

Aus der Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie
der Universität zu Lübeck
Direktor: Prof. Dr. Stefan Borgwardt

Effekte einer REM-Schlaf Unterdrückung auf Affekt und neurale Reaktionen während sozialer Ausgrenzung

Inauguraldissertation zur Erlangung der Doktorwürde der Universität zu Lübeck

- Aus der Sektion Medizin -

vorgelegt von

Robert Wilhelm Glosemeyer

aus

Georgsmarienhütte

Lübeck 2021

1. Berichterstatter: Prof. Dr. rer. nat. Sören Krach

2. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. med. Jürgen Eggers

Tag der mündlichen Prüfung: 26.10.2021

zum Druck genehmigt. Lübeck, den 26.10.2021

- Promotionskommission der Sektion Medizin -

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einleitung.....	1
1.1 Einführung Schlaf und Schlafstörungen.....	2
1.1.1 Schlafarchitektur.....	2
1.1.2 Relevanz von Schlafmangel in modernen Gesellschaften	3
1.1.3 Schlaf und Affektstörungen	5
1.2 Einführung Emotionsregulation und soziale Exklusion.....	6
1.2.1 Hirnregionen der Emotionsregulation	6
1.2.2 Emotionsregulationsstrategien	7
1.2.3 Soziale Ausgrenzung.....	9
1.3 Stand der Forschung: Neurokognitive Effekte von Schlafentzug	11
1.4 Fragestellung der Arbeit	14
2 Methoden	16
2.1 Teilnehmende	16
2.2 Studiendesign	17
2.3 Versuchsablauf.....	18
2.3.1 Schlafentzugsprotokoll	18
2.3.2 Erhebung der Stimmung mit PANAS-Fragebogen.....	20
2.3.3 Versuchsablauf im fMRT-Scanner	20
2.4 fMRT Daten.....	24
2.4.1 Erhebung und Vorverarbeitung.....	24
2.4.2 Datenauswertung	25
2.5 Auswertung und Statistik	26
3 Ergebnisse.....	27
3.1 Selektive REM-Schlaf Unterdrückung.....	27
3.2 Einfluss von selektiver REM-Schlaf Unterdrückung auf die Stimmung.....	29
3.3 Einfluss von REM-Schlaf Unterdrückung auf Emotionsbewertungen und - regulation während sozialer Ausgrenzung	33
3.4 Einfluss von REM-Schlaf Unterdrückung auf die Aktivität des limbischen Systems während sozialer Ausgrenzung	35
4 Diskussion	37

4.1	Einfluss von REM-Schlaf Unterdrückung auf die Stimmung am nächsten Morgen.....	37
4.2	Wirksamkeit der sozialen Ausgrenzung durch <i>Cyberball</i>	39
4.3	Einfluss von REM-Schlafentzug auf das Gefühl sozialer Ausgrenzung und die Emotionsregulationsfähigkeit	41
4.4	Wirksamkeit der Emotionsregulationsstrategie „Kognitive Neubewertung“	42
4.5	Limitationen.....	43
4.6	Ausblick.....	45
5	Zusammenfassung	46
6	Anhang.....	47
6.1	Tabellen	47
6.2	Votum der Ethikkommission	49
7	Literaturverzeichnis	50
8	Danksagung	65
9	Lebenslauf	66
9.1	Persönliche Daten:	66
9.2	Hochschulstudium:	66
9.3	Beruflicher Werdegang:	66
9.4	Zeitraum der Dissertation:	66
10	Publikationen:	67

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anatomie des limbischen Systems.....	6
Abbildung 2: Prozess-Modell der Emotionsentstehung nach Gross.....	8
Abbildung 3: Studiendesign und Versuchsablauf.....	18
Abbildung 4: Darstellung des verwendeten <i>Cyberball</i> -Paradigmas.	21
Abbildung 5: REM- und SWS-Anteil an der Gesamtschlafzeit (TST) in Gewöhnungs- und Versuchsnacht für jede Gruppe.....	27
Abbildung 6: Effekt von selektivem Schlafentzug auf REM- und SWS-Schlaf	28
Abbildung 7: Bewertungen des positiven und negativen Affekts am Morgen nach der Gewöhnungs- und Versuchsnacht.	31
Abbildung 8: Korrelation der Affektänderungen mit dem REMS Score	31
Abbildung 9: Effekte von Bedingung, Session und Gruppe auf das Gefühl sozialer Ausgrenzung.....	33
Abbildung 10: Neurale Aktivierungen nach sozialer Ausgrenzung werden durch selektive REM-Schlaf Unterdrückung verändert.	36

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ausschlusskriterien	16
Tabelle 2: Polysomnographische Schlafparameter.....	47
Tabelle 3: Weckungen in der Versuchsnacht.....	48
Tabelle 4: Regression der Affektänderungen auf die Schlafunterdrückungs- Parameter (abhängige variable: Änderung im negativen Affekt (Δ Versuchsmorgen - Gewöhnungsmorgen))	48
Tabelle 5: Mittelwerte für morgendlichen Positiven und Negativen Affekt.....	48
Tabelle 6: Mittelwerte für das Gefühl sozialer Ausgrenzung im <i>Cyberball</i> - Paradigma	48
Tabelle 7: ANOVA der PANAS Bewertungen für Positiven Affekt am Abend.....	48
Tabelle 8: ANOVA der PANAS Bewertungen für Negativen Affekt am Abend	49

Abkürzungsverzeichnis

AASM	<i>American Academy of Sleep Medicine</i>
ACC	<i>anterior cingulate cortex</i>
ANOVA	<i>analysis of variance</i> , Varianzanalyse
CRA	<i>cognitive reappraisal</i> , kognitive Neubewertung (Strategie der Emotionsregulation)
CTL	<i>control</i> , Kontrollgruppe
EEG	Elektroenzephalographie
EMG	Elektromyographie
EOG	Elektrookulographie
EXC	<i>exclusion</i> , Exklusionsbedingung
FA	<i>flip angle</i> , Kippwinkel
FEW	<i>family wise error</i> ,
fMRT	Funktionelle Magnetresonanztomographie
FOV	<i>field of view</i> , Sichtfeld
FWHM	<i>full width at half maximum</i>
GLM	generalisierte lineare Modelle
IAPS	<i>International Affective Picture System</i>
INC	<i>inclusion</i> , Inklusionsbedingung
MNI	<i>Montreal Neurological Institute</i>
MRT	Magnetresonanztomographie
NA	<i>negative affect</i> , negative Stimmung
NREM	Non-REM-Schlaf
PA	<i>positive affect</i> , positive Stimmung
PANAS	<i>Positive and Negative Affect Schedule</i>
PSG	Polysomnographie
REM	<i>rapid eye movement sleep</i> , REM-Stadium
REMD	<i>REM deprivation group</i> , Gruppe der REM-Schlaf Unterdrückung
REMS	<i>REM suppression score</i> , Wert der individuellen REM Unterdrückung
rmANOVA	repeated measures ANOVA, Varianzanalyse mit Messwiederholungen
ROI	<i>region of interest</i> , Gebiet von Interesse bei fMRT-Auswertung
SFSR	<i>sleep-to-remember-sleep-to-forget model</i>
SPM	<i>Statistical Parametric Mapping</i>
SWS	<i>slow-wave sleep</i> , Tiefschlafstadium
SWSD	<i>SWS deprivation group</i> , Gruppe der SWS Unterdrückung
SWSS	<i>SWS suppression score</i> , Wert der individuellen SWS-Unterdrückung
TE	<i>echo time</i> , Echozeit
TR	<i>repetition time</i> , Repetitionszeit
TST	<i>total sleep time</i> , Gesamtschlafzeit
WASO	<i>wake after sleep onset</i> , Wachphasen nach erstmaligem Einschlafen
WHO	<i>World Health Organization</i>

1 Einleitung

Fast jeder kennt die verheerenden Auswirkungen einer schlaflosen oder gestörten Nacht auf die Stimmung des nächsten Tages. Wenn ein Kollege launisch und reizbar im Büro erscheint, vermuten wir nicht selten eine gestörte Nachtruhe durch weinende Kinder oder feiernde Nachbarn als Grund für die erkennbaren Stimmungsschwankungen. Diese Beeinflussung der Stimmung durch unzureichenden Schlaf ist weithin bekannt. Schlaf ist jedoch keine einheitliche Entität, sondern besteht aus mehreren Stadien (oder Phasen) mit jeweils charakteristischer Physiologie, die im Schlaflabor mittels Polysomnographie identifiziert werden können. Eines dieser Schlafstadien ist der sogenannte REM-Schlaf (REM, englisch: *rapid eye movement*), dem eine wichtige Rolle bei der Verarbeitung von negativen Emotionen des Vortages zugesprochen wird (Wagner et al., 2001). In dieser Arbeit soll der Einfluss des REM-Stadiums auf die Fähigkeit der Emotionsregulation am nächsten Tag untersucht werden.

Hierzu wurden 45 Teilnehmende in einem *between-within-subjects-design* zu einer kombinierten Polysomnographie- und fMRT-Studie (funktionelle Magnetresonanztomographie) eingeladen. Die Teilnehmenden wurden zufällig einer von drei Gruppen zugeteilt und verbrachten zwei Nächte im Schlaflabor. Am folgenden Morgen wurden dann Stimmung und Emotionsregulation zwischen den Gruppen verglichen. Um den spezifischen Effekt des REM-Schlafs eindeutig zu untersuchen wurde bei einer Gruppe der Teilnehmenden experimentell das REM-Stadium im Schlaflabor unterdrückt. Die zwei weiteren Gruppen dienten als Kontrollen; bei einer Gruppe wurde ein anderes Schlafstadium, das Tiefschlafstadium (SWS, englisch: *slow-wave sleep*) unterdrückt und eine dritte Gruppe erfuhr keine Manipulation des physiologischen Schlafes. Zur Untersuchung der Fähigkeit, negativen Affekt kognitiv zu regulieren, wurde am folgenden Morgen mit einem bewährten Paradigma (*Cyberball*, s. u.) in mehreren Durchgängen künstlich ein Gefühl sozialer Ausgrenzung bei den Teilnehmenden erzeugt. Im Verlauf des Paradigmas wurden sie aufgefordert ihre negativen Emotionen durch eine zuvor erlernte Emotionsregulationsstrategie

abzuschwächen. Während der Durchgänge des Paradigmas befanden sich die Teilnehmenden in einem fMRT-Scanner, der es ermöglicht Durchblutungsänderungen von Hirnarealen sichtbar zu machen. Eine Erhöhung der Durchblutung in bestimmten Arealen lässt auf eine erhöhte neurale Aktivität in diesen Arealen schließen (siehe Heeger & Ress, 2002 für eine ausführliche Beschreibung der fMRT). So sollte untersucht werden, welchen Einfluss der gruppenspezifische Schlafentzug auf die Aktivität von Gehirnarealen nimmt, die an der Emotionsentstehung und -regulation beteiligt sind (s. u. Kapitel Hirnregionen der Emotionsregulation).

Nachdem die Auswirkung von akutem Schlafmangel auf den Affekt in der Vergangenheit intensiv untersucht wurde, befasst sich die vorliegende Arbeit zum ersten Mal mit der spezifischen Rolle des REM-Stadiums für die Fähigkeit, negative Emotionen am nächsten Morgen kognitiv zu regulieren. Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass REM-Schlaf Unterdrückung die Regulierung von negativen Emotionen am nächsten Tag negativ beeinträchtigt.

1.1 Einführung Schlaf und Schlafstörungen

1.1.1 Schlafarchitektur

Schlaf ist ein sich mit Wachheit abwechselnder Zustand des Menschen, der sich durch ein verringertes Bewusstsein und charakteristische physiologische Veränderungen auszeichnet. Der Schlaf des Menschen sowie der meisten Säugetiere wird in non-REM Schlafstadien (NREM) sowie das REM-Stadium (REM) eingeteilt. Die NREM- und REM-Schlaf Stadien werden in einer Nacht wiederholt zyklisch durchlaufen. Da die Dauer eines Zyklus ca. 90 - 120 Minuten beträgt, werden während eines achtstündigen Schlafs vier bis fünf dieser Zyklen durchlaufen (van der Helm & Walker, 2011). Die Anteile von REM- und NREM-Schlaf verändern sich nicht nur im Laufe einer Nacht, sondern auch im Laufe des Lebens: Der REM-Anteil Erwachsener bleibt bis zur Lebensmitte konstant bei 20-25% der Gesamtschlafzeit (McCarley, 2007) und nimmt danach um ca. zehn Minuten pro Dekade ab. Auch die Menge an Schlafzeit pro Nacht nimmt ab der Lebensmitte um durchschnittlich 27 Minuten pro Dekade ab (Cauter et al., 2000).

Die Einteilung des Schlafes in verschiedene Stadien erfolgt durch standardisierte Kriterien der Polysomnographie (PSG)¹. Diese besteht aus Elektroenzephalographie (EEG), Elektrookulographie (EOG) und Elektromyographie (EMG). Durch die Darstellung der Feldpotentiale der Gehirnrinde mittels EEG, der Augenbewegungen (EOG) und des Muskeltonus (EMG) lässt sich im Schlaflabor zu jedem Zeitpunkt der Schlaf einem Schlafstadium zuordnen. Die Bezeichnung der Schlafstadien in der vorliegenden Arbeit erfolgt nach den aktualisierten Kriterien der *American Academy of Sleep Medicine* (AASM) von 2015. Die NREM-Stadien werden mit zunehmender Schlaftiefe als N1, N2 und N3 Stadium bezeichnet. REM-Schlaf wird als R-Stadium bezeichnet. Zur besseren Verständlichkeit wird fortan der Begriff SWS (Slow-Wave-Sleep-Stadium) für das N3-Stadium und REM für das R-Stadium verwendet. Für eine ausführliche Erklärung der polysomnographischen Kriterien zur Unterscheidung der Schlafphasen siehe AASM Manual (Berry et al., 2015). Im Schlaflabor wurden die Schlafstadien der Teilnehmenden nach den Kriterien der AASM identifiziert, um dann gruppenspezifische Weckungen durchzuführen (s. u. Schlafentzugsprotokoll).

1.1.2 Relevanz von Schlafmangel in modernen Gesellschaften

Schlaf ist für das allgemeine Wohlbefinden von grundlegender Bedeutung (Howell et al., 2008; Steptoe et al., 2008). Dennoch sind Schlafmangel und seine Folgeerscheinungen in modernen Gesellschaften hoch prävalent (Hillman & Lack, 2013; Liu, 2016). Durch den modernen Lebensstil in der industrialisierten Welt ist der Schlaf in vielen Fällen fragmentiert oder verkürzt (z. B. durch Stress, frühen Schul- oder Arbeitsbeginn, späte Schlafenszeiten oder Schichtarbeit). In den letzten Jahrzehnten hat sich ein gradueller Rückgang der Schlafzeit von Kindern (Matricciani et al., 2012) und Erwachsenen (Bixler, 2009) gezeigt. Verschiedene Studien zeigten eine Verringerung der durchschnittlichen Schlafdauer Erwachsener um ca. 18 Minuten in einem Beobachtungszeitraum

1 Standardisierte PSG-Kriterien zur Einteilung der Schlafstadien wurden erstmals 1968 von Rechtschaffen und Kales verfasst, um die Vergleichbarkeit von Schlafstudien zu verbessern (Rechtschaffen & Kales, 1968). Neben dem REM-Stadium wurden vier NREM-Stadien (Stadium 1-4) unterschieden. 2007 entwickelte die AASM ein neues Bewertungshandbuch, welches nur noch vier Schlafstadien unterscheidet: N1 (ehemals Stadium 1), N2 (ehemals Stadium 2), N3 (ehemals Stadien 3 und 4), sowie Stadium R (ehemals REM-Stadium).

von 33 Jahren (Kronholm et al., 2008) und bis zu 1,5-2 Stunden in einem Beobachtungszeitraum von 50 Jahren (Van Cauter et al., 2008).

Die vielfältigen körperlichen Auswirkungen von akutem und chronischem Schlafmangel wurden in der Vergangenheit bereits intensiv erforscht. Selbst ein geringfügiger Schlafmangel kann weitreichende kurzfristige und langfristige Folgen für Gesundheit und Wohlbefinden haben. Verschiedene Studien haben ergeben, dass Schlafstörungen auf der Ebene der Immunregulation (Besedovsky et al., 2019; Bryant et al., 2004; Lange et al., 2010) und des Stoffwechsels (Briançon-Marjollet et al., 2015; Koren et al., 2016) Einfluss auf die Gesundheit nehmen. Epidemiologische Studien haben gezeigt, dass eine Abweichung von der optimalen sieben- bis achtstündigen Schlafzeit mit einem Anstieg der allgemeinen Morbidität und Mortalität assoziiert ist. Veränderungen der optimalen Schlafdauer führen zu einer Erhöhung des Risikos für Erkrankungen wie Bluthochdruck (Gangwisch et al., 2006), Metabolisches Syndrom (Hall et al., 2008) und Diabetes mellitus (Gangwisch et al., 2007). Die sechsjährige prospektive *1982 cancer prevention study II* konnte zeigen, dass eine Schlafenszeit von unter 3,5-4 oder über 8,5 Stunden mit einer Erhöhung der Gesamtmortalität um mehr als 15% assoziiert war (Kripke et al., 2002). Das verbesserte Verständnis für die Verbindung zwischen gestörtem Schlaf und körperlichen Erkrankungen führte dazu, dass im Jahr 2019 Nachtschichtarbeit von der Internationalen Agentur für Krebsforschung der WHO als wahrscheinlich karzinogen (*probably carcinogenic to humans*) eingestuft wurde (IARC Monographs Vol 124 group, 2019).

Darüber hinaus hat Schlafmangel einen weitreichenden Einfluss auf neuropsychologische Prozesse (z. B. Unaufmerksamkeit, verlangsamtes Arbeitsgedächtnis und verminderte kognitive Fähigkeiten) (Banks & Dinges, 2007). In einer prospektiven Studie war ein höheres Risiko für tödliche Arbeitsunfälle unter anderem auch mit unregelmäßigem Schlaf während der letzten 2 Wochen vor dem Unfall assoziiert (Akerstedt et al., 2002).

Auch wenn Reizbarkeit und Stimmungsschwankungen nach einer Nacht mit Schlafmangel ziemlich häufig zu sein scheinen, gibt es nur wenige empirische Studien zu den emotionalen Konsequenzen von Schlafmangel. In einer Studie an Assistenzärzten zeigte sich z. B., dass Schlafverlust die negativen

emotionalen Auswirkungen von disruptiven Ereignissen während der Arbeitszeit verstärkt, während positive Emotionen nach dem Erreichen von Zielen vermindert werden (Zohar et al., 2005).

1.1.3 Schlaf und Affektstörungen

Simultan zur Abnahme der Schlafdauer in den letzten Dekaden zeigt sich ein gradueller Anstieg der Prävalenz psychischer Erkrankungen (Kessler et al., 2005). Dies betrifft hauptsächlich affektive Störungen, wie z. B. Depressionen oder Bipolare Störungen. Dieser Anstieg könnte auch auf eine verbesserte Entdeckungsrate und eine Enttabuisierung psychischer Erkrankungen zurückzuführen sein. Zu den genauen Ursachen gibt es noch wenige wissenschaftliche Erkenntnisse.

Die meisten psychischen Erkrankungen gehen mit Schlafstörungen einher. Neue Studien deuten zudem darauf hin, dass Schlafstörungen nicht nur ein Symptom, sondern auch die Ursache von affektiven Störungen sein können (Goldstein & Walker, 2014; Staner, 2010). Bei 85-90% der Personen, bei denen eine schwere Depression diagnostiziert wird, ist Insomnie (Einschlaf- oder Durchschlafstörung) eine Komorbidität (Franzen & Buysse, 2017). Eine Schlafstörung kann der Entwicklung einer affektiven Störung vorausgehen: Das Risiko eine schwere Depression zu entwickeln war in einer 3,5-jährigen longitudinalen Studie bei Personen mit Insomnie in der Vorgeschichte vierfach erhöht (Breslau et al., 1996). Bei vielen psychischen Erkrankungen lassen sich Veränderungen in der Struktur des REM-Schlafs (REM-Schlaf-Latenzzeit, -Dichte und -Verteilung) nachweisen. Vor allem bei affektiven Störungen ist eine Zunahme des gesamten REM-Schlafs und eine verkürzte REM-Schlaf-Latenzzeit ein häufiger Befund (Benca et al., 1992; Cartwright et al., 2003; Gottesmann & Gottesman, 2007). Die medikamentöse Behandlung mit Antidepressiva, insbesondere jene mit anticholinergen Wirkungen, bewirkt bei depressiven Patienten neben einer Stimmungsaufhellung auch eine Reduzierung des REM-Schlaf Anteils an der Gesamtschlafzeit (Nicholson et al., 1989; Thase, 1998).

Auch wenn sich hieraus keine kausalen Zusammenhänge erschließen lassen, legen diese Erkenntnisse zusammengekommen nahe, dass eine Wechselwirkung zwischen REM-Schlaf und Affekt besteht. Ob der erhöhte REM-

Anteil ursächlich oder als Folge einer gestörten Affektverarbeitung auftritt, ist noch nicht abschließend geklärt.

1.2 Einführung Emotionsregulation und soziale Exklusion

1.2.1 Hirnregionen der Emotionsregulation

Das Ziel dieser Arbeit war die Untersuchung der Emotionsregulation am Morgen nach einer experimentellen REM-Schlaf Unterdrückung in der Nacht zuvor. Mittels fMRT wurde die Aktivität in Hirnregionen, die an der Emotionsentstehung und -regulation beteiligt sind, gemessen. Dieses Vorgehen wird als ROI-Analyse (englisch: *Region of Interest*) bezeichnet. Als Zielregion wurden Teile des limbischen Systems festgelegt.

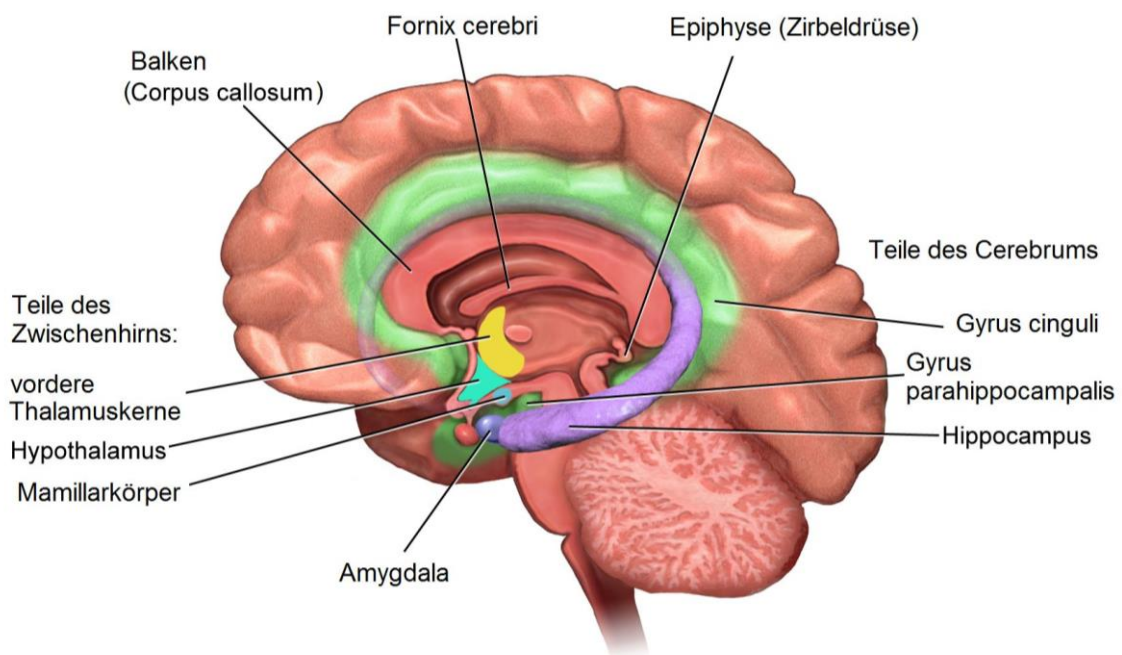


Abbildung 1: Anatomie des limbischen Systems.

Blausen.com staff (2014). "Medical gallery of Blausen Medical 2014". WikiJournal of Medicine 1 (2), lizenziert unter CreativeCommons-Lizenz Attribution 3.0 Unported, URL: <https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/legalcode>

Das limbische System (Limbus = lat. Saum, Kante) ist ein entwicklungsgeschichtlich alter Teil des Gehirns. Die genaue Definition ist Gegenstand von Diskussionen und wurde in der Vergangenheit aufgrund von anatomischen oder funktionellen Eigenschaften festgelegt. Dem limbischen

System werden eine Vielzahl von Funktionen bei der Regulation von Trieb- und Affektverhalten zugeschrieben. Außerdem ist es für die Bildung und Verarbeitung von Gedächtnisinhalten von großer Bedeutung. Anatomisch besteht das limbische System aus mehreren Strukturen, die zum Telencephalon (Großhirn) und Diencephalon (Zwischenhirn) gehören (s. Abbildung 1). Im Großhirn befindet sich der Gyrus cinguli (im Englischen „cingulate cortex“), der Gyrus parahippocampalis und die beidseitigen Amygdalae (Mandelkerne), welche mit der Steuerung von Verhaltensreaktionen auf affektive, insbesondere Angst verursachende, Stimuli in Verbindung gebracht werden (Janak & Tye, 2015). Im Zwischenhirn gehören Kerngebiete im vorderen Thalamus, die Mamillarkörper und der Hypothalamus zum limbischen System.

1.2.2 Emotionsregulationsstrategien

Die erfolgreiche kognitive Kontrolle von Emotionen wird, wie auch ausreichender und guter Schlaf, als eine wesentliche Voraussetzung für die psychische Gesundheit angesehen (Berking & Wupperman, 2012; Gross & Muñoz, 1995).

Im täglichen Leben werden Emotionen ständig entweder implizit, oder explizit durch die Anwendung spezifischer kognitiver Strategien wie Unterdrückung (z. B. Ablenkung der Aufmerksamkeit von unangenehmen emotionalen Erfahrungen) oder Neubewertung (z. B. Neuinterpretation einer unangenehmen emotionalen Situation) reguliert. Emotionsregulation beschreibt *„Prozesse, mit denen Individuen beeinflussen, welche Emotionen sie haben, wann sie sie haben und wie sie diese Emotionen erleben und ausdrücken“* (Gross, 1998). Die Emotionsregulation wird durch eine Reihe von individuellen Fähigkeiten beeinflusst. Dazu gehören z. B. die Fähigkeit, einen emotionalen Zustand als regulierungsbedürftig, richtig zu erkennen, eine geeignete Strategie auszuwählen und diese Strategie effektiv anzuwenden (Palmer & Alfano, 2017). Das von Gross 1998 eingeführte Prozess-Modell ist das heute am häufigsten verwendete Modell der Emotionsregulation (Gross, 1998; Hu et al., 2014). In diesem Modell werden verschiedene intervenierende Strategien unterschieden, die während der Entstehung einer Emotion zum Einsatz kommen (siehe Abbildung 2). Gross unterteilt den Prozess der Emotionsregulation in Prozesse, die auftreten bevor und nachdem eine emotionale Reaktion entsteht. Zu den frühen Prozessen gehören Situationsauswahl, Situationsmodifikation, Aufmerksamkeitsentfaltung

und kognitive Veränderung. Eine Form der kognitiven Veränderung ist die Emotionsregulationsstrategie „Neubewertung“, die auch in dieser Arbeit angewandt wurde.

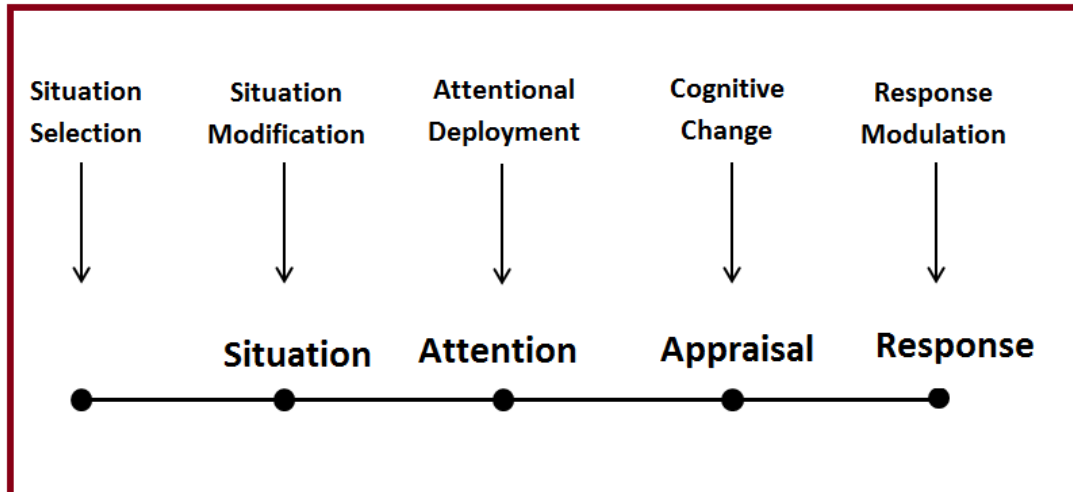


Abbildung 2: Prozess-Modell der Emotionsentstehung nach Gross

Kstan, basierend auf Gross, J.J. (2013). Emotion Regulation: Taking stock and moving forward. *Emotion*, 13(3), 359-365. doi: 10.1037/a0032135, lizenziert unter CreativeCommons-Lizenz ShareAlike 3.0, URL: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>

Unter kognitiver Neubewertung (englisch: *cognitive reappraisal*, CRA) versteht man die Fähigkeit ein emotionales Ereignis kognitiv so umzuformen oder neu zu beurteilen, dass seine Wirkung abgeschwächt wird (Ochsner & Gross, 2005). Diese Strategie der Emotionsregulation basiert auf höheren kognitiven Funktionen (dazu gehören u. a. Denken, Problemlösen, Gedächtnis und soziale Kognition), von denen bereits nachgewiesen wurde, dass sie durch gestörten Schlaf beeinflusst werden können (Goel et al., 2009). In zwei beispielhaft ausgewählten Studien wurde die Beziehung zwischen Schlaf und Emotionsregulation untersucht: In einer Studie von Baum et. al wurde bei Jugendlichen bereits nach einer zweiwöchigen Schlafzeitverkürzung auf 6.5 Stunden eine subjektiv beeinträchtigte Emotionsregulation beschrieben (Baum et al., 2014). Eine weitere Studie legte nahe, dass auch die erfolgreiche explizite Emotionsregulation mittels einer Regulationsstrategie mit der Schlafqualität zusammenhängt. In dieser Studie wurden 156 Teilnehmer dazu aufgefordert, ihre Emotionen aktiv (explizit) zu regulieren, während sie sich mehrere als traurig empfundene Filmausschnitte ansahen. Die Fähigkeit nach einem traurigen Film,

die selbstberichtete Traurigkeit mittels CRA im Vergleich zur Traurigkeit nach einem vorangegangenen neutralem Film zu verringern, war bei denjenigen Teilnehmenden geringer, die über eine schlechtere Schlafqualität in der vorangegangenen Woche berichtet hatten (Maus et al., 2013).

1.2.3 Soziale Ausgrenzung

Soziale Ausgrenzung oder Ablehnung durch wichtige Bezugspersonen (und sogar durch Fremde) ist ein Gefühl, das oft als schmerzhaft beschrieben wird (Baddam et al., 2016; MacDonald & Leary, 2005). In der englischsprachigen Forschungsliteratur wird meist der Begriff *ostracism*² verwendet, um Handlungen zu beschreiben, bei denen Menschen abgewiesen, ignoriert oder ausgeschlossen werden. Es wird angenommen, dass soziale Ausgrenzung grundlegende menschliche Bedürfnisse bedroht. Dazu gehören der Wunsch nach Zugehörigkeit, Selbstbewusstsein, Kontrolle und einer sinnerfüllten Existenz (Baumeister & Leary, 1995). In den letzten Jahren haben sich in der Forschungsliteratur Hinweise darauf angesammelt, dass die belastende Erfahrung der sozialen Ausgrenzung und die affektive Verarbeitung von körperlichen Schmerzen ähnliche Hirnregionen aktivieren (DeWall et al., 2010; Eisenberger & Lieberman, 2004; MacDonald & Leary, 2005). Tier- und Läsionsstudien haben zwei Komponenten der Wahrnehmung von körperlichem Schmerz identifiziert: Der sensorische Anteil körperlichen Schmerzes wird vorrangig im somatosensorischen Kortex verarbeitet, während der unangenehme und bedrückende Eindruck, d. h. die affektive Komponente, vorrangig vom Gyrus cinguli und der vorderen Insula verarbeitet wird (Treede et al., 1999). In einer maßgeblichen fMRT-Studie zu sozialer Ausgrenzung zeigten Teilnehmende während Exklusion aus einem virtuellen Ballspiel, dem *Cyberball*-Paradigma im Vergleich zur Inklusion eine höhere Aktivierung in den Hirnregionen, die an der Verarbeitung der affektiven Schmerzkomponente beteiligt sind (Eisenberger,

2 Dieser Begriff stammt aus einem Prozess im antiken Griechenland. Die Bürger des Stadtstaats Athen hatten einmal im Jahr die Möglichkeit an einem Prozess namens Ostrakismos teilzunehmen. Die Athener schrieben den Namen einer Person, die als unangenehm oder als potenzielle Bedrohung für die Gesellschaft erachtet wurde, auf eine Tonscherbe (*ostrakon*). Der Bürger, auf den die meisten Stimmen entfielen, wurde für einen Zeitraum von 10 Jahren aus der Stadt verbannt (Forsdyke, 2009). Auch in der deutschen Sprache versteht man unter dem Begriff „Scherbengericht“ politisch motivierte Aktionen, um sich unliebsamer Personen zu entledigen. In der Literatur werden Begriffe wie Ächtung, sozialer Ausschluss und soziale Zurückweisung oft austauschbar verwendet. Ihre psychologischen Unterschiede sind Gegenstand von Diskussionen; aus diesem Grund wird in der vorliegenden Arbeit der Begriff soziale Ausgrenzung verwendet.

2003). MacDonald & Leary stellten die Hypothese auf, dass soziale Lebewesen das bereits bestehende Netzwerk, um körperliche Gefahr abzuwenden, also das Schmerzwahrnehmungs-Netzwerk, erfolgreich für die Verarbeitung von Hinweisen für soziale Exklusion adaptiert haben (MacDonald & Leary, 2005). Dies führte zur Formulierung des Konzeptes des sozialen Schmerzes. Diese Annahme ist jedoch umstritten, da Hirnareale mit großer Sicherheit mehr als eine Funktion haben und die Tatsache, dass ein Hirnareal bei verschiedenen Prozessen aktiv ist nicht zwingend eine Gemeinsamkeit ebenjener bedeuten muss. Um kognitive Prozesse wie die Emotionsregulation oder Schmerzverarbeitung näher zu untersuchen, stützt man sich auf Messungen von Verhalten und neuralen Aktivierungen. Basierend auf diesen Beobachtungen können dann kausale Rückschlüsse auf die Art der zugrunde liegenden kognitiven Prozesse gezogen werden. Wenn aus beobachteter Hirnaktivierung auf das Vorhandensein eines bestimmten kognitiven Prozesses geschlossen wird, wird eine Art von Schlussfolgerung angewendet, die als Umkehrschluss (englisch: *reverse inference*) bezeichnet wird. Aus diesem Grund ist diese Erklärung für die ähnliche Aktivierung der Hirnareale während sozialer Ausgrenzung und bei der Schmerzverarbeitung auch umstritten und wird von einigen Wissenschaftlern als Beispiel für einen ungültigen Umkehrschluss angesehen (Iannetti et al., 2013).

Um die Effekte von sozialer Ausgrenzung zu untersuchen, entwickelte Williams ein mehrzeitliches Modell, welches auf der Bedrohung dieser Grundbedürfnisse basiert. Es beinhaltet die drei Phasen (1) reflexive Phase, (2) reflektive Phase und (3) Resignationsphase (Williams, 2009). Die reflexive Phase folgt sofort nach dem Erkennen von Hinweisen für soziale Exklusion und ruft unangenehme emotionale Reaktionen wie Wut und Traurigkeit hervor. In dem von Williams vertretenen Modell vermittelt die zeitlich nachfolgende reflektive Phase Verhaltensreaktionen und unterliegt im Gegensatz zur unmittelbaren reflexiven Phase einer Moderation durch Bewältigungsstrategien. Interindividuelle Dispositionen wie Unterschiede in der Ablehnungsempfindlichkeit (Downey et al., 2004), soziale Angst (Zadro et al., 2006), Selbstwertgefühl, Depression (Nezlek et al., 1997), Bindungsstil (DeWall et al., 2012) und situative Faktoren der Ausgrenzungserfahrung beeinflussen den Effekt der sozialen Ausgrenzung in diesem Stadium. Verhaltensreaktionen auf soziale Ausgrenzung beinhalten u. a

eine Beeinträchtigung der Selbstregulierung und verhindern so wahrscheinlich sozial wünschenswerteres Verhalten. Dabei verstärken sie möglicherweise die Gründe der Ausgrenzung (Baumeister et al., 2005). Verhaltensfolgen und neurale Aktivierungsmuster, die mit sozialer Ausgrenzung verbunden sind, sind bereits recht intensiv untersucht worden. Es gibt jedoch bislang nur wenige Untersuchungen zu kognitiven Wahrnehmungs- und Bewältigungsmechanismen sozialer Ausgrenzung (Williams, 2007).

In der experimentellen Erforschung sozialer Ausgrenzung wird häufig die von Williams entwickelte standardisierte computergestützte Aufgabe namens *Cyberball* verwendet. Mit diesem virtuellen Ballspiel-Paradigma können die neuralen und verhaltensbezogenen Auswirkungen der Exklusion untersucht werden (Williams & Jarvis, 2006). Dabei spielen die Versuchspersonen mit einem Computerprogramm, während sie glauben, dass sie mit zwei anderen menschlichen Mitspielern spielen. Durch Manipulation der Anzahl der Ballwürfe in Richtung der Versuchsperson im Computerprogramm kann der Grad der Teilhabe am Ballspiel kontrolliert werden. Somit können experimentell Inklusions- und Exklusionsbedingungen generiert werden. Das *Cyberball*-Paradigma wurde auch in dieser Arbeit zur Erzeugung einer realistischen sozialen Ausgrenzung verwendet.

1.3 Stand der Forschung: Neurokognitive Effekte von Schlafentzug

Experimenteller Schlafentzug verschlechtert die Stimmung und reduziert die motorische und kognitive Leistungsfähigkeit (Pilcher & Huffcutt, 1996). Auch höhere kognitive Funktionen wie z. B. Entscheidungsprozesse, werden durch Schlafentzug negativ beeinflusst (Harrison & Home, 2000).

Obwohl einzelne Schlafstadien wie REM und SWS offenbar in unterschiedlicher Weise an Affektstörungen beteiligt sind, ist die Rolle dieser Schlafstadien für die kognitive und emotionale Funktionsfähigkeit noch nicht gut verstanden. Um die Prozesse, die der Wechselwirkung zwischen Schlaf und Emotionen zugrunde liegen, besser zu verstehen, befasst sich die Forschung zunehmend mit den neuralen Mechanismen, die an der schlafabhängigen Emotionsverarbeitung beteiligt sind. Von besonderem Interesse sind hierfür die Amygdala, eine

Ansammlung von Kernen in den Temporallappen die an der Emotionsregulation beteiligt sind (Ochsner et al., 2002; Ochsner & Gross, 2005). In zwei ausgewählten fMRT-Studien wurde der Effekt von Schlafentzug auf die Aktivität der Amygdala untersucht:

In einer Studie von Yoo et. al wurde bei Teilnehmenden, die negative affektive Stimuli in Form von IAPS-Bildern (*International Affective Picture System*) betrachteten, die Aktivität der Amygdala mittels fMRT gemessen. Teilnehmende, die zuvor über 35 Stunden wachgehalten worden waren, zeigten eine um 60% höhere Aktivität der Amygdala im Vergleich zur Kontrollgruppe. Außerdem wurde eine verminderte funktionelle Kopplung des medialen präfrontalen Kortex (MPFC) mit limbischen Strukturen beobachtet. Es wird davon ausgegangen, dass der MPFC eine hemmende Kontrolle auf die Amygdala ausübt (Davidson, 2002). Daher wurde dieser Befund als Versagen der Top-Down-Kontrolle bei der Regulierung einer angemessenen emotionalen Reaktion nach Schlafentzug interpretiert (Yoo et al., 2007).

Simon et. al untersuchten den direkten Einfluss von Schlafentzug auf die neuronalen Korrelate der emotionalen Reaktivität am nächsten Tag. Teilnehmer wurden gebeten, sich nach einer Nacht Schlafentzug an bestimmte Zahlen zu erinnern, die auf ablenkenden negativen oder neutralen Bildern eingeblendet waren. Als Nebenfund war in dieser Studie eine Abnahme der anterioren cingulären Kortex (ACC)-Amygdala-Konnektivität³ mit einer geringen Menge REM-Schlaf in der Gewöhnungsnacht ohne Schlafintervention am Tag zuvor assoziiert. Dies wurde von den Autoren als möglicherweise spezifischen Effekt des REM-Schlafs auf die kognitive Kontrolle von Emotionen interpretiert (Simon et al., 2015).

Da diese Studien vollständigen Schlafentzug anwendeten, lässt sich der Effekt von mangelndem REM-Schlaf nicht genau differenzieren. Es ist jedoch bereits bekannt, dass während des REM-Schlafs insbesondere emotionale Erinnerungen im Gedächtnis verankert werden. Wiesner et. al verglichen die Auswirkungen von REM-Schlaf Entzug, SWS-Entzug und eines wach verbrachten Intervalls auf die Konsolidierung emotionaler und neutraler

³ Funktionelle Konnektivität bezeichnet die zeitliche Abhängigkeit der neuronalen Aktivierungsmuster von anatomisch unterschiedlichen Hirnregionen

Erinnerungen. In dieser Studie wurden 62 Teilnehmende in 3 Gruppen aufgeteilt (REM-Entzug, SWS-Entzug und Durchwachen), bei denen dann im Schlaflabor REM oder SWS (je nach Gruppe) unterdrückt wurde. Die dritte Gruppe wurde die Nacht wachgehalten. Am nächsten Morgen zeigte sich, dass Teilnehmende sich besser an negative als an neutrale Bilder vom Vortag erinnern konnten. Diese bessere Gedächtniskonsolidierung negativer Bilder war in der SWS-reduzierten Gruppe am stärksten ausgeprägt und korrelierte hier mit dem REM-Anteil. Dies ist ein Beleg dafür, dass die bessere Konsolidierung negativer Erinnerungen im Gedächtnis v. a. in REM-Schlafstadien stattfindet. Es fanden sich in dieser Studie jedoch keine Hinweise, dass REM-Schlaf die affektive Komponente der emotionalen Bilder über Nacht abschwächt⁴ (Wiesner et al., 2015).

In einer fMRT-Studie von van der Helm et. al wurden Teilnehmenden affektive Stimuli in Form von IAPS-Bildern, vor und nach einem 12-stündigen Intervall, präsentiert. Bei Teilnehmenden, die in diesem Intervall schliefen, wurde eine Verminderung der neuralen Aktivität der Amygdala (mittels fMRT) sowie der subjektiven emotionalen Intensität der Bilder bei der zweiten Betrachtung beobachtet. Für die Gruppe, die 12 Stunden wachblieb, fand sich keine Abschwächung der subjektiven Bewertung jener Bilder und zudem ein Anstieg der Aktivität der Amygdala. Die neurale und subjektive Abschwächung der emotionalen Reaktion in der Schlafgruppe war mit einem EEG-Parameter assoziiert, welcher stellvertretend für reduzierte adrenerge Aktivität steht. Da reduzierte adrenerge Aktivität ein Charakteristikum von REM-Schlaf ist, führten die Autoren die Abschwächung der neuralen und subjektiven emotionalen Reaktion spezifisch auf dieses Schlafstadium zurück (van der Helm et al., 2011).

In einer Studie von Rosales-Lagarde wurden Teilnehmenden verschiedene IAPS Bilder nach einer Gewöhnungsnacht und nach einer Interventionsnacht präsentiert. In der Interventionsnacht wurde bei einer Gruppe eine selektive REM-Schlaf Unterdrückung, bei der zweiten Gruppe eine ähnliche Anzahl von Weckungen lediglich in NREM-Stadien durchgeführt. Der IAPS-Datensatz

4 Walker und van der Helm stellten 2009 das sleep-to-remember-sleep-to-forget (SFSR) Modell auf. Dieses besagt, dass REM-Schlaf einerseits die Konsolidierung emotionaler Erinnerungen im Gedächtnis unterstützt und andererseits die affektive Komponente (die Valenz) der Erinnerung über Nacht abschwächt (Walker & van der Helm, 2009) . Diese Hypothese wird allerdings kontrovers diskutiert. Während die REM-Schlaf abhängige Konsolidierung emotionaler Erinnerungen in Studien oft nachgewiesen wurde (Groch et al., 2013), ließen sich für die Abschwächung der „affektiven Ummantelung“ durch REM oft keine Hinweise finden (Wiesner et al., 2015).

bestand sowohl aus Bildern, die eine Bedrohung für den Betrachter oder einen Dritten darstellten, als auch neutralen Bildern. Die Teilnehmenden wurden angewiesen, sich in die Szene hineinzusetzen und zu entscheiden, ob sie sich entweder verteidigen oder nicht verteidigen würden. Die REM-unterdrückte Gruppe, bei der der REM-Schlaf auf durchschnittlich 4.03% der Gesamtschlafzeit reduziert wurde, entschied sich nach der Interventionsnacht häufiger als nach der Gewöhnungsnacht und signifikant häufiger als die NREM-unterdrückte Gruppe für eine Verteidigung. In der fMRT zeigten sich während der Aufgabe Aktivierungen in präfrontalen und temporalen Hirnarealen, die an der Emotionsregulation beteiligt sind (Mitchell, 2011). Diese zeigten in der NREM-unterdrückten Gruppe eine geringere Aktivität beim zweiten Durchlauf der Aufgabe nach der Versuchsnacht, wurden in der REM-unterdrückten Gruppe jedoch auf dem gleichen Niveau wie zuvor reaktiviert. Diese Ergebnisse deuteten darauf hin, dass das gleiche Niveau der Hirnaktivierung erforderlich war, um die Aufgabe ein zweites Mal in Abwesenheit von REM-Schlaf angemessen auszuführen und wurde von den Autoren als kompensatorischer Prozess in Abwesenheit von REM-Schlaf oder als verminderter Informationsfluss innerhalb des Gehirns nach REM-Entzug interpretiert (Rosales-Lagarde et al., 2012).

Zusammengefasst lässt sich zum Forschungsstand sagen, dass Schlafentzug die Aktivität der Amygdala und weiterer Regionen des limbischen Systems bei der Verarbeitung von verschiedenen Aufgaben beeinflusst. Studien, in denen selektiv Schlafstadien unterdrückt wurden, belegten u. a., dass negative Erinnerungen abhängig von REM-Schlaf im Gedächtnis konsolidiert werden (Wiesner et al., 2015) und ein Mangel an REM-Schlaf zu einem erhöhten Bedrohungsgefühl führen kann (Rosales-Lagarde et al., 2012).

1.4 Fragestellung der Arbeit

Der Einfluss von selektiver REM-Schlaf Unterdrückung auf die Emotionalität am nächsten Morgen und eine explizite Form der Emotionsregulation wurde bislang nicht erforscht und soll in der vorliegenden Arbeit mittels des interaktiven *Cyberball*-Paradigmas erstmals untersucht werden. Ziel der Arbeit war es zu untersuchen, wie REM-Schlaf die emotionale Reaktivität am Folgetag und die damit verbundenen Prozesse der Emotionsregulation beeinflusst. Nachdem

bereits für milde, selbstberichtete Störungen der allgemeinen Schlafqualität Beeinträchtigungen der Emotionsregulation gezeigt werden konnten, soll nun der spezifische Einfluss des REM-Stadiums auf die Emotionsregulation untersucht werden.

Auf der Verhaltensebene wurde die Hypothese aufgestellt, dass selektiver REM-Schlafentzug (im Vergleich zu SWS-Entzug und normalem Nachtschlaf) zu stärker ausgeprägter negativer Stimmung am Folgetag sowie zu vermehrten negativen Emotionen während sozialer Ausgrenzung führt und überdies die Fähigkeit vermindert, negative Emotionen währenddessen effektiv zu regulieren. Auf der neuralen Ebene sollte untersucht werden, ob REM-Schlafentzug im Vergleich zum SWS-Entzug und Normalschlaf zu einer in der fMRT veränderten Aktivität in Hirnregionen des limbischen Systems während der sozialen Ausgrenzung führt. Angesichts der Tatsache, dass viele affektiven Störungen gleichzeitig auftretende Schlafstörungen und Veränderungen des REM-Schlafs aufweisen, ist es wichtig, ein besseres Verständnis für die Rolle des REM-Schlafs bei der Emotionsregulation zu gewinnen. Dazu soll die vorliegende Arbeit einen Beitrag leisten.

2 Methoden

2.1 Teilnehmende

Personen, die per E-Mail ihr Interesse bekundet hatten, an der Studie teilzunehmen, wurden zunächst auf das Vorhandensein von Ausschlusskriterien befragt und über den Studienablauf informiert. Die Ausschlusskriterien sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Ausschlusskriterien

-	Alter unter 18 oder über 30 Jahren
-	vorherige Teilnahme an ähnlichen Studien
-	Vorkenntnisse des Studiendesigns
-	Psychische oder neurologische Erkrankungen in der Vorgeschichte
-	Körperliche Erkrankungen, die nach Art und Schwere mit den geplanten Untersuchungen interferieren, Einfluss auf die zu untersuchenden Parameter haben können, oder die Teilnehmenden während des Untersuchungsablaufes gefährden könnten
-	Schwangerschaft
-	Drogen- oder Alkoholmissbrauch
-	Akute Suizidalität
-	Kontraindikationen für die Durchführung einer fMRT-Untersuchung (z. B. Metallteile im Körper)
-	Bekannte Ein- oder Durchschlafstörungen
-	Linkshändigkeit
-	Fehlende Einwilligungs-, Einsichts- und Aufklärungsfähigkeit sowie beschränkte oder aufgehobene Geschäftsfähigkeit
-	BMI unter 18 kg/m ² oder über 30 kg/m ²
-	Intelligenzquotient unter 85

Insgesamt 45 Personen wurden zunächst zur Teilnahme am Experiment eingeladen (28 weiblich, 17 männlich, Durchschnittsalter (Jahre) = 23.69, $SD = 2.67$), gaben vor der Teilnahme an der Studie eine schriftliche Einverständniserklärung ab und erhielten eine Aufwandsentschädigung in Höhe von 100€ für ihre Teilnahme. Alle Teilnehmenden wurden an der Philipps-Universität Marburg rekrutiert, sprachen fließend Deutsch und hatten normales oder korrigiertes Sehvermögen. Bei keinem der Teilnehmenden bestanden neurologische oder psychiatrische Erkrankungen (gegenwärtig und in der Vergangenheit), aktueller Alkohol- oder Drogenmissbrauch, die Einnahme von Psychopharmaka (gegenwärtig und in der Vergangenheit), anatomische Anomalien des Gehirns (z. B. Läsionen, Schlaganfälle usw.) oder Schlafstörungen.

Aus technischen Gründen lagen für 3 Teilnehmende keine oder unzureichende polysomnographischen ($n = 1$) oder fMRT-Daten ($n = 2$) vor, die daher nicht in die Endanalysen einbezogen wurden. Die endgültige Stichprobe bestand somit aus 42 Teilnehmenden (27 weiblich, 15 männlich, Durchschnittsalter = 23.76, $SD = 2.74$).

Um die Anonymität der Teilnehmenden zu gewährleisten, wurde ihnen zu Beginn ein Code zugewiesen. Alle im Studienverlauf erhobenen Daten wurden lediglich unter diesem Code gespeichert. Die Zuordnung der Teilnehmenden zu den Codes war über eine Schlüsselliste möglich, die nach Abschluss der Datenerhebung vernichtet wurde. Die Teilnehmenden wurden nach dem Zufallsprinzip einer von drei Gruppen zugeordnet, die sich hinsichtlich des Schlafentzugsprotokolls in der Versuchsnacht unterschieden (d. h. entweder REMD, SWSD oder CTL, siehe Abbildung 3). Die Gruppen unterschieden sich nicht im Hinblick auf Alter (CTL: $M = 24.00$, $SD = 3.12$; REMD: $M = 23.06$, $SD = 2.22$; SWSD: $M = 24.60$, $SD = 2.91$; $F_{(2,39)} = 1.09$, $p = .346$) oder Geschlecht (CTL: 8 weiblich, 7 männlich; REMD: 12 weiblich, 5 männlich; SWSD: 7 weiblich, 3 männlich; $\chi^2_{(2,42)} = 1.22$, $p = .543$).

2.2 Studiendesign

Die Studie wurde als 3x2x2-mehrfaktorielles Design konzipiert. Die Faktoren waren 3 verschiedene Gruppen, die sich bezüglich der Manipulation im Schlaflabor unterschieden (REMD, SWSD, CTL), 2 verschiedene Sessions in der fMRT-Untersuchung, die von allen Teilnehmenden nacheinander durchlaufen wurden sowie Inklusions- und Exklusionsbedingungen (INC, EXC) innerhalb jeder Session, die jeweils zweimal von jedem Teilnehmenden durchlaufen wurden. In der ersten Session erfuhren die Teilnehmenden keine zusätzlichen Anweisungen (VIEW-Session), während sie in der folgenden Session aufgefordert wurden ihre Emotionen zu regulieren (REAP-Session). In der REMD Gruppe wurde in der Versuchsnacht der REM-Schlaf Anteil durch Weckungen in dieser Schlafphase reduziert, in der SWSD Gruppe wurde gleichermaßen der Anteil der Tiefschlafphase (SWS) reduziert. Die Kontrollgruppe (CTL) erfuhr keine Weckungen in der Versuchsnacht. Am Abend vor und am Morgen nach den Nächten im Schlaflabor wurden die Teilnehmenden gebeten den PANAS-

Fragebogen für positive und negative affektive Zustände auszufüllen. Eine Darstellung des Studiendesigns findet sich in Abbildung 3.

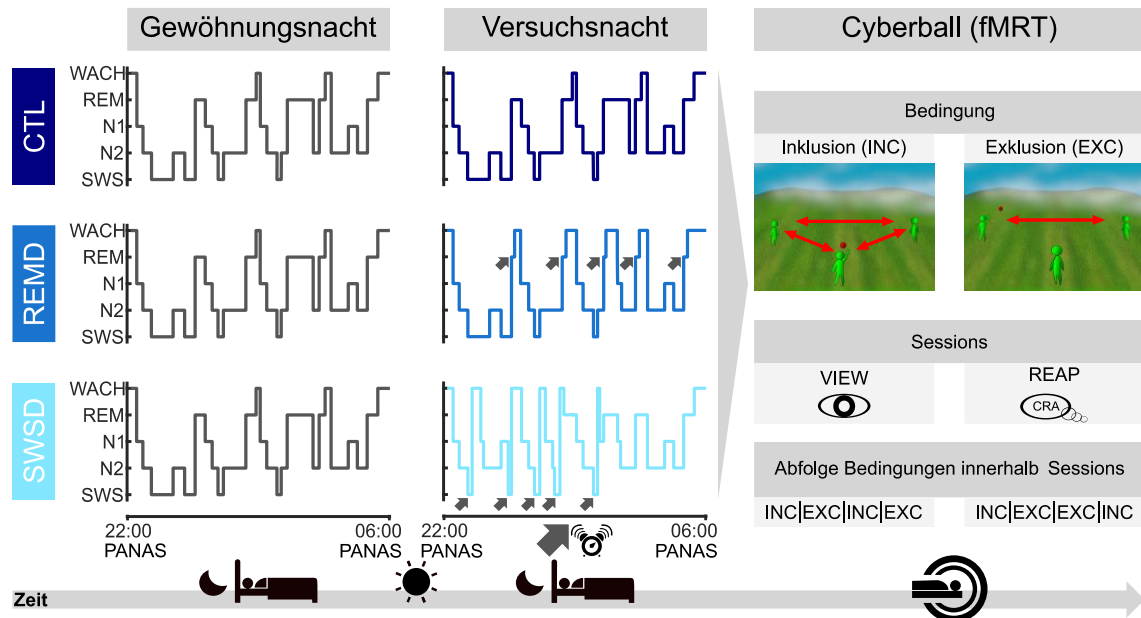


Abbildung 3: Studiendesign und Versuchsablauf

Teilnehmende der drei Gruppen CTL, REMD und SWSD verbrachten zwei aufeinanderfolgende Nächte im Schlaflabor. Die Weckungen in der Versuchsnacht beim Erreichen des jeweiligen Schlafstadiums sind exemplarisch durch Blockpfeile dargestellt. Am nächsten Morgen spielten sie im fMRT-Scanner das *Cyberball*-Paradigma (rechter Teil der Abbildung). Die Ballwürfe zwischen dem Teilnehmenden (am unteren Bildrand) und den programmierten Avataren (auf der horizontalen Achse) sind durch rote Blockpfeile dargestellt.

2.3 Versuchsablauf

2.3.1 Schlafentzugsprotokoll

Die Teilnehmenden kamen für zwei aufeinanderfolgende Nächte ins Schlaflabor – für eine Gewöhnungsnacht und eine anschließende Versuchsnacht. Der Zweck der Gewöhnungsnacht war es, die Teilnehmenden mit dem Aufnahmeverfahren der PSG vertraut zu machen und sich an die Umgebung im Schlaflabor zu gewöhnen. Während beider Nächte wurde eine PSG zur Überwachung und Identifizierung der Schlafphasen aufgezeichnet (siehe Tabelle 2). Pro Nacht wurden maximal drei Teilnehmende in das Schlaflabor eingeladen. Bei der Ankunft in der Gewöhnungsnacht wurden die Teilnehmenden über den Ablauf der Studie informiert und gaben die schriftliche Einverständniserklärung ab.

Im Schlaflabor betraten die Teilnehmenden einen voll ausgestatteten Einzelschlafrum für die PSG, bestehend aus Elektroenzephalographie (EEG), Elektrookulogramm (EOG), Elektromyogramm des Kinnmuskels (EMG) und Pulsoxymetrie unter Verwendung des EMBLA N7000 Systems (TNI-Medical, Würzburg). Das EEG-System hatte 9 Elektroden, die nach dem 10-20-System unter Berücksichtigung der Richtlinien der American Academy Of Sleep Medicine (AASM; Berry et al., 2015) positioniert und an den folgenden Positionen angebracht wurden: F3, F4, C3, Cz, C4, O1, O2, M1 und M2. Die Extremitätenbewegungen wurden mit einer Infrarotkamera aufgezeichnet.

Der Versuchsleiter schaltete um 22 Uhr das Licht aus und bat die Teilnehmenden, zu versuchen einzuschlafen. Falls eine Fehlfunktion der PSG-Kurven beobachtet wurde, betrat der Versuchsleiter den Raum, schaltete kurz das Licht ein und brachte die entsprechende Elektrode wieder korrekt an. Um 6 Uhr morgens wurde das Licht eingeschaltet, die Teilnehmenden wurden geweckt und die Elektroden entfernt.

Nach der ersten Nacht ohne Interventionen (Gewöhnungsnacht) konnten die Teilnehmende den Tag wie gewohnt verbringen, wurden jedoch gebeten, auf Mittagsschlaf, Rauchen und den Konsum von anregenden Nahrungsmitteln und Getränken (z. B. Kaffee, Tee, Energy-Drinks) zu verzichten.

In der darauffolgenden zweiten Nacht (Versuchsnacht) wurden die Teilnehmenden der REMD und SWSD Gruppen in der jeweiligen Zielschlafphase geweckt um den Anteil des REM- bzw. SWS-Schlafstadiums am Gesamtschlaf zu verringern. Hierzu startete der Versuchsleiter einen Piepton (80 dB, 500 Hz, 500ms; (Nielsen et al., 2010)) über einen Lautsprecher im Schlafrum, sobald die PSG-Kurven anzeigten, dass der Teilnehmende in die jeweilige Zielschlafphase (REM bzw. SWS) eingetreten war. Die Weckungen der SWSD Gruppe wurden selektiv während des non-REM-Stadiums N3 (definiert gemäß den Richtlinien der AASM) durchgeführt. In der REMD Gruppe wurden die Teilnehmenden geweckt, sobald sie das REM-Stadium erreichten. Die Kontrollgruppe (CTL) wurde nicht experimentell geweckt. Nach dem Erwachen wurden die Teilnehmenden 90 Sekunden lang wachgehalten. Falls die Teilnehmenden nicht aufwachten, wurde die Lautstärke des Pieptons erhöht, und schlussendlich betrat der Versuchsleiter den Raum und schaltete das Licht ein,

um sicherzustellen, dass die Zielschlafphase unterbrochen wurde. Zur Kontrolle der Anzahl und Dauer der Weckungen wurden beide Schlafentzugsgruppen während der Versuchsnacht ähnlich häufig geweckt. Neben den experimentellen Weckungen wurden u. U. auch einige wenige Weckungen aufgrund technischer Probleme der PSG oder körperlicher Bedürfnisse der Teilnehmenden durchgeführt. Die PSG-Aufnahmen wurden von einem erfahrenen Schlaftechniker im Schlaflabor der Klinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde der Universität zu Lübeck nach den Richtlinien der AASM unter Verwendung der Software *Somnologica* 3.3.1 (Build 1529) ausgewertet. Dem Techniker waren die Gruppenzuweisungen der Teilnehmenden und Hypothesen der Studie nicht bekannt.

Am Morgen nach der Versuchsnacht wurden die Teilnehmenden zum fMRT-Scanner gebracht, wo sie die experimentelle Aufgabe absolvierten (siehe Kapitel Versuchsablauf im fMRT-Scanner). Die fMRT-Untersuchung begann zwischen 7 Uhr und 10 Uhr (im Mittel um 08:16 Uhr).

2.3.2 Erhebung der Stimmung mit PANAS-Fragebogen

Der PANAS Fragebogen (*Positive and Negative Affect Schedule*) wurde für beide Nächte kurz vor dem Schlafengehen und nach dem Aufwachen von allen Teilnehmenden ausgefüllt. Der PANAS ist ein Fragebogen im Likert-Stil, der sich aus zwei 10-Punkte-Stimmungsskalen für positive und negative affektive Zustände zusammensetzt. Die Teilnehmenden wurden gebeten, für die Liste von insgesamt 20 Wörtern (z. B. gereizt, aufmerksam, nervös, freudig erregt) zu bewerten, wie treffend jedes Wort sie im Moment beschreibt. Die Antwortskala enthält fünf Kategorien, die wie folgt gekennzeichnet sind: 1 = “gar nicht“, 2 = “ein bisschen“, 3 = “einigermaßen“, 4 = “erheblich“, 5 = “äußerst“. Für die Dimensionen negativer Affekt und positiver Affekt konnten dann Werte errechnet werden, wobei ein höherer Wert für ein größeres Ausmaß der jeweiligen Dimension spricht (Breyer & Bluemke, 2016).

2.3.3 Versuchsablauf im fMRT-Scanner

Am Morgen nach der Versuchsnacht wurden die Teilnehmenden zum fMRT Scanner begleitet. Im Scanner wurden sie über einen Bildschirm informiert,

dass sie ein virtuelles Ballwurfspiel mit zwei anderen Personen spielen würden (siehe Abbildung 4). Hierzu wurde das *Cyberball*-Paradigma verwendet.⁵

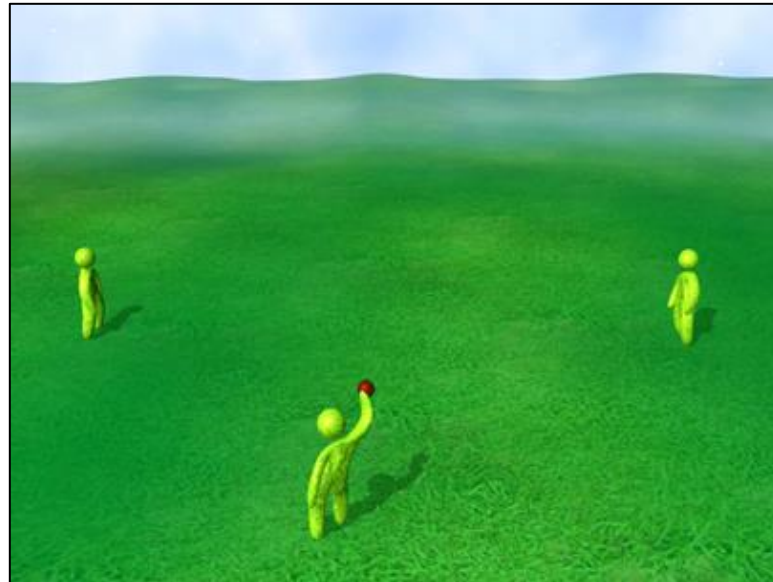


Abbildung 4: Darstellung des verwendeten *Cyberball*-Paradigmas.

Der Avatar des Teilnehmenden (mittig unten) hat den Ball erhalten und kann ihn wahlweise zum rechten oder linken (computergesteuerten) Avatar spielen.

Zu Beginn baute sich eine kurze Sequenz von Textzeilen auf dem Bildschirm auf, die besagte, dass der Computer mit einem Spielserver der Universität, auf dem das Experiment durchgeführt wurde, verbunden würde. Dazu gehörte die Aufforderung zur Eingabe einer IP-Adresse sowie die Angabe, wie viele Spieler im Spiel angemeldet waren. Ziel dieser Abläufe war es, den Teilnehmenden zu suggerieren, dass sie das Ballspiel mit zwei anderen Personen, die in benachbarten Räumen sitzen, spielten. In Wirklichkeit wurden die Handlungen der anderen beiden Spieler jedoch von einem programmierten Computer-Skript festgelegt. Anschließend führten die Teilnehmenden eine kurze Trainingseinheit durch, die aus sieben Versuchen bestand, in denen sie den Ball dreimal erhielten und warfen. Alle drei Spieler, einschließlich des Teilnehmenden, wurden durch Avatare, d. h. grüne, 3D-animierte Figuren, die in einer Dreiecksformation auf einem Rasen stehen, dargestellt (siehe Burgdorf et al., 2016 für eine detaillierte

⁵ Anschließend nahmen die Teilnehmenden an einem zweiten Paradigma teil, das IAPS-Bilder zur Untersuchung der Regulation von Grundemotionen beinhaltete, aber in der vorliegenden Arbeit nicht weiter beschrieben wird.

Beschreibung der Animation). Die Teilnehmenden konnten die Ballwürfe ihres Avatars am unteren Rand des Bildschirms über eine Schaltfläche mit vier Knöpfen in ihrer rechten Hand steuern. Die anderen beiden Avatare waren links und rechts auf der horizontalen Mittellinie des Bildschirms platziert. Die Namen des Teilnehmenden und der beiden anderen Spieler wurden neben dem jeweiligen Avatar angezeigt. Bei jedem Wurf wurde durch einen kurzen Satz am unteren Bildschirmrand angezeigt, wer den Ball zu wem geworfen hatte. Wenn einer der Computer-gesteuerten Avatare den Ball hatte, warteten sie eine zufällige Zeit zwischen 1000 und 2000 ms, bevor sie den Ball warfen. Die Teilnehmenden hatten 2000 ms Zeit, um zu entscheiden, wohin der Ball geworfen werden sollte. Falls sie zu langsam reagierten, wählte der Computer zufällig aus, welcher der anderen Avatare den Ball erhalten würde. Die Dauer eines jeden Wurfes betrug 750 ms und wurde durch eine Serie von 40 Einzelbildern visualisiert, die einen Avatar bei einer Wurfbewegung und den roten Ball, der von einem Avatar zum fangenden Avatar fliegt, zeigte, wobei der letztere seinen Arm bewegte, um den Ball zu fangen. Die Teilnehmenden wurden gebeten, den linken Knopf zu drücken, sobald sie bereit waren. Danach wurde eine kurze Pause eingelegt, die zufällig zwischen 1500 und 2500 ms variierte und die Teilnehmende wurden angewiesen, zu warten, bis die anderen beiden Spieler ihre Bereitschaft signalisiert hatten. Nach Erscheinen eines Fixierungskreuzes für die Dauer einer Sekunde startete der erste Block.

Das *Cyberball*-Paradigma setzte sich aus zwei Sessions zusammen, die jeweils aus vier Blöcken bestanden. Vor jedem der insgesamt acht Versuchsblöcke wurde 1500 ms lang eine Textzeile auf dem Bildschirm präsentiert, die den Teilnehmenden mitteilte, dass eine neue Runde beginnen würde. In jedem Block wurden maximal 24 Ballwürfe durchgeführt. In zwei Blöcken jeder Session wurden die Teilnehmenden in das Spiel einbezogen und erhielten während des gesamten Blocks wiederholt den Ball (Einschlussblöcke, INC). In den INC Blöcken hatten sie die Möglichkeit, den Ball acht oder neun Mal durch Anklicken der Schaltfläche mit dem Zeigefinger (linker Spieler) oder Mittelfinger (rechter Spieler) zu einem der anderen Avatare zu werfen. In den anderen beiden Blöcken der Session (Ausschlussblöcke, EXC) wurde das Paradigma, nachdem die Teilnehmenden den Ball drei- oder viermal erhalten hatten, so programmiert, dass die beiden Avatare den Ball nur noch zwischen sich hin- und herwarfen und

damit die Teilnehmenden effektiv von der Teilhabe am Ballwurfspiel ausschlossen.

Nach vier Blöcken, in denen die Teilnehmenden ohne zusätzliche Anweisungen am *Cyberball*-Paradigma teilnahmen (VIEW-Session), folgte die zweite Session des Paradigmas. In der zweiten, ebenfalls vier Blöcke umfassenden, Session wurden die Teilnehmenden durch einen kurzen Bildschirmtext angewiesen, ihre Emotionen während des Spiels durch kognitive Neubewertung (englisch: *cognitive reappraisal*) zu regulieren (REAP-Session). Die Teilnehmenden wurden gebeten, "die Situation neu zu bewerten, falls negative Emotionen auftreten sollten". Damit einher ging die Anweisung, "am Spiel teilzunehmen und zu versuchen, die Situation so anschaulich wie möglich zu visualisieren", die ebenfalls vor der ersten Session präsentiert worden war.

In jeder Session durchliefen die Teilnehmenden zwei Ein- und zwei Ausschlussblöcke, wobei der erste Block jeder Session immer ein Einschlussblock war. In einer Session wechselten sich Ein- und Ausschlussblöcke ab, in der anderen folgten auf den anfänglichen Einschlussblock zwei aufeinander folgende Ausschlussblöcke und ein abschließender Einschlussblock. Die Blockreihenfolge in den VIEW- und den REAP-Sessions wurde über alle Teilnehmende hinweg ausbalanciert. Im Durchschnitt dauerten EXC-Blöcke 50.93 s ($SD = 0.62$) und INC-Blöcke 45.87 s ($SD = 2.21$).

Nach jedem Block wurden die Teilnehmende gebeten, zu bewerten, wie sehr sie sich im vorangegangenen Block sozial ausgegrenzt gefühlt hatten. Außerdem wurden sie gebeten zu bewerten, wie sie den vorhergehenden Block in Bezug auf die Emotionen Traurigkeit, Wut und Scham empfanden. Diese drei Bewertungen waren Distraktoren, um die Zielsetzung der Studie zu verschleiern und wurden nicht ausgewertet. Jede Bewertungsmöglichkeit wurde anhand einer 9-Punkte Likert-Skala angezeigt, die von 0 (überhaupt nicht) bis 8 (sehr viel) reichte. Jede Emotion wurde mit einer Reihe von Wörtern beschrieben (für Traurigkeit: traurig, niedergeschlagen, düster; für Wut: wütend, gereizt, zornig; für Scham: beschämt, verlegen; für das Gefühl sozialer Ausgrenzung wurde das untere Ende der Skala als zurückgewiesen/verachtet und das obere Ende als akzeptiert/vertraut bezeichnet). Jede Bewertung wurde auf 4 (d. h. eine neutrale

Bewertung) voreingestellt. Die Teilnehmenden verwendeten die rechte oder linke Antworttaste, um die Bewertung auf höhere bzw. niedrigere Werte zu verschieben. Die Antwortzeit für die Bewertungen war auf vier Sekunden begrenzt. Zwischen jeder Bewertung und dem Start des nächsten Blocks innerhalb einer Session gab es eine kurze Pause, die zwischen 4.3 bis 5.3 s variierte. Die Emotionsbewertungen für jede Bedingung (EXC, INC) und Emotionsregulations-Session (VIEW, REAP) wurden für alle Teilnehmenden gemittelt und mithilfe von Varianzanalysen mit wiederholten Messungen analysiert (rmANOVA).

2.4 fMRT Daten

2.4.1 Erhebung und Vorverarbeitung

In jeder der beiden experimentellen Sessions (VIEW und REAP Session) wurden 130 funktionelle Bilder von einem 3T MRT-Scanner (Siemens Trio, Erlangen) aufgenommen, von denen die ersten drei verworfen wurden, um eine Äquilibration der T1-Sättigungseffekte zu ermöglichen. Die Bilder bestanden aus je 36 aufsteigenden, nahezu axialen Schnitten (Voxelgröße = $3 \times 3 \times 3$ mm, 10% Zwischenschichtabstand, Sichtfeld (FOV) = 192 mm) und wurden mit TR = 2200 ms, TE = 30 ms, FA = 90° aufgenommen. Zusätzlich wurde ein hochauflösendes anatomisches T1-Bild aus 176 Schnitten aufgenommen (Voxelgröße = $1 \times 1 \times 1$ mm, FOV = 256 mm, TR = 1900 ms, TE = 2,52 ms, FA = 9°).

Die fMRT-Daten wurden mit SPM12 in Matlab (Version R2019b) vorverarbeitet und statistisch ausgewertet. Die funktionellen MRT-Bilder aus jeder Session des *Cyberball*-Paradigmas wurden relativ zur mittleren Schicht für zeitliche Differenzen der Schichtakquisition korrigiert. Zudem wurden die Bilder räumlich zueinander ausgerichtet, um Differenzen auszugleichen, die durch Kopfbewegungen zustande gekommen waren (Realignment). Anschließend wurde die räumliche Normalisierung auf das MNI-Gehirn⁶ (*Montreal Neurological Institute*) anhand des *unified segmentation* Algorithmus in SPM12 durchgeführt

6 Das MNI definierte ein repräsentatives Gehirn der Bevölkerung, indem eine große Anzahl MRT-Datensätze von verschiedenen Personen so skaliert wurden, dass sie bestimmten anatomischen Orientierungspunkten entsprechen. Anschließend wurden diese Bilder gemittelt und als Standard-Gehirn festgelegt.

(Ashburner et al., 2020), indem die Vorwärtsdeformationsfelder aus dem mittleren funktionellen Bild geschätzt und auf die neu ausgerichteten funktionellen Bilder angewendet wurden. Diese räumlich normalisierten Bilder wurden dann auf eine Voxelgröße von $2 \times 2 \times 2$ mm geschnitten und mit einer isotropen Gauß-Funktion von 8mm Halbwertsbreite (FWHM, *Full Width at Half Maximum*) räumlich geglättet. Um das Signal-Rausch-Verhältnis zu verbessern wurden niedrige Frequenzen durch "Scanner-Drifts" und physiologische Einflüsse wie Veränderungen des Stoffwechsels mit einem 1/256 Hz Hochpass-Filter entfernt.

2.4.2 Datenauswertung

Die vorverarbeiteten funktionellen Bilder wurden mit einem Zwei-Ebenen Mixed-Effects-GLM-Verfahren statistisch ausgewertet. Für jeden Teilnehmenden wurde ein statistisches Modell spezifiziert, das Daten aus beiden experimentellen Sessions enthielt. Für jede Session wurden die INC-, EXC- und Rating-Phasen als Regressoren modelliert und die sechs Parameter des räumlichen Realignments als Kovariaten aufgenommen, um die funktionellen Bilder statistisch um Varianz zu bereinigen, die auf Kopfbewegungen zurückzuführen ist. Die Kontrastbilder der einzelnen Teilnehmenden wurden dann in einem Random-Effects-Modell auf der zweiten Ebene analysiert, um die Effekte von Bedingung und Session sowie die Unterschiede zwischen den drei Versuchsgruppen zu untersuchen.

Um die Analysen auf Hirnregionen des limbischen Systems zu fokussieren, die mit der Verarbeitung von Affekt assoziiert sind (Lindquist et al., 2016), wurde eine ROI-Maske des limbischen Systems mit Hilfe des Pickatlas der Wake Forest University erstellt (Lancaster et al., 1997, 2000; Maldjian et al., 2003, 2004). Diese Maske umfasste den anterioren cingulären Kortex (ACC), die Insula, den Hippocampus sowie die Amygdala.

2.5 Auswertung und Statistik

Die statistischen Analysen wurden mit den Programmen JASP (JASP Team, 2020) und SPSS (IBM Corporation, 2020) durchgeführt. Die durchschnittlichen Bewertungen des Gefühls sozialer Ausgrenzung für jeden Block und jede Session sowie die Anteile der verschiedenen Schlafphasen an der Gewöhnungsnacht und der Versuchsnacht wurden mittels Varianzanalyse (ANOVA) analysiert. An signifikante Interaktionen und Haupteffekte wurden paarweise Vergleiche angeschlossen. Das Alpha-Level wurde auf .05 gesetzt und mit der Bonferroni-Korrektur angepasst, falls mehrere Tests durchgeführt wurden. Alle p -Werte wurden auf die dritte Nachkommastelle gerundet. Als Maß der Effektstärke wurde η_p^2 verwendet (Rundung auf die dritte Nachkommastelle). Um die Hypothese zu testen, dass selektive REM-Schlaf Unterdrückung spezifisch das affektive Erleben und die damit verbundenen neuronalen Reaktionen verändern würde (Baran et al., 2012; U. Wagner, 2002), wurde ein geplanter Kontrast der REMD-Gruppe gegen die Gruppen CTL und SWSD durchgeführt.

3 Ergebnisse

3.1 Selektive REM-Schlaf Unterdrückung

Zuerst wurde überprüft ob es gelang selektiv das REM-Stadium in der REMD-Gruppe während der Versuchsnacht zu unterdrücken. In der Gewöhnungsnacht fand sich weder ein Haupteffekt der Gruppe ($F_{(2, 37)} = 1.640$, $p = .208$, $\eta_p^2 = .081$), noch unterschieden sich die Anteile des REM- und SWS-Schlafs an der Gesamtschlafzeit zwischen den Gruppen ($F_{(2, 37)} = 0.536$, $p = .590$, $\eta_p^2 = .028$). Demgegenüber gab es in der Versuchsnacht einen Haupteffekt der Gruppe ($F_{(2, 39)} = 5.527$, $p = .008$, $\eta_p^2 = .221$). Dabei ist wichtig, dass dieser Effekt durch das Schlafstadium (Interaktion Schlafstadium*Gruppe) moduliert wurde: $F_{(2, 39)} = 6.402$, $p = .004$, $\eta_p^2 = .247$).

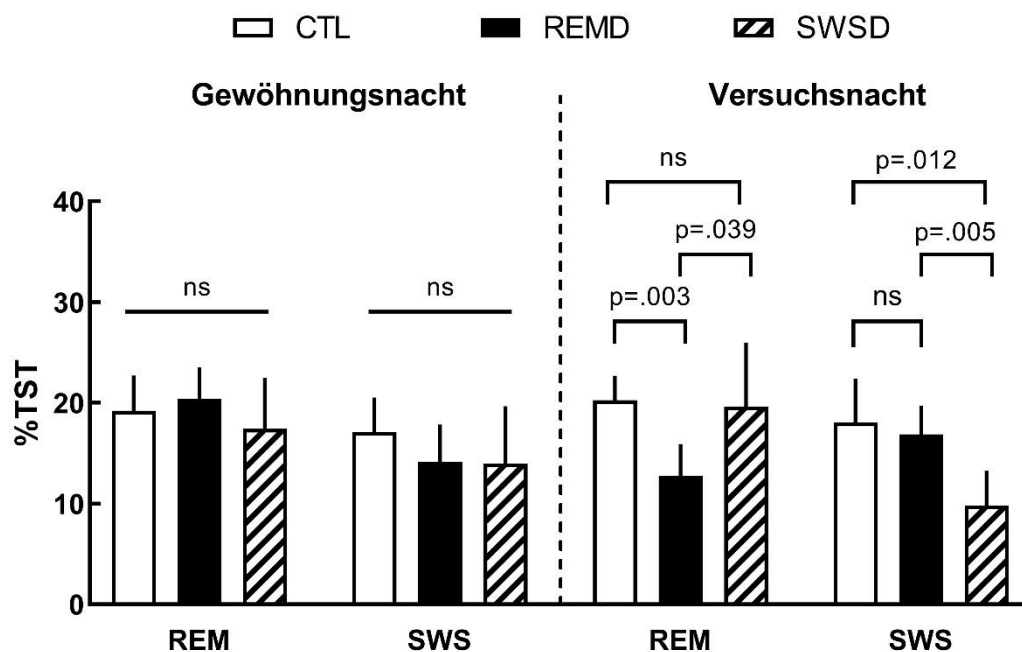


Abbildung 5: REM- und SWS-Anteil an der Gesamtschlafzeit (TST) in Gewöhnungs- und Versuchsnacht für jede Gruppe. ns = nicht signifikant, Linien = 95%-Konfidenzintervalle

Nachfolgende paarweise Vergleiche (siehe Abbildung 5) zeigen, dass die REMD-Gruppe während der Versuchsnacht einen niedrigeren REM-Schlafanteil aufwies als die beiden anderen Gruppen (REMD vs. CTL: $t_{(30)} = -3.919$, einseitiger $p = .003$; REMD vs. SWSD: $(t_{(25)} = -2.383$, einseitiger $p = .039$; Bonferroni-korrigiert), während sich CTL und SWSD nicht unterschieden ($t_{(23)} = 0.232$,

zweiseitiger $p = .819$). Darüber hinaus wies die SWSD-Gruppe einen niedrigeren SWS-Anteil als die beiden anderen Gruppen auf (SWSD vs. CTL: $t_{(23)} = -2.924$, einseitiger $p = .012$; SWSD vs. REMD: $t_{(25)} = -3.303$, einseitiger $p = .005$; Bonferroni-korrigiert), während sich REMD und CTL bezüglich des SWS-Anteils nicht unterschieden ($t_{(30)} = 0.489$, zweiseitiger $p = .629$).

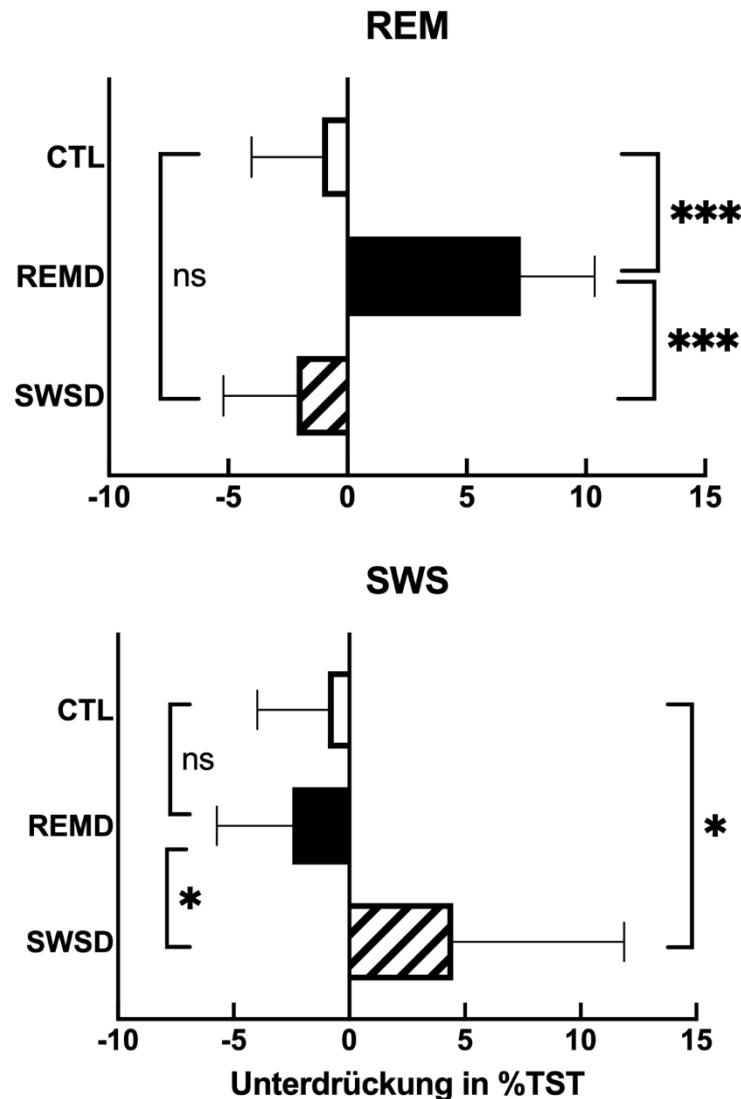


Abbildung 6: Effekt von selektivem Schlafentzug auf REM- (oben) und SWS-Schlaf (unten). Die Unterdrückungs-Scores für REM-Schlaf (REM) und SWS beziehen sich auf die absoluten Unterschiede zwischen dem Prozentsatz des jeweiligen Schlafstadiums in der Gewöhnungsnacht minus der Versuchsnacht. ***= $p < .001$, * = $p < .05$, ns = nicht signifikant, Linien = 95%-Konfidenzintervalle

Für die nachfolgenden Untersuchungen des Zusammenhangs zwischen REM-Schlaf und Emotionsregulation wurde ein REM-Unterdrückungs-Score (fortan abgekürzt als REMS-Score) als *%REM-Schlaf in der Gewöhnungsnacht minus*

der Versuchsnacht definiert und für jede Gruppe berechnet (d. h. ein positiver REMS-Score zeigt eine Reduktion des REM-Schlafanteils in der Versuchsnacht gegenüber der Gewöhnungsnacht an, siehe Abbildung 6). Hier zeigte sich ein signifikanter Effekt der Gruppe ($F_{(2,37)} = 13.21$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .42$), der auf eine erfolgreiche REM-Schlaf Unterdrückung in der REMD-Gruppe hinweist (paarweise Vergleiche: REMD>CTL: $t_{(29)} = 4.15$, einseitiger $p < .001$; REMD>SWSD: $t_{(23)} = 4.29$, einseitiger $p < .001$). SWSD und CTL unterschieden sich nicht signifikant in Bezug auf den REMS-Score ($t_{(22)} = 0.52$, zweiseitiger $p = 0.608$). Geplanter Kontrast REMD>andere Gruppen ($t_{(38)} = 5.17$, einseitiger $p < 0.001$).

Der Score der SWS-Unterdrückung (SWSS-Score), der analog zum REMS-Score berechnet wurde, verpasste knapp die statistische Signifikanz für Unterschiede zwischen den Gruppen ($F_{(2,37)} = 3.06$, $p = .059$, $\eta_p^2 = .14$), was darauf hinweist, dass die SWS-Unterdrückung weniger erfolgreich war (paarweise Vergleiche: SWSD>CTL $t_{(22)} = 1.77$, einseitiger $p = 0.046$; SWSD>REMD $t_{(23)} = 2.21$, einseitiger $p = .019$). CTL und REMD unterschieden sich hier nicht signifikant in Bezug auf den SWSS-Score $t_{(29)} = 0.73$, zweiseitiger $p = .472$).

Die Anzahl der experimentellen Weckungen ($t_{(25)} = 0.15$, zweiseitiger $p = 0.88$) und der Gesamtweckungen (Weckungen aufgrund technischer Probleme berücksichtigt): $t_{(25)} = 0.10$, zweiseitiger $p = 0.92$) unterschieden sich nicht zwischen den beiden Interventionsgruppen REMD und SWSD.

Die ausführlichen Schlafparameter der analysierten Stichprobe sind in Tabelle 2 (Polysomnographische Schlafparameter) und Tabelle 3 (Weckungen in der Versuchsnacht) im Anhang ab Seite 47 dargestellt.

3.2 Einfluss von selektiver REM-Schlaf Unterdrückung auf die Stimmung

Um festzustellen, ob es Unterschiede in den morgendlichen Stimmungswerten zwischen den Gruppen nach der Gewöhnungs- und Versuchsnacht gab, wurden rmANOVAs zwischen der REMD-Gruppe, der SWSD-Gruppe und der

Kontrollgruppe durchgeführt. Die Mittelwerte für jede Gruppe finden sich in Tabelle 5 auf Seite 48.

Die mittels PANAS erhobenen morgendlichen Stimmungsbewertungen für den positiven Affekt (PA) und negativen Affekt (NA) unterschieden sich signifikant zwischen dem Morgen nach Gewöhnungs- und Versuchsnacht (Effekt der Nacht: PA: $F_{(1, 37)} = 4.55$, $p = .040$, $\eta_p^2 = .11$; NA: $F_{(1,37)} = 9.32$, $p = .004$, $\eta_p^2 = .20$). Die Gruppenzugehörigkeit (CTL, REMD, SWS) hatte keinen signifikanten Effekt auf die positive und negative Stimmung (PA: $F_{(2,37)} = 0.74$, $p = .484$, $\eta_p^2 = .04$; NA: $F_{(2,37)} = 2.21$, $p = .124$, $\eta_p^2 = .11$).

Der Interaktionseffekt zwischen dem Morgen und den Gruppen (Morgen*Gruppe) war für den positiven Affekt nicht signifikant (PA: $F_{(2,37)} = 0.34$, $p = .713$, $\eta_p^2 = .02$), kam jedoch für den negativen Affekt der Signifikanz nahe (NA: $F_{(2,37)} = 3.08$, $p = .058$, $\eta_p^2 = .14$). Post-hoc-Vergleiche zeigten, dass der positive Affekt nach der Versuchsnacht im Vergleich zur Gewöhnungsnacht gruppenübergreifend niedriger und der negative Affekt höher war (PA: $t_{(39)} = 2.20$, zweiseitiger $p = .034$, Cohen's $d = 0.35$, 95%-CI[0.03,0.67]; NA: $t_{(39)} = -3.23$, zweiseitiger $p = .003$, Cohen's $d = -0.51$, 95%-CI[-0.84,-0.18]). Hierbei war der Anstieg des negativen Affekts in der REMD-Gruppe am stärksten ausgeprägt (REMD: $t_{(14)} = 4.47$, $p < .001$, Cohen's $d = 1.15$, 95%-CI[0.48,1.80]; siehe Abbildung 7).

Ein geplanter Kontrast zeigte, dass diese Zunahme des negativen Affekts in der REMD-Gruppe im Vergleich zu den anderen Gruppen stärker war ($t_{(38)} = 2.46$, zweiseitiger $p = .036$, Cohen's $d = .80$, 95%-CI[0.13,1.46]), wohingegen kein Gruppenunterschied für die Veränderung des positiven Affekts beobachtet werden konnte ($t_{(38)} = -0.72$, zweiseitiger $p = .950$, Cohen's $d = .24$, 95%-CI[-0.88,0.41], alle p -Werte Bonferroni-korrigiert).

Gruppenübergreifend korrelierte die Zunahme der negativen Stimmung von der Gewöhnungs- bis zur Versuchsnacht mit dem individuellen REMS-Score (Pearson's $r = .39$, einseitiger $p = .015$, 95%-CI[0.08,0.63]; Abbildung 8). D. h. der Anstieg des negativen Affekts korrelierte mit dem Ausmaß der Unterdrückung des REM-Stadiums.

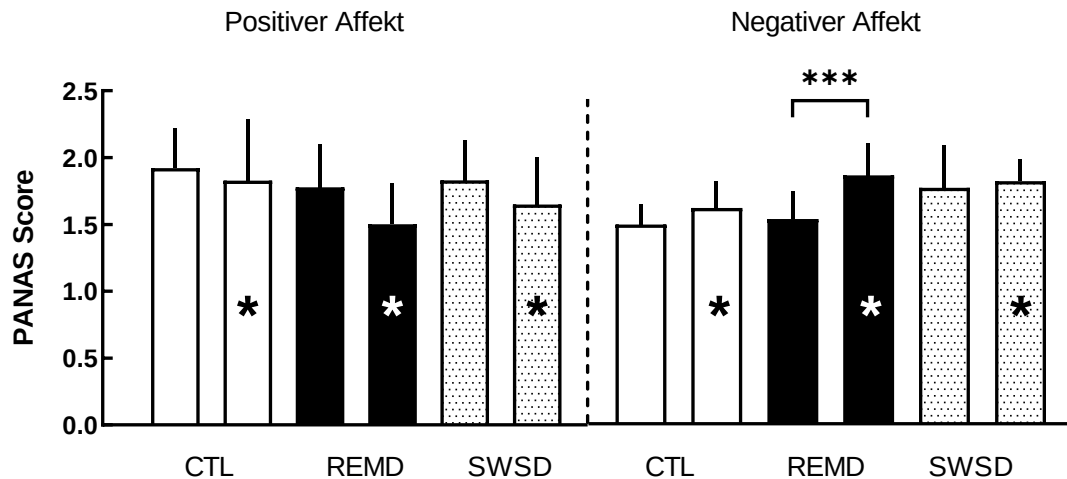


Abbildung 7: Bewertungen des positiven und negativen Affekts am Morgen nach der Gewöhnungs- und Versuchsnacht.

Gemessen mit dem PANAS. * = Morgen nach Versuchsnacht, ***= $p < .001$

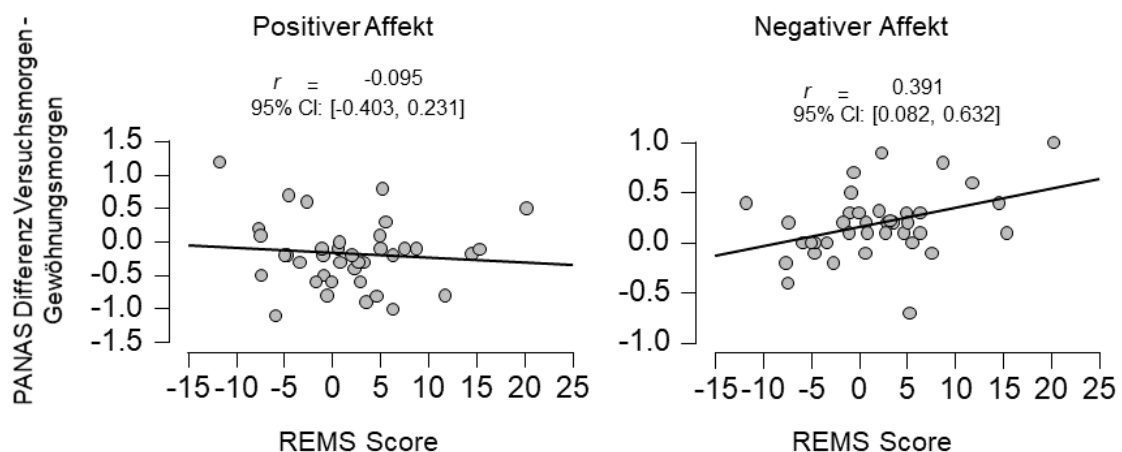


Abbildung 8: Korrelation der Affektänderungen mit dem REMS Score

Veränderungen im negativen (rechts), aber nicht im positiven Affekt (links) vom Morgen der Gewöhnungsnacht zum Morgen nach der Versuchsnacht korrelieren gruppenübergreifend signifikant mit den REM-Schlaf-Suppressionswerten (REMS-Score).

Es wurde eine Multiple Regression durchgeführt, um die Zunahme des negativen Affektes durch die Unterdrückung von REM, SWS, TST (englisch: *Total sleep time*) und die Zunahme von WASO (englisch: *Wake after sleep onset*) vorherzusagen. Das multiple Regressionsmodell sagte statistisch signifikant die Veränderung des negativen Affekts voraus ($F_{(4, 37)} = 4.23$, $p = .007$, korr. $R^2 = .26$). Die Unterdrückung des REM-Schlafs und die WASO-Erhöhung trugen statistisch signifikant zur Vorhersage bei ($p < 0.05$), wobei die REM-Schlaf Unterdrückung

den größten Einfluss hatte. Regressionskoeffizienten und Standardfehler sind in Tabelle 4 im Anhang zu finden.

Bei den abendlichen Stimmungsbewertungen hatte die Art der Schlafunterdrückung keine signifikanten Effekte oder Interaktionen, weder für PA noch für NA (alle $p > .110$; siehe Tabelle 7 und Tabelle 8 im Anhang für Details).

Es wurde bereits gezeigt, dass positive und negative affektive Zustände durch Störungen der Schlafkontinuität mittels experimenteller Weckungen verändert werden (Finan et al., 2017). Aus diesem Grund wurden die Veränderungen im positiven und negativen Affekt zwischen der CTL Gruppe und den beiden, Weckungen ausgesetzten, Gruppen REMD und SWSD verglichen. Hier zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen CTL und den Gruppen REMD und SWSD (PA: $t_{(38)} = -.77$, zweiseitiger $p = .45$, *Cohen's d* = -0.25, 95%-CI[-0.89,0.39]; NA: $t_{(38)} = 1.04$, zweiseitiger $p = .30$, *Cohen's d* = 0.34, 95%-CI[-0.31,0.98]).

3.3 Einfluss von REM-Schlaf Unterdrückung auf Emotionsbewertungen und -regulation während sozialer Ausgrenzung

Um die Auswirkungen von Bedingung, Session und Gruppe auf die empfundene soziale Ausgrenzung im *Cyberball*-Paradigma zu untersuchen, wurden für die abhängige Variable "Gefühl sozialer Ausgrenzung" mixed *between-within* ANOVAs mit dem Zwischensubjektfaktor (*between*) Gruppe und den Innersubjektfaktoren (*within*) Bedingung und Session durchgeführt.

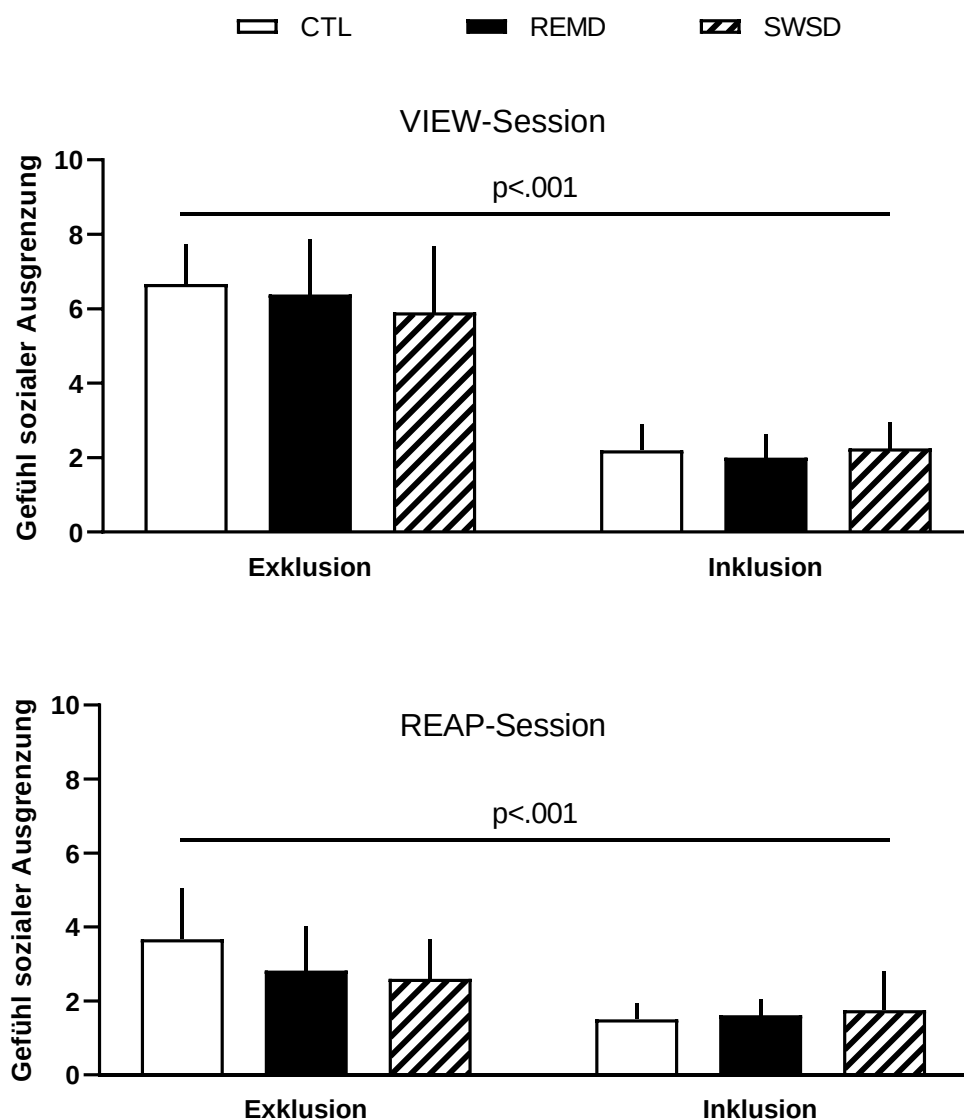


Abbildung 9: Effekte von Bedingung, Session und Gruppe auf das Gefühl sozialer Ausgrenzung. Linien repräsentieren 95%-Konfidenzintervalle

Durch Verwendung von *Cyberball* konnte unter den Teilnehmenden das Gefühl der sozialen Ausgrenzung induziert werden (Haupteffekt der Bedingung: $F_{(1, 39)} = 131.65$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .771$). Darüber hinaus konnte dieses Gefühl deutlich abgeschwächt werden, wenn die Teilnehmenden in der zweiten Session gebeten wurden, die Emotionsregulationsstrategie CRA anzuwenden (Haupteffekt von Session: $F_{(1, 39)} = 66.99$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .632$). Der Effekt dieser Emotionsregulationsstrategie war während der Exklusionsbedingung am stärksten ausgeprägt (Interaktion Bedingung*Session: $F_{(1, 39)} = 44.97$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .536$). Dies wurde durch abhängige t -Tests bestätigt (VIEW > REAP in Exklusionsbedingung: $t_{(41)} = 8.36$, $p < .001$, *Cohen's d* = -1.29, 95%CI[0.87, 1.70]; VIEW > REAP in Inklusionsbedingung: $t_{(41)} = 3.62$, $p < .001$, *Cohen's d* = 0.56, 95%CI[0.23, 0.88]). Die Differenz des Gefühls der sozialen Ausgrenzung zwischen beiden Bedingungen war in der VIEW Session stärker ausgeprägt als in der REAP Session, d. h. es kam in der Session ohne Emotionsregulation (VIEW) zu einem größeren Unterschied im Ausgrenzungsgefühl zwischen Exklusion und Inklusion (EXC – INC in VIEW minus EXC – INC in REAP: $t_{(41)} = 7.01$, zweiseitiger $p < .001$, *Cohen's d* = 1.08, 95%CI[0.70, 1.46] siehe Abbildung 9.

Allerdings hatte die Art der Schlafunterdrückung weder einen signifikanten Einfluss auf die Emotionsbewertungen nach sozialer Ausgrenzung (Interaktion Bedingung*Gruppe: $F_{(2, 39)} = 1.469$, $p = .243$, $\eta_p^2 = .070$,) noch auf den Effekt der Emotionsregulation (Interaktion Session*Gruppe: $F_{(2, 39)} = .027$, $p = .973$, $\eta_p^2 = .001$). Darüber hinaus fand sich keine statistisch signifikante Drei-Wege-Interaktion für das Gefühl sozialer Ausgrenzung (Interaktion Bedingung*Session*Gruppe: $F_{(2, 39)} = .454$, $p = .639$, $\eta_p^2 = .023$).

Die Hypothese, dass selektive REM-Schlaf Unterdrückung einen messbaren Effekt auf negative Emotionen während sozialer Ausgrenzung sowie auf eine erfolgreiche Emotionsregulation hat, konnte hiermit nicht bestätigt werden.

3.4 Einfluss von REM-Schlaf Unterdrückung auf die Aktivität des limbischen Systems während sozialer Ausgrenzung

Während der Exklusionsbedingung im *Cyberball*-Paradigma war die neurale Aktivität der Teilnehmenden im linken und rechten Hippocampus (links: x, y, z (mm)⁷: -36, -40, -6; $T = 7.15$, $k = 89$, $p < .001$, FWE-korrigiert; rechts: 36, -32, -8; $T = 4.88$, $k = 44$, $p = .022$, FWE-korrigiert) sowie in der rechten Insula (34, -10, 22; $T = 5.07$, $k = 13$, $p = .014$, FWE-korrigiert) im Vergleich zur Inklusionsbedingung signifikant erhöht.

Außerdem zeigte sich gruppenübergreifend die neurale Aktivität der rechten vorderen Insula (32, 28, -4; $T = 4.97$, $k = 11$, $p = 0.017$) und des dorsalen ACC (2, 14, 22; $T = 4.69$, $k = 3$, $p = 0.034$, FWE-korrigiert) während der Session ohne Emotionsregulation (VIEW) im Vergleich zur Session mit Emotionsregulation (REAP) signifikant erhöht.

Es wurde getestet, ob diese beiden Haupteffekte interagierten oder ob sie durch die Schlafunterdrückungsgruppe moduliert wurden. Hieraus ergaben sich keine signifikanten Effekte. Dies galt sowohl beim Testen auf Unterschiede zwischen beliebigen der drei Versuchsgruppen als auch beim Vergleich der REMD-Gruppe gegen die beiden anderen Gruppen zusammen.

Außerdem wurde die Drei-Wege-Interaktion zwischen Bedingung (EXC/INC), Session (VIEW/REAP) und der Schlafunterdrückungsgruppe untersucht. Ein Test der Unterschiede zwischen den Gruppen für den Zwei-Wege-Interaktionskontrast $[EXC/VIEW > INC/VIEW] > [EXC/REAP > INC/REAP]$ war nicht signifikant. Bei einem Vergleich der REMD-Gruppe mit den beiden anderen Gruppen zeigte sich jedoch, dass in der REMD-Gruppe eine andersgeartete neurale Reaktion in der rechten Amygdala auftrat (28, 0, -30; $F = 27.84$, $k = 5$, $p = 0.016$, FWE-korrigiert; siehe Abbildung 10). Der Kontrast $EXC > INC$ war während VIEW in der REMD-Gruppe positiv, unterschied sich aber nicht von Null in den anderen Gruppen (REMD: $t_{(16)} = 3.34$, zweiseitiger $p = 0.025$; CTL: $t_{(14)} = -0.87$, zweiseitiger $p = 1.000$; SWSD: $t_{(9)} = -0.66$, zweiseitiger $p = 1.000$). Darüber

⁷ Der Ursprung des MNI-Koordinatensystems ist die vordere Commissur. Die X-Achse erstreckt sich von der linken zur rechten Hirnhälfte, die Y-Achse von posterior nach anterior und die Z-Achse von inferior nach superior (RAS-Orientierung). Alle Werte werden in mm angegeben. k = Anzahl der Voxel in jedem signifikanten Cluster

hinaus war in der REMD-Gruppe der Kontrast $\text{EXC} > \text{INC}$ in VIEW positiver als in REAP ($t_{(16)} = 4.77$, zweiseitiger $p < 0.001$). Dies zeigte sich nicht in den anderen Gruppen (CTL: $t_{(14)} = -2.15$, zweiseitiger $p = 0.149$; SWSD: $t_{(9)} = -2.36$, zweiseitiger $p = 0.128$; alle p -Werte *Bonferroni*-korrigiert).

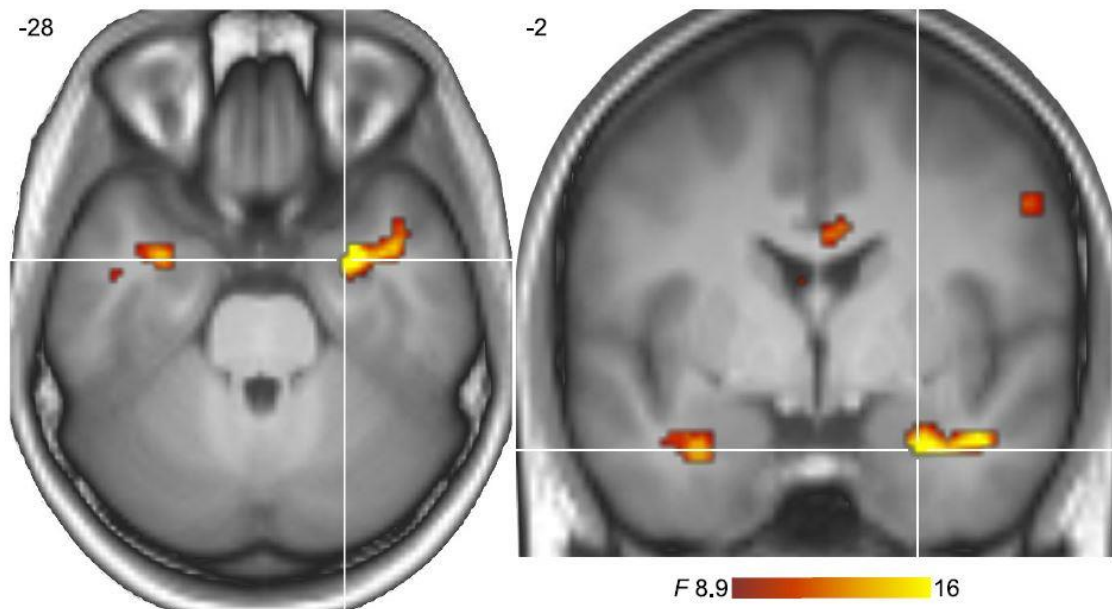


Abbildung 10: Neuronale Aktivierungen nach sozialer Ausgrenzung werden durch selektive REM-Schlaf Unterdrückung verändert.

Die neuronalen Aktivierungen in der rechten Amygdala für den Kontrast $[\text{EXC}/\text{VIEW} > \text{INC}/\text{VIEW}] > [\text{EXC}/\text{REAP} > \text{INC}/\text{REAP}]$ unterschieden sich signifikant zwischen der REMD-Gruppe und den beiden anderen Gruppen, (MNI-Koordinaten: $x = 26$, $y = -2$, $z = -28$, fortbestehend nach FWE-Korrektur bei $p < 0,05$ innerhalb der a priori-Maske). Wird zu Visualisierungszwecken bei $p < 0.005$, unkorrigiert, in der Abbildung gezeigt. Hinweis: Das Bild wird in der neurologischen Konvention angezeigt (rechte Gehirnhälfte im rechten Bild).

Abbildung erstellt von David Stolz. Aus Publikation dieser Arbeit übernommen.

Zusammengefasst zeigte sich in der REMD-Gruppe eine erhöhte Aktivität der Amygdala während sozialer Ausgrenzung im Vergleich zur Inklusion, v. a. in der Session ohne Emotionsregulation. Diese Aktivitätsunterschiede der Amygdala waren in den anderen Gruppen nicht festzustellen. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Unterdrückung des REM-Schlafs die Amygdala-Aktivität bei Informationen erhöht, die für das soziale Wohlbefinden des Individuums relevant sind. Die Erhöhung der Aktivität findet insbesondere dann statt, wenn keine Emotionsregulation durchgeführt wird.

4 Diskussion

In dieser Arbeit sollte der Einfluss einer Unterdrückung des REM-Schlafstadiums auf experimentell induzierte negative Emotionen und deren Regulation am nächsten Morgen untersucht werden. Zur Erzeugung negativer Emotionen erfuhren die Teilnehmenden mittels des *Cyberball*-Paradigmas eine künstliche soziale Ausgrenzung. In der Nacht zuvor wurden bei einer Gruppe selektiv Weckungen im REM-Stadium durchgeführt, um dessen Anteil am Gesamtschlaf zu verringern. Zwei weitere Gruppen, die selektiv im SWS-Stadium oder gar nicht geweckt wurden, dienten als Kontrollen. Als Maß für die Emotionsregulation wurde das von den Teilnehmenden berichtete Gefühl der sozialen Ausgrenzung sowie die Aktivität bestimmter Gehirnregionen analysiert und zwischen den drei Gruppen verglichen. Außerdem wurden am Morgen nach Versuchs- und Gewöhnungsnacht die positive und negative Stimmung der Teilnehmenden mit Fragebögen erfasst und verglichen.

4.1 Einfluss von REM-Schlaf Unterdrückung auf die Stimmung am nächsten Morgen

Am Morgen nach der Versuchsnacht stieg die negative Stimmung im Vergleich zur vorherigen Gewöhnungsnacht in der REMD Gruppe stärker an als in den beiden Kontrollgruppen. Dieses Ergebnis kann jedoch nicht spezifisch auf die REM-Schlaf Unterdrückung zurückgeführt werden, da keine signifikante Interaktion zwischen den Gruppen gefunden wurde. Allerdings war die Zunahme des negativen Affekts in der REMD-Gruppe im Vergleich gegen beide Kontrollgruppen Gruppen stärker ausgeprägt und es fand sich in der vorliegenden Arbeit eine Korrelation des individuellen REMS-Scores mit der Zunahme der negativen Stimmung am Morgen nach der Versuchsnacht. Ein positiver REMS-Score zeigt eine Verringerung des individuell normalen (wie in der Habituationsnacht gemessen) REM-Schlafanteils in der Versuchsnacht an (siehe Abbildung 6). Daher könnte die beobachtete Zunahme der negativen Stimmung durch eine Unterdrückung des individuellen REM-Schlafanteils verursacht worden sein.

Der gestörte Nachtschlaf durch die akustischen Weckungen könnte zu dem vermehrten negativen Affekt in der REMD Gruppe beigetragen haben. Da aber keine Unterschiede zwischen der, ebenfalls akustischen Weckungen ausgesetzten, SWSD Gruppe und der Kontrollgruppe gefunden wurden, bleibt der Effekt der Weckungen unklar. Auch in der keinen Weckungen ausgesetzten Gruppe (CTL) war die positive Stimmung nach der Versuchsnacht gegenüber der Gewöhnungsnacht geringer und die negative Stimmung gesteigert. Dies lässt vermuten, dass auch allein die Teilnahme an einer Schlafstudie einen messbaren Effekt auf die Stimmung ausübt.

Eine mögliche Erklärung warum keine REM-spezifischen Effekte auf die Stimmung gefunden werden konnten ist eine nicht ausreichende Unterdrückung des REM-Stadiums. Zwar konnte in dieser Studie der REM-Schlafanteil der REMD Gruppe fast um die Hälfte des normalen REM-Schlafanteils junger Erwachsener von ca. 22% (Floyd et al., 2007) reduziert werden, lag jedoch trotz Weckungen noch über 10% der Gesamtschlafzeit (12.76% in der REMD Gruppe). In einer Studie von Wiesner et. al wurde in einer REM-Schlafentzugsgruppe ein REM-Schlafanteil von weniger als 1% der Gesamtschlafzeit erreicht. Hier wurden zur Untersuchung des Effekts von selektivem REM-Schlafentzug auf die affektive Bewertung und Gedächtniskonsolidierung emotionaler Erinnerungen in einem dieser Arbeit ähnlichem Design drei Gruppen im Schlaflabor untersucht. Neben der REM-Schlafentzugsgruppe gab es eine SWS-Schlafentzugs Gruppe sowie eine gänzlich wachgehaltene Gruppe. Der Entzug von REM-Schlaf oder SWS im Vergleich zum Durchwachen hatte keinen Einfluss auf die subjektive Stimmungslage am nächsten Morgen. Weder die Werte der MDBF-Skala (Mehrdimensionaler Befindlichkeitsfragebogen) "gute versus schlechte Stimmung" noch der Skala "ruhige versus nervöse Zustände" zeigten signifikante Unterschiede zwischen den drei Gruppen (Wiesner et al., 2015). In einer weiteren Studie von Morgenthaler et. al führte die Reduktion des REM-Stadiums auf weniger als 2% der TST in einer REM-Schlaf unterdrückten Gruppe nicht zu einem Unterschied in der Gedächtniskonsolidierung von neutralen und emotionalen IAPS-Bildern im Vergleich zu einer Gruppe mit ungestörtem Schlaf (Morgenthaler et al., 2014). Diese Ergebnisse implizieren, dass selbst eine umfassende Unterdrückung des REM-Schlafs nicht zu einem messbaren

gruppenspezifischen Effekt auf negative Stimmung und emotionale Gedächtnisinhalte am nächsten Morgen führt.

In der ersten Meta-Analyse von Schlafentzugs-Studien wurde gezeigt, dass Schlafentzug vor kognitiver oder motorischer Leistung den größten Einfluss auf die Stimmung hat. Diese wurde von schlafentzogenen Versuchspersonen im Durchschnitt um mehr als 3 Standardabweichungen schlechter bewertet als von nicht-schlafentzogenen Versuchspersonen. Von allen analysierten Studien hatten diejenigen, die partiellen Schlafentzug, definiert als weniger als 5 Stunden Schlaf pro Nacht, anwendeten, einen größeren Effekt auf die Stimmung als diejenigen, die kurzfristigen ($< 45\text{h}$) oder langfristigen ($> 45\text{h}$) Schlafentzug anwendeten (Pilcher & Huffcutt, 1996).

Zusammengenommen deuten diese Ergebnisse darauf hin, dass die Unterdrückung des REM-Stadiums einen negativen Einfluss auf die morgendliche Stimmung hat und das Ausmaß der Zunahme der negativen Stimmung mit der individuellen REM-Unterdrückung korreliert. Dass es auf der Gruppenebene keine signifikante Interaktion gab könnte an einer nicht ausreichenden Unterdrückung des REM-Stadiums oder an überwiegenden allgemeinen Effekten einer Schlafintervention liegen.

Einschränkend ist zu betonen, dass in dieser Arbeit kein objektives Maß für die Stimmung erhoben wurde. Für die mittels PANAS erhobene subjektive Stimmungsbewertung wurde eine Assoziation schlechter Stimmung (erhöhter negativer Affekt und verminderter positiver Affekt) mit subjektiver Müdigkeit beschrieben (Franzen et al., 2008).

4.2 Wirksamkeit der sozialen Ausgrenzung durch *Cyberball*

Durch den Ausschluss der Teilnehmenden vom Ballwurf erzeugte das *Cyberball*-Paradigma den gewünschten Effekt ein realistisches Ausschlusszenario in allen Gruppen zu schaffen, die anschließend über ein größeres Gefühl der sozialen Ausgrenzung in der Exklusions- als in der Inklusionsbedingung berichteten. Dieser Unterschied blieb auch bestehen, wenn die Teilnehmenden eine Emotionsregulierungsstrategie anwendeten. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit Ergebnissen früherer Studien zur sozialen Ausgrenzung (z. B. Eisenberger et al., 2003).

Eine Vielzahl an Studien zur sozialen Ausgrenzung zeigte mithilfe des *Cyberball*-Paradigmas robuste und große Auswirkungen auf Stimmung und Verhalten, die weder durch strukturelle Aspekte des Spiels noch durch die Zusammensetzung der Teilnehmenden beeinflusst wurden (Hartgerink et al., 2015). Die starke Wirkung von *Cyberball* bei der Manipulation des Zugehörigkeitsgefühls wurde in Studien auch dann nachgewiesen, wenn den Teilnehmenden gesagt wurde, dass sie mit einem Computerprogramm (Zadro et al., 2004) oder mit Mitgliedern einer verachteten Gruppierung, wie dem Ku-Klux-Klan, spielten (Gonsalkorale & Williams, 2007). Da das menschliche Bedürfnis nach sozialer Zugehörigkeit so ausgeprägt - (Baumeister & Leary, 1995) und die Ausgrenzung mittels *Cyberball* so effektiv ist, scheint dieses Paradigma möglicherweise nicht gut geeignet zu sein um kleinere, modulierende Effekte einzelner Schlafstadien zu untersuchen. Zukünftige Studien sollten daher in Betracht ziehen alternative Paradigmen zu verwenden, bei denen modulierende Faktoren leichter beobachtet werden können. Eine andere Option wäre partiellen Schlafentzug zu verwenden, der, wie erwähnt, nachweislich die stärkste Wirkung auf die motorische und kognitive Leistung, sowie die Stimmung hat (Pilcher & Huffcutt, 1996).

Auf neuraler Ebene war die Aktivität der Teilnehmenden im linken und rechten Hippocampus sowie in der rechten Insula während sozialer Ausgrenzung erhöht. Dieses Ergebnis steht mit den Ergebnissen früherer Studien im Einklang, die ein Netzwerk von an der Erfahrung sozialer Ausgrenzung beteiligten Hirnregionen aufgezeigt haben. Zu den Regionen, die während der Ausgrenzung in diesen Studien aktiv waren, gehörten ebenso wie in dieser Arbeit die bilaterale Insula und der linke Hippocampus. Weitere identifizierte Regionen waren u. a. der posteriore cinguläre Kortex, Bereiche des präfrontalen Kortex und des Gyrus temporalis (Bolling et al., 2011; Masten et al., 2009).

4.3 Einfluss von REM-Schlafentzug auf das Gefühl sozialer Ausgrenzung und die Emotionsregulationsfähigkeit

Die Hypothese, dass REM-Schlafentzug einen direkten Effekt auf negative Emotionen während der Exklusion sowie auf eine erfolgreiche Emotionsregulation hat, konnte in dieser Studie nicht bestätigt werden. Es konnten keine signifikanten Unterschiede im Ausgrenzungsgefühl zwischen REMD, SWSD und der Kontrollgruppe mittels selektiver Unterdrückung von Schlafstadien nachgewiesen werden. Auf neuraler Ebene fand sich jedoch ein Einfluss von REM-Schlaf Unterdrückung auf die Aktivität von Bereichen des limbischen Systems während sozialer Ausgrenzung. Dies bestätigt den vermuteten Einfluss von REM-Schlaf auf das limbische System.

Hier zeigte sich eine gesteigerte Aktivierung der Amygdala in der REM-Schlaf unterdrückten Gruppe, wenn die soziale Ausgrenzung passiv erlebt und keine explizite Emotionsregulation angewandt wurde. Die für die REMD-Gruppe spezifische Ausprägung dieses Effekts unterstreicht die Bedeutung dieses Schlafstadiums für die Emotionsgeneration und -regulation. Dieses Ergebnis ergänzt das Wissen um den Einfluss des REM-Stadiums auf die Amygdala, deren gesteigerte Aktivierung auf negative Stimuli nach totalem Schlafentzug bereits gezeigt wurde (Yoo et al., 2007). In einer weiteren Studie war ein niedriger REM-Schlafanteil in der Gewöhnungsnacht mit einer verminderten Amygdala Modulation nach Schlafentzug assoziiert (Simon et al., 2015).

Während sich für die Stimmung nach dem Aufwachen und für das Ausgrenzungsgefühl keinen gruppenspezifischen Effekt nachweisen ließen, fanden sich REM-spezifische Effekte auf das limbische System während sozialer Ausgrenzung. Es gibt mehrere Erklärungen warum die beobachteten Effekte auf neuraler Ebene nicht auf der Verhaltensebene messbar waren: Zunächst ist anzumerken, dass die negativen emotionalen Auswirkungen experimenteller, kurzfristiger Schlafmanipulationen direkt nach dem Aufwachen möglicherweise am stärksten sind und im Laufe des Morgens wieder ausgeglichen werden können. Es ist bekannt, dass ein vorübergehender kognitiver Leistungsabfall für etwa 30 Minuten nach dem Aufwachen auftritt. Diese Verminderung hängt mit dem Schlafstadium zusammen, aus dem heraus das Aufwachen erfolgt (Tassi & Muzet, 2000). Dass ein solcher temporärer Effekt auch für die Fähigkeit der

Emotionsregulation gilt, ist denkbar. Es sind jedoch weitere Studien erforderlich, um den zeitlichen Verlauf der Emotionsregulationsfähigkeit während des Tages nach Schlafentzug zu untersuchen.

Zusammengefasst deuten die Ergebnisse darauf hin, dass REM-Schlaf spezifische Effekte auf die Aktivität von Bereichen des limbischen Systems ausübt, die jedoch zu gering sind, um auf der Ebene der subjektiven Emotionsbewertungen aufzutreten.

4.4 Wirksamkeit der Emotionsregulationsstrategie „Kognitive Neubewertung“

Die Anwendung der emotionalen Regulationsstrategie "kognitive Neubewertung" führte in allen Gruppen zu einer Verminderung der Differenz des Gefühls sozialer Ausgrenzung zwischen Exklusions- und Inklusionsbedingung. Dieser Effekt wurde insbesondere durch die Abnahme des Ausgrenzungsgefühls in der Exklusionsbedingung verursacht. Da alle Teilnehmenden ihre Emotionen nur in der zweiten Session aktiv regulierten, kann diese Arbeit nicht beantworten, ob dieser Effekt allein auf die Emotionsregulationsstrategie oder auf eine Gewöhnung an das Exklusionsszenario zurückzuführen ist. Diese Einschränkung wurde im Vorfeld diskutiert, aber es wurde sich gegen ein Design entschieden, bei dem z. B. die Hälfte der Teilnehmenden nur in der ersten Session die Emotionsregulationsstrategie verwendete (siehe Begründung in Kapitel Limitationen).

Es sei darauf hingewiesen, dass die Verwendung der Strategie „kognitive Neubewertung“ in der REAP Session auch zu einer leichten Verringerung des Ausgrenzungsgefühls in der Inklusionsbedingung führte. Da in dieser Bedingung keine soziale Ausgrenzung bestand, könnte diese Abnahme durch einen Effekt der sozialen Erwünschtheit bei den abgegebenen Emotionsbewertungen oder durch Gewöhnung an das Paradigma verursacht worden sein.

Auf neuraler Ebene zeigte sich gruppenübergreifend die Aktivität der rechten vorderen Insula und des dorsalen ACC während passiv erlebter Ausgrenzung im Vergleich zur Session mit Emotionsregulation erhöht. Dieses Aktivitätsmuster stimmt mit Ergebnissen einer fMRT-Studie überein, die die

Emotionsregulationsstrategien kognitive Neubewertung und Unterdrückung beim Betrachten Ekel erregender Filmausschnitte verglich (Goldin et al., 2008). Hier zeigte sich, dass die Anwendung von kognitiver Neubewertung (CRA) die Aktivität in präfrontalen Regionen der kognitiven Kontrolle erhöhte und Amygdala- und Insula-Aktivierungen, die während einer Session ohne Emotionsregulation identifiziert wurden, verminderte.

In dieser Arbeit wurde kein gruppenspezifischer Effekt auf die neuralen Korrelate der Emotionsregulation nachgewiesen. Der Einfluss von REM-Schlafentzug auf Regionen des limbischen Systems könnte dennoch auch an der Emotionsregulation beteiligte Regionen umfassen. Um diesen Einfluss zu verdeutlichen, bedarf es weiterer fMRT-Untersuchungen mit einer größeren Anzahl Teilnehmender.

4.5 Limitationen

Die Verwendung der Emotionsregulationsstrategie ermöglichte den Teilnehmenden ihre negativen Emotionen während der sozialen Ausgrenzung abzumildern. Eine Limitation dieses Studiendesigns ist, dass alle Teilnehmenden in der zweiten Session (REAP Session) aufgefordert wurden ihre Emotionen mit CRA zu regulieren. Aus diesem Grund kann der Effekt dieser Strategie nicht von einem möglichen Gewöhnungseffekt des *Cyberball*-Paradigmas unterschieden werden. Eine denkbare alternative Studiendesign wäre die zufällige Zuordnung der Teilnehmenden zur Emotionsregulation in der ersten oder in der zweiten Session. Da jedoch nicht ausgeschlossen werden konnte, dass Teilnehmende die in der ersten Session erlernte Emotionsregulationsstrategie nicht auch intuitiv in der zweiten Session anwenden würden, wurde jene zufällige Zuordnung im Studiendesign nicht vorgesehen. Um sicher zwischen Effekten der Emotionsregulation und Gewöhnung unterscheiden zu können, wäre ein Studiendesign mit drei verschiedenen Sessions erforderlich. Hier würden die Teilnehmenden zufällig instruiert Emotionsregulation entweder in der zweiten oder dritten Session anzuwenden. Hierfür wäre jedoch eine bedeutend größere Anzahl Teilnehmender notwendig. Ein solches Design wurde für eine Studie mit 171 Teilnehmenden von Mauss et. al verwendet. Hier konnte ein geringerer Effekt der Emotionsregulationsstrategie CRA nach selbstberichteter schlechter

Schlafqualität in der vorhergehenden Woche gezeigt werden (Mauss et al., 2013).

Des Weiteren ist die Untersuchung einer Emotionsregulationsstrategie schwierig, da die explizite Anweisung zur Anwendung einer Strategie zu einer Verzerrung bei der Bewertung von Emotionen durch soziale Erwünschtheit führen kann. Die Überlagerung der Emotionsbewertungen durch Effekte der sozialen Erwünschtheit ist eine mögliche Erklärung warum keine REM-abhängigen Effekte auf die Emotionsregulation gefunden wurden.

Um die Beziehung zwischen Schlaf und Emotionsregulation weiter zu untersuchen, sollten zukünftige Studien die kognitiven Kontrollprozesse der Emotionsregulation in einem realistischen Szenario differenzieren, z. B. durch Manipulation der Situation oder Ablenkung einer Gruppe von Teilnehmenden, während eine andere Gruppe angewiesen wird ihre Emotionen während der Aufgabe aktiv zu regulieren. Alternativ wäre es möglich in mehreren Sessions verschiedene Emotionsregulationsstrategien miteinander zu vergleichen. Neben kognitiver Neubewertung ist Unterdrückung eine Strategie zur Regulierung von negativen Emotionen (Gross, 2001). Bei der Unterdrückung würden die Teilnehmenden z. B. aufgefordert werden sich ihre Emotionen nicht ansehen zu lassen. Zukünftige Vergleiche des Einflusses von REM-Schlaf auf diese oder weitere Emotionsregulationsstrategien würde ein weniger komplexes Paradigma, wie z. B. kurze, traurige Filmausschnitte oder die Präsentation von IAPS-Bildern erfordern. Um die Zusammenhänge zwischen REM-Schlaf und Emotionsregulation in beiden Richtungen weiter zu untersuchen, sind letztlich zusätzliche Studien erforderlich, die idealerweise ein objektivierbares Maß für Emotionsregulation, z. B. die Messung der Hautleitfähigkeit, mit polysomnographischen Messungen kombinieren.

4.6 Ausblick

Der Zusammenhang zwischen emotionalen Erfahrungen vor dem Schlaf und der Schlafqualität ist intuitiv bekannt. Bis heute haben viele Studien die Wirkung von vorrangegangenen emotionalen Situationen auf verschiedene Aspekte des Schlafes untersucht. Die affektiven und kognitiven Prozesse während emotionaler Situationen am Tag nach gestörtem oder unterdrücktem Schlaf sind vergleichsweise wenig untersucht. Die Ergebnisse einiger Studien deuten darauf hin, dass Schlafentzug zu einer Störung der Exekutivfunktionen sowie einer gesteigerten emotionalen Reaktivität führt. Damit einhergehend kommt es zu einer Verminderung der Emotionsregulationsfähigkeit, die unter gewissen Umständen zu klinischen Symptomen und psychischen Erkrankungen führen kann (vergleiche hierzu das Modell von Gruber & Cassoff, 2014). Angesichts der Bedeutung des Schlafs für das emotionale Wohlbefinden und des Auftretens von gestörtem Schlaf bei vielen psychischen Erkrankungen ist die weitere Erforschung der Auswirkung von Schlaf(-verlust) auf die Entwicklung dieser Erkrankungen von großer Bedeutung. Weitere experimentelle Forschung mit kontrollierten Schlafmanipulationen, die idealerweise Schlafverluste simulieren, wie sie in der Allgemeinbevölkerung und bei psychischen Erkrankungen auftreten, sind notwendig um zu klären, wie Schlafstörungen zu spezifischen Beeinträchtigungen der affektiven Verarbeitung und Emotionsregulation und damit zur Entwicklung von psychischen Erkrankungen, beitragen können. Ein Beispiel hierfür ist die posttraumatische Belastungsstörung; eine Erkrankung, die mit Schlafunterbrechung und -fragmentierung, einer Verringerung der Gesamtschlaf- und REM-Schlafdauer (Krause et al., 2017) sowie einer gestörten Emotionsregulation einhergeht (Ehring & Quack, 2010).

5 Zusammenfassung

Sowohl gesunder und ausreichender Schlaf als auch die Fähigkeit, Emotionen zu regulieren werden als Voraussetzungen psychischer Gesundheit angesehen. Verschiedene psychische Erkrankungen werden mit Veränderungen des Schlafes und gestörter Emotionsregulation in Verbindung gebracht. Die Veränderungen des Schlafes bei psychischen Erkrankungen betreffen vor allem ein bestimmtes Schlafstadium, den *rapid eye movement* Schlaf (REM-Schlaf). Die kognitiven Prozesse, die die Beziehung zwischen REM-Schlaf und Emotionsregulation vermitteln könnten, sind jedoch noch nicht vollständig verstanden. In der vorliegenden Arbeit wurden die Auswirkungen einer selektiven REM-Schlaf Unterdrückung auf den allgemeinen Affekt sowie auf Gefühle sozialer Ausgrenzung, Regulation von Emotionen und deren neurale Grundlagen untersucht. Hierzu wurden 42 gesunde Teilnehmende zufällig auf eine von drei Gruppen aufgeteilt, in der sie in einer Nacht im Schlaflabor entweder eine REM-Schlaf Unterdrückung, Tiefschlaf Unterdrückung oder keine Intervention erfuhren. Zur Erzeugung negativer Emotionen wurden die Teilnehmenden anschließend mittels eines interaktiven Ballwurf-Paradigmas künstlich sozial ausgegrenzt während eine funktionelle Magnetresonanztomographie durchgeführt wurde. Nach einem Durchlauf des Paradigmas ohne weitere Instruktionen in der ersten Session wurden die Teilnehmenden aufgefordert in der nachfolgenden Session ihre Emotionen durch die Strategie „kognitive Neubewertung“ zu regulieren. Als Maß für Emotionsregulation wurde das von den Teilnehmenden berichtete Gefühl der sozialen Ausgrenzung sowie die Aktivität bestimmter Hirnregionen analysiert und zwischen den drei Gruppen verglichen.

Es konnte gezeigt werden, dass eine REM-Schlaf Unterdrückung die negative Stimmung am Folgetag erhöht und die Aktivität der Amygdala während sozialer Ausgrenzung verstärkt. Es fand sich kein Einfluss der REM-Unterdrückung auf die Gefühle sozialer Ausgrenzung und deren Regulation mit einer zuvor erlernten Emotionsregulationsstrategie. Die vorliegenden Ergebnisse erweitern bisherige Ergebnisse, die zeigen, dass (REM)Schlaf einen Einfluss auf affektive Prozesse ausübt. Weitere Studien sind notwendig, um zu untersuchen, inwiefern REM-Schlaf verschiedene Bereiche der Emotionsentstehung und -regulation in gesunden und klinischen Kohorten beeinflusst.

6 Anhang

6.1 Tabellen

Tabelle 2: Polysomnographische Schlafparameter

	Gruppe	Gewöhnungs- nacht		Versuchsnacht		Gewöhnungs- vs. Versuchsnacht		
		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>t</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
TST (min)	CTL	369.94	78.06	414.59	26.08	-2.79	14	.015
	REMD	410.86	40.24	399.05	39.02	1.13	15	.277
	SWSD	384.63	54.15	402.96	31.28	-1.41	8	.197
N1 (% TST)	CTL	1.87	2.76	0.58	0.96	1.8	14	.093
	REMD	0.6	0.65	1.72	2.54	-1.78	15	.096
	SWSD	2.47	2.57	1.18	1.39	1.36	8	.212
N2 (% TST)	CTL	61.82	7.27	61.11	8.53	0.32	14	.751
	REMD	64.83	4.69	68.66	7.62	-2.12	15	.051
	SWSD	65.68	8.44	69.33	8.29	-1.37	8	.209
SWS (% TST)	CTL	17.11	6.21	18.04	7.92	-0.65	14	.525
	REMD	14.18	6.88	16.86	5.62	-1.6	15	.131
	SWSD	13.98	7.43	9.83	4.82	1.4	8	.199
REM (% TST)	CTL	19.21	6.33	20.27	4.39	-0.77	14	.455
	REMD	20.39	5.86	12.76	6.16	5	15	<.001
	SWSD	17.42	6.56	19.65	8.87	-1.6	8	.148
WASO (min)	CTL	67.16	50.46	51.06	29	1.34	14	.201
	REMD	47.01	40.18	71.1	42.66	-2.47	15	.026
	SWSD	57.57	38.5	61.63	37.96	0.08	8	.941
WASO/(TST+WASO)	CTL	0.16	0.13	0.11	0.06	1.79	14	.096
	REMD	0.1	0.09	0.15	0.09	-2.32	15	.035
	SWSD	0.13	0.1	0.13	0.08	0.36	8	.728
REM Latenz (min)	CTL	142.97	68.32	106.1	51.71	1.78	14	.097
	REMD	101.19	43.15	154.12	93.11	-1.77	15	.096
	SWSD	137.78	86.27	123.35	82.01	1.44	8	.189
Wachphasen	CTL	8.13	3.09	9.00	4.21	-1.11	14	.285
	REMD	7.75	3.66	11.47	4.90	-2.50	15	.024
	SWSD	11.11	6.64	15.00	6.68	-1.08	8	.311
Schlafeffizienz	CTL	77.19	16.72	83.32	8.17	-1.82	14	.091
	REMD	84.71	8.62	79.91	8.81	1.93	15	.072
	SWSD	80.93	12.68	78.66	8.38	0.14	8	.891

Anmerkung: Sowohl in der REMD-Gruppe als auch in der SWSD-Gruppe war die Qualität der PSG-Daten in der Gewöhnungsnacht eines Teilnehmenden nicht für die Analyse geeignet. TST = Gesamtschlafzeit (Zeit vom Einschlafen bis zum morgendlichen Erwachen nach Abzug der Wachzeit während der Nacht); N1 = NREM-Stadium 1, N2 = NREM-Stadium 2, SWS = NREM-Stadium 3; REM = Rapid-Eye-Movement-Schlaf; WASO = Wachheit nach Schlafbeginn bis morgendliches Erwachen

Tabelle 3: Weckungen in der Versuchsnacht

	Gesamtweckungen			Technische Weckungen			Experimentelle Weckungen		
	CTL	REMD	SWSD	CTL	REMD	SWSD	CTL	REMD	SWSD
<i>M</i>	0.20	15.82	16.10	0.20	0.53	0.40	0.00	15.29	15.70
<i>SD</i>	0.41	5.31	8.65	0.41	0.62	0.84	0.00	5.25	8.72

Tabelle 4: Regression der Affektänderungen auf die Schlafunterdrückungs-Parameter (abhängige variable: Änderung im negativen Affekt (Δ Versuchsmorgen - Gewöhnungsmorgen))

	<i>B</i>	<i>SE</i>	β	<i>t</i>	<i>p</i>	sign.
(Intercept)	0.098	0.060		1.64	.110	n.s.
REM Unterdrückung	0.020	0.008	0.406	2.60	.014	*
SWS Unterdrückung	-0.000	0.008	-0.002	-0.01	.989	n.s.
TST Abnahme	0.002	0.002	0.404	1.60	.118	n.s.
WASO Zunahme	0.005	0.002	0.638	2.95	.006	***

Anmerkung: n.s.: nicht signifikant; *: $p < .05$; ***: $p < .001$

Tabelle 5: Mittelwerte für morgendlichen Positiven und Negativen Affekt

	PA - Gewöhnungsmorgen			PA - Versuchsmorgen			NA - Gewöhnungsmorgen			NA - Versuchsmorgen		
	CTL	REMD	SWSD	CTL	REMD	SWSD	CTL	REMD	SWSD	CTL	REMD	SWSD
<i>M</i>	1.92	1.78	1.83	1.83	1.50	1.65	1.20	1.23	1.42	1.30	1.50	1.46
<i>SD</i>	0.53	0.64	0.42	0.83	0.55	0.49	0.23	0.30	0.36	0.29	0.38	0.18

Tabelle 6: Mittelwerte für das Gefühl sozialer Ausgrenzung im Cyberball-Paradigma

	VIEW Session						REAP Session					
	EXC			INC			EXC			INC		
	CTL	REMD	SWSD	CTL	REMD	SWSD	CTL	REMD	SWSD	CTL	REMD	SWSD
<i>M</i>	6.67	6.38	5.90	2.20	2.00	2.25	3.67	2.82	2.60	1.50	1.62	1.75
<i>SD</i>	1.92	2.90	2.49	1.25	1.21	0.98	2.50	2.32	1.51	0.78	0.86	1.46

Tabelle 7: ANOVA der PANAS Bewertungen für Positiven Affekt am Abend

	Quadratsumme	<i>df</i>	Mittel der Quadrate	<i>F</i>	<i>p</i>
Within Subjects Effects					
Abend	1.60	1	1.60	9.72	.004
Abend * REMD Gruppe	0.03	1	0.03	0.16	.688
Residual	6.24	38	0.16		
Between Subjects Effects					
REMD Gruppe	0.47	1	0.47	0.94	.339
Residual	19.13	38	0.50		

Anmerkung: Der PANAS wurde an den Abenden vor der Gewöhnungsnacht und der Versuchsnacht ausgewertet (Faktor Abend). Die REMD-Gruppe wurde gegen die anderen beiden Gruppen (CTL, SWSD; Faktor REMD Gruppe) verglichen.

Tabelle 8: ANOVA der PANAS Bewertungen für Negativen Affekt am Abend

	Quadratsumme	<i>df</i>	Mittel der Quadrate	<i>F</i>	<i>p</i>
Within Subjects Effects					
Abend	0.14	1	0.14	1.99	.167
Abend * REMD Gruppe	0.19	1	0.19	2.68	.110
Residual	2.65	38	0.07		
Between Subjects Effects					
REMD Gruppe	0.02	1	0.02	0.12	0.732
Residual	7.82	38	0.21		

Anmerkung: Der PANAS wurde an den Abenden vor der Gewöhnungsnacht und der Versuchsnacht ausgewertet (Faktor Abend). Die REMD-Gruppe wurde gegen die anderen beiden Gruppen (CTL, SWSD; Faktor REMD Gruppe) verglichen.

6.2 Votum der Ethikkommission

Der Ethikantrag mit dem Titel „Einfluss selektiver Schlafphasen-Deprivation auf Emotionsregulations-Prozesse und deren neurale Korrelate“ wurde am 02.05.2012 mit der Nummer Az:86/12 von der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät an der Philipps-Universität Marburg bewilligt.

7 Literaturverzeichnis

- Akerstedt, T., Fredlund, P., Gillberg, M., & Jansson, B. (2002). A prospective study of fatal occupational accidents—Relationship to sleeping difficulties and occupational factors. *Journal of Sleep Research*, 11(1), 69–71.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2869.2002.00287.x>
- Ashburner, G. B., Chun-Cuan Chen, Jean Daunizeau, Guillaume Flandin, & Christophe Phillips. (2020). *SPM 12 Manual The FIL Methods Group (and honorary members)*. Functional Imaging Laboratory Wellcome Centre for Human Neuroimaging UCL Queen Square Institute of Neurology 12 Queen Square, London WC1N 3BG, UK.
https://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/doc/spm12_manual.pdf
- Baddam, S., Laws, H., Crawford, J. L., Wu, J., Bolling, D. Z., Mayes, L. C., & Crowley, M. J. (2016). What they bring: Baseline psychological distress differentially predicts neural response in social exclusion by children's friends and strangers in best friend dyads. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 11(11), 1729–1740. <https://doi.org/10.1093/scan/nsw083>
- Banks, S., & Dinges, D. F. (2007). Behavioral and Physiological Consequences of Sleep Restriction. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 03(05), 519–528.
<https://doi.org/10.5664/jcsm.26918>
- Baran, B., Pace-Schott, E. F., Ericson, C., & Spencer, R. M. C. (2012). Processing of Emotional Reactivity and Emotional Memory over Sleep. *Journal of Neuroscience*, 32(3), 1035–1042. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2532-11.2012>
- Baum, K. T., Desai, A., Field, J., Miller, L. E., Rausch, J., & Beebe, D. W. (2014). Sleep restriction worsens mood and emotion regulation in adolescents. *Journal of*

- child psychology and psychiatry, and allied disciplines*, 55(2), 180–190.
<https://doi.org/10.1111/jcpp.12125>
- Baumeister, R. F., DeWall, C. N., Ciarocco, N. J., Twenge, J. M., & American Psychological Association. (2005). *Social Exclusion Impairs Self-Regulation* [Data set]. <https://doi.org/10.1037/e501232006-005>
- Baumeister, R. F., & Leary, M. R. (1995). *The Need to Belong: Desire for Interpersonal Attachments as a Fundamental Human Motivation*. 33.
- Benca, R. M., Obermeyer, W. H., Thisted, R. A., & Gillin, J. C. (1992). Sleep and Psychiatric Disorders: A Meta-analysis. *Archives of General Psychiatry*, 49(8), 651–668. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.1992.01820080059010>
- Berking, M., & Wupperman, P. (2012). Emotion regulation and mental health: Recent findings, current challenges, and future directions. *Current Opinion in Psychiatry*, 25(2), 128–134. <https://doi.org/10.1097/YCO.0b013e3283503669>
- Berry, R. B., Brooks, R., Gamaldo, C. E., Harding, S., Lloyd, R. M., Marcus, C. L., & Vaughn, B. V. (2015). *The AASM Manual for the Scoring of Sleep and Associated Events: Rules, Terminology and Technical Specifications, Version 2.2*. www.aasmnet.org. Darien, Illinois: American Academy of Sleep Medicine, 2015. (AASM, Hrsg.).
- Besedovsky, L., Lange, T., & Haack, M. (2019). The Sleep-Immune Crosstalk in Health and Disease. *Physiological Reviews*, 99(3), 1325–1380.
<https://doi.org/10.1152/physrev.00010.2018>
- Bixler, E. (2009). Sleep and society: An epidemiological perspective. *Sleep Medicine*, 10, S3–S6. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2009.07.005>
- Bolling, D. Z., Pitskel, N. B., Deen, B., Crowley, M. J., Mayes, L. C., & Pelphrey, K. A. (2011). Development of neural systems for processing social exclusion from

- childhood to adolescence. *Developmental Science*, 14(6), 1431–1444.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2011.01087.x>
- Breslau, N., Roth, T., Rosenthal, L., & Andreski, P. (1996). Sleep disturbance and psychiatric disorders: A longitudinal epidemiological study of young Adults. *Biological Psychiatry*, 39(6), 411–418. [https://doi.org/10.1016/0006-3223\(95\)00188-3](https://doi.org/10.1016/0006-3223(95)00188-3)
- Breyer, B., & Bluemke, M. (2016). *Deutsche Version der Positive and Negative Affect Schedule PANAS (GESIS Panel)*. <https://doi.org/10.6102/zis242>
- Briançon-Marjollet, A., Weiszenstein, M., Henri, M., Thomas, A., Godin-Ribuot, D., & Polak, J. (2015). The impact of sleep disorders on glucose metabolism: Endocrine and molecular mechanisms. *Diabetology & Metabolic Syndrome*, 7(1), 25. <https://doi.org/10.1186/s13098-015-0018-3>
- Bryant, P. A., Trinder, J., & Curtis, N. (2004). Sick and tired: Does sleep have a vital role in the immune system? *Nature Reviews Immunology*, 4(6), 457–467.
<https://doi.org/10.1038/nri1369>
- Burgdorf, C., Rinn, C., & Stemmler, G. (2016). Effects of personality on the opioidergic modulation of the emotion warmth-liking: Opioidergic Modulation of Warmth-Liking. *Journal of Comparative Neurology*, 524(8), 1712–1726.
<https://doi.org/10.1002/cne.23847>
- Cartwright, R., Baehr, E., Kirkby, J., Pandi-Perumal, S. R., & Kabat, J. (2003). REM sleep reduction, mood regulation and remission in untreated depression. *Psychiatry Research*, 121(2), 159–167. [https://doi.org/10.1016/S0165-1781\(03\)00236-1](https://doi.org/10.1016/S0165-1781(03)00236-1)
- Cauter, E. V., Leproult, R., & Plat, L. (2000). Age-Related Changes in Slow Wave Sleep and REM Sleep and Relationship With Growth Hormone and Cortisol

Levels in Healthy Men. *JAMA*, 284(7), 861–868.

<https://doi.org/10.1001/jama.284.7.861>

Davidson, R. J. (2002). Anxiety and affective style: Role of prefrontal cortex and amygdala. *Biological Psychiatry*, 51(1), 68–80. [https://doi.org/10.1016/S0006-3223\(01\)01328-2](https://doi.org/10.1016/S0006-3223(01)01328-2)

DeWall, C. N., MacDonald, G., Webster, G. D., Masten, C. L., Baumeister, R. F., Powell, C., Combs, D., Schurtz, D. R., Stillman, T. F., Tice, D. M., & Eisenberger, N. I. (2010). Acetaminophen Reduces Social Pain: Behavioral and Neural Evidence. *Psychological Science*, 21(7), 931–937. <https://doi.org/10.1177/0956797610374741>

DeWall, C. N., Masten, C. L., Powell, C., Combs, D., Schurtz, D. R., & Eisenberger, N. I. (2012). Do neural responses to rejection depend on attachment style? An fMRI study. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 7(2), 184–192. <https://doi.org/10.1093/scan/nsq107>

Downey, G., Mougios, V., Ayduk, O., London, B. E., & Shoda, Y. (2004). Rejection Sensitivity and the Defensive Motivational System: Insights From the Startle Response to Rejection Cues. *Psychological Science*, 15(10), 668–673. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2004.00738.x>

Ehring, T., & Quack, D. (2010). Emotion Regulation Difficulties in Trauma Survivors: The Role of Trauma Type and PTSD Symptom Severity. *Behavior Therapy*, 41(4), 587–598. <https://doi.org/10.1016/j.beth.2010.04.004>

Eisenberger, N. I., & Lieberman, M. D. (2004). Why rejection hurts: A common neural alarm system for physical and social pain. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(7), 294–300. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.05.010>

- Eisenberger, N. I., Lieberman, M. D., & Williams, K. D. (2003). Does Rejection Hurt? An fMRI Study of Social Exclusion. *Science*, 302(5643), 290–292.
<https://doi.org/10.1126/science.1089134>
- Finan, P. H., Quartana, P. J., Remeniuk, B., Garland, E. L., Rhudy, J. L., Hand, M., Irwin, M. R., & Smith, M. T. (2017). Partial Sleep Deprivation Attenuates the Positive Affective System: Effects Across Multiple Measurement Modalities. *Sleep*, 40(1). <https://doi.org/10.1093/sleep/zsw017>
- Floyd, J. A., Janisse, J. J., Jenuwine, E. S., & Ager, J. W. (2007). Changes in REM-Sleep Percentage Over the Adult Lifespan. *Sleep*, 30(7), 829–836.
<https://doi.org/10.1093/sleep/30.7.829>
- Forsdyke, S. (2009). *Exile, Ostracism, and Democracy: The Politics of Expulsion in Ancient Greece*. Princeton University Press.
- Franzen, P. L., & Buysse, D. J. (2017). Sleep in Psychiatric Disorders. In S. Chokroverty (Hrsg.), *Sleep Disorders Medicine* (S. 977–996). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6578-6_46
- Franzen, P. L., SIEGLE, G. J., & BUYSSE, D. J. (2008). Relationships between affect, vigilance, and sleepiness following sleep deprivation. *Journal of sleep research*, 17(1), 34–41. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2008.00635.x>
- Gangwisch, J. E., Heymsfield, S. B., Boden-Albala, B., Buijs, R. M., Kreier, F., Pickering, T. G., Rundle, A. G., Zammit, G. K., & Malaspina, D. (2006). Short Sleep Duration as a Risk Factor for Hypertension: Analyses of the First National Health and Nutrition Examination Survey. *Hypertension*, 47(5), 833–839.
<https://doi.org/10.1161/01.HYP.0000217362.34748.e0>
- Gangwisch, J. E., Heymsfield, S. B., Boden-Albala, B., Buijs, R. M., Kreier, F., Pickering, T. G., Rundle, A. G., Zammit, G. K., & Malaspina, D. (2007). Sleep

- Duration as a Risk Factor for Diabetes Incidence in a Large US Sample. *Sleep*, 30(12), 1667–1673. <https://doi.org/10.1093/sleep/30.12.1667>
- Goel, N., Rao, H., Durmer, J., & Dinges, D. (2009). Neurocognitive Consequences of Sleep Deprivation. *Seminars in Neurology*, 29(04), 320–339. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1237117>
- Goldin, P. R., McRae, K., Ramel, W., & Gross, J. J. (2008). The Neural Bases of Emotion Regulation: Reappraisal and Suppression of Negative Emotion. *Biological psychiatry*, 63(6), 577–586. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2007.05.031>
- Goldstein, A. N., & Walker, M. P. (2014). The Role of Sleep in Emotional Brain Function. *Annual Review of Clinical Psychology*, 10(1), 679–708. <https://doi.org/10.1146/annurev-clinpsy-032813-153716>
- Gonsalkorale, K., & Williams, K. D. (2007). The KKK won't let me play: Ostracism even by a despised outgroup hurts. *European Journal of Social Psychology*, 37(6), 1176–1186. <https://doi.org/10.1002/ejsp.392>
- Gottesmann, C., & Gottesman, I. (2007). The neurobiological characteristics of rapid eye movement (REM) sleep are candidate endophenotypes of depression, schizophrenia, mental retardation and dementia. *Progress in Neurobiology*, 81(4), 237–250. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2007.01.004>
- Groch, S., Wilhelm, I., Diekelmann, S., & Born, J. (2013). The role of REM sleep in the processing of emotional memories: Evidence from behavior and event-related potentials. *Neurobiology of Learning and Memory*, 99, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2012.10.006>
- Gross, J. J. (1998). The emerging field of emotion regulation: An integrative review. *Review of General Psychology*, 2(3), 271–299. <https://doi.org/10.1037/1089-2680.2.3.271>

- Gross, J. J. (2001). Emotion Regulation in Adulthood: Timing Is Everything. *Current Directions in Psychological Science*, 10(6), 214–219.
<https://doi.org/10.1111/1467-8721.00152>
- Gross, J. J., & Muñoz, R. F. (1995). Emotion Regulation and Mental Health. *Clinical Psychology: Science and Practice*, 2(2), 151–164.
<https://doi.org/10.1111/j.1468-2850.1995.tb00036.x>
- Gruber, R., & Cassoff, J. (2014). The Interplay Between Sleep and Emotion Regulation: Conceptual Framework Empirical Evidence and Future Directions. *Current Psychiatry Reports*, 16(11), 500. <https://doi.org/10.1007/s11920-014-0500-x>
- Hall, M. H., Muldoon, M. F., Jennings, J. R., Buysse, D. J., Flory, J. D., & Manuck, S. B. (2008). Self-Reported Sleep Duration is Associated with the Metabolic Syndrome in Midlife Adults. *Sleep*, 31(5), 635–643.
<https://doi.org/10.1093/sleep/31.5.635>
- Harrison, Y., & Home, J. A. (2000). *The Impact of Sleep Deprivation on Decision Making: A Review*. 14.
- Hartgerink, C. H. J., van Beest, I., Wicherts, J. M., & Williams, K. D. (2015). The Ordinal Effects of Ostracism: A Meta-Analysis of 120 Cyberball Studies. *PLOS ONE*, 10(5), e0127002. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127002>
- Heeger, D. J., & Ress, D. (2002). What does fMRI tell us about neuronal activity? *Nature Reviews Neuroscience*, 3(2), 142–151. <https://doi.org/10.1038/nrn730>
- Hillman, D. R., & Lack, L. C. (2013). Public health implications of sleep loss: The community burden. *Medical Journal of Australia*, 199(S8), S7–S10.
<https://doi.org/10.5694/mja13.10620>

- Howell, A. J., Digdon, N. L., Buro, K., & Sheptycki, A. R. (2008). Relations among mindfulness, well-being, and sleep. *Personality and Individual Differences*, 45(8), 773–777. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2008.08.005>
- Hu, T., Zhang, D., Wang, J., Mistry, R., Ran, G., & Wang, X. (2014). Relation between Emotion Regulation and Mental Health: A Meta-Analysis Review. *Psychological Reports*, 114(2), 341–362. <https://doi.org/10.2466/03.20.PR0.114k22w4>
- Iannetti, G. D., Salomons, T. V., Moayedi, M., Mouraux, A., & Davis, K. D. (2013). Beyond metaphor: Contrasting mechanisms of social and physical pain. *Trends in Cognitive Sciences*, 17(8), 371–378. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.06.002>
- IARC Monographs Vol 124 group. (2019). Carcinogenicity of night shift work. *The Lancet. Oncology*, 20(8), 1058–1059. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(19\)30455-3](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(19)30455-3)
- IBM Corporation. (2020). SPSS (1.0.0.1406) [Computer software]. IBM Corporation.
- Janak, P. H., & Tye, K. M. (2015). From circuits to behaviour in the amygdala. *Nature*, 517(7534), 284–292. <https://doi.org/10.1038/nature14188>
- JASP Team. (2020). JASP (0.12.2) [Computer software]. JASP Team. <https://jasp-stats.org/>
- Kessler, R. C., Berglund, P., Demler, O., Jin, R., Merikangas, K. R., & Walters, E. E. (2005). Lifetime Prevalence and Age-of-Onset Distributions of DSM-IV Disorders in the National Comorbidity Survey Replication. *Archives of General Psychiatry*, 62(6), 593. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.62.6.593>
- Koren, D., Dumin, M., & Gozal, D. (2016). Role of sleep quality in the metabolic syndrome. *Diabetes, metabolic syndrome and obesity : targets and therapy*. <https://doi.org/10.2147/DMSO.S95120>

- Krause, A. J., Simon, E. B., Mander, B. A., Greer, S. M., Saletin, J. M., Goldstein-Piekarski, A. N., & Walker, M. P. (2017). The sleep-deprived human brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 18(7), 404–418.
<https://doi.org/10.1038/nrn.2017.55>
- Kripke, D. F., Garfinkel, L., Wingard, D. L., Klauber, M. R., & Marler, M. R. (2002). Mortality Associated With Sleep Duration and Insomnia. *Archives of General Psychiatry*, 59(2), 131. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.59.2.131>
- Kronholm, E., Partonen, T., Laatikainen, T., Peltonen, M., Härmä, M., Hublin, C., Kaprio, J., Aro, A. R., Partinen, M., Fogelholm, M., Valve, R., Vahtera, J., Oksanen, T., Kivimäki, M., Koskenvuo, M., & Sutela, H. (2008). Trends in self-reported sleep duration and insomnia-related symptoms in Finland from 1972 to 2005: A comparative review and re-analysis of Finnish population samples. *Journal of Sleep Research*, 17(1), 54–62. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2008.00627.x>
- Lancaster, J. L., Summerlin, J. L., Rainey, L., Freitas, C. S., & Fox, P. T. (1997). The Talairach Daemon a database server for talairach atlas labels. *NeuroImage*, 5(4 PART II). <https://scholars.uthscsa.edu/en/publications/the-talairach-daemon-a-database-server-for-talairach-atlas-labels>
- Lancaster, J. L., Woldorff, M. G., Parsons, L. M., Liotti, M., Freitas, C. S., Rainey, L., Kochunov, P. V., Nickerson, D., Mikiten, S. A., & Fox, P. T. (2000). Automated Talairach Atlas labels for functional brain mapping. *Human Brain Mapping*, 10(3), 120–131. [https://doi.org/10.1002/1097-0193\(200007\)10:3<120::AID-HBM30>3.0.CO;2-8](https://doi.org/10.1002/1097-0193(200007)10:3<120::AID-HBM30>3.0.CO;2-8)
- Lange, T., Dimitrov, S., & Born, J. (2010). Effects of sleep and circadian rhythm on the human immune system. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1193(1), 48–59. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.05300.x>

- Lindquist, K. A., Satpute, A. B., Wager, T. D., Weber, J., & Barrett, L. F. (2016). The Brain Basis of Positive and Negative Affect: Evidence from a Meta-Analysis of the Human Neuroimaging Literature. *Cerebral Cortex*, 26(5), 1910–1922. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhv001>
- Liu, Y. (2016). Prevalence of Healthy Sleep Duration among Adults—United States, 2014. *MMWR. Morbidity and Mortality Weekly Report*, 65. <https://doi.org/10.15585/mmwr.mm6506a1>
- MacDonald, G., & Leary, M. R. (2005). Why Does Social Exclusion Hurt? The Relationship Between Social and Physical Pain. *Psychological Bulletin*, 131(2), 202–223. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.131.2.202>
- Maldjian, J. A., Laurienti, P. J., & Burdette, J. H. (2004). Precentral gyrus discrepancy in electronic versions of the Talairach atlas. *NeuroImage*, 21(1), 450–455. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2003.09.032>
- Maldjian, J. A., Laurienti, P. J., Kraft, R. A., & Burdette, J. H. (2003). An automated method for neuroanatomic and cytoarchitectonic atlas-based interrogation of fMRI data sets. *NeuroImage*, 19(3), 1233–1239. [https://doi.org/10.1016/S1053-8119\(03\)00169-1](https://doi.org/10.1016/S1053-8119(03)00169-1)
- Masten, C. L., Eisenberger, N. I., Borofsky, L. A., Pfeifer, J. H., McNealy, K., Mazziotta, J. C., & Dapretto, M. (2009). Neural correlates of social exclusion during adolescence: Understanding the distress of peer rejection. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 4(2), 143–157. <https://doi.org/10.1093/scan/nsp007>
- Matricciani, L., Olds, T., & Petkov, J. (2012). In search of lost sleep: Secular trends in the sleep time of school-aged children and adolescents. *Sleep Medicine Reviews*, 16(3), 203–211. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2011.03.005>
- Mauss, I. B., Troy, A. S., & LeBourgeois, M. K. (2013). Poorer sleep quality is associated with lower emotion-regulation ability in a laboratory paradigm.

- Cognition & emotion*, 27(3), 567–576.
<https://doi.org/10.1080/02699931.2012.727783>
- McCarley, R. W. (2007). Neurobiology of REM and NREM sleep. *Sleep Medicine*, 8(4), 302–330. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2007.03.005>
- Mitchell, D. G. V. (2011). The nexus between decision making and emotion regulation: A review of convergent neurocognitive substrates. *Behavioural Brain Research*, 217(1), 215–231. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2010.10.030>
- Morgenthaler, J., Wiesner, C. D., Hinze, K., Abels, L. C., Prehn-Kristensen, A., & Göder, R. (2014). Selective REM-Sleep Deprivation Does Not Diminish Emotional Memory Consolidation in Young Healthy Subjects. *PLoS ONE*, 9(2), e89849. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0089849>
- Nezlek, J. B., Kowalski, R. M., Leary, M. R., Blevins, T., & Holgate, S. (1997). Personality Moderators of Reactions to Interpersonal Rejection: Depression and Trait Self-Esteem, Personality Moderators of Reactions to Interpersonal Rejection: Depression and Trait Self-Esteem. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 23(12), 1235–1244. <https://doi.org/10.1177/01461672972312001>
- Nicholson, A. N., Belyavin, A. J., & Pascoe, P. A. (1989). Modulation of rapid eye movement sleep in humans by drugs that modify monoaminergic and purinergic transmission. *Neuropsychopharmacology: Official Publication of the American College of Neuropsychopharmacology*, 2(2), 131–143.
[https://doi.org/10.1016/0893-133x\(89\)90016-x](https://doi.org/10.1016/0893-133x(89)90016-x)
- Nielsen, T. A., Paquette, T., Solomonova, E., Lara-Carrasco, J., Popova, A., & Levrier, K. (2010). REM sleep characteristics of nightmare sufferers before and after REM sleep deprivation. *Sleep Medicine*, 11(2), 172–179.
<https://doi.org/10.1016/j.sleep.2008.12.018>

- Ochsner, K. N., Bunge, S. A., Gross, J. J., & Gabrieli, J. D. E. (2002). Rethinking Feelings: An fMRI Study of the Cognitive Regulation of Emotion. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(8), 1215–1229.
<https://doi.org/10.1162/089892902760807212>
- Ochsner, K. N., & Gross, J. J. (2005). The cognitive control of emotion. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(5), 242–249. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.03.010>
- Palmer, C. A., & Alfano, C. A. (2017). Sleep and emotion regulation: An organizing, integrative review. *Sleep Medicine Reviews*, 31, 6–16.
<https://doi.org/10.1016/j.smr.2015.12.006>
- Pilcher, J. J., & Huffcutt, A. I. (1996). Effects of Sleep Deprivation on Performance: A Meta-Analysis. *Sleep*, 19(4), 318–326. <https://doi.org/10.1093/sleep/19.4.318>
- Rechtschaffen, A., & Kales, A. (1968). *A Manual of Standardized Terminology, Techniques and Scoring System for Sleep Stages of Human Subjects*.
<http://archive.org/details/RKManual>
- Rosales-Lagarde, A., Armony, J. L., del Río-Portilla, Y., Trejo-Martínez, D., Conde, R., & Corsi-Cabrera, M. (2012). Enhanced emotional reactivity after selective REM sleep deprivation in humans: An fMRI study. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 6. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2012.00025>
- Simon, E. B., Oren, N., Sharon, H., Kirschner, A., Goldway, N., Okon-Singer, H., Tauman, R., Deweese, M. M., Keil, A., & Hendler, T. (2015). Losing Neutrality: The Neural Basis of Impaired Emotional Control without Sleep. *Journal of Neuroscience*, 35(38), 13194–13205.
<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1314-15.2015>
- Staner, L. (2010). Comorbidity of insomnia and depression. *Sleep Medicine Reviews*, 14(1), 35–46. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2009.09.003>

- Steptoe, A., O'Donnell, K., Marmot, M., & Wardle, J. (2008). Positive affect, psychological well-being, and good sleep. *Journal of Psychosomatic Research*, 64(4), 409–415. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2007.11.008>
- Tassi, P., & Muzet, A. (2000). Sleep inertia. *Sleep Medicine Reviews*, 4(4), 341–353. <https://doi.org/10.1053/smr.2000.0098>
- Thase, M. E. (1998). Depression, sleep, and antidepressants. *The Journal of Clinical Psychiatry*, 59(Suppl 4), 55–65.
- Treede, R.-D., Kenshalo, D. R., Gracely, R. H., & Jones, A. K. P. (1999). The cortical representation of pain. *PAIN*, 79(2), 105–111. [https://doi.org/10.1016/S0304-3959\(98\)00184-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3959(98)00184-5)
- Van Cauter, E., Spiegel, K., Tasali, E., & Leproult, R. (2008). Metabolic consequences of sleep and sleep loss. *Sleep Medicine*, 9, S23–S28. [https://doi.org/10.1016/S1389-9457\(08\)70013-3](https://doi.org/10.1016/S1389-9457(08)70013-3)
- van der Helm, E., & Walker, M. P. (2011). Sleep and Emotional Memory Processing. *Sleep Medicine Clinics*, 6(1), 31–43. <https://doi.org/10.1016/j.jsmc.2010.12.010>
- van der Helm, E., Yao, J., Dutt, S., Rao, V., Saletin, J. M., & Walker, M. P. (2011). REM Sleep Depotentiates Amygdala Activity to Previous Emotional Experiences. *Current Biology*, 21(23), 2029–2032. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2011.10.052>
- Wagner, U. (2002). Changes in Emotional Responses to Aversive Pictures Across Periods Rich in Slow-Wave Sleep Versus Rapid Eye Movement Sleep. *Psychosomatic Medicine*, 64(4), 627–634. <https://doi.org/10.1097/01.PSY.0000021940.35402.51>
- Wagner, Ulrich, Gais, S., & Born, J. (2001). Emotional Memory Formation Is Enhanced across Sleep Intervals with High Amounts of Rapid Eye Movement Sleep. *Learning & Memory*, 8(2), 112–119. <https://doi.org/10.1101/lm.36801>

- Walker, M. P., & van der Helm, E. (2009). Overnight therapy? The role of sleep in emotional brain processing. *Psychological Bulletin*, 135(5), 731–748.
<https://doi.org/10.1037/a0016570>
- Wiesner, C. D., Pulst, J., Krause, F., Elsner, M., Baving, L., Pedersen, A., Prehn-Kristensen, A., & Göder, R. (2015). The effect of selective REM-sleep deprivation on the consolidation and affective evaluation of emotional memories. *Neurobiology of Learning and Memory*, 122, 131–141.
<https://doi.org/10.1016/j.nlm.2015.02.008>
- Williams, K. D. (2007). Ostracism. *Annual Review of Psychology*, 58(1), 425–452.
<https://doi.org/10.1146/annurev.psych.58.110405.085641>
- Williams, K. D. (2009). Chapter 6 Ostracism: A Temporal Need-Threat Model. In *Advances in Experimental Social Psychology* (Bd. 41, S. 275–314). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0065-2601\(08\)00406-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2601(08)00406-1)
- Williams, K. D., & Jarvis, B. (2006). Cyberball: A program for use in research on interpersonal ostracism and acceptance. *Behavior Research Methods*, 38(1), 174–180. <https://doi.org/10.3758/BF03192765>
- Yoo, S.-S., Gujar, N., Hu, P., Jolesz, F. A., & Walker, M. P. (2007). The human emotional brain without sleep—A prefrontal amygdala disconnect. *Current Biology*, 17(20), R877–R878. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.08.007>
- Zadro, L., Boland, C., & Richardson, R. (2006). How long does it last? The persistence of the effects of ostracism in the socially anxious. *Journal of Experimental Social Psychology*, 42(5), 692–697. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2005.10.007>
- Zadro, L., Williams, K. D., & Richardson, R. (2004). How low can you go? Ostracism by a computer is sufficient to lower self-reported levels of belonging, control, self-esteem, and meaningful existence. *Journal of Experimental Social Psychology*, 40(4), 560–567. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2003.11.006>

- Zohar, D., Tzischinsky, O., Epstein, R., & Lavie, P. (2005). The Effects of Sleep Loss on Medical Residents' Emotional Reactions to Work Events: A Cognitive-Energy Model. *Sleep*, 28(1), 47–54. <https://doi.org/10.1093/sleep/28.1.47>

8 Danksagung

Mein Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Dr. Sören Krach und meinem Betreuer David Stolz, die mich in jeglicher Hinsicht hervorragend bei der Erstellung dieser Arbeit betreut haben. Ich bedanke mich für die Überlassung des Dissertationsthemas, die Möglichkeit mich dem *Social Neuroscience Lab* anschließen zu dürfen, für die Korrekturvorschläge, für das schnelle und umfassende Beantworten meiner Fragen und die anregenden Diskussionen. Ich danke Prof. Dr. Frieder Paulus für die Unterstützung und seine Ratschläge bei der Einarbeitung in die Technik und Auswertung der fMRT und allen weiteren Mitgliedern des *Social Neuroscience Lab* für die Integration in das Team und die interessanten Gespräche. Weiter danke ich Christian Lange und Armin Steffen aus dem Schlaflabor des UKSH Lübeck für ihre Unterstützung bei der Polysomnographie-Auswertung. Dipl. Psych. Werner Cassel, Dr. Karl Kesper und Prof. Dr. Ulrich Koehler danke ich für die Hilfe bei der Übertragung der Polysomnographie-Daten nach Lübeck. Ein besonderer Dank gilt meinen Eltern für ihre uneingeschränkte Unterstützung.

9 Lebenslauf

9.1 Persönliche Daten:

Robert Wilhelm Glosemeyer, 27 Jahre



9.2 Hochschulstudium:

2019 – 2020	Student im Praktischen Jahr: Innere Medizin, <i>Universitätsklinikum Münster</i> Chirurgie, <i>Hospital Civil Fray-Antonio-Alcalde, Guadalajara, Mexiko</i> Neurologie, <i>Segeberger Kliniken</i>
2016/2017	Auslandssemester (Erasmus-Programm) <i>Universidad Miguel Hernández de Elche, Spanien</i>
2013 - 2020	Studium der Humanmedizin <i>Universität zu Lübeck</i>
2011	Abitur <i>Gymnasium Ursulaschule Osnabrück</i>

9.3 Beruflicher Werdegang:

Seit August 2020	Assistenzarzt <i>Klinik für Neurologie</i> <i>Medizinische Hochschule Hannover</i>
2011-2013	Ausbildung zum Rettungsassistenten <i>DRK Rettungsschule Westfalen, Münster</i> <i>ASB Rettungswache, Osnabrück</i>

9.4 Zeitraum der Dissertation:

2017 – 2021	Promotionsverfahren: “Effekte einer REM-Schlaf Unterdrückung auf Affekt und neurale Reaktionen während sozialer Ausgrenzung” Doktorvater: Prof. Dr. S. Krach, Universität zu Lübeck
-------------	---

10 Publikationen:

Glosemeyer, R.W., Diekelmann, S., Cassel, W. et al. Selective suppression of rapid eye movement sleep increases next-day negative affect and amygdala responses to social exclusion. *Sci Rep* **10**, 17325 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74169-8>