

Aus der
Universitätsklinik für Psychiatrie und Psychotherapie Tübingen

Das funktionelle Netzwerk der inneren Sprache

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen**

vorgelegt von

Mattfeld, Julia

2025

Dekan: Professor Dr. B. Pichler

1. Berichterstatter: Professorin Dr. B. Derntl

2. Berichterstatter: Professor Dr. G. Längle

Tag der Disputation: 23.05.2025

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	1
1 Einführung und Überblick	3
1.1 Theoretische Grundlagen.....	4
1.1.1 Innere Sprache.....	4
1.1.2 Neuronale Korrelate der inneren Sprache.....	9
1.2 Rumination.....	12
1.2.1 Neuronale Korrelate Rumination.....	13
1.3 Zusammenhang innere Sprache und Rumination.....	15
1.4 Ziel der Studie und Hypothese.....	17
2 Materialien und Methoden	19
2.1 Prozedere.....	19
2.2 Definition und Charakterisierung der erweiterten Netzwerke.....	21
2.2.1 Definition der Kernregionen.....	21
2.2.2 Funktionelle Konnektivität im aufgabenunabhängigen Ruhezustand (Resting-State).....	26
2.2.3 Funktionelle Konnektivität im aufgabenabhängigen Zustand (MACM).....	29
2.2.4 Netzwerkspezifische Konjunktion der aufgabenunabhängigen und – abhängigen funktionellen Konnektivitäten.....	31
2.3 Überlappungen zwischen den Netzwerken.....	32
3 Ergebnisse	34
3.1 Definition und Charakterisierung der erweiterten Netzwerke.....	34
3.1.1 Definition der Kernregionen.....	34
3.1.2 Netzwerkspezifische Konjunktion der aufgabenunabhängigen und – abhängigen funktionellen Konnektivitätskarten.....	37
3.1.3 Die erweiterten Netzwerke.....	37
3.2 Überlappungen zwischen den Netzwerken.....	42
4 Diskussion	45
4.1 Innere Sprache.....	46
4.2 Rumination.....	48
4.3 Überlappungskarte innere Sprache und Rumination.....	53
4.4 Limitationen und Zukunftsperspektiven.....	55
5 Zusammenfassung und Fazit	58
6 Literaturverzeichnis	60
7 Erklärung zum Eigenanteil der Dissertationsschrift	73

8 Danksagung	74
9 Anhang	75

Gender Klausel

Aus Gründen des besseren Leseflusses wurde auf geschlechtsbezogene Formulierungen verzichtet. Es soll ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass sich alle personenbezogenen Formulierungen grundsätzlich gleichermaßen auf Frauen und Männer beziehen.

Abkürzungsverzeichnis

ACC	Anteriorer cingulärer Cortex
ALE	Activation-likelihood-estimation
BOLD-Effekt	Blood Oxygenation Level Dependent
DES	Descriptive Experience Sampling
dIPFC	Dorsolateraler präfrontaler Cortex
fMRT	Funktionelle Magnetresonanztomographie
FWE	family-wise-error-correction
FWHM	full-width-at-half-maximum
HAMD-21	Hamilton Depression Rating Scale
IFG	Gyrus frontalis inferior
IOG	Gyrus occipitalis inferior
IPL	Lobulus parietalis inferior
ISS	Inner Speech Scale
ITG	Gyrus temporalis inferior
MACM	Meta-Analytic Connectivity Modelling
MCC	Medialer cingulärer Cortex
MDD	Major Depressive Disorder
MFG	Gyrus frontalis medius
MOG	Gyrus occipitalis medius
MTG	Gyrus temporalis medius
PCC	Posteriorer cingulärer Cortex
pMFC	Posterior medialer frontaler Cortex
RRS	Ruminative Response Scale
RS-Analyse	Resting-State Analyse
rsfMRT	Resting-state fMRT
SFG	Gyrus frontalis superior
SFMG	Gyrus frontalis superior medialis
SPL	Lobulus parietalis superior
STG	Gyrus temporalis superior

STI	Self-Talk Inventory
STS	Self-Talk Scale
SVQ	Self-Verbalization Questionnaire
TE	Echozeit
TR	Repetition Time
VISQ	Varieties of Inner Speech Questionnaire
vmPFC	Ventromedialer präfrontaler Cortex
VMW	Verbal Mind Wandering
WST	Wortschatztest

1 Einführung und Überblick

Unsere innere Sprache ist ein wichtiges Instrument zur Selbstreflexion und Stressregulation (Heavey et al., 2008; Morin et al., 2012). Sie hilft dabei, Gedanken zu strukturieren, Entscheidungen zu treffen, Emotionen zu verarbeiten und sich zu motivieren. Die innere Sprache entsteht automatisch, unwillkürlich und ist häufig unbewusst. Durchschnittlich führen wir ungefähr 25-50% des Tages Selbstgespräche (Morin et al., 2012; Heavy et al., 2008). Somit stellen Selbstgespräche, auch wenn wir es nicht bewusst wahrnehmen, eine zentrale Rolle in unserem alltäglichen Verhalten und unseren Gedanken dar. Die innere Sprache ist auch ein wichtiges Instrument für die Emotionsregulation und die Stressverarbeitung. Sie kann helfen mit Gefühlen der Unsicherheit besser umzugehen (Durald, 1989), das Selbstbewusstsein und Selbstwertgefühl zu steigern, Ängste besser zu bewältigen (Davidhizar, 1996) und dadurch einen positiven Einfluss auf unsere psychische Gesundheit haben. Wenn die innere Sprache jedoch abwertenden und gegen sich selbst gerichteten Inhalt annimmt, kann dies schädlich für unsere psychische Gesundheit sein (Cooney et al., 2010; Nolen-Hoeksema et al., 2008). Bei Patienten mit psychischen Erkrankungen ist die innere Sprache häufig negativ und gegen sich selbst gerichtet (Alderson-Day et al., 2015). Vor allem bei Patienten mit affektiven Störungen sind grübelnde, sich wiederholende und abwertende Gedanken kennzeichnend. Rumination oder auch Grübeln beschreibt dabei das wiederholte, selbstfokussierte Denken über erlebte negative Zustände oder vergangene Ereignisse. Dieses ruminative Verhalten stellt bei Patienten nicht nur einen Risikofaktor für den Ausbruch einiger psychischen Erkrankungen dar, sondern erhöht auch die Schwere und die Dauer des Erkrankungsbildes (Cooney et al., 2010; Nolen-Hoeksema et al., 2008).

Seit Beginn der 2000er Jahre hat die Anzahl der Publikationen zum Thema innere Sprache stark zugenommen (Morin et al., 2011; Fernyhough et al., 2013). Eine mögliche Ursache hierfür könnte die sozioökonomische Relevanz des Themas über alle Lebensbereiche hinweg sein. Aufgrund der potentiellen negativen Auswirkungen auf unsere psychische Gesundheit, wenn die innere Sprache einen abwertenden und ruminativen Charakter annimmt, nimmt es nicht nur

einen hohen Stellenwert im Gesundheitswesen ein, sondern ist auch von ökonomischer Relevanz.

Auch in der neurowissenschaftlichen Forschung hat die innere Sprache in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Zudem haben sich die Analysetechniken in der neurowissenschaftlichen Bildgebung in den letzten Jahren maßgeblich verbessert. Durch bildgebende Verfahren wie die funktionelle Magnetresonanz (fMRT) können neuronale Regionen untersucht werden, die mit der inneren Sprache in Zusammenhang stehen. Es ist anzunehmen, dass einzelne Regionen nicht allein an der Entstehung komplexer kognitiver Funktionen wie der inneren Sprache beteiligt sind, sondern mehrere Regionen gemeinsam (Kühn et al., 2014; Alderson-Day et al., 2015). Ein funktionelles Netzwerk, das an der Entstehung der inneren Sprache beteiligt ist, wurde bisher nicht umfassend identifiziert. Dementsprechend gibt es immer noch zahlreiche offene Fragen im Hinblick auf die innere Sprache.

1.1 Theoretische Grundlagen

1.1.1 Innere Sprache

Unter innerer Sprache versteht man innerlich, also schweigend, mit sich selbst zu sprechen (Morin et al., 2012). In der Literatur wird zwischen der sogenannten unterdrückten inneren Sprache und der unwillkürlichen inneren Sprache unterschieden. Die unterdrückte innere Sprache, in der Literatur auch als „*covert inner speech*“ (zu Deutsch: verdeckte innere Sprache) bezeichnet, wird ebenfalls innerlich gebildet, allerdings ist diese willkürlich. Sie kann hervorgerufen werden indem beispielsweise ein Wort oder Satz vorgegeben wird, welcher innerlich wiederholt werden soll (Shuster et al., 2005, Shergill et al., 2006). Somit ist die „*covert inner speech*“ kein unwillkürlicher Prozess, der spontan hervorgerufen wird (Kühn et al., 2014), sondern eine bewusste Aktivierung der inneren Sprache. Dies kann auch das innerliche Vorlesen eines Textes oder das innerliche Vollenden eines Satzes sein (Ait Khelifa-Gallois et al., 2015). Wie sich in der Literaturrecherche zu dem Thema feststellen ließ, wird die „*covert inner speech*“ oftmals nicht scharf genug von der unwillkürlichen inneren Sprache abgegrenzt. Häufig ist dann von der inneren Sprache die Rede, anhand des beschriebenen

Vorgehens lässt sich jedoch ableiten, dass vielmehr die „*covert inner speech*“ untersucht wurde. Ein möglicher Versuchsaufbau, um die „*covert inner speech*“ zu untersuchen, könnte wie folgt aussehen: Die Probanden liegen im Magnetresonanztomographen (MRT) und erhalten Instruktionen, in denen sie Sätze vervollständigen oder an ein bestimmtes vorgegebenes Themenfeld denken sollen (Lavigne et al., 2014; Amit et al., 2017). Dadurch wird die willkürliche innere Sprache aktiviert. Die innere Sprache der Probanden wird eingegrenzt bzw. auf ein bestimmtes Thema gelenkt. Mit Hilfe des fMRT lassen sich dann Rückschlüsse auf aktivierte Hirnregionen ziehen, während die Probanden die willkürliche innere Sprache ausführen.

In der vorliegenden Arbeit liegt der Fokus jedoch auf der unwillkürlich entstandenen inneren Sprache. Diese entsteht spontan, dabei sind die Gedanken frei und die Sprache wird innerlich und unwillkürlich gebildet (Kühn et al., 2014). In diesem Fall werden den Probanden keine Worte oder Themen vorgegeben, so dass die innere Sprache individuell und unaufgefordert entstehen kann. Grundsätzlich lässt sich die unwillkürliche innere Sprache auf mehrere Arten unterscheiden. Es wird differenziert zwischen der dialogischen und monologischen, der motivierenden und bewertenden und der kondensierten inneren Sprache, in der Sätze verkürzt werden, die Bedeutung aber erhalten bleibt (Alderson-Day et al., 2015). In der Literatur fällt im Zusammenhang mit der inneren Sprache auch immer wieder der Begriff „*verbal mind wandering*“ (VMW; zu Deutsch: Verbales Gedankenwandern). Für das VMW gibt es aktuell keine einheitliche Definition. Insgesamt lässt sich jedoch sagen, dass das VMW Gedanken beschreibt, die aufgabenunabhängig (Giambra, 1989) und stimulusunabhängig (Antrobus et al., 1966) auftreten. Das VMW wird als ein Zustand beschrieben, in dem die Gedanken unabhängig von der Umgebung spontan von einem Individuum gebildet werden (Smallwood & Schooler, 2015). Diese Beschreibung suggeriert, dass es sich beim VMW und der unwillkürlichen inneren Sprache um denselben kognitiven Vorgang handelt und diese beiden Zustände miteinander gleichzusetzen sind.

Die unwillkürliche innere Sprache stellt einen Großteil unserer täglichen Kommunikation dar (Morin et al., 2012; Heavey et al., 2008) und tritt am

häufigsten während des Lernens oder z.B. im Alltag beim Autofahren auf (Morin et al., 2018). Studien zeigten, dass es sich bei solchen Selbstgesprächen meistens um Ich-bezogene Gesprächsthemen handelt (Morin & Hamper, 2011). Insofern ist es nicht überraschend, dass Selbst-Fokus, also das Richten der Aufmerksamkeit auf das eigene Verhalten, und Selbstgespräche positiv miteinander korrelieren (Schneider et al., 2005; Siegrist et al., 1995). Die innere Sprache stellt somit einen wichtigen Bestandteil für die Selbstreflexion dar (Morin et al., 2018). Studien zeigten zudem eine signifikante Korrelation zwischen der inneren Sprache und dem Selbstbewusstsein (Siegrist et al., 1995). Bedeutungsvoll ist die unwillkürliche innere Sprache auch für unsere Motivation (Morin et al., 2012) und für Prozesse der Selbstregulation (Vygotsky et al., 1934), wozu das Planen und Setzen von Zielen, das Lösen von Problemen und das Treffen von Entscheidungen gehören (Morin et al., 2012).

Auch beim Rekapitulieren von sozialen Begegnungen, einschließlich Erinnerung an die Vergangenheit und Antizipation der Zukunft (Morin et al., 2012), beim Abrufen von autobiografischen Informationen (Morin & Hamper 2012) und bei Verarbeitungs- und Strukturierungsprozessen (Morin et al., 2012) ist die innere Sprache beteiligt. Dies erklärt mitunter die Beteiligung der inneren Sprache am Arbeitsgedächtnis (Legrand et al., 2009; Marvel et al., 2012; Buckner et al., 2008).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die unwillkürliche innere Sprache einen größeren Anteil an unserem täglichen Leben einnimmt, als man vermuten würde. Sie hat weitreichenden Einfluss auf unsere alltäglichen Entscheidungen, unsere Gefühlswelt und wie wir mit vergangenen Ereignissen umgehen. Damit nimmt sie maßgeblich Einfluss auf unser Selbstbewusstsein, wie wir mit Problemen umgehen, negative Situationen verarbeiten und selbstreflektieren.

Die Beteiligung der inneren Sprache an dieser Vielzahl von wichtigen kognitiven und verhaltensregulierenden Funktionen lässt darauf schließen, dass es sich um einen Schlüsselaspekt für unsere mentale Gesundheit handelt (Morin et al., 2018). Die Qualität der Selbstgespräche ist dabei entscheidend. Sie kann selbstbestärkend, Selbstbewusstsein steigernd und wertschätzend sein,

beispielsweise durch Selbstlob für eine erfolgreiche Präsentation. Sie kann allerdings auch geringschätzig oder gar demütigend sein. Insbesondere in Stresssituationen nimmt der Anteil an Selbstgesprächen zu, dabei ist die Sprache häufig negativ und abwertend (Berman et al., 2011). Bei Personen mit psychischen Störungen wie Depressionen oder Angststörungen ist die innere Sprache oft erniedrigend und demotivierend. Dadurch kann sie zur Entstehung oder Aufrechterhaltung der Erkrankung beitragen (Morin et al., 2012).

Unsere innere Sprache ist also ein positives Instrument der Selbstregulation, Selbstreflexion und unseres Stressmanagements. Dauerhaft abwertende Selbstgespräche können aber einen negativen Einfluss auf unsere psychische Gesundheit haben.

Die unwillkürliche innere Sprache kann mittels verschiedener psychologischer Fragebögen untersucht werden, welche unterschiedliche Konzepte erheben. Nachstehend sind einige von ihnen aufgelistet:

- Varieties of Inner Speech Questionnaire (VISQ; McCarthy-Jones & Fernyhough, 2011): Dieser Fragebogen misst die Qualität und den Charakter der inneren Sprache, beispielsweise ob diese wertend, motivierend, monologischen oder dialogischen Ursprungs ist.
- Self-Verbalization Questionnaire (SVQ; Duncan & Cheyne's, 1999): Diese Skala misst mit 27 verschiedenen Items in welchem Ausmaß die Probanden laut, aber auch innerlich mit sich selber sprechen.
- Self-Talk Scale (STS; Brinthaup, 2009): Dieser Fragebogen legt den Fokus auf die innere Sprache in Bezug auf verschiedene Situationen und Verhaltensweisen.
- Inner Speech Scale (ISS; Siegrist, 1995): Misst inwieweit man mit sich selbst über Ich-bezogene Themen spricht.
- Self-Talk Inventory (STI; Calvete et al., 2005): Dieser Fragebogen beschäftigt sich mit dem Unterschied zwischen negativer und positiver innerer Sprache.

Geäußerte Kritik bei den genannten Fragebögen ist die geringe konvergente Validität, die auf den unzureichenden Umfang der Fragebögen zurückzuführen ist (Utt et al., 2011). Dadurch ist es nicht ausreichend möglich, individuelle Unterschiede zwischen den Probanden herauszufiltern. Weitere Kritik besteht darin, dass das Ausmaß und die Variabilität der inneren Sprache in den aktuellen Fragebögen nicht genügend wiedergespiegelt wird (Utt et al., 2011). Hinzu kommt die Annahme, dass die Teilnehmenden wohlmöglich den Anteil an innerer Sprache überschätzen, wenn sie sich mit einem solchen Fragebogen beschäftigen (Alderson-Day et al., 2015). Außerdem wird diskutiert, dass die Fragebögen zur inneren Sprache entweder die Sprachfrequenz eindeutig erfassen, dabei aber den Inhalt vernachlässigen oder selbst berichtete Gedankengänge in übermäßig vereinfachte Kategorien einteilen (Morin et al., 2018). Die Fragebögen zur inneren Sprache sind in bestimmten Szenarien und ausgewählten Anwendungsfällen geeignet, um die innere Sprache zu untersuchen, da sie grundsätzlich zuverlässig sind. Die Ergebnisse müssen jedoch im Hinblick auf die geringe Validität vorsichtig interpretiert werden.

Ein weiterer Ansatz um die innere Sprache spontan, in einem natürlichen Umfeld zu untersuchen, ist das „*Descriptive Experience Sampling*“ (DES; zu Deutsch: Deskriptive Erfahrungsstichprobe). Grundsätzliches Ziel dieser Methode ist es in einem zufälligen, spontanen Moment die innere Sprache stichprobenartig in einer Art Erfahrungsbericht zu erfassen. Dabei werden die Teilnehmenden im Alltag mit einem mobilen Gerät ausgestattet, welches in zufälligen Intervallen einen lauten Ton abspielt. Wenn dieser Ton ertönt, sollen die Probanden beschreiben, ob sie in den letzten Minuten Selbstgespräche geführt haben, welchen Inhalt diese hatten und dies verschriftlichen (Heavey et al., 2008; Hurlburt et al., 2016; Fernyhough et al., 2018; Kühn et al., 2014).

Eine weitere Möglichkeit die innere Sprache zu untersuchen ist die Messung mittels fMRT. Dabei können aktivierte Hirnregionen sichtbar gemacht werden. Dies beruht auf dem unterschiedlichen Sauerstoffgehalt der Erythrozyten, die durch die Blutgefäße zu den Nervenzellen im Gehirn gelangen. Die Veränderung

des fMRT-Signals hängt dabei vom Grad der Sauerstoffanreicherung im Blut ab. Dieses Phänomen wird auch als Blood Oxygenation Level Dependent oder kurz als BOLD-Effekt bezeichnet (Forster et al., 1998). Dieser basiert darauf, dass oxygeniertes Blut im Gegensatz zu desoxygeniertem Blut in T₂-sensitiven Gewichtungen ein stärkeres Magnetresonanz-Signal generiert. Die erhöhte neuronale Aktivität führt in den aktivierten Hirnregionen zu einem erhöhten Sauerstoffverbrauch, welches zunächst zu einer erhöhten Menge desoxygenierten Blutes führt. Die nachfolgende Steigerung der zerebralen Durchblutung führt anschließend allerdings zu einem höheren Anteil an oxygeniertem Blut und folglich zu einem erhöhten Signal in den Magnetresonanz-Bildern. Somit kann über die Höhe des Sauerstoffgehalts in bestimmten Hirnregionen indirekt auf die Aktivierung dieser geschlossen werden (Forster et al., 1998).

Um die unwillkürlich innere Sprache mit Hilfe des fMRTs zu untersuchen, erhalten die Probanden die Instruktion keiner Aufgabe nachzugehen, ruhig im fMRT zu liegen und die Gedanken kommen und gehen zu lassen. Um den Inhalt der inneren Sprache zu erfassen, werden die Probanden im Anschluss an die Messungen befragt welche Themen sie innerlich durchgegangen sind (Kühn et al., 2014). Durch die Aktivierung der unwillkürlichen inneren Sprache in diesem Setting und mit Hilfe des fMRT können dann Rückschlüsse auf die aktivierten Hirnareale gezogen werden.

1.1.2 Neuronale Korrelate der inneren Sprache

Studien zur Bildgebung des Gehirns lassen vermuten, dass bei der Bildung der inneren Sprache der Gyrus frontalis inferior (IFG) eine bedeutende Rolle einnimmt (Morin et al., 2018). Neben dem IFG zeigen auch weitere Hirnregionen im Bereich des Frontallappens eine gesteigerte Aktivität. Insgesamt nimmt der Frontallappen eine zentrale Stellung bei Bildung der inneren Sprache ein (Morin & Hamper, 2012). Jedoch sind auch Hirnregionen aus anderen Anteilen des Telencephalons für die Sprachproduktion und das Sprachverständnis essentiell. Im Folgenden wird detailliert auf die einzelnen Hirnregionen und deren Bedeutung in Bezug auf die innere Sprache eingegangen.

Der Frontallappen stellt einen Teil der menschlichen Großhirnrinde dar und besteht unter anderem aus dem Gyrus frontalis superior (SFG), dem Gyrus frontalis medius (MFG) und dem Gyrus frontalis inferior (IFG). Insbesondere dem linken IFG kommt als Zentrum für Sprachproduktion eine besondere Bedeutung zu, da er das sogenannte "Broca-Zentrum" beinhaltet (Morin, 2012).

Der IFG kann in drei Anteile unterteilt werden. Rostral liegt die pars opercularis, gefolgt von der pars triangularis und endet caudal mit der pars orbitalis (Terminologia Anatomica, 1998). Die pars triangularis, meist auf der dominanten Hemisphäre, wird als motorisches Sprachzentrum (Broca-Zentrum) bezeichnet und dient der Initiierung und Koordinierung des komplexen Sprechvorgangs (Terminologia Anatomica, 1998). Läsionsbedingte Ausfälle im Broca-Areal führen zu einer motorischen Aphasie, bei dem das Sprachverständnis meist erhalten, die Sprachproduktion jedoch reduziert ist (Daroff et al., 2012). Neben der vielfältigen Aktivierung bei linguistischen Prozessen wie der Sprachverarbeitung, Sprachproduktion und der Auswertung semantischer Informationen (Briggs et al., 2019) spielt der IFG eine wichtige Rolle, wenn es um das Abrufen autobiografischer Inhalte geht (Morin & Hamper, 2012).

Ebenfalls im Frontallappen lokalisiert sind der dorsolaterale und der ventromediale präfrontale Cortex (dlPFC, vmPFC). Dabei wird dem dlPFC eher eine Bedeutung bei kognitiven Aufgaben, Beteiligung am Arbeitsgedächtnis und bei der Aufmerksamkeit zugesprochen, während der vmPFC eher mit emotionalen, affektiven Empfindungen verbunden ist (Koenigs et al., 2009).

Die Insula liegt in der Tiefe des Sulcus lateralis (Sylvi'sche Fissur) der Großhirnrinde und wird verdeckt durch den Frontal-, Parietal und Temporallappen. Makroskopisch wird sie in einen größeren anterioren Anteil und einen kleinere posterioren Anteil eingeteilt (Gogolla, 2017). Die Aufgaben der Insula sind vielfältig. Sie integriert Informationen aus verschiedenen funktionellen und sensorischen Systemen. Zu ihren Funktionsbereichen gehören die Schmerzverarbeitung, die Emotionsregulation, Empathie, Sprachverarbeitung (Bamiou et al., 2003; Kurth et al., 2010) und die Beteiligung am Arbeitsgedächtnis (Sörös et al., 2007).

Der Parietallappen stellt ebenfalls einen Teil des Telencephalons (Großhirns) dar und liegt anatomisch zwischen dem Sulcus centralis (rostral), dem Sulcus parietooccipitalis (okzipital) und dem Sulcus lateralis (kaudal). Besonders die superioren und inferioren Anteile des Parietallappens scheinen mit der inneren Sprache in Verbindung zu stehen (Grandchamp et al., 2019). Die Hauptfunktion liegt jedoch in der Integration von sensorischen Informationen (Trepel, 2008). Zum Parietallappen zugehörig sind der Gyrus postcentralis, der Gyrus supramarginalis sowie der Gyrus angularis, welcher sich unmittelbar hinter dem sogenannten Wernicke-Zentrum befindet. An dieser Stelle werden Informationen der Seh- und Hörrinde miteinander verknüpft. Daraus gewonnene Informationen dienen vor allem der räumlichen und visuellen Orientierung sowie der Sprache (Trepel, 2008).

Der Temporallappen wird kranial durch den Sulcus lateralis (Sylvi'sche Fissur) vom Frontal- und Parietallappen getrennt, sowie caudal vom Okzipitallappen (Schünke et al., 2009). Als funktionelle Bestandteile umfasst er die primäre und sekundäre Hörrinde, sowie den Hippocampus und als posterioren Anteil das Wernicke-Areal. Letzteres erstreckt sich bis zum Gyrus angularis des Parietallappens und verbreitet Informationen von Gehörtem und Gesehenem (Trepel, 2008). Damit ist er für die Spracherkennung und das Sprachverständnis verantwortlich. Durch die Interaktion mit sprachmotorischen Kortexarealen ist es auch für die Sprachproduktion im Rahmen willkürlicher sprachlicher Mitteilungen verantwortlich (Kahle und Frotscher, 2009). Kommt es zu einer Schädigung neuronaler Strukturen in diesem Gebiet führt dies zu einer sogenannten Wernicke-Aphasie (sensorische Aphasie), bei der das Sprachverständnis gestört ist. Fließendes Reden ist meist weiterhin möglich, jedoch zusammenhangslos mit vielen Neologismen (Wortneubildungen) (Altschuler et al., 2006).

Der Okzipitallappen liegt dorsal des Telencephalons und befindet sich anatomisch zwischen dem Parietallappen, von welchem er durch den Sulcus parietooccipitalis getrennt ist, dem Temporallappen und dem Kleinhirn (Schünke

et al., 2009; Trepel, 2008). Er beinhaltet die primäre und sekundäre Sehrinde (visueller Cortex). Daher liegt seine Hauptaufgabe in der Verarbeitung visueller Reize und Interpretation der Seheindrücke (Kahle und Frotscher, 2009). Insbesondere der mittlere occipitale Gyrus zeigt jedoch auch verstärkte Aktivität bei Verwendung der inneren Sprache (Grandchamp et al., 2019).

Der Gyrus cinguli (Gürtelwindung) befindet sich superior des Corpus callosum (Balken) und ist beteiligt an der Emotionsregulation und an der Verarbeitung sensibler Stimuli (Keller et al., 2008). Der cinguläre Cortex kann in einen anterioren, einen mittleren und einen posterioren Anteil unterteilt werden (Vogt et al. 1992). Der anteriore cinguläre Cortex (ACC) stellt einen wichtigen Teil des limbischen Systems dar (Vogt et al. 1992). Der posteriore Anteil des cingulären Cortex (PCC) ist an der Schmerzverarbeitung, dem autobiographischen und episodischen Gedächtnis beteiligt und trägt durch Erinnerung an diverse Ereignisse auch zum Sprachverständnis und zur Sprachproduktion bei (Nielsen et al., 2005; Bromm, 2001).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass insbesondere der Frontallappen, im Einzelnen der MFG, der SFG, der IFG und der dIPFC an der Bildung der inneren Sprache beteiligt sind. Weitere involvierte Hirnregionen sind der Lobulus parietalis superior (SPL), Lobulus parietalis inferior (IPL), der Gyrus temporalis medius (MTG), das Wernicke Areal (als posteriorer Anteil des Temporallappens), der Gyrus occipitalis medius (MOG), der PCC und die anteriore Insula (Kühn et al., 2014; Grandchamp et al., 2019; Alderson-Day et al., 2016; Fama et al., 2017; Perrone-Bertolotti et al., 2014).

1.2 Rumination

Rumination (oder Grübeln) ist ein interner kognitiver Zustand, der durch rekursives, selbstreferentielles Denken über erlebte traumatische Zustände und vergangene negative Ereignisse gekennzeichnet ist (Nolen-Hoeksema und Morrow, 1991; Milazzo et al., 2014). Andauerndes, selbstfokussiertes Denken

und wiederholtes Grübeln über zurückliegende Geschehnisse sind dabei bezeichnend für die Rumination (Fox et al., 2018; Watkins et al., 2005). Auch sind Fokussierung auf bedrückende Gedanken, deren Ursache und deren Konsequenzen ein typisches Kennzeichen für ruminatives Denken (Nolen-Hoeksema et al., 2008). Rumination ist zurückzuführen auf ein Defizit in der Hemmung negativer Erinnerungen, so dass Menschen, die zur Rumination neigen, Schwierigkeiten haben negative Gedanken und Erinnerungen zu unterdrücken (Joormann, 2005). Dies führt zu einer anhaltenden Beschäftigung mit diesen negativen Inhalten. Personen, die viel ruminieren, zeigen eine verstärkte emotionale Reaktion auf belastende Ereignisse und einen erleichterten Zugang zu negativen Erinnerungen (Cooney et al., 2010).

Rumination ist ein stabiles und häufig auftretendes Merkmal bei Patienten mit Depression, unabhängig vom aktuellen Schweregrad der Erkrankung (Nolen-Hoeksema, 1991; Nolen-Hoeksema et al., 2008). Sie tritt jedoch auch in weiteren psychischen Erkrankungen wie der Dysthymie oder bei Angststörungen auf (Ruscio et al., 2015).

Diese abwertende Form der inneren Sprache kann Einfluss auf die Entwicklung, Dauer, Schwere und Aufrechterhaltung einer Depression haben (Cooney et al., 2010; Nolen-Hoeksema et al., 2008). Gesunde Personen, die stark ruminieren, haben zudem eine größere Wahrscheinlichkeit in Zukunft eine depressive Episode zu durchleben (Cuijpers & Smit, 2004; Hayakawa et al. 2013). Daher stellt Rumination für die Entstehung und für den Rückfall von Depressionen einen kognitiven Risikofaktor dar (Wang et al., 2015; Lyubomirsky & Nolen-Hoeksema, 1995).

1.2.1 Neuronale Korrelate der Rumination

Durch den Einfluss der Rumination auf die psychische Gesundheit und die damit einhergehenden sozioökonomischen Auswirkungen, hat die Forschung zu diesem Thema in Vergangenheit stark an Popularität gewonnen. Beispielsweise führte Zhang et al. (2020) kürzlich eine Studie zur Erstellung eines Ruminationsnetzwerks durch. In dieser wurde zunächst die Hamilton Depression Rating Scale (HAMD-21) bei depressiven Patienten und einer Kontrollgruppe

durchgeführt, um depressive Symptome zu erfassen. Anschließend wurden mithilfe der Ruminative Response Scale (RRS) ruminative Tendenzen der Probanden erfasst (Zhang et al., 2017). Es folgte eine Messung im fMRT. Währenddessen erhielten die Probanden mehrere ruminative Instruktionen mit dem Ziel einen ruminativen Zustand zu erlangen. Zu Beginn wurden die Teilnehmenden aufgefordert sich an verschiedene negative Situationen zu erinnern (bspw. „einen Moment, an dem sie selber sehr verletzt wurden“). Danach folgte die eigentliche Ruminationsinduktion. Als Grundlage dafür wurde die Ruminationsinduktionsaufgabe von Burkhouse et al. (2017) und Cooney et al. (2010) herangezogen. Dies umfasste Fragen wie „Welche Persönlichkeitsaspekte sind anderen Personen an Ihnen wichtig?“. Gefolgt wurden die Ruminationsaufgaben von einer Bewertung der aktuellen Gefühlslage (bspw. „Wie traurig fühlen Sie sich?“) und einer Bewertung des Selbst-Fokuses (bspw. „Wie sehr fokussieren Sie sich auf sich selbst?“).

Als Ergebnis dieses Studienaufbaus konnte ein Ruminations-Netzwerk festgelegt werden, welches folgende Hirnregionen beinhaltet: Den IFG, den MFG, den dlPFC, den vmPFC und den orbitofrontalen Cortex, die Insula, den ACC, PCC, den Gyrus parahippocampalis, den Thalamus, den IPL, das Putamen, den Precuneus, den Gyrus occipitalis medius und die Amygdala (Zhang et al., 2020). Andere Studien stützen die von Zhang et al. (2020) gewonnen Erkenntnisse und bestätigen eine erhöhte Aktivität des dlPFC, ACC, vmPFC, PCC und Gyrus parahippocampalis während der Rumination (Cooney et al., 2010; Fox et al., 2018; Milazzo et al., 2014).

Der dlPFC nimmt eine besondere Funktion im Rahmen der Rumination ein. Er ist in der kognitiven Regulierung affektiver Prozesse involviert (Wolkenstein & Plewnia, 2013; Fales et al., 2008). Während der Rumination zeigt diese Hirnregion eine kräftige Aktivität (Cooney et al., 2010), welche bei depressiven Patienten jedoch vermindert ist, wenn sie nach einer ruminativen Aufgabe aufgefordert werden einen negativen Stimulus zu ignorieren (Wolkenstein & Plewnia, 2013; Fales et al., 2008). Die verminderte Aktivierung des dlPFC führt demnach zu einer reduzierten kognitiven Kontrolle über die affektive

Verarbeitung und im Weiteren zu verstärkten negativen Gedanken, welches einen wichtigen Teil der Pathogenese für die Entstehung von Depressionen erklärt (Wang et al., 2015).

1.3 Zusammenhang innere Sprache und Rumination

Die innere Sprache ist eine wichtige kognitive Funktion für die psychische Gesundheit. Sie hilft vergangene Ereignisse zu verarbeiten, Stress zu regulieren, Emotionen einzuordnen, in schwierigen Situationen zu reflektieren und zu motivieren (Vygotsky et al., 1934; Morin et al., 2012; Heavey et al., 2012). Wird die innere Sprache jedoch vermehrt abwertend und ruminativ, kann sie einen Risikofaktor für die Entstehung und die Aufrechterhaltung einer Depression darstellen (Cooney et al., 2010; Nolen-Hoeksema et al., 2008). Demzufolge ist anzunehmen, dass Rumination und innere Sprache auch auf neuronaler Ebene eng miteinander verknüpft sind und ähnliche Hirnareale aktiviert werden.

Anhalt für die Existenz derartiger Aktivierungen ergibt sich aus bereits durchgeführten Studien. In zwei Studien konnten McLaughlin und Kollegen (2007) zeigen, dass die innere Sprache und Rumination eng miteinander verknüpft sind. Dafür unterbrachen sie ihre Probanden während einer induzierten Rumination abrupt und befragten sie anschließend, ob die Art der Rumination visuell, verbal oder anders war. Es zeigte sich, dass über 65% der Teilnehmenden verbale Gedanken während ruminativer Aufgaben hatten.

In einer weiteren Studie von Goldwin et al. (2012) konnte ebenfalls eine signifikante Aktivierung der inneren Sprache während der Rumination im Vergleich zur Baseline detektiert werden. Dafür wurden die Probanden zunächst aufgefordert sich drei persönliche, sorgenerfüllende Lebensereignisse ins Gedächtnis zu rufen. Für die anschließende Messung im fMRT sollten die Probanden über ein Thema ihrer Wahl nachdenken. Alle 90 Sekunden wurden die Probanden unterbrochen. Im Anschluss sollten sie notieren, ob es sich bei dem vorherigen Gedankeninhalt um bildliche oder verbale Gedanken gehandelt hat und wie schnell sie ihre Aufmerksamkeit wieder der Gegenwart widmen konnten. Abschließend folgte jeweils eine 6-minütige Instruktionen, in denen sich die Teilnehmenden nacheinander Gedanken über Ereignisse in der Zukunft und

um Geschehnisse in der Vergangenheit machen sollten. Das Ergebnis dieser Studie zeigte, dass die verbale Aktivität der Gedanken während der Rumination signifikant über der Baseline lag und diese mit jedem Messzyklus zunahm (Goldwin et al., 2012).

Eine weitere Studie von Moffatt und Kollegen (2020) untersuchte den Charakter der inneren Sprache während einer induzierten ruminativen Instruktion im Vergleich zu einem Distraktor. Der ruminative Zustand wurde hervorgerufen indem die Probanden sechs Minuten über die Ursachen, Konsequenzen und Bedeutung ihrer aktuellen Gedanken nachdenken sollten. Die Distraction wurde erzeugt, indem die Teilnehmenden plötzlich über einen Prompter das Signal erhielten über eine ihnen bekannte Stadt nachzudenken. Die innere Sprache nahm während der induzierten Rumination im Vergleich zum induzierten Distraktor signifikant häufiger einen dialogischen und evaluativen Charakter an. Zudem gaben die Probanden an, während der Rumination signifikant mehr verbale Gedanken zu haben, während bei dem induzierten Distraktor die Gedanken visuelle Formen annahmen (Moffatt et al., 2020).

Eine andere Studie untersuchte die aktivierten Hirnregionen während der induzierten Rumination im Vergleich zur induzierten Distraction sowohl bei Patienten mit Depressionen als auch bei klinisch gesunden Teilnehmenden. Dafür wurde durch verschiedene Instruktionen zunächst die Rumination und im Anschluss die Distraction in den Teilnehmenden hervorgerufen. Als Ergebnis ließ sich eine erhöhte Aktivität in der Amygdala während des Ausübens der inneren Sprache bei Patienten mit Depressionen im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe (Cooney et al., 2010) nachweisen. Einen ähnlichen Versuchsaufbau hatte auch die von Milazzo et al. (2014) durchgeführte Studie, diese beschränkte sich jedoch auf ausschließlich klinisch gesunde Probanden. Im Ergebnis zeigte sich auch hier eine erhöhte Aktivität der Amygdala während des Ausübens ruminativer innerer Sprache (Milazzo et al., 2014).

Diese Erkenntnisse bestärken die Annahme, dass zwischen der Rumination und der inneren Sprache ein Zusammenhang besteht und, dass die Rumination als eine kondensierte, internalisierte Form der inneren Sprache angesehen werden kann (Nalborczyk et al., 2017, 2021).

1.4 Ziel der Studie und Hypothese

Die innere Sprache ist seit der Jahrtausendwende als Forschungsthema immer mehr in den Fokus gerückt (Morin et al., 2011; Fernyhough et al., 2013). Bislang gibt es auf neuronaler Ebene jedoch noch kein genau definiertes Netzwerk für die innere Sprache, welches strikt zwischen der willkürlichen und unwillkürlichen inneren Sprache differenziert. Ziel dieser Arbeit war daher die Charakterisierung eines erweiterten Netzwerks für die unwillkürliche innere Sprache. Dabei sollte keine Aktivierungsstudie durchgeführt werden, welche ausschließlich Hirnregionen umfasst, die im Rahmen der inneren Sprache aktiviert werden. Es sollte ein Netzwerk erstellt werden, das die neuronalen Regionen, die im komplexen Prozess der inneren Sprache miteinander interagieren, als funktionelle Einheiten abbildet. Dieser funktionelle Zusammenhang lässt sich in einem erweiterten Netzwerk darstellen. Für die Charakterisierung dieses Netzwerkes wurden daher basierend auf der Literatur Hirnregionen herangezogen, die während der inneren Sprache aktiv sind. Für diese Regionen sollte überprüft werden, ob sie zeitliche Ko-Aktivierungen aufweisen und ihre zeitlichen Verläufe somit miteinander korrelieren.

Analog zu dem Netzwerk der inneren Sprache sollte ein erweitertes Netzwerk der Rumination erstellt werden. Anders als bei dem von Zhang et al. (2020) beschriebenen Netzwerk sollte kein neuronales, sondern ein funktionelles Netzwerk erstellt werden. Dieses sollte Hirnregionen umfassen, die zuverlässig, unabhängig ob eine Aufgabe bearbeitet wird oder nicht, Teil des Netzwerkes sind und somit Rückschlüsse auf die Funktion des Netzwerkes erlauben.

Es gibt bereits zahlreiche Hinweise darauf, dass ein Zusammenhang zwischen der inneren Sprache und der Rumination besteht (Milazzo et al., 2014; Cooney et al., 2010). Jedoch handelt es sich bei den zu diesen Themen durchgeführten Studien um Aktivitäts-Studien, die nicht die neuronale Beziehung der Netzwerke zueinander untersucht haben. Durch das Erstellen der erweiterten Netzwerke innere Sprache und Rumination und Überprüfung der Überlappung beider Netzwerke könnte der Zusammenhang auch auf hirnfunktioneller Ebene

nachgewiesen werden. Dadurch könnten Atypien erkannt werden und möglicherweise neue Ansatzpunkte in Bezug auf die Pathogenese einiger psychischer Krankheiten gewonnen werden. Außerdem bietet der Nachweis potentiell eine Basis für neue Therapieperspektiven wie zum Beispiel beim Biofeedback oder die Beeinflussung der ruminativen Gedankenmuster durch eine bewusste Änderung der inneren Sprache.

Zudem ließe sich bestätigen, ob die Rumination als eine kondensierte Form der inneren Sprache angesehen werden kann, wie es in der Vergangenheit bereits postuliert wurde (Nalborczyk et al., 2021, Alderson-Day et al. 2015).

Hypothesen:

- (1) Aufgrund der aktivitätsstudienbasierten Literatur erwarten wir, dass folgende neuronale Regionen zeitlich ko-aktiviert sind und somit ein funktionelles Netzwerk der inneren Sprache bilden: Der bilaterale SFG, der bilaterale MFG und der bilaterale IFG, der bilaterale SPL und IPL, der bilaterale MOG, die bilaterale Insula, der linke präfrontale Cortex und der rechte Gyrus temporalis inferior (ITG).
- (2) Im erweiterten Netzwerk der Rumination erwarten wir eine zeitliche Ko-Aktivierung und somit einen funktionellen Zusammenhang zwischen den Regionen rechter ACC, linken PCC, bilaterale Amygdala, bilateraler Precuneus, bilateraler IFG, bilateraler SPL, bilateraler IPL und der rechten Insula.
- (3) Wir erwarten Überschneidungspunkte zwischen dem Netzwerk der inneren Sprache und dem Ruminations-Netzwerk im bilateralen MOG, bilateralen MFG, bilateralen IFG, bilateralen SPL und IPL, rechten ITG und der rechten Insula.

2 Materialien und Methoden

2.1 Prozedere

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, erweiterte Netzwerke für a) die innere Sprache und b) Rumination zu erstellen. Dafür wurden in aufeinanderfolgenden Schritten folgende Teilschritte durchgeführt: (1) Systematische, literaturgeleitete Definition der Kernregionen für jedes Netzwerk, (2a) Charakterisierung der aufgabenunabhängigen Netzwerke und (2b) Charakterisierung der aufgabenabhängigen Netzwerke. Anschließend wurden (3) die aufgabenunabhängigen (siehe 2a) und aufgabenabhängigen (siehe 2b) Netzwerke kombiniert, um die erweiterten Netzwerke zu generieren. Dieses Vorgehen wird hier im Detail beschrieben und ist in Abbildung 1 dargestellt:

(1) Auf Grundlage der aufgestellten Hypothesen wurden als erster Schritt Kernregionen aus der Literatur herausgearbeitet. Dafür war zunächst eine ausführliche Literaturrecherche notwendig. Hieraus wurden die Hirnregionen abgeleitet, die bei der Verwendung a) der inneren Sprache und b) der Rumination aktiv sind.

(2) Für jede Kernregion wurde daraufhin (i) eine Resting-State Analyse durchgeführt, die alle Hirnregionen beschreibt, die in einem aufgabenunabhängigen Stadium aktiviert werden. (ii) Parallel dazu wurde für jede Kernregion eine MACM-Analyse („meta-analytic connectivity modelling“) durchgeführt, die wiederum alle die Regionen beschreibt, die in einem aufgabenabhängigen neuronalen Zustand aktiv sind. (iii) Durch Kombination der Resting-State Analyse und der MACM-Analyse konnten Konjunktionskarten über diese zwei Zustände (aufgabenabhängig und aufgabenunabhängig) erstellt werden. Diese Konjunktionskarten umfassen für jede Kernregion die Hirnregionen, die aufgabenabhängig und -unabhängig aktiv sind.

(3) Durch die Überlappung der Konjunktionskarten pro Kernregion für das gesamte Netzwerk wurden die erweiterten Netzwerke erstellt. Um als Region in

dem erweiterten Netzwerk zu erscheinen, muss die jeweilige Region in mindestens vier Konjunktionskarten enthalten sein. Dies ist notwendig, um alle Regionen zu erfassen, die eine robuste funktionelle Konnektivität untereinander und somit eine signifikante Überschneidung aufweisen (Camilleri et al., 2018).

(4) Die erweiterten Netzwerke für die innere Sprache und Rumination werden in einem weiteren Analyseschritt auf Überlappungen getestet.

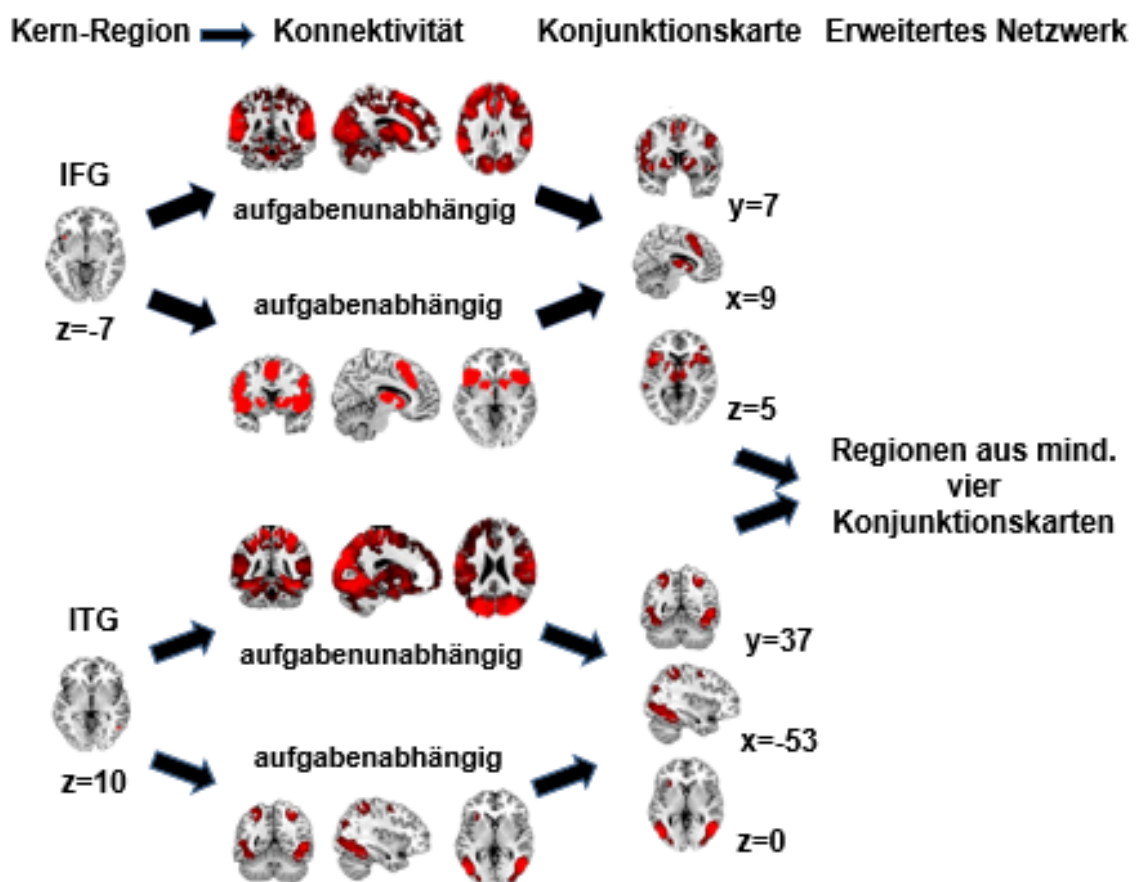


Abbildung 1: Beispielhafte Darstellung der Analyseschritte für zwei Kernregionen (linker inferiorer frontaler Gyrus (IFG), rechter inferiorer temporaler Gyrus (ITG)) aus dem Netzwerk innere Sprache. Für jede Kernregion wurde eine Konnektivitätskarte für aufgabenabhängige und aufgabenunabhängige funktionelle Konnektivität erstellt. Im Weiteren wurde für jede Kernregion eine Konjunktionskarte über die aufgabenabhängige und aufgabenunabhängige Konnektivitätskarte erstellt. Anschließend wurde für die erweiterten Netzwerke aus den Konjunktionskarten jene Regionen extrahiert, die in mehr als vier Konjunktionskarten enthalten sind (Camilleri et al., 2018).

2.2 Definition und Charakterisierung der erweiterten Netzwerke

2.2.1 Definition der Kernregionen

Im ersten Schritt wurde eine systematische Literaturrecherche für die zwei Netzwerke (a) innere Sprache und (b) Ruminatio n durchgeführt.

Innere Sprache. Für die systematische Literaturrecherche zur inneren Sprache wurde am 12.03.2020 die Pubmed Central Datenbank (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>, National Library of Medicine, National Center for Biotechnology Information) nach dem Schlagwort „*inner speech fMRI*“ durchsucht. Die Pubmed Central Datenbank ist eine umfangreiche Datenbank im Bereich der biomedizinischen und medizinischen Literatur des US-amerikanischen National Institutes of Health (NIH) und enthält ca. 6,2 Millionen wissenschaftliche Artikel, womit sie einen großen Anteil der Literatur in diesem Bereich abdeckt. Es wurde ausschließlich nach „*Human*“-Studien in deutscher und englischer Sprache gesucht. Nach Abschluss der Literaturrecherche wurde eine Übersicht mit allen Studien, die die innere Sprache untersuchen, angefertigt und beurteilt, ob diese Arbeiten unsere Ausschlusskriterien erfüllen. Es wurden nur Studien mit gesunden Probanden eingeschlossen. Studien mit reinen Patientengruppen, in denen keine Daten zu einer Kontrollgruppe berichtet wurden (bspw. Patienten mit kognitiven Einschränkungen nach Trauma oder Schlaganfall, Patienten mit einer Depression (MDD) oder Schizophrenie) und Studien, in denen der Einfluss von Medikamenten oder Drogen untersucht wurde, wurden ausgeschlossen. Weitere Ausschlusskriterien waren die regelmäßige Einnahme von Psychopharmaka sowie Erkrankungen des Sprachverständnis oder der Sprachproduktion.

Von den ermittelten Studien musste zunächst zwischen den Studien, die die willkürliche innere Sprache („*covert inner speech*“) und die unwillkürliche, spontan entstandene innere Sprache untersucht haben, unterschieden werden. Nach Durchsicht der einzelnen Studien wurde diese in die zwei Kategorien „*unwillkürliche innere Sprache*“ und „*willkürliche innere Sprache*“ unterteilt. Tatsächlich zeigte sich hierbei, dass der Großteil der durchgeführten Studien die willkürliche innere Sprache untersucht hat. Die Studien zur ausschließlich

unwillkürlichen inneren Sprache waren sehr begrenzt. Hinzu kam, dass teilweise die Koordinaten zu den, für die vorliegende Arbeit, relevanten Kontrasten fehlten oder grundsätzlich nur für uns irrelevante Kontraste untersucht wurden. Um die fehlenden Daten zu ermitteln, wurde der Kontakt zu verschiedenen Autoren hergestellt. Die Korrespondenzautoren wurden mindestens zwei Mal bis maximal fünf Mal kontaktiert, um die fehlenden Informationen zu erfragen, jedoch konnte keiner der sieben kontaktierten Autoren weitere Informationen zur Verfügung stellen. Somit wurden für die Definition der Kernregionen des Netzwerkes der inneren Sprache, die während der unwillkürlichen inneren Sprache involviert sind, die Studien von Grandchamp et al. (2019) und Kühn et al. (2014) herangezogen.

In der Studie von Grandchamp und Kollegen (2019) mit 24 gesunden Teilnehmenden (m = 10, Durchschnittsalter: 29,5 Jahre, SD = 10,04; f = 14, Durchschnittsalter: 28,07 Jahre, SD = 8,14) wurden die Probanden zur Erhebung der unwillkürlichen inneren Sprache instruiert, ruhig im fMRT zu liegen und ihren Gedanken freien Lauf zu lassen („*verbal mind wondering*“, VMW; zu Deutsch: verbales Gedankenwandern). Mittels eines Joysticks sollten sie angeben, wenn verbale Gedanken auftauchten. Durch Kontrastieren der VMW-Bedingung gegen eine neuronale Baseline-Erhebung, ließen sich die Regionen definieren, die während unwillkürlicher Sprache involviert sind.

Zusätzlich wurde zur Definition der Kernregionen die Publikation von Kühn und Kollegen (2014) herangezogen. Diese Studie wurde in drei verschiedene Phasen unterteilt. Die ersten zwei Phasen fungierten dabei als Vorbereitung für die dritte Studienphase, in der die unwillkürliche innere Sprache untersucht werden sollte. Die erste Phase fand im fMRT-Scanner statt. Dort wurden verschiedene Szenarien vorgetragen, welche sich die Probandin (n = 1, Alter: 18 Jahre) möglichst bildhaft vorstellen sollte. In der zweiten Phase (außerhalb des fMRT-Scanners) bekam die Probandin einen „*descriptive experience sampling*“ (DES) Handpager, welchen sie täglich drei Stunden tragen sollte. Dieses Gerät gab in zufälligen Zeitintervallen ein Signalton von sich. Unmittelbar danach sollte die

Probandin notieren, welche Gedanken sie kurz vor dem Erscheinen des Signaltons hatte. In der dritten Phase (wieder im fMRT-Scanner) erhielt die Probandin die Instruktion ruhig dazuliegen und an nichts Spezifisches zu denken. Auch hier erschien in unregelmäßigen Abständen ein Signalton, nach welchem die Gedanken notiert werden sollten. Durch die Vorbereitung aus den vorhergehenden Studienphasen war es möglich, die unwillkürliche, spontane innere Sprache auszuwerten.

Die zwei dargestellten Arbeiten unterscheiden akkurat zwischen der Bildung unwillkürlicher und willkürlicher innerer Sprache. Durch die jeweiligen Versuchsabläufe war die Aktivierung der spontanen inneren Sprache unabhängig von der willkürlichen Sprache möglich. Zudem wurden in beiden Publikationen ausschließlich gesunde Teilnehmende untersucht, so dass mögliche Einflüsse oder Verzerrungen der Ergebnisse durch bereits bestehende Pathologien weitestgehend ausgeschlossen werden können.

Ein Vergleich mit weiteren Studien, welche die unwillkürliche innere Sprache untersuchen, zeigte starke Überschneidungen mit den Regionen der zwei dargestellten Publikationen. Beispielsweise zeigten Raji und Kollegen (2017) ebenfalls spontane Aktivität bei der Generierung verbaler Gedanken in einer Aufgabe zum VMW im rechten SFG, im rechten supplementären Cortex, im rechten Gyrus lingualis (als Teil des medialen Occipitallappens) und im linken MFG (Raji et al., 2017). In einer Arbeit von Fernyhough und Kollegen (2018) wurden ebenfalls der dlPFC und der parietale Cortex als Regionen beschrieben, die während einer DES Aufgabe aktiv sind. Mit Hilfe des DES wurde auch die spontan entstandene innere Sprache von Hurlburt et al., 2016 untersucht. Diese zeigte eine Aktivierung des linken IFG.

Die ausgewählten Arbeiten von Grandchamp und Kollegen (2019) und Kühn und Kollegen (2014) und die daraus extrahierten Kernregionen sind somit kohärent mit der übrigen Literatur. Somit folgte die Entscheidung diese beiden Studien als Grundlage für die Definition der Kernregionen heranzuziehen.

Auf Basis der dargestellten Arbeiten von Grandchamp et al. (2019) und Kühn et al. (2014) ließen sich ursprünglich 27 Kernregionen und deren Koordinaten definieren. Da durch die Abdeckung des Gehirns während der fMRT-Erhebung nicht garantiert werden konnte, dass das Kleinhirn über alle Studien konsistent erfasst wurde, wurde das linke Kleinhirn aus den ursprünglich 27 Kernregionen ausgeschlossen. Zudem bildeten die zwei angegebenen Koordinaten des rechten Gyrus frontalis medius Hirnregionen ab, die sich größtenteils überschneiden (MNI-Koordinaten (x/y/z): 30/50/26 und 33/50/14). Daher wurde diese Region für die weiteren Berechnungen nur mit der MNI-Koordinate (x/y/z): 30/50/26 beschrieben. So konnten für die vorliegende Arbeit 25 Kernregionen zur Erstellung des Netzwerkes für die innere Sprache festgelegt werden.

Im Weiteren wurden für jede Kernregion 6 mm Sphären herangezogen, um zu garantieren, dass alle Kernregionen gleich groß sind und somit dieselbe Anzahl an Voxel aufweisen (Camilleri et al., 2018). Dieses Vorgehen wurde im Folgenden bei allen Netzwerken durchgeführt.

Netzwerk Rumination. Für das Netzwerk Rumination wurde am 12.03.2020 eine Literaturrecherche mit dem Schlagwort „*Rumination fMRI*“ und dem Filter „*humans*“ in der Pubmed Central Datenbank durchgeführt. Es ergaben sich 143 Suchergebnisse. Auch anhand dieser Daten wurde eine Übersicht über alle Studien angefertigt und Studien ausgeschlossen, die Patienten mit kognitiven Einschränkungen nach Trauma oder Schlaganfall enthielten oder, die ausschließlich Kontraste enthielten, die für unsere Arbeit keine Relevanz hatten. Das ursprüngliche Ziel war es, nur Studien miteinzubeziehen, die keine Teilnehmenden mit psychischer Vorgeschichte oder einer aktuell therapiebedürftigen Depression inkludiert hatten. Dieses Ziel ließ sich leider nicht umsetzen, da der Großteil der Studien zum Thema Rumination mit Probanden durchgeführt wurde, welche in verschiedenen Formen an Depressionen litten. Nach Ausschluss aller ungeeigneten Studien, wurde auch hier eine Übersicht über alle Studien, inklusive Studiendesign und aktivierten Hirnregionen erstellt. Die Arbeit von Zhang und Kollegen (2020) umfasste zahlreiche Regionen, die in

anderen Publikationen benannt wurden. Außerdem ist die ursprüngliche Kohortengröße mit 100 Teilnehmenden ($w = 58$; $m = 42$) relativ groß und es wurden gesunde Probanden ($n = 47$, Durchschnittsalter: 28,9 Jahre, $SD = 10,88$) zusätzlich zu Patienten mit einer diagnostizierten Depression ($n = 53$, Durchschnittsalter: 31,9 Jahre, $SD = 9,96$) in die Studie einbezogen. Aufgrund von Bewegungsartefakten mussten die Daten von vier Probanden exkludiert werden, weshalb abschließend eine Kohortengröße von 96 bestand ($MDD = 51$, $HC = 45$). Durch die Einbeziehung von gesunden Probanden werden mögliche Verzerrungen durch die alleinige Teilnahme von depressiven Patienten, wie dies in anderen Studiendesigns der Fall war, reduziert. Somit wurde nach Auswertung der gesichteten Studien auf das von Zhang und Kollegen (2020) erstellte Ruminationsnetzwerk zurückgegriffen.

In dieser Studie erhielten die Teilnehmenden verschiedene Instruktionen während des fMRT-Scans. Die Instruktionen dienten dazu, den ruminativen Status der Teilnehmenden hervorzurufen. Im Detail lauteten die Instruktionen a) an ein negatives Szenario zu denken (*mood-induction*), b) an eine Persönlichkeitseigenschaft zu denken, die ihnen wichtig erscheint (*ruminative instruction*), gefolgt von c) einer Befragung zur aktuellen Stimmung (*mood-rating*), d) einer Befragung zum Selbstfokus (*self-focus rating*) und abschließend e) einer Distraktionsaufgabe (*distraction prompt*). Zusätzlich zu den Messungen im fMRT wurden im Anschluss die Hamilton Depression Rating Scale (HAMD-21) und die Ruminative Response Scale (RRS) mit den Probanden durchgeführt. Diese Studie konnte die bereits erlangten Erkenntnisse anderer Studien (Cooney et al., 2010; Burkhouse et al., 2017) bestätigen und als „*Regions of interest as the ruminative neural network*“ (zu Deutsch: Relevante Regionen des Ruminationsnetzwerks) (Zhang et al., 2020) festgehalten werden. Aus diesem Netzwerk haben sich 53 Kernregionen als Basis für die weitere Arbeit ergeben.

2.2.2 Funktionelle Konnektivität im aufgabenunabhängigen Ruhezustand (Resting-State)

Im zweiten Schritt (2a) soll nun für jede Kernregion der Netzwerke a) innere Sprache und b) Rumination eine Resting-State Analyse (RS-Analyse) durchgeführt werden. Bei einer RS-Analyse ist das Ziel die Hirnregionen zu identifizieren, die im Ruhezustand aktiviert werden, das heißt, wenn explizit keiner Aufgabe nachgegangen wird. Diese RS-Analyse wird später zur statistischen Berechnung der erweiterten Netzwerke benötigt. Zur Hirnkartierung des Ruhezustandes eignet sich besonders die Untersuchungsmethode mittels fMRT (Kühn et al., 2014).

Neben der Analyse der Aktivierung von einzelnen Hirnregionen während einer Aufgabe, können auch Netzwerke von zusammenarbeitenden Hirnregionen aufgabenunabhängig analysiert werden. Eine Analysetechnik hierbei ist die funktionelle Konnektivität, welche definiert ist als der zeitliche Zusammenhang zwischen räumlich getrennten neurophysiologischen Ereignissen (Grefkes et al., 2013). Es werden dabei zeitlich gekoppelte Hirnareale durch spontan niederfrequente Signalveränderungen ermittelt (Biswal et al., 1995; Greicius et al., 2003). Die funktionelle Konnektivität beschreibt einen statistischen Zusammenhang zwischen fMRT-Zeitreihen unterschiedlicher neurophysiologischer Ereignisse (Stephan et al., 2009). Die Annahme dahinter ist, dass Hirnregionen zu einem gemeinsamen Netzwerk gehören, wenn ihre Aktivität zeitlich korreliert. Dieser Zusammenhang ist rein statistisch und ungerichtet, so dass kein kausaler Zusammenhang zwischen den korrelierenden Ereignissen gezogen werden kann (Grefkes et al., 2013). Zur Analyse von Netzwerken eignet sich diese Analysetechnik insbesondere bei der Auswertung von Aufnahmen des Ruhezustands des Gehirns im fMRT („*resting-state*“, rsfMRT) (Biswal et al. 1995).

Datensatz und Stichprobenbeschreibung. Für die Generierung der funktionellen Netzwerke im aufgabenunabhängigen Zustand wurde auf einen Datensatz zurückgegriffen, der an der Medizinischen Universität Wien erhoben wurde (Kogler et al., 2016; Bürger et al., 2023; Kogler et al., 2023). Für die Studie wurden 99 Teilnehmende der Medizinischen Universität Wien (Exzellenzzentrum

für Hochfeld-MR) inkludiert. Alle Teilnehmenden waren gesunde, rechtshändige, nicht-rauchende Frauen und Männer im Alter zwischen 19 bis 34 Jahren (MW = 24,34; SD = 3,6). Ausschlusskriterien waren Drogenkonsum, aktuelle Schwangerschaft, allergisches Asthma, neurologische oder psychische Erkrankungen und bekannte Kontraindikationen für das fMRT. Weitere Ausschlusskriterien waren das Ausführen von kompetitiven Sportarten, Nacharbeit und chronische Krankheiten, da die Daten aus einer Studie zum Einfluss auf das Hormonsystem erhoben wurden (Kogler et al., 2016; Kogler et al., 2017, Radke et al., 2018). Diese Angaben sind in der vorliegenden Arbeit jedoch nicht von Relevanz. Die Studie wurde von der Ethik Kommission der Medizinischen Universität Wien genehmigt (Antragsnummer: 2011/1134).

Nach Ausschluss von 13 Teilnehmenden aufgrund von Bewegung (n = 8), Absturz des Computerprogramms (n = 4) und Erbrechen im fMRT-Scanner (n = 1) konnten 86 Probanden in die Analyse eingeschlossen werden (w = 46; m = 40). Das Durchschnittsalter lag bei 24 Jahren (Altersspanne zwischen 19-34 Jahren).

Wortschatztest. Der Wortschatztest (WST) wurde im Vorfeld mit den 99 Teilnehmenden durchgeführt. Der WST ist ein etwa fünf-minütiger Test, welcher zur Ermittlung des verbalen Intelligenzniveaus dient und eine schnelle Einschätzung des Sprachverständnisses ermöglicht (Schmidt et al., 1992). Der WST wurde von 85 Probanden korrekt ausgeführt und konnte demnach für unsere Analyse verwertet werden. Die Auswertung ergab, dass die Anzahl an WST-Punkten im Mittel bei 26,66 lag. Dem Abweichungs-IQ Werten nach Lehl (2005) liegt damit das Intelligenzniveau bei einem IQ von 100. Dies spricht für eine durchschnittliche Intelligenz dieser Kohorte in dieser Altersgruppe.

Datenerhebung und Vorverarbeitung. Die funktionellen sowie anatomischen Aufnahmen wurden im 3T TIM Trio Scanner (Siemens Medical Systems, Erlangen, Germany) des Universitätsklinikums Wien, Abteilung für Biomedizinische Magnetresonanz, Klinik für Radiologie durchgeführt. Für die funktionellen Aufnahmen (Gradienten-Echo EPI-Sequenz) betrug die Repetition Time (TR) 1800 ms und die Echozeit (TE) 38 ms. Die Voxelgröße lag bei 1,5 x

1,5 x 3 mm mit einem Anregungswinkel von 90°. Es wurde 23 Schichten mit einer Aussparung von 1,8 mm in der axialen Ebene aufgenommen. Die Bandbreite betrug 1446 Hz/Pixel. Pro Probanden wurden 167 Aufnahmen erhoben. Für die anatomischen Aufnahmen (MP-RAGE Sequenz), welche für die Vorverarbeitung der Daten herangezogen wurden, wurden 160 sagittale Schichten mit einer Repetition Time (TR) von 2300 ms und einer Echozeit (TE) von 4,21 ms, sowie einer Umkehrzeit von 900 ms erhoben. Die Voxelgröße lag bei 1 x 1 x 1,1 mm mit einem Anregungswinkel von 9°.

Die Daten wurden mit SPM12 (Wellcome Trust Centre for Neuroimaging, London) in Matlab (Version R2021a; Mathworks Inc., Sherborn, MA, USA) verarbeitet. Dafür wurden die ersten vier Aufnahmen verworfen. Zur Korrektur der Bewegungsartefakte mussten zwei wesentliche Prozessierungsschritte durchgeführt werden. Im ersten Schritt wurden die Bilder entsprechend ihrem ursprünglichen Volumen und anschließend nach dem Mittelwert aller Volumeneinheiten sortiert. In einem zweiten Schritt wurde die Normalisierung der individuellen Echo-Planar-Imaging (EPI)-Images auf das nichtlineare MNI-152 „*single-subject*“ Template (Holmes et al., 1998) nach der „*unified segmentation*“ Methode (Ashburner & Friston, 2005) durchgeführt. Bei diesem Schritt wurden die einzelnen Volumina deformiert. Um das Signal-Rausch-Verhältnis zu verbessern und um residuale anatomische Variationen zu kompensieren, wurden die Bilder mit 5 mm full-width-at-half-maximum (FWHM) nach der Gauß'schen-Kernel-Methode geglättet. Die Zeitserien für jedes Voxel wurden wie folgt verarbeitet (Weissenbacher et al., 2009): Varianzen wurden entfernt, um Fehlkorrelationen durch zwei typische physiologische Konfundierungsvariablen zu eliminieren: 1) Sechs Bewegungsparameter abgeleitet von der Bildausrichtung und 2) deren erster Ableitung. Alle Konfundierungsvariablen wurden als erst- und zweitrangige Störterme aufgenommen (Satterthwaite et al., 2013). Diese vorgenommenen Korrekturen wurden durchgeführt, um eine Zunahme der Spezifität und der Sensitivität der Analysen zu erreichen und um eine gültige Korrelation oder Anti-Korrelation in Ruhe zu ermitteln (Satterthwaite et al., 2013). Abschließend wurden alle Aufnahmen mit einem Bandpass-Filter gefiltert (cut-off Frequenz von 0.01 und 0.08 Hz).

Funktionelle Konnektivitätsanalyse. Zur Extraktion der anatomischen Kernregionen wurden die Daten mit SPM8 (Wellcome Trust Centre for Neuroimaging, London), implementiert in Matlab (Version R2021a; Mathworks Inc., Sherborn, MA, USA), der Anatomy Toolbox v2.0 (Eickhoff et al., 2005) und Inhouse-Skripten (Dr. Veronika I. Müller, Prof. Simon B. Eickhoff, Forschungszentrum Jülich, Institut für Neurowissenschaften und Medizin) analysiert. Der erste Schritt der Kernregion-rsfMRT-Analyse bestand darin, Signale aus bestimmten Kernregionen des Gehirns zu extrahieren und die Zeitverläufe der Kernregionen mit den lokalen Zeitserien aller Voxel des Gehirns zu vergleichen. Im Anschluss wurde eine Korrelationsanalyse zwischen den Zeitverläufen der Kernregionen und den Zeitverläufen aller anderen Voxel durchgeführt. Dafür wurden die linearen (Pearson-) Korrelationskoeffizienten zwischen den charakteristischen Zeitverläufen der Kernregionen und den resultierenden Zeitserien aller anderen Voxel des Gehirns bestimmt. Die resultierenden Korrelationskoeffizienten wurden anschließend für jeden Probanden in Fishers Z-Werte umgewandelt. Die funktionellen Daten wurden für multiple Vergleiche korrigiert, indem ein korrigierter Schwellwert von $p < .05$ gemäß einem Cluster-definierten Schwellwert von $p(\text{unc}) < .001$ und der räumlichen Auflösung der residualen Bilder angewendet wurde (Müller et al., 2013, Kogler et al., 2016).

2.2.3 Funktionelle Konnektivität im aufgabenabhängigen Zustand (MACM)

Im zweiten Schritt (2b) wurde nun für jede Kernregion der beiden Netzwerke a) innere Sprache und b) Rumination eine meta-analytische Konnektivitätsmodellierung („*meta-analytic connectivity modelling*“, MACM) durchgeführt. Diese wird neben der RS-Analyse später für die statistische Berechnung der erweiterten Netzwerke benötigt. Dieses Verfahren berechnet die zeitliche Korrelation von räumlich getrennten Hirnregionen, um funktionell koaktivierte Hirnregionen zu identifizieren, die über verschiedene Aufgaben hinweg gleichzeitig aktiviert sind. Es werden also Regionen erfasst, die überzufällig mit

der Kernregion gleichzeitig aktiv sind. Die Analyse basiert auf Wahrscheinlichkeitsberechnungen, bei der eine gleichzeitige Ko-Aktivierung mit der Kernregion vorliegt. Die Analyse profitiert von der großen Studienanzahl der BrainMap Datenbank (Laird et al., 2011). Durch diesen statistischen, datengetriebenen Ansatz werden mögliche Verzerrungen ausgeschlossen, die durch die subjektive Auswahl einzelner Studien entstehen könnten. Die MACM-Analyse wurde mit Hilfe der Inhouse-Skripte des Forschungszentrums Jülich, Institut für Neurowissenschaften und Medizin, implementiert in Matlab durchgeführt. Zunächst wurden dafür alle Experimente aus der BrainMap Database herausgefiltert, die mindestens eine Aktivierung in der definierten Kernregion aufwiesen. Anschließend wurde jedes dieser Experimente in eine „*activation-likelihood-estimation*“ (ALE) Meta-Analyse eingegeben (Eickhoff et al., 2012; Eickhoff et al., 2009). Die Aktivierungs-Foci werden dabei nicht als einzelne Punkte, sondern als räumlichen Wahrscheinlichkeitsverteilung im Sinne einer 3D-Gaussischen Verteilung betrachtet, mit dem Ziel Hirnregionen zu identifizieren, die über verschiedene Experimente Konvergenz zeigen. Die Konvergenz wurde über alle Aktivierungs-Foci in den inkludierten Experimenten erstellt. Jede signifikante Konvergenz außerhalb der Kernregion zeigt daher konsistente Ko-Aktivierung und damit funktionelle Konnektivität (Camilleri et al., 2018). Die somit erhobenen Aktivierungs-Foci wurden in einer Konnektivitätskarte addiert (Camilleri et al., 2018).

Für jede Kernregion der beiden Netzwerke wurde somit für die aufgabenabhängige funktionelle Konnektivität eine Konnektivitätskarte erstellt. Die resultierenden Konnektivitätskarten für jede Kernregion wurden per „*family-wise-error-correction*“ (FWE) für multiple Vergleiche korrigiert ($p < 0.05$ FWE korrigiert für multiple Vergleiche auf Cluster-Level, Cluster Grenzwert $p < 0.001$).

2.2.4 Netzwerkspezifische Konjunktion der aufgabenunabhängigen und –abhängigen funktionellen Konnektivitäten

Im dritten Schritt (3) sollen nun robuste, erweiterte Netzwerke für a) die innere Sprache und b) Rumination erstellt werden. Diese Netzwerke beinhalten die Regionen, die mit den Kernregionen über verschiedene kognitive Zustände hinweg (aufgabenunabhängig und aufgabenabhängig) funktionell interagieren. Dafür wurde im nächsten Schritt eine Konjugationsanalyse mit den Konnektivitätskarten der aufgabenabhängigen und aufgabenunabhängigen funktionellen Konnektivitäten für jede einzelne Kernregion durchgeführt. Dieses Vorgehen ergab für jede Kernregion eine Konjunktionskarte in welchen Hirnregionen dargestellt sind, die mit der Kernregion während unterschiedlicher kognitiver Zustände (aufgabenunabhängig und aufgabenabhängig) funktionell ko-aktiviert sind. Es wurde ein Grenzwert von $k > 5$ Voxel gesetzt, um kleine Cluster oder Regionen auszuschließen, die möglicherweise fälschlicherweise überlappen (Camilleri et al., 2018).

Definition der erweiterten Netzwerke. Aus den Konjunktionskarten jeder Kernregion wurden im nächsten Schritt erweiterte Netzwerke extrahiert. Dafür wurden die Konjunktionskarten zunächst binarisiert, wodurch nur noch die Aktivierung eines Voxels, jedoch nicht mehr die Stärke der Aktivierung dargestellt wird. Das Binarisieren ist eine Methode der Bildbearbeitung und beschreibt, dass anhand eines festgelegten Schwellenwertes ein Bild mit nur zwei Graustufen erstellt wird. Mit Hilfe dieser Methodik wird in unserem Fall nicht mehr zwischen der Stärke der Aktivierung der einzelnen Regionen unterschieden, sondern nur noch dargestellt, ob eine Aktivierung vorhanden ist. Abschließend erfolgte rechnerisch eine Addition der Konjunktionskarten (Nichols et al., 2005).

Daraus ergab sich für jedes Netzwerk eine Karte, die alle Kernregionen des Netzwerkes und die Regionen aus den aufgabenunabhängigen und aufgabenabhängigen funktionellen Konnektivitäten enthält.

Für die erweiterten Netzwerke wurden aus den Konjunktionskarten nur Regionen berücksichtigt, die in mindestens vier Konjunktionskarten enthalten sind (Camilleri et al., 2018), um robuste funktionelle Konnektivitäten über den aufgabenunabhängigen als auch aufgabenabhängigen Zustand zu erfassen. So ließen sich mathematisch a) das erweiterte Netzwerk der inneren Sprache und b) das erweiterte Netzwerk der Rumination bestimmen. Sie bilden jeweils Regionen ab, welche konsistent im aufgabenunabhängigen und aufgabenabhängigen Zustand gemeinsam mit den Kernregionen aktiv sind.

Peak-Aktivierung. Zur Ermittlung der Peak-Aktivierung, also dem Punkt mit der stärksten Aktivierung in jedem Cluster, muss nun zunächst der Mittelwert der Konjunktionskarten gebildet werden. Anschließend wird diese gemeinsame Konjugationskarte mit der Karte des erweiterten Netzwerks multipliziert. Daraus ergaben sich die Peaks für die erweiterten Netzwerke.

2.3 Überlappungen zwischen den Netzwerken

Nachdem für die innere Sprache und die Rumination erweiterte Netzwerke über die aufgabenabhängigen und aufgabenunabhängigen Konnektivitäten erstellt wurden, wurden im vierten und letzten Schritt (4) basierend auf den dargestellten Hypothesen die Überlappungen zwischen den beiden Netzwerken ermittelt. Dazu wurden das erweiterte Netzwerk der inneren Sprache und das erweiterte Netzwerk der Rumination addiert. Anschließend folgte eine Korrektur um den Grenzwert vier, so dass in der Überlappungskarte nur Regionen enthalten sind, die in mehr als vier Konjunktionskarten überlappen, um auch hier nur robuste funktionelle Konnektivitäten zu erfassen (siehe Abbildung 2) (Camilleri et al., 2018). Mittels erneuter Bildung des Mittelwertes und Multiplikation mit der Überlappungskarte konnten die Peaks der Aktivierung der Cluster für jede Überlappungskarte bestimmt werden.

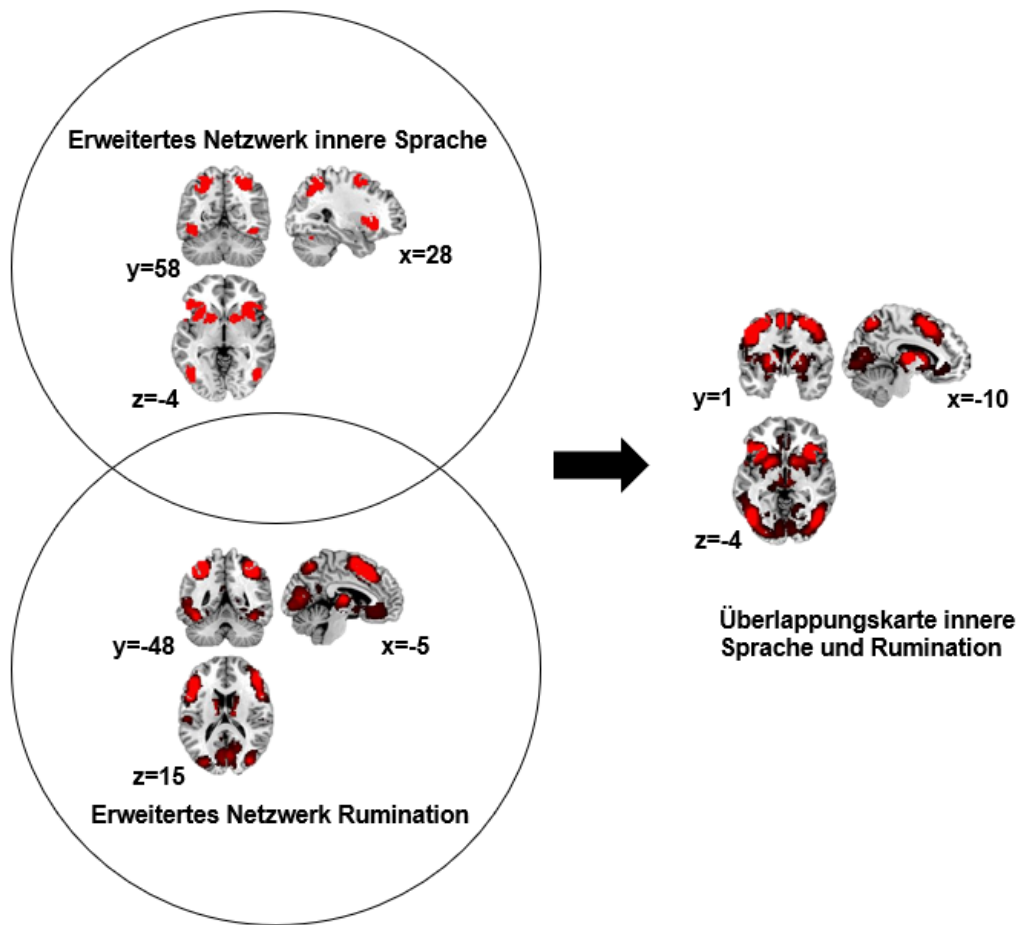


Abbildung 2: Beispielhafte visuelle Darstellung der Methodik zur Erstellung der Überlappungskarte auf Basis der erweiterten Netzwerke. Durch Konjugation zweier erweiterter Netzwerke lässt sich eine Überlappungskarte erstellen. Diese Überlappungskarte enthält nur Regionen, die in mehr als vier Konjunktionskarten überlappen und stellt somit einen Überschneidungspunkt zwischen dem Netzwerk der inneren Sprache und Rumination dar.

3 Ergebnisse

3.1 Definition und Charakterisierung der erweiterten Netzwerke

3.1.1 Definition der Kernregionen

Eines der Ziele dieser Arbeit sollte das Erstellen funktioneller Netzwerke der a) inneren Sprache und b) Rumination sein. Für die Berechnung der erweiterten Netzwerke war es notwendig zunächst die Kernregionen zu bestimmen. Diese gelten als Grundlage für die weiteren Analyseschritte.

Netzwerk innere Sprache. Für die innere Sprache ließen sich auf Grundlage der Publikationen von Grandchamp et al., 2019 und Kühn et al., 2014 mit Hilfe der oben beschriebenen Methodik 25 Kernregionen definieren. Darunter fallen der linke dIPFC, der linke Gyrus frontalis superior medialis (SFMG), der rechte ITG, der bilaterale IFG (mit 6 Einzelregionen), der bilaterale SFG (mit jeweils zwei Einzelregionen), der bilaterale MFG, der bilaterale SPL, der bilaterale IPL, der bilaterale MOG, die bilaterale anteriore Insula und der bilaterale supplementärmotorische Cortex (siehe Abbildung 3). Eine Auflistung der Koordinaten ist tabellarisch im Anhang zu finden (Tabelle A1).

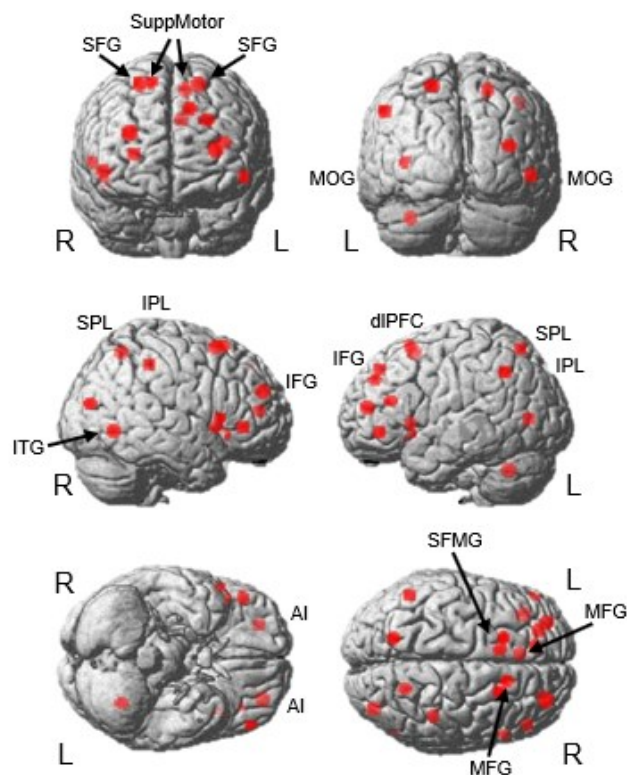


Abbildung 3: Darstellung der aktivierten Hirnregionen bei Anwendung der inneren Sprache im Vergleich zur Baseline nach Grandchamp et al., 2019 und Kühn et al. 2014 unter Ausschluss des linken Kleinhirns und der zweiten Koordinate des rechten MFG. Abkürzungen: R = Rechts, L = Links, Supplementärmotorischer Cortex (SuppMotor), Gyrus frontalis superior (SFG), Gyrus frontalis inferior (IFG), Gyrus frontalis superior medialis (SFMG), Gyrus frontalis medius (MFG), dorsolateraler präfrontaler Gyrus (dIPFC), Gyrus temporalis inferior (ITG), Lobulus parietalis superior (SPL), Lobulus parietalis inferior (IPL), Gyrus occipitalis medius (MOG), anteriore Insula (AI).

Netzwerk Rumination. Für die Kernregionen des Netzwerks Rumination wurde die Arbeit von Zhang und Kollegen (2020) hinzugezogen, welche 53 Kernregionen definiert. Deren Peaks sind in der folgenden Abbildung 4 und in Tabelle A2 (im Anhang) dargestellt. Diese Kernregionen umfassen den linken MTG, den linken Thalamus, den rechten Gyrus lingualis, den rechten Cuneus, den rechten Gyrus angularis, den rechten Gyrus supramarginalis, den rechten MFG, den rechten Gyrus praecentralis, das rechte Putamen, den rechten Gyrus parahippocampalis, die rechte anteriore Insula, den rechten ACC, den bilateralen Gyrus occipitalis inferior (IOG), den bilateralen MOG, bilateralen Sulcus

calcarinus (mit sechs Einzelpunkten), den bilateralen Precuneus, den bilateralen SPL (mit fünf Einzelpunkten), den bilateralen IPL (mit sechs Einzelpunkten), den bilateralen ITG (mit drei Einzelpunkten), den bilateralen IFG (mit fünf Einzelpunkten) und die bilaterale Amygdala.

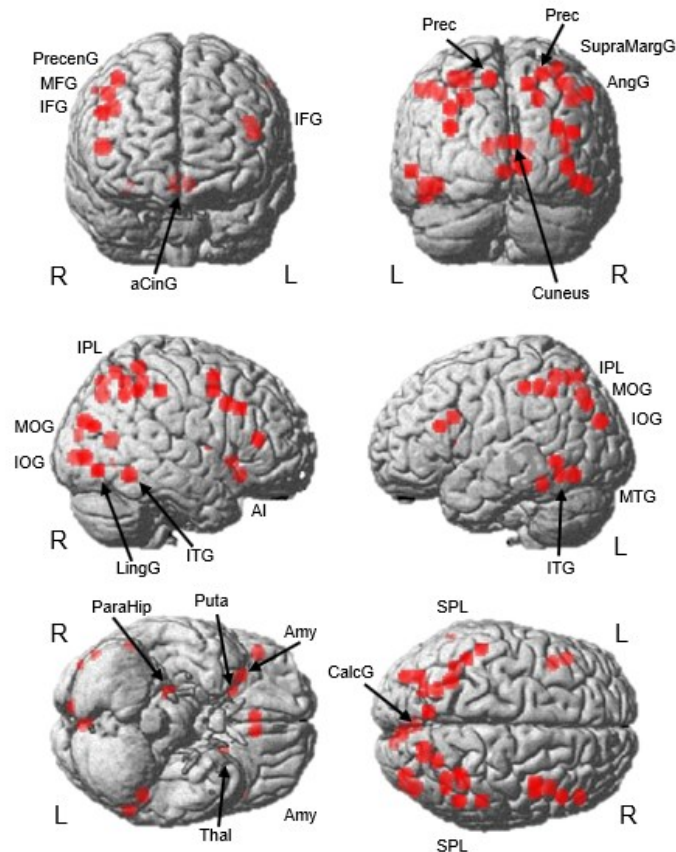


Abbildung 4: Darstellung der Kernregionen des Ruminations-Netzwerkes nach Zhang et al., 2020. Abkürzungen: R = Rechts, L = Links, Gyrus frontalis medius (MFG), Gyrus frontalis inferior (IFG), Gyrus temporalis medius (MTG), Gyrus temporalis inferior (ITG), Lobulus parietalis superior (SPL), Lobulus parietalis inferior (IPL), Gyrus occipitalis medius (MOG), Gyrus occipitalis inferior (IOG), Gyrus praecentralis (PrecenG), anterior cingulärer Gyrus (aCinG), Precuneus (Prec), Cuneus (Cuneus), Gyrus supramarginalis (SupraMargG), Gyrus angularis (AngG), Gyrus lingualis (LingG), anterior Inusla (AI), Sulcus calcarinus (CalcG), Parahippocampus (ParaHip), Putamen (Put), Amygdala (Amy), Thalamus (Thal).

3.1.2 Netzwerkspezifische Konjunktion der aufgabenunabhängigen und -abhängigen funktionellen Konnektivitätskarten

Basierend auf den definierten Kernregionen sollen nun die beiden erweiterten Netzwerke bestimmt werden. Dafür war zunächst das Erstellen von Konnektivitätskarten notwendig. Für jede Kernregion wurde die Resting State und die MACM-Analyse durchgeführt, so dass für jede definierte Kernregion eine aufgabenunabhängige und eine aufgabenabhängige Konnektivitätskarte angefertigt werden konnte. Da es sich bei den Konnektivitätskarten um ein Zwischenergebnis handelt, werden diese aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht im Detail dargestellt.

Für jedes Netzwerk wurden die aufgabenunabhängigen und aufgabenabhängigen Konnektivitätskarten im nächsten Schritt konjungiert, so dass für jede Kernregion der zwei Netzwerke eine Konjunktionkarte vorliegt, die nur Regionen beinhaltet, die unabhängig vom Aktivitätsniveau aktiviert sind. Aufgrund der Größe der Tabellen und zur besseren Lesbarkeit der vorliegenden Arbeit befindet sich eine detaillierte Übersicht der Cluster für die Konjunktionkarten der beiden Netzwerke im Anhang (Tabelle A3, A4).

3.1.3 Die erweiterten Netzwerke

Zur Erstellung der erweiterten Netzwerke wurden die konjungierten Karten (siehe Tabelle A3, A4) auf jene Regionen reduziert, die in vier Kernregionen der beiden Analysen (aufgabenunabhängig, aufgabenabhängig) überlappen. Diese Methode führte zu den folgenden erweiterten Netzwerken.

Innere Sprache. Für das erweiterte Netzwerk innere Sprache konnten wir 28 Hirnregionen definieren, welche sich über 11 Cluster erstrecken. Die Cluster umfassen dabei die linke Insula, den bilateralen IPL, den bilateralen posterior medialen frontalen Cortex, den linken ITG, den rechten MTG, das bilaterale Cerebellum, den linken Gyrus temporalis superior (STG) und den rechten supramarginalen Gyrus (siehe Abbildung 5 und Tabelle 1).

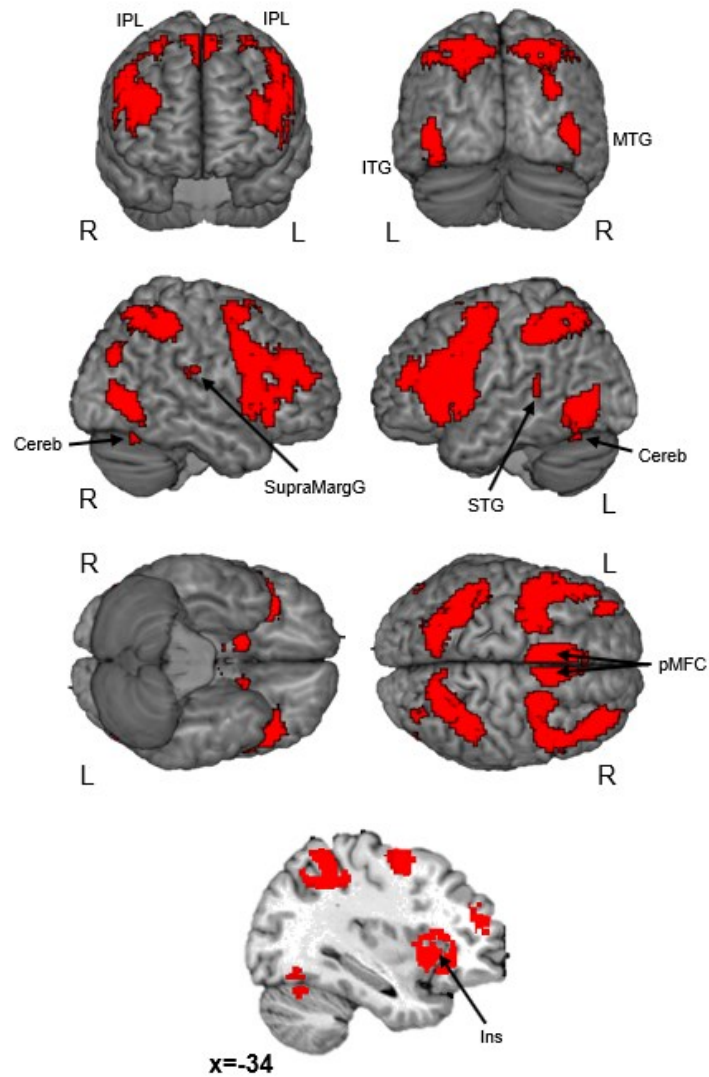


Abbildung 5: Darstellung des erweiterten Netzwerks der inneren Sprache. Abkürzungen: R = Rechts, L = Links, Gyrus temporalis superior (STG), Gyrus temporalis medius (MTG), Gyrus temporalis inferior (ITG), Insula (Ins), Cerebellum (Cereb), Lobulus parietalis inferior (IPL), Gyrus supramarginalis (SupraMargG), posteriorer medialer frontaler Cortex (pMFC).

Tabelle 1: Peaks für das erweiterte Netzwerk der inneren Sprache mit Informationen zur makroanatomischen und zytoarchitektonischen Lage sowie MNI-Koordinaten und t-Wert.

Cluster Größe	Makroanatomische Lage	Zytoarchitektonische Lage	X	Y	Z	t-Wert
9614	L Insula		-34	22	0	STAT= 2.92
	L Insula		-36	24	4	STAT= 2.44
	R Insula		36	24	-6	STAT= 2.40
	R Insula		34	24	0	STAT= 2.32
	L Gyrus praecentralis	L Area 44	-50	10	30	STAT= 2.32
	L Gyrus praecentralis	L Area 44	-48	8	32	STAT= 2.22
	L IFG (p. Orbitalis)		-38	24	-4	STAT= 2.17
	R IFG (p. Opercularis)		46	10	28	STAT= 2.13
	L IFG (p. Triangularis)		-46	20	24	STAT= 1.85
	L IFG (p. Triangularis)		-44	22	22	STAT= 1.84
L IFG (p. Triangularis)		-46	24	20	STAT= 1.83	
1827	L Lobulus parietalis inferior	L Area hIP3 (IPS)	-36	-48	48	STAT= 2.18
	L Lobulus parietalis inferior	L Area hIP3 (IPS)	-40	-50	46	STAT= 2.01
	L Lobulus parietalis inferior	L Area hIP3 (IPS)	-30	-54	48	STAT= 2.00
	L Lobulus parietalis superior	L Area hIP3 (IPS)	-24	-62	50	STAT= 1.85
	L Precuneus	L Area 7 (SPL)	-10	-64	56	STAT= 1.03
	L Gyrus occipitalis superior		-26	-70	36	STAT= 0.83
1510	R Lobulus parietalis inferior	R Area hIP3 (IPS)	32	-54	50	STAT= 1.61
	R Gyrus angularis	R Area hIP3 (IPS)	30	-58	52	STAT= 1.69
	R Lobulus parietalis inferior	R Area hIP3 (IPS)	40	-48	48	STAT= 1.58
		R Area hIP3 (IPS)	40	-44	46	STAT= 1.56
		R Area hIP3 (IPS)	42	-42	52	STAT= 1.52
	R Gyrus occipitalis medius		30	-68	36	STAT= 1.03
	R Gyrus occipitalis medius		34	-76	32	STAT= 1.02
	R Gyrus occipitalis medius		34	-78	28	STAT= 0.99
1027	L Posterior medialer frontaler Cortex		-4	12	52	STAT= 2.93
	L Posterior medialer frontaler Cortex		-4	18	46	STAT= 2.67
	L Posterior medialer frontaler Cortex		-4	2	60	STAT= 2.02
	L ACC		-4	24	28	STAT= 1.44
	L ACC		-4	32	24	STAT= 1.10
	L MCC		-4	10	36	STAT= 1.02
	L MCC		-4	4	40	STAT= 0.93
	999	R Posterior medialer frontaler Cortex		4	12	52
R MCC			4	18	44	STAT= 2.30
R MCC			6	24	32	STAT= 1.99
R MCC			6	14	38	STAT= 1.56
747	L Gyrus temporalis inferior	L Area FG4	-44	-60	-10	STAT= 1.40

	L Gyrus occipitalis medius	L Area hOc4la	-46	-70	-2	STAT= 1.24
	L Gyrus fusiformis	L Area FG2	-38	-70	-14	STAT= 1.11
481	R Gyrus temporalis medius	R Area hOc4la	46	-70	-2	STAT= 1.19
	R Gyrus occipitalis inferior	R Area FG1	42	-62	-12	STAT= 0.99
	R Gyrus temporalis inferior		42	-52	-14	STAT= 0.97
	R Gyrus temporalis inferior	R Area FG4	42	-52	-14	STAT= 0.84
66	R Cerebellum (VI)	R Lobule VI (Hem)	38	-62	-24	STAT= 0.93
	R Cerebellum (VI)	R Lobule VI (Hem)	32	-64	-26	STAT= 0.92
40	L Cerebellum (VI)	L Lobule VI (Hem)	-34	-64	-22	STAT= 0.93
	L Cerebellum (VI)	L Lobule VI (Hem)	-32	-62	-26	STAT= 0.91
20	L Gyrus temporalis superior		-56	-40	12	STAT= 0.84
	L Gyrus temporalis medius		-60	-40	10	STAT= 0.82
6	R Gyrus supramarginalis	R Area OP1 (SII)	58	-26	20	STAT= 0.85

Hinweis: In der Tabelle ist die Clustergröße, die makroanatomische und die zytoarchitektonische Lage (bestimmt durch die Anatomy Toolbox (Eickhoff et al., 2005) in SPM12), sowie die dazugehörigen x-, y-, z-Koordinaten (in mm) mit dem entsprechenden T-Wert dargestellt. Die x-, y-, z-Koordinaten der lokalen Maxima sind im MNI-Format angegeben. Abkürzungen: R = Rechts, L = Links, IFG = Gyrus frontalis inferior, ACC = anterior cingulär Cortex, MCC = medialer cingulärer Cortex, Area 44 = Broca Areal, hIP3 = intraparietaler Sulcus, IPS = intraparietaler Sulcus, Area 7 = Parietalkortex, SPL = Lobulus parietalis superior, FG4 = mittlerer fusiformer Gyrus, Area hOc4la = lateraler occipitaler Kortex, Area FG1/2 = Gyrus fusiformis, Lobule VI (Hem) = Kleinhirnlappen, Area OP1 = Areale des SII-Kortex auf dem parietalen Operculum (Eickhoff et al., 2005).

Rumination. Auch für die Rumination konnte durch die zuvor beschriebenen Analyseschritte ein erweitertes Netzwerk erfasst werden. Dadurch konnten 17 Hirnregionen definiert werden, welche sich auf vier Cluster erstrecken. Das erweiterte Netzwerk der Rumination beinhaltet somit unter anderem den bilateralen posterioren medialen frontalen Cortex (pmFC), den rechten STG und den linken PCC (Abbildung 6, Tabelle 2).

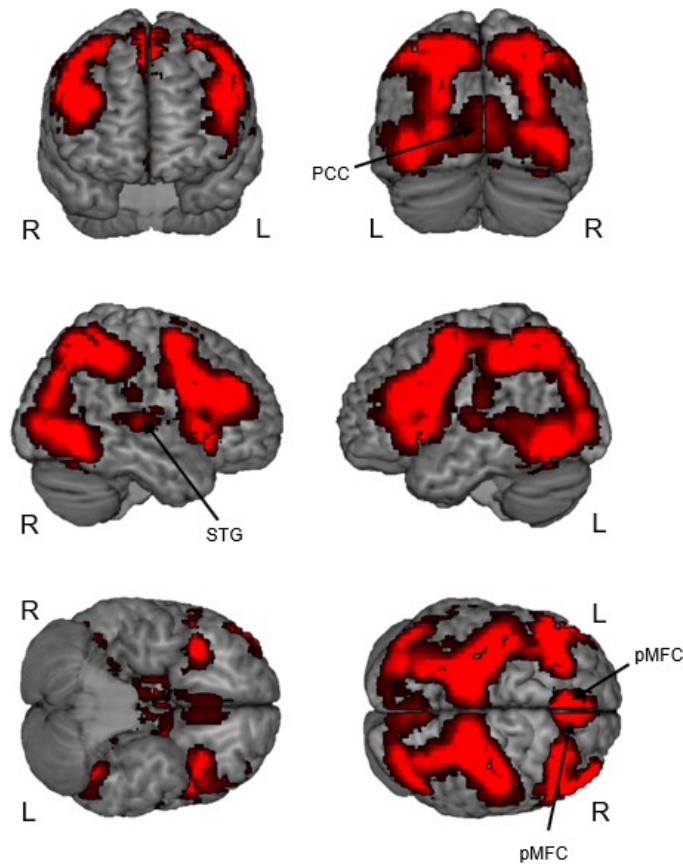


Abbildung 6: Darstellung des erweiterten Netzwerks der Rumination mit Beschriftung der vier Cluster. Abkürzungen: R = Rechts, L = Links, posteriorer medialer frontaler Cortex (pMFC), posterior cingulärer Cortex (PCC), Gyrus temporalis superior (STG).

Tabelle 2: Peaks für das erweiterte Netzwerk der Rumination mit Informationen zur makroanatomischen und zytoarchitektonischen Lage sowie MNI-Koordinaten und t-Wert.

Cluster Größe	Makroanatomische Lage	Zytoarchitektonische Lage	X	Y	Z	t-Wert
48833	R posteriorer medialer frontaler Cortex		4	16	48	STAT= 4.50
	L Insula		-32	22	0	STAT= 4.48
	R posteriorer medialer frontaler Cortex		4	12	54	STAT= 4.36
	R Insula		34	22	0	STAT= 4.21
	L Gyrus praecentralis		-48	6	32	STAT= 4.07

	L Lobulus parietalis inferior	L Area hIP3 (IPS)	-34	-52	52	STAT= 3.99
	R IFG (p. Opercularis)		48	10	28	STAT= 3.89
	R Lobulus parietalis inferior	R Area hIP3 (IPS)	34	-52	48	STAT= 3.75
	R Lobulus parietalis inferior	R Area hIP3 (IPS)	32	-56	50	STAT= 3.69
	L Lobulus parietalis superior	L Area hIP3 (IPS)	-28	-60	50	STAT= 3.68
	L Lobulus parietalis inferior		-40	-40	46	STAT= 3.65
1419	L posteriorer medialer frontaler Cortex		-2	12	50	STAT= 4.82
	L posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	18	46	STAT= 4.37
	L posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	2	56	STAT= 3.41
	L MCC		-4	8	38	STAT= 0.64
	L MCC		-4	14	34	STAT= 0.41
	L ACC		-4	20	30	STAT= 0.40
520	R Gyrus temporalis superior		56	-24	4	STAT= 0.63
	R Gyrus temporalis superior	R Area TE 1.0	56	-16	6	STAT= 0.37
	R Heschls Gyrus		52	-14	8	STAT= 0.36
	R Operculum	R Area OP4	54	-12	12	STAT= 0.32
	R Gyrus temporalis superior		54	-36	6	STAT= 0.23
	R Gyrus temporalis superior	R Area TE 1.2	58	-4	4	STAT= 0.13
83	L PCC		-2	-52	24	STAT= 0.18
	L Precuneus		-6	-52	18	STAT= 0.16

Hinweis: In der Tabelle ist die Clustergröße, die makroanatomische und die zytoarchitektonische Lage (bestimmt durch die Anatomy Toolbox (Eickhoff et al., 2005) in SPM12), sowie die dazugehörigen x-, y-, z-Koordinaten (in mm) mit dem entsprechenden T-Wert dargestellt. Die x-, y-, z-Koordinaten der lokalen Maxima sind im MNI-Format angegeben. Abkürzungen: R = Rechts, L = Links, IFG = Gyrus frontalis inferior, MCC = medialer cingulärer Cortex, ACC = anteriorer cingulärer Cortex, PCC = posteriorer cingulärer Cortex, hIP3 = intraparietaler Sulcus, IPS = intraparietaler Sulcus, Area TE 1.0/1.2 = primärer auditorischer Cortex, Area OP4 = Areale des SII-Kortex auf dem parietalen Operculum (Eickhoff et al. 2005).

3.2 Überlappungen zwischen den Netzwerken

Es gibt bereits zahlreiche Hinweise darauf, dass ein Zusammenhang zwischen innerer Sprache und Rumination besteht (Milazzo et al., 2014; Cooney et al., 2010). Durch Überprüfung der Überlappungen könnte der Zusammenhang auch auf hirnfunktioneller Ebene nachgewiesen werden. Daher sollen im folgenden Schritt die Überschneidungspunkte beider Netzwerke bestimmt werden. Dafür

wird zunächst die Addition der erweiterten Netzwerke der inneren Sprache und der Rumination durchgeführt. Analog dem Vorgehen zur Bestimmung der erweiterten Netzwerke wird hier eine Korrektur um den Grenzwert vier durchgeführt, um auch hier nur robuste funktionelle Konnektivitäten zu erfassen.

Überlappungskarte der erweiterten Netzwerke innere Sprache und Rumination. Die Überlappungskarte zwischen dem erweiterten Netzwerk innere Sprache und Rumination umfasst zwei Cluster, die unter anderem bilateral den pMFC, die bilaterale Insula, den rechten IFG, den linken SPL und IPL, den linken Gyrus praecentralis und den linken Precuneus umfassen. Eine visuelle Darstellung der Überlappung zwischen dem erweiterten Netzwerk der inneren Sprache und dem erweiterten Netzwerk der Rumination sowie die Peaks der Cluster sind in Abbildung 7 und Tabelle 3 zu finden.

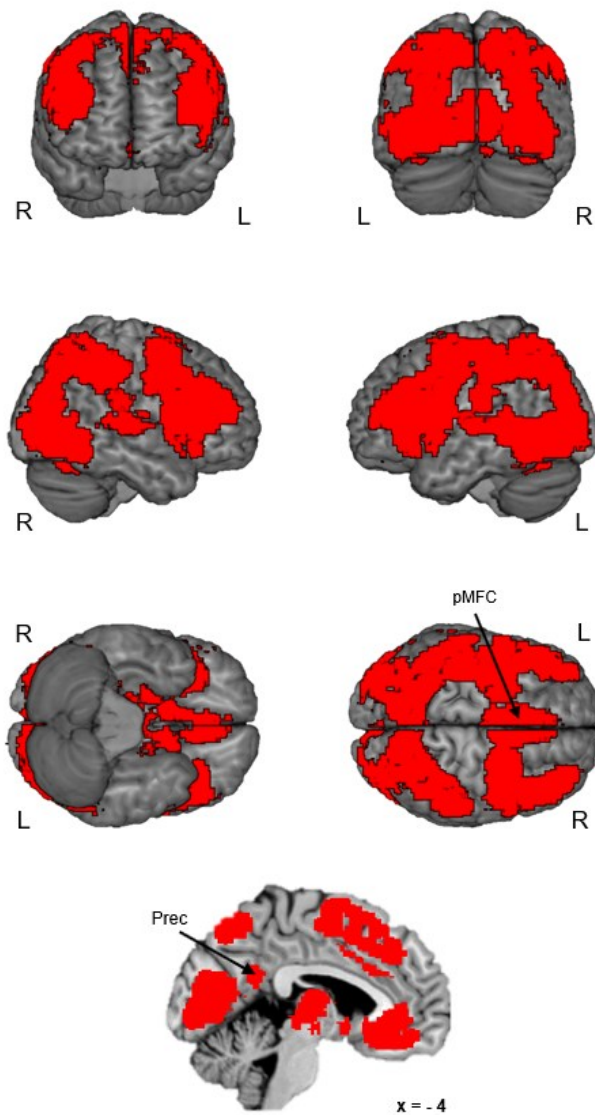


Abbildung 7: Darstellung der Überlappungskarte innere Sprache und Rumination mit Kennzeichnung der beiden Cluster. Abkürzungen: R = Rechts, L = Links, posteriorer medialer frontaler Cortex (pMFC), Precuneus (Prec).

Tabelle 3: Überschneidende Regionen zwischen dem erweiterten Netzwerk der inneren Sprache und dem erweiterten Netzwerk der Rumination mit Information zur makroanatomischen und zytoarchitektonischen Lage sowie MNI-Koordinaten und t-Wert.

Cluster Größe	Makroanatomische Lage	Zytoarchitektonische Lage	X	Y	Z	t-Wert
52755	L posteriorer medialer frontaler Cortex		-2	12	50	STAT= 4.81
	L Insula		-32	22	2	STAT= 4.59
	R posteriorer medialer frontaler Cortex		4	14	50	STAT= 4.40
	L posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	18	46	STAT= 4.36
	R Insula		34	22	0	STAT= 4.02
	L Gyrus praecentralis	L Area 44	-48	8	32	STAT= 3.84
	L Lobulus parietalis inferior	L Area hIP3 (IPS)	-34	-50	50	STAT= 3.75
	R IFG (p. Opercularis)		48	10	28	STAT= 3.67
	L Insula		-36	24	4	STAT= 3.45
	L Lobulus parietalis inferior	L Area hIP3 (IPS)	-40	-42	46	STAT= 3.39
	L Lobulus parietalis superior	L Area hIP3 (IPS)	-28	-60	50	STAT= 3.33
83	L Precuneus		-4	-54	26	STAT= 0.18

Hinweis: In der Tabelle ist die Clustergröße, die makroanatomische und die zytoarchitektonische Lage (bestimmt durch die Anatomy Toolbox (Eickhoff et al., 2005) in SPM12), sowie die dazugehörigen x-, y-, z-Koordinaten (in mm) mit dem entsprechenden T-Wert dargestellt. Die x-, y-, z-Koordinaten der lokalen Maxima sind im MNI-Format angegeben. Abkürzungen: R = Rechts, L = Links, IFG = Gyrus frontalis inferior, Area 44 = Broca Areal, hIP3 = intraparietaler Sulcus, IPS = intraparietaler Sulcus (Eickhoff et al., 2005).

4. Diskussion

Ziel dieser Arbeit war es ein erweitertes Netzwerk der inneren Sprache wie auch ein erweitertes Netzwerk der Rumination zu erstellen, um Hirnregionen zu identifizieren, die eine robuste funktionelle Konnektivität zeigen. Dadurch lassen sich nicht nur Hirnregionen als Bestandteil des Netzwerks ableiten, sondern auch die aufgabenabhängige und aufgabenunabhängige Zusammenarbeit der Regionen nachweisen. Um herauszufinden, ob die Rumination eine Unterform der inneren Sprache ist, wurde zudem eine Analyse zur Überschneidung der

beiden Netzwerke durchgeführt. Die gewonnenen Ergebnisse werden im Folgenden diskutiert.

4.1 Innere Sprache

Das primäre Ziel dieser Forschungsarbeit bestand darin, ein erweitertes Netzwerk der inneren Sprache zu konstruieren, welches Hirnregionen umfasst, die eine stabile funktionelle Konnektivität zueinander aufweisen. Dies gilt zum Nachweis einer gemeinsamen Aktivierung der Hirnregionen unabhängig vom kognitiven Zustand und liefert Aufschlüsse über die Funktion und den Nutzen der inneren Sprache.

Unsere Daten zeigen, dass besonders Strukturen im Frontalhirn einen Teil des erweiterten Netzwerkes der inneren Sprache darstellen. Dies sind im Detail der linke Gyrus praecentralis, der bilaterale pMFC und der bilaterale IFG. Der IFG beinhaltet das motorische Sprachzentrum (Broca-Zentrum) und nimmt damit eine bedeutende Rolle bei linguistischen Prozessen wie der Sprachverarbeitung und Sprachproduktion ein (Briggs et al., 2019). Neben seiner Beteiligung bei der Sprachproduktion ließ sich im Rahmen der aktiven Emotionskontrolle auch eine Aktivität des IFG nachweisen. Dabei zeigte sich eine generelle Aktivierung des rechten IFG während der aktiven Bemühung gesunder Probanden ihre Emotionen zu regulieren (Klumpers et al. 2010).

Unsere Analysen zeigten außerdem, dass limbische Strukturen, die bekanntermaßen ebenfalls an der Emotionsregulation beteiligt sind, einen Bestandteil des Netzwerkes der inneren Sprache darstellen. Die Beteiligung des rechten Cerebellums und des linken dorsalen ACC, als Teil des limbischen Systems, wird in der weiterführenden Literatur bei Verwendung der unwillkürlichen inneren Sprache bestätigt (Raj et al., 2017; Fox et al., 2015). Dabei wird dem ACC eine Beteiligung bei der emotionalen Selbstkontrolle und der Lösungssuche zugesprochen (Allman et al., 2001). Auch das Cerebellum zeigt laut jüngsten Studien neben seiner Rolle bei der Koordination von Bewegungen auch eine Beteiligung an komplexen kognitiven und emotionalen Prozessen (Fastenrath et a., 2022).

Der Precuneus bildet ebenfalls einen Teil des erweiterten Netzwerks der inneren Sprache. In der Vergangenheit konnte eine Aktivierung des Precuneus bei der Verwendung der inneren Sprache bereits nachgewiesen werden (Fox et al., 2015; Fernyhough et al., 2018). Neben der Aktivierung während der inneren Sprache zeigt der Precuneus beim episodischen Gedächtnisabruf und bei Selbstverarbeitungsvorgängen Aktivität (Cavanna et al., 2006).

Diese Erkenntnisse zeigen, dass die im erweiterten Netzwerk der inneren Sprache beteiligten Hirnregionen sowohl an der Emotionsregulation und -verarbeitung als auch an reflektierenden Prozessen beteiligt sind. Dadurch ist anzunehmen, dass die innere Sprache funktionell insbesondere genutzt wird, um emotionale Situationen zu verarbeiten und vergangene Situationen zu reevaluieren.

Auch die anfänglich aufgestellte Hypothese, die bilaterale Insula sei Bestandteil des Netzwerks der inneren Sprache ließ sich durch unsere Analyse bestätigen. Im Rahmen von Untersuchungen zur ausgesprochenen inneren Sprache („*overt inner speech*“; zu Deutsch: Laute innere Sprache) wurde der linken Insula besonders die Beteiligung an der motorischen Steuerung der Sprachproduktion zugesprochen (Duffau et al., 2001; Dronkers et al., 1996). Eine weitere Studie zeigte eine bilaterale Aktivierung der Insula bei Verwendung der inneren Sprache, differenziert dabei jedoch nicht zwischen der „*overt und covert inner speech*“ (Oh et al., 2014). Unsere Ergebnisse zeigten, dass die Insula bilateral auch an der Bildung der unwillkürlichen inneren Sprache beteiligt ist. Diese Beteiligung ist vermutlich auf die Funktion der Insula bei der Planung von Artikulation zurückzuführen (Perrone-Bertolotti et al., 2014). Darüber hinaus zeigt die Insula auch eine Beteiligung bei der Verarbeitung von subjektiven Emotionen und Empathieempfinden (Suzuki, 2012). Auch diese Eigenschaften werden vermutlich zu einer Beteiligung der Insula während der inneren Sprache führen. Die linksseitige Insula hat bekanntermaßen eine direkte anatomische Verbindung zu den inferioren und lateralen Frontalregionen (Jakab et al., 2012). Augustine (1996) wies zusätzlich eine funktionelle Konnektivität zwischen der linksseitigen Insula, dem IFG und dem präfrontalen Cortex während der „*overt inner speech*“

nach. Unsere Ergebnisse zeigen, dass diese funktionellen Konnektivitäten auch während der Verwendung der unwillkürlichen inneren Sprache vorhanden sind.

Auch die Beteiligung temporaler Strukturen bei der Verwendung der inneren Sprache konnte durch unsere Analyse gezeigt werden. Im Detail sind die Aktivierung des bilateralen MTG und des bilateralen ITGs zu nennen. Die Aktivierung des Heschl's Gyrus bei der Durchführung von Selbstgesprächen, als Teil des superioren Temporallappens und primären auditorischen Cortex, wurde in der Literatur bereits beschrieben (Hurlburt et al., 2016). Da der Temporallappen auch das Wernicke-Areal beinhaltet, ist er für die Spracherkennung und das Sprachverständnis und durch seine Interaktion mit sprachmotorischen Kortextarealen auch für die Sprachproduktion verantwortlich (Kahle und Frotscher, 2009). Somit lässt sich die Beteiligung temporaler Strukturen im erweiterten Netzwerk der inneren Sprache zu erklären.

Bekanntermaßen wird die linke Hemisphäre als sprachdominant bezeichnet (Kandel et al., 2021), so liegt links auch das Broca- und Wernicke-Zentrum als motorisches und sensorisches Sprachzentrum (Trepel, 2008) und ist damit maßgeblich an der Sprachproduktion und der Sprachverarbeitung beteiligt. Interessanterweise zeigt unser Netzwerk nicht nur eine linksseitige, sondern eine bilaterale Konnektivität. Auch andere Studien konnten bereits eine Aktivität der rechtsseitigen Insula und Hirnregionen des rechten Frontalkortex bei Aufgaben zur Sprachproduktion nachweisen (Wong et al., 2002; Voets et al., 2006; Winhuisen et al., 2005). Unseren gewonnenen Erkenntnissen bestätigen diese Studienergebnisse und zeigen, dass die rechte Hemisphäre ebenfalls einen Anteil des Sprachnetzwerks beinhaltet.

4.2 Rumination

Ein weiterer Schritt dieser Arbeit war die Erstellung eines erweiterten Netzwerks der Rumination. Dieses umfasst Hirnregionen, die eine robuste funktionelle Konnektivität untereinander aufweisen. In der Literatur ist bereits ein neuronales Netzwerk der Rumination beschrieben, welches Hirnregionen aufzeigt, während

Rumination ausgeführt wird (Zhang et al., 2020). Die Besonderheit an unserem erweiterten Netzwerk im Gegensatz zu dem Netzwerk nach Zhang ist, dass dieses robuste funktionelle Konnektivitäten aufweist. Dadurch ist der Nachweis einer gemeinsamen Aktivierung der Hirnregionen unabhängig vom kognitiven Zustand möglich und liefert Aufschlüsse über die Funktion und den Nutzen der Rumination.

Das erweiterte Netzwerk Rumination umfasst nach unserer Analyse posterior medial frontal gelegene Areale inkl. dem medialen cingulären Cortex (MCC), die bilaterale Insula, frontale Areale wie den IFG und den Gyrus praecentralis, temporale Areale wie den Heschl-Gyrus, und parietale Areale wie das Operculum, den IPL und den SPL. Ebenso ist der linke ACC Teil des erweiterten Ruminationsnetzwerks. Während der Rumination ist eine Überaktivierung des ACC und des präfrontalen Kortex bei depressiven Probanden bereits beschrieben worden (Cooney et al., 2010; Hamilton et al., 2015). In dem hier dargestellten erweiterten Ruminationsnetzwerk ist der dorsale Anteil des ACC aktiv. Dem dorsalen ACC (dACC) werden zahlreiche Aufgaben wie die Beteiligung bei Lernprozessen, der Aufmerksamkeit, der Entscheidungsfindung und dem Belohnungssystem zugesprochen (Cohen et al., 2005; Russo et al., 2015; Lemogne et al., 2009). Speziell die Beteiligung beim Abrufen von autobiographischen und episodischen Gedächtnisinhalten, die ausgeprägte Aktivierung während der affektiven Schmerzverarbeitung, der Verarbeitung von Emotionen, der Beteiligung an der Sprachproduktion und der Verarbeitung von Erwartungskonflikten (Nielsen et al., 2005; Bromm, 2001; Siegle et al., 2007; Cohen et al., 2005; Russo et al., 2015) erklären die Beteiligung des dACC während der Rumination. Studien zeigten, dass bei Hyperaktivität im dACC eine Verstärkung von negativen und grübelnden Gedanken nachgewiesen werden konnte (Siegle et al., 2007). Dies stützt die Annahme, dass der dACC eine wichtige Bedeutung für ruminative Gedankengänge darstellt.

Ebenso ist der präfrontale Kortex als Bestandteil des Ruminationsnetzwerks durch seine Rolle bei der Entscheidungsfindung, der Verarbeitung von

Emotionen und der Aufmerksamkeit zu erklären (Lemogne et al., 2009). Besonders interessant ist auch die nachgewiesene Konnektivität im präfrontalen und cingulären Cortex. Studien konnten zeigen, dass diese Hirnregionen während der induzierten Rumination aktiviert werden (Kross et al., 2009) und dass die Stärke der Aktivierung dieser Regionen bei Patienten mit Depressionen mit der Erkrankungsdauer korreliert (Greicius et al., 2007). Verarbeitung von Konflikten und Emotionsregulation scheinen damit grundlegende Aufgaben des ruminativen Geisteszustandes zu sein.

In der Studie von Milazzo et al. (2014) konnte speziell die Konnektivitätsänderung des ACC und der Amygdala als Unterscheidungsmerkmale zwischen dem ruminativen Geisteszustand im Vergleich zu anderen mentalen Zuständen herausgestellt werden (Milazzo et al., 2014). Die Amygdala spielt eine entscheidende Rolle bei der Verarbeitung von Emotionen wie Angst und Furcht (Milazzo et al., 2014). Insbesondere kann eine erhöhte Aktivität in der Amygdala zu einer erhöhten emotionalen Reaktivität und einer verstärkten Einbeziehung negativer Reize führen, was die Tendenz zur Rumination verstärken kann (Milazzo et al., 2014). Die anfangs aufgestellte Hypothese, die Amygdala stelle einen Teil des Ruminationsnetzwerk dar, konnte wider Erwarten in unserer Analyse nicht bestätigt werden. Dennoch sprechen die bisherigen Forschungsergebnisse weiterhin dafür. Eventuell ist der gewählte Grenzwert bei der Peak-Bestimmung zu niedrig gewählt worden, so ließe sich das Fehlen der Amygdala als Bestandteil des Ruminationsnetzwerk in unserer Analyse möglicherweise erklären.

Der Precuneus ist ebenfalls als Bestandteil des erweiterten Netzwerks der Rumination zu nennen. Dieser Region werden insbesondere Fähigkeiten zur Selbstreflexion (Dadario et al., 2023), dem episodischen Gedächtnis und der Emotionsregulation (Messina et al., 2023) zugesprochen. Es konnte sogar eine Abnahme der Aktivität während nicht selbstreferenziellen, zielgerichteten Aufgaben nachgewiesen werden (Cavanna et al., 2006). Aufgrund dieser Erkenntnis wurde postuliert, der Precuneus sei ein neuronales Korrelat, welches

eng mit dem Selbstbewusstsein und mit selbstbezogenen, mentalen Repräsentationen im Ruhezustand verbunden ist (Cavanna et al., 2006).

Das Zusammenspiel des dACC, des präfrontalen Kortex und des Precuneus lässt Rückschlüsse auf die funktionelle Bedeutung der Rumination ziehen. Sie dient somit zur Konflikt- und Emotionsverarbeitung, zur Verarbeitung traumatischer Geschehnisse und zur Reflexion selbstreferenzieller Prozesse. Eigenständig betrachtet klingt dies nach einem positiven Coping-Mechanismus. Die positiven Auswirkungen der Rumination konnten in weiteren Studien bestätigt werden. In diesen konnte gezeigt werden, dass negative Erfahrungen die positive Metakognition aktivieren und dadurch das Grübeln genutzt wird, um negative Situationen zu überwinden (Zhou et al. 2023). Gleichzeitig konnte gezeigt werden, dass Rumination das grundsätzliche Bewusstsein für den eigenen mentalen Zustand und die eigenen Gefühle erhöhen und sich somit positiv auf das Wohlbefinden auswirken kann (Harrington et al., 2011; Liu et al., 2020).

Jedoch ist das andauernde, negative Wiederholen abwertender Gedanken kennzeichnend für die Rumination (Milazzo et al., 2014) und stellt somit im übermäßigen Ausmaß einen kognitiven Risikofaktor für die Entstehung und für den Rückfall von Depressionen dar (Wang et al., 2015; Lyubomirsky & Nolen-Hoeksema, 1995). Die Rumination kann somit als positiver Coping-Mechanismus dienen, der unser Bewusstsein wieder auf unser eigenes Wohlbefinden lenkt. Sie kann aber auch bei starken abwertenden, repetitiven Gedanken schädlich für unsere mentale Gesundheit sein.

Studien zeigten, dass Patienten mit Depressionen nicht nur eine verstärkte Ruminationstendenz, sondern zusätzlich Dysfunktionen im Default-Mode-Netzwerk (DMN) (Greicius et al., 2007) aufweisen. Das DMN ist ein neurobiologisches Netzwerk und weist eine gesteigerte Aktivität auf, wenn keiner Aufgabe aktiv nachgegangen wird, das Gehirn sich also vermeintlich in Ruhe befindet (Mak et al., 2017; Raichle et al., 2001). Bei aufmerksamkeitsintensiven Aufgaben ist die Aktivität dieses Netzwerks reduziert (Whitfield-Gabrieli et al., 2012), deshalb wird es auch als „aufgaben-negatives“ Netzwerk bezeichnet (Fox

et al., 2015). Die ausschließliche Bezeichnung als aufgaben-negatives Netzwerk ist mittlerweile jedoch veraltet. Zahlreiche Studien konnten zeigen, dass das DMN auch bei kognitiven Prozessen aktiv ist. Dazu gehören die Bewertung vergangener Ereignisse, die Informationsverarbeitung (Koshino et al., 2014), sowie die Beteiligung am episodischen Gedächtnis (Buckner and Carroll, 2007, Greicius et al., 2003). Außerdem scheint dieses Netzwerk bei der Verarbeitung von Emotionen und der Selbstreflexion involviert zu sein (Buckner et al., 2008; Raichle und Snyder, 2007; Whitfield-Gabrieli et al., 2012).

Hamilton und Kollegen (2011) untersuchten den Zusammenhang zwischen dem DMN und der Rumination. Als Ergebnis zeigte sich, dass das DMN bei depressiven Patienten oft verstärkt aktiviert ist und es eine Korrelation zwischen der verstärkten Aktivierung des DMN und der Zunahme der maladaptiven, ruminativen Gedanken gibt (Hamilton et al., 2011, Whitfield-Gabrieli et al., 2012). Dies könnte durch Beteiligung ähnlicher Hirnregionen in beiden Netzwerken erklärbar sein. Bei Betrachtung der Hirnregionen des erweiterten Netzwerks der Rumination und denen des DMN zeigt sich, dass der linke ACC, linke PCC, der linke Precuneus und die Insula bilateral Regionen sind, die in beiden Netzwerken aktiviert werden. Funktionell betrachtet sind sowohl die Insula als auch der PCC und ACC bei Prozessen wie der Emotionsregulation und Emotionsverarbeitung und der Bewertung sozialer Prozesse involviert, während der Precuneus und der PCC funktionell bedeutend für die Selbstreflexion und das Abrufen episodischer Gedächtnisinhalte sind (Nielsen et al., 2005; Bromm, 2001; Siegle et al., 2007; Cohen et al., 2005; Russo et al., 2015; Kurth, 2009). Dies verdeutlicht die Beteiligung der genannten Regionen bei selbstreferenziellen und emotionsregulatorischen Prozessen während der Aktivierung des DMN und der Rumination (Ghaznavi et al., 2023).

Damit ist sowohl auf funktioneller als auch auf neuronaler Ebene ein Zusammenhang der beiden Netzwerke anzunehmen. Würde man die tatsächlichen Überschneidungspunkte beider Netzwerke erfassen wollen, wäre hier eine Analyse wie in der vorliegenden Arbeit zur Bestimmung der funktionellen Konnektivitäten notwendig. Dadurch könnte eine genaue Aussage über mögliche Überschneidungen getroffen werden. Der Nachweis eines

funktionellen Zusammenhangs der beiden Netzwerke wäre ein weiterer interessanter Ansatzpunkt für kommende Studien.

4.3 Überkappungskarte innere Sprache und Rumination

Zahlreiche Studien zeigten, dass die Art der Gedanken während der Rumination vor allem verbaler Natur sind (McLaughlin et al., 2007) und dass es während der Rumination zu einer Zunahme verbaler Gedanken kommt (Goldwin et al., 2012; Moffatt et al., 2020). Daher wird die Rumination bereits als eine kondensierte, internalisierte Form der inneren Sprache bezeichnet (Nalborczyk et al., 2021). Ob beide Netzwerke jedoch funktionell miteinander agieren wurde in bisherigen Arbeiten nicht untersucht. Dies war eines unserer Ziele dieser Studie.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass es eine funktionelle Überlappung zwischen den Netzwerken der inneren Sprache und der Rumination zu geben scheint. Überlappungen in den beiden Netzwerken existieren demnach in dem bilateral posterioren medialen frontalen Cortex, der bilateralen Insula, dem rechten IFG, dem linken Gyrus praecentralis, dem linken inferioren und superioren Parietalkortex und dem linken Precuneus.

Speziell die Überschneidung in den frontalen Hirnarealen ist eine interessante Erkenntnis. Die Beteiligung des Frontallappens ist vermutlich durch seine Beteiligung an linguistischen Prozessen zu erklären (Briggs et al., 2019). Vor allem der IFG zeigt in Studien eine klare Beteiligung bei der Sprachverarbeitung, sowie kognitiven Kontrolle und der emotionalen Verarbeitung (Klumpers et al., 2010). Auch bei der Rumination zeigt der IFG eine erhöhte Aktivität (Kocsel et al., 2017). Dies könnte auf eine verstärkte Selbstreflexion und vermehrte Kontrolle über die eigenen Gedanken hinweisen. Die genannten Funktionen des IFG sind sowohl mit der inneren Sprache als auch mit der Rumination stark assoziiert, somit ist die Beteiligung und Überschneidung in beiden Netzwerken schlüssig. Diese Erkenntnis lässt schlussfolgern, dass die innere Sprache sowie die Rumination einen maßgeblichen Einfluss auf unsere Selbstreflexion haben und einen Mechanismus zur Emotionsverarbeitung darstellen.

Der vmPFC spielt vor allem eine Rolle bei der emotionalen Bewertung, der Selbstreferenzierung und der Selbstreflexion (Hiser et al., 2018). Somit ist auch zu erklären, dass die Funktion dieser Frontalhirnregion sowohl bei der inneren Sprache als auch bei der Rumination einen großen Stellenwert einnimmt und somit einen Überschneidungspunkt beider Netzwerke darstellt.

Die bilaterale Insula dient ebenfalls der Emotionskontrolle, ist jedoch auch durch ihre Beteiligung an der Reflexion von Gedanken und Körperempfindungen (Kurth et al., 2010; Sörös et al., 2007) gekennzeichnet. Damit hat sie unweigerlich Einfluss auf die Emotions- und Sprachverarbeitung (Bamiou et al., 2003; Kurth et al., 2010) und ist zentraler Bestandteil repetitiver, negativer Gedankenvorgänge und unserer Selbstgespräche.

Auch der Precuneus ist nach unseren Analysen ein Überschneidungspunkt zwischen dem Netzwerk der inneren Sprache und der Rumination. Der Precuneus ist funktionell an der emotionalen Regulation, sowie der Metakognition und dem episodischen Gedächtnis beteiligt (Ye et al., 2018). Die Metakognition beschreibt dabei die Fähigkeit unsere eigenen Gedanken und kognitiven Prozesse zu regulieren (Ye et al., 2018). Da der Precuneus, wie unsere Analysen zeigen, sowohl bei der inneren Sprache als auch bei der Rumination funktionell beteiligt ist, lässt dies Rückschlüsse auf die Funktion beider mentaler Zustände ziehen. Somit scheint die Aktivität des Precuneus in beiden Netzwerken der emotionalen Kontrolle und der Evaluation unsere eigenen Gedanken, vor allem im Zusammenhang mit dem Abrufen episodischer Gedächtnisinhalte, zu dienen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das ursprüngliche Ziel, Überschneidungen zwischen dem Netzwerk der inneren Sprache und der Rumination nachzuweisen, umgesetzt werden konnte. Unsere Hypothese, dass es Überschneidungen im MFG, IFG, SPL und IPL und der Insula zwischen der Rumination und der inneren Sprache zu geben scheint, ließ sich bestätigen. Mithilfe der durchgeführten Analysen ließen sich robuste-funktionelle Konnektivitäten ermitteln, die belegen, dass die Hirnregionen der inneren Sprache und der Rumination funktionelle Einheiten bilden. Somit ist nicht nur eine

anatomische Korrelation, sondern auch ein funktioneller Zusammenhang beider Netzwerke nachgewiesen.

Die genannten Überschneidungspunkte der beiden Netzwerke stehen vor allem in Zusammenhang mit Emotionskontrolle, Verarbeitung von Gefühlen, Selbstreflexion und Gedankenempfindungen und geben damit Aufschluss über die Funktion beider Prozesse.

Da es sich bei den berechneten Konnektivitäten um robuste-funktionelle Verbindungen handelt, lässt sich schlussfolgern, dass die Rumination sowohl auf neuronaler als auch auf funktioneller Ebene als eine Unterform der inneren Sprache angesehen werden kann.

4.4 Limitationen und Zukunftsperspektiven

Wie im Einleitungsteil beschrieben wird zwischen der unterdrückten inneren Sprache („*covert inner speech*“) und der unwillkürlichen inneren Sprache unterschieden (Perrone-Bertolotti et al., 2014). In unserer Arbeit ging es um die Charakterisierung eines Netzwerks der unwillkürlichen inneren Sprache. Dabei soll die innere Sprache spontan und ohne Vorgaben entstehen. Dies ist notwendig, um die spontan entstandene innere Sprache, wie sie auch im Alltag vorkommen würde, zu untersuchen (Kühn et al., 2014). Wie sich in der Literaturrecherche feststellen ließ, wird die „*covert inner speech*“ oftmals nicht scharf genug von der unwillkürlichen inneren Sprache abgegrenzt. Häufig ist dann von der inneren Sprache die Rede, anhand des angewendeten experimentellen Vorgehens lässt sich jedoch ableiten, dass vielmehr die „*covert inner speech*“ untersucht wurde. Dies erschwerte maßgeblich das Festlegen der Kernregionen zu Beginn dieser Arbeit. Aufgrund der teilweise unpräzisen Abgrenzung der beiden Sprachbedingungen (*unterdrückt vs. unwillkürlich*) wären weitere Studien mit klar definierten Instruktionen erstrebenswert, um den Unterschied zwischen der unterdrückten inneren Sprache und der spontan entstandenen inneren Sprache herauszustellen. Zum einen, um hirnfunktionelle Unterschiede herauszufiltern und zum anderen, um die in der Literatur zahlreich diskutierte Beziehung der beiden Formen der inneren Sprache zu definieren (Perrone-Bertolotti et al., 2014).

Das Netzwerk für Rumination, das für die vorliegende Arbeit herangezogen wurde (Zhang et al. 2020), basiert auf den Daten von gesunden sowie depressiven Patienten. Da Rumination mit vielen psychischen Krankheitsbildern assoziiert ist, sind insgesamt viele Studien an Patienten mit einer bereits diagnostizierten „*Major Depressive Disorder*“ (zu Deutsch: Schwere Depression; MDD) durchgeführt worden. Doch auch gesunde Probanden ruminieren, ohne dass dies zur Ausbildung einer MDD führen muss (Nolen-Hoeksema et al., 1991). Unsere Analyse bildet die Grundlage für ein funktionelles Netzwerk. Es gibt Aufschlüsse darüber welche Hirnregionen funktionell zusammenhängen. Dies lässt Rückschlüsse auf den Nutzen der Rumination ziehen. Um zu sehen, ob das Netzwerk bei Patienten mit einer MDD dysfunktional ist, wäre ein Vergleich zu ausschließlich gesunden Probanden interessant. Dafür wäre es notwendig, ein Ruminationsnetzwerk mit ausschließlich gesunden Probanden ohne psychische Vorerkrankungen zu erstellen. Dies könnte neue Erkenntnisse liefern, so dass sich potentiell der Beginn depressiver Erkrankungen oder hirnfunktionelle Veränderungen nach traumatischen Ereignissen mit ruminativen Tendenzen genauer untersuchen ließen.

Ein weiterer interessanter Ansatz hinsichtlich translationaler Forschung wäre der Vergleich des Netzwerks der inneren Sprache von gesunden Probanden mit dem Netzwerk von Probanden mit auditorischen Halluzinationen. Auditorische Halluzinationen werden als Geräusche definiert, die von einem wachen Individuum in Abwesenheit eines externen Stimulus wahrgenommen werden (Blom et al., 2015). Es kann unterschieden werden, ob die Wahrnehmung aus der Umwelt stammt (externe auditorische Halluzinationen) oder ob sie intern entstehen (Copolov et al., 2004). Die auditorischen Halluzinationen können als Symptom bei Patienten mit psychischen Störungen wie der bipolaren Störung oder Depressionen auftreten (Alderson-Day et al., 2015). Insbesondere bei schizophrenen Störungen treten auditorische Halluzinationen mit einer Häufigkeit von 60-80% auf (Baethge et al., 2005; Bauer et al., 2011). In diesem Kontext wurden bereits einige Studien durchgeführt, um die Organisation und das spontane Aktivieren von Hirnregionen während auditorischer Halluzinationen zu

untersuchen. Interessanterweise ließ sich hierbei keine Aktivität im primären auditorischen Kortex zeigen, viel mehr ließen sich Aktivitäten in Regionen der Sprachproduktion nachweisen (Kühn und Gallinat, 2012). Es zeigte sich beispielweise eine Aktivierung des bilateralen IFG, des linken IPL, des rechten SPL, des bilateralen ACC, des linken praecentralen Gyrus und der linken Insel (Alderson-Day et al., 2015; Kühn et al., 2010). Diese Regionen sind zum Großteil auch Regionen, die in unserem erweiterten Netzwerk der inneren Sprache Bestand finden. Es scheint folglich Überschneidungen der Aktivierungsmuster der auditorischen Halluzinationen und der inneren Sprache zu geben. Dieses stützt die Annahme, die auditorischen Halluzinationen entstehen aufgrund einer unzureichenden Kontrolle über die eigene innere Sprache, weshalb sie als externer Sinneseindruck wahrgenommen werden (Frith et al., 1992; Ford et al., 2002).

Auditorische Wahrnehmungen können jedoch auch physiologisch auftreten. Dazu zählen während des Traumzustandes erlebte Hörwahrnehmungen, auditive Pareidolien (ein Phänomen, bei dem tatsächliche Geräusche gehört werden, diese jedoch falsch wahrgenommen oder interpretiert werden) oder Hypnagogien (Hörwahrnehmungen während des Einschlafens oder Aufwachens) (Blom et al., 2015). Außerdem gibt es Studien von Patienten, die auch im Alltag auditorischen Halluzinationen wahrnehmen aber an keiner psychischen Erkrankung leiden, sogenannte „*non-clinical Voice Hearers*“ (zu Deutsch: Nicht klinische Stimmenhörer) (Alderson-Day et al., 2016; Kühn et al., 2012). Zu ausschließlich „*non-clinical Voice Heares*“ gibt es bislang noch keine großen Studien, welche dieses Netzwerk untersuchen.

Die auditorischen Halluzinationen bieten somit zahlreiche Möglichkeiten für weitere Forschungsansätze. Das Erstellen eines erweiterten Netzwerks und der Vergleich zur inneren Sprache wäre interessant, um zu prüfen, ob das gleiche Netzwerk oder ähnliche Hirnregionen aktiviert werden während auditorische Halluzinationen wahrgenommen werden. Dies könnte Rückschlüsse auf mögliche Pathologien ziehen lassen oder Erklärungen für das Wahrnehmen von auditorischen Halluzinationen bei klinisch gesunden Probanden liefern.

5. Zusammenfassung und Fazit

Die Basis dieser Arbeit war eine ausführliche Recherche der aktuellen Literatur zu den relevanten Themengebieten der inneren Sprache und Rumination. Auf Grundlage dieser Ergebnisse wurden die Kernregionen für ein Netzwerk der a) inneren Sprache und b) Rumination festgelegt. Anschließend wurde zunächst für jede Kernregion eine Resting-State Analyse durchgeführt, die alle Hirnregionen beschreibt, die aufgabenunabhängig aktiviert werden. Parallel dazu wurde für jede Kernregion eine MACM-Analyse durchgeführt, die wiederum all die Regionen beschreibt, die aufgabenabhängig aktiviert werden. Anschließend wurden die Resting-State Analyse und die MACM-Analyse kombiniert, so dass robuste Konjunktionkarten entstanden sind, die eine Konnektivität zwischen den Regionen sowohl im aufgabenabhängigen als auch im aufgabenunabhängigen Zustand zeigen. Damit konnte das erweiterte Netzwerk für die a) innere Sprache und b) Rumination erstellt werden.

In einem zweiten Schritt wurden anschließend Überschneidungen der beiden erweiterten Netzwerke untersucht.

Die Erstellung des Netzwerks der inneren Sprache zeigt, dass insbesondere Frontalhirnregionen wie der bilaterale IFG, der bilaterale pMPFC und der linke Gyrus praecentralis einen Teil des Netzwerkes darstellen. Ein großes Cluster des Netzwerks wird auch durch temporale Strukturen wie dem bilateralen STG, MTG und ITG abgebildet. Zusätzlich ist die funktionelle Konnektivität des linken ACC und MCC, des bilateralen Cerebellums, als Teil des limbischen Systems, und des linken Precuneus kennzeichnend für dieses Netzwerk.

Als Hirnregionen, die das Netzwerk der Rumination funktionell abbilden, sind auch in diesem Netzwerk Regionen des Frontalhirns, im Einzelnen der rechte IFG, der bilaterale posteriore mediale frontale Cortex und der linke Gyrus praecentralis, zu nennen. Ein größerer medialer Anteil wird durch den linken dACC, MCC und PCC abgebildet. Ebenso stellen bilaterale Insula und der linke Precuneus einen Teil des Ruminationsnetzwerks dar.

In der Analyse zu Überschneidungen zwischen den beiden Netzwerken zeigten Regionen im Frontalhirn wie der rechte IFG, der linke precentrale Gyrus und der bilaterale posteriore mediale frontale Cortex eine funktionelle Konnektivität

zueinander. Neben den Frontalhirnregionen stellen auch der linke SPL und IPL, der linke Precuneus, sowie die bilaterale Insula Überschneidungspunkte beider Netzwerke miteinander dar.

Durch den Nachweis der funktionellen Konnektivitäten in unseren Analysen lassen sich Rückschlüsse auf die Funktion der Netzwerke ziehen. Demnach scheinen beide Netzwerke mit der emotionalen Kontrolle und der Evaluation von Gedanken, insbesondere mit dem Abrufen episodischer Gedächtnisinhalte, in Zusammenhang zu stehen. Abschließend lässt sich sagen, dass sich eine Überlappung beider Netzwerke nachweisen ließ und somit die innere Sprache und die Rumination nicht nur begrifflich, sondern auch hirnfunktionell miteinander verbunden sind.

6. Literaturverzeichnis

- Ait Khelifa-Gallois N, Puget S, Longaud A, Laroussinie F, Soria C, Sainte-Rose C, Dellatolas G. Clinical evidence of the role of the cerebellum in the suppression of overt articulatory movements during reading. A study of reading in children and adolescents treated for cerebellar pilocytic astrocytoma. *The Cerebellum*, 2015; 14 (2): 97-105.
- Alderson-Day B, Fernyhough C. Inner speech: Development, cognitive functions, phenomenology, and neurobiology. *Psychological Bulletin*, 2015; 141 (5): 931-965.
- Alderson-Day B, Fernyhough C. Relations among questionnaire and experience sampling measures of inner speech: a smartphone app study. *Frontiers in Psychology*, 2015; 6: 517.
- Alderson-Day B, Weis S, McCarthy-Jones S, Moseley P, Smailes D, Fernyhough D. The brain's conversation with itself: neural substrates of dialogic inner speech. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 2016; 11: 110-120.
- Allman JM, Hakeem A, Erwin JM, Nimchinsky E, Hof P. The Anterior Cingulate Cortex. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2001; 935: 107-117.
- Altschuler EL, Multari A, Hirstein W, Ramachandran VS. Situational therapy for Wernicke's aphasia. *Medical Hypotheses*, 2006; 67(4): 713-716.
- Amit E, Hoeflin C, Hamzah N, Fedorenko E. An asymmetrical relationship between verbal and visual thinking: Converging evidence from behavior and fMRI. *Neuroimage*, 2017; 152: 619-627.
- Amunts K, Schleicher A, Bürgel U, Mohlberg H, Uylings H, Zilles K. Broca's region revisited: Cytoarchitecture and intersubject variability. *Journal of Comparative Neurology*, 1999; 412 (2): 319–341.
- Antrobus JS, Singer JL, Greenberg S. Studies in the stream of consciousness: experimental enhancement and suppression of spontaneous cognitive processes. *Perceptual and Motor Skills*, 1966; 23: 399–417.
- Ashburner J, Friston KJ. Unified segmentation. *Neuroimage*, 2005; 26 (3): 839-851.
- Augustine JR. Circuitry and functional aspects of the insular lobe in primates including humans. *Brain Research Reviews*, 1996; 22 (3): 229-44.

- Baethge C, Baldessarini RJ, Freudenthal K, Streeruwitz A, Bauer M, Bschor T. Hallucinations in bipolar disorder: characteristics and comparison to unipolar depression and schizophrenia. *Bipolar Disorders*, 2005; 7 (2): 136-145.
- Bamiou DE, Musiek FE, Luxon LM. The insula (Island of Reil) and its role in auditory processing. *Brain Research Reviews*, 2003; 42 (2): 143-154.
- Bauer SM, Schanda H, Karakula H, Olajossy-Hilkesberger L, Rudaleviciene P, Okribelashvili N, Chaudhry HR, Idemudia SE, Gscheider S, Ritter K, Stompe T. Culture and the prevalence of hallucinations in schizophrenia. *Comprehensive Psychiatry*, 2011; 52 (3): 319-325.
- Berman MG, Peltier S, Nee DE, Kross E, Deldin PJ, Jonides J. Depression, rumination and the default mode network. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 2011; 6: 548-555.
- Biswal B, Zerrin Yetkin F, Haughton VM, Hyde JS. Functional connectivity in the motor cortex of resting human brain using echo-planar mri. *Magnetic Resonance in Medicine*, 1995; 34: 537-541.
- Blom JD. Auditory Hallucinations. *Handbook of Clinical Neurology*, 2015; 129: 433-455.
- Briggs RG, Chakraborty AR, Anderson CD, Abraham CJ, Palejwala AH, Conner AK, Pelargos PE, O'Donoghue DL, Glenn CA, Sughrue ME. Anatomy and white matter connections of the inferior frontal gyrus. *Clinical Anatomy*, 2019; 32 (4): 546-556.
- Brinthaup T, Hein M, Kramer T. The Self-Talk Scale: Development, Factor Analysis, and Validation. *Journal of personality assessment*, 2009; 91: 82-92.
- Bromm B. Brain Images of Pain. *News in Physiological Science*, 2001; 16 (5): 244-249.
- Buckner RL, Andrews-Hanna JR, Schacter DL. The brain's default network: anatomy, function, and relevance to disease. *Annals of the New York Academy of Science*, 2008; 1124: 1-38.
- Buckner RL, Carroll DC. Self-projection and the brain. *Trends in Cognitive Science*, 2007; 11 (2): 49-57.
- Bürger Z, Müller VI, Hoffstaedte F, Habel U, Gur RC, Windischberger C, Moser E, Derntl B, Kogler L. Stressor-Specific Sex Differences in Amygdala-Frontal Cortex Networks. *Journal of Clinical Medicine*, 2023; 12: 865.

- Burkhouse KL, Jacobs RH, Peters AT, Ajilore O, Watkins ER, Langenecker SA. Neural correlates of rumination in adolescents with remitted major depressive disorder and healthy controls. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 2017; 17 (2): 394-405.
- Calvete E, Estévez A, Landín C, Martínez Y, Ramírez O, Villardón L, Sánchez A. Self-Talk and Affective Problems in College Students: Valence of Thinking and Cognitive Content Specificity. *Spanish Journal of Psychology*, 2005; 8: 56-67.
- Camilleri JA, Müller VI, Fox P, Laird AR, Hoffstaedter F, Kalenscher T, Eickhoff SB. Definition and characterization of an extended multiple-demand network. *Neuroimage*, 2018; 165: 138-147.
- Caspers SIV. Zytoarchitektonische und rezeptorautoradiographische Kartierung des inferioren Parietallappens des Menschen. Medizinische Dissertation, C. und O. Vogt Institut für Hirnforschung, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, 2008.
- Cavanna AE, Trimble MR. The precuneus: a review of its functional anatomy and behavioural correlates. *Brain*, 2006; 129 (Pt 3): 564-583.
- Cohen MX, Heller AS, Ranganath C: Functional connectivity with anterior cingulate and orbitofrontal cortices during decision-making. *Cognitive Brain Research*, 2005; 23: 61-70.
- Cooney RE, Joormann J, Eugène F, Dennis EL, Gotlib IH. Neural Correlates of Rumination in Depression. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 2010; 10 (4): 470-478.
- Copolov D, Trauer T, Mackinnon A, On the non-significance of internal versus external auditory hallucinations. *Schizophrenia Research*, 2004; 1; 69 (1): 1-6.
- Cuijpers P, Smit F. Subthreshold depression as a risk indicator for major depressive disorder: a systematic review of prospective studies. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 2004; 109 (5): 325-331.
- Dadario NB, Sughrue ME. The functional role of the precuneus. *Brain*, 2023; 146 (9): 3598-3607.
- Daroff RB, Fenichel GM, Jankovic J, Mazziotta JC. *Bradley's Neurology in Clinical Practice*. Elsevier, 2012: 134-135.
- Davidhizar RE, Shearer R. Increasing self-confidence through self-talk. *Home Healthcare Nurse*, 1996; 14 (2): 119-122.

- Dronkers NF. A new brain region for coordinating speech articulation. *Nature*, 1996; 384 (6605): 159-161.
- Duffau H, Bauchet L, Lehericy S, Capelle L. Functional compensation of the left dominant insula for language. *Neuroreport*, 2001; 12 (10): 2159-2163.
- Duncan R, Cheyne J. Incidence and Functions of Self-Reported Private Speech in Young Adults: A Self-Verbalization Questionnaire. *Canadian Journal of Behavioural Science*, 1999; 31: 133-136.
- Durald M. Toward positive attitudes and feelings. *Nursing Management*, 1989; 20 (10): 64a-65.
- Eickhoff S, Stephan KE, Mohlberg H, Grefkes C, Fink GR, Amunts K, Zilles K. A new SPM toolbox for combining probabilistic cytoarchitectonic maps and functional imaging data. *Neuroimage*, 2005; 25 (4): 1325-1335.
- Eickhoff SB, Bzdok D, Laird AR, Kurth F, Fox PT. Activation likelihood estimation meta-analysis revisited. *Neuroimage*, 2012; 59 (3): 2349-2361.
- Eickhoff SB, Laird AR, Grefkes C, Wang LE, Zilles K, Fox PT. Coordinate-based activation likelihood estimation meta-analysis of neuroimaging data: a random-effects approach based on empirical estimates of spatial uncertainty. *Human Brain Mapping*, 2009; 30 (9), 2907-2926.
- Fales CL, Barch DM, Rundle MM, Mintun MA, Snyder AZ, Cohen JD, Mathews J, Sheline YI. Altered emotional interference processing in affective and cognitive-control brain circuitry in major depression. *Biological Psychiatry*, 2008; 63, 377-384.
- Fama ME, Hayward W, Snider SF, Friedman RB, Turkeltaub PE. Subjective experience of inner speech in aphasia: Preliminary behavioral relationships and neural correlates. *Brain & Language*, 2017; 164: 32-42.
- Fastenrath M, Spalek K, Coynel D, Loos E, Milnik A, Egli T, Schickanz N, Geissmann L, Roozendaal B, Papassotiropoulos A, de Quervain DJ. Human cerebellum and corticocerebellar connections involved in emotional memory enhancement. *Proceedings of the National Academy of Science*, 2022; 119 (41).
- Fernyhough C, Alderson-Day B, Hurlburt R, Kühn S. Investigating Multiple Streams of Consciousness: Using Descriptive Experience Sampling to Explore Internally and Externally Directed Streams of Thought. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2018; 12.
- Fernyhough C. Inner speech. *The Encyclopedia of the Mind*. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, 2013; 9: 418-420.

- Ford J, Mathalon DH, Whitfield S, Faustman WO, Roth WT. Reduced communication between frontal and temporal lobes during talking in schizophrenia. *Biological Psychiatry*, 2002; 51 (6): 485-492.
- Forster BB, MacKay AL, Whittall KP, Kiehl KA, Smith AM, Hare RD, Liddle PF. Functional magnetic resonance imaging: the basics of blood-oxygen-level dependent (BOLD) imaging. *Canadian Association of Radiologists Journal*, 1998; 49 (5): 320.
- Fox KC, Spreng RN, Ellamil M, Andrews-Hanna JR, Christoff K. The wandering brain: meta-analysis of functional neuroimaging studies of mind-wandering and related spontaneous thought processes. *Neuroimage*, 2015; 111: 611-621.
- Fox KCR, Andrews-Hanna JR, Mills C, et al. Affective neuroscience of self-generated thought. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2018.
- Frith C. *The Cognitive Neuropsychology of Schizophrenia*, Hove: Psychology Press, 1992.
- Ghaznavi S, Chou T, Dougherty DD, Nierenberg AA. Differential patterns of default mode network activity associated with negative and positive rumination in bipolar disorder. *Journal of Affective Disorders*, 2023; 323: 607-616.
- Giambra LM. Task-unrelated-thought frequency as a function of age: a laboratory study. *Psychology & Aging*, 1989; 4 (2): 136-143.
- Gogolla N. The insular cortex. *Current Biology*, 2017; 27 (12), 580-586.
- Goldwin M, Behar E. Concreteness of Idiographic Periods of Worry and Depressive Rumination. *Cognitive Therapy & Research*, 2012; 36 (6): 840.
- Grandchamp R, Rapin L, Perrone-Bertolotti M, Pichat C, Haldin C, Cousin E, Lachaux Jean-P, Dohen M, Perrier P, Garnier M, Baciú M, Lœvenbruck H. The ConDialInt Model: Condensation, Dialogality, and Intentionality Dimensions of Inner Speech Within a Hierarchical Predictive Control Framework. *Frontiers in Psychology*, 2019; 10.
- Grefkes C, Eickhoff SB, Fink GR. *Konnektivität. Funktionelle MRT in Psychiatrie und Neurologie*, 2. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer, 2013.
- Greicius MD, Flores BH, Menon V, Glover GH, Solvason HB, Kenna H, Reiss AL, Schatzberg AF. Resting-state functional connectivity in major depression: abnormally increased contributions from subgenual cingulate cortex and thalamus. *Biological Psychiatry*, 2007; 62 (5): 429-437.

- Greicius MD, Krasnow B, Reiss AL, Menon V. Functional connectivity in the resting brain: A network analysis of the default mode hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2003; 100 (1): 253-258.
- Hamilton JP, Farmer M, Fogelman P, Gotlib IH. Depressive rumination, the default-mode network, and the dark matter of clinical neuroscience. *Biological Psychiatry*, 2015; 78 (4), 224-230.
- Hamilton JP, Furman DJ, Chang C, Thomason ME, Dennis E, Gotlib IH. Default-mode and task-positive network activity in major depressive disorder: implications for adaptive and maladaptive rumination. *Biological Psychiatry*, 2011; 70 (4): 327-333.
- Harrington R, Loffredo DA. Insight, rumination, and self-reflection as predictors of well-being. *Journal of Psychology*, 2011; 145 (1): 39-57.
- Hayakawa YK, Sasaki H, Takao H, Mori H, Hayashi N, Kunimatsu A, Aoki S, Ohtomo K. Structural brain abnormalities in women with subclinical depression, as revealed by voxel-based morphometry and diffusion tensor imaging. *Journal of Affective Disorders*, 2013; 144 (3): 263-268.
- Heavey CL, Hurlburt RT, Lefforge NL. Toward a phenomenology of feelings. *Emotion*, 2012; 12 (4): 763-777.
- Heavey CL, Hurlburt RT. The phenomena of inner experience. *Consciousness and Cognition*, 2008; 17 (3): 798-810.
- Hiser J, Koenigs M. The Multifaceted Role of the Ventromedial Prefrontal Cortex in Emotion, Decision Making, Social Cognition, and Psychopathology. *Biological Psychiatry*, 2018; 83 (8): 638-647.
- Holmes CJ, Hoge R, Collins L, Woods R, Toga AW, Evans AC. Enhancement of MR images using registration for signal averaging. *Journal of Computer Assisted Tomography*, 1998; 22 (2): 324-333.
- Hurlburt RT, Alderson-Day B, Kühn S, Fernyhough C. Exploring the Ecological Validity of Thinking on Demand: Neural Correlates of Elicited vs. Spontaneously Occurring Inner Speech. *Plos one*, 2016; 11 (2).
- Insausti R, Amaral DG. Hippocampal Formation. *The Human Nervous System*, 3. Auflage, Amsterdam: Elsevier, 2012.
- Jakab A, Molnár PP, Bogner P, Béres M, Berényi EL. Connectivity-based parcellation reveals interhemispheric differences in the insula. *Brain Topography*, 2012; 25 (3): 264-271.

- Joormann J. Inhibition, Rumination, and Mood Regulation in Depression. *Cognitive Limitations in Aging and Psychopathology*. Cambridge University Press, 2005; 275-312.
- Kahle W, Frotscher M. *Nervensystem und Sinnesorgane - Taschenatlas Anatomie*, 10. Auflage, Stuttgart: Thieme, 2009; 254 ff.
- Kandel ER, Jessell TM, Siegelbaum SA. *Principles of Neural Science*, 6. Auflage, New York: McGraw-Hill Education, 2021.
- Keller J, Shen L, Gomez RG, Garrett A, Solvason HB, Reiss A, Schatzberg AF. Hippocampal and amygdalar volumes in psychotic and nonpsychotic unipolar depression. *American Journal of Psychiatry*, 2008; 165 (7): 872-80.
- Klumpers F, Raemaekers MA, Ruigrok AN, Hermans EJ, Kenemans JL, Baas JM. Prefrontal mechanisms of fear reduction after threat offset. *Biological Psychiatry*, 2010; 68 (11): 1031-1038.
- Kocsel N, Szabó E, Galambos A, Édes A, Pap D, Elliott R, Kozák LR, Bagdy G, Juhász G, Kökönyei G. Trait Rumination Influences Neural Correlates of the Anticipation but Not the Consumption Phase of Reward Processing. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 2017; 11: 85.
- Koenigs M, Grafman J. The functional neuroanatomy of depression: distinct roles for ventromedial and dorsolateral prefrontal cortex. *Behavioral Brain Research*, 2009; 201(2): 239-43.
- Kogler L, Müller VI, Moser E, Windischberger C, Gur RC, Habel U, Eickhoff SB, Derntl B. Testosterone and the Amygdala's Functional Connectivity in Women and Men. *Journal of Clinical Medicine*, 2023;12 (20): 6501.
- Kogler L, Müller VI, Seidel EM, Boubela R, Kalcher K, Moser E, Habel U, Gur RC, Eickhoff SB, Derntl B. Sex differences in the functional connectivity of the amygdalae in association with cortisol. *Neuroimage*, 2016; 134: 410-423.
- Kogler L, Seidel EM, Metzler H, Thaler H, Boubela RN, Pruessner JC, Kryspin-Exner I, Gur RC, Windischberger C, Moser E, Habel U, Derntl B. Impact of self-esteem and sex on stress reactions. *Scientific Reports*, 2017; 7(1): 17210.
- Koshino H, Minamoto T, Yaoi K, Osaka M, Osaka N. Coactivation of the Default Mode Network regions and Working Memory Network regions during task preparation. *Scientific Reports*, 2014; 4: 5954.
- Kross E, Davidson M, Weber J, Ochsner K. Coping with emotions past: the neural bases of regulating affect associated with negative autobiographical memories. *Biological Psychiatry*, 2009; 65 (5): 361-366.

- Kühn S, Fernyhough C, Alderson-Day B, Hurlburt R. Inner experience in the scanner: Can high fidelity apprehensions of inner experience be integrated with fMRI?. *Frontiers in psychology*, 2014; 5: 1393.
- Kühn S, Gallinat J. Quantitative meta-analysis on state and trait aspects of auditory verbal hallucinations in schizophrenia. *Schizophrenia Bulletin*, 2012; 38 (4): 779-786.
- Kurth F, Zilles K, Fox PT, Laird AR, Eickhoff SB. A link between the systems: functional differentiation and integration within the human insula revealed by meta-analysis. *Brain Structure and Function*, 2010; (5-6): 519-534.
- Kurth F. Struktur-Funktionsbeziehungen in der menschlichen Inselrinde. Medizinische Dissertation, C. und O. Vogt Institut für Hirnforschung der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, 2009.
- Laird AR, Eickhoff SB, Fox PM, Uecker AM, Ray KL, Saenz JJ Jr, McKay DR, Bzdok D, Laird RW, Robinson JL, Turner JA, Turkeltaub PE, Lancaster JL, Fox PT. The BrainMap strategy for standardization, sharing, and meta-analysis of neuroimaging data. *BMC Research Notes*, 2011; 4: 349.
- Lavigne K, Rapin L, Metzak P, Whitman J, Jung K, Dohen M, Loevenbruck H, Woodward T. Left-Dominant Temporal-Frontal Hypercoupling in Schizophrenia Patients With Hallucinations During Speech Perception. *Schizophrenia bulletin*, 2014; 41.
- Legrand D, Ruby P. What is self-specific? Theoretical investigation and critical review of neuroimaging results. *Psychological Review*, 2009; 116 (1): 252-82.
- Lehrl S. Mehrfachwahl-Wortschatz-Intelligenztest MWT-B, 5. unveränderte Aufl., Balingen: Spitta Verlag, 2005.
- Lemogne C, Le Bastard G, Mayberg H, Volle E, Bergouignan L, Lehericy S, Fossati, P. In search of the depressive self: extended medial prefrontal network during self-referential processing in major depression. *Social cognitive and affective neuroscience*, 2009; 4 (3): 305-312.
- Liu Y, Jiang TT, Shi TY. The Relationship Among Rumination, Coping Strategies, and Subjective Well-being in Chinese Patients With Breast Cancer: A Cross-sectional study. *Asian Nursing Research (Korean Society of Nursing Science)*, 2020; 14 (4): 206-211.
- Lyubomirsky S, Nolen-Hoeksema S. Effects of Self-Focused Rumination on Negative Thinking and Interpersonal Problem Solving. *Journal of Personality and Social Psychology*, 1995; 69, 176-190.

- Mak LE, Minuzzi L, MacQueen G, Hall G, Kennedy SH, Milev R. The Default Mode Network in Healthy Individuals: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Brain Connectivity*, 2017; 7 (1): 25-33.
- Marvel CL, Desmond JE. From storage to manipulation: How the neural correlates of verbal working memory reflect varying demands on inner speech. *Brain and Language*, 2012; 120 (1): 42-51.
- McCarthy-Jones S, Fernyhough C. The varieties of inner speech: Links between quality of inner speech and psychopathological variables in a sample of young adults. *Consciousness and Cognition*, 2011; 20: 1586-1593.
- McLaughlin KA, Borkovec TD, Sibrava NJ. The effects of worry and rumination on affect states and cognitive activity. *Behavior Therapy*, 2007; 38 (1): 23-38.
- Messina A, Cucci G, Crescimanno C, Signorelli MS. Clinical anatomy of the precuneus and pathogenesis of the schizophrenia. *Anatomical Science International*, 2023; 98 (4): 473-481.
- Milazzo AC, Ng B, Jiang H, Shirer W, Varogaux G, Poline JB, Thirion B, Greicius MD. Identification of Mood-Relevant Brain Connections Using a Continuous, Subject-Driven Rumination Paradigm. *Cerebral Cortex*, 2014; 26: 933-942.
- Moffatt J, Mitrenga KJ, Alderson-Day B, Moseley P, Fernyhough C. Inner experience differs in rumination and distraction without a change in electromyographical correlates of inner speech. *Plos One*, 2020; 15 (9).
- Morin A, Duhnyc C, Racy F. Self-reported inner speech use in university students. *Applied Cognitive Psychology*, 2018; 32: 376-382.
- Morin A, Hamper B. Self-Reflection and the Inner Voice: Activation of the Left Inferior Frontal Gyrus During Perceptual and Conceptual Self-Referential Thinking. *The Open Neuroimaging Journal*, 2012; 6: 78-89.
- Morin A, Uttl B, Hamper B. Self-reported frequency, content, and functions of inner speech. *Procedia - Social and Behavioral Science*, 2011; 30: 1714-1718.
- Morin A. Inner Speech. *Encyclopedia of Human Behavior*, 2012.
- Müller VI, Cieslik EC, Laird AR, Fox PT, Eickhoff SB. Dysregulated left inferior parietal activity in schizophrenia and depression: functional connectivity and characterization. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2013; 7: 268.

- Nalborczyk L, Banjac S, Baeyens C, Grandchamp R, Koster EHW, Perrone-Bertolotti M, Løevenbruck H. Dissociating facial electromyographic correlates of visual and verbal induced rumination. *International Journal of Psychophysiology*, 2021; 159: 23-36.
- Nalborczyk L, Perrone-Bertolotti M, Baeyens C, Grandchamp R, Polosan M, Spinelli E, Koster EHW, Løevenbruck H. Orofacial electromyographic correlates of induced verbal rumination. *Biological Psychology*, 2017; 27: 53-63.
- Nichols T, Brett M, Andersson J, Wager T, Poline JB. Valid conjunction inference with the minimum statistic. *Neuroimage*, 2005; 25 (3): 653-660.
- Nielsen FA, Balslev D, Hansen LK, Mining the posterior cingulate: Segregation between memory and pain components. *Neuroimage*, 2005; 27 (3): 520-532.
- Nolen-Hoeksema S, Morrow J. A prospective study of depression and posttraumatic stress symptoms after a natural disaster: The 1989 Loma Prieta earthquake. *Journal of Personality and Social Psychology*, 1991; 61 (1): 115-121.
- Nolen-Hoeksema S, Wisco BE, Lyubomirsky S. Rethinking Rumination. *Perspectives on Psychological Science*, 2008; 3 (5): 400-424.
- Oh A, Duerden EG, Pang EW. The role of the insula in speech and language processing. *Brain and Language*, 2014; 135: 96-103.
- Perrone-Bertolotti M, Rapin L, Lachaux JP, Baciuc M, Løevenbruck H. What is that little voice inside my head? Inner speech phenomenology, its role in cognitive performance, and its relation to self-monitoring. *Behavioural Brain Research*, 2014; 261: 220-239.
- Radke S, Seidel EM, Boubela RN, Thaler H, Metzler H, Kryspin-Exner I, Moser E, Habel U, Derntl B. Immediate and delayed neuroendocrine responses to social exclusion in males and females. *Psychoneuroendocrinology*, 2018; 93: 56-64.
- Raichle ME, MacLeod AM, Snyder AZ, Powers WJ, Gusnard DA, & Shulman GL. A default mode of brain function. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2001; 98 (2), 676-682.
- Raichle ME, Snyder AZ. A default mode of brain function: a brief history of an evolving idea. *Neuroimage*, 2007; 37 (4): 1083-1090.
- Raij TT, Riekkari TJJ. Dorsomedial prefrontal cortex supports spontaneous thinking per se. *Human Brain Mapping*, 2017; 38 (6): 3277-3288.

- Rottschy C, Eickhoff SB, Schleicher A, Mohlberg H, Kujovic M, Zilles K, Amunts K. Ventral visual cortex in humans: cytoarchitectonic mapping of two extrastriate areas. *Human Brain Mapping*, 2007; 28: 1045-1059.
- Ruscio AM, Gentes EL, Jones JD, Hallion LS, Coleman ES, Swendsen J. Rumination predicts heightened responding to stressful life events in major depressive disorder and generalized anxiety disorder. *Journal of Abnormal Psychology*, 2015; 124 (1): 17-26.
- Russo JF, Sheth SA. Deep brain stimulation of the dorsal anterior cingulate cortex for the treatment of chronic neuropathic pain. *Neurosurgical Focus*, 2015; 38 (6).
- Satterthwaite TD, Elliott MA, Gerraty RT, Ruparel K, Loughead J, Calkins ME, Wolf DH. An improved framework for confound regression and filtering for control of motion artifact in the preprocessing of resting-state functional connectivity data. *Neuroimage*, 2013; 64: 240-256.
- Schmidt KH, Metzler P. Wortschatztest. Testmappe, 1. Auflage, Weinheim: Beltz, 1992.
- Schneider JF, Pospeschill M, Ranger J. Does self-consciousness mediate the relation between self-talk and self-knowledge? *Psychological Reports*, 2005; 96 (2): 387-396.
- Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K. Kopf, Hals und Neuroanatomie - Prometheus, 2. Auflage, Stuttgart: Thieme, 2009.
- Shergill SS, Tracy DK, Seal M, Rubia K, McGuire P. Timing of covert articulation: an fMRI study. *Neuropsychologia*, 2006; 44 (12): 2573-2577.
- Shuster LI, Lemieux SK. An fMRI investigation of covertly and overtly produced mono-and multisyllabic words. *Brain and Language*, 2005; 93: 20-31.
- Siegle GJ, Thompson W, Carter CS, Steinhauer SR, Thase ME. Increased amygdala and decreased dorsolateral prefrontal BOLD responses in unipolar depression: related and independent features. *Biological Psychiatry*, 2007; 61 (2): 198-209.
- Siegrist M. Inner speech as a cognitive process mediating selfconsciousness and inhibiting self-deception. *Psychological Reports*, 1995; 76(1): 259-265.
- Smallwood J, Schooler JW. The science of mind wandering: empirically navigating the stream of consciousness. *Annual Review Psychology*, 2015; 66: 487-518.

- Sörös P, Marmurek J, Tam F, Baker N, Staines R, Graham SJ. Functional MRI of working memory and selective attention in vibrotactile frequency discrimination. *BMC Neuroscience*, 2007; 8: 48.
- Stephan KE, Kasper L, Brodersen KH, Mathy C. Functional and Effective Connectivity. *Klinische Neurophysiologie*, 2009; 40 (4): 222-232.
- Suzuki A. Emotional functions of the insula. *Brain and Nerves*, 2012; 64 (10): 1103-1112.
- Talairach J, Tournoux P. Co-planar stereotaxic atlas of the human brain: 3-Dimensional proportional system: An approach to cerebral imaging. Thieme Medical Publishers, Inc., New York, 1988.
- Terminologia Anatomica. International Anatomical Terminology. By the federative committee on anatomical terminology, Stuttgart: Thieme, 1998.
- Trepel M. Neuroanatomie, 4. Auflage, München: Urban & Fischer, 2008.
- Uttl B, Morin A, Hamper B. Are Inner Speech Self-Report Questionnaires Reliable and Valid? *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2011; 30: 1719-1723.
- Voets NL, Adcock JE, Flitney DE, Behrens TE, Hart Y, Stacey R, Carpenter K, Matthews PM. Distinct right frontal lobe activation in language processing following left hemisphere injury. *Brain*, 2006; 129.
- Vogt BA, Finch DM, Olson CR. Functional heterogeneity in cingulate cortex: the anterior executive and posterior evaluative regions. *Cerebral Cortex*, 1992; 2 (6): 435-443.
- Vygotsky L. *Thought and Language*. MA: MIT Press, Cambridge, 1934.
- Wang K, Wei D, Yang J, Xie P, Hao X, Qiu J. Individual differences in rumination in healthy and depressive samples: Association with brain structure, functional connectivity and depression. *Psychological Medicine*, 2015; 45 (14), 2999-3008.
- Watkins E, Moulds M, Mackintosh B. Comparisons between rumination and worry in a non-clinical population. *Behavior Research and Therapy*, 2005; 43 (12): 1577-1585.
- Weissenbacher A, Kasess C, Gerstl F, Lanzenberger R, Moser E, Windischberger C. Correlations and anticorrelations in resting-state functional connectivity MRI: a quantitative comparison of preprocessing strategies. *Neuroimage*, 2009; 47 (4): 1408-1416.

- Whitfield-Gabrieli S, Ford JM. Default Mode Network Activity and Connectivity in Psychopathology. *The Annual Review of Clinical Psychology*, 2012; 8: 49-76.
- Winhuisen L, Thiel A, Schumacher B, Kessler J, Rudolf J, Haupt WF, Heiss WD. Role of the contralateral inferior frontal gyrus in recovery of language function in poststroke aphasia: a combined repetitive transcranial magnetic stimulation and positron emission tomography study. *Stroke*, 2005; 36 (8): 1759-1763.
- Wolkenstein L, Plewnia C. Amelioration of cognitive control in depression by transcranial direct current stimulation. *Biological Psychiatry*, 2013: 73, 646-651.
- Wong D, Pisoni DB, Learn J, Gandour JT, Miyamoto RT, Hutchins GD. PET imaging of differential cortical activation by monaural speech and nonspeech stimuli. *Hearing Research*, 2002; 166 (1-2): 9-23.
- Ye Q, Zou F, Lau H, Hu Y, Kwok SC. Causal Evidence for Mnemonic Metacognition in Human Precuneus. *Journal of Neuroscience*, 2018; 38 (28): 6379-6387.
- Zhang R, Geng X., Lee TM. Large-scale functional neural network correlates of response inhibition: an fMRI meta-analysis. *Brain Structure and Function*, 2017; 222(9), 3973-3990.
- Zhang R, Kranz GS, Zou W, Deng Y, Huang X, Lin K, Lee TMC. Rumination network dysfunction in major depression: A brain connectome study. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 2020; 98: 109819.
- Zhou H, Liu H, Ma X, Deng Y. The psychometric properties of positive and negative beliefs about the rumination scale in Chinese undergraduates. *BMC Psychology*, 2023; 11 (1): 107.

7. Erklärung zum Eigenanteil der Dissertationsschrift

Die Arbeit wurde in der Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie, Abteilung Psychische Gesundheit und Gehirnfunktion von Frauen unter Betreuung von Prof. Dr. Birgit Derntl durchgeführt.

Die Konzeption der Studie erfolgte durch Prof. Dr. Birgit Derntl (Leitung der AG Innovative hirnfunktionelle Verfahren) und Dr. Lydia Kogler (Postdoktorandin).

Für die Daten, auf denen die Resting State Daten basieren, wurden auf einen Datensatz der Medizinischen Universität Wien zurückgegriffen. Die Auswertung der Resting-State Daten erfolgte nach Anleitung durch Dr. Lydia Kogler durch mich.

Die MACM-Analyse wurde durch Dr. Veronika Müller (Forschungszentrum Jülich GmbH, Institut für Neurowissenschaften und Medizin) durchgeführt. Die Analysen der erweiterten Netzwerke und der Überlappungen beider Netzwerke wurden von mir durchgeführt.

Ich versichere, das Manuskript selbständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Tübingen, den 16.12.2024

Julia Mattfeld

8. Danksagung

Vorweg möchte ich mich bei meiner Doktormutter Prof. Dr. Birgit Derntl und meiner Betreuerin Dr. Lydia Kogler für das entgegenbrachte Vertrauen, die vielen Möglichkeiten und die Unterstützung beim Lösen aller nur denkbaren Probleme bedanken. Vielen Dank für die gute Betreuung, bei der Fragen jederzeit willkommen waren und für die flexible Arbeitsgestaltung auch während der Covid-19-Pandemie.

Ein besonderer Dank gilt auch Dr. Veronika Müller für die Hilfestellungen, Denkanstöße, das ausführliche Beantworten aller meiner Fragen und natürlich die umfangreiche Unterstützung bei der MACM-Analyse.

Vielen Dank auch an alle mitwirkenden Werkstudenten und Mitdoktoranden für die Hilfsbereitschaft und die zu jeder Zeit bestehende angenehme Arbeitsatmosphäre.

Der abschließende Dank gilt meiner Familie und meinen Freunden, die mich nicht nur während der Promotion, sondern auch während des gesamten Studiums, unterstützt, geprägt, manchmal auch getröstet und wieder motiviert haben. Ich bin sehr dankbar jeden einzelnen von euch in meinem Leben zu haben!

9. Anhang

Tabelle A1: Kernregionen als Grundlage für das Netzwerk der inneren Sprache mit Information zur makroanatomischen Lage sowie MNI-Koordinaten.

Kernregionen	X	Y	Z
R Gyrus temporalis inferior	51	-64	-4
L Gyrus frontalis inferior 1	-42	17	-7
L Gyrus frontalis inferior 2	-36	32	19
L Gyrus frontalis inferior 3	-51	41	-5
R Gyrus frontalis inferior Pars Opercularis	57	17	5
R Gyrus frontalis inferior Pars Orbitalis	48	20	-7
R Gyrus frontalis inferior Pars Triangularis	48	35	-1
L Dorsolateraler präfrontaler Cortex	-12	41	43
L Gyrus frontalis superior medialis	-6	29	35
L Gyrus frontalis superior 1	-18	17	60
L Gyrus frontalis superior 2	-24	44	35
R Gyrus frontalis superior 1	24	14	60
R Gyrus frontalis superior 2	27	47	11
L Gyrus frontalis medius	-30	50	14
R Gyrus frontalis medius	30	50	26
R Lobulus parietalis superior	21	-58	56
L Lobulus parietalis superior	-18	-67	59
R Lobulus parietalis inferior	42	-37	47
L Lobulus parietalis inferior	-51	-55	41
R Gyrus occipitalis medius	36	-82	17
L Gyrus occipitalis medius	-36	-73	5
R Anteriore Insula	36	14	-1
L Anteriore Insula	-33	17	2
R Supplementärmotorischer Cortex	15	20	62
L Supplementärmotorischer Cortex	-9	14	56

Hinweis: In der voranstehenden Tabelle sind die Kernregionen als Grundlage für das Netzwerk der inneren Sprache mit den dazugehörigen x-, y-, z-Koordinaten (in mm) dargestellt. Die x-, y-, z-Koordinaten der lokalen Maxima sind im MNI-Format angegeben. Abkürzungen: R = Rechts, L = Links.

Tabelle A2: Kernregionen als Grundlage für das Netzwerk für Rumination mit Information zur makroanatomischen Lage sowie MNI-Koordinaten.

Kernregionen	X	Y	Z
R Gyrus occipitalis inferior	45	-75	-9
L Gyrus occipitalis inferior	-42	-66	-12
R Gyrus occipitalis medius 1	39	-84	0
R Gyrus occipitalis medius 2	33	-84	24
R Gyrus occipitalis medius 3	42	-78	21
R Gyrus occipitalis medius 4	36	-66	12
L Gyrus occipitalis medius 1	-33	-75	36
L Gyrus occipitalis medius 2	-33	-84	24
R Cuneus	6	-87	15
R Gyrus lingualis 1	21	-63	-3
R Gyrus lingualis 2	9	-72	3
L Sulcus calcarinus 1	0	-78	15
L Sulcus calcarinus 2	-9	-72	12
L Sulcus calcarinus 3	0	-84	-3
R Sulcus calcarinus 1	21	-57	9
R Sulcus calcarinus 2	15	-66	12
R Sulcus calcarinus 3	12	-90	0
R Precuneus	21	-72	42
L Precuneus	-9	-69	54
R Lobulus parietalis superior 1	33	-48	60
R Lobulus parietalis superior 2	24	-63	57
R Lobulus parietalis superior 3	15	-72	51
L Lobulus parietalis superior 1	-24	-72	42
L Lobulus parietalis superior 2	-24	-63	54
L Lobulus parietalis inferior 1	-39	-51	45
L Lobulus parietalis inferior 2	-30	-54	54
L Lobulus parietalis inferior 3	-51	-33	48
L Lobulus parietalis inferior 4	-45	-42	48
R Lobulus parietalis inferior 1	51	-48	45
R Lobulus parietalis inferior 2	39	-45	51
R Gyrus angularis 1	42	-57	42
R Gyrus angularis 2	36	-57	51
R Gyrus supramarginalis	51	-33	45
L Gyrus temporalis inferior 1	-48	-45	-18
L Gyrus temporalis inferior 2	-48	-57	-12
R Gyrus temporalis inferior	51	-54	-12

L Gyrus temporalis medius	-57	-54	-3
R Gyrus frontalis inferior Pars Triangularis	48	33	12
R Gyrus frontalis inferior Pars Opercularis 1	42	12	36
R Gyrus frontalis inferior Pars Opercularis 2	48	21	33
L Gyrus frontalis inferior Pars Triangularis 1	-45	24	21
L Gyrus frontalis inferior Pars Triangularis 2	-42	15	27
R Gyrus frontalis medius	39	3	54
R Gyrus praecentralis	45	3	45
R Anteriorer cingulärer Cortex	4	31	-10
L Anteriorer cingulärer Cortex	-4	31	-10
L Thalamus	-12	-24	6
R Putamen 1	24	15	-3
R Putamen 2	27	0	3
L Amygdala	-21	10	9
R Amygdala	23	9	9
R Gyrus parahippocampalis	21	-27	-12
R Anteriore Insula	33	21	-12

Hinweis: In der voranstehenden Tabelle sind die Kernregionen aus Zhang et al., 2020 als Grundlage für das Netzwerk der Rumination mit den dazugehörigen x-, y-, z-Koordinaten (in mm) dargestellt. Die x-, y-, z-Koordinaten der lokalen Maxima sind im MNI-Format angegeben. Abkürzungen: R = Rechts, L = Links.

Tabelle A3: Übersicht erhobene Koordinaten für die Konjugationsanalyse MACM und RS für die innere Sprache mit Informationen zur makroanatomischen und zytoarchitektonischen Lage sowie MNI-Koordinaten und t-Wert.

Kontrast	Cluster Größe	Makroanatomische Lage	Zytoarchitektonische Lage	X	Y	Z	t-Wert
AI L	12610	L Insula		-34	20	2	STAT= 9.62
	1526	L Lobulus parietalis inferior	L Area hIP3 (IPS)	-34	-50	48	STAT= 8.43
	1200	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	18	46	STAT= 8.63
	1067	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-2	12	50	STAT= 8.67
	973	L Gyrus occipitalis inferior	L Area FG2	-44	-62	-14	STAT= 7.36
	941	R Lobulus parietalis inferior	R Area hIP3 (IPS)	32	-56	50	STAT= 7.72
	389	R Superior Temporal Gyrus		58	-26	6	STAT= 5.39
	322	R Cerebellum (VI)	R Lobule VI (Hem)	30	-62	-26	STAT= 7.26

	165	R Gyrus frontalis superior		28	2	52	STAT= 5.16
AI R	7649	R Insula		36	18	0	STAT= 9.25
	925	R Gyrus frontalis medius		34	40	22	STAT= 7.00
	868	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	10	48	STAT= 8.39
	856	R MCC		6	18	42	STAT= 8.43
	818	L Lobulus parietalis inferior	L Area PFt (IPL)	-46	-36	44	STAT= 6.72
	514	L Gyrus fusiformis	L Area FG2	-40	-66	14	STAT= 6.67
	437	R Gyrus angularis	R Area hIP3 (IPS)	34	-56	44	STAT= 5.74
	244	R Cerebellum (VI)	R Lobule VI (Hem)	34	-62	-28	STAT= 4.45
	194	L Gyrus postcentralis		-60	-18	26	STAT= 5.19
	166	L Gyrus frontalis medius		-36	48	16	STAT= 5.30
	153	R Gyrus occipitalis inferior	R Area hOc3v [V3v]	30	-86	-10	STAT= 5.13
	144	R Gyrus supramarginalis	R Area PPop (IPL)	60	-26	24	STAT= 4.77
dIPFC L	1152	L Gyrus frontalis superior		-12	40	44	STAT= 8.43
	232	L Gyrus angularis	L Area PGp (IPL)	-50	-66	28	STAT= 5.98
	227	L Gyrus orbitalis medialis	L Area Fp2	-4	50	-8	STAT= 5.74
	206	L PCC		-4	-54	28	STAT= 5.23
	152	L IFG (p. Orbitalis)		-40	32	-16	STAT= 4.23
	113	L IFG (p. triangularis)		-48	20	18	STAT= 4.63
IFG1 L	4259	R Insula		36	22	-6	STAT= 8.48
	3314	L Insula		-40	16	-4	STAT= 9.05
	1012	R MCC		6	18	44	STAT= 8.38
	964	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-2	12	50	STAT= 8.38
	245	L Lobulus parietalis inferior	L Area hIP3 (IPS)	-42	-48	50	STAT= 5.28
	241	L Gyrus temporalis medius		-62	-34	4	STAT= 5.12
	67	R Lobulus parietalis inferior	R Area hIP3 (IPS)	32	-52	48	STAT= 3.94
	42	L Gyrus postcentralis	L Area 2	-46	-34	46	STAT= 4.36
IFG2 L	2938	L IFG (p. Triangularis)		-38	32	18	STAT= 8.65
	709	L Lobulus parietalis inferior	L Area hIP3 (IPS)	-32	-56	50	STAT= 6.10
	557	R Gyrus frontalis medius		42	38	20	STAT= 6.77
	419	L Gyrus temporalis inferior	L Area FG4	-48	-54	-14	STAT= 6.48
	400	R MCC		4	22	40	STAT= 6.16
	331	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-2	18	44	STAT= 6.08

	282	R Lobulus parietalis inferior	R Area hIP2 (IPS)	48	-46	44	STAT= 4.92
	181	R Insula		34	24	-6	STAT= 1.81
	105	R Gyrus temporalis inferior	R Area FG4	46	-54	-14	STAT= 4.77
IFG3 L	1839	L IFG (p. Triangularis)		-50	38	-6	STAT= 8.49
	453	L Gyrus frontalis superior medialis		-4	28	40	STAT= 5.09
	276	R IFG (p. Triangularis)		44	36	6	STAT= 5.62
	146	L Gyrus temporalis medius		-62	-32	-4	STAT= 4.17
	127	R IFG (p. Orbitalis)		38	22	-10	STAT= 4.73
IFG_Op R	2763	R IFG (p. Opercularis)	R Area 44	56	16	4	STAT= 8.87
	1933	L Insula		-36	18	0	STAT= 8.34
	773	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	12	54	STAT= 8.31
	721	L Gyrus supramarginalis	L Area PF (IPL)	-56	-40	30	STAT= 6.54
	604	R Gyrus supramarginalis	R Area PF (IPL)	64	-26	20	STAT= 6.24
	511	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-2	12	56	STAT= 8.29
	423	L Thalamus	L Thal: Präfrontal	-10	-14	8	STAT= 7.94
	373	R Thalamus	R Thal: Präfrontal	12	-8	10	STAT= 6.33
	179	L Lobulus parietalis inferior	L Area hIP 3 (IPS)	-40	-48	44	STAT= 5.33
	159	R Putamen		26	6	2	STAT= 5.23
	151	L Gyrus frontalis medius		-38	52	8	STAT= 4.81
	135	L Cerebellum (VI)	L Lobule VI (Hem)	-32	-60	-28	STAT= 5.13
	23	L Gyrus postcentralis	L Area 2	-42	-38	54	STAT= 3.79
IFG_Orb R	3628	L Insula		-36	20	0	STAT= 8.50
	2729	R IFG (p. Orbitalis)	R Area 45	48	22	-4	STAT= 8.89
	933	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	12	50	STAT= 8.34
	482	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-2	18	44	STAT= 8.33
	356	L Lobulus parietalis inferior	L Area hIP3 (IPS)	-34	-50	46	STAT= 5.14
	262	L Gyrus temporalis medius		-56	-44	4	STAT= 5.06
	157	R Gyrus temporalis medius		54	-36	4	STAT= 5.07
	143	R Operculum	R Area PFop (IPL)	56	-26	20	STAT= 5.60
	22	L ACC		-4	20	30	STAT= 4.79
IFG_Tri R	2226	R IFG (p. Triangularis)		48	34	2	STAT= 8.55
	969	L IFG (p. Orbitalis)		-44	28	-6	STAT= 6.54
	357	L IFG (p. Orbitalis)		-54	12	20	STAT= 5.49

302	L Gyrus occipitalis inferior		-48	-66	-4	STAT= 4.74
184	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		8	24	54	STAT= 4.91
88	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	20	44	STAT= 4.22
81	L Amygdala		-20	-6	-18	STAT= 5.08
36	L ACC		-6	34	22	STAT= 3.94
17	R Insula		42	10	-8	STAT= 4.12
11	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-2	12	56	STAT= 4.13

IPL L	1205	L Lobulus parietalis inferior	R Area PFm (IPL)	-52	-54	42	STAT= 8.56
	576	R Gyrus supramarginalis	R Area PFm (IPL)	56	-44	44	STAT= 5.60
	210	L Precuneus		-8	-52	42	STAT= 4.38
	199	L IFG (p. Triangularis)		-42	24	22	STAT= 4.75
	139	R Gyrus frontalis medius		40	28	36	STAT= 4.65
	26	R Precuneus		4	-64	44	STAT= 4.14
	19	L Insula		-32	24	0	STAT= 3.92

IPL R	4398	L Lobulus parietalis inferior	L Area 2	-40	-38	44	STAT= 8.34
	576	R Gyrus supramarginalis	R Area PFm (IPL)	56	-44	44	STAT= 5.60
	210	L Precuneus		-8	-52	42	STAT= 4.38
	199	L IFG (p. Triangularis)		-42	24	22	STAT= 4.75
	139	R Gyrus frontalis medius		40	28	36	STAT= 4.65
	26	R Precuneus		4	-64	44	STAT= 4.14
	19	L Insula		-32	24	0	STAT= 3.92
	408	R MCC		6	18	32	STAT= 6.48
	79	R Pallidum		14	6	-2	STAT= 4.38
	66	L Precuneus		-6	-66	52	STAT= 4.15
	51	R Gyrus frontalis medius		42	30	34	STAT= 3.63
	48	R Precuneus		14	-66	42	STAT= 3.98
	13	L Lobulus parietalis inferior	L Area hIP1 (IPS)	-30	-52	38	STAT= 3.62
12	L Gyrus praecentralis		-38	10	32	STAT= 3.52	

ITG R	3080	R Gyrus temporalis medius		50	-64	-2	STAT= 8.99
	2826	L Gyrus occipitalis medius	L Area hOc4Ia	-46	-70	-2	STAT= 8.51
	939	R Lobulus parietalis inferior	R Area hIP3 (IPS)	28	-56	52	STAT= 7.77
	849	L Lobulus parietalis inferior	L Area hIP3 (IPS)	-34	-50	54	STAT= 7.71
	739	R Gyrus frontalis inferior		48	8	26	STAT= 8.31
	491	L Gyrus frontalis inferior	L Area 44	-46	10	26	STAT= 6.92
	436	L Lobulus parietalis inferior	L Area PFt (IPL)	-48	-32	40	STAT= 6.16

247	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-6	18	48	STAT= 5.54
231	L Gyrus frontalis medius		-28	-6	52	STAT= 5.08
220	L Insula		-32	24	-2	STAT= 5.78
163	L Amygdala	L Amygdala (CM)	-22	-2	-16	STAT= 5.58
152	L Thalamus	L Thal: Präfrontal	-14	-20	8	STAT= 4.61
123	R Hippocampus	R Amygdala (LB)	22	-4	-20	STAT= 5.09
83	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	14	46	STAT= 4.24

MFG L	1398	L Insula		-32	20	2	STAT= 7.30
	1063	L Gyrus frontalis medius		-34	50	14	STAT= 8.68
	927	R Gyrus frontalis medius		36	54	12	STAT= 6.79
	733	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	12	52	STAT= 7.15
	540	R Insula		32	22	-2	STAT= 6.18
	470	R MCC		6	18	32	STAT= 6.48
	435	L Lobulus parietalis inferior	L Area hIP3 (IPS)	-40	-46	46	STAT= 5.79
	166	R Precuneus		12	-64	42	STAT= 4.04
	121	R Lobulus parietalis inferior		38	-54	46	STAT= 4.21
	113	R Gyrus frontalis medius		46	26	34	STAT= 4.04
	67	L Precuneus	L Area 7A (SPL)	-6	-66	52	STAT= 4.15

MFG R	986	R Gyrus frontalis medius		32	48	26	STAT= 8.54
	468	R Insula		32	24	-4	STAT= 6.49
	418	L Insula		-32	20	6	STAT= 6.39
	413	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	8	58	STAT= 5.95
	267	L Gyrus frontalis medius		8	-2	66	STAT= 5.88
	220	R Pallidum		14	6	-2	STAT= 5.05
	202	L MCC		-8	10	40	STAT= 4.46
	172	R Lobulus parietalis inferior	R Area hIP2 (IPS)	42	-42	50	STAT= 5.52
	142	R Thalamus	R Thal: Temporal	6	-18	10	STAT= 4.35
	133	L Lobulus parietalis inferior		-42	-44	52	STAT= 4.30
	110	N/A		-8	0	4	STAT= 5.07
	76	R MCC		4	-20	32	STAT= 4.71
	43	L ACC		-6	26	26	STAT= 4.46
	18	L MCC		-2	-26	32	STAT= 3.94
	11	R IFG (p. Opercularis)	R Area 44	54	14	0	STAT= 3.34
	10	R IFG (p. Orbitalis)		50	24	-6	STAT= 3.56

MOG L	1367	L Gyrus occipitalis medius	L Area hOc5 [V5/MT]	-40	-74	4	STAT= 8.48
	1007	R Gyrus temporalis medius	R Area hOc4la	44	-70	0	STAT= 7.78

	225	R Gyrus occipitalis superior	R Area hOc1 [V1]	18	-94	6	STAT= 4.75
	184	L iFG (p. Triangularis)		-46	16	24	STAT= 5.00
	66	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	12	54	STAT= 4.55
	39	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-2	12	56	STAT= 5.89
MOG R	3872	L Gyrus occipitalis medius	L Area hOc4lp	-32	-86	18	STAT= 8.30
	3492	R Gyrus occipitalis medius		36	-82	18	STAT= 8.71
	307	R IFG (p. Opercularis)		48	8	28	STAT= 7.02
	141	L Gyrus Praecentralis		-50	-4	28	STAT= 4.05
	126	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	14	52	STAT= 6.31
	123	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		6	14	54	STAT= 5.67
	98	L Insula		-32	24	2	STAT= 6.19
	15	R Cerebellum (VI)	R Area FG2	40	-64	-24	STAT= 3.91
SFG1 L	785	L Gyrus frontalis superior		-20	16	56	STAT= 8.31
	168	R Gyrus frontalis medius		32	16	48	STAT= 4.63
	147	L Lobulus parietalis inferior		-26	-56	54	STAT= 4.25
SFG2 L	771	L Gyrus frontalis medius		-24	44	36	STAT= 8.38
	60	L Gyrus frontalis superior medialis	L Area Fp2	-4	58	10	STAT= 4.45
SFG1 R	1201	R Gyrus frontalis superior		24	14	58	STAT= 8.38
	388	L Kobulus parietalis inferior	L Area hIP3 (IPS)	-36	-46	46	STAT= 6.68
	285	R Lobulus parietalis inferior	R Area PFm (IPL)	48	-40	54	STAT= 4.91
	262	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-2	14	56	STAT= 5.33
	242	R Gyrus frontalis medius		42	36	22	STAT= 5.96
	215	L Gyrus frontalis medius		-28	2	58	STAT= 5.19
	193	R Precuneus	R Area 7A (SPL)	8	-66	54	STAT= 6.06
	124	L Precuneus	L Area 7A (SPL)	-8	-66	52	STAT= 4.90
	106	L Gyrus frontalis medius		-40	32	28	STAT= 4.04
	44	L Insula		-34	22	-2	STAT= 4.19
SFG2 R	791	R Gyrus frontalis superior		28	50	12	STAT= 8.34
	139	R Insula		36	20	4	STAT= 5.13
	94	L Gyrus praecentralis		-50	12	36	STAT= 4.82

SFMG L	3904	L Insula		-34	20	0	STAT= 8.36
	2061	R IFG (p. Orbitalis)		36	24	-10	STAT= 8.38
	1189	L Gyrus frontalis superior medialis		-4	28	36	STAT= 9.04
	890	L Lobulus parietalis inferior		-32	-54	46	STAT= 7.58
	715	R MCC		4	28	38	STAT= 8.53
	438	R Gyrus angularis	R Area hIP3 (IPS)	34	-62	48	STAT= 5.80
	249	L Gyrus frontalis medius		-28	2	54	STAT= 5.33
	168	R Thalamus	R Thal: Prefrontal	10	-12	4	STAT= 5.33
	164	L Gyrus fusiformis	L Area FG2	-44	-60	-20	STAT= 5.31
	161	R Cerebellum (VI)	R Lobule VI (Hem)	34	-66	-26	STAT= 5.24
	101	L Cerebellum (Crus 1)	L Area FG2	-42	.62	-24	STAT= 4.30
SPL L	2138	R Lobulus parietalis superior	R Area 7A (SPL)	22	-64	58	STAT= 8.37
	2082	L Lobulus parietalis superior	L Area 7A (SPL)	-18	-66	58	STAT= 8.82
	1562	L Gyrus frontalis medius		-26	-4	58	STAT= 8.34
	1078	R Gyrus frontalis superior		26	0	54	STAT= 8.31
	695	L Gyrus occipitalis inferior	L Area hOc4la	-48	-70	-4	STAT= 6.49
	538	R Gyrus temporalis inferior	R Area hOc4la	48	-68	-4	STAT= 6.25
	352	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	8	56	STAT= 7.02
	299	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	10	56	STAT= 7.61
	270	R Gyrus frontalis medius		38	38	26	STAT= 4.87
	187	L Insula		-32	22	2	STAT= 5.64
	164	R Insula		36	22	-2	STAT= 5.43
	130	R Gyrus fusiformis	R Area hOc4v [V4(v)]	32	-72	-12	STAT= 6.05
	SPL R	2594	L Lobulus parietalis superior	L Area 7A (SPL)	-18	-62	56
2407		R Lobulus parietalis superior	R Area 7A (SPL)	22	-60	58	STAT= 8.73
1452		L Gyrus frontalis superior		-36	-4	60	STAT= 8.29
1365		R Gyrus frontalis superior		26	-4	56	STAT= 8.36
649		L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-6	-4	54	STAT= 8.31
482		R Gyrus temporalis inferior	R Area hOc4la	46	-68	-4	STAT= 7.28
349		L Gyrus occipitalis inferior	L Area hOc4la	-48	-70	-4	STAT= 7.87
154		R Gyrus frontalis superior medius		4	20	42	STAT= 5.47
154		L Thalamus	L Thal: Prefrontal	-14	-18	8	STAT= 5.13
125		R Gyrus fusiformis	R Lobule VI (Hem)	24	-56	-16	STAT= 6.46

	124	L Cerebellum (VI)	L Lobule VI (Hem)	-32	-48	-32	STAT= 7.88
SpMotor L	5575	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-6	14	54	STAT= 9.06
	1489	L Lobulus parietalis inferior	L Area hIP3 (IPS)	-40	-40	44	STAT= 7.94
	828	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	14	56	STAT= 8.39
	683	R IFG (p. Triangularis)		46	16	24	STAT= 7.90
	662	R Lobulus parietalis inferior	R Area hIP3 (IPS)	38	-50	48	STAT= 6.30
	659	R Insula		34	24	-2	STAT= 8.32
	212	L Gyrus temporalis medius		-58	-42	10	STAT= 5.15
	153	L Thalamus	L Thal: Prefrontal	-12	-16	6	STAT= 4.98
	149	R Cerebellum (VI)	R Lobule VI (Hem)	32	-64	-26	STAT= 5.33
	122	L Gyrus occipitalis inferior	L Area FG4	-44	-60	-14	STAT= 4.92
	30	L Gyrus praecentralis		-42	-20	60	STAT= 4.07
SpMotor R	524	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		12	18	62	STAT= 8.29
	199	R ACC		12	32	26	STAT= 5.20
	159	R Insula		44	22	-8	STAT= 5.81
	98	L IFG (p. Orbitalis)		-38	24	-4	STAT= 4.40
	90	R IFG (p. Opercularis)	R Area 45	58	20	10	STAT= 4.22
	83	R Gyrus frontalis medius		50	12	44	STAT= 4.84
	63	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-2	16	60	STAT= 3.95

Hinweis: In der voranstehenden Tabelle ist die Clustergröße, die makroanatomische und zytoarchitektonische Lage (bestimmt durch die Anatomy Toolbox (Eickhoff et al., 2005) in SPM12), sowie die dazugehörigen x-, y-, z-Koordinaten (in mm) mit dem entsprechenden T-Wert dargestellt. Die x-, y-, z-Koordinaten der lokalen Maxima sind im MNI-Format angegeben. Abkürzungen: R = Rechts, L = Links, AI = Anteriore Insula, dIPFC = Dorsolateraler präfrontaler Cortex, IFG = Gyrus frontalis inferior, IFG_Op = Gyrus frontalis inferior Pars Opercularis, IFG_Orb = Gyrus frontalis inferior Pars Orbitalis, IFG_Tri = Gyrus frontalis inferior Pars Triangularis, IPL = Lobulus parietalis inferior, ITG = Gyrus temporalis inferior, MFG = Gyrus frontalis medius, MOG = Gyrus occipitalis medius, SFG = Gyrus frontalis superior, SFGM = Gyrus frontalis superior medialis, SPL = Lobulus parietalis superior, SpMotor = Supplementärmotorischer Cortex, ACC = Anteriorer cingulärer Cortex, MCC = Medialer cingulärer Cortex, PCC = Posteriorer cingulärer Cortex, hIP1-3 = intraparietaler Sulcus, IPS = intraparietaler Sulcus, Area FG2 = Gyrus fusiformis, Lobule VI (Hem) / Lobule VIIa crusI (Hem) = Kleinhirnlappen, Area PFt/PFop/PF/PFm (IPL) = Rostrale Anteile des Lobulus parietalis inferior (Caspers, 2008), Area 7A (SPL) = Areale des Lobulus parietalis superior, Area hOc3v [V3v] = Ventraler visueller Kortex (Rottschy et al. 2007), Area PGp (IPL) = Rostro-ventraler Anteil des

Lobulus parietalis inferior (Caspers, 2008), Fp2 = Frontalpol, Area 2 = Gyrus postcentralis, Area FG4 = Mittlerer fusiformer Gyru, Area 44/45 = Broca Areal, Thal = Thalamus, hOc4v = ventraler extrastriater Kortex, [V4(v)] = quartärer visueller Kortex, Area hOc4l = lateraler occipitaler Kortex (Eickhoff et al., 2005), Area PGp (IPL) = Kaudaler Anteil IPL (Caspers, 2008), CA3 (Hippocampus) = Ammonshorn Hippocampus (Insausti et al., 2012).

Tabelle A4: Übersicht erhobene Koordinaten für die Konjugationsanalyse MACM und RS für die Rumination mit Informationen zur makroanatomischen und zytoarchitektonischen Lage sowie MNI-Koordinaten und t-Wert.

Kontrast	Cluster Größe	Makroanatomische Lage	Zytoarchitektonische Lage	X	Y	Z	t-Wert
ACC L	1170	L ACC	L Area 24	-4	32	-10	STAT= 8.52
	356	R Amygdala	R Amygdala (LB)	28	-2	-20	STAT= 6.10
	305	L PCC		-2	-50	30	STAT= 5.31
	131	L Gyrus angularis	L Area PGa (IPL)	-44	-66	32	STAT= 4.63
	131	N/A		-6	2	-10	STAT= 5.40
	25	L Gyrus frontalis superior medialis		-4	52	10	STAT= 4.18
ACC R	2270	R Gyrus orbitalis medialis	R Area 32	4	32	-10	STAT= 8.58
	278	R Hippocampus	R Amygdala (LB)	22	-4	-20	STAT= 6.49
	112	L PCC		-2	-52	24	STAT= 5.08
	102	R Precuneus		6	-50	18	STAT= 4.88
	99	L Putamen		-26	4	8	STAT= 5.38
	98	L Amygdala	L Amygdala (LB)	-24	0	-22	STAT= 5.55
	49	N/A		20	-22	-12	STAT= 5.10
AI R	2813	R IFG (p. Orbitalis)		34	24	-8	STAT = 9.16
	2655	L Insula	L Area PGp (IPL)	-32	22	-6	STAT= 8.50
	1317	R IFG (p. Opercularis)		46	10	26	STAT= 7.85
	917	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	20	46	STAT= 8.40
	668	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	16	46	STAT= 8.40
	619	L Putamen		-12	10	-4	STAT= 6.86
	534	L Lobulus parietalis inferior	L Area hIP1 (IPS)	-36	-54	46	STAT= 7.52
	359	R Gyrus angularis	R Area hIP3 (IPS)	34	-56	48	STAT= 5.24
	219	L Cerebellum (VI)	L Lobule VI (Hem)	-34	-64	-24	STAT= 5.03
	21	N/A		50	14	-10	STAT= 4.85
	11	L Temporalpol		-48	14	-12	STAT= 4.60
Amy L	4135	L Putamen		-20	8	6	STAT= 8.80
	2012	R Putamen		22	8	4	STAT= 8.38

900	L Gyrus postcentralis	L Area 2	-42	-36	46	STAT= 6.19
587	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-2	12	46	STAT= 8.31
452	R MCC		4	16	44	STAT= 8.13
269	L Gyrus temporalis medius		-62	-34	4	STAT= 6.45
266	R Lobulus parietalis superior		58	-26	4	STAT= 5.37
222	R Gyrus praecentralis		48	6	50	STAT= 5.70
215	R Gyrus fusiformis	R Area FG4	40	-58	-14	STAT= 4.59
142	L Gyrus frontalis superior		-26	-8	56	STAT= 5.25
130	L Cerebellum (VI)	L Lobule VI (Hem)	-28	-62	-24	STAT= 6.22

Amy R

3595	L Putamen		-22	4	6	STAT= 8.45
3448	R Putamen		22	8	6	STAT= 8.81
598	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		6	6	56	STAT= 8.31
596	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	2	58	STAT= 8.33
427	R Gyrus temporalis superior		62	-26	6	STAT= 5.06
370	L Gyrus postcentralis	L Area 2	-44	-34	46	STTA= 5.63
190	L Cerebellum (VI)	L Lobule VI (Hem)	-28	-62	-24	STAT= 7.59
186	R Gyrus frontalis medius		36	44	26	STAT= 4.31
179	R Cerebellum (VI)	R Lobule VI (Hem)	28	-64	-26	STAT= 6.02
153	L Gyrus frontalis superior		-26	-8	56	STAT= 5.27
	L Gyrus praecentralis		-36	-20	60	STAT= 3.87
95	L Gyrus temporalis superior		-62	-14	6	STAT= 5.93

AnG1 R

1452	R Lobulus parietalis inferior	R Area hIP1 (IPS)	40	-56	44	STAT= 8.63
1181	L Lobulus parietalis inferior	L Area hIP3 (IPS)	-36	-60	44	STAT= 8.29
1035	R Gyrus frontalis medius		46	40	18	STAT= 6.76
721	L IFG (p. Triangularis)		-44	18	30	STAT= 5.08
274	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	20	46	STAT= 5.69
210	R Gyrus frontalis medius		32	14	48	STAT= 4.53
207	L Gyrus frontalis superior medialis		-4	26	42	STAT= 5.77
177	R Insula		36	20	-2	STAT= 8.27
105	N/A		-30	20	0	STAT= 6.35
87	R Precuneus		4	-66	46	STAT= 4.29
63	L Precuneus		-4	-70	42	STAT= 4.18
62	L Lobulus parietalis superior		-20	-72	42	STAT= 4.16
13	R IFG (p. Triangularis)		42	18	4	STAT= 4.27

AnG2 R	3094	R Insula		34	22	0	STAT= 8.37
	2687	L Insula		-32	22	2	STAT= 8.39
	2416	L Lobulus parietalis inferior	L Area hIP3 (IPS)	-34	-52	50	STAT= 8.50
	2136	R Lobulus parietalis inferior	R Area hIP1 (IPS)	34	-56	50	STAT= 9.01
	683	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	22	48	STAT= 8.36
	643	R Gyrus temporalis inferior		48	-62	-10	STAT= 5.73
	632	L Gyrus occipitalis inferior	L Area hOc4la	-42	-78	-8	STAT= 6.28
	578	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	12	52	STAT= 8.33
	221	R Thalamus	R Thal: Präfrontal	6	-16	8	STAT= 4.78
CalcG1 L	1887	L Sulcus calcarinus	L Area hOc2 [V2]	0	-78	14	STAT= 8.52
	300	R Gyrus temporalis superior		54	-22	4	STAT= 6.33
	270	L Gyrus temporalis superior		-54	-18	4	STAT= 7.43
	163	L Lobulus parietalis superior	L Area hIP3 (IPS)	-30	-50	50	STAT= 6.27
	153	L Gyrus praecentralis		-42	4	46	STAT= 5.33
	131	R Gyrus praecentralis		40	0	46	STAT= 5.71
	67	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	6	60	STAT= 4.61
	51	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-2	24	50	STAT= 4.52
	27	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	2	60	STAT= 4.40
	13	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	20	48	STAT= 4.12
	12	R MCC		4	18	34	STAT= 4.39
CalcG2 L	1956	Sulcus calcarinus	L Area hOc1 [V1]	-8	-72	10	STAT= 8.46
	170	L Nucleus caudatus		-10	0	12	STAT= 5.09
	43	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	4	46	STAT= 4.98
	25	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	6	50	STAT= 4.08
	18	L Gyrus lingualis		-22	-64	-2	STAT= 3.85
CalcG3 L	2281	L Sulcus calcarinus	L Area hOc1 [V1]	-2	-84	-2	STAT= 8.55
	370	L Gyrus fusiformis	L Area FG1	-34	-72	-12	STAT= 6.29
	342	L Thalamus	L Thal: Präfrontal	-16	-14	12	STAT= 6.73
	271	L Lobulus parietalis superior	L Area 7PC (SPL)	-30	-50	56	STAT= 6.34
	139	L Precuneus	L Area 7A (SPL)	-12	-68	58	STAT= 6.68
	130	R Gyrus temporalis medius	R Area hOc4la	50	-66	-2	STAT= 4.55
	120	L Insula		-36	16	6	STAT= 5.69

	115	L Gyrus praecentralis		-28	-2	58	STAT= 6.77
	113	L Lobulus parietalis inferior	L Area PFt (IPL)	-42	-32	40	STAT= 4.93
	98	R Lobulus parietalis superior	R Area 7P (SPL)	18	-68	54	STAT= 5.78
	64	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-2	12	56	STAT= 4.99
	57	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	10	54	STAT= 5.24
	37	R Lobulus parietalis superior	R Area 7A (SPL)	32	-56	58	STAT= 5.98
	36	R Lobulus parietalis superior	R Area 7PC (SPL)	32	-54	62	STAT= 6.03
CalcG1 R	982	R Sulcus calcarinus	R Area hOc2[V2]	20	-56	8	STAT= 8.38
	254	L Sulcus calcarinus		-16	-58	10	STAT= 5.06
	158	L Gyrus fusiformis	L Area FG3	-26	-42	-14	STAT= 5.04
	147	L IFG (p. Triangularis)		-44	20	22	STAT= 5.14
	113	L Gyrus temporalis medius		-46	-50	16	STAT= 4.07
CalcG2 R	1168	R Sulcus calcarinus	R Area hOc1[V1]	14	-66	12	STAT= 8.55
	502	L Sulcus calcarinus	L Area hOc1[V1]	-10	-74	8	STAT= 5.96
	156	L Gyrus frontalis superior medialis		-6	24	40	STAT= 4.78
	122	R IFG (p. Orbitalis)		36	28	-8	STAT= 4.68
	96	R MCC		6	14	38	STAT= 5.61
CalcG3 R	2704	R Sulcus calcarinus	R Area hOc1[V1]	10	-88	0	STAT= 8.65
	708	L Lobulus parietalis superior	L Area 7PC (SPL)	-34	-50	60	STAT= 6.34
	577	R Gyrus praecentralis		46	4	50	STAT= 6.04
	521	L Gyrus praecentralis		-48	2	42	STAT= 6.51
	373	R Gyrus angularis	R Area hIP3 (IPS)	32	-60	52	STAT= 6.05
	243	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		8	16	56	STAT= 8.28
	204	R Gyrus occipitalis medius	R Area hOc4la	40	-78	2	STAT= 5.83
	197	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	10	54	STAT= 7.44
	194	L Insula		-34	20	2	STAT= 7.09
	139	R Cerebellum (VI)	R Lobule VI (Hem)	28	-62	-22	STAT= 5.30
	101	R Insula		34	24	-4	STAT= 4.79
Cuneus R	2426	L Sulcus calcarinus	L Area hOc2 [V2]	4	-86	14	STAT= 8.47
	161	R Gyrus temporalis superior		50	-26	2	STAT= 5.99
IFG_Tri1 L	5243	L IFG (p. Triangularis)		-46	24	22	STAT= 9.30
	2327	R Insula		34	22	-2	STAT= 8.34

2263	L Gyrus temporalis inferior	L Area FG4	-46	-54	-12	STAT= 8.04
1560	L Lobulus parietalis inferior	L Area hIP3 (IPS)	-30	-56	48	STAT= 8.39
784	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	18	46	STAT= 8.47
555	R Gyrus frontalis superior medialis		4	20	44	STAT= 8.04
452	R Lobulus parietalis inferior	R Area hIP3 (IPS)	36	-50	48	STAT= 7.62
232	L Nucleus caudatus		-14	8	8	STAT= 5.48
137	L Thalamus	L Thal: Präfrontal	-12	-14	6	STAT= 5.18

IFG_Tri2 L	4665	L IFG (p. Triangularis)	-44	16	26	STAT= 9.25	
	2915	R Insula	32	24	-2	STAT= 8.45	
	1931	L Lobulus parietalis inferior	L Area hIP3 (IPS)	-32	-56	48	STAT= 8.41
	1571	L Gyrus temporalis inferior	L Area FG4	-44	-54	-12	STAT= 8.35
	947	R Gyrus angularis	R Area hIP3 (IPS)	30	-60	48	STAT= 8.35
	858	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	20	46	STAT= 8.57
	642	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	20	46	STAT= 8.41
	490	R Gyrus fusiformis	R Area FG4	40	-52	-20	STAT= 5.83
	205	R Gyrus occipitalis medius	R Area hOc4lp	32	-88	2	STAT= 5.36
	170	L Thalamus	L Thal: Präfrontal	-10	-16	4	STST= 5.21

IFG_Op1 R	2986	L IFG (p. Opercularis)	44	12	34	STAT= 8.81	
	2169	L Gyrus praecentralis	-44	6	36	STAT= 8.34	
	977	R Lobulus parietalis inferior	R Area hIP3 (IPS)	32	-54	50	STAT= 8.01
	755	L Lobulus parietalis inferior	L Area HIP3 (IPS)	-32	-52	50	STAT= 8.29
	493	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	18	46	STAT= 8.28
	358	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	20	48	STAT= 8.30
	227	L Thalamus	L Thal: Präfrontal	-12	-20	8	STAT= 5.48
	192	L Gyrus fusiformis	L Area FG4	-40	-58	-12	STAT= 5.59
	190	R Gyrus occipitalis inferior	R Area hOc4v [V4(v)]	38	-74	-12	STAT= 4.01
	175	R Thalamus	R Thal: Präfrontal	10	-12	10	STAT= 4.74
	15	L ACC		-4	20	30	STAT= 4.19

IFG_Op2 R	2914	R IFG (p. Opercularis)	48	20	32	STAT= 8.86
	2416	L Gyrus praecentralis	-46	12	32	STAT= 8.35
	1135	R Lobulus parietalis inferior	R Area hIP3 (IPS)	38	-48	48

792	L Lobulus parietalis inferior	L Area hIP1 (IPS)	-38	-44	46	STAT= 5.92
482	R Gyrus frontalis superior medialis		6	30	42	STAT= 7.18
458	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	20	50	STAT= 8.32
163	L Gyrus temporalis medius		-54	-50	6	STAT= 5.82
125	L Thalamus	L Thal: Präfrontal	-12	-8	8	STAT= 4.36
108	R Gyrus temporalis inferior	L Area FG4	-42	-50	-12	STAT= 4.83

IFG_Tri R

2886	R IFG (p. Triangularis)	R Area 45	48	34	12	STAT= 8.80
2609	L Insula		-32	22	-2	STAT= 8.32
659	L Gyrus fusiformis	L Area FG4	-42	-58	-18	STAT= 6.17
451	R Lobulus parietalis inferior	R Area hIP3 (IPS)	34	-50	48	STAT= 6.72
445	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	20	46	STAT= 6.91
440	L Lobulus parietalis superior	L Area hIP3 (IPS)	-26	-60	50	STAT= 6.20
409	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	14	50	STAT= 6.91
376	R Thalamus	R Thal: Präfrontal	8	-18	2	STAT= 5.59
188	R Gyrus temporalis inferior	R Area FG4	46	-54	-18	STAT= 4.82
123	R Amygdala	R Amygdala (SF)	22	-4	-18	STAT= 6.84
117	L Nucleus caudatus		-12	6	10	STAT= 4.96
61	L Hippocampus	L Amygdala (CM)	-18	-6	-14	STAT= 5.25

IOG L

4033	R Gyrus temporalis inferior	R Area FG2	44	-62	-12	STAT= 8.37
3014	L Insula		-32	24	0	STAT= 8.42
2958	L Gyrus occipitalis inferior	L Area FG2	-42	-66	-12	STAT= 9.00
1655	L Lobulus parietalis superior		-22	-70	44	STAT= 7.61
1046	R IFG (p. Opercularis)		46	10	26	STAT= 8.13
660	R Insula		34	20	2	STAT= 8.34
494	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	14	46	STAT= 8.37
304	L Thalamus	L Thal: Präfrontal	-6	-14	6	STAT= 5.00
302	L Putamen		-24	2	-2	STAT= 6.88
214	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	16	46	STAT= 7.55
210	L Gyrus frontalis superior		-26	-6	56	STAT= 6.84
175	R Gyrus frontalis medius		32	0	58	STAT= 5.83
139	L Gyrus frontalis medius		-52	-40	10	STAT= 4.97
12	R Gyrus frontalis medius		36	42	24	STAT= 3.66

IOG R	2834	L Gyrus occipitalis inferior	L Area hOc41a	-42	-76	-8	STAT= 8.39
	2766	R Gyrus temporalis inferior	R Area hOc41a	44	-74	-8	STAT= 8.93
	854	R Gyrus angularis	R Area 7A (SPL)	28	-58	52	STAT= 6.06
	548	L Lobulus parietalis inferior	L Area 7A (SPL)	-32	-52	54	STAT= 5.69
	353	L Amygdala	L Amygdala (CM)	-22	-4	-16	STAT= 8.32
	321	L Gyrus praecentralis		-46	6	32	STAT= 5.28
	265	R Gyrus praecentralis		48	6	30	STAT= 5.69
	196	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	14	48	STAT= 5.66
	178	L Insula		-32	24	0	STAT= 5.83
	148	R Amygdala	R BF (Ch 4)	20	-2	-14	STAT= 6.42
	88	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		6	14	48	STAT= 5.07
IPL1 L	4285	L Insula		-32	22	2	STAT= 8.49
	3680	R Insula		36	22	0	STAT= 8.42
	2697	L Lobulus parietalis inferior	L Area hIP1 (IPS)	-38	-50	44	STAT= 9.10
	2432	R Lobulus parietalis inferior	R Area hIP3 (IPS)	38	-48	46	STAT= 8.48
	799	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-2	20	44	STAT= 8.42
	540	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	18	46	STAT= 8.45
	383	L Gyrus temporalis inferior		-48	-56	-10	STAT= 5.99
	303	L Thalamus	L Thal: Präfrontal	-14	-12	8	STAT= 5.21
	221	R Nucleus caudatus		12	10	2	STAT= 6.45
	166	N/A		-14	8	6	STAT= 4.61
IPL2 L	4841	L Insula		-32	22	2	STAT= 8.40
	3653	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	8	54	STAT= 8.39
	2752	L Lobulus parietalis inferior	L Area 7PC (SPL)	-30	-54	54	STAT= 9.18
	2047	R Lobulus parietalis inferior	R Area hIP3 (IPS)	32	-54	50	STAT= 8.50
	1071	L Gyrus occipitalis medius	L Are hOc41a	-48	-70	2	STAT= 7.29
	768	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	22	46	STAT= 8.41
	706	R Gyrus temporalis inferior	R Area hOc41a	46	-70	-4	STAT= 7.20
	212	N/A	R Thal: Präfrontal	14	-6	10	STAT= 6.78
	9	R ACC		8	34	26	STAT= 3.52
IPL3 L	4924	L Gyrus postcentralis	L Area 2	-48	-34	48	STAT= 8.80
	1573	R Lobulus parietalis inferior	R Area 2	48	-34	48	STAT= 7.82

655	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	2	58	STAT= 8.32
639	L Gyrus fusiformis	L Area FG2	-40	-64	-14	STAT= 5.66
585	R Insula		34	22	0	STAT= 7.90
422	L Insula		-34	20	2	STAT= 8.30
416	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		6	6	56	STAT= 7.03
415	L Gyrus supramarginalis	L Area PFop (IPL)	-62	-24	26	STAT= 5.21
175	R Gyrus praecentralis		52	10	32	STAT= 4.95
138	L Thalamus	L Thal: Präfrontal	-12	-16	10	STAT= 5.44
116	R Gyrus frontalis superior		36	-6	62	STAT= 4.40
14	L MCC		-4	14	34	STAT= 4.15

IPL4 L

3451	L Insula		-34	20	2	STAT= 8.43
2619	L Lobulus parietalis inferior		-44	-42	48	STAT= 9.04
2401	R Lobulus parietalis inferior	R Area hIP2 (IPS)	42	-44	46	STAT= 8.37
2313	R Gyrus praecentralis		52	10	30	STAT= 7.88
909	R Insula		34	22	0	STAT= 8.40
769	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-2	12	50	STAT= 8.37
718	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	14	50	STAT= 8.36
337	L Gyrus temporalis inferior	L Area FG4	-46	-60	-10	STAT= 5.45
257	R Thalamus	R Thal: Präfrontal	10	-16	8	STAT= 5.22
169	L Thalamus	L Thal: Präfrontal	-12	-16	10	STAT= 5.90
145	R Gyrus temporalis inferior		52	-54	-18	STAT= 4.17
144	R Cerebellum (VI)	R Lobule VI (Hem)	32	-54	-26	STAT= 4.24
5	R Gyrus occipitalis medius	R Area hOc4la	44	-80	0	STAT= 3.49

IPL1 R

1631	R Lobulus parietalis inferior	R Area hIP2 (IPS)	50	-46	46	STAT= 8.72
1141	L Lobulus parietalis inferior	L Area hIP3 (IPS)	-40	-46	48	STAT= 6.25
803	R IFG (p. Triangularis)		42	36	26	STAT= 8.29
649	R Insula		36	22	0	STAT= 8.30
410	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	20	46	STAT= 7.68
272	L Insula		-34	20	2	STAT= 7.28
234	L IFG (p. Triangularis)		-40	34	20	STAT= 5.75
227	R IFG (p. Opercularis)	L Area 44	52	12	22	STAT= 4.78
174	R Thalamus	R Thal: Präfrontal	12	-10	12	STAT= 6.03
133	R Gyrus frontalis medius		30	2	54	STAT= 4.72
129	L Gyrus frontalis superior medialis		-2	30	38	STAT= 5.17

	120	L Cerebellum (VI)	L Lobule VIIa crus1 (Hem)	-34	-66	-24	STAT= 4.37
	70	L IFG (p. Opercularis)	L Area 44	-40	10	22	STAT= 4.49
	15	L Gyrus frontalis medius		-48	12	36	STAT= 3.60
IPL2 R	719	R Precuneus		8	-46	50	STAT= 8.39
	200	L MCC		-2	-44	48	STAT= 6.32
	20	L MCC		-2	22	38	STAT= 3.81
	14	R MCC		6	12	38	STAT= 3.68
ITG1 L	2123	L Gyrus temporalis inferior	L Area FG4	-46	-48	-18	STAT= 8.57
	1943	L IFG (p. Triangularis)		-48	24	22	STAT= 7.01
	365	R Gyrus fusiformis	L Area FG4	40	-48	-18	STAT= 6.61
	304	L Amygdala	L Amygdala (CM)	-20	-6	-14	STAT= 6.05
	174	R IFG (p. Triangularis)		50	18	22	STAT= 5.21
	167	R Gyrus temporalis medius		50	-64	-2	STAT= 6.25
	88	Cerebellar Vermis (6)	R Lobule VI (Hem)	6	-74	-20	STAT= 5.00
	66	R MCC		6	18	44	STAT= 5.24
	30	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	20	50	STAT= 3.77
ITG2 L	3323	L IFG (p. Triangularis)		-44	12	26	STAT= 8.34
	2006	L Gyrus temporalis inferior	L Area FG4	-48	-56	-12	STAT= 8.95
	1496	R Gyrus temporalis inferior		48	-62	-8	STAT= 7.55
	1437	R Insula		34	24	-2	STAT= 7.31
	1276	L Lobulus parietalis inferior	L Area hIP (IPS)	-34	-48	44	STAT= 7.72
	749	R Lobulus parietalis inferior		30	-54	48	STAT= 6.56
	526	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	14	50	STAT= 8.30
	158	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	16	48	STAT= 7.23
	12	R MCC		6	22	32	STAT= 3.53
ITG R	1316	R Gyrus temporalis inferior		50	-56	-12	STAT= 8.62
	1290	L Gyrus temporalis inferior		-48	-66	-10	STAT= 7.46
	664	R Lobulus parietalis inferior	R Area hIP3 (IPS)	34	-52	50	STAT= 5.51
	616	L Lobulus parietalis inferior		-40	-40	46	STAT= 5.62
	435	R IFG (p. Opercularis)	R Area 44	50	8	24	STAT= 6.96
	404	R Gyrus occipitalis medius	R Area hOc4lp	30	-50	2	STAT= 5.35
	345	R Gyrus frontalis medius		42	44	22	STAT= 5.20

	268	L Gyrus occipitalis medius	L Area hOc4lp	-30	-86	10	STAT= 4.87
	262	R Insula		34	22	2	STAT= 5.56
	261	L IFG (p. Opercularis)	L Area 44	-48	8	28	STAT= 5.94
	229	L IFG (p. Triangularis)		-42	34	14	STAT= 5.07
	228	L Insula		-30	22	4	STAT= 5.21
	89	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		6	16	50	STAT= 6.03
	51	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	14	50	STAT= 4.90
LinG1 R	2091	R Gyrus lingualis	R Area hOc1[V1]	18	-60	-2	STAT= 8.34
	120	R Gyrus temporalis inferior	R Area hOc4la	44	-74	-8	STAT= 4.93
LinG2 R	1323	R Sulcus calcarinus	R Area hOc1[V1]	8	-74	6	STAT= 8.42
MFG R	2221	L Gyrus frontalis medius		-30	0	54	STAT= 8.31
	1826	R Gyrus frontalis medius		38	2	54	STAT= 8.80
	1686	L Lobulus parietalis superior	L Area hIP3 (IPS)	-26	-62	52	STAT= 8.30
	1518	R Lobulus parietalis superior	R Area hIP3 (IPS)	30	-62	52	STAT= 8.30
	643	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	14	50	STAT= 8.35
	571	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-2	12	50	STAT= 8.38
	408	R Gyrus frontalis medius		38	44	26	STAT= 6.54
	393	R Insula		40	22	-4	STAT= 7.58
	208	L Insula		-34	22	0	STAT= 6.51
	187	R Thalamus	R Thal: Präfrontal	10	-16	6	STAT= 5.53
	185	L Gyrus occipitalis inferior	L Area hOc4la	-42	-76	-10	STAT= 4.78
	123	R Gyrus fusiformis	R Area FG4	42	-52	-20	STAT= 4.73
MOG1 L	1655	L Gyrus occipitalis medius		-32	-74	36	STAT= 8.51
	1220	R Gyrus occipitalis medius		36	-76	34	STAT= 8.27
	573	L Gyrus praecentralis		-44	10	34	STAT= 5.74
	202	L Gyrus frontalis medius		-28	10	58	STAT= 4.82
	155	L Gyrus fusiformis		-28	-34	-20	STAT= 6.11
	141	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	20	52	STAT= 4.69
	137	R Gyrus fusiformis		28	-34	-18	STAT= 5.80
	118	R IFG (p. Triangularis)		48	22	28	STAT= 4.71
	91	R Gyrus frontalis medius		30	4	56	STAT= 4.09
	83	L Gyrus fusiformis	L Area FG4	-40	-60	-16	STAT= 4.07
	59	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		8	18	50	STAT= 3.72

	22	R Lobulus parietalis superior	R Area hIP3 (IPS)	38	-48	56	STAT= 4.14
	11	R Lobulus parietalis inferior	R Area hIP3 (IPS)	40	-50	52	STAT= 3.80
	10	R Lobulus parietalis superior	R Area 7PC (SPL)	26	-56	62	STAT= 4.20
	5	R Gyrus fusiformis	R Area FG4	36	-56	-18	STAT= 3.73
MOG2 L	2487	L Gyrus occipitalis medius		-32	-82	24	STAT= 8.56
	1978	R Gyrus occipitalis medius		38	-82	18	STAT= 8.29
	356	L Gyrus frontalis medius		-28	0	56	STAT= 5.50
	199	L IFG (p. Opercularis)	L Area 44	-44	10	24	STAT= 4.94
	141	R Gyrus frontalis medius		36	44	24	STAT= 5.22
	136	R Insula		34	26	-4	STAT= 4.67
	131	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	14	46	STAT= 5.69
	124	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	14	50	STAT= 5.62
MOG1 R	4170	L Gyrus occipitalis medius	L Area hOc4la	-28	-84	-2	STAT= 8.33
	3894	R Gyrus occipitalis medius	R Area hOc4lp	38	-84	0	STAT= 8.82
	353	L Gyrus praecentralis		-48	2	42	STAT= 5.87
	244	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	12	54	STAT= 7.05
	198	R IFG (p. Opercularis)		50	8	28	STAT= 4.85
	150	L IFG (p. Opercularis)		-48	14	22	STAT= 4.79
	110	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	14	56	STAT= 5.46
	96	R Insula		36	20	0	STAT= 4.84
	71	L Lobulus parietalis inferior	L Area PFt (IPL)	-40	-32	40	STAT= 4.86
MOG2 R	3167	R Gyrus occipitalis medius		34	-82	24	STAT= 8.60
	2843	L Gyrus occipitalis superior		-24	-84	22	STAT= 8.33
	190	R IFG (p. Opercularis)		50	8	26	STAT= 4.75
	143	R Sulcus calcarinus	R Area hOc1[V1]	12	-86	0	STAT= 5.60
	124	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		6	14	56	STAT= 6.19
	84	R Gyrus frontalis medius		30	4	58	STAT= 4.59
	80	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	12	54	STAT= 5.95
MOG3 R	2348	R Gyrus occipitalis medius		28	-80	20	STAT= 8.52
	962	L Gyrus occipitalis superior		-24	-84	22	STAT= 6.15

	231	R IFG (p. Opercularis)		48	10	28	STAT= 4.48
	142	L Gyrus temporalis inferior		-42	-60	-6	STAT= 4.99
	120	L Gyrus praecentralis		-48	0	42	STAT= 5.23
	115	L Gyrus fusiformis		-28	-44	-16	STAT= 5.53
	100	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		6	14	56	STAT= 6.17
	54	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	12	52	STAT= 5.48
MOG4 R	700	L Gyrus temporalis superior		-56	-18	4	STAT= 7.73
	266	L Gyrus temporalis superior		-56	-18	4	STAT= 7.73
	215	L Lobulus parietalis superior	L Area hIP3 (IPS)	-30	-50	50	STAT= 7.75
	207	L Gyrus occipitalis medius	L Area hOc4lp	-30	-88	6	STAT= 4.58
	197	R Gyrus praecentralis		40	0	46	STAT= 6.66
	197	R Gyrus temporalis superior		56	-20	4	STAT= 6.77
	159	L Gyrus praecentralis		-36	-2	52	STAT= 5.58
	148	R Lobulus parietalis inferior	R Area hIP3 (IPS)	32	-52	48	STAT= 7.11
	89	R Sulcus calcarinus	R Area hOc2 [V2]	4	-74	12	STAT= 6.56
	57	L Gyrus frontalis medius		-36	32	34	STAT= 5.28
	8	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	20	48	STAT= 4.13
MTG L	1502	L Gyrus temporalis medius		-56	-54	-2	STAT= 8.56
	1406	L IFG (p. Triangularis)		-44	26	18	STAT= 7.26
	307	L Lobulus parietalis inferior	L Area hIP3 (IPS)	-34	-52	52	STAT= 4.85
	108	R Gyrus temporalis medius		54	-62	-2	STAT= 4.34
ParaHip R	976	R Hippocampus	R Subiculum	22	-28	-10	STAT= 8.50
	772	N/A	L Subiculum	-20	-26	-14	STAT= 7.82
	128	L Gyrus fusiformis	L Area FG4	-46	-54	-20	STAT= 4.68
	17	N/A		14	0	-8	STAT= 3.61
PrecenG R	2605	R Gyrus praecentralis		44	2	46	STAT= 8.87
	2361	L Gyrus praecentralis		-46	-4	44	STAT= 8.32
	930	L Lobulus parietalis inferior	L Area 7PC (SPL)	-30	-52	52	STAT= 7.94
	781	R Lobulus parietalis inferior	R Area hIP3 (IPS)	32	-54	48	STAT= 8.33
	779	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	8	58	STAT= 8.39
	562	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-2	8	60	STAT= 8.36

480	N/A	R Thal: Präfrontal	14	-6	10	STAT= 7.08
381	R Gyrus temporalis superior	R Area TE 3	56	-20	4	STAT= 7.91
282	R Gyrus frontalis medius		38	42	26	STAT= 7.08
241	L Gyrus fusiformis	L Area FG2	-40	-64	-20	STAT= 3.92
234	L Gyrus temporalis superior		-54	-18	6	STAT= 5.66
198	R Gyrus temporalis medius	R Area hOc5 [V5/MT]	48	-66	-2	STAT= 5.80
185	R Gyrus supramarginalis	R Area PFm (IPL)	58	-40	42	STAT= 4.87
121	R Gyrus temporalis medius		54	-40	4	STAT= 4.70
82	L Cerebellum (VI)	L Lobule VI (Hem)	-36	-58	-28	STAT= 4.11
12	R Temporalpol		56	14	-8	STAT= 4.20

Prec L

2620	L Precuneus	L Area 7A (SPL)	-10	-68	54	STAT= 8.78
2032	R Lobulus parietalis superior	R Area 7P (SPL)	16	-68	54	STAT= 8.39
1546	L Gyrus praecentralis		-26	-2	60	STAT= 8.01
617	R IFG (p. Opercularis)		44	10	30	STAT= 6.14
412	R Gyrus frontalis superior		20	0	58	STAT= 6.91
407	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-2	12	50	STAT= 8.29
387	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	12	54	STAT= 7.57
377	L Thalamus	L Thal: Präfrontal	-14	-14	12	STAT= 7.43
313	R Thalamus	R Thal: Präfrontal	12	-18	14	STAT= 5.76
202	L Insula		-34	22	0	STAT= 5.54
118	R IFG (p. Orbitalis)		36	28	-6	STAT= 4.61

Prec R

2209	R Gyrus occipitalis superior		22	-70	44	STAT= 8.53
1541	L Lobulus parietalis superior		-26	-64	46	STAT= 7.31
910	R IFG (p. Opercularis)		48	8	28	STAT= 6.83
382	L Insula		-34	20	0	STAT= 5.40
311	R Gyrus frontalis superior		28	0	54	STAT= 6.23
300	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-8	10	50	STAT= 6.49
294	L Cerebellum (VI)	L Lobule VI (Hem)	-30	-66	-20	STAT= 4.44
253	L Gyrus frontalis medius		-28	2	56	STAT= 5.97
251	N/A		32	22	0	STAT= 6.88
238	L Gyrus praecentralis		-40	0	42	STAT= 4.32
217	R Thalamus	R Thal: Präfrontal	8	-16	8	STAT= 6.14
189	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		6	18	48	STAT= 6.04
189	R Gyrus occipitalis inferior	R Area FG2	44	-64	-16	STAT= 5.09

Put1 R	2128	R Putamen		22	12	-2	STAT= 8.74
	1966	L Putamen		-20	10	-2	STAT= 8.41
	1141	R Thalamus	R Thal: Präfrontal	10	-14	8	STAT= 7.99
	476	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	12	48	STAT= 7.20
	445	L Lobulus parietalis inferior	L Area hIP2 (IPS)	-46	-40	44	STAT= 6.23
	442	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		6	2	58	STAT= 6.75
	206	R IFG (p. Opercularis)		54	10	28	STAT= 5.51
	179	L IFG (p. Opercularis)	L Area 44	-56	8	24	STAT= 4.68
	144	R Gyrus frontalis medius		34	44	26	STAT= 5.70
	135	R Gyrus supramarginalis	R Area hIP2 (IPS)	52	-36	44	STAT= 4.78
Put2 R	3525	L Putamen		-24	-2	4	STAT= 8.48
	2484	R Putamen		26	2	4	STAT= 8.89
	734	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	0	62	STAT= 8.36
	683	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-2	-2	62	STAT= 8.39
	579	R Gyrus postcentralis		54	-6	32	STAT= 7.17
	543	R Cerebellum (VI)	R Lobule VI (Hem)	28	-60	-26	STAT= 7.24
	476	R Gyrus supramarginalis	R Area PFop (IPL)	56	-28	24	STAT= 5.61
	439	L Cerebellum (VI)	L Lobule VI (Hem)	-14	-64	-20	STAT= 5.46
	409	R Thalamus	R Thal: Premotor	14	-18	6	STAT= 8.43
	394	L Thalamus	L Thal: Präfrontal	-12	-16	4	STAT= 8.32
	250	L Gyrus supramarginalis	L Area OP1 (SII)	-56	-22	20	STAT= 5.58
	143	N/A		14	4	10	STAT= 5.43
	113	L Gyrus postcentralis	L Area 3b	-40	-30	54	STAT= 4.60
	55	L Lobulus parietalis inferior	L Area hIP3 (IPS)	-40	-48	60	STAT= 4.12
	24	L Gyrus temporalis superior		-64	-30	12	STAT= 3.78
SPL1 L	3939	L Lobulus parietalis inferior		-26	-70	42	STAT= 8.84
	2873	R Gyrus occipitalis superior		28	-68	42	STAT= 8.37
	2190	L Gyrus praecentralis		-48	6	34	STAT= 8.37
	847	R Gyrus praecentralis		48	8	30	STAT= 6.84
	502	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	14	50	STAT= 8.34
	450	R Insula		34	20	4	STAT= 8.33
	379	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	10	56	STAT= 8.08
	368	L Insula		-34	22	0	STAT= 7.97
	298	R Gyrus frontalis medius		30	2	58	STAT= 6.08
	139	L Putamen		-20	6	4	STAT= 5.86
	29	L IFG (p. Opercularis)	L Area 44	-54	12	0	STAT= 4.87

SPL2 L	5769	L Lobulus parietalis superior	L Area hIP3 (IPS)	-26	-62	52	STAT= 9.12
	2479	R Lobulus parietalis superior	R Area 7A (SPL)	26	-62	52	STAT= 8.49
	1707	R Gyrus temporalis superior		28	0	54	STAT= 8.36
	636	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-2	10	50	STAT= 8.33
	619	L Gyrus temporalis inferior	L Area hOc4la	-48	-68	-6	STAT= 7.18
	440	L Insula		-32	22	2	STAT= 8.33
	396	R Gyrus frontalis medius		44	36	20	STAT= 5.43
	389	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	8	56	STAT= 8.31
	383	R Gyrus temporalis inferior	R Area hOc4la	46	-68	-4	STAT= 5.53
	342	R Insula		36	24	-4	STAT= 7.42
	12	R MCC		6	24	32	STAT= 3.94
SPL1 R	2466	L Lobulus parietalis superior	L Area 7PC (SPL)	-32	-50	56	STAT= 8.33
	1455	R Lobulus parietalis superior	R Area 7PC (SPL)	34	-48	58	STAT= 8.73
	713	R Gyrus frontalis superior		22	0	58	STAT= 6.77
	678	R Gyrus temporalis inferior	R Area hOc4la	48	-66	-4	STAT= 6.79
	579	R IFG (p. Triangularis)		50	16	24	STAT= 6.57
	514	L Gyrus fusiformis	L Area FG1	-34	-72	-12	STAT= 5.27
	384	L Gyrus praecentralis	L Area 44	-52	6	28	STAT= 6.20
	278	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	10	54	STAT= 5.30
	213	L Thalamus	L Thal: Präfrontal	-14	-16	10	STAT= 6.89
	190	R Thalamus	R Thal: Präfrontal	10	-16	12	STAT= 5.22
	127	R Gyrus occipitalis medius		36	-76	32	STAT= 4.56
	116	R Cerebellum (VI)	R Area hOc3v (V3v)	12	-72	-14	STAT= 6.34
	37	R MCC		4	14	34	STAT= 4.34
	33	R MCC		4	22	40	STAT= 4.35
	SPL2 R	5388	L Lobulus parietalis superior	L Area 7A (SPL)	-20	-64	56
2416		R Lobulus parietalis superior	R Area 7A (SPL)	24	-62	56	STAT= 8.85
1366		R Gyrus frontalis superior		26	-2	56	STAT= 8.39
586		L Gyrus occipitalis inferior	L Area hOc4la	-48	-70	-4	STAT= 7.52
409		R Gyrus temporalis inferior	R Area hOc4la	46	-68	-4	STAT= 6.45
265		R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	12	50	STAT= 8.29
150		L Thalamus	L Thal: Präfrontal	-14	-14	10	STAT= 5.74

122	R Gyrus frontalis medius		40	42	24	STAT= 3.93
92	L Insula		-32	22	2	STAT= 4.30
5	R MCC		6	14	38	STAT= 3.83

SPL3 R

2726	R Lobulus parietalis superior	R Area 7P (SPL)	16	-68	52	STAT= 8.72
2428	L Precuneus	L Area 7P (SPL)	-12	-70	52	STAT= 8.38
1212	R Gyrus frontalis superior		22	0	58	STAT= 8.32
554	L Gyrus praecentralis		-52	6	38	STAT= 6.86
484	L Gyrus frontalis medius		-28	0	58	STAT= 8.31
481	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-2	12	50	STAT= 8.28
393	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	12	52	STAT= 8.29
325	R Gyrus frontalis medius		40	36	30	STAT= 5.36
232	R Gyrus fusiformis	R Area hOc4v [V4(v)]	32	-72	-12	STAT= 5.59
210	L Insula		-34	20	2	STAT= 6.06
176	R Insula		36	22	0	STAT= 6.00
144	R Thalamus	R Thal: Präfrontal	12	-18	14	STAT= 5.24
137	L Gyrus fusiformis	L Area FG1	-34	-72	-12	STAT= 5.99
10	R Temporalpol	R Area TE 3	46	14	-8	STAT= 4.43

SupraMa R

2284	L Lobulus parietalis inferior	L Area PFt (IPL)	-48	-36	46	STAT= 8.29
1742	R Lobulus parietalis inferior	R Area PFt (IPL)	50	-34	46	STAT= 8.73
680	R Gyrus frontalis medius		42	40	24	STAT= 6.49
622	R IFG (p. Opercularis)	R Area 44	54	10	26	STAT= 8.29
536	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	2	54	STAT= 6.87
495	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-2	0	56	STAT= 7.85
353	L Gyrus praecentralis	L Area 44	-52	10	32	STAT= 8.29
340	R Insula		34	24	-2	STAT= 6.12
250	L Insula		-34	18	4	STAT= 6.47
141	R Thalamus	R Thal: Präfrontal	12	-16	8	STAT= 5.67
137	R Gyrus frontalis medius		32	3	58	STAT= 3.95
125	R Gyrus supramarginalis	R Area OP1 (SII)	60	-26	22	STAT= 4.47
9	L IFG (p. Orbitalis)		-38	22	-10	STAT= 3.80

Thal L

5070	L Thalamus	L Thal: Präfrontal	-12	-20	6	STAT= 9.09
1473	L Gyrus praecentralis		-38	-20	58	STAT= 7.30
1017	R Insula		36	24	2	STAT= 8.32
945	L Posteriorer medialer frontaler Cortex		-4	-4	56	STAT= 8.41
899	R Cerebellum (VI)	R Lobule VI (Hem)	20	-56	-20	STAT= 8.04
581	R Posteriorer medialer frontaler Cortex		4	0	58	STAT= 8.32

432	R Gyrus praecentralis		50	8	30	STAT= 6.18
349	R Pallidum		22	2	2	STAT= 6.59
229	R Lobulus parietalis inferior	R Area hIP3 (IPS)	34	-50	52	STAT= 4.96
140	R Gyrus frontalis medius		38	-4	60	STAT= 5.28
112	R Gyrus supramarginalis	R Area PFm (IPL)	60	-28	24	STAT= 3.88

Hinweis: In der voranstehenden Tabelle ist die Clustergröße, die makroanatomische und die zytoarchitektonische Lage (bestimmt durch die Anatomy Toolbox (Eickhoff et al., 2005) in SPM12), sowie die dazugehörigen x-, y-, z-Koordinaten (in mm) mit dem entsprechenden T-Wert dargestellt. Die x-, y-, z-Koordinaten der lokalen Maxima sind im MNI-Format angegeben. Abkürzungen: R = Rechts, L = Links, N/A = Not available (zu Deutsch: Nicht verfügbar), ACC = Anterior cingulärer Cortex, MCC = Mittlerer cingulärer Cortex, PCC = Posteriorer cingulärer Cortex, AI = Anteriore Insula, Amy = Amygdala, AnG = Gyrus angularis, CalcG = Sulcus calcarinus, IFG_Tri = Gyrus frontalis inferior Pars Triangularis, IFG_Op = Gyrus frontalis inferior Pars Opercularis, IOG = Gyrus occipitalis inferior, IPL = Lobulus parietalis inferior, ITG = Gyrus temporalis inferior, LinG = Gyrus lingualis, MFG = Gyrus frontalis medius, MOG = Gyrus occipitalis medius, MTG = Gyrus temporalis medius, ParaHip = Gyrus parahippocampalis, PrecenG = Gyrus praecentralis, Prec = Precuneus, Puta = Putamen, SPL = Lobulus parietalis superior, SupraMa = Gyrus supramarginalis, Thal = Thalamus, hIP3 = intraparietaler Sulcus, IPS = intraparietaler Sulcus, Area 24 = Teil des anterioren cingulären Cortex, Area PGa (IPL) = Kranialer Anteil Lobulus parietalis inferior, Area PGp (IPL) = Kaudaler Anteil IPL (Caspers, 2008), Area 32 = Dorsaler Anteil des ACC, hIP1-3 = intraparietaler Sulcus, IPS = intraparietaler Sulcus, Area FG1/2/3 = Gyrus fusiformis, Lobule VI (Hem) = Kleinhirnlappen, Area 2 = Gyrus postcentralis, Area FG4 = Mittlerer fusiformer Gyrus, hOc4v = ventraler extrastriater Cortex, [V4(v)] = quartärer visueller Cortex, Area hOc4l = Lateraler occipitaler Cortex, Thal = Thalamus, Area hOc2 [V2] = Okzipitaler Cortex (Amunts et al., 1999), Area hOc1 [V1] = Area striata des visuellen Cortex, Area 7PC/A/P (SPL) = Areale des Lobulus parietalis superior, Area PFt/PFop/PFm (IPL) = Rostrale Anteile des Lobulus parietalis inferior (Caspers, 2008), Area 44/45 = Broca Areal, Frontalkortex, Area TE 3 = Anteriorer Temporaler Cortex, BF (Ch 4) = Basal forebrain cholinergic nuclei (zu Deutsch: Basale cholinergische Kerne des Vorderhirns), Area hOc5 [V5/MT] = Tertiärer visueller Cortex, Area OP1 = Areale des SII-Kortex auf dem parietalen Operculum, Area 3b = Primärer somatosensorischer Cortex (Eickhoff et al., 2005).