

Aus der

Universitätsklinik für Psychiatrie und Psychotherapie Tübingen

**Abteilung Allgemeine Psychiatrie und Psychotherapie mit
Poliklinik**

Funktionelle Korrelate der Verarbeitung sexueller Stimuli

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

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

vorgelegt von

Fiederer, Carolina Laetitia

2026

Dekanin: Professorin Dr. S. Y. Brucker

1. Berichterstatter: Professor Dr. M. Walter

2. Berichterstatter: Professorin M. Pavlova, PhD

Tag der Disputation: 05.08.2026

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	5
Liste der Abbildungen.....	6
Liste der Tabellen.....	6
1. Einleitung.....	7
1.1 Sexualverhalten - Ziel für menschliches Handeln	7
1.2 Verarbeitung sexueller Stimuli	8
1.3 Das Belohnungssystem	11
1.4 Belohnungslernen.....	12
1.5 Für Belohnungs- sowie sexuelle Verarbeitung wichtige Regionen des menschlichen Gehirns	13
1.6 Die funktionelle MRT	18
1.6.1 fMRT im Ruhezustand	19
1.6.2 Aufgabenbezogenes funktionelles MRT	19
1.7 Neuronale Netzwerke und funktionelle Konnektivität	20
1.7.1 Funktionelle Konnektivität als Biomarker	22
1.8 Fragestellung.....	23
2. Material und Methoden	25
2.1 Probanden.....	25
2.2 Messung und Verarbeitung der MRT-Daten	26
2.3 fMRT-Datenerfassung	27
2.4 Struktureller Scan	28
2.5 Definition der fMRT-ROI im Ruhezustand.....	28

2.6 Vorverarbeitung der Daten	29
2.6.1 Vorverarbeitung der Ruhezustands-fMRT.....	29
2.6.2 Berechnung der funktionellen Konnektivität.....	30
2.6.3. Aufgabenbasierte fMRT-Analyse.	30
3. Ergebnisse	33
3.1 Die neuronale Aktivierung bei visueller erotischer gegenüber nicht erotischer Stimulation.....	33
3.2 Korrelationsanalyse von Ruhezustands-FC zwischen Mittelhirn und NAcc und neurofunktionellen Aktivierungen während aufgabenbasierter fMRT	38
4.Diskussion	44
5. Zusammenfassung	59
6. Literaturverzeichnis	61
Anhang.....	81
7. Erklärung der Autorenschaft	84
8. Veröffentlichungen:.....	85
Danksagung	86

Abkürzungsverzeichnis

ACC	Anteriorer cingulärer Kortex
BOLD	Blood-Oxygenation-Level Dependent
CAT12	Manual Computational Anatomy Toolbox
CONN	Functional connectivity toolbox
dACC	Dorsaler Anteriorer cingulärer Kortex
DSM IV	Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders 4. Edition
FC	Funktionelle Konnektivität
fMRT	Funktionelle Magnetresonanztomographie
FOV	Sichtfeld
FWHM	Full width at half-maximum
FWER	Family-wise Error Rate
MNI	Montreal Neurological Institute
MGH-SFG	Massachusetts General Hospital Sexual Functioning Questionnaire
mOFC	Mittlerer orbitofrontaler Kortex
MPRAGE	Magnetization-Prepared Rapid Gradient-Echo
NAcc	Nucleus accumbens
OFC	Orbitofrontaler Kortex
pACC	Posterior-anteriorer cingulärer Kortex
PAG	Periaquäduktales Grau
PET	Positronenemissionstomographie
PFC	Präfrontaler Kortex
rs-FC	Funktionelle Konnektivität im Ruhezustand
ROI	Region of Interest
SE	Standarderror
SN	Substantia nigra
SSRI	Serotonin-Noradrenalin-Wiederaufnahmehemmer
SPM12	Statistical Parametric Mapping 12
TI	Inversionszeit
TR	Repetitionszeit
TE	Echozeit
VBM	Voxelbasierte Morphometrie
vmPFC	Ventromediärer präfrontaler Kortex
VTA	Ventrotegmentales Areal
VS	Ventrales Striatum

Liste der Abbildungen

<u>Abbildung 1:</u> Die ausgewählten Regionen (ROIs)	29
<u>Abbildung 2:</u> Hauptregionen der Verarbeitung visueller erotischer Reize	35
<u>Abbildung 3:</u> Übersicht über die signifikanten kortikalen und auch subkortikalen Regionen.....	36
<u>Abbildung 4:</u> Signifikante Assoziation von rs-FC zwischen Mittelhirn und NAcc mit der differentiellen neurofunktionellen Aktivierung.....	40
<u>Abbildung 5:</u> Signifikante Aktivität in Hypothalamus, Mittelhirn, im periaquäduktalen Grau und im Thalamus (Visualisierung der Korrelation)	40
<u>Abbildung 6:</u> Visualisierung der Korrelation.....	41
<u>Abbildung 7:</u> Aktivierung Cerebellum.....	41

Liste der Tabellen

<u>Tabelle 1:</u> Haupteffekt der Videoaufgabe.....	37
<u>Tabelle 2:</u> Hirnregionen mit signifikantem Zusammenhang zwischen differentieller (erotischer gegenüber nicht erotischer) neuronaler Reaktionsfähigkeit und rsFC.....	39
<u>Tabelle A1:</u> Haupteffekt der Videoaufgabe mit dem Alter als 2. Kovariate.....	81
<u>Tabelle A2:</u> Hirnregionen mit signifikantem Zusammenhang zwischen differentieller (erotischer gegenüber nicht erotischer) neuronaler Reaktionsfähigkeit und rsFC mit dem Alter als 2. Kovariate.....	82
<u>Tabelle A3:</u> Alterskorrelation.....	83

1. Einleitung

1.1 Sexualverhalten - Ziel für menschliches Handeln

Das menschliche Sexualverhalten und die entsprechenden Vorgänge im Gehirn als „Masterorgan der sexuellen Funktionen“ (McKenna 1999; Bossini et al. 2014) sind ein Gebiet der medizinischen Forschung, das auch heute noch viele offene Fragen birgt, die teilweise sowohl schwierig zu untersuchen, als auch zu beantworten sind.

Die Aufschlüsselung und Integration der endokrinen, vaskulären, aber vor allem auch zentralnervös verarbeiteten Prozesse, ist für die medizinische Versorgung von Patienten von großer Bedeutung. Sexuelle Funktionsstörungen können verschiedene Ursachen im Rahmen psychiatrischer oder neurologischer Erkrankungen haben und gehen mit großen Auswirkungen auf Wohlbefinden und Lebensqualität einher (Bossini et al. 2014).

Oft sind sexuelle Funktionsstörungen auch medikamentös verursacht, beziehungsweise eine unerwünschte Nebenwirkung von unterschiedlichen, nicht nur psychiatrischen Medikamenten. Dabei ist die Tatsache problematisch, dass die Einnahme-Compliance des Patienten in hohem Maß herabgesetzt wird, wenn eine sexuelle Funktionsstörung als Nebenwirkung vorliegt (Montejo et al. 2001). Montejo und Kollegen postulierten, dass 40% der Patienten mit Einnahme von Antidepressiva, diese, aufgrund sexueller Dysfunktion unter Medikation, selbstständig absetzten (Montejo et al. 2001). Die Symptomatik einer sexuellen Dysfunktion hat somit einen hohen Stellenwert bei der Behandlung vieler Erkrankungen. Es ist daher weiterhin wichtig, Wissen über die sexuelle Verarbeitung im menschlichen Körper zu gewinnen.

In der Vergangenheit konnten bereits durch elektrophysiologische, laborchemische und behaviorale Untersuchungen, verschiedene Aspekte der Regulation des menschlichen sexuellen Verhaltens identifiziert werden. Bildgebende Untersuchungen einzelner zentralnervöser Strukturen und deren Funktion für die sexuelle Reaktion sind hingegen erst in der jüngeren Vergangenheit Ziel der neurowissenschaftlichen psychiatrischen Forschung.

Der Großteil dieser Forschungsergebnisse bezieht sich zudem nur auf die Vorgänge der sexuellen Verarbeitung bei Männern, da hier Daten deutlich leichter zu erheben und weniger beeinflussende Aspekte zu beachten sind. So muss beim Mann zum Beispiel nicht auf etwaige Hormonschwankungen geachtet werden (Poepl et al. 2016b; Levin 2002; Levin et al. 2009; Zago et al. 2018).

1.2 Verarbeitung sexueller Stimuli

Das Fortpflanzungsverhalten wird bei Menschen durch sexuelle Erregung gefördert. Diese entsteht durch komplexe kognitive Vorgänge, umfasst aber auch Komponenten der körperlichen Erregung (Poepl et al. 2014).

Ein einfach nachvollziehbares Erklärungsmodell zur sexuellen Erregung ist von Georgiadis und Kollegen (Georgiadis und Kringelbach 2012). Es beschreibt, dass viele menschliche Verhaltensweisen zyklisch verlaufen. Es wird demnach auch von einem Zyklus der sexuellen Erregung ausgegangen (Georgiadis und Kringelbach 2012). Die Komplexität des menschlichen Sexuallebens macht es wahrscheinlich, dass sexuelle Erregung von unterschiedlichen neuronalen Netzen verarbeitet und gesteuert wird. Diese seien dann statistisch disozierbar und gezielt bestimmten Aspekten des sexuellen Verhaltens zuzuordnen (Georgiadis und Kringelbach 2012).

Der Zyklus der sexuellen Erregung umfasst im Erklärungsmodell von Georgiadis und Kringelbach drei Phasen: Erwartung, Vollendung und Sättigung. In die erste Phase fallen die generelle Erregungsbereitschaft eines Individuums (Georgiadis und Kringelbach 2012). Mittels geeigneter Lustreize kann es zum Anstieg der Erregungskurve kommen (Georgiadis und Kringelbach 2012).

Der Erregungsanstieg leitet nach diesem Modell die zweite Phase ein, die durch ein Erregungsplateau und den anschließenden Orgasmus gekennzeichnet ist und dem Genuss zugeordnet werden kann (Georgiadis und Kringelbach 2012; Weil et al. 2010). Ab diesem Punkt fällt die Erregungskurve wieder und somit beginnt die Sättigungsphase, in welcher, durch den Orgasmus getriggert, ein Lerneffekt auftreten kann (Georgiadis und Kringelbach 2012).

Die Vorstellung, eines immer wiederholt und vorhersehbar verlaufenden Zyklus, ist ein Erklärungsmodell, das sicherlich die behavioralen Aspekte der Sexualverarbeitung mit einbezieht. Kritisieren kann man jedoch zum Beispiel, dass hormonelle Einflüsse im Rahmen eines weiblichen Zyklus nicht berücksichtigt werden (Georgiadis und Kringelbach 2012). Somit kann man hier von gewissen Unterschieden zwischen Mann und Frau ausgehen. Das Erklärungsmodell stützt sich ausschließlich auf die Kenntnisse der männlichen Sexualität.

Dennoch hat die Idee eines zyklischen Prozesses per se den Vorteil, dass sie es ermöglicht, die wichtigen, an den jeweiligen Phasen beteiligten Gehirnregionen zu identifizieren und einzelnen Phasen zuzuordnen (Georgiadis und Kringelbach 2012). Daraus wurden anschließend Rückschlüsse auf funktionelle Änderungen gezogen (Georgiadis und Kringelbach 2012).

Ein anderer metaanalytischer Ansatz zur umfassenderen Untersuchung der sexuellen Verarbeitung wurde von Redouté und Kollegen vorgeschlagen (Redouté et al. 2000). Diese postulieren ein mehrdimensionales Modell der sexuellen Funktionsweise (Redouté et al. 2000). Es umfasst vier Komponenten, die Kognition, Motivation, Emotion und eine autonome Komponente (Redouté et al. 2000; Stoléro et al. 2003). Es versucht so sowohl körperliche als auch psychologische Vorgänge der sexuellen Erregung mit neurofunktionellen Prozessen zu verknüpfen. Das Modell wird als neurophänomenologisches Modell der sexuellen Erregung bezeichnet (Stoléro et al. 2012). Untersucht wurde die zerebrale Aktivität während der visuellen sexuellen Stimulation mit Hilfe der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) (Stoléro et al. 2012).

Es werden jeder Einzelnen der Komponenten des mehrdimensionalen Modells gewisse Regionen im Gehirn zugeordnet (Redouté et al. 2000; Stoléro et al. 1999):

Der kognitive Anteil schließt den lateralen orbitofrontalen Kortex (OFC), die suprioren und inferioren parietalen Lobuli, den bilateralen inferioren temporalen Kortex, den prämotorischen Kortex, sowie motorische kortikale Bereiche und das Kleinhirn mit ein (Redouté et al. 2000; Stoléro et al. 1999). Die Funktion der kognitiven Komponente dient der Beurteilung von potenziell sexuellen Stimuli, was

unter positiven Voraussetzungen zu einem Anstieg von Aufmerksamkeit und motorischer Aktivierungsbereitschaft führen kann (Poepl et al. 2016b; Redouté et al. 2000).

Die Komponente, die die Motivation darstellt, führt zu zielgerichtetem Verhalten, um dem Drang nach offen sexuellem Verhalten nachzugehen. Man geht hier von Aktivierung im anterioren cingulären Kortex (ACC), im Claustrum, im dorsalen parietalen Kortex, im Hypothalamus, in der Substantia Nigra und im ventralen Striatum (VS) aus (Poepl et al. 2016b).

Das Vergnügen, das durch Erregung und Wahrnehmung körperlicher Veränderung im Zusammenhang mit sexuellen Reizen ausgelöst wird, stellt die emotionale Komponente dar. Sie wird durch das Zusammenarbeiten von Amygdala, posteriorer Insula und primärem, beziehungsweise sekundärem somatosensorischem Kortex codiert (Poepl et al. 2016a; Denys et al. 2004; Childress et al. 2008; Redouté et al. 2000).

Zuletzt gibt es noch die autonome Komponente, die auch endokrine Komponente genannt wird. Die physiologischen Reaktionen, die durch Hormone ausgelöst werden, sollen anfangs auf sexuelles Verhalten vorbereiten (Poepl et al. 2016a; Redouté et al. 2000). Diese Aufgabe wird durch ACC, Putamen, vordere Insula und Hypothalamus übernommen (Redouté et al. 2000; Poepl et al. 2016a; Löken et al. 2009; Olausson et al. 2002; Veening und Coolen 1998; Pfau 2009; Childress et al. 2008). Während des Orgasmus bei Männern gibt es auch Hinweise auf Prozesse im dopaminergen Belohnungssystem (Georgiadis et al. 2006; Georgiadis et al. 2009).

Sexualverhalten hat in der Natur die Fortpflanzung als Ziel. Jedoch gibt es in Bezug auf das menschliche Sexualverhalten eine Reihe weiterer Gründe, Sexualität auszuleben (Koukounas und McCabe 2001; Mah und Binik 2001). Es dient zum Beispiel der Bindung oder Kommunikation von Partnern oder auch der Selbstbestätigung des einzelnen Individuums (Kringelbach und Berridge 2012; Georgiadis et al. 2012; Young und Wang 2004). Der Sexualtrieb an sich ist angeboren, beim Menschen unterliegt das Sexualverhalten gleichzeitig aber auch einem individuellen Lerneffekt (Woodson 2002; Walum et al. 2008; Heckel und Fink

2008). Um diesen zu ermöglichen, ist besonders die Tatsache wichtig, dass sexuelle Aktivitäten einen Belohnungsaspekt haben, welcher hier gesondert betrachtet werden soll.

Sex stellt eine primäre Belohnung dar. Als primäre Belohnung sind belohnende Stimuli definiert, die das Überleben eines Individuums erleichtern (Woodson 2002). Hierzu gehören homöostatische und reproduktive Belohnungen (Schultz 2016a; Schultz 2016b). Ein offensichtliches Beispiel in Bezug auf Sexualverhalten ist der Orgasmus als lohnende Erfahrung (Kruger et al. 2011). Ein wichtiger Aspekt der Belohnungsverarbeitung ist, dass sie grundlegend für sogenanntes „anreizbasiertes Lernen“ ist und wesentlich zur Verhaltensentwicklung beiträgt (Haber und Knutson 2010). Da Sexualverhalten, wie oben erwähnt, zu einem Großteil erlernt ist, hat das anreizbasierte Lernen einen großen Einfluss auf die Sexualität jedes Individuums (Haber und Knutson 2010).

So konnte in zahlreichen Studien eine erhöhte neurofunktionelle Aktivität im menschlichen Belohnungssystem bei visueller sexueller Stimulation nachgewiesen werden (Hamann et al. 2004; Stark et al. 2005; Walter et al. 2008a; Georgiadis und Kringelbach 2012).

1.3 Das Belohnungssystem

Belohnungsverarbeitung erfolgt, wie die meisten höheren kognitiven Vorgänge, nicht in einer einzelnen Region des Gehirns, sondern innerhalb des funktionellen Belohnungsnetzwerk (Haber und Knutson 2010).

Eine parallele, integrative Verarbeitung von Stimuli wird durch interaktive Regionen innerhalb des Netzwerks ermöglicht (Haber und Knutson, 2010). Das Belohnungsnetzwerk ist auch für die sexuelle Verarbeitung essenziell, da Sexualität, wie oben beschrieben, einem Lerneffekt unterliegt, der durch lohnende Erfahrungen gesteuert werden kann.

Am System beteiligte Strukturen sind unter anderem der Nucleus accumbens (NAcc), der präfrontale Kortex mit dem dACC, das Mittelhirn, das ventrale Striatum, die Amygdala, der Thalamus und das ventrale Pallidum (Haber und Knutson 2010).

Die kognitiven Aufgaben, an denen das Belohnungssystem beteiligt ist, sind äußerst vielfältig.

Zu erwartende Belohnungen werden kodiert, gleichzeitig werden die zu erwartenden Kosten verfolgt. Das ermöglicht, Kosten gegen Nutzen abzuwägen, um eine optimale Entscheidung zu finden (Pessiglione et al. 2007; Rigoux und Guigon 2012). Wenn der Motivationswert von Reizen bewertet wird, können verschiedene Optionen gegeneinander aufgewogen werden (Walton et al. 2002; Pessiglione et al. 2007; Gehring und Willoughby 2002). Eine unbewusste Belohnungserwartung kann motiviertes Verhalten anregen (Kroemer et al. 2014). Durch das stetige Abwägen von Belohnung und der aufzuwendenden Anstrengung entsteht ein komplexer Entscheidungsfindungsprozess.

1.4 Belohnungslernen

Belohnungen führen dann, wie bereits mehrmals erläutert, zu einem Lerneffekt. Reize werden mit einem positiven oder negativen Ergebnis verknüpft und es tritt ein Lerneffekt auf, indem es zur Verhaltensanpassung bei erneutem Auftreten des Reizes kommt. Es kann sogar zu einem Suchen nach dem Reiz kommen (Hernandez und Hoebel 1988; Everitt et al. 1991; Robbins und Everitt 1996).

Über dopaminerge Neurone kann der Belohnungswert vermittelt werden (Schultz 1997; Montague et al. 2004; Nakamura 2013). Diese Neurone können aus Feedback lernen und kodieren die Unterschiede zwischen Belohnung und daraus abgeleiteter Belohnungsvorhersage (Schultz 1997; Schultz 1998; Schultz 2006). Belohnungsassoziierte Reize können im Verlauf belohnende Eigenschaften erlangen und so wird belohnungsorientiertes Verhalten erlernt (Beninger und Rana-Idi 1992; Stein 1978).

Das mesolimbische Belohnungssystem hat seinen Ursprung in dopaminergen Neuronen im Mittelhirn, genauer gesagt im ventralen tegmental Areal (VTA), die in den NAcc projizieren (Haber und Knutson 2010).

Die wichtigen Regionen des Lernens durch Belohnungen sind somit das Mittelhirn mit dem ventral tegmental Areal (VTA), welches dann Striatum, präfrontalen Kortex (PFC), Amygdala und Hippocampus koaktivieren kann (Small 2003b;

Cameron et al. 2014). Auch der Nucleus accumbens (NAcc) ist Teil der Belohnungsverarbeitung, da er den Wert von Reizen kodiert und somit Priorisierungen beeinflusst (Forbes et al. 2007; Yacubian et al. 2007). Die Bedeutung dieser Regionen für die Signalisierung der motivationalen Bedeutung von (sexuellen) Reizen und auch den dadurch verursachten Lerneffekt, ist in einer Vielzahl von Studien bereits beschrieben worden (Eshel et al. 2015; Schultz et al. 1997; Watabe-Uchida et al. 2012).

Das Aktivierungsverhalten einzelner Regionen oder auch ganzer Netzwerke, zum Beispiel in Bezug auf Belohnung oder Belohnungslernen, lässt sich unter anderem mittels funktioneller Magnetresonanztomographie unter visueller sexueller oder genitaler Stimulation untersuchen.

1.5 Für Belohnungs- sowie sexuelle Verarbeitung wichtige Regionen des menschlichen Gehirns

Wie bereits erwähnt, sind bestimmten Regionen im Gehirn bestimmte Anteile an der sexuellen Verarbeitung zuzuordnen. Gleichzeitig sind diese Regionen auch in die Verarbeitung anderer Mechanismen involviert und können Teil verschiedener weiterer Netzwerke sein. Netzwerke können einerseits durch anatomisch verbundene, aber auch durch rein funktionell miteinander verknüpfte, Regionen ohne direktes anatomisches Korrelat gebildet werden.

Es gibt einige neuronale Strukturen, bei denen die Forschung davon ausgeht, dass sie sowohl bei der sexuellen Verarbeitung als auch bei der Belohnungsverarbeitung aktiviert werden. Unter anderem sind hier die ventrale tegmentale Region (VTA), der NAcc, der PFC, der Thalamus, das OFC und das ventrale Pallidum zu nennen (Kruger et al. 2011; Sescousse et al. 2010).

Im Folgenden werden einige dieser Regionen genauer erläutert:

Das ventrale Striatum ist Teil des Belohnungsnetzwerks und hier für die Verarbeitung von primären und sekundären Belohnungen zuständig (König et al. 2000). Es berechnet zum Beispiel die Wahrscheinlichkeit einer Belohnung (Knutson et al. 2003). Es ist auch für die emotionale Kodierung zuständig, was die Bewältigung von Motivationsprozessen ermöglicht (Dreher et al. 2006). In

Bezug auf die sexuelle Verarbeitung haben Walter und Kollegen gezeigt, dass das Striatum, vor allem der Nucleus caudatus und das Putamen, mutmaßlich an der spezifischen Verarbeitung sexueller Intensität beteiligt ist (Walter et al. 2008a). Auch zeigen mehrere Studien, dass es an der Regulierung des Sexualtriebs beteiligt ist (Redouté et al. 2000; Stoléro et al. 1999b).

Der Nucleus accumbens ist ein kleiner Teil des ventralen Striatums (VS), zusammen mit dem Caudatkern und dem ventralen Putamen.

Seine Aufgaben sind das Ermöglichen von Lernprozessen sowie die Vermittlung von Emotions- und Belohnungsverarbeitung (Haber et al. 2006). Er kann den Organismus für mögliche lohnende Ereignisse „alarmieren“ (Haber et al. 2006). Die Schale des NAcc ist hierfür besonders relevant. Ihr schreibt man die Verarbeitung für zielgerichtetes Verhalten, die Verhaltenssensibilisierung und die Veränderung affektiver Zustände zu (Carlezon und Wise 1996; Ito et al. 2004).

Es wurde versucht zu differenzieren, welche Aspekte der Belohnungsverarbeitung tatsächlich dem NAcc zugeschrieben werden können (Liu et al. 2011). Dies scheinen vor allem die Belohnungserwartung (Preuschoff et al. 2006), die Verarbeitung sekundärer Belohnungsreize und die Belohnungsvorhersage (Botvinick et al. 2009; O'Doherty et al. 2003) zu sein. Die Integration dieser Informationen kann zu motiviertem Verhalten beitragen, nachdem der von der Amygdala ermittelte Motivationswert an den NAcc weitergeleitet wurde (Mannella et al. 2013; Salamone und Correa 2012). Der NAcc betreibt ein Abwägen der durchschnittlichen Belohnung gegen den durchschnittlichen Aufwand und kann auf diese Weise Verhaltenstendenzen steuern (Kroemer et al. 2014).

Auch in Bezug auf die sexuelle Verarbeitung zeigt sich eine Aktivierung gemeinsam mit dem VS beim Schauen von kurzen Darstellungen erotischer Standbilder (Childress et al. 2008; Oei et al. 2012; Sescousse et al. 2010; Walter et al. 2008a).

Der präfrontale Kortex hat in diesem Zusammenhang zwei relevante Subregionen, den ventromedialen und den dorsalen PFC. Der PFC bildet den „Arbeitspeicher“ für die Überwachung von anreizbasierten Verhaltensreaktionen und ist

somit essentiell für das belohnungsassoziierte Lernen (Fletcher und Henson 2001).

Der ventromediale präfrontale Kortex (vmPFC) reagiert auf kontextbezogene Aspekte von Belohnungen. Die Aktivität dieser Region korreliert mit der zu erwartenden Wahrscheinlichkeit und der Größe einer Belohnung. Bei Geldgewinnen korreliert die Aktivität also zum Beispiel mit der erwarteten Höhe des Gewinns. Somit ermöglicht der vmPFC die bereits ausführlich erläuterte Kosten-Nutzen-Abwägung (Knutson und Cooper 2005) und die Entscheidungsfindung (Knutson 2008). Georgiadis und Kollegen haben auch einen Zusammenhang mit der sexuellen Verarbeitung gezeigt (Georgiadis und Kringelbach 2012; Georgiadis et al. 2012). Der vmPFC zeigt bei genitaler Stimulation eine erhöhte Aktivität (Georgiadis et al. 2010).

Das Mittelhirn ist ein Teil des Hirnstamms. Es beinhaltet unter anderem das VTA (Haber et al. 1990a). Eine wichtige Aufgabe des Mittelhirns bezüglich der Belohnungsverarbeitung liegt in der Vorhersage von Belohnungen. Es zeigt eine Aktivierung auf belohnungsprognostizierende Hinweise und kann gegenüber visuellen Stimuli Belohnungsinformationen kodieren (Dreher et al. 2006; Aron et al. 2005). Das Mittelhirn kann so zur Verarbeitung sexueller Motivation beitragen (Georgiadis und Kringelbach 2012).

Der Thalamus wird als das Tor zum Bewusstsein bezeichnet. Seine Aufgaben sind sehr vielfältig. Er leitet Signale weiter, die unter anderem sensorischer oder somatosensorischer Natur sind (Alexander et al. 1986). Der Thalamus leistet einen Beitrag zu Entscheidungsfindung und dem episodischen Gedächtnis. Er kann die Konnektivität anderer Gehirnregionen beeinflussen, da er unterschiedliche Schaltkreise im Gehirn miteinander verbindet und so zum Beispiel eine erfolgreiche Entscheidungsfindung ermöglicht (Braak und Weinel 1985). Im Belohnungskreislauf bildet er das letzte Glied (Haber et al. 2006), spielt aber gerade deswegen eine sehr entscheidende Rolle.

Auch für die sexuelle Verarbeitung ist der Thalamus sehr wichtig. Zum Beispiel hat er den Effekt der Aufmerksamkeitslenkung und beeinflusst das erotische Reizerleben (Metzger et al. 2013). Wichtig ist dabei, dass der Thalamus aus

vielen Kernen besteht, die eine funktionelle Unterteilung besitzen. Der mediodorsale Thalamus zum Beispiel ist bei der sexuellen Verarbeitung für die emotionale Bearbeitung von Stimuli wichtig (Walter et al. 2008b; Stoléro et al. 2012). Unter anderem kann er auch den dorsalen ACC (dACC) koaktivieren, um die emotionale Ausstrahlung bei der erotischen Verarbeitung zu erhöhen (Walter et al. 2008a; Metzger et al. 2010; Walter et al. 2008b).

Der ACC ist ebenfalls ein Teil des Belohnungssystems. Er ist Teil der Frontalrinde und hat Verbindungen zu diversen anderen kortikalen Regionen, die für affektive Verarbeitung, Kognition und Motorik relevant sind (Yee et al. 2021; van Steenbergen et al. 2012; Umemoto und Holroyd 2016; Umemoto et al. 2023).

Der ACC beeinflusst unter anderem die zahlreichen Funktionen des Frontallappens, zum Beispiel Kognition, Motivation und Motorik. In Zusammenarbeit mit der anterioren Insel beteiligt er sich an der Regulation von Aufmerksamkeit (Menon und Uddin 2010).

Der dACC verbindet eine Interaktion von sexueller Erregung und emotionaler Valenz (Walter et al. 2008b). Er ermöglicht so eine emotionale Beeinflussung der Beantwortung externer oder internaler Stimuli und somit die Entwicklung von angepassten Verhaltensweisen (Barbas und Zikopoulos 2014; Teves et al. 2004).

Die Amygdala liegt medial in den beiden Temporallappen und gehört zum limbischen System. Sie ist für die Belohnungsverarbeitung elementar. Sie kodiert die Aktivierung der motivationalen und affektiven Werte eines Stimulus und zudem kontextbezogene Informationen für die Anpassung der Motivationsstufen im Zusammenhang mit Belohnungen (Šimić et al. 2021).

In der Belohnungsverarbeitung vollzieht sich eine kritische Wechselwirkung zwischen ihr und dem ventralen Striatum. Es kommt zur sogenannten Stimulus-Belohnungs-Assoziation (Baxter und Murray 2002). Die Amygdala verfolgt weniger den Wert einer Belohnung, sondern vielmehr die allgemeine Reizerregung durch potentiell lohnende Stimuli (Small et al. 2003).

Bezüglich sexueller Verarbeitung zeigt die Amygdala eine Aktivierung auf visuelle Erotik aus der Ferne (Beauregard et al. 2001; Karama et al. 2002) und noch

deutlich mehr Aktivität bei sexueller genitaler Stimulation (Georgiadis et al. 2010; Georgiadis et al. 2006; Georgiadis et al. 2009).

Georgiadis und Kollegen stellten die These auf, dass die Amygdala, für die Aufmerksamkeitsmodulation bei sexueller Erregung wichtig ist (Georgiadis und Krin- gelbach 2012). Dass sie bei körperlicher sexueller Stimulation nicht aktiviert ist, lässt vermuten, dass sie nur mit einer allgemeinen emotionalen Komponente während sexueller Erregung assoziiert ist, aber nicht durch die spezifische sexu- elle Intensität des Stimulus moduliert wird (Abler et al. 2013; Walter et al. 2008a).

Auch der Hypothalamus ist Studienergebnissen zufolge relevant im Belohnungs- system. Er schüttet Hormone aus, die für Belohnungsverarbeitung und Motivation notwendig sind (Sakurai und Hirano 1983; Haynes et al. 1982). Vor allem vom lateralen Hypothalamus zeigen diverse jüngere Studien, dass er unter anderem für die Belohnungsvorhersage (Sharpe et al. 2017) und die Belohnungssuche (Harris und Carr 2016) wichtig ist. DiFazio und Kollegen postulierten zudem 2022, dass der laterale Hypothalamus sowohl für das Angstlernen, als auch für das Be- lohnungslernen von Bedeutung sei, da er Erinnerungen an belohnende oder be- strafende Ereignisse kodiert (DiFazio et al. 2022).

Der Hypothalamus zeigt zudem Aktivierung bei sexueller Erregung. Man geht da- von aus, dass er eine Schlüsselrolle bezüglich der Kodierung der Qualität sexu- eller Reize hat (Karama et al. 2002). Seine Aktivität war mit der subjektiven se- xuellen Valenz übereinstimmend (Karama et al. 2002; Walter et al. 2008a). Dar- über hinaus wird angenommen, dass der Hypothalamus autonome Reaktionen auf sexuelle Reize auslöst (Ferretti et al. 2005).

Wie oben gezeigt, lässt sich sagen, dass die genannten Regionen sowohl für Belohnungs- als auch für sexuelle Verarbeitung, genauer vor allem der Verarbei- tung von sexuellem Interesse und visueller sexueller Stimuli von Bedeutung sind.

Das "sexuelle Interessennetzwerk" ist in erster Linie mit kurzen und visuellen ero- tischen Reizen (nackte Frauen) verbunden und umfasst VS, NAcc, Amygdala, OFC, posterioren ACC, den superioren Parietallappen, Hypothalamus und ante- riore Insula. Einige Studien haben gezeigt, dass es deren Aufgabe ist, sexuelle

Gelegenheiten zu erkennen und motiviertes Verhalten entsprechend zu lenken, wofür schließlich auch die Belohnungsverarbeitung von großer Bedeutung ist (Georgiadis und Kringelbach 2012). Ein stetiges Abwägen von Belohnung und der aufzuwendenden Anstrengung ist notwendig. Sexuelles Verhalten wird initiiert, wenn der Nutzen die Kosten zu überwiegen scheint.

1.6 Die funktionelle MRT

Die nicht invasive fMRT erfreut sich in der klinischen Forschung großer Beliebtheit. Unter anderem dient sie zur Untersuchung der Gehirnfunktionen, genauer gesagt zur Untersuchung von zeitabhängigen Veränderungen des Hirnstoffwechsels (Bandettini et al. 1992). Sie bietet die Möglichkeit, eine hohe räumliche und zeitliche Auflösung mit Hilfe von Magnetfeldern bis zu 7 Tesla zu erzielen und somit die spontane oder aufgabeninduzierte Modulation des neuronalen Metabolismus sichtbar zu machen (Glover 2011).

Die fMRT ist geeignet, kortikale Aktivierung in großer räumlicher Auflösung zu messen, um sie dann mit den jeweiligen anatomischen Strukturen in Einklang zu bringen (Ogawa et al. 1990). Anders gesagt kann mittels fMRT dargestellt werden, welche Regionen im Gehirn zum Zeitpunkt der Messung aktiv sind (Ogawa et al. 1990). Der große Vorteil hierbei ist, dass kein von außen zugeführtes Kontrastmittel notwendig ist, sondern dass man sich der Eigenschaften des menschlichen Blutes bedienen kann (Ogawa et al. 1990; Bandettini et al. 1992). Die Grundlage hierfür ist der sogenannte BOLD-Effekt.

Der Sauerstoffgehalt der einzelnen Gehirnregionen wird als ein indirekter Marker für die neuronale Aktivität des Gehirns genutzt (Glover 2011). Er ändert sich mit einer Latenz von ein bis zwei Sekunden (Glover 2011). Bei jeder fMRT-Messung muss die Stimuluspräsentation und deren Antwortsignalaufzeichnung korreliert werden, um die Latenzphase zu berücksichtigen (Glover 2011). Seit 1995 von Biswal und Kollegen erstmals beschrieben wurde, dass die Motorareale des Hirns auch in Ruhe eine intrinsische Aktivität besitzen und auch ohne sichtbare motorische Aktivität funktionell interagieren, ist es Standard für die Untersuchung von Hirnfunktionen immer auch den Ruhezustand aufzuzeichnen (Biswal et al. 1995).

1.6.1 fMRT im Ruhezustand

Ruhezustands-fMRT spielt eine wichtige Rolle für die sogenannte Netzwerkidentifikation (Smith et al. 2009). Hierbei wird keine aufgabenbezogene Aktivierung gemessen, wie bei aufgabenbezogenen Daten, sondern die Aktivität des Gehirns, während der Proband die Augen geschlossen oder geöffnet hat, dabei aber keiner bestimmten Aufgabe nachgeht. Auch in Ruhe, also ohne aufgabenbezogene Aktivität, weisen bestimmte Regionen spezifische Muster auf, was auf eine spezifische Aktivierung von Regionen im Ruhezustand hindeutet (Smith et al. 2009). Das Bahnbrechende an dieser Erkenntnis ist die Ähnlichkeit der Netzwerke im Ruhezustand mit zum Teil weit auseinander liegenden Regionen (Smith et al. 2009).

1.6.2 Aufgabenbezogenes funktionelles MRT

Unser Gehirn ist nie ohne Aktivität. Da es grundsätzlich immer Sauerstoff benötigt, wird es kontinuierlich durchblutet und es können dauerhaft Stoffwechselprozesse stattfinden. Daher ist es schwierig, die Ausgangsbedingungen für eine fMRT-Messung festzulegen, weil diese nicht eindeutig definiert sind (Reber et al. 1998). Es scheint so, als seien manche Gehirnregionen in Ruhe aktiver als andere, was abhängig von den alternativen Ausgangsbedingungen sein kann. Zum Beispiel hat allein das Atmen des Probanden einen Einfluss auf die Aktivität (Reber et al. 1998). Ruhezeiten sind dementsprechend nicht unbedingt die optimale Grundlage für die Darstellung kognitiver Aufgaben (Reber et al. 1998). Sowohl die Baseline-, als auch die aktivierungsbezogenen Bedingungen bieten immer einen gewissen Interpretationsspielraum (Reber et al. 1998). Es gibt zwei unterschiedliche Möglichkeiten des Designs, die jeweils charakteristische Stärken und Schwächen aufweisen (Reber et al. 1998). Sehr häufige Anwendung findet das sogenannte Blockdesign (Damasio et al. 2000). Jeder Block repräsentiert eine Bedingung. Es müssen also mindestens zwei unterschiedliche Blöcke = Bedingungen gegeben sein, die sich jeweils abwechseln (Damasio et al. 2000). Der Anstieg des entsprechenden fMRT-Signals ist additiv, was bedeutet, je mehr Reize in kurzen Zeitabständen hintereinandergeschaltet werden, desto höher ist die messbare Amplitude (Damasio et al. 2000; Grabowski und Damasio 1996). Eine wiederholte Stimulation führt schließlich zu einer aussagekräftigen Antwort

(Damasio et al. 2000). Das Blockdesign besitzt dann die höchste Variabilität, wenn nach jedem Block eine Ruhebedingung eingesetzt wird (Damasio et al. 2000).

Einer der Nachteile des Blockdesigns ist, dass eine Randomisierung nicht gegeben ist (Amaro und Barker 2006). Dies macht das ganze Design für den Probanden vorhersehbar (Amaro und Barker 2006; Schneider und Fink 2013). Zu den Vorteilen des Blockdesigns gehört die Möglichkeit der einfachen Durchführung und Auswertung (Damasio et al. 2000). Das Blockdesign hat trotz seiner Schwächen eine hohe statistische Aussagekraft, die vor allem durch die hohe Variabilität gewährleistet wird.

Im Gegensatz zum Blockdesign, hat die Testung beim ereignisbezogenen Design einen höheren Realitätsbezug (Huettel et al. 2009; Huettel 2012). Hiermit wird es möglich, jeden mit einem Baustein verbundenen Prozess und somit auch die jeweilige Reaktion im Gehirn unabhängig von den anderen Prozessen zu untersuchen und zu analysieren (Huettel 2012). Das ereignisbezogene Design hat eine geringe Änderung im BOLD-Signal, da es keinen additiven Anstieg des Signals zeigt.

Beide Designs werden am Ende statistisch ausgewertet, indem Kontroll- und Ruhephasen mit den tatsächlich Aktiven verglichen werden (Huettel et al. 2009; Huettel 2012; Damasio et al. 2000).

1.7 Neuronale Netzwerke und funktionelle Konnektivität

Um zu untersuchen, welche Teile des menschlichen Gehirns, welche Aufgaben übernehmen, wird es in funktionelle Einheiten zerlegt. Daraus können sogenannte Struktur-Funktions-Beziehungen abgeleitet werden (Eickhoff und Grefkes 2011). Die Funktion eines Areals leitet man daraus ab, wie es mit anderen Arealen verbunden ist und in welche Netzwerke es eingebunden ist (Eickhoff und Grefkes 2011). Diese Verbindungen einzelner Areale werden als Konnektivität bezeichnet. Die Konnektivität ist ein wichtiges Prinzip, um die Funktionen des Gehirns zu gewährleisten (Pakkenberg et al. 2003). Motorische, sensorische, affektive oder kognitive Prozesse sind nie nur auf ein Areal zurückzuführen,

sondern beruhen immer auf einem hemmenden, als auch aktivierenden Zusammenspiel mehrerer Regionen und sind somit ein Resultat aus dem Informationsaustausch auch zwischen nicht benachbarten Regionen (Pakkenberg et al. 2003). Auf diese Weise werden räumlich getrennte Areale zu einer funktionellen Einheit (Pakkenberg et al. 2003).

Die Idee der funktionellen Konnektivität (FC) beruht auf der Annahme, dass neurophysiologische Ereignisse als Aktivitätsverläufe in den jeweiligen Arealen zu werten sind (Eickhoff und Grefkes 2011). Man geht davon aus, dass zwei oder mehr Areale zu einem Netzwerk gehören, wenn deren Zeitverläufe im fMRT stark miteinander korrelieren (Angelides et al. 2017; Eickhoff und Grefkes 2011). Das Problem dabei ist allerdings, dass dies ungerichtete Korrelationen sind, weswegen man nicht zwangsläufig kausale Zusammenhänge dahinter vermuten darf (Angelides et al. 2017). Es kann nämlich nicht unterschieden werden, von welcher Qualität diese gegenseitigen Einflüsse sind oder in welche Richtung sie verlaufen (Angelides et al. 2017).

Die Stärke der FC kann unter anderem auch mit der Stärke der anatomischen Konnektivität korrelieren (Honey et al. 2009). Es gibt aber auch Konnektivität ohne direkte anatomische Verbindungen, zum Beispiel über zwischengeschaltete Areale oder über topologische Konfiguration des Gesamtnetzwerks in welchem die Areale liegen (Adachi et al. 2012). Es ist nachgewiesen, dass es intra- und interregionale Aktivität auch im ruhenden Gehirn gibt, was dazu führt, dass sich, wie oben bereits erwähnt, stabile und zustandsunabhängige Netzwerke bilden (White et al. 2009; Cauda et al. 2011; Liu et al. 2013; Cole et al. 2014).

Altersabhängige Veränderungen im dopaminergen System beeinflussen die Verarbeitung von Belohnungsreizen. Studien zeigen, dass die Interaktion zwischen der dopaminergen Mittelhirnfunktion und dem Belohnungsnetzwerk im Verlauf des gesunden Alterns systematisch variiert. Es ist möglich, dass auch die neuronale Reaktivität auf erotische Reize altersbedingt moduliert wird. Auch die rs-FC kann sich mit dem Alter ändern, allerdings wurden hier sehr häufig untersucht, inwiefern sie sich bei Jugendlichen und Erwachsenen unterscheidet (Sanders et al. 2023).

Ein gängiges hypothesenbasiertes Verfahren zur Untersuchung der funktionellen Konnektivität im Ruhezustand (rs-FC) ist eine Zeit-Serien Korrelation von definierten Regionen (ROI) (Schneider und Fink 2013; Amaro und Barker 2006). Dabei werden die Netzwerke separiert, die in BOLD-Fluktuationen hoch korreliert sind (Amaro und Barker 2006). Ein Ruhezustandsnetzwerk hat Ähnlichkeit mit Netzwerken, die bei fMRT Untersuchung von aufgabenbezogenen Aktivitäten gefunden werden (Schneider 2013). Eine multivariate Analyse dieser Konnektivitäten erlaubt anschließend die Darstellung der funktionellen Systeme, indem wie oben erwähnt die korrelativen Zusammenhänge dargestellt werden (Eickhoff und Grefkes 2011).

1.7.1 Funktionelle Konnektivität als Biomarker

Die Idee der funktionellen Konnektivität besagt, dass das Zusammenspiel benachbarter sowie auch nicht benachbarter Regionen, eine Zusammenarbeit dieser, für die Verarbeitung eines bestimmten Reizes darstellt (Wang und Li 2013; Mennes et al. 2010).

Die Idee zu wissenschaftlichen Untersuchungen der funktionellen Konnektivität ist dann, dass man hiermit bestimmte Merkmale einer Person zuordnen oder eventuell sogar vorhersagen könnte (Wang und Li 2013). Nach Mennes und Kollegen kann die intrinsische aufgabenfreie Aktivität im ruhenden Gehirn nämlich aufgabenbasierte Muster der BOLD-Aktivität vorhersagen (Mennes et al. 2010).

Wenn man versucht, die Rolle von funktioneller Konnektivität in Bezug auf Persönlichkeitsmerkmale nicht nur für Pathologien, sondern auch bei gesunden Personen zu erklären (Fulwiler et al. 2012), kann man individuelle Variationen feststellen (Fulwiler et al. 2012). Bisher haben nur wenige Studien die funktionelle Konnektivität (FC) im Ruhezustand im Zusammenhang mit sexueller Erregung untersucht und diese konzentrierten sich hauptsächlich auf sexuelle Präferenz (Hu et al. 2013), Patienten mit psychogener erektiler Dysfunktion (Wang et al. 2017), vorzeitiger Ejakulation (Chen et al. 2020) oder zwanghaftem Sexualverhalten (Schmidt et al. 2017).

Man erhofft sich, in der Zukunft die rs-FC als Biomarker für bestimmte individuelle Merkmale oder Prädispositionen für Erkrankungen nutzen zu können (Wolf et al.

2011; Tang et al. 2013). Zum Beispiel auch die Belohnungsempfindlichkeit in Bezug auf die Reaktion auf sexuelle Stimuli zu untersuchen.

Es gibt einige Studien zur Beziehung von niedrigen BOLD-Oszillationen und Pathologien, die die Persönlichkeit betreffen. Klinische Abweichungen in Persönlichkeitsmerkmalen korrelieren demnach mit Variationen in der rs-FC (Wolf et al. 2011; Tang et al. 2013; Jiang et al. 2013; Wang und Li 2013).

Signifikante funktionelle Konnektivität im Ruhezustand konnte bereits in Bezug auf die allgemeine Belohnungsverarbeitung zwischen diversen subkortikalen und kortikalen Regionen gefunden werden (Costumero et al. 2013). Wichtige Beispiele hierfür sind die FC zwischen Mittelhirn und mOFC, zwischen NAcc und Amygdala, zwischen vmPFC und dACC und die funktionelle Konnektivität zwischen vmPFC und VTA (Costumero et al. 2013). Eine weitere Studie attestiert der rs-FC einen prädiktiven Wert in Bezug auf SSRI-Nebenwirkungen auf die sexuelle Erregbarkeit (Metzger et al. 2013). Es wurden hierbei Änderungen der sexuellen Funktionsweise mit der Basiskonnektivität der Regionen verknüpft. Diese neuronalen Zielkonnektivitäten könnten demnach also als potentielle prädiktive Biomarker genutzt werden (Metzger et al. 2013).

1.8 Fragestellung

Es war Ziel der vorliegenden Arbeit, unter Zuhilfenahme der funktionellen Magnetresonanztomographie zu untersuchen, ob die funktionelle Konnektivität im rs-fMRT es erlaubt, in gewisser Weise vorherzusagen, ob Menschen, die eine hohe Ruhezustands-Konnektivität zwischen zwei Regionen der Belohnungsverarbeitung haben, auch im taskbezogenen fMRT stärker auf das Schauen erotischer Videos im Vergleich zu nicht erotischen Videos reagieren werden. Die zugrundeliegende Idee ist, dass Regionen des Ruhezustandsnetzwerks, in ihrer funktionellen Konnektivität beeinflusst werden, wenn potenziell belohnende sexuelle Reize präsentiert werden.

Im Vergleich zu neutralen Videos sollten erotische Videos eine stärkere Reaktion in Regionen hervorrufen, die mit sexueller Erregung assoziiert werden.

Die Haupthypothese ist, dass Personen mit stärkerer Konnektivität im Ruhezustands-fMRT auch während des Schauens der Videos eine verstärkte Konnektivität im Belohnungsnetzwerk aufweisen werden. Dies liegt nahe, da die dopaminergen Neuronen des VTA, die in den NAcc projizieren, eine Hauptrolle bei sexueller Motivation und Erregung spielen (Brom et al. 2014; Fiorino et al. 1997; Pfaus und Phillips 1991; Kippin et al. 2004). Wir konzentrierten uns daher auf die rs-FC zwischen den beiden Regionen Mittelhirn mit VTA und Nucleus accumbens als potenziellen Prädiktor für unterschiedliche aufgabenbasierte neuronale Aktivierungen. Die Stärke der FC zwischen dem dorsalen Mittelhirn und dem NAcc (Belohnungsnetzwerk) würde dann demnach mit der erhöhten Aktivierbarkeit in Regionen korrelieren, die für sexuelle Erregung wichtig sind.

Ziel ist es, eine Ruhezustands-Signatur der Reaktion auf visuelle sexuelle Stimuli zu identifizieren und diese in der Zukunft mit der Reaktion auf verschiedene Belohnungen vergleichen zu können.

Folgende Hypothesen kann man also formulieren:

1. Das Schauen erotischer Videos verursacht Aktivierung in Regionen, die verantwortlich für die sexuelle Verarbeitung sind. Insbesondere in solchen, die für Erregung und Verlangen zuständig sind.
2. Die Stärke der funktionellen Konnektivität zwischen dem dorsalen Mittelhirn und dem NAcc korreliert mit der Antwort auf erotische Videos.

2. Material und Methoden

2.1 Probanden

Die 42 gesunden, heterosexuellen männlichen Probanden wurden in den Jahren von 2008 bis 2012 unter der Leitung von Frau Prof. Abler (Universität Ulm) im Rahmen mehrerer Forschungsprojekte rekrutiert.

Diese Forschungsprojekte umfassten eine randomisierte, doppelblinde pharmakologische Intervention mit verschiedenen Antidepressiva (Abler et al. 2011; Graf et al. 2013; Graf et al. 2014; Metzger et al. 2015; Graf et al. 2017; Metzger et al. 2013). Es wurden in der vorliegenden Arbeit im Gegensatz zu den oben genannten Studien nur die Daten verwendet, die unter Placebo-Bedingungen gewonnen wurden, um pharmakologische Veränderungen der fMRT-Aktivierungen durch erotische Videos oder der Ruhezustandsaktivität auszuschließen (Abler et al. 2011; Graf et al. 2013; Graf et al. 2014; Metzger et al. 2015; Graf et al. 2017; Metzger et al. 2013).

Die geforderten Kriterien für eine Teilnahme waren eine sowohl körperliche als auch psychische Gesundheit. Um dies zu gewährleisten, erhielt jeder der Teilnehmer eine komplette medizinische Untersuchung mit Anamnese und Ganzkörperuntersuchung (Abler et al. 2011; Graf et al. 2013; Graf et al. 2014; Metzger et al. 2015; Graf et al. 2017; Metzger et al. 2013). Eine Ermittlung relevanter gängiger laborchemischer Parameter und ein Elektrokardiogramm sollten Nieren-, Leber- oder Herzerkrankungen ausschließen (Reiser et al. 2008). Die Heterosexualität wurde erfragt.

Zur Sicherstellung der psychischen Gesundheit wurde ein strukturiertes klinisches Interview für psychiatrische Störungen der DSM-IV Achse I durchgeführt. Es wurden alle Personen ausgeschlossen, die in der Vergangenheit oder zum aktuellen Zeitpunkt psychiatrische oder neurologische Störungen oder ernste körperliche Gesundheitsprobleme hatten oder übermäßig Koffein, Alkohol (>14 SE/Woche) oder illegale Drogen konsumierten. Bei der Rekrutierung wurden die grundlegenden depressiven Symptome nach der deutschen Version der Depressionsskala des Zentrums für Epidemiologische Studien bewertet.

Ein weiteres Ausschlusskriterium war eine klinisch relevante sexuelle Dysfunktion. Dafür wurde der Massachusetts General Hospital Sexual Functioning Questionnaire (MGH-SFQ), (Labbate und Lare 2001) zur Evaluation des sexuellen Interesses, der sexuellen Erregung, der Fähigkeit einen Orgasmus zu erreichen, der Fähigkeit eine Erektion zu erreichen und aufrechtzuerhalten, und der allgemeinen sexuellen Zufriedenheit eingesetzt (Graf et al. 2014).

Die Probanden sollten am Tag der MRT-Untersuchung keinen Alkohol und keinen Kaffee konsumieren. Die Suche nach Probanden wurde über schriftliche Anzeigen auf dem Campus der Universität Ulm, aber auch über persönliche Kommunikation organisiert.

Bereits im Zuge der Datenerhebung für die ursprünglichen Studien, musste ein Proband nach den Messungen aufgrund einer zerebralen Pathologie ausgeschlossen werden. Es mussten zusätzlich vier weitere Probanden aufgrund fehlender Ruhezustands-Daten aus dem Datensatz ausgeschlossen werden. Was zu einer Stichprobe von insgesamt 37 Probanden im Durchschnittsalter von 24,7 Jahren (Median: 24.00 Jahre/ 95% Konfidenzintervall: [23.00, 25.00] Jahre) in den endgültigen Analysen führte. Die Altersverteilung zeigte keine Normalverteilung. Alle Probanden waren Rechtshänder, um Lateralitätseffekte neurofunktioneller Aktivierungen zu vermeiden. Die Händigkeit wurde mittels des Edinburgh Handedness Questionnaire (Oldfield, 1971) erfasst.

Die Studie wurde von der Ethikkommission der Universität Ulm genehmigt. Alle freiwilligen Teilnehmer gaben nach Aufklärung, aber vor der studienkonformen Durchführung der Untersuchungen, schriftlich, nach der Deklaration von Helsinki, ihr Einverständnis zur Teilnahme und zur Verwendung der erhobenen Daten.

2.2 Messung und Verarbeitung der MRT-Daten

Es wurden fMRT-Daten im Ruhezustand und aufgabenbezogene Daten mit Hilfe eines Videoparadigmas erhoben. Die fMRT-Daten im Ruhezustand wurden über einen Zeitraum von acht Minuten bei geschlossenen Augen gemessen. Während der aufgabenbasierten fMRT wurde ein etabliertes erotisches Videoparadigma verwendet, über das bereits ausführlich berichtet wurde (Abler et al. 2011; Graf

et al. 2014). Dieses enthält sowohl erotische als auch nicht erotische Videoclips und erzeugt nachweislich zuverlässig neuronale Reaktionen in Gehirnbereichen, die für sexuelle und emotionale Erregung relevant sind (Walter et al., 2009).

Im Kernspintomographen wurde ein klassisches Standard-Blockdesign zur Erhebung der fMRT-Task-Daten verwendet, bei dem eine verlängerte visuelle Stimulation durch neutrale und erotische Videoclips erzeugt wurde (Abler et al. 2011; Graf et al. 2014). Bei den erotischen Clips handelte es sich um sexuelle Interaktionen zwischen einem Mann und einer oder zwei Frauen. Gezeigt wurden Oralsex, Petting und auch vaginaler Geschlechtsverkehr. In den neutralen Videos waren Männer und Frauen in emotional neutralen, nicht erotischen Alltagssituationen zu sehen, beispielsweise im Bus oder beim Einkaufen. Von jedem Typ wurden neun Clips in pseudorandomisierter Reihenfolge gezeigt, d.h. es wurden maximal zwei Clips eines Typs nacheinander gezeigt. Zusätzlich wurde die Reihenfolge der Clips zwischen den Probanden gematcht. Sowohl die erotischen als auch die nicht erotischen Videoclips wurden hinsichtlich der Anzahl und des Geschlechts der interagierenden Personen, der Dauer der Interaktion und der Tatsache, ob die dargestellten Personen bekleidet oder nackt waren, angeglichen. Die Gesamtdauer der Aufgabe betrug zwölf Minuten. Die einzelnen Videos wurden immer durch ein 20 Sekunden langes Interstimulusintervall getrennt, in dem den Probanden ein weißes Kreuz auf schwarzem Hintergrund präsentiert wurde (Abler et al. 2011).

2.3 fMRT-Datenerfassung

Die Datenerhebung erfolgte mittels eines 3-Tesla-Magnetresonanztomographen mit Standardkopfspule (Siemens Magnetom Allegra, Deutschland) und diente der Gewinnung anatomischer und funktioneller Bilddaten. Im Rahmen der Ruhezustands-fMRT wurden insgesamt 320 Volumina erfasst, was einer Gesamtdauer des Scans von acht Minuten entspricht. Die ersten zehn Volumina wurden verworfen, um Äquilibrationseffekte zu berücksichtigen. Im Rahmen der erotischen Videoaufgabe wurden insgesamt 487 Volumina gewonnen. Die ersten sieben Volumina wurden verworfen.

Für die fMRT im Ruhezustand sowie die aufgabenbezogene fMRT wurde dasselbe Gradientenecho-EPI-Protokoll mit einer Wiederholungszeit (TR) von 1,5 Sekunden, einer Echozeit von 35ms und einem Flipwinkel von 90° verwendet. In einer der Studien konnte keine vollständige Abdeckung des Gehirns erzielt werden, da die Repetitionszeit mit 1.500 ms relativ kurz war und somit lediglich eine reduzierte Anzahl an Schnitten generiert wurde. Insgesamt wurden 23 transversale Schichten mit einer Matrixgröße von 64 x 64 und einem Sichtfeld (FOV) von 192 mm aufgenommen. Die Schichtdicke betrug 3 mm, der Abstand zwischen den Schichten 0,75 mm, was eine Voxelgröße von 3 x 3 x 3,75 mm ergab. Die Schnitte wurden mit einem Winkel von -15° relativ zur antero-posterioren Kommissur-Linie geplant, um Suszeptibilitätsartefakte in subkortikalen Regionen von Interesse, nämlich Mittelhirn und Striatum, zu reduzieren.

2.4 Struktureller Scan

Nach den Ruhezustands- und funktionellen MRT-Messungen wurde ein hochauflösendes T1-gewichtetes strukturelles Bild mit einer Akquisitions-Gradientenechosequenz (MPRAGE; TR = 2300 ms, TE = 3,93 ms, TI = 1100 ms, Flip-Winkel = 12°, FOV = 256 mm, Matrixgröße = 256 x 256) erstellt. Es wurden strukturelle Scans mit Hilfe der voxelbasierten Morphometrie (VBM) segmentiert, welche in der CAT12-Toolbox implementiert ist (Ashburner und Friston 2005; <http://dbm.neuro.uni-jena.de/cat/index.html#VBM>). Damit sollte eine selektive Entrauschung von den Ruhezustands-fMRT-Voxeln erreicht werden, welche mit einer hohen Wahrscheinlichkeit graue Substanz enthalten und die Entfernung von Signalen der weißen Substanz zu ermöglichen.

2.5 Definition der fMRT-ROI im Ruhezustand

In Übereinstimmung mit unserer Hypothese definierten wir den NAcc und das Mittelhirn als die Regionen von besonderem Interesse (ROI). Die Mittelhirn-ROI umfasst die bilaterale Substantia Nigra (SN) pars compacta, die bilaterale SN pars reticularis sowie das bilaterale ventrale Tegmentalareal (VTA). Der Wert wurde dem Reinforcement Learning Atlas (<https://osf.io/jkzwp/>; Pauli et al. 2018; Teckentrup et al. 2019) entnommen. Der bilaterale NAcc wurde aus dem

probabilistischen anatomischen Hirnatlas von Harvard-Oxford abgeleitet (Desikan et al. 2006).

Die genannten ROIs wurden mit Hilfe von Statistical Parametric Mapping (SPM12, Wellcome Department, London, UK) in den Raum der vorverarbeiteten Video-Task-BOLD-Bilder zurückgeschnitten, was zu ROIs mit einer isotropen Voxelgröße von 3 mm führte.

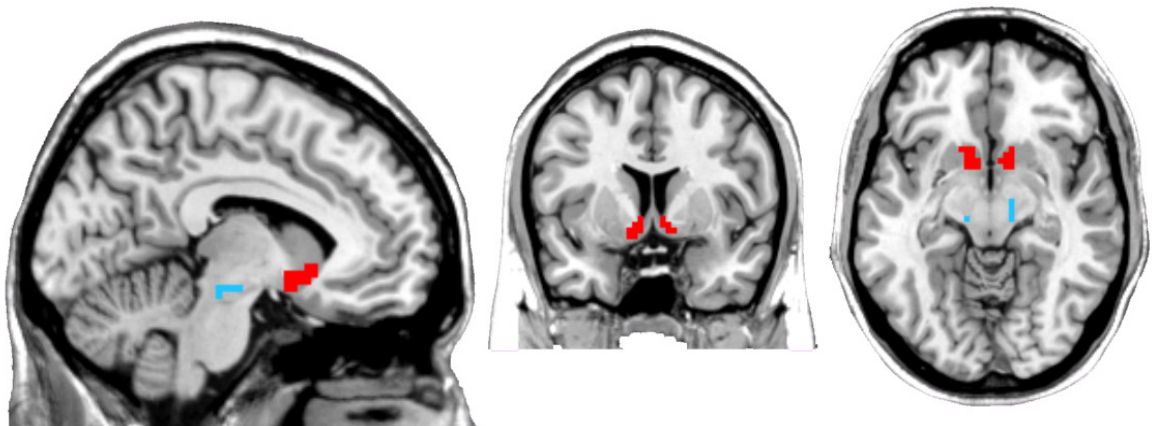


Abbildung 1: Die ausgewählten Regionen (ROIs): Der bilaterale Nucleus accumbens ROI ist in Rot dargestellt. Die Mittelhirn-ROI in blau umfasst die bilaterale Substantia Nigra (SN) pars compacta, die bilaterale SN pars reticularis und das bilaterale VTA.

2.6 Vorverarbeitung der Daten

2.6.1 Vorverarbeitung der Ruhezustands-fMRT

Die Bildvorverarbeitung wurde mit Hilfe der CONN-Toolbox (Whitfield-Gabrieli und Nieto-Castanon 2012) durchgeführt. Die Daten aus jeder Sitzung wurden neu ausgerichtet und unter Anwendung einer Bewegungskorrektur unverzerrt dargestellt, sowie einer Schichtzeitkorrektur unterzogen. Im Anschluss wurden sowohl die funktionellen als auch die strukturellen Bilder mit Hilfe von Standard-Gewebewahrscheinlichkeitskarten segmentiert und auf den MNI-Raum (Montreal Neurological Institute) normalisiert.

Die Bilder wurden mit einem isotropen 8x8x8 mm FWHM Gaußschen Glättungskern geglättet. Schließlich wurden die Bilder unter Zuhilfenahme von SPM12 in den 3x3x3 mm MNI-Raum transformiert. Eine weitere Entrauschung wurde mit einem speziellen MATLAB-Code durchgeführt.

Zeitreihen von Voxeln mit einer Graue-Substanz-Wahrscheinlichkeit von 0,35 oder höher wurden z-bewertet, despiked und einem quadratischen Detrending unterzogen. In der Folge wurden sechs Bewegungsparameter (die während der Neuausrichtung geschätzt wurden) und das mittlere Signal der weißen Substanz herausregressiert.

Eine Bandpassfilterung wurde nicht durchgeführt, da die meisten hochfrequenten Fluktuationen, die mit physiologischem Rauschen zusammenhängen, wahrscheinlich während der Residualisierung für das mittlere Signal der weißen Substanz entfernt wurden (Kahnt et al. 2012; Tanabe et al. 2002) und niederfrequente Drifts im Detrending-Schritt entfernt wurden (Tanabe et al. 2002).

2.6.2 Berechnung der funktionellen Konnektivität

Die entrauschten Bilder wurden in MATLAB geladen. Für jeden Teilnehmer berechneten wir die FC zwischen zwei ROIs als Pearson-Korrelation zwischen den mittleren Zeitreihen der Seed- und Target-ROI. Die resultierenden Korrelationsvektoren wurden jeweils z-transformiert. Bei der Analyse wurden die beiden in Abbildung 2 dargestellten ROIs berücksichtigt.

2.6.3. Aufgabenbasierte fMRT-Analyse.

Die Bildvorverarbeitung und die statistischen Analysen wurden mit SPM12 durchgeführt. Zu den Vorverarbeitungsschritten gehörten Schnittzeitkorrektur, Neuausrichtung mit Schätzung und Reslicing, Segmentierung und Normalisierung in eine 3x3x3 mm große MNI-Standardvorlage.

Die Neuausrichtung erfolgte mittels Rotation und Verschiebung der einzelnen Volumina. In der Folge wurden sämtliche Einzelvolumina zu einem Referenzvolumen verkleinert. Der Zweck dieses Schrittes bestand in der Eliminierung von Bewegungsartefakten, welche durch die Probanden während des Scans verursacht wurden. Hierfür wurde ein Mittelwertbild als Vorlage für alle übrigen Bilder der Messung verwendet. Die Normalisierung ermöglichte das Vergleichen sowohl zwischen den Probanden einer Studie als auch einen Vergleich von Ergebnissen aus unterschiedlichen Studien.

Es wurde die individuelle Gehirnanatomie des Probanden mit nichtlinearer Transformation auf ein Referenzgehirn in einen standardisierten Raum angepasst. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde ein standardisiertes Template mit einer Interpolation von 3x3x3 mm für die räumliche Normalisierung verwendet. Durch eine automatische Programmierung wurden alle Bildpunkte aus den fMRT-Aufnahmen entfernt, die nicht als Gehirngewebe klassifiziert waren. So gibt es keine Störfaktoren außerhalb des Gehirns mehr. Die anschließende Glättung erfolgte mit einem isotropen Gaußschen Glättungskern von 8 mm FWHM.

Im Rahmen dieser Berechnung wurde der Mittelwert über eine Gruppe von räumlich benachbarten Bildpunkten ermittelt. In einigen Fällen kann die Glättung dazu führen, dass Signalsprünge an den Grenzen des Gewebes nicht erhalten bleiben.

Im Anschluss wurde aus den anatomischen Bildern ein Gesamthirnbild erstellt, wobei der Bildrechner zur Korrektur verwendet wurde, welcher die sogenannten „Schädel-stripped-Bias“ korrigierte. Hierbei werden die graue und weiße Substanz durch trilineare Interpolation zu einem Gesamtbild errechnet, wodurch eine Normalisierung erfolgte.

Aus den normalisierten Bilderdaten der weißen und grauen Substanz wurde mit den normalisierten und gemittelten funktionellen Bildern jedes Probanden eine „brain mask“ für die SPM-Analysen der ersten und zweiten Ebene erstellt.

Die Analysen auf erster Ebene wurden für jeden Probanden durchgeführt. Wir definierten Regressoren für jede der Bedingungen (erotisch und nicht erotisch). Zu diesem Zweck wurden Videoclips als 20-Sekunden-Blöcke modelliert und mit der SPM-Standardfunktion für die hämodynamische Reaktion gefaltet. Die sechs Restbewegungsregressoren, welche während der Neuausrichtung geschätzt wurden, wurden als Kovariate in die einzelnen Modelle aufgenommen.

Im Anschluss wurden die resultierenden Kontrastbilder (erotisch > nicht erotisch) in Gruppenanalysen auf zweiter Ebene einbezogen. Die Darstellung wurde unter Berücksichtigung eines Schwellenwerts von $p < 0,05$ (family-wise error rate, FWER) und einer Clusterausdehnung von $k = 313$ korrigiert. Der

Anfangsschwellenwert für die Clusterdefinition wurde dabei auf $p < 0,001$ (unkorrigiert) festgelegt.

Im vorliegenden Modell wurde die Variable „erotisch gegenüber nicht erotisch“ als erster Faktor berücksichtigt. Die jeweiligen FC-Vektoren im Ruhezustand wurden als Kovariate in den t-Test einbezogen, um auf signifikante Interaktionseffekte zwischen den FC-Fingerabdrücken im Ruhezustand und dem Kontrast zwischen erotischen und nicht erotischen Stimuli zu testen.

Um die genauen Cluster zu bestimmen, führten wir eine kleine Volumenkorrektur durch. Dazu erstellten wir eine Maske aus der Aufgabenaktivierung mit FWE-cluster-korrigierten Schwellenwerten. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zu sehen.

Diese Korrelation ebenfalls mit kleiner Volumenkorrektur wurde mit dem Alter als 2. Kovariate reproduziert.

3. Ergebnisse

3.1 Die neuronale Aktivierung bei visueller erotischer gegenüber nicht erotischer Stimulation

Ziel der Analyse war es, die neuronalen Korrelate der Regionen zu untersuchen, die beim Schauen von erotischen im Vergleich zu nicht erotischen Videos aktiviert werden und somit verantwortlich sind für die sexuelle Verarbeitung, insbesondere Erregung und Verlangen.

Wir konnten, wie in den vorangegangenen Studien, signifikante Haupteffekte in mehreren Regionen des Gehirns bei der Gegenüberstellung von erotischer und nicht erotischer Videostimulation während der fMRT darstellen. Dazu wurde bei den vorverarbeiteten fMRT-Daten der 37 Probanden unter Placebo-Bedingungen eine Gegenüberstellung der erotischen gegen nicht erotische Videostimulation durchgeführt. Wir beobachteten hier signifikante Haupteffekte in mehreren Hirnregionen, die zuvor im Zusammenhang mit sexueller Erregung beschrieben wurden (Fiederer et al. 2025). Die resultierenden Kontrastbilder (erotisch > nicht erotisch) wurden dann in Gruppenanalysen auf zweiter Ebene einbezogen. Dazu wurde die Karte mit einem Schwellenwert von $p < 0,05$ (family-wise error rate, FWER) auf der Grundlage der Clusterausdehnung ($k = 313$) mit einem konservativen Anfangsschwellenwert für die Clusterdefinition von $p < 0,001$ korrigiert. Es wurden separate Analysen für die FC-Vektoren im Ruhezustand durchgeführt. In diesem Modell wurde die Bedingung (erotisch/nicht erotisch) als erster Faktor verwendet. Die jeweiligen FC-Vektoren im Ruhezustand wurden als Kovariate in den t-Test einbezogen, um signifikante Interaktionseffekte von FC-Fingerprints im Ruhezustand und dem Kontrast erotischer gegenüber nicht erotischen Stimuli zu testen. Für die „Small-volume“-Korrektur erstellten wir eine Maske aus der Aufgabenaktivierung mit FWE-cluster-korrigierten Schwellenwerten.

Im Einzelnen beobachteten wir eine signifikante erhöhte neurofunktionelle Aktivierung im occipitotemporalen Kortex (48, -58, -10), im lateralen occipitalen Kortex (36, -76, 5 und -45, -67, -1), im mittleren occipitalen Kortex (-36, -85, 11 und -36, -85, 11), im präfrontalen Kortex (-66, -25, 32), im inferioren Temporallappen

(48, 8, 20), im Mittelhirn (-3, -25, -13), im periaquäduktalen Grau (0, -31, -19), im unteren Parietallappen (51, -22, 32 und -51, -28, 26) und im Kleinhirn (24, -67, -46 und -24, -61, -28) (Fiederer et al. 2025). Dies wurde auch in vorhergehenden Studien so gezeigt (Abler et al. 2011; Graf et al. 2013; Graf et al. 2014; Metzger et al. 2015; Graf et al. 2017; Metzger et al. 2013; Walter et al. 2008a).

Diese Hirnregionen sind bereits zuvor im Zusammenhang mit sexueller Verarbeitung beschrieben worden. Die Aktivierungen zeigen sich in mehreren Clustern. Das größte Cluster ($k=5418$) umfasst den inferioren Frontallappen ($T=9,37$) und das Mittelhirn ($T=9,21$), sowie das periaquäduktale Höhlengrau ($T=8,49$). Das nächst Kleinere ($k=1303$) beinhaltet den lateralen occipitalen Gyrus ($T=9,83$), sowie das Cerebellum ($T=9,83$) und den mittleren occipitalen Gyrus ($T=5,80$) (Fiederer et al. 2025). Danach folgt das Cluster ($k=886$) mit der inferioren Parietallappen ($T=7,34$) und dem parietalen Anteil des Operculum ($T=8,88$) (Fiederer et al. 2025).

Und darauf folgt das Cluster ($k=803$) mit temporooccipitalem Kortex ($T=10,28$) und lateralem occipitalem Gyrus ($T=5,89$). Schließlich eines ($k=738$) mit inferiorem Parietallappen ($T=9,95$) und präfrontalen Kortex ($T=9,27$). Das kleinste Cluster ($k=313$) befindet sich im Cerebellum ($T=5,66$) (Fiederer et al. 2025).

Die vorangegangenen und oben genannten Arbeiten, die dieselben Daten mit dem Videoparadigma verwendeten, hatten zum Beispiel noch Aktivierung in Pulvinar und Putamen, sowie im mittleren cingulären Kortex, dem posterioren cingulären Kortex, dem ACC oder der anterioren Insula gezeigt, oft aber mit einem Grenzwert $p < 0,05$ (Abler et al. 2011; Graf et al. 2013; Graf et al. 2014; Metzger et al. 2015; Graf et al. 2017; Graf et al. 2015; Metzger et al. 2013; Walter et al. 2008a). Wir haben subcortikal vor allem Aktivierung im Mittelhirn und im periaquäduktalen Grau finden können ($p < 0,001$).

In unserer Untersuchung waren sehr große Cluster sichtbar, die mehrere Hirnregionen umfassen. In der Tabelle sind die jeweiligen Peaks eines Clusters genannt.

Auch wir hatten mit einem niedrigeren Grenzwert noch einige weitere Regionen nachweisen können. Nicht signifikant waren vor allem im Cluster mit $k=5418$

folgende Regionen: Präzentraler Kortex (-54, 5, 32; T=8,03; k=5418), dACC (0, 2, 32; T=6,96; k=5418), dACC (-6, 32, 2; T=6,95; k=5418), Thalamus (-6, -7, -4; T=6,92; k=5418), Insula (-27, 11, 11; T=6,58; k=5418), VTA (6, -10, -10; T=6,53; k=5418), Hypothalamus (-12, -7, -6; T=6,34; k=5418) und OFC (12, 32, -1; T=6,21; k=5418). Zudem im Cluster k=886 der Intraparietale Kortex (33, -37, 38; T=6,06).

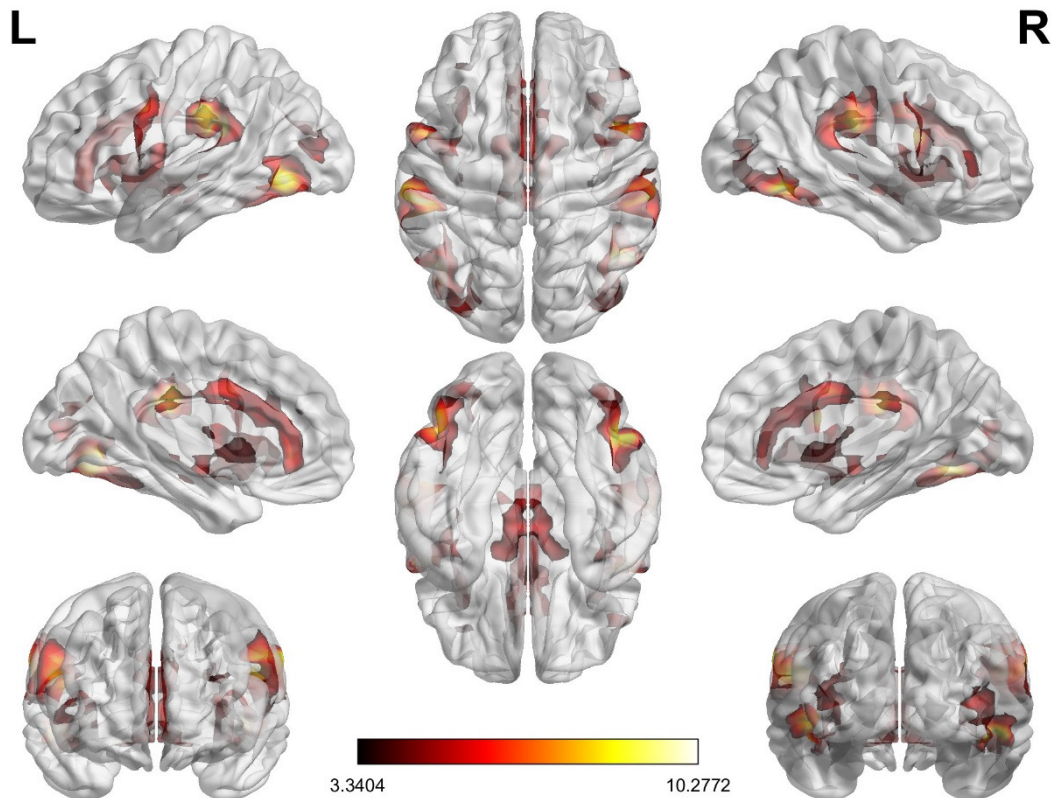


Abbildung 2: Hauptregionen der Verarbeitung visueller erotischer Reize:

Signifikante ($p < 0,001$, FWE-korrigiert) differentielle (erotische gegenüber nicht erotische) neuronale Aktivierungen während der Videoclip-Aufgabe innerhalb des occipitotemporalen Kortex, des lateralen occipitalen Kortex, des inferioren Parietallappens, des präfrontalen Kortex, des mittleren occipitalen Gyrus, des inferioren Frontallappens, des Mittelhirns, des periaquäduktalen Höhlengraus, des parietalen Kortex, des unteren Parietallappens und des unteren Semilunarlappens im Cerebellum (erwartete Voxel pro Cluster $\langle k \rangle = 10,037$; $T = 3,34$; Freiheitsgrade [1, 35, 0]). Abbildung erstellt mit Brain Net Viewer, modifiziert nach Fiederer et al. 2025, entsprechende Farbskala wie vom Programm ausgegeben

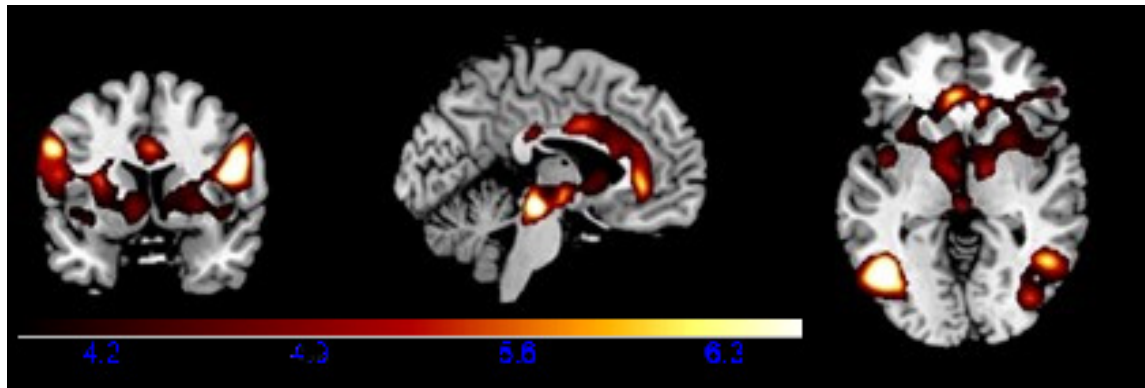


Abbildung 3: Übersicht über die signifikanten kortikalen und auch subkortikalen Regionen (Schnittbild). Abbildung mit Skala modifiziert nach Abbildung S1 aus (Fiederer et al. 2025), veröffentlicht in The world journal of biological psychiatry, Lizenztyp CC BY-NC-ND. Abbildung erstellt mit MRICron, Farbskala wie von MRICron ausgegeben

Anatomische Region	Seite L/R	Cluster Größe (NV)	Peak Voxel (MNI, mm)			T (Spitzen- wert)	pFWE (Cluster- level)
Occipitotemporaler Kortex	R	803	48	-58	-10	10,28	<0,001
Lateral occipitaler Kortex	R		36	-76	5	5,89	<0,001
Inferiorer Parietallappen	32	738	-51	-28	26	9,95	<0,001
präfrontaler Kortex	L		-66	-25	32	9,27	<0,001
Lateral occipitaler Gyrus	L	1303	-45	-67	-1	9,83	<0,001
Cerebellum	L		-24	-61	-28	6,32	<0,001
Mittlerer occipitaler Gyrus	L		-36	-85	11	5,80	<0,001
Inferiorer Frontallappen	R	5418	48	8	20	9,37	<0,001
Mittelhirn	L		-3	-25	-13	9,21	<0,001
Periaquäduktales Höhlengrau	L		0	-31	-19	8,49	<0,001
Parietaler Kortex (Operculum)	R	886	63	-28	26	8,88	<0,001
Inferiorer Parietallappen	R		51	-22	32	7,34	<0,001
Inferiorer Semi-Lunarlappen (Cerebellum)	R	313	24	-67	-46	5,66	<0,001

Tabelle 1: Haupteffekt der Videoaufgabe: Vergleich erotischer und nicht erotischer Clips (p < 0,001 FWE cluster-level korrigiert (Fiederer et al. 2025)).

3.2 Korrelationsanalyse von Ruhezustands-FC zwischen Mittelhirn und NAcc und neurofunktionellen Aktivierungen während aufgabenbasierter fMRT

Zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der Ruhezustands-Funktions-konnektivität (FC) zwischen Mittelhirn und Nucleus accumbens (NAcc) und der differentiellen neurofunktionellen Aktivierung (erotisch vs. nicht-erotisch) während der aufgabenbasierten fMRT führten wir einen t-Test durch, bei dem der Kontrastvektor aus der erotisch-vs.-nicht-erotisch-Analyse mit der rs-FC zwischen Mittelhirn und NAcc korreliert wurde ($p < 0,001$, FWE-korrigiert nach Clusterniveau). Der bilaterale NAcc wurde aus dem probabilistischen anatomischen Hirnatlas von Harvard-Oxford abgeleitet (Desikan et al. 2006). Die Mittelhirn-ROI, die die bilaterale SN pars compacta, die bilaterale SN pars reticularis und das bilaterale ventrale Tegmentalareal (VTA) umfasst, wurde aus dem Reinforcement Learning Atlas (<https://osf.io/jkzwp/>; Pauli et al. 2018; Teckentrup et al. 2019) gewonnen.

Es wurde eine Analyse für die FC-Vektoren im Ruhezustand durchgeführt. Dabei wurde die Bedingung (erotisch und nicht erotisch) als erster Faktor verwendet. Die jeweiligen Ruhezustands-FC-Vektoren wurden als Kovariate in den t-Test einbezogen, um potenzielle Interaktionseffekte zwischen den FC-Fingerprints im Ruhezustand und der differentiellen Aktivierung (erotische vs. nicht-erotische Stimuli) zu untersuchen. Um die genauen Cluster zu bestimmen, führten wir eine kleine Volumenkorrektur durch.

Es war eine signifikante positive Korrelation zwischen den Stärken der rs-FC zwischen dem Mittelhirn und dem NAcc in einem großen Cluster mit differentiellen neurofunktionellen Aktivierungen im Hypothalamus (9, -7, -7; $T=4,87$), dem Mittelhirn (3, -25, -13 $T=4,60$), dem periaquäduktalen Grau (6, -31, -4; $T=3,97$) und dem Thalamus (12, -10, 5; $T= 4,46$) zu beobachten (siehe Abbildung 2 und Tabelle 1; $p>0,003$) (Fiederer et al. 2025). Die Aktivierung der VTA (-12, -10, -7; $T=4,44$) und im Cerebellum (-30, -61, -31; $T=4,72$) war zudem mit weniger strengen Grenzen und niedrigem Signifikanzniveau zu beobachten (siehe Tabelle 2

und Abbildung 3). Es wurden keine signifikanten negativen Assoziationen beobachtet.

Anatomische Region	Seite L/R	Cluster Größe (NV)	Peak Voxel (MNI, mm)			T (Spitzenwert)	pFWE (Cluster-level)	p (unkorrigiert) (Cluster level)
Hypothalamus	R	117	9	-7	-7	4,87	0,003	0,002
Mittelhirn	R		3	-25	-13	4,60	0,003	0,002
Periaquäduktales Grau	R		6	-31	-4	3,97	0,003	0,002
Thalamus	R		12	-10	5	4,46	0,003	0,002
Cerebellum	L	55	-30	-61	-31	4,72	0,040	0,023
Ventrales tegmentales Areal	L	40	-12	-10	-7	4,44	0,080	0,048
Hypothalamus	L		-9	-7	-4	4,32	0,080	0,048

Tabelle 2: Hirnregionen mit signifikantem Zusammenhang zwischen differentieller (erotischer gegenüber nicht erotischer) neuronaler Reaktionsfähigkeit: Während visuell-erotischer Stimulation und rs-FC zwischen den ROIs nämlich Nucleus accumbens und dem Mittelhirn mit VTA. Eine signifikante Aktivierung zeigt sich in Hypothalamus, Thalamus, Mittelhirn sowie periaquäduktalem Grau (Fiederer et al. 2025), veröffentlicht in The world journal of biological psychiatry, Lizenztyp CC BY-NC-ND.

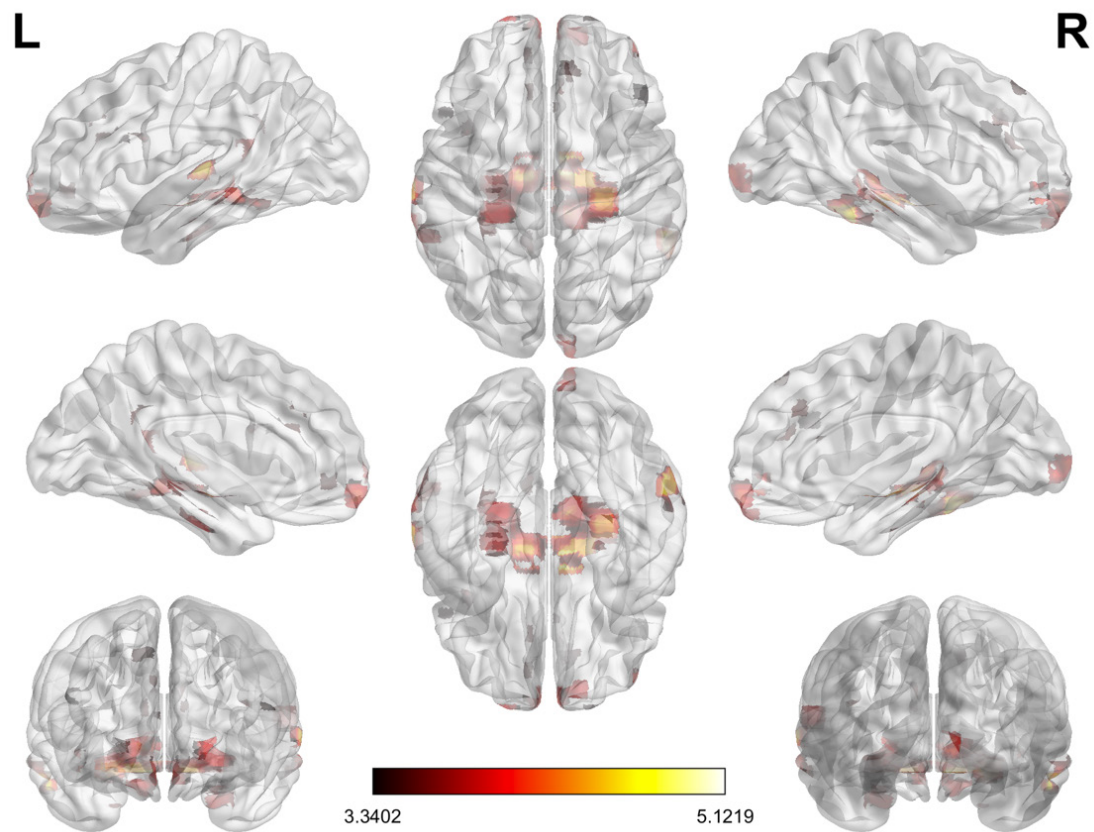


Abbildung 4: Signifikante Assoziation von rs-FC zwischen Mittelhirn und NAcc mit der differentiellen neurofunktionellen Aktivierung:

Signifikante Assoziation der rs-FC der beiden ROIS, Mittelhirn mit VTA und Nucleus accumbens mit den differentiellen (erotischen gegenüber nicht erotischen) neurofunktionellen Aktivierungen während visueller erotischer Stimulation. Hier zeigt sich Aktivierung im Hypothalamus, im Mittelhirn, im periaquäduktalen Grau und im Thalamus (modifiziert nach Fiederer et al. 2025); Abbildung erstellt mit Brain Net Viewer; Skala wie von Brain Net Viewer ausgegeben.

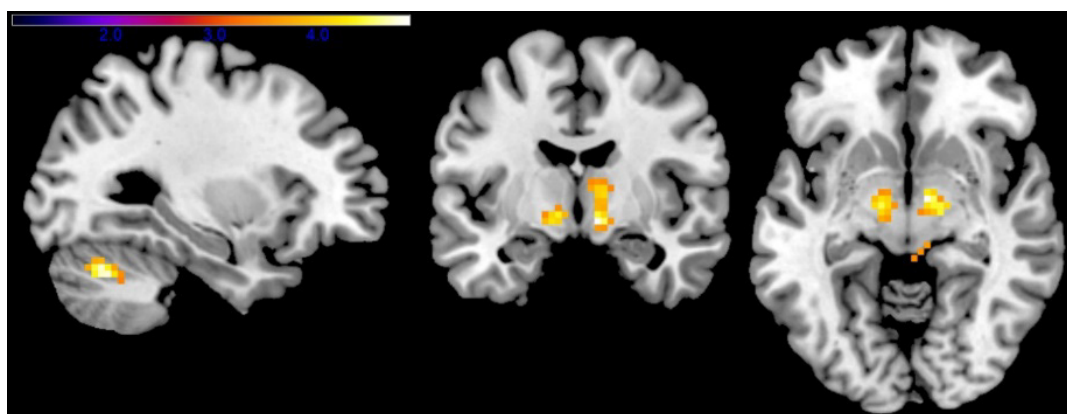


Abbildung 5: Signifikante Aktivität: Signifikante Aktivität in Hypothalamus, Mittelhirn, im periaquäduktalen Grau und im Thalamus (Schnittbild). Entsprechend Abbildung 2 aus Fiederer et al. 2025, veröffentlicht in The world journal of biological psychiatry, Lizenztyp CC BY-NC-ND. Abbildung erstellt mit MRICron, Farbskala wie von MRICron ausgegeben.

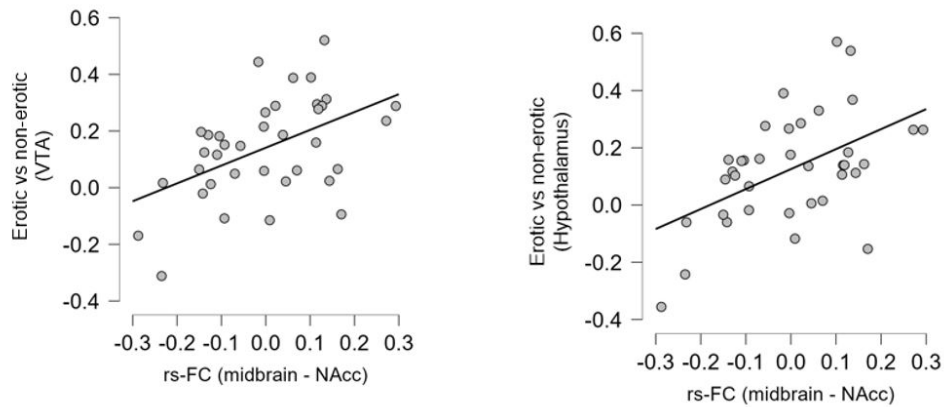


Abbildung 6: Visualisierung der Korrelation: Korrelation der Stärke der funktionellen Konnektivität im Ruhezustand von Mittelhirn und Nucleus accumbens mit der aufgabenbezogenen Aktivierung der signifikanten Cluster (VTA und Hypothalamus) (Fiederer et al. 2025), veröffentlicht in The world journal of biological psychiatry, Lizenztyp CC BY-NC-ND.

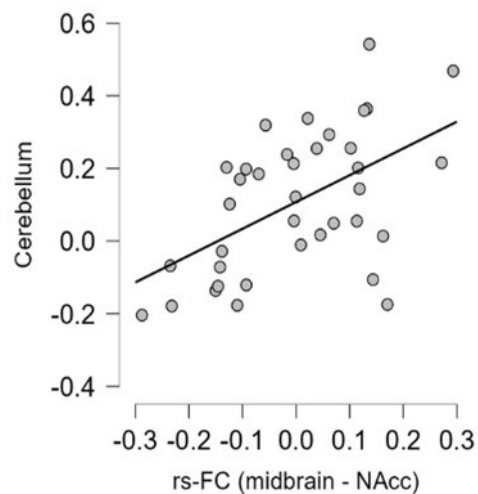


Abbildung 7: Visualisierung der Korrelation: Korrelation der Stärke der funktionellen Konnektivität im Ruhezustand von Mittelhirn und Nucleus accumbens mit der aufgabenbezogenen Aktivierung des signifikanten Cluster (Cerebellum) (Fiederer et al. 2025).

Es war das Ziel, zu untersuchen, ob die funktionelle Konnektivität im Ruhezustands-fMRT eine Vorhersage darüber ermöglicht, ob Menschen, mit einer hohen Konnektivität zwischen zwei Regionen der Belohnungsverarbeitung, auch im taskbezogenen fMRT stärker auf das Schauen erotischer Videos reagieren werden. Im ersten Teil untersuchten wir, ob das Schauen erotischer Videos Aktivierung in Regionen verursacht, die verantwortlich für die sexuelle Verarbeitung sind. Im Vergleich zu neutralen Videos riefen erotische Videos eine stärkere Reaktion in den meisten von uns erwarteten Regionen hervor, die mit sexueller Erregung assoziiert werden (Fiederer et al. 2025).

Im zweiten Teil untersuchten wir, ob sich eine signifikante zeitliche Korrelation von rs-FC zwischen Mittelhirn und NAcc mit der differentiellen neurofunktionellen Aktivierung (erotisch versus nicht erotisch) während der aufgabenbasierten fMRT zeigte. Die zugrundeliegende Idee ist, dass Regionen des Ruhezustandsnetzwerks, in ihrer funktionellen Konnektivität beeinflusst werden, wenn potenziell belohnende sexuelle Reize präsentiert werden. Wir beobachteten einen signifikanten positiven Zusammenhang zwischen der rs-FC der beiden Kernregionen des menschlichen Belohnungssystems und der neurofunktionellen Reaktionsfähigkeit im Hypothalamus, Thalamus, periaquäduktalen Höhlengrau und im Mittelhirn (Fiederer et al. 2025).

Auffallend ist, dass bei der aufgabenbezogenen Aktivierung mehr kortikale Regionen und in der Korrelation von aufgabenbezogener und Ruhezustandsaktivierung mehr subkortikale Regionen aktiviert waren. Gemeinsam ist der aufgabenbezogenen Aktivierung und der Korrelation eine Aktivierung in Mittelhirn und periaquäduktalem Grau (Fiederer et al. 2025).

Abbildung 6 und 7 visualisieren die Korrelation der differentiellen neuronalen Aktivierung mit der Stärke der Konnektivität für jedes der signifikanten Cluster für die einzelnen Probanden. Für alle drei signifikanten Cluster, nämlich das mit Hypothalamus ($k=117$), mit Cerebellum ($k=55$) und Mittelhirn mit VTA ($k=40$) zeigte sich eine positive Korrelation.

Unsere Ergebnisse werfen ein Licht auf das komplizierte Zusammenspiel zwischen rs-FC und differentieller neuronaler Aktivität im Zusammenhang mit der Verarbeitung erotischer Reize. Dies wurde in diesem Zusammenhang so noch nie untersucht. Die rs-FC wurde in anderen Studien bisher eher genutzt um die Beziehung von niedrigen BOLD-Oszillationen und Pathologien, die die Persönlichkeit betreffen, zu untersuchen. Klinische Abweichungen in Persönlichkeitsmerkmalen korrelieren zum Beispiel mit Variationen in der FC im Ruhezustand (Wolf et al. 2011; Tang et al. 2013; Jiang et al. 2013; Wang und Li 2013).

Wenn man versucht, die Rolle von funktioneller Konnektivität in Bezug auf Persönlichkeitsmerkmale nicht nur für Pathologien, sondern auch in gesunden Personen zu erklären, kann man individuelle Variationen feststellen (Fulwiler et al. 2012). Man erhofft sich, in der Zukunft die Ruhezustands-FC als Biomarker für bestimmte individuelle Merkmale oder Prädispositionen für Erkrankungen nutzen zu können (Wolf et al. 2011; Tang et al. 2013).

Studien weisen darauf hin, dass das Alter einen Einfluss auf die Aktivierungsbereitschaft im Hinblick auf Belohnung und somit auf sexuelle Belohnung haben könnte. Wir haben daher weitere Untersuchungen durchgeführt, in denen das Alter als zusätzliche Kovariate hinzugezogen wurde. Die Ergebnisse sind den Tabellen A1- A3 im Anhang zu entnehmen.

4. Diskussion

Es wurde in der vorliegenden Arbeit eine Stichprobe gesunder männlicher heterosexueller Probanden mittels kombinierter aufgabenbezogener und Ruhezustands-fMRT untersucht, um festzustellen, ob die neuronale Reaktionsfähigkeit von Hirnregionen mit der funktionellen Konnektivität (FC) im Ruhezustand zwischen ausgewählten Kernregionen des menschlichen Belohnungssystems (VTA und NAcc) in Bezug auf Verarbeitung sexueller Stimulation verbunden ist. Hier zeigte sich, dass eine erhöhte Ruhezustands-FC zwischen Mittelhirn und NAcc mit einer stärkeren neuronalen Aktivität in subkortikalen Regionen wie Hypothalamus, Thalamus, Mittelhirn und periaquäduktalem Grau während erotischer gegenüber nicht erotischer visueller Stimulation besteht.

Damit sehen wir hier Regionen, die mit motivationalen, aber auch autonomen neurofunktionellen Komponenten sexueller Erregung in Verbindung gebracht werden.

Für die aufgabenbasierte fMRT wandten wir ein etabliertes Videoparadigma an, von dem bereits gezeigt wurde, dass es zuverlässig neuronale Reaktionen in Hirnregionen hervorruft, die für sexuelle und emotionale Erregung relevant sind (Abler et al. 2011; Graf et al. 2013; Graf et al. 2014; Metzger et al. 2015; Graf et al. 2017; Metzger et al. 2013). Auch in unseren Untersuchungen sahen wir signifikant erhöhte neuronale Aktivierungen in verschiedenen subkortikalen und kortikalen Regionen (zum Beispiel mittlerer und lateraler occipitaler Gyrus, inferiorer Parietallappen, PFC und Mittelhirn (Fiederer et al. 2025), die in früheren Studien berichtet wurden (Redouté et al. 2000; Graf et al. 2013; Walter et al. 2008b; Metzger et al. 2010; Stoléru et al. 2012; Abler et al. 2011; Arnow et al. 2009).

Im Folgenden sollen die gefundenen Regionen und deren Zusammenhang mit sexueller Verarbeitung kurz beleuchtet werden. Der occipitotemporale Kortex zeigt Aktivierung durch visuelle Reize. Er verfolgt sexuelle Erregung im Körper und reagiert auf Genitalstimulation (Beauchamp 2005). Die Neuronen können auf das Sehen von Körperteilen und Körperformen reagieren (Downing et al. 2001). Es scheint auch Aktivierung bei geschlossenen Augen zu geben, als Antwort auf

mentale Bilder ohne visuellen Input (Mourão-Miranda et al. 2003). Er scheint also sowohl somatosensorisch, als auch visuell aktiviert zu werden (Beauchamp 2005). Er reagiert auf erhöhte Erregung und kodiert für emotionale Intensität bei visuellen Emotionsparadigmen (Mourão-Miranda et al. 2003). Dementsprechend kann der occipitotemporale Kortex das sexuelle Erregungsniveau erfassen (Georgiadis 2012). Es kommt zu gesteigerter visueller Aufmerksamkeit bei visueller erotischer Stimulation (Karama et al. 2002).

Der inferiore Parietallappen dient der Vorbereitung motorischer Aktivität und wird auch aktiv bei der Betrachtung motorischer Bilder (Redouté et al. 2000). Es zeigen sich erhöhte Signale im Parietallappen in Bezug auf motivations- und aufmerksamkeitsrelevante Ergebnisse (Mouras et al. 2008; Mouras et al. 2003).

Der inferiore Frontallappen beinhaltet einen Teil des Operculums und wird auch als sekundärer somatosensorischer Kortex betitelt. Er übernimmt die Aufgabe des sogenannten interozeptiven Bewusstseins, verarbeitet dabei sowohl sensorische als auch motorische Aktivität. Das Operculum ist Teil des Salienz-Netzwerks. Zudem reagiert es ebenfalls auf somatosensorische Verarbeitung. Es steuert das interozeptive Bewusstsein und kann Emotionen regulieren (Dabrowska et al. 2011). Nach Dabrowska und Kollegen trägt die Verarbeitung sozialer Emotionen zur Speicherung assoziativer Erinnerungen bei. Dies trägt zum sexuellen Lernen bei, welches notwendig ist, um ein persönliches Sexualverhalten zu entwickeln (Dabrowska et al. 2011). Gemeinsam mit dem Cerebellum zeigte sich erhöhte Aktivität bei einer Erhöhung der Temperatur im Genitalbereich (Flannigan et al. 2019).

Auch im PFC zeigt sich eine Aktivierung. Dieser wird, zusammen mit VTA und Cerebellum, im Tiermodell verantwortlich gemacht für die Aufrechterhaltung bestimmter Zustände und motorischer und nicht motorischer Verhaltensweisen (Carta et al. 2019). Zudem scheint er an der Belohnungsverarbeitung beteiligt zu sein, unter anderem an der Suche nach Belohnungen (Ishikawa et al. 2020). Im Zusammenhang mit sexueller Verarbeitung wird dem präfrontalen Kortex ein Beitrag zur Selbstkontrolle zugeschrieben, die vor allem in der Erregungsphase von Bedeutung sein kann, indem er sensorische Inhalte empfängt und an andere

Areale weiterleitet (Downing et al. 2001). Es zeigt sich eine niedrige Aktivierung bei der Vorrausage von sexueller Aktivität (Georgiadis et al. 2012). Eine Aktivierung korreliert zum Beispiel mit der Hemmung des visuell hervorgerufenen Verlangens (Beauregard et al. 2001; Rees et al. 2007). Umgekehrt zeigt sich bei einer Schädigung des PFC sexuell enthemmtes Verhalten (Rees et al. 2007). Der PFC kann also sexuelle hervorstechende Eingaben modifizieren und regulieren (Forbes et al. 2007) und so auch zu Unterschieden in der Erregbarkeit bei Probanden beitragen (Bianchi-Demicheli et al. 2011).

Aktivierung im mittleren occipitalen Gyrus scheint in Bezug auf sexuelle Verarbeitung an eine Aktivierung im inferioren Temporallappen gekoppelt zu sein. Es zeigt sich eine Deaktivierung im Temporallappen zusammen mit einer Aktivierung im mittleren occipitalen Kortex in Bezug auf sexuelles Verlangen und vor allem sexuelle Erregung (Carta et al. 2019). Andere Studien beschreiben ebenfalls Reaktionen durch motivationale Reize, hervorgerufen durch erotische Videos (Redouté et al. 2000; Walter et al. 2008a). Der laterale occipitale Kortex (LOC) ist der Bereich des Gehirns, der aktiv ist, wenn eine Person irgendeine Art von Objekt oder auch ein Gesicht betrachtet (Grill-Spector et al. 2001).

Die beiden subkortikalen Regionen, die eine Aktivierung zeigten, sind das Mittelhirn und das periaquäduktale Grau (PAG). Diese werden später nochmals genauer beleuchtet.

Wir konzentrierten unsere Auswertung auf die mutmaßliche Assoziation von Ruhezustands-FC zwischen zwei der oben genannten Regionen, dem NAcc und dem VTA als Teil des Mittelhirns, da beide nicht nur bei der allgemeinen Belohnungsverarbeitung, sondern auch speziell bei der sexuellen Belohnungsverarbeitung eine wichtige Rolle spielen.

Der NAcc ist eine der Kernregionen des dopaminergen mesolimbischen Belohnungssystems. Aktivierung im Nucleus accumbens führt zur Wahrnehmung und Vorhersage potenzieller Belohnungen, was die Einleitung von zielgerichtetem belohnungsorientiertem Verhalten durch das dopaminerge Belohnungssystem initiieren kann (Pfaus 2009). So ist er bereits in früheren Untersuchungen als von

großer Bedeutung für die Verarbeitung und der Integration benötigter Informationen in Bezug auf sexuelle Reize und dem daraus resultierenden zielgerichteten Verhalten dargestellt worden (Liu et al. 2011; Botvinick et al. 2009; Mannella et al. 2013). Neuronale Aktivierungen in dieser Region korrelieren auch mit einem Anstieg der dopaminergen Übertragung bezüglich sexueller Motivation (Childress et al. 2008; Gillath und Canterberry 2012; Fiorino et al. 1997; Oei et al. 2012). Das Verlangen nach einer Belohnung führt zu motiviertem Verhalten. Dabei muss die Belohnungsvorhersage möglich sein, um erst einmal Verlangen zu erzeugen (Kalivas und Volkow 2005). In mehreren Studien wurde gezeigt, dass eine Dopamintransmission zwischen Mittelhirn und NAcc zu einer hämodynamischen Reaktion führt (Forbes et al. 2009; Yacubian et al. 2007). Der NAcc kann also mit einer Belohnungsvorhersage in Verbindung gebracht werden, da er den Wert von Reizen kodiert und somit die Priorisierung beeinflusst (Kalivas und Volkow 2005). Zudem scheinen die Belohnungserwartung und die Verarbeitung sekundärer Belohnungsreize durch ihn beeinflusst zu werden (O'Doherty et al. 2003; Botvinick et al. 2009). Somit wäre es logisch, dass der NAcc für die motivationale Belohnungskomponente der sexuellen Verarbeitung notwendig ist (Haber et al. 2006; Georgiadis und Kringelbach 2012). Das Verlangen nach einer Belohnung führt zu motiviertem Verhalten. Hierfür erfolgt zuerst die Belohnungsvorhersage, um nach einer Bewertung des Reizes schließlich Verlangen zu erzeugen (Kalivas und Volkow 2005). So kann ein potenzieller Belohnungsreiz dann schließlich zu zielgerichtetem Verhalten beitragen (Liu et al. 2011; Botvinick et al. 2009; Mannella et al. 2013).

Auch die andere von uns gewählte Region, das Mittelhirn, hat wichtige Funktionen im Zusammenhang mit der Belohnungsverarbeitung. Diese besteht noch mehr als beim NAcc in der Vorhersage von Belohnungen (Fiorino et al. 1997; Pfaus und Phillips 1991; Kippin et al. 2004). Das Mittelhirn zeigt eine Aktivierung bei belohnungsvorhersagenden Hinweisen und kann Belohnungsinformationen kodieren (Dreher et al. 2006; Robinson und Berridge 2003). Auch für die sexuelle Verarbeitung übernimmt es wichtige Funktionen. Bezogen auf das Kringelbach-Modell ist das Mittelhirn eher in einer der frühen Phasen der sexuellen Verarbeitung von Bedeutung (Georgiadis und Kringelbach 2012). Es ist Ziel des vom

NAcc kommenden Dopamins und ist somit an der Antwort auf visuelle sexuelle Stimuli beteiligt (Oei et al. 2012). Nach Melis und Kollegen ist sexuelles Verhalten ein motivierter Zustand mit hohem Belohnungswert (Melis et al. 2022). Die VTA als Teil des dopaminergen Belohnungssystems kann sexuelle Empfindlichkeit und Motivation beeinflussen (Bloemers et al. 2014; Cortes et al. 2019). Beide Regionen, Mittelhirn und NAcc, sind über Neuronen direkt miteinander verbunden. Diese direkte Projektion ist entscheidend für sexuelle Motivation und Erregung (Fiorino et al. 1997; Brom et al. 2014; Kippin et al. 2004; Pfaus und Phillips 1991).

Über die anatomische Verbindung hinaus besteht in unserer Untersuchung nachweislich eine zeitliche Übereinstimmung im Ruhezustand zwischen Mittelhirn und NAcc. Die funktionelle Konnektivität im Ruhezustand wurde mit der Reaktion auf Sexualvideos korreliert, was die Annahme zulässt, dass die in der Korrelation signifikanten Regionen Teil eines ganzen Netzwerks sind oder auch gesondert im Zusammenhang mit sexueller Verarbeitung beim Schauen erotischer Videos aktiviert werden.

Das Gegenüberstellen der Stärke der rs-FC zwischen dem Mittelhirn und dem NAcc bei den unterschiedlichen neurofunktionellen Aktivierungen während visuell erotischer und nicht erotischer Stimulation, zeigte einen signifikanten positiven Zusammenhang in mehreren Regionen. Je stärker die funktionelle Konnektivität im Ruhezustand zwischen dem Mittelhirn und dem NAcc war, desto stärker war auch die Reaktion im Mittelhirn, im Hypothalamus, im PAG und im Thalamus beim Anschauen erotischer Videos im Vergleich zu neutralen Videos (Fiederer et al. 2025). Ziel war es, eine Ruhezustands-Signatur der Reaktion auf visuelle sexuelle Stimuli zu identifizieren und diese mit der Reaktion auf verschiedene Belohnungen in der Zukunft vergleichen zu können. Im Folgenden sollen die hierbei signifikanten Regionen und die wahrscheinlichen Zusammenhänge mit deren Aktivierungen beleuchtet werden.

Hypothalamus

Neurofunktionelle Aktivierungen des Hypothalamus im Zusammenhang mit der sexuellen Verarbeitung können mit autonomen Komponenten der sexuellen Erregung in Verbindung gebracht werden (Redouté et al. 2000). Also der

Komponente, die dafür verantwortlich ist, die Probanden in einen Zustand der Bereitschaft für sexuelles Verhalten zu versetzen (Arnow et al. 2009; Ferretti et al. 2005; Stoléro et al. 2012).

Der Hypothalamus hat efferente Verbindungen zum Mittelhirn und afferente aus dem NAcc (Haber et al. 2010). Die Aktivierung im Hypothalamus korreliert positiv mit der subjektiv erlebten sexuellen Erregung. Zusammen mit dem Striatum spiegelt er speziell die Intensität sexueller Reize wider (Walter et al. 2008a). Über seine Verbindungen mit dem VTA und dem NAcc ist er maßgeblich an verschiedenen motivierten Verhaltensweisen zum Beispiel der Suche nach Nahrung, Sex und Drogen beteiligt (Stellar 1994; Castro et al. 2015; MacNiven et al. 2020). Allgemein kann man sagen, dass der laterale Hypothalamus an der Belohnungssuche beteiligt ist (Harris et al. 2005). Das führt dazu, dass er logischerweise ebenfalls an der Belohnungsvorhersage beteiligt sein muss (Sharpe et al. 2017).

Die Hauptfunktion des Hypothalamus ist die Hormonfreisetzung. Besonders relevant für unsere Fragestellung sind hier Dopamin und Oxytocin zu nennen. Es ist die essenzielle Region für die autonome Funktion der sexuellen Verarbeitung und ist in allen Phasen des Zyklus von Bedeutung. Die Datenlage deutet aber nicht nur auf eine allgemeine Beteiligung des Hypothalamus an sexueller Verarbeitung hin, sondern lässt den Schluss zu, dass er eben besonders auch für den Aspekt der sexuellen Belohnung von Bedeutung ist (Stellar 1994; Castro et al. 2015; MacNiven et al. 2020). Aktivierung im Hypothalamus korreliert mit der subjektiv erlebten sexuellen Erregung. Zusammen mit dem Striatum spiegelt dies spezifisch die Intensität von sexuellen Reizen wieder (Walter et al. 2008a). Es wurde gezeigt, dass (künstliche) Pheromone die Aktivität im Hypothalamus auf sexuelle Weise verändern können (Berglund et al. 2008; Berglund et al. 2006; Ciumas et al. 2009; Gulyás et al. 2004; Jacob et al. 2001; Savic et al. 2005).

Thalamus

Als Nächstes beobachteten wir einen signifikanten Zusammenhang zwischen der rs-FC von NAcc und dem Mittelhirn mit VTA mit differentiellen neurofunktionellen Aktivierungen innerhalb des Thalamus bei visuell-erotischer Stimulation.

Neben seiner klar definierten Rolle, bei der komplexen sensomotorischen Informationsverarbeitung, gibt es immer mehr Belege für die entscheidende Rolle des Thalamus in weiteren Schaltkreisen. Diese unterstützen dann höhere Funktionen wie Kognition, Emotion oder Wahrnehmung (Halassa und Kastner 2017; Halassa und Sherman 2019; Wolff und Vann 2019). Der Thalamus verarbeitet sowohl primäre, als auch sekundäre Belohnungen (Knutson und Greer 2008; Small et al. 2001). Sexuelle Belohnungshinweise führen insbesondere zu einer Aktivierung des Pulvinar (Noori et al. 2016). Diese führt dann zu Aktivierung anderer Schaltkreise. Der Thalamus wirkt hier modulierend. Das bedeutet, er kann Verbindungen verstärken oder abschwächen (Noori et al. 2016). Somit kann er kodierend sein für emotionale Erregung und deren Intensität (Metzger et al. 2010).

Eine weitere wichtige Funktion des Thalamus ist die Verarbeitung von Erwartung und Aufmerksamkeit. Das kann dann auch im Zusammenhang mit der Belohnungsverarbeitung stehen. Als Teil des Belohnungskreislaufs bildet der Thalamus vermutlich eine Verbindung (Haber et al. 2006; Haber und Knutson 2010), durch die erotische Stimuluserfahrungen vermittelt werden (Metzger et al. 2013; Metzger et al. 2010; Holstege 2010).

In Koaktivierung mit rostralem ACC beteiligt er sich an emotionaler Verarbeitung. Er erhöht die emotionale Komponente während erotischer Verarbeitung (Metzger et al. 2010). Die Vorhersage von Belohnung ist nötig, um Motivationsprozesse in Gang zu setzen und Erregung auszulösen. Es wurden in früheren Untersuchungen häufig neurofunktionelle Aktivierungen des Thalamus im Zusammenhang mit der emotionalen Dimension sexueller Erregung beobachtet (Redouté et al. 2000; Moulrier et al. 2006; Park et al. 2001a; Park et al. 2001b; Ferretti et al. 2005). Die emotionale Einfärbung ist auch hier besonders wichtig, da die Reaktion auf potenziell lohnende sexuelle Stimuli nicht nur angeboren ist, sondern auch erlernt wird. Dementsprechend werden nur emotional positiv belegte Reize eine gewünschte Belohnungsreaktion hervorrufen können. Der Thalamus besteht aus mehreren Kernen, welche hierfür unterschiedliche Aufgaben übernehmen (Haber et al. 1993). Er könnte in drei der vier Komponenten der sexuellen Verarbeitung

eine Rolle spielen, genauer für die emotionale, die motivationale, als auch für die kognitive Verarbeitung (Redouté et al. 2000; Haber und Knutson 2010).

Mittelhirn

Bei der Untersuchung eines Zusammenhangs der rs-FC zwischen dem NAcc und dem Mittelhirn/VTA zeigte sich eine Aktivierung im Mittelhirn. Das Mittelhirn erhält Afferenzen aus der Amygdala, dopaminergen Neuronen aus dem VS und dem Hirnstamm (Haber et al. 1993). Das Mittelhirn mit dem VTA hat eine wichtige Funktion für die motivationale Komponente der sexuellen Verarbeitung (Haber et al. 1990b; Haber und Knutson 2010).

Die VTA kodiert ebenfalls Belohnungsinformationen (Dreher et al. 2006). Wie oben bereits beschrieben, wird ihr die Belohnungsvorhersage zugeschrieben, welche sich mit der Belohnungswahrscheinlichkeit und der Art des Reizes ändert (Haber und Knutson 2010). Es kommt zu einer Reaktion auf belohnungsprognostische Hinweise bei Exposition gegenüber visuellen Stimuli (Haber et al. 2006; Haber und Knutson 2010; Aaron und Handley 1975).

Die Aktivierung ist besonders wichtig für die Aufmerksamkeitsaktivierung und das Entstehen von sexueller Motivation für die sexuelle Erregung. Die Belohnungsvorhersage ist elementar, um eine Belohnungsverarbeitung der visuell hervorgerufenen Belohnungsreaktion durch die erotischen Videos zu verarbeiten (Dreher et al. 2006). Das Mittelhirn ist somit als Teil des dopaminergen Belohnungssystems bedeutsam für die Belohnungskomponente der sexuellen Verarbeitung.

Eine Aktivierung scheint in Zusammenarbeit mit Thalamus und VS (Abler et al. 2011), in Zusammenhang mit erotischer und emotionaler Stimulation (Walter et al. 2008a) zu korrelieren. Es zeigt eine Aktivierung durch visuelle Stimuli (Velayos und Reinoso-Suarez 1982) und somit auch visuelle erotische Stimuli.

Periaquäduktales Grau

Eine erhöhte rs-FC zwischen dem Mittelhirn mit VTA und dem NAcc war auch mit einer höheren neuronalen Reaktionsfähigkeit des periaquäduktalen Graus bei erotischer Stimulation verbunden.

Das PAG ist bekannt für seine zentrale Rolle bei der autonomen Kontrolle der Modulation von Schmerz und Abwehrverhalten (Behbehani 1995; Bandler und Depaulis 1991). Generell mehren sich die Hinweise, dass die Region durch ihre weitreichenden Verbindungen im Gehirn (Motta et al. 2017), unter anderem mit VTA, NAcc oder Hypothalamus, nicht nur, für die gut untersuchte Verarbeitung von Schmerzreizen, notwendig ist. Es scheint auch für die Regulierung von Emotionen (Holstege 2010) und die komplexe Modulation verschiedener emotionaler und motivationaler Verhaltensweisen verantwortlich zu sein (Omelchenko und Sesack 2010; Koob und Volkow 2016; Ntamati et al. 2019; Motta et al. 2017). Läsionen in der Region des PAG führten bei männlichen Ratten zu einer erhöhten sexuellen Aktivität. In diesem Bereich wurden steroidempfindliche Rezeptoren nachgewiesen, die als hormonempfindlicher Ausgabeweg für das Sexualverhalten interpretiert werden (Martínez-Navarro et al. 2019; Tryon und Mizumori 2018). Tryon und Kollegen zeigten 2018 eine Aktivität der Regionen als Reaktion auf Belohnungsreize in Form von Nahrung bei Ratten (Tryon und Mizumori 2018). Somit könnte es auch eine Beteiligung in Bezug auf die sexuelle Verarbeitung geben, da neben Nahrung auch Sex ein primärer Belohnungsreiz ist. Das PAG wurde zudem mit der Steuerung entsprechender motorischer Leistungen und der Vermittlung der männlichen Erektion und Ejakulation in Verbindung gebracht (Bayless et al. 2023; Calabrò et al. 2019).

Das Cerebellum hat eine direkte Projektion zur VTA. Es scheint auch eine Rolle in Bezug auf Belohnungsverarbeitung und bei der Kontrolle von Sozialverhalten zu spielen (Carta et al. 2019). Hier besteht allerdings noch mehr Forschungsbedarf. Neuere Tiermodelle der menschlichen Sexualreaktion haben jedoch dazu geführt, dass die Rolle des Kleinhirns neu überdacht wird (Garcia-Martinez et al. 2010; Paredes-Ramos et al. 2011).

Auffällig ist, dass in der Analyse der aufgabenbezogenen Aktivierung vor allem kortikale Regionen, wie der occipitotemporale Kortex, der laterale und mittlere occipitalen Kortex, der inferiore Temporallappen oder der untere Parietallappen aktiviert sind. Gemein ist allen eine Aktivierung durch visuelle sexuelle Reize, die Verarbeitung sexueller Erregung und die Steuerung von Aufmerksamkeit und

Motivation. Dies sind alles Aufgaben, die in den früheren Phasen sexueller Verarbeitung notwendig sind, welche wiederum auch auf zusätzliche Belohnungsverarbeitungsprozesse angewiesen sind.

Subkortikal zeigte sich Aktivierung im Mittelhirn und PAG. Die beiden subkortikalen Regionen sind die Einzigen, die sich schließlich dann auch in der Korrelation der funktionellen Konnektivität im Ruhezustand mit der aufgabenbezogenen Aktivierung zeigen.

Für einige Regionen waren höhere aufgabeninduzierte Zunahmen der neuronalen Aktivität während einer standardmäßigen selektiven Aufmerksamkeitsaufgabe signifikant mit einer stärkeren positiven Konnektivität zwischen den belohnungsrelevanten Regionen verbunden. Diese Analyse der funktionellen Konnektivität im Ruhezustand lieferte weitere Einblicke in die mögliche Rolle dieser subkortikalen Regionen. In der Korrelation der rs-FC zwischen Mittelhirn und NAcc mit der aufgabenbezogenen Aktivierung zeigten sich wie eben schon beschrieben, das Mittelhirn und das PAG, zudem noch Thalamus und Hypothalamus.

Diese Korrelation zeigt auf, dass die rs-FC genutzt werden kann, um die Aktivierung von Regionen vorherzusagen, die unter anderem für die sexuelle Belohnungsverarbeitung zuständig sind. Personen mit einer stärkeren Konnektivität im Ruhezustand zeigen dann auch eine stärkere Aktivierung, also eine stärkere BOLD-Reaktion, in den oben genannten Regionen beim Schauen der erotischen Videoaufgabe. Die Regionen sind nicht nur essenziell für die Aktivierung oder Verarbeitung der sexuellen Reize, sondern auch involviert für Belohnungsverarbeitung. Die Regionen sind wichtig für die autonome (PAG und Hypothalamus), motivationale (Mittelhirn, Thalamus) und emotionale Komponente (PAG, Thalamus) der sexuellen Verarbeitung (Holstege 2010; Omelchenko und Sesack 2010; Haber und Knutson 2010; Halassa und Kastner 2017; Wolff und Vann 2019; Redouté et al. 2000; Walter et al. 2008a; Metzger et al. 2010). In Bezug auf Belohnungsverarbeitung sind diese vor allem notwendig für Belohnungsvorhersage, -erwartung und -vermittlung, sowie die Suche nach Belohnung (Metzger et al. 2010; Metzger et al. 2013; Halassa und Sherman 2019; Groenewegen et al. 1990; Redouté et al. 2000; Arnoult et al. 2009; Harris und Carr 2016; Sharpe

et al. 2017; Stellar 1994). Unsere Ergebnisse untermauern die Vorstellung, dass die intrinsische funktionelle Aktivität des Gehirns einen Vorhersagewert für das räumliche Ausmaß der durch sexuelle Reize hervorgerufenen Aktivierung hat. Somit bietet diese intrinsische Aktivität einen Rahmen für Möglichkeiten an Reaktionen auf potenziell belohnungsassoziierten sexuellen Reizen. Diese Ergebnisse könnten in der Zukunft also potenzielle Biomarker für klinische Populationen liefern, bei denen pathologische Prozesse die Belohnungsverarbeitung zu beeinflussen scheinen, wie zum Beispiel bei Suchterkrankungen.

Wie bereits oben erwähnt sind Hirnregionen einem Alterungsprozess unterworfen. Somit können sich auch die Reaktionen des Belohnungssystems, die allgemeine Erregbarkeit und auch die rs-FC mit dem Alter verändern (Sanders et al. 2023; Volkow et al. 2000; Dreher et al. 2008; Kaasinen et al. 2000). Je nach Alter eines Probanden könnten sich demnach auch die Ergebnisse unserer Untersuchungen verändern.

In der Analyse wurde das Alter als Kovariate in die aufgabenbezogene Aktivierung integriert. Dabei zeigten sich lediglich geringfügige Veränderungen, die die zentralen Befunde jedoch nicht beeinflussten. Nach Einbezug des Alters als Kovariate lassen sich folgende statistische Ergebnisse festhalten: Die Clustergrößen der aufgabenbezogenen Aktivierung veränderten sich jeweils nur minimal. Zudem traten in einigen Regionen leichte Verschiebungen der Peak-Voxel auf, unter anderem im occipitotemporalen Kortex und im supramarginalen Kortex als Teil des parietalen Kortex.

Die Regionen der beiden zuvor kleinsten Cluster (879 und 305) waren nun nur noch in einem Cluster signifikant, allerdings zeigten sich weiterhin die gleichen Peak Voxel. Darüber hinaus verschoben sich zwei Regionen, der parietale Kortex (Operculum; 63, -28, 26) und der inferiore Parietallappen (51, -22, 32), in das größere Cluster (5295 NV). Zusätzlich traten zwei neue signifikante Regionen im Cerebellum auf. Auch die T-Werte der jeweiligen Peak-Voxel veränderten sich geringfügig.

Bei den Ergebnissen zur Korrelation der Ruhezustands-FC mit der aufgabenbezogenen Aktivierung zeigten sich ebenfalls leichte Verschiebungen der Signifikanzschwellen: Die clusterkorrigierte Signifikanzschwelle des größten Clusters (115) veränderte sich von 0,003 auf 0,004, während die unkorrigierte Schwelle bei 0,002 blieb. Für die zerebellären Regionen (Clustergröße 51) sowie das kleinste Cluster traten ebenfalls leichte Veränderungen der Signifikanzgrenzen auf. Auch hier kam es zu minimalen Anpassungen der Clustergrößen und T-Werte. Zusätzlich wurden zwei weitere Regionen innerhalb der bereits bekannten Cluster als signifikant identifiziert: das Mittelhirn (12, -10, -4) sowie das Cerebellum (-33, -64, -28).

Für die Alterskorrelation selbst ergaben sich keine signifikanten Zusammenhänge.

Alle beschriebenen Veränderungen sind in den Tabellen A1 bis A3 im Anhang detailliert dargestellt. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die zentralen Befunde trotz geringfügiger Verschiebungen der Schwellenwerte unverändert bleiben. Die Beziehung zwischen rs-FC von NAcc und Mittelhirn ist somit in unseren Ergebnissen nicht völlig unbeeinflusst von der zweiten Kovariate, aber es zeigt sich kein signifikanter Effekt.

Methodische Limitationen

Trotz des Nachweises signifikanter Assoziationen der rs-FC von Mittelhirn und NAcc unter erotischer Stimulation in Hirnregionen, die autonome Funktionen, sowie Belohnungs- und Aufmerksamkeitsverarbeitung vermitteln, müssen einige Kritikpunkte berücksichtigt werden.

Wie eingangs erwähnt, hat die sexuelle Verarbeitung nach dem neurophänomenologischen Modell der sexuellen Erregung mehrere Komponenten. Die in unserem Fall bedeutsamen Regionen sind insbesondere für die motivationale, emotionale und auch für die kognitive und autonome Komponente verantwortlich. Emotionale Beteiligung zeigen zum Beispiel der Thalamus oder die Amygdala. Allerdings war zum Beispiel Letztere in unserer Untersuchung nicht signifikant nachweisbar.

Wir hätten eine Aktivierung der Amygdala erwartet, weil sie eine der wichtigsten Regionen für die emotionale Komponente sexueller Erregung ist. Die Amygdala ist bekanntermaßen für Emotionsverarbeitung notwendig, aber auch für die Rekrutierung von Aufmerksamkeitsressourcen (Walter 2008). In Bezug auf Belohnung verfolgt sie die zu erwartenden Kosten in Zusammenhang mit erlernten Assoziationen zwischen Stimulus und Ergebnis (Chong et al. 2017). Zudem ist sie die wichtigste Region für die emotionale Komponente im sexuellen Reaktionszyklus (Redouté et al. 2000; Georgiadis und Kringelbach 2012). Man hätte auch erwarten können, dass der OFC aktiv wäre, welcher als Teil des Belohnungsnetzwerks den Wert potenzieller Belohnungen kodiert (Small et al. 2001; Scousse et al. 2010).

Nicht zuletzt muss man erwähnen, dass wir auch in der Gegenüberstellung der rs-FC und der aufgabenbezogenen Aktivierung auch noch eine Aktivierung des anterioren cingulären Kortex als Region der Aufmerksamkeitsverarbeitung und Impulskontrolle erwarten würden, da dieser eine zentrale Rolle bei der neurofunktionalen Modulation des Sexualverhaltens und der Verarbeitung von Salienz spielt (Haber und Knutson 2010; Salience Network 2015). In einigen Studien wurde zum Beispiel gezeigt, dass der ACC positive Emotionen und positive Belohnungswerte verarbeitet (Grabenhorst und Rolls 2011) und eine Interaktion zwischen sexueller Erregung und emotionaler Valenz ermöglicht (Walter et al. 2008b). Daher hätten wir erwartet, dass auch in unserer Untersuchung eine Signifikanz zu beobachten wäre. Allerdings fanden wir nur unter einem milderen statistischen Schwellenwert erhöhte neurofunktionelle Aktivierungen des ACC bei der Verarbeitung erotischer Reize.

Die oben genannten Regionen haben sich in unseren Ergebnissen nicht als signifikant erwiesen. Dieser Mangel an Signifikanz könnte auf die in unserer Untersuchung relativ kleine Stichprobe zurückzuführen sein. Hier sollte in weiteren Untersuchungen ein größerer Datensatz erhoben werden, welcher nicht nur eine größere Stichprobe, sondern gegebenenfalls auch ein breiteres Spektrum an Teilnehmern einschließlich des Geschlechts umfasst, um eine zuverlässigere Aussage und validere Ergebnisse zu erhalten. Unsere Untersuchung war nur auf

gesunde junge männliche Probanden beschränkt, um Verzerrungen im Zusammenhang mit dem Menstruationszyklus und unterschiedlichen hormonellen Zuständen bei Frauen zu vermeiden. Frauen jedoch zeigten zum Beispiel in Studien weniger Aktivierung im Thalamus und Hypothalamus in Bezug auf sexuelle Verarbeitung (Karama et al. 2002), dafür mehr Aktivität in emotionsrelevanten Strukturen. Das Konzentrieren auf ausschließlich gesunde männliche Probanden, schränkt somit die Verallgemeinerbarkeit ein. Daher sind unsere Ergebnisse weder auf eine Stichprobe mit weiblichen Probanden noch auf beispielsweise Personen mit Suchterkrankungen übertragbar. Weitere Studien mit einer größeren Bandbreite an Probanden werden unser Verständnis davon verbessern, wie zum Beispiel krankheitsbedingte Anomalien in der intrinsischen Architektur des Gehirns die beobachteten Aktivierungen beeinflussen.

Wie in früheren Studien gezeigt wurde, kann das Alter der Probanden einen Einfluss auf die sexuelle Erregbarkeit und das Ansprechen auf sexuelle Reize haben. In der vorliegenden Untersuchung wurden jedoch keine signifikanten Effekte dieses Faktors beobachtet. Dieser Befund lässt sich jedoch keineswegs zwingend auf das Fehlen eines Alters-Effekts zurückführen, sondern viel eher auf die begrenzte Altersvariabilität unserer Stichprobe. Die enge Altersspanne von 20 bis 34 Jahren könnte möglicherweise zu gering sein, um signifikante Unterschiede in der sexuellen Erregbarkeit zu detektieren. Zukünftige Studien sollten daher Probanden mit einer größeren Altersvariabilität einbeziehen, um mögliche altersbedingte Effekte besser zu untersuchen.

Wichtig zu erwähnen ist auch, dass Konnektivitäten keine absoluten Werte darstellen. Die rs-FC bietet einen Indikator für die jeweilige Synchronität in der Hämodynamik zweier Regionen (Biswal et al. 1995). Das Verknüpfen von Änderungen der sexuellen Funktionsweise mit der Basiskonnektivität spricht für eine Korrelation der aktivierten Regionen. Allerdings gilt es zu beachten, dass eine Korrelation nicht zwangsläufig einer Kausalität entspricht. Konnektivitäten sind keine absoluten Werte, können aber als Marker für interregionale Aktivität des rs-FC in Bezug auf sexuelle Aktivierbarkeit dienen, da sie auf Interaktionen zwischen Regionen hinweisen (Metzger et al. 2015).

Zudem besteht das bekannte Problem des Ruhezustands, dass er kein eindeutig definierter Zustand ist. Die festgelegte Baseline hat einen Einfluss auf die Ergebnisse. Es wurde in diversen Untersuchungen bereits gezeigt, dass klinische Abweichungen in Persönlichkeitsmerkmalen mit Variationen in der FC im Ruhezustand korrelieren können (Wolf et al. 2011; Tang et al. 2013; Jiang et al. 2013; Wang und Li 2013).

Es ist daher wichtig zu erwähnen, dass unsere Untersuchung keine Verhaltens- oder Merkmalsmaße für sexuelle Erregung berücksichtigt, die möglicherweise mit unterschiedlichen rs-FC-Stärken oder neurofunktionellen Reaktionen korrespondieren. In der Zukunft wäre es daher auch empfehlenswert, Verhaltensdaten mittels Fragebögen zu erheben, um zu unterscheiden, ob individuelle Unterschiede in der sexuellen Erregbarkeit und auch in der Belohnungsempfindlichkeit der Probanden bestehen.

An der sexuellen Verarbeitung sind mehrere Netzwerke beteiligt, nicht nur das Netzwerk der allgemeinen sexuellen Verarbeitung, sondern ebenfalls das Belohnungsnetzwerk oder auch zum Beispiel das Salienz-Netzwerk. Daher wäre es eine Idee, die funktionelle Konnektivität im Ruhezustand zwischen weiteren Regionen der sexuellen Verarbeitung und deren aufgabenbezogenen Aktivierung zu untersuchen. Es sollte in zukünftigen Forschungsarbeiten geprüft werden, ob unsere Ergebnisse auf andere Regionen verallgemeinert werden können.

Schlussfolgerung

In dieser Untersuchung sollte gezeigt werden, ob ein Zusammenhang besteht zwischen der Stärke der funktionellen Konnektivität im Ruhezustand und der individuellen Disposition auf sexuelle Belohnungsreize zu reagieren. Die zugrundeliegende Idee ist, dass Regionen des Ruhezustandsnetzwerks in ihrer funktionellen Konnektivität beeinflusst werden, wenn potenziell belohnende sexuelle Reize präsentiert werden. Und somit Personen mit stärkerer Konnektivität im Ruhezustands-fMRT auch während des Schauens der Videos, eine verstärkte Konnektivität im Belohnungsnetzwerk aufweisen, was für individuelle Unterschiede spräche. Hier beobachteten wir einen signifikanten positiven Zusammenhang zwischen der rs-FC der beiden Kernregionen des menschlichen

Belohnungssystems und der neurofunktionellen Reaktionsfähigkeit im Hypothalamus, Thalamus, periaquäduktalen Höhlengrau und im Mittelhirn. Diese Regionen sind besonders relevant für die sexuelle Erregung und Belohnungsverarbeitung.

Die vorliegenden Daten können hilfreich sein, in der Zukunft durch das bessere Verstehen der Zusammenhänge sexueller Belohnungsverarbeitung zum Beispiel auch die Belohnungsempfindlichkeit in Bezug auf die Reaktion auf sexuelle Stimuli vorherzusagen. Dennoch sollten weitere Studien in Zukunft mit größeren und heterogeneren Stichproben wiederholt werden, um eine größere Verallgemeinerbarkeit zu ermöglichen.

Es wäre auch sinnvoll in zukünftigen Arbeiten nicht nur die Daten gesunder männlicher Probanden zu erheben, sondern auch von Frauen oder Patienten mit zum Beispiel Suchterkrankungen, die einen Einfluss auf die Belohnungsverarbeitung und die Reaktion auf potenziell lohnende Stimuli haben könnten.

5. Zusammenfassung

Hintergrund: Die Untersuchung der für die menschliche Sexualität zuständigen Hirnregionen ist weiterhin ein Thema der aktuellen Forschung. Erotische Reize führen zu neurofunktionellen Aktivierungen in kortikalen und subkortikalen Hirnregionen, darunter auch, für das Belohnungssystem, relevanten Regionen. Es gibt bereits eine Vielzahl von Studien, die neurofunktionelle Aktivierungen während visueller erotischer Stimulation oder der damit einhergehenden Modulation untersuchten. Bisher wurde wenig untersucht, ob diese funktionellen Aktivierungen durch eine intrinsische Netzwerkarchitektur in Ruhe geprägt sind. Ziel unserer Untersuchung war es, zu untersuchen, ob ein Zusammenhang besteht zwischen der Stärke der funktionellen Konnektivität im Ruhezustand und der individuellen Disposition auf sexuelle Belohnungsreize zu reagieren.

Methoden: Wir untersuchten daher eine Stichprobe von 37 gesunden, heterosexuellen männlichen Probanden (Durchschnittsalter 24,7 Jahre), indem wir Ruhezustands- und aufgabenbezogene fMRT kombinierten. Bei der

aufgabenbezogenen fMRT verwendeten wir eine etablierte erotische Videoclip-Aufgabe, die erotische und nicht erotische Videosequenzen darstellte. Wir wählten zwei Regionen, die mit der Belohnungsverarbeitung in Zusammenhang gebracht werden, nämlich das Mittelhirn, genauer gesagt die VTA sowie den Nucleus accumbens (NAcc). Die Daten, die differentielle (erotische gegenüber nicht erotische) neuronale Aktivierungen während der Verarbeitung visueller erotischer Reize umfassen, wurden dann mit der Stärke der funktionellen Konnektivität im Ruhezustand zwischen diesen Regionen korreliert.

Ergebnisse: Wir beobachteten wie in diversen Studien zuvor einen Anstieg der neurofunktionellen Aktivierungen in einer Vielzahl von kortikalen und subkortikalen Regionen, die zuvor in aufgabenbasierten fMRT-Studien während visueller erotischer Stimulation beschrieben wurden. Eine erhöhte rs-FC zwischen VTA und NAcc war mit einer höheren differentiellen neuronalen Reaktionsfähigkeit in subkortikalen Regionen verbunden, insbesondere im Hypothalamus, im Thalamus, Mittelhirn und im PAG.

Schlussfolgerung: In unserer Studie konnte nachgewiesen werden, dass unsere Daten belegen, dass eine höhere rs-FC zwischen dem Mittelhirn/VTA und dem NAcc die gleichzeitige Aktivierung subkortikaler Hirnregionen vermittelt, die für die Integration von emotionalen, motivationalen und autonomen Prozessen im Sexualverhalten zuständig sind.

Unsere Ergebnisse untermauern die zentrale Rolle des mesolimbischen Belohnungsweges bei der Verarbeitung erotischer Reize.

Zukünftige Studien mit größeren Stichproben, mehr Regionen der Belohnungsverarbeitung, höherer Altersvariabilität der Probanden und auch Frauen oder Patienten mit zum Beispiel Suchterkrankungen wären sinnvoll, um unsere Untersuchungen weiterzuführen.

6. Literaturverzeichnis

Aaron, P. G.; Handley, A. C. (1975): Directional scanning and cerebral asymmetries in processing visual stimuli. In: *Perceptual and motor skills* 40 (3), S. 719–725. DOI: 10.2466/pms.1975.40.3.719.

Abler, Birgit; Kumpfmüller, Daniela; Grön, Georg; Walter, Martin; Stingl, Julia; Seeringer, Angela (2013): Neural correlates of erotic stimulation under different levels of female sexual hormones. In: *PLoS ONE* 8 (2), e54447. DOI: 10.1371/journal.pone.0054447.

Abler, Birgit; Seeringer, Angela; Hartmann, Antonie; Grön, Georg; Metzger, Coraline; Walter, Martin; Stingl, Julia (2011): Neural correlates of antidepressant-related sexual dysfunction: a placebo-controlled fMRI study on healthy males under subchronic paroxetine and bupropion. In: *Neuropsychopharmacology: official publication of the American College of Neuropsychopharmacology* 36 (9), S. 1837–1847. DOI: 10.1038/npp.2011.66.

Adachi, Yusuke; Osada, Takahiro; Sporns, Olaf; Watanabe, Takamitsu; Matsui, Teppei; Miyamoto, Kentaro; Miyashita, Yasushi (2012): Functional connectivity between anatomically unconnected areas is shaped by collective network-level effects in the macaque cortex. In: *Cerebral cortex (New York, N.Y.: 1991)* 22 (7), S. 1586–1592. DOI: 10.1093/cercor/bhr234.

Alexander, R. C.; Schor, D. P.; Smith, W. L. (1986): Magnetic resonance imaging of intracranial injuries from child abuse. In: *The Journal of pediatrics* 109 (6), S. 975–979. DOI: 10.1016/s0022-3476(86)80279-7.

Amaro, Edson; Barker, Gareth J. (2006): Study design in fMRI: basic principles. In: *Brain and cognition* 60 (3), S. 220–232. DOI: 10.1016/j.bandc.2005.11.009.

Angelides, Nicholas H.; Gupta, Jayesh; Vickery, Timothy J. (2017): Associating resting-state connectivity with trait impulsivity. In: *Social cognitive and affective neuroscience* 12 (6), S. 1001–1008. DOI: 10.1093/scan/nsx031.

Arnou, B. A.; Millheiser, L.; Garrett, A.; Lake Polan, M.; Glover, G. H.; Hill, K. R. et al. (2009): Women with hypoactive sexual desire disorder compared to normal females: a functional magnetic resonance imaging study. In: *Neuroscience* 158 (2), S. 484–502. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2008.09.044.

Aron, Arthur; Fisher, Helen; Mashek, Debra J.; Strong, Greg; Li, Haifang; Brown, Lucy L. (2005): Reward, motivation, and emotion systems associated with early-stage intense romantic love. In: *Journal of neurophysiology* 94 (1), S. 327–337. DOI: 10.1152/jn.00838.2004.

Ashburner, John; Friston, Karl J. (2005): Unified segmentation. In: *NeuroImage* 26 (3), S. 839–851. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2005.02.018.

Bandettini, P. A.; Wong, E. C.; Hinks, R. S.; Tikofsky, R. S.; Hyde, J. S. (1992): Time course EPI of human brain function during task activation. In: *Magnetic resonance in medicine* 25 (2), S. 390–397. DOI: 10.1002/mrm.1910250220.

Bandler, Richard; Depaulis, Antoine (1991): Midbrain Periaqueductal Gray Control of Defensive Behavior in the Cat and the Rat. In: Antoine Depaulis und

Richard Bandler (Hg.): The Midbrain Periaqueductal Gray Matter. Boston, MA: Springer US, S. 175–198.

Barbas, Helen; Zikopoulos, Basilis (2014): Toward patient-specific targeting and parameter setting of deep brain stimulation for relief of depression. In: *Biological psychiatry* 76 (12), S. 914–916. DOI: 10.1016/j.biopsych.2014.09.012.

Baxter, Mark G.; Murray, Elisabeth A. (2002): The amygdala and reward. In: *Nature reviews. Neuroscience* 3 (7), S. 563–573. DOI: 10.1038/nrn875.

Bayless, Daniel W.; Davis, Chung-Ha O.; Yang, Renzhi; Wei, Yichao; Andrade Carvalho, Vinicius Miessler de; Knoedler, Joseph R. et al. (2023): A neural circuit for male sexual behavior and reward. In: *Cell* 186 (18), 3862–3881.e28. DOI: 10.1016/j.cell.2023.07.021.

Beauchamp, Michael S. (2005): See me, hear me, touch me: multisensory integration in lateral occipital-temporal cortex. In: *Current opinion in neurobiology* 15 (2), S. 145–153. DOI: 10.1016/j.conb.2005.03.011.

Beauregard, M.; Lévesque, J.; Bourgouin, P. (2001): Neural correlates of conscious self-regulation of emotion. In: *The Journal of Neuroscience* 21 (18), RC165.

Behbehani, M. M. (1995): Functional characteristics of the midbrain periaqueductal gray. In: *Progress in neurobiology* 46 (6), S. 575–605. DOI: 10.1016/0301-0082(95)00009-k.

Beninger, R. J.; Rinaldi, R. (1992): The effects of amphetamine, apomorphine, SKF 38393, quinpirole and bromocriptine on responding for conditioned reward in rats. In: *Behavioural pharmacology* 3 (2), S. 155–163. DOI: 10.1097/00008877-199204000-00009.

Berglund, H.; Lindström, P.; Dhejne-Helmy, C.; Savic, I. (2008): Male-to-female transsexuals show sex-atypical hypothalamus activation when smelling odorous steroids. In: *Cerebral cortex (New York, N.Y.: 1991)* 18 (8), S. 1900–1908. DOI: 10.1093/cercor/bhm216.

Berglund, Hans; Lindström, Per; Savic, Ivanka (2006): Brain response to putative pheromones in lesbian women. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103 (21), S. 8269–8274. DOI: 10.1073/pnas.0600331103.

Bianchi-Demicheli, Francesco; Cojan, Yann; Waber, Lakshmi; Recordon, Nathalie; Vuilleumier, Patrik; Ortigue, Stephanie (2011): Neural bases of hypoactive sexual desire disorder in women: an event-related fMRI study. In: *The journal of sexual medicine* 8 (9), S. 2546–2559. DOI: 10.1111/j.1743-6109.2011.02376.x.

Biswal, B.; Yetkin, F. Z.; Haughton, V. M.; Hyde, J. S. (1995): Functional connectivity in the motor cortex of resting human brain using echo-planar MRI. In: *Magnetic resonance in medicine* 34 (4), S. 537–541. DOI: 10.1002/mrm.1910340409.

Bloemers, Jos; Scholte, H. Steven; van Rooij, Kim; Goldstein, Irwin; Gerritsen, Jeroen; Olivier, Berend; Tuiten, Adriaan (2014): Reduced gray matter volume and increased white matter fractional anisotropy in women with hypoactive sexual desire disorder. In: *The journal of sexual medicine* 11 (3), S. 753–767. DOI: 10.1111/jsm.12410.

Bossini, Letizia; Fortini, Valentina; Casolaro, Ilaria; Caterini, Claudia; Koukouna, Despoina; Cecchini, Federica et al. (2014): Dysfunkcje seksualne, choroby psychiczne a jakość życia - praca przeglądowa. In: *Psychiatria polska* 48 (4), S. 715–726.

Botvinick, Matthew M.; Huffstetler, Stacy; McGuire, Joseph T. (2009): Effort discounting in human nucleus accumbens. In: *Cognitive, affective & behavioral neuroscience* 9 (1), S. 16–27. DOI: 10.3758/CABN.9.1.16.

Braak, H.; Weinel, U. (1985): The percentage of projection neurons and local circuit neurons in different nuclei of the human thalamus. In: *Journal für Hirnforschung* 26 (5), S. 525–530.

Brom, Mirte; Both, Stephanie; Laan, Ellen; Everaerd, Walter; Spinhoven, Philip (2014): The role of conditioning, learning and dopamine in sexual behavior: a narrative review of animal and human studies. In: *Neuroscience and biobehavioral reviews* 38, S. 38–59. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2013.10.014.

Calabrò, Rocco S.; Cacciola, Alberto; Bruschetta, Daniele; Milardi, Demetrio; Quattrini, Fabrizio; Sciarrone, Francesca et al. (2019): Neuroanatomy and function of human sexual behavior: A neglected or unknown issue? In: *Brain and behavior* 9 (12), e01389. DOI: 10.1002/brb3.1389.

Cameron, Jameason D.; Goldfield, Gary S.; Finlayson, Graham; Blundell, John E.; Doucet, Eric (2014): Fasting for 24 hours heightens reward from food and food-related cues. In: *PLoS ONE* 9 (1), e5970. DOI: 10.1371/journal.pone.0085970.

Carlezon, W. A.; Wise, R. A. (1996): Rewarding actions of phencyclidine and related drugs in nucleus accumbens shell and frontal cortex. In: *The Journal of Neuroscience* 16 (9), S. 3112–3122.

Carta, Ilaria; Chen, Christopher H.; Schott, Amanda L.; Dorizan, Schnaude; Khodakhah, Kamran (2019): Cerebellar modulation of the reward circuitry and social behavior. In: *Science (New York, N.Y.)* 363 (6424). DOI: 10.1126/science.aav0581.

Castro, Daniel C.; Cole, Shannon L.; Berridge, Kent C. (2015): Lateral hypothalamus, nucleus accumbens, and ventral pallidum roles in eating and hunger: interactions between homeostatic and reward circuitry. In: *Frontiers in systems neuroscience* 9, S. 90. DOI: 10.3389/fnsys.2015.00090.

Cauda, Franco; Cavanna, Andrea E.; D'agata, Federico; Sacco, Katiusia; Duca, Sergio; Geminiani, Giuliano C. (2011): Functional connectivity and coactivation of the nucleus accumbens: a combined functional connectivity and structure-based meta-analysis. In: *Journal of cognitive neuroscience* 23 (10), S. 2864–2877. DOI: 10.1162/jocn.2011.21624.

Chen, Jianhuai; Yang, Jie; Huang, Xinfei; Wang, Qing; Lu, Chao; Liu, Shaowei et al. (2020): Brain Functional Biomarkers Distinguishing Premature Ejaculation From Anejaculation by ALFF: A Resting-State fMRI Study. In: *The journal of sexual medicine* 17 (12), S. 2331–2340. DOI: 10.1016/j.jsxm.2020.09.002.

Childress, Anna Rose; Ehrman, Ronald N.; Wang, Ze; Li, Yin; Sciortino, Nathan; Hakun, Jonathan et al. (2008): Prelude to passion: limbic activation by "unseen" drug and sexual cues. In: *PLoS ONE* 3 (1), e1506. DOI: 10.1371/journal.pone.0001506.

Chong, Trevor T.-J.; Apps, Matthew; Giehl, Kathrin; Sillence, Annie; Grima, Laura L.; Husain, Masud (2017): Neurocomputational mechanisms underlying subjective valuation of effort costs. In: *PLoS biology* 15 (2). DOI: 10.1371/journal.pbio.1002598.

Ciomas, C.; Lindén Hirschberg, A.; Savic, I. (2009): High fetal testosterone and sexually dimorphic cerebral networks in females. In: *Cerebral cortex (New York, N.Y.: 1991)* 19 (5), S. 1167–1174. DOI: 10.1093/cercor/bhn160.

Cole, Michael W.; Bassett, Danielle S.; Power, Jonathan D.; Braver, Todd S.; Petersen, Steven E. (2014): Intrinsic and task-evoked network architectures of the human brain. In: *Neuron* 83 (1), S. 238–251. DOI: 10.1016/j.neuron.2014.05.014.

Cortes, Pedro Manuel; Hernández-Arteaga, Enrique; Sotelo-Tapia, Carolina; Guevara, Miguel Angel; Medina, Andrea Cristina; Hernández-González, Marisela (2019): Effects of inactivation of the ventral tegmental area on prefronto-accumbens activity and sexual motivation in male rats. In: *Physiology & behavior* 209, S. 112593. DOI: 10.1016/j.physbeh.2019.112593.

Costumero, Victor; Barrós-Loscertales, Alfonso; Bustamante, Juan Carlos; Ventura-Campos, Noelia; Fuentes, Paola; Rosell-Negre, Patricia; Ávila, César (2013): Reward sensitivity is associated with brain activity during erotic stimulus processing. In: *PLoS ONE* 8 (6), e66940. DOI: 10.1371/journal.pone.0066940.

Dabrowska, Joanna; Hazra, Rimi; Ahern, Todd H.; Guo, Ji-Dong; McDonald, Alexander J.; Mascagni, Franco et al. (2011): Neuroanatomical evidence for reciprocal regulation of the corticotrophin-releasing factor and oxytocin systems in the hypothalamus and the bed nucleus of the stria terminalis of the rat: Implications for balancing stress and affect. In: *Psychoneuroendocrinology* 36 (9), S. 1312–1326. DOI: 10.1016/j.psyneuen.2011.03.003.

Damasio, A. R.; Grabowski, T. J.; Bechara, A.; Damasio, H.; Ponto, L. L.; Parvizi, J.; Hichwa, R. D. (2000): Subcortical and cortical brain activity during the feeling of self-generated emotions. In: *Nature neuroscience* 3 (10), S. 1049–1056. DOI: 10.1038/79871.

Denys, Katrien; Vanduffel, Wim; Fize, Denis; Nelissen, Koen; Sawamura, Hiromasa; Georgieva, Svetlana et al. (2004): Visual activation in prefrontal cortex is stronger in monkeys than in humans. In: *Journal of cognitive neuroscience* 16 (9), S. 1505–1516. DOI: 10.1162/0898929042568505.

Desikan, Rahul S.; Ségonne, Florent; Fischl, Bruce; Quinn, Brian T.; Dickerson, Bradford C.; Blacker, Deborah et al. (2006): An automated labeling system for subdividing the human cerebral cortex on MRI scans into gyral based regions of interest. In: *NeuroImage* 31 (3), S. 968–980. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2006.01.021.

- DiFazio, Lauren E.; Fanselow, Michael; Sharpe, Melissa J. (2022): The effect of stress and reward on encoding future fear memories. In: *Behavioural brain research* 417, S. 113587. DOI: 10.1016/j.bbr.2021.113587.
- Downing, P. E.; Jiang, Y.; Shuman, M.; Kanwisher, N. (2001): A cortical area selective for visual processing of the human body. In: *Science (New York, N.Y.)* 293 (5539), S. 2470–2473. DOI: 10.1126/science.1063414.
- Dreher, Jean-Claude; Kohn, Philip; Berman, Karen Faith (2006): Neural coding of distinct statistical properties of reward information in humans. In: *Cerebral cortex (New York, N.Y.: 1991)* 16 (4), S. 561–573. DOI: 10.1093/cercor/bhj004.
- Dreher, Jean-Claude; Meyer-Lindenberg, Andreas; Kohn, Philip; Berman, Karen Faith (2008): Age-related changes in midbrain dopaminergic regulation of the human reward system. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105 (39), S. 15106–15111. DOI: 10.1073/pnas.0802127105.
- Eickhoff, Simon B.; Grefkes, Christian (2011): Approaches for the integrated analysis of structure, function and connectivity of the human brain. In: *Clinical EEG and neuroscience* 42 (2), S. 107–121. DOI: 10.1177/155005941104200211.
- Eshel, Neir; Bukwich, Michael; Rao, Vinod; Hemmelder, Vivian; Tian, Ju; Uchida, Naoshige (2015): Erratum: Arithmetic and local circuitry underlying dopamine prediction errors. In: *Nature* 527 (7578), S. 398. DOI: 10.1038/nature15718.
- Everitt, B. J.; Morris, K. A.; O'Brien, A.; Robbins, T. W. (1991): The basolateral amygdala-ventral striatal system and conditioned place preference: further evidence of limbic-striatal interactions underlying reward-related processes. In: *Neuroscience* 42 (1), S. 1–18. DOI: 10.1016/0306-4522(91)90145-e.
- Ferretti, Antonio; Caulo, Massimo; Del Gratta, Cosimo; Di Matteo, Rosalia; Merla, Arcangelo; Montorsi, Francesco et al. (2005): Dynamics of male sexual arousal: distinct components of brain activation revealed by fMRI. In: *NeuroImage* 26 (4), S. 1086–1096. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2005.03.025.
- Fiederer, Carolina; Chand, Tara; Martens, Louise; Ristow, Inka; Durner, Verena; Abler, Birgit et al. (2025): Resting-state functional connectivity within the reward system mediates subcortical integration during erotic stimulus processing. In: *The world journal of biological psychiatry: the official journal of the World Federation of Societies of Biological Psychiatry* 26 (6), S. 244–253. DOI: 10.1080/15622975.2025.2509988.
- Fiorino, Dennis F.; Coury, Ariane; Phillips, Anthony G. (1997): Dynamic Changes in Nucleus Accumbens Dopamine Efflux During the Coolidge Effect in Male Rats. In: *The Journal of Neuroscience* 17 (12), S. 4849–4855. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.17-12-04849.1997.
- Flannigan, Ryan; Heier, Linda; Voss, Henning; Chazen, J. Levi; Paduch, Darius A. (2019): Functional Magnetic Resonance Imaging Detects Between-Group Differences in Neural Activation Among Men with Delayed Orgasm Compared with Normal Controls: Preliminary Report. In: *The journal of sexual medicine* 16 (8), S. 1246–1254. DOI: 10.1016/j.jsxm.2019.05.007.

- Fletcher, P. C.; Henson, R. N. (2001): Frontal lobes and human memory: insights from functional neuroimaging. In: *Brain: a journal of neurology* 124 (Pt 5), S. 849–881. DOI: 10.1093/brain/124.5.849.
- Forbes, E. E.; Brown, S. M.; Kimak, M.; Ferrell, R. E.; Manuck, S. B.; Hariri, A. R. (2007): Genetic variation in components of dopamine neurotransmission impacts ventral striatal reactivity associated with impulsivity. In: *Molecular psychiatry* 14 (1), S. 60–70. DOI: 10.1038/sj.mp.4002086.
- Forbes, E. E.; Brown, S. M.; Kimak, M.; Ferrell, R. E.; Manuck, S. B.; Hariri, A. R. (2009): Genetic variation in components of dopamine neurotransmission impacts ventral striatal reactivity associated with impulsivity. In: *Molecular psychiatry* 14 (1), S. 60–70. DOI: 10.1038/sj.mp.4002086.
- Fulwiler, Carl E.; King, Jean A.; Zhang, Nanyin (2012): Amygdala-Orbitofrontal Resting State Functional Connectivity is Associated with Trait Anger. In: *Neuroreport* 23 (10), S. 606–610. DOI: 10.1097/WNR.0b013e3283551cfc.
- Garcia-Martinez, Rolando; Miquel, Marta; Garcia, Luis I.; Coria-Avila, Genaro A.; Perez, Cesar A.; Aranda-Abreu, Gonzalo E. et al. (2010): Multiunit recording of the cerebellar cortex, inferior olive, and fastigial nucleus during copulation in naive and sexually experienced male rats. In: *Cerebellum (London, England)* 9 (1), S. 96–102. DOI: 10.1007/s12311-009-0148-y.
- Gehring, William J.; Willoughby, Adrian R. (2002): The medial frontal cortex and the rapid processing of monetary gains and losses. In: *Science (New York, N.Y.)* 295 (5563), S. 2279–2282. DOI: 10.1126/science.1066893.
- Georgiadis, J. R.; Kringelbach, M. L. (2012): The human sexual response cycle: brain imaging evidence linking sex to other pleasures. In: *Progress in neurobiology* 98 (1), S. 49–81. DOI: 10.1016/j.pneurobio.2012.05.004.
- Georgiadis, Janniko R. (2012): Doing it ... wild? On the role of the cerebral cortex in human sexual activity. In: *Socioaffective neuroscience & psychology* 2, S. 17337. DOI: 10.3402/snp.v2i0.17337.
- Georgiadis, Janniko R.; Farrell, Michael J.; Boessen, Ruud; Denton, Derek A.; Gavrilescu, Maria; Kortekaas, Rudie et al. (2010): Dynamic subcortical blood flow during male sexual activity with ecological validity: a perfusion fMRI study. In: *NeuroImage* 50 (1), S. 208–216. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2009.12.034.
- Georgiadis, Janniko R.; Kortekaas, Rudie; Kuipers, Rutger; Nieuwenburg, Arie; Pruim, Jan; Reinders, A. A. T. Simone; Holstege, Gert (2006): Regional cerebral blood flow changes associated with clitorally induced orgasm in healthy women. In: *The European journal of neuroscience* 24 (11), S. 3305–3316. DOI: 10.1111/j.1460-9568.2006.05206.x.
- Georgiadis, Janniko R.; Kringelbach, Morten L.; Pfaus, James G. (2012): Sex for fun: a synthesis of human and animal neurobiology. In: *Nature reviews. Urology* 9 (9), S. 486–498. DOI: 10.1038/nrurol.2012.151.
- Georgiadis, Janniko R.; Reinders, A. A. T. Simone; Paans, Anne M. J.; Renken, Remco; Kortekaas, Rudie (2009): Men versus women on sexual brain function:

- prominent differences during tactile genital stimulation, but not during orgasm. In: *Human brain mapping* 30 (10), S. 3089–3101. DOI: 10.1002/hbm.20733.
- Gillath, Omri; Canterberry, Melanie (2012): Neural correlates of exposure to subliminal and supraliminal sexual cues. In: *Social cognitive and affective neuroscience* 7 (8), S. 924–936. DOI: 10.1093/scan/nsr065.
- Glover, Gary H. (2011): Overview of functional magnetic resonance imaging. In: *Neurosurgery clinics of North America* 22 (2), 133–9, vii. DOI: 10.1016/j.nec.2010.11.001.
- Grabenhorst, Fabian; Rolls, Edmund T. (2011): Value, pleasure and choice in the ventral prefrontal cortex. In: *Trends in cognitive sciences* 15 (2), S. 56–67. DOI: 10.1016/j.tics.2010.12.004.
- Grabowski, Thomas J.; Damasio, Antonio R. (1996): Improving functional imaging techniques: The dream of a single image for a single mental event. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 93 (25), S. 14302–14303.
- Graf, Heiko; Abler, Birgit; Hartmann, Antonie; Metzger, Coraline D.; Walter, Martin (2013): Modulation of attention network activation under antidepressant agents in healthy subjects. In: *The international journal of neuropsychopharmacology* 16 (6), S. 1219–1230. DOI: 10.1017/S1461145712001368.
- Graf, Heiko; Metzger, Coraline D.; Walter, Martin; Abler, Birgit (2016): Sero-tonergic antidepressants decrease hedonic signals but leave learning signals in the nucleus accumbens unaffected. In: *Neuroreport* 27 (1), S. 18–22. DOI: 10.1097/WNR.0000000000000487.
- Graf, Heiko; Wieggers, Maike; Metzger, Coraline D.; Walter, Martin; Abler, Birgit (2018): Differential Noradrenergic Modulation of Monetary Reward and Visual Erotic Stimulus Processing. In: *Frontiers in psychiatry* 9. DOI: 10.3389/fpsy.2018.00346.
- Graf, Heiko; Wieggers, Maike; Metzger, Coraline D.; Walter, Martin; Grön, Georg; Abler, Birgit (2014): Erotic stimulus processing under amisulpride and reboxetine: a placebo-controlled fMRI study in healthy subjects. In: *The international journal of neuropsychopharmacology* 18 (2). DOI: 10.1093/ijnp/pyu004.
- Graf, Heiko; Wieggers, Maike; Metzger, Coraline Danielle; Walter, Martin; Grön, Georg; Abler, Birgit (2017): Noradrenergic modulation of neural erotic stimulus perception. In: *European neuropsychopharmacology: the journal of the European College of Neuropsychopharmacology* 27 (9), S. 845–853. DOI: 10.1016/j.euroneuro.2017.06.015.
- Grill-Spector, K.; Kourtzi, Z.; Kanwisher, N. (2001): The lateral occipital complex and its role in object recognition. In: *Vision research* 41 (10–11), S. 1409–1422. DOI: 10.1016/s0042-6989(01)00073-6.
- Groenewegen, H. J.; Berendse, H. W.; Wolters, J. G.; Lohman, A. H. (1990): The anatomical relationship of the prefrontal cortex with the striatopallidal system, the thalamus and the amygdala: evidence for a parallel organization. In: *Progress in*

brain research 85, 95-116; discussion 116-8. DOI: 10.1016/s0079-6123(08)62677-1.

Gulyás, Balázs; Kéri, Szabolcs; O'Sullivan, Brandon T.; Decety, Jean; Roland, Per E. (2004): The putative pheromone androstadienone activates cortical fields in the human brain related to social cognition. In: *Neurochemistry international* 44 (8), S. 595–600. DOI: 10.1016/j.neuint.2003.10.003.

Haber, S. N.; Lynd, E.; Klein, C.; Groenewegen, H. J. (1990a): Topographic organization of the ventral striatal efferent projections in the rhesus monkey: an anterograde tracing study. In: *The Journal of comparative neurology* 293 (2), S. 282–298. DOI: 10.1002/cne.902930210.

Haber, S. N.; Lynd-Balta, E.; Mitchell, S. J. (1993): The organization of the descending ventral pallidal projections in the monkey. In: *The Journal of comparative neurology* 329 (1), S. 111–128. DOI: 10.1002/cne.903290108.

Haber, S. N.; Wolfe, D. P.; Groenewegen, H. J. (1990b): The relationship between ventral striatal efferent fibers and the distribution of peptide-positive woolly fibers in the forebrain of the rhesus monkey. In: *Neuroscience* 39 (2), S. 323–338. DOI: 10.1016/0306-4522(90)90271-5.

Haber, Suzanne N.; Kim, Ki-Sok; Mailly, Philippe; Calzavara, Roberta (2006): Reward-related cortical inputs define a large striatal region in primates that interface with associative cortical connections, providing a substrate for incentive-based learning. In: *The Journal of Neuroscience* 26 (32), S. 8368–8376. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.0271-06.2006.

Haber, Suzanne N.; Knutson, Brian (2010): The reward circuit: linking primate anatomy and human imaging. In: *Neuropsychopharmacology: official publication of the American College of Neuropsychopharmacology* 35 (1), S. 4–26. DOI: 10.1038/npp.2009.129.

Halassa, Michael M.; Kastner, Sabine (2017): Thalamic functions in distributed cognitive control. In: *Nature neuroscience* 20 (12), S. 1669–1679. DOI: 10.1038/s41593-017-0020-1.

Halassa, Michael M.; Sherman, S. Murray (2019): Thalamocortical Circuit Motifs: A General Framework. In: *Neuron* 103 (5), S. 762–770. DOI: 10.1016/j.neuron.2019.06.005.

Hamann, Stephan; Herman, Rebecca A.; Nolan, Carla L.; Wallen, Kim (2004): Men and women differ in amygdala response to visual sexual stimuli. In: *Nature neuroscience* 7 (4), S. 411–416. DOI: 10.1038/nn1208.

Harris, Breanna N.; Carr, James A. (2016): The role of the hypothalamus-pituitary-adrenal/interrenal axis in mediating predator-avoidance trade-offs. In: *General and comparative endocrinology* 230-231, S. 110–142. DOI: 10.1016/j.ygcen.2016.04.006.

Harris, Glenda C.; Wimmer, Mathieu; Aston-Jones, Gary (2005): A role for lateral hypothalamic orexin neurons in reward seeking. In: *Nature* 437 (7058), S. 556–559. DOI: 10.1038/nature04071.

- Haynes, L. W.; Smyth, D. G.; Zakarian, S. (1982): Immunocytochemical localization of beta-endorphin (lipotropin C-fragment) in the developing rat spinal cord and hypothalamus. In: *Brain research* 232 (1), S. 115–128. DOI: 10.1016/0006-8993(82)90614-x.
- Heckel, Gerald; Fink, Sabine (2008): Evolution of the arginine vasopressin 1a receptor and implications for mammalian social behaviour. In: *Progress in brain research* 170, S. 321–330. DOI: 10.1016/S0079-6123(08)00426-3.
- Hernandez, L.; Hoebel, B. G. (1988): Food reward and cocaine increase extracellular dopamine in the nucleus accumbens as measured by microdialysis. In: *Life sciences* 42 (18), S. 1705–1712. DOI: 10.1016/0024-3205(88)90036-7.
- Holstege, Gert (2010): The emotional motor system and micturition control. In: *Neurourology and urodynamics* 29 (1), S. 42–48. DOI: 10.1002/nau.20789.
- Honey, C. J.; Sporns, O.; Cammoun, L.; Gigandet, X.; Thiran, J. P.; Meuli, R.; Hagmann, P. (2009): Predicting human resting-state functional connectivity from structural connectivity. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106 (6), S. 2035–2040. DOI: 10.1073/pnas.0811168106.
- Hu, Shaohua; Xu, Dongrong; Peterson, Bradley; Wang, Qidong; He, Xiaofu; Hu, Jianbo et al. (2013): Correction: Association of Cerebral Networks in Resting State with Sexual Preference of Homosexual Men: A Study of Regional Homogeneity and Functional Connectivity. In: *PLoS ONE* 8 (6). DOI: 10.1371/annotation/79003c6c-f167-463d-81db-e16b55c7a2dd.
- Huettel, Scott A. (2012): Event-related fMRI in cognition. In: *NeuroImage* 62 (2), S. 1152–1156. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2011.08.113.
- Huettel, Scott A.; Song, Allen W.; McCarthy, Gregory (2009): Functional magnetic resonance imaging. 2. ed. New York, Basingstoke: W. H. Freeman; Palgrave.
- Ishikawa, Junko; Sakurai, Yoshio; Ishikawa, Akinori; Mitsushima, Dai (2020): Contribution of the prefrontal cortex and basolateral amygdala to behavioral decision-making under reward/punishment conflict. In: *Psychopharmacology* 237 (3), S. 639–654. DOI: 10.1007/s00213-019-05398-7.
- Ito, Rutsuko; Robbins, Trevor W.; Everitt, Barry J. (2004): Differential control over cocaine-seeking behavior by nucleus accumbens core and shell. In: *Nature neuroscience* 7 (4), S. 389–397. DOI: 10.1038/nn1217.
- Jacob, S.; Kinnunen, L. H.; Metz, J.; Cooper, M.; McClintock, M. K. (2001): Sustained human chemosignal unconsciously alters brain function. In: *Neuroreport* 12 (11), S. 2391–2394. DOI: 10.1097/00001756-200108080-00021.
- Jiang, Xi; Zhu, Daijiang; Li, Kaiming; Zhang, Tuo; Shen, Dinggang; Guo, Lei; Liu, Tianming (2013): Predictive models of resting state networks for assessment of altered functional connectivity in MCI. In: *Medical image computing and computer-assisted intervention: MICCAI International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention* 16 (Pt 2), S. 674–681. DOI: 10.1007/978-3-642-40763-5_83.

- Kaasinen, V.; Vilkmann, H.; Hietala, J.; Nägren, K.; Helenius, H.; Olsson, H. et al. (2000): Age-related dopamine D2/D3 receptor loss in extrastriatal regions of the human brain. In: *Neurobiology of aging* 21 (5), S. 683–688. DOI: 10.1016/s0197-4580(00)00149-4.
- Kahnt, Thorsten; Chang, Luke J.; Park, Soyoung Q.; Heinzle, Jakob; Haynes, John-Dylan (2012): Connectivity-based parcellation of the human orbitofrontal cortex. In: *The Journal of Neuroscience* 32 (18), S. 6240–6250. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.0257-12.2012.
- Kalivas, Peter W.; Volkow, Nora D. (2005): The neural basis of addiction: a pathology of motivation and choice. In: *The American journal of psychiatry* 162 (8), S. 1403–1413. DOI: 10.1176/appi.ajp.162.8.1403.
- Karama, Sherif; Lecours, André Roch; Leroux, Jean-Maxime; Bourgouin, Pierre; Beaudoin, Gilles; Joubert, Sven; Beaugregard, Mario (2002): Areas of brain activation in males and females during viewing of erotic film excerpts. In: *Human brain mapping* 16 (1), S. 1–13.
- Kippin, Tod E.; Sotiropoulos, Veneta; Badih, Julia; Pfaus, James G. (2004): Opposing roles of the nucleus accumbens and anterior lateral hypothalamic area in the control of sexual behaviour in the male rat. In: *The European journal of neuroscience* 19 (3), S. 698–704. DOI: 10.1111/j.0953-816x.2003.03160.x.
- Knutson, Brian; Bhanji, Jamil P.; Cooney, Rebecca E.; Atlas, Lauren Y.; Gotlib, Ian H. (2008): Neural responses to monetary incentives in major depression. In: *Biological psychiatry* 63 (7), S. 686–692. DOI: 10.1016/j.biopsych.2007.07.023.
- Knutson, Brian; Cooper, Jeffrey C. (2005): Functional magnetic resonance imaging of reward prediction. In: *Current opinion in neurology* 18 (4), S. 411–417. DOI: 10.1097/01.wco.0000173463.24758.f6.
- Knutson, Brian; Fong, Grace W.; Bennett, Shannon M.; Adams, Charles M.; Hommer, Daniel (2003): A region of mesial prefrontal cortex tracks monetarily rewarding outcomes: characterization with rapid event-related fMRI. In: *NeuroImage* 18 (2), S. 263–272. DOI: 10.1016/s1053-8119(02)00057-5.
- Knutson, Brian; Greer, Stephanie M. (2008): Anticipatory affect: neural correlates and consequences for choice. In: *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences* 363 (1511), S. 3771–3786. DOI: 10.1098/rstb.2008.0155.
- Koob, George F.; Volkow, Nora D. (2016): Neurobiology of addiction: a neurocircuitry analysis. In: *The lancet. Psychiatry* 3 (8), S. 760–773. DOI: 10.1016/S2215-0366(16)00104-8.
- Koukounas, E.; McCabe, M. P. (2001): Sexual and emotional variables influencing sexual response to erotica: a psychophysiological investigation. In: *Archives of sexual behavior* 30 (4), S. 393–408. DOI: 10.1023/a:1010261315767.
- Kringelbach, Morten L.; Berridge, Kent C. (2012): The joyful mind. In: *Scientific American* 307 (2), S. 40–45. DOI: 10.1038/scientificamerican0812-40.
- Kroemer, Nils B.; Guevara, Alvaro; Ciocanea Teodorescu, Iuliana; Wuttig, Franziska; Kobiella, Andrea; Smolka, Michael N. (2014): Balancing reward and work:

- anticipatory brain activation in NAcc and VTA predict effort differentially. In: *NeuroImage* 102 Pt 2, S. 510–519. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2014.07.060.
- Kruger, Tillmann H. C.; Burri, Andrea; Schedlowski, Manfred (2011): Melatonin plasma levels during sexual arousal and orgasm in males. In: *The journal of sexual medicine* 8 (4), S. 1255–1256. DOI: 10.1111/j.1743-6109.2010.02048.x.
- Künig, G.; Leenders, K. L.; Martin-Sölch, C.; Missimer, J.; Magyar, S.; Schultz, W. (2000): Reduced reward processing in the brains of Parkinsonian patients. In: *Neuroreport* 11 (17), S. 3681–3687. DOI: 10.1097/00001756-200011270-00019.
- Labbate, L. A.; Lare, S. B. (2001): Sexual dysfunction in male psychiatric outpatients: validity of the Massachusetts General Hospital Sexual Functioning Questionnaire. In: *Psychotherapy and psychosomatics* 70 (4), S. 221–225. DOI: 10.1159/000056257.
- Levin, Roy J. (2002): The physiology of sexual arousal in the human female: a recreational and procreational synthesis. In: *Archives of sexual behavior* 31 (5), S. 405–411. DOI: 10.1023/a:1019836007416.
- Levin, Roy J. (2009): Revisiting post-ejaculation refractory time-what we know and what we do not know in males and in females. In: *The journal of sexual medicine* 6 (9), S. 2376–2389. DOI: 10.1111/j.1743-6109.2009.01350.x.
- Liu, Dongqiang; Dong, Zhangye; Zuo, Xinian; Wang, Jue; Zang, Yufeng (2013): Eyes-open/eyes-closed dataset sharing for reproducibility evaluation of resting state fMRI data analysis methods. In: *Neuroinformatics* 11 (4), S. 469–476. DOI: 10.1007/s12021-013-9187-0.
- Liu, Xun; Hairston, Jacqueline; Schrier, Madeleine; Fan, Jin (2011): Common and distinct networks underlying reward valence and processing stages: a meta-analysis of functional neuroimaging studies. In: *Neuroscience and biobehavioral reviews* 35 (5), S. 1219–1236. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2010.12.012.
- Löken, Line S.; Wessberg, Johan; Morrison, India; McGlone, Francis; Olausson, Håkan (2009): Coding of pleasant touch by unmyelinated afferents in humans. In: *Nature neuroscience* 12 (5), S. 547–548. DOI: 10.1038/nn.2312.
- MacNiven, Kelly H.; Leong, Josiah K.; Knutson, Brian (2020): Medial forebrain bundle structure is linked to human impulsivity. In: *Science advances* 6 (38). DOI: 10.1126/sciadv.aba4788.
- Mah, K.; Binik, Y. M. (2001): The nature of human orgasm: a critical review of major trends. In: *Clinical psychology review* 21 (6), S. 823–856. DOI: 10.1016/s0272-7358(00)00069-6.
- Mannella, Francesco; Gurney, Kevin; Baldassarre, Gianluca (2013): The nucleus accumbens as a nexus between values and goals in goal-directed behavior: a review and a new hypothesis. In: *Frontiers in behavioral neuroscience* 7, S. 135. DOI: 10.3389/fnbeh.2013.00135.
- Martínez-Navarro, Miriam; Maldonado, Rafael; Baños, Josep-E (2019): Why mu-opioid agonists have less analgesic efficacy in neuropathic pain? In: *European journal of pain (London, England)* 23 (3), S. 435–454. DOI: 10.1002/ejp.1328.

- McKenna, K. (1999): The brain is the master organ in sexual function: central nervous system control of male and female sexual function. In: *International journal of impotence research* 11 Suppl 1, S48-55. DOI: 10.1038/sj.ijir.3900484.
- Melis, Maria Rosaria; Sanna, Fabrizio; Argiolas, Antonio (2022): Dopamine, Erectile Function and Male Sexual Behavior from the Past to the Present: A Review. In: *Brain sciences* 12 (7). DOI: 10.3390/brainsci12070826.
- Mennes, Maarten; Kelly, Clare; Zuo, Xi-Nian; Di Martino, Adriana; Biswal, Bharat B.; Castellanos, F. Xavier; Milham, Michael P. (2010): Inter-individual differences in resting-state functional connectivity predict task-induced BOLD activity. In: *NeuroImage* 50 (4), S. 1690–1701. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2010.01.002.
- Menon, Vinod; Uddin, Lucina Q. (2010): Saliency, switching, attention and control: a network model of insula function. In: *Brain structure & function* 214 (5-6), S. 655–667. DOI: 10.1007/s00429-010-0262-0.
- Metzger, C. D.; Eckert, U.; Steiner, J.; Sartorius, A.; Buchmann, J. E.; Stadler, J. et al. (2010): High field fMRI reveals thalamocortical integration of segregated cognitive and emotional processing in mediodorsal and intralaminar thalamic nuclei. In: *Frontiers in neuroanatomy* 4, S. 138. DOI: 10.3389/fnana.2010.00138.
- Metzger, Coraline D.; Walter, Martin; Graf, Heiko; Abler, Birgit (2013): SSRI-related modulation of sexual functioning is predicted by pre-treatment resting state functional connectivity in healthy men. In: *Archives of sexual behavior* 42 (6), S. 935–947. DOI: 10.1007/s10508-013-0103-3.
- Metzger, Coraline D.; Wiegers, Maïke; Walter, Martin; Abler, Birgit; Graf, Heiko (2015): Local and Global Resting State Activity in the Noradrenergic and Dopaminergic Pathway Modulated by Reboxetine and Amisulpride in Healthy Subjects. In: *The international journal of neuropsychopharmacology* 19 (2). DOI: 10.1093/ijnp/pyv080.
- Montague, P. Read; Hyman, Steven E.; Cohen, Jonathan D. (2004): Computational roles for dopamine in behavioural control. In: *Nature* 431 (7010), S. 760–767. DOI: 10.1038/nature03015.
- Montejo, A. L.; Llorca, G.; Izquierdo, J. A.; Rico-Villademoros, F. (2001): Incidence of sexual dysfunction associated with antidepressant agents: a prospective multicenter study of 1022 outpatients. Spanish Working Group for the Study of Psychotropic-Related Sexual Dysfunction. In: *The Journal of clinical psychiatry* 62 Suppl 3, S. 10–21.
- Motta, Simone C.; Carobrez, Antônio P.; Canteras, Newton S. (2017): The periaqueductal gray and primal emotional processing critical to influence complex defensive responses, fear learning and reward seeking. In: *Neuroscience and biobehavioral reviews* 76 (Pt A), S. 39–47. DOI: 10.1016/j.neubio-rev.2016.10.012.
- Moulier, V.; Mouras, H.; Péligrini-Issac, M.; Glutrin, D.; Rouxel, R.; Grandjean, B. et al. (2006): Neuroanatomical correlates of penile erection evoked by photographic stimuli in human males. In: *NeuroImage* 33 (2), S. 689–699. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2006.06.037.

- Mourão-Miranda, J.; Volchan, E.; Moll, J.; Oliveira-Souza, R. de; Oliveira, L.; Bramati, I. et al. (2003): Contributions of stimulus valence and arousal to visual activation during emotional perception. In: *NeuroImage* 20 (4), S. 1955–1963. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2003.08.011.
- Mouras, H.; Stoléru, S.; Moulher, V.; Pélégriani-Issac, M.; Rouxel, R.; Grandjean, B. et al. (2008): Activation of mirror-neuron system by erotic video clips predicts degree of induced erection: an fMRI study. In: *NeuroImage* 42 (3), S. 1142–1150. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2008.05.051.
- Mouras, Harold; Stoléru, Serge; Bittoun, Jacques; Glutron, Dominique; Pélégriani-Issac, Mélanie; Paradis, Anne-Lise; Burnod, Yves (2003): Brain processing of visual sexual stimuli in healthy men: a functional magnetic resonance imaging study. In: *NeuroImage* 20 (2), S. 855–869. DOI: 10.1016/S1053-8119(03)00408-7.
- Nakamura, Kae (2013): The role of the dorsal raphé nucleus in reward-seeking behavior. In: *Frontiers in integrative neuroscience* 7, S. 60. DOI: 10.3389/fnint.2013.00060.
- Noori, Hamid R.; Cosa Linan, Alejandro; Spanagel, Rainer (2016): Largely overlapping neuronal substrates of reactivity to drug, gambling, food and sexual cues: A comprehensive meta-analysis. In: *European neuropsychopharmacology: the journal of the European College of Neuropsychopharmacology* 26 (9), S. 1419–1430. DOI: 10.1016/j.euroneuro.2016.06.013.
- Ntamati, Niels R.; Creed, Meaghan; Achargui, Ridouane; Lüscher, Christian (2019): Correction: Periaqueductal efferents to dopamine and GABA neurons of the VTA. In: *PLoS ONE* 14 (7), e0219476. DOI: 10.1371/journal.pone.0219476.
- O'Doherty, John P.; Dayan, Peter; Friston, Karl; Critchley, Hugo; Dolan, Raymond J. (2003): Temporal difference models and reward-related learning in the human brain. In: *Neuron* 38 (2), S. 329–337. DOI: 10.1016/s0896-6273(03)00169-7.
- Oei, Nicole Y. L.; Rombouts, Serge ARB; Soeter, Roelof P.; van Gerven, Joop M.; Both, Stephanie (2012): Dopamine Modulates Reward System Activity During Subconscious Processing of Sexual Stimuli. In: *Neuropsychopharmacology: official publication of the American College of Neuropsychopharmacology* 37 (7), S. 1729–1737. DOI: 10.1038/npp.2012.19.
- Ogawa, S.; Lee, T. M.; Kay, A. R.; Tank, D. W. (1990): Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 87 (24), S. 9868–9872. DOI: 10.1073/pnas.87.24.9868.
- Olausson, H.; Lamarre, Y.; Backlund, H.; Morin, C.; Wallin, B. G.; Starck, G. et al. (2002): Unmyelinated tactile afferents signal touch and project to insular cortex. In: *Nature neuroscience* 5 (9), S. 900–904. DOI: 10.1038/nn896.
- Omelchenko, Natalia; Sesack, Susan R. (2010): Periaqueductal gray afferents synapse onto dopamine and GABA neurons in the rat ventral tegmental area. In: *Journal of neuroscience research* 88 (5), S. 981–991. DOI: 10.1002/jnr.22265.

- Pakkenberg, Bente; Pelvig, Dorte; Marner, Lisbeth; Bundgaard, Mads J.; Gundersen, Hans Jørgen G.; Nyengaard, Jens R.; Regeur, Lisbeth (2003): Aging and the human neocortex. In: *Experimental gerontology* 38 (1-2), S. 95–99. DOI: 10.1016/s0531-5565(02)00151-1.
- Paredes-Ramos, Pedro; Pfaus, James G.; Miquel, Marta; Manzo, Jorge; Coria-Avila, Genaro A. (2011): Sexual reward induces Fos in the cerebellum of female rats. In: *Physiology & behavior* 102 (2), S. 143–148. DOI: 10.1016/j.physbeh.2010.11.004.
- Park, K.; Kang, H. K.; Seo, J. J.; Kim, H. J.; Ryu, S. B.; Jeong, G. W. (2001a): Blood-oxygenation-level-dependent functional magnetic resonance imaging for evaluating cerebral regions of female sexual arousal response. In: *Urology* 57 (6), S. 1189–1194. DOI: 10.1016/s0090-4295(01)00992-x.
- Park, K.; Seo, J. J.; Kang, H. K.; Ryu, S. B.; Kim, H. J.; Jeong, G. W. (2001b): A new potential of blood oxygenation level dependent (BOLD) functional MRI for evaluating cerebral centers of penile erection. In: *International journal of impotence research* 13 (2), S. 73–81. DOI: 10.1038/sj.ijir.3900649.
- Pauli, Wolfgang M.; Nili, Amanda N.; Tyszka, J. Michael (2018): A high-resolution probabilistic in vivo atlas of human subcortical brain nuclei. In: *Scientific data* 5, S. 180063. DOI: 10.1038/sdata.2018.63.
- Pessiglione, Mathias; Schmidt, Liane; Draganski, Bogdan; Kalisch, Raffael; Lau, Hakwan; Dolan, Ray J.; Frith, Chris D. (2007): How the brain translates money into force: a neuroimaging study of subliminal motivation. In: *Science (New York, N.Y.)* 316 (5826), S. 904–906. DOI: 10.1126/science.1140459.
- Pfaus, J. G.; Phillips, A. G. (1991): Role of dopamine in anticipatory and consummatory aspects of sexual behavior in the male rat. In: *Behavioral neuroscience* 105 (5), S. 727–743. DOI: 10.1037//0735-7044.105.5.727.
- Pfaus, James G. (2009): Pathways of sexual desire. In: *The journal of sexual medicine* 6 (6), S. 1506–1533. DOI: 10.1111/j.1743-6109.2009.01309.x.
- Poeppl, Timm B.; Langguth, Berthold; Laird, Angela R.; Eickhoff, Simon B. (2014): The functional neuroanatomy of male psychosexual and physiosexual arousal: a quantitative meta-analysis. In: *Human brain mapping* 35 (4), S. 1404–1421. DOI: 10.1002/hbm.22262.
- Poeppl, Timm B.; Langguth, Berthold; Rupprecht, Rainer; Laird, Angela R.; Eickhoff, Simon B. (2016a): A neural circuit encoding sexual preference in humans. In: *Neuroscience and biobehavioral reviews* 68, S. 530–536. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2016.06.025.
- Poeppl, Timm B.; Langguth, Berthold; Rupprecht, Rainer; Safron, Adam; Bzdok, Danilo; Laird, Angela R.; Eickhoff, Simon B. (2016b): The neural basis of sex differences in sexual behavior: A quantitative meta-analysis. In: *Frontiers in neuroendocrinology* 43, S. 28–43. DOI: 10.1016/j.yfrne.2016.10.001.
- Preuschoff, Kerstin; Bossaerts, Peter; Quartz, Steven R. (2006): Neural differentiation of expected reward and risk in human subcortical structures. In: *Neuron* 51 (3), S. 381–390. DOI: 10.1016/j.neuron.2006.06.024.

- Reber, P. J.; Stark, C. E.; Squire, L. R. (1998): Cortical areas supporting category learning identified using functional MRI. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 95 (2), S. 747–750. DOI: 10.1073/pnas.95.2.747.
- Redouté, J.; Stoléru, S.; Grégoire, M. C.; Costes, N.; Cinotti, L.; Lavenne, F. et al. (2000): Brain processing of visual sexual stimuli in human males. In: *Human brain mapping* 11 (3), S. 162–177. DOI: 10.1002/1097-0193(200011)11:3<162::aid-hbm30>3.0.co;2-a.
- Rees, Peter M.; Fowler, Clare J.; Maas, Cornelis P. (2007): Sexual function in men and women with neurological disorders. In: *Lancet (London, England)* 369 (9560), S. 512–525. DOI: 10.1016/S0140-6736(07)60238-4.
- Reiser, Maximilian; Semmler, W.; Hricak, Hedvig (2008): Magnetic resonance tomography. Berlin: Springer.
- Rigoux, Lionel; Guigon, Emmanuel (2012): A model of reward- and effort-based optimal decision making and motor control. In: *PLoS computational biology* 8 (10), e1002716. DOI: 10.1371/journal.pcbi.1002716.
- Robbins, T. W.; Everitt, B. J. (1996): Neurobehavioural mechanisms of reward and motivation. In: *Current opinion in neurobiology* 6 (2), S. 228–236. DOI: 10.1016/s0959-4388(96)80077-8.
- Robinson, Terry E.; Berridge, Kent C. (2003): Addiction. In: *Annual review of psychology* 54, S. 25–53. DOI: 10.1146/annurev.psych.54.101601.145237.
- Sakurai, Y.; Hirano, T. (1983): Multiple unit response in reward areas during operant conditioning reinforced by lateral hypothalamic stimulation in the rat. In: *Behavioural brain research* 8 (1), S. 33–48. DOI: 10.1016/0166-4328(83)90170-5.
- Salamone, John D.; Correa, Mercè (2012): The mysterious motivational functions of mesolimbic dopamine. In: *Neuron* 76 (3), S. 470–485. DOI: 10.1016/j.neuron.2012.10.021.
- Salience Network (2015). In: Brain Mapping, S. 597–611.
- Sanders, Ashley F. P.; Harms, Michael P.; Kandala, Sridhar; Marek, Scott; Somerville, Leah H.; Bookheimer, Susan Y. et al. (2023): Age-related differences in resting-state functional connectivity from childhood to adolescence. In: *Cerebral cortex (New York, N.Y.: 1991)* 33 (11), S. 6928–6942. DOI: 10.1093/cercor/bhad011.
- Savic, Ivanka; Berglund, Hans; Lindström, Per (2005): Brain response to putative pheromones in homosexual men. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102 (20), S. 7356–7361. DOI: 10.1073/pnas.0407998102.
- Schmidt, Casper; Morris, Laurel S.; Kvamme, Timo L.; Hall, Paula; Birchard, Thaddeus; Voon, Valerie (2017): Compulsive sexual behavior: Prefrontal and limbic volume and interactions. In: *Human brain mapping* 38 (3), S. 1182–1190. DOI: 10.1002/hbm.23447.
- Schneider, Frank (Hg.) (2013): Funktionelle MRT in Psychiatrie und Neurologie. Berlin: Springer.

Schneider, Frank; Fink, Gereon R. (Hg.) (2013): Funktionelle MRT in Psychiatrie und Neurologie. 142-143. 2., überarbeitete und aktualisierte Auflage 2013. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Schultz, W. (1997): Dopamine neurons and their role in reward mechanisms. In: *Current opinion in neurobiology* 7 (2), S. 191–197. DOI: 10.1016/s0959-4388(97)80007-4.

Schultz, W. (1998): The phasic reward signal of primate dopamine neurons. In: *Advances in pharmacology (San Diego, Calif.)* 42, S. 686–690. DOI: 10.1016/s1054-3589(08)60841-8.

Schultz, W.; Dayan, P.; Montague, P. R. (1997): A neural substrate of prediction and reward. In: *Science (New York, N.Y.)* 275 (5306), S. 1593–1599. DOI: 10.1126/science.275.5306.1593.

Schultz, Wolfram (2006): Behavioral theories and the neurophysiology of reward. In: *Annual review of psychology* 57, S. 87–115. DOI: 10.1146/annurev.psych.56.091103.070229.

Schultz, Wolfram (2016a): Dopamine reward prediction error coding. In: *Dialogues in clinical neuroscience* 18 (1), S. 23–32.

Schultz, Wolfram (2016b): Reward functions of the basal ganglia. In: *Journal of neural transmission (Vienna, Austria: 1996)* 123 (7), S. 679–693. DOI: 10.1007/s00702-016-1510-0.

Sescousse, Guillaume; Redouté, Jérôme; Dreher, Jean-Claude (2010): The Architecture of Reward Value Coding in the Human Orbitofrontal Cortex. In: *The Journal of Neuroscience* 30 (39), S. 13095–13104. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.3501-10.2010.

Sharpe, Melissa J.; Marchant, Nathan J.; Whitaker, Leslie R.; Richie, Christopher T.; Zhang, Yajun J.; Campbell, Erin J. et al. (2017): Lateral Hypothalamic GABAergic Neurons Encode Reward Predictions That Are Relayed to the Ventral Tegmental Area to Regulate Learning. In: *Current biology: CB* 27 (14), 2089-2100.e5. DOI: 10.1016/j.cub.2017.06.024.

Šimić, Goran; Tkalčić, Mladenka; Vukić, Vana; Mulc, Damir; Španić, Ena; Šagud, Marina et al. (2021): Understanding Emotions: Origins and Roles of the Amygdala. In: *Biomolecules* 11 (6). DOI: 10.3390/biom11060823.

Small, D. M.; Zatorre, R. J.; Dagher, A.; Evans, A. C.; Jones-Gotman, M. (2001): Changes in brain activity related to eating chocolate: from pleasure to aversion. In: *Brain: a journal of neurology* 124 (Pt 9), S. 1720–1733. DOI: 10.1093/brain/124.9.1720.

Small, Dana M.; Gregory, Michael D.; Mak, Y. Erica; Gitelman, Darren; Mesulam, M. Marsel; Parrish, Todd (2003a): Dissociation of neural representation of intensity and affective valuation in human gustation. In: *Neuron* 39 (4), S. 701–711. DOI: 10.1016/s0896-6273(03)00467-7.

Small, Scott A. (2003): Measuring correlates of brain metabolism with high-resolution MRI: a promising approach for diagnosing Alzheimer disease and mapping

its course. In: *Alzheimer disease and associated disorders* 17 (3), S. 154–161. DOI: 10.1097/00002093-200307000-00007.

Smith, Stephen M.; Fox, Peter T.; Miller, Karla L.; Glahn, David C.; Fox, P. M.; Mackay, Clare E. et al. (2009): Correspondence of the brain's functional architecture during activation and rest. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106 (31), S. 13040–13045. DOI: 10.1073/pnas.0905267106.

Stark, Rudolf; Schienle, Anne; Girod, Cornelia; Walter, Bertram; Kirsch, Peter; Blecker, Carlo et al. (2005): Erotic and disgust-inducing pictures--differences in the hemodynamic responses of the brain. In: *Biological psychology* 70 (1), S. 19–29. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2004.11.014.

Stein, L. (1978): Brain endorphins: possible mediators of pleasure and reward. In: *Neurosciences Research Program bulletin* 16 (4), S. 556–563.

Stellar, E. (1994): The physiology of motivation. 1954. In: *Psychological review* 101 (2), S. 301–311. DOI: 10.1037/0033-295x.101.2.301.

Stoléru, S.; Grégoire, M. C.; Gérard, D.; Decety, J.; Lafarge, E.; Cinotti, L. et al. (1999): Neuroanatomical correlates of visually evoked sexual arousal in human males. In: *Archives of sexual behavior* 28 (1), S. 1–21. DOI: 10.1023/a:1018733420467.

Stoléru, Serge; Fonteille, Véronique; Cornélis, Christel; Joyal, Christian; Moulrier, Virginie (2012): Functional neuroimaging studies of sexual arousal and orgasm in healthy men and women: a review and meta-analysis. In: *Neuroscience and biobehavioral reviews* 36 (6), S. 1481–1509. DOI: 10.1016/j.neubio-rev.2012.03.006.

Stoléru, Serge; Redouté, Jérôme; Costes, Nicolas; Lavenne, Frank; Le Bars, Didier; Dechaud, Henri et al. (2003): Brain processing of visual sexual stimuli in men with hypoactive sexual desire disorder. In: *Psychiatry research* 124 (2), S. 67–86.

Tanabe, Jody; Miller, David; Tregellas, Jason; Freedman, Robert; Meyer, Francois G. (2002): Comparison of detrending methods for optimal fMRI preprocessing. In: *NeuroImage* 15 (4), S. 902–907. DOI: 10.1006/nimg.2002.1053.

Tang, Y.; Kong, L.; Wu, F.; Womer, F.; Jiang, W.; Cao, Y. et al. (2013): Decreased functional connectivity between the amygdala and the left ventral prefrontal cortex in treatment-naïve patients with major depressive disorder: a resting-state functional magnetic resonance imaging study. In: *Psychological medicine* 43 (9), S. 1921–1927. DOI: 10.1017/S0033291712002759.

Teckentrup, Vanessa; van der Meer, Johan N.; Borchardt, Viola; Fan, Yan; Neuser, Monja P.; Tempelmann, Claus et al. (2019): The anterior insula channels prefrontal expectancy signals during affective processing. In: *NeuroImage* 200, S. 414–424. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2019.06.041.

Teves, Denise; Videen, Tom O.; Cryer, Philip E.; Powers, William J. (2004): Activation of human medial prefrontal cortex during autonomic responses to

- hypoglycemia. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 101 (16), S. 6217–6221. DOI: 10.1073/pnas.0307048101.
- Tryon, Valerie Lee; Mizumori, Sheri J. Y. (2018): A Novel Role for the Periaqueductal Gray in Consummatory Behavior. In: *Frontiers in behavioral neuroscience* 12, S. 178. DOI: 10.3389/fnbeh.2018.00178.
- Umemoto, A.; Holroyd, C. B. (2016): Exploring individual differences in task switching: Persistence and other personality traits related to anterior cingulate cortex function. In: *Progress in brain research* 229, S. 189–212. DOI: 10.1016/bs.pbr.2016.06.003.
- Umemoto, Akina; Lin, Hause; Holroyd, Clay B. (2023): Electrophysiological measures of conflict and reward processing are associated with decisions to engage in physical effort. In: *Psychophysiology* 60 (2), e14176. DOI: 10.1111/psyp.14176.
- van Steenbergen, Henk; Band, Guido P. H.; Hommel, Bernhard (2012): Reward valence modulates conflict-driven attentional adaptation: electrophysiological evidence. In: *Biological psychology* 90 (3), S. 234–241. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2012.03.018.
- Veening, J. G.; Coolen, L. M. (1998): Neural activation following sexual behavior in the male and female rat brain. In: *Behavioural brain research* 92 (2), S. 181–193. DOI: 10.1016/S0166-4328(97)00190-3.
- Velayos, J. L.; Reinoso-Suarez, F. (1982): Topographic organization of the brainstem afferents to the mediodorsal thalamic nucleus. In: *The Journal of comparative neurology* 206 (1), S. 17–27. DOI: 10.1002/cne.902060104.
- Volkow, N. D.; Logan, J.; Fowler, J. S.; Wang, G. J.; Gur, R. C.; Wong, C. et al. (2000): Association between age-related decline in brain dopamine activity and impairment in frontal and cingulate metabolism. In: *The American journal of psychiatry* 157 (1), S. 75–80. DOI: 10.1176/ajp.157.1.75.
- Walter, Martin; Bermppohl, Felix; Mouras, Harold; Schiltz, Kolja; Tempelmann, Claus; Rotte, Michael et al. (2008a): Distinguishing specific sexual and general emotional effects in fMRI-subcortical and cortical arousal during erotic picture viewing. In: *NeuroImage* 40 (4), S. 1482–1494. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2008.01.040.
- Walter, Martin; Stadler, Joerg; Tempelmann, Claus; Speck, Oliver; Northoff, Georg (2008b): High resolution fMRI of subcortical regions during visual erotic stimulation at 7 T. In: *Magma (New York, N.Y.)* 21 (1-2), S. 103–111. DOI: 10.1007/s10334-007-0103-1.
- Walton, Mark E.; Bannerman, David M.; Rushworth, Matthew F. S. (2002): The role of rat medial frontal cortex in effort-based decision making. In: *The Journal of Neuroscience* 22 (24), S. 10996–11003.
- Walum, Hasse; Westberg, Lars; Henningsson, Susanne; Neiderhiser, Jenae M.; Reiss, David; Igl, Wilmar et al. (2008): Genetic variation in the vasopressin receptor 1a gene (AVPR1A) associates with pair-bonding behavior in humans. In:

Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 105 (37), S. 14153–14156. DOI: 10.1073/pnas.0803081105.

Wang, Yanlu; Li, Tie-Qiang (2013): Analysis of whole-brain resting-state fMRI data using hierarchical clustering approach. In: *PLoS ONE* 8 (10), e76315. DOI: 10.1371/journal.pone.0076315.

Wang, Yue; Dong, Minghao; Guan, Min; Wu, Jia; He, Zhen; Zou, Zhi et al. (2017): Aberrant Insula-Centered Functional Connectivity in Psychogenic Erectile Dysfunction Patients: A Resting-State fMRI Study. In: *Frontiers in human neuroscience* 11, S. 221. DOI: 10.3389/fnhum.2017.00221.

Watabe-Uchida, Mitsuko; Zhu, Lisa; Ogawa, Sachie K.; Vamanrao, Archana; Uchida, Naoshige (2012): Whole-brain mapping of direct inputs to midbrain dopamine neurons. In: *Neuron* 74 (5), S. 858–873. DOI: 10.1016/j.neuron.2012.03.017.

Weil, Zachary M.; Zhang, Qiuyu; Hornung, Allison; Blizard, David; Pfaff, Donald W. (2010): Impact of generalized brain arousal on sexual behavior. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107 (5), S. 2265–2270. DOI: 10.1073/pnas.0914014107.

White, Brian R.; Snyder, Abraham Z.; Cohen, Alexander L.; Petersen, Steven E.; Raichle, Marcus E.; Schlaggar, Bradley L.; Culver, Joseph P. (2009): Resting-state functional connectivity in the human brain revealed with diffuse optical tomography. In: *NeuroImage* 47 (1), S. 148–156. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2009.03.058.

Whitfield-Gabrieli, Susan; Nieto-Castanon, Alfonso (2012): Conn: a functional connectivity toolbox for correlated and anticorrelated brain networks. In: *Brain connectivity* 2 (3), S. 125–141. DOI: 10.1089/brain.2012.0073.

Wolf, Robert Christian; Sambataro, Fabio; Vasic, Nenad; Schmid, Markus; Thomann, Philipp Arthur; Bientreue, Sara Doris; Wolf, Nadine Donata (2011): Aberrant connectivity of resting-state networks in borderline personality disorder. In: *Journal of Psychiatry & Neuroscience: JPN* 36 (6), S. 402–411. DOI: 10.1503/jpn.100150.

Wolff, Mathieu; Vann, Seralynne D. (2019): The Cognitive Thalamus as a Gateway to Mental Representations. In: *The Journal of Neuroscience* 39 (1), S. 3–14. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.0479-18.2018.

Woodson, James C. (2002): Including 'learned sexuality' in the organization of sexual behavior. In: *Neuroscience and biobehavioral reviews* 26 (1), S. 69–80. DOI: 10.1016/s0149-7634(01)00039-2.

Yacubian, Juliana; Sommer, Tobias; Schroeder, Katrin; Gläscher, Jan; Kalisch, Raffael; Leuenberger, Boris et al. (2007): Gene-gene interaction associated with neural reward sensitivity. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104 (19), S. 8125–8130. DOI: 10.1073/pnas.0702029104.

Yee, Debbie M.; Crawford, Jennifer L.; Lamichhane, Bidhan; Braver, Todd S. (2021): Dorsal Anterior Cingulate Cortex Encodes the Integrated Incentive

Motivational Value of Cognitive Task Performance. In: *The Journal of Neuroscience* 41 (16), S. 3707–3720. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.2550-20.2021.

Young, Larry J.; Wang, Zuoxin (2004): The neurobiology of pair bonding. In: *Nature neuroscience* 7 (10), S. 1048–1054. DOI: 10.1038/nn1327.

Zago, Daniane C.; Santos, Alessandro C.; Lanes, Carlos F. C.; Almeida, Daniela V.; Koakoski, Gessi; Abreu, Murilo S. de et al. (2018): Aloysia triphylla in the zebrafish food: effects on physiology, behavior, and growth performance. In: *Fish physiology and biochemistry* 44 (2), S. 465–474. DOI: 10.1007/s10695-017-0446-0.

<http://dbm.neuro.uni-jena.de/cat/index.html#VBM>; [Zugriff 10.09.2019]

<https://osf.io/jkzwp/>; [Zugriff 18.11.2019]

Anhang

Anatomische Region	Seite L/R	Cluster Größe (NV)	Peak voxel (MNI, mm)			T (Spitzenwert)	pFWE (Cluster-level)
			x	y	z		
Occipitotemporaler Kortex	R	779	51	-61	-10	10,20	<0,001
Lateral occipitaler Kortex	R		36	-76	8	5,89	<0,001
Supramarginaler Kortex (Parietaler Kortex)	L	733	-54	-31	26	4,08	<0,001
präfrontaler Kortex	L		-66	-25	32	9,82	<0,001
Lateral occipitaler Gyrus	L		-30	-37	29	3,60	<0,001
Lateral occipitaler Gyrus	L	1292	-45	-67	-1	9,71	<0,001
Cerebellum	L		-24	-61	-28	6,27	<0,001
Lateraler occipitaler Gyrus	L		-33	-82	8	5,84	<0,001
Inferiorer Frontallappen	R	5295	48	8	20	9,31	<0,001
Mittelhirn	L		-3	-25	-13	9,08	<0,001
Periaquäduktale Höhlengrau			0	-31	-19	8,37	<0,001
Parietaler Kortex (Operculum)	R	879	63	-28	26	8,77	<0,001
Inferiorer Parietallappen	R		51	-22	32	7,32	<0,001
Postcentraler Kortex	R		33	-37	38	6,04	<0,001
Inferiorer Semilunarlappen (Cerebellum)	R	305	27	-61	-28	5,66	<0,001
Cerebellum	R		18	-67	-40	5,41	<0,001

Tabelle A1: Haupteffekt der Videoaufgabe bei Hinzunahme des Alters als zweite Kovariate: Vergleich erotischer und nicht erotischer Clips; $p < 0,001$, FWE cluster-level.

Anatomische Region	Seite L/R	Cluster Größe (NV)	Peak Voxel (MNI, mm)			T (Spitzenwert)	pFWE (Cluster-level)	p (unkorrigiert) (Cluster level)
			x	y	z			
Hypothalamus	R	115	9	-7	-7	4,80	0,004	0,002
Mittelhirn	R		3	-25	-13	4,54	0,004	0,002
Mittelhirn	R		12	-10	-4	4,56	0,004	0,002
Thalamus	R		12	-10	5	4,39	0,004	0,002
Periaquädktales Grau	R		6	-31	-4	3,93	0,004	0,002
Cerebellum	L	51	-30	-61	-31	4,66	0,047	0,028
Cerebellum	L		-33	-64	-28	4,65	0,047	0,028
Ventrales tegmentales Areal	L	37	-12	-10	-7	4,37	0,092	0,056
Hypothalamus	L		-9	-7	-4	4,26	0,092	0,056

Tabelle A2: Hirnregionen mit signifikantem Zusammenhang zwischen differentieller (erotischer gegenüber nicht erotischer) neuronaler Reaktionsfähigkeit unter Hinzunahme des Alters als zweite Kovariate während visuell-erotischer Stimulation und rs-FC zwischen den ROIs des Nucleus accumbens und dem Mittelhirn. Eine signifikante Aktivierung zeigt sich erneut in Hypothalamus, Thalamus, Mittelhirn sowie periaquäduktalem Grau und auch im Cerebellum.

Seite L/R	Cluster Größe k (NV)	Peak Voxel (MNI, mm)			T (Spitzenwert)	pFWE (Cluster- level)	p (unkorrigiert) (Cluster level)
		x	y	z			
L	33	-21	-37	20	4,34	0,378	0,069
	33	-27	-43	14	3,87	0,378	0,069
	7	-6	5	14	4,17	0,930	0,386
	3	69	-37	-28	3,98	0,982	0,582
	2	-21	-25	35	3,79	0,990	0,662
	2	3	-31	14	3,51	0,990	0,662
	5	0	-10	20	3,40	0,960	0,467
	1	24	-40	17	3,39	0,995	0,771

Tabelle A3: Es zeigen sich keine signifikanten Effekte bei der Alterskorrelation; $p < 0,001$.

7. Erklärung der Autorenschaft

Erklärung zum Eigenanteil der Dissertationsschrift

Die Promotion erfolgte an der Universitätsklinik für Psychiatrie und Psychotherapie der Eberhard-Karls-Universität Tübingen in der Abteilung Translationale Psychiatrie. Die Arbeit wurde betreut von Herrn Professor Dr. med. Martin Walter in Kooperation mit Herrn Professor Dr. med. Heiko Graf (Universität Ulm).

Durch meine Person erfolgte am Standort Tübingen die Rekrutierung und Datenerhebung im Rahmen der multizentrischen und multimodalen SyBil-AA Studie (Systems Biology of Alcohol Addiction). Im Rahmen der funktionell magnetresonanztomographischen Untersuchungen verwendeten wir ein erotisches Video-clip-Paradigma zur Untersuchung neurofunktioneller Aktivierung motivationaler Prozesse, welches auch in anderen Studien an der Universität Ulm zur Untersuchung sexueller Motivation verwendet worden war. Grundlage meiner Auswertungen im Rahmen der Dissertation bilden ausschließlich die in Ulm im Rahmen früherer Studien erhobenen Rohdaten. Aufgrund der damals noch anhaltenden Datenerhebung des EU-weiten multizentrischen Projekts konnte ich, auf der Grundlage des kooperativ angelegten Projekts der Universitäten Ulm und Tübingen, nach freundlicher Genehmigung, bereits zwischen 2008 und 2012 erhobene Daten, für die Untersuchung von Ruhekonnektivitäten und differentiellen neurofunktionellen Aktivierungen nach visueller erotischer Stimulation nutzen.

Die Auswertungen der funktionell bildgebenden Rohdaten erfolgte eigenständig durch mich, nach Einarbeitung von Louise Martens (Einarbeitung in MATLAB und SPM). Eine weitere Unterstützung zu spezifischen neurofunktionellen Analyseverfahren und zur Erstellung graphischer Darstellungen erfolgte durch Tara Chand (small volume correction) und Inka Ristow (Erstellung Glass Brain). Sämtliche Auswertungen der fMRT- Daten erfolgten maßgeblich eigenständig durch mich.

Darüber hinaus erfolgte die selbständige Darstellung der Ergebnisse sowie die Interpretation und Diskussion der Ergebnisse in Rücksprache mit Herrn Prof. Walter sowie Herrn Prof. Graf.

Ich versichere, dass das Manuskript selbständig von mir verfasst wurde und ich keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet habe. Die im Rahmen meiner Doktorarbeit erhobenen und ausgewerteten Daten sollten in einer hochrangigen und international anerkannten Zeitschrift veröffentlicht werden und sind inzwischen im The World Journal of Biological Psychiatry 2025 veröffentlicht worden.

Die Konzeption der Studie erfolgte durch Herrn Prof. Dr. Martin Walter (Tübingen) sowie durch Frau Prof. Dr. B. Abler und Herrn Prof. Dr. H. Graf (Ulm). Die Akquise der in der wissenschaftlichen Veröffentlichung berücksichtigten Daten erfolgte am Standort Ulm durch Frau Prof. Dr. B. Abler und Herrn Prof. Dr. H. Graf.

Die Auswertung der fMRT-Daten erfolgte maßgeblich durch mich nach Einarbeitung, Anleitung und durch Unterstützung von Tara Chand, Inka Ristow, Prof. Dr. H. Graf sowie Prof. Dr. M. Walter.

Die Einleitung erfolgte durch mich in Rücksprache mit Herrn Prof. Dr. H. Graf. Die Darstellung der angewandten Methoden erfolgte durch mich in Unterstützung von Herrn Prof. Dr. M. Walter und Herrn Prof. Dr. H. Graf. Die Ergebnisdarstellung erfolgte durch mich in Unterstützung von Herrn Prof. Dr. M. Walter und Herrn Prof. Dr. H. Graf. Die Diskussion und Interpretation der Daten erfolgte maßgeblich durch mich durch Unterstützung von Herrn Prof. Dr. H. Graf sowie Frau Dr. V. Durner.

Unterschrift

8. Veröffentlichungen:

Teile der vorliegenden Dissertationsschrift wurden bereits in den folgenden Publikationen veröffentlicht:

Fiederer, Carolina; Chand, Tara; Martens, Louise; Ristow, Inka; Durner, Verena; Abler, Birgit et al. Resting-state functional connectivity within the reward system mediates subcortical integration during erotic stimulus processing. In: *The world journal of biological psychiatry: the official journal of the World Federation of Societies of Biological Psychiatry* 26 (6), (2025): S. 244–253. DOI: 10.1080/15622975.2025.2509988.

Danksagung

Während der Arbeit an dieser Dissertation habe ich viel Unterstützung erfahren. Dafür möchte ich mich herzlich bedanken. Einige Menschen sind dabei besonders hervorzuheben.

Ein besonderer Dank geht an Professor Graf und Professor Walter.

Vielen Dank an meinen Doktorvater Professor Dr. med. Martin Walter, dass Sie mir die Möglichkeit gegeben haben, an der wissenschaftlichen Forschung mitzuwirken und hier Erfahrung zu sammeln. Danke für all die Tipps, Hinweise und Herausforderungen, die mir geholfen haben, zu lernen und danke, dass Sie für alle möglichen Fragen erreichbar waren.

Vielen herzlichen Dank an Professor Dr. med. Graf, der mir freundlicherweise die Daten für die Analyse zur Verfügung gestellt hat. Zusätzlich war er für mich der erste Ansprechpartner bezüglich des Papers. Vielen Dank für die große Hilfe und die vielen Telefonate.

Mein besonderer Dank gilt Louise Martens und Tara Chand, die mir so viel mit MATLAB und SPM geholfen haben und die sehr geduldig waren, alle meine Fragen zu beantworten und ein Auge auf meine Analysen zu haben.

Genauso geht ein großer Dank an Inka Ristow, die mir netterweise mit den Programmen für die Hirnansichten geholfen hat und mir auch immer für Fragen zur Verfügung stand.

Außerdem möchte ich mich bei den Mitgliedern des CANLAB-Teams in Tübingen bedanken, die immer hilfsbereit, motivierend und inspirierend bei ihrer großartigen wissenschaftlichen Arbeit waren, besonderen Dank für eure Unterstützung: Nils Kroemer, Larissa Katz, Kathrin Mayer, Katharina Krug, Vanessa Kasties, Luisa Herrmann.

Ich bin sehr dankbar für meine Familie, meine Eltern und meine Schwestern und meine Freunde, die immer hinter mir stehen.

Ein großes Dankeschön geht an meinen Freund Raphael, der mich immer wieder aufgebaut und motiviert hat, der immer für mich da war und der mir so oft den Rücken freigehalten hat.