

Aus der Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Untersuchung des Zusammenhangs von allgemeinem Stressempfinden
und der Aktivierung neuronaler Areale
während der Durchführung eines Stressinduktionsparadigmas

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der
Medizin
der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von

Luisa von den Driesch
aus Karlsruhe

Mainz, 2021

Tag der Promotion:

07.12.2021

Widmung

Für meine Lieben

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	iv
Abkürzungsverzeichnis	vii
Abbildungsverzeichnis	viii
Tabellenverzeichnis	ix
1 Einleitung	1
2 Theoretischer Hintergrund	4
2.1 Grundlagen des Resilienzkonzeptes	4
2.1.1 Einfluss belastender Lebensereignisse auf die Ausbildung resilienten Verhaltens	6
2.1.2 Einfluss weiterer Faktoren auf die Ausbildung resilienten Verhaltens	10
2.2 Erfassung von Stress	14
2.2.1 Experimentelle Stressinduktion	14
2.2.1.1 Grundlagen des fMRT	16
2.2.1.2 Neuronale Aktivierung während der Stressinduktion	18
2.2.1.3 Zusammenfassende Analyse effektiver neuronaler Stressverarbeitung	29
2.2.2 Erfassung des allgemeinen subjektiven Stressempfindens	29
2.2.2.1 Allgemeines subjektives Stressempfinden als resilienzassoziierter Parameter	32
2.2.3 Korrelationen objektiver und subjektiver Stressparameter	34
3 Hypothesen	35
4 Methoden	37
4.1 Allgemeines	37
4.2 Stichprobe	38
4.2.1 Rekrutierung	38
4.2.2 Ein- und Ausschlusskriterien	38
4.2.3 Vergütung	42

6.3 Diskussion der neuronalen Ergebnisse	70
6.3.1 Aktivierung neuronaler Strukturen während der Stressinduktion	70
6.3.2 Deaktivierung neuronaler Strukturen während der Stressinduktion	75
6.3.3 Diskussion der Ergebnisse weiterführender Analysen	77
6.4 Diskussion der Ergebnisse korrelativer Analysen	81
6.4.1 Negative Korrelation zwischen subjektivem Stressempfinden und der Deaktivierung des linken Gyrus occipitalis superior	82
6.4.2 Diskussion fehlender Korrelationen zwischen allgemeinem subjektivem Stressempfinden und dem Aktivierungsverhalten der ROIs	83
7 Limitationen	87
8 Zusammenfassung	90
9 Literatur	91
10 Anhang	120
A Perceived Stress Scale	120
B Instruktionen	121
C Bildungsgrad in Bildungsjahren	124

Abkürzungsverzeichnis

ACC.....	anteriorer cingulärer Kortex
al.....	anteriore Insula
dACC.....	dorsaler anteriorer cingulärer Kortex
dIPFC.....	dorsolateraler präfrontaler Kortex
GR.....	Glukokortikoidrezeptor
HC.....	Hippocampus
HHPA.....	Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden Achse
MIST.....	Montreal Imaging Stress Task
mPFC.....	medialer präfrontaler Kortex
MRT.....	Magnetresonanztomograph
MTRA.....	Medizinisch-technische RadiologieassistentIn
NAc.....	Nucleus Accumbens
NLE.....	negatives Life-Event
pgACC.....	perigenualer anteriorer cingulärer Kortex
RF.....	Resilienzfaktor
ROI.....	Region of Interest
ScanSTRESS-C.....	kompakter ScanSTRESS
SD.....	Standardabweichung
SE.....	Stressempfinden
TSST.....	Trier Social Stress Test
vACC.....	ventraler anteriorer cingulärer Kortex
vgl.....	vergleiche
vmPFC.....	ventromedialer präfrontaler Kortex
vS.....	ventrales Striatum
YLD.....	Years lived with Disability
z.B.....	zum Beispiel

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Differenzierung von Resilienzfaktoren, Resilienzmechanismen und Resilienz als Outcome (aus Kalisch et al. 2015)	14
Abbildung 2 Übersicht zum Prüfablauf	46
Abbildung 3 Übersicht des Studiendesigns	47
Abbildung 4 Bildschirm des Probanden während der Leistungsphase	49
Abbildung 5 Bildschirm des Probanden während der Leistungsaufgabe und Versuchsdesign des ScanSTRESS (aus Streit et al. 2014)	51
Abbildung 6 Grafische Darstellung des Kontrasts Stress > Kontrolle (<i>whole-brain</i> -Analyse, $p_{FWE} < 0.05$)	62
Abbildung 7 Grafische Darstellung des Kontrasts Kontrolle > Stress (<i>whole-brain</i> -Analyse, $p_{FWE} < 0.05$)	63
Abbildung 8 Grafische Darstellung der negativen Korrelation von subjektivem Stressempfinden und der Deaktivierung neuronaler Areale während der Stressbedingung (<i>whole-brain</i> -Analyse, $p_{FWE} < 0.05$)	65

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Übersicht der Aktivierung neuronaler Areale während der Induktion von Stress	28
Tabelle 2 Ein- und Ausschlusskriterien der Studienteilnahme	41
Tabelle 3 Statistische Auswertung des Bildungsgrades in Bildungsjahren	57
Tabelle 4: Statistische Auswertung der Schulabschlüsse	57
Tabelle 5: Statistische Auswertung der aktuellen Tätigkeit	58
Tabelle 6: Statistische Auswertung der PSS-10	59
Tabelle 7: Vergleich der Stichproben von der vorliegenden Studie und der Validierungsstudie der deutschen Version der PSS-10	59
Tabelle 8: Lokale Maxima des Kontrasts Stress > Kontrolle	61
Tabelle 9: Lokale Maxima des Kontrasts Kontrolle > Stress	63
Tabelle 10: Lokales Maximum der negativen Korrelation von subjektivem Stressempfinden und der Deaktivierung neuronaler Areale während der Stressbedingung	65

1 Einleitung

Seit einigen Jahren prägen zunehmender Zeitdruck und Stress den Arbeitsalltag vieler Menschen (Dunckel und Resch 2004). Ein hohes Stressniveau wurde in verschiedenen Bevölkerungsgruppen nachgewiesen, darunter bei Studierenden (Mechanic und Greenley 1976), Büroangestellten (Narayanan et al. 1999) und Industrie- (Brešić et al. 2007) sowie SozialarbeiterInnen (Collings und Murray 1996). Darüber hinaus wurden negative Auswirkungen von Stress am Arbeitsplatz auf die Leistungsfähigkeit von Angestellten festgestellt (Dar 2011). In zahlreichen Studien konnte außerdem ein Zusammenhang zwischen erhöhtem Lebensstress und dem Auftreten von physischen (Genest 1989) und psychischen Erkrankungen, wie Depressionen, festgestellt werden (*The World Health Report* 2001; Keller et al. 2012; Vos et al. 2015). Dabei konnte über die letzten Jahre hinweg ein steter Anstieg der globalen Krankheitslast (*Global Burden of Disease*) stressassoziiierter Erkrankungen festgestellt werden, welche eine erhöhte Prävalenz, Inzidenz und Anzahl an Lebensjahren mit der Erkrankung (*Years lived with Disability, YLD*) impliziert (Vos et al. 2015). Die Major Depression beispielsweise nimmt im Vergleich zu den weltweit häufigsten Erkrankungen hinter Rückenschmerzen Platz zwei der YLD ein (Vos et al. 2015). 2011 lag die Prävalenz psychischer Erkrankungen in der EU bei knapp 40 % und damit deutlich höher als 2005 mit 27 % (Wittchen et al. 2011). Allen und Kollegen (2017) rücken dabei die Bedeutung von chronischem Stress als wesentliche Ursache der Entstehung neuropsychiatrischer Erkrankungen in den Vordergrund. Dabei ist zu beachten, dass psychische Erkrankungen über das individuelle Krankheitsleiden hinaus hohe indirekte Kosten, wie Produktivitätsausfälle, mit sich bringen. 2004 betragen beispielsweise die direkten und indirekten Kosten der Behandlung von Depressionen in der EU schätzungsweise 118 Milliarden Euro, wobei 42 Milliarden auf direkte Kosten und 76 Milliarden Euro auf indirekte Kosten zurückzuführen waren (Sobocki et al. 2006). Vor diesem Hintergrund sollten laut WHO neuropsychiatrische Erkrankungen als ein Top-Thema der globalen Gesundheitsfragen des 21. Jahrhunderts gesehen werden (*The World Health Report* 2001).

Neben dem beschriebenen Stress am Arbeitsplatz bewirken zahlreiche weitere Faktoren ein erhöhtes Empfinden von Stress (Ensel und Lin 1991). Dazu gehören beispielsweise chronische Stressoren wie andauernde familiäre Konflikte (Feuerstein et al. 1985) und akuter Stress wie das Erleben eines traumatischen Lebensereignisses (Engelhard et al. 2001). Auch hier konnten negative Auswirkungen auf die psychische

1 Einleitung

Gesundheit festgestellt werden (Fowler et al. 2013; Phelan et al. 1991). Gleichzeitig ist zu bedenken, dass zwar mehr als der Hälfte der Bevölkerung in ihrem Leben mindestens ein traumatisches Ereignis oder eine herausfordernde Lebenssituation wie der Umgang mit einer ernsthaften körperlichen Erkrankung widerfährt, sich davon aber die meisten Menschen erholen ohne jemals eine psychische Erkrankung zu entwickeln (Consten 2016; Leontjevas 2014). Mehr als ein Drittel der Betroffenen berichten danach sogar von einer Steigerung der Lebensqualität (Aspinwall und MacNamara 2005; Consten 2016). Vor diesem Hintergrund ist es von gesamtgesellschaftlicher Relevanz, sich sowohl mit der Erforschung von Stress als auch mit dem Themenkomplex *Resilienz* zu befassen (Allen et al. 2017; Russo et al. 2012).

Kalisch und Kollegen (2015) definieren Resilienz als einen guten, stabilen gesundheitlichen Zustand oder eine relativ schnelle, erfolgreiche Erholung nach einem potentiell traumatisierenden Erlebnis oder nach einem von Widrigkeiten geprägten Lebensabschnitt. Dieser effektive Umgang mit Stress legt nahe, dass Resilienz mit einer veränderten Wahrnehmung und kognitiven Verarbeitung von potentiell stressigen Situationen einhergeht (Kalisch et al. 2015; Kobasa 1979; Southwick et al. 2005): Smith und Kollegen (2008) konnten anhand von Fragebögen eine negative Korrelation zwischen dem allgemeinen subjektiven Stressempfinden und subjektiver Resilienz feststellen (vgl. Kapitel 2.2.2.1). Darüber hinaus zeigten Skok und Kollegen (2006) eine negative Korrelation zwischen allgemeinem subjektiven Stressempfinden und körperlicher Gesundheit als einer Möglichkeit, Resilienz zu messen, auf (vgl. Kapitel 2.1). Bereits hier wird die Multidimensionalität des Themenkomplexes Resilienz deutlich, die eine Herausforderung für die Operationalisierung von Resilienz darstellt (Russo et al. 2012). Eine Möglichkeit, Resilienz zu erfassen, stellt der effektive Umgang mit Stress dar. Dieser kann zum einen anhand von Fragebögen erfasst werden, die einen Einblick in die subjektive Einschätzung des effektiven Umgangs mit Stress ermöglichen. Es können aber auch objektive Parameter, wie die neuronale Aktivierung, als Korrelat eines effektiven Umgangs mit Stress erfasst werden.

Jones und Tanner (2015) betonen dabei die Wichtigkeit der Erforschung potentieller Zusammenhänge von sowohl subjektiv als auch objektiv erfasster Resilienz, um bisher angenommene Zusammenhänge zu überprüfen und ein tieferes Verständnis für dieses komplexe Thema zu erlangen. Vor diesem Hintergrund wird in Kapitel 2.2.3 ein Überblick über Studien gegeben, die die Zusammenhänge subjektiver und objektiver Stressparameter erforschen. Dabei konnte die Mehrheit der Studien keine Korrelationen zwischen den beiden Themenkomplexen aufweisen.

1 Einleitung

In der vorliegenden Arbeit wird untersucht, inwiefern eine subjektiv geringere Einschätzung von erlebtem Stress mit der Aktivierung neuronaler Areale während des Erlebens einer stressigen Situation korreliert.

2 Theoretischer Hintergrund

In dieser Arbeit wird der Zusammenhang zwischen alltäglichem subjektiven Stressempfinden und der Aktivierung neuronaler Korrelate während der Durchführung eines Stressparadigmas im Magnetresonanztomographen (MRT) untersucht. Für die Messung des subjektiven Stressempfindens wurde ein Fragebogen verwendet, der das erlebte Stressempfinden während der vergangenen vier Wochen erfasst (vgl. Kapitel 4.3.1).

Im Folgenden werden zunächst *Grundlagen des Resilienzkonzeptes* erläutert. Dabei wird versucht, die vielen verschiedenen Aspekte, die das Thema *Resilienz* beinhaltet, systematisch in einen Zusammenhang zu bringen. Danach wird ein Überblick über die *Erfassung von Stress*, welcher als Grundlage für die Operationalisierung von Resilienz zu verstehen ist, gegeben (vgl. Kapitel 1). Dabei wird der Fokus auf die neuronale Aktivierung und die subjektive Wahrnehmung von Stress gelegt.

2.1 Grundlagen des Resilienzkonzeptes

Bevor man sich inhaltlich mit dem Thema *Resilienz* beschäftigt, ist es sinnvoll, sich zunächst der Herkunft des Begriffs zu widmen. *Resilienz* stammt von dem lateinischen Wort *resilire* ab (Windle 2011a), was übersetzt *abprallen*, *zurückspringen*, *Abstand nehmen* bedeutet (Langenscheidt Wörterbuch, Abruf am 16.04.2020). Gilbert und Kollegen (1998) beschreiben Resilienz als *psychologisches Immunsystem*, das nach dem Erleben belastender Lebensereignisse negative Emotionen abwehren und eine für das Individuum überraschend schnelle Erholung mit sich bringen kann (Gilbert et al. 1998; Seery et al. 2010). Daraus wird deutlich, dass kognitive Kontrolle, die beispielsweise Flexibilität und die Aktivierung von Emotionsregulationsmechanismen impliziert, mit Resilienz einhergehen (Lyons und Parker 2007; Parker et al. 2004). Leider wird der Begriff *Resilienz* heute nicht einheitlich verwendet (Seery et al. 2010). Vilete und Kollegen (2014) definieren Resilienz beispielsweise als das Erleben von traumatischen Lebensereignissen, ohne dass danach jemals die Diagnosekriterien einer psychischen Erkrankung, wie einer Depression, erfüllt wurden. In dieser Arbeit soll die in der Einleitung erwähnte Definition von Kalisch und Kollegen (2015) verwendet werden. Diese impliziert das Erleben potentiell traumatischer Lebensereignisse und eine sich daran anschließende Phase, die von stabiler Gesundheit oder auch von einer vorübergehenden, gesundheitlichen Beeinträchtigung, auf die eine zügige, erfolgreiche Genesung folgt, geprägt ist.

2 Theoretischer Hintergrund

Da Resilienz gemäß dieser Definition nur nach dem Erleben negativer Lebensumstände auftritt, ist davon auszugehen, dass es sich bei Resilienz nicht einfach um die Abwesenheit von Krankheit, sondern um einen aktiven Adaptationsprozess an die neue Lebenssituation handelt (Alim et al. 2008; Carver 1997; Kalisch et al. 2015; Russo et al. 2012; Southwick et al. 2005). Dabei wirken sich neben negativen, potentiell traumatisierenden Lebensereignissen (negatives *Life-Event*, NLE) eine Reihe weiterer Faktoren auf die Resilienzbildung aus, die wiederum untereinander interagieren. Bisher ist unklar, in welcher Art und Weise diese Interaktion im Individuum stattfindet (Tusaie und Dyer 2004). Tusaie und Dyer (2004) unterscheiden dabei zwischen Risikofaktoren und protektiven Faktoren, wie beispielsweise sozialer Unterstützung oder bestimmten Persönlichkeitsmerkmalen (vgl. Kapitel 2.1.2). Resilienz kann folglich als Resultat der Wirkung und Interaktion der eben beschriebenen Faktoren im Kontext von erlebtem Lebensstress bezeichnet werden (Mancini und Bonanno 2009).

Aufgrund der gemeinhin bekannten Variabilität dieser Faktoren im Leben eines Menschen schlussfolgern Mancini und Bonanno (2009), dass Resilienz nicht als statischer Aspekt einer Persönlichkeit, sondern vielmehr als dynamischer Prozess zu betrachten ist, der den Versuch, die Balance zwischen den sich ständig verändernden Faktoren zu bewahren, impliziert (Tusaie und Dyer 2004).

Eine aktuelle Herausforderung für die Resilienzforschung besteht demnach darin, einen Zusammenhang zwischen den eben beschriebenen Faktoren herzustellen mit dem Ziel, mögliche grundlegende Prozesse und Mechanismen zu finden, die als Resultat zu mehr oder weniger Resilienz führen (Kalisch et al. 2015; Mancini und Bonanno 2009). Ein möglicher zentraler Resilienzmechanismus stellt dabei die Art und Weise der Bewertung von Situationen dar, welche in den folgenden Kapiteln immer wieder aufgegriffen wird.

Im Folgenden wird zunächst der *Einfluss belastender Lebensereignisse auf die Resilienzbildung* beschrieben. Hier findet das durch bestimmte Stressoren ausgelöste Gefühl der erlernten Kontrollierbarkeit von Stressoren als elementarer Bestandteil resilienten Verhaltens nähere Betrachtung (Mineka et al. 1986; Seligman und Maier 1967). Im Anschluss daran wird der *Einfluss weiterer Faktoren auf die Resilienzbildung* diskutiert. Beide Aspekte beeinflussen das in dieser Studie gemessene Outcome *Resilienz* maßgeblich (Kalisch et al. 2015; Lazarus und Cohen 1977; Roseman und Smith 2001; Scherer 2001; Ursin 2012).

2.1.1 Einfluss belastender Lebensereignisse auf die Ausbildung resilienten Verhaltens

Für eine umfassende Auseinandersetzung mit Resilienz ist es essentiell, sich mit ihrer Entstehung vertraut zu machen. In der bereits erwähnten Definition von Resilienz (Kalisch et al. 2015; vgl. Kapitel 2.1) spielt das Erleben NLEs die zentrale Rolle, da resilientes Verhalten nur *post facto* entstehen kann (Kalisch et al. 2015; Mancini und Bonanno 2009). Diese Erfahrungen sind demnach für die Ausbildung von Resilienz essentiell.

Das Erleben eines belastenden Lebensereignisses, wie der Verlust des Arbeitsplatzes, löst bekanntermaßen im Individuum eine Stressreaktion aus. Doch worum handelt es sich bei *Stress* genau? Der Begriff *Stress* leitet sich von dem lateinischen Wort *stringere* ab, was *straff anziehen, zusammenbinden, anspannen* bedeutet (Herbst et al. 2016; Langenscheidt Wörterbuch, Abruf am 16.04.2020). Dickerson und Kemeny (2004) definieren *Stress* als individuell eingeschätzte situative Überforderung, die nach subjektiver Einschätzung die eigenen kognitiven Ressourcen übersteigt (für weitere Informationen siehe Lazarus 1993). Folglich kann der gleiche Stimulus je nach individueller psychischer Konstitution, Zeitpunkt, Kontext und Geschlecht unterschiedliche Reaktionen sowohl im Individuum selbst als auch über verschiedene Individuen hinweg auslösen (Arnsten 2009; Lupien et al. 2009; Russo et al. 2012; Schwabe et al. 2012; Wood und Shors 1998; Kalisch et al. 2015; Moors 2009; Scherer 2001; Kalisch et al. 2015). Somit liegen der Empfindung von Stress komplexe, dynamische Interaktionen von Individuum und seiner Umwelt zugrunde (Meichenbaum 2007).

Welche Arten von Lebensereignissen prinzipiell zu resilientem Verhalten führen können, lässt sich am Tiermodell sehr gut eruieren. Hier können die Tiere gezielt Stressoren unterschiedlicher Qualität (sozial vs. physisch) und Quantität ausgesetzt werden (Kalisch et al. 2015). Quantitativ unterscheidet man Dauer (akut vs. chronisch), Intensität (mild, moderat und stark) und Grad der Kontrollierbarkeit (unkontrollierbar vs. kontrollierbar) der Stressoren (Arnsten 2009; Kalisch et al. 2015; Meichenbaum 2007; Russo et al. 2012). Je nach Eigenschaft des Stressors wird im Rahmen der Stressreaktion eine unterschiedlich starke Aktivierung der Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-Achse (HHPA) ausgelöst, was wiederum die Ausschüttung von Kortisol bewirkt (Russo et al. 2012). Beispielsweise führen akute, moderate und kontrollierbare Stresssituationen zu einem situativen Kortisolanstieg,

2 Theoretischer Hintergrund

chronische, unkontrollierbare Stresssituationen hingegen zu dauerhaft erhöhten Kortisolkonzentrationen (Chrousos 2009; Oitzl et al. 2010; Brockhurst et al. 2015).

In Maus- und Affenexperimenten wurde gezeigt, dass eine intermittierende, moderate Stressexposition resilientes Verhalten fördert (Brockhurst et al. 2015; Levine 1962; Lyons et al. 2009; Lyons und Parker 2007; Parker et al. 2004). Die intermittierende moderate Exposition gegenüber Stressoren kann im Mausexperiment beispielsweise durch Konfrontation einer jungen Maus mit einer größeren, älteren Maus in einem Käfig realisiert werden (Brockhurst et al. 2015): Die beiden Mäuse sind dabei jederzeit durch ein Gitter voneinander getrennt, sodass nur indirekte Interaktion durch Sehen, Riechen und Hören möglich ist. So wird das Versuchstier kontrolliertem moderaten Stress ausgesetzt. Nach der bis zu eine Stunde lang andauernden Exposition wird das Versuchstier wieder in seinen eigenen Käfig zurückgesetzt. Das Paradigma dauert mehrere Wochen an, wodurch intermittierender Stress ausgelöst wird. Diese Form der Stressexposition ist vergleichbar mit einer Impfung, bei der dem Individuum tote oder abgeschwächte Erreger appliziert werden, die zwar nicht krank machen, aber vor zukünftigen pathogenen Keimen schützen. Durch Stressinokulation kann somit auch ein effektiverer Umgang mit zukünftigen Stressoren begünstigt werden (Levine 1962). Im folgenden Abschnitt werden mögliche, der Stressinokulation zugrunde liegende Mechanismen aufgezeigt.

Durch Exposition gegenüber einer stärkeren, fremden Maus beziehungsweise durch zeitlich begrenzte soziale Isolation in Tierversuchen mit Affen (Parker et al. 2004) werden im betroffenen Individuum kognitive Verarbeitungsprozesse mit einer darauf folgenden, emotionalen Stressreaktion ausgelöst (Lyons und Parker 2007, vgl. Kapitel 2.2). Das Versuchstier merkt aber mit der Zeit, dass die Stressexposition kontrolliert erfolgt (Lyons et al. 2009): Die exponierte Maus lernt beispielsweise, dass die größere Maus immer durch ein Gitter von ihr getrennt sein wird und der Affe merkt, dass er nach einer gewissen Zeit wieder zu seiner Familie zurückkehren kann. Folglich erlernt das Versuchstier, dass es Stress kontrollieren kann, die Stresswahrnehmung sinkt und die körperliche Stressreaktion ebenso (Amat et al. 1998; Arnsten 2009; Maier et al. 2006). Moderater Lebensstress aktiviert demnach zunächst stressassoziierte neuronale Areale und intensiviert zudem neuronale Verbindungen in erregbarkeitsregulierenden Netzwerken wie dem präfrontalen Kortex (Frazier et al. 2004; Parker et al. 2005): Stressbeimpfung hat unter anderem zur Folge, dass sich stressinokulierte im Vergleich zu nicht-stressinokulierten Versuchstieren im Open Field-Test weniger ängstlich, im Tail Suspension-Test weniger hilflos und im Novel

2 Theoretischer Hintergrund

Object Recognition-Test neugieriger Verhalten (Brockhurst et al. 2015; Feder et al. 2009). Auch im Menschen können nach kindlicher Exposition gegenüber moderatem Stress später geringere Aktivierungen der körperlichen Stressreaktion nachgewiesen werden. Ein Beispiel hierfür stellt ein geringerer Anstieg von Kortisol während des Erlebens einer stressigen Situation bei bereits in der Vergangenheit gegenüber mildem Stress exponierten Individuen dar (Gunnar et al. 2009; Hagan et al. 2014).

Daraus lässt sich ableiten, dass Stressinokulation aufgrund der erlernten Kontrollierbarkeit von Stressoren auch die Wahrnehmung der Intensität folgender, unkontrollierbarer Stressoren mindert, unabhängig von der Art des Stressors (Amat et al. 2010; Fleshner et al. 2011; Haglund et al. 2007; Kerr et al. 2012). Dies wiederum fördert folglich einen effektiven, *resilienten* Umgang mit später erlebten Stressoren und geht mit erhöhter Stresstoleranz einher (Ashokan et al. 2016; Mancini und Bonanno 2009; Russo et al. 2012).

Akute und chronische unkontrollierbare Stressoren, wie beispielsweise das Erleben eines Terroranschlags oder eines langen Scheidungsprozesses, können hingegen durch erlernte Angstkonditionierung ein erhöhtes Empfinden von Stress zur Folge haben (Mahan und Ressler 2012), was sich durch eine dauerhafte Erhöhung der Kortisolausschüttung und der Begünstigung von Erkrankungen wie Depressionen oder Angsterkrankungen äußert (*The World Health Report* 2001; Aspinwall und MacNamara 2005; Chrousos 2009; Genest 1989; Paykel und Dowlatshahi 1988; Rawson et al. 1994; Sheldon et al. 2007; Wardle et al. 2004). Auf molekularer Ebene ist dies unter anderem dadurch zu erklären, dass erhöhte Kortisolkonzentrationen zu einer Herunterregulation von Glukokortikoidrezeptoren führen, was wiederum eine verminderte Feedbackinhibition der HHPA-Achse und eine erhöhte Kortisolausschüttung zur Folge hat (Weinstock 2005). Seligman und Maier (1967) bestätigten dies durch Exposition von Versuchstieren gegenüber unkontrollierbaren elektrischen Reizen und anschließend gegenüber kontrollierbaren elektrischen Reizen. Die erlernte Unkontrollierbarkeit hatte bei einem Teil der Tiere zur Folge, dass sie sich in der kontrollierbaren Situation weniger aktiv den elektrischen Reizen entzogen und zeigten somit ein erhöhtes Maß an erlernter Hilflosigkeit auf (Chourbaji et al. 2005). Erlernte Hilflosigkeit wiederum begünstigt in anderen Experimenten langsamere Reaktionszeiten, Fehler und verminderte Motivation beim Lösen kognitiver Aufgaben (Diener et al. 2009; Maier und Seligman 1976; McLaughlin et al. 2010). Die Mehrheit der Tiere entwickelte trotz früherer Exposition gegenüber einem

2 Theoretischer Hintergrund

unkontrollierbaren Stressor während der kontrollierten Stressexposition allerdings kein Verhalten, das erlernte Hilflosigkeit nahe legt (Wang et al. 2014). Gleichzeitig wurde in einem anderen Experiment festgestellt, dass trotz einer chronischen, für begrenzte Zeit unkontrollierbaren Stressexposition in Form von täglich erlebten körperlichen Niederlagen durch direkte Angriffe einer größeren Maus in einigen Versuchstieren resilienteres Verhalten ausgebildet werden konnte als in stressanfälligeren Individuen (Ayash et al. 2020; Krishnan et al. 2007; Russo et al. 2012). Als Parameter für resilientes Verhalten wurde dabei ein geringeres Vermeidungsverhalten und somit längere soziale Interaktion mit der größeren Maus in weniger stressanfälligeren Versuchstieren nach Durchführen des Tests beobachtet. Dieses Verhalten ist dabei weder in der erlernten Kontrollierbarkeit von Stressoren noch – aufgrund der identischen genetischen Abstammung und Handhabung der Versuchstiere – in interindividuell variierender genetischer Ausstattung oder in verschiedenen Umwelteinflüssen begründet. Stattdessen spielen vermutlich epigenetische Veränderungen in Form von Chromatinmodifikationen, die die Stressantwort modulieren, eine zentrale Rolle (Tsankova et al. 2006; Wong et al. 2005). Genauere Hintergründe über Entstehung und Interaktion dieser epigenetischen Veränderungen mit Stressoren sind noch zu eruieren (Krishnan et al. 2007).

Die subjektive Stresswahrnehmung wird nicht nur durch Erfahrungen mit NLEs geprägt. Beispielsweise können objektiv schwer belastende, unkontrollierbare Lebensereignisse durch Aktivierung individueller Ressourcen, wie die erfolgreiche Suche nach sozialer Unterstützung, subjektiv als moderat und kontrollierbar eingestuft werden (Solomon et al. 1989). Grund hierfür sind die Inhibition negativer Assoziationen durch Aktivierung neuronaler Emotionsregulationsmechanismen aufgrund einer positiveren Bewertung der Situation durch Aktivierung individueller Ressourcen (Kalisch et al. 2019, vgl. Kapitel 2.1.2).

Ein produktiver Umgang jeglicher Stressoren beinhaltet demnach sowohl die Initiierung einer Stressantwort als adaptive Reaktion auf eine sich verändernde Situation als auch die Aktivierung kognitiver Regulationsmechanismen zur effektiven Beendigung der Stressantwort, auch bei objektiv unkontrollierbaren Situationen (Franklin et al. 2012; Frazier et al. 2004; Herbst et al. 2016; Karatsoreos und McEwen 2013; Taylor et al. 2010; Urry et al. 2006).

2.1.2 Einfluss weiterer Faktoren auf die Ausbildung resilienten Verhaltens

Die Intensität der Wahrnehmung NLEs hängt nicht nur von der objektiven Intensität (vgl. Kapitel 2.1.1), sondern auch von stressmodulierenden Faktoren ab, die ihre subjektive Intensität verstärken oder verringern können (Haglund et al. 2007; Southwick et al. 2005). Faktoren, die einen stressmildernden Effekt auf den erlebten Stress haben, werden auch als protektive Faktoren oder Resilienzfaktoren (RFn) bezeichnet (Kalisch et al. 2015; Tusaie und Dyer 2004). Zentrales Element stellt hierbei die positive Neubewertung von NLEs durch den Einfluss von RFn dar, wie beispielsweise soziale Unterstützung (vgl. Abbildung 1 aus Kalisch et al. 2015; Feder et al. 2009; Noack et al. 2019). RFn fördern also den effektiven Umgang mit Stressoren und unterstützen somit eine produktive Interaktion mit der Umwelt (Kalisch et al. 2019). Sie helfen auch langfristig dabei, das Individuum vor potentiell schädigenden Einflüssen NLEs auf die Gesundheit zu schützen und erhöhen demnach die Wahrscheinlichkeit, resilientes Verhalten auszubilden (Kalisch et al. 2015). In einer Studie von Taylor und Kollegen (2010) wurde die praktische Relevanz von RFn verdeutlicht: Hier gaben über 90 % der Australier an, mindestens eine hilfreiche Ressource zu besitzen, die bei der Bewältigung schwieriger Lebenslagen helfen könne.

Bisher wurden viele verschiedene Faktoren in einen positiven Zusammenhang mit Resilienz gebracht (Bonanno et al. 2007; Gadalla 2009; Garmezy 1991; Mancini und Bonanno 2009; Southwick et al. 2005; Werner 1995). RFn können dabei sowohl dem Individuum als auch seiner Umwelt zugeordnet werden (Bonanno 2004; Consten 2016; Garmezy 1991; Kalisch et al. 2015; Werner 1995; Windle 2011b). Im Folgenden werden zunächst einige endogene RFn näher erläutert. Daran anschließend wird auf den exogenen RF *soziale Unterstützung* eingegangen.

Sowohl genetische als auch epigenetische Faktoren beeinflussen die Intensität der Stressantwort (Kudielka et al. 2009; Noack et al. 2019). Dabei bewirken nicht einzelne Mutationen mehr oder weniger resilientes Verhalten, sondern das Ergebnis des Zusammenwirkens vieler genetischer Polymorphismen (Kloet et al. 2005). Eine erhöhte Expression des im Gehirn weit verbreiteten Neuropeptids Y (NPY) wirkt beispielsweise durch Herunterregulation sowohl des noradrenergen Systems als auch der HHPA-Achse in einer Stresssituation anxiolytisch (Feder et al. 2009; Southwick et al. 2005; Streit et al. 2017; Yehuda et al. 2006). Darüber hinaus begünstigen

2 Theoretischer Hintergrund

epigenetische Mechanismen, wie eine verminderte Methylierung des Glukokortikoidrezeptors (GR) und folglich seine erhöhte Expression und stärkere Feedbackhemmung der HHPA-Achse, resilientes Verhalten (Meaney 2001). Weitere Beispiele stellen sich wie folgt dar: Eine erhöhte Expression von glutamatergen Neuronen im medialen präfrontalen Kortex (mPFC), welche neuronaler Plastizität als einem zentralen Mechanismus für Lern- und Gedächtnisprozesse entspricht, fördert resilientes Verhalten (Franklin et al. 2012; Krishnan et al. 2007; Russo et al. 2012, vgl. Kapitel 2.2.1.3). Darüber hinaus werden erhöhte Konzentrationen des BDNF (*Brain-derived neurotrophic factor*) im Hippocampus (HC) mit resilientem Verhalten assoziiert (Taliaz et al. 2011). Durch den neurotrophen Faktor wird auch hier der Ausbau zellulärer Strukturen, wie beispielsweise von Synapsen, als Korrelat kognitiver Prozesse wie Lernen oder Gedächtnis, gefördert (Brigadski und Lessmann 2014). Seine Rolle in der neuronalen Stressverarbeitung ist in Kapitel 2.2.1.2 dargestellt.

Darüber hinaus wird resilientes Verhalten mit einer Gruppe von Persönlichkeitsmerkmalen in Verbindung gebracht (Agaibi und Wilson 2005). Dazu gehören Flexibilität (Agaibi und Wilson 2005; Yehuda et al. 2006), Optimismus (Carver et al. 1994), Spiritualität (Feder et al. 2009; Haglund et al. 2007), Selbstwertschätzung (Kogler et al. 2015), Selbstwirksamkeitserwartung (Bandura 1982; Gadalla 2009; Wiedenfeld et al. 1990), interne Kontrollüberzeugung (Bollini et al. 2004; McEwen 2007; Roddenberry und Renk 2010; Zhang et al. 2014) und aktive Bewältigungsstrategien (Fondacaro und Moos 1989; Haugen und Lund 1999; Kalisch et al. 2015; Windle 2011a; Southwick et al. 2005). Im Folgenden wird näher auf die einzelnen Faktoren eingegangen.

Ayash und Kollegen (2020) konnten im Mausmodell eine Gruppe von Versuchstieren identifizieren, die infolge täglich erlebter körperlicher Niederlagen im Interaktionstest zwischen aversivem Reiz in Form eines anderen Individuums desselben Stammes der sie ehemals attackierenden Maus und neuem Reiz in Form eines Individuums eines anderen Stammes differenzieren konnten. Diese stressunempfindlichere Gruppe zeigte eine intensivere Interaktion mit dem neuen Reiz auf als die stressanfälliger Gruppe. Hierbei wird die Fähigkeit der Reizdiskriminierung als flexible Anpassung an verschiedene Situationen deutlich. Kognitive Flexibilität impliziert darüber hinaus eine positivere Reinterpretation NLEs, beispielsweise indem sich aus dem NLE ergebende Chancen und Möglichkeiten im Individuum Beachtung finden (Yehuda et al. 2006). Optimismus als weiterer RF steht ebenfalls im Zusammenhang mit einer positiveren Reinterpretation eines NLEs (Kalisch et al. 2019; Yehuda et al. 2006). Damit

2 Theoretischer Hintergrund

einhergehend suchen optimistische Individuen eher persönliche Unterstützung in kritischen Lebensphasen und zeichnen sich durch eine erniedrigte autonome Erregung aus (für genauere Informationen siehe Yehuda et al. 2006).

Ein hohes Maß an Selbstwirksamkeitserwartung geht ähnlich wie Optimismus mit einer erniedrigten Hautleitfähigkeit und folglich einer geringeren autonomen Stressreaktion bei Reizexposition einher (Geer et al. 1970; Glass et al. 1973). Im Umkehrschluss zeigten Dew und Kollegen (2004) einen positiven Zusammenhang zwischen niedriger Selbstwirksamkeit und dem Auftreten von Depressionen bei pflegenden Angehörigen von herztransplantierten Patienten auf. Eine hohe Selbstwirksamkeitserwartung geht hingegen mit einer hoffnungsvollen, motivierten, aktiven Stressbewältigung einher mit dem Ziel, aus eigener Kraft die Dauer und Intensität des NLEs zu kontrollieren (Benight und Bandura 2004; Kalisch et al. 2015). Dies wirkt sich wiederum positiv auf die Leistungsfähigkeit aus, beispielsweise während des Lösens von Rechenaufgaben oder der Entwicklung von Strategien zur Lösung sozialer Probleme (Bandura 1982; Brown et al. 2012; Judge und Bono 2001). Judge und Bono (2001) konnten darüber hinaus einen positiven Einfluss von Selbstwirksamkeit auf die Zufriedenheit mit dem aktuellen Arbeitsplatz feststellen. Diese Ausführungen verdeutlichen, dass Selbstwirksamkeit eine zentrale Rolle in der subjektiven Wahrnehmung von Stress einnimmt (vgl. Kapitel 4.3.1).

Vergleichbar mit dem Erleben objektiver moderater Lebensereignisse fördert hier die Erfahrung von subjektiver Kontrollierbarkeit und erfolgreicher Bewältigung eines NLEs einen produktiven Umgang mit zukünftigen stressigen Situationen (Seery et al. 2010). So ist eine hohe internale Kontrollüberzeugung in der Kindheit, die mit einem höheren subjektiv empfundenem Gesundheitsniveau und geringerem Stressempfinden im Erwachsenenalter korreliert, erklärbar (Gale et al. 2008).

In zahlreichen Studien wurden positive Korrelationen zwischen erhöhter sozialer Unterstützung und resilientem Verhalten festgestellt (z.B. Abelson et al. 2014; Biro et al. 2016; McEwen 2007): Soziale Unterstützung als exogener RF fördert, wie bereits beschrieben, adaptive Bewältigungsstrategien wie die positivere Reinterpretation eines NLEs, dessen subjektiv wahrgenommene Kontrollierbarkeit und folglich eine verminderte Stressreaktion (Feder et al. 2009; Fuchs und Flugge 2003; Solomon et al. 1989; Southwick et al. 2005). Darüber hinaus wurden eine erhöhte Komplexität und Dichte der Dendriten von Pyramidenzellen des HC und des PFC bei Vorhandensein von Unterstützung nachgewiesen (Kozorovitskiy et al. 2005; Russo et al. 2012). Eine

2 Theoretischer Hintergrund

solche Intensivierung der Verknüpfung der Dendriten im HC oder im PFC spiegelt eine erhöhte Funktionalität ebensolcher wider (Sala und Segal 2014). Letztere wird in einen Zusammenhang mit effektiver Stressverarbeitung gebracht (vgl. Kapitel 2.2.1.3).

Nach der Betrachtung der einzelnen Faktoren wird im Folgenden die Komplexität der Interaktion dieser Faktoren diskutiert. Dabei rückt zunehmend die Erforschung der Betrachtung einzelner Faktoren im Hinblick auf den individuellen Gesamtkontext in den Hintergrund (Bonanno 2004). So zeigten Kalisch und Kollegen (2015), dass die Bedeutung einzelner Faktoren bisher überschätzt wurde und dass sich vielmehr das Resultat der Interaktion dieser Faktoren für resilientes Verhalten als relevant darstellt (vgl. Abb.1). Unklar ist bisher, inwiefern die Faktoren sich inhaltlich überschneiden, voneinander abhängen und sich somit gegenseitig beeinflussen (Stewart und Yuen 2011; Yehuda et al. 2006). Bisher wurden nur einzelne Aspekte dieses komplexen Zusammenspiels erläutert: Kloet und Kollegen (2005) wiesen auf die bidirektionale Interaktion zwischen der Expression der beschriebenen Gene und dem subjektiven Erleben eines NLEs hin. Ozbay und Kollegen (2007) zeigten den moderierenden Einfluss von sozialer Unterstützung auf die Expression der beiden kurzen Allele des Serotonintransporters und folglich einer geringeren Ausbildung depressiver Symptome bei misshandelten Kindern auf. Persönlichkeitsmerkmale wie Extrovertiertheit erleichtern das Mobilisieren von Ressourcen, wie beispielsweise das Suchen von sozialer Unterstützung (Charney 2004). Mancini und Bonanno (2009) thematisieren, mit dieser Vielschichtigkeit einhergehend, den Bedarf nach der Identifizierung von RF-Clustern.

Neben der komplexen Interaktion spielen zeitliche Variabilität und die Bedeutung des jeweiligen RF für das Individuum an sich und in Abhängigkeit von seiner kognitiven Entwicklung eine zentrale Rolle: Lazarus (1993) weist auf die unterschiedliche zeitliche Stabilität von RFn hin, da beispielsweise Persönlichkeitseigenschaften als konstanter zu betrachten sind als soziale Unterstützung. Darüber hinaus werden einige RFn wie adaptive Bewältigungsstrategien erst bei Erleben eines NLEs aktiviert (Yehuda et al. 2006). Des Weiteren kann ein hohes Maß an sozialer Unterstützung nicht nur im positiven Sinne auf ein Individuum einwirken, sondern beispielsweise auch Druck aufbauen und somit eine schädigende Wirkung entfalten (vgl. Schuster et al. 1990). Wie stark ein solcher schädigender Einfluss ist, hängt wiederum unter anderem von Alter, Persönlichkeitsmerkmalen und bisherigen Lebenserfahrungen des Individuums ab (Windle 2011a). Folglich sollte bei der Erfassung von RFn deren interindividuell variierender Kontext berücksichtigt werden.

2 Theoretischer Hintergrund

Diese Ausführungen spiegeln die eingangs beschriebene Dynamik der Ausprägung von mehr oder weniger resilientem Verhalten sehr deutlich wider (Russo et al. 2012).

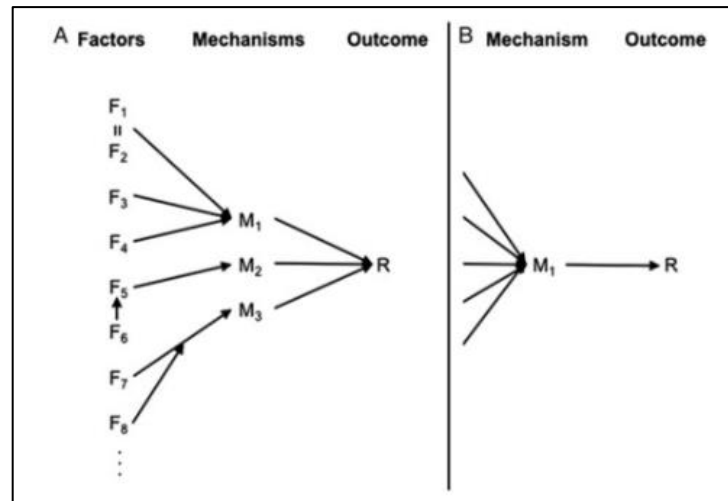


Abbildung 1: Differenzierung von Resilienzmodellen, Resilienzmechanismen und Resilienz als Outcome (aus Kalisch et al. 2015).

2.2 Erfassung von Stress

In diesem Kapitel wird auf die Grundlagen und Methoden der experimentellen Stressinduktion eingegangen. Daran anknüpfend wird das Aktivierungsverhalten neuronaler Strukturen während der Induktion von Stress thematisiert. Darüber hinaus werden Möglichkeiten der subjektiven Erfassung von Stress diskutiert. Im Anschluss wird auf Korrelationen von objektiven und subjektiven Stressparametern eingegangen.

2.2.1 Experimentelle Stressinduktion

Um einen effektiven Umgang mit Stress möglichst genau erfassen zu können, kann künstlicher Stress induziert werden. Der Fokus wird hier auf Möglichkeiten der Induktion von psychischem Stress gelegt. Dabei ist ein Stressparadigma gefragt, das zuverlässig Stress induziert, damit individuelle Unterschiede in der Stressreaktion erfasst werden können.

Wie bereits in Kapitel 2.1.1 beschrieben, wird Stress dann induziert, wenn das Individuum die herausfordernde Situation als signifikant relevant für sein persönliches Wohlergehen ansieht und wenn es das Gefühl hat, keine ausreichenden Ressourcen

2 Theoretischer Hintergrund

zu besitzen, um dem Stressor effektiv entgegenwirken zu können (Dickerson und Kemeny 2004; Folkman und Lazarus 1984; Lazarus 1966; Lazarus 1993).

Ein elementares Bedürfnis des Menschen stellt beispielsweise der Erhalt der eigenen Integrität dar (Dickerson und Kemeny 2004; Kogler et al. 2015). Folglich reagieren Individuen sensibel auf Situationen, die diese infrage stellen, wie beispielsweise das Anzweifeln von Kompetenzen oder mangelnde Wertschätzung. Eine solche Situation wird als bedrohlich wahrgenommen und Stress wird induziert. Diese Art der Stressinduktion, bei der das Individuum sozialem Stress ausgesetzt ist, wird als sehr effektiv angesehen (z.B. Noack et al. 2019; Wager et al. 2009). Folgen sind die Generierung negativer Emotionen und eine physiologische Stressantwort (Wager et al. 2009).

Im Rahmen des *Trier Mental Challenge Tests* (Kirschbaum et al. 1991) und des *Trier Social Stress Tests* (TSST, Kirschbaum et al. 1993) kann im Labor eine soziale Stresssituation induziert werden, indem die individuelle Leistung vor allen anderen Teilnehmern bewertet wird. Darüber hinaus entsteht durch kognitiv anspruchsvolle Aufgaben, starkem Zeitdruck und somit schlechten Ergebnissen der Eindruck mangelnder Kompetenzen und der Unfähigkeit eines effektiven Umgangs mit der Situation. So bewirken soziale Situationen mit negativer evaluativer Komponente eine starke Aktivierung der physischen und psychischen Stressantwort in Form von erhöhter Kortisolkonzentration, Hautleitfähigkeit und subjektivem Stressempfinden (Dickerson und Kemeny 2004; Kudielka et al. 2009; Frisch et al. 2015). Um neben endokriner und psychischer auch die neuronale Komponente der Stressreaktion erfassen zu können, wurden, auf diesen Tests aufbauend, Stressparadigmen wie der *Montreal Imaging Stress Task* (MIST, Dedovic et al. 2005), der ScanSTRESS (Streit et al. 2014) und der kompakte ScanSTRESS (Sandner et al. 2020) entwickelt. Diese dienen der Stressinduktion im MRT. Auch hier werden Rechenaufgaben unter Zeitdruck durchgeführt. Eine Herausforderung stellt die sozial-evaluative Komponente der Stressinduktion im MRT dar: Beim MIST erhält der Proband während des Lösens von Rechenaufgaben auf seinem Bildschirm visuelles Feedback wie *Timeout*, *Richtig* oder *Falsch*. Hier sind die Aufgaben so programmiert sind, dass der Anteil richtig gelöster Aufgaben bei 20–45 % liegt. Darüber hinaus erhält er über seinen Bildschirm die Information, dass die durchschnittlichen Leistungen der anderen Versuchsteilnehmer bei 80–90 % richtigen Antworten liegen. Die direkte soziale Interaktion mit den Probanden beschränkt sich allerdings auf die Zeit zwischen den Messequenzen: Hier betritt die Testleitung den Scannerraum und teilt dem weiterhin

2 Theoretischer Hintergrund

im MRT liegenden Probanden mit, dass seine Leistungen im Vergleich zu den durchschnittlichen Leistungen der anderen Probanden zu schlecht seien und nur ausgewertet werden können, wenn sich die Leistungen des Probanden verbessern. Zudem wird daraufhin gewiesen, dass einige Mitarbeitende vom Vorraum des Scanners aus seine Leistungen über einen Monitor mitverfolgen (Dedovic et al. 2005). Um aber ähnlich hohe Kortisolausschüttungen wie beispielsweise bei Stressinduktion mittels TSST (zwei- bis dreifacher Anstieg der Kortisolkonzentration bei 70–80 % der Teilnehmer, vgl. Allen et al. 2017; Dickerson und Kemeny 2004; Kudielka et al. 2009) provozieren zu können, wird im Rahmen des ScanSTRESS negatives Feedback durch eine gefilmte Jury mittels Liveübertragung der Videoaufnahmen während des Lösen von Mathematikaufgaben im Scanner eingespielt (Streit et al. 2014, vgl. Kapitel 4.4.2). Akdeniz und Kollegen (2014) konnten signifikante Kortisolanstiege und eine Erhöhung des subjektiven Stressempfindens nach Durchführung des ScanSTRESS nachweisen. Auch ein Anstieg der Herzfrequenz während des ScanSTRESS wurde festgestellt (Akdeniz et al. 2014; Streit et al. 2014). Demnach kann von einer zuverlässigen Methode zur Induktion von Stress im MRT ausgegangen werden. Darauf aufbauend wurde der kompakte ScanSTRESS entwickelt (ScanSTRESS-C; Sandner et al. 2020), der die sich als effektiv erwiesenen, stressinduzierenden Stimuli des ScanSTRESS verwendet, sich aber in der zeitlichen Abfolge der präsentierten Stimuli zum ScanSTRESS unterscheidet (vgl. Kapitel 4.4.2). Im Folgenden wird nun genauer auf die Grundlagen des fMRT und die neuronale Aktivierung während der Stressinduktion eingegangen.

2.2.1.1 Grundlagen des fMRT

Die MRT-Messung beruht im Allgemeinen darauf, dass sich Protonen in einem Magnetfeld in Richtung des Magnetfelds (Längsmagnetisierung) ausrichten und sich darüber hinaus durch die Energie eines elektromagnetischen Impulses mit einer bestimmten Frequenz (Larmorfrequenz) in einer Phase (Quermagnetisierung) ausrichten lassen. Nach Beendigung des Pulses kommt es zur Relaxation, indem die Quermagnetisierung ab- und die Längsmagnetisierung zunimmt (<http://www.fmri4newbies.com/lectures>, Abruf am 08.05.2020). Dabei wird Energie abgegeben und im MRT gemessen. Da die Protonen unterschiedlicher Gewebe verschieden schnell die Quermagnetisierung verlassen und sich ebenso unterschiedlich schnell in Längsrichtung ausrichten, gibt es gewebespezifische Zeitkonstanten, die angeben, zu welchem Zeitpunkt 63 % der Protonen in

2 Theoretischer Hintergrund

Längsrichtung relaxiert sind (T_1) und zu welchem Zeitpunkt 63 % der Protonen in Querrichtung relaxiert sind (T_2). Durch die unterschiedlichen Relaxationszeiten können Rückschlüsse darauf gezogen werden, an welchem Ort welches Gewebe vorliegt. Die dargestellten Zusammenhänge entstammen dem *Lernskript für Mediziner, Grundlagen der Magnetresonanz-Tomografie* (Pabst, Januar 2013, Universitätsklinikum Gießen und Marburg).

In der funktionellen MRT-Messung gilt es, Inhomogenitäten im Blutfluss zu berücksichtigen, welche sich auf die Art und Weise der Relaxation auswirken. Die Zeitkonstante, die diese Inhomogenitäten erfasst, heißt T_2^* . Änderungen im Blutfluss und demzufolge in der T_2^* beruhen auf einem erhöhten Bedarf an Sauerstoff und Glukose in den Nervenzellen. Dieser ist in einer erhöhten neuronalen Aktivität begründet (Herrmann und Wallesch 2009). Eine erhöhte neuronale Aktivität spiegelt wiederum die Aktivierung von Aktionspotentialen und synaptischer Aktivität wider (Hillman 2014). Viele Studien konnten einen linearen Zusammenhang zwischen neuronaler Aktivierung und T_2^* -Wert feststellen (Logothetis und Wandell 2004). Die Mechanismen, die die neuronale Aktivierung und den T_2^* -Wert verknüpfen, werden als *BOLD-Kontrast-Mechanismen* bezeichnet (Logothetis und Wandell 2004). Im Zuge eines erhöhten Bedarfs von Sauerstoff kommt es zu einer Steigerung des Blutflusses und somit zu einer Veränderung der relativen Konzentrationen von oxygeniertem und desoxygeniertem Hämoglobin. Das desoxygenierte Hämoglobin weist aufgrund des fehlenden Sauerstoffatoms freie Elektronen auf, die im Magnetfeld zu lokalen Magnetfeldinhomogenitäten führen und über intermolekulare Wechselwirkungen zu einer Dephasierung und einer Verminderung der Quermagnetisierung führen (Ogawa et al. 1990). Aufgrund der sich in Bindung befindlichen Elektronen, somit diamagnetischen Eigenschaften und folglich geringerer magnetischer Suszeptibilität von oxygeniertem Hämoglobin im Vergleich zu desoxygeniertem Hämoglobin kommt es bei einer Verminderung des Verhältnisses von desoxygeniertem zu oxygeniertem Hämoglobin zu einem langsameren Abfall des MRT-Signals und folglich zu einer stärkeren Aktivierung von T_2^* (Ogawa et al. 1990; Huettel et al. 2004). Folglich erhält man ein stärkeres Signal, wenn aufgrund des benötigten zusätzlichen Sauerstoffs im Gewebe vermehrt Sauerstoff bereitgestellt wird (Huettel et al. 2004).

2.2.1.2 Neuronale Aktivierung während der Stressinduktion

In diesem Kapitel werden die für die Stressreaktion relevanten neuronalen Areale PFC, anteriorer cingulärer Cortex (ACC), anteriore Insula (al), ventrales Striatum (vS), Amygdala und HC charakterisiert. Dabei wird auf mögliche (De-)Aktivierungen während eines Stresstests eingegangen. Diese beziehen sich immer auf den Aktivitätsunterschied zwischen Kontroll- und Stressbedingung des jeweiligen Stressparadigmas.

Frontale Kortexareale: PFC und ACC

Der PFC ist die am weitesten entwickelte Region des Gehirns, was sich in seiner Funktion widerspiegelt (Fuster 2015; Herman et al. 2003). Eine wichtige Funktion des PFC stellt beispielsweise die neuronale Inhibition kognitiver Prozesse dar (Aron et al. 2004). Inhibitorische Prozesse sind unter anderem Komponenten zahlreicher Exekutivfunktionen (Thayer und Lane 2009). Dazu gehören Arbeitsgedächtnis, Regulation von Aufmerksamkeit, Antwortinhibition und Emotionsregulation (Banks et al. 2007; Botvinick et al. 2001; Chamberlain et al. 2006, Dedovic et al. 2009a; Motzkin et al. 2015; Nyberg et al. 2003; Quirk und Beer 2006; Thayer und Lane 2009). Darüber hinaus sind inhibitorische Prozesse in das Extinktionslernen involviert (Thayer und Lane 2009). Extinktionslernen impliziert das erneute Erlernen eines Zusammenhangs (Berman und Dudai 2001). Beispielsweise können ursprünglich negativ erlebte Ereignisse positiver bewertet werden, was dem Erleben von Stress entgegen wirkt und zur Generierung des Gefühls von Sicherheit beiträgt (Baran et al. 2010; Corcoran und Quirk 2007; Rosenkranz et al. 2003; Sierra-Mercado et al. 2011; Wager et al. 2009). Darauf aufbauend wurde die Existenz eines neuronalen inhibitorischen Netzwerkes beschrieben: Der mediale PFC (mPFC) zeichnet sich durch intensive inhibitorische neuronale Verbindungen zu subkortikalen Strukturen aus, wie beispielsweise der Amygdala oder der al (Seeley et al. 2007; Rosenkranz et al. 2003). Diese sind als Teil des limbischen Systems für die Generierung von Emotionen verantwortlich und somit als wichtige exzitatorische Komponente der Stressantwort anzusehen (Arnsten 2009). Der mPFC gilt somit als indirekter Regulator der Kortisol- und Noradrenalinausschüttung (vgl. Abschnitt *Kerngebiete: Ventrales Striatum und Amygdala*; z.B. Beauregard et al. 2001; Eisenberger et al. 2003; Motzkin et al. 2015; Wheelock et al. 2016).

2 Theoretischer Hintergrund

Während der Exposition gegenüber akutem Stress wurden signifikante Veränderungen der präfrontalen Aktivität gemessen (Noack et al. 2019; Shields et al. 2016). So kommt es in einer intensiven Stresssituation zu einem Wechsel von langsamer präfrontaler *Top-down*-Kontrolle zu schneller amygdaloider *Bottom-up*-Aktivierung, was die Inhibition von Strukturen des Exekutivnetzwerkes und die Aktivierung von Strukturen des Salienznetzwerkes zur Folge hat (Dias-Ferreira et al. 2009; Hermans et al. 2014). Letzteres ist für die Wahrnehmung und Prozessierung wichtiger Reize verantwortlich, beispielsweise mit dem Ziel, in einer bedrohlichen Situation die Flucht ergreifen zu können. Neben der Amygdala stellen Strukturen wie die *al*, das *vS*, der *dACC* und der Thalamus zentrale Elemente des Salienznetzwerkes dar (vgl. Abschnitt *Frontotemporaler Kortex: anteriore Insula*, Hermans et al. 2014). Auch während der Durchführung des kompakten ScanSTRESS konnte eine Inhibition des *mPFC* als Struktur des Exekutivnetzwerkes und eine Aktivierung von Strukturen des Salienznetzwerkes gemessen werden (Sandner et al. 2020). Aus dieser Erkenntnis lässt sich schließen, dass es sich beim ScanSTRESS-C um eine effektive Möglichkeit handelt, eine starke Stressreaktion auszulösen. Saliente Stimuli stellen in diesem Fall sozial-evaluative Elemente wie beispielsweise der negative visuelle Input durch die kritische Mimik der Jury oder die schlechte Bewertung der Leistung durch die Jury dar (vgl. Kapitel 4.4.1). Darüber hinaus wurden Deaktivierungen des ventromedialen *PFC* (*vmPFC*) in Zusammenhang mit einem erhöhten Kortisolanstieg während der Durchführung des MIST festgestellt (Wheelock et al. 2016). Das zeigt, dass eine intensivere hormonelle Stressantwort mit einer Deaktivierung des *mPFC* während der Induktion von Stress einhergeht und bestätigt die Erkenntnisse von Sandner und Kollegen (2020), welche zeigten, dass in einer Stresssituation der *mPFC* deaktiviert war.

Anatomisch und funktionell vom (*v*)*mPFC* zu unterscheiden ist der dorsolaterale *PFC* (Quirk und Beer 2006; Wager et al. 2009). Er nimmt eine zentrale Rolle in der Funktion des Arbeitsgedächtnisses ein (Levy und Goldman-Rakic 2000; Petrides 2000), das nach Baddeley Substrukturen wie den *räumlich-visuellen Notizblock* oder den *Episodischen Puffer* beinhaltet (Baddeley 2010): Über den *räumlich-visuellen Notizblock* können visuelle und räumliche Informationen begrenzt gespeichert werden. Der *Episodische Puffer* ermöglicht es, solche Informationen als Episoden zu speichern. Dabei wurde speziell dem *dIPFC* die Funktion der aktiven Aufrechterhaltung von Informationen (*active maintenance*) zugeschrieben, die es ermöglicht, Informationen aktiv abzurufen (Cohen et al. 1997). Es ist jedoch zu betonen, dass der

2 Theoretischer Hintergrund

dIPFC dem Exekutivnetzwerk zugeordnet wird (z.B. Hermans et al. 2014), was aufgrund der von Sandner (2017, unveröff.) beschriebenen Deaktivierung des Exekutivnetzwerkes auch eine Deaktivierung des dIPFC während der Stressbedingung des ScanSTRESS-C zur Folge haben würde. Vor diesem Hintergrund ist es interessant, dass während des ScanSTRESS-C und während des MIST (Sandner 2017, unveröff.; Wheelock et al. 2016) Aktivierungen im dIPFC gemessen wurden. Dies könnte auf seine Funktion zurückgeführt werden, aktiv Informationen abzurufen, was beispielsweise die richtige Beantwortung zunächst falsch gelöster Aufgaben gefördert haben könnte, indem die erstmals ausgewählte Antwort durch aktives Erinnern als mögliche Antwortoption direkt ausgeschlossen wurde. Diese Aktivierung lässt die Annahme zu, dass während der Stressbedingung die Funktion des dIPFC als Bestandteil des Arbeitsgedächtnisses gegenüber seiner Funktion im Exekutivnetzwerk überwogen haben könnte.

Der cinguläre Kortex ist für die Verarbeitung sensorischer, motorischer und emotionaler Informationen verantwortlich (Bush et al. 2000). Dazu gehören die Prozessierung sowohl positiver als auch negativer Emotionen (Tobia et al. 2017; Waugh et al. 2008). Auch für die Integrierung widersprüchlicher Informationen ist der cinguläre Kortex verantwortlich: Der anteriore cinguläre Kortex kann dabei als neuronales Alarmsystem betrachtet werden, das aktiviert wird, wenn sich autonome Reaktion und höhere kognitive Ziele widersprechen (Carter et al. 2000; Eisenberger et al. 2003).

Aktivierungen im dorsalen Bereich des ACC (dACC) konnten während der Bearbeitung kognitiv anspruchsvoller Aufgaben, die hohe Konzentration und Aufmerksamkeit erfordern, festgestellt werden (Critchley et al. 2005; Critchley et al. 2000; Duncan und Owen 2000). Darüber hinaus wurden signifikante Aktivierungen des dACC während der Detektion von Fehlern gemessen (Orr und Hester 2012). Gleichzeitig ist der dACC in die Verarbeitung komplexer sozialer Erlebnisse involviert, wie beispielsweise der kognitiven Verarbeitung sozialer Ausgrenzung (Dalgleish et al. 2017; Will et al. 2016). Zudem wird dem dACC eine kontrollierende Funktion emotionsinduzierender Strukturen zugeschrieben (Shenhav et al. 2016). Vor diesem Hintergrund ist es leicht nachvollziehbar, dass dem dACC eine zentrale Rolle im Saliennetzwerk zugeschrieben wird (Hermans et al. 2014).

Die Stichprobe von Sandner und Kollegen (2020) zeigte während der Durchführung des ScanSTRESS-C eine signifikante beidseitige Aktivierung des dACC auf, was die

2 Theoretischer Hintergrund

Aktivierung des dACC während des Lösens kognitiver Aufgaben und der eigenen Fehlerevaluation, induziert durch das negative Feedback der Jury, widerspiegelt. Auch Dahm und Kollegen (2017) konnten beidseitige Aktivierungen des dACC während des ScanSTRESS detektieren.

Sowohl der ventrale anteriore cinguläre Kortex (vACC), der den subgenualen Bereich des ACC impliziert, als auch der perigenuale rostrale Teil des ACC (pgACC) weisen intensive neuronale Verbindungen zu *al* und Amygdala auf (Matthews et al. 2004). Dabei stellen vACC und pgACC emotionsregulierende Komponenten dar (Etkin et al. 2011; Etkin et al. 2015).

Damit einhergehend korreliert die Aktivierung im vACC mit der Aktivierung des parasympathischen Nervensystems (Matthews et al. 2004) und einer Verminderung des Blutdrucks (Burns und Wyss 1985).

Während der Durchführung des ScanSTRESS konnten Dahm und Kollegen (2017) eine Deaktivierung des vACC aufzeigen. Diese ist dadurch zu erklären, dass es während des ScanSTRESS zu einer intensiven Stressreaktion kommt, bei der die präfrontale *Top-down*-Kontrolle inhibiert wird und die schnelle Verarbeitung salienter Stimuli in den Vordergrund rückt (vgl. Abschnitte zum mPFC und zur anterioren Insula).

Frontotemporaler Kortex: anteriore Insula

Die *al* wird als multimodale Integrationsregion betrachtet (Kurth et al. 2010), in der saliente Stimuli aus der Umwelt erkannt (Cai et al. 2014; Caria et al. 2010; Hermans et al. 2014) und emotional verarbeitet werden (Bauernfeind et al. 2013; Linnman et al. 2011). Dazu gehören beispielsweise sozial-evaluative Stimuli (Kurth et al. 2010). Zudem wird die eigene körperliche Reaktion darauf interozeptiv registriert (Kuehn et al. 2016; Terasawa et al. 2013a; Zaki et al. 2012) und die entstandenen Gefühle explizit bewertet (Caria et al. 2010; Phan et al. 2004). Daran anknüpfend ist die *al* elementarer Bestandteil der Antizipation ängstlichen Verhaltens (Lovero et al. 2009; Terasawa et al. 2013b). Insuläre Hyperaktivität gekoppelt mit erhöhter amygdaloider Aktivität impliziert demnach eine verstärkte Aktivierung angstassoziierter Areale und korreliert positiv mit dem Auftreten von Angsterkrankungen (Klumpp et al. 2012). Auch auf physiologischer Ebene gehen Aktivierungen der *al* während eines mathematischen Stresstests mit einer intensiveren körperlichen Stressreaktion im Sinne einer Erhöhung der Herzfrequenz einher (Critchley et al. 2000).

2 Theoretischer Hintergrund

Es konnten sowohl während des ScanSTRESS-C (Sandner et al. 2020) als auch während des ScanSTRESS (Dahm et al. 2017; Streit et al. 2014) beidseitige Aktivitätssteigerungen in der *al* festgestellt werden. Hier wird deutlich, dass sowohl beim ScanSTRESS-C als auch beim ScanSTRESS Stimuli wie die kritische Mimik der Jury, das Tragen eines Arztkittels, das negative visuelle und verbale Feedback, die Schwierigkeit der Aufgaben und der Zeitdruck als sozial-evaluative Stimuli wahrgenommen wurden, die zu einer insulären Aktivierung führten (Grimm et al. 2014; Kurth et al. 2010).

Darüber hinaus lassen die beschriebenen Funktionen der *al* die Annahme zu, dass durch die Persistenz der negativen sozial-evaluativen Stimuli durch die Jury über die verschiedenen Aufgabenblöcke hinweg ängstliches Verhalten im Probanden antizipiert wurde. So kann bereits die Ankündigung des nächsten Aufgabenblocks der Stressbedingung nach einer Pause antizipatorische Angst vor der Jury im Probanden ausgelöst haben. Somit könnte es sein, dass zusätzlich zur Induktion von Stress Angst und deren Antizipation während der Stressbedingung im Probanden ausgelöst wurden. Die Induktion von Angst bei akuter Stressexposition ist dabei als angemessene körperliche Reaktion zu betrachten, die das Individuum im Sinne einer Fluchtreaktion vor Bedrohungen schützt (vgl. Abschnitt zum PFC und zur Amygdala).

Kerngebiete: ventrales Striatum und Amygdala

Das vS steuert Motivation im Zusammenhang mit der Erwartung einer Belohnung (Bowman et al. 1996; Cardinal et al. 2002; Robbins und Everitt 1996). Darüber hinaus kommt dem vS als Teil des Belohnungssystems die Aufgabe der Registrierung und Verarbeitung falscher Belohnungsvorhersagen zu (Murray et al. 2008). Ein solcher Vorhersagefehler tritt dann auf, wenn nach Präsentation eines Reizes mehr oder weniger Belohnung oder Bestrafung eintritt als erwartet (Li et al. 2011). So können bisher angenommene Stimulus-Outcome-Assoziationen überdacht und neu erlernt werden (Robinson et al. 2013). Darüber hinaus wurde gezeigt, dass sich während der Durchführung eines Stressparadigmas, das die Applikation von elektrischen Reizen beinhaltet, die Aktivität des vS bei Vorhersagefehlern, die in der Präsentation eines aversiven statt eines appetitiven visuellen Reizes mündeten, im Vergleich zur nicht stressigen Bedingung erhöhte (Robinson et al. 2013). Davon kann abgeleitet werden, dass sich Stress auf die Verarbeitung von Vorhersagefehlern auswirkt, sodass es zu

2 Theoretischer Hintergrund

einer gesteigerten Aktivierung des vS kommt, wenn der resultierende Reiz negativer ist als erwartet.

Es konnten in verschiedenen Studien signifikante Aktivierungen im vS während des ScanSTRESS ausgemacht werden (Akdeniz et al. 2014; Dahm et al. 2017; Streit et al. 2014). Dies kann darin begründet sein, dass die Probanden in der Stressbedingung falsche Vorhersagen machten, was die Reaktion der Jury auf ihre Leistungen betraf. Wie in Kapitel 4.4 beschrieben, erhielten die Probanden immer negatives Feedback (*Fehler* bzw. *Arbeiten Sie schneller*), auch wenn die Probanden eine Aufgabe in der vorgesehenen Zeit richtig lösten und folglich ein positives Feedback erwarteten. Aufgrund der einprogrammierten direkten Wiederholung falsch gelöster Aufgaben und folglich einer erhöhten Wahrscheinlichkeit, die Aufgabe in kurzer Zeit richtig zu lösen und dennoch negatives Feedback zu erhalten, können falsche Vorhersagen mit unerwarteter negativer Konsequenz als eine wichtige Ursache ventraler striataler Aktivierung während der Stressinduktion gesehen werden. Bei Sandner (2017, unveröff.) blieb allerdings die erwartete striatale Aktivierung aus, was mit einer zu geringen Stichprobengröße begründet wurde (Sandner 2017, unveröff.).

Die Amygdala hat als zentrales Element des Saliennetzwerkes ihre Funktion sowohl in der Detektion von Bedrohungen (Ohman 2005) als auch in der Generierung und Konditionierung von Furcht (Cahill et al. 1999; Fuchs und Flugge 2003; LeDoux 2003; Nitschke et al. 2009; Wager et al. 2009). Anatomisch kann die Amygdala grob in einen lateralen Kern als sensorische Schnittstelle und einen zentralen Kern als neuronale Outputregion unterteilt werden (Phelps und LeDoux 2005). Beide Kerngebiete sind intensiv miteinander verknüpft, sodass sensorische Informationen zunächst im lateralen Kern registriert und verarbeitet werden. Als Reaktion darauf werden durch den zentralen Kern weitere angstassoziierte Areale aktiviert (Adolphs 2003; Kapp et al. 1992; Saha 2005; Schwabe et al. 2012).

Der Konditionierung von Furcht liegen dabei verschiedene Prozesse zugrunde, wie Aufmerksamkeit gegenüber bedrohlichen Stimuli oder die Konsolidierung furchtauslösender Erinnerungen (Schwabe et al. 2012). Dies erklärt die komplexen neuronalen Verbindungen zu zahlreichen Arealen wie PFC, ACC, HC oder al (Bandler et al. 2000; Herman et al. 2005; LeDoux 2003; Wager et al. 2008). Dabei ist die Amygdala durch Verbindungen zu Hypothalamus, zentralem Höhlengrau und monoaminergen Kernen als zentrales exzitatorisches Element der endokrinen

2 Theoretischer Hintergrund

Stressantwort als Reaktion auf bedrohliche Stimuli zu betrachten (Nestler et al. 2002; Carver et al. 1994; Feldman und Weidenfeld 1998; Flandreau et al. 2012).

Während der Durchführung des MIST konnten signifikante Aktivierungen in der Amygdala gemessen werden (Boehringer et al. 2015; Chung et al. 2016b). Konkret kann man sagen, dass sozial-evaluative Stresskomponenten wie das negative verbale Feedback der Jury von den Probanden als bedrohlich und angstauslösend wahrgenommen wurden. Die Aktivierung der Amygdala brachte wiederum durch die bereits beschriebenen intensiven neuronalen Verknüpfungen einen Wechsel von präfrontal koordiniertem, zielgerichtetem Verhalten zu rigidem Stimulus-Reaktions-Verhalten in der Stresssituation mit sich (Hermans et al. 2014). Eine Folge ist beispielsweise die im Abschnitt zum mPFC beschriebene präfrontale Deaktivierung.

Streit und Kollegen (2014) konnten während der Durchführung des ScanSTRESS ebenfalls eine Aktivierung der Amygdala aufzeigen. Allerdings wiesen sowohl Dahm (2017) als auch Sandner (2020) und Kollegen Deaktivierungen der Amygdala während der Stressinduktion nach. Eine Begründung für die Deaktivierung der Amygdala während des ScanSTRESS-C könnte hierbei eine Habituation an die Situation im Scanner sein, die aufgrund einer fehlenden Randomisierung etwa zeitgleich mit der Induktion von Stress stattfand. Folglich konnten keine Unterschiede amygdaloider Aktivität zwischen Kontroll- und Stressbedingung festgestellt werden (vgl. Sandner 2017, unveröff.).

Hippocampus

Der HC hat die Funktion, situationsspezifische kognitive Informationen in körperlich angemessene Reaktionen zu integrieren (Herman und Cullinan 1997). Dies impliziert das Herausfiltern wichtiger Stimuli und deren Kontextualisierung, das Abwägen widersprüchlicher sensorischer Informationen und deren kognitive Verarbeitung (Grimm et al. 2014). Ziel ist die Generierung einer möglichst optimalen behavioralen endokrinen Reaktion (Dickerson und Kemeny 2004; Hirsh 1974; Khalili-Mahani et al. 2010; Kumaran und Maguire 2007; Rutishauser et al. 2006). Dabei kommt dem HC durch inhibitorische Verbindungen beispielsweise zur Amygdala eine regulierende Funktion der kortisolvermittelten Stressantwort zu (Bohus 1975; Kloet et al. 2005; McEwen 2007; Pruessner et al. 2010; van Hartesveldt 1975). Während der Verarbeitung emotional salienter Stimuli konnten Zheng und Kollegen (2017) darüber hinaus die Aktivierung eines amygdaloid-hippocampalen Netzwerkes feststellen, das

2 Theoretischer Hintergrund

in die frühen Verarbeitung salienter Stimuli involviert ist. Konkret wird angenommen, dass durch vorrangig unidirektionale Verbindungen die Aktivierung des HC durch die Aktivierung der Amygdala geschieht, welche wiederum durch subkortikale Areale stimuliert wird. So führt die Aktivierung des HC zur Induktion mnestischer Prozesse mit dem Ziel der Erinnerung an den salienten Stimulus (Schwabe et al. 2012).

Grimm und Kollegen (2014) stellten eine Deaktivierung des HC während der Durchführung des MIST fest, was wiederum mit dem Anstieg von Kortisol während der Induktion von Stress einherging. Die Autoren begründeten die Deaktivierung des HC damit, dass in einer Stresssituation wie dem MIST die Evaluierung sensorischer Stimuli mit dem Fokus auf Bedrohlichkeit oder Gefahr geschieht, die komplexe hippocampale kognitive Prozesse, wie die Kontextualisierung der Stimuli, in den Hintergrund rückt (Grimm et al. 2014). Durch eine hohe Aktivität des HC in Ruhe wird eine solche Deaktivierung während der Stressbedingung im Vergleich zur Kontrollbedingung begünstigt (Dedovic et al. 2009a). Dedovic und Kollegen (2009a) zeigten beispielsweise bei Individuen, die sich durch eine signifikante Stressantwort auszeichneten, eine intensivere hippocampale Deaktivierung nach dem verbalen Feedback auf. Dies legt die Vermutung nahe, dass das verbale Feedback vom Probanden als ein solcher bedrohlicher Stimulus aufgefasst wird. Aufgrund der verminderten Inhibition der HHPA-Achse durch den HC kam es folglich zu einer erhöhten Kortisolausschüttung. Auch Dahm und Kollegen (2017) konnten eine hippocampale Deaktivierung während der Induktion von Stress nachweisen, allerdings nur im anterioren HC. Dieses Studienergebnis wurde von den Autoren leider nicht näher erläutert. Im Hinblick auf das beschriebene amygdaloid-hippocampale Netzwerk könnte folgender Zusammenhang bestehen: Dahm und Kollegen (2017) stellten sowohl eine Deaktivierung der Amygdala als auch eine Deaktivierung des anterioren HC während der Stressbedingung im Vergleich zur Kontrollbedingung fest, die durch eine fehlende Aktivierung des HC durch die Amygdala begründet sein könnte.

Sowohl während des ScanSTRESS als auch während des MIST konnten hingegen signifikante Aktivierungen im HC eruiert werden (Boehringer et al. 2015; Chung et al. 2016b; Dahm et al. 2017; Streit et al. 2014). Dahm und Kollegen (2017) stellten hier ausschließlich eine Aktivierung des posterioren HC fest. Chung und Kollegen (2016b) führten dies auf die zentrale Rolle des HC in der Prozessierung und Erinnerung von sozial-evaluativer Bedrohung zurück.

2 Theoretischer Hintergrund

Die Klärung der Ursachen dieser verschiedenen Messergebnisse und ihrer divergierenden Begründungen steht noch aus.

Eine Übersicht über das Aktivitätsverhalten der beschriebenen neuronalen Strukturen stellt Tabelle 1 dar. Zusammengefasst deuten die stressbedingten Aktivierungen der beschriebenen Areale auf eine Aktivierung von Strukturen des Saliensnetzwerkes während der Stressinduktion im Vergleich zur Kontrollbedingung hin. Die thematisierten Deaktivierungen hingegen verdeutlichen die Deaktivierung von Strukturen des Exekutivnetzwerkes während der Induktion von Stress im Vergleich zur Kontrollbedingung (vgl. Sandner et al. 2020).

2 Theoretischer Hintergrund

Neuronales Areal	Spezifische Funktion	MIST	Scan STRESS	Scan STRESS-Kompakt
(v)mPFC	Inhibition, Belohnung, Stressintensitäts-Erwartung, Bestandteil des Exekutivnetzwerkes			- (Sandner et al. 2020)
dIPFC	Arbeitsgedächtnis, Bestandteil des Exekutivnetzwerkes	+ (Wheelock et al. 2016)		+ (Sandner 2017, unveröff.)
dACC	Regulation, Konzentration, Fehlerdetektion, Verarbeitung komplexer soz. Erlebnisse, Bestandteil des Saliensnetzwerkes		+ (Dahm et al. 2017)	+ (Sandner et al. 2020)
vACC	Regulation, Bestandteil des Exekutivnetzwerkes		- (Dahm et al. 2017)	

2 Theoretischer Hintergrund

al	Interozeptive Wahrnehmung und Bewertung von Gefühlen, Antizipation ängstlichen Verhaltens, Bestandteil des Saliennetzwerkes		+	+
			(Dahm et al. 2017; Streit et al. 2014)	(Sandner et al. 2020)
Amygdala	Detektion von Bedrohung, Konditionierung von Furcht, Bestandteil des Saliennetzwerkes	+	-/+	-
		(Boehringer et al. 2015; Chung et al. 2016b)	(Dahm et al. 2017; Streit et al. 2014)	(Sandner et al. 2020)
vS	Belohnungssystem, Registrierung falscher Belohnungsvorhersagen, Bestandteil des Saliennetzwerkes		+	
			(Dahm et al. 2017, Streit et al. 2014)	
HC	Filtern von Stimuli, Regulation, mnestiche Prozesse salienter Stimuli	+/-	+	
		(Boehringer et al. 2015; Chung et al. 2016b; Dedovic et al. 2009b; Grimm et al. 2014)	(Streit et al. 2014; Dahm et al. 2017)	

Tabelle 1: Übersicht der Aktivierung neuronaler Areale während der Induktion von Stress. Die spezifischen Funktionen beziehen sich auf ihre Relevanz in der Verarbeitung von Stress. Quellenangaben dazu sind im Fließtext aufgeführt.

Anmerkung: „+“: Aktivierung in der Stressbedingung im Vergleich zur Kontrollbedingung, „-“: Deaktivierung in der Stressbedingung im Vergleich zur Kontrollbedingung. (v)mPFC: (ventro)medialer präfrontaler Kortex; dlPFC: dorsolateraler präfrontaler Kortex; dACC: dorsaler anteriorer cingulärer Kortex; vACC: ventraler anteriorer cingulärer Kortex; al: anteriore Insula; vS: ventrales Striatum; HC: Hippocampus

2.2.1.3 Zusammenfassende Analyse effektiver neuronaler Stressverarbeitung

Das Aktivierungsverhalten der beschriebenen Areale reflektiert eine mehr oder weniger effektive Verarbeitung der Stressinduktion eines Individuums. In Kapitel 2.1 wurde der produktive Umgang mit stressigen Situationen beschrieben, der als Parameter für die Operationalisierung von Resilienz dienen kann. Aufgrund der beschriebenen Funktionen neuronaler Areale werden Aktivierungen von Strukturen des Exekutivnetzwerkes und Deaktivierungen von Strukturen des Salienznetzwerkes während der Stressinduktion im Zusammenhang mit einer effektiven Stressverarbeitung erwartet. Außerdem wird aufgrund seiner vielschichtigen Verbindungen zum Salienznetzwerk eine veränderte hippocampale Aktivierung erwartet. Konkretere Aussagen zum HC können aufgrund der präsentierten unterschiedlichen Studienergebnisse nicht getroffen werden.

2.2.2 Erfassung des allgemeinen subjektiven Stressempfindens

Neben der objektiven Stressreaktion rückt die Erfassung des subjektiven Stressempfindens (SE) zunehmend in den Fokus der Forschung (Folkman und Lazarus 1984; Hewitt et al. 1992; Kanner et al. 1981). Die subjektive Wahrnehmung von Stress setzt sich, wie bereits in den Kapiteln 2.1.1 und 2.1.2 beschrieben, aus verschiedenen Faktoren zusammen: Neben der Erfahrung NLEs beeinflussen Resilienz- und Risikofaktoren die Wahrnehmung von Stress. Somit kann sie als Resultat des Einwirkens dieser Aspekte gesehen werden (Cohen et al. 1983; Gadalla 2009). Das subjektive SE ist dabei als dynamisch anzusehen, das im Kontext der drei Aspekte NLEs, Resilienz- und RFn variiert (Hewitt et al. 1992; Meichenbaum 2007). Auf dem Zusammenwirken der drei Faktoren aufbauend, kann das allgemeine subjektive Stressempfinden auf verschiedene Art und Weisen erfasst werden: Eine Möglichkeit stellt die Erfassung von individuell erlebten NLEs dar. Dabei können Rückschlüsse auf das vermutete allgemeine subjektive Stressempfinden gezogen werden (Cohen et al. 1983; Horowitz et al. 1979). Eine zweite Möglichkeit, das allgemeine subjektive Stressempfinden zu erfassen, bilden Fragebögen wie die *Life Experience Scale* (Sarason et al. 1978). Hier wird zusätzlich zur Angabe NLEs die subjektive Beeinflussung durch diese angegeben. So kann auf die Bedeutung NLEs für das Individuum eingegangen werden. Zudem wird so indirekt der Einfluss von

2 Theoretischer Hintergrund

Risiko- und RFn erfasst, der sich in der Höhe des subjektiven Stressempfindens widerspiegelt. Als eine dritte Möglichkeit, das allgemeine subjektive Stressempfinden zu erfassen, werden Fragebögen gesehen, die nicht auf der Erhebung konkreter NLEs beruhen, sondern auf der Erfassung von psychologischen Konstrukten, die sich aus der individuellen Beeinflussung durch NLEs, RFn und Risikofaktoren ableiten lassen. Dazu zählen beispielsweise Anspannung, Sorgen, Anforderungen und Freude (*Perceived Stress Questionnaire, PSQ*, 30 Items, Levenstein et al. 1993; Validierung der deutschen Version von Fliege et al. 2005) oder Selbstwirksamkeit und erlernte Hilflosigkeit (PSS, Schneider et al. 2020).

Pbert und Kollegen (1992) zeigten positive korrelative Zusammenhänge sowohl zwischen PSS und der Anzahl NLEs als auch zwischen PSS und der Angabe der subjektiven Beeinflussung durch ein NLE auf. Sowohl für die Quantifizierung von NLEs als auch für die Eruierung der subjektiven Beeinflussung durch NLEs wurde die *Life Experience Scale* verwendet, die beide Aspekte erfasst (Sarason et al. 1978). Cohen und Kollegen (1983) konnten eine stärkere Korrelation zwischen PSS und subjektiver Beeinflussung durch NLEs als zwischen PSS und der Anzahl an NLEs nachweisen. Dies bestätigt, dass die Implizierung des subjektiven Einflusses von NLEs der subjektiven Wahrnehmung von Stress korrelativ näher steht als die rein objektive Erfassung der Anzahl an NLEs. Darüber hinaus erfassten Levenstein und Kollegen (1993) eine positive Korrelation zwischen Gesamtwerten von PSS und PSQ. Diese Studien unterstützen die oben genannten inhaltlichen Zusammenhänge der verschiedenen Möglichkeiten, allgemeines subjektives Stressempfinden zu erfassen. Ein Vorteil, das allgemeine subjektive Stressempfinden nicht beruhend auf der Anzahl an NLEs und deren individueller Bedeutung, sondern mittels Fragebögen wie PSS oder PSQ zu erfassen, liegt darin, dass keine biografischen Elemente erfasst werden und man so durch die Retrospektive entstandene fehlerhafte Angaben umgeht. Diese Problematik hat dazu geführt, dass nun der Fokus stärker auf der interviewbasierten Erfassung NLEs und deren Bedeutung für das Individuum liegt, da so der Interviewer unter anderem an bestimmten Stellen spezifisch nachfragen und zusätzliche relevante Informationen erfassen kann (Wethington et al. 1995). Zudem stehen Autoren von Fragebögen und Interviews, die NLEs erfassen, vor dem Problem der Vielfalt an potentiell NLEs, die zudem aufgrund von kulturellen Unterschieden innerhalb von Populationen variieren können. Dies kann zu einer unterschiedlichen Anzahl an Items und somit einer erschwerten Vergleichbarkeit der verschiedenen Fragebögen bzw. Interviews führen. Beispiele hierfür sind der *Stressful Life Events Screening*

2 Theoretischer Hintergrund

Questionnaire (Goodman et al. 1998, 11 Items), die *Life Events Checklist* (Gray et al. 2004, 16 Items), die *Life Experience Scale* (Sarason et al. 1978, 43 Items) oder das *Münchener Ereignislisten-Interview* (Wittchen et al. 1989, 85 Items).

Erfassung des allgemeinen subjektiven Stressempfindens anhand der PSS

Die PSS wurde von Cohen und Kollegen (1983) in englischer Sprache entwickelt und beinhaltete ursprünglich 14 Items. Im Rahmen einer weiteren Studie von Cohen und Kollegen (1988) entstand durch das Streichen von vier Items die Version der PSS mit 10 Items, die bisher in 25 Sprachen übersetzt wurde und bessere psychometrische Eigenschaften aufweist als ihre Vorgängerversion (Lee 2012). Testtheoretische Aspekte sind in Kapitel 4.3.1 aufgeführt.

Das bereits in Kapitel 2.1.1 und 2.1.2. thematisierte Gefühl der Kontrollierbarkeit spielt eine zentrale Rolle in der subjektiven Stresswahrnehmung. Anhand der PSS kann unabhängig von spezifischen Stressoren eine generelle subjektive Einschätzung über die Kontrollierbarkeit des eigenen Lebens vorgenommen werden (Hewitt et al. 1992). Ein hohes subjektives SE spiegelt dabei den subjektiven Eindruck von Unkontrollierbarkeit und Unvorhersagbarkeit des eigenen Lebens wider.

Korrelative Zusammenhänge der PSS

Es konnte ein positiver korrelativer Zusammenhang zwischen PSS und Alter aufgezeigt werden, was unter anderem durch ein erhöhtes Auftreten physischer und psychischer Erkrankungen im zunehmendem Alter erklärt werden kann (Lesage et al. 2012). Zudem konnten einige Studien nachweisen, dass Frauen signifikant höhere PSS-Werte aufwiesen als Männer (Andreou et al. 2011; Hewitt et al. 1992; Lesage et al. 2012; Leung et al. 2010). Da Frauen ungefähr doppelt so häufig an stressassoziierten Erkrankungen wie Depressionen leiden wie Männer (Kessler 2003), ist ein höheres subjektives Stressempfinden bei Frauen als bei Männern nachvollziehbar.

In zahlreichen Studien konnten positive Korrelationen zwischen hohen Werten der PSS und objektiven stressassoziierten Parametern festgestellt werden, wie beispielsweise erhöhten Kortisolkonzentrationen (Pruessner et al. 1999; van Eck und Nicolson 1994), verschlechterter Immunabwehr (Burns et al. 2002), langsamerer Wundheilung (Ebrecht et al. 2004), höheren Entzündungsparametern (Cohen et al. 1999) und einer größeren Wahrscheinlichkeit, physisch oder psychisch zu erkranken, beispielsweise an Angststörungen oder Depressionen (Cobb und Steptoe 1996;

2 Theoretischer Hintergrund

Cohen et al. 1986; Cohen et al. 1993; Cohen et al. 1983; Culhane et al. 2001; Whiffen und Gotlib 1989). Dabei muss auf die inhaltliche Überschneidung zwischen den Items der PSS und der Erfassung depressiver Symptome hingewiesen werden: So stellen Hilflosigkeit und ein vermindertes Gefühl von Selbstwirksamkeit, die beiden Subskalen der PSS, gleichzeitig ein Zusatzsymptom der Depression dar (S3-Leitlinie/NVL Unipolare Depression 2015).

2.2.2.1 Allgemeines subjektives Stressempfinden als resilienzassoziierter Parameter

Jones und Tanner (2015) fassen die Möglichkeiten der Erfassung subjektiver Resilienz zusammen, indem sie von zwei zentralen Ansätzen ausgehen: Zum einen im Messen des erfolgreichen Umgangs mit vergangenen Lebensereignissen und zum anderen in der Erfassung individueller Faktoren wie persönliche Kompetenzen oder soziale Ressourcen.

Hohe Werte der PSS und positive Korrelationen dazu wurden bereits in Kapitel 2.2.2 thematisiert. Nun soll der Fokus auf Studien gerichtet sein, die sich mit niedrigen Werten der PSS und möglichen Korrelationen zu Resilienz befassen. Niedrige Werte der PSS spiegeln dabei ein hohes Maß an subjektiv wahrgenommener Kontrollierbarkeit und Vorhersagbarkeit des eigenen Lebens wider, die als elementare Einflussfaktoren resilienten Verhaltens zu betrachten sind (vgl. Kapitel 2.1). Somit geht Resilienz mit der Tendenz einher, NLEs als weniger stressig wahrzunehmen (Kobasa 1979; Southwick et al. 2005). Frazier und Kollegen (2004) bestätigten dies, indem sie zeigten, dass die Kontrolle über den Erholungsprozess nach einem sexuellen Übergriff mit einem verminderten Stressempfinden einherging. Kontrolle wirkt sich demnach positiv auf das subjektive Wohlbefinden aus (Herbst et al. 2016).

In Kapitel 2.1.2 wurde der Zusammenhang zwischen hoher internaler Kontrollüberzeugung, geringem subjektivem Stressempfinden und einem erhöhten subjektiven und objektiven Gesundheitsniveau dargestellt. Zudem wurde die Bedeutung von Gesundheit nach einem NLE als Parameter für Resilienz aufgezeigt. Im Folgenden wird der Zusammenhang zwischen niedrigem subjektivem Stressempfinden und erhöhtem subjektivem Wohlbefinden und allgemeiner Gesundheit bestätigt: Skok und Kollegen (2006) stellten eine negative Korrelation zwischen PSS und subjektivem Wohlbefinden fest. Für die Erfassung des subjektiven Wohlbefindens wurde die Subskala *Psychological Wellbeing* der *Satisfaction With Life*

2 Theoretischer Hintergrund

Scale (Diener et al. 1985) und der *Profile of Adaption to Life Scale* (Ellsworth 1981) verwendet. Darüber hinaus zeigten Goldberg und Williams (1991) eine negative Korrelation zwischen PSS und allgemeiner Gesundheit, gemessen anhand des *General Healthcare Questionnaire* (Goldberg und Williams, 1991) auf.

Es wurden auch direkte Zusammenhänge zwischen PSS und Resilienz aufgezeigt: Die *Brief Resilience Scale* (BRS) gilt als reliabler Fragebogen, Resilienz zu erfassen. Smith und Kollegen (2008) konnten eine negative Korrelation zwischen BRS und PSS feststellen.

Des Weiteren wurden die Zusammenhänge zwischen RfN und der PSS erforscht: In Bezug auf soziale Unterstützung konnte gezeigt werden, dass die PSS als Mediatorvariable abhängige Variablen wie die in Bezug zur allgemeinen Gesundheit gesetzte *Lebensqualität* beeinflusst (*general health-related quality of life*, Zhou et al. 2010). Hier wird deutlich, dass niedriges subjektives Stressempfinden in Form von niedrigen Werten in der PSS den Rf soziale Unterstützung und den mit Resilienz assoziierten Outcomeparameter *hohe Lebensqualität* miteinander verknüpft.

Zusammenfassend kann man sagen, dass das allgemeine subjektive Stressempfinden, gemessen anhand der PSS, negativ mit verschiedenen Parametern korreliert, die versuchen, Resilienz zu operationalisieren: Dazu gehören die BRS als Maß für die subjektive Erfassung von Resilienz, subjektives Wohlbefinden und körperliche Gesundheit. Darüber hinaus wurde ein moderierender Einfluss der PSS zwischen RfN und Lebensqualität festgestellt. Anhand letzterer wird ebenfalls versucht, Resilienz zu messen.

Unter Beachtung von Kapitel 2.2.2 wird zudem deutlich, dass sich im Gesamtwert der PSS NLEs, RfN und Risikofaktoren widerspiegeln. Da in Kapitel 2.1 die zentrale Bedeutung dieser drei Faktoren für die Förderung resilienten Verhaltens betont wird, kann davon ausgegangen werden, dass die PSS ein angemessenes Instrument darstellt, Resilienz zu operationalisieren. Die in diesem Kapitel erörterten Forschungsergebnisse, die negative Korrelationen zwischen der PSS und anerkannten Parametern zur Operationalisierung von Resilienz aufzeigen, bestätigen, dass die PSS sich als Instrument zur Erfassung von Resilienz eignet.

2.2.3 Korrelationen objektiver und subjektiver Stressparameter

Stress kann, wie bereits beschrieben, sowohl auf objektiver Ebene in Form von hormoneller und neuronaler Aktivierung als auch subjektiv mittels Fragebogen erfasst werden. Da in dieser Studie mögliche Korrelationen zwischen dem subjektiven Stressempfinden der letzten vier Wochen und neuronaler (De-)Aktivierung während der Stressinduktion untersucht werden, wird im Folgenden ausschließlich auf Zusammenhänge von neuronaler und die subjektiver Stressreaktion eingegangen.

Neuronale und subjektive Stressreaktion

Einige Studien, die neben neuronaler Aktivierung auch das subjektive SE während der Durchführung von ScanSTRESS und ScanSTRESS-C erfassten, konnten eine Zunahme der subjektiven Stresswahrnehmung sowie Aktivierungen von Strukturen des Saliennetzwerkes und Deaktivierungen im mPFC während der Stressinduktion feststellen (Akdeniz et al. 2014; Sandner et al. 2020). Dieses neuronale Aktivierungsmuster sowie die Zunahme des subjektiven Stressempfindens während der Stressinduktion weisen auf eine erfolgreiche Stressinduktion hin.

Wang und Kollegen (2005) konnten eine Korrelation zwischen subjektivem Stressempfinden während der Stressinduktion und der Aktivierung einer neuronalen Struktur feststellen. In dieser Studie mussten die Probanden unter Zeitdruck die Zahl 13 von einer vierstelligen Zahl subtrahieren. Dabei konnte eine positive Korrelation zwischen subjektiver Stresswahrnehmung und der Aktivierung der linken *al* während der Durchführung der Stressinduktion aufgezeigt werden.

Vor dem Hintergrund der bisher geringen Anzahl an Studien, die sich mit den Zusammenhängen objektiver und subjektiver Stresserfassung beschäftigen, betonen Noack und Kollegen (2019) in ihrem Review über Stressinduktionsparadigmen die Notwendigkeit der Analyse von Interaktionen des neuronalen und des subjektiven Systems.

3 Hypothesen

In dieser Studie soll ein möglicher Zusammenhang zwischen dem erlebten subjektiven Stressempfinden und der Aktivierung neuronaler Areale während einer akuten Stressinduktion bei gesunden Probanden untersucht werden. Das allgemeine subjektive Stresslevel wird anhand der PSS-10 (Cohen et al. 1983; Cohen und Williamson 1988) erfasst. Die Stressinduktion wird mit einem zuverlässig stressinduzierenden Stressparadigma im MRT durchgeführt (Validierung des ScanSTRESS-C von Sandner et al.2020).

H1: Aktivierung stressassoziierter neuronaler Areale während der Stressinduktion

Gemäß der in Kapitel 2.2.1 diskutierten Aktivierungen während der Durchführung von MIST, Scan-STRESS und ScanSTRESS-C werden im Vergleich zur Kontrollphase erhöhte Aktivitäten im dlPFC, dACC, al, vS und Amygdala in beiden Hemisphären während der Stressinduktion erwartet.

H2: Deaktivierung neuronaler Areale während der Stressinduktion

Aufgrund der in Kapitel 2.2.1 beschriebenen Deaktivierungen während der Durchführung von MIST, ScanSTRESS und ScanSTRESS-C werden in dieser Studie Deaktivierungen im mPFC und vACC während der Stressphase des ScanSTRESS-C im Vergleich zur Kontrollphase erwartet.

H3: Negative Korrelationen zwischen PSS-Gesamtwert und der Aktivierung von Strukturen des Exekutivnetzwerkes

Die in Kapitel 2.2.1.2 beschriebenen Funktionen von mPFC und dlPFC als Teil des regulierenden Exekutivnetzwerkes lassen eine negative Korrelation zwischen allgemeinem subjektiven Stressempfinden und der Aktivierung von mPFC und dlPFC erwarten.

3 Hypothesen

H4: Positive Korrelationen zwischen PSS-Gesamtwert und einer Aktivierung von Strukturen des Saliennetzwerkes

Wang und Kollegen (2005) zeigten eine positive Korrelation zwischen subjektivem Stressempfinden und der *al* als Teil des Saliennetzwerkes während der Stressinduktion auf.

Daran anknüpfend wird eine positive Korrelation zwischen Gesamtwert der PSS und der Aktivierung von den Strukturen des Saliennetzwerkes *dACC*, *al*, *vS* und Amygdala während der Stressinduktion vermutet.

4 Methoden

4.1 Allgemeines

Bei diesem Forschungsprojekt handelt es sich um eine Studie des Leibniz-Instituts für Resilienzforschung in Kooperation mit der Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie der Universitätsmedizin Mainz. Die Studie wurde in den Räumen des Neuroimaging Centers der Universitätsmedizin Mainz und den Verhaltenslaboren der Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie der Universitätsmedizin Mainz durchgeführt. Die Finanzierung erfolgte durch Fördermittel der Boehringer Ingelheim Stiftung.

Der Ethikantrag der Studie wurde von der Ethikkommission der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz genehmigt und erfüllt die Kriterien der Deklaration des Weltärztebundes von Helsinki.

Ziel der Studie war es, mögliche Korrelationen zwischen allgemeinem subjektivem Stressempfinden und der Aktivierung neuronaler Areale während der Induktion von Stress zu untersuchen. Dazu wurde bei gesunden männlichen Probanden der ScanSTRESS-C zur Stressinduktion im MRT durchgeführt.

Die Teilnahme an der Studie erfolgte freiwillig. Die Aufklärungen über angewendete Methoden, den Ablauf der Studie, Sicherheit und Datenschutz wurden sowohl mündlich als auch schriftlich durch jeweils einen Arzt und ein Mitglied des STRIFE-Studententeams durchgeführt. Dabei wurde unter anderem auf die Notwendigkeit des Verzichts von Sport und stimulierenden Getränken am Morgen vor der MRT-Messung hingewiesen. Die Originale der Einverständniserklärungen werden in den Räumen der Psychiatrie aufbewahrt. Darüber hinaus erhielt jeder Proband eine Kopie seiner Einverständniserklärung. Ein Abbruch der Studie war den Probanden zu jedem Zeitpunkt ohne Angabe von Gründen möglich.

4.2 Stichprobe

4.2.1 Rekrutierung

Die Rekrutierung erfolgte zum einen postalisch über Anfragen an potentielle Probanden, die bereits im Rahmen der Gutenberg Brain Study beim Leibniz-Institut für Resilienzforschung registriert worden waren. Zum anderen wurde über Aushänge in Mainz und Umgebung auf die Studie aufmerksam gemacht. Dazu gehörten sämtliche Schwarze Bretter des Campus der Johannes Gutenberg-Universität Mainz und der örtlichen Hochschulen, Fitnessstudios und Einkaufsmärkte. Darüber hinaus wurde die Anzeige sowohl in Internetforen wie Facebook-Gruppen, Instagram und eBay Kleinanzeigen hochgeladen als auch in Briefform über das Einwohnermeldeamt der Stadt Wiesbaden an potentielle Probanden verschickt. So konnte über einen Zeitraum von Oktober 2019 bis Mitte März 2020 bei 42 gesunden, männlichen Probanden im Alter von 18 bis 40 Jahren eine MRT-Messung durchgeführt werden.

Um eine wirkungsvolle Stressinduktion auszulösen (vgl. Kapitel 4.4), wurde die Studie öffentlich *Studie zur Hirnaktivität bei der Bearbeitung von Leistungsaufgaben* genannt und Begriffe rund um den Themenkomplex *Stress* in der Kommunikation mit den Probanden strikt gemieden. Eine vollständige Aufklärung über die Inhalte der Studie wurde zu Studienabschluss in Form eines sogenannten *Debriefings* gegeben. Die Probanden wurden zu keinem Zeitpunkt über den Zweck der Studie belogen.

4.2.2 Ein- und Ausschlusskriterien

Ziel der Studie war es, ausschließlich gesunde, männliche Probanden im Alter von 18 bis 40 Jahren einzuschließen. Demzufolge waren weibliches Geschlecht, eine akute oder chronische Erkrankung und ein Alter unter 18 Jahren und über 40 Jahren Ausschlusskriterien der Studie.

Um sämtliche Erkrankungen, Medikamenteneinnahmen und MRT-Kontraindikationen ausschließen zu können, fand vor jeder Aufnahme in die Studie ein Telefonscreening statt. Hierbei erfassten wir neben allgemeinen Angaben zur Person sowohl körperliche Erkrankungen und Risikofaktoren als auch mögliche psychische Erkrankungen nach dem *Diagnostischen Expertensystem für psychische Störungen (DIA-X)* und den *Internationalen Diagnose Checklisten* für ICD-10. Außerdem wurden Fragen zur MRT-Tauglichkeit gestellt. Zudem wurde jegliche Einnahme von Medikamenten eruiert. Da im Rahmen der Studie Kortisolmessungen in Form von Speichelprobenentnahmen

4 Methoden

durchgeführt wurden (nicht Thema dieser Arbeit), wurde explizit auf die Einnahme von Glukokortikoiden geachtet.

Darüber hinaus führten wir zum Ausschluss psychischer Erkrankungen unmittelbar vor jeder MRT-Messung die deutsche Version des M.I.N.I (*Mini International Neuropsychiatric Interview*, Ackenheil et al. 1999) durch. So konnte der neuropsychiatrische Zustand des Probanden zum Zeitpunkt der Testung erhoben werden. Genauere Angaben zu Ein- und Ausschlusskriterien sind in Tabelle 2 aufgelistet.

Es ist erwiesen, dass Rezeptoren von Substanzen wie Tetrahydrocannabinol (THC) oder Amphetaminen im Gehirn weit verbreitet sind, unter anderem in Arealen, welche sich für die vorliegende Studie als relevant darstellen. Beispielsweise finden sich zahlreiche Rezeptoren für THC in den Basalganglien, dem Neocortex und dem HC (Becker 2010). Der Konsum entsprechender Substanzen führt folglich zu einem veränderten neuronalen Aktivierungsverhalten. Dieses bringt eine veränderte behaviorale Reaktion auf die Stimuli des Stressparadigmas mit sich. Der Konsum von THC beispielsweise hat unter anderem eine verzögerte Reaktion zur Folge (Hunault et al. 2009). Um eine Vergleichbarkeit der kognitiven Verarbeitung der Stressinduktion unter den Probanden zu gewährleisten, wurde bei jedem Probanden ein Drogenscreening durchgeführt. Dabei testeten wir vor der MRT-Messung im Rahmen eines Multidrogenscreenings (SureStep™ bzw. Diagnostik Nord GmbH) den Urin der Probanden auf Amphetamine, Morphin, THC und Kokain.

Auch Konsummittel wie Alkohol, Koffein oder Nikotin verändern die neuronale Aktivierung und folglich die Verarbeitung der Stimuli im Vergleich zu einem Unterlassen des Konsums: So wurden für Nikotin anxiolytische Effekte, für Koffein eine aufmerksamkeitssteigernde Wirkung und für Alkohol eine verlangsamte Reaktionszeit nachgewiesen (Lang et al. 1975; Levine 1962; Smith 2002). Um eine vergleichbare Verarbeitung der Stimuli zu garantieren, wurden die Probanden aufgefordert, ab 24 Stunden vor der Messung nicht mehr zu rauchen, ab dem Abend vor der Messung keinen Alkohol zu trinken und ab zwei Stunden vor der Messung auf Koffein zu verzichten. Der Rauchverzicht diente zudem dazu, die Kortisolkonzentration der entnommenen Speichelproben nicht zu verfälschen, da Nikotinkonsum zu einer Erhöhung der Kortisolkonzentration im Speichel führt (Wilkins et al. 1982). Darüber hinaus wurden die Probanden dazu angewiesen, ab zwei Stunden vor der Messung keinen Sport mehr zu treiben. So konnten sportbedingte erhöhte

4 Methoden

Kortisolkonzentrationen vermieden werden (Filaire et al. 1996). Des Weiteren sollten die Probanden ab zwei Stunden vor der Messung nur noch stilles Wasser trinken und nichts mehr essen, um eine so stimulierte Speichelproduktion und folglich eine geringere Kortisolkonzentration im Speichel zu vermeiden (Bozorgi et al. 2020). So waren die Voraussetzungen einer vergleichbaren Kortisolkonzentration im Speichel gegeben.

4 Methoden

Einschlusskriterien	<ul style="list-style-type: none">- Geschlecht: männlich- Alter: 18–40
Ausschlusskriterien	<ul style="list-style-type: none">- Akute und/ oder chronische körperliche Erkrankung (Ausnahmen: leichte Allergien ohne aktuelle medikamentöse Behandlung, nicht medikamentös zu behandelnder Bluthochdruck)- Jegliche psychische Erkrankungen- Körperliche und/ oder geistige Behinderung- Nicht durch Brille oder Kontaktlinsen ausgleichbare Sehstörung- Rot-Grün-Sehchwäche- Hörschädigung- BMI > 27- Teilnahme an inhaltlich ähnlichen Studien, z.B. AStER (Sandner et al. 2020)- Cannabiskonsum innerhalb des letzten Monats- Unvermögen, für vier Stunden vor Messbeginn bis zur Beendigung der MRT-Messung das Rauchen ohne Entzugssymptome pausieren zu können- Kontraindikation gegen MRT-Messung: Metallteile und/ oder Implantate im Körper (unter Umständen Ausnahme beim Tragen eines Retainers), große Tätowierungen am Oberkörper, Klaustrophobie usw.

Tabelle 2: Ein- und Ausschlusskriterien der Studienteilnahme

4.2.3 Vergütung

Die Aufwandsentschädigung betrug 10 Euro pro Stunde. Fahrtkosten wurden nicht erstattet. Um eine individuelle Vergütung gemessen am zeitlichen Aufwand zu garantieren, wurde die Dauer des Termins notiert. Das Geld wurde bei Studienabschluss über die Kostenstelle des Leibniz-Instituts für Resilienzforschung auf das Konto der Probanden überwiesen.

4.3 Messinstrumente

4.3.1 Erfassung des allgemeinen subjektiven Stressempfindens anhand der PSS

Die PSS wurde von Cohen und Kollegen (1983) entwickelt mit dem Ziel, neben der objektiven Messung von Stress das allgemeine subjektive Stressempfinden zu erfassen. Hintergrund war die Annahme, dass eine globale Stresserfassung wertvolle Informationen über Stress und damit zusammenhängende Erkrankungen liefern könnte. Die interne Konsistenz dieser ersten Version der PSS betrug in einer studentischen Kohorte 0.85 und lag damit im guten Bereich. Gleiches galt für die Retest-Reliabilität (Cohen et al. 1983).

In dieser Studie wird die aus zehn Items bestehende deutsche Version der PSS (PSS-10) von Schneider und Kollegen (2020) verwendet. Dabei beziehen sich die zehn Items auf die Häufigkeit des Auftretens der gefragten Situationen in den letzten vier Wochen: 1 steht für *nie*, 2 für *fast nie*, 3 für *manchmal*, 4 für *ziemlich oft* und 5 für *sehr oft*. Die PSS besteht aus zwei Subskalen: Zum einen aus der Subskala Hilflosigkeit (Items 1, 2, 3, 6, 9, 10) und zum anderen aus der Selbstwirksamkeitsskala (Items 4, 5, 7, 8). Zur Berechnung des Gesamtwerts wird die Summe der Items der Hilflosigkeitsskala zu der Summe der invertierten Items der Selbstwirksamkeitsskala addiert. Je höher der Wert, umso wahrscheinlicher ist ein erhöhtes globales Stresslevel. Der Mittelwert des Gesamtwerts der gemischtgeschlechtlichen gesunden Stichprobe von Schneider und Kollegen (2020) betrug 28.33 ($SD = 6.97$) und die interne Konsistenz 0.88.

4.3.2 Erfassung der neuronalen Stressreaktion

Die neuronale Reaktion von Stress wurde mit einem 3 Tesla MRT-Scanner (Siemens Trio, Erlangen, Deutschland) und einer 32-Kanal-Kopfspule untersucht. Die Aufgaben im Scannerraum waren auf einem Bildschirm zu sehen (NordicNeuroLab, Bergen, Norwegen; Maße: 40“, 88.6 x 49.8 cm), den der Proband über einen an der Spule befestigten Spiegel sehen konnte.

Die funktionellen Bilder wurden mit einer Echo Planar Imaging (EPI)-Sequenz und folglich in Gradientenechotechnik aufgenommen. Dabei wurden folgende Parameter verwendet: Repetitionszeit (TR) = 1000 ms, Echozeit (TE) = 29 ms, Flipwinkel 56°, Field of View (FOV) = 210 mm, Voxelgröße 2.5 x 2.5 x 2.5 mm, Schichtdicke = 2.5 mm. Die Parameter der anatomischen Aufnahmen lauteten: TR = 1900 ms, TE = 2.52 ms, Flipwinkel 9°, FOV = 250 mm, Voxelgröße 1 x 1 x 1 mm, Schichtdicke = 1.00 mm.

4.4 Ablauf des Experiments

Die Messung beinhaltete eine Entspannungsphase mit einer Dauer von 45 Minuten, auf die die MRT-Messung folgte (Messzeit: 2 h 30 min).

Die Betreuung in der Entspannungsphase erfolgte durch eine Testleiterin der Studie. Zur MRT-Messung kamen der BadGuy (Beschreibung dazu siehe Kapitel 4.4.1) und ein/eine medizinisch-technische/r RadiologieassistentIn (MTRA) hinzu. Da diese Arbeit im Rahmen einer größeren Studie durchgeführt wurde, wurden während der MRT-Messung weitere Parameter wie Kortisolproben bestimmt. Diese sind nicht Gegenstand dieser Arbeit.

Aufgrund der zirkadianen Rhythmik der menschlichen Kortisolausschüttung begannen die Messungen jeweils zwischen 11 Uhr und 11:30 Uhr, um eine Vergleichbarkeit des Kortisolanstiegs unter den Probanden zu garantieren. Insgesamt dauerte die Messung etwa vier Stunden.

Im Entspannungsraum wurde der Fragebogen des *Neuroimaging Centers* zur MRT-Untersuchung von den Probanden ausgefüllt und unterschrieben, der nochmals die MRT-Tauglichkeit der Probanden abklärte, um mögliche Änderungen seit der Aufklärung erfassen zu können. Im Anschluss daran wurden die Probanden darauf hingewiesen, ihr Handy auf lautlos zu stellen und während der Messung in der Tasche zu lassen. Außerdem wurden die Probanden dazu aufgefordert, metallische Gegenstände abzulegen. Zur Durchführung eines Drogenschnelltests wurden die

4 Methoden

Probanden gefragt, ob sie lieber zu diesem Zeitpunkt oder 45 Minuten später nach der Entspannungsphase eine Urinprobe für das Drogenscreening abgeben würden. Nach Klärung dieser Frage begann die 45-minütige Entspannungsphase, während der die Probanden ruhig auf einem Stuhl saßen. Ziel war die Bestimmung der individuellen Baseline-Konzentration von Kortisol nach 45-minütiger Entspannung.

Während dieser Entspannungsphase wurden neben dem M.I.N.I (Ackenheil et al. 1999), der in Form eines Interviews direkt am Anfang durchgeführt wurde, weitere Fragebögen von den Probanden ausgefüllt. Nach 45 Minuten wurde die erste Speichelprobe entnommen (nicht Gegenstand dieser Arbeit) und danach, falls noch nicht geschehen, das Drogenscreening durchgeführt. War das Drogenscreening positiv, wurde die Messung beendet.

Es wurde eine Trainingsaufgabe am Laptop durchgeführt, wobei es sich um die beiden Aufgabentypen handelte, die auch später während der Kontrollbedingung im Scanner bearbeitet wurden. Hierbei handelte es sich um das Lösen von Subtraktionsaufgaben und mentalen Rotationsaufgaben. Bereits hier sollte der Proband mit seinem Zeige-, Mittel-, Ring-, oder kleinen Finger eine aus vier Antwortmöglichkeiten als richtig identifizieren und mittels Tastendruck auswählen. So konnten Verständnisfragen bereits vor der MRT-Messung durch die Testleiterin beantwortet werden. Es folgte das Beantworten des *Multidimensionalen Befindlichkeitsfragebogens* in Kurzform (MDBF, Steyer et al. 1997) ebenfalls am Laptop (nicht Gegenstand dieser Arbeit). Vor Betreten des Scannerraums wurden den Probanden letzte Instruktionen gegeben, wie beispielsweise, so still wie möglich im MRT zu liegen. Dabei wurde auch auf die Funktion des Notfallballs hingewiesen.

Im Scannerraum erhielten die Probanden eine MRT-taugliche Brille zur Visuskorrektur, wenn es erforderlich war. Zudem bekamen die Probanden Ohrstöpsel als Hörschutz (EAR®). Im Liegen erhielten sie je ein Polster für die rechte beziehungsweise linke Seite ihres Kopfes, um ihn innerhalb der Spule möglichst angenehm positionieren zu können und um den Bewegungsspielraum zu verringern. Der Notfallball wurde den Probanden gezeigt und mittig auf dem Oberkörper an der Kleidung des Probanden mit Leukosilk®S befestigt. Es wurden sowohl zwei MRT-kompatible Hautleitfähigkeitselektroden an der linken Hand als auch drei MRT-kompatible EKG-Elektroden auf dem Brustkorb zur Messung der Herzratenvariabilität befestigt (nicht Gegenstand dieser Arbeit). Ein mit vier Tasten ausgestattetes kernspintaugliches Antwortpad wurde auf dem Bauch oder dem rechten Oberschenkel des Probanden

4 Methoden

positioniert und gegebenenfalls mit Leukosilk[®]S an der Kleidung fixiert. Alle Probanden bedienten das Antwortpad mit der rechten Hand. Es wurde bei jedem Probanden darauf geachtet, dass Zeige-, Mittel-, Ring-, und kleiner Finger der rechten Hand auf je einer Taste des Antwortpads lagen.

Zum Schluss wurden die Kopfspule und ein Spiegel zur Reflexion eines hinter dem Scanner befindlichen Bildschirms befestigt. So konnten die im Scanner liegenden Probanden die visuellen Stimuli erkennen, die auf dem Bildschirm hinter dem Scanner präsentiert wurden.

Während der Vorbereitung des Probanden für die MRT-Messung beschäftigte sich die Person des Studienteams, die während der Videoaufzeichnungen die Rolle eines kritischen Jurymitglieds (*BadGuy*) einnahm, mit dem technischen Aufbau der benötigten Elemente im Vorraum des Scanners und hatte somit keinen direkten Kontakt zum Probanden vor Beginn der Messung. Für die visuellen Stimuli während der Leistungsaufgabe wurden im Vorraum des Scanners sowohl eine Kamera auf dem PC-Monitor des BadGuys positioniert als auch ein Buzzer (Logitech[®]) an das System angeschlossen. Die Kommunikation mit den Probanden erfolgte nach der Lagerung über eine Gegensprechanlage.

Zunächst wurden, wie in Abbildung 2 dargestellt, Localizer, strukturelle T1-Sequenz mit gleichzeitiger Beantwortung von Fragen des MDBFs (Dauer: ca. 5 min) und *Resting State 1* (Ruhezustandsmessung, Dauer: ca. 6 min) gemessen und eine Speichelprobe entnommen (nicht Gegenstand dieser Arbeit). Dann folgte eine funktionelle MRT-Messung (fMRT-Messung). Währenddessen wurde der ScanSTRESS-C durchgeführt (Dauer: ca. 15 min). Die weitere Messabfolge ist in der Übersicht zum Prüfablauf dargestellt und für diese Arbeit nicht relevant.

4 Methoden

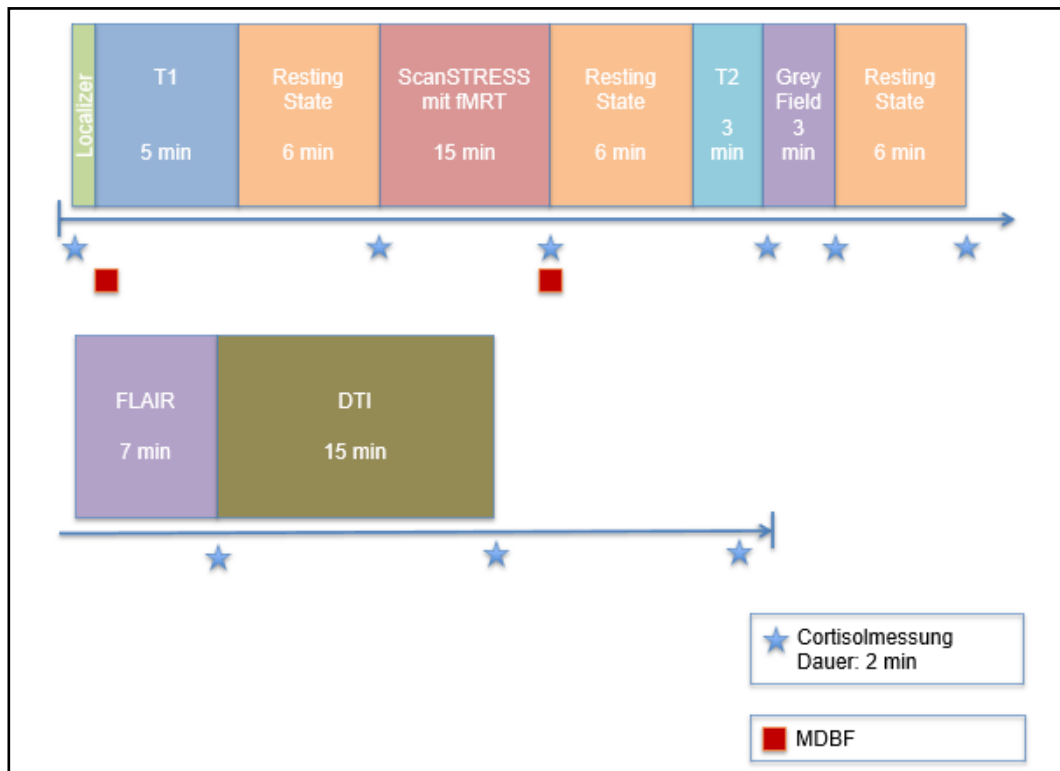


Abbildung 2: Übersicht zum Prüfablauf

4.4.1 Versuchsdesign des kompakten ScanSTRESS

Das durchgeführte Studiendesign entspricht dem ScanSTRESS-C, der bereits in der Studie von Sandner und Kollegen (2020) verwendet wurde. Hierbei wird zunächst eine Kontrollphase durchlaufen, die aus sechs Aufgabenblöcken besteht. Nach jedem Aufgabenblock findet ein Wechsel des Aufgabentyps statt, sodass abwechselnd mentale Rotationsaufgaben und mentale Subtraktionsaufgaben präsentiert werden. Die Stressphase besteht ebenfalls aus sechs Aufgabenblöcken. Auch hier wechseln sich blockweise die beiden Aufgabentypen ab. Zusätzlich wird nach dem dritten Aufgabenblock in der Stressphase verbales Feedback über die Gegensprechanlage gegeben. Anschließend werden die letzten drei Blöcke durchgeführt. Eine Übersicht dazu stellt Abbildung 3 dar. Eine Randomisierung der Reihenfolge der präsentierten Aufgabenblöcke findet nicht statt.

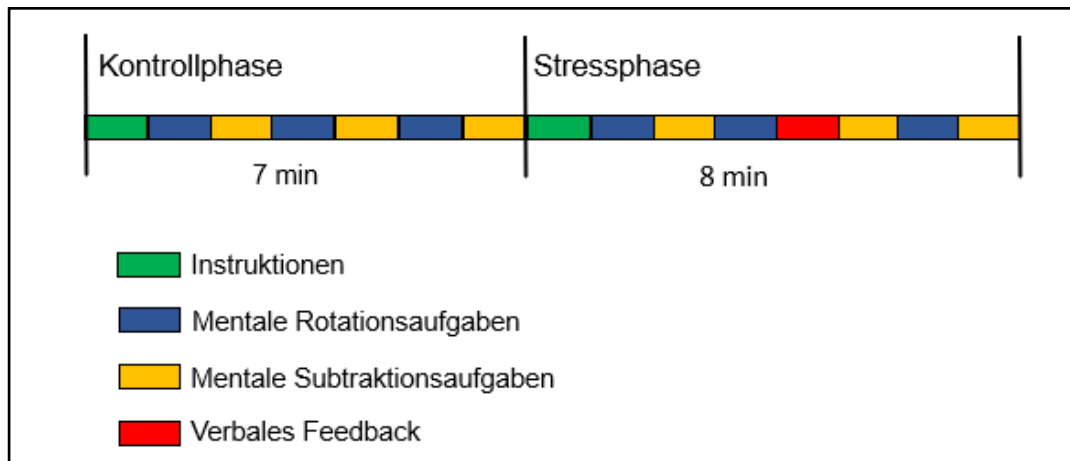


Abbildung 3: Übersicht des Studiendesigns

Kontrollphase

Hier werden zunächst Instruktionen vorgelesen (s. Anhang B). Im Anschluss daran wird die Videoaufzeichnung am PC gestartet. Die gefilmten Personen BadGuy und MTRA haben während der Kontrollphase die Aufgabe, nicht in die Kamera zu schauen und so zu tun, als ob sie mit anderen Dingen beschäftigt seien. Bis zum Start der Präsentationssoftware Presentation® (Version 20.1, Neurobehavioral Systems, San Francisco Bay Area) sehen die Probanden erst die Worte *Imaging Performance Task* und dann das Videobild der zwei Jurymitglieder, bestehend aus BadGuy und MTRA, mit dem Hinweis *Instruktionen*. Auf dem Bildschirm der Probanden erscheinen nun unter dem Videobild die Informationen *Entspannungsphase* und darunter *Bearbeiten Sie die Aufgaben in Ruhe! Keine Beobachtung*. Dann werden Scanner und Aufgaben gestartet. Das Videobild ist in dieser Phase zwar sichtbar, das Video läuft demnach und zeigt die Jury, ist jedoch durchgestrichen. Dies soll dem Probanden signalisieren, dass er nicht von der Jury beobachtet wird und keine Rückmeldung über seine Leistung erhält. Jede Kontrollphase beginnt mit dem Aufgabenblock *Mentale Rotationsaufgaben*, der etwa 40 Sekunden dauert. Die Probanden bekommen hierbei eine Figur angezeigt. In der Zeile darunter sind drei Antwortmöglichkeiten zu sehen. Eine davon stellt die Figur aus einem anderen Blickwinkel dar. Die beiden anderen Antwortmöglichkeiten unterscheiden sich hingegen von der zu vergleichenden Figur in ihrer Form und Größe. Die Probanden müssen nun die eine der drei Antwortmöglichkeiten als richtig identifizieren und durch Klicken der entsprechenden Taste auswählen. Nach jeder ausgewählten Figur wird diese nochmals zusammen mit der zu vergleichenden Figur eingeblendet. Eine Aufgabe wird unmittelbar wiederholt,

4 Methoden

wenn der Proband sie zuvor falsch gelöst hatte. Nach jedem Aufgabenblock folgt eine etwa 20 Sekunden lange Pause. Dabei wird das Videobild ohne Kreuz gezeigt mit dem Hinweis *Pause* darunter. Im sich anschließenden Aufgabenblock mit mentalen Subtraktionsaufgaben (Dauer etwa 40 Sekunden) müssen von einer vierstelligen Zahl 13 abgezogen werden (vgl. Abbildung 4). In der Zeile darunter sind vier mögliche Antworten zu sehen, von denen eine die richtige Lösung darstellt. Diese muss via Drücken der zugehörigen Taste des Antwortpads ausgewählt werden. Dann wird die ausgewählte Antwort gemeinsam mit der Rechenaufgabe dargestellt. Bei Auswahl einer falschen Antwortmöglichkeit wird die Aufgabe wie bei den Rotationsaufgaben direkt wiederholt. Es folgt wieder eine Pause. Das beschriebene Prozedere wird drei Mal wiederholt. Die Aufgabenschwierigkeit während der Kontrollphase und während des Trainingsdurchgangs entsprechen einander.

Stressphase

Während der Stressphase haben BadGuy und MTRA die Aufgabe, direkt in die Kamera zu schauen und mit kritischer Mimik und Gestik die Leistung des Probanden zu bewerten. Zu Beginn der Stressphase werden die Videoaufzeichnung und Presentation erneut gestartet. Der Proband sieht nun wieder die Worte *Imaging Performance Task* und dann den Satz *Warten Sie bitte einen Moment*. Es folgen Instruktionen (s. Anhang A). Mit Starten des Scanners erscheinen zunächst die Worte *Leistungsphase: Strengen Sie sich an! Wir beobachten Ihre Leistung!* und anschließend das Videobild mit der Überschrift *Leistungsphase* und der Aufgabe darunter. Auch erscheint ein rotes Aufnahmezeichen in der oberen rechten Ecke der Videoaufnahme der Jury, so dass der Proband weiß, dass er beobachtet wird. Der Proband erfährt nun sowohl Zeitdruck als auch negatives visuelles und sozial-evaluatives Feedback: Unter den Antwortmöglichkeiten ist ein Zeitbalken zu sehen, der sich mit der Zeit von grün über orange zu rot färbt (vgl. Abbildung 4). Jede Antwort wird durch den BadGuy mit Hilfe eines Buzzers bewertet. Der Buzzer ist dabei auch im Videobild sichtbar. Antwortet der Proband falsch, drückt der BadGuy deutlich sichtbar einen roten Buzzerknopf. Bei einer richtigen Antwort drückt er einen kleineren Knopf, der weniger gut sichtbar für den Probanden ist. Er sieht jedoch den Buzzer über die gesamte Zeit im Video. Bei Eingabe einer falschen Antwort erscheint *Fehler*, bei einer richtigen Antwort *Arbeiten Sie schneller* auf dem Bildschirm des Probanden (vgl. Abbildung 4). Die Leistungsphase beginnt ebenfalls mit einem mentalen Rotationsblock. Auch hier wechseln sich 40 Sekunden lange Aufgabenblöcke mit 20

4 Methoden

Sekunden dauernden Pausenblöcken ab. Hier wird wieder das Videobild gezeigt mit der Unterschrift *Pause*. Am Ende der Pause erscheinen erneut die Instruktionen *Leistungsphase: Strengen Sie sich an! Wir beobachten Ihre Leistung!*. Direkt nach dem dritten Aufgabenblock sieht der Proband die Worte *Warten Sie bitte einen Moment* und es wird negatives verbales Feedback durch den BadGuy gegeben (vgl. Anhang A). Währenddessen wird keine Videoaufzeichnung durchgeführt. Es folgt der nächste Aufgabenblock mit mentalen Subtraktionsaufgaben. Nach der dazugehörigen Pause folgen zwei weitere Aufgabenblöcke mit Bewertung der Antworten durch den BadGuy. Dann ist die Stressphase beendet.

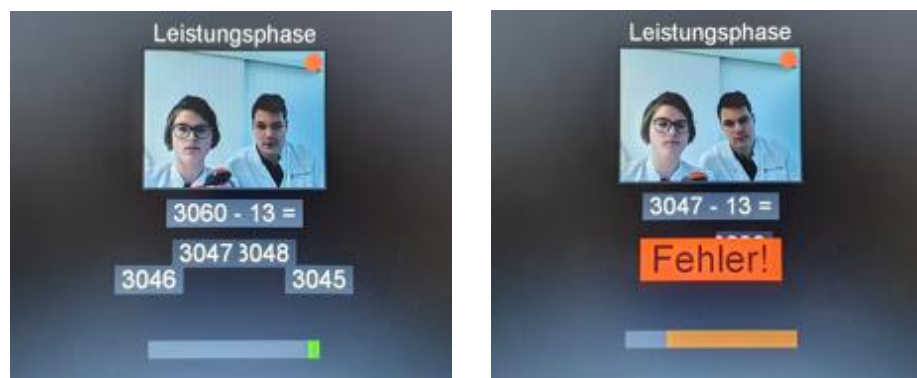


Abbildung 4: Bildschirm des Probanden während der Leistungsphase. Zu sehen sind Videobild mit Jury und Buzzer, negatives visuelles Feedback und der Zeitbalken.

4.4.2 Vergleich der Versuchsabläufe von ScanSTRESS und ScanSTRESS-C

Im Folgenden sollen Gemeinsamkeiten und Unterschiede im Versuchsablauf des von Streit und Kollegen (2014) entwickelten ScanSTRESS und des von Sandner und Kollegen (2020) verwendeten ScanSTRESS-C dargestellt werden.

Wie bereits in Kapitel 2.2.1 beschrieben, gilt der ScanSTRESS als zuverlässige Methode, Stress im MRT zu induzieren. In der kompakten Version des ScanSTRESS werden die Stimuli des ScanSTRESS übernommen (vgl. Probandenbildschirme in Abbildungen 4 und 5 aus Streit et al. 2014): Zum einen wird dem Probanden bei beiden Stressinduktionsparadigmen in der Stressbedingung negatives Feedback durch eine gefilmte Jury mittels Liveübertragung der Videoaufnahmen während des Lösen von Subtraktions- und Rotationsaufgaben gegeben. Zum anderen ist auf beiden Probandenbildschirmen ein sich von grün über orange zu rot verfärbender Zeitbalken zu sehen, der den Zeitdruck symbolisiert. Darüber hinaus werden bei beiden Stressinduktionsparadigmen sowohl in der Kontroll- als auch in der Stressbedingung Subtraktions- und Rotationsaufgaben im Blockdesign dargestellt. Nach der Präsentation einiger Aufgabenblöcke wird bei beiden Stressinduktionsparadigmen negatives verbales Feedback durch die Jury gegeben.

Unterschiede stellen sich im Ablauf wie folgt dar: Während sich beim ScanSTRESS Stress- und Kontrollbedingungen abwechseln (vgl. Abbildung 5c aus Streit et al. 2014), wird beim ScanSTRESS-C erst die Kontrollbedingung und anschließend die Stressbedingung durchgeführt (vgl. Abbildung 3). Das hat zur Folge, dass beim ScanSTRESS-C auf eine Randomisierung der Reihenfolge von Stress- und Kontrollbedingung verzichtet wird. Die strikte Trennung von Stress- und Kontrollbedingung beim ScanSTRESS-C ermöglicht es, die Reaktion des Probanden, die durch die Stressbedingung ausgelöst wird, deutlicher von der Reaktion auf die Kontrollbedingung abgrenzen zu können. So können insbesondere die neuronale Aktivierung und die verzögerte endokrine Reaktion eindeutiger der Kontroll- bzw. der Stressbedingung zugeordnet werden als es beim ScanSTRESS möglich ist. Darüber hinaus nimmt der ScanSTRESS durch seine höhere Anzahl an Aufgabenblöcken (ScanSTRESS: 16 vs. ScanSTRESS-C: 12) und die längere Dauer der einzelnen Aufgabenblöcke (ScanSTRESS: 60 sec. vs. ScanSTRESS-C: 40 sec.) deutlich mehr Zeit in Anspruch als der kompakte ScanSTRESS (ScanSTRESS: ca. 25 min vs. ScanSTRESS-C: ca. 15 min). Neben der Reduktion des zeitlichen Aufwandes und der

4 Methoden

Einsparung von Kosten kann durch die reduzierte Anzahl und kürzere Dauer der Aufgabenblöcke bei der Durchführung des ScanSTRESS-C Habituationseffekten und einer daraus resultierenden, in Abhängigkeit von der Zeit weniger intensiven, Reaktion auf die Stimuli vorgebeugt werden.

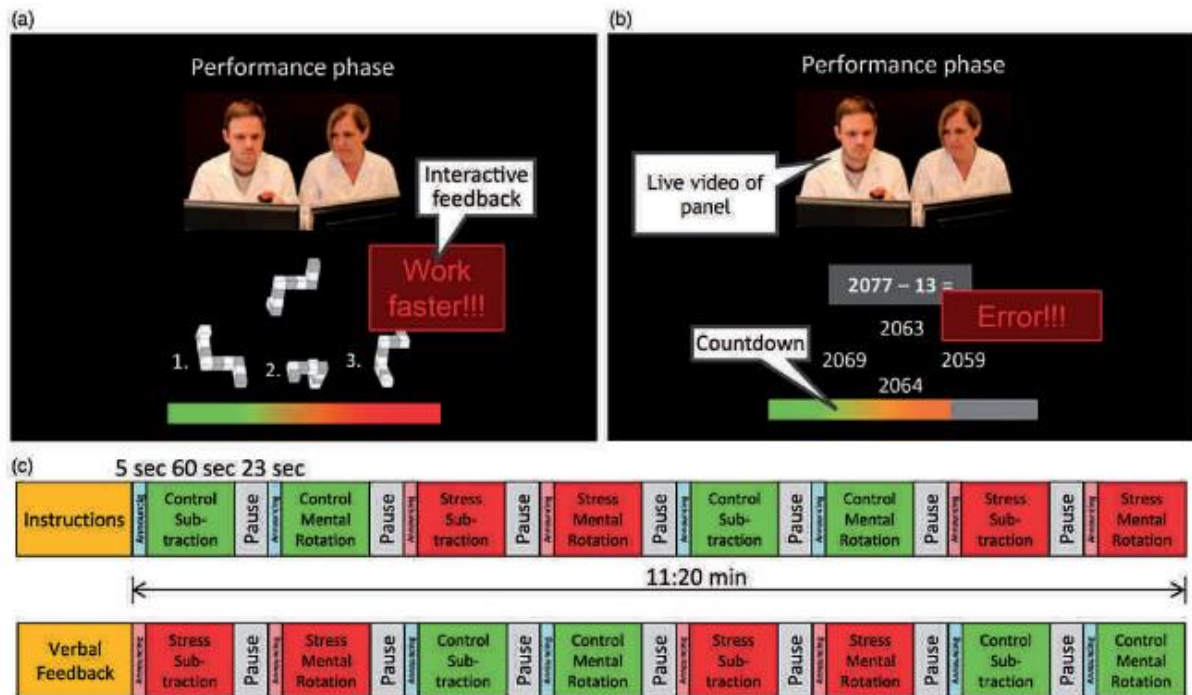


Abbildung 5: a) und b) Bildschirm des Probanden während der Leistungsaufgabe des ScanSTRESS. c) Versuchsdesign des ScanSTRESS (aus Streit et al. 2014).

4.5 Statistische Auswertung

4.5.1 Stichprobengröße

Die statistische Auswertung wurde bei 36 der 42 im MRT gemessenen Probanden durchgeführt. Die übrigen sechs Personen konnten aufgrund vielfältiger Gründe wie zu starken Bewegungsartefakten (zwei Probanden betreffend), ungenauer Dokumentation bezüglich Beginn der Aufgaben, Abweichungen vom Messprotokoll, Cannabisintoxikation des Probanden zum Zeitpunkt der Messung oder des vorzeitigen Abbruchs der Messung aufgrund einer Panikattacke (jeweils einen Probanden betreffend) nicht mit in die statistische Auswertung aufgenommen werden.

4.5.2 Analysen des allgemeinen subjektiven Stressempfindens

Für die Auswertung der *Perceived Stress Scale* (Cohen et al. 1983; Schneider et al. 2020) wurde SPSS® (Version 23, IBM, USA) verwendet. Zunächst wurden die beiden Skalen Hilflosigkeit und Selbstwirksamkeit berechnet. Dabei wurde die Invertierung der Items der Selbstwirksamkeitsskala berücksichtigt. Dann wurde der Gesamtwert berechnet.

4.5.3 Analysen der neuronalen Daten

Die Analyse und deren Vorverarbeitung wurde mit SPM12 (<http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm>) in Matlab (Version R2013b (8.2.0.701), MathWorks®, Natick, USA) durchgeführt.

Vorverarbeitung

Zunächst wurden die Dateien der MRT-Aufnahmen vom DICOM- (Digital Imaging and Communications in Medicine) ins NIfTI (Neuroimaging Informatics Technology Initiative)-Format konvertiert. Nach Abgleichen von funktionellen und anatomischen Bildern zum Ausschluss von Pathologien und Artefakten wurden jeweils die ersten vier Bilder aufgrund von potentiellen anfänglichen Inhomogenitäten im Magnetfeld bei jedem der funktionellen Durchgänge aussortiert. Im Rahmen der manuellen Neuausrichtung wurde zunächst die T1-gewichtete Aufnahme des Probanden anhand der T1-gewichteten Vorlage von SPM12 ausgerichtet. Anschließend wurden auch die funktionellen Bilder reorientiert. Im Zuge der Vorverarbeitung wurden die funktionellen

4 Methoden

Aufnahmen eines Probanden mithilfe der Festkörpertransformation, die nur Translations- und Rotationsbewegungen zulässt, aufeinander räumlich abgestimmt. Bei der sich anschließenden Koregistrierung wurden die funktionellen Bilder an die T1-Aufnahme des Probanden angepasst. Im Rahmen der Segmentierung wurden die anatomischen Aufnahmen der Probanden jeweils nach grauer und weißer Substanz sowie nach Liquor gefiltert und getrennt gespeichert. Mithilfe der Vorlage des Montreal Neurological Institutes (MNI) konnten die funktionellen Bilder in den MNI-Raum gebracht werden. Bei der so durchgeführten Normalisierung wurde eine Voxelgröße von 3 x 3 x 3 mm festgelegt. Zum Schluss wurden die funktionellen Bilder mit einem Gauss-Filter geglättet, um übriggebliebene anatomische und funktionelle Unterschiede zu beheben. Dabei wurden standardmäßig 8 mm Halbwertsbreite verwendet.

1st und 2nd Level Analysen

Im Anschluss an die Vorverarbeitung der Daten wurde für jeden Probanden ein allgemeines lineares Regressionsmodell erstellt. Hier wurden die verschiedenen Testparameter von Kontroll- und Stressbedingung integriert, wie beispielsweise Startzeitpunkte und Dauer der jeweiligen Bedingungsblöcke. Dabei wurden die beiden Stressbedingungen vor und nach dem verbalen Feedback zu einer einzigen Stressbedingung zusammengefasst. Darüber hinaus wurden sechs Bewegungsregressoren, die bereits während des Realignments bestimmt wurden, in das Modell mit aufgenommen. So konnten verbliebene Bewegungsartefakte herausgerechnet werden. Außerdem wurde für jede der drei Bedingungen Kontrolle und Stressung vor und nach verbalem Feedback eine Konstante eingebracht. Anschließend wurden die Parameter des erstellten Modells geschätzt. Innerhalb eines Probanden konnten mit einem *t*-Test anhand von Kontrastbildern Aktivitätsunterschiede eines jeden Voxels zwischen Kontroll- und Stressbedingung bestimmt werden. Dabei wurden bei jedem Probanden folgende Kontraste gebildet: Kontrast 1 entsprach der Aktivierung neuronaler Areale in der Kontrollbedingung im Vergleich zur Stressbedingung (Kontrolle > Stress). Kontrast 2 spiegelte die Aktivierung neuronaler Areale während der Stressbedingung im Vergleich zur Kontrollbedingung wider (Stress > Kontrolle) und Kontrast 3 stellte die Areale dar, die sowohl bei der Stress- als auch bei der Kontrollbedingung aktiviert oder deaktiviert waren.

4 Methoden

Im Rahmen der Gruppenanalysen (2nd Level) wurde zunächst mittels Einstichproben- t -Test Kontrast 2 über alle Probanden hinweg berechnet. Die hier aktivierten Areale zeigen einen höheren Blutfluss und somit stärkeren BOLD-Kontrast während der Stressbedingung im Vergleich zur Kontrollbedingung auf. Die Deaktivierung neuronaler Areale während der Stressbedingung im Vergleich zur Kontrollbedingung wurde anhand von Kontrast 1 berechnet. Im Zuge des multiplen Testens wurde immer ein Signifikanzniveau von $p_{FWE} < 0.05$ (*family-wise error*) festgelegt. Zunächst wurde eine Analyse auf *whole-brain*-Ebene gerechnet. Anschließend wurden mit den in Hypothesen 1 und 2 beschriebenen Arealen *Regions of Interest (ROI)*-Analysen durchgeführt. Bei der *ROI*-Analyse wird durch eine verminderte Anzahl an statistischen Tests die Sensitivität der Analyse erhöht. Die hier verwendeten Masken wurden, basierend auf bisherigen Forschungsergebnissen zum ScanSTRESS und ScanSTRESS-C, anhand der MarsBar Toolbox (*MARSeille Boite A Region d'interet*, Matthew Brett) in SPM 12 erstellt. Hierbei wurden die Koordinaten folgender lokaler Maxima von Arealen, bei denen bereits in anderen Studien Aktivierungen bzw. Deaktivierungen während der Stressbedingung von ScanSTRESS und ScanSTRESS-C festgestellt worden waren, im MNI-Format verwendet (MNI-Koordinaten und Diameter in Klammern): bilateraler dIPFC [(x = 48, y = 8, z = 25) und (x = -42, y = 32, z = 25), D = 10mm], bilateraler dACC [(x = 9, y = 20, z = 34) und (x = -6, y = 10, z = 50), D = 10mm], bilaterale al [(x = 34, y = 24, z = 0) und (x = -32, y = 22, z = 4), D = 10mm], bilaterales vS [(x = 14, y = -2, z = 0) und (x = -14, y = -2, z = 0), D = 10mm], bilaterale Amygdala [(x = 21, y = 9, z = -15) und (x = -21, y = -9, z = -15), D = 8mm] linker vACC [(x = -4, y = 32, z = -18), D = 10mm] und linker mPFC [(x = -15, y = 44, z = 40), D = 10mm] (Dahm et al. 2017; Sandner 2017, unveröff.; Streit et al. 2014).

Alle berichteten p -Werte der *ROI*-Analysen sind *Small Volume* korrigiert unter Zuhilfenahme der FWE-Korrektur. Zusätzlich wurde in Abhängigkeit der jeweiligen Hypothese für die Anzahl an untersuchten *ROIs* nach Bonferroni korrigiert. Somit lagen folgende Signifikanzniveaus vor: für H1 $p_{FWE} < 0.005$, für H2 und H3 $p_{FWE} < 0.01$ und für H4 $p_{FWE} < 0.006$.

4.5.4 Korrelative Analysen der subjektiven und neuronalen Daten

Um den Zusammenhang zwischen Gesamtwert der PSS und der Aktivierung bzw. Deaktivierung neuronaler Areale während der Stressbedingung im Vergleich zur Kontrollbedingung zu überprüfen, wurde nach den bereits beschriebenen Schritten der

4 Methoden

Vorverarbeitung und des 1st Levels im Rahmen der Analyse des 2nd Levels eine multiple Regression mit jeweils den Kontrasten 1 und 2 und dem Gesamtwert der PSS gerechnet. Auch hier wurde FWE-korrigiert mit einem Signifikanzniveau von $p < 0.05$. Es wurden mit den in Hypothesen 3 und 4 aufgezählten neuronalen Arealen ROI-Analysen durchgeführt. Auch hier wurden die unter 4.5.2 beschriebenen Masken von dACC, al, Amygdala, mPFC und dlPFC verwendet. Darüber hinaus wurden folgende Masken für den Hippocampus erstellt: posteriorer HC [(x = 24, y = -28, z = 12) und (x = -26, y = -32, z = 8), D = 10mm], anteriorer HC [(x = 28, y = -16, z = -20) und (x = -26, y = -18, z = -20), D = 10mm] (Dahm et al. 2017).

5 Ergebnisse

In diesem Kapitel wird zunächst auf die Ergebnisse der Erfassung des allgemeinen subjektiven Stressempfindens eingegangen. Anschließend werden die Ergebnisse der neuronalen Analysen beschrieben. Danach werden die Ergebnisse der korrelativen Analysen von allgemeinem subjektiven Stressempfinden und neuronaler Aktivierung bzw. Deaktivierung während der Stressinduktion thematisiert. Im letzten Abschnitt werden weiterführende Analysen und deren Ergebnisse präsentiert.

5.1 Auswertung von Stichprobenparametern

Das Durchschnittsalter der 36 Probanden betrug 28.5 Jahre ($SD = 6.27$, $Min. = 19$ Jahre, $Max. = 40$ Jahre). Bei vier Probanden handelte es sich um Linkshänder. Der durchschnittliche Bildungsgrad als Annäherungsmaß für den IQ wurde anhand von Bildungsjahren ermittelt. Dabei wurden für den jeweiligen Schulabschluss und alle weiteren abgeschlossenen beruflichen Weiterbildungen Punkte vergeben und zu einem Gesamtwert addiert (Verteilung der Punkte s. Anhang C). Er betrug in dieser Stichprobe im Mittel 15.64 Jahre (vgl. Tabelle 3 B). Darüber hinaus wurden separat Schulabschluss (vgl. Tabelle 4) und aktuelle Tätigkeit erhoben (vgl. Tabelle 5). Im Vergleich zu Studienergebnissen des Statistischen Bundesamtes 2017, die deutschlandweit einen Anteil von 53 % der 20–24-Jährigen mit Fachhochschul- oder Hochschulreife feststellten (https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bildung-Forschung-Kultur/Bildungsstand/_inhalt.html, Abruf am 27.04.2020), zeigen die vorliegenden Ergebnisse, dass es sich bei den in dieser Arbeit untersuchten Probanden um eine überdurchschnittlich gut gebildete Stichprobe handelt (knapp 90 % der Probanden mit Fachhochschul- oder Hochschulreife, vgl. Tabelle 4). Darüber hinaus wird anhand von Tabelle 5 deutlich, dass keine Unterschiede der Gruppengröße der Berufstätigen und der Probanden, die sich noch in Ausbildung befinden, bestehen.

5 Ergebnisse

A)

Bildungsjahre	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit
9	1	2.78
13	10	27.78
15	3	8.33
16	9	25.00
17	2	5.56
18	10	27.78
21	1	2.78

B)

Mittelwert	15.64
Median	16.00
Standardabweichung	2.42
Spannweite	12
Minimum	9
Maximum	21

Tabellen 3 A) und B): Statistische Auswertung des Bildungsgrades in Bildungsjahren (N = 36 Probanden)

Schulabschluss	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit
Hauptschule	1	2.78
Mittlere Reife	3	8.33
Fachabitur	4	11.11
Abitur	28	77.78

Tabelle 4: Statistische Auswertung der Schulabschlüsse (N = 36 Probanden)

5 Ergebnisse

Aktuelle Tätigkeit	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit
Berufstätig	17	47.22
Arbeitslos	1	2.78
Student	15	41.67
Duales Studium	2	5.56
Berufliche Weiterbildung	1	2.78

Tabelle 5: Statistische Auswertung der aktuellen Tätigkeit (N = 36 Probanden)

5.2 Ergebnisse der Erfassung des allgemeinen subjektiven Stressempfindens

Das allgemeine subjektive Stressempfinden der 36 Probanden wurde anhand der *Perceived Stress Scale* erfasst. In Tabelle 6 sind die Werte auf den Skalen Hilflosigkeit- und Selbstwirksamkeitsskala und des Gesamtwerts der hier untersuchten Stichprobe dargestellt. Im Vergleich zu den Studienergebnissen von Schneider und Kollegen (2020) fallen der niedrigere Mittelwert und die geringere Standardabweichung des Gesamtwerts in der vorliegenden Studie auf (vgl. Tabelle 7). Die Ergebnisse der männlichen, gesunden Stichprobe werden nicht in der Publikation von Schneider und Kollegen (2020) erwähnt, sondern wurden uns freundlicherweise von den AutorInnen zur Verfügung gestellt.

	PSS_H	PSS_S	PSS_Ges.
Mittelwert (SD)	13.03 (2.95)	14.89 (2.34)	22.14 (3.70)
Median	13	15	22
Minimum	8	9	15
Maximum	21	19	33

Tabelle 6: Statistische Auswertung der PSS

Anmerkung: H: Hilflosigkeitsskala, S: Selbstwirksamkeitsskala, Ges: Gesamtwert. Standardabweichungen in Klammern.

Parameter	vorliegende Studie	Schneider et al. 2020
Stichprobengröße	36	541
Alter in Jahren	18-40	18-65
Gesundheitsstatus	gesund	gesund
Geschlecht	männlich	männlich
Mittelwert Ges. (SD)	22.14 (3.70)	26.79 (7.02)

Tabelle 7: Vergleich der Stichproben von der vorliegenden Studie und der Validierungsstudie der deutschen Version der PSS-10 (Schneider et al. 2020)

Anmerkung: Der Mittelwert bezieht sich auf die statistische Auswertung der PSS, Ges: Gesamtwert. Standardabweichung in Klammern.

5.3 Ergebnisse der neuronalen Analysen

Im folgenden Kapitel werden zunächst die Ergebnisse der neuronalen Aktivierung bzw. Deaktivierung während der Stress- im Vergleich zur Kontrollbedingung beschrieben. Anschließend wird auf die Ergebnisse der korrelativen Analysen zwischen neuronaler Aktivierung bzw. Deaktivierung während der Stress- im Vergleich zur Kontrollbedingung und dem Gesamtwert der PSS eingegangen.

5.3.1 Aktivierung neuronaler Strukturen während der Stressinduktion

Die Ergebnisse der FWE-korrigierten Analysen der Aktivierung neuronaler Areale während der Stress- im Vergleich zur Kontrollbedingung (Stress > Kontrolle) auf *whole-brain*-Ebene sind in Tabelle 8 dargestellt. Enthalten sind aktivierte Hirnregion, MNI-Koordinaten des lokalen Maximums, Z-Wert, FWE-korrigierter p -Wert und die Größe des Clusters in Voxeln k . Es wurde eine Clustermindestgröße von 10 Voxeln festgelegt. In Abbildung 6 sind die aktivierten neuronalen Strukturen grafisch dargestellt.

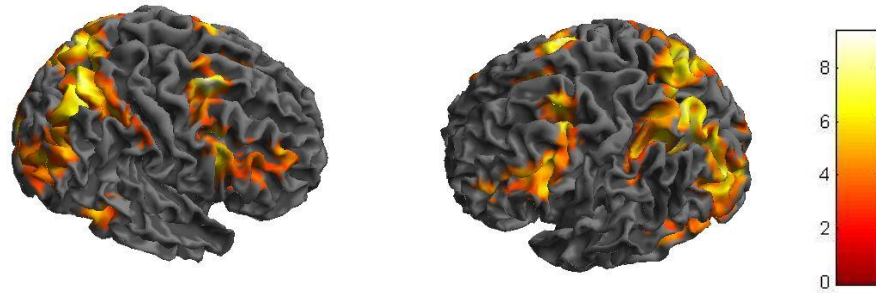
5 Ergebnisse

Region	Seite	MNI-Koordinaten			Z-Wert	p_{FWE}	k
		x	y	z			
Gyrus occipitalis medialis	L	-24	-67	38	7.65	< 0.001	5031
superiorer Motorkortex	L	3	14	50	7.44	< 0.001	2674
Thalamus	L	-6	-19	17	5.64	< 0.001	59
	R	6	-25	-7	6.67	< 0.001	321
Insula	L	-30	23	2	6.17	< 0.001	92
Gyrus temporalis medialis	R	57	-52	-1	6.11	< 0.001	148
Cerebellum	R	30	-64	-25	5.99	< 0.001	105
Globus Pallidus	R	12	-1	2	5.24	< 0.001	24

Tabelle 8: Lokale Maxima des Kontrasts Stress > Kontrolle. *Whole-brain*-Analyse ($p_{FWE} < 0.05$) mit MNI-Koordinaten, Z-Werten, clusterkorrigiertem p_{FWE} -Wert und der Clustergröße in Voxeln k .

5 Ergebnisse

A)



B)

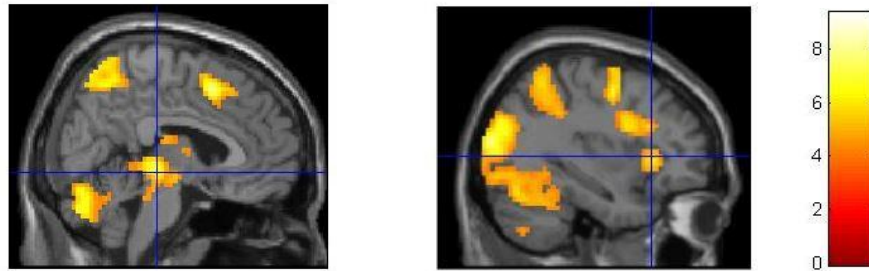


Abbildung 6: Grafische Darstellung des Kontrasts Stress > Kontrolle. *Whole-brain-Analyse* ($p_{FWE} < 0.05$). Die Farbskala stellt den t -Wert dar. A) Darstellung der kortikalen Aktivierung. B) Darstellung der lokalen Maxima thalamischer und insulärer Aktivierung im Sagittalschnitt.

Anschließend wurden im Rahmen von ROI-Analysen signifikante Aktivierungen des rechten dlPFC ($x = 45, y = 8, z = 26, Z = 6.65, p_{FWE} = 0.001$) und des linken vS ($x = -9, y = -4, z = -1, Z = 4.57, p_{FWE} < 0.001$) sowie bilaterale Aktivierungen des dACC ($x = 12, y = 17, z = 32, Z = 5.28, p_{FWE} = 0.005$; $x = -3, y = 14, z = 50, Z = 6.31, p_{FWE} < 0.001$) und der ai ($x = 33, y = 23, z = 2, Z = 6.24, p_{FWE} < 0.001$; $x = -30, y = 23, z = 2, Z = 6.17, p < 0.001$) während der Stressbedingung im Vergleich zur Kontrollbedingung festgestellt. Es konnte keine signifikante Aktivierung der Amygdala festgestellt werden.

5.3.2 Deaktivierung neuronaler Strukturen während der Stressinduktion

Die Ergebnisse der FWE-korrigierten Analysen der Deaktivierung neuronaler Areale während der Stress- im Vergleich zur Kontrollbedingung (Kontrolle > Stress) auf *whole-brain*-Ebene sind in Tabelle 9 dargestellt. Enthalten sind auch hier Hirnregion, MNI-Koordinaten des lokalen Maximums, Z-Wert, FWE-korrigierter p -Wert und die Größe des Clusters in Voxeln k mit einer Clustermindestgröße von 10 Voxeln. Zur Visualisierung sind in Abbildung 7 die deaktivierten neuronalen Strukturen grafisch dargestellt.

Region	Seite	MNI-Koordinaten			Z-Wert	p_{FWE}	k
		x	y	z			
Gyrus angularis	L	-54	-64	41	6.56	< 0.001	109
posteriorer cingulärer Cortex	L	-3	-52	29	6.50	< 0.001	20
medialer Gyrus frontalis superior	L	-9	50	41	5.08	< 0.001	109

Tabelle 9: Lokale Maxima des Kontrasts Kontrolle > Stress. *Whole-brain*-Analyse ($p_{FWE} < 0.05$) mit MNI-Koordinaten, Z-Werten, clusterkorrigiertem p_{FWE} -Wert und der Clustergröße in Voxeln k .

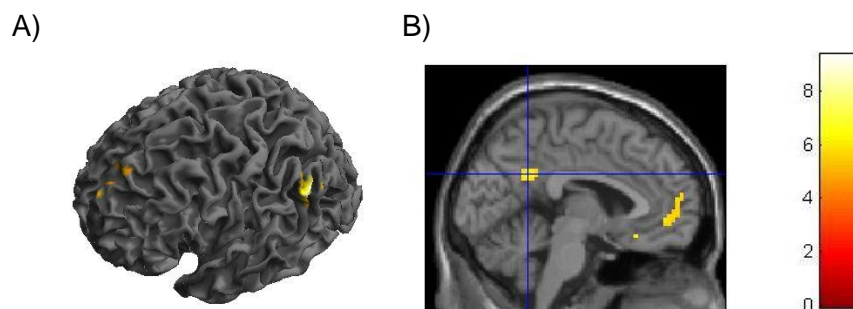


Abbildung 7: Grafische Darstellung des Kontrasts Kontrolle > Stress. *Whole-brain*-Analyse ($p_{FWE} < 0.05$). Die Farbskala stellt den t -Wert dar. A) Darstellung der kortikalen Deaktivierung. B) Darstellung des lokalen Maximums posteriorer cingulärer Aktivierung im Sagittalschnitt.

5 Ergebnisse

Die ROI-Analyse ergab eine Deaktivierung des linken mPFC ($x = -15, y = 44, z = 41, Z = 5.02, p_{FWE} = 0.003$) während der Stressbedingung im Vergleich zur Kontrollbedingung. Deaktivierungen im rechten mPFC und im vACC konnten nicht festgestellt werden. Auch eine mögliche Deaktivierung der Amygdala, die zusätzlich zur Hypothese 2 überprüft wurde, konnte nicht bestätigt werden.

5.4 Ergebnisse der korrelativen Analysen

5.4.1 Negative Korrelationen zwischen PSS-Gesamtwert und der Aktivierung von Strukturen des Exekutivnetzwerkes

Es konnte FWE-korrigiert weder auf *whole-brain-Ebene* noch mit den ROI-Analysen eine negative Korrelation zwischen Gesamtwert in der PSS und der Aktivierung von mPFC und dlPFC während der Stressbedingung im Vergleich zur Kontrollbedingung aufgezeigt werden.

5.4.2 Positive Korrelationen zwischen PSS-Gesamtwert und der Aktivierung von Strukturen des Saliennetzwerkes

Auf *whole-brain-Ebene* wurde FWE-korrigiert eine negative Korrelation zwischen dem Gesamtwert in der PSS und einer Deaktivierung des Gyrus occipitalis superior während der Stressbedingung im Vergleich zur Kontrollbedingung festgestellt. In Tabelle 10 sind Hirnregion, MNI-Koordinaten des lokalen Maximums, Z-Wert, FWE-korrigierter p -Wert und die Größe des Clusters in Voxeln k enthalten. In Abbildung 8 ist die Korrelation grafisch dargestellt. Die ROI-Analysen, die eine mögliche positive Korrelation des Gesamtwerts der PSS mit einer Aktivierung von dACC, al, Amygdala und vS während der Stressbedingung im Vergleich zur Kontrollbedingung überprüften, ergaben kein signifikantes Ergebnis.

5 Ergebnisse

Region	Seite	MNI-Koordinaten			Z-Wert	p_{FWE}	k
		x	y	z			
Gyrus occipitalis superior	L	-9	-85	44	4.86	0.006	7

Tabelle 10: Lokales Maximum der negativen Korrelation von subjektivem Stressempfinden und der Deaktivierung neuronaler Areale während der Stressbedingung. *Whole-brain*-Analyse ($p_{FWE} < 0.05$) mit MNI-Koordinaten, Z-Werten, clusterkorrigiertem p_{FWE} -Wert und der Clustergröße in Voxeln k .

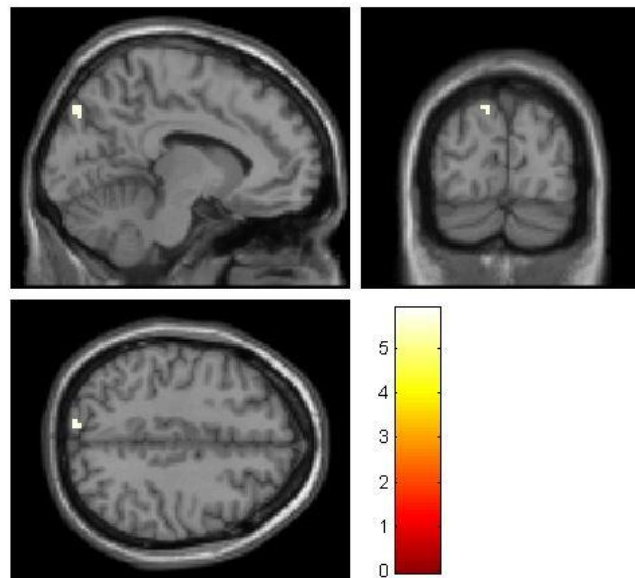


Abbildung 8: Grafische Darstellung der negativen Korrelation von subjektivem Stressempfinden und der Deaktivierung neuronaler Areale während der Stressbedingung. *Whole-brain*-Analyse ($p_{FWE} < 0.05$). Die Farbskala stellt den t -Wert dar. Darstellung der Aktivität im Gyrus occipitalis superior.

5.5 Weiterführende Analysen und deren Ergebnisse

Zur Untersuchung der fehlenden Aktivierung bzw. Deaktivierung von Amygdala und vACC während der Stressinduktion wurden ergänzende Analysen durchgeführt: Hierbei handelte es sich um eine FWE-korrigierte ROI-Analyse mit $p < 0.05$ und Kontrast 3. Dieser implizierte die Aktivierung bzw. Deaktivierung neuronaler Strukturen, die sowohl bei der Kontroll- als auch bei der Stressbedingung aktiviert bzw. deaktiviert waren. Dabei konnten sowohl Deaktivierungen der bilateralen Amygdala ($x = -21, y = -13, z = -16, Z = 5.25, p_{FWE} < 0.001$; $x = 24, y = -10, z = -16, Z = 5.23, p_{FWE} < 0.001$) als auch des bilateralen vACC ($x = 3, y = 29, z = -19, Z = 7.87, p_{FWE} < 0.001$;

5 Ergebnisse

$x = -3, y = 20, z = -19, Z = 5.92, p_{FWE} = 0.001$) als gemeinsame Aktivität beider Bedingungen aufgezeigt werden.

Darüber hinaus wurden mögliche negative Korrelationen zwischen der Höhe des Gesamtwerts in der PSS und Kontrast 3 untersucht. Hier konnte in einer *whole-brain*-Analyse FWE-korrigiert mit $p < 0.05$ keine Korrelation festgestellt werden.

Da keine negative Korrelation zwischen Gesamtwert der PSS und der Aktivierung des HC während der Induktion von Stress gefunden werden konnte, wurde das Aktivitätsverhalten des HC anhand der Kontraste 1 und 3 untersucht. Hier konnten in einer ROI-Analyse FWE-korrigiert mit $p < 0.05$ bilaterale Deaktivierungen des anterioren HC als gemeinsame Aktivität beider Bedingungen festgestellt werden ($x = 27, y = -13, z = -19, Z = 5.13, p_{FWE} < 0.005$; $x = -24, y = -16, z = -16, Z = 5.34, p_{FWE} < 0.005$). Gleichzeitig konnten für den rechten und linken posterioren HC als gemeinsame Aktivität beider Bedingungen eine Aktivierung zugewiesen werden ($x = 24, y = -31, z = 11, Z = 4.33, p_{FWE} < 0.001$; $x = -24, y = -28, z = 5, Z = 5.14, p_{FWE} < 0.001$).

Des Weiteren wurde ein potentieller Einfluss des Jurygeschlechts auf die Stressverarbeitung der männlichen Probanden untersucht (56 % der Durchgänge mit gleichgeschlechtlicher Jury vs. 44 % mit gemischtgeschlechtlicher Jury). Es wurde eine *Small Volume Analyse* mit initialem p-Wert von $p < 0.001$ (unkorrigiert) durchgeführt, um besonders sensitiv Aktivierungen bzw. Deaktivierungen in den kleinen stressassoziierten Strukturen Amygdala und *al* nachweisen zu können. Dabei konnte eine nicht signifikante positive Korrelation zwischen gemischtgeschlechtlicher Jury im Vergleich zur ausschließlich weiblichen Jury und der Aktivierung der rechten *al* anhand von Kontrast 2 gemessen werden ($x = 42, y = 2, z = -10, Z = 3.34, p_{FWE} = 0.06$). Folglich konnte ein Einfluss des Jurygeschlechts auf die neuronale Stressverarbeitung der Probanden ausgeschlossen werden.

Um einen möglichen Einfluss des Alters auf die Beantwortung der PSS identifizieren zu können, wurde zunächst die Altersverteilung auf Normalverteilung geprüft. Der Test auf Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov ergab, dass in dieser Stichprobe eine Normalverteilung des Alters vorlag (Signifikanz = 0.150). Anschließend wurde eruiert, ob eine positive Korrelation zwischen Alter und dem Gesamtwert in der PSS vorliegt. Dabei konnte keine Korrelation festgestellt werden ($r = 0.04, p = 0.81$).

6 Diskussion

In der Diskussion werden die in Kapitel 5 beschriebenen Ergebnisse aufgegriffen und im Kontext anderer Studienergebnisse diskutiert. Darüber hinaus wird nach möglichen Ursachen für Ergebnisse gesucht, die nicht mit den vermuteten Hypothesen übereinstimmen.

6.1 Diskussion der Ergebnisse der Stichprobenparameter

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Analysen der Stichprobenparameter Geschlecht, Alter und Bildung diskutiert.

Da in diese Studie ausschließlich männliche Probanden aufgenommen wurden, können spezifische Informationen über die Stressverarbeitung männlicher Individuen gewonnen werden. Dass eine geschlechterspezifische Betrachtung der Thematik sinnvoll ist, zeigt beispielsweise die unterschiedliche Beantwortung der PSS in Abhängigkeit vom Geschlecht: Hier konnte ein erhöhter Gesamtwert bei Frauen im Vergleich zu Männern nachgewiesen werden (vgl. Kapitel 2.2.2). Dies zeigt, dass es berechtigt ist, den Umgang mit Stress geschlechtergetrennt zu betrachten. Gleichzeitig wird deutlich, dass der Umgang weiblicher Individuen mit Stress zukünftig ebenfalls untersucht werden sollte.

Das Durchschnittsalter betrug 28.5 Jahre und entsprach somit nicht dem Durchschnittsalter der deutschen Gesamtbevölkerung. Dies ist in den strengen Einschlusskriterien begründet (vgl. Kapitel 4.2.2), die der Vermeidung von Verzerrungen durch starke Altersunterschiede in Bezug auf erlebten Lebensstress in Form von mehr erlebten NLE in höherem Alter (nicht Gegenstand dieser Arbeit) dienen. So konnte eine in der Literatur beschriebene positive Korrelation zwischen Alter und Gesamtwert der PSS umgangen werden (vgl. Kapitel 2.2.2 und Kapitel 5.5). Nichtsdestotrotz kann das junge Durchschnittsalter der vorliegenden Stichprobe dazu beigetragen haben, dass das allgemeine subjektive Stressempfinden hier im Vergleich zur Validierungsstudie von Schneider und Kollegen (2020) aufgrund der geringeren Wahrscheinlichkeit NLE niedriger ausfiel (vgl. Kapitel 6.2).

Eine weitere hervorstechende Eigenschaft dieser Stichprobe ist die, wie bereits in Kapitel 5.1 beschriebene, überdurchschnittlich hohe Bildung der Probanden. Diese ist vor allem durch die Werbung an universitären Einrichtungen begründet. Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass sich Charakterzüge wie Gewissenhaftigkeit oder

6 Diskussion

Zuverlässigkeit, die insbesondere eine erfolgreiche Studienteilnahme an Studien wie dieser mit mehreren Messterminen fördern, auch in der vorliegenden Studie zu einer erfolgreichen Studienteilnahme geführt haben. Da diese Eigenschaften positiv mit dem beruflichen Bildungsweg korrelieren (Hülshager und Maier 2008), liegt es nahe, dass insbesondere zuverlässige und gewissenhafte Probanden erfolgreich an der Studie teilnahmen. Folglich können nicht nur die Lokalisation der Werbung, sondern auch die charakterlichen Eigenschaften der Probanden zu einem hohen Bildungsgrad der Studienteilnehmer geführt haben. Darüber hinaus ist anzumerken, dass die Probanden unter Berücksichtigung des Debriefings, in welchem sie dazu aufgefordert wurden, die wahren Abläufe und Hintergründe der Studie für sich zu behalten, darum gebeten wurden, in ihrem Freundeskreis Werbung für die Studie zu machen. Dies kann dazu geführt haben, dass Studienfreunde oder Arbeitskollegen informiert wurden, was die Homogenität der Studienteilnehmer in Bezug auf ihre hohe Bildung gefördert haben könnte.

6.2 Diskussion der Ergebnisse der Erfassung des allgemeinen subjektiven Stressempfindens

Da die populationsbasierte Studie von Nordin und Nordin (2013) in der Auswertung der PSS-10 nicht zwischen gesunden und kranken männlichen Teilnehmern differenzierte, wird im Folgenden die Validierungsstudie der deutschen Version der PSS-10 (Schneider et al. 2020) zum Vergleich der vorliegenden Studienergebnisse herangezogen. Hier ist der direkte Vergleich mit Werten einer gesunden, männlichen Stichprobe möglich.

In Tabelle 7 des Kapitels 5.2 sind die Unterschiede der Stichproben der vorliegenden Studie und der Validierungsstudie dargestellt. Hier fällt der geringere Mittelwert des Gesamtwertes der PSS in der vorliegenden Stichprobe auf.

Dies kann zum einen darin begründet sein, dass dieser geringe Mittelwert der im Vergleich zur Validierungsstudie sehr jungen Stichprobe tatsächlich einem geringeren Empfinden von Stress entspricht. Hier wiederum kann eine Ursache darin liegen, dass die jüngere Stichprobe statistisch gesehen in ihrem bisherigen Leben mit geringerer Wahrscheinlichkeit mit einem oder mehreren NLE konfrontiert worden war als die im Durchschnitt ältere Vergleichsstichprobe der Validierungsstudie. Diese Annahme geht mit der in Kapitel 2.2.2 beschriebenen positiven Korrelation von Alter und Gesamtwert der PSS einher, die ein erhöhtes Stressempfinden im Alter, unter anderem durch das

6 Diskussion

Auftreten von Erkrankungen begünstigt, nach sich zieht. Der überdurchschnittlich hohe Bildungsgrad der vorliegenden Stichprobe unterstützt diese Annahme dahingehend, als dass diese Stichprobe weniger wahrscheinlich mit NLEs aus dem beruflichen Bereich konfrontiert wurde, wie beispielsweise Arbeitslosigkeit oder finanziellen Problemen.

Weitere Ursachen des geringeren gemittelten Gesamtwertes der vorliegenden Stichprobe können in einer verfälschten Angabe bei der Beantwortung der PSS begründet sein. Die Beantwortung des Fragebogens erfolgte in der Regel während der Entspannungsphase vor der Durchführung der Messung im fMRT. Dabei befand sich jeweils ein Versuchsteilnehmer mit einer weiblichen Testleiterin des Studienteams in einem Raum an einem Tisch. Die Testleiterin hatte die Aufgabe, sich mit etwas anderem zu beschäftigen und nur im Fall des Auftretens von Fragen oder bei Auslassen von Fragebögen mit dem Probanden verbal zu kommunizieren. Es ist aber nicht auszuschließen, dass die Probanden, verstärkt durch die Geschlechterdifferenz und das ähnliche Alter, in Anwesenheit der Testleiterin eher sozial erwünscht antworteten und das eigene Denken und Fühlen als positiver darstellten als es der Realität entsprach.

Darüber hinaus ist die geringere Varianz des Gesamtwertes der PSS im Vergleich zur Validierungsstudie zu diskutieren. Diese ist zum einen in der erheblich geringeren Stichprobengröße der vorliegenden Studie begründet (36 Probanden vs. 541 Probanden in der Validierungsstudie). Zum anderen ist dies auf die im Vergleich zur Validierungsstudie homogenere Stichprobe zurückzuführen (Männer mit geringerem Altersunterschied und hohem Bildungsstand vs. Männer mit großem Altersunterschied und unbekanntem Bildungsstand in der Validierungsstudie). Die homogenere Gruppe der vorliegenden Studie könnte folglich ähnlicher auf die Fragen in der PSS geantwortet haben und somit weniger Varianz in der Beantwortung der Fragen aufgewiesen haben.

Die beschriebenen Erläuterungen machen deutlich, dass die Abweichungen der vorliegenden Stichprobe in der Beantwortung der PSS im Vergleich zur Validierungsstudie im Kontext bisheriger Studienergebnisse und unter Berücksichtigung der Stichprobenparameter Alter und Bildungsgrad plausibel nachvollzogen werden können.

6.3 Diskussion der neuronalen Ergebnisse

6.3.1 Aktivierung neuronaler Strukturen während der Stressinduktion

Die in Tabelle 8 dargestellten Hirnregionen mit ihren lokalen Maxima lassen sich zum einen in Aktivierungen zusammenfassen, die in der Steigerung der Aufgabenschwierigkeit in der Stressbedingung im Vergleich zur Kontrollbedingung begründet sind. Zum anderen sind sie auf stressbedingte Aktivierungen zurückzuführen, die im Anschluss daran diskutiert werden.

Whole-brain-Analysen – aufgabenbedingte Aktivierungen

Der in der Stressbedingung erhöhte Zeitdruck führt zu einer erhöhten Frequenz an zu lösenden Aufgaben, folglich zu einer häufigeren Auswahl von Antwortoptionen, einer erhöhten Frequenz des willkürlichen Drückens des Antwortpads mit der rechten Hand und somit einer Aktivierung des linken superioren Motorkortex im Vergleich zur Kontrollbedingung (Stippich et al. 2007). Die Aktivierung des rechten Cerebellums geht mit der Betätigung der rechten Hand zum Drücken des Antwortpads einher (Fehr et al. 2007). Die in der vorliegenden Studie gemessenen Aktivierungen von linkem superioren Motorkortex und rechtem Cerebellum während der Stressinduktion im Vergleich zur Kontrollbedingung stimmen damit überein.

Aktivierungen des Thalamus während des LöSENS von schwierigen Subtraktionsaufgaben im Vergleich zu einfacheren Rechenaufgaben konnten auch Fehr und Kollegen (2007) aufzeigen. Die beidseitigen Aktivierungen des Thalamus in der vorliegenden Studie können einer intensiveren Verarbeitung der schwereren Rechenaufgaben während der Stressinduktion im Vergleich zur Kontrollbedingung entsprechen.

Halari und Kollegen (2006) zeigten Aktivierungen des bilateralen medialen occipitalen Gyrus während des LöSENS von mentalen Rotationsaufgaben auf. Dabei wurden den Probanden zwei 2D- oder 3D-Formen nebeneinander aus verschiedenen Perspektiven präsentiert. Die Probanden mussten per Knopfdruck auswählen, ob es sich um die gleichen Figuren oder um gespiegelte Figuren handelte (Fehr et al., 2007). Die in der vorliegenden Studie nachgewiesene Aktivierung des linken medialen occipitalen Gyrus während der Stressbedingung mit deutlich schwereren Rotationsaufgaben im Vergleich zur Kontrollbedingung passt zu diesem

6 Diskussion

Studienergebnis. Da die Präsentation der mentalen Rotationsaufgaben visuell erfolgte, kann man annehmen, dass die Präsentation mentaler Rotationsaufgaben zu einer Aktivierung höherer visueller Kortexareale führte wie der Area V2. Dieses Areal kann der Formerkennung zugeordnet werden und stellt somit einen wichtigen Prozess in der Zuordnung von rotierten Formen dar (Hegdé und van Essen 2000).

Darüber hinaus zeigten Halari und Kollegen (2006) während der Präsentation der Rotationsaufgaben eine Aktivierung des medialen temporalen Gyrus ausschließlich bei männlichen Probanden auf. Fehr und Kollegen (2007) konnten zudem eine Aktivierung des beidseitigen medialen temporalen Gyrus während des Lösen von Rechenaufgaben nachweisen. Die in der vorliegenden Studie gemessene Aktivierung im rechten medialen Gyrus temporalis steht im Einklang mit diesen Studienergebnissen.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die gemessene neuronale Aktivierung während der Stressbedingung im Vergleich zur Kontrollbedingung mit den in der Literatur angegebenen Aktivierungen während des Lösen von Rechen- und mentalen Rotationsaufgaben in Einklang steht.

Whole-brain-Analysen – stressbedingte Aktivierungen

Die Aktivierung der linken Insula während der Stressbedingung im Vergleich zur Kontrollbedingung kann auf eine effektive Induktion von Stress zurückgeführt werden: Dabei steht die Aktivierung der Insula im Einklang mit Ergebnissen des ScanSTRESS-C (Sandner et al. 2020) und des ScanSTRESS (Dahm et al. 2017), die ebenfalls Aktivierungen in der Insula während der Induktion von Stress feststellen konnten.

Die in Kapitel 2.2.1.2 beschriebenen Funktionen der Insula erlauben den Rückschluss, dass die Insula aufgrund ihrer Funktion in der Integration multimodaler Sinneseindrücke während der Stressbedingung aktiviert war. So kann die Aktivierung der Insula auf die Verarbeitung sozial-evaluativer Stimuli zurückgeführt werden. Da die Insula außerdem als Teil des Salienznetzwerkes (Hermans et al. 2014) in die Verarbeitung salienter Stimuli integriert ist, kann aus ihrer Aktivierung geschlossen werden, dass die Probanden die während der Stressinduktion präsentierten Stimuli als wichtig und bedrohlich wahrnahmen. Dies geht mit Studienergebnissen einher, die positive korrelative Zusammenhänge zwischen subjektivem Stressempfinden während der Induktion von Stress und insulärer Aktivierung aufzeigten (Wang et al. 2005).

6 Diskussion

Da die Insula auch in der Antizipation ängstlichen Verhaltens involviert ist (vgl. Kapitel 2.2.1.2), kann zusätzlich davon ausgegangen werden, dass die Probanden die Jury als Angst induzierenden Stimulus auffassten und über die verschiedenen Aufgabenblöcke hinweg durch die Präsenz der Stimuli in Form von einer kontinuierlichen Liveübertragung der Jury während der Stressbedingung Angst im Probanden antizipiert wurde. Man kann im Kontext der akuten Stressinduktion davon ausgehen, dass Induktion und Antizipation von Angst während der Stressbedingung als natürliche adaptive und protektive Mechanismen zu betrachten sind, die dem Schutz des Individuums vor bedrohlichen Stimuli dienen (McEwen et al. 2012).

Durch die insuläre Aktivierung kann demnach gezeigt werden, dass die Probanden die sozial-evaluativen Stimuli in der Stressbedingung im Vergleich zur Kontrollbedingung wahrnahmen und verarbeiteten, was wiederum in Zusammenhang mit der körperlichen Stressreaktion und subjektivem Stressempfinden gebracht werden kann. Dies kann als wichtiger Aspekt einer erfolgreichen Induktion von Stress betrachtet werden.

ROI-Analysen – stressbedingte Aktivierungen

Die in Hypothese 1 vermuteten stressbedingten Aktivierungen konnten in der ROI-Analyse dahingehend bestätigt werden, als dass Aktivierungen im dlPFC, dACC, al und im vS während der Stressbedingung im Vergleich zur Kontrollbedingung gemessen wurden. Im Folgenden wird begründet, warum man aufgrund der vorliegenden Aktivierungen von einer erfolgreichen Stressinduktion ausgehen kann, die die Grundlage für die Beurteilung einer effektiven Stressverarbeitung (vgl. Hypothesen 3 und 4) bildet.

Aktivierung des dlPFC

Die Aktivierung des linken dlPFC in der vorliegenden Studie steht im Einklang mit der von Sandner (2017, unveröff.) beschriebenen Aktivierung des dlPFC während der Stressbedingung des ScanSTRESS-C und weist, wie bereits in Kapitel 2.2.1.2 beschrieben, auf das aktive Abrufen von Informationen im dlPFC während der Induktion von Stress hin. Es ist hierbei zu diskutieren, ob die beschriebene Aktivierung im dlPFC während der Stressinduktion in der Bearbeitung der im Vergleich zur Kontrollbedingung erschwerten Aufgaben oder in der Verarbeitung stressrelevanter Stimuli begründet ist. Dabei könnte sowohl der Schwierigkeitsgrad der zu lösenden Aufgaben als auch der durch die Jury vermittelte Leistungsdruck und somit die

6 Diskussion

Induktion von Stress zur Aktivierung des dlPFC geführt haben. Eine strikte Aufteilung in aufgabenbedingte und stressbedingte Aktivierung erscheint im Kontext der in Kapitel 2.2.1.2 angeführten Literatur beim dlPFC nicht möglich. Folglich ist die Aktivierung des dlPFC während der Stressinduktion nicht von der aufgabenbedingten Aktivierung zu trennen und erlaubt somit keine sichere Aussage über die Induktion von Stress in den Probanden.

Aktivierung des dACC

Die Aktivierung des dACC während der Stressbedingung geht, wie bereits in Kapitel 2.2.1.2 thematisiert, mit der Bearbeitung der präsentierten anspruchsvollen Aufgaben während der Stressbedingung einher. Zudem deutet die Aktivierung des dACC auf die Registrierung und Verarbeitung der durch die Jury induzierten sozial-evaluativen Stimuli hin. Die Wahrnehmung und Beurteilung der eigenen Fehler während der Stressinduktion ist ebenfalls aus der Aktivierung des dACC zu schließen. Da die Aktivierung des dACC während der Stressbedingung mit insulärer und striataler Aktivierung einherging, kann von einer Aktivierung mehrerer Regionen des Saliennetzwerkes während der Stressbedingung im Vergleich zur Kontrollbedingung ausgegangen werden. Im Zusammenspiel mit den stressinduktionsbedingten Deaktivierungen von Regionen, die dem Exekutivnetzwerk angehören, lässt sich eine erfolgreiche Induktion von Stress ableiten (vgl. Kapitel 2.2.1.2).

Aktivierung der anterioren Insula

Die Aktivierung dieser Region wird im Abschnitt *Whole-brain Analysen- stressbedingte Aktivierungen* erläutert und diskutiert.

Aktivierung des ventralen Striatums

Im Einklang mit Studien, die den ScanSTRESS benutzten (Akdeniz et al. 2014; Dahm et al. 2017; Streit et al. 2014) und die eine Aktivierung des vS während der Stressbedingung feststellen konnten, konnte auch hier eine Aktivierung des rechten vS während der Induktion von Stress aufgezeigt werden. Sandner und Kollegen (2020) konnten hingegen keine Aktivierung des vS während der Stressbedingung des ScanSTRESS-C messen. Da Sandner (2017, unveröff.) ebenfalls keine Aktivierung des vS während der ScanSTRESS-C feststellen konnte, können die unterschiedlichen Studienergebnisse der vorliegenden Studie und der Studien von Sandner (2017,

6 Diskussion

unveröff., Sandner et al. 2020) in den Differenzen der jeweiligen Versuchsabläufe begründet sein: In der vorliegenden Studie fand die Kontrollbedingung erst nach einer etwa sechsmütigen Ruhezustandsmessung statt, bei Sandner begann die Kontrollbedingung hingegen unmittelbar nach Messbeginn im Scanner. Es könnte sein, dass die fehlende Eingewöhnungszeit im Scanner bei Sandner zu Interaktionen zwischen einer möglichen striatalen Aktivierung während der Kontrollbedingung und striatalen Aktivierung während der Stressbedingung geführt hat. Hier sind weitere Ergebnisse von Studien, die den ScanSTRESS-C verwenden, abzuwarten.

Die Ursache der Aktivierung des vS kann im Kontext der Interpretation der Ergebnisse der ScanSTRESS-Studien gesehen werden (vgl. Kapitel 2.2.1.2), die die gleichen Stimuli verwendeten wie der ScanSTRESS-C. Hier wurde die Aktivierung des vS in Bezug zu falschen Belohnungsvorhersagen und der Präsentation von nicht erwarteten aversiven Stimuli gestellt. Diese wurden, unabhängig von der Leistung des Probanden, in Form eines negativen visuellen Feedbacks durch die Jury gegeben. Folglich ist davon auszugehen, dass das für den Probanden unerwartet negative, sozial-evaluative Feedback der Jury vom Probanden registriert und verarbeitet wurde. Da die Aktivierung des vS im Kontext zu seiner zentralen Rolle im Salienznetzwerk gesehen werden muss, das in die Verarbeitung salienter Reize und rigidem Stimulus-Reaktions-Verhalten involviert ist (vgl. Hermans et al. 2014), kann die Aktivierung des vS während der Stressinduktion als Reaktion auf die unerwartete negative Bewertung der Leistungen durch die Jury als Verarbeitung eines salienten Reizes aufgefasst werden. Dies deutet im Zusammenspiel mit den Aktivierungen von dACC und al auf eine erfolgreiche Induktion von Stress hin.

Im Unterschied zur vorliegenden Studie konnten Dahm und Kollegen (2017), Streit und Kollegen (2014) und Akdeniz und Kollegen (2014) bilaterale Aktivierungen des vS anstatt einer einseitigen Aktivierung des vS aufzeigen. Eine Ursache hierfür kann in der erhöhten Probandenanzahl liegen: Dahm und Kollegen (2017) untersuchten 86 Probanden, Streit und Kollegen 42 Probanden und Akdeniz und Kollegen 46 Probanden, während in der vorliegenden Studie die Daten von 36 Probanden ausgewertet wurden.

6.3.2 Deaktivierung neuronaler Strukturen während der Stressinduktion

Die in Tabelle 9 dargestellten Deaktivierungen neuronaler Strukturen während der Induktion von Stress sind ebenfalls auf das Bearbeiten von Aufgaben mit erhöhtem Schwierigkeitsgrad und die neuronale Aktivierung während der Stressinduktion zurückzuführen. Im Folgenden werden beide Aspekte getrennt aufgegriffen und diskutiert.

Whole-brain-Analysen – aufgabenbedingte Deaktivierungen

In der vorliegenden Studie wurde eine Deaktivierung des linken Gyrus angularis in der Stressbedingung im Vergleich zur Kontrollbedingung festgestellt. Auch Sandner und Kollegen (2020) stellten eine Deaktivierung des Gyrus angularis während der Stressbedingung fest. Dabei wurde eine beidseitige Deaktivierung gemessen. Dies wurde allerdings nicht im Ergebnisteil diskutiert, weshalb hier Bezug auf die im Review von Seghier (2013) beschriebenen Funktionen des Gyrus angularis genommen wird. In seinem Review werden die vielfältigen Funktionen des Gyrus angularis deutlich: Zum einen konnten Aktivierungen des Gyrus angularis sowohl beim Lösen von mentalen Rotationsaufgaben als auch beim Lösen von Rechenaufgaben festgestellt werden. Darüber hinaus ist der linke Gyrus angularis der Ort, an dem räumliche Informationen in die Bedeutung der Worte *rechts* und *links* integriert wird (Hirnstein et al. 2011). Diese Funktion stellt sich als elementar für die Zuordnung von dreidimensionalen Figuren dar. Diese Studienergebnisse lassen eine Aktivierung des Gyrus angularis während der Bearbeitung der Aufgaben während der Stressinduktion vermuten.

Die in der vorliegenden Studie und in der Studie von Sandner und Kollegen (2020) gemessenen Deaktivierungen des Gyrus angularis können zum anderen in einer weiteren Funktion des Gyrus angularis begründet sein, die Seghier (2013) in seinem Review beschreibt: Als Teil des *Default Mode Networks* (Ruhezustandsnetzwerk) konnten bereits Deaktivierungen im Gyrus angularis während der Durchführung zahlreicher Paradigmen, deren Gemeinsamkeit zielgerichtete Aufgaben waren, im Vergleich zum Ruhezustand festgestellt werden (Binder 2012; Harrison et al. 2011). Eine mögliche Begründung dafür könnte die Bearbeitung von bereits gewonnenen Wissens-elementen während des Ruhezustands sein, die während der Bearbeitung anstrengender mentaler Aufgaben unterbrochen wird (Seghier 2013). Es liegt die

6 Diskussion

Vermutung nahe, dass es in der vorliegenden Studie während der Stressbedingung im Vergleich zur Kontrollbedingung zu einer Deaktivierung des *Default Mode Networks*, das den Gyrus angularis impliziert, kam.

Auch die in dieser Studie gemessene Deaktivierung des linken posterioren cingulären Kortex während der Stressbedingung im Vergleich zur Kontrollbedingung kann auf seine zentrale Rolle im *Default Mode Network* zurückgeführt werden (Seghier 2013; Laird et al. 2009).

ROI-Analysen – stressbedingte Deaktivierungen

Die in Hypothese 2 beschriebenen stressbedingten Deaktivierungen konnten in den ROI-Analysen dahingehend nachgewiesen werden, als dass Deaktivierungen im mPFC während der Stressbedingung im Vergleich zur Kontrollbedingung aufgezeigt wurden. Die erwartete Deaktivierung des vACC während der Stressbedingung konnte nicht nachgewiesen werden. Die Ergebnisse von weiterführenden Analysen des Aktivierungsverhaltens des vACC während der Durchführung des ScanSTRESS-C werden in Kapitel 6.3.3 diskutiert.

Deaktivierung des linken mPFC

Die gemessene Deaktivierung des mPFC geht mit den Studienergebnissen von Sandner und Kollegen (2020) einher, die ebenfalls eine Deaktivierung des linken mPFC feststellen konnten. Da dieser als Teil des Exekutivnetzwerkes zu betrachten ist (vgl. Hermans et al. 2014), kann davon ausgegangen werden, dass es während der Induktion von Stress zu einer Deaktivierung des Exekutivnetzwerkes kam.

Zusammenfassung

Im Kontext der beschriebenen Aktivierungen und Deaktivierungen kann von einer Aktivierung von Strukturen des Salienz- und einer Deaktivierung von Strukturen des Exekutivnetzwerkes während der Stressinduktion ausgegangen werden. Insofern konnten die Studienergebnisse der gemischtgeschlechtlichen Stichprobe von Sandner und Kollegen (2020) an dieser rein männlichen Stichprobe bestätigt werden.

Dies steht im Einklang mit den Studienergebnissen von Dahm und Kollegen (2017), die keine Unterschiede in der neuronalen Aktivierung zwischen beiden Geschlechtern während der Durchführung des ScanSTRESS feststellten.

6.3.3 Diskussion der Ergebnisse weiterführender Analysen

Deaktivierung der bilateralen Amygdala als gemeinsame Aktivierung von Stress- und Kontrollbedingung

Die auf bisherigen Studienergebnissen basierenden vermuteten Aktivierungen in der Amygdala während der Stressbedingung im Vergleich zur Kontrollbedingung konnten in der vorliegenden Studie nicht bestätigt werden, weshalb weitere Analysen durchgeführt wurden. Diese zeigten Deaktivierungen der bilateralen Amygdala als gemeinsame Aktivität der Kontroll- und der Stressbedingung auf. Da dies nicht mit der erwarteten Aktivierung der Amygdala von Streit und Kollegen (2014) während der Stressbedingung übereinstimmte, wird nun näher auf dieses Ergebnis eingegangen. Darüber hinaus ist anzumerken, dass die bisherigen Studien, die eine Durchführung des ScanSTRESS beschrieben, kein einheitliches Aktivierungsmuster der Amygdala feststellen konnten (vgl. Kapitel 2.2.1.2). So stellten sowohl Dahm und Kollegen (2017) als auch Sandner und Kollegen (2020) eine Deaktivierung der Amygdala während der Stressbedingung von ScanSTRESS und ScanSTRESS-C fest.

Die fehlende amygdaloide Aktivierung während der Stressbedingung im Vergleich zur Kontrollbedingung kann im Zusammenhang mit einer schnellen Habituation der Amygdala betrachtet werden (Protopopescu et al. 2005). In diesem Zusammenhang ist darauf zu achten, dass es sich bei der Habituation nicht primär um eine Deaktivierung einer neuronalen Struktur, sondern um eine Veränderung des Zusammenspiels exzitatorischer und inhibitorischer Komponenten mit einer Verschiebung hin zu inhibitorischer Aktivierung handelt (Klingner et al. 2014). Fischer und Kollegen (2003) konnten dabei eine Habituation der Amygdala während der wiederholten Präsentation visueller Stimuli in Form von ängstlichen und neutralen Gesichtern feststellen. Diese fand im Durchschnitt innerhalb von etwa 80 Sekunden statt. Bezogen auf den ScanSTRESS-C kann somit grob auf eine Habituation an die visuellen sozial-evaluativen Stimuli Anfang des zweiten von insgesamt sieben Aufgabenblöcken der Stressbedingung geschlossen werden.

Folglich könnten in zukünftigen Analysen der amygdaloiden Aktivierung während der Durchführung eines Stressinduktionsparadigmas die Adaptation der Amygdala miteingerechnet werden. Hierbei müsste die prozentuale Veränderung des BOLD-Signals in der Amygdala bei jedem Probanden in Stress- und Kontrollbedingung über die Zeit erfasst, der Kontrast zwischen Stress- und Kontrollbedingung berechnet und anschließend über alle Probanden hinweg betrachtet werden (vgl. Fischer et al. 2003).

6 Diskussion

Eine mögliche Ursache der amygdaloiden Deaktivierung während Kontroll- und Stressbedingung könnte darin liegen, dass die Probanden bereits vor Beginn der MRT-Messung durch das Empfinden von Stress und Angst eine amygdaloide Aktivierung aufwiesen (vgl. Kapitel 2.2.1.2), es zu einer Habituation der Amygdala gegenüber der sie ursprünglich aktivierenden Stimuli kam, was eine Deaktivierung der Amygdala im Scanner zur Folge gehabt haben könnte. Es ist davon auszugehen, dass es als Konsequenz auf die verstärkte inhibitorische Aktivität im Zuge der Habituation zu einer Reduktion amygdaloider Durchblutung kam und daraus resultierend eine Deaktivierung der Amygdala während der Kontroll- und der Stressbedingung gemessen wurde (vgl. Kapitel 2.2.1.1).

Potentielle Ursachen für die beschriebene Habituation sind in möglichen Situationen begründet, die vor der Messung zu einer Aktivierung der Amygdala geführt haben könnten:

Ein Grund könnte darin liegen, dass einige Probanden zum ersten Mal im MRT lagen und vor der Messung entsprechend ängstlich waren. Da das Durchschnittsalter bei 28.5 Jahren lag und es sich somit um eine junge Stichprobe handelte, kann man davon ausgehen, dass dies für einige Probanden der vorliegenden Stichprobe zutraf und somit bei diesen Probanden zu einer Aktivierung der Amygdala vor Messbeginn und folglich einer Habituation an die Situation im Scanner und folglich der Deaktivierung der Amygdala während Kontroll- und Stressbedingung geführt haben könnte.

Ein weiterer Grund für die anhaltende amygdaloide Deaktivierung im Scanner könnte gewesen sein, dass die Probanden bereits vor Beginn der Messung direkten Jurykontakt hatten, indem sie der Jury vorgestellt wurden. Diese stellten sich dem Probanden im weißen Kittel und seriösem Auftreten als Experten vor. Diese Situation könnte bereits vor Messbeginn zu einer Stressinduktion und somit zu einer Aktivierung der Amygdala geführt haben. Außerdem war der/die MTRA, der/die als späteres Jurymitglied bereits einen weißen Kittel trug, in das Vorbereiten des Probanden für die MRT-Messung im Scannerraum involviert, beispielsweise beim Aufsetzen der Spule oder des korrekten Positionierens des Antwortpads. Dieser relativ enge Kontakt könnte ebenfalls zu einer Aktivierung der Amygdala vor Messbeginn beigetragen haben und könnte dazu geführt haben, dass die Probanden die virtuelle Konfrontation mit der Jury während Kontroll- und Stressbedingung als weniger angsteinflößend empfanden, was wiederum eine Deaktivierung der Amygdala zur Folge gehabt haben könnte.

6 Diskussion

Hier ist anzumerken, dass eine Deaktivierung der Amygdala im Kontext des Aktivierungsmusters der sie regulierenden Strukturen gesehen werden sollte. Hier fällt die sowohl während der Kontroll- als auch Stressbedingung vorhandene Aktivierung des bilateralen posterioren HC auf. Mögliche Zusammenhänge werden unter *Aktivierung im bilateralen posterioren HC als gemeinsame Aktivität beider Bedingungen* diskutiert.

In Zukunft gilt es, das besondere Aktivierungsmuster der Amygdala mit ihrer schnellen Habituation in den Regressionsanalysen zu berücksichtigen.

Deaktivierung des bilateralen vACC als gemeinsame Aktivierung von Stress- und Kontrollbedingung

Da die in Hypothese 2 vermutete Deaktivierung des vACC während der Stressbedingung nicht bestätigt werden konnte, wurden weiterführende Analysen durchgeführt. Dabei wurde eine Deaktivierung des bilateralen vACC als gemeinsame Aktivierung von Stress- und Kontrollbedingung festgestellt.

Da dem vACC als Teil des präfrontalen Kortex exekutive Funktionen zukommen (vgl. Kapitel 2.2.1.2) geht seine Deaktivierung mit dem Verlust exekutiver Kontrolle einher. Diese wäre im Rahmen verringerter präfrontaler *Top-down*-Kontrolle in der Stressbedingung im Vergleich zur Kontrollbedingung zu erwarten gewesen. Daraus ergibt sich die Frage, warum es bereits in der Kontrollbedingung zu einer Deaktivierung des vACC und somit einem Verlust exekutiver Funktionen kam.

Mögliche Ursachen dafür können in einer möglichen unbeabsichtigten Induktion von Stress bereits während der Kontrollbedingung liegen.

Dabei ist zum einen zu beachten, dass das Aktivierungsverhalten des vACC bisher nicht im ScanSTRESS-C untersucht wurde. Da während der Stressinduktion im Rahmen des ScanSTRESS-C auf eine Randomisierung von Kontroll- und Stressbedingung verzichtet wird, ist es möglich, dass die Deaktivierung des vACC auf Reihfolgeeffekten begründet ist.

Dies bedeutet konkret, dass das erstmalige Bearbeiten der Aufgaben im Zusammenhang mit dem Lärm und der Enge im Scanner mit der einer Deaktivierung des vACC in Zusammenhang gebracht werden könnte, da das erstmalige Präsentieren der Aufgaben im Scanner immer während der Kontrollbedingung stattfand. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Probanden genau den gleichen Aufgabentyp mit demselben Schwierigkeitsgrad vor der Messung geübt hatten, wodurch solche

6 Diskussion

stressbedingten Effekte vermieden werden sollen. Da es zu keiner Deaktivierung des mPFC während der Kontrollbedingung kam, kann auch von keiner Deaktivierung mehrerer Strukturen des Exekutivnetzwerkes während der Kontrollbedingung gesprochen werden. Dies deutet auf eine gelungene mentale Vorbereitung des Probanden auf die Situation während der Messung durch die im Vorhinein gegebenen Informationen des Testleiters und das Absolvieren der Trainingsaufgaben hin. Zugleich wird deutlich, dass in Zukunft eine Randomisierung der Reihenfolge von Stress- und Kontrollbedingung des ScanSTRESS-C weitere Erkenntnisse über das Aktivierungsverhalten des vACC und den Umgang mit den erstmalig präsentierten Aufgaben geben könnte.

Bilaterale Aktivierung des posterioren HC und bilaterale Deaktivierung des anterioren HC als gemeinsame Aktivität beider Bedingungen

Aufgrund der heterogenen Studienlage (vgl. Kapitel 2.2.1.2) wurde der HC nicht in die Hypothesen eingebunden, sondern wurde im Rahmen weiterführender Analysen betrachtet.

Hier fällt zunächst das unterschiedliche Aktivierungsverhalten des anterioren und des posterioren HC auf. Aufgrund der Aktivierung des bilateralen posterioren HC und der Deaktivierung des bilateralen anterioren HC als gemeinsame Aktivität beider Bedingungen deutet darüber hinaus auf ein gegensätzliches Aktivierungsmuster des anterioren und des posterioren HC hin. In der Literatur wurden bereits verschiedene Funktionen des anterioren und des posterioren HC erläutert. So ist der posteriore HC stärker in die Prozessierung räumlicher Informationen integriert als der anteriore HC (Colombo et al. 1998). Dem anterioren HC werden hingegen beispielsweise Funktionen im Abrufen von Informationen zugeschrieben (Zeidman et al. 2015). Diese Informationen legen nahe, dass sich auch während der Induktion von Stress die Aufgaben und somit das Aktivierungsmuster des anterioren und des posterioren HC unterscheiden können. Dies könnte auch ein Grund für die heterogene Studienlage bezüglich des Aktivierungsmusters des HC während der Stressinduktion sein. Für die Zukunft gilt es hier, bei der Betrachtung hippocampaler Aktivierung dessen Substrukturen differenziert zu betrachten.

Dahm und Kollegen (2017) waren diejenigen, die bereits Substrukturen des HC betrachteten und eine Aktivierung des posterioren HC und eine Deaktivierung des anterioren HC nachwiesen (vgl. Kapitel 2.2.1.2). Da auch sie eine amygdaloide

6 Diskussion

Deaktivierung während der Stressbedingung im Vergleich zur Kontrollbedingung feststellen konnten, werden hier Parallelen zum Aktivierungsmuster des HC in dieser Studie deutlich.

Die hier gemessene Deaktivierung des anterioren HC als gemeinsame Aktivierung von Stress- und Kontrollbedingung könnte im Hinblick auf den in Kapitel 2.2.1.2 erläuterten Zusammenhang zwischen amygdaloider und hippocampaler Aktivität im Rahmen des amygdaloid-hippocampalen Netzwerkes beruhen. Mögliche Ursachen für die amygdaloide Deaktivierung als gemeinsame Aktivität beider Bedingungen werden im Abschnitt zu *Deaktivierung der bilateralen Amygdala als gemeinsame Aktivierung von Stress- und Kontrollbedingung* besprochen.

Die Aktivierung im bilateralen posterioren HC als gemeinsame Aktivierung von Stress- und Kontrollbedingung sind am ehesten auf aufgabenbedingte Aktivierungen im Rahmen des Lösens der Rotationsaufgaben zurückzuführen. Hier bleibt offen, warum bereits die Kontrollbedingung, die ausschließlich die Zuordnung von Figuren beinhaltete und die bereits im Vorhinein außerhalb des Scanners geübt worden waren, zu einer, mit der Stressinduktion vergleichbaren Aktivierung des posterioren HC führte.

6.4 Diskussion der Ergebnisse korrelativer Analysen

Aufgrund der fehlenden signifikanten Ergebnisse der untersuchten Korrelationen zwischen allgemeinem subjektivem Stressempfinden und ROIs werden im Folgenden zum einen zugrunde liegende Ursachen der fehlenden Ergebnisse der Hypothesen 3 und 4 gemeinsam diskutiert, wobei an einigen Stellen spezifisch auf den jeweiligen Zusammenhang zu Hypothese 3 oder 4 eingegangen wird. Vorerst wird die einzige signifikante Korrelation, die auf *whole-brain*-Ebene gefunden wurde, diskutiert.

H3: Negative Korrelationen zwischen PSS-Gesamtwert und der Aktivierung von Strukturen des Exekutivnetzwerkes

H4: Positive Korrelationen zwischen PSS-Gesamtwert und einer Aktivierung von Strukturen des Salienznetzwerkes

6.4.1 Negative Korrelation zwischen subjektivem Stressempfinden und der Deaktivierung des linken Gyrus occipitalis superior

Das lokale Maximum der negativen Korrelation von subjektivem Stressempfinden und der Deaktivierung des Gyrus occipitalis superior während der Stressbedingung kann dem Brodman Areal 19 (links) zugeordnet werden (<http://sprout022.sprout.yale.edu/mni2tal/mni2tal.html>, Abruf am 06.05.2020). Dieses wiederum ist Teil des Cuneus und zählt so zum assoziativen visuellen Kortex (Schünke et al. 2018; Erdoğan et al. 2002). Der assoziative visuelle Kortex hat seine Funktion im *Verstehen des Gesehenen* (Zeki 1993). Dabei wurden erhöhte Aktivierungen im visuellen Kortex in Zusammenhang mit erhöhter motivationsbedingter Aufmerksamkeit gebracht (Bradley et al. 2003). Beispielsweise konnten während der Präsentation von Bildern mit aversiven Stimuli wie Pistolen, ausgerichtet zum Bildbetrachter, stärkere Aktivierungen des visuellen Kortex gemessen werden als während der Präsentation von weniger gefährlichen Bildern mit fröhlichen Familien oder neutralen Bildern mit Haushaltsgegenständen (Bradley et al. 2003). Daraus schlossen die Autoren, dass eine erhöhte Aufmerksamkeit gegenüber überlebensrelevanten Stimuli mit einer intensiveren Prozessierung der Stimuli im visuellen Kortex einhergeht.

Daran anknüpfend ist die gemessene Aktivierung im linken Gyrus occipitalis superior im Zusammenhang mit Forschungsergebnissen zu betrachten, die neuronale Vernetzungen zwischen präfrontalen Arealen und der visuellen Prozessierung im Sinne einer *Top-down-Regulation* feststellten (Gilbert und Li 2013; Paneri und Gregoriou 2017). Dabei konnten synchrone Oszillationen zwischen präfrontalen Arealen sowie occipitalen Arealen aufgezeigt werden (Gilbert und Li 2013). Diese werden als neuronales Korrelat der Kommunikation von Arealen über verschiedene Hirnregionen hinweg betrachtet (Paneri und Gregoriou 2017; Gregoriou et al. 2015). Hier modulieren kognitive Prozesse wie Aufmerksamkeit oder die Erwartung bestimmter Reize die Intensität der neuronalen Prozessierung visueller Stimuli (Desimone und Duncan 1995; Gilbert und Li 2013). Da dem präfrontalen Kortex Funktionen wie das Steuern zielgerichteten Verhaltens zugeschrieben werden, wird von einer präfrontal gesteuerten Selektion relevanter Informationen ausgegangen (Buschman und Miller 2014). Diese geht mit einer schnelleren sowie effektiveren Verarbeitung salienter Stimuli sowie einer weniger intensiven Verarbeitung irrelevanter Stimuli in visuellen Kortexarealen einher (Paneri und Gregoriou 2017; Gilbert und Li 2013).

6 Diskussion

Im Kontext des vorliegenden Studienergebnisses ergibt sich die Hypothese, dass Personen mit einem allgemein niedrigeren Stressempfinden während der Durchführung einer Stressinduktion eine stärkere präfrontale Kontrolle assoziativer visueller Areale aufwiesen als Personen mit einem erhöhten allgemeinen subjektiven Stressempfinden. Weiterhin bleibt zu prüfen, ob sich eine geringere Aktivität in visuellen Kortexarealen als Zeichen einer *Top-down*-Kontrolle zugunsten der effektiven Verarbeitung salienter Reize sowohl in einer besseren Leistung als auch in einem erhöhten subjektiven Wohlbefinden widerspiegelt.

6.4.2 Diskussion fehlender Korrelationen zwischen allgemeinem subjektiven Stressempfinden und dem Aktivierungsverhalten der ROIs

1. Inhaltliche Differenzen von allgemeinem Stressempfinden und akuter Stressinduktion als Ursache fehlender Korrelationen

Bei der Betrachtung von Korrelationen zwischen subjektivem Stressempfinden im Allgemeinen und der neuronalen Verarbeitung von Stress ist zu bedenken, dass das subjektive Empfinden von Stress der letzten vier Wochen mit der PSS retrospektiv erfasst wurde und sich inhaltlich von der Induktion von akutem Stress unterscheidet.

Eine mögliche Annäherung an die Fragestellung bildet die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen retrospektivem Stressempfinden und akutem Stressempfinden in der vorliegenden Stichprobe. Diese könnte in Form einer korrelativen Analyse zwischen PSS und MDBF untersucht werden.

An dieser Stelle ergibt sich zudem die Frage, ob eine Korrelation zwischen dem subjektiven Stressempfinden während der Stressinduktion und der (De-)Aktivierung neuronaler Areale vorlag. Plaisir konnte hier keine Korrelation aufzeigen (2020, unveröff.). Hier wird bereits der Unterschied zwischen neuronaler Aktivierung und dem subjektiven Wohlbefinden (gemessen anhand des MDBF) kurz nach der akuten Stressinduktion deutlich.

Lam und Kollegen (2019) lieferten einen weiteren Hinweis dafür, dass zwischen allgemeinem subjektiven Stressempfinden und objektiven Stressparametern eine eher schwache Korrelation besteht: Sie konnten zeigen, dass die Anzahl an NLEs ein signifikant stärkerer Prädiktor einer reduzierten Kortisolausschüttung während des TSST war als die subjektive Belastung dadurch.

2. Stichprobenparameter als Ursache fehlender Korrelationen

Im Folgenden wird zunächst die Stichprobengröße der vorliegenden Studie mit Stichprobengrößen von Studien verglichen, die sich ebenfalls mit der Korrelation eines Fragebogens und der Aktivierung neuronaler Areale während der Induktion von Stress befassen. Daran anknüpfend wird die Homogenität der Stichprobe und ihr möglicher Einfluss auf fehlende Korrelationen diskutiert.

In der vorliegenden Studie wurden die korrelativen Analysen zwischen einem Fragebogen und dem Aktivierungsmuster neuronaler Areale während der Stressinduktion anhand der Daten von 36 Probanden durchgeführt. Im Folgenden wird zum Vergleich eine Studie angeführt, welche ebenfalls eine korrelative Analyse zwischen Fragebogen und Stressinduktion beinhaltet und eine Korrelation aufgezeigt werden konnte:

Dahm und Kollegen (2017) untersuchten den Zusammenhang zwischen Pflichtgefühl und Aktivierungsverhalten neuronaler Areale während der Stressinduktion im Rahmen des ScanSTRESS. Dafür wurden 36 Männer untersucht. Sie konnten eine positive Korrelation unter den männlichen Probanden zwischen Pflichtgefühl und Aktivierung sowohl in der rechten Amygdala als auch in der linken Insula während der Stressbedingung im Vergleich zur Kontrollbedingung feststellen. Zur Messung des Pflichtgefühls wurde der NEO-Fünf-Faktoren Inventar nach Costa und McCrae (deutsche Fragebogenversion von Borkenau und Ostendorf 2008) verwendet. Der Mittelwert des Fragebogens in der männlichen Stichprobe betrug $M = 32.03$ ($SD = 6.9$, 12 Items, fünfstufige Likert-Skala).

Im Vergleich zur vorliegenden Studie lag bei Dahm und Kollegen (2017) eine identische Anzahl an männlichen Probanden vor. Sowohl Itemanzahl, Likert-Skala, Mittelwert als auch die Standardabweichung des NEO-FFI lagen in der Studie von Dahm und Kollegen (2017) im Bereich der Werte der Validierungsstudie der PSS ($M = 26.79$; $SD = 7.016$, Schneider et al. 2020). Unter Beachtung der divergierenden Fragebögeninhalte könnte man in der vorliegenden Studie eine Korrelation mit den Stichprobenwerten von Schneider und Kollegen (2020) vermuten.

Retrospektiv könnte unter anderem die in Relation zum Mittelwert größere Standardabweichung und folglich größere Varianz des NEO-FFI im Vergleich zur Beantwortung der PSS in der vorliegenden Stichprobe dazu geführt haben, dass eine Korrelation zwischen NEO-FFI und der Aktivierung neuronaler Areale während der

6 Diskussion

Stressbedingung gefunden werden konnte, in der korrelativen Analyse von PSS und neuronaler Aktivierung hingegen nicht.

Wie bereits in Kapitel 6.1 erläutert, handelte es sich bei der vorliegenden Stichprobe ausschließlich um männliche, gesunde Probanden mit einem überdurchschnittlich hohen Bildungsniveau, was den geringeren Mittelwert dieser Stichprobe im Vergleich zur älteren Vergleichsstichprobe der Validierungsstudie (Schneider et al. 2020) in der PSS begründen könnte (vgl. Kapitel 6.1). Die im Vergleich zum geringeren Mittelwert deutlich geringere Standardabweichung und somit geringe Varianz (vgl. Kapitel 5.2) in der Beantwortung der PSS der vorliegenden Stichprobe könnte zu einem erschwerten Aufzeigen von Korrelationen geführt haben. In diesem Zusammenhang wäre es interessant festzustellen, inwiefern sich eine Vergrößerung der Stichprobe sowohl auf die Varianz in der Beantwortung der PSS als auch auf eine mögliche Korrelation zwischen PSS und der Aktivierung neuronaler Areale auswirkt.

3. Potentielle Einflussfaktoren als Ursache fehlender Korrelationen

Darüber hinaus ist zu beachten, dass die Induktion und Verarbeitung von akutem Stress störanfällig für situative Unterschiede ist und demnach der Umgang mit einer akuten Stresssituation tagesformabhängig variieren kann. So können verschiedenste Aspekte wie Müdigkeit oder Hunger Einfluss auf die Verarbeitung der Stressinduktion nehmen. Letzteres ist nachvollziehbar, da die Probanden dazu angehalten wurden, ab zwei Stunden vor der Messung auf die Nahrungsaufnahme zu verzichten. Dafür spricht zudem, dass die Messungen um die Mittagszeit stattfanden und die MRT-Messung erst auf die etwa einstündige Entspannungsphase folgte.

In welcher Art und Weise die erwähnten Einflussfaktoren die akute Stressverarbeitung konkret beeinflussen, ist bisher noch ungeklärt (Stand der Literaturrecherche 06.05.2020). Jedoch können solche und weitere vergleichbare Einflussfaktoren dazu geführt haben, dass es zu einer veränderten Stressverarbeitung kam als in Abwesenheit der Einflussfaktoren.

Aus diesen Erläuterungen lässt sich schließen, dass es Einflussfaktoren auf die Stressverarbeitung während der akuten Induktion von Stress gegeben haben könnte, welche aber keinen Einfluss auf die Beantwortung des allgemeinen subjektiven Stressempfindens der letzten vier Wochen nahmen. Folglich hätten sie als Kovarianten in die Analysen miteinbezogen werden müssen, um ihren Einfluss auf die Korrelation

6 Diskussion

zwischen subjektivem Stressempfinden im Allgemeinen und neuronalem Aktivierungsmuster zu überprüfen.

4. Fragestellungen als mögliche Ursache fehlender Korrelationen

Sandner und Kollegen (2020) konnten eine negative Korrelation zwischen Haarkortisol als objektivem Stressparameter für chronischen Stress und der Aktivierung im dACC während des ScanSTRESS-C aufzeigen. Dies verdeutlicht, dass Personen mit einem objektiv erhöhten chronischen Stressniveau während der Induktion von Stress eine geringere Aktivierung vom dACC als Struktur des Saliensnetzwerkes aufzeigten als Personen mit einem geringeren chronischen Stressniveau. Demzufolge würde man in der vorliegenden Stichprobe statt einer positiven Korrelation eine negative Korrelation zwischen allgemeinem subjektivem Stressempfinden und der Aktivierung von Strukturen des Saliensnetzwerkes während der Stressinduktion erwarten. Auch hier konnten jedoch weder in ROI-Analysen noch in *Whole-brain*-Analysen signifikante Korrelationen aufgezeigt werden.

7 Limitationen

In der Diskussion sind bereits einige Limitationen der vorliegenden Studie angesprochen worden, die im Folgenden systematisch dargestellt und im Hinblick auf zukünftige Forschungsfragen diskutiert werden.

Wie bereits in der Diskussion angeklungen, konnte eine erfolgreiche Induktion von Stress während der Durchführung des ScanSTRESS-C auf neuronaler Ebene festgestellt werden.

Die fehlenden Ergebnisse der korrelativen Analysen können in Stichprobenparametern und im Versuchsablauf begründet sein, was im Folgenden diskutiert wird. Die außerdem bestehende Limitation der Analyseform wird vorneweg beschrieben.

Die Limitation von korrelativen Analysen liegt bekanntermaßen darin, dass bei vorhandenen Korrelationen nicht zwischen Ursache und Wirkung differenziert werden kann. Für genauere Aussagen müssten mehrere Gruppen gebildet und zwischen diesen nach signifikanten Unterschieden gesucht werden.

Eine weitere Limitation liegt in der Größe der Stichprobe. Aufgrund der in Kapitel 4.5.1 beschriebenen Komplikationen konnten die Daten von 36 Probanden ausgewertet werden. Im Zusammenhang mit der in Kapitel 6.4 beschriebenen geringen Varianz in der Beantwortung der PSS der vorliegenden Stichprobe wäre eine Wiederholung der Analysen mit einer erhöhten Anzahl an Studienteilnehmern sinnvoll. Dies würde wiederum die Wahrscheinlichkeit erhöhen, die Varianz in der Beantwortung der PSS zu vergrößern. Eine weitere Limitation liegt im hohen Bildungsgrad der Stichprobe, welcher nicht das Bildungsniveau des Bevölkerungsdurchschnitts widerspiegelt. Es ist gut vorstellbar, dass sich aufgrund des hohen Bildungsniveaus sowohl die neuronale Verarbeitung von Stress als auch das allgemeine subjektiv empfundene Stressempfinden der Durchschnittsbevölkerung von der vorliegenden Stichprobe unterscheiden.

Um in der Stichprobe die Allgemeinbevölkerung besser abbilden zu können, wäre eine Ausweitung der Einschlusskriterien auch auf ältere Probanden sinnvoll. Hier müsste wiederum die mit zunehmendem Alter ansteigende Wahrscheinlichkeit des Erlebens potentiell NLE im Hinblick auf die Beantwortung der PSS überprüft und gegebenenfalls in die Analysen integriert werden.

7 Limitationen

Da, wie bereits erwähnt, ausschließlich männliche Probanden in die Studie aufgenommen wurden, können in dieser Studie keine Aussagen über die weibliche Stressverarbeitung getroffen werden. Im Hinblick auf Studienergebnisse, die eine vom männlichen Geschlecht divergierende Beantwortung der PSS in dem Sinne aufzeigen konnten, als dass Frauen höhere Gesamtwerte in der PSS aufwiesen als Männer (vgl. Kapitel 2.2.2), ist es von äußerster Relevanz, die vorliegende Studie ebenfalls mit weiblichen Probanden durchzuführen. Die Erforschung der neuronalen Verarbeitung und der subjektiven Wahrnehmung von Stress bei Frauen könnte neue Erkenntnisse über geschlechterspezifische Unterschiede liefern, die wiederum mögliche Ansätze zur Erforschung der Ursachen stressassoziierter Erkrankungen bilden.

Dabei konnten in Tierversuchen erste Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Individuen im Umgang mit Stress aufgezeigt werden: Conrad und Kollegen (2003) stellten fest, dass weibliche Mäuse, die durch Einsperren in einem engen Käfig chronisch gestresst worden waren, sich schneller von der chronischen Stressung erholten und dann ein besseres räumliches Erinnerungsvermögen aufwiesen als chronisch gestresste männliche Mäuse. Der Test auf räumliches Erinnerungsvermögen wird als nicht-aversiver kognitiver Test verstanden (Russo et al. 2012) und wurde anhand des Y-Maze erfasst (für mehr Informationen siehe Kraeuter et al. 2019). Dafür zeigten männliche Mäuse nach einer akuten Stressinduktion mittels Gabe von elektrischen Schocks eine erleichterte Lernfähigkeit im Vergleich zur nicht gestressten Vergleichsgruppe auf, bei weiblichen Mäusen hingegen verschlechterte akuter Stress die Lernfähigkeit. Die Lernfähigkeit wurde anhand von Konditionierung gemessen (Wood und Shors 1998). Daraus lässt sich schließen, dass sich verschiedene Arten von Stressoren im Sinne von akutem oder chronischem Stress in Abhängigkeit vom Geschlecht unterschiedlich auf die Bewältigung kognitiver Aufgaben auswirken. Dies deutet wiederum darauf hin, dass sich die Verarbeitung von akutem und chronischem Stress geschlechterspezifisch unterscheiden könnte und folglich zu divergierenden kognitiven Leistungen führt.

Limitationen im Versuchsablauf ergeben sich ebenfalls aus der vorangegangenen Diskussion. Hier wäre die Erfassung von weiteren Einflussfaktoren am Tag der MRT-Messung sinnvoll gewesen. Zudem könnte das Bearbeiten der PSS im Beisein der Testleiterinnen zu einem sozial erwünschten Antworten geführt haben.

Des Weiteren ist im Kontext der zeitlichen Dynamik von Resilienz das Format der Querschnittsstudie als kritisch anzusehen. Vielmehr sollte Resilienz in Form von

7 Limitationen

Längsschnittstudien erfasst werden. Um zudem einer umfassenden Operationalisierung von Resilienz annähernd gerecht zu werden, ist es von elementarer Bedeutung, verschiedene Facetten von Resilienz, wie beispielsweise die Anzahl NLEs, Flexibilität oder Optimismus zu beleuchten (vgl. Kapitel 2.1.2). Im Kontext dieser Studie hätte so ein möglicher Zusammenhang zwischen effektiver neuronaler Stressverarbeitung und dem allgemeinem subjektiven Stressempfinden überprüft werden können.

Im Rahmen des übergeordneten Studienziels wurden zahlreiche Fragebögen erfasst. Diese übersteigen den Rahmen der vorliegenden Arbeit und werden an anderer Stelle diskutiert werden.

8 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Zusammenhang zwischen subjektiv empfundenem Stress im Alltag und der Aktivierung neuronaler Strukturen während des Erlebens eines Stressinduktionsparadigmas. Ziel der Studie ist es somit, die verschiedenen physiologischen Prozesse, die dem Themenkomplex „Stress“ zugrunde liegen, zu erforschen. Vor dem Hintergrund der Zunahme an stressassoziierten Erkrankungen (vgl. Kapitel 1) und den daraus entstehenden negativen wirtschaftlichen Folgen stellt sich die Erforschung der Zusammenhänge des subjektiven Stressempfindens und des neuronalen Aktivierungsmusters während der Durchführung eines Stressinduktionsparadigmas als aktuelle, relevante Thematik dar. In dieser Studie wurden die Messergebnisse von 36 Probanden ausgewertet. Dabei konnten mit Hilfe von ROI-Analysen Aktivierungen des linken dlPFC, der bilateralen al sowie des dACC und des rechten vS während der Induktion von Stress festgestellt werden. Zudem konnte eine Deaktivierung des linken mPFC während der Stressinduktion aufgezeigt werden. Aufgrund des Vergleichs dieser aktivierten bzw. deaktivierten neuronalen Strukturen mit dem Aktivierungsmuster von Studien, die erfolgreich Stress induzierten (vgl. Kapitel 2.2.1) kann von einer erfolgreichen Stressinduktion ausgegangen werden. Hier konnte insbesondere das an einer gemischtgeschlechtlichen Stichprobe validierte Stressinduktionsparadigma ScanSTRESS-C von Sandner und Kollegen (2020) an einer rein männlichen Stichprobe durchgeführt und deren Ergebnisse repliziert werden.

Die korrelativen Analysen zwischen mittels PSS-10 erfasstem Stressempfinden (Schneider et al. 2020) und dem Aktivierungsmuster neuronaler Strukturen erbrachten in den ROI-Analysen keine signifikanten Ergebnisse. Mögliche Ursachen hierfür sind in einer wahrscheinlich schwachen Korrelation sowie einer retrospektiv zu geringen Probandenanzahl bei einer homogenen Stichprobe begründet. Jedoch konnte eine wenig signifikante negative Korrelation zwischen Deaktivierung im linken Gyrus occipitalis superior und subjektivem Stressempfinden im Allgemeinen aufgezeigt werden. Dieses Ergebnis kann im Zusammenhang mit intensiverer *Top-down*-Kontrolle dieser Hirnregion bei allgemein geringerem subjektivem Stressempfinden im Vergleich zu allgemein erhöhtem subjektivem Stressempfinden interpretiert werden.

9 Literatur

Abelson, J. L., Erickson, T. M., Mayer, S. E., Crocker, J., Briggs, H., Lopez-Duran, N. L. and Liberzon, I. (2014) 'Brief cognitive intervention can modulate neuroendocrine stress responses to the Trier Social Stress Test: buffering effects of a compassionate goal orientation', *Psychoneuroendocrinology*, vol. 44, pp. 60–70.

Ackenheil, M., Stotz, G., Dietz-Bauer, R., Vossen, A. (1999) 'Mini International Neuropsychiatric Interview: German Version 5.0.0, DSM-IV', Psychiatrische Universitätsklinik München.

Adolphs, R. (2003) 'Is the human amygdala specialized for processing social information?', *Annals of the New York Academy of Sciences*, vol. 985, no. 1, pp. 326-340.

Agaibi, C. E. and Wilson, J. P. (2005) 'Trauma, PTSD, and resilience: A review of the literature', *Trauma, Violence, & Abuse*, vol. 6, no. 3, pp. 195–216.

Akdeniz, C., Tost, H., Streit, F., Haddad L., Wüst, S., Schäfer, A., Schneider, M., Rietschel, M., Kirsch, P., Meyer-Lindenberg, A. (2014) 'Neuroimaging evidence for a role of neural social stress processing in ethnic minority-associated environmental risk', *JAMA psychiatry*, vol. 71, no. 6, pp. 672–680.

Alim, T. N., Feder, A., Graves, R. E., Wang, Y., Weaver, J., Westphal, M., Mellman, T. A. (2008) 'Trauma, resilience, and recovery in a high-risk African-American population', *American Journal of Psychiatry*, vol. 165, no. 12, pp. 1566-1575.

Allen, A. P., Kennedy, P. J., Dockray, S., Cryan, J. F., Dinan, T. G., Clarke, G. (2017) 'The Trier Social Stress Test: Principles and practice', *Neurobiology of stress*, vol. 6, pp. 113–126.

Amat, J., Alekseev, R. M., Paul, E., Watkins, L. R., Maier, S. F. (2010) 'Behavioral control over shock blocks behavioral and neurochemical effects of later social defeat', *Neuroscience*, vol. 165, no. 4, pp. 1031–1038.

Amat, J., Matus-Amat, P., Watkins, L. R., Maier, S. F. (1998) 'Escapable and inescapable stress differentially alter extracellular levels of 5-HT in the basolateral amygdala of the rat', *Brain research*, vol. 812, no. 1-2, pp. 113-120.

Andreou, E., Alexopoulos, E. C., Lionis, C., Varvogli, L., Gnardellis, C., Chrousos, G. P., Darviri, C. (2011) 'Perceived Stress Scale: reliability and validity study in Greece', *International journal of environmental research and public health*, vol. 8, no. 8, pp. 3287–3298.

9 Literatur

- Arnsten, A. F. T. (2009) 'Stress signalling pathways that impair prefrontal cortex structure and function', *Nature reviews neuroscience*, vol. 10, no. 6, pp. 410-422.
- Aron, A. R., Robbins, T. W., Poldrack, R. A. (2004) 'Inhibition and the right inferior frontal cortex', *Trends in cognitive sciences*, vol. 8, no. 4, pp. 170-177.
- Ashokan, A., Sivasubramanian, M. and Mitra, R. (2016) 'Seeding Stress Resilience through Inoculation: Review Article', *Hindawi Publishing Corporation Neural Plasticity*.
- Aspinwall, L. G., MacNamara, A. (2005) 'Taking positive changes seriously: Toward a positive psychology of cancer survivorship and resilience', *Cancer: Interdisciplinary International Journal of the American Cancer Society* vol. 104, no. S11, pp. 2549-2556.
- Ayash, S., Schmitt, U., Müller, M. B. (2020) 'Chronic social defeat-induced social avoidance as a proxy of stress resilience in mice involves conditioned learning', *Journal of Psychiatric Research*, vol. 120, pp. 64–71.
- Baddeley, A. (2010) 'Working memory', *Current biology : CB*, vol. 20, no. 4, R136-40.
- Bandler, R., Keay, K. A., Floyd, N., Price, J. (2000) 'Central circuits mediating patterned autonomic activity during active vs. passive emotional coping', *Brain research bulletin*, vol. 53, no. 1, pp. 95-104.
- Bandura, A. (1982) 'Self-efficacy mechanism in human agency', *American psychologist*, vol. 37, no. 2, p. 122.
- Banihashemi, L., Sheu, L. K., Midei, A. J., Gianaros, P. J. (2015) 'Childhood physical abuse predicts stressor-evoked activity within central visceral control regions', *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, vol. 10, no. 4, pp. 474-485.
- Banks, S. J., Eddy, K. T., Angstadt, M., Nathan, P. J., Phan, K. L. (2007) 'Amygdala-frontal connectivity during emotion regulation', *Social cognitive and affective neuroscience*, vol. 2, no. 4, pp. 303–312.
- Baran, S. E., Armstrong, C. E., Niren, D. C., Conrad, C. D. (2010) 'Prefrontal cortex lesions and sex differences in fear extinction and perseveration', *Learning & Memory*, vol.17, no.5, pp. 267-278.
- Bauernfeind, A. L., de Sousa, A. A., Avasthi, T., Dobson, S. D., Raghanti, M. A., Lewandowski, A. H., Zilles, K., Semendeferi, K., Allman, J. M., Craig, A. D. Bud, Hof, P. R., Sherwood, C. C. (2013) 'A volumetric comparison of the insular cortex and its subregions in primates', *Journal of human evolution*, vol. 64, no. 4, pp. 263-279.
- Beauregard, M., Lévesque, J., Bourgouin, P. (2001) 'Neural correlates of conscious self-regulation of emotion', *Journal of Neuroscience*, vol. 21. no. 18, pp. RC165-RC165.

9 Literatur

- Becker, B. (2010) 'Die Effekte von Cannabis und Ecstasy auf die neurokognitive Hirnfunktion beim Menschen', *Dissertation*, Düsseldorf, Heinrich-Heine-Universität.
- Benight, C. C., Bandura, A. (2004) 'Social cognitive theory of posttraumatic recovery: the role of perceived self-efficacy', *Behaviour research and therapy*, vol. 42, no. 10, pp. 1129–1148.
- Berman, D. E., Dudai, Y. (2001) 'Memory extinction, learning anew, and learning the new: dissociations in the molecular machinery of learning in cortex', *Science*, vol. 291, no. 5512, pp. 2417-2419.
- Binder, J. R. (2012) 'Task-induced deactivation and the "resting" state', *NeuroImage*, vol. 62, no. 2, pp. 1086–1091.
- Biro, E., Veres-Balajti, I., Kosa, K. (2016) 'Social support contributes to resilience among physiotherapy students: a cross sectional survey and focus group study', *Physiotherapy*, vol. 102, no. 2, pp. 189–195.
- Block, J., Kremen, A. M. (1996) 'IQ and ego-resiliency: Conceptual and empirical connections and separateness', *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 70, no. 2, pp. 349–361.
- Boehringer, A., Tost, H., Haddad, L., Lederbogen, F., Wüst, S., Schwarz, E., Meyer-Lindenberg, A. (2015) 'Neural Correlates of the Cortisol Awakening Response in Humans', *Neuropsychopharmacology: official publication of the American College of Neuropsychopharmacology*, vol. 40, no. 9, pp. 2278–2285.
- Bohus, B. (1975) 'The hippocampus and the pituitary-adrenal system hormones', In *The hippocampus* (pp. 323-353). Springer, Boston, MA.
- Bollini, A. M., Walker, E. F., Hamann, S., Kestler, L. (2004) 'The influence of perceived control and locus of control on the cortisol and subjective responses to stress', *Biological psychology*, vol. 67, no. 3, pp. 245–260.
- Bonanno, G. A. (2004) 'Loss, trauma, and human resilience: have we underestimated the human capacity to thrive after extremely aversive events?', *The American psychologist*, vol. 59, no. 1, pp. 20–28.
- Bonanno, G. A., Galea, S., Bucciarelli, A., Vlahov, D. (2007) 'What predicts psychological resilience after disaster?: The role of demographics, resources, and life stress', *J Consult Clin Psychol*, vol. 75, no. 5, pp. 671–682.
- Borkenau, P., Ostendorf, F. (2008) 'NEO-Fünf-Faktoren Inventar nach Costa und McCrae (NEO-FFI)', *Manual. 2nd ed. Göttingen: Hogrefe, Verlag f. Psychologie*.

9 Literatur

- Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., Cohen, J. D. (2001) 'Conflict monitoring and cognitive control', *Psychological review*, vol. 108, no. 3, p. 624.
- Bowman, E. M., Aigner, T. G., Richmond, B. J. (1996) 'Neural signals in the monkey ventral striatum related to motivation for juice and cocaine rewards', *Journal of neurophysiology*, vol. 75, no. 3, pp. 1061-1073.
- Bozorgi, C., Holleufer, C., Wendin, K. (2020) 'Saliva Secretion and Swallowing-The Impact of Different Types of Food and Drink on Subsequent Intake', *Nutrients*, vol. 12, no. 1, p 256.
- Bradley, M. M., Sabatinelli, D., Lang, P. J., Fitzsimmons, J. R., King, W., Desai, P. (2003) 'Activation of the visual cortex in motivated attention', *Behavioral neuroscience*, vol. 117, no. 2, pp. 369–380.
- Brešić, J., Knežević, B., Milošević, M., Tomljanović, T., Golubović, R., Mustajbegović, J. (2007) 'Stress and work ability in oil industry workers', *Archives of industrial hygiene and toxicology*, vol. 58, no. 4, pp. 399–405.
- Brigadski, T., Lessmann, V. (2014) 'BDNF: Ein Regulator von Lern- und Gedächtnisprozessen mit klinischem Potenzial', *e-Neuroforum*, vol. 20, no. 1, pp. 166-177.
- Brockhurst, J., Cheleuitte-Nieves, C., Buckmaster, C. L., Schatzberg, A. F., Lyons, D. M. (2015) 'Stress inoculation modeled in mice', *Translational psychiatry*, vol. 5, no. 3, e537.
- Brown, A. D., Dorfman, M. L., Marmar, C. R., Bryant, R. A. (2012) 'The impact of perceived self-efficacy on mental time travel and social problem solving', *Consciousness and cognition*, vol. 21, no. 1, pp. 299–306.
- Burns, V. E., Drayson, M., Ring, C., Carroll, D. (2002) 'Perceived stress and psychological well-being are associated with antibody status after meningitis C conjugate vaccination', *Psychosomatic medicine*, vol. 64, no. 6, pp. 963-970.
- Burns, S. M., Wyss, J. M. (1985) 'The involvement of the anterior cingulate cortex in blood pressure control', *Brain research*, vol. 340, no. 1, pp. 71-77.
- Buschman, T. J., Miller, E. K. (2014) 'Goal-direction and top-down control', *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 369, no. 1655, p. 20130471.
- Bush, G., Luu, P., Posner, M. I. (2000) 'Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex', *Trends in cognitive sciences*, vol. 4, no. 6, pp. 215-222.

9 Literatur

Cahill, L., Weinberger, N. M., Roozendaal, B., McGaugh, J. L. (1999) 'Is the amygdala a locus of "conditioned fear"? Some questions and caveats', *Neuron*, vol. 23, no. 2, pp. 227-228.

Cai, W., Ryali, S., Chen, T., Li, C. S. R., Menon, V. (2014) 'Dissociable roles of right inferior frontal cortex and anterior insula in inhibitory control: evidence from intrinsic and task-related functional parcellation, connectivity, and response profile analyses across multiple datasets', *Journal of Neuroscience*, vol. 34, no. 44, pp. 14652-14667.

Cardinal, R. N., Parkinson, J. A., Hall, J., Everitt, B. J. (2002) 'Emotion and motivation: the role of the amygdala, ventral striatum, and prefrontal cortex', *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, vol. 26, no. 3, 321-352.

Caria, A., Sitaram, R., Veit, R., Begliomini, C., Birbaumer, N. (2010) 'Volitional control of anterior insula activity modulates the response to aversive stimuli. A real-time functional magnetic resonance imaging study', *Biological psychiatry*, vol. 68, no. 5, pp. 425-432.

Carter, C. S., Macdonald, A. M., Botvinick, M., Ross, L. L., Stenger, V. A., Noll, D., Cohen, J. D. (2000) 'Parsing executive processes: strategic vs. evaluative functions of the anterior cingulate cortex', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 97, no. 4, pp. 1944-1948.

Carver, C. S. (1997) 'You want to measure coping but your protocol's too long: Consider the brief cope', *International journal of behavioral medicine*, vol. 4, no. 1, pp 92-100.

Carver, C. S., Pozo-Kaderman, C., Harris, S. D., Noriega, V., Scheier, M. F., Robinson, D. S., Ketcham, A. S., Moffat, F. L., Clark, K. C. (1994) 'Optimism versus pessimism predicts the quality of women's adjustment to early stage breast cancer', *Cancer*, vol. 73, no. 4, pp. 1213-1220.

Chamberlain, S. R., Müller, U., Blackwell, A. D., Clark, L., Robbins, T. W., Sahakian, B. J. (2006) 'Neurochemical modulation of response inhibition and probabilistic learning in humans', *Science*, vol. 311, no. 5762, pp. 861-863.

Charney, D. S. (2004) 'Psychobiological mechanisms of resilience and vulnerability: implications for successful adaptation to extreme stress', *American journal of Psychiatry*, vol. 161, no. 2, pp. 195-216.

Chourbaji, S., Zacher, C., Sanchis-Segura, C., Dormann, C., Vollmayr, B., Gass, P. (2005) 'Learned helplessness: Validity and reliability of depressive-like states in mice', *Brain Research Protocols*, vol. 16, no. 1-3, pp. 70-78.

9 Literatur

- Chrousos, G. P. (2009) 'Stress and disorders of the stress system', *Nature reviews endocrinology*, vol. 5, no. 7, p. 374.
- Chung, K. C., Peisen, F., Kogler, L., Radke, S., Turetsky, B., Freiherr, J., Derntl, B. (2016b) 'The influence of menstrual cycle and androstadienone on female stress reactions: an fMRI study', *Frontiers in human neuroscience*, vol. 10, p. 44.
- Chung, K. C., Springer, I., Kogler, L., Turetsky, B., Freiherr, J., Derntl, B. (2016a) 'The influence of androstadienone during psychosocial stress is modulated by gender, trait anxiety and subjective stress: an fMRI study', *Psychoneuroendocrinology*, vol. 68, pp. 126-139.
- Cobb, J. M. T., Steptoe, A. (1996) 'Psychosocial stress and susceptibility to upper respiratory tract illness in an adult population sample', *Psychosomatic medicine*, vol. 58, no. 5, pp. 404-412.
- Cohen, S., Doyle, W. J., Skoner, D. P. (1999) 'Psychological stress, cytokine production, and severity of upper respiratory illness', *Psychosomatic medicine*, vol. 61, no. 2, pp. 175-180.
- Cohen, S., Kamarck, T., Mermelstein, R. (1983) 'A Global Measure of Perceived Stress', *Journal of Health and Social Behavior*, vol. 24, no. 4, p. 385.
- Cohen, J. D., Perlstein, W. M., Braver, T. S., Nystrom, L. E., Noll, D. C., Jonides, J., Smith, E. E. (1997) 'Temporal dynamics of brain activation during a working memory task', *Nature*, vol. 386, no. 6625, pp. 604-608.
- Cohen, S., Sherrod, D. R., Clark, M. S. (1986) 'Social skills and the stress-protective role of social support', *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 50, no. 5, pp. 963-973.
- Cohen, S., Tyrrell, D. A., Smith, A. P. (1993) 'Negative life events, perceived stress, negative affect, and susceptibility to the common cold', *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 64, no. 1, pp. 131-140.
- Cohen, S., Williamson, G. (1988) 'Perceived stress in a probability sample of the United States.: In S. Spacapan & S. Oskamp (Eds.), *The Claremont Symposium on Applied Social Psychology*', The social psychology of health (p. 31-67). Sage Publications, Inc.
- Collings, J. A., Murray, P. J. (1996) 'Predictors of stress amongst social workers: An empirical study', *British Journal of Social Work*, vol. 26, no. 3, pp. 375-387.
- Colombo, M., Fernandez, T., Nakamura, K., Gross, C. G. (1998) 'Functional differentiation along the anterior-posterior axis of the hippocampus in monkeys', *Journal of neurophysiology*, vol. 80, no. 2, pp. 1002-1005.

9 Literatur

- Connor, K. M., Davidson, J. R. T. (2003) 'Development of a new resilience scale: the Connor-Davidson Resilience Scale (CD-RISC)', *Depression and anxiety*, vol. 18, no. 2, pp. 76–82.
- Conrad, C. D., Grote, K. A., Hobbs, R. J., Ferayorni, A. (2003) 'Sex differences in spatial and non-spatial Y-maze performance after chronic stress', *Neurobiology of learning and memory*, vol. 79, no. 1, pp. 32–40.
- Consten, C. (2016) 'Measuring Resilience with the Brief Resilience Scale: Factor Structure, Reliability and Validity of the Dutch Version of the BRS (BRSnl)', Bachelorarbeit, University of Twente.
- Corcoran, K. A., Quirk, G. J. (2007) 'Activity in prelimbic cortex is necessary for the expression of learned, but not innate, fears', *Journal of Neuroscience*, vol. 27, no. 4, pp. 840-844.
- Critchley, H. D., Corfield, D. R., Chandler, M. P., Mathias, C. J., Dolan, R. J. (2000) 'Cerebral correlates of autonomic cardiovascular arousal: a functional neuroimaging investigation in humans', *The Journal of physiology*, vol. 523, no. 1, pp. 259-270.
- Critchley, H. D., Tang, J., Glaser, D., Butterworth, B., Dolan, R. J. (2005) 'Anterior cingulate activity during error and autonomic response', *Neuroimage*, vol. 27, no. 4, pp. 885-895.
- Culhane, J. F., Rauh, V., McCollum, K. F., Hogan, V. K., Agnew, K., Wadhwa, P. D. (2001) 'Maternal stress is associated with bacterial vaginosis in human pregnancy', *Maternal and child health journal*, vol. 5, no. 2, pp. 127–134.
- Dahm, A. S., Schmierer, P., Veer, I. M., Streit, F., Görden, A., Kruschwitz, J., Wüst, S., Kirsch, P., Walter, H., Erk, S. (2017) 'The burden of conscientiousness? Examining brain activation and cortisol response during social evaluative stress', *Psychoneuroendocrinology*, vol. 78, pp. 48-56.
- Dalgleish, T., Walsh, N. D., Mobbs, D., Schweizer, S., van Harmelen, A. L., Dunn, B., Dunn, V., Goodyer I., Stretton, J. (2017) 'Social pain and social gain in the adolescent brain: A common neural circuitry underlying both positive and negative social evaluation', *Scientific reports*, vol. 7, no. 1, pp. 1-8.
- Dar, L., Akmal, A., Naseem, M. A., Khan, K. U. (2011) 'Impact of stress on employees job performance in business sector of Pakistan', *Global journal of management and business research*, vol. 11, no. 6.

9 Literatur

- Dedovic, K., D'Aguiar, C., Pruessner, J. C. (2009a) 'What stress does to your brain: a review of neuroimaging studies', *Canadian journal of psychiatry. Revue canadienne de psychiatrie*, vol. 54, no. 1, pp. 6–15.
- Dedovic, K., Renwick, R., Mahani, N. K., Engert, V., Lupien, S. J., Pruessner, J. C. (2005) 'The Montreal Imaging Stress Task: using functional imaging to investigate the effects of perceiving and processing psychosocial stress in the human brain', *Journal of Psychiatry and Neuroscience*, vol. 30, no. 5, p. 319.
- Dedovic, K., Rexroth, M., Wolff, E., Duchesne, A., Scherling, C., Beaudry, T., Lue, S. D., Lord, C., Engert, V. and Pruessner, J. C. (2009b) 'Neural correlates of processing stressful information: an event-related fMRI study', *Brain research*, vol. 1293, pp. 49–60.
- De Kloet, E. R., Joëls, M., Holsboer, F. (2005) 'Stress and the brain: from adaptation to disease', *Nature reviews neuroscience*, vol. 6, no. 6, pp. 463-475.
- Desimone, R., Duncan, J. (1995) 'Neural mechanisms of selective visual attention', *Annual review of neuroscience*, vol. 18, no. 1, pp. 193-222.
- Dew, M. A., Myaskovsky, L., DiMartini, A. F., Switzer, G. E., Schulberg, H. C., Kormos, R. L. (2004) 'Onset, timing and risk for depression and anxiety in family caregivers to heart transplant recipients', *Psychological medicine*, vol. 34, no. 6, pp. 1065–1082.
- Dickerson, S. S., Kemeny, M. E. (2004) 'Acute stressors and cortisol responses: a theoretical integration and synthesis of laboratory research', *Psychological bulletin*, vol. 130, no. 3, pp. 355–391.
- Dias-Ferreira, E., Sousa, J. C., Melo, I., Morgado, P., Mesquita, A. R., Cerqueira, J. J., Costa, R. M., Sousa, N. (2009) 'Chronic stress causes frontostriatal reorganization and affects decision-making', *Science*, vol. 325, no. 5940, pp. 621-625.
- Diener, C., Struve, M., Balz, N., Kuehner, C., Flor, H. (2009) 'Exposure to uncontrollable stress and the postimperative negative variation (PINV): prior control matters', *Biological psychology*, vol. 80, no. 2, pp. 189–195.
- Diener, E., Emmons, R. A., Larsen, R. J., Griffin, S. (1985) 'The satisfaction with life scale', *Journal of personality assessment*, vol. 49, no. 1, pp. 71-75.
- Duncan, J., Owen, A. M. (2000) 'Common regions of the human frontal lobe recruited by diverse cognitive demands', *Trends in neurosciences*, vol. 23, no. 10, pp. 475-483.
- Dunckel, H., Resch, M. (2004) 'Betriebliche Gesundheitsförderung. Arbeitsbezogene psychische Belastungen', *Hogrefe*, S. 37-61.

9 Literatur

- Ebrecht, M., Hextall, J., Kirtley, L.-G., Taylor, A., Dyson, M., Weinman, J. (2004) 'Perceived stress and cortisol levels predict speed of wound healing in healthy male adults', *Psychoneuroendocrinology*, vol. 29, no. 6, pp. 798–809.
- Eisenberger, N. I., Lieberman, M. D., Williams, K. D. (2003) 'Does rejection hurt? An fMRI study of social exclusion', *Science*, vol. 302, no. 5643, pp. 290-292.
- Ellsworth, R. (1981) 'Profile of adaptation to life clinical scale', *Palo Alto, CA: Consulting Psychologists*.
- Engelhard, I. M., van den Hout, M. A., Arntz, A. (2001) 'Posttraumatic stress disorder after pregnancy loss', *General Hospital Psychiatry*, vol. 23, no. 2, pp. 62–66.
- Ensel, W. M., Lin, N. (1991) 'The Life Stress Paradigm and Psychological Distress', *Journal of Health and Social Behavior*, vol. 32, no. 4, p. 321.
- Erdoğan, A. R., Ozdikici, M., Aydin, M. D., Aktaş, O., Dane, S. (2002) 'Right and left visual cortex areas in healthy subjects with right- and left-eye dominance', *The International journal of neuroscience*, vol. 112, no. 5, pp. 517–523.
- Etkin, A., Büchel, C., Gross, J. J. (2015) 'The neural bases of emotion regulation', *Nature reviews neuroscience*, vol. 16, no. 11, pp. 693-700.
- Etkin, A., Egner, T., Kalisch, R. (2011) 'Emotional processing in anterior cingulate and medial prefrontal cortex', *Trends in cognitive sciences*, vol. 15, no. 2, pp. 85-93.
- Feder, A., Nestler, E. J., Charney, D. S. (2009) 'Psychobiology and molecular genetics of resilience', *Nature reviews. Neuroscience*, vol. 10, no. 6, pp. 446–457.
- Fehr, T., Code, C., Herrmann, M. (2007) 'Common brain regions underlying different arithmetic operations as revealed by conjunct fMRI-BOLD activation', *Brain research*, vol. 1172, pp. 93–102.
- Feldman, S., Weidenfeld, J. (1998) 'The excitatory effects of the amygdala on hypothalamo-pituitary-adrenocortical responses are mediated by hypothalamic norepinephrine, serotonin, and CRF-41', *Brain research bulletin*, vol. 45, no. 4, pp. 389-393.
- Feuerstein, M., Sult, S., Houle, M. (1985) 'Environmental stressors and chronic low back pain: Life events, family and work environment', *Pain*, vol. 22, no. 3, pp. 295–307.
- Filaire, E., Duché, P., Lac, G. and Robert, A. (1996) 'Saliva cortisol, physical exercise and training: influences of swimming and handball on cortisol concentrations in women', *European journal of applied physiology and occupational physiology*, vol. 74, no. 3, pp. 274–278.

9 Literatur

- Fischer, H., Wright, C. I., Whalen, P. J., McInerney, S. C., Shin, L. M., Rauch, S. L. (2003) 'Brain habituation during repeated exposure to fearful and neutral faces: A functional MRI study', *Brain Research Bulletin*, vol. 59, no. 5, pp. 387–392.
- Flandreau, E. I., Ressler, K. J., Owens, M. J., Nemeroff, C. B. (2012) 'Chronic overexpression of corticotropin-releasing factor from the central amygdala produces HPA axis hyperactivity and behavioral anxiety associated with gene-expression changes in the hippocampus and paraventricular nucleus of the hypothalamus', *Psychoneuroendocrinology*, vol. 37, no. 1, pp. 27-38.
- Fleshner, M., Maier, S. F., Lyons, D. M., Raskind, M. A. (2011) 'The neurobiology of the stress-resistant brain', *Stress*, vol. 14, no. 5, pp. 498-502.
- Fliege, H., Rose, M., Arck, P., Walter, O. B., Kocalevent, R. D., Weber, C., Klapp, B. F. (2005) 'The Perceived Stress Questionnaire (PSQ) reconsidered: validation and reference values from different clinical and healthy adult samples', *Psychosomatic medicine*, vol. 67, no. 1, pp. 78-88.
- Folkman, S., Lazarus, R. S. (1984) 'Stress, appraisal, and coping' (p. 460). *New York: Springer Publishing Company*.
- Fondacaro, M. R., Moos, R. H. (1989) 'Life stressors and coping: A longitudinal analysis among depressed and nondepressed adults', *Journal of Community Psychology*, vol. 17, no. 4, pp. 330–340.
- Fowler, J. C., Allen, J. G., Oldham, J. M., Frueh, B. C. (2013) 'Exposure to interpersonal trauma, attachment insecurity, and depression severity', *Journal of affective disorders*, vol. 149, 1-3, pp. 313–318.
- Franklin, T. B., Saab, B. J., Mansuy, I. M. (2012) 'Neural mechanisms of stress resilience and vulnerability', *Neuron*, vol. 75, no. 5, pp. 747–761.
- Frazier, P., Steward, J., Mortensen, H. (2004) 'Perceived control and adjustment to trauma: A comparison across events', *Journal of Social and Clinical Psychology*, vol. 23, no. 3, pp. 303-324.
- Frisch, J. U., Häusser, J. A., Mojzisch, A. (2015) 'The Trier Social Stress Test as a paradigm to study how people respond to threat in social interactions', *Frontiers in psychology*, vol. 6, p. 14.
- Fuchs, E., Flugge, G. (2003) 'Chronic social stress: effects on limbic brain structures', *Physiology & behavior*, vol. 79, no. 3, pp. 417–427.
- Fuster, J. (2015) 'The prefrontal cortex', *Academic Press*.

9 Literatur

- Gadalla, T. M. (2009) 'Determinants, correlates and mediators of psychological distress: a longitudinal study', *Social science & medicine*, vol. 68, no. 12, pp. 2199-2205.
- Gale, C. R., Batty, G. D., Deary, I. J. (2008) 'Locus of control at age 10 years and health outcomes and behaviors at age 30 years: the 1970 British Cohort Study', *Psychosomatic medicine*, vol. 70, no. 4, pp. 397-403.
- Garmezy, N. (1991) 'Resiliency and vulnerability to adverse developmental outcomes associated with poverty.', *American behavioral scientist*, vol. 34, no. 4, pp. 416-430.
- Geer, J. H., Davison, G. C., Gatchel, R. I. (1970) 'Reduction of stress in humans through nonveridical perceived control of aversive stimulation', *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 16, no. 4, pp. 731-738.
- Genest, M. (1989) 'The relevance of stress to rheumatoid arthritis. Advances in the Investigation of Psychological Stress', *New York: Wiley & Sons*.
- Gilbert, C. D., Li, W. (2013) 'Top-down influences on visual processing', *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 14, no. 5, pp. 350-363.
- Gilbert, D. T., Pinel, E. C., Wilson, T. D., Blumberg, S. J., Wheatley, T. P. (1998) 'Immune neglect: A source of durability bias in affective forecasting', *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 75, no. 3, pp. 617-638.
- Glass, D. C., Singer, J. E., Leonard, H. S., Krantz, D., Cohen, S., Cummings, H. (1973) 'Perceived control of aversive stimulation and the reduction of stress responses', *Journal of Personality*, vol. 41, no. 4, pp. 577-595.
- Goldberg, D., Williams, P. (1991) 'Users Guide to the General Healthcare Questionnaire: GHQ. 1988', *Windsor, UK: NFER-NELSON*.
- Goodman, L. A., Corcoran, C., Turner, K., Yuan, N., Green, B. L. (1998) 'Assessing traumatic event exposure: General issues and preliminary findings for the Stressful Life Events Screening Questionnaire', *Journal of Traumatic Stress: Official Publication of The International Society for Traumatic Stress Studies*, vol. 11, no. 3, pp. 521-542.
- Gray, M. J., Litz, B. T., Hsu, J. L., Lombardo, T. W. (2004) 'Psychometric properties of the life events checklist', *Assessment*, vol. 11, no. 4, pp. 330-341.
- Gregoriou, G. G., Paneri, S., Sapountzis, P. (2015) 'Oscillatory synchrony as a mechanism of attentional processing', *Brain research*, vol. 1626, pp. 165-182.
- Grimm, S., Pestke, K., Feeser, M., Aust, S., Weigand, A., Wang, J., Wingenfeld, K., Pruessner, J. C., La Marca, R., Böker, H., Bajbouj, M. (2014) 'Early life stress

9 Literatur

- modulates oxytocin effects on limbic system during acute psychosocial stress', *Social cognitive and affective neuroscience*, vol. 9, no. 11, pp. 1828-1835.
- Gunnar, M. R., Frenn, K., Wewerka, S. S., van Ryzin, M. J. (2009) 'Moderate versus severe early life stress: Associations with stress reactivity and regulation in 10-12-year-old children', *Psychoneuroendocrinology*, vol. 34, no. 1, pp. 62-75.
- Hagan, M. J., Roubinov, D. S., Purdom Marreiro, C. L., Luecken, L. J. (2014) 'Childhood interparental conflict and HPA axis activity in young adulthood: Examining nonlinear relations', *Developmental psychobiology*, vol. 56, no. 4, pp. 871-880.
- Haglund, M. E. M., Nestadt, P. S., Cooper, N. S., Southwick, S. M., Charney, D. S. (2007) 'Psychobiological mechanisms of resilience: Relevance to prevention and treatment of stress-related psychopathology', *Development and Psychopathology*, vol. 19, no. 3.
- Halari, R., Sharma, T., Hines, M., Andrew, C., Simmons, A. and Kumari, V. (2006) 'Comparable fMRI activity with differential behavioural performance on mental rotation and overt verbal fluency tasks in healthy men and women', *Experimental brain research*, vol. 169, no. 1, pp. 1–14.
- Harrison, B. J., Pujol, J., Contreras-Rodríguez, O., Soriano-Mas, C., López-Solà, M., Deus, J., Ortiz, H., Blanco-Hinojo, L., Alonso, P., Hernández-Ribas, R., Cardoner, N., Menchón, J. M. (2011) 'Task-induced deactivation from rest extends beyond the default mode brain network', *PloS one*, vol. 6, no. 7, e22964.
- Haugen, R., Lund, T. (1999) 'The concept of general expectancy in various personality dispositions', *Scandinavian Journal of Psychology*, vol. 40, no. 2, pp. 109–114.
- Hegd , J., van Essen, D. C. (2000) 'Selectivity for complex shapes in primate visual area V2', *Journal of Neuroscience*, vol. 20, no. 5, RC61-RC61.
- Herbst, U., Voeth, M., Eidhoff, T. A., M ller, M., Stief, S. (2016) 'Studierendenstress in Deutschland – eine empirische Untersuchung', *AOK-Bundesverband*.
- Herman, J. P., Cullinan, W. E. (1997) 'Neurocircuitry of stress: central control of the hypothalamo–pituitary–adrenocortical axis', *Trends in neurosciences*, vol. 20, no. 2, pp. 78-84.
- Herman, J. P., Figueiredo, H., Mueller, N. K., Ulrich-Lai, Y., Ostrander, M. M., Choi, D. C., Cullinan, W. E. (2003) 'Central mechanisms of stress integration: hierarchical circuitry controlling hypothalamo–pituitary–adrenocortical responsiveness', *Frontiers in neuroendocrinology*, vol. 24, no. 3, pp.151-180.

9 Literatur

- Herman, J. P., Ostrander, M. M., Mueller, N. K., Figueiredo, H. (2005) 'Limbic system mechanisms of stress regulation: hypothalamo-pituitary-adrenocortical axis', *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, vol. 29, no. 8, pp. 1201-1213.
- Hermans, E. J., Henckens, M. J., Joëls, M., Fernández, G. (2014) 'Dynamic adaptation of large-scale brain networks in response to acute stressors', *Trends in neurosciences*, vol. 37, no. 6, pp. 304-314.
- Herrmann, D., Wallesch, C. (2009). 'Lehrbuch der klinischen Neuropsychologie: Grundlagen, Methoden, Diagnostik, Therapie'. W. Sturm (Ed.). *Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag*.
- Hewitt, L. P., Flett, G. F., Mosher, S. W. (1992) 'The Perceived Stress Scale: Factor structure and relation to depression symptoms in a psychiatric sample', *Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment*, vol. 14, no. 3.
- Hillman, E. M. (2014) 'Coupling mechanism and significance of the BOLD signal: a status report', *Annual review of neuroscience*, vol. 37, pp. 161-181.
- Hirnstein, M., Bayer, U., Ellison, A., Hausmann, M. (2011) 'TMS over the left angular gyrus impairs the ability to discriminate left from right', *Neuropsychologia*, vol. 49, no. 1, pp. 29–33.
- Hirsh, R. (1974) 'The hippocampus and contextual retrieval of information from memory: A theory', *Behavioral biology*, vol. 12, no. 4, pp. 421-444.
- Horowitz, M., Wilner, N., Alvarez, W. (1979) 'Impact of Event Scale: A measure of subjective stress', *Psychosomatic medicine*, vol. 41, no. 3, pp. 209-218.
- Huettel, S. A., Song, A. W., McCarthy, G. (2004) 'Functional magnetic resonance imaging' (Vol. 1), Sunderland, MA: Sinauer Associates. *Oxford Academics*.
- Hülshager, U. R., Maier, G. W. (2008) 'Persönlichkeitseigenschaften, Intelligenz und Erfolg im Beruf: eine Bestandsaufnahme internationaler und nationaler Forschung', *Psychologische Rundschau*, vol. 59, no. 2, pp. 108-122.
- Hunault, C. C., Mensinga, T. T., Böcker, K. B. E., Schipper, C. M. A., Kruidenier, M., Leenders, M. E. C., Vries, I. de, Meulenbelt, J. (2009) 'Cognitive and psychomotor effects in males after smoking a combination of tobacco and cannabis containing up to 69 mg delta-9-tetrahydrocannabinol (THC)', *Psychopharmacology*, vol. 204, no. 1, pp. 85–94.
- Inagaki, T. K., Bryne Haltom, K. E., Suzuki, S., Jevtic, I., Hornstein, E., Bower, J. E., Eisenberger, N. I. (2016) 'The Neurobiology of Giving Versus Receiving Support: The

9 Literatur

Role of Stress-Related and Social Reward-Related Neural Activity', *Psychosomatic medicine*, vol. 78, no. 4, pp. 443–453.

Jones, L., Tanner, T. (2015) 'Measuring 'subjective resilience': using peoples' perceptions to quantify household resilience - Working and discussion papers', *Overseas Development Institute*, Working paper 423.

Judge, T. A., Bono, J. E. (2001) 'Relationship of core self-evaluations traits-self-esteem, generalized self-efficacy, locus of control, and emotional stability-with job satisfaction and job performance: a meta-analysis', *The Journal of applied psychology*, vol. 86, no. 1, pp. 80–92.

Kalisch, R., Cramer, A. O. J., Binder, H., Fritz, J., Leertouwer, I., Lunansky, G., Meyer, B., Timmer, J., Veer, I. M., van Harmelen, A.-L. (2019) 'Deconstructing and Reconstructing Resilience: A Dynamic Network Approach', *Perspectives on psychological science: a journal of the Association for Psychological Science*, vol. 14, no. 5, pp. 765–777.

Kalisch, R., Müller, M. B., Tüscher, O. (2015) 'A conceptual framework for the neurobiological study of resilience', *The Behavioral and brain sciences*, vol. 38, e92.

Kanner, A. D., Coyne, J. C., Schaefer, C., Lazarus, R. S. (1981) 'Comparison of two modes of stress measurement: Daily hassles and uplifts versus major life events', *Journal of behavioral medicine*, vol. 4, no. 1, pp. 1-39.

Kapp, B. S., Whalen, P. J., Supple, W. F., Pascoe, J. P. (1992) 'Amygdaloid contributions to conditioned arousal and sensory information processing'.

Karatsoreos, I. N., McEwen, B. S. (2013) 'Resilience and vulnerability: A neurobiological perspective', *F1000prime reports*, vol. 5.

Keller, A., Litzelman, K., Wisk, L. E., Maddox, T., Cheng, E. R., Creswell, P., Witt, W. P. (2012) 'Does the perception that stress affects health matter? The association with health and mortality', *Health psychology: official journal of the Division of Health Psychology, American Psychological Association*, vol. 31, no. 5, pp. 677–684.

Kerr, D. L., McLaren, D. G., Mathy, R. M., Nitschke, J. B. (2012) 'Controllability modulates the anticipatory response in the human ventromedial prefrontal cortex', *Frontiers in Psychology*, vol. 3, p. 557.

Kessler, R. (2003) 'Epidemiology of women and depression', *Journal of affective disorders*, vol. 74, no. 1, pp. 5–13.

Khalili-Mahani, N., Dedovic, K., Engert, V., Pruessner, M., Pruessner, J. C. (2010) 'Hippocampal activation during a cognitive task is associated with subsequent

9 Literatur

neuroendocrine and cognitive responses to psychological stress', *Hippocampus*, vol. 20, no. 2, pp. 323-334.

Kirschbaum, C., Diedrich, O., Gehrke, J., Wüst, S., Hellhammer, D. (1991) 'Cortisol and Behavior: The "Trier Mental Challenge Test" (TMCT) — First Evaluation of a New Psychological Stress Test', in *Perspectives and promises of clinical psychology* (pp. 67-78). Springer, Boston, MA.

Kirschbaum, C., Pirke, K. M., Hellhammer, D. H. (1993) 'The 'Trier Social Stress Test'— a tool for investigating psychobiological stress responses in a laboratory setting', *Neuropsychobiology*, vol. 28, no. 1-a2, pp. 76-81.

Klingner, C. M., Hasler, C., Brodoehl, S., Witte, O. W. (2014) 'Excitatory and inhibitory mechanisms underlying somatosensory habituation', *Human brain mapping*, vol. 35, no. 1, pp. 152–160.

Kloet, E. R. de, Joëls, M., Holsboer, F. (2005) 'Stress and the brain: from adaptation to disease', *Nature reviews neuroscience*, vol. 6, no. 6, pp. 463-475.

Klumpp, H., Angstadt, M., Phan, K. L. (2012) 'Insula reactivity and connectivity to anterior cingulate cortex when processing threat in generalized social anxiety disorder', *Biological Psychology*, vol. 89, no. 1, pp. 273-276.

Kobasa, S. C. (1979) 'Stressful life events, personality, and health: An inquiry into hardiness', *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 37, no. 1, pp. 1–11.

Kogler, L., Müller, V. I., Chang, A., Eickhoff, S. B., Fox, P. T., Gur, R. C., Derntl, B. (2015) 'Psychosocial versus physiological stress - Meta-analyses on deactivations and activations of the neural correlates of stress reactions', *NeuroImage*, vol. 119, pp. 235–251.

Kong, F., Wang, X., Hu, S., Liu, J. (2015) 'Neural correlates of psychological resilience and their relation to life satisfaction in a sample of healthy young adults', *NeuroImage*, vol. 123, pp. 165–172.

Kozorovitskiy, Y., Gross, C. G., Kopil, C., Battaglia, L., McBreen, M., Stranahan, A. M., Gould, E. (2005) 'Experience induces structural and biochemical changes in the adult primate brain', *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 102, no. 48, pp. 17478–17482.

Kraeuter, A.-K., Guest, P. C. and Sarnyai, Z. (2019) 'The Y-Maze for Assessment of Spatial Working and Reference Memory in Mice', *Methods in molecular biology (Clifton, N.J.)*, vol. 1916, pp. 105–111.

9 Literatur

- Krishnan, V., Han, M.-H., Graham, D. L., Berton, O., Renthal, W., Russo, S. J., LaPlant, Q., Graham, A., Lutter, M., Lagace, D. C. (2007) 'Molecular adaptations underlying susceptibility and resistance to social defeat in brain reward regions', *Cell*, vol. 131, no. 2, pp. 391–404.
- Kudielka, B. M., Hellhammer, D. H., Wüst, S. (2009) 'Why do we respond so differently? Reviewing determinants of human salivary cortisol responses to challenge', *Psychoneuroendocrinology*, vol. 34, no. 1, pp. 2–18.
- Kuehn, E., Mueller, K., Lohmann, G., Schuetz-Bosbach, S. (2016) 'Interoceptive awareness changes the posterior insula functional connectivity profile', *Brain Structure and Function*, vol. 221, no. 3, pp. 1555-1571.
- Kumaran, D., Maguire, E. A. (2007) 'Which computational mechanisms operate in the hippocampus during novelty detection?', *Hippocampus*, vol. 17, no. 9, pp. 735-748.
- Kurth, F., Zilles, K., Fox, P. T., Laird, A. R., Eickhoff, S. B. (2010) 'A link between the systems: functional differentiation and integration within the human insula revealed by meta-analysis', *Brain Structure and Function*, vol. 214, no. 5-6, pp. 519-534.
- Laird, A. R., Eickhoff, S. B., Li, K., Robin, D. A., Glahn, D. C., Fox, P. T. (2009) 'Investigating the functional heterogeneity of the default mode network using coordinate-based meta-analytic modeling', *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience*, vol. 29, no. 46, pp. 14496–14505.
- Lam, J. C., Shields, G. S., Trainor, B. C., Slavich, G. M., Yonelinas, A. P. (2019) 'Greater lifetime stress exposure predicts blunted cortisol but heightened DHEA responses to acute stress', *Stress and Health*, vol. 35, no. 1, pp. 15-26.
- Lang, A. R., Goeckner, D. J., Adesso, V. J., Marlatt, G. A. (1975) 'Effects of alcohol on aggression in male social drinkers', *Journal of abnormal psychology*, vol. 84, no. 5, pp. 508–518.
- Langenscheidt Wörterbuch *Latein-Deutsch* [Online], Copyright © 2020 PONS GmbH. Available at <https://de.langenscheidt.com/latein-deutsch> (Accessed 16 April 2020).
- Lazarus, R. S. (1993) 'From Psychological Stress to the Emotions: A History of Changing Outlooks', *Annual review of psychology*, vol. 44, no. 1, pp. 1-22.
- Lazarus, R. S. (1966) 'Psychological stress and the coping process'
- Lazarus, R. S. and Cohen, J. B. (1977) 'Environmental Stress', *Human behavior and environment*, Springer, Boston, MA., pp. 89-127.
- LeDoux, J. (2003) 'The emotional brain, fear, and the amygdala', *Cellular and molecular neurobiology*, vol. 23, no. 4, pp. 727-738.

9 Literatur

- Lee, E.-H. (2012) 'Review of the psychometric evidence of the perceived stress scale', *Asian nursing research*, vol. 6, no. 4, pp. 121–127.
- Leontjevas, R., de Beek, W. O., Lataster, J., Jacobs, N. (2014) 'Resilience to affective disorders: A comparative validation of two resilience scales', *Journal of affective Disorders*, vol. 168, pp. 262-268.
- Lesage, F.-X., Berjot, S., Deschamps, F. (2012) 'Psychometric properties of the French versions of the Perceived Stress Scale', *International journal of occupational medicine and environmental health*, vol. 25, no. 2, pp. 178–184.
- Leung, D. Y., Lam, T.-H., Chan, S. S. (2010) 'Three versions of Perceived Stress Scale: validation in a sample of Chinese cardiac patients who smoke', *BMC public health*, vol. 10, p. 513.
- Levenstein, S., Prantera, C., Varvo, V., Scribano, M. L., Berto, E., Luzi, C., Andreoli, A. (1993) 'Development of the Perceived Stress Questionnaire: a new tool for psychosomatic research', *Journal of psychosomatic research*, vol. 37, no. 1, pp. 19-32.
- Levine, S. (1962) 'Plasma-free corticosteroid response to electric shock in rats stimulated in infancy', *Science*, vol. 135, no. 3506, pp. 795-796.
- Levy, R., Goldman-Rakic, P. S. (2000) 'Segregation of working memory functions within the dorsolateral prefrontal cortex', *Executive control and the frontal lobe: Current issues*, pp. 23-32.
- Li, J., Schiller, D., Schoenbaum, G., Phelps, E. A., Daw, N. D. (2011) 'Differential roles of human striatum and amygdala in associative learning', *Nature neuroscience*, vol. 14, no. 10, pp. 1250-1252.
- Linnman, C., Rougemont-Bücking, A., Beucke, J. C., Zeffiro, T. A., Milad, M. R. (2011) 'Unconditioned responses and functional fear networks in human classical conditioning', *Behavioural brain research*, vol. 221, no. 1, pp. 237-245.
- Logothetis, N. K., Wandell, B. A. (2004) 'Interpreting the BOLD signal', *Annu. Rev. Physiol.*, vol. 66, pp. 735-769.
- Lovero, K. L., Simmons, A. N., Aron, J. L., Paulus, M. P. (2009) 'Anterior insular cortex anticipates impending stimulus significance', *Neuroimage*, vol. 45, no. 3, pp. 976-983.
- Lupien, S. J., McEwen, B. S., Gunnar, M. R., Heim, C. (2009) 'Effects of stress throughout the lifespan on the brain, behaviour and cognition', *Nature reviews neuroscience*, vol. 10, no. 6, pp. 434-445.

9 Literatur

- Lyons, D. M., Parker, K. J. (2007) 'Stress inoculation-induced indications of resilience in monkeys', *Journal of Traumatic Stress*, vol. 20, no. 4, pp. 423–433.
- Lyons, D. M., Parker, K. J., Katz, M., Schatzberg, A. F. (2009) 'Developmental cascades linking stress inoculation, arousal regulation, and resilience', *Frontiers in behavioral neuroscience*, vol. 3, p. 32.
- Mahan, A. L., Ressler, K. J. (2012) 'Fear conditioning, synaptic plasticity and the amygdala: implications for posttraumatic stress disorder', *Trends in neurosciences*, vol. 35, no. 1, pp. 24–35.
- Maier, S. F., Amat, J., Baratta, M. V., Paul, E., Watkins, L. R. (2006) 'Behavioral control, the medial prefrontal cortex, and resilience', *Dialogues in clinical neuroscience*, vol. 8, no. 4, p. 397.
- Maier, S. F., Seligman, M. E. (1976) 'Learned helplessness: Theory and evidence', *Journal of Experimental Psychology: General*, vol. 105, no. 1, pp. 3–46.
- Mancini, A. D., Bonanno, G. A. (2009) 'Predictors and Parameters of Resilience to Loss: Toward an Individual Differences Model', *Journal of Personality*, vol. 77, no. 6, pp. 1805–1832.
- Matthews, S. C., Paulus, M. P., Simmons, A. N., Nelesen, R. A., Dimsdale, J. E. (2004) 'Functional subdivisions within anterior cingulate cortex and their relationship to autonomic nervous system function', *Neuroimage*, vol. 22, no. 3, pp. 1151-1156.
- McEwen, B. S. (2007) 'Physiology and neurobiology of stress and adaptation: central role of the brain', *Physiological reviews*, vol. 87, no. 3, pp. 873–904.
- McEwen, B. S., Eiland, L., Hunter, R. G., Miller, M. M. (2012) 'Stress and anxiety: structural plasticity and epigenetic regulation as a consequence of stress', *Neuropharmacology*, vol. 62, no. 1, pp. 3–12.
- McLaughlin, E., Lefavre, M., Cummings, E. (2010) 'Experimentally-induced learned helplessness in adolescents with type 1 diabetes', *Journal of pediatric psychology*, vol. 35, no. 4, pp. 405–414.
- Meaney, M. J. (2001) 'Maternal care, gene expression, and the transmission of individual differences in stress reactivity across generations', *Annual review of neuroscience*, vol. 24, pp. 1161–1192.
- Mechanic, D., Greenley, J. R. (1976) 'The prevalence of psychological distress and help-seeking in a college student population', *Social Psychiatry, Social Psychiatry*, vol. 11, no. 1, pp. 1-14.

9 Literatur

- Meichenbaum, D. (2007) 'Stress inoculation training: A preventative and treatment approach', *Principles and practice of stress management*, vol. 3, pp. 497–518.
- Mineka, S., Gunnar, M., Champoux, M. (1986) 'Control and early socioemotional development: Infant rhesus monkeys reared in controllable versus uncontrollable environments', *Child development*, pp. 1241-1256.
- Moors, A. (2009) 'Theories of emotion causation: A review', *Cognition and Emotion*, vol. 23 no. 4, pp. 625–62.
- Motzkin, J. C., Philippi, C. L., Wolf, R. C., Baskaya, M. K., Koenigs, M. (2015) 'Ventromedial prefrontal cortex is critical for the regulation of amygdala activity in humans', *Biological psychiatry*, vol. 77, no. 3, pp. 276-284.
- Murray, G. K., Corlett, P. R., Clark, L., Pessiglione, M., Blackwell, A. D., Honey, G., Jones, P. B., Bullmore, E. T., Robbins, T. W., Fletcher, P. C. (2008) 'Substantia nigra/ventral tegmental reward prediction error disruption in psychosis', *Molecular psychiatry*, vol. 13, no. 3, pp. 267-276.
- Narayanan, L., Menon, S. and Spector, P. E. (1999) 'Stress in the workplace: A comparison of gender and occupations', *Journal of Organizational Behavior: The International Journal of Industrial, Occupational and Organizational Psychology and Behavior*, vol. 20 no. 1, pp. 63-73.
- Nestler, E. J., Barrot, M., DiLeone, R. J., Eisch, A. J., Gold, S. J., Monteggia, L. M. (2002) 'Neurobiology of depression', *Neuron*, vol. 34, no. 1, pp. 13-25.
- Nitschke, J. B., Sarinopoulos, I., Oathes, D. J., Johnstone, T., Whalen, P. J., Davidson, R. J., Kalin, N. H. (2009) 'Anticipatory activation in the amygdala and anterior cingulate in generalized anxiety disorder and prediction of treatment response', *American Journal of Psychiatry*, vol. 166, no. 3, pp. 302-310.
- Noack, H., Nolte, L., Nieratschker, V., Habel, U., Derntl, B. (2019) 'Imaging stress: an overview of stress induction methods in the MR scanner', *Journal of neural transmission (Vienna, Austria: 1996)*, vol. 126, no. 9, pp. 1187–1202.
- Nordin, M., Nordin, S. (2013) 'Psychometric evaluation and normative data of the Swedish version of the 10-item perceived stress scale', *Scandinavian journal of psychology*, vol. 54, no. 6, pp. 502-507.
- Nyberg, L., Marklund, P., Persson, J., Cabeza, R., Forkstam, C., Petersson, K. M., Ingvar, M. (2003) 'Common prefrontal activations during working memory, episodic memory, and semantic memory', *Neuropsychologia*, vol. 41, no. 3, pp. 371-377.

9 Literatur

- Ogawa, S., Lee, T. M., Kay, A. R., Tank, D. W. (1990) 'Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 87, no. 24, pp. 9868-9872.
- Ohman, A. (2005) 'The role of the amygdala in human fear: automatic detection of threat', *Psychoneuroendocrinology*, vol. 30, no. 10, pp. 953-958.
- Oitzl, M. S., Champagne, D. L., van der Veen, Kloet, E. R. de (2010) 'Brain development under stress: Hypotheses of glucocorticoid actions revisited', *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, vol. 34, no. 6, pp. 853–866.
- Orr, C., Hester, R. (2012) 'Error-related anterior cingulate cortex activity and the prediction of conscious error awareness', *Frontiers in human neuroscience*, vol. 6, p. 177.
- Ozbay, F., Johnson, D. C., Dimoulas, E., Morgan, C. A., Charney, D., Southwick, S. (2007) 'Social support and resilience to stress: from neurobiology to clinical practice', *Psychiatry (Edgmont)*, vol. 4, no. 5, p. 35.
- Pabst, C. (2013) 'Magnetresonanztomografie, Lernskript für Mediziner, Grundlagen. Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie', Universitätsklinik Gießen und Marburg.
- Paneri, S., Gregoriou, G. G. (2017) 'Top-down control of visual attention by the prefrontal cortex. Functional specialization and long-range interactions', *Frontiers in neuroscience*, vol. 11, p. 545.
- Parker, K. J., Buckmaster, C. L., Justus, K. R., Schatzberg, A. F., Lyons, D. M. (2005) 'Mild early life stress enhances prefrontal-dependent response inhibition in monkeys', *Biological psychiatry*, vol. 57, no. 8, pp. 848-855.
- Parker, K. J., Buckmaster, C. L., Schatzberg, A. F., Lyons, D. M. (2004) 'Prospective investigation of stress inoculation in young monkeys', *Archives of general psychiatry*, vol. 61, no. 9, pp. 933-941.
- Paykel, E.S., Dowlatshahi, D. (1988) 'Life events and mental disorder', In *Handbook of life stress, cognition and health*, pp. 241 - 263.
- Pbert, L., Doerfler, L. A., DeCosimo, D. (1992) 'An evaluation of the perceived stress scale in two clinical populations', *Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment*, vol. 14, no. 4, pp. 363-375.
- Petrides, M. (2000) 'The role of the mid-dorsolateral prefrontal cortex in working memory', *Experimental brain research*, vol. 133, no.1, pp. 44-54.

9 Literatur

- Phan, K. L., Taylor, S. F., Welsh, R. C., Ho, S. H., Britton, J. C., Liberzon, I. (2004) 'Neural correlates of individual ratings of emotional salience: a trial-related fMRI study', *Neuroimage*, vol. 21, no. 2, pp. 768-780.
- Phelan, J., Schwartz, J. E., Bromet, E. J., Dew, M. A., Parkinson, D. K., Schulberg, H. C., Dunn, L. O., Blane, H., Curtis, E. C. (1991) 'Work stress, family stress and depression in professional and managerial employees', *Psychological medicine*, vol. 21, no. 4, pp. 999–1012.
- Phelps, E. A., LeDoux, J. E. (2005) 'Contributions of the amygdala to emotion processing: from animal models to human behavior', *Neuron*, vol. 48, no. 2, pp. 175-187.
- Plaisir, L. S. (2020) 'Resilienz und akuter Stress: eine fMRT-Studie zur Untersuchung neuronaler Mechanismen', Masterthesis, unveröff., Mainz, Johannes Gutenberg-Universität.
- Plichta, M. M., Grimm, O., Morgen, K., Mier, D., Sauer, C., Haddad, L., Tost, H., Esslinger, C., Kirsch, P., Schwarz, A. J., Meyer-Lindenberg, A. (2014) 'Amygdala habituation: a reliable fMRI phenotype', *NeuroImage*, vol. 103, pp. 383–390.
- Protopopescu, X., Pan, H., Tuescher, O., Cloitre, M., Goldstein, M., Engelien, W., Epstein, J., Yang, Y., Gorman, J., LeDoux, J., Silbersweig, D., Stern, E. (2005) 'Differential time courses and specificity of amygdala activity in posttraumatic stress disorder subjects and normal control subjects', *Biological psychiatry*, vol. 57, no. 5, pp. 464-473.
- Pruessner, J. C., Dedovic, K., Pruessner, M., Lord, C., Buss, C., Collins, L., Dagher, A., Lupien, S. J. (2010) 'Stress regulation in the central nervous system: evidence from structural and functional neuroimaging studies in human populations - 2008 Curt Richter Award Winner', *Psychoneuroendocrinology*, vol. 35, no.1, pp. 179-191.
- Pruessner, J. C., Hellhammer, D. H., Kirschbaum, C. (1999) 'Burnout, perceived stress, and cortisol responses to awakening', *Psychosomatic medicine*, vol. 61, no. 2, pp. 197-204.
- Quirk, G. J., Beer, J. S. (2006) 'Prefrontal involvement in the regulation of emotion: convergence of rat and human studies. Current opinion in neurobiology', vol. 16, no. 6, pp. 723-727.
- Rawson, H. E., Bloomer, K., Kendall, A. (1994) 'Stress, anxiety, depression, and physical illness in college students', *The Journal of Genetic Psychology*, vol. 155, no. 3, pp. 321-330.

9 Literatur

- Robbins, T. W., Everitt, B. J. (1996) 'Neurobehavioural mechanisms of reward and motivation', *Current opinion in neurobiology*, vol. 6, no. 2, pp. 228-236.
- Robinson, O. J., Overstreet, C., Charney, D. R., Vytal, K., Grillon, C. (2013) 'Stress increases aversive prediction error signal in the ventral striatum', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 110, no. 10, pp. 4129-4133.
- Roddenberry, A., Renk, K. (2010) 'Locus of control and self-efficacy: potential mediators of stress, illness, and utilization of health services in college students', *Child psychiatry and human development*, vol. 41, no. 4, pp. 353-370.
- Roseman, I. J., Smith, C. A. (2001) 'Appraisal theory', *Appraisal processes in emotion: Theory, methods, research*, pp. 3-19.
- Rosenkranz, J. A., Moore, H., Grace, A. A. (2003) 'The prefrontal cortex regulates lateral amygdala neuronal plasticity and responses to previously conditioned stimuli', *Journal of Neuroscience*, vol. 23, no. 35, pp. 11054-11064.
- Ruggiero, K. M., Taylor, D. M. (1995) 'Coping with discrimination: How disadvantaged group members perceive the discrimination that confronts them', *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 68, no. 5, pp. 826-838.
- Russo, S. J., Murrough, J. W., Han, M. H., Charney, D. S., Nestler, E. J. (2012) 'Neurobiology of resilience', *Nat Neurosci*, vol. 15, no. 11, pp. 1475-1484.
- Rutishauser, U., Mamelak, A. N., Schuman, E. M. (2006) 'Single-trial learning of novel stimuli by individual neurons of the human hippocampus-amygdala complex', *Neuron*, vol. 49, no. 6, pp. 805-813.
- S3-Leitlinie/NVL Unipolare Depression (2015)
<https://www.leitlinien.de/nvl/html/depression/kapitel-2> (Version 5),
aufgerufen am 23. April 2020.
- Saha, S. (2005) 'Role of the central nucleus of the amygdala in the control of blood pressure: descending pathways to medullary cardiovascular nuclei', *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, vol. 32, no. 5-6, pp. 450-456.
- Sala, C., Segal, M. (2014) 'Dendritic spines: the locus of structural and functional plasticity', *Physiological reviews*, vol. 94, no. 1, pp. 141-188.
- Sandner, M., Lois, G., Streit, F., Zeier, P., Kirsch, P., Wüst, S., Wessa, M. (2020) 'Investigating individual stress reactivity: High hair cortisol predicts lower acute stress responses', *Psychoneuroendocrinology*, p. 104660.

9 Literatur

- Sandner, M. E. (2017) 'Charakterisierung der neuronalen, endokrinen und subjektiven Stressantwort: Implementierung und Validierung eines Stressinduktionsparadigmas', Masterthesis, unveröff., Mainz, Johannes Gutenberg-Universität.
- Sarason, I. G., Johnson, J. H., Siegel, J. M. (1978) 'Assessing the impact of life changes: development of the Life Experiences Survey', *Journal of consulting and clinical psychology*, vol. 46, no. 5, p. 932.
- Scherer, K. R. (2001) 'Appraisal considered as a process of multilevel sequential checking', *Appraisal processes in emotion: Theory, methods, research*, vol. 92, no. 120, p. 57.
- Schneider, E. E., Schönfelder, S., Domke-Wolf, M., Wessa, M. (2020) 'Measuring stress in clinical and nonclinical subjects using a German adaptation of the Perceived Stress Scale', *International Journal of Clinical and Health Psychology*, vol. 20, no. 2, pp. 173-181.
- Schünke, M., Schulte, E., Schumacher, U., Voll, M., Wesker, K. (2018) 'PROMETHEUS Kopf, Hals und Neuroanatomie', Stuttgart, Georg Thieme Verlag.
- Schuster, T. L., Kessler, R. C., Aseltine, R. H. (1990) 'Supportive interactions, negative interactions, and depressed mood', *American journal of community psychology*, vol. 18, no. 3, pp. 423-438.
- Schwabe, L., Joëls, M., Roozendaal, B., Wolf, O. T., Oitzl M.S. (2012) 'Stress effects on memory: An update and integration', *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, vol. 36, no. 7, pp. 1740-1749.
- Seeley, W.W., Menon, V., Schatzberg, A. F., Keller, J., Glover, G.H., Kenna, H., Reiss, A. L., Greicius, M. D. (2007) 'Dissociable intrinsic connectivity networks for salience processing and executive control', *Journal of Neuroscience*, vol. 27, no. 9, pp. 2349-2356.
- Seery, M. D., Holman, E. A., Silver, R. C. (2010) 'Whatever does not kill us: cumulative lifetime adversity, vulnerability, and resilience', *J Pers Soc Psychol*, vol. 99, no. 6, p. 1025.
- Seghier, M. L. (2013) 'The angular gyrus: multiple functions and multiple subdivisions', *The Neuroscientist: a review journal bringing neurobiology, neurology and psychiatry*, vol. 19, no. 1, pp. 43-61.
- Seligman, M. E., Maier, S. F. (1967) 'Failure to escape traumatic shock', *Journal of experimental psychology*, vol. 74, no. 1, p. 1.

9 Literatur

- Sheldon, C., Janicki-Deverts, D., Miller, G. E. (2007) 'Psychological Stress and Disease: American Medical Association', *JAMA*, vol. 298, no. 14, pp.1685-1687.
- Shenhav, A., Cohen, J. D., Botvinick, M. M. (2016) 'Dorsal anterior cingulate cortex and the value of control', *Nature neuroscience*, vol. 19, no. 10, pp. 1286-1291.
- Shields, G. S., Sazma, M. A., Yonelinas, A. P. (2016) 'The effects of acute stress on core executive functions: A meta-analysis and comparison with cortisol', *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, vol. 68, pp. 651-668.
- Sierra-Mercado, D., Padilla-Coreano, N., Quirk, G. J. (2011) 'Dissociable roles of prelimbic and infralimbic cortices, ventral hippocampus, and basolateral amygdala in the expression and extinction of conditioned fear', *Neuropsychopharmacology*, vol. 36, no. 2, pp. 529-538.
- Skok, A., Harvey, D. and Reddihough, D. (2006) 'Perceived stress, perceived social support, and wellbeing among mothers of school-aged children with cerebral palsy', *Journal of intellectual & developmental disability*, vol. 31, no. 1, pp. 53–57.
- Smith, A. (2002) 'Effects of caffeine on human behavior', *Food and Chemical Toxicology*, vol. 40, no. 9, pp. 1243–1255.
- Smith, B. W., Dalen, J., Wiggins, K., Tooley, E., Christopher, P., Bernard, J. (2008) 'The brief resilience scale: assessing the ability to bounce back', *International journal of behavioral medicine*, vol. 15, no. 3, pp. 194–200.
- Sobocki, P., Jönsson, B., Angst, J., Rehnberg, C. (2006) 'Cost of depression in Europe', *Journal of Mental Health Policy and Economics*.
- Solomon, Z., Avitzur, E., Mikulincer, M. (1989) 'Coping Resources and Social Functioning Following Combat Stress Reaction: A Longitudinal Study', *Journal of Social and Clinical Psychology*, vol. 8, no. 1, pp. 87–96.
- Southwick, S. M., Vythilingam, M., Charney, D. S. (2005) 'The psychobiology of depression and resilience to stress: implications for prevention and treatment', *Annual review of clinical psychology*, vol. 1, pp. 255–291.
- Stewart, D. E., Yuen, T. (2011) 'A systematic review of resilience in the physically ill', *Psychosomatics*, vol. 52, no. 3, pp. 199-209.
- Steyer, R., Schwenkmezger, P., Notz, P., Eid, M. (1997) 'Der Mehrdimensionale Befindlichkeitsfragebogen (MDBF)', Handanweisung, Göttingen.
- Stippich, C., Blatow, M., Durst, A., Dreyhaupt, J., Sartor, K. (2007) 'Globale Aktivierung des primären Motorkortex bei Willkürbewegungen', *RöFo - Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren*, vol. 179, no. S1.

9 Literatur

- Streit, F., Akdeniz, C., Haddad, L., Kumsta, R., Entringer, S., Frank, J., Yim, I. S., Zänkert, S., Witt, S. H., Kirsch, P., Rietschel, M., Wüst, S. (2017) 'Sex-specific association between functional neuropeptide S receptor gene (NPSR1) variants and cortisol and central stress responses', *Psychoneuroendocrinology*, vol. 76, pp. 49–56.
- Streit, F., Haddad, L., Paul, T., Frank, J., Schäfer, A., Nikitopoulos, J., Akdeniz, C., Lederbogen, F., Treutlein, J., Witt, S., Meyer-Lindenberg, A., Rietschel, M., Kirsch, P., Wüst, S. (2014) 'A functional variant in the neuropeptide S receptor 1 gene moderates the influence of urban upbringing on stress processing in the amygdala', *Stress (Amsterdam, Netherlands)*, vol. 17, no. 4, pp. 352–361.
- Taliaz, D., Loya, A., Gersner, R., Haramati, S., Chen, A., Zangen, A. (2011) 'Resilience to chronic stress is mediated by hippocampal brain-derived neurotrophic factor', *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience*, vol. 31, no. 12, pp. 4475–4483.
- Taylor, M., Barr, M., Stevens, G., Bryson-Taylor, D., Agho, K., Jacobs, J., Raphael, B. (2010) 'Psychosocial stress and strategies for managing adversity: measuring population resilience in New South Wales, Australia', *Population health metrics*, vol. 8, no. 1, pp. 1-9.
- Thayer, J. F., Lane, R.D. (2009) 'Claude Bernard and the heart-brain connection: Further elaboration of a model of neurovisceral integration', *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, vol. 33, no. 2, pp. 81-88
- Terasawa, Y., Fukushima, H., Umeda, S. (2013a) 'How does interoceptive awareness interact with the subjective experience of emotion? An fMRI study', *Human brain mapping*, vol. 34, no. 3, pp. 598-612.
- Terasawa, Y., Shibata, M., Moriguchi, Y., Umeda, S. (2013b) 'Anterior insular cortex mediates bodily sensibility and social anxiety', *Social cognitive and affective neuroscience*, vol. 8, no. 3, pp. 259-266.
- The World Health Report: Mental Health (2001) 'New Understanding, New Hope', World Health Organization.
- Tobia, M. J., Hayashi, K., Ballard, G., Gotlib, I. H., Waugh, C. E. (2017) 'Dynamic functional connectivity and individual differences in emotions during social stress', *Human brain mapping*, vol. 38, no. 12, pp. 6185-6205.
- Tsankova, N. M., Berton, O., Renthal, W., Kumar, A., Neve, R. L., Nestler, E. J. (2006) 'Sustained hippocampal chromatin regulation in a mouse model of depression and antidepressant action', *Nat Neurosci*, vol. 9, no. 4, pp. 519–525.

9 Literatur

- Tusaie, K., Dyer, J. (2004) 'Resilience: a historical review of the construct', *Holistic nursing practice*, vol. 18, no. 1, pp. 3-10.
- Urry, H. L., van Reekum, C. M., Johnstone, T., Kalin, N. H., Thurow, M. E., Schaefer, H. S., Jackson, C. A., Frye, C. J., Greischar, L. L., Alexander, A. L., Davidson, R. J. (2006) 'Amygdala and ventromedial prefrontal cortex are inversely coupled during regulation of negative affect and predict the diurnal pattern of cortisol secretion among older adults', *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience*, vol. 26, no. 16, pp. 4415–4425.
- Ursin, H. (E.) (2012) 'Psychobiology of stress: A study of coping men', Elsevier.
- Van Eck, M. M., Nicolson, N. A. (1994) 'Perceived stress and salivary cortisol in daily life', *Annals of Behavioral Medicine*, vol. 16, no. 3, pp. 221-227.
- Van Hartesveldt, C. (1975) 'The hippocampus and regulation of the hypothalamic-hypophyseal-adrenal cortical axis', In *The hippocampus* (pp. 375-391). Springer, Boston, MA.
- Vilete, L., Figueira, I., Andreoli, S. B., Ribeiro, W., Quintana, M. I., Jesus Mari, J. de, Coutinho, E. S. (2014) 'Resilience to trauma in the two largest cities of Brazil: a cross-sectional study', *BMC Psychiatry*, vol. 14, no. 1, p. 257.
- Vos, T., Barber, R. M., Bell, B., Bertozzi-Villa, A., Biryukov, S., Bolliger, I. (2015) 'Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 301 acute and chronic diseases and injuries in 188 countries, 1990–2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013', *The Lancet*, vol. 386, no. 9995, pp. 743–800.
- Wager, T. D., Davidson, M. L., Hughes, B. L., Lindquist, M. A., Ochsner, K. N. (2008) 'Prefrontal-subcortical pathways mediating successful emotion regulation', *Neuron*, vol. 59, no. 6, pp. 1037-1050.
- Wager, T. D., Waugh, C. E., Lindquist, M., Noll, D. C., Fredrickson, B. L., Taylor, S. F. (2009). 'Brain mediators of cardiovascular responses to social threat: part I: reciprocal dorsal and ventral sub-regions of the medial prefrontal cortex and heart-rate reactivity', *Neuroimage*, vol. 47, no. 3, pp. 821-835.
- Wang, L., Paul, N., Stanton, S. J., Greeson, J. M., Smoski, M. (2013) 'Loss of sustained activity in the ventromedial prefrontal cortex in response to repeated stress in individuals with early-life emotional abuse: implications for depression vulnerability', *Frontiers in Psychology*, vol. 4, p. 320.

9 Literatur

- Wang, M., Perova, Z., Arenkiel, B. R., Li, B. (2014) 'Synaptic modifications in the medial prefrontal cortex in susceptibility and resilience to stress', *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience*, vol. 34, no. 22, pp. 7485–7492.
- Wang, J., Rao, H., Wetmore, G. S., Furlan, P. M., Korczykowski, M., Dinges, D. F., Detre, J. A. (2005) 'Perfusion functional MRI reveals cerebral blood flow pattern under psychological stress', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 102, no. 49, pp. 17804-17809.
- Wardle, J., Steptoe, A., Guliš, G., Sartory, G., Sêk, H., Todorova, I., Ziarko, M. et al. (2004) 'Depression, perceived control, and life satisfaction in university students from Central-Eastern and Western Europe', *International journal of behavioral medicine*, vol. 11, no. 1, pp. 27-36.
- Waugh, C. E., Wager, T. D., Fredrickson, B. L., Noll, D. C., Taylor, S. F. (2008) 'The neural correlates of trait resilience when anticipating and recovering from threat', *Social cognitive and affective neuroscience*, vol. 3, no. 4, pp. 322–332.
- Weinstock, M. (2005) 'The potential influence of maternal stress hormones on development and mental health of the offspring', *Brain, behavior, and immunity*, vol. 19, no. 4, pp. 296–308.
- Werner, E. E. (1995) 'Resilience in development', *Current directions in psychological science*, vol. 4, no. 3, pp. 81-84.
- Wethington, E., Brown, G. W., Kessler, R. C. (1995) 'Interview measurement of stressful life events', *Measuring stress: A guide for health and social scientists*, pp. 59-79.
- Wheelock, M. D., Harnett, N. G., Wood, K. H., Orem, T. R., Granger, D. A., Mrug, S., Knight, D. C. (2016) 'Prefrontal Cortex Activity Is Associated with Biobehavioral Components of the Stress Response', *Frontiers in human neuroscience*, vol. 10, p. 583.
- Whiffen, V. E., Gotlib, I. H. (1989) 'Stress and Coping in Maritally Distressed and Nondistressed Couples', *Journal of Social and Personal Relationships*, vol. 6, no. 3, pp. 327–344.
- Wiedenfled, S. A., O'Leary, A., Bandura, A., Brown, S., Levine, S., Raska, K. (1990) 'Impact of perceived self-efficacy in coping with stressors on components of the immune system', *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 59, no. 5, pp. 1082.

9 Literatur

- Wilkins, J. N., Carlson, H. E., van Vunakis, H., Hill, M. A., Gritz, E., Jarvik, M. E. (1982) 'Nicotine from cigarette smoking increases circulating levels of cortisol, growth hormone, and prolactin in male chronic smokers', *Psychopharmacology*, vol. 78, no. 4, pp. 305–308.
- Will, G. J., van Lier, P. A., Crone, E. A., Güroğlu, B. (2016) 'Chronic childhood peer rejection is associated with heightened neural responses to social exclusion during adolescence', *Journal of abnormal child psychology*, vol. 44, no. 1, pp. 43-55.
- Windle, G. (2011a) 'What is resilience?: A review and concept analysis', *Reviews in Clinical Gerontology*, vol. 21, no. 2, pp. 152–169.
- Windle, G., Bennett, K. M., Noyes, J. (2011b) 'A methodological review of resilience measurement scales', *Health and Quality of Life Outcomes*, vol. 9, no. 1, pp. 1–18.
- Wittchen, H. U., Essau, C. A., Hecht, H., Teder, W., Pfister, H. (1989) 'Reliability of life event assessments: test—retest reliability and fall-off effects of the Munich interview for the assessment of life events and conditions', *Journal of Affective Disorders*, vol. 16, no. 1, pp. 77-91.
- Wittchen, H. U., Jacobi, F., Rehm, J., Gustavsson, A., Svensson, M., Jönsson, B., Olesen, J., Allgulander, C., Alonso, J., Faravelli, C., Fratiglioni, L., Jennum, P., Lieb, R., Maercker, A., van Os, J., Preisig, M., Salvador-Carulla, L., Simon, R., Steinhausen, H.-C. (2011) 'The size and burden of mental disorders and other disorders of the brain in Europe 2010', *European neuropsychopharmacology: the journal of the European College of Neuropsychopharmacology*, vol. 21, no. 9, pp. 655–679.
- Wong, A. H. C., Gottesman, I. I., Petronis, A. (2005) 'Phenotypic differences in genetically identical organisms: the epigenetic perspective', *Human molecular genetics*, vol. 14, suppl_1, R11-R18.
- Wood, G. E., Shors, T. J. (1998) 'Stress facilitates classical conditioning in males, but impairs classical conditioning in females through activational effects of ovarian hormones', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 95, no. 7, pp. 4066-4071.
- Yang, H., Zhou, Z., Liu, Y., Ruan, Z., Gong, H., Luo, Q., Lu, Z. (2007) 'Gender difference in hemodynamic responses of prefrontal area to emotional stress by near-infrared spectroscopy', *Behavioural brain research*, vol. 178, no. 1, pp. 172–176.
- Yehuda, R., Flory, J. D., Southwick, S., Charney, D. S. (2006) 'Developing an agenda for translational studies of resilience and vulnerability following trauma exposure', *Annals of the New York Academy of Sciences*, vol. 1071, no. 1, pp. 379–396.

9 Literatur

- Zaki, J., Davis, J. I., Ochsner, K. N. (2012) 'Overlapping activity in anterior insula during interoception and emotional experience', *Neuroimage*, vol. 62, no. 1, pp. 493-499.
- Zeidman, P., Lutti, A., Maguire, E. A. (2015) 'Investigating the functions of subregions within anterior hippocampus', *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*, vol. 73, pp. 240–256.
- Zeki, S. (1993) 'The visual association cortex', *Current opinion in neurobiology*, vol. 3, no. 2, pp. 155–159.
- Zhang, W., Liu, H., Jiang, X., Wu, D., Tian, Y. (2014) 'A longitudinal study of posttraumatic stress disorder symptoms and its relationship with coping skill and locus of control in adolescents after an earthquake in China', *PloS one*, vol. 9, no. 2, e88263.
- Zheng, J., Anderson, K. L., Leal, S. L., Shestyuk, A., Gulsen, G., Mnatsakanyan, L., Lin, J. J. et al. (2017) 'Amygdala-hippocampal dynamics during salient information processing', *Nature communications*, vol. 8, no. 1, pp. 1-11.
- Zhou, E. S., Penedo, F. J., Lewis, J. E., Rasheed, M., Traeger, L., Lechner, S., Soloway, M., Kava, B. R., Antoni, M. H. (2010) 'Perceived stress mediates the effects of social support on health-related quality of life among men treated for localized prostate cancer', *Journal of Psychosomatic Research*, vol. 69, no. 6, pp. 587–590.

10 Anhang**A Perceived Stress Scale**

		nie	Fast nie	Manchmal	Ziemlich oft	sehr oft
1	Wie oft waren Sie im letzten Monat aufgewühlt, weil etwas unerwartet passiert ist?	1	2	3	4	5
2	Wie oft hatten Sie im letzten Monat das Gefühl, nicht in der Lage zu sein, die wichtigen Dinge in Ihrem Leben kontrollieren zu können?	1	2	3	4	5
3	Wie oft haben sie sich im letzten Monat nervös und gestresst gefühlt?	1	2	3	4	5
4	Wie oft waren Sie im letzten Monat zuversichtlich, dass Sie fähig sind, ihre persönlichen Probleme zu bewältigen?	1	2	3	4	5
5	Wie oft hatten Sie im letzten Monat das Gefühl, dass sich die Dinge zu Ihren Gunsten entwickeln?	1	2	3	4	5
6	Wie oft hatten Sie im letzten Monat den Eindruck, nicht all Ihren anstehenden Aufgaben gewachsen zu sein?	1	2	3	4	5
7	Wie oft waren Sie im letzten Monat in der Lage, ärgerliche Situationen in Ihrem Leben zu beeinflussen?	1	2	3	4	5
8	Wie oft hatten Sie im letzten Monat das Gefühl, alles im Griff zu haben?	1	2	3	4	5
9	Wie oft haben Sie sich im letzten Monat über Dinge geärgert, über die Sie keine Kontrolle hatten?	1	2	3	4	5
10	Wie oft hatten Sie im letzten Monat das Gefühl, dass sich so viele Schwierigkeiten angehäuft haben, dass Sie diese nicht überwinden konnten?	1	2	3	4	5

B Instruktionen

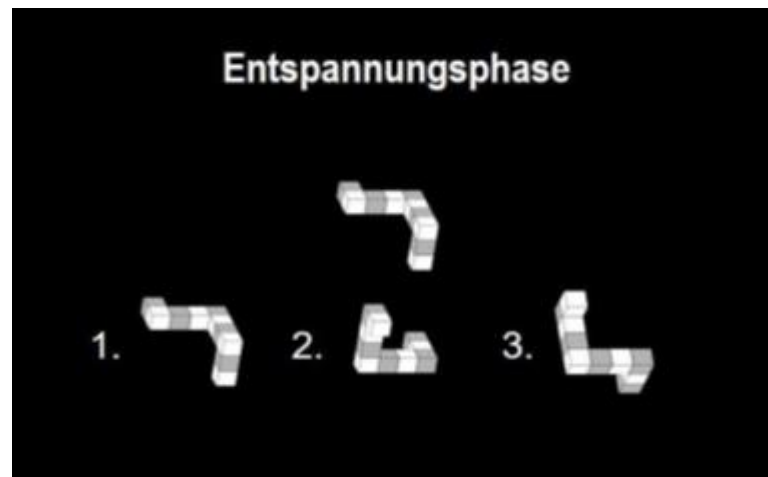
Leistungsaufgabe – Training

„Bevor wir gleich rüber ans MRT-Gerät gehen, machen wir einen kurzen Probedurchlauf der Leistungsaufgaben, die Sie gleich auch im MRT machen werden. Im folgenden Trainingsdurchgang werden Ihnen vergleichsweise **einfache** Aufgaben gestellt werden. Zur Erfassung der neuronalen Aktivierung bei Konzentration und Leistung werden Sie gleich im MRT wesentlich anspruchsvollere Aufgaben präsentiert bekommen. Wir bitten Sie, sich dann besonders intensiv anzustrengen, da wir nur so die entsprechenden neuronalen Areale untersuchen können. Es gibt zwei Aufgabentypen, die im Folgenden vorgestellt werden:

Mentale Rotationsaufgaben

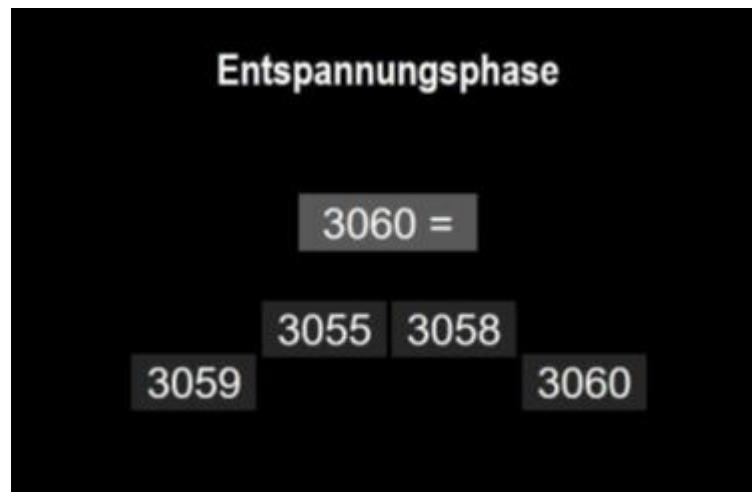
Bitte ordnen Sie der in der oberen Zeile dargestellten geometrischen Figur die dazugehörige Figur aus der unteren Reihe zu. Wählen Sie hierbei die richtige Option mit einem Tastendruck auf die Tasten F9 für Option 1, F10 für Option 2 und F11 für Option 3 (Tasten zeigen).

Bitte arbeiten Sie hierbei so schnell und gleichzeitig so genau wie möglich. Bitte legen Sie Ihren Zeige-, Mittel- und Ringfinger der rechten Hand auf die drei Tasten und lassen Sie die Ihre Finger während der Aufgabe auf den Tasten. *Bild zeigen*



Mentale Subtraktionsaufgaben

Bitte berechnen Sie die dargestellte Subtraktionsaufgabe und wählen Sie die richtige Antwortoption mit einem Tastendruck auf die Tasten F9 für Option 1, F10 für Option 2, F11 für Option 3 und F12 für Option 4. Bitte arbeiten Sie auch hier so schnell und gleichzeitig so genau wie möglich und belassen Sie während der gesamten Aufgabe die entsprechenden Finger auf den Tasten.“ *Bild zeigen*



Leistungsaufgabe – Kontrollphase

„Wir werden nun mit dem eigentlichen Experiment beginnen. Sie werden zunächst eine Entspannungsphase durchlaufen. Hierbei werden Ihnen solche Aufgaben begegnen, wie Sie sie vorhin geübt haben. Sie dienen dem Vergleich mit den wesentlich anspruchsvolleren Aufgaben aus der Leistungsphase. Versuchen Sie bitte die Aufgaben in völliger Ruhe und ohne Anstrengung zu bearbeiten. Sie werden in dieser Phase nicht beobachtet. Mit dem Zeigefinger, Mittelfinger oder Ringfinger können Sie sich jeweils für eine der Antwortmöglichkeiten entscheiden. Haben Sie noch Fragen dazu? Dann geht es gleich los. Die Entspannungsphase wird etwa 5 Minuten dauern.“

Leistungsaufgabe – Stressinduktion

„Können Sie uns hören? Nun beginnt die Leistungsphase unseres Experiments. Sie werden nun wesentlich anspruchsvollere Varianten der beiden Aufgaben bearbeiten, als die, die Sie vorhin geübt haben. Die anspruchsvollen Aufgaben dienen der Erfassung Ihrer Anstrengung und Leistung im Scanner. Für die Auswertbarkeit der Ergebnisse ist es absolut zentral, dass Sie in dieser Phase Ihre **maximale Leistung** abrufen. Hierbei werden Sie von uns beobachtet, was Sie an dem roten Punkt im Videobild erkennen können. Außerdem läuft bei jeder Aufgabe ein **Zeitbalken** ab, der Ihnen anzeigt, wie viel Zeit Sie noch haben, um die richtige Lösung zu drücken. Wir werden Sie und Ihre Leistungen über die gesamte Zeit in den Leistungsphasen beobachten und Ihnen über diesen Buzzer (*Buzzer zeigen*) rückmelden, wenn Sie einen Fehler machen oder zu langsam sind. Haben Sie noch Fragen dazu? Dann geht es gleich los. Die Leistungsphase wird etwa 5 Minuten dauern.“

Leistungsaufgabe – verbales Feedback

„Können Sie uns hören? Wir müssen die Messung an dieser Stelle kurz unterbrechen: Sie wissen ja, dass wir in diesem Experiment die Hirnaktivität bei maximaler Anstrengung messen wollen. Nach den Zwischenergebnissen sehen wir aber, dass Sie noch nicht Ihre optimale Leistung erbracht haben. Vor allem bei... den Rotationsaufgaben machen Sie noch sehr viele Fehler.“

10 Anhang

den Rechenaufgaben sind Sie sehr langsam.“ *Individuell anpassen an Leistung des Probanden.*

„Wir können Ihre Daten nur verwerten, wenn wir uns darauf verlassen können, dass Sie wirklich Ihre beste Leistung gegeben haben. Daher bitten wir Sie, sich im nächsten Durchgang bei den Leistungsaufgaben wirklich so gut Sie nur können zu konzentrieren. Haben Sie dazu noch Fragen? (...) Gut, dann fahren wir nun fort.“

C Bildungsgrad in Bildungsjahren

Schulabschluss	Bildungsjahre (in Zahlen)
Hauptschule	9 + abgeschlossene Ausbildung: +3 + abgeschlossene Ausbildung und Meister: +5
Realschule	10 + abgeschlossene Ausbildung: +3 + abgeschlossene Ausbildung und Meister: +5
Fachabitur	12 + abgeschlossene Ausbildung: +3 + abgeschlossene Ausbildung und Meister: +5 + abgeschlossener Bachelor: +3 + abgeschlossenes Studium: +5 + abgeschlossene Promotion: +3
Abitur	13 + abgeschlossene Ausbildung: +3 + abgeschlossene Ausbildung und Meister: +5 + abgeschlossener Bachelor: +3 + abgeschlossenes Studium: +5 + abgeschlossene Promotion: +3

Erläuterung: Zur Erfassung des Bildungsgrades in Bildungsjahren wird zur Anzahl an Bildungsjahren für den Schulabschluss (jeweils oberste Zeile) gegebenenfalls die jeweils zutreffende Anzahl an weiteren Bildungsjahren addiert.