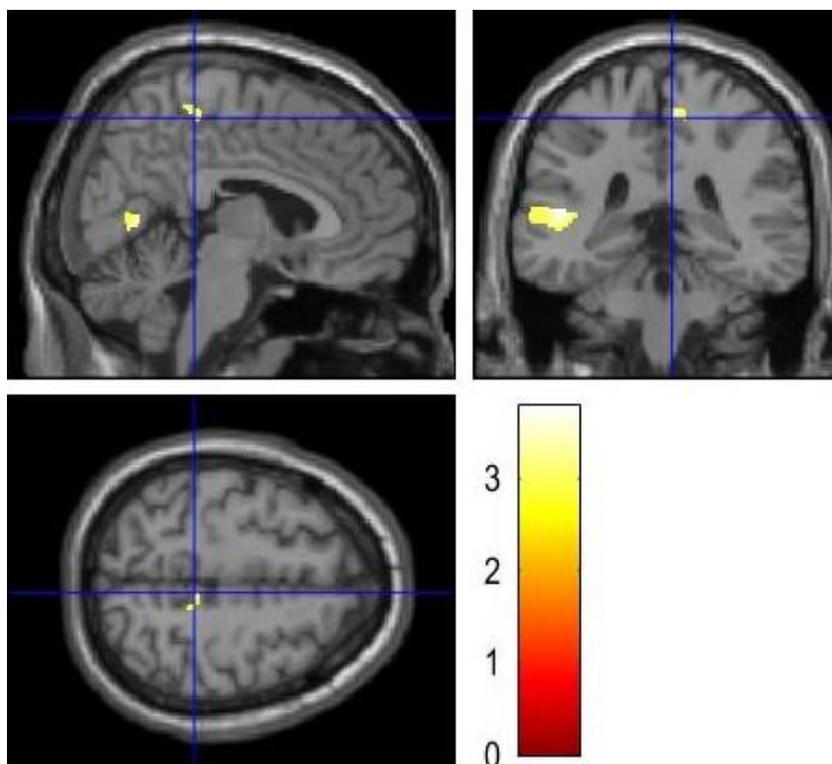


Abbildung 21: Korrelat zu „Triplett enthält Realistic“, MNI 6 -36 55

Das Cluster bei MNI 38 24 45 mit einem Volumen von 184 Voxeln liegt im Brodmann-Areal 8 im mittleren frontalen Gyrus, im frontalen Augenfeld.

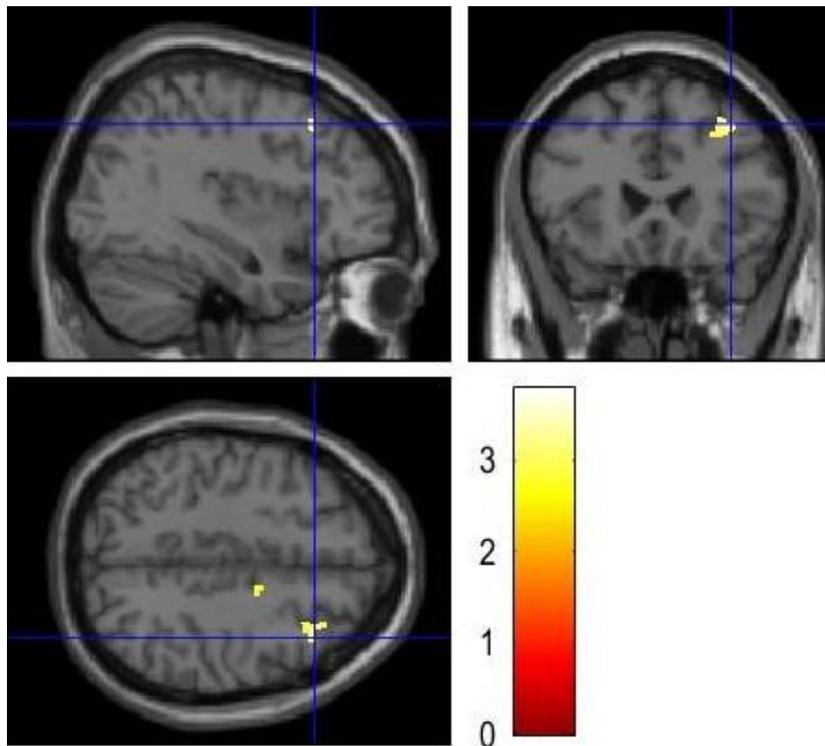


Abbildung 22: Korrelat zu „Triplett enthält Realistic“, MNI 38 24 45

Tabelle 4: Korrelate zu „Triplett enthält Realistic“ im Bildmaterial der Weißen Substanz, die auf ein geringeres Volumen der Grauen Substanz hinweisen

MNI (mm)			peak-level		cluster-volume
x	y	z	T	p _(uncorr.)	k _E
-47	-36	10	3.79	0.000	881
9	-61	1	3.59	0.000	333
30	-91	-14	3.52	0.000	508
6	-36	55	3.42	0.000	84
-33	-91	-14	3.31	0.001	442
38	24	45	3.30	0.001	184
62	-48	6	3.09	0.001	116

4.2.2 Neuronale Korrelate zum Merkmal *Investigative*

Korrelate zum Merkmal *Investigative*, die auf ein größeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen

Die statistische Auswertung zeigt keine Hinweise auf signifikante Korrelate, die auf ein größeres Volumen in der Grauen Substanz deuten.

Korrelate zum Merkmal Investigative, die auf ein geringeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen

Es können fünf statistisch signifikante Cluster im Bildmaterial der Grauen Substanz identifiziert werden. Das größte Cluster mit einem Volumen von 1117 Voxeln liegt mit seinem Maximum bei MNI 23 -97 9 und umfasst mit den Brodmann-Arealen 17 und 18 die primären, sekundären und tertiären Sehfelder.

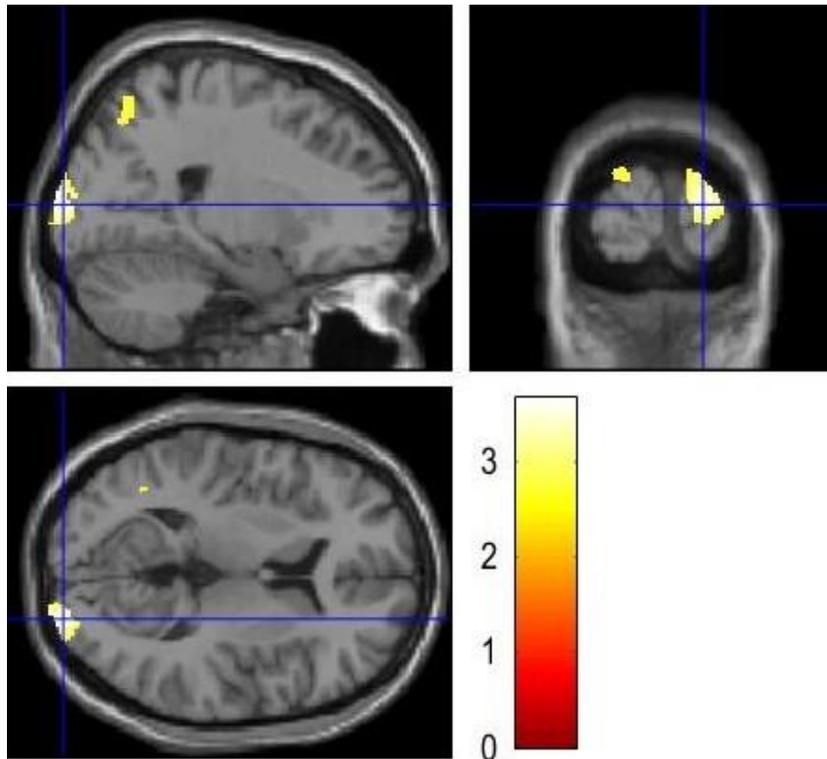


Abbildung 23: Negatives Korrelat zu „Triplett enthält Investigative“, MNI 23 -97 9

Ein signifikantes Cluster mit einem Volumen von 183 Voxeln liegt rechtshemisphärisch um das Maximum bei MNI 11 -12 76. In unmittelbarer Nachbarschaft liegt bei MNI 9 -13 57 ein aus 186 Voxeln bestehendes Cluster. Beide liegen im Brodmann-Areal 6, im präzentralen Gyrus im Frontallappen, und gehören zum supplementär-motorischen Areal im prämotorischen Cortex.

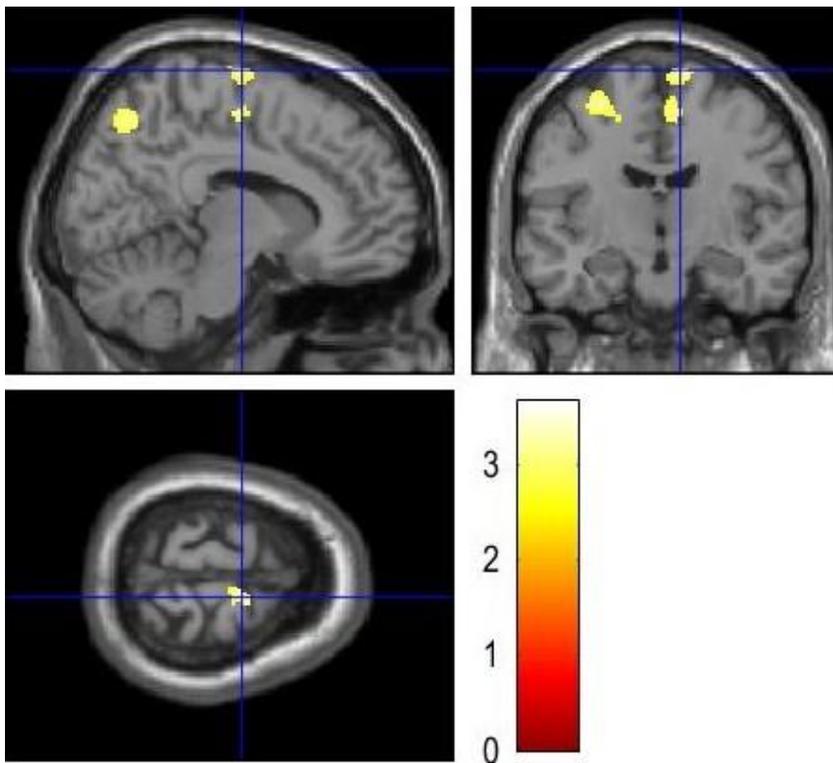


Abbildung 24: Negatives Korrelat zu „Triplett enthält Investigative“, MNI 11 -12 76

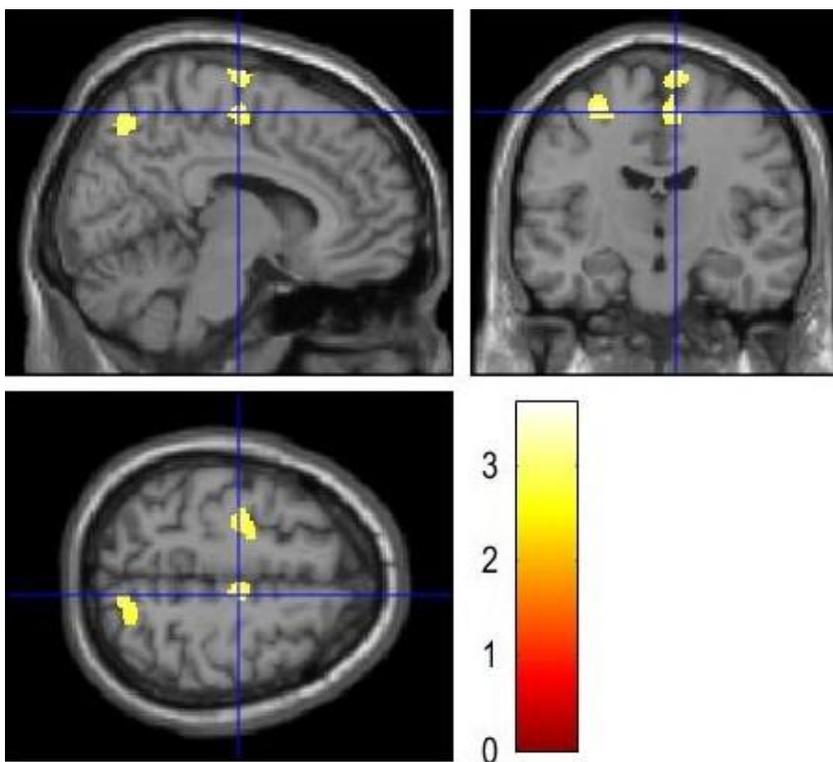


Abbildung 25: Negatives Korrelat zu „Triplett enthält Investigative“, MNI 9 -13 57

Im linkshemisphärischen Brodmann-Areal 4, im primären motorischen Cortex, findet sich ein Cluster mit 397 Voxeln (Maximum bei MNI -29 -10 61).

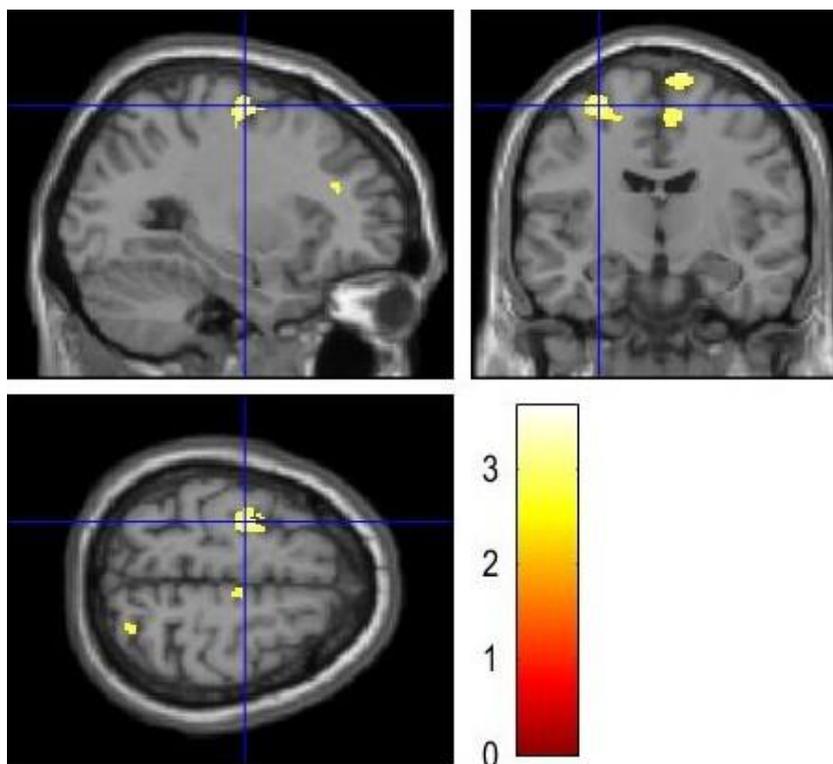


Abbildung 26: Negatives Korrelat zu „Triplett enthält Investigative“, MNI -29 -10 61

Ein weiteres Cluster (582 Voxel) liegt im posterioren Parietalcortex, im Precuneus, das im rechten Brodmann-Areal 7 zu finden ist (Maximum bei MNI 12 -67-51).

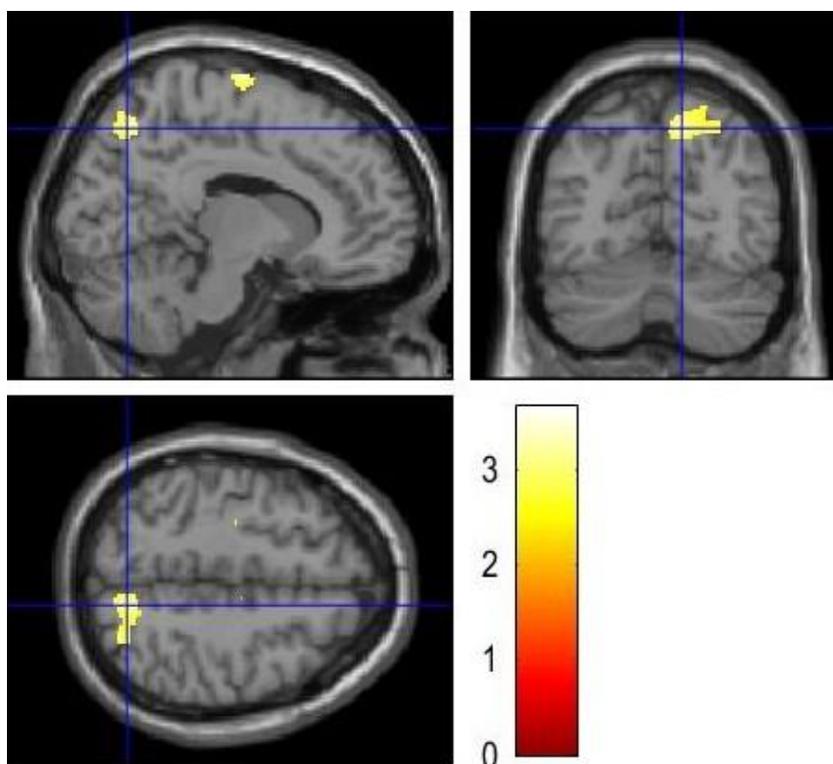


Abbildung 27: Negatives Korrelat zu „Triplett enthält Investigative“, MNI 12 -67 51

Tabelle 5: Negative Korrelate zu „Triplett enthält Investigative“ im Bildmaterial der Grauen Sumstanz, die auf ein geringeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen

MNI (mm)			peak-level		cluster-volume
x	y	z	T	p _(uncorr.)	kE
23	-97	9	3.66	0.000	1117
11	-12	76	3.27	0.001	183
-29	-10	61	3.23	0.001	397
12	-67	51	3.20	0.001	582
9	-13	57	3.13	0.001	186

4.2.3 Neuronale Korrelate zum Merkmal *Artistic*

Korrelate zum Merkmal *Artistic*, die auf ein größeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen

Es finden sich im Bildmaterial der Grauen Substanz fünf statistisch signifikante Cluster. Ein Erstes, mit einem Volumen von 986 Voxeln weist drei Maxima auf (MNI -30 62 -9, MNI -21 60 -18, MNI -30 53 -18). Nahezu analog zeigt sich ein weiteres Cluster rechtshemisphärisch mit einem Volumen von 956 Voxeln. Es weist zwei Maxima auf (MNI 18 50 -24, MNI 35 56 -18). Beide Cluster liegen im Frontalhirn, wobei linkshemisphärisch die Areale Fp1 und Fo3 betroffen sind (Brodmann-Areal 10) – auf der rechten Hemisphäre Fp1, Fo3 und zusätzlich Fo1 (Brodmann-Areale 10 und 11).

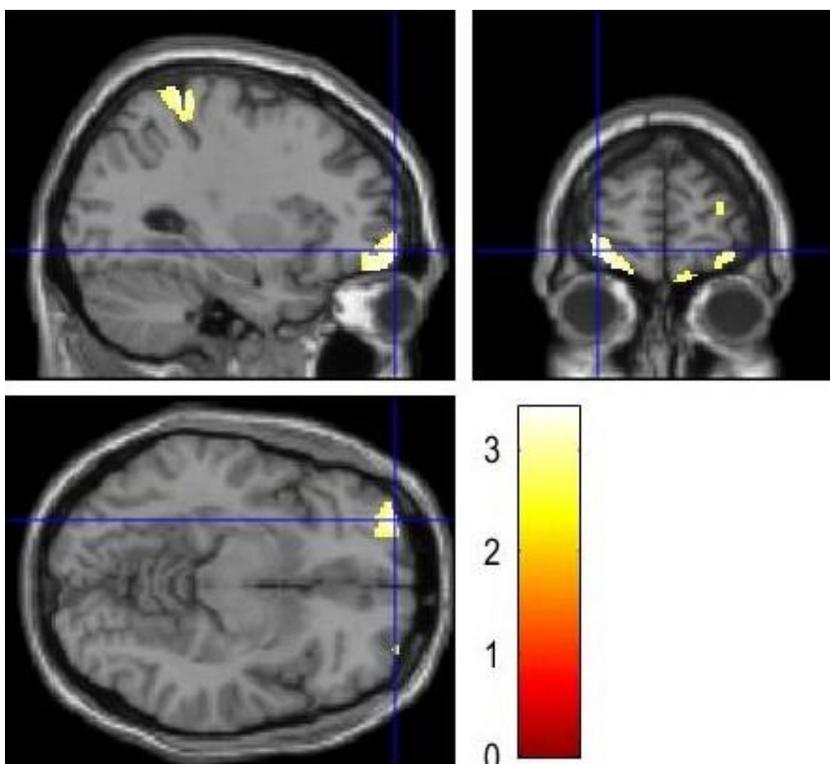


Abbildung 28: Korrelat zu „Triplett enthält *Artistic*“, MNI -30 62 -9

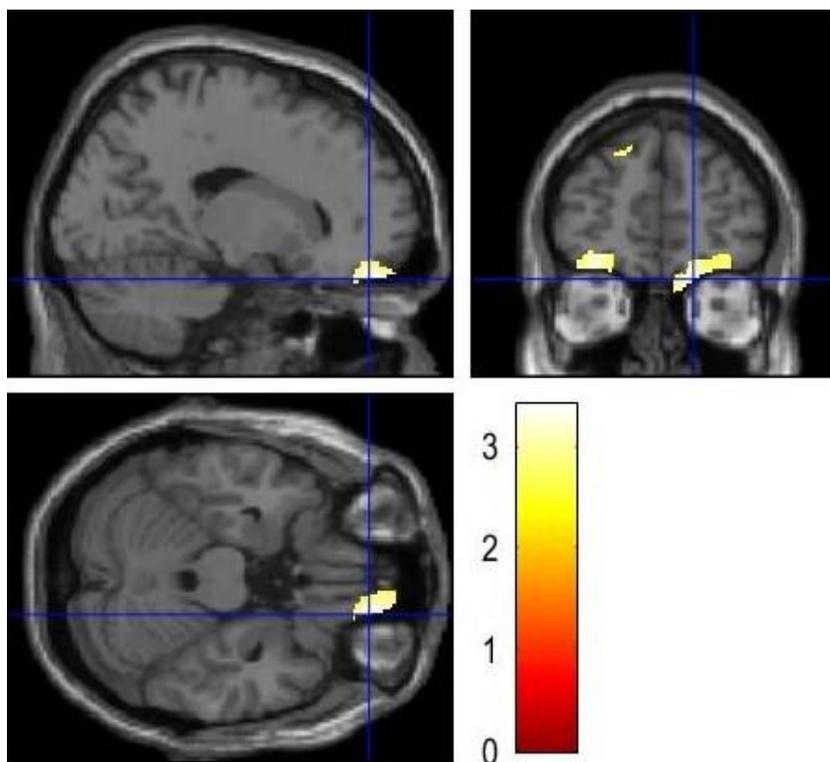


Abbildung 29: Korrelat zu „Triplett enthält Artistic“, MNI 18 50 -24

Einen weiteren großen statistischen Effekt mit einem Volumen von 603 Voxeln ist bei MNI -30 -42 66 im linken superioren Parietallappen (SPL) zu finden. Er tangiert die Brodmann-Areale 5L (36,5%), 2 (23,3%), 1 (9,1%) und 3b (7,5%). Sein Maximum liegt hauptsächlich in den Brodmann-Arealen 1 (37%) und 2 (26%).

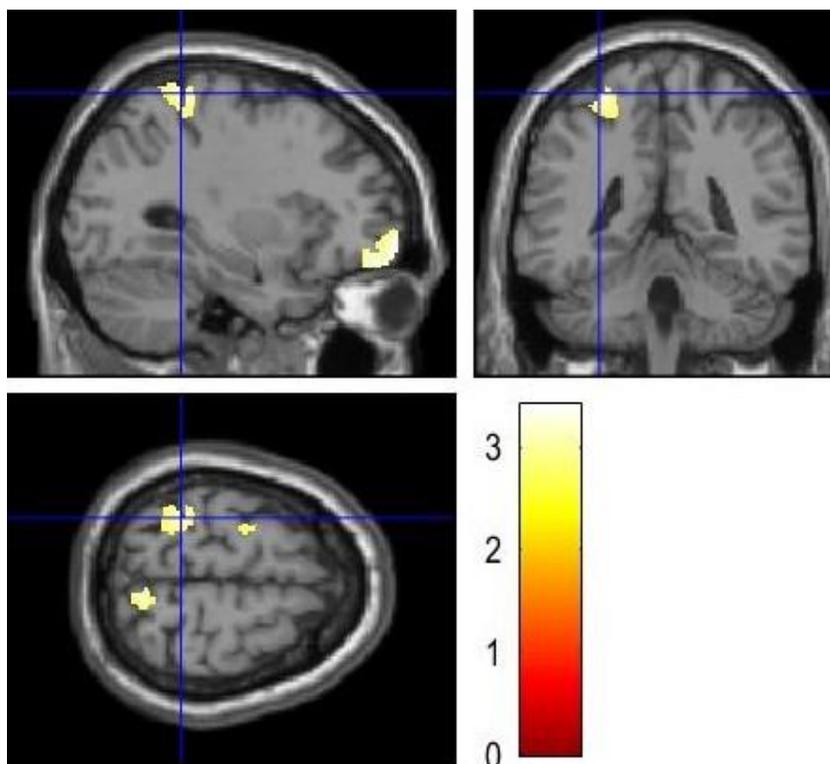


Abbildung 30: Korrelat zu „Triplett enthält Artistic“, MNI -30 -42 66

Ein weiteres signifikantes Cluster mit einem Volumen von 278 Voxeln befindet sich rechtshemisphärisch hauptsächlich in den Brodmann-Arealen 5L (50,1%) und 7A (28,8%). Sein Maximum liegt bei MNI 8 -61 66.

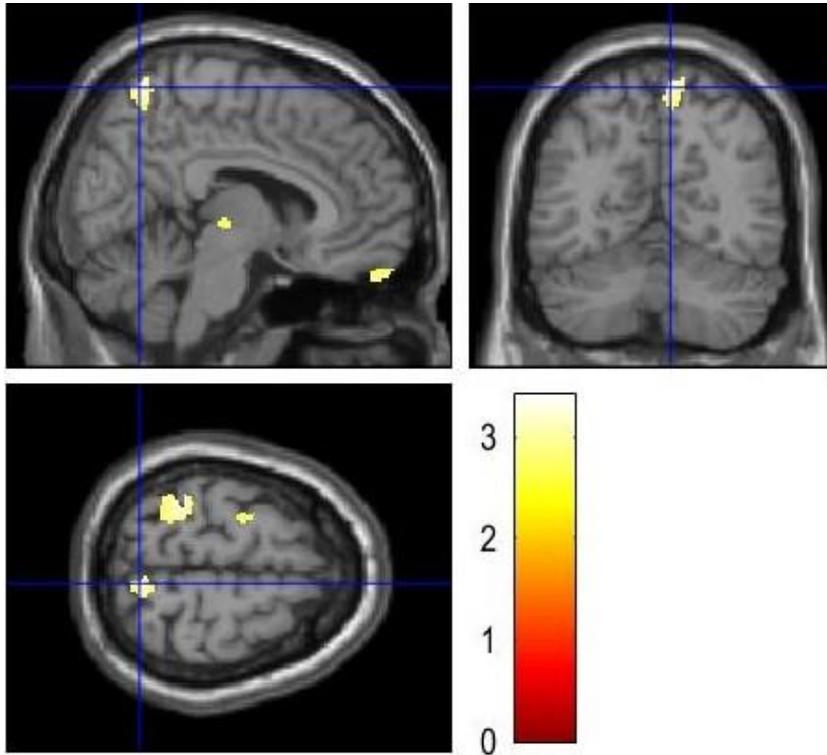


Abbildung 31: Korrelat zu „Triplett enthält Artistic“, MNI 8 -61 66

Das letzte statistisch signifikante Cluster mit einem Volumen von 268 Voxeln findet sich links-hemisphärisch mit seinem Maximum bei MNI -47 -30 37 im inferioren Parietallappen (IPL). Dort liegt das Brodmann-Areal 40.

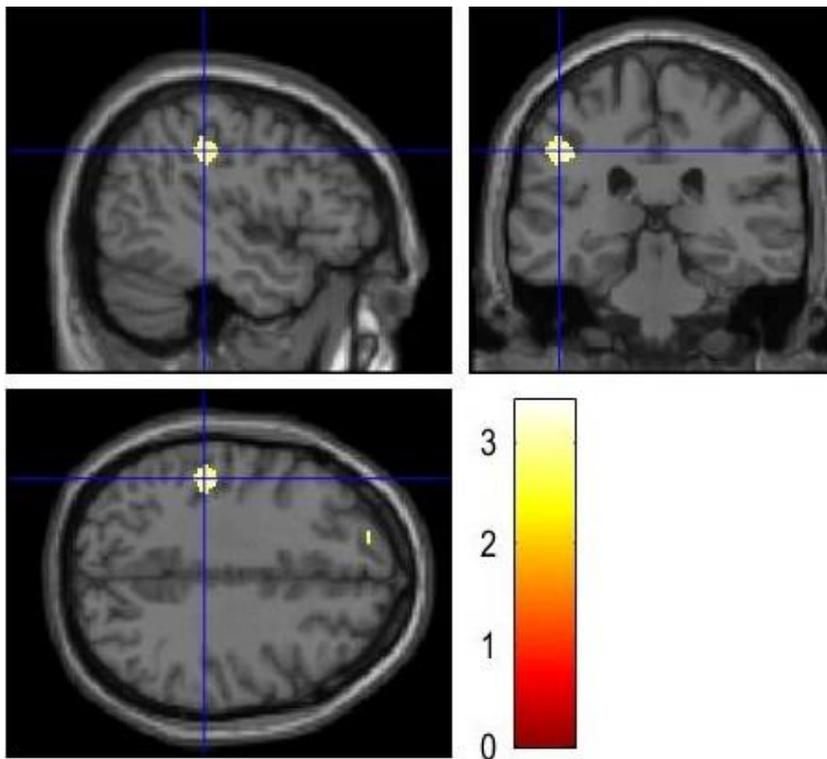


Abbildung 32: Korrelat zu „Triplett enthält Artistic“, MNI -47 -30 37

Tabelle 6: Korrelate zu „Triplett enthält Artistic“ im Bildmaterial der Grauen Substanz, die auf ein größeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen

MNI (mm)			peak-level		cluster-volume
x	y	z	T	p _(uncorr.)	k _E
-30	62	-9	3.41	0.000	986
-21	60	-18	3.35	0.001	
-30	53	-18	3.26	0.001	
18	50	-24	3.38	0.001	956
35	56	-18	3.27	0.001	
-30	-42	66	3.30	0.001	603
8	-61	66	3.27	0.001	278
-47	-30	37	3.06	0.001	268

Im Bildmaterial der Weißen Substanz findet sich nur ein statistisch signifikantes Cluster bei MNI -42 27 -9, das auf ein größeres Volumen in der Grauen Substanz hinweist. Es besteht aus 52 Voxeln und befindet sich im linken inferioren Frontalcortex – im linken Brodmann-Areal 47.

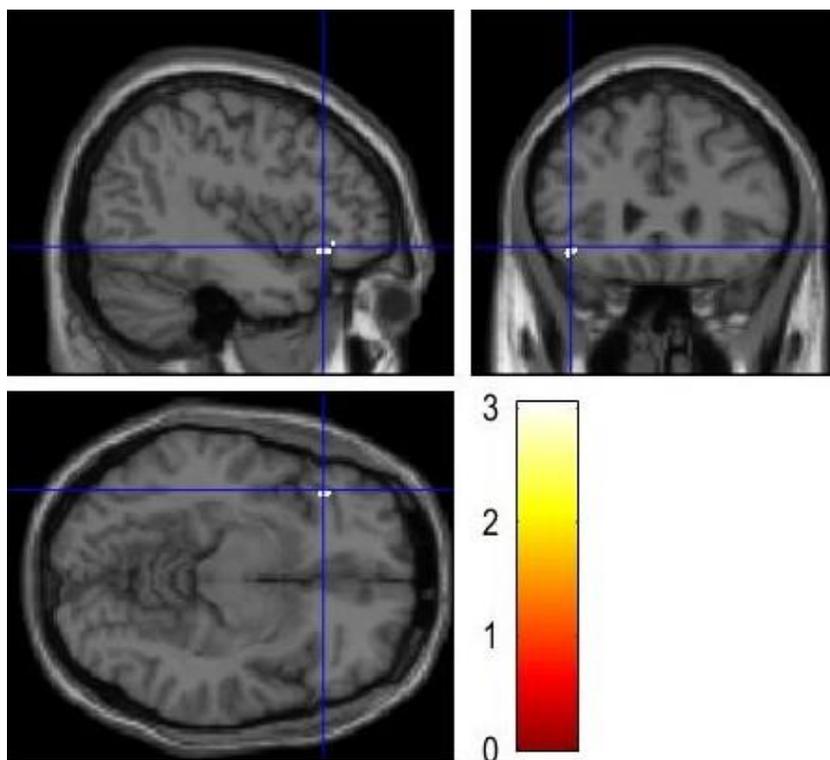


Abbildung 33: Negatives Korrelat zu „Triplett enthält Artistic“, MNI -42 27 -9

Tabelle 7: Negatives Korrelat zu „Triplett enthält Artistic“ im Bildmaterial der Weißen Substanz, das auf ein größeres Volumen in der Grauen Substanz hinweist

MNI (mm)			peak-level		cluster-volume
x	y	z	T	$p_{(uncorr.)}$	kE
-42	27	-9	3.05	0.001	52

Korrelate zum Merkmal Artistic, die auf ein geringeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen

In der Grauen Substanz findet sich kein statistisch signifikantes negatives Korrelat, das auf ein geringeres Volumen hinweist. Dagegen weisen zwei sehr große Cluster in der Weißen Substanz auf ein geringeres Volumen in der benachbarten Grauen Substanz hin.

Das Größere hat ein Volumen von 3520 Voxeln und zeigt drei Maxima auf: MNI 8 -30 15, MNI 5 -46 19 und MNI 5 -37 27. Damit liegt es zum größten Teil im rechten und linken posterioren Corpus callosum.

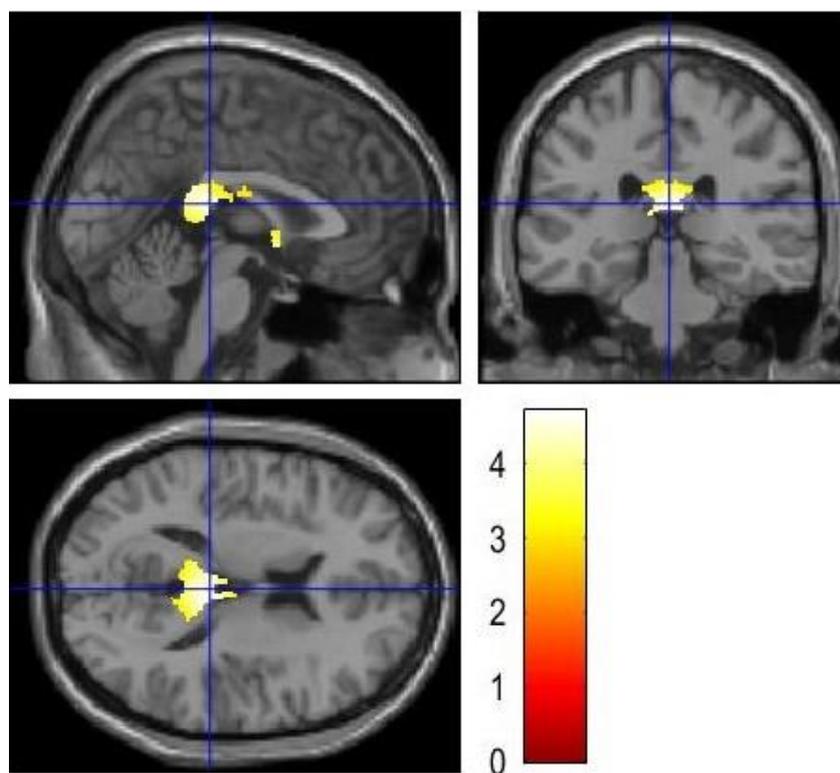


Abbildung 34: Korrelat zu „Triplett enthält Artistic“, MNI 8 -30 15

Ein weiteres Cluster mit einem Volumen von 1550 Voxeln zieht sich zwischen rechter und linker Hemisphäre. Die Maxima liegen bei MNI -23 -4 -12 und MNI 2 -1 -14. Betroffen sind im basalen Vorderhirn unter anderem die rechte und linke Amygdala.

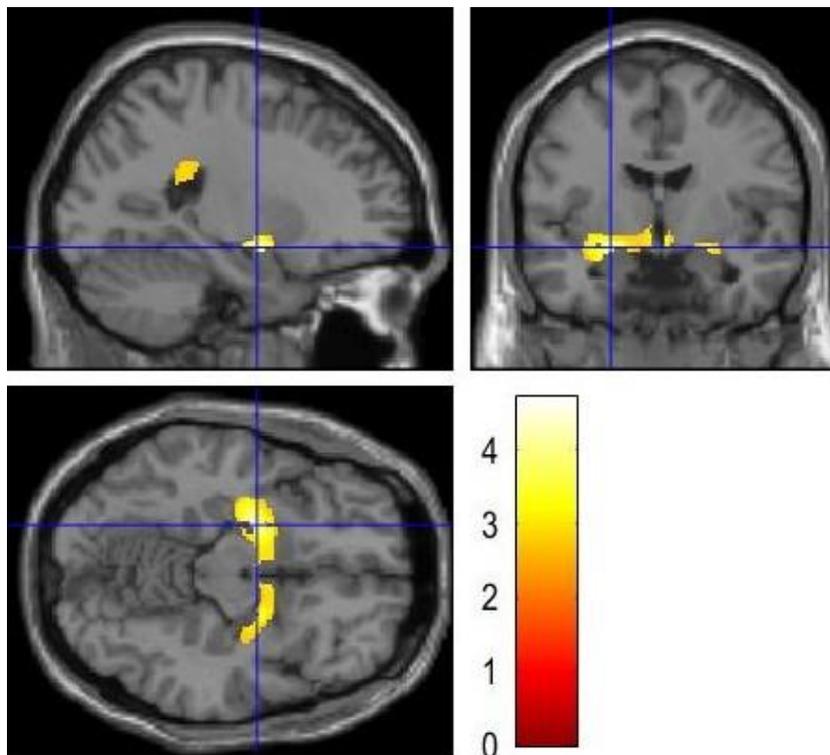


Abbildung 35: Korrelat zu „Triplett enthält Artistic“, MNI -23 -4 -12

Tabelle 8: Korrelate zu „Triplett enthält Artistic“ im Bildmaterial der Weißen Substanz, die auf ein geringeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen

MNI (mm)			peak-level		cluster-volume
x	y	z	T	$p_{(\text{uncorr.})}$	k_E
8	-30	15	4.71	0.000	3520
5	-46	19	3.37	0.001	
5	-37	27	3.14	0.001	
-23	-4	-12	4.15	0.000	1550
2	3	-6	3.80	0.000	
23	-1	-14	3.41	0.000	

4.2.4 Neuronale Korrelate zum Merkmal *Social*

Korrelate zum Merkmal *Social*, die auf ein größeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen

Im Bildmaterial der Grauen Substanz finden sich drei statistisch signifikante Cluster, die hier auf ein größeres Volumen hindeuten. Eines liegt mit seinem Maximum bei MNI -24 -36 12 und einem Volumen von 55 Voxeln zum Teil im dorsalen Teil des Thalamus, dem Pulvinar.

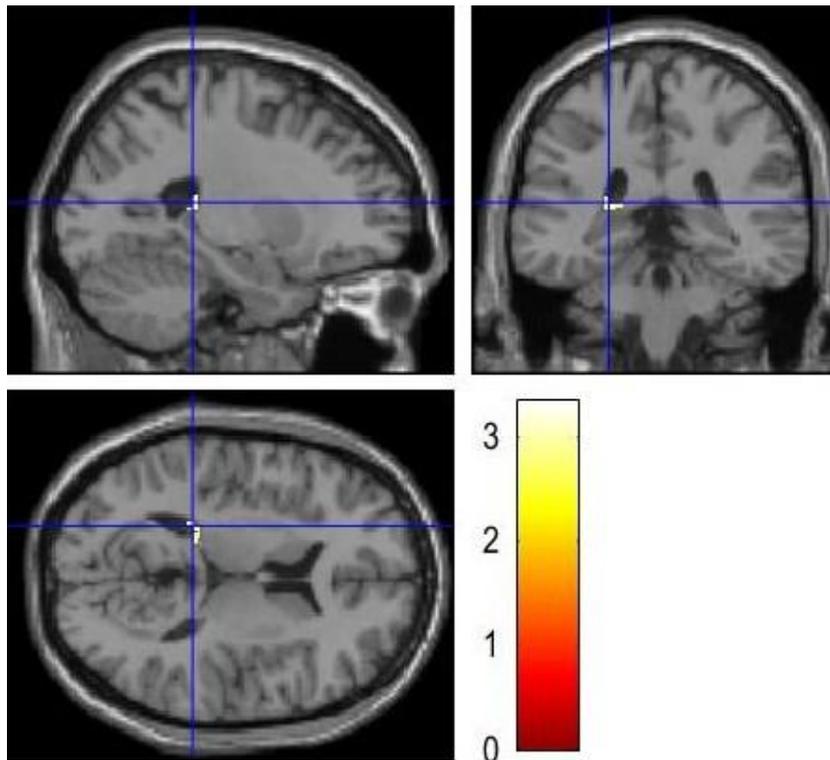


Abbildung 36: Korrelat zu „Triplett enthält Social“, MNI -24 -36 12

Ein weiteres Cluster – bestehend aus 128 Voxeln – liegt mit seinem Maximum bei MNI -48 -10 -18 an der Grenze zwischen den linken Brodmann-Arealen 21 und 22 im superioren Temporallappensulkus (STS).

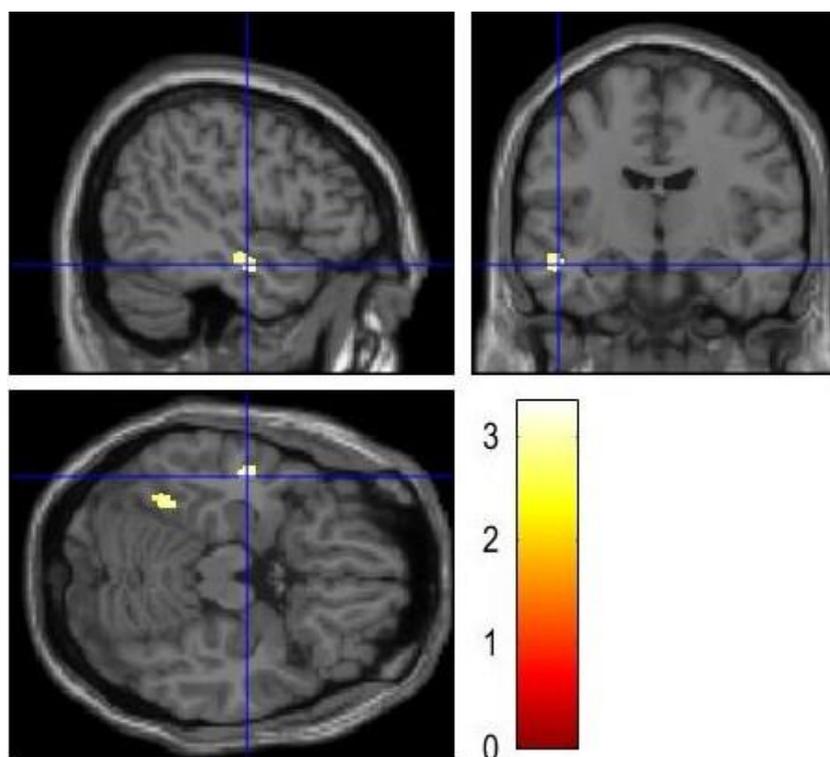


Abbildung 37: Korrelat zu „Triplett enthält Social“, MNI -48 -10 -18

Ein letztes Cluster in der linken Hemisphäre hat ein Volumen von 61 Voxeln und liegt mit seinem Maximum bei MNI -36 -51 -17 im Brodmann-Areal 37, dem Gyrus fusiformis.

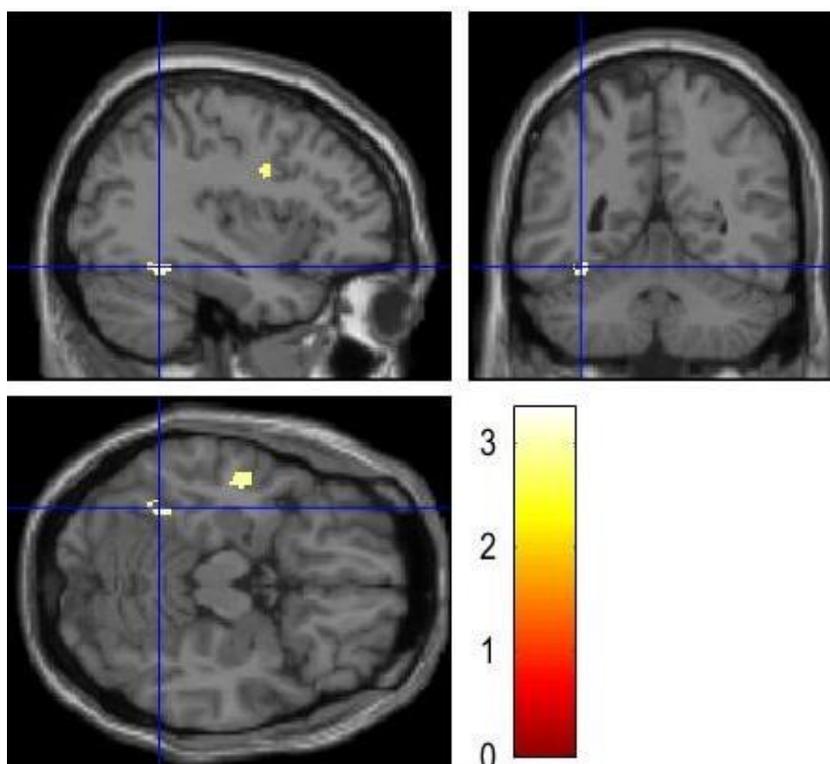


Abbildung 38: Korrelat zu „Triplett enthält Social“, MNI -36 -51 -17

Tabelle 9: Korrelate zu „Triplett enthält Social“ im Bildmaterial der Grauen Substanz, die auf ein größeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen

MNI (mm)			peak-level		cluster-volume
x	y	z	T	p _(uncorr.)	kE
-24	-36	12	3.33	0.001	55
-48	-10	-18	3.09	0.001	128
-36	-51	-17	3.06	0.001	61

Korrelate zum Merkmal Social, die auf ein geringeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen

Im Bildmaterial der Grauen Substanz findet sich nur ein signifikantes negatives Korrelat. Es hat ein Volumen von 155 Voxeln. Sein Maximum liegt bei MNI 60 8 33 in den rechtshemisphärischen Brodmann-Arealen 44 und 46 im präzentralen Gyrus (ventraler prämotorischer Cortex).

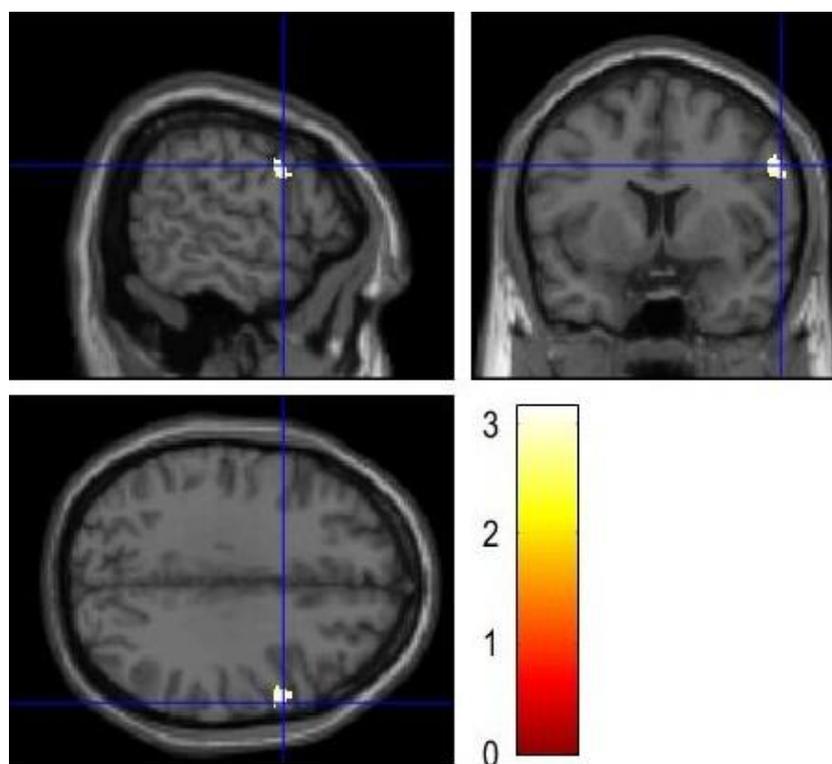


Abbildung 39: Negatives Korrelat zu „Triplett enthält Social“, MNI 60 8 33

Tabelle 10: Negatives Korrelat zu „Triplett enthält Social“ im Bildmaterial der Grauen Substanz, das auf ein geringeres Volumen in der Grauen Substanz hinweist

MNI (mm)			peak-level		cluster-volume
x	y	z	T	p _(uncorr.)	kE
60	8	33	3.15	0.001	155

4.2.5 Neuronale Korrelate zum Merkmal *Enterprising*

Korrelate zum Merkmal *Enterprising*, die auf ein größeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen

Im Bildmaterial der Grauen Substanz werden fünf statistisch signifikante Korrelationen gefunden. Ein sehr großes Cluster mit einem Volumen von 2340 Voxeln zeigt sich rechtshemisphärisch mit einem Maximum bei MNI 62 -13 16 und einem Maximum bei MNI 59 -9 22. Es hat ein deutlich kleineres linkshirniges Pendant bei MNI -60 -16 18 mit 598 Voxeln. Die größten Anteile liegen im primären somatosensorischen Cortex, insbesondere im parietalen Operculum OP1 und OP4.

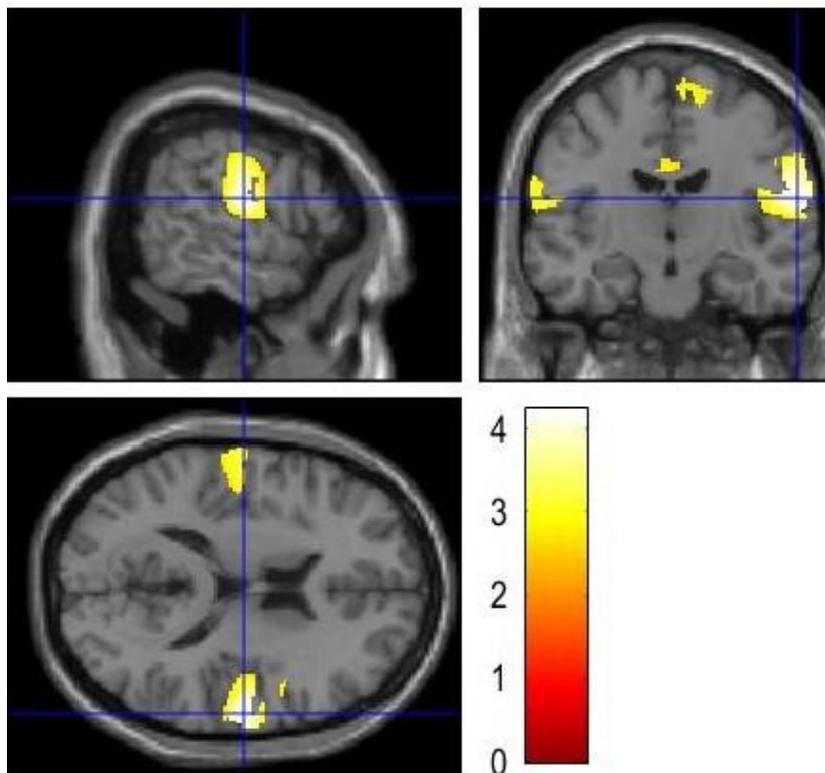


Abbildung 40: Korrelat zum Merkmal „Triplett enthält *Enterprising*“, MNI 62 -13 16

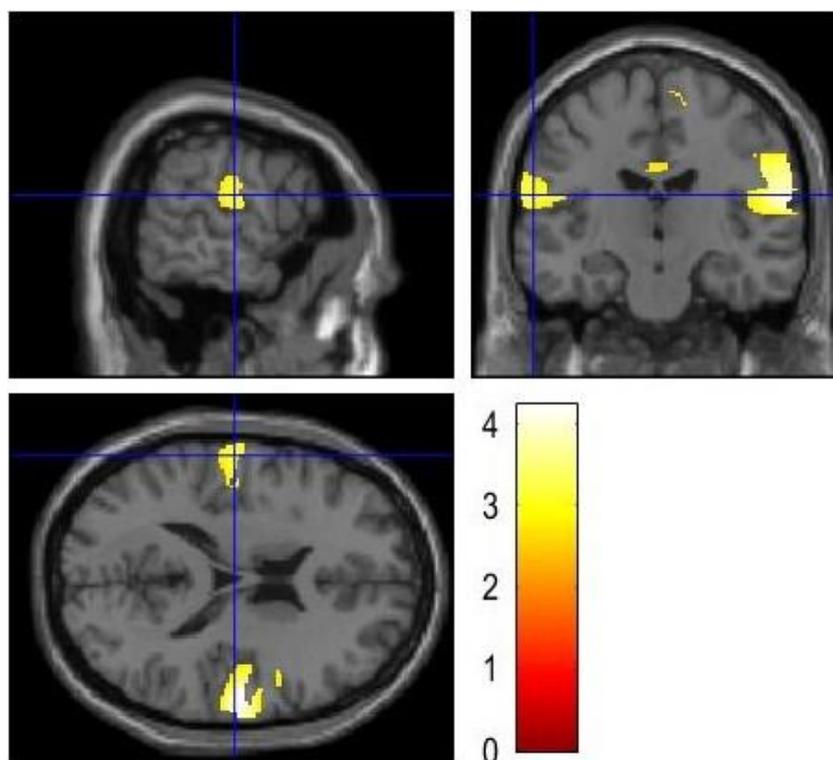


Abbildung 41: Korrelat zum Merkmal „Triplett enthält Enterprising“, MNI -60 -16 18

Das Cluster mit seinem Maximum bei -39 -64 54 und einem Volumen von 594 Voxeln lokalisiert die Anatomy-Toolbox zu etwa 47% im linken inferioren Parietallappen (IPL, Areale PFm und PGa), zu 18% im superioren Parietallappen (SPL, Areal 7A) und zu etwa 12% im Sulcus intraparietalis (Areal HIP3).

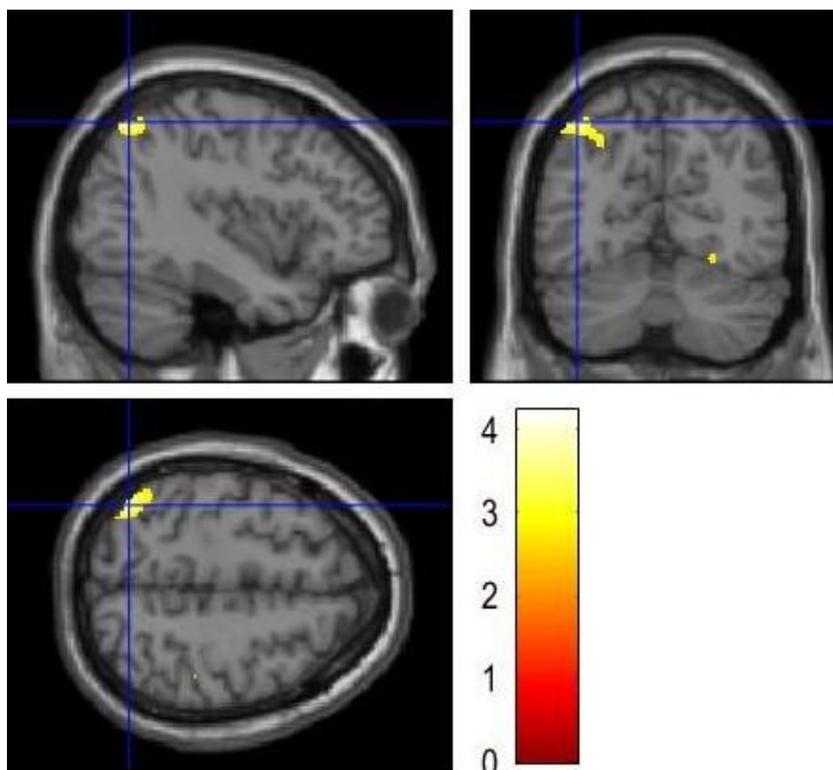


Abbildung 42: Korrelat zum Merkmal „Triplett enthält Enterprising“, MNI -39 -64 54

Bei MNI 9 -37 27 liegt das Maximum eines Clusters mit 670 Voxeln. Es liegt im rechten Brodmann-Areal 23, im Cortex cingularis posterior (PCC).

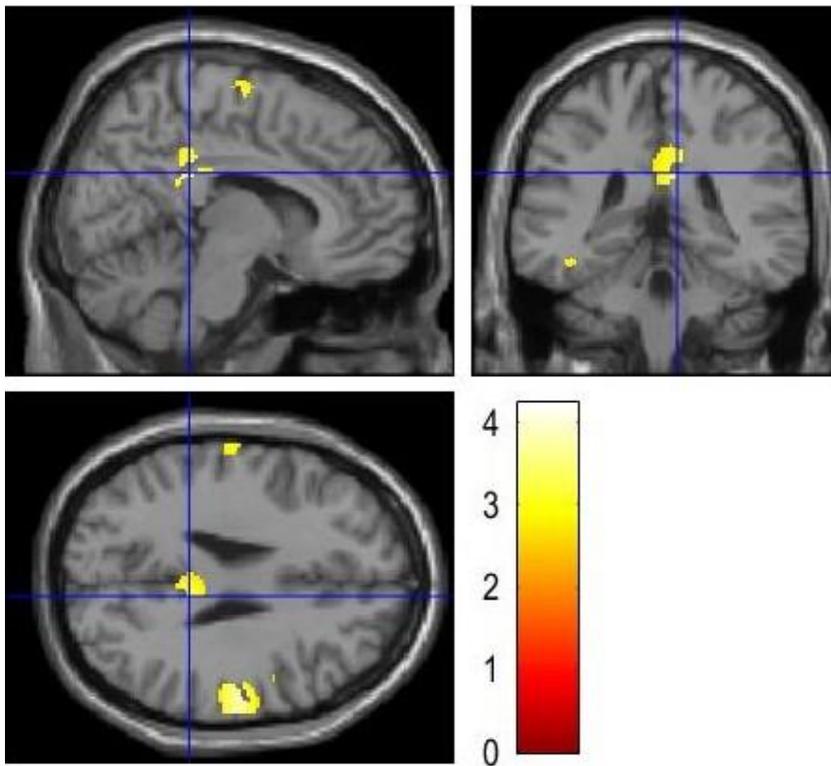


Abbildung 43: Korrelat zum Merkmal „Triplett enthält Enterprising“, MNI 9 -37 27

Ein letztes statistisch signifikantes Cluster findet sich mit seinem Maximum bei MNI 51 3 22 im Pars opercularis im inferioren Gyrus frontalis. Es hat ein Volumen von 188 Voxeln und liegt laut Anatomie-Toolbox zu etwa 28% im rechten Brodmann-Areal 44 (Broca-Areal).

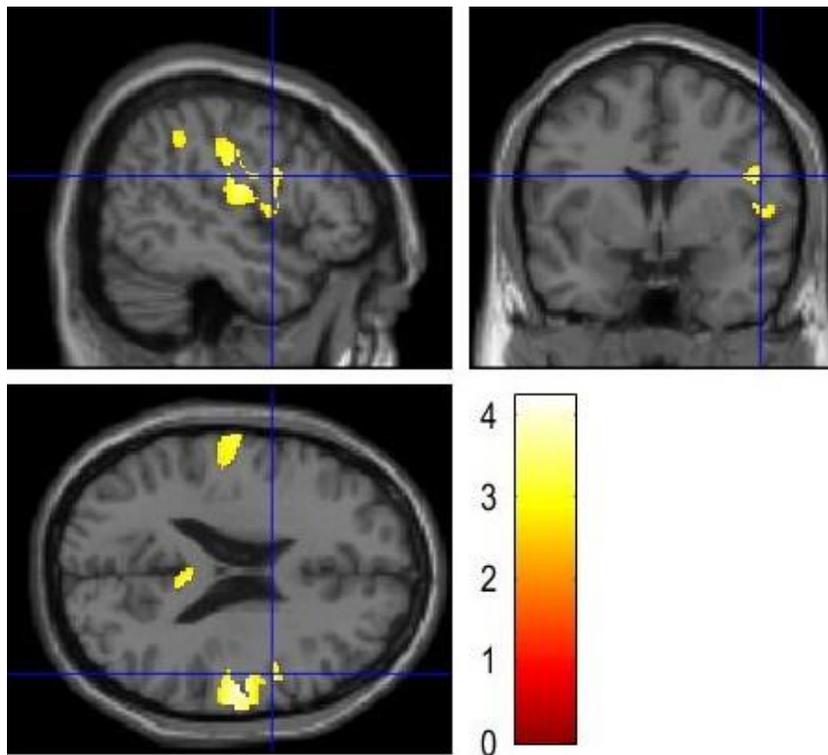


Abbildung 44: Korrelat zum Merkmal „Triplett enthält Enterprising“, MNI 51 3 22

Tabelle 11: Korrelate zu „Triplett enthält Enterprising“ im Bildmaterial der Grauen Substanz, die auf ein größeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen

MNI (mm)			peak-level		cluster-volume
x	y	z	T	$p_{(\text{uncorr.})}$	k_E
62	-13	16	2.23	0.000	2340
59	-9	22	3.56	0.000	
-39	-64	54	3.60	0.000	594
9	-37	27	3.25	0.001	670
-60	-16	18	3.14	0.001	598
51	3	22	3.14	0.001	188

Bei der Untersuchung des Bildmaterials der Weißen Substanz werden zwei statistisch signifikante negative Korrelate im Thalamus identifiziert. Das erste Cluster mit einem Volumen von 1343 Voxeln findet sich mit seinem Maximum bei MNI -8 -19 1 im linken Thalamus (39,7% präfrontal, 8,8% temporal, 4,5% parietal und 2,9% prämotorischer Thalamus). Das zweite mit einem ersten Maximum bei 5 -10 0 und einem zweiten Maximum bei MNI 17 6 -9 im rechten Thalamus (18,3% präfrontal, 9% temporal).

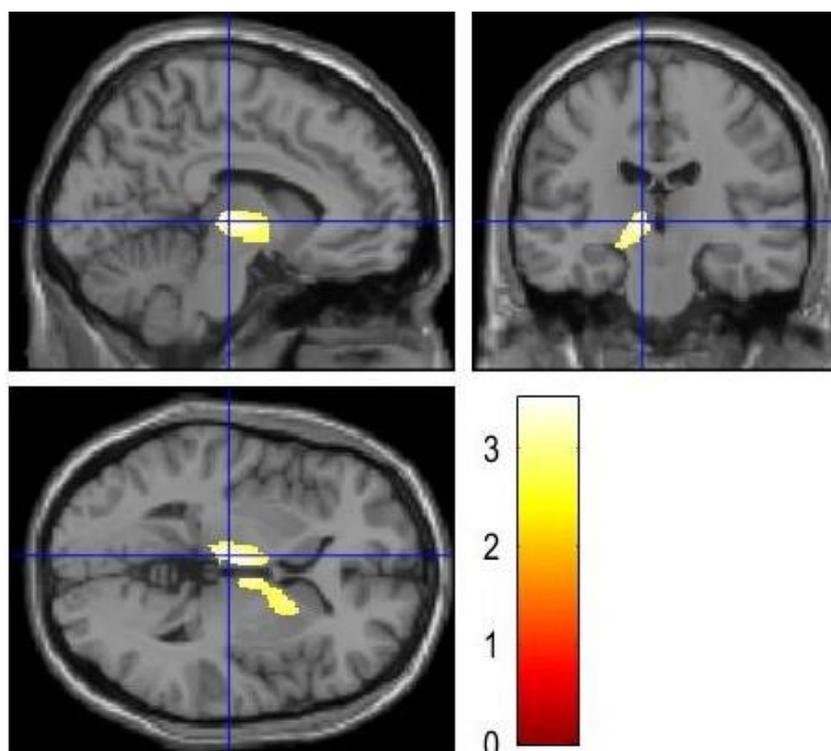


Abbildung 45: Negatives Korrelat zum Merkmal „Triplett enthält Enterprising“, MNI -8 -19 1

Tabelle 12: Negative Korrelate zu „Triplett enthält Enterprising“ im Bildmaterial der Weißen Substanz, die auf ein größeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen

MNI (mm)			peak-level		cluster-volume
x	y	z	T	$p_{(\text{uncorr.})}$	k_E
-8	-19	1	3.51	0.000	1343
5	-10	-0	3.17	0.001	961
17	6	-9	3.10	0.001	

Korrelate zum Merkmal *Enterprising*, die auf ein geringeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen, werden nicht identifiziert.

4.2.6 Neuronale Korrelate zum Merkmal *Conventional*

Korrelate zum Merkmal *Conventional*, die auf ein größeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen

Korrelate in der Grauen Substanz zum Merkmal „Triplett enthält *Conventional*“ werden nicht gefunden. Dagegen zeigt sich ein einzelnes negatives Korrelat im Bildmaterial der Weißen Substanz zum Merkmal „Triplett enthält *Conventional*“ bei MNI 2 -30 15 mit einem Volumen von 499 Voxeln. Dieser Bereich kann dem Corpus callosum zugeordnet werden.

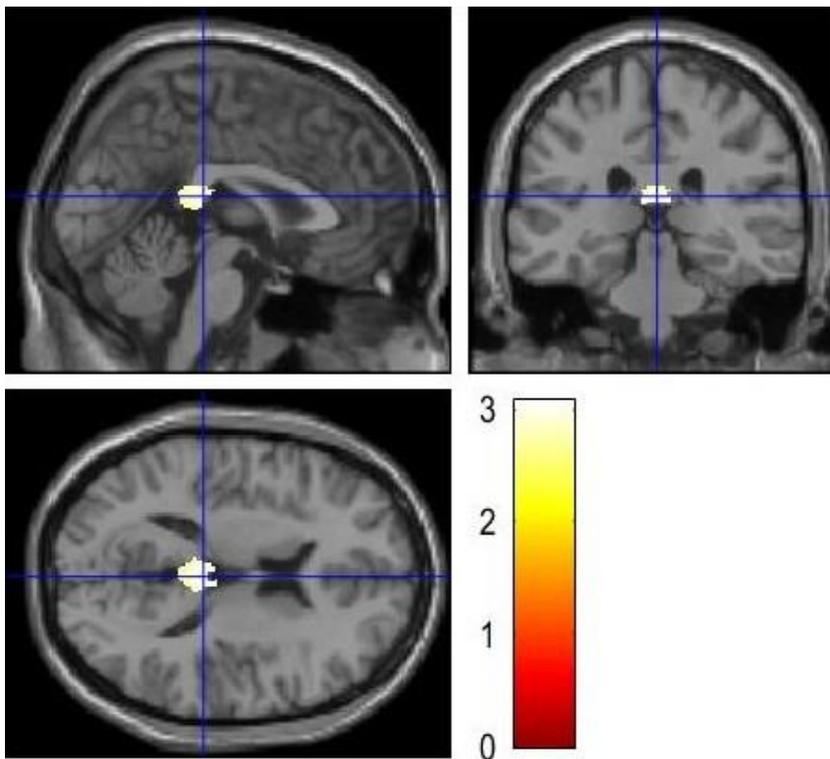


Abbildung 46: Negatives Korrelat zum Merkmal „Triplett enthält Conventional“, MNI 2 -30 15

Tabelle 13: Negatives Korrelat zu „Triplett enthält Conventional“ im Bildmaterial der Weißen Substanz, das auf ein größeres Volumen in der Grauen Substanz hinweist

MNI (mm)			peak-level		cluster-volume
x	y	z	T	$p_{(\text{uncorr.})}$	k_E
2	-30	15	3.08	0.001	499

Korrelate zum Merkmal Conventional, die auf ein geringeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen

Es findet sich im Bildmaterial der Grauen Substanz ein negatives Korrelat mit einem Volumen von 891 Voxeln. Es weist zwei Maxima auf. Eines befindet sich bei MNI 12 -24 -5 – ein weiteres bei MNI 6 -27 9. Die Anatomy-Toolbox ordnet 33,5% dem rechten präfrontalen Thalamus, 20,9% dem rechten temporalen Thalamus, 15% dem rechten parietalen Thalamus und 11,3% dem linken präfrontalen Thalamus zu.

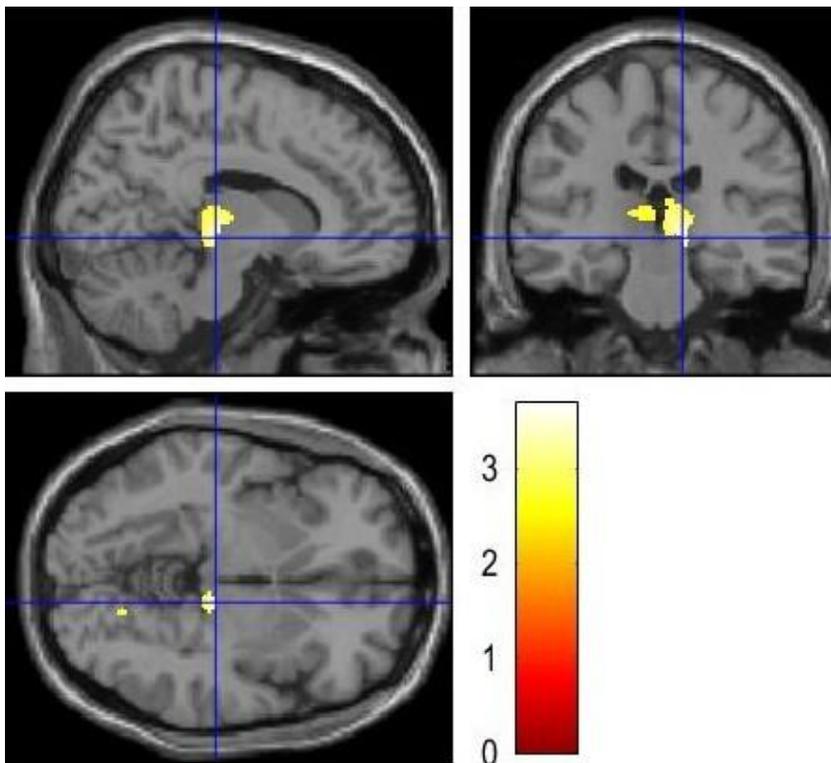


Abbildung 47: Negatives Korrelat zum Merkmal „Triplett enthält Conventional“, MNI 12 -24 -5

Tabelle 14: Negatives Korrelat zu „Triplett enthält Conventional“ im Bildmaterial der Grauen Substanz, die auf ein geringeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen

MNI (mm)			peak-level		cluster-volume
x	y	z	T	$p_{(\text{uncorr.})}$	k_E
12	-24	-5	3.69	0.000	891
6	-27	9	3.07	0.001	

Statistisch signifikante Effekte in der Weißen Substanz, die auf ein geringeres Volumen der Grauen Substanz hinweisen, werden nicht gefunden.

4.2.7 Tabellarische Gesamtschau der SPM-Analyse

Es folgt eine Darstellung aller Hirnareale, die statistisch signifikant mit den Eigenschaften des RIASEC-Modells in Verbindung gebracht werden können. Dabei wird zunächst die betreffende Hirnregion benannt („Anatomische Struktur“). In den nachfolgenden Spalten werden zuerst die betroffenen Brodmann-Areale („BA“) aufgeführt, danach die Position der höchsten Signifikanz im Koordinatensystem im MNI-Raum (Peak-MNI auf der x-, y- und z-Achse in mm) und zuletzt die Anzahl der insgesamt signifikanten Voxel.

Tabelle 15: Übersicht der Ergebnisse

Anatomische Struktur	BA	Peak MNI	Voxel
Effekte zum Merkmal „Realistic“, die auf ein größeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen:			
li. Frontallappen, sekundärmotorischer Cortex: caudales supplementär-motorisches Areal (cSMA)	BA 6	-9 -13 55	390
Effekte zum Merkmal „Realistic“, die auf ein geringeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen:			
re. und li. Temporal-Gyrus; Tempoparietaljunction TPJ	/	-47 -36 10 62 -48 6	522 116
re. primäre Sehrinde (hOC1)	BA 17	9 -61 1	333
re. und li. sekundäre Sehrinde	BA 18	30 -91 -14 -33 -91 -14	508 442
re. mittlerer Frontalgyrus; Frontal-Eye-Field	BA 8	38 24 45	184
re. superiorer Parietallappen	BA 4A BA 5M	6 -36 55	84
li. Kleinhirn VIIa, VIIb	/	-30 -78 -56	386
re. Frontalpol	BA 10	33 51 0	183
Effekte zum Merkmal „Investigative“, die auf ein geringeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen:			
re. Primäre und sekundäre Sehrinde	BA 17 BA 18	23 -97 9	1117
re. Frontallappen, Präzentralgyrus, sekundärmotorischer Cortex: caudales supplementär-motorisches Areal (cSMA)	BA 6	11 -12 76 9 -13 57	183 186
li. primärer Motorcortex	BA 4	-29 -10 61	397
re. Parietalcortex, Precuneus	BA 7	12 -67 -51	582
Effekte zum Merkmal „Artistic“, die auf ein größeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen:			
li. Frontallappen Fp1, Fo3	BA 10	-30 62 -9 -21 60 -18 -30 53 -18	986
re. Frontallappen Fp1, Fo3 Fo1	BA 10/11	18 50 -24 35 56 -18	956
li. superiorer Parietallappen; primärer somatosensorischer Cortex	BA1, 2, 3b, 5L	-30 -42 66	603
re. Parietallappen, sekundärer somatosensorischer Cortex	BA 5L/7	8 -61 37	278
li. inferiorer Parietallappen	BA 40	-47 -30 37	268
li. inferiorer Frontalcortex	BA 47	-42 27 -9	52
Effekte zum Merkmal „Artistic“, die auf ein geringeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen:			
re./li. Corpus callosum	/	8 -30 15 5 -47 19 5 -37 27	3520

re./li. basales Vorderhirn, re./li. Amygdala	/	-23 -4 -12 12 -1 -14	1550
--	---	-------------------------	------

Effekte zum Merkmal „Social“, die auf ein größeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen:

Thalamus (Pulvinar)		-24 -36 12	55
re. superiorer Temporallappensulcus (STS)	BA 21/22	48 -10 -18	128
li. Gyrus fusiformis	BA 37	-36 -51 -17	61

Effekte zum Merkmal „Social“, die auf ein geringeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen:

re. Präzentralgyrus, ventraler prämotorischer Cortex	BA 44/46	60 8 33	155
--	----------	---------	-----

Effekte zum Merkmal „Enterprising“, die auf ein größeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen:

re. und li. primärer somatosensorischer Cortex: parietales Operculum OP1 und OP4	BA 1	62 -13 16 59 -9 22 -60 -16 18	2340 598
li. inferiorer Parietallappen (IPL, Areale PFm und PGa)	BA 7	-39 -64 54	594
li. superiorer Parietallappen (SPL)			
li. Intraparietalsulcus			
re. Cortex cingularis posterior (PCC)	BA 23	9 -37 27	670
re. Inferiorer Frontalgyrus: Pars opercularis	BA 44	51 3 22	188
li. Thalamus	/	-8 -19 1	1343
re. Thalamus		5 -10 0 17 6 -9	961

Effekte zum Merkmal „Conventional“, die auf ein größeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen:

re./li Corpus callosum	/	2 -30 15	499
------------------------	---	----------	-----

Effekte zum Merkmal „Conventional“, die auf ein geringeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen:

re. Thalamus	/	12 -24 -5 6 -27 9	891
--------------	---	----------------------	-----

5 Diskussion

Dieser Arbeit liegt die Frage zugrunde, ob die Ergebnisse eines kurzen Tests zur Erfassung von Interessen, wie er zur Berufsberatung junger Menschen zum Einsatz kommt, statistisch signifikant mit der Gehirnmorphologie dieser Personen korreliert.

Im Folgenden werden die eingesetzten Methoden hinterfragt und die in Kapitel 4 dargestellten statistischen Effekte mit Erkenntnissen über die in der Fachliteratur beschriebenen Funktionen der relevanten Hirnareale in Zusammenhang gebracht.

5.1 Diskussion der Methode

5.1.1 Diskussion zum Situativen Interessentest

Die Verwendung von auf Holland basierenden Instrumenten zur Berufsberatung ist seit vielen Jahrzehnten etabliert. Es gibt eine Reihe von Forschungsarbeiten, die sich mit dem englischsprachigen Original oder dessen landessprachlichen Adaptationen auseinandersetzen. Sowohl das Modell als auch einige der auf dem Modell basierenden Beratungsinstrumente sind in wissenschaftlichen Studien geprüft worden und finden breite Anwendung (PELLERONE et al. 2015; PETRIDES et al. 2004; SCHINKA et al. 1997).

Auch bei uns werden deutschsprachige Adaptionen des auf Hollands Theorie basierenden Instruments zur Berufsberatung eingesetzt. Besonders bekannt ist der Allgemeine Interessen-Struktur-Test von Bergmann und Eder, der noch immer weiterentwickelt wird und dessen Reliabilität wissenschaftlich überprüft wurde (BERGMANN & EDER 2018; LEON et al. 2018; BERGMANN & EDER 2005).

Der Situative Interessentest (SIT) von STANGL (2017) basiert auf der Theorie Hollands und dient Jugendlichen zur groben Orientierung. Er ist kostenlos durchführbar, ist als Online-Test verfügbar und berechnet das Ergebnis automatisch. Es bedarf, im Gegensatz zum Allgemeinen Interessen-Struktur-Tests, keines großen Zeitaufwands den Test durchzuführen. Auch aufgrund der Affinität Jugendlicher zu Online-Medien kann festgestellt werden, dass der SIT von Professor Stangl für Jugendliche ein niederschwelliges Angebot ist. Daher wird der Test von jungen Menschen in der Berufsfindungsphase recht häufig angewandt. Aus diesen Gründen wurde der SIT als Instrument zur Einschätzung der beruflichen Interessen für diese Arbeit gewählt.

Eine wissenschaftliche Überprüfung der Reliabilität der Testergebnisse liegt, beispielsweise im Gegensatz zum Allgemeinen Interessen-Struktur-Test, hier jedoch nicht vor. Die Testkonzeption und -konstruktion des Situativen Interessentests wurde lediglich von der STIFTUNG WARENTEST in Anlehnung an DIN 33430 (Anforderungen an berufliche Eignungsdiagnostik) geprüft und mit dem Testurteil „gut“ bewertet (STIFTUNG WARENTEST 2007). Daher ist nicht auszuschließen, dass Mängel in der Testkonstruktion die Interpretierbarkeit der Ergebnisse einschränkt und eine Vergleichbarkeit mit anderen Studien nur unter Vorbehalt möglich ist. Ein Hinweis auf diese Problematik zeigt sich darin,

dass sich die Calculus-Hypothese (vgl. 2.1.1) weder in den vorliegenden SIT-Daten noch in denen des FIT durchgängig widerspiegelt (vgl. Abbildung 9 und Abbildung 11). Die Unterschiede hinsichtlich der Korrelationskoeffizienten zwischen dem FIT und der in dieser Untersuchung ermittelten Werte des SIT könnte möglicherweise auch in der relativ geringen Teilnehmerzahl begründet sein. Beispielsweise sind die Interessensgebiete „Enterprise“ und „Conventional“ jeweils nur 36- bzw. 44-mal in den Triplets enthalten (vgl. Abbildung 10). Damit wirken sich schon wenige Probanden mit inkonsistenten Personorientierungen stark auf die Korrelationskoeffizienten aus. Hier könnte ein Ansatz für Folgestudien liegen.

Diskussion zur Aufbereitung der SIT-Daten

In der vorliegenden Arbeit werden Datengruppen mit dem Kriterium „Triplet enthält R/I/A/S/E bzw. C“ gebildet. Damit ist eine gewisse Unschärfe verbunden, da jedes Triplet außer dem gewünschten Merkmal noch zwei weitere Merkmale beinhaltet und weder die Position des untersuchten Merkmals innerhalb des Triplets noch die jeweilige Stärke des Merkmals selbst Berücksichtigung findet (vgl. 2.1.2). Die Tabelle 1 (Seite 42) zeigt, dass in den gebildeten Datengruppen die Merkmale ganz unterschiedliche Positionen in den jeweiligen Triplets einnehmen. Das kann zu Fehlern in der statistischen Analyse führen, da die Ausprägung des Merkmals nicht berücksichtigt wird. Bei der relativ geringen Zahl der Probanden ($n=104$) wäre eine Berücksichtigung der Position des Merkmals innerhalb des Triplets (120 mögliche Datengruppen) dennoch nicht sinnvoll, weil damit statistischen Ausreißern in den Gruppen zu viel Gewicht gegeben würde.

Aufgrund der Testkonstruktion kommt es leicht zu geringfügigen Verschiebungen der Reihenfolge der Merkmale im Code. So kann, je nach emotionaler Situation der Teilnehmenden, das Ergebnis bei einer Testwiederholung, insbesondere bei einer wenig ausgeprägten Differenziertheit der Persönlichkeit (vgl. 2.1.2), beispielsweise von RIC zu IRC oder ICR wechseln. Durch die Gruppenbildung werden solche Verschiebungen aufgehoben und wirken sich nicht mehr direkt auf die Ergebnisse aus. Würde lediglich das Merkmal, das im Test als stärkstes Merkmal identifiziert wurde (und daher an erster Stelle im Code liegt) als Kriterium zur Gruppenbildung genutzt, blieben die anderen zwei, ebenfalls starken Merkmale, mit ihren neuronalen Korrelaten unberücksichtigt. Problematisch kann dagegen sein, dass statistische Zusammenhänge, die aufgrund der Position des Merkmals im Triplet und der Gehirnstrukturen tatsächlich vorhanden sind, nicht erfasst und analysiert werden.

In der vorliegenden Arbeit werden Kovariaten wie Alter und Geschlecht nicht in die Datenanalyse einbezogen. Geschlechterspezifische Rollenbilder und Lebenserfahrung der Testpersonen beeinflussen die Interessen und damit auch die Ergebnisse des Interessentests (HELL 2015). In dieser Arbeit werden mögliche Beziehung von Interessen mit der Gehirnmorphologie untersucht. Ob es eine Rolle spielt, auf welche Ursache das Interesse zurückzuführen ist, soll in dieser Pilotstudie nicht berücksichtigt werden. Dies könnte Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.

Für den Fall, dass das Lebensalter bzw. das Geschlecht als Regressoren in die statistische Berechnung einbezogen werden, würden Effekte, die in Zusammenhang mit Lebensalter und

Geschlecht stehen, aus den Ergebnissen eliminiert. Die geringe Anzahl und die Heterogenität der teilnehmenden Probanden haben die Entscheidung zusätzlich gestützt, solche Regressoren bei der statistischen Analyse in der vorliegenden Arbeit nicht einzubeziehen.

5.1.2 Diskussion der VBM-Methode

Aussagekraft der Ergebnisse

Die Interpretation der statistischen Treffer muss mit Vorsicht vorgenommen werden. Es ist noch nicht abschließend geklärt, welche Bedeutung einer Korrelation bzw. negativen Korrelation zugewiesen werden kann.

Tatsache ist, dass durch die Aufbereitung der Bilddaten (Preprocessing; vgl. 2.3.2) die gemessenen Volumina auf das Standardgehirn (MNI) bezogen und Liquorräume (CSF) herausgerechnet werden. Damit kann es sich bei dem in den einzelnen Voxel befindlichen Gewebe nur um Graue oder um Weiße Substanz handeln. Im Preprocessing wurden die Bilddaten der Grauen und die der Weißen Substanz getrennt und jeweils separat in die statistische Analyse überführt. Aus dieser Überlegung ergibt sich, dass ein statistisch signifikant höheres Volumen von Grauer Substanz in einem Hirnareal (im Bildmaterial der Grauen Substanz) zwangsläufig ein niedrigeres Volumen an Weißer Substanz an dieser Stelle (in den Bildern der Weißen Substanz) nach sich zieht. Umgekehrt muss es sich ebenso verhalten: Ein höheres Volumen an Weißer Substanz in einem untersuchten Areal hat zur Folge, dass das Volumen der Grauen Substanz in den korrespondierenden Bildern der Grauen Substanz niedriger sein muss. Dies lässt sich allerdings nicht durchgängig statistisch nachweisen. Das mag daran liegen, dass eine Sensitivität der VBM für Veränderungen der Weißen Masse nicht sicher gegeben ist (DRAGANSKI et al. 2006).

Insgesamt handelt es sich bei der Voxelbasierten Morphometrie um eine statistische Bildanalyse, die Volumina von Arealen bezogen auf deren Helligkeitsstufen untersucht. Hier ist kein Rückschluss auf tatsächliche anatomische Verhältnisse und über die Anzahl und Vernetzung von Neuronen innerhalb der Bildpunkte möglich. Eine Zunahme von Synapsen bzw. eine erhöhte Anzahl von Nervenbahnen kann nur bildlich erfasst werden, wenn damit eine Zunahme des Volumens einhergeht. Erhöht sich die Dichte an zellulären Strukturen in einem untersuchten Voxel, so ließe sich dies durch eine mikroskopische Gewebeuntersuchung nachweisen – nicht aber durch die Einordnung von Graustufen in einer Bildanalyse. Hinzu kommt, dass möglicherweise noch nicht alle zellulären Ereignisse bekannt sind, die zu einer Erhöhung von Volumina in der Bildgebung führen. Daher wird der direkte Vergleich der VBM-Resultate mit einer klassischen Volumenanalyse in der Literatur kritisch gesehen (DRAGANSKI et al. 2008).

Insgesamt wird die Aussagekraft der Voxelbasierten Morphometrie eher für die Darstellung von Veränderungen im Rahmen von Längsschnittstudien postuliert und weniger für Querschnittstudien (DRAGANSKI et al. 2008; DRAGANSKI et al. 2006). Für eine eher vorsichtige Interpretation spricht auch,

dass ein geringeres Volumen an Grauer Substanz sowohl durch die Vernachlässigung von Fähigkeiten (LANGER et al. 2012) als auch durch jahrzehntelanges, intensives Training hervorgerufen werden kann (VAQUERO et al. 2016; HÄNGGI et al. 2014). Daher wird in der Diskussion der Ergebnisse im Wesentlichen von Korrelaten bzw. Effekten gesprochen, die auf ein höheres oder niedrigeres Volumen der Grauen Substanz hinweisen.

Anwendung der VBM-Methode bei Querschnittstudien

Trotz der erwähnten Kritik an der Voxelbasierten Morphometrie bei Querschnittstudien kann festgestellt werden, dass sich bei solchen Studien regelmäßig statistische Treffer in jenen Gehirnregionen finden, die mit den besonderen Fähigkeiten der Testpersonen assoziiert sind. Insbesondere hinsichtlich motorischer Fähigkeiten gibt es bislang eine Reihe von Querschnittstudien, die sich mit der Hirnarchitektur von Sportlern auseinandergesetzt haben. Im folgenden Abschnitt werden exemplarisch zwei Studien vorgestellt, um den Zusammenhang zwischen den mittels VBM ermittelten Gehirnstrukturen und den besonderen Fähigkeiten der Testpersonen aufzuzeigen.

Handball-Studie

2015 wurde von Jürgen Hänggi und Kollegen eine Studie veröffentlicht, bei der die Gehirnstruktur von Handballerinnen untersucht wurde. Neben der Analyse mittels VBM wurden DTI-Messungen und die Oberflächenbasierte Morphometrie (SBM) zur Datenerhebung genutzt.

Hinsichtlich der VBM wurden bei den Sportlerinnen im Vergleich zur Kontrollgruppe drei Cluster mit signifikant höherem Volumen der Grauen Substanz gefunden. Außerdem wurde festgestellt, dass es eine negative Korrelation des Volumens der Grauen Substanz und dem Alter bei Beginn des Handballtrainings gab:

Mit der Studie konnte belegt werden, dass sich die sportlichen Fähigkeiten der Handballspielerinnen in der Gehirnarchitektur – insbesondere im Volumen der Grauen Substanz – widerspiegeln (HÄNGGI et al. 2015).

Ballett-Studie

Auch mit einer weiteren Studie einer Forschergruppe um Jürgen Hänggi (HÄNGGI et al. 2010) kann belegt werden, dass sich die mithilfe der Voxelbasierten Morphometrie gefundenen statistischen Treffer eindeutig jenen Hirnregionen zuweisen lassen, die mit den besonderen Fähigkeiten der Probanden assoziiert werden.

Untersucht wurden hier mittels VBM und DTI die Gehirnarchitektur von Balletttänzerinnen im Vergleich zu einer Kontrollgruppe. Hinsichtlich der VBM kam es zu folgenden statistischen Treffern:

Auch hier können sämtliche statistischen Treffer mit Hirnregionen assoziiert werden, die mit den besonderen motorischen Fähigkeiten der Probandinnen in Beziehung stehen. Interessant in dieser

Studie ist, dass bei den Profi-Tänzerinnen im Vergleich zur Kontrollgruppe ein geringeres Volumen an Grauer Substanz nachgewiesen wurde (HÄNGGI et al. 2010).

Anwendung der VBM-Methode in Verbindung mit Persönlichkeitsmerkmalen

Das Instrument der VBM wurde schon bei anderen Studien eingesetzt, um statistische Zusammenhänge zwischen der Gehirnstruktur und den Ergebnissen psychologischer Persönlichkeitstests zu belegen. Bei den Studien werden Unterschiede in Hirnregionen identifiziert, die mit bestimmten Persönlichkeitsmerkmalen der Teilnehmer assoziiert sind, wie z.B. bei dem Persönlichkeitsmerkmal der Impulsivität (BESTEHER et al. 2019) und bei Unterschieden zwischen den Persönlichkeitsmerkmalen des in der Persönlichkeitspsychologie etablierten Modells der „Big Five“ (Offenheit, Gewissenhaftigkeit, Extraversion, Verträglichkeit und Neurotizismus) (LEUNG et al. 2008; DEYOUNG et al. 2010).

SCHROEDER et al. (2012) analysierten die neuronalen Korrelate der Merkmale "Realistic" und "Investigative" aus dem RIASEC-Modell Hollands mit dem ähnlichen VBM-Ansatz wie in der hier vorliegenden Arbeit. Obwohl beide Merkmale unter Verwendung des SDS-Fragebogens Hollands (vgl. 2.1.3) sehr ähnlich waren (Realistic und Investigative haben in Bezug auf die Calculus-Hypothese eine hohe Korrelation), fanden die Autoren hinsichtlich der beiden Merkmale Unterschiede in der Gehirnstruktur. Insbesondere waren in Bezug auf das Merkmal „Realistic“ Häufungen in motorischen und prämotorischen Arealen sowie in sekundären visuellen Arealen nachweisbar. Im Fall des Merkmals „Investigative“ berichten SCHROEDER et al. (2012) von Clustern in frontalen und in sekundären visuellen Arealen. Es fanden sich also bei beiden untersuchten Persönlichkeitsmerkmalen des RIASEC-Modells Korrelationen mit Gehirnregionen, die in der Literatur mit Eigenschaften assoziiert werden, die mit den Persönlichkeitstypen in enger Verbindung stehen.

Aus der funktionellen Passung der jeweils resultierenden Cluster zu aufgabenspezifischen Leistungen der betreffenden Berufsfeldern kann die Vermutung abgeleitet werden, dass die VBM-Untersuchung für die Erforschung der neuronalen Basis beruflicher Interessen als geeignetes Instrument erscheint.

Insgesamt gibt es jedoch bislang kein etabliertes Standardverfahren zur Fehlerkorrektur und der Auswahl von Regressoren, das flächendeckend eingesetzt wird. Jede Vorgehensweise hat seine Vor- und Nachteile. Die Wahl der Instrumente wird daher in Abhängigkeit von der Teilnehmerzahl, den Datengruppen und der Zielrichtung der Forschungsfrage getroffen. Aus diesem Grund wird eine direkte Vergleichbarkeit von Ergebnissen solcher Untersuchungen erschwert (WHITWELL 2009).

In allen erwähnten Studien kam SPM zur statistischen Analyse zum Einsatz. Es werden jedoch verschiedene Maßnahmen zur Minimierung des Alphafehlers bei multiplen Vergleichen genutzt. Zum Einsatz kamen unterschiedliche Mindestzahlen zusammenhängender Voxel, verschiedene Grenzwerte des Signifikanzniveaus (p), eine strenge FWE-Korrektur (vgl. 3.6.3) oder Kombinationen dieser Instrumente.

Auch die Verwendung weiterer Regressoren, wie Alter oder Geschlecht, werden uneinheitlich genutzt. Insbesondere die Verwendung des Geschlechts als Regressor kann kritisch betrachtet werden, da ein Gehirn nicht in zwei Klassen als „männlich“ oder „weiblich“ eingestuft werden kann. Es verdichten sich die Hinweise, dass eine Mosaik-Theorie tragfähiger zu sein scheint, bei der „männliche“ bzw. „weibliche“ Aspekte in jedem Gehirn in individuell unterschiedlicher Verteilung auftreten. Eine binäre Einteilung in „weibliche“ oder „männliche“ Gehirne scheint weniger haltbar zu sein (JOEL et al. 2015) und soll daher in der vorgelegten Arbeit nicht vorgenommen werden.

Diese Aspekte geben Anlass zu weiteren Forschungen.

5.2 Diskussion der VBM-Ergebnisse aus dieser Studie

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit müssen vorsichtig betrachtet werden. Wesentlich ist hier, dass die Testkonstruktion des SIT nicht eingehend wissenschaftlich untersucht wurde. Diese Tatsache limitiert die Interpretierbarkeit der Ergebnisse.

Hinzu kommt, dass das verwendete statistische Verfahren zur Identifikation der Korrelate anfällig für den Fehler erster Art ist (Alphafehler-Kumulation), also falsch positive Zusammenhänge dargestellt werden. Die mit dem gewählten statistischen Verfahren gewonnenen Ergebnisse bieten jedoch erste Hinweise, dass statistische Zusammenhänge bestehen können.

Eine Minimierung des Alphafehlers führt zu einer Verstärkung des Fehlers 2. Art (Beta-Fehler), bei dem real vorhandene Zusammenhänge statistisch nicht erfasst und folglich auch nicht analysiert werden können. Daher sind auch bei dieser Arbeit gegebenenfalls einige Zusammenhänge zwischen der Hirnmorphologie und den beruflichen Neigungen nicht erfasst worden (vgl. 3.6.3 und 5.1.2).

Weitergehend ist strittig, wie letztendlich eine Zu- bzw. Abnahme der Grauen Substanz interpretiert werden soll. Auch die Möglichkeiten der Deutung bei Veränderungen im Bildmaterial der Weißen Substanz wird in der Literatur kritisch diskutiert (DRAGANSKI et al. 2006, WHITWELL 2009). Hier sind weitere Studien, möglicherweise auch mit anderen Untersuchungsmethoden, wie der Diffusions-Tensor-Bildgebung (DTI), notwendig, um beispielsweise die Konnektivität statistisch relevanter Hirnareale näher zu erforschen (WHITWELL 2009). Trotz der großen Fortschritte in der funktionellen Gehirnforschung, dem Human-Brain-Projekt und dem Human-Connectome-Projekt sind weiterhin viele Funktionen und Vorgänge unklar. So könnte es notwendig werden, dass Interpretationen aus der vorliegenden Arbeit aufgrund neuer Erkenntnisse in der Zukunft nicht mehr haltbar erscheinen und neu gedeutet werden müssen.

In der vorliegenden Arbeit wird nicht berücksichtigt, ob vorliegende langjährige Vorerfahrung in einem Interessengebiet mit ihrer Auswirkung auf die neuronale Struktur einen Einfluss auf die Ergebnisse innerhalb einer Datengruppe hatte. Möglicherweise wäre die Signifikanz der statistischen Treffer bei einer Untersuchung homogenerer Probandengruppen mit ähnlich langen Vorerfahrungen höher. Hier wäre eine wesentlich größere Anzahl an Versuchsteilnehmern notwendig. Es wurden keine weiteren Studien gefunden, die diese Aspekte berücksichtigen.

Die Anzahl der Probanden limitiert die Interpretation der in dieser Arbeit vorgestellten Ergebnisse noch in anderer Hinsicht: Bei einer Berücksichtigung des Rankings der drei stärksten Score-Werte ergeben sich 120 Variationsmöglichkeiten der Triplette (3-Letter-Codes) und damit 120 Datengruppen. Bei einer Anzahl von lediglich 104 Probanden musste auf eine solche Binnendifferenzierung verzichtet werden, um Gruppen mit einer angemessenen Größe zu erhalten. Es ist möglich, dass es damit zu Überlagerungen und Abschwächungen kommt, weil jedes Merkmal eines Triplets mehrfach in die Berechnungen einbezogen wurde. Eine Berücksichtigung der Merkmalsposition bei der Bildung der Datengruppen könnte ebenfalls zu präziseren Ergebnissen führen.

Ungeklärt bleibt, welchen Einfluss Kovariaten wie Alter und Geschlecht haben. Hier wäre weitere Grundlagenforschung notwendig, da beispielsweise das Alter mit der Dauer an Erfahrung/Training und das Geschlecht mit tradierten Rollenbildern/Erziehungsmustern in Zusammenhang stehen können, die sich unmittelbar auf die Gehirnstruktur auswirken. Um diese Limitationen auszuschließen, ist weitere Grundlagenforschung notwendig.

In der nachfolgenden Tabelle werden die Zuweisung der Funktionen der betreffenden Hirnareale in einer Zusammenschau geboten. Eine detaillierte Darstellung erfolgt in den weiteren Abschnitten.

Tabelle 16: Übersicht der Ergebnisse mit Zuordnung der Funktion

Anatomische Struktur	BA	Peak MNI	Voxel	Funktion
Effekte zum Merkmal „Realistic“, die auf ein größeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen:				
li. Frontallappen, sekundärmotorischer Cortex: caudales supplementär-motorisches Areal (cSMA)	BA 6	-9 -13 55	390	Vorbereitung komplexer motorischer Bewegungsmuster, Erlernen von Handlungsfolgen (NACHEV et al. 2008; SHIMA & TANJI 1998)
Effekte zum Merkmal „Realistic“, die auf ein geringeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen:				
re. und li. Temporal-Gyrus; Tempoparietaljunction TPJ	/	-47 -36 10 62 -48 6	522 116	Orientierung im dreidimensionalen Raum, Selbstwahrnehmung des Körpers, mentale Planspiele (IGELSTRÖM & GRANZIANO 2017)
re. primäre Sehrinde (hOC1)	BA 17	9 -61 1	333	Primäre Sehrinde (CASPER J et al. 2013; AMUNTS et al. 2000)
re. und li. sekundäre Sehrinde	BA 18	30 -91 -14 -33 -91 -14	508 442	Operationen im Nahraum; vernetzt mit TPJ (ROTTSCHY et al. 2007)
re. mittlerer Frontalgyrus; Frontal-Eye-Field	BA 8	38 24 45	184	Koordination der Augenmuskulatur (VERNET et al. 2014)
re. superiorer Parietallappen	BA 4A BA 5M	6 -36 55	84	Ablauf motorischer Programme, zielgerichtetes Greifen ohne visuelle Steuerung (SCHEPERJANS et al. 2007; BINKOFSKI et al. 2002)
li. Kleinhirn VIIa, VIIb		-30 -78 -56	386	Visuomotorische Koordinierungsprozesse, Verfolgung von Bewegungen (KIPPING et al 2013; SOKOLOV et al. 2012)
re. Frontalpol	BA 10	33 51 0	183	Beteiligung an Kognition, Arbeitsgedächtnis, Wahrnehmung (BLUDAU et al. 2014)

Effekte zum Merkmal „Investigative“, die auf ein geringeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen:

re. Primäre und sekundäre Sehrinde	BA 17 BA 18	23 -97 9	1117	Sehrinden (KUJOVIC et al. 2013; CASPERS J et al. 2013; ROTTSCHY et al. 2007; AMUNTS et al. 2000)
re. Frontallappen, Präzentralgyrus, sekundärmotorischer Cortex: caudales supplementär-motorisches Areal (cSMA)	BA 6	11 -12 76 9 -13 57	183 186	Supplementär-motorischer Cortex, Vorbereitung komplexer motorischer Bewegungsmuster, Erlernen von Handlungsfolgen: geringere Neuronendichte (HALSBAND & LANGE 2006; CUI & DEECKE 1999)
li. primärer Motorcortex	BA 4	-29 -10 61	397	Steuerung der rechten Hand (BUCCINO et al. 2004)
re. Parietalcortex, Precuneus	BA 7	12 -67 -51	582	Aufmerksamkeitsprozesse, Lernprozesse (BRODT et al. 2016)

Effekte zum Merkmal „Artistic“, die auf ein größeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen:

li. Frontallappen Fp1, Fo3	BA 10	-30 62 -9 -21 60 -18 -30 53 -18	986	Kognition, Arbeitsgedächtnis, Verhaltens- und Aufmerksamkeitssteuerung, Verbindung zum Limbischen System => emotionale Verhaltenssteuerung
re. Frontallappen Fp1, Fo3 Fo1	BA 10/11	18 50 -24 35 56 -18	956	(HENNSEN et al. 2016; ORR et al. 2015; BLUDAU et al. 2014)
li. superiorer Parietallappen; primärer somatosensorischer Cortex	BA1, 2, 3b, 5L	-30 -42 66	603	Somatosensorischer Cortex v.a. rechte Hand; Durchführung von Bewegungen (STEPHAN et al. 1995)
re. Parietallappen, sekundärer somatosensorischer Cortex	BA 5L/7	8 -61 37	278	Bewegungsplanung und -durchführung (STEPHAN et al. 1995)
li. inferiorer Parietallappen	BA 40	-47 -30 37	268	Erkennen von Gefühlen in Gesichtern, Lautbildung, Handlungsbeobachtung und -nachahmung (CASPER S et al. 2013; RADUA et al. 2010)
li. inferiorer Frontalcortex	BA 47	-42 27 -9	52	Sprachverständnis (Syntax und Semantik), Erfassung musikalischer Strukturen, moralische Bewertung von Ereignissen (LISSEK et al. 2008; LEVITIN & MENON 2003; PATEL 2003)

Effekte zum Merkmal „Artistic“, die auf ein geringeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen:

re./li. Corpus callosum	/	8 -30 15 5 -47 19 5 -37 27	3520	Größeres Volumen an Weißer Substanz: Kognitive Flexibilität, Kreativität, Performance-IQ (MORENO et al. 2014; LUDERS et al. 2007)
-------------------------	---	----------------------------------	------	--

re./li. basales Vorderhirn, re./li. Amygdala	/	-23 -4 -12 12 -1 -14	1550	Teil des Limbischen Systems, emotionale Prozesse/Bewertung, Lernen und Gedächtnis (BERRIDGE et al. 2015; AMUNTS et al. 2005)
--	---	-------------------------	------	---

Effekte zum Merkmal „Social“, die auf ein größeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen:

Thalamus (Pulvinar)		-24 -36 12	55	Verbindung zu visuellen Hirnrinden (AMUNTS & ZILLES 2010)
re. superiorer Temporallappen-sulcus (STS)	BA 21/22	48 -10 -18	128	Soziale Wahrnehmung, Empathiefähigkeit, emotionales Teilen von Gefühlen/Zielen/Handlungen, Teil des Spiegel-Neuronen-Systems (JANKOWIAK-SIUDA et al. 2011; VAN OVERWALLE & BAETENS 2009; PAUS 2005; ALLISON et al. 2000)
li. Gyrus fusiformis	BA 37	-36 -51 -17	61	Gesichts-, Wort- und Objekterkennung (LORENZ et al. 2017; WEINER & ZILLES 2016)

Effekte zum Merkmal „Social“, die auf ein kleineres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen:

re. Präzentralgyrus, ventraler prämotorischer Cortex	BA 44/46	60 8 33	155	Verstehen von Bewegungen, Lernen durch Imitation, Teil des Spiegel-Neuronen Systems (RIZZOLATTI & CRAIGHERO 2004; BUCCINO et al. 2004)
--	----------	---------	-----	---

Effekte zum Merkmal „Enterprising“, die auf ein größeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen:

re. und li. primärer somatosensorischer Cortex: parietales Operculum OP1 und OP4	BA 1	62 -13 16 59 -9 22 -60 -16 18	2340 598	Empfindungen an Kopf und Hand, propriozeptive Rückkopplung von Mimik und Gestik (EICKHOFF et al. 2007)
li. inferiorer Parietallappen (IPL), Areale PFM und PGa	BA 7	-39 -64 54	594	Semantische und phonologische Sprachverarbeitung, räumliche Aufmerksamkeit/Reorientierung, Wahrnehmung der Position von Objekten im Raum, visuell-räumliche Aufmerksamkeit (PAPADOPOULOS et al. 2018; CASPERS S et al. 2013; THIER 2006)
li. superiorer Parietallappen (SPL)				
li. Intraparietalsulcus				
re. Cortex cingularis posterior (PCC)	BA 23	9 -37 27	670	Wesentlicher Bestandteil des Default-Mode-Netzwerks, Wechsel zwischen nach innen bzw. nach außen gerichteter Aufmerksamkeit (OTTI et al. 2012; LEECH & SHARP 2014)

re. Inferiöerer Frontalgyrus: Pars opercularis	BA 44	51 3 22	188	Re. Broca-Areal, Dechiffrierung der Prosodie sprachlicher Botschaften (emotionaler Bestandteil der Botschaft) (HESLING et al. 2005; SAMMLER et al. 2015), Verständnis kommunikativer Gesten (FADIGA et al. 2006)
li. Thalamus	/	-8 -19 1	1343	Anpassung an Stress (CUNNINGHAM et al. 2017; PHILIP et al. 2016), Risikobereitschaft (WEI et al. 2016)
re. Thalamus		5 -10 0 17 6 -9	961	

Effekte zum Merkmal „Conventional“, die auf ein größeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen:

re./li Corpus callosum	/	2 -30 15	499	Geringeres Volumen an Weißer Substanz: geringere Kreativität, weniger kognitive Flexibilität, geringerer Performance-IQ (MORENO et al. 2014; LUDERS et al. 2007)
------------------------	---	----------	-----	--

Effekte zum Merkmal „Conventional“, die auf ein geringeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen:

re. Thalamus	/	12 -24 -5 6 -27 9	891	Geringere Anpassung an Stress (CUNNINGHAM et al. 2017; PHILIP et al. 2016), Risikobereitschaft (WEI et al. 2016)
--------------	---	----------------------	-----	--

5.2.1 Diskussion der neuronalen Korrelate zum Merkmal *Realistic*

Korrelate, die auf ein größeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen

Das Cluster mit dem Volumen von 390 Voxeln bei MNI -9 -13 55 konnte dem caudalen supplementär-motorischen Areal (cSMA) zugeordnet werden. Das SMA bildet gemeinsam mit dem prämotorischen Cortex den sekundärmotorischen Cortex im mittleren Teil des Brodmann-Areal 6. Dieser Bereich scheint direkt verbunden mit der Bewegungssteuerung. Er ist bei der motorischen Handlungsplanung und Koordination – noch vor der motorischen Umsetzung – von (bimanuellen) Bewegungen aktiv. Es wurde festgestellt, dass eine SMA-Aktivierung schon bei der Betrachtung greifbarer Objekte auftritt und eine Bewegungssteuerung aus der Erinnerung heraus möglich macht – im Gegensatz zur visuell gesteuerten Bewegung. Zudem wird das SMA benötigt, um Handlungsfolgen zu erlernen (SHIMA & TANJI 1998; NACHEV et al. 2008).

Korrelate, die auf ein geringeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen

Das große Cluster mit dem Volumen von 386 Voxeln bei MNI -30 -78 -56 konnte den Lämpchen VIIa und VIIb im linken Kleinhirn zugeordnet werden. Diesen Strukturen werden visuomotorische Koordinierungsprozesse zugeschrieben, beispielsweise der visuellen Verfolgung von Bewegungen.

Es besteht eine Konnektivität des Lämpchens VIIb mit weiteren sensomotorischen Zentren des Gehirns (KIPPING et al. 2013; SOKOLOV et al. 2012).

Das Cluster bei MNI 33 51 0 im Frontalpol mit dem Volumen von 183 Voxeln liegt im Bordmann-Areal 10, das mit Kognition, Arbeitsgedächtnis und Wahrnehmung in Verbindung gebracht wird (BLUDAU et al. 2014).

Das größte Cluster dieser Kategorie mit seinem Volumen von 522 Voxeln liegt im linken oberen und mittleren Temporal-Gyrus und zu einem kleineren Teil im Inferioren Parietallappen (Maximum bei MNI -47 -36 10). Rechtshirinig liegt analog dazu ein weiteres Cluster mit einem Volumen von 116 Voxeln mit einem Maximum bei MNI 62 -48 6. In diesem Bereich befindet sich der Temporoparietale Übergang (Temporoparietaljunction TPJ), der in mehreren cerebralen Netzwerken eine Rolle spielt (FPN Frontoparietal-Network, DMN Default-Mode-Network, CON Cingulo-Opercular-Network). Dieser Bereich wird auch mit der Fähigkeit zur Orientierung im dreidimensionalen Raum und der Fähigkeit zur Selbstwahrnehmung des eigenen Körpers in Verbindung gebracht. Darüber hinaus ist das TPJ aktiv bei mentalem Planspiel, also der gedanklichen Vorausplanung komplexer Handlungsabfolgen (IGELSTRÖM & GRANZIANO 2017).

Das Cluster mit dem Maximum bei MNI 9 -61 1 mit 333 Voxeln liegt in der primären Sehrinde (hOc1 im Brodmann-Areal 17) (CASPER J et al. 2013; AMUNTS et al. 2000).

Die Cluster bei MNI 30 -91 -14 (508 Voxel) bzw. -33 -91 -14 (442 Voxel) finden sich in der sekundären Sehrinde (hOc2, hOc3 und hOc4 rechts- bzw. linkshemisphärisch, Brodmann-Areal 18). Hier wird dem Gesehenen eine Bedeutung zugewiesen. Menschen mit Störungen der sekundären Sehrinde leiden unter einer visuellen Agnosie. Betroffene sind zwar nicht im engeren Sinn erblindet, da sie visuelle Reize wahrnehmen können. Sie können jedoch nicht erkennen, um was es sich bei dem Gesehenen handelt. Die sekundären Sehfelder sind zudem mit der Temporoparietaljunction (TPJ) vernetzt und werden für Operationen im Nahraum benötigt (ROTTSCHY et al. 2007).

Auch das Cluster bei MNI 38 24 45 (Volumen von 184 Voxel), das im Brodmann-Areal 8 im mittleren Frontalgyrus liegt, ist für visuelle Leistungen verantwortlich. Hier liegt das Frontal-Eye-Field, das für die Koordination der Augenmuskulatur und damit der Augenbewegungen zuständig ist (VERNET et al. 2014).

Bei MNI 6 -36 55 findet sich ein Effekt mit einer Größe von 84 Voxeln. Hier liegen die Brodmann-Areale 4a und 5m. Dem Areal 4a werden Funktionen hinsichtlich des Ablaufs motorischer Programme unabhängig vom Maß der Aufmerksamkeit zugesprochen (BINKOFSKI 2002). Der betroffene Bereich des Areal 5M bezieht sich auf den anterioren Anteil des superioren Parietallappens. Hier finden somatosensorische Prozesse statt, die ein zielgerichtetes Greifen ohne visuelle Steuerung ermöglichen (SCHEPERJANS et al. 2007).

Zusammenfassung zum Merkmal Realistic

Realistic (R): Praktisch-technische Orientierung, handwerklich-technisch: Menschen mit der Personorientierung *Realistic* beschäftigen sich gerne mit konkreten Gegenständen, die manuell bzw.

maschinell bearbeitet werden. Kraft, Geschick und Koordination werden gerne eingesetzt (EDER & BERGMANN 2015; JOERIN FUX et al. 2013; LEUNG 2008).

Probanden, die bei ihrem SIT-Triplett den Aspekt *Realistic* aufweisen, zeigen in ihren MRT-Aufnahmen Hinweise auf mögliche statistische Zusammenhänge insbesondere in den Hirnregionen, die mit Sehen, Greifen, Orientieren im Raum, motorischer Handlungsplanung und Erlernen bzw. Durchführen komplexer Handlungsfolgen zu tun haben. Tatsächlich handelt es sich hier um Schlüsselkompetenzen, die gerade bei handwerklichen Berufen gefragt sind. Für Menschen in handwerklichen Berufen ist es besonders hilfreich, wenn sie blind zugreifen können und in der Lage sind, komplexe manuelle Handlungsabfolgen präzise und routiniert durchzuführen. Die gefundenen statistischen Treffer zeigen eine hohe Übereinstimmung mit den von Holland beschriebenen Eigenschaften der Personorientierung *Realistic*. Zudem spiegeln sich, trotz Unterschieden bei der statistischen Aufbereitung der Daten, Ergebnisse von SCHROEDER et al. (2012) wider. Auch dort wurden Korrelationen mit motorischen bzw. prämotorischen Rindenfeldern und der sekundären Sehrinde beschrieben.

5.2.2 Diskussion der neuronalen Korrelate zum Merkmal *Investigative*

Korrelate, die auf ein geringeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen

Das größte Cluster dieser Kategorie mit einem Volumen von 1117 Voxeln hat sein Maximum bei MNI 23 -97 9. Es umfasst mit den Brodmann-Arealen 17 und 18 die primären und sekundären Sehfelder (KUJOVIC et al. 2013; CASPERS J et al. 2013; AMUNTS et al. 2000; ROTTSCHY et al. 2007).

Die beiden Cluster bei MNI 11 -12 76 (183 Voxel) und MNI 9 -13 57 (186 Voxel) liegen rechts-hemisphärisch im Brodmann-Areal 6 im Präzentralgyrus im Frontallappen. Sie gehören zum supplementär-motorischen Cortex, der bei der Vorbereitung komplexer motorischer Bewegungsmuster und beim Erlernen von Handlungsabfolgen aktiv wird (HALSBAND & LANGE 2006; CUI & DEECKE 1999).

Auch bei dem Merkmal „Realistic“ lässt sich dieser Effekt finden – allerdings mit umgekehrtem Vorzeichen (Hinweis auf ein größeres Volumen der Grauen Substanz). Hier bedarf es weiterer Forschung, um dieses Phänomen zu analysieren.

Das Cluster bei MNI -29 -10 61 (397 Voxel) im linkshemisphärischen Brodmann-Areal 4 befindet sich im primären Motorcortex. Ausgehend von diesem Bereich wird insbesondere die rechte Hand gesteuert. So wird dieser Bereich immer aktiviert, wenn mit der rechten Hand Bewegungen durchgeführt werden bzw. an solche Bewegungen gedacht wird (BUCCINO et al. 2004). Ein geringeres Volumen der Grauen Substanz könnte darauf hinweisen, dass das manuelle Geschick dieser Personengruppe innerhalb der untersuchten Gruppe weniger stark ausgeprägt sein könnte.

Das letzte Cluster dieser Kategorie liegt im rechten Brodmann-Areal 7 (Maximum bei MNI 12 -67-51, 582 Voxel). Dieser Region werden Aufmerksamkeitsprozesse und – zusammen mit dem Hypocampus – Aufgaben bei Lernprozessen zugeschrieben (BRODT et al. 2016).

Zusammenfassung zum Merkmal *Investigative*

Investigative (I): Intellektuell-forschende Orientierung, untersuchend-forschend: Menschen mit dieser Personorientierung setzen sich gerne mit physischen, biologischen oder kulturellen Phänomenen auseinander. Sie arbeiten systematisch, beobachtend. Im Mittelpunkt steht die Forschung. Probleme werden mit Hilfe von neuen Ideen, logischem Denken oder genauem Beobachten untersucht (EDER & BERGMANN 2015; JOERIN FUX et al. 2013; LEUNG 2008).

Probanden, die in ihrem Tripletts das Merkmal *Investigative* aufweisen, zeigen in ihren MRT-Aufnahmen ebenso wie Probanden mit dem Merkmal *Realistic* statistische Treffer in Hirnregionen, die für die Sehleistung verantwortlich sind. Möglicherweise besteht hier ein Zusammenhang, da auch bei intellektuell-forschender/untersuchend-forschender Orientierung der Persönlichkeit ein gut ausgebildetes Sehvermögen mit einer ausgeprägten Fähigkeit, das Gesehene zu interpretieren, hilfreich ist. Die sekundären visuellen Rindfelder wurden bereits von SCHROEDER et al. (2012) mit dem Merkmal *Investigative* in Verbindung gebracht.

Interessant scheint auch, dass im Gegensatz zu Probanden mit dem Merkmal *Realistic*, das supplementär-motorische Areal ein geringeres Volumen an Grauer Substanz zu haben scheint und auch statistisch ein geringeres Volumen der Grauen Substanz im primären motorischen Cortex der rechten Hand angenommen werden kann. Hier könnte ein Augenmerk bei einer weiteren Studie liegen. Es sollte geprüft werden, ob dieses Phänomen reproduzierbar ist und welche Bedeutung interpretiert werden kann.

Insgesamt lassen die statistischen Effekte der Gehirnmorphologie eine verstärkte kognitive Orientierung der Probanden vermuten. Die Hinweise auf statistische Korrelationen beziehen sich insgesamt auf Hirnareale, die in der Literatur mit Sehvermögen, Aufmerksamkeits- und Lernprozessen in Verbindung gebracht werden. Es lässt sich interpretieren, dass solche Eigenschaften mit der Personorientierung *Investigative* in engem Zusammenhang stehen. Darüber hinaus können die von SCHROEDER et al. (2012) erwähnten Korrelationen zu diesem Merkmal mit den vorliegenden Daten gestützt werden.

5.2.3 Diskussion der neuronalen Korrelate zum Merkmal *Artistic*

Korrelate, die auf ein größeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen

Das größte Cluster dieser Kategorie mit einem Volumen von 986 Voxeln weist drei Maxima auf (MNI -30 62 -9, MNI -21 60 -18, MNI -30 53 -18) und liegt im linken Frontalhirn im Brodmann-Areal 10. Analog dazu zeigt sich im rechten Frontalhirn ein Cluster mit 956 Voxeln mit Maxima bei MNI 18 50 -24 und MNI 35 56 -18 in den Brodmann-Arealen 10 und 11. Diese Regionen stehen in Zusammenhang mit Kognition, Arbeitsgedächtnis, Verhaltens- und Aufmerksamkeitssteuerung. Zudem bestehen direkte Verbindungen zum limbischen System, womit eine Verknüpfung der Verhaltens- und

Aufmerksamkeitssteuerung mit Werten und Emotionen möglich wird (emotionale Verhaltenssteuerung) (ORR et al. 2015; BLUDAU et al. 2014; HENSSEN et al. 2016).

Der dritte statistische Effekt dieser Gruppe bei MNI -30 -42 66 (603 Voxel) ist im linken superioren Parietallappen (SPL) zu finden. Er tangiert die Brodmann-Areale 5L (36,5%), 2 (23,3%), 1 (9,1%) und 3b (7,5%). Sein Maximum liegt hauptsächlich in den Brodmann-Arealen 1 (37%) und 2 (26%). Hier befindet sich der primäre somatosensorische Cortex, wobei insbesondere die Areale der (rechten) Hand betroffen sind (STEPHAN et al. 1995).

Ein viertes Cluster (Maximum bei MNI 8 -61 66, 278 Voxel) befindet sich rechtshemisphärisch hauptsächlich in den Brodmann-Arealen 5L und 7A. Das Brodmann-Areal 7 hat eine bedeutende Rolle bei der Planung von Bewegungen. Es wird aktiviert, wenn sich Probanden Bewegungen vorstellen und die Durchführung der Bewegung mental vorbereiten. Das Brodmann-Areal 5L wird zusätzlich aktiviert, wenn geplante Bewegungen durchgeführt werden (STEPHAN et al. 1995).

Ein weiteres statistisch relevantes Cluster findet sich linkshemisphärisch (Maximum bei MNI -47 -30 37, 268 Voxel) im inferioren Parietallappen (IPL) im Brodmann-Areal 40. Es wird in Studien mit Handlungsbeobachtung und -nachahmung, Lautbildung und dem Erkennen von Gefühlen in Gesichtern in Zusammenhang gebracht (CASPER S et al. 2013; RADUA et al. 2010).

Das Cluster bei MNI -42 27 -9 (52 Voxel) im linken inferioren Frontalcortex (Brodmann-Areal 47) betrifft eine Hirnregion, die für das Sprachverständnis notwendig ist. Es ist aktiv bei der Verarbeitung von Syntax und Semantik der Sprache aber auch bei der Erfassung musikalischer Strukturen (LEVITIN & MENON 2003; PATEL 2003).

Darüber hinaus ist das linke Brodmann-Areal 47 am Theory-of-Mind Netzwerk beteiligt. Es ist insbesondere dann aktiv, wenn sich Probanden in Situationen versetzt fühlen, in denen es um Täuschung versus Kooperation geht. Somit scheint das Areal eine Rolle zu spielen, wenn es um die moralische Bewertung von Ereignissen geht (LISSEK et al. 2008).

Korrelate, die auf ein geringeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen

Ein sehr großes Cluster (3520 Voxel) mit drei Maxima (MNI 8 -30 15, 5 -46 19 und 5 -37 27), das auf ein höheres Volumen an weißer Substanz hinweist, liegt zum größten Teil im rechten und linken posterioren Corpus Callosum. Diese Region wird in der Literatur mit kognitiver Flexibilität und Kreativität – der posteriore Anteil insbesondere mit dem Performance-IQ – in Verbindung gebracht (MORENO et al. 2014; LUDERS et al. 2007).

Das große Cluster (1550 Voxel) mit seinen zwei Maxima bei MNI -23 -4 -12 und 12 -1 -14 liegt zwischen rechter und linker Hemisphäre im basalen Vorderhirn. Betroffen ist unter anderem die rechte und linke Amygdala. Die Mandelkerne sind Teil des Limbischen Systems und beteiligt an emotionalen Prozessen, emotionalen Bewertungen, Lernen und Gedächtnis (AMUNTS et al. 2005; BERRIDGE et al. 2015).

Zusammenfassung zum Merkmal *Artistic*

Artistic (A): Künstlerisch-sprachliche Orientierung, künstlerisch-kreativ: Personen mit diesem Schwerpunkt bevorzugen offene, unstrukturierte Tätigkeiten, mit denen sie kreative Produkte mit Hilfe von Materialien, Musikinstrumenten oder dem eigenen Körper erschaffen, etwas verschönern oder das kulturelle Leben bereichern. Sie haben Interesse an Sprachen, bildender Kunst, Musik, Schauspiel oder Schriftstellerei. (EDER & BERGMANN 2015; JOERIN FUX et al. 2013; LEUNG 2008)

Die Probanden mit dem Merkmal *Artistic* zeigen in Regionen ihrer Gehirnstruktur viele statistische Effekte, die mit den Merkmalen einer künstlerisch-sprachlichen bzw. künstlerisch-kreativen Personorientierung assoziiert werden. Die Ausprägungen im somatosensorischen Cortex – insbesondere der rechten Hand – ist nützlich, wenn mit Hilfe von Materialien oder Instrumenten etwas erschaffen oder verschönert werden soll. Einschränkend muss erwähnt werden, dass in der Datenerhebung nicht berücksichtigt wurde, ob die Probanden links- oder rechtshändig sind. Hier sollte mit weiteren Studien folgen, wo dieses Merkmal einbezogen wird.

Fähigkeiten hinsichtlich Kreativität werden durch statistische Effekte im Corpus Callosum nahegelegt. Die Regionen in den Brodmann-Arealen 47 (Sprachverständnis), 40 (Handlungsbeobachtung und -nachahmung), 5L (Durchführung von Bewegung) und 7 (Planung von Bewegung) könnten bei der Verwendung von Sprache und Tanz stärker gefordert sein und daher bei Probanden mit dem Merkmal *Artistic* statistisch hervortreten.

Insgesamt lassen sich Zusammenhänge zwischen den von Holland beschriebenen Eigenschaften der Personorientierung „Artistic“ und den in der Literatur beschriebenen Funktionen der statistisch hervorgehobenen Gehirnregionen interpretieren. Darüber hinaus finden sich Cluster in Gehirnregionen, die auf eine erhöhte Sensibilität und Emotionalität hinweisen können (re./li. Frontallappen: emotionale Verhaltenssteuerung, moralische Bewertung; li. IPL: Erkennen von Gefühlen in Gesichtern; Amygdala: emotionale Bewertung). Diese Eigenschaften werden von Holland nicht explizit in der Beschreibung des Merkmals „Artistic“ erwähnt. Es müsste in weiteren Untersuchungen zum Eigenschaftsmerkmal „Artistic“ geprüft werden, ob hier ein Zusammenhang interpretiert werden kann.

5.2.4 Diskussion der neuronalen Korrelate zum Merkmal *Social*

Korrelate, die auf ein größeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen

Das Cluster mit seinem Maximum bei MNI -24 -36 12 (55 Voxel) liegt zum Teil im dorsalen Teil des Thalamus, dem Pulvinar. Diese Region enthält Verbindungen zu visuellen Hirnrindengebieten im oberen Parietallappen, Temporal- und Okzipitallappen (AMUNTS & ZILLES 2010).

Ein zweites Cluster (MNI -48 -10 -18, 128 Voxel) liegt an der Grenze zwischen den linken Brodmann-Arealen 21 und 22 im superioren Temporallappensulkus (STS). Die STS-Region spielt eine zentrale Rolle bei sozialer Wahrnehmung und der Empathiefähigkeit. Sie ist Bestandteil des Spiegel-Neuronen-Systems und wesentlich bei der Erkennung von Emotionen durch Beobachtung von

Gesicht und Körpersprache beteiligt. Zudem ist dieser Bereich aktiv, wenn sich ein Proband in die Situation seines Gegenübers versetzt und damit seine Gefühle, Ziele und Handlungen mental teilt (JANKOWIAK-SIUDA et al. 2011; VAN OVERWALLE & BAETENS 2009; PAUS 2005; ALLISON et al. 2000). Diese Fähigkeiten erweisen sich insbesondere für Menschen in pädagogischen und sozialen Berufen als hilfreich.

Das letzte Cluster (MNI -36 -51 -17, 61 Voxel) liegt in der linken Hemisphäre im Brodmann-Areal 37, dem Gyrus fusiformis. Diese Region ist bei der Gesichts-, Wort- und Objekterkennung aktiv. Eine Schädigung führt zur Prosopagnosie, der Unfähigkeit bekannte Gesichter zu erkennen (LORENZ et al. 2017; WEINER & ZILLES 2016).

Korrelate, die auf ein geringeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen

Hier findet sich nur ein relevantes Cluster in den rechten Brodmann-Arealen 44 und 46 im Präzentralgyrus (ventraler prämotorischer Cortex) bei MNI 60 8 33 (155 Voxel). Der ventrale prämotorische Cortex ist Teil des Spiegel-Neuronen-Systems und für das Bewegungsverstehen notwendig. Auch beim „Lernen durch Imitation“ ist diese Region aktiv (RIZZOLATTI & CRAIGHERO 2004; BUCCINO et al. 2004). Ein Zusammenhang mit der Eigenschaft des Merkmals *Social* ist nicht direkt erkennbar.

Zusammenfassung zum Merkmal *Social*

Social (S): Soziale Orientierung, erziehend-pflegend: Personen mit dieser Vorliebe kümmern sich gerne um andere Menschen, indem sie sie ausbilden, lehren, beraten, pflegen oder heilen. Sie zeigen soziales Einfühlungsvermögen, Geduld und pädagogisches Geschick bei der Erfüllung ihrer Aufgaben. Sie gelten als idealistisch, warmherzig, gesellig und tolerant. (EDER & BERGMANN 2015; JOERIN FUX et al. 2013; LEUNG 2008)

Bei Probanden mit dem Persönlichkeitsmerkmal *Social* können statistische Effekte in Hirnregionen nachgewiesen werden, die zu den Schlüsselkompetenzen sozialer Berufe gehören. Dies unterstreicht insbesondere der Effekt im STS, da dieses Areal bei sozialer Wahrnehmung und dem mentalen Teilen von Gefühlen, Zielen und Handlungen aktiv ist. Das gefundene Cluster im STS gehört zum Spiegelneuronen-System und legt Empathiefähigkeit nahe (JANKOWIAK-SIUDA et al. 2011; VAN OVERWALLE & BAETENS 2009; PAUS 2005; ALLISON et al. 2000).

Aber auch der Treffer im linken Brodmann-Areal 37 untermauert den gewonnenen Eindruck, da diese Struktur im Rahmen der Gesichts-, Wort- und Objekterkennung aktiviert wird (LORENZ et al. 2017; WEINER & ZILLES 2016).

Insgesamt können die Ergebnisse Hinweise darauf geben, dass Zusammenhänge zwischen den von Holland beschriebenen Eigenschaften der Personorientierung „*Social*“ und den in der Literatur beschriebenen Funktionen der betroffenen Hirnregionen bestehen können.

5.2.5 Diskussion der neuronalen Korrelate zum Merkmal *Enterprising*

Korrelate, die auf ein größeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen

Das mit 2340 Voxeln sehr große Cluster mit zwei Maxima bei MNI 62 -13 16 und MNI 59 -9 22 hat ein kleineres Pendant mit 598 Voxeln in der linken Gehirnhälfte (Maximum bei -60 -16 18). Die größten Teile befinden sich im parietalen Operculum OP1 und OP4 im primären somatosensorischen Cortex. Diese Region ist in besonderem Maß an der Verarbeitung von Empfindungen an Kopf und Hand und der propriozeptiven Wahrnehmung von Kopf und Hand beteiligt (EICKHOFF et al. 2007).

Mit der propriozeptiven Wahrnehmung wird es dem Individuum ermöglicht, sich selbst seiner Haltung, seiner Mimik und Gestik bewusst zu werden und ggf. Körpersprache bewusst einzusetzen (BLANKE et al. 2009). Mit gezielt eingesetzter Körpersprache können verbale und nonverbale Botschaften des Gesprochenen verstärkt werden (AMBADY et al. 1992). Dies ist eine Eigenschaft, die insbesondere in Verkauf und Management hilfreich ist.

Das Cluster mit seinem Maximum bei -39 -64 54 (594 Voxel) liegt im linken inferioren Parietallappen (IPL, Areale PFM und PGa), im superioren Parietallappen (SPL, Areal 7A) und im Intraparietalsulcus (Areal hIP3). Im Areal PGa des IPL finden insbesondere semantische und phonologische Aspekte der Sprachverarbeitung statt. Das Areal PFM spielt bei der räumlichen Aufmerksamkeit und Reorientierung eine wichtige Rolle – das Areal 7A des SPL bei der Wahrnehmung der Position von Objekten im Raum. Auch das Areal hIP3 im Intraparietalsulcus hat – mit seiner engen Verbindung zum visuellen Cortex – eine wichtige Aufgabe bei der visuell-räumlichen Aufmerksamkeit (THIER 2006; CASPERS S et al. 2013; PAPADOPOULOS et al. 2018). Auch diese Aspekte sind für Menschen mit Management-Aufgaben oder im Verkauf hilfreich.

Das dritte Cluster dieser Kategorie liegt im rechten Brodmann-Areal 23 im Cortex cingularis posterior (PCC) (MNI 9 -37 27, 670 Voxel). Die Funktion dieses Areals ist nicht vollständig geklärt – es ist aber mit vielen Hirnregionen vernetzt und weist eine hohe Stoffwechselaktivität auf. Demzufolge ist das PCC an vielen Funktionen des Gehirns beteiligt. Als gesichert gilt jedoch, dass hier gesteuert wird, ob die Aufmerksamkeit eher nach innen (Abruf von Erinnerungen, Planung, stimulusunabhängiges Nachdenken) oder nach außen gerichtet ist. Damit ist der posteriore Cortex cinguli ein wesentlicher Bestandteil des Default-Mode-Netzwerks. (LEECH & SHARP 2014; OTTI et al. 2012)

Ein statistisch relevantes Cluster findet sich rechtshirnig mit seinem Maximum bei MNI 51 3 22 im Pars opercularis im inferioren Frontalgyrus. Es hat ein Volumen von 188 Voxeln und liegt zu etwa 28% im rechten Brodmann-Areal 44 (Broca-Areal). Dieser Bereich wird linkshirnig auch als „motorisches Sprachzentrum“ bezeichnet. Eine Läsion führt zu einer Störung der Sprachproduktion. Das Sprachverständnis bleibt erhalten – dem Patienten fällt es aber schwer, längere Sätze zu bilden. Die Spontansprache ist stockend und verlangsamt. Rechtshemisphärisch spielt das Broca-Areal für die Dechiffrierung der Prosodie sprachlicher Botschaften (z.B. Wort- und Satzakzent, die Intonation, Tempo und Rhythmus) eine zentrale Rolle. Als Prosodie werden die Eigenschaften der Sprache

bezeichnet, also nicht „was“ gesagt wird, sondern „wie“ es gesagt wird. Über diese Aspekte können die emotionalen Bestandteile der Nachricht vom Empfänger dechiffriert werden (SAMMLER et al. 2015; HESLING et al. 2005). Außerdem werden durch bedeutungsvolle Hand- und Fingerbewegungen sowohl die rechts- als auch die linkshirnigen Broca-Areale aktiviert. Die Regionen tragen dazu bei, kommunikative Gesten zu verstehen (FADIGA et al. 2006).

Zwei weitere statistisch signifikante Cluster befinden sich im Thalamus. Das erste relevante Cluster (MNI -8 -19 1, 1343 Voxel) liegt mit seinem Maximum im linken Thalamus, das zweite (Maxima bei 5 -10 0 und MNI 17 6 -9, 961 Voxel) im rechten. Der Thalamus hat sehr vielfältige Aufgaben. Daher ist eine Interpretation schwierig und wird kontrovers diskutiert. Er ist unter anderem jedoch Bestandteil des Default-Mode-Networks (DMN) und uns spielt damit bei der Verarbeitung von Stress eine wichtige Rolle (CUNNINGHAM et al. 2017). In der Literatur wird beschrieben, dass stressreiche Lebensereignisse in der Kindheit als Anpassungsreaktion zu einer Hyperkonnektivität (Zunahme an Weißer Substanz) im Thalamus führen (PHILIP et al. 2016). Das könnte darauf schließen lassen, dass die untersuchten Personen, die hier ein geringeres Volumen an Weißer Substanz zeigen, möglicherweise weniger mit stressreichen Ereignissen konfrontiert waren.

Eine erhöhte Thalamus-Konnektivität wird außerdem mit erhöhter Risikobereitschaft, in der betreffenden Studie in Zusammenhang mit Nikotin-Abhängigkeit, assoziiert (WEI et al. 2016). In die gleiche Richtung weist eine aktuelle Veröffentlichung von HUANG et al. (2023). Hier wird beschrieben, dass bei Menschen mit höherer Risikobereitschaft die Graue Substanz im Thalamus ein geringeres Volumen aufweist, was im Umkehrschluss auf ein höheres Volumen an Weißer Substanz (erhöhte Konnektivität) bedeutet. Da die untersuchten Personen mit dem Merkmal „Enterprising“ im Thalamus eher ein höheres Volumen an Grauer Substanz und damit geringeres Volumen an Weißer Substanz zeigen, könnte dies eher auf Risikovermeidung hindeuten. Hier wird die Notwendigkeit weiterer Forschung deutlich – beispielsweise mittels DTI (Diffusion-Tensor-Imaging) – mit deren Hilfe genauere Aussagen über die Konnektivität der Region getroffen werden könnten.

Zusammenfassung zum Merkmal Enterprising

Enterprising (E) Unternehmerische Orientierung, führend-verkaufend: Menschen mit einer unternehmerischen Orientierung organisieren, leiten oder führen gerne. Sie bevorzugen Tätigkeiten, mit denen sie andere beeinflussen, motivieren oder manipulieren, um organisatorische oder wirtschaftliche Ziele zu erreichen. Sie gelten als selbstbewusst, mitreißend, motivierend, ehrgeizig, dominant, dynamisch und verantwortungsbereit. (EDER & BERGMANN 2015; JOERIN FUX et al. 2013; LEUNG 2008)

Probanden mit dem Persönlichkeitsmerkmal *Enterprising* zeigen statistische Effekte in Gehirnregionen, die für die propriozeptive Wahrnehmung der Haltung und Bewegung von Händen und Kopf gebraucht werden (OP1, OP4). Damit fällt es diesen Menschen möglicherweise leichter, Gestik und Mimik gezielt einzusetzen. Außerdem zeigen sich größere Volumina der Grauen Substanz im IPL, SPL und Intraparietalsulcus – und dort gerade in den Regionen, die für semantische und

phonologische Sprachverarbeitung, für räumliche und für visuelle Aufmerksamkeit genutzt werden. Der Effekt im rechten Broca-Areal lässt vermuten, dass diese Personen aufgrund des größeren Volumens in der Grauen Substanz und der damit einhergehenden möglicherweise bestehenden höheren Zahl an neuronalen Verbindungen in dieser Region emotionale Bestandteile einer sprachlichen Botschaft leichter dechiffrieren können (HESLING et al. 2005). Das alles sind hilfreiche Fähigkeiten, wenn es darum geht, Mitmenschen zu beeinflussen und zu motivieren – sei es im Kunden-/Verkaufsgespräch oder bei der Personalführung. Die fehlende Berücksichtigung des Anteils der Linkshänder limitiert jedoch zusätzlich diese Interpretation.

In welcher Weise die vermutete geringere Risikobereitschaft (erhöhtes Volumen an Weißer Substanz im Thalamus) zu den von Holland für diese Personorientierung postulierten Attributen Selbstbewusstsein, Ehrgeiz und Dominanz passen ist fraglich. Hinsichtlich der Verbindung von Risikobereitschaft mit den Persönlichkeitsmerkmalen Selbstbewusstsein, Ehrgeiz und Dominanz finden sich in der Literatur einige Belege (ZUCKERMAN et al. 2000, JUDGE et al. 2007). Doch hier wird eine höhere Risikobereitschaft mit den Persönlichkeitsmerkmalen konnotiert. Es sind weitere Untersuchungen notwendig, um gegebenenfalls Schlüsse daraus ziehen zu können.

5.2.6 Diskussion der neuronalen Korrelate zum Merkmal *Conventional*

Korrelat, das auf ein größeres Volumen in der Grauen Substanz hinweist

Der statistisch relevante Treffer liegt im Corpus Callosum (MNI 2 -30 15, 499 Voxel). Dieser Bereich wird mit Kreativität, kognitiver Flexibilität und Performance-IQ in Verbindung gebracht. (MORENO et al. 2014; LUDERS et al. 2007).

Der gefundene Effekt liegt im gleichen Hirnareal wie ein statistischer Effekt bei der Gruppe des Merkmals *Artistic* (MNI 8 -30 15) – allerdings mit umgekehrtem Vorzeichen. Wenn bei dem Korrelat zum Merkmal *Artistic* mit einem größeren Volumen der weißen Substanz eine höhere Ausprägung von Kreativität und kognitiver Flexibilität vermutet werden kann, läge möglicherweise bei dem für das Merkmal *Conventional* gefundenen negativen Korrelat eine geringere Ausprägung dieser Eigenschaften nahe. Die Haltbarkeit dieser Annahme sollte mit Folgestudien näher untersucht werden.

Korrelate, die auf ein geringeres Volumen in der Grauen Substanz hinweisen

Es findet sich ein Treffer im rechten Thalamus mit zwei Maxima (MNI 12 -24 -5 und MNI 6 -27 9, 891 Voxel). Probanden mit dem Merkmal *Enterprising* zeigen an ähnlicher Stelle im Thalamus statistische Effekte – jedoch im entgegengesetzten Sinn. Ein geringeres Volumen an Grauer Substanz könnte dann eher auf eine Neigung zur Risikobereitschaft (HUANG et al. 2023; WEI et al. 2016) und auf eine stärkere Anpassung an stressreiche Lebenssituationen (PHILIP et al. 2016) hinweisen.

Zusammenfassung zum Merkmal *Conventional*

Conventional (C) Konventionelle Orientierung, ordnend-verwaltend: Personen mit dieser Orientierung arbeiten gerne genau und ordentlich. Sie bevorzugen Tätigkeiten, bei denen es um einen geordneten und systematischen Umgang mit Daten oder Materialien geht, z.B. das Ordnen von Materialien und Daten oder Anlegen von Dokumentationen und Aufzeichnungen. Sie gelten als genau, ordentlich, gewissenhaft, ausdauernd, praktisch und eher vorsichtig. (EDER & BERGMANN 2015; JOERIN FUX et al. 2013; LEUNG 2008)

Die Probanden mit dem Merkmal *Conventional* zeigen zwei statistische Treffer in der neuronalen Struktur. Der Effekt im Corpus Callosum kann darauf hinweisen, dass diese Personengruppe eher wenig Kreativität aufzeigt. Ein hohes Maß an Kreativität wäre für ordnend-verwaltende Berufe möglicherweise hinderlich.

Menschen mit einer Neigung zu ordnend-verwaltenden Berufen werden als vorsichtig beschrieben. Die gefundenen statistischen Effekte im Thalamus weisen hier dagegen auf eine Neigung zu Risikobereitschaft hin. Damit können die von Holland beschriebenen Eigenschaften der Personorientierung *Conventional* mit den in der Literatur beschriebenen Funktionen der statistisch relevanten Hirnregionen nicht durchgängig in Zusammenhang gebracht werden. Auch hier gilt, wie bereits bei den Ausführungen zum Merkmal *Enterprising* erwähnt, dass weitere Untersuchungen hinsichtlich der Konnektivität der Region notwendig sind, um diesen Ansatz der Interpretation weiterzuentwickeln.

5.3 Abschließende Betrachtung und Limitationen

Zu Beginn der Überlegungen stand die Hypothese, dass es einen signifikanten Zusammenhang zwischen den Ergebnissen des Situativen Interessen Tests als Instrument zur Einschätzung einer beruflichen Neigung und der neuronalen Struktur der Befragten gibt. Es konnten Hinweise gefunden werden, dass in allen Datengruppen der Eigenschaftsmerkmale *Realistic, Investigative, Artistic, Social, Enterprising und Conventional* statistisch signifikante Korrelationen bzw. negative Korrelationen zum Volumen Grauer Hirnsubstanz vorliegen.

Zudem scheinen sich die von Holland postulierten Charaktereigenschaften der sechs Personorientierungen *Realistic, Investigative, Artistic, Social, Enterprising und Conventional* mit den in der Literatur beschriebenen Funktionen der statistisch zugewiesenen Hirnregionen in Verbindung bringen zu lassen. Damit kann die Vermutung gestützt werden, dass der Situative Interessentest von Stangl als Instrument zur beruflichen Laufbahnberatung Hinweise auf die Interessen der Befragten ermittelt und nicht nur dem Befragten Eigenschaftsmerkmale unterstellt. Man kann hierüber folgern, dass das Ergebnis des Situativen Interessentests möglicherweise für die Beratung junger Menschen in ihrer beruflichen Entscheidungsphase einen nützlichen Beitrag zu liefern vermag. Nach HOLLAND (1997) führt ein höheres Maß an Kongruenz zwischen Person- und Umweltorientierung zu einer größeren Berufszufriedenheit, was letztendlich der Intention einer jeden beruflichen Laufbahn-

beratung entspricht. Im Falle des SIT kann nunmehr eine gewisse Bedeutung für die Laufbahnberatung neurowissenschaftlich nahegelegt werden.

5.4 Offene Fragen und Ausblick

Die vorliegenden Ergebnisse werfen weitere Fragestellungen auf. Der eingesetzte Test zur Ermittlung der Personorientierung ist nicht wissenschaftlich überprüft. Interessant wäre die Frage, ob die Verwendung eines ausführlichen Tests mit überprüften Gütekriterien die VBM-Ergebnisse in ihrer Klarheit bestätigen. Erste Hinweise darauf gibt die Arbeit von SCHROEDER et al. (2012). Hier wurde zur Erfassung der Personorientierung Hollands SDS-Test eingesetzt. Es konnten bereits für die im Fokus dieser Untersuchung liegenden Merkmale „*Realistic*“ und „*Investigative*“ statistisch relevante Korrelate gefunden werden. Da sich die Testkonstruktion des SDS und des SIT grundsätzlich unterscheiden, wäre es möglicherweise lohnenswert, einen beruflichen Interessenstest zu entwickeln, der die jeweiligen Vorzüge der Testverfahren miteinander verknüpft.

Hinsichtlich des Problems der Alphafehler-Kumulation wäre eine Fortführung der Studie mit einer deutlich höheren Teilnehmerzahl interessant, um die Anwendung weiterer Korrektur-Routinen, wie beispielsweise der FWE-Korrektur oder anderer Verfahren, zu ermöglichen, ohne die Breite der Ergebnisse wesentlich einzuschränken.

Es stellt sich auch die Frage, ob bei einer größeren Teilnehmerzahl weitere Elemente der Theorie Hollands mithilfe der Voxelbasierten Morphometrie untersucht werden können. Mit der Berücksichtigung der Merkmalspositionen lassen sich Datengruppen bilden, anhand derer die Konsistenz – also das Innenverhältnis der Personorientierung im Hexagon – geprüft werden kann. Auch der Aspekt der Differenziertheit könnte in weiteren Forschungsprojekten untersucht werden, indem der Score-Wert in den Datengruppen berücksichtigt wird. Dieser Aspekt der Theorie Hollands könnte belegt werden, wenn sich ein Merkmal in einem Triplet mit starker Differenziertheit, also einem großen Abstand der Score-Werte innerhalb des Triplets, deutlicher in der neuronalen Struktur widerspiegelt als ein Merkmal in einem Triplet mit schwacher Differenziertheit, bei dem die Score-Werte innerhalb des Triplets ähnlich hoch sind.

Auch hinsichtlich des Einflusses von Alter und Geschlecht bei der Gehirnstruktur ist weitere Grundlagenforschung notwendig. Interessant könnten Folgeuntersuchungen mit rein weiblichen und rein männlichen Teilnehmenden sein, um geschlechtsbedingte Effekte eingrenzen zu können. Möglicherweise müssten hier zusätzliche Methoden entwickelt werden, um die Erkenntnisse der Mosaik-Theorie (vgl. 5.1.2) mit einzubeziehen, damit potenzielle Fehler durch die binäre Denkweise in den Kategorien „männlich/weiblich“ minimiert werden. Ebenso könnten mit dem Lebensalter assoziierte Vorerfahrungen durch zu entwickelnde Messinstrumente ermittelt und als Kovariaten einbezogen werden, um Alterseffekte besser zu verstehen.

Insgesamt hat die Hirnforschung mit dem Human Brain Project in den letzten Jahrzehnten große Fortschritte gemacht. Ein Großteil der Fragen zur Funktionsweise dieses Organs sind weiterhin ungeklärt. Insbesondere das Zusammenspiel unterschiedlicher Hirnregionen bedarf weiterer

Forschung. Es gibt Hinweise darauf, dass eine stereotype Zuweisung von Funktionen bestimmter Areale nicht durchgängig haltbar ist, sondern einige Funktionen erst aus dem Zusammenspiel in Schwingkreisen erreicht werden (FRIES 2015). Solche Phänomene finden in der vorliegenden Arbeit noch keine Berücksichtigung. Unklar ist hier auch, inwieweit sich schon kleine Veränderungen im Gewebe auf die Funktion und Dynamik der Schwingkreise auswirken. Aus der Pathophysiologie der Multiinfarktdemenz ist beispielsweise bekannt, dass das Ausmaß der funktionellen und psychischen Einschränkungen Betroffener nicht linear abhängig von dem Ausmaß der Hirnschädigung ist. Dies legt nahe, dass auch sehr kleine Areale Schlüsselfunktionen einnehmen können (O'BRIEN et al. 2003). Sehr kleine Areale lassen sich jedoch mit den Instrumenten der Voxelbasierten Morphometrie und der statistischen Analyse mit SPM kaum sinnvoll deuten. Möglicherweise müssen für diese Fragestellungen neue Untersuchungsmethoden gefunden oder die bestehenden weiterentwickelt werden.

Trotzdem kann festgestellt werden, dass sich die Hinweise auf den wissenschaftlichen Nutzen der Voxelbasierten Morphometrie zur Untersuchung von Zusammenhängen zwischen den Ergebnissen eines psychologischen Tests und der neuronalen Architektur weiter verdichten. Perspektivisch wäre ggf. auch eine Untersuchung weiterer psychologischer Tests und Instrumente zur pädagogischen Diagnostik und Beratung mithilfe der Voxelbasierten Morphometrie lohnend. Dieser Aspekt ist meines Erachtens ein Bereich mit Entwicklungspotenzial, bei dem die Forschungsfelder der Neuroradiologie, Neurobiologie, Psychologie und Pädagogik näher zusammenrücken.

6 Literaturverzeichnis

1. ALLISON T, PUCE A, MCCARTHY G (2000) Social perception from visual cues: role of the STS region. *Trends in Cognitive Sciences* 4:267-278
2. AMBADY, N., & ROSENTHAL, R. (1992). Thin slices of expressive behavior as predictors of interpersonal consequences: A meta-analysis. *Psychological Bulletin* 111:256-274
3. AMUNTS K, MALIKOVIC A, MOHLBERG H, SCHORMANN T, ZILLES K (2000) Brodmann's Areas 17 and 18 Brought into Stereotaxic Space – Where and How Variable?. *NeuroImage* 11:66-84
4. AMUNTS K, KEDO O, KINDLER M, PIEPERHOFF P, HOHLBERG H, SHAH NJ, HABEL U, SCHNEIDER F, ZILLES K (2005) Cytoarchitectonic mapping of the human amygdala, hippocampal region and entorhinal cortex: intersubject variability and probability maps. *Anatomy and Embryology* 210:343-352
5. AMUNTS K, ZILLES K (2010) Makroskopische und mikroskopische Anatomie von Gehirn und Rückenmark. In: Zilles K, Tillmann BN (eds.) *Anatomie*. Springer, pp 624-626
6. ASHBURNER J (2007) A fast diffeomorphic image registration algorithm. *NeuroImage* 38:95-113
7. ASHBURNER J (2012) SPM: A history. *NeuroImage* 62:791-800
8. ASHBURNER J, FRISTON KJ (2000) Voxel-Based Morphometry – The Methods. *NeuroImage* 11:805-821
9. BAIER H (2015) Vergleich von spm8 und spm12 anhand 1,5- und 3T-fMRT-Datensätzen. Seminararbeit, Martin-Luther-Universität Halle (Saale)
10. BAILEY CH, CHEN M (1988) Long-term memory in *Aplysia* modulates the total number of varicosities of single identified sensory neurons. *Neurobiology* 85:2373-2377
11. BAILEY CH, KANDEL ER, HARRIS KM (2015) Structural Components of Synaptic Plasticity and Memory Consolidation. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*: a021758
12. BEINKE L (2006) Der Einfluss von Peer Groups auf das Berufswahlverhalten von Jugendlichen. In: Bley N, Rullmann M (eds) *Übergang Schule und Beruf*. FIAB, Recklinghausen, pp 249-265
13. BERGMANN C, EDER F (1992) *Allgemeiner-Interessen-Struktur-Test*. Beltz, Weinheim
14. BERGMANN C, EDER F (1994) Laufbahnberatung als Entwicklungsanstoß und Entscheidungshilfe. Ein Beratungsmodell für Maturanten. In J. Mayr (ed) *Lehrer/in werden*. Österreichischer Studien Verlag, Innsbruck, pp 248-262
15. BERGMANN C, EDER F (2005) *Allgemeiner-Interessen-Struktur-Test mit Umwelt-Struktur-Test (UST-R)*. Revision. Beltz Test, Göttingen
16. BERGMANN C, EDER F (2018) *Allgemeiner Interessen-Struktur-Test mit Umwelt-Struktur-Test (UST-3) – Version 3*. Hogrefe, Göttingen
17. BERRIDGE KC, KRINGELBACH ML (2015) Pleasure Systems in the Brain. *Neuron* 86:646-664

18. BESTEHER B, GASER C, NENADIĆ I (2019) Brain structure and trait impulsivity: A comparative VBM study contrasting neural correlates of traditional and alternative concepts in healthy subjects. *Neuropsychologia* 131:139–147
doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2019.04.021
19. BINKOFSKI F, FINK GR, GEYER S, BUCCINO G, GRUBER O, SHAH NJ, TAYLOR JG, SEITZ RJ, ZILLES K, FREUND H-J (2002) Neural Activity in Human Primary Motor Cortex Areas 4a and 4p is Modulated Differentially by Attention to Action. *Journal of Neurophysiology* 88:514-519
20. BLANKE O, METZINGER T (2009) Full-body illusions and minimal phenomenal selfhood. *Trends in Cognitive Sciences* 13:7-13
21. BLISS TV, LOMO T (1972) Long-Lasting Potentiation of Synaptic Transmission in the Dentate Area of the anaesthetized Rabbit following Stimulation of the Perforant Path. *Journal of Physiology* 232:331-356
22. BLUDAU S, EICKHOFF SB, MOHLBERG H, CASPERS S, LAIRD AR, FOX PT, SCHLEICHER A, ZILLES K, AMUNTS K (2014) Cytoarchitecture, probability maps and functions of the human frontal pole. *NeuroImage* 93:260-275
23. BRETT M, JOHNSRUDE IS, OWEN A (2002) The problem of functional localization in the human brain. *Nature Reviews Neuroscience* 3:243-249
24. BRODT S, PÖHLCHEN D, FLANAGIN VL, GLASAUER S, GAIS S, SCHÖNAUER M (2016) Rapid and independent memory formation in the parietal cortex. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America PNAS* 113(46):13251-13256
25. BUCCINO G, VOGT S, RITZL A, FINK GR, ZILLES K, FREUND H-J, RIZZOLATTI G (2004) Neural Circuits Underlying Imitation Learning of Hand Actions: An Event-Related fMRI Study. *Neuron* 42: 323-334
26. CASPERS J, ZILLES K, EICKHOFF SB, SCHLEICHER A, MOHLBERG H, AMUNTS K (2013) Cytoarchitectonical analysis and probabilistic mapping of two extrastriate areas of the human posterior fusiform gyrus. *Brain structure & function* 218:511-526
27. CASPERS S, SCHLEICHER A, BACHA-TRAMS M, PALOMERO-GALLAGHER N, AMUNTS K, ZILLES K (2013) Organization of the Human Inferior Parietal Lobule Based on Receptor Architectonics. *Cerebral Cortex* 23:615-628
28. COOPER SJ (2005) Donald O. Hebb's synapse and learning rule: a history and commentary. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 28:851-874
29. CUI RQ, DEECKE L (1999) High resolution DC-EEG analysis of the Bereitschaftspotential and post movement onset potentials accompanying uni- or bilateral voluntary finger movements. *Brain Topography* 11:233-249
30. CUNNINGHAM SI, TOMASI D, VOLKOW ND (2017) Structural and Functional Connectivity of the Precuneus and Thalamus to the Default Mode Network. *Human Brain Mapping* 38:938-956
31. DEYOUNG CG, HIRSH JB, SHANE MS, PAPADEMETRIS X, RAJEEVAN N, GRAY JR (2010) Testing predictions from personality neuroscience. *Brain structure and the big five*. *Psychological science* 21 (6):820–828. doi:10.1177/0956797610370159
32. DÖPFNER M, BERNER W, LEHMKUHL G (1994) Handbuch: Fragen für Jugendliche. Forschungsergebnisse zur deutschen Fassung der Youth Self-Report Form (YSR) der Child Behavior Checklist. Arbeitsgruppe Kinder-, Jugend- und Familiendiagnostik (KJFD), Köln

33. DRAGANSKI B, GASER C, BUSCH V, SCHUIERER G, BOGDAHN U, MAY A (2004) Changes in grey matter induced by training. *Nature* 427:311-312
34. DRAGANSKI B, GASER C, KEMPERMANN G, KUHN HG, BÜCHEL C, MAY A (2006) Temporal and spatial dynamics of brain structure changes during extensive learning. *Neuroscience* 26:6314-6317
35. DRAGANSKI B, MAY A (2008) Training-induced structural changes in the adult human brain. *Behavioural Brain Research* 192:137-142
36. VAN DUJVENVOORDE A C, ZANOLIE K, ROMBOUTS SA, RAIJMAKERS ME, CRONE EA (2008) Evaluating the negative or valuing the positive? Neural mechanisms supporting feedback-based learning across development. *The Journal of neuroscience* 28: 9495–9503. doi:10.1523/JNEUROSCI.1485-08.2008
37. EDER F, BERGMANN C (1988) Der Person-Umwelt-Struktur-Test. In: *Psychologie in Erziehung und Unterricht* 35:299-309
38. EDER F, BERGMANN C (2015) Das Person-Umwelt-Modell von J. L. Holland: Grundlagen – Konzepte – Anwendungen. In: Hartmann F G, Tarnai C (eds) *Berufliche Interessen – Beiträge zur Theorie von J. L. Holland*. Waxmann, Münster New York, pp 11-30
39. EGGERT LD, SOMMER J, JANSEN A, KIRCHER T, KONRAD C (2012) Accuracy and reliability of automated gray matter segmentation pathways on real and simulated structural magnetic resonance images of the human brain. *PLoS one* 7: e45081
40. EICKHOFF SB, KLAAS, ES, 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
41. EICKHOFF SB, GREFKES C, ZILLES K, FINK GR (2007) The Somatotopic Organization of Cytoarchitectonic Areas on the Human Parietal Operculum. *Cerebral Cortex* 17:1800-1811
42. FADIGA L, CRAIGHERO L, DESTRO MF, FINOS L, COTILLON-WILLIAMS N, SMITH AT, CASTIELLO U (2006) Language in shadow. *Social Neuroscience* 1:77-89
43. FRIES P (2015) Rhythms for Cognition: Communication through Coherence. *Neuron*, 88:220-235
44. GARNER M, REITH W, KRICK C (2019) 10-Week Hatha Yoga Increases Right Hippocampal Density Compared to Active and Passive Control Groups: A Controlled Structural cMRI Study. *Journal of Neuroimaging in Psychiatry & Neurology* 4:1-11
45. GASER C (2005) Morphometrie. In: Walter H (ed) *Funktionelle Bildgebung in Psychiatrie und Psychotherapie*. Schattauer, Stuttgart, pp 89-104
46. GOOD CD, JOHNSRUDE IS, ASHBURNER J, HENSON RNA, FRISTON KJ, FRACKOWIAK RSJ (2001) A Voxel-Based Morphometric Study of Ageing in 465 Normal Adult Human Brains. *NeuroImage* 14:21-36
47. GOTTFREDSON GD (1999) John L. Holland's Contributions to Vocational Psychology: A Review and Evaluation. In: *Journal of Vocational Behavior* 55:15-40
48. GREGORII JG (1715) *Der curieuse Affectenspiegel*. Frankfurt Leipzig

49. GURRES S, DILLMANN U, REITH W, KRICK CM (2021) A vocational interest test and its neuronal correlate. *Frontiers in Education*. doi:10.3389/educ.2021.633962
50. HALSBAND U, LANGE RK (2006) Motor learning in man: A review of functional and clinical studies. *Journal of Physiology* 99:414-424
51. HÄNGGI J, KOENEKE S, BEZZOLA L, JÄNCKE L (2010) Structural Neuroplasticity in the Sensorimotor Network of Professional Female Ballet Dancers. *Human Brain Mapping* 31:1196-1206
52. HÄNGGI J, BRÜTSCH K, SIEGEL AM, JÄNCKE L (2014) The architecture of the chess player's brain. *Neuropsychologia* 62:152-162
53. HÄNGGI J, LANGER N, LUTZ K, BIRRER K, MÉRILLAT S, JÄNCKE L (2015) Structural Brain Correlates Associated with Professional Handball Playing. *PLoS ONE*: 10(4): e0124222. doi:10.1371/journal.pone.0124222
54. HARTMANN FG, RAMSAUER K, TARNAI C (2015) Literatur zur Theorie von Holland im deutschsprachigen Raum. In: Hartmann FG, Tarnai C (eds) *Berufliche Interessen – Beiträge zur Theorie von J. L. Holland*. Waxmann, Münster New York, pp 223-246
55. HEBB DO (1949) *The Organization of Behavior: A Neuropsychological Theory*. Wiley, New York
56. HELL B, SCHULER H, PÄßLER K (2005) was-studiere-ich.de. Ein Selbsttest zur Studienorientierung. <http://www.was-studiere-ich.de>, Einsicht am 07.01.2017
57. HELL, B (2015) Geschlechtsdifferenzen im Bereich der beruflichen Interessen: Ausmaß und Ursachen sowie Konsequenzen für die Testentwicklung. In: Hartmann F G, Tarnai C (eds) *Berufliche Interessen – Beiträge zur Theorie von J. L. Holland*. Waxmann, Münster New York, pp 31-44
58. HENSSEN A, ZILLES K, PALOMERO-GALLAGHER N, SCHLEICHER A, MOHLBERG H, GERBOGA F, EICKHOFF SB, BLUDAU S, AMUNTS K (2016) Cytoarchitecture and probability maps of the human medial orbitofrontal cortex. *Cortex* 75:87-112
59. HESLING I, CLÉMENT S, BORDESSOULES M, ALLARD M (2005) Cerebral mechanisms of prosodic integration: evidence from connected speech. *NeuroImage* 24:937-947
60. HOLLAND JL (1971) *The Self-Directed Search (SDS)*. Psychological Assessment Resources, Odessa (Florida)
61. HOLLAND JL (1985) *The Self-Directed Search (SDS): Professional Manual*. Psychological Assessment Resources, Odessa (Florida)
62. HOLLAND JL (1996) Exploring careers with a typology: What we have learned and some new directions. *American Psychologist*, 51(4), 397–406. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.51.4.397>
63. HOLLAND JL (1997) *Making vocational choices: A theory of vocational personalities and work environments*. Psychological Assessment Resources, Odessa (Florida)
64. HUANG P, LI S, LIU, Z, ZHANG C, ZHANG Z, LIU Z (2023) The role of emotional sensitivity to missed opportunity and grey matter volume of thalamus in risk-taking behaviour. *International Journal of Psychology*. <https://doi.org/10.1002/ijop.12906>
65. HÜBENER M, BONHOEFFER T (2014) Neuronal Plasticity: Beyond the Critical Period. *Cell* 159:727-737

66. IGELSTRÖM KM, GRANZIANO MSA (2017) The inferior parietal lobule and temporoparietal junction: A network perspective. *Neuropsychologia* 105:70-83
67. JANKOWIAK-SIUDA K, RYMARCZYK K, GRABOWSKA A (2011) How we empathize with others: A neurobiological perspective. *Med Sci Monit* 17(1):RA18-24
68. JOEL D, BERMAN Z, TAVOR I, WEXLER N, GABER O, STEIN Y, SHEFI N, POOL J, URCHS S, MARGULIES DS, LIEM F, HÄNGGI J, JÄNCKE L, ASSAF Y (2015) Sex beyond the genitalia: The human brain mosaic. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(50), 15468–15473. <https://doi.org/10.1073/pnas.1509654112>
69. JOERIN FUX S, STOLL F, BERGMANN C, EDER F (2003) EXPLORIX®: Das Werkzeug zur Berufswahl und Laufbahnplanung. Huber, Bern
70. JOERIN FUX S, STOLL F, BERGMANN C, EDER F, HELL B (2013) EXPLORIX®: Das Werkzeug zur Berufswahl und Laufbahnplanung. Deutschsprachige Adaption und Weiterentwicklung des Self-Directed Search (SDS) nach John L Holland. Huber, Bern
71. JOHN O, NAUMANN L, SOTO C (2008) Paradigm shift to the integrative big five trait taxonomy: History, measurement, and conceptual issues. In: John O, Robins RW, Pervin LA (eds) *Handbook of Personality Theory and Research*. Guilford Publications, New York, pp 114–117
72. JONES KL (1994) Frank Parsons Contribution to Career Counseling. *Journal of Career Development* 20:287-294
73. JUDGE TA, BONO JE (2007) The bright and dark sides of personality: Implications for personnel selection in individual and team contexts. *Journal of Organizational Behavior* 28(5): 537-555
74. KAPFHAMMER JP (2000) Plastizität im Nervensystem. In: *Lexikon der Neurowissenschaft*. Spektrum, Heidelberg
75. KIM B (2021) Wikimedia Commons, lizenziert unter CreativeCommons-Lizenz by SA 3.0-de, URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brain_neuroplasticity_after_practice.png, via Wikimedia Commons, Download am 29.03.2021
76. KIPPING JA, GRODD W, KUMAR V, TAUBERT M, VILLRINGER A, MARGULIES DS (2013) Overlapping and parallel cerebello-cerebral networks contributing to sensorimotor control: An intrinsic functional connectivity study. *NeuroImage* 83:837-848
77. KLEIN A, ANDERSSON J, ARDEKANI BA, ASHBURNER J, AVANTS B, CHIANG M-C, CHRISTENSEN GE, COLLINS DL, GEE J, HELLIER P, SONG JH, JENKINSON M, LEPAGE C, RUECKERT D, THOMSON P, VERCAUTEREN T, WOODS RP, MANN JJ, PARSEY R (2009): Evaluation of 14 nonlinear deformation algorithms applied to human brain MRI registration. *NeuroImage* 46:786-802
78. KREIS SM (2015) Räumliche Repräsentation der Zahlenverarbeitung im Kindesalter. Dissertation, Universität des Saarlandes
79. KRICK CM, GRAPP M, DANESHVAR-TALEBI J, REITH W, PLINKERT PK, BOLAY HV (2015) Cortical reorganization in recent-onset tinnitus patients by the Heidelberg Model of Music Therapy. *Frontiers in Neuroscience* 9:49
80. KUJOVIC M, ZILLES K, MALIKOVIC A, SCHLEICHER A, MOHLBERG H, ROTTSCHY C, EICKHOFF SB, AMUNTS K (2013) Cytoarchitectonic mapping of the human dorsal extrastriate cortex. *Brain structure & function* 218:157-172

81. KURTH F, LUDERS E, GASER C (2015) Voxel-Based Morphometry. In: Toga AW (ed) Brain Mapping: An Encyclopedic Reference. Elsevier, Band 1, pp 345-349
doi:10.1016/B978-0-12-397025-1.00304-3
82. LANFERMANN H, RAAB P, KRETSCHMANN H-J, WEINRICH W (eds) (2015) Klinische Neuroanatomie – kranielle MRT und CT. Thieme, Stuttgart New York
83. LANGER N, HÄNGGI J, MÜLLER NA, SIMMEN HP, JÄNCKE L (2012) Effects of limb immobilization on brain plasticity. *Neurology* 78(3):182-188
84. LEECH R, SHARP DJ (2014) The role of the posterior cingulate cortex in cognition and disease. *Brain* 137:12-32
85. LEON A, BEHRENDT S, NICKOLAUS R (2018) Interessenstrukturen von Studierenden unterschiedlicher Fachrichtungen und damit verbundene Potentiale für die Gewinnung von Lehramtsstudierenden in technischen Domänen. *Journal of Technical Education (JOTED)* 6(2):39-54
86. LEUNG SA (2008) The Big Five Career Theories. In: Athanasou J A, Van Esbroeck R (eds) *International Handbook of Career Guidance*. Springer, Science + Business Media B.V. Netherlands, pp 115 – 132
87. LEVITIN DJ, MENON V (2003) Musical structure is processed in “language” areas of the brain: a possible role for Brodmann Area 47 in temporal coherence. *NeuroImage* 20:2142-2152
88. LISSEK S, PETERS S, FUCHS N, WITTHAUS H, VOLKMAR N, TEGENTHOFF M, JUCKEL G, BRÜNE M (2008) Cooperation and Deception Recruit Different Subsets of the Theory-of-Mind Network. *PloS one* 3(4): e2023 doi:10.1371/journal.pone.0002023
89. LORENZ S, WEINER KS, CASPERS J, MOHLBERG H, SCHLEICHER A, BLUDAU S, EICKHOFF SB, GRILL-SPECTOR K, ZILLES K, AMUNTS K (2017) Two New Cytoarchitectonic Areas of the Human Mid-Fusiform Gyrus. *Cerebral Cortex* 27:373-385
90. LUDERS E, NARR KL, BILDER RM, THOMPSON PM, SZESZKO PR, HAMILTON L, TOGA AW (2007) Positive Correlations between Corpus Callosum Thickness and Intelligence. *NeuroImage* 37:1457-1464
91. MORENO MB, CONCHA L, GONZÁLEZ-SANTOS L, ORTIZ JJ, BARRIOS FA (2014) Correlation between Corpus Callosum Sub-Segmental Area and Cognitive Processes in School-Age Children. *PLoS ONE* 9(8): e104549. doi:10.1371/journal.pone.0104549
92. MORRIS RGM (1999) D.O. Hebb: The Organization of Behavior, Wiley: New York; 1949. *Brain Research Bulletin* 50:437
93. NACHEV P, KENNARD C, HUSAIN M (2008) Functional role of the supplementary and pre-supplementary motor areas. *Nature Reviews Neuroscience* 9:856-869
94. NAGY G, LINDNER C, LÜDTKE O, TRAUTWEIN U (2015) Ein konfirmatorisches Cosinusfunktionsmodell für den Circumplex: Eine Integration des variablenbezogenen und personenbezogenen Aspekts des Circumplex. In: Hartmann F G, Tarnai C (eds) *Berufliche Interessen – Beiträge zur Theorie von J. L. Holland*. Waxmann, Münster New York, pp 185-221
95. O'BRIEN JT, ERKINJUNTTI, T, REISBERG B, ROMAN G, SAWADA T, PANTONI L, BOWLER JV, BALLARD C, DECARLI C, GORELICK PB, ROCKWOOD K, BURNS A, GAUTHIER S, DEKOSKY ST (2003) Vascular cognitive impairment. *The Lancet Neurology* 2: 89–98.
[https://doi.org/10.1016/s1474-4422\(03\)00305-3](https://doi.org/10.1016/s1474-4422(03)00305-3)

96. ORR JM, SMOLKER HR, BANICH MT (2015) Organization of the Human Frontal Pole Revealed by Large-Scale DTI-Based Connectivity: Implications for Control of Behavior. *PloS one* 10(5):e0124797 doi:10.1371/journal.pone.0124797
97. OTTI A, GUNDEL H, WOHLSCHLÄGER A, ZIMMER C, SORG C, NOLL-HUSSONG M (2012) „Default-mode“-Netzwerk des Gehirns. *Nervenarzt* 83:16-24
98. VAN OVERWALLE F, BAETENS K (2009) Understanding others' actions and goals by mirror and mentalizing systems: A meta-analysis. *NeuroImage* 48:564-584
99. PAPADOPOULOS A, SFORAZZINI F, EGAN G, JAMADAR S (2018) Functional Subdivisions Within the Human Intraparietal Sulcus are Involved in Visuospatial Transformation in a Non-context-Dependent Manner. *Human Brain Mapping* 39:354-368
100. PARSON F (1909) *Choosing a Vocation*. Houghton Mifflin Company, Boston New York
101. PATEL AD (2003) Language, music, syntax and the brain. *Nature Neuroscience* 6:674-681
102. PAUS T (2005) Mapping brain maturation and cognitive development during adolescence. *Trends in Cognitive Sciences* 9:60-68
103. PELLERONE M, PASSANISI A, MARO FPB (2015) Identity development, intelligence structure, and interests: a cross-sectional study in a group of Italian adolescents during the decision-making process. *Psychology Research and Behavior Management* 8:239-249
104. PETRIDES KV, MCMANUS IC (2004) Mapping medical careers: Questionnaire assessment of career preferences in medical school applicants and final-year students. *BMC Medical Education* 4:18. doi:10.1186/1472-6920-4-18
105. PHILIP NS, TYRKA AR, ALBRIGHT SE, SWEET LH, ALMEIDA J, PRICE LH, CARPENTER LL (2016) Early life stress predicts thalamic hyperconnectivity: A transdiagnostic study of global connectivity. *Journal of Psychiatric Research* 79:93-100
106. PIEPERHOFF P, MOHLBERG H, AMUNTS K (2007) Grundlagen der Morphometrie und Integration anatomischer und funktioneller Bilddaten. In: Schneider F, Fink GR (eds) *Funktionelle MRT in Psychiatrie und Neurologie*. Springer, Heidelberg, pp 80-89
107. PSYNDEX-TESTS (2017) *Psyndex-Dokument 9005219*. <https://www.zpid.de/psychologie/PSYNDEX.php?search=psychauthors&id=9005219>, Einsicht am 17.07.2017
108. RADUA J, PHILLIPS ML, RUSSELL T, LAWRENCE N, MARSHALL N, KALIDINDI S, EL-HAGE W, McDONALD C, GIAMPIETRO V, BRAMMER MJ, DAVID AS, SURGULADZE SA (2010) Neural response to specific components of fearful faces in healthy and schizophrenic adults. *NeuroImage* 49:939-946
109. RIZZOLATTI G, CRAIGHERO L (2004) The Mirror-Neuron-System. *Annual Reviews Neuroscience* 27:169-192
110. REITH W (2011) Magnetresonanztomographie. In: Vogl TJ, Reith W, Rummeny EJ (eds) *Diagnostische und Interventionelle Radiologie*. Springer, Berlin Heidelberg, pp 38-44
111. ROTTSCHY C, EICKHOFF SB, SCHLEICHER A, MOHLBERG H, KUJOVIC M, ZILLES K, AMUNTS K (2007) Ventral Visual Cortex in Humans: Cytoarchitectonic Mapping of Two Extrastriate Areas. *Human Brain Mapping* 28:1045-1059
112. SAILMANN, G (2018) *Der Beruf Eine Begriffsgeschichte*. Transcript-Verlag

113. SAMMLER D, GROSBAS MH, ANWANDER A, BESTELMEYER PE, BELIN P (2015) Dorsal and ventral pathways for prosody. *Current Biology*, 25: 3079-3085
114. SCHEPERJANS F, HERMANN K, EICKHOFF SB, AMUNTS K, SCHLEICHER A, ZILLES K (2007) Observer-Independent Cytoarchitectonic Mapping of the Human Superior Parietal Cortex. *Cerebral Cortex* 18:846-867
115. SCHINKA JA, DYE DA, CURTISS G (1997) Correspondence Between Five-Factor and RIASEC Models of Personality. *Journal of Personality Assessment* 68:2,355-368
116. SCHROEDER DH, HAIER RJ, TANG CY (2012) Regional gray matter correlates of vocational interests. *BMC research notes* 5:242. doi:10.1186/1756-0500-5-242
117. SEJNOWSKI TJ (1999) The Book of Hebb. *Neuron* 24:773-776
118. SHIMA K, TANJI J (1998) Both Supplementary and Presupplementary Motor Areas are crucial for the Temporal Organization of Multiple Movements. *Journal of Neurophysiology* 80:3247-3260
119. SLUMING V, BARRICK T, HOWARD M, CEZAYIRLI E, MAYES A, ROBERTS N (2002) Voxel-Based Morphometry Reveals Increased Gray Matter Density in Broca's Area in Male Symphony Orchestra Musicians. *NeuroImage* 17:1613-1622
120. SOKOLOV AA, ERB M, GHARABAGHI A, GRODD W, TATAGIBA MS, PAVLOVA MA (2012) Biological motion processing: The left cerebellum communicates with the right superior temporal sulcus. *NeuroImage* 59:2824-2830
121. STANGL W (1991) Der Freizeit-Interessen-Test (FIT). In: *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie* 12:231-244
122. STANGL W (2016) Situativer Interessen Test (SIT) – Das Modell [werner stangl]s Arbeitsblätter. <http://www.stangl-taller.at/ARBEITSBLAETTER/TEST/SIT/theorie.shtml>, Einsicht am 29.07.2016
123. STANGL W (2017) Situativer Interessen Test (SIT) [werner stangl]s Arbeitsblätter. <http://arbeitsblaetter.stangl-taller.at/TEST/SIT/index.php>, Einsicht am 05.07.2017
124. STEPHAN KM, FINK GR, PASSINGHAM RE, SILBERSWEIG D, CEBALLOS-BAUMANN AO, FRITH CD, FRACKOWIAK RSJ (1995) Functional Anatomy of the Mental Representation of Upper Extremity Movements in Healthy Subjects. *Journal of Neurophysiology* 73:373-386
125. STIFTUNG WARENTEST (2007) Onlinetests zur Selbsteinschätzung: Eignungsprüfung im Netz. Artikel vom 15.03.2007. <https://www.test.de/Onlinetests-zur-Selbsteinschaetzung-Eignungspruefung-im-Netz-1493119-2493119/>, Einsicht am 17.07.2017
126. STÖCKER T, SHAH NJ (2007) Grundlagen der MR-Bildgebung. In: Schneider F, Fink GR (eds) *Funktionelle MRT in Psychiatrie und Neurologie*. Springer, Heidelberg, pp 61-78
127. TALAIRACH J, TOURNOUX P (1988) *Co-planar Stereotaxic Atlas of the Human Brain*. Thieme, New York
128. THIER P (2006) Anatomie und Physiologie des parietalen Kortex. In: Karnath H-O, Thier P (eds) *Neuropsychologie*. Springer Medizin, Heidelberg, pp 163-169
129. UNRATH A, MÜLLER HP, KASSUBEK J (2011) Voxelbasierte MR-Morphometrie und Diffusionstensorbildgebung: Grundlagen und Anwendungen in der klinischen Neurologie. *Journal für*

Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie 12:272-279

130. VAQUERO L, HARTMANN K, RIPOLLÉS P, ROJO N, SIERPOWSKA J, FRANCOIS C, CÀMARA E, VAN VUGT FT, MOHAMMADI B, SAMII A, MÜNTE TF, RODRÍGUEZ-FORNELLS A, ALTENMÜLLER E (2016) Structural neuroplasticity in expert pianists depends on the age of musical training onset. *NeuroImage* 126:106-119
131. VERNET M, QUENTIN R, CHANES L, MITSUMASU A, VALERO-CABRÉ A (2014) Frontal eye field, where art thou? Anatomy, function, and non-invasive manipulation of frontal regions involved in eye movements and associated cognitive operations. *Frontiers in Integrative Neuroscience* 8:66. doi:10.3389/fnint.2014.00066
132. VOLMAN SF, LAMMEL S, MARGOLIS EB, KIM Y, RICHARD JM, ROITMAN MF, LOBO MK (2013) New insights into the specificity and plasticity of reward and aversion encoding in the mesolimbic system. *J Neurosci* 6;33(45):17569-76. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3250-13.2013. PMID: 24198347; PMCID: PMC3818538
133. WANG J, HE L, ZHENG H, LU ZL (2014) Optimizing the Magnetization Prepared Rapid Gradient Echo (MP-RAGE) Sequence. *PLoS ONE* 9(5): e96899. doi: 10.1371/journal.pone.0096899
134. WEI Z, YANG N, YING L, YANG L, WNG Y, HAN L, ZHA R, HUANG R, ZHANG P, ZHOU Y, ZHANG X (2016) Resting-state functional connectivity between the dorsal anterior cingulate cortex and thalamus is associated with risky decision-making in nicotine addicts. *Scientific Reports* 6:21778. doi: 10.1038/srep21778
135. WEINER KS, ZILLES K (2016) The anatomical and functional specialization of the fusiform gyrus. *Neuropsychologia* 83:48-62
136. WEISHAUPT D (2014) Bildkontrast. In: Weishaupt D, Köchli VD, Marincek B (eds) *Wie funktioniert MRI?*. Springer, Berlin Heidelberg, pp 11-20
137. WENGER E, BROZZOLI C, LINDENBERGER U, LÖVDÉN M (2017) Expansion and Renormalization of Human Brain Structure During Skill Acquisition. *Trends in Cognitive Science* 21:930-939
138. WHITWELL JL (2009) Voxel-Based Morphometry: An Automated Technique for Assessing Structural Changes in the Brain. *J Neurosci* 29(31): 9661-9664. doi: 10.1523/JNEUROSCI.2160-09.2009
139. WOHLSCHLÄGER A, KELLERMANN T, HABEL U (2007) Datenanalyse: Vorverarbeitung, Statistik und Auswertung. In: Schneider F, Fink GR (eds) *Funktionelle MRT in Psychiatrie und Neurologie*. Springer, Heidelberg, pp 133-148
140. YANG G, LAI C S W L, CICHON J, MA L, WEI L, GAN W B (2014) Sleep promotes branch-specific formation of dendritic spines after learning. *Science* 344:1173-1178
141. YU J, ALVI SA (1996) A Study of Holland's Typology in China. *Journal of Career Assessment* 4(3):45-252. doi: 10.1177/106907279600400301
142. ZUCKERMAN M, KUHLMANN DM (2000) Personality and risk-taking: Common biosocial factors. *Journal of Personality* 68(6):999-1029

Danksagung

Mein Dank gilt Herrn Professor Dr. U. Dillmann und Herrn Dr. Ch. M. Krick für die Unterstützung. Insbesondere die Erfassung, Aufbereitung und Analyse des Datenmaterials wäre ohne die Anleitung durch meinen Betreuer Herrn Dr. Krick nicht möglich gewesen. Dank auch an den Direktor der Klinik für Diagnostische und Interventionelle Neuroradiologie der Universitätsklinik Homburg, Herrn Professor W. Reith, für die Bereitstellung der technischen Infrastruktur – insbesondere des Magnetresonanztomographen.

Herzlichen Dank an Herrn Priv.-Doz. Dr. Nicolas Becker von der Fakultät für Empirische Humanwissenschaften und Wirtschaftswissenschaft, Fachrichtung Psychologie, für seine freundliche Unterstützung und Beratung hinsichtlich der statistischen Methoden zur Aufbereitung der Daten und Einschätzung der Ergebnisse.

Weiterhin danke ich allen Helferinnen und Helfern für die Unterstützung bei der Datenerhebung und natürlich den vielen interessierten Teilnehmerinnen und Teilnehmern der Studie.

Mein besonderer Dank gilt jedoch meiner Familie, die mein zeitintensives Forschungsprojekt stets unterstützt hat.

Publikation

Das korrespondierende Manuskript zu dieser Arbeit „The Individual Inclination to an Occupation and its Neuronal Correlate“ wurde bei der Zeitschrift „Frontiers in Education: Assessment, Testing and Applied Measurement“ eingereicht und am 11. Februar 2021 akzeptiert.

DOI:10.3389/feduc.2021.633962

Lebenslauf

Aus datenschutzrechtlichen Gründen wird der Lebenslauf in der elektronischen Fassung der Dissertation nicht veröffentlicht.

Eidesstattliche Versicherung gemäß § 7 Abs. 1 Nr. 2

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet.

Bei der Auswahl und Auswertung folgenden Materials haben mir die nachstehend aufgeführten Personen in der jeweils beschriebenen Weise

- unentgeltlich
 entgeltlich geholfen:

1. Dr. C M Krick, Anleitung zur Erstellung und Konvertierung des MRT-Datenmaterials; Anleitung zur statistischen Analyse der MRT-Bilder mittels SPM

Weitere Personen waren an der inhaltlich-materiellen Erstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungsdiensten (Promotionsberaterinnen/Promotionsberater oder anderer Personen) in Anspruch genommen. Außer den Angegebenen hat niemand von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen.

Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder in ähnlicher Form in einem anderen Verfahren zur Erlangung des Doktorgrades einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ich versichere an Eides statt, dass ich nach bestem Wissen die Wahrheit gesagt und nichts verschwiegen habe.

Die Bedeutung der eidesstattlichen Erklärung und die strafrechtlichen Folgen einer unrichtigen oder unvollständigen eidesstattlichen Erklärung sind mir bekannt.

Homburg, 02.09.2023
Ort, Datum

Unterschrift der/des Promovierenden

Eidesstattliche Versicherung Belehrung

Die Medizinische Fakultät der Universität des Saarlandes verlangt eine Eidesstattliche Versicherung über die Eigenständigkeit der erbrachten wissenschaftlichen Leistungen. Weil der Gesetzgeber der Eidesstattlichen Versicherung eine besondere Bedeutung beimisst und sie erhebliche Folgen haben kann, hat der Gesetzgeber die Abgabe einer falschen eidesstattlichen Versicherung unter Strafe gestellt. Bei vorsätzlicher (also wissentlicher) Abgabe einer falschen Erklärung droht eine Freiheitsstrafe bis zu drei Jahren oder eine Geldstrafe. Eine fahrlässige Abgabe (also Abgabe, obwohl Sie hätten erkennen müssen, dass die Erklärung nicht den Tatsachen entspricht) kann eine Freiheitsstrafe bis zu einem Jahr oder eine Geldstrafe nach sich ziehen. Die entsprechenden Strafvorschriften sind in § 156 StGB (falsche Versicherungen an Eides Statt) und in § 161 StGB (fahrlässiger Falscheid, fahrlässige falsche Versicherung an Eides Statt) wiedergegeben.

§ 156 StGB: Falsche Versicherung an Eides Statt

Wer vor einer zur Abnahme einer Versicherung an Eides Statt zuständigen Behörde eine solche Versicherung falsch abgibt oder unter Berufung auf eine solche Versicherung falsch aussagt, wird mit Freiheitsstrafe bis zu drei Jahren oder mit Geldstrafe bestraft.

§ 161 StGB: Fahrlässiger Falscheid, fahrlässige falsche Versicherung an Eides Statt:

- (1) Wenn eine der in den § 154 bis 156 bezeichneten Handlungen aus Fahrlässigkeit begangen worden ist, so tritt Freiheitsstrafe bis zu einem Jahr oder Geldstrafe ein.
- (2) Straflosigkeit tritt ein, wenn der Täter die falsche Angabe rechtzeitig berichtigt. Die Vorschriften des § 158 Abs. 2 und 3 gelten entsprechend.

Anhang

- Einladung der Probanden zur Teilnahme
- Informationsschreiben und Einverständniserklärung zur Teilnahme an der Studie
- Einwilligungserklärung
- Fragebogen

Einladung ans Neurozentrum in Homburg

Kontakt: Stefan Gures, BBS Zweibrücken, gures@bbs-zw.de

Magnetresonanztomographie



**3D-Körperbilder,
Gehirnforschung**



Ich interessiere mich für die Teilnahme am Gehirnentwicklungsprojekt des Neurozentrums in Homburg als Mitforscher und Studienteilnehmer. Ich möchte Einblick in die Bildgebung der Kernspintomographie sowie in die wissenschaftliche Erforschung des Denkkorgans erhalten. Ich weiß, dass meine Interessensbekundung unverbindlich ist und dass ich meine freiwillige Teilnahme an der Forschung jederzeit ohne irgendwelche persönlichen oder schulischen Nachteile widerrufen kann.

Mein Name: Klasse:

So bin ich erreichbar:

KLINIK FÜR DIAGNOSTISCHE UND INTERVENTIONELLE NEURORADIOLOGIE
Leiter Prof. Dr. W. Reith
UNIVERSITÄTSKLINIKEN des Saarlandes
66421 HOMBURG

23. April 2015

Informationsschreiben und Einverständniserklärung zur Studie

„Untersuchungen zur Struktur der weißen und grauen Substanz des Gehirns in Beziehung zu mathematischem und räumlichen Tests bei jungen gesunden Erwachsenen“

Sehr geehrte Studienteilnehmer,

im Laufe der menschlichen Entwicklung von der Geburt bis zum hohen Alter sind im Gehirn fortdauernde Auf-, Um- und Abbauprozesse zu beobachten. Insbesondere die Struktur der weißen und grauen Gehirnschicht im Großhirn verändert sich während der ersten Lebensjahrzehnte rasant.

Erst seit wenigen Jahrzehnten besteht mit der Magnetresonanztomographie (MRT oder auch Kernspintomographie) die Möglichkeit, diese Strukturen beim lebenden Menschen sichtbar zu machen und zu erforschen, ohne dass schädliche oder körperlich belastende Strahlen (wie etwa Röntgenstrahlen) dazu verwendet werden müssten. Damit werden völlig neue und nutzbringende Forschungsfelder eröffnet.

Im Großhirn findet man graue und weiße Strukturen. Die graue Substanz besteht hauptsächlich aus Nervenzellen, die weiße Substanz hauptsächlich aus Nervenbahnen. In der geplanten Studie soll mit Kernspinaufnahmen (MRT) das Verhältnis zwischen grauer Substanz und weißer Substanz untersucht werden. Außerdem wird mit einem speziellen Aufnahmeverfahren, dem Diffusion-Tension-Imaging, der Verlauf großer Nervenfaserbündel zwischen den Gehirnarealen sichtbar gemacht. Diese Messungen dauern etwa 20 Minuten. Hinzu kommen ein Fragebogen zu mathematischem Denken (etwa 20 Minuten), ein Computerspiel zum räumlichen Denken (etwa 15 Minuten) sowie eine Abfrage zu Interessenschwerpunkten (Situativer Interessen Test, etwa 5 Minuten).

Zunächst ist es wichtig anzuzeigen, dass die Teilnahme an den Forschungsvorhaben und an den Datenerhebungen freiwillig ist. Alle freiwillig teilnehmenden Personen werden gebeten, die freiwillige Teilhabe an den wissenschaftlichen Maßnahmen durch eine schriftliche Einwilligungserklärung auf einem entsprechenden Formblatt zu bestätigen. Ein Widerruf der Einwilligung und damit Abbruch der Studienteilnahme zieht für keinen der Beteiligten Nachteile nach sich.

Hier nun noch wichtige Informationen zu Kontraindikationen, Risiken und Teilnahmebedingungen an MRT-Aufnahmen:

Kernspintomographie

Die Kernspintomographie verwendet zur bildlichen Darstellung der Gehirnstruktur Radiowellen in einem Magnetfeld. Es werden weder Röntgenstrahlen noch Strahlen aus radioaktiven Stoffen eingesetzt. Der bei Ihnen eingesetzte Kernspintomograph arbeitet mit einer Magnetfeldstärke von 3,0 Tesla.

Ablauf der Untersuchung

Die Kernspintomographie wird in einem speziellen, nach außen für Radiowellen abgeschirmten Raum der Neuroradiologie im Gebäude 90 der **Universitätskliniken des Saarlandes in Homburg** durchgeführt. Sie liegen auf einer verschiebbaren Liege, mit der Sie langsam in eine 70 cm große Öffnung des Magneten bewegt werden. Das Innere des Magneten wird mit einer Kamera überwacht. Während der Untersuchung ist ein lautes Klopfsignal zu hören, welches durch den Magneten hervorgerufen wird. Sie sollten so ruhig und entspannt wie möglich liegen. Für die Qualität der Aufnahmen ist es entscheidend, möglichst keine Körperbewegungen während der 15 Minuten Messdauer auszuüben, um eine gute Bildqualität zu erreichen. Über einen kleinen Ballon, den Sie zu Beginn der Untersuchung erhalten, können Sie Kontakt nach außen herstellen und auch die Untersuchung zu jeder Zeit abbrechen.

Fragestellung und wissenschaftlicher Erkenntniswert

Der wissenschaftliche Erkenntniswert besteht darin, sowohl die neurophysiologischen Grundlagen der Gehirnentwicklung und –reifung zu verstehen als auch das mathematische und räumliche Denkvermögen hierzu in Relation zu setzen. Erste Ergebnisse mit jüngeren Teilnehmern bis zum 16. Lebensjahr haben ergeben, dass die Dichte der Nervenbahnen im Laufe der Jahre zunimmt. Unklar ist jedoch, wie sich die Verhältnisse im Laufe der folgenden Lebensjahrzehnte entwickeln.

Man geht außerdem davon aus, dass der mentale Trainingseffekt im Laufe des Lebens – auch unter dem Einfluss der beruflichen Tätigkeit und der Interessenlage – eine nachweisbare strukturelle Veränderung verursacht, die über MRT-Messungen nachgewiesen werden könnte.

Klinische Relevanz und Umgang mit Zufallsbefunden

Die erhobenen Daten dienen ausschließlich Forschungszwecken. Daten aus Forschungsstudien haben keine diagnostische Aussagekraft. Eine neuroradiologische Befundung der MRT-Bilder im Sinne einer klinisch orientierten **Diagnostik findet daher nicht statt.**

Falls aber eine Auffälligkeit festgestellt werden sollte, wird ein Radiologe oder ein Neuroradiologe zur weiteren Abklärung herangezogen. Zufallsbefunde können z.B. sein: Normvarianten, Zysten, Tumore oder entzündliche Erkrankungen des Gehirns. Falls sich bei der Untersuchung Anhaltspunkte für einen Zufallsbefund ergeben, die eine fachärztliche neuroradiologische Diagnostik empfehlenswert erscheinen lassen, würde Sie der Versuchsleiter persönlich darüber informieren und Ihnen eine fachärztlich neuroradiologische Diagnostik in unserem Institut empfehlen. Falls Sie über einen Zufallsbefund nicht informiert werden wollen, können Sie an der Studie nicht teilnehmen.

Besteht für Teilnehmer/innen ein Risiko?

Nach heutigen Erkenntnissen sind MRT-Verfahren ohne Risiko für die menschliche Gesundheit. Bekannte Gefahren gehen nur von Metallteilen oder elektronischen Implantaten im Körper aus.

Rasche Bewegungen können vorübergehend zu Schwindel oder metallischem Geschmack im Mund führen und sollten vermieden werden. Vereinzelt werden auch kurze Lichtblitze, so genannte Phosphene, wahrgenommen. Grenzwerte für die eingesetzten Radiowellen werden strikt eingehalten um eine Erwärmung des Körpers zu vermeiden. Zum Schutz gegen die Klopfgeräusche während der Untersuchung erhalten Sie einen den arbeitsmedizinischen Vorschriften entsprechenden Gehörschutz über MRT-kompatible Kopfhörer.

Sie können jederzeit ohne Angabe von Gründen und ohne Nachteil für Sie von der geplanten Studie zurücktreten. Dazu gehören auch klaustrophobische Beklemmungen, die Sie zuvor nicht einschätzen konnten. Ebenso können Sie auch jederzeit die Einwilligung zur Datenverarbeitung widerrufen. Richten Sie ggf. Ihren Widerruf an den Sie betreuenden Studienleiter Dr. Christoph Krick oder den durchführenden Wissenschaftler Stefan Gurses. Falls Sie den Widerruf im Vorfeld einer MRT-Messung aussprechen möchten, können Sie die Studienleitung auch unter der Telefonnummer (06841) 16 24359 erreichen.

Zur Erkennung einer möglichen Kontraindikation bitten wir Sie um folgende Angaben:

- | | | |
|--|------|----|
| • Sind Sie Träger eines Herzschrittmachers? | nein | ja |
| • Befinden sich in Ihrem Körper Metallteile (z.B. Granatsplitter, Gefäßklips, Metallprothesen?)
Wenn ja, wie lange schon? _____ | nein | ja |
| • Sind Sie am Herzen oder Kopf operiert worden?
Wenn ja, wann? _____ | nein | ja |
| • Besteht eine Schwangerschaft? | nein | ja |

Ausschlusskriterien

Ausschlusskriterien für die Teilnahme an der Studie sind bekannte Erkrankungen des Gehirns sowie metallische oder magnetisierbare Implantate (z.B. Herzschrittmacher, Cochlea-Implantat oder implantierte Medikamentenpumpen) oder nicht entfernbare metallische Teile in oder am Körper (Schrauben nach Knochenbruch oder „Spirale“ bei Frauen) sowie eine bestehende Schwangerschaft. Probanden, die nicht über mögliche Zufallsbefunde informiert werden wollen, können ebenfalls nicht an der Studie teilnehmen.

Wichtige Hinweise

Lose Metallteile können durch den starken Magneten angezogen werden und Unfälle verursachen. Wir bitten Sie daher, vor Betreten des Untersuchungsraumes folgende Gegenstände abzulegen:

- Uhr, Brille, Ohrringe, Ketten, Metallteile an der Kleidung
- Scheckkarten mit Magnetstreifen (werden gelöscht)
- Geldmünzen, Kugelschreiber, Schlüssel und andere Metallteile (z.B. Haarspangen, Feuerzeug)
- Zahnprothesen (falls möglich)
- Hörhilfen

Mit dem Wunsch auf eine gute Zusammenarbeit verbleibe ich mit freundlichen Grüßen

Dr. Christoph Krick

Anlage: Einverständniserklärung zur Datenerhebung und zu den MRT-Messungen.

KLINIK FÜR DIAGNOSTISCHE UND INTERVENTIONELLE NEURORADIOLOGIE
Leiter Prof. Dr. W. Reith
UNIVERSITÄTSKLINIKEN des Saarlandes
66421 HOMBURG

Einwilligungserklärung

an der Kernspintomographie, an den Tests und Fragebögen und an der Datenverarbeitung für Teilnehmer/innen an der Studie

„Untersuchungen zur Struktur der weißen und grauen Substanz des Gehirns in Beziehung zu mathematischem und räumlichen Tests bei jungen gesunden Erwachsenen“

Name und Vorname des Probanden:

Geburtsdatum (zum Berechnen des genauen Alters)

- Ich bin über Wesen, Bedeutung, Ausschlusskriterien und Tragweite der geplanten Untersuchung aufgeklärt worden. Dazu wurde mir ein Exemplar der Probandeninformation ausgehändigt. Zu Ablauf und möglichen Risiken konnte ich Fragen stellen. Die mir erteilten Informationen habe ich inhaltlich verstanden.
Ich willige hiermit in die Teilnahme an den Untersuchungen ein. Mir ist bekannt, dass ich meine Einwilligung jederzeit ohne Angaben von Gründen widerrufen kann, ohne dass mir daraus ein Nachteil entsteht.
- **Ich weiß, dass die bei der Untersuchung mit mir gewonnenen Daten elektronisch weiterverarbeitet und für wissenschaftliche Zwecke verwendet werden sollen. Hiermit bin ich einverstanden, wenn die Verarbeitung und Veröffentlichung in einer Form erfolgt, die eine Zuordnung zu meiner Person ausschließt. Auch diese Einwilligung kann ich jederzeit ohne Angaben von Gründen widerrufen.**

Ort, Datum

Unterschrift des Probanden

Unterschrift des Untersuchenden

Unterschrift des Erziehungsberechtigten

Fragebogen zum Thema Raum/Zahl/Mathematik

Der Fragebogen bekommt nur eine anonyme Nummer, die keinen Rückschluss auf Ihre Person zulässt. Diese Nummer wird von Ihnen selbst bestimmt und in eine getrennt aufbewahrte Liste eingetragen.

Für den Fall, dass zufällig eine schwere Erkrankung gefunden wird, muss eine Verbindung zwischen dem Befund und der oben erwähnten Liste mit Ihrer Identifikationsnummer hergestellt werden. Diese Liste bleibt im Klinikum unter Verschluss! Nach Abschluss der Studie wird diese Liste vernichtet.

Identifikationsnummer:

Zahl von 10 bis 99	Zahl 10 bis 99	Buch- stabe	Buch- stabe	Zahl von 10 bis 99	Zahl von 10 bis 99

Datum:

Ich bin eine Frau / ein Mann

Mein Alter:

Momentan ausgeübte Tätigkeit:

.....

Abgeschlossene Ausbildung(en):

.....

Ausgeübte(r) Beruf(e):

.....

Info: Der Fragebogen beinhaltet unterschiedliche Fragetypen. Deshalb gibt es für jeden Teil eine eigene Art, die Fragen zu beantworten. Wie genau Sie antworten sollen, wird jeweils erklärt.

Bitte nennen Sie uns Ihre Noten, die Sie im letzten Schul(abgangs)zeugnis (z.B. Hauptschulabschluss, Mittlere Reife, Abi) in Mathe und Deutsch bekommen hatten! – Diese und alle folgenden Angaben werden NICHT an andere Menschen weitergegeben!

Ich hatte im letzten Schul(abgangs)zeugnis in Mathe eine: _____

Ich hatte im letzten Schul(abgangs)zeugnis in Deutsch eine: _____

Jetzt folgt eine Liste von Eigenschaften und Verhaltensweisen, die bei jungen Erwachsenen auftreten können. Nach jeder Eigenschaft finden Sie die Ziffern 0,1,2. Bei jeder Eigenschaft, die für Sie jetzt oder in den letzten sechs Monaten genau so oder häufig zutrifft, kreuzen Sie bitte die Ziffer 2 an. Wenn die Eigenschaft etwas oder manchmal zutrifft, kreuzen Sie bitte die Ziffer 1 an, und wenn sie für Sie nicht zutrifft, die Ziffer 0. Beantworten Sie bitte alle Fragen so gut Sie können, auch wenn Ihnen einige unpassend erscheinen.

0= nicht zutreffend 1=etwas oder manchmal zutreffend 2=genau oder häufig zutreffend

Ich verhalte mich oft zu jung für mein Alter0 1 2

Ich habe Schwierigkeiten mich zu konzentrieren
oder länger aufzupassen0 1 2

Ich kann nicht lange stillsitzen0 1 2

Ich fühle mich einsam0 1 2

Ich bin durcheinander oder zerstreut0 1 2

Ich weine viel0 1 2

0= nicht zutreffend 1=etwas oder manchmal zutreffend 2=genau oder häufig zutreffen

Ich bin tagsüber verträumt oder in Gedanken	0	1	2
Ich habe mich absichtlich verletzt oder versucht mich umzubringen	0	1	2
Ich habe Angst etwas Schlimmes zu denken oder zu tun	0	1	2
Ich glaube ich muss perfekt sein und alles gut können	0	1	2
Ich glaube, dass mich niemand mag.....	0	1	2
Ich glaube, dass andere mir etwas antun wollen.....	0	1	2
Ich fühle mich wertlos oder unterlegen	0	1	2
Ich tue etwas ohne zu überlegen	0	1	2
Ich bin nervös, reizbar oder angespannt.....	0	1	2
Ich bin zu furchtsam oder zu ängstlich.....	0	1	2
Ich habe starke Schuldgefühle.....	0	1	2
Ich bin schlecht in Ausbildung/Beruf/Studium	0	1	2
Ich bin unbeholfen oder schwerfällig.....	0	1	2
Ich bin schüchtern oder werde leicht verlegen	0	1	2
Ich bin misstrauisch	0	1	2
Ich denke darüber nach, mich umzubringen	0	1	2
Ich bin unglücklich, traurig oder niedergeschlagen	0	1	2
Ich mache mir viele Sorgen	0	1	2

Jetzt kommen einige Fragen, bei denen es um Ihre schulischen Erfahrungen mit Mathematik geht. Hierbei gibt es keine richtigen und falschen Antworten. Bitte antworten Sie ehrlich und kreuze die Antwort an, die zu Ihrer Schulzeit am besten auf Sie zutraf! Kreuzen Sie dafür jeweils die passende Ziffer an.

0 = trifft überhaupt nicht zu

1 = trifft kaum oder selten zu

2 = trifft in etwa oder manchmal zu

3 = trifft vollkommen oder häufig zu

Den am Tag zuvor gelernten/und richtig angewandten Mathestoff hatte ich am Tag darauf wieder vergessen.	0	1	2	3
Meine Noten in den Matheschulaufgaben variierten sehr stark. Gute Noten wechselten sich mit ungenügenden ab.	0	1	2	3
Bei Sach-/Textaufgaben wusste ich nicht, welchen Rechenweg ich anwenden soll.	0	1	2	3
Mir machten Klassenarbeiten in Mathematik Spaß.	0	1	2	3
Vor einer Matheschulaufgabe dachte ich, dass ich gut abschneiden werde.	0	1	2	3
Vor einer Mathearbeit ging es mir nicht gut, ich bekam z.B. Bauchweh, Kopfschmerzen oder Durchfall.	0	1	2	3
Ich versuchte mich so wenig wie möglich mit Mathematik zu beschäftigen.	0	1	2	3
Ich dachte, dass ich nicht gut im Rechnen bin.	0	1	2	3
Ich hatte Angst vor Mathetests und dachte, dass ich schlecht abschneiden werde.	0	1	2	3
Ich fühlte mich von den Anforderungen der Mathetests überfordert.	0	1	2	3
Ich beschäftigte mich gerne über die Hausaufgaben hinaus mit Mathematik.	0	1	2	3
Ich fand die Aufgaben der Mathetests zu einfach.	0	1	2	3

Jetzt noch ein paar speziellere Fragen, die nicht unbedingt auf Sie zutreffen müssen! Bitte kreuzen Sie jeweils „Ja“ oder „Nein“ an! Bitte antworte auch hier wieder ehrlich!

Wurden Sie während Ihrer Schulzeit schon einmal gesondert bezüglich Ihrer Fähigkeiten in Mathe untersucht? Also unabhängig von Ihren Klassenkameraden und den normalen Schularbeiten?	Ja	Nein
---	----	------

Falls Sie „Ja“ angekreuzt haben, dann beantworte bitte folgende Fragen!

Wurde dabei ein Ergebnis erzielt und festgestellt, dass Sie im Vergleich zu anderen Kindern <u>stärkere Probleme</u> mit Mathe haben?	Ja	Nein
Wurde dabei ein Ergebnis erzielt und festgestellt, dass Sie es im Vergleich zu anderen Kindern <u>leichter</u> in Mathe haben?	Ja	Nein

Nun folgen noch fünf kurze Rechenaufgaben. Sie sollen beurteilen, bei welchen der Aufgaben Sie Ihrer Meinung nach mit einer schriftlichen Lösung schneller wärst als mit dem Kopfrechnen. Schauen Sie dafür zunächst jede Aufgabe genau an und antworten auch hier wieder ehrlich! Wählen bitte die Antwort, die am besten passt und machen Sie bei jeder Aufgabe ein Kreuz!

Kreuze die Ziffer 1 an, wenn Sie die Aufgabe im Kopf lösen würden, und kreuze die Ziffer 2 an, wenn Sie die Aufgabe schriftlich lösen würden.

1= ich würde die Aufgabe im Kopf lösen

2= ich würde die Aufgabe schriftlich lösen

$?-28=27$	1	2
$78-29 = ?$	1	2
$238-146=?$	1	2
$300,04 \times 100 = ?$	1	2
$75\text{m}=?\text{km}$	1	2

Danke, dass Sie die Fragen beantwortet haben! Jetzt kommen noch ein paar Aufgaben, die anders sind als die gerade eben. Bei ihnen ist vor allem Ihre Vorstellungskraft gefragt! Viel Spaß!

Bitte markieren Sie, in welche Richtung sich das **graue** Zahnrad dreht!

Der Pfeil gibt Ihnen an, in welche Richtung sich erste das Zahnrad am anderen Ende der Reihe dreht. Die Räder dazwischen können sich in verschiedene Richtungen drehen!

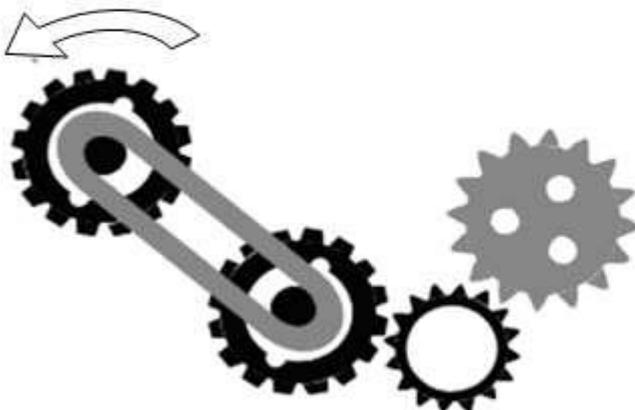
Das graue Zahnrad dreht sich nach:



links: rechts:



links: rechts:



links: rechts:



links: rechts:

Das graue Zahnrad dreht sich nach:

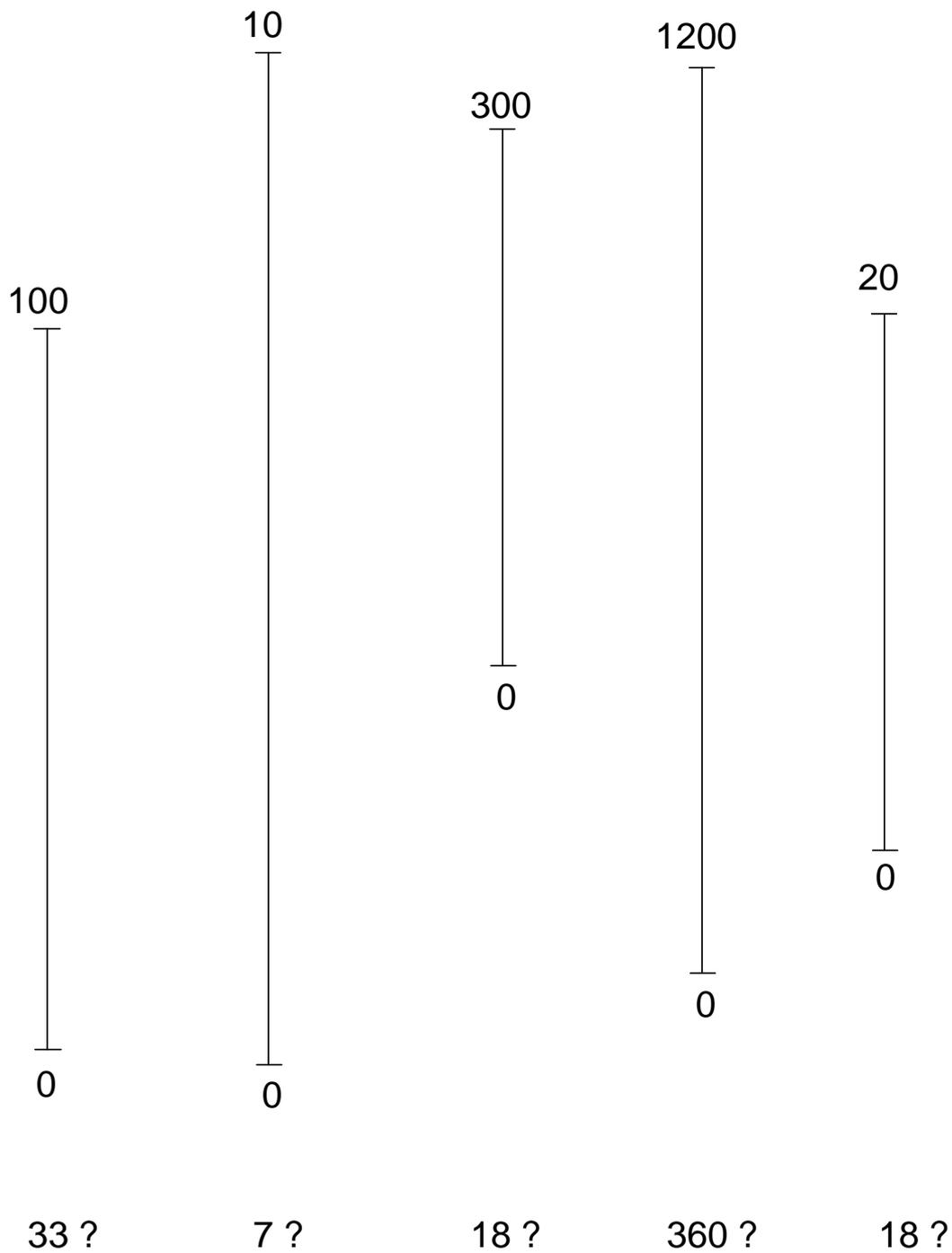


links: rechts:

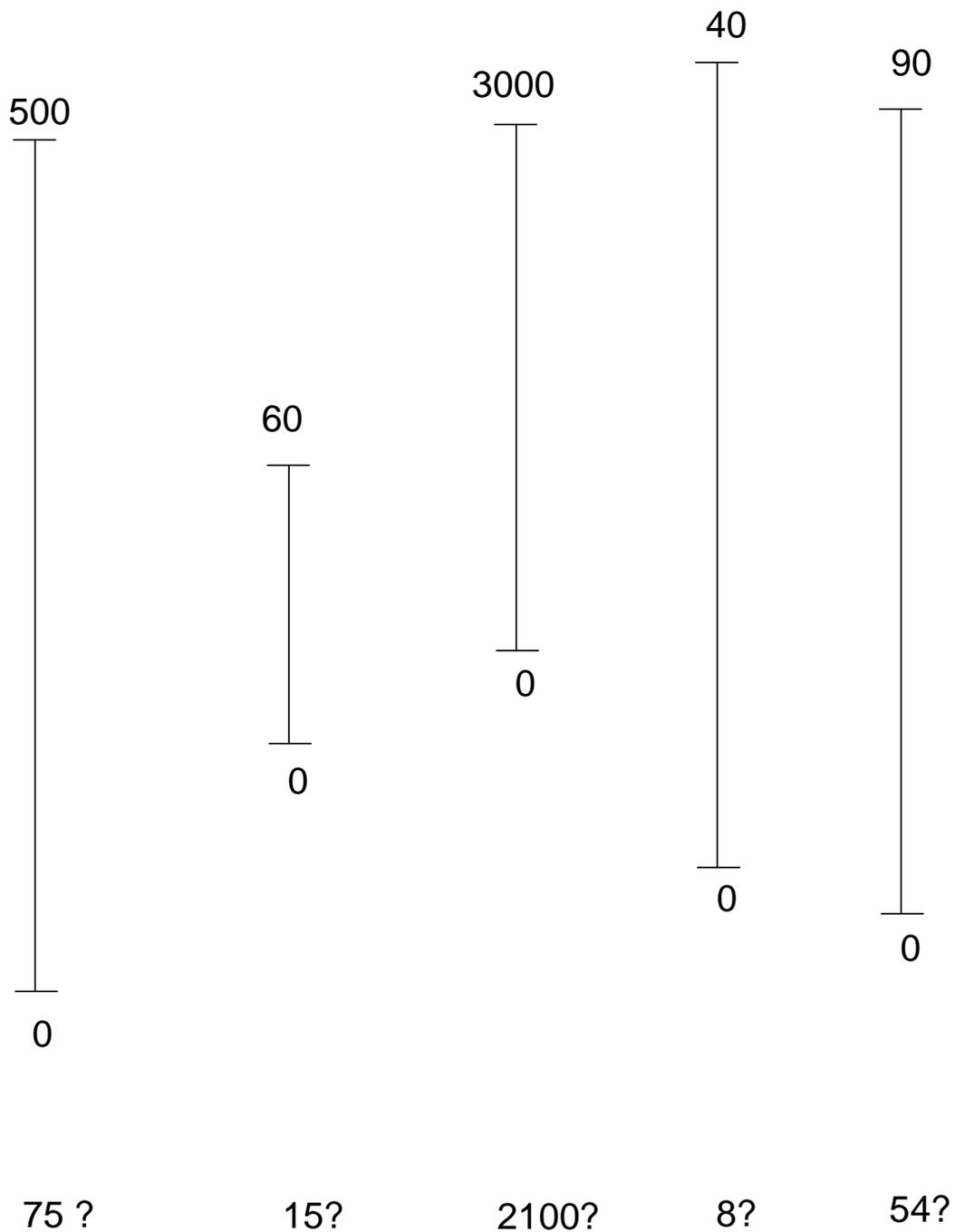


links: rechts:

Und weiter geht es mit einer anderen kleinen Knobelaufgabe auf der nächsten Seite...



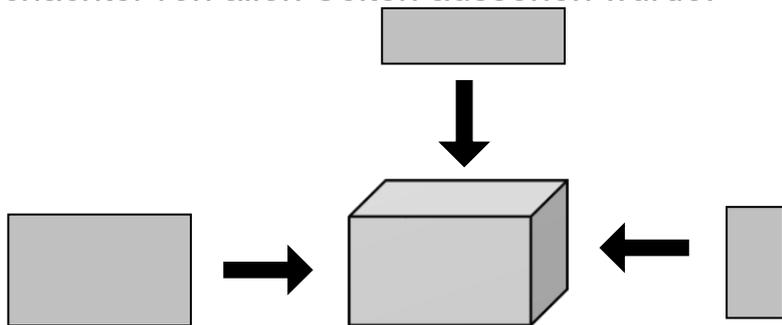
Bitte markieren Sie mit einem kleinen, waagerechten Strich die Stelle an dem jeweiligen Zahlenstrahl, wo sich die darunter stehende Zahl von der Größe her befinden müsste.



Bitte markieren mit einem kleinen, waagerechten Strich die Stelle an dem jeweiligen Zahlenstrahl, wo sich die darunter stehende Zahl von der Größe her befinden müsste.

Bei dieser Aufgabe geht es darum, sich die Schachteln von der richtigen Seite vorzustellen! Die Schachteln sind alle gleich groß, **unabhängig** von ihrer Färbung! Sie können bloß unterschiedlich herumliegen. Auf dem Gitternetz siehst du die gleich großen Schachteln von oben wie aus einem Hub-schrauber. Rechts davon sind die Ansichten – von allen vier Seiten (A, B, C, D) her gesehen – gezeichnet. Schreibe in die Kästchen ganz rechts, welche der vier Ansichten zu welcher der vier Seiten passt. Schreibe den Buchstaben der zur Ansicht gehörenden Seite (A, B, C oder D) in das zugehörige Kästchen rechts daneben.

Damit Sie es sich besser vorstellen können, sehen Sie hier, wie eine einzige Schachtel von allen Seiten aussehen würde:

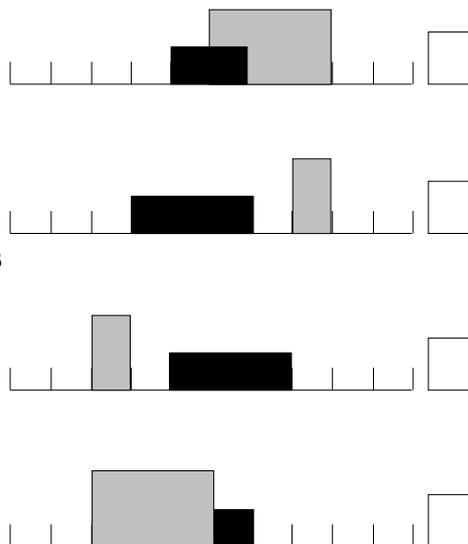
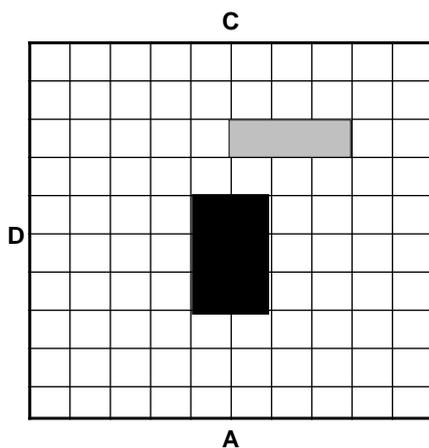


In diesem Fall geht es auch um die **Zeit**, die Sie für die **vier** Schachtel-Aufgaben benötigen. Schauen Sie also mal auf die Uhr und schreibe die aktuelle Zeit hier auf:

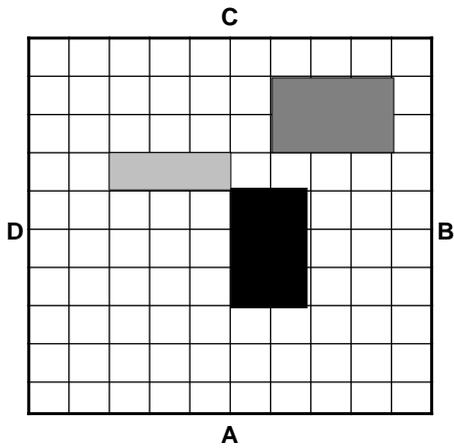
Es ist genau Uhr. – Und jetzt auf die Plätze, fertig, los...!

Hier siehst du gleich große Schachteln von oben.

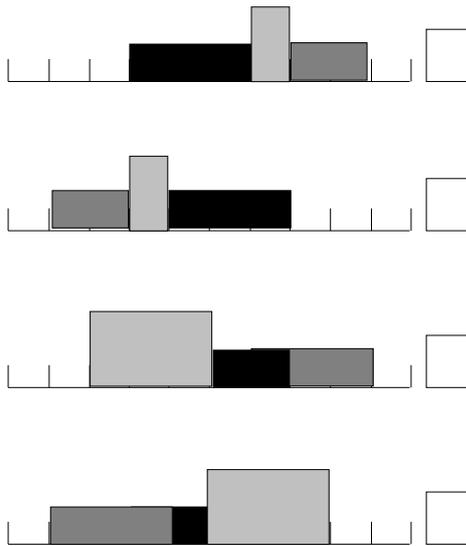
Von welcher Seite (A, B, C oder D) siehst du die Schachteln genau so wie unten gemalt?



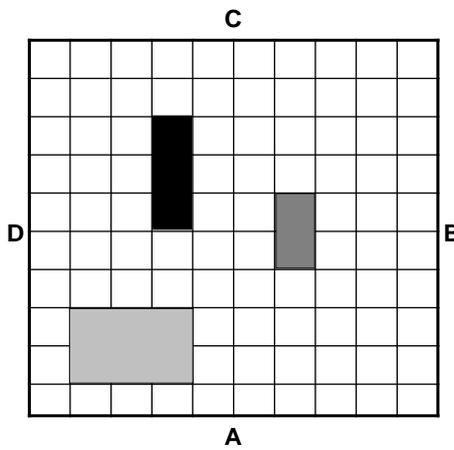
Hier siehst du gleich große Schachteln von oben.



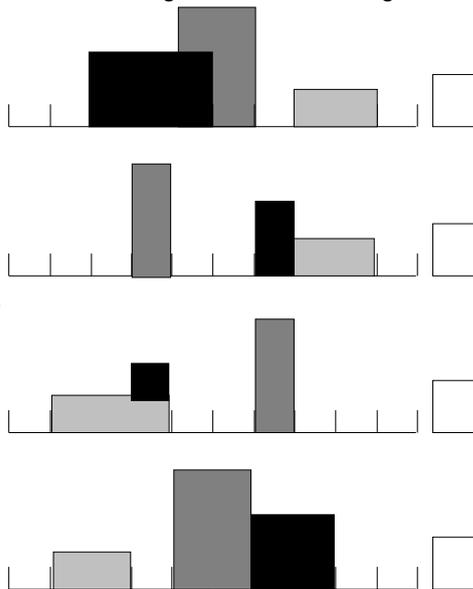
Von welcher Seite (A, B, C oder D) siehst du die Schachteln genau so wie unten gemalt?



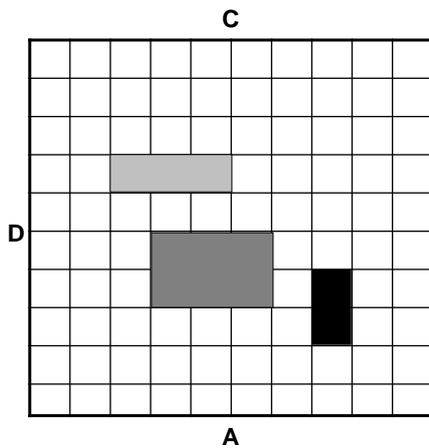
Hier siehst du gleich große Schachteln von oben.



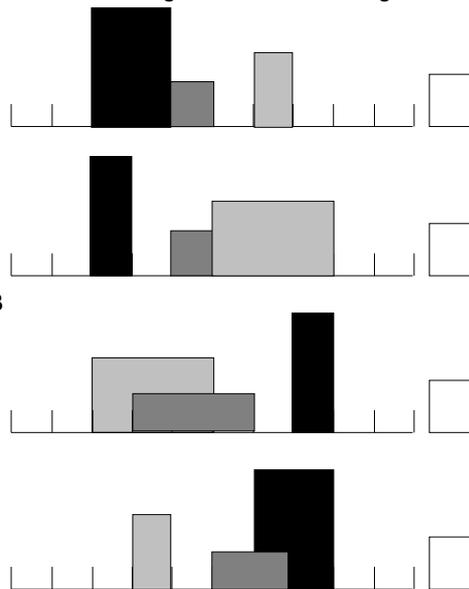
Von welcher Seite (A, B, C oder D) siehst du die Schachteln genau so wie unten gemalt?



Hier siehst du gleich große Schachteln von oben.



Von welcher Seite (A, B, C oder D) siehst du die Schachteln genau so wie unten gemalt?



Fertig mit den vier Schachtel-Aufgaben? – Dann schreiben Sie hier wieder die aktuelle Zeit hin:

Es ist jetzt Uhr.

Ich habe also Minuten gebraucht.

Zum Schluss würden wir gerne noch wissen wie Sie selbst Ihre Bearbeitung des Fragebogens einschätzen. Bitte kreuzen Sie jeweils „Ja“ oder „Nein“ an!

Ich habe mich bei der Bearbeitung des Fragebogens angestrengt und versucht, ihn so gut wie möglich zu bearbeiten.	Ja Nein
Ich hätte mich mehr angestrengt, wenn ich dafür benotet worden wäre.	Ja Nein
Ich war besonders aufgeregt bei den Aufgaben zum Vorstellungsvermögen.	Ja Nein

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!

Für den Fall, dass Sie ein T-Shirt mit der Abbildung Ihres Gehirns wünschen oder die Bilder auf CD-ROM haben möchten, müssen Sie zustimmen, dass im Nachhinein eine Verbindung zwischen den Bildern der Kernspinuntersuchung und Ihren personenbezogenen Daten hergestellt wird. Sonst ist es nicht möglich, Ihnen das T-Shirt bzw. die CD-ROM zu geben.

Diese letzte Seite trennen Sie sofort vom übrigen Bogen ab und geben sie dem betreuenden Mitarbeiter. Das Blatt wird Ihnen mit dem T-Shirt bzw. der CD-ROM ausgehändigt.

Vielen Dank!

Ja, ich möchte ein T-Shirt mit der Abbildung meines Gehirns!

Damen- größe	XS	S	M	L	XL	XXL
-------------------------	-----------	----------	----------	----------	-----------	------------

Herren- größe	XS	S	M	L	XL	XXL
--------------------------	-----------	----------	----------	----------	-----------	------------

Nein, ich möchte kein T-Shirt mit der Abbildung meines Gehirns!

Ja, ich möchte eine CD-ROM!

Nein, ich möchte keine CD-ROM!

Identifikationsnummer:

Zahl von 10 bis 99	Zahl 10 bis 99	Buch- stabe	Buch- stabe	Zahl von 10 bis 99	Zahl von 10 bis 99

Name:

.....

Tag der Promotion: 23.04.2024
Dekan: Herr Prof. Dr. M. D. Menger
Berichterstatter:
Herr Prof. Dr. K. U. Dillmann
Herr Prof. Dr. T. Hartmann
Frau Prof. Dr. E. Möhler