

## Effekte von Achtsamkeitsmeditation auf stressassoziiertes Ernährungsverhalten und neuronale Korrelate

Alexander Maczka

Vollständiger Abdruck der von der TUM School of Medicine and Health der  
Technischen Universität München zur Erlangung eines  
Doktors der Medizin (Dr. med.)  
genehmigten Dissertation.

Vorsitz: Prof. Dr. Susanne Kossatz

Prüfende der Dissertation:

1. apl. Prof. Dr. Kathrin Koch
2. Prof. Dr. Paul Lingor

Die Dissertation wurde am 14.02.2024 bei der Technischen Universität München  
eingereicht und durch die TUM School of Medicine and Health am 04.06.2024  
angenommen.

# Inhaltsverzeichnis

## Abkürzungsverzeichnis

<b>1. Abstract</b> .....	<b>5</b>
<b>2. Zusammenfassung</b> .....	<b>6</b>
<b>3. Einleitung</b> .....	<b>7</b>
3.1 Stress & die Stressreaktion .....	7
3.2 Wirkung von Stress auf Ernährung.....	9
3.3 Stressassoziierte Fehlernährung und Fettleibigkeit.....	10
3.4 Achtsamkeit .....	14
3.5 Achtsamkeitsbasierte Interventionen.....	15
3.6 Effekte der Achtsamkeitsmeditation .....	16
3.7 Neuronale Korrelate von Achtsamkeitsmeditation, Stress und Ernährungs-verhalten .....	18
3.8 Fasciculus longitudinalis superior (SLF) .....	20
3.9 Diffusion-Tensor-Imaging (DTI) .....	22
3.10 Ziele und Hypothesen.....	23
<b>4. Methoden</b> .....	<b>25</b>
4.1 Studienteilnehmer.....	25
4.2 Intervention: Achtsamkeitstraining .....	26
4.3 Kontrollbedingung: Kurs zur Gesundheitsverbesserung .....	26
4.4 Material und Fragebögen .....	27
4.4.1 <i>Perceived Stress Scale</i> .....	27
4.4.2 <i>Salzburg Stress Eating Scale (SSES)</i> .....	27
4.5 Vorgehensweise .....	28
4.6 Erhebung von Diffusions-Tensor-Bildgebungsdaten .....	29
4.7 DTI-Verarbeitung und Analyse .....	30
4.8 Statistische Analyse .....	31
4.9 Eigenanteil.....	31
<b>5. Ergebnisse</b> .....	<b>33</b>
5.1 Salzburger Stress Eating Scale (SSES).....	33
5.2 DTI basierte neuronale Veränderungen .....	33
5.2.1 <i>Rechter SLF</i> .....	34
5.2.2 <i>Linker SLF</i> .....	35
5.3 Korrelationen zwischen SSES und SLF innerhalb der Experimentalgruppe .....	36
<b>6. Diskussion</b> .....	<b>38</b>
6.1 Auswirkung der Achtsamkeitsmeditation auf den SSES-Score.....	38
6.2 Auswirkung der Achtsamkeitsmeditation auf neuronale Korrelate in der Bildgebung .....	39

6.3 Veränderungen beim SSES-Score und in der Bildgebung im Vergleich .....	42
6.4 Limitationen und methodische Überlegungen .....	43
6.5 Achtsamkeitsmeditation als Therapieansatz bei stressbedingtem Essverhalten .....	45
<b>7. Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>46</b>
<b>8. Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>47</b>
<b>9. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>48</b>
<b>10. Veröffentlichungsverzeichnis .....</b>	<b>61</b>
<b>11. Anhang.....</b>	<b>62</b>
11.1 Ablaufschema der Achtsamkeitsintervention und des Gesundheitskurses .....	62
11.2 Perceived Stress Scale (PSS-10).....	64
11.3 Salzburg Stress Eating Scale (SSES) .....	65
<b>12. Danksagung .....</b>	<b>66</b>

## Abkürzungsverzeichnis

ACC	Anteriorer cingulärer Cortex
ACTH	Adrenocorticotropes Hormon
AD	Axiale Diffusivität
ANOVA	Analysis of Variance
BMI	Body-Mass-Index
CRH	Corticotropin-Releasing-Hormon
DLPFC	Dorsolateraler präfrontaler Cortex
DTI	Diffusions-Tensor-Bildgebung
FA	Fraktionelle Anisotropie
FCQ-S	Food Cravings Questionnaire-State
FLAIR	Fluid-attenuated-inversion-recovery
fMRI	Funktionelle Magnetresonanztomographie
FOV	Field of view
GRE	Gradientenechosequenz
HHNA	Hypothalamus-Hypophysen-Nebennieren-Achse
MAAS	Mindful Attention and Awareness Scale
MBSR	Mindfulness-Based Stress Reduction
MD	Mittlere Diffusivität
MPRAGE	Magnetization Prepared Rapid Acquisition with Gradient Echoes
MRT	Magnetresonanztomographie
MS	Multiple Sklerose
PFC	Präfrontaler Kortex
PSS	Perceived Stress Scale
RD	Radiale Diffusivität
SAM	Sympathoadrenomedulläres System
SLF	Superior longitudinal fasciculus
SSES	Salzburg Stress Eating Scale
TE	Echozeit
TR	Repetitionszeit

## **1. Abstract**

Prolonged exposure to stress implicates the physiological system, which can have adverse effects on many health-related domains, including eating behavior. As the global prevalence of chronic stress continues to rise, it is imperative to investigate an intervention to reduce stress and its accompanying diseases. Stress-induced overeating, for example, can lead to the accumulation of visceral fat tissue thereby increasing the risk of developing metabolic and cardiovascular diseases such as type 2 diabetes and hypertension. Stress-eating can, therefore, not only severely impact physiological health but can also greatly reduce an individual's quality of life. Mindfulness meditation, through its ability to regulate emotions and increase interoceptive awareness, could serve as a candidate to reduce stress as well as its subsequent maladaptive eating behavior. As the effects of stress and mindfulness can be observed on the behavioral and neuronal levels, the main aims of this dissertation project were to investigate the effectiveness of a food-related, mindfulness training on stress-eating and observe its corresponding neural correlates.

In conclusion, the results showed no significant effects of mindfulness training on either stress eating behavior or white matter structures. Although previous studies have demonstrated positive effects of mindfulness mediation, further research is needed on its effectiveness as an intervention strategy for stress eating behavior.

## 2. Zusammenfassung

Die längere Exposition gegenüber Stress betrifft das physiologische System und kann negative Auswirkungen auf viele gesundheitsbezogene Bereiche haben, einschließlich des Essverhaltens. Stress ist nämlich oft mit verstärkten Gefühlen von Hunger und erhöhter Kalorienaufnahme verbunden. Diese stressessenden Tendenzen können zu einer erheblichen Gewichtszunahme führen, welche wiederum das Risiko für die Entwicklung von Stoffwechsel- und Herz-Kreislauferkrankungen wie Typ-2-Diabetes oder Hypertonie erhöht. Da die weltweite Verbreitung von chronischem Stress weiter zunimmt, ist es dringend erforderlich an effektiven Interventionen zur Reduzierung von Stress und den damit verbundenen Krankheiten zu forschen. Die positiven Effekte der Anwendung von Achtsamkeitstraining auf beispielsweise Emotionsregulierung und die Steigerung des Bewusstseins wurden bereits in mehreren psychologischen und neurowissenschaftlichen Forschungsstudien beschrieben. Studien wie diese, die die Auswirkungen des Achtsamkeitstrainings speziell auf ein schlecht angepasstes Essverhalten und die entsprechenden strukturellen Korrelate beobachten, sind jedoch nach wie vor rar.

Im Rahmen dieser randomisiert kontrollierten Studie haben wir die Wirkung eines essbezogenen Achtsamkeitstrainings im Vergleich zu einem allgemeinen Gesundheitskurs mittels moderner Bildgebungstechnik und Fragebögen untersucht. Es wurden 36 Probanden mit der Neigung zum Stressessen per Zufallsprinzip entweder der Experimental- (n = 18) oder Kontrollgruppe (n = 18) zugeordnet. Vor und nach Abschluss der Interventionen bewerteten wir neben den auf der Diffusionstensor-Bildgebung (DTI) basierenden Eigenschaften der weißen Substanz (fraktionelle Anisotropie, FA) auch das stressbedingte Verlangen nach Nahrung.

Zusammenfassend zeigten die Ergebnisse keine signifikanten Auswirkungen des Achtsamkeitstrainings, weder auf das Stress-Essverhalten noch auf die Strukturen der weißen Substanz. Obwohl frühere Studien positive Effekte von Achtsamkeitsmediation nachweisen konnten, besteht weiterer Forschungsbedarf hinsichtlich der Wirksamkeit als Interventionsstrategie bei Stress-Essverhalten.

### 3. Einleitung

#### 3.1 Stress & die Stressreaktion

Stress kann als eine unspezifische, psychische und/oder somatische Reaktion des Körpers auf eine interne oder externe Anforderung definiert werden (Selye & Procopio, 1951). Selye, einer der ersten Stressforscher, unterschied weiter zwischen Eustress, als einer notwendigen und positiv erlebten Aktivierung des Organismus, und Distress, als einer belastend und schädlich wirkenden Reaktion auf ein Übermaß an Anforderungen (Siedentopp, 2016).

Die Ursachen für Stress sind vielfältig und individuell unterschiedlich. Es handelt sich bei diesen um sogenannte Stressoren, welche jede Art von innerer oder äußerer Stimulation sein können, die eine physiologische Stressreaktion auslösen. Die Voraussetzung dafür ist, dass ein Ereignis als ein solcher Stressor subjektiv wahrgenommen wird. Ein weiterer Erklärungsansatz ist es, Stress als einen Zustand zu betrachten, indem ein Ungleichgewicht zwischen Anforderungen (interner oder externer Natur) und den eigenen wahrgenommenen Fähigkeiten, diesen Anforderungen gerecht zu werden, besteht. (Selye, 1956)

Wird nun von einem Individuum ein Erlebnis als Stressor wahrgenommen, werden Reize von verschiedenen Sinnesorganen aufgenommen, welche im Gehirn ausgewertet und verarbeitet werden. Bei der daraus resultierenden Stressreaktion, die teilweise von Intensität, Dauer und „Typ“ des Stressors abhängig ist, stellen die Aktivierung der Hypothalamus-Hypophysen-Nebennieren-Achse (HHNA) und die des sympathiko-adrenomedullären Systems (SAM) eine entscheidende Rolle dar (Adam & Epel, 2007).

Das SAM-System ist eine der beiden Haupt-Stressachsen. Hier werden, über die zentralnervöse Aktivierung des Sympathikus, im Hypothalamus generierte, elektrische Signale zum einen direkt an die Organe und zum anderen in das Nebennierenmark weitergeleitet. Letzteres führt zu einer Ausschüttung von Adrenalin und Noradrenalin. Diese Hormone werden über die Blutbahn zu ihren Zielzellen transportiert und lösen dort Folgereaktionen aus. Da die Stressoren evolutionär eine sofortige Kampf- oder Flucht-Reaktion erforderten, sollten mit diesen körperlichen Veränderungen die zum Überleben notwendigen Funktionen gefördert werden. Dazu zählen die Freisetzung des als Glykogen gespeicherten Zuckers aus Leberzellen, also die Mobilisierung von

## Einleitung

Energiereserven, eine Erhöhung des Blutdrucks sowie der Herzfrequenz, die Umlenkung des Blutflusses zur Energieversorgung von großen Muskelgruppen, Herz und Gehirn, eine Dilatation der Bronchien und viele andere. Gleichzeitig werden Körperfunktionen, die für das Versetzen des Körpers in Alarmbereitschaft nicht von wesentlicher Bedeutung sind, wie beispielsweise Sexualität oder Verdauung, gehemmt. (Dawans B., 2018)

Bei der HHN-Achse initiieren die Corticotropin-Releasing-Hormon-(CRH)-Neuronen des paraventriculären Nucleus die Stressreaktion und bilden somit den wichtigsten hypothalamischen Regulator. CRH stimuliert die Sekretion von ACTH (Adrenocorticotropes Hormon) aus dem Hypophysenvorderlappen, welches dann auf die Zona fasciculata der Nebennierenrinde wirkt und die Freisetzung von Cortisol auslöst (Adam & Epel, 2007). Das Hormon selbst kann wiederum die Blut-Hirn-Schranke passieren und unterdrückt eine weitere Cortisol-Sekretion. Diese negative Rückkopplungsschleife schützt den Organismus vor zu hohen, schädlichen Cortisol-Blutwerten und hält die Konzentration des Hormons in einem weiten, aber stabilen Arbeitsbereich, um ein „Überschießen“ der Stressreaktion zu verhindern (Huizenga et al., 1998). Cortisol aktiviert katabole Stoffwechselfvorgänge, die der Energiebereitstellung des Organismus dienen. Es zeigt unter anderem Effekte auf den Fett- und Glucosemetabolismus und beeinflusst Wachstum und Gehirnfunktionen. Im Vergleich zum SAM spricht man bei der HHNA von der langsamen Stressreaktion, da die Vermittlung humoral über das Blut vermittelt verläuft und nicht über Nervenzellen (Dawans und Heinrichs 2018).

Die Stressreaktion besteht folglich aus einer Kaskade adaptiver Reaktionen, die sowohl vom zentralen Nervensystem als auch von der Peripherie ausgehen, um die Homöostase des menschlichen Organismus aufrechtzuerhalten (Adam & Epel, 2007). Dabei kommt es zu ausgeprägten, aber meist zeitlich begrenzten, physiologischen und psychologischen Veränderungen, welche den Stoffwechsel, die Wachsamkeit, die Libido und vieles mehr beeinflussen (Chrousos & Gold, 1992). Ein Teil der stereotypen Stressreaktion umfasst auch die Verminderung des Appetits und der Nahrungsaufnahme. Daher scheint es im ersten Moment widersprüchlich anzunehmen, dass mit der Stressreaktion eine Gewichtszunahme assoziiert wird (Adam & Epel, 2007). Im weiteren Text werden mögliche Erklärungsansätze für dieses Stress-Essen-Paradoxon näher betrachtet.

### **3.2 Wirkung von Stress auf Ernährung**

Ergebnisse einer prospektiven Studie haben dargelegt, dass die Mehrheit der Teilnehmer unter Stresszuständen weniger Nahrungsmittel konsumierte (Stone & Brownell, 1994). Nichtsdestotrotz besteht die allgemeine Annahme, dass Stress zu übermäßigem Essen führt (Greeno & Wing, 1994). Ein Erklärungsversuch für diesen scheinbaren Widerspruch bieten Studienergebnisse aus Tierversuchen, bei denen nachgewiesen werden konnte, dass Ratten unter Stresseinfluss Gewicht verlieren, jedoch in der anschließenden Regenerationsphase wieder zunehmen, wodurch sie teilweise das Ursprungsgewicht sogar übertreffen (Tamashiro et al., 2004).

Betrachtet man nun die Reaktion eines Menschen auf einen schweren Stressor, lassen sich Parallelen in der stressbedingten Energieaufnahme finden. Menschen, ebenso wie Ratten, sind dabei oft zuerst von einem kurzfristigen Appetit- und Gewichtsverlust betroffen. Im Anschluss an eine Stressreaktion kommt es dann aber in vielen Fällen zu einem kompensatorischen Anstieg der Nahrungsaufnahme. Diese kompensatorisch erhöhte Nahrungsaufnahme kann schließlich eine Gewichtszunahme auf ein größeres Gewicht als zuvor bewirken. (Adam & Epel, 2007) In der heutigen Zeit nehmen immer mehr Menschen die von der Umwelt auf sie wirkenden Einflüsse als Stressoren wahr (Scott et al., 2012). Täglich einwirkende Stressoren können dabei das Stresserregungssystem in einem chronisch aktivierten Zustand halten, wodurch die endokrinen Regulierungskreisläufe, welche den Appetit und die Nahrungsaufnahme betreffen, moduliert werden und als Folge dessen nicht mehr mit dem tatsächlichen Energiebedarf des Organismus übereinstimmen (Adam & Epel, 2007).

Des Weiteren weisen Forschungen darauf hin, dass eine durch chronischen Stress andauernde Stimulation der Hypothalamus-Hypophysen-Nebennieren-Achse und eine daraus resultierende übermäßige Glukokortikoid-Ausschüttung eine potenzielle Rolle bei der Entwicklung von viszeraler Adipositas spielen können (Adam & Epel, 2007).

Ein anderes Gebiet, das Erkenntnisse über die Wechselwirkungen zwischen Stress und Essen ermöglicht, ist die Suchtforschung. Entsprechende Literaturdaten weisen nach, dass dem Belohnungsschaltkreis des menschlichen Gehirns eine entscheidende Funktion in Bezug auf stressbedingter Ernährung zukommt. Wird der Belohnungsweg nämlich wiederholt stimuliert, kann dies zu Veränderungen auf

## Einleitung

neuronaler Ebene führen, welche schließlich die zwanghafte Natur des Überessens verstärken (Volkow & Wise, 2005).

Chronische Stressoren und wiederholte Stressanfälle nehmen folglich auf unterschiedliche Weise Einfluss auf das Essverhalten und können in einer „stressinduzierten Belohnungsabhängigkeit“ resultieren, die sich durch einen übermäßigen Konsum von schmackhaften Nahrungsmitteln äußern (Adam & Epel, 2007). Die Bedeutung des Belohnungszentrums im Rahmen des stressassoziierten Ernährungsverhaltens und die physiologischen Prozesse, die den geschilderten Zusammenhängen zugrunde liegen, sollen im nächsten Abschnitt genauer beschrieben werden.

### **3.3 Stressassoziierte Fehlernährung und Fettleibigkeit**

Die Prävalenz von Übergewicht (entspricht einem Body-Mass-Index (BMI) von 25-29,9) und Adipositas (BMI  $\geq$  30) hat in den letzten Jahrzehnten dramatisch zugenommen (Scott et al., 2012). Darüber hinaus prognostizieren Publikationen einen Rückgang der Lebenserwartung von US-Bürgern aufgrund der zunehmenden Fettleibigkeit (Cota et al., 2006) Auch wenn sich der Anstieg derzeit in den USA vorübergehend verlangsamt hat, sind dennoch etwa zwei Drittel der Bevölkerung übergewichtig und fast ein Drittel fettleibig (Flegal et al., 2002). Ursprünglich als ein Problem weniger wohlhabender Länder gesehen, hat sich die Fettleibigkeit zu einem globalen Problem entwickelt, welches die bereits belasteten Gesundheitssysteme vor weitere Herausforderungen stellt (Selassie & Sinha, 2011). Als Ursachen für die Entstehung der Adipositas-Epidemie werden hauptsächlich reduzierte körperliche Aktivität sowie übermäßiges Essverhalten verantwortlich gemacht, die deshalb häufig als Ziele potenzieller Interventionen im Bereich der öffentlichen Gesundheit dienen (Keith et al., 2006).

Neben diesen zwei Triebfedern für die beschriebene, besorgniserregende Entwicklung gibt es zahlreiche andere Faktoren, die zum Anstieg von Fettleibigkeit und fettleibigkeitsbedingten Krankheiten beitragen, einschließlich kultureller, industrieller und genetischer Faktoren. Zu diesen zählt man Epigenetik, zunehmendes mütterliches Alter, höhere Fruchtbarkeit bei Menschen mit Adipositas, Schlafmangel, pharmazeutische Iatrogenese als auch den besagten chronischen Stress. Die Berücksichtigung aller möglichen Einflussfaktoren, und die wissenschaftliche

## Einleitung

Hinterfragung deren physiologischen und psychologischen Wirkungsweisen, auf die Zunahme der übergewichtigen Bevölkerung, ist ausgesprochen wichtig und grundlegend dafür, dass ursachenspezifische und wirksame Strategien zur Prävention und Behandlung dieser globalen Epidemie entwickelt werden können. (McAllister et al., 2009)

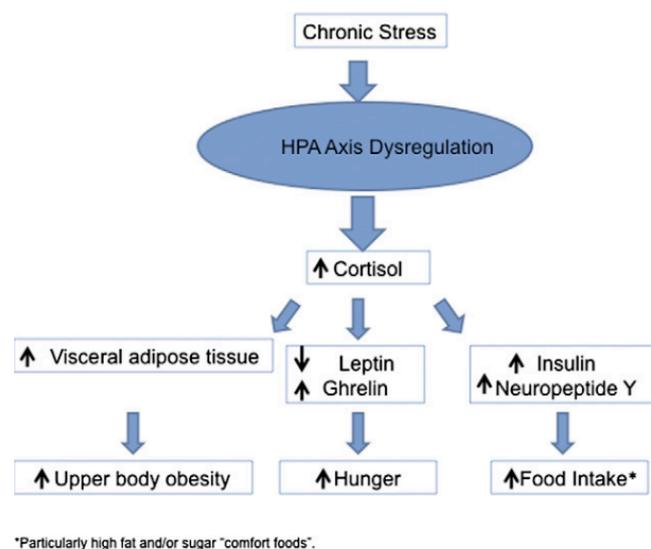
So müssen auch die physiologischen Prozesse der Stressreaktion, die auf mehreren Ebenen auf den Organismus und das Ernährungsverhalten wirken, genau einzeln untersucht werden.

In diesem Zusammenhang spielt die bereits mehrfach angesprochene Hypothalamus-Hypophysen-Nebenniere-Achse eine entscheidende Rolle. Eine durch Stress ausgelöste Aktivierung der HHN-Achse bewirkt die Ausschüttung endogener Opioiden (O'Hare et al., 2004). Es gibt deutliche Hinweise darauf, dass es sich bei diesem Vorgang um einen Teil eines starken Abwehrmechanismus des Organismus gegen die schädlichen Auswirkungen von Stress handelt (Drolet et al., 2001). Opioiden verringern die Aktivität der HHNA, um die Stressreaktion abzuschwächen und zu beenden, wodurch ein negativer Rückkopplungskontrollmechanismus bereitgestellt wird (Kreek & Koob, 1998). Da schmackhafte, meistens hochkalorische, Nahrungsmittel ebenfalls die Freisetzung von körpereigenen Opioiden verstärken, kann der Konsum solcher Lebensmittel als wirksames Instrument verwendet werden, um die stressinduzierte Aktivierung der HHN-Achse zu unterbinden. Dieses Erkenntnis wird in der Literatur als „Selbstmedikation“ mit Nahrung beschrieben (Dallman et al., 2003). Wenn Stress nun chronisch wird und Essen als hilfreiches Bewältigungsverhalten erlernt wird, kann es dazu kommen, dass der oder die Betroffene von dem Verzehr schmackhafter Nahrungsmittel, über die zuvor erwähnten neurobiologischen Anpassungen, „abhängig“ erscheint (Volkow & Wise, 2005).

Eine andere wichtige Folgeaktion, die aus einer stressbedingten Aktivierung der HHN-Achse resultiert, ist die Ausschüttung des Glucocorticoids Cortisol, welches ebenfalls eine maßgebende Größe in diesem Regelkreis darstellt (Rosmond, 2003). Die Annahme der zunehmenden Cortisol-Exposition unter Stress wird durch Studien bekräftigt, die nachweisen konnten, dass der Cortisolspiegel während der Werkzeuge, an denen man in der Regel mehr Stress wahrnimmt, tendenziell höhere Werte erreichte als an arbeitsfreien Tagen (Kunz-Ebrecht et al., 2004). Eine dauerhaft gesteigerte Konzentration an Cortisol beeinflusst das Ernährungsverhalten in zweierlei Hinsicht. Erstens kann Cortisol den Einfluss von Nahrungsmitteln auf das

## Einleitung

Belohnungszentrum im menschlichen Gehirn über neuroendokrine/ Peptid-Mediatoren wie Leptin, Insulin und Neuropeptid Y verändern (Cavagnini et al., 2000). Die Hormone Leptin und Insulin zählen zu den Sättigungssignalen, welche das Hungergefühl physiologisch hemmen, indem sie den Belohnungswert der Nahrung senken (Baskin et al., 1999; Figlewicz & Woods, 2000). Eine stressbedingte, langanhaltende Aktivierung der HHN-Achse führt jedoch zu einer Fehlregulierung dieses Belohnungssystems, wodurch es sensibilisiert und der Belohnungswert von schmackhaften Nahrungsmitteln modifiziert wird. Dies erhöht das Verlangen nach Nahrung mit hohem Fett- und Zuckergehalt, sogenannter „Komfortnahrung“ (Dallman et al., 2003). Studienergebnisse zeigen, dass Frauen mit einem erhöhten Cortisolspiegel mehr hochkalorische Nahrungsmittel und Süßigkeiten gegessen haben als Frauen mit einem niedrigeren Spiegel (Epel et al., 2001).



**Abb. 1** Chronischer Stress – Physiologische Reaktion

Zweitens deutet eine Übersichtsarbeit daraufhin, dass eine stressinduzierte Cortisol-Exposition die Aktivität des rechten präfrontalen Kortex beeinträchtigen kann, wodurch die stärker reflektierte kognitive Kontrolle über die Nahrungsaufnahme, die für den Menschen charakteristisch ist, behindert wird. (Alonso-Alonso & Pascual-Leone, 2007). Die Kombination aus einer Veränderung des neuroendokrinen Gleichgewichts und einer übermäßigen Kalorienzufuhr trägt insgesamt betrachtet zu der Entstehung von Adipositas und der viszeralen Fettverteilung bei (Rosmond, 2005).

## Einleitung

In Tierversuchen konnte nachgewiesen werden, dass die Fettleibigkeit selbst, die oft aus den oben beschriebenen Kreisläufen resultiert, wiederum mit einer verringerten Konzentration an Sättigungssignalen oder einer erhöhten Resistenz auf der entsprechenden Rezeptorebene assoziiert ist (Ikeda et al., 1986). Die Insuffizienz der Hemmung von Hungergefühlen kann als ein weiterer Erklärungsansatz interpretiert werden, um nicht-homöostatisches Essen und die Epidemie des Essens ohne metabolischen Bedarf zu erklären (Figlewicz, 2003).

Die zunehmende Fettleibigkeit geht mit einer steigenden Prävalenz an Typ 2 Diabetes einher und erhöht das Risiko für lebensbedrohliche, kardiovaskuläre Erkrankungen, weshalb effektive Therapien zur Reduktion von Körpergewicht eine fundamentale Bedeutung in unseren Gesundheitssystemen haben sollten (Despres, 2006). Hierbei sind ein höheres Maß an körperlicher Aktivität und eine Einschränkung der Kalorienzufuhr grundlegend (Jacob & Isaac, 2012). Andere Therapieversuche hingegen, wie strikte Diäten oder eine weitreichende Nahrungseinschränkung, sind oft erfolglos, da sie lediglich in Form einer zeitlich beschränkten, negativen Energiebilanz wirken und dadurch zum Teil die positive Rückmeldung des Gehirns auf schmackhafte Nahrungsmittel verstärken, sodass es zu Essattacken kommt, sobald Nahrung verfügbar ist (Polivy, 1996). Eine Übersichtsstudie aus dem Jahr 2015 im „American Journal of Public Health“ stützt diese These. Forscher analysierten die Daten von 77.000 fettleibigen Frauen und 100.000 adipösen Männern, welche diverse Programme vollzogen, um Gewicht abzunehmen. Die Ergebnisse der Follow-Up Studie nach einigen Jahren ergaben, dass lediglich 0,8% der Frauen das Normalgewicht erreicht haben. Bei den Männern lag die Quote unter einem halben Prozent (Fildes et al., 2015).

Ein weiterer Therapieansatz, der auf einen langfristigen Erfolg bedacht ist und sich insbesondere mit der stressassoziierten Fehlernährung beschäftigt, ist die Achtsamkeitsmeditation, welche in dieser Arbeit thematisiert wird. Es liegen vielversprechende Studien und Publikationen vor, die die Wirksamkeit dieser Interventionsform belegen und einen positiven Einfluss der Meditation auf das Ernährungsverhalten beschreiben (Daubenmier et al., 2011).

### 3.4 Achtsamkeit

Die Achtsamkeit hat ihren Ursprung in den östlichen Hemisphären und wird als das „Herz“ der buddhistischen Meditation bezeichnet (Thera, 1962). Das aus dem Bereich asiatischer Meditationstraditionen stammende Prinzip der Achtsamkeit findet bereits seit den 1970er Jahren Anwendung in der klinischen Therapie (Michalak et al., 2008). Vor knapp zwei Jahrzehnten konnten Studien schließlich wissenschaftlich belegen, dass achtsamkeitsbasierte Interventionen wie bei beispielsweise das Mindfulness-Based Stress Reduction (MBSR) Programm (Kabat-Zinn, 1990) psychologische als auch körperliche Symptome wirksam therapieren (Bishop, 2002; Grossman et al., 2004). Es besteht die These, dass Achtsamkeit den Umgang mit Gedanken, Gefühlen und Handlungstendenzen positiv beeinflusst und dadurch heilsam wirkt.

Der Wissenschaftler Kabat-Zinn beschreibt die Achtsamkeit als eine bestimmte Form der Aufmerksamkeitslenkung, die durch drei Merkmale gekennzeichnet ist: (1) absichtsvoll, (2) im gegenwärtigen Moment und (3) nicht wertend (Michalak et al., 2008). Ein achtsamer Zustand fokussiert demnach das Bewusstsein auf die unmittelbaren Erfahrungen. Er ist durch eine offene und akzeptierende Haltung charakterisiert, welche die Wahrnehmungsinhalte nicht kognitiv bewertet (Bishop, 2004; Sauer et al., 2011). Ein von Shauna Shapiro und Kollegen entwickeltes theoretisches Modell ergänzt diese Definition um einen Aspekt. Ihre Theorie besagt, dass ein intentionales Fokussieren der Aufmerksamkeit, mit einer nichtbewertenden Haltung der Offenheit, eine spezifische Veränderung der Wahrnehmung bewirkt, die sie als „Reperceiving“ bezeichnen (Kohls, 2013). Das Reperceiving beschreibt eine bewusstere Wahrnehmung, welche sämtliche kognitive Prozesse eines Menschen toleriert und gleichzeitig versucht diese zu erforschen, anstatt sie zu verdrängen. Dies hilft weniger von Emotionen, Gedanken und Gefühlen geleitet zu werden und führt dazu, dass Verhaltensweisen gewählt werden, die den eigenen Bedürfnissen, Interessen und Werten entsprechen (Brown & Ryan, 2003; Ryan & Deci, 2000). Aufgrund dieser Eigenschaften hat das psychologische Konstrukt der Achtsamkeit in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen und wird mittlerweile als wichtiger Bestandteil vieler psychotherapeutischer Verfahren angesehen (Shapiro et al., 2006). Wie die Achtsamkeitsintervention wirkt, ist jedoch bislang nicht abschließend geklärt und daher Gegenstand zahlreicher, aktueller Forschungen.

### 3.5 Achtsamkeitsbasierte Interventionen

Es ist eine alltägliche Erfahrung, dass das Bewusstsein eines Menschen, während einer bestimmten Handlung, mit gänzlich anderen Inhalten beschäftigt ist. Kabat-Zinn spricht in diesem Zusammenhang von einem „Autopilotenmodus“, durch den viele Menschen von einem unreflektierten Verhaltensmuster betroffen sind. Eine zentrale Annahme achtsamkeitsbasierter Ansätze ist, dass ein solch mangelndes Bewusstsein über den gegenwärtigen Moment, das flexible und angemessene Handeln erschwert und gleichzeitig automatisierte und starre Verhaltensmuster fördert (Heidenreich & Michalak, 2003).

Dem soll das Meditationstraining entgegenwirken, indem es versucht den Zustand beziehungsweise die Fähigkeit der Achtsamkeit zu entwickeln. Ein Prinzip des Trainings ist es dabei, die Aufmerksamkeit immer wieder absichtsvoll zum Erleben des gegenwärtigen Moments zu lenken. Sowohl angenehme als auch unangenehme Empfindungen sollen achtsam betrachtet werden, ohne sie zu verstärken oder zu verdrängen. Die achtsame und akzeptierende Haltung gegenüber dysfunktionalen Gedanken und das Wissen über die Vergänglichkeit aller mentalen Phänomene bietet ein höheres Maß an Toleranz gegenüber unangenehmen inneren Zuständen (Shapiro et al., 2006). Dadurch können Personen adäquat auf ihren Geisteszustand reagieren und unangebrachte, automatisierte Verhaltensweisen wie Trinken, Rauchen oder übermäßiges Essen, die oft durch destruktive Gedanken bedingt sind, verwerfen. Ein weiterer Aspekt der Achtsamkeitsintervention ist es, sich nicht mit Gedanken und Körperempfindungen zu identifizieren und gegenwärtige Emotionen und Gefühle nicht als handlungsleitend wahrzunehmen (Heidenreich & Michalak, 2003). Stattdessen sollen die Kognitionen als vorübergehende, mentale Erlebnisse wahrgenommen werden. Die Haltung wird als „disidentification“ bezeichnet (Teasdale et al., 2002) und kann ebenfalls dabei helfen, standardisierte Bewertungsprozesse loszulassen und sämtliche Erlebnisinhalte achtsam wahrzunehmen.

Bei dem Training, welches helfen soll, die positiven Eigenschaften der Achtsamkeit zu erlernen, wird zwischen formellen als auch informellen Übungen unterschieden (Kabat-Zinn, 1990; Kabat-Zinn, 1994). Zu den formellen Einheiten zählen beispielsweise Atemmeditationen, bei der die Aufmerksamkeit ausschließlich auf die Empfindungen beim Atmen gelenkt wird. Die Schwierigkeit hierbei ist es, nicht

## Einleitung

unachtsam zu werden und sich nicht mit anderen Gedanken und Emotionen zu beschäftigen. Dieser Zustand wird auch als „being mode“ bezeichnet (Segal Z, 2002). Eine der informellen Aufgaben ist es, die Handlungen im alltäglichen Leben mit voller Bewusstheit zu tun. Das heißt zum Beispiel beim Abwaschen „nur“ abzuwaschen und nicht an anstehende Aufgaben am nächsten Tag zu denken (Kabat-Zinn, 1994). Die Übungen der Achtsamkeitsintervention, welche die Probanden der Experimentalgruppe im Rahmen unserer Studie durchführen mussten, werden im Methodenteil noch ausführlicher erläutert.

Neben den oben beschriebenen Veränderungen beeinflusst die Achtsamkeit auch die Selbstregulierung. Dies ist ein Prozess, bei dem Systeme sich an Veränderungen anpassen und somit ihre Funktionsfähigkeit aufrechterhalten. Absicht und Aufmerksamkeit, zwei Hauptkomponenten der Achtsamkeitsintervention, unterstützen solche Rückkopplungsschleifen, zu denen u.a. auch das Stresssystem zählt (Shapiro et al., 2006). Untersuchungen mit der Experience Sampling Methode konnten zeigen, dass höhere Punktzahlen bei einem validierten Achtsamkeitsfragebogen mit emotionalen positiven Zuständen und selbstregulierten Verhaltensweisen einhergingen (Brown & Ryan, 2003).

### **3.6 Effekte der Achtsamkeitsmeditation**

Tägliche, kurze Meditationsübungen/-einheiten führen bereits zu signifikanten gesundheitlichen Vorteilen (Basso et al., 2019). Achtsamkeitsbezogenes Training bewirkt bei Patienten mit psychischen Problemen eine Abnahme von Depressionen, Angstzuständen, Schmerzen, psychischem Stress und Suchtverhalten (Chiesa & Serretti, 2010; Goyal et al., 2014). Zudem fördert es, wie oben bereits erwähnt, den Ausstieg aus ungünstigen Handlungsautomatismen (Kabat-Zinn, 1990) und kann im Sinne einer introspektiven Schulung die Regulation schwieriger Emotionen, beispielsweise chronischem Stress, und den Umgang mit Problemverhalten, zum Beispiel Essattacken, verbessern (Arch & Craske, 2006; Heidenreich et al., 2006). Hinzukommen physiologische Veränderungen wie ein verringerter Blutdruck, reduzierte Entzündungszeichen, eine verbesserte Immunfunktion und eine Glukose- und Insulinresistenz (Koike & Cardoso, 2014; Muehsam et al., 2017).

Essstörungen oder stressassoziierte Fehlernährung können als gescheiterte Versuche angesehen werden, aversive innere Erfahrungen, Gedanken und Emotionen zu

## Einleitung

regulieren (Baer et al., 2005). Hierbei wird das Essen zur kurzfristigen Vermeidung negativ behafteter Kognitionen missbraucht. Im Anschluss an die Essattacke kommt es dann bei den meisten Personen jedoch zu einer Zunahme des negativen Affekts (Apple, 1997). Führt Stress bei einer Person zum Überessen, kann eine achtsamkeits- und akzeptanzbasierte Therapie helfen, anpassungsfähigere Entscheidungen zu treffen und somit auch das Ernährungsverhalten zu verändern.

Einerseits reduziert die Therapie nachweislich Stress (Tang et al., 2007). Dies belegen insbesondere Daten aus Selbstberichten, welche in Studien kontinuierlich erfasst wurden (Creswell et al., 2014). Auch die Auswertung einer Metaanalyse zeigt einen unspezifischen Effekt auf die Stressreduktion bei gesunden Probanden (Chiesa & Serretti, 2009). Darüber hinaus konnten einige Studien eine signifikante Änderung des Cortisolspiegels, einem Stressbiomarker, hin zu niedrigeren Werten feststellen (Fan et al., 2014; Tang et al., 2007).

Andererseits haben getestete, achtsamkeitsbasierte Interventionen zur Gewichtsabnahme vielversprechende Ergebnisse und gute Erfolgsraten bei der Behandlung von Essstörungen dargelegt (Baer et al., 2005; Heffner et al., 2002). Studien weisen zudem nach, dass Personen, die achtsam essen, kleinere Portionsgrößen zu sich nehmen und ihr Ernährungsverhalten besser regulieren können (Beshara et al., 2013). Mechanismen, welche diesen Erfolgen möglicherweise zugrunde liegen, sind ein gesteigertes Bewusstsein für physiologische Hunger- und Sättigungssignale, weniger Stress, der Verzicht auf emotionsregulierte Bewältigungsstrategien und eine Verbesserung von problematischem Essverhalten (Alberts et al., 2012; Dalen et al., 2010; Tapper et al., 2009). Allerdings sind die damit verbundenen Strukturveränderungen auf neuronaler Ebene noch zu großen Teilen unerklärt und nicht abschließend erforscht. Ein größeres Wissen über die Konnektivität von Achtsamkeit und den entsprechenden neuronalen Korrelaten könnte das Verständnis für die achtsamkeitsbasierte Therapie modellieren, indem potenzielle neue physiologische Erklärungsansätze für die beobachteten Wirkungsweisen entdeckt werden. Mit diesem Wissen wäre es dann wiederum möglich, die achtsamkeitsbezogenen Interventionen fortgehend zu verbessern und womöglich eine breitere Akzeptanz in der Gesellschaft zu schaffen. Dadurch könnte diese Art der Therapie in mehr Behandlungskonzepten involviert und somit auch etabliert werden.

### **3.7 Neuronale Korrelate von Achtsamkeitsmeditation, Stress und Ernährungsverhalten**

Die Neuroplastizität des Gehirns ist die Grundvoraussetzung für jegliche strukturellen Veränderungen. Sie bietet die Möglichkeit, dass durch die wiederholte Aktivierung neuronaler Schaltkreise synaptische Verbindungen gestärkt werden und schließlich auch wachsen können. Auf diesem Mechanismus beruht die Praxis der Achtsamkeitsmeditation, welche durch die kontinuierliche Wiederholung von kognitiven Praktiken, die Aktivitätsmuster im Gehirn zu ändern versucht. Das Ziel dabei ist es, einen vorübergehenden Zustand in eine länger anhaltende Eigenschaft des Individuums umzuwandeln. (Siegel, 2007)

Neuroimaging-Studien ermöglichen es die kortikalen Regionen und Netzwerke, welche im Zusammenhang mit dem Achtsamkeitstraining stehen, zu erforschen. Dadurch können die strukturellen Veränderungen und die funktionelle Aktivierung der entsprechenden Gehirnareale dargestellt werden. Die bisherigen Studien sind sehr vielfältig und unterscheiden sich zum Teil in Bezug auf die Eigenschaften der Hirnareale, welche untersucht werden, um die Auswirkungen des Achtsamkeitstrainings zu messen. Zu diesen zählen Gehirnaktivierung, kortikale Dicke (Grant et al., 2010; Lazar et al., 2005), Volumen und Dichte der grauen Substanz (Hölzel, Carmody, et al., 2011; Vestergaard-Poulsen et al., 2009), fraktionale Anisotropie sowie die axiale und radiale Diffusivität weißer Fasertrakte (Tang et al., 2012).

Die Ergebnisse dieser Forschungen weisen auf zahlreiche Veränderungen in der Gehirnstruktur hin, welche mit achtsamkeitsbasierten Interventionen in Verbindung gebracht werden können (Tang et al., 2015). In der Publikation von (Hölzel, Lazar, et al., 2011) wird tabellarisch veranschaulicht, mit welchen Hirnarealen die wesentlichen Mechanismen der Achtsamkeit assoziiert sind. Die Aufmerksamkeitslenkung steht dabei im Zusammenhang mit dem anterioren cingulären Cortex (ACC) (Tang et al., 2012; Tang et al., 2010). Das Körperbewusstsein, also das Fokussieren auf innere Erfahrungen, korreliert mit der Insula und dem temporoparietalen Übergang. Die Emotionsregulation wird einerseits im Rahmen der Neubewertung mit dem dorsalen präfrontalen Cortex (PFC) assoziiert und andererseits, in Hinsicht auf die Wahrnehmung und Verarbeitung sämtlicher Kognitionen, mit dem ventromedialen PFC, dem Hippocampus und der Amygdala. Diese Hirnareale zählen ebenfalls zu den

## Einleitung

acht Gehirnregionen bei Meditierenden, welche bei einer Metaanalyse durchgehend Veränderungen zeigten (Fox et al., 2014). Im Rahmen derselben umfangreichen Metaanalyse, welche sich mit der Aktivierungswahrscheinlichkeit von neuronalen Korrelaten während der Meditation beschäftigte, konnten zudem der Fasciculus superior longitudinalis und das Corpus Callosum als Bereiche mit stetiger Aktivität identifiziert werden (Fox et al., 2014). Diese sind an der intra- und interhemisphärischen Kommunikation beteiligt.

Die aufgeführten Studienergebnisse legen dar, dass die Wirkungsorte vielfältig sind und zahlreiche Hirnareale abdecken. Die Achtsamkeitspraxis umfasst mehrere Aspekte der mentalen Funktion, welche komplexe interaktive Netzwerke im Gehirn nutzen. Mehrere dieser Gehirnnetzwerke und -regionen spielen nicht nur im Zusammenhang mit Achtsamkeitstraining eine Rolle, sondern auch mit dem Essverhalten, dem Stresssystem, Exekutivfunktionen, Selbstkontrolle und vielen anderen kognitiven Prozessen. (Tang et al., 2015)

Ein Beispiel dafür ist der dorsolaterale PFC (DLPFC). Er hat eine wichtige Funktion hinsichtlich des Essverhaltens und sogenannter Heißhungerattacken, da ihm die Verantwortung für regulatorische Aktivitäten und Selbstkontrolle zugesagt wird (Hall, 2016; Miller, 2000). Dies konnten Studien demonstrieren, indem mittels einer transkraniellen Gleichstromstimulation die Erregbarkeit des dorsolateralen PFC reduziert wurde. Die aktive Herunterregulierung dieser Hirnregion bewirkte ein stärkeres Verlangen nach Snacks und erhöhte die Konsumraten (Lowe et al., 2014). Darüber hinaus weisen funktionelle MRT-Studien daraufhin, dass der ACC und die Insula ebenfalls kritische neuronale Areale in Bezug auf chronische Stressexposition darstellen. Chronischer Stress führt nämlich durch Reduzierung von dendritischen Verzweigungen zu einer verminderten Konnektivität eines Aufmerksamkeitsnetzwerkes bestehend aus DLPFC, Insula, ACC und weiteren Hirnregionen. Dessen Beeinträchtigung geht mit einer Einschränkung der kognitiven Funktionen einher. (Liston et al., 2009)

Die Ergebnisse einer anderen Forschungsarbeit deuten darauf hin, dass eine Dysregulation des Essverhaltens mit fehlerhaften Funktionen in der frontoparietalen Region zusammenhängt, welche ebenfalls an Selbstregulationsprozessen beteiligt ist (Smith et al., 2021).

Eine entscheidende neuronale Struktur, welche im Bereich der oben erwähnten Gehirnareale entlang verläuft und einige von diesen auch miteinander verbindet ist der

## Einleitung

Fasciculus longitudinalis superior (SLF). Es ist bekannt, dass die Fasern des SLF mit Prozessen wie der Verhaltensregulation und Selbstkontrolle, der Anpassung des motorischen Verhaltens, der Aufmerksamkeit, des Gedächtnisses, der Emotionen als auch der Integration auditiver Informationen befasst sind (Schmahmann et al., 2008). Daraus ergibt sich der Anhalt, dass strukturelle Veränderungen auf neuronaler Ebene im Rahmen der Achtsamkeitsinterventionen insbesondere auch den SLF betreffen können, weshalb sich die Analysen und Auswertungen der Bildgebung im Ergebnisteil auf diesen Fasertrakt konzentrieren.

### **3.8 Fasciculus longitudinalis superior (SLF)**

Bei dem Fasciculus longitudinalis superior handelt es sich um lange Assoziationsfasern, welche entfernte kortikale Bereiche derselben Hemisphäre miteinander verbinden (Schmahmann et al., 2008). In Bezug auf sein Volumen könnte der SLF der wichtigste kortikale Nervenfaserverweg im menschlichen Gehirn sein. Er verbindet frontale, temporale und parietale Assoziationsbereiche miteinander, was seine zentrale Bedeutung für viele assoziative und höhere Gehirnfunktionen unterstreicht (Makris et al., 2004). Frühere DTI-Studien weisen darauf hin, dass der SLF zusammen mit anderen Bahnen der weißen Substanz ein strukturelles und funktionelles Netzwerk bildet, welches essenziell für Funktionen aus dem kognitiven Bereich ist wie beispielsweise exekutive Funktionen, Informationsverarbeitung und Gedächtnis (Lee et al., 2016).

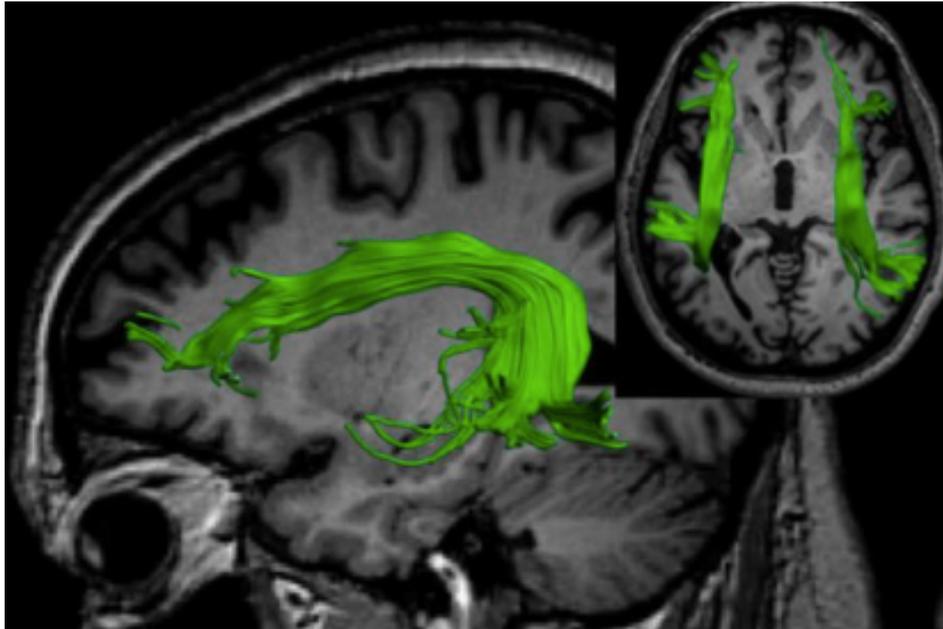
Der SLF besteht aus mehreren Subkomponenten, die in der Literatur als drei parallele Längsäste beschrieben werden (Martín-Signes et al., 2018). Der SLF I verbindet den superioren und medialen Parietallappen mit prämotorischen Bereichen des Frontallappens. Es wird angenommen, dass dieser bei der Regulierung von motorischem Verhalten beteiligt ist (Schmahmann et al., 2008). Der SLF II liegt weiter lateral und verbindet den kaudalen inferioren Parietalbereich reziprok mit dem dorsolateralen präfrontalen Kortex (Schmahmann et al., 2008). Da der SLF-II-Signalweg beim Menschen bidirektional ist, könnten die vom präfrontalen Kortex ausgehenden und zurück zur hinteren Parietalregion gerichteten Fasern ein Mittel darstellen, mit dem der präfrontale Kortex die Fokussierung der Aufmerksamkeit steuert (Makris et al., 2004). Der am weitesten lateral und ventral gelegene Ast ist der SLF III, welcher die Verbindung zwischen der ventralen prämotorischen Region und

## Einleitung

Teilen des inferioren Parietallappens darstellt (Hecht et al., 2015). Insgesamt scheint der ventrale Ast (SLF III) bei Bottom-up-Prozessen (Alarmierung, Orientierung, soziales Lernen, etc.) eine Rolle zu spielen, während die dorsalen Zweige (SLF II und SLF I) hauptsächlich bei Top-Down-Prozessen (exekutive Funktionen, Selbstkontrolle) beteiligt sind (Martín-Signes et al., 2018).

In der Vergangenheit haben bereits mehrere Studien untersucht, wodurch strukturelle Veränderungen im SLF hervorgerufen werden. Zu den Ergebnissen dieser Forschungsarbeiten zählen, dass eine Steigerung der exekutiven Funktionen mit höheren Werten der fraktionellen Anisotropie (FA) und einer erhöhten Integrität der weißen Substanz im SLF einhergeht (Sasson et al., 2013). Die FA beschreibt das Maß der richtungsabhängigen Diffusion von Wassermolekülen und wird im nächsten Kapitel ausführlicher erläutert. Andere Arbeiten fanden eine positive Korrelation zwischen dem Schweregrad der neuronalen SLF-Degeneration und kognitiven Dysfunktionen wie beispielsweise einer herabgesetzten Aufmerksamkeit (Koyama & Domen, 2017). Neben der Beteiligung an exekutiven und kognitiven Funktionen, scheint der Fasertrakt auch bei der Regulierung des Essverhaltens involviert zu sein. So haben mehrere Studien mithilfe der DTI-Bildgebung gezeigt, dass restriktive Essstörungen, wie zum Beispiel Anorexia nervosa, sowohl im rechten als auch im linken SLF zu erniedrigten FA-Werten führen können (Travis et al., 2015; Via et al., 2014). Gleichzeitig konnten erniedrigte FA-Werte auch bei Patienten festgestellt werden, die einen erhöhten Body-Mass-Index aufweisen und an Fettleibigkeit leiden (Kullmann et al., 2016; Repple et al., 2018).

In Anbetracht der oben genannten Forschungsergebnisse, liegt es nahe, dass die SLF-Eigenschaften eng mit kognitiven Prozessen als auch dem Essverhalten assoziiert sind. Da die Probanden der Experimentalgruppe unserer Studie einerseits unter stressassoziiertes Fehlernährung leiden und andererseits diesem fehlerhaften Essverhalten mithilfe einer Achtsamkeitsintervention entgegengewirkt werden soll, stellt der Fasertrakt somit in diesem Forschungsprojekt eine entscheidende Komponente auf neuronaler Ebene dar. Daher war es ein Ziel dieser Studie, den Einfluss des Achtsamkeitstrainings nicht nur mittels eines Fragebogens nachzuweisen, sondern auch die damit einhergehenden strukturellen Veränderungen des Gehirns mit einer speziellen Art der Bildgebung zu veranschaulichen. Dabei handelt es sich um die Diffusions-Tensor-Bildgebung (DTI), mit welcher die weiße Substanz besonders gut dargestellt werden kann.



**Abb. 2** Der Fasertrakt wurde anhand eines standardisierten Atlases von Catani & Thiebaut de Schotten (2008) rekonstruiert (Reijmer et al., 2012)

### 3.9 Diffusion-Tensor-Imaging (DTI)

Die Magnetresonanztomographie (MRT) wird in der neurowissenschaftlichen Forschung und klinischen Diagnose häufig eingesetzt. Einer der Vorteile der MRT gegenüber anderen bildgebenden Verfahren wie Computertomographie oder Ultraschall besteht darin, dass sie vielseitige Weichteilkontraste liefert, welche die zu Grunde liegende Gewebeanatomie und physiologischen Zustände gut darstellen können. Bei der Diffusions-Tensor-Bildgebung handelt es sich um eine MR-basierte Bildgebungstechnik, die neue Gewebekontraste liefert, die der herkömmlichen MRT fehlen. Hierbei wird die dreidimensionale Diffusion von Wasser als Funktion des räumlichen Ortes abgebildet und charakterisiert (Basser et al., 1994). Die Vorteile, welche sich dadurch ergeben, machen es zu einem idealen Werkzeug, um Strukturen der weißen Substanz im ZNS zu untersuchen. Dabei spielt der oben bereits erwähnte Wert der fraktionalen Anisotropie (FA) eine wichtige Rolle, da dieser die Richtungsselektivität der zufälligen Diffusion von Wassermolekülen beschreibt (Pierpaoli & Basser, 1996). Es ist ein Mittel zur Beurteilung des Grades der anisotropen Diffusion, die innerhalb einer Region auftritt. Je höher also der Wert der FA ist, desto höher ist der Grad der anisotropen Diffusion und somit die richtungsabhängige Diffusion der Wassermoleküle. Höhere FA-Werte (maximaler theoretischer Wert beträgt 1,0) werden entlang stark myelinisierter weißer Substanz beobachtet. Die

## Einleitung

Struktur der axonalen Zellmembranen und der Myelinscheide behindert die Diffusion von Wassermolekülen in alle Richtungen außer in die Richtung entlang des Fasertrakts und führt daher zu einer stark anisotropen Wasserdiffusion (Pierpaoli & Basser, 1996). Im Gegensatz dazu weist ein Gewebe, in dem die Bewegung der Wassermoleküle zufällig und isotrop ist, wie z. B. im Liquor, FA-Werte auf, die nahe bei null liegen (Kochunov et al., 2012). Die mithilfe von DTI generierten Bildgebungsdaten und -werte werden häufig verwendet, um die Integrität von Gewebe quantitativ zu messen, welche durch eine neurologische Erkrankung beeinträchtigt sein kann. Liegt beispielsweise eine axonale oder neuronale Schädigung vor, dann verringert sich der anisotrope Effekt und damit einhergehend auch die fraktionale Anisotropie (Lope-Piedrafita, 2018).

Gleichzeitig liegen Studien zu aktivitätsabhängigen Myelinisierung vor. Aus diesen Forschungsergebnissen folgt die Annahme, dass durch das Auslösen von Aktionspotentialen in Axonen die Myelinisierung beeinflusst werden kann. (Fields, 2015)

Wird also der Fasciculus longitudinalis superior, ein zentraler Fasertrakt im Bereich kognitiver Funktionen und Aufmerksamkeitslenkung, über eine gewisse Zeit in Form eines Achtsamkeitstrainings täglich beansprucht, kann dies folglich zu Veränderungen der weißen Substanz führen. Diese Veränderungen könnten dann zum einen in der Bildgebung sichtbar gemacht, zum anderen in Form veränderter Messwerte dargestellt werden.

### **3.10 Ziele und Hypothesen**

Aufgrund der oben beschriebenen Annahmen und dem aktuellen Stand der Forschung, haben wir im Rahmen dieser Promotionsarbeit zwei Hypothesen aufgestellt. Einerseits erwarten wir in der Experimentalgruppe, verglichen mit der Kontrollgruppe, eine stärkere Interventions-assoziierte Abnahme im Score der Salzburg Stress Eating Scale. Dies würde letztendlich bedeuten, dass die Probanden, welche an der Achtsamkeitsmeditation teilgenommen haben, unter denselben Stressumständen weniger Verlangen nach Nahrung zeigen. Andererseits erwarten wir in der Experimentalgruppe nach der Intervention, verglichen mit der Kontrollgruppe, eine stärkere Zunahme der FA-Werte im linken als auch im rechten SLF nachweisen zu können. Das Ziel unserer Studie war es, zu beweisen, dass die beschriebenen

## Einleitung

positiven Effekte der Achtsamkeitsmeditation aus vorherigen Studien auf Stressempfindlichkeit oder Emotionsregulierung auch zu einer besser angepassten und achtsameren Ernährungsweise unter Stress führen. Diese Veränderungen sollten gleichzeitig mit Veränderungen auf neuronaler Ebene einhergehen.

## 4. Methoden

### 4.1 Studienteilnehmer

Bei den Teilnehmern unserer Studie sollte eine Tendenz zum Stressessen vorliegen. Dies bedeutet, dass die Leute bei der subjektiven Wahrnehmung von Stress dazu neigen, vermehrt Nahrung zu konsumieren. Die Studienteilnehmer wurden mithilfe von Online-Werbung, Infoblättern und Beiträgen auf sozialen Netzwerken rekrutiert. Die Größe unserer Studienpopulation belief sich auf 36 Probanden. Zu den Einschlusskriterien zählten ein Alter zwischen 18 und 45 Jahren, gute Deutschkenntnisse, die Probanden mussten Rechtshänder sein und zudem ein moderat hohes Stresslevel aufweisen, was einem Score von über 20 bei dem PSS-Fragebogen (perceived stress scale) entsprach. Kriterien, welche einen Ausschluss aus der Studie bedingten, waren Vorerfahrungen in Meditation und Achtsamkeit, ein BMI (Body-Mass-Index) von über 30, Einnahme von Kontrazeptiva, Teilnahme an Diäten, Saftkuren oder Ähnlichem, einschränkende Ernährungsweisen (Vegetarismus, Veganismus), Lebensmittelallergien, Metallimplantate, Klaustrophobie, Epilepsien, Schwangerschaft und auch jegliche andere Kontraindikation für die Untersuchung im MRT. Personen, die einen medikamentös gut eingestellten Hypo- oder Hyperthyreodismus hatten, konnten miteingeschlossen werden. Nach Rekrutierung der Studienteilnehmer, welche sämtliche Kriterien erfüllten, wurden diese mittels Randomisierung entweder der Experimentalgruppe oder der Kontrollgruppe zugeordnet. So ergaben sich zwei gleich große Gruppen mit jeweils 18 Probanden. Ein unabhängiger T-Test konnte beweisen, dass die Gruppen sich hinsichtlich Alter, Ausbildungsjahre, dem Gewicht und dem Geschlecht nicht signifikant voneinander unterschieden.

Die von uns durchgeführte Studie hat eine Genehmigung von der Ethikkommission des Klinikums Rechts der Isar erhalten. Alle Probanden haben uns mit einer unterzeichneten Einverständniserklärung die Erlaubnis erteilt, die erforderlichen Untersuchungen an Ihnen durchführen zu können. Für die Studienteilnahme gab es eine Aufwandsentschädigung und der Achtsamkeitstrainingskurs durfte kostenlos genutzt werden.

Eigenschaften der Studienteilnehmer		Experimentalgruppe	Kontrollgruppe
<b>Studienpopulation (n = 36)</b>		18	18
<b>Männlich</b>		5	10
<b>Weiblich</b>		13	8
<b>Alter (Jahre)</b>	Mittelwert	27,17 ± 6,28	30,44 ± 6,23
	Median	26,5	30,5
	Spannbreite	18-43	19-42
<b>Bildungsjahre</b>		17,8 ± 2,72	19 ± 3,23
<b>Gewicht (kg) 1. Messung</b>		67,26 ± 9,01	76,74 ± 14,68
<b>Gewicht (kg) 2. Messung</b>		67,17 ± 9,01	76,31 ± 14,75

*Tab. 1 demographische Daten der Studienpopulation*

#### 4.2 Intervention: Achtsamkeitstraining

Die Intervention unserer Studie betraf die Probanden der Experimentalgruppe und lag im Rahmen eines Achtsamkeitstrainings, welches sich über 31 Tage vollzog und mithilfe eines Online-Kurses absolviert werden sollte. Der Kurs bestand aus täglichen Achtsamkeitsübungen, die jeweils ungefähr 15 Minuten in Anspruch nahmen, sowie einem theoretischen Teil in Form von Audiosequenzen und Lehrvideos (Torske et al., 2024). Zu allen zur Verfügung gestellten Übungen gab es zusätzlich schriftliche Anleitungen für ein besseres Verständnis. Darüber hinaus sollte mit dem Kurs vermittelt werden, wie es möglich ist, Achtsamkeitstechniken im Alltag anzuwenden. Die Ziele der präsentierten Übungen und Techniken beinhalteten somit nicht nur einen Einblick in den theoretischen und wissenschaftlichen Aspekt des Achtsamkeitstrainings, sondern haben auch Anreize geschaffen, Achtsamkeit selbst aktiv zu praktizieren und das eigene Essverhalten zu reflektieren. Idealerweise sollten mithilfe von dem Kurs die unterschiedlichen Merkmale des individuellen Essverhaltens analysiert und das Bewusstsein über die persönliche Beziehung zum Essen gestärkt werden.

#### 4.3 Kontrollbedingung: Kurs zur Gesundheitsverbesserung

Die Studienteilnehmer der Kontrollgruppe haben im Vergleich zu der Experimentalgruppe an einem Kurs teilgenommen, welcher sich auf die

## Methoden

Gesundheitsverbesserung im Alltag bezog. In Anlehnung an das Achtsamkeitstraining bestand auch dieser Kurs aus täglichen circa 15-minütigen Lehrvideos und Audiosequenzen, jedoch ohne praktische Übungen. Allerdings lag das Hauptaugenmerk hierbei auf gesundheitsbezogenen Themen wie beispielsweise Stress, Schlaf oder chronischer Schmerz. Entscheidend war, dass die behandelten Gesundheitsbereiche in keiner Beziehung zu Aspekten wie Ernährung, Essverhalten oder Achtsamkeit standen. Die Probanden der Kontrollgruppe hatten nach erfolgreicher Teilnahme an der Studie auch noch die Möglichkeit das Achtsamkeitstraining zu absolvieren.

### **4.4 Material und Fragebögen**

#### *4.4.1 Perceived Stress Scale*

Bei dem PSS-10 handelt es sich um einen validierten und weit verbreiteten Stressfragebogen, bestehend aus 10 Fragen, welcher als ein hoch anerkanntes, psychologisches Instrument für die Messung der Stresswahrnehmung gilt. Der Fragebogen untersucht die Selbsteinschätzung des Teilnehmers in Bezug darauf, inwieweit Situationen im Leben subjektiv als stressig empfunden werden (Cohen et al., 1983). Die enthaltenen Fragen beziehen sich darauf, wie unvorhersehbar und unkontrollierbar jemand Ereignisse wahrgenommen hat und ob man sich in den letzten Monaten überfordert fühlte. Das aktuell erlebte Stresslevel wird ebenfalls thematisiert. Jede der Fragen bietet Antwortmöglichkeiten auf einer fünf Punkteskala (0 = nie, 1 = fast nie, 2 = manchmal, 3 = ziemlich oft, 4 = sehr oft). Der Testscore reicht von 0 – 40, wobei ein hoher Score ein Indiz dafür ist, dass Stress stärker wahrgenommen wird. In unserer Studie haben wir die deutsche Version des PSS-10 verwendet. Ergebnisse anderer Studien zeigten eine gute interne Konsistenz und Konstruktvalidität des Fragebogens (Klein et al., 2016). Lediglich Studienteilnehmer mit einem PSS-Score von höher als 20 konnten in die Studie miteingeschlossen werden.

#### *4.4.2 Salzburg Stress Eating Scale (SSES)*

Bei der Salzburg Stress Eating Scale handelt es sich um die erste echte stressbezogene Messskala in Bezug auf Essen, welche auf Basis etablierter Stresskonzepte in deutscher und englischer Sprache entwickelt wurde (Meule et al., 2018). Im Gegensatz zu anderen, derzeit verfügbaren psychometrischen Skalen

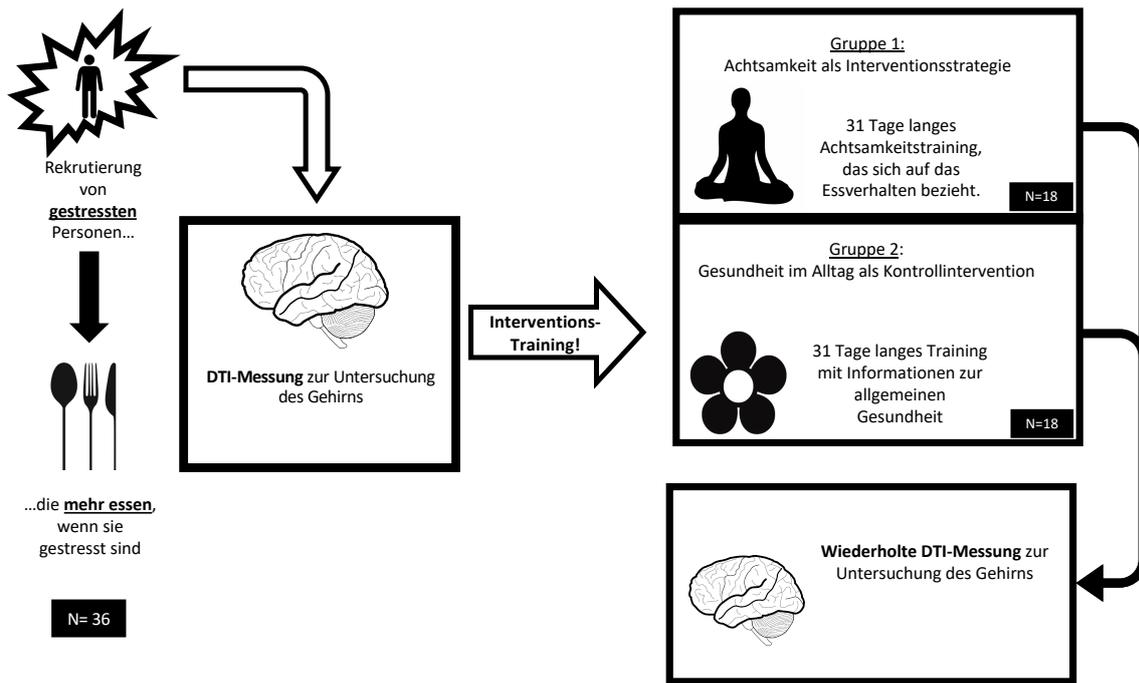
## Methoden

verbindet die SSES stressbedingtes Essen nicht mit emotionalem Essen und erfasst darüber hinaus nicht nur erhöhte, sondern auch verminderte, Nahrungsaufnahmen als Reaktion auf erlebten Stress (Meule et al., 2018). Die zehn Items der Skala beschreiben jeweils eine Stresssituation und bieten am Ende des Satzes fünf Antwortmöglichkeiten, zwischen denen die Teilnehmer auswählen können, ob sie unter diesen Stressumständen viel weniger, weniger, genauso viel, mehr oder vielmehr (bewertet von 1 bis 5) essen als sonst. Dabei zeigen höhere Werte an, dass man unter Stress vermehrt Nahrung zu sich nimmt, während niedrige Werte einen verminderten Nahrungskonsum unter Stress widerspiegeln. Der SSES erwies sich als einfaktorielles, intern konsistentes Maß und stellt ein psychometrisch fundiertes Instrument zur Messung stressbedingten Essverhaltens dar (Meule et al., 2018).

### **4.5 Vorgehensweise**

Die Rekrutierung der Studienteilnehmer richtete sich nach den oben beschriebenen Kriterien. Es erfolgte anschließend eine randomisierte Zuordnung der Teilnehmer, entweder in die Experimental- oder in die Kontrollgruppe. Die Probanden beider Gruppen nahmen jeweils an zwei, von dem Ablauf her identischen, MRT-Untersuchungen teil, und zwar vor und nach der Intervention. Diese fand in Form des Achtsamkeitstrainings beziehungsweise der Durchführung des alltäglichen Gesundheitskurses statt. Die Zeit zwischen den Untersuchungen betrug mehr als 31 Tage, jedoch weniger als 40 Tage. Sowohl vor als auch nach den Messungen beantworteten die Probanden im MRT unterschiedliche Fragebögen, zu denen u.a. die SSES, MAAS und der FCQ-S zählten. In dieser wissenschaftlichen Arbeit wird lediglich die Auswertung der SSES näher behandelt. Während der MRT-Messung wurden schließlich die Diffusion Tensor Imaging Daten generiert. Eine Sequenz des Ruhezustands, ein MPRAGE und eine fMRI-Aufgabe, bei der den Probanden Gerüche und Bilder von hochkalorischen Nahrungsmitteln präsentiert wurden, waren ebenfalls Bestandteil der Bildgebung. Der Einsatz dieser olfaktorischen und visuellen Reize sollte den Effekt des Achtsamkeitstrainings, anhand eines Score-Unterschieds der Probanden bei dem FCQ-S vom Vor- zum Nachtraining, zeigen.

## Methoden



**Abb. 3** Studiendesign

### 4.6 Erhebung von Diffusions-Tensor-Bildgebungsdaten

Alle MRT-Daten wurden am Klinikum rechts der Isar in München, Deutschland, auf einem 3-T-Siemens-Ganzkörper-Hochgeschwindigkeits-Bildgebungsgerät (Siemens, Erlangen, Deutschland) gesammelt, welches mit einer 32-Kanal-Gradientenkopfspule ausgestattet war.

Die Minimierung der Kopfbewegungen erfolgte, indem der Kopf mit Kissen stabilisiert und ruhig positioniert wurde. Das Bildgebungsprotokoll enthielt die folgenden Sequenzen in entsprechender Reihenfolge: T1 MPRAGE, FLAIR, DTI, Ruhezustands-fMRI, Task-fMRI und GRE-Feldkarte. Die Bilderhebungszeit von einer gesamten MRT-Messung belief sich auf ungefähr eine Stunde.

Die diffusionsgewichteten Bilder wurden unter Verwendung einer Multiband-2D-Spin-Echo-Echo-Planar-Imaging-Sequenz generiert und mit 64 nicht kollinearen Richtungen ( $b = 1400 \text{ s} / \text{mm}^2$ ) aufgenommen. Zusätzlich wurden zehn Bilder ohne Diffusionsgewichtung ( $b = 0 \text{ s} / \text{mm}^2$ ) in die Serie miteinbezogen. Die Bildmatrixgröße betrug  $112 \times 126$ , die Echozeit (TE) = 93ms, die Wiederholungszeit (TR) = 5677ms und die Voxelgröße =  $2 \times 2 \times 2$  (mm). Darüber hinaus zählte der Flip Winkel  $90^\circ$  und  $224 \times 256$  Dimensionen des Sichtfelds (FOV). B0-Bilder sind während des gesamten

## Methoden

DTI-Protokolls gesammelt worden. Insgesamt dauerte die Erfassungszeit der B0-Bilder und der DTI-Sequenz ca. 7:30 min.

Die T1-Bilder wurden hingegen mit magnetisierungspräparierten schnellen Gradienten-Echo-Sequenzen (MPRAGE) akquiriert, da diese im Gegensatz zu normalen T1-Sequenzen eine bessere Abgrenzung zwischen grauer und weißer Substanz ermöglichen (Brant-Zawadzki et al., 1992). Aufgrund von Bewegungskorrekturen verfälschte Schnitte wurden ebenfalls in die MPRAGE-Sequenz einbezogen (Tisdall et al., 2012). Die Matrixgröße betrug  $368 \times 317$ , die Echozeit (TE) = 5,2ms, die Wiederholungszeit (TR) = 11ms und die Voxelgröße =  $0,7 \times 0,7 \times 0,7$  (mm). Der Flip Winkel hatte  $8^\circ$  und  $256 \times 240$  Abmessungen des Sichtfelds. Die Erfassungszeit der MPRAGE-Sequenz dauerte ca. 5 min.

### 4.7 DTI-Verarbeitung und Analyse

Die diffusionsgewichteten Bilder wurden mit Hilfe des Programms Explore DTI (Version 4.8.6) Softwarepaket (<http://www.exploredti.com>), wie in den folgenden Schritten beschrieben, bearbeitet und analysiert:

- a) Konvertierung der Daten aus dem ursprünglichen „dicom“-Format in das „nifti“-Format und Erstellung einer „B-Matrix-Text“-Datei
- b) Korrektur des Signaldrifts
- c) Sortierung der diffusionsgewichteten Bilder
- d) Korrektur von Gibbs ringing (GR) Artefakten
- e) Korrektur von systematischen Streifenartefakten
- f) Robuste Schätzung (REKINDLE – Robust Extraction of Kurtosis INDices with Linear Estimation) des Diffusionstensormodells und Konvertierung der Daten in das „mat“-Format
- g) Korrektur von Bewegungen und Verzerrungen
- h) Registrierung der DTI-Daten im MRI atlas of human white matter (Mori et al., 2005)
- i) Berechnung von tabellarischen Diffusionsparametern, fraktionaler Anisotropie (FA), radialer (RD), axialer (AD) und mittlerer Diffusivität (MD) für den rechten und linken Superior fasciculus longitudinalis (SLF)

#### **4.8 Statistische Analyse**

Um unsere Hypothesen zu überprüfen, dass die Experimentalgruppe im Vergleich zu der Kontrollgruppe einerseits einen Rückgang im Score bei der Salzburger Stress Eating Scale zeigt und andererseits einen Anstieg der FA-Werte im rechten als auch im linken Superior longitudinalis fasciculus, wurde zuerst eine Varianzanalyse mit wiederholten Messungen, kurz rmANOVA, getrennt für jeden der drei Parameter (SSES-Score, FA-Werte rechter SLF, FA-Werte linker SLF) durchgeführt. Die ANOVA mit Messwiederholung hatte den Innersubjektfaktor Zeit (zwei unterschiedliche Messzeitpunkte) und einen Zwischensubjektfaktor (Kontrollgruppe vs. Experimentalgruppe), um die Wirkung des Achtsamkeitstrainings auf die Ergebnisse im Fragebogen und die FA-Werte von den Fasertrakten zu untersuchen.

Die beiden Gruppen unterschieden sich in Bezug auf Alter, Bildungsjahre, Gewicht und Geschlecht nicht signifikant. Daher gingen diese Faktoren nicht als Kovarianzen in die Analysen mit ein.

Im Anschluss wurde der Korrelationskoeffizient berechnet, um einen möglichen Zusammenhang zwischen den einzelnen Variablen zu überprüfen.

Alle Analysen basierten auf einem Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  und wurden mit der Software-Version 28.0 von SPSS durchgeführt.

#### **4.9 Eigenanteil**

Im Rahmen der Promotionsarbeit war ich wesentlich bei der Datenerhebung sowie der Rekrutierung der Probanden beteiligt. Die Datenerhebung bestand pro Probanden aus zwei jeweils circa 1 ½ Stunden dauernden Untersuchungen einschließlich Aufklärungen, Vorbereitungen, Fragebögen und letztlich der Generierung der Bildgebungsdaten im MRT. Zu Zeiten der Corona-Pandemie habe ich zudem die Probanden vor den jeweiligen Untersuchungsterminen mittels PCR-Abstrich auf SARS-CoV-2 getestet, womit es uns möglich war die strengen Hygienevorschriften einzuhalten und die Datenerhebung weiter fortzuführen. Des Weiteren habe ich die Daten mit der zuvor erwähnten Software ‚Explore DTI‘ ausgewertet. Nach Auswertung der ersten Daten und Annahme meines eingereichten Abstracts konnte ich dann das Projekt auch im Rahmen eines Beitrags auf einem internationalen Kongress der Fachöffentlichkeit präsentieren. Darüber hinaus wurde im Rahmen der Studie ein

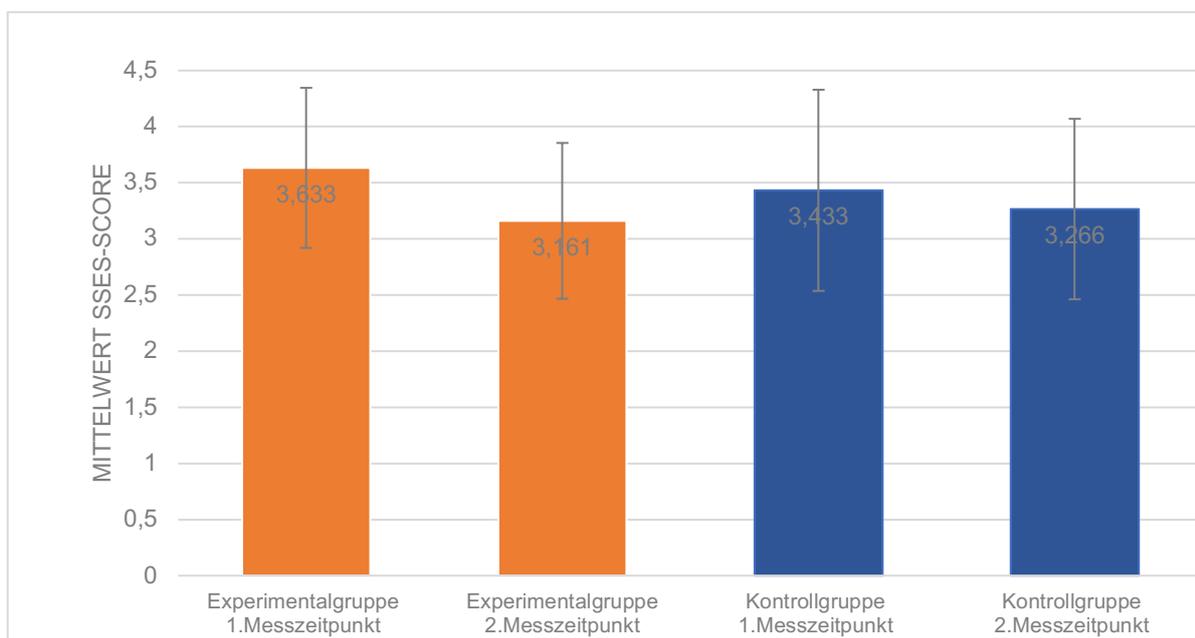
## Methoden

Paper veröffentlicht, bei dessen Erstellung und Korrektur der finalen Fassung ich als Co-Autor beteiligt war.

## 5. Ergebnisse

### 5.1 Salzburger Stress Eating Scale (SSES)

Die Ergebnisse der Varianzanalyse mit Messwiederholung (rmANOVA) haben gezeigt, dass ein signifikanter Haupteffekt der Zeit ( $F(1,34) = 7,419, p = 0,01$ ) gegeben war. Im Widerspruch zu unserer Hypothese stehend, konnte die rmANOVA allerdings keine statistisch signifikante Interaktion der Zeit im Zusammenhang mit der Gruppe auf den SSES-Score nachweisen ( $F(1,34) = 1,697, p = 0,201$ ). Das partielle Eta Quadrat implizierte demnach eine mittelgradige Effektstärke ( $\eta^2_p = 0,05$ ). Abbildung 4 veranschaulicht, dass die Probanden der Experimentalgruppe (vor der Intervention:  $M = 3,633, SD = 0,713$ , nach der Intervention:  $M = 3,161, SD = 0,694$ ) keinen signifikanten Unterschied im SSES-Score im Vergleich zur Kontrollgruppe (vor dem Kontrollkurs:  $M = 3,433, SD = 0,896$ , nach dem Kontrollkurs:  $M = 3,266, SD = 0,804$ ) aufweisen.

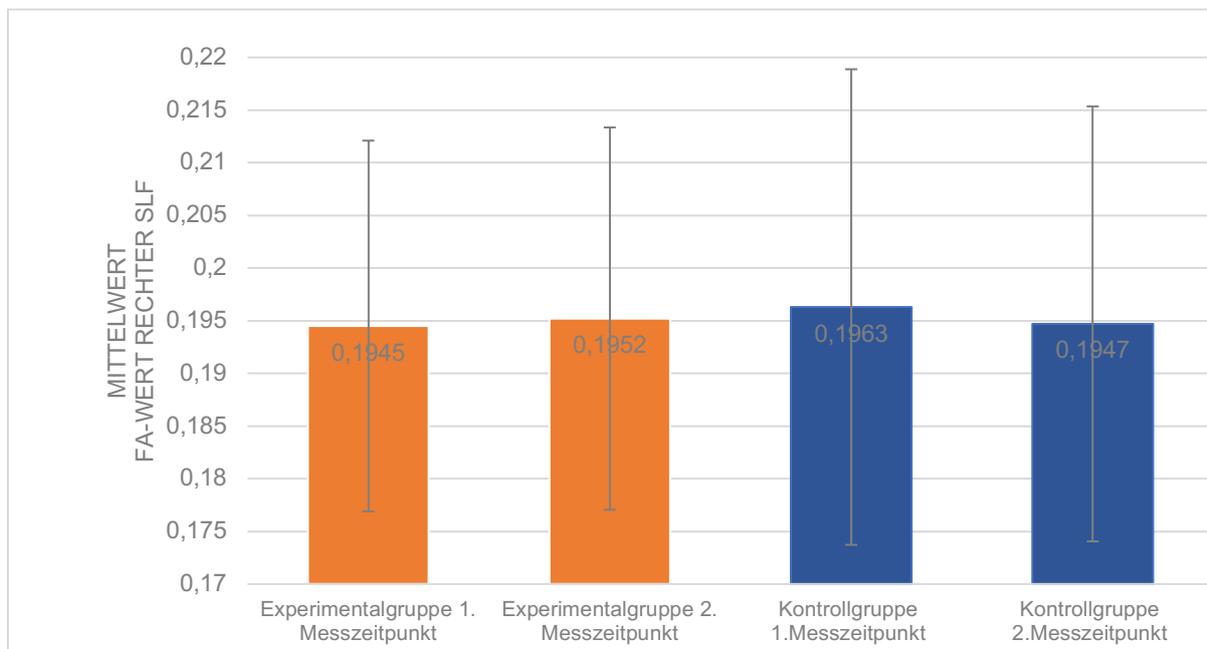


**Abb. 4** Varianzanalyse mit Messwiederholung: Mittlerer SSES-Score und Standardabweichung in der Experimental- und Kontrollgruppe vor (1. Messzeitpunkt) und nach (2. Messzeitpunkt) dem Training

## 5.2 DTI basierte neuronale Veränderungen

### 5.2.1 Rechter SLF

Die ANOVA mit Messwiederholung weist keinen Haupteffekt der Zeit nach ( $F(1,34) = 0,17$ ,  $p = 0,898$ ). Darüber hinaus zeigt diese Analyse, dass es ebenfalls keine statistisch signifikante Interaktion zwischen Zeit und Gruppe für Änderungen der FA-Werte des rechten Fasciculus longitudinalis superior (SLF) gibt ( $F(1,36) = 0,111$ ,  $p = 0,741$ ). Es liegt keine signifikante Änderung des durchschnittlichen FA-Wertes für den rechten SLF innerhalb der Experimentalgruppe im Vergleich vom vor dem Training ( $M = 0,1945$ ,  $SD = 0,0176$ ) zu nach dem Training ( $M = 0,1952$ ,  $SD = 0,01815$ ) vor.

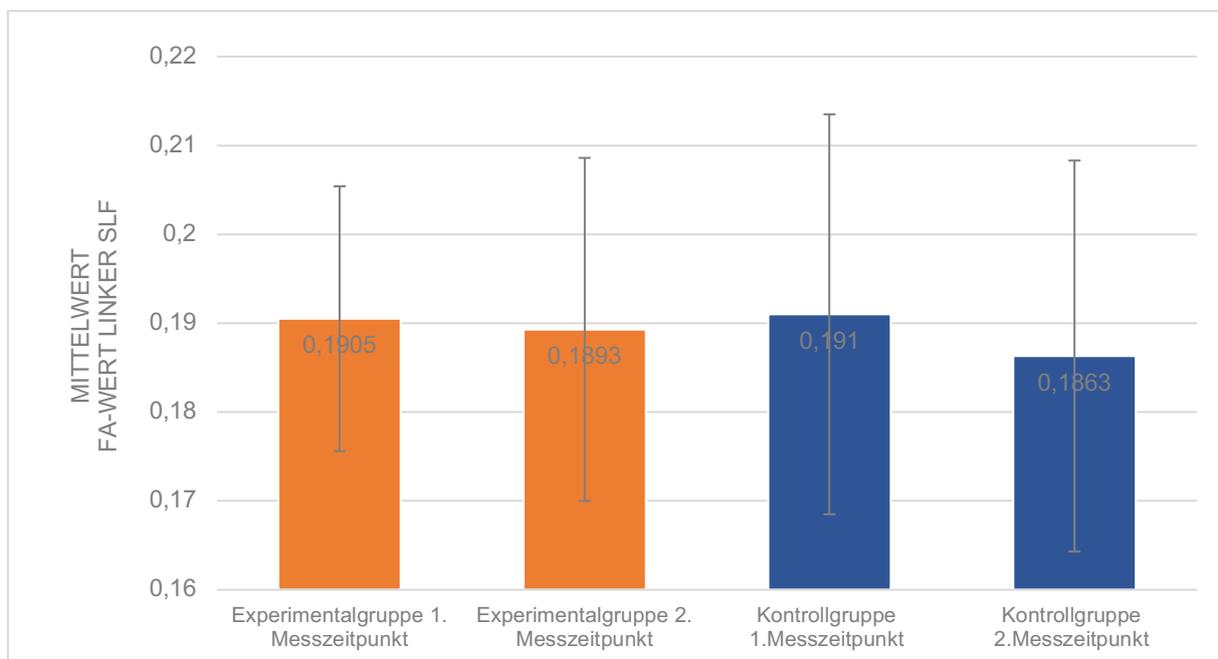


**Abb. 5** Varianzanalyse mit Messwiederholung: Mittlerer FA-Wert und Standardabweichung des rechten SLF in der Experimental- und Kontrollgruppe vor (1. Messzeitpunkt) und nach (2. Messzeitpunkt) dem Training

## Ergebnisse

### 5.2.2 Linker SLF

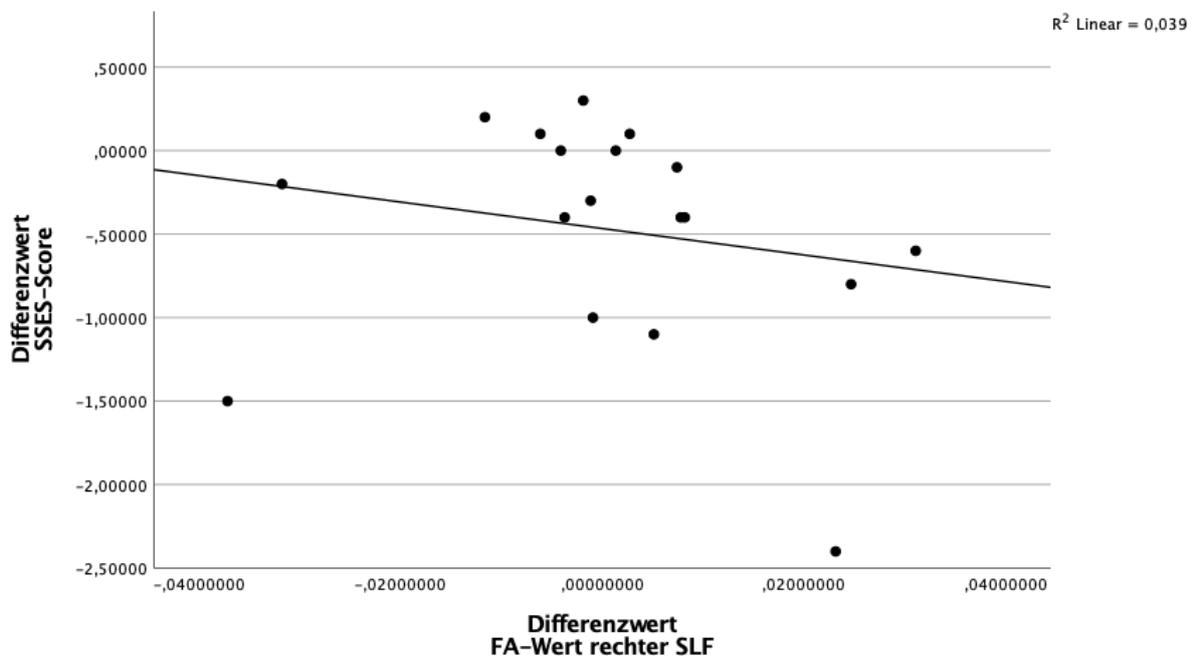
Kongruent mit den vorherigen Analysen wurde auch für den linken SLF eine Varianzanalyse mit Messwiederholung durchgeführt. Auch hier konnte kein Haupteffekt der Zeit ( $F(1,34) = 0,580$ ,  $p = 0,451$ ) als auch keine statistisch signifikante Interaktion zwischen Zeit und Gruppe ( $F(1,34) = 0,193$ ,  $p = 0,663$ ) in Bezug auf Änderungen der FA-Werte vom linken Fasciculus longitudinalis superior festgestellt werden. Zudem veranschaulicht Abbildung 6, dass die FA-Werte im Mittel innerhalb der Interventionsgruppe nach dem Achtsamkeitstraining, keine signifikanten Unterschiede aufweisen.



**Abb. 6** Varianzanalyse mit Messwiederholung: Mittlerer FA-Wert und Standardabweichung des linken SLF in der Experimental- und Kontrollgruppe vor (1. Messzeitpunkt) und nach (2. Messzeitpunkt) dem Training

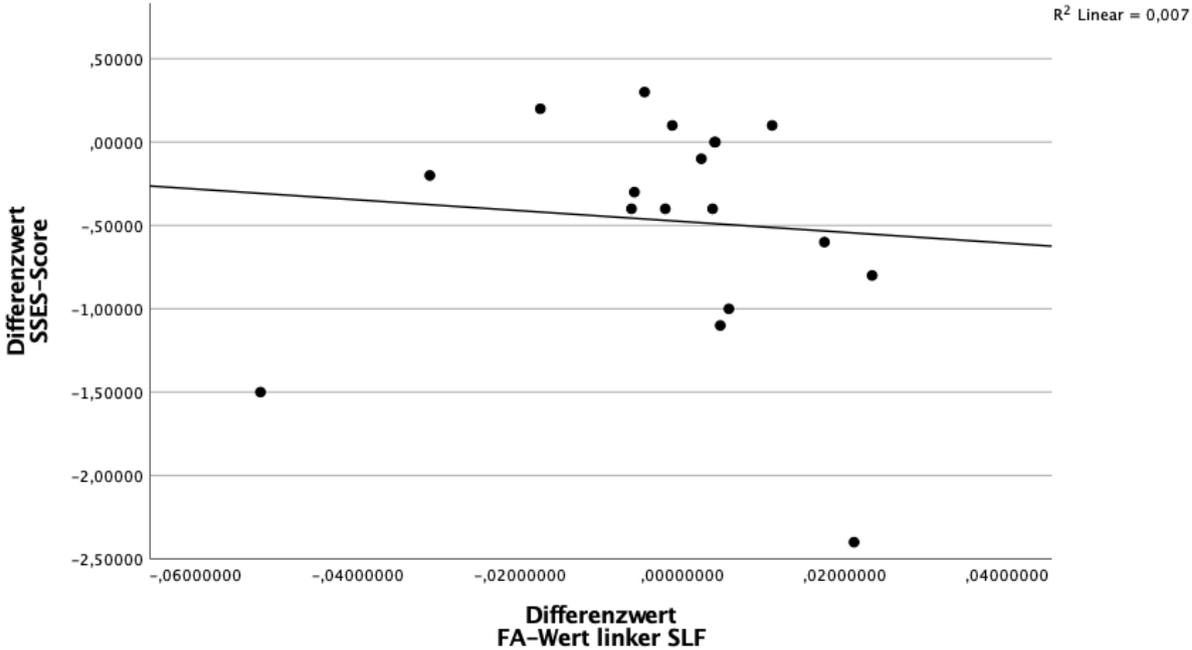
### 5.3 Korrelationen zwischen SSES und SLF innerhalb der Experimentalgruppe

Der Korrelationskoeffizient nach Pearson wurde bestimmt, um den Zusammenhang zwischen stressbedingtem Essverhalten und den strukturellen Veränderungen im rechten und linken SLF zu untersuchen. Dieser konnte berechnet werden, indem der SSES-Differenzwert (Score des zweiten Messzeitpunkts minus den Score des ersten Messzeitpunkts) und die FA-Differenz des jeweiligen SLF (FA-Werte des zweiten Messzeitpunkts minus die FA-Werte des ersten Messzeitpunkts) miteinander verglichen wurden. Die Berechnungen ergaben, dass kein signifikanter Zusammenhang sowohl für den linken ( $r = -0,86$ ,  $p = 0,735$ ) als auch für den rechten SLF ( $r = -0,197$ ,  $p = 0,434$ ) vorliegt.



**Abb. 7** Negativer linearer Zusammenhang zwischen den Differenzwerten des SSES-Scores und der Differenzen der FA-Werte im rechten SLF, Pearson's  $r = -0,197$

Ergebnisse



**Abb. 8** Negativer linearer Zusammenhang zwischen den Differenzwerten des SSES-Scores und der Differenzen der FA-Werte im linken SLF, Pearson's  $r = -0,86$

## 6. Diskussion

In der vorliegenden Studie wurden die Auswirkungen eines ernährungsbezogenen Achtsamkeitstrainings im Vergleich zu einem allgemeinen Gesundheitskurs auf das Essverhalten unter Stress und die anatomische Beschaffenheit der weißen Substanz im Gehirn untersucht. Somit gibt diese Studie einen Einblick in die Verhaltensmechanismen als auch die neuronalen Mechanismen, welche dem potenziellen Einfluss der Achtsamkeitsmeditation auf den Stressabbau und die Regulation von Stress-Essen zugrunde liegen. Allerdings konnten mit den vorliegenden Ergebnissen die zu Beginn aufgestellten Hypothesen und damit die erwarteten Veränderungen im Rahmen der Achtsamkeitsmediation nicht bestätigt werden.

### 6.1 Auswirkung der Achtsamkeitsmeditation auf den SSES-Score

Bei der Salzburg Stress Eating Scale (SSES) handelt es sich um eine stressbezogene Messskala in Bezug auf Essen, bei der höhere Werte einen vermehrten, und niedrigere Werte einen verminderten Nahrungskonsum unter Stress implizieren. Betrachtet man nun die Ergebnisse unserer Studie, zeigen sich keine statistisch signifikanten Effekte des Achtsamkeitstrainings im Hinblick auf die SSES-Werte. Daher konnte diese Studie nicht nachweisen, dass achtsamkeitsbasierte Interventionen dabei helfen die Nahrungsaufnahme unter Stress zu reduzieren.

Allerdings existieren bereits zahlreiche Publikationen, welche die positive Wirkung von Achtsamkeitsmeditation allgemein auf Stress, Angstzustände, Panikattacken, etc. thematisiert und untersucht haben (Khoury et al., 2015; Miller et al., 1995). Zudem sind in den letzten Jahren zunehmend Veröffentlichungen erschienen, die das achtsamkeitsbasierte Training als Therapieform bei Fettleibigkeit, Essattacken und emotionalen Essstörungen befürworten (Katterman et al., 2014; Mantzios & Wilson, 2015). Hingegen gibt es bisher wenige Studien, welche den potenziellen Effekt dieser Interventionsform speziell auf stressassoziierte Fehlernährung beleuchten. Zu diesen zählt unter anderem eine Pilotstudie aus dem Jahr 2014, welche zeigt, dass eine modifizierte Intervention der mindfulness-based stress reduction (MBSR) bei übergewichtigen Personen das Stressessen signifikant senkt (Corsica et al., 2014). Daher war es aus unserer Sicht spannend die Forschung dahin gehend zu

## Diskussion

intensivieren und im Rahmen dessen gleichzeitig auch die Wirksamkeit webbasierter Achtsamkeitsmediation zu überprüfen. Allerdings zeigen die vorliegenden Studienergebnisse, dass es noch weiterer wissenschaftlicher Arbeit bedarf, um die Effekte eines vollständig online durchgeführten Trainings auf stressassoziierte Fehlernährung statistisch nachzuweisen und damit fundierte Aussagen vorliegend zu haben, welche die Wirksamkeit webbasierter Interventionen als therapeutisches Verfahren unterstützen.

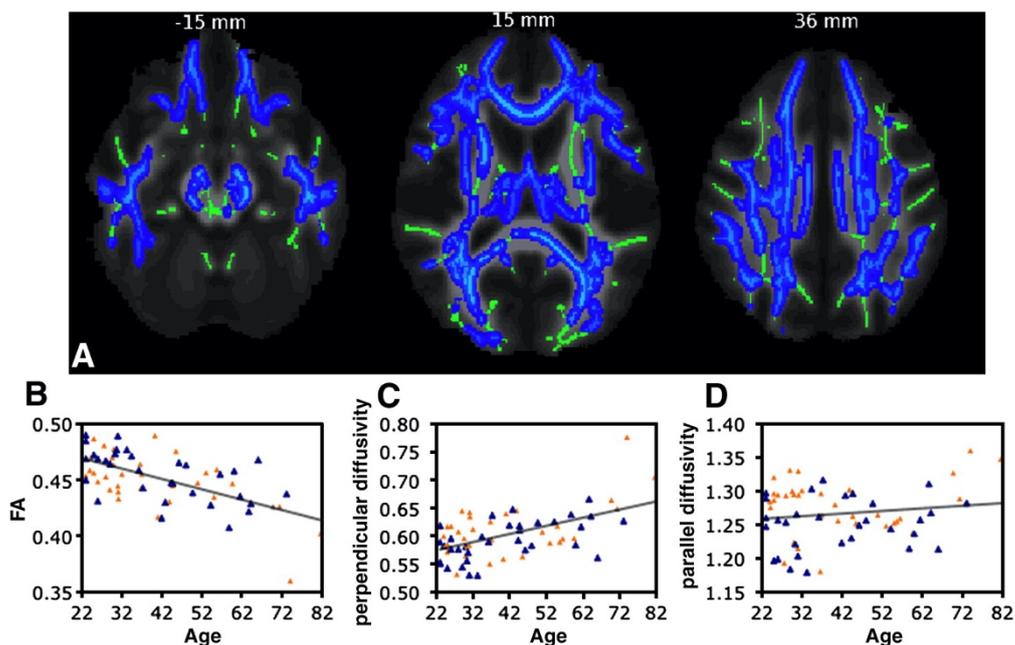
Bei den Veränderungen im Essverhalten unter Stress wurden neben der Verhaltensanalyse durch Selbstbeurteilungsfragebögen auch neuronale Prozesse betrachtet. Dies bedeutet, dass nicht nur das subjektive Erleben und die berichteten Verhaltensänderungen im Fokus standen, sondern auch die zugrunde liegenden neuronalen Mechanismen, die durch Stress und Achtsamkeitsmeditation beeinflusst werden könnten. Diese neuronale Ebene ergänzt somit die Verhaltensbeobachtungen und hilft dabei, die biologischen Grundlagen von veränderten Essgewohnheiten in stressigen Situationen besser zu verstehen.

### **6.2 Auswirkung der Achtsamkeitsmeditation auf neuronale Korrelate in der Bildgebung**

Das Interesse an der psychologischen und neurowissenschaftlichen Untersuchung der Achtsamkeitsmeditation hat in den letzten zwei Jahrzehnten deutlich zugenommen. Es gibt vermehrt Hinweise darauf, dass achtsamkeitsbasierte Interventionen neuroplastische Veränderungen in der Struktur und Funktion von Gehirnregionen hervorrufen können, die an der Regulierung von Aufmerksamkeit, Emotionen und Selbstbewusstsein beteiligt sind (Tang et al., 2015). Die Überlegung unserer Studie war, dass wir basierend auf der Neuroplastizität des Gehirns durch die wiederholte Beanspruchung von neuronalen Schaltkreisen im Rahmen der täglichen Meditationsübungen messbare Veränderungen in der Bildgebung feststellen können. Wir nahmen an, dass aufgrund des möglichen funktionellen und strukturellen Umbaus von bestimmten Fasertrakten die Diffusion der Wassermoleküle nach der Intervention stärker in eine Richtung gelenkt wird, und wir diese Veränderung in Form erhöhter FA-Werte registrieren können. Es zeigten sich keine statistisch signifikanten Veränderungen in der weißen Substanz aufgrund des Achtsamkeitstrainings.

## Diskussion

Vorstudien haben gezeigt, dass es auch im gesunden Gehirn über die Zeit hinweg zu einer leichten Verringerung der strukturellen Integrität kommt. Diese weisen nach, dass die weiße Substanz bereits ab einem Alter von circa 40 Jahren abnimmt (Giorgio et al., 2010; Pagani et al., 2008). Auch wenn die vorliegende Arbeit, möglicherweise auch aufgrund ihrer für Bildungsstudien relativen geringen Stichprobengröße keine signifikanten Effekte auf die weiße Substanz nachweisen konnte, könnten weitergehende Forschungen, idealerweise im Rahmen multizentrischer Studien mit umfangreicheren Probandenzahlen möglicherweise zeigen, dass die Achtsamkeitsmeditation dem Rückgang der fraktionellen Anisotropie entgegenwirkt.



**Abb. 9** Analyse der FA-Veränderungen mit dem Alter (Giorgio et al., 2010)

Für die Diskrepanz zwischen unseren Hypothesen und den vorliegenden Ergebnissen gibt es neben dem bereits erwähnten Stichprobenumfang mehrere Erklärungsansätze. Zunächst ist hervorzuheben, dass die alleinige Betrachtung der FA-Werte nur eingeschränkte Aussagen über die Struktur der Fasertrakte erlaubt. Die FA reagiert empfindlich auf mikrostrukturelle Veränderungen, ist jedoch nicht sehr spezifisch für die Art der Veränderungen (Alexander et al., 2007).

Daher sollten zukünftige Studien zusätzliche Messwerte berücksichtigen, wie beispielsweise die axiale und radiale Diffusivität, um die Spezifität zu maximieren und um die mikrostrukturelle Konnektivität im Gehirn des Menschen besser charakterisieren zu können.

## Diskussion

Des Weiteren wird die Interpretation der Anisotropie durch die Empfindlichkeit gegenüber einem breiten Spektrum anderer Faktoren erschwert (Alexander et al., 2007). Dazu zählen Bildrauschen (Basser & Pajevic, 2000), Artefakte durch zum Beispiel Kopfbewegungen und Regionen, in denen sich Fasertrakte der weißen Substanz kreuzen (Alexander et al., 2001; Frank, 2001).

Letzteres ist oft nicht vermeidbar, da viele Bereiche des Gehirns zahlreiche Faserkreuzungen aufweisen, wodurch die FA dementsprechend gering ist. Folglich können bereits geringfügige Änderungen des Winkels und der relativen Volumenanteile von sich kreuzenden Fasern innerhalb eines Voxels zu erheblichen Änderungen der Anisotropie führen, ohne dass Anomalien der weißen Substanz vorliegen (Alexander et al., 2007).

Darüber hinaus konnte in der Vergangenheit nur selten über einen Anstieg der FA berichtet werden, wohingegen zahlreiche Forschungsstudien vorliegen, in denen eine verringerte FA bei einem breiten Spektrum an Erkrankungen beobachtet wurde (Kantarci, 2014; Ward et al., 2006).

Zusammenfassend handelt es sich bei der fraktionellen Anisotropie um einen hochempfindlichen, aber zum Teil unspezifischen Biomarker für Neuropathologien und mikrostrukturelle Architektur. Die FA wird als Maß für Integrität von weißen Faserbahnen diskutiert und kann nützliche Informationen liefern, sollte jedoch wie oben bereits erwähnt zusammen mit weiteren Messwerten erhoben werden und eher in Forschungsprojekten Einsatz finden, welche eine verminderte FA im Rahmen von beispielsweise demyelinisierenden Erkrankungen wie der MS nachweisen wollen. Um die Spezifität der FA bei komplexen Erkrankungen zu verbessern, könnte die DTI mit weiteren bildgebenden Verfahren kombiniert und vor allem in homogenen und gut charakterisierten Geweben der weißen Substanz eingesetzt werden.

Ziel der Studie war es, durch den Nachweis von strukturellen Veränderungen in der Bildgebung die neuronalen Wirkmechanismen der Achtsamkeitsmeditation besser zu verstehen. Mit derartigen Erkenntnissen wäre es möglich, eine noch größere Beachtung und Akzeptanz dieser Therapieform in der Gesellschaft und auch bei Medizinern zu erreichen. Zukünftige Studien sollten jedoch wahrscheinlich den Fokus zuerst auf kurzfristige Veränderungen im Rahmen der Achtsamkeitsintervention legen. Beispielsweise könnte mithilfe der funktionellen MRT untersucht werden, ob durch ein entsprechendes Training sich in gewissen Hirnarealen das Aktivierungsmuster

verändert, wenn den Probanden während der Untersuchung im MRT olfaktorische und visuelle Reize zur Nahrungsaufnahme präsentiert werden.

### **6.3 Veränderungen beim SSES-Score und in der Bildgebung im Vergleich**

Wie aus den Abschnitten oben bereits ersichtlich, hatten wir nach der Intervention eine negative Korrelation zwischen SSES-Score und FA-Werten des SLF erwartet. Wir nahmen an, dass das Achtsamkeitstraining zu erhöhten FA-Werten in dem Fasertrakt führt, welche sich dann in einem erniedrigten Score beim Selberbeurteilungsfragebogen widerspiegeln. Grund für diese Annahme war, dass Hirnareale, die mit der Achtsamkeitsmeditation, der Stresswahrnehmung und dem Essverhalten assoziiert werden, durch den SLF miteinander verbunden sind. Der obere Längsfaszikel (SLF) wird traditionell als der wichtigste hemisphärische Verbindungsfaserweg angesehen, der Teile des Parietal- und Temporallappens mit dem Frontallappen verbindet (Makris et al., 2004). Studien in der Vergangenheit haben den Verlauf des Traktes mittels DTI präzise detektieren können (Makris et al., 1997; Mori et al., 1999). Er besteht aus drei Subkomponenten, deren genaue Anatomie bereits in der Einleitung ausführlich beschrieben wurde. Der anatomische Verlauf zeigt, dass der Fasertrakt auch multiple Regionen im präfrontalen Cortex (PFC) (Tang et al., 2015) vernetzt. Diese Gehirnregion spielt eine wichtige Rolle bei den exekutiven Funktionen wie Planung, Entscheidungsfindung, Arbeitsgedächtnis als auch Aufmerksamkeitslenkung, einem Hauptpunkt der Achtsamkeitstheorie (Funahashi & Andreau, 2013). Abhängig von den Kortizes, mit denen die Subkomponenten des SLF kommunizieren, spielt der Fasertrakt selbst eine Rolle bei dem Arbeitsgedächtnis, der visuell-räumlichen Wahrnehmung, der Mentalisierung und eben auch der Aufmerksamkeit (Makris et al., 2004; Nakajima et al., 2020). Pathologische Unterschiede in der strukturellen Konnektivität zeigen sich bei Patienten mit Aufmerksamkeitsdefiziten, Entwicklungsstörungen und kognitiven Beeinträchtigungen (Gehricke et al., 2017; Liu et al., 2017). Diese Daten lassen vermuten, dass der SLF potenziell eine besondere Stellung im Rahmen der Aufmerksamkeitslenkung und damit auch der Achtsamkeitsmeditation einnimmt. Auf Grundlage dieser fundierten wissenschaftlichen Erkenntnisse haben wir zu Beginn der Studie die oben erwähnte Hypothese aufgestellt. Entgegen unseren Hypothesen konnten jedoch weder in Bezug

## Diskussion

auf den SSES-Score noch auf die FA-Werte vom SLF ein statistisch signifikanter Effekt zwischen Zeit und Gruppe gezeigt werden konnte.

Zukünftige Studien sollten daher weitere neuronale Korrelate auf mögliche Veränderungen untersuchen. Das limbische System, die Insula und das Striatum sind ebenfalls entscheidende Hirnregionen im Rahmen der Achtsamkeitsmeditation (Tang et al., 2015). Die Beurteilung lediglich eines einzelnen Fasertraktes birgt das Risiko, potenziell relevante Wechselwirkungen auf neuronaler Ebene zu übersehen. Des Weiteren wäre es in Zukunft auch sinnvoll mehr Selbstbeurteilungsfragebögen in Studien wie diesen miteinzubeziehen, da dadurch besser verstanden werden kann, welche Veränderungen durch Achtsamkeitsmeditation auf der Verhaltensebene hervorgerufen werden können.

### **6.4 Limitationen und methodische Überlegungen**

Da die Ergebnisse des Dissertationsprojekts keine statistisch signifikanten Belege für die Wirksamkeit der webbasierten Achtsamkeitsmeditation liefern, ist es wichtig die Einschränkungen der von uns durchgeführten Studie zu berücksichtigen und mögliche Gründe für die fehlende Signifikanz der Ergebnisse zu diskutieren.

Die Dauer der Intervention in unserer Studie (31 Tage) war im Vergleich zu anderen achtsamkeitsbasierten Programmen relativ kurz. Dies könnte unter anderem erklären, warum wir keine nachweisbaren Veränderungen sowohl auf der Verhaltensebene als auch auf der neuronalen Ebene feststellen konnten.

So haben frühere Studien gezeigt, dass psychologische Messgrößen durch die Dauer (d.h. die Anzahl der Stunden) des durchgeführten Achtsamkeitstrainings moderiert werden können (Khoury et al., 2015; Sedlmeier et al., 2018) In diesem Sinne könnte eine längere Dauer des Achtsamkeitstrainings größere Effekte hervorrufen.

Zudem hätte die Wirksamkeit des webbasierten Achtsamkeitstrainings möglicherweise durch eine persönliche Komponente gesteigert werden können, da der direkte Kontakt mit einem Experten beziehungsweise Lehrer auf diesem Gebiet zahlreiche Vorteile bietet. Diese könnten Anfängern und Neulingen im Bereich der Achtsamkeit beispielsweise dabei helfen, grundlegende Abläufe besser zu verstehen und offene Fragen zu beantworten. Während einige Anfänger unmittelbare Verbesserungen der psychischen Gesundheit und des Wohlbefindens feststellen, stehen andere Personen vor Herausforderungen, die mit dem Erlernen der Achtsamkeitsmeditation

## Diskussion

einhergehen können. Anfängliche Schwierigkeiten werden vor allem dann beobachtet, wenn die Teilnehmer versuchen für eine längere Zeit ihre Achtsamkeit zu fokussieren oder ihren Geist ruhen zu lassen. Außerdem kann es während den ersten Meditationssitzungen sogar zu einem Anstieg der Angstzustände kommen (Aizik-Reebs et al., 2021; Britton et al., 2021; Van Gordon et al., 2017). Diese zu Beginn auftretenden Problematiken können entmutigend sein und einige Anfänger dazu veranlassen, die Achtsamkeitspraxis im Alltag nicht anzuwenden oder vorzeitig aufzugeben. Daher wäre es vermutlich eine große Hilfe, zumindest während der ersten Trainingseinheiten, mit einem Experten oder Coach in Kontakt zu stehen, welcher bei der Bewältigung von möglichen Herausforderungen hilft.

Eine weitere Einschränkung besteht darin, dass achtsamkeitsbasierte Interventionen für bestimmte Personen, die unter spezifischen psychischen Gesundheitsstörungen leiden, womöglich nicht geeignet sind. Dazu zählt zum Beispiel Anorexia nervosa, eine Essstörung, die durch ein verzerrtes Körperbild und eine extreme Angst vor Fettleibigkeit gekennzeichnet ist. Das Achtsamkeitstraining, welches sich auch auf Körperempfindungen und Emotionen fokussiert, könnte die zwanghaften Gedanken über Essen sowie das eigene Körperbild verstärken und potenziell die gestörten Essgewohnheiten zusätzlich noch verschlimmern. Es sind jedoch weitere Forschungsarbeiten erforderlich, um die spezifischen Auswirkungen der Achtsamkeitsmeditation auf einzelne klinische Populationen gänzlich zu verstehen.

Abschließend ist es wichtig darauf hinzuweisen, dass die Achtsamkeitsmeditation nicht eine professionelle Therapie ersetzen sollte. Stattdessen kann diese Interventionsform jedoch als wertvolle Komponente angesehen werden, welche andere therapeutische Interventionen und Behandlungsmechanismen ergänzt. Personen mit Essstörungen sollten daher eine professionelle Behandlung durch ein multidisziplinäres Team in Anspruch nehmen, damit individuelle Bedürfnisse stärker beachtet werden und auf spezifische Probleme besser eingegangen werden kann.

## **6.5 Achtsamkeitsmeditation als Therapieansatz bei stressbedingtem Essverhalten**

Seit Gründung der mittlerweile renommierten Stress Reduction Clinic im Jahr 1979 und der Verbreitung des Programms für Mindfulness-Based Stress Reduction (MBSR) durch Professor Jon Kabat-Zinn hat die Achtsamkeitspraxis in der Medizin als auch der Gesellschaft stark an Popularität dazu gewonnen und sich als therapeutisches Konzept in vielen (Fach-)Kliniken für Psychiatrie und Psychotherapie etabliert. Damit einhergehend wurden in den letzten Jahrzehnten viele Studien veröffentlicht, welche den gesundheitlichen Nutzen dieser Therapieform belegen konnten. Die wissenschaftlich nachgewiesenen positiven Effekte reichen von der Bewältigung von psychischen Problemen, wie Depressionen, psychischem Stress und Suchtverhalten über einen verbesserten Umgang mit Problemverhalten bis hin zu physiologischen Veränderungen. Studien wie diese jedoch, welche die Auswirkungen von Achtsamkeitstraining speziell auf stressassoziiertes Essverhalten und dessen neuronale strukturelle Korrelate beobachten, sind nach wie vor rar.

In der heutigen Gesellschaft ist Stress allgegenwärtig und Stress selbst geht häufig mit einem verstärkten Hungergefühl sowie mit einer erhöhten Kalorienzufuhr einher. Diese stressbedingten Tendenzen können zu einer erheblichen Gewichtszunahme führen, was wiederum das Risiko von Stoffwechsel- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen erhöhen kann. Trotz des zunehmenden öffentlichen Bewusstseins für die steigende Prävalenz von Fettleibigkeit und Essstörungen innerhalb der Bevölkerung und die damit verbundenen schädlichen Auswirkungen auf die Gesundheit, fehlen vor allem langfristige Behandlungsstrategien für diese Erkrankungen.

Ziel unserer Studie war es, die Achtsamkeitsmeditation als solch eine Behandlungsstrategie nachzuweisen. Die hier vorliegenden Ergebnisse konnten keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die stressassoziierte Fehlernährung belegen. Nichtsdestotrotz können achtsamkeitsbasierte Interventionen aufgrund einer breiten Befundlage ihrer Wirksamkeit aus vorherigen Studien mit in das multimodale Konzept zur Behandlung von Essstörungen und Adipositas aufgenommen werden. Es ist nämlich denkbar, dass diese Therapie in Form eines psychologischen Konstrukts als Mediator zwischen Gewichtsverlust, körperlicher Aktivität sowie Ernährungsweise wirkt und damit langfristig das Essverhalten unter Stress verbessern kann, auch wenn es dahingehend noch weiterer Forschung benötigt (Annesi & Gorjala, 2010).

## 7. Tabellenverzeichnis

<b>Tab. 1</b> <i>demographische Daten der Studienpopulation</i> .....	26
-----------------------------------------------------------------------	----

## 8. Abbildungsverzeichnis

<b>Abb. 1</b> Chronischer Stress – Physiologische Reaktion .....	13
<b>Abb. 2</b> Der Fasertrakt wurde anhand eines standardisierten Atlases von Catani & Thiebaut de Schotten (2008) rekonstruiert (Reijmer et al., 2012).....	22
<b>Abb. 3</b> Studiendesign .....	29
<b>Abb. 4</b> Varianzanalyse mit Messwiederholung: Mittlerer SSES-Score in der Experimental- und Kontrollgruppe vor (1. Messzeitpunkt) und nach (2. Messzeitpunkt) dem Training .....	33
<b>Abb. 5</b> Varianzanalyse mit Messwiederholung: Mittlerer FA-Wert des rechten SLF in der Experimental- und Kontrollgruppe vor (1. Messzeitpunkt) und nach (2. Messzeitpunkt) dem Training	34
<b>Abb. 6</b> Varianzanalyse mit Messwiederholung: Mittlerer FA-Wert des linken SLF in der Experimental- und Kontrollgruppe vor (1. Messzeitpunkt) und nach (2. Messzeitpunkt) dem Training .....	35
<b>Abb. 7</b> Negativer linearer Zusammenhang zwischen den Differenzwerten des SSES-Scores und der Differenzen der FA-Werte im rechten SLF, Pearson's $r = -0,197$ .....	36
<b>Abb. 8</b> Negativer linearer Zusammenhang zwischen den Differenzwerten des SSES-Scores und der Differenzen der FA-Werte im linken SLF, Pearson's $r = -0,86$ .....	37
<b>Abb. 9</b> Analyse der FA-Veränderungen mit dem Alter .....	40

## 9. Literaturverzeichnis

- Adam, T. C., & Epel, E. S. (2007, Jul 24). Stress, eating and the reward system. *Physiol Behav*, 91(4), 449-458. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2007.04.011>
- Aizik-Reebs, A., Shoham, A., & Bernstein, A. (2021, 2021/10/01/). First, do no harm: An intensive experience sampling study of adverse effects to mindfulness training. *Behaviour Research and Therapy*, 145, 103941. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.brat.2021.103941>
- Alberts, H. J. E. M., Thewissen, R., & Raes, L. (2012, 2012/06/01/). Dealing with problematic eating behaviour. The effects of a mindfulness-based intervention on eating behaviour, food cravings, dichotomous thinking and body image concern. *Appetite*, 58(3), 847-851. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.appet.2012.01.009>
- Alexander, A. L., Hasan, K. M., Lazar, M., Tsuruda, J. S., & Parker, D. L. (2001). Analysis of partial volume effects in diffusion-tensor MRI. *Magnetic Resonance in Medicine*, 45(5), 770-780. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/mrm.1105>
- Alexander, A. L., Lee, J. E., Lazar, M., & Field, A. S. (2007, 2007/07/01/). Diffusion Tensor Imaging of the Brain. *Neurotherapeutics*, 4(3), 316-329. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.nurt.2007.05.011>
- Alonso-Alonso, M., & Pascual-Leone, A. (2007, Apr 25). The right brain hypothesis for obesity. *JAMA*, 297(16), 1819-1822. <https://doi.org/10.1001/jama.297.16.1819>
- Annesi, J. J., & Gorjala, S. (2010, Nov). Relationship of exercise program participation with weight loss in adults with severe obesity: assessing psychologically based mediators. *South Med J*, 103(11), 1119-1123. <https://doi.org/10.1097/SMJ.0b013e3181f6d3d4>
- Apple, R. A., & Agras, W. S. (1997). Overcoming eating disorders: A cognitive- behavioral treatment for bulimia nervosa and binge-eating disorder.
- Arch, J. J., & Craske, M. G. (2006, 2006/12/01/). Mechanisms of mindfulness: Emotion regulation following a focused breathing induction. *Behaviour Research and Therapy*, 44(12), 1849-1858. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.brat.2005.12.007>
- Baer, R. A., Fischer, S., & Huss, D. B. (2005, 2005/06/01/). Mindfulness-based cognitive therapy applied to binge eating: A case study. *Cognitive and Behavioral Practice*, 12(3), 351-358. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1077-7229\(05\)80057-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1077-7229(05)80057-4)
- Baskin, D. G., Figlewicz Lattemann, D., Seeley, R. J., Woods, S. C., Porte, D., Jr., & Schwartz, M. W. (1999, Nov 27). Insulin and leptin: dual adiposity signals to the brain for the regulation of food intake and body weight. *Brain Res*, 848(1-2), 114-123. [https://doi.org/10.1016/s0006-8993\(99\)01974-5](https://doi.org/10.1016/s0006-8993(99)01974-5)

## Literaturverzeichnis

- Basser, P. J., Mattiello, J., & LeBihan, D. (1994, Mar). Estimation of the effective self-diffusion tensor from the NMR spin echo. *J Magn Reson B*, *103*(3), 247-254.  
<https://doi.org/10.1006/jmrb.1994.1037>
- Basser, P. J., & Pajevic, S. (2000). Statistical artifacts in diffusion tensor MRI (DT-MRI) caused by background noise. *Magnetic Resonance in Medicine*, *44*(1), 41-50.  
[https://doi.org/https://doi.org/10.1002/1522-2594\(200007\)44:1<41::AID-MRM8>3.0.CO;2-O](https://doi.org/https://doi.org/10.1002/1522-2594(200007)44:1<41::AID-MRM8>3.0.CO;2-O)
- Basso, J. C., McHale, A., Ende, V., Oberlin, D. J., & Suzuki, W. A. (2019, 2019/01/01/). Brief, daily meditation enhances attention, memory, mood, and emotional regulation in non-experienced meditators. *Behavioural Brain Research*, *356*, 208-220.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bbr.2018.08.023>
- Beshara, M., Hutchinson, A. D., & Wilson, C. (2013, 2013/08/01/). Does mindfulness matter? Everyday mindfulness, mindful eating and self-reported serving size of energy dense foods among a sample of South Australian adults. *Appetite*, *67*, 25-29.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.appet.2013.03.012>
- Bishop, S. R. (2002, Jan-Feb). What do we really know about mindfulness-based stress reduction? *Psychosom Med*, *64*(1), 71-83. <https://doi.org/10.1097/00006842-200201000-00010>
- Bishop, S. R., Lau, M., Shapiro, S., Carlson, L., Anderson, N. D., Carmody, J., Segal, Z. V., Abbey, S., Speca, M., Velting, D., & Devins, G. (2004). Mindfulness: A proposed operational definition. *Clinical Psychology: Science and Practice*, *10*(2), 125–143., *11*(13), 230–241.
- Brant-Zawadzki, M., Gillan, G. D., & Nitz, W. R. (1992, Mar). MP RAGE: a three-dimensional, T1-weighted, gradient-echo sequence--initial experience in the brain. *Radiology*, *182*(3), 769-775. <https://doi.org/10.1148/radiology.182.3.1535892>
- Britton, W. B., Lindahl, J. R., Cooper, D. J., Canby, N. K., & Palitsky, R. (2021, 2021/11/01). Defining and Measuring Meditation-Related Adverse Effects in Mindfulness-Based Programs. *Clinical Psychological Science*, *9*(6), 1185-1204.  
<https://doi.org/10.1177/2167702621996340>
- Brown, K. W., & Ryan, R. M. (2003, Apr). The benefits of being present: mindfulness and its role in psychological well-being. *J Pers Soc Psychol*, *84*(4), 822-848.  
<https://doi.org/10.1037/0022-3514.84.4.822>
- Cavagnini, F., Croci, M., Putignano, P., Petroni, M. L., & Invitti, C. (2000, Jun). Glucocorticoids and neuroendocrine function. *Int J Obes Relat Metab Disord*, *24 Suppl 2*, S77-79.  
<https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0801284>
- Chiesa, A., & Serretti, A. (2009, 2009/05/01). Mindfulness-Based Stress Reduction for Stress Management in Healthy People: A Review and Meta-Analysis. *The Journal of*

## Literaturverzeichnis

- Alternative and Complementary Medicine*, 15(5), 593-600.  
<https://doi.org/10.1089/acm.2008.0495>
- Chiesa, A., & Serretti, A. (2010). A systematic review of neurobiological and clinical features of mindfulness meditations. *Psychological Medicine*, 40(8), 1239-1252.  
<https://doi.org/10.1017/S0033291709991747>
- Chrousos, G. P., & Gold, P. W. (1992, Mar 4). The concepts of stress and stress system disorders. Overview of physical and behavioral homeostasis. *JAMA*, 267(9), 1244-1252. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1538563>
- Cohen, S., Kamarck, T., & Mermelstein, R. (1983, Dec). A global measure of perceived stress. *J Health Soc Behav*, 24(4), 385-396. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6668417>
- Corsica, J., Hood, M. M., Katterman, S., Kleinman, B., & Ivan, I. (2014, 2014/12/01/). Development of a novel mindfulness and cognitive behavioral intervention for stress-eating: A comparative pilot study. *Eating Behaviors*, 15(4), 694-699.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eatbeh.2014.08.002>
- Cota, D., Tschop, M. H., Horvath, T. L., & Levine, A. S. (2006, Jun). Cannabinoids, opioids and eating behavior: the molecular face of hedonism? *Brain Res Rev*, 51(1), 85-107.  
<https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2005.10.004>
- Creswell, J. D., Pacilio, L. E., Lindsay, E. K., & Brown, K. W. (2014, 2014/06/01/). Brief mindfulness meditation training alters psychological and neuroendocrine responses to social evaluative stress. *Psychoneuroendocrinology*, 44, 1-12.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2014.02.007>
- Dalen, J., Smith, B. W., Shelley, B. M., Sloan, A. L., Leahigh, L., & Begay, D. (2010, 2010/12/01/). Pilot study: Mindful Eating and Living (MEAL): Weight, eating behavior, and psychological outcomes associated with a mindfulness-based intervention for people with obesity. *Complementary Therapies in Medicine*, 18(6), 260-264.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ctim.2010.09.008>
- Dallman, M. F., Pecoraro, N., Akana, S. F., La Fleur, S. E., Gomez, F., Houshyar, H., Bell, M. E., Bhatnagar, S., Laugero, K. D., & Manalo, S. (2003, Sep 30). Chronic stress and obesity: a new view of "comfort food". *Proc Natl Acad Sci U S A*, 100(20), 11696-11701.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.1934666100>
- Daubenmier, J., Kristeller, J., Hecht, F. M., Maninger, N., Kuwata, M., Jhaveri, K., Lustig, R. H., Kemeny, M., Karan, L., & Epel, E. (2011). Mindfulness Intervention for Stress Eating to Reduce Cortisol and Abdominal Fat among Overweight and Obese Women: An Exploratory Randomized Controlled Study. *J Obes*, 2011, 651936.  
<https://doi.org/10.1155/2011/651936>
- Dawans B., H. M. (2018). Physiologische Stressreaktionen. *Springer, Berlin, Heidelberg*  
[https://doi.org/10.1007/978-3-662-49322-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-662-49322-9_3)

## Literaturverzeichnis

- Despres, J. P. (2006). Is visceral obesity the cause of the metabolic syndrome? *Ann Med*, 38(1), 52-63. <https://doi.org/10.1080/07853890500383895>
- Drolet, G., Dumont, E. C., Gosselin, I., Kinkead, R., Laforest, S., & Trottier, J. F. (2001, May). Role of endogenous opioid system in the regulation of the stress response. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*, 25(4), 729-741. [https://doi.org/10.1016/s0278-5846\(01\)00161-0](https://doi.org/10.1016/s0278-5846(01)00161-0)
- Epel, E., Lapidus, R., McEwen, B., & Brownell, K. (2001, Jan). Stress may add bite to appetite in women: a laboratory study of stress-induced cortisol and eating behavior. *Psychoneuroendocrinology*, 26(1), 37-49. [https://doi.org/10.1016/s0306-4530\(00\)00035-4](https://doi.org/10.1016/s0306-4530(00)00035-4)
- Fan, Y., Tang, Y.-Y., & Posner, M. I. (2014, 2014/02/01). Cortisol Level Modulated by Integrative Meditation in a Dose-dependent Fashion [<https://doi.org/10.1002/smi.2497>]. *Stress and Health*, 30(1), 65-70. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/smi.2497>
- Fields, R. D. (2015, 2015/12/01). A new mechanism of nervous system plasticity: activity-dependent myelination. *Nature Reviews Neuroscience*, 16(12), 756-767. <https://doi.org/10.1038/nrn4023>
- Figlewicz, D. P. (2003, Apr). Adiposity signals and food reward: expanding the CNS roles of insulin and leptin. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 284(4), R882-892. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00602.2002>
- Figlewicz, D. P., & Woods, S. C. (2000, Jul). Adiposity signals and brain reward mechanisms. *Trends Pharmacol Sci*, 21(7), 235-236. [https://doi.org/10.1016/s0165-6147\(00\)01488-7](https://doi.org/10.1016/s0165-6147(00)01488-7)
- Fildes, A., Charlton, J., Rudisill, C., Littlejohns, P., Prevost, A. T., & Gulliford, M. C. (2015). Probability of an Obese Person Attaining Normal Body Weight: Cohort Study Using Electronic Health Records. *American Journal of Public Health*, 105(9), e54-e59. <https://doi.org/10.2105/ajph.2015.302773>
- Flegal, K. M., Carroll, M. D., Ogden, C. L., & Johnson, C. L. (2002, Oct 9). Prevalence and trends in obesity among US adults, 1999-2000. *JAMA*, 288(14), 1723-1727. <https://doi.org/10.1001/jama.288.14.1723>
- Fox, K. C. R., Nijeboer, S., Dixon, M. L., Floman, J. L., Ellamil, M., Rumak, S. P., Sedlmeier, P., & Christoff, K. (2014, 2014/06/01/). Is meditation associated with altered brain structure? A systematic review and meta-analysis of morphometric neuroimaging in meditation practitioners. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 43, 48-73. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.03.016>
- Frank, L. R. (2001). Anisotropy in high angular resolution diffusion-weighted MRI. *Magnetic Resonance in Medicine*, 45(6), 935-939. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/mrm.1125>

## Literaturverzeichnis

- Funahashi, S., & Andreau, J. M. (2013, 2013/12/01/). Prefrontal cortex and neural mechanisms of executive function. *Journal of Physiology-Paris*, *107*(6), 471-482. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2013.05.001>
- Gehricke, J.-G., Kruggel, F., Thampipop, T., Alejo, S. D., Tatos, E., Fallon, J., & Muftuler, L. T. (2017). The brain anatomy of attention-deficit/hyperactivity disorder in young adults – a magnetic resonance imaging study. *PLOS ONE*, *12*(4), e0175433. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175433>
- Giorgio, A., Santelli, L., Tomassini, V., Bosnell, R., Smith, S., De Stefano, N., & Johansen-Berg, H. (2010, 2010/07/01/). Age-related changes in grey and white matter structure throughout adulthood. *NeuroImage*, *51*(3), 943-951. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.03.004>
- Goyal, M., Singh, S., Sibinga, E. M. S., Gould, N. F., Rowland-Seymour, A., Sharma, R., Berger, Z., Sleicher, D., Maron, D. D., Shihab, H. M., Ranasinghe, P. D., Linn, S., Saha, S., Bass, E. B., & Haythornthwaite, J. A. (2014). Meditation Programs for Psychological Stress and Well-being: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA Internal Medicine*, *174*(3), 357-368. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2013.13018>
- Grant, J. A., Courtemanche, J., Duerden, E. G., Duncan, G. H., & Rainville, P. (2010, Feb). Cortical thickness and pain sensitivity in zen meditators. *Emotion*, *10*(1), 43-53. <https://doi.org/10.1037/a0018334>
- Greeno, C. G., & Wing, R. R. (1994, May). Stress-induced eating. *Psychol Bull*, *115*(3), 444-464. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.115.3.444>
- Grossman, P., Niemann, L., Schmidt, S., & Walach, H. (2004, Jul). Mindfulness-based stress reduction and health benefits. A meta-analysis. *J Psychosom Res*, *57*(1), 35-43. [https://doi.org/10.1016/S0022-3999\(03\)00573-7](https://doi.org/10.1016/S0022-3999(03)00573-7)
- Hall, P. A. (2016, 2016/04/01). Executive-Control Processes in High-Calorie Food Consumption. *Current Directions in Psychological Science*, *25*(2), 91-98. <https://doi.org/10.1177/0963721415625049>
- Hecht, E. E., Gutman, D. A., Bradley, B. A., Preuss, T. M., & Stout, D. (2015, 2015/03/01/). Virtual dissection and comparative connectivity of the superior longitudinal fasciculus in chimpanzees and humans. *NeuroImage*, *108*, 124-137. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.12.039>
- Heffner, M., Sperry, J., Eifert, G. H., & Detweiler, M. (2002, 2002/06/01/). Acceptance and commitment therapy in the treatment of an adolescent female with anorexia nervosa: A case example. *Cognitive and Behavioral Practice*, *9*(3), 232-236. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1077-7229\(02\)80053-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1077-7229(02)80053-0)

## Literaturverzeichnis

- Heidenreich, T., & Michalak, J. (2003). Achtsamkeit («Mindfulness») als Therapieprinzip in Verhaltenstherapie und Verhaltensmedizin. *Verhaltenstherapie*, 13(4), 264-274. <https://doi.org/10.1159/000075842>
- Heidenreich, T., Schneider, R., & Michalak, J. (2006, 2006/04/01). Achtsamkeit: Ein neuer Ansatz zur Psychotherapie süchtigen Verhaltens. *SUCHT*, 52(2), 140-149. <https://doi.org/10.1024/2006.02.07>
- Hölzel, B. K., Carmody, J., Vangel, M., Congleton, C., Yerramsetti, S. M., Gard, T., & Lazar, S. W. (2011, 2011/01/30/). Mindfulness practice leads to increases in regional brain gray matter density. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 191(1), 36-43. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.psychresns.2010.08.006>
- Hölzel, B. K., Lazar, S. W., Gard, T., Schuman-Olivier, Z., Vago, D. R., & Ott, U. (2011, 2011/11/01). How Does Mindfulness Meditation Work? Proposing Mechanisms of Action From a Conceptual and Neural Perspective. *Perspectives on Psychological Science*, 6(6), 537-559. <https://doi.org/10.1177/1745691611419671>
- Huizenga, N. A. T. M., Koper, J. W., de Lange, P., Pols, H. A. P., Stolk, R. P., Grobbee, D. E., de Jong, F. H., & Lamberts, S. W. J. (1998). Interperson Variability but Intraperson Stability of Baseline Plasma Cortisol Concentrations, and Its Relation to Feedback Sensitivity of the Hypothalamo-Pituitary-Adrenal Axis to a Low Dose of Dexamethasone in Elderly Individuals<sup>1</sup>. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 83(1), 47-54. <https://doi.org/10.1210/jcem.83.1.4498>
- Ikeda, H., West, D. B., Pustek, J. J., Figlewicz, D. P., Greenwood, M. R., Porte, D., Jr., & Woods, S. C. (1986, Dec). Intraventricular insulin reduces food intake and body weight of lean but not obese Zucker rats. *Appetite*, 7(4), 381-386. [https://doi.org/10.1016/s0195-6663\(86\)80006-x](https://doi.org/10.1016/s0195-6663(86)80006-x)
- Jacob, J. J., & Isaac, R. (2012, Jan). Behavioral therapy for management of obesity. *Indian J Endocrinol Metab*, 16(1), 28-32. <https://doi.org/10.4103/2230-8210.91180>
- Kabat-Zinn, J. (1990). Full catastrophe living: Using the wisdom of your body and mind to face stress, pain and illness. *New York: Delacorte*.
- Kabat-Zinn, J. (1994). Wherever You Go There You Are. Mindfulness Meditation in Everyday Life.
- Kantarci, K. (2014, 2014-November-13). Fractional Anisotropy of the Fornix and Hippocampal Atrophy in Alzheimer's Disease [Mini Review]. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 6. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2014.00316>
- Katterman, S. N., Kleinman, B. M., Hood, M. M., Nackers, L. M., & Corsica, J. A. (2014, 2014/04/01/). Mindfulness meditation as an intervention for binge eating, emotional eating, and weight loss: A systematic review. *Eating Behaviors*, 15(2), 197-204. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eatbeh.2014.01.005>

## Literaturverzeichnis

- Keith, S. W., Redden, D. T., Katzmarzyk, P. T., Boggiano, M. M., Hanlon, E. C., Benca, R. M., Ruden, D., Pietrobelli, A., Barger, J. L., Fontaine, K. R., Wang, C., Aronne, L. J., Wright, S. M., Baskin, M., Dhurandhar, N. V., Lijoi, M. C., Grilo, C. M., DeLuca, M., Westfall, A. O., & Allison, D. B. (2006, Nov). Putative contributors to the secular increase in obesity: exploring the roads less traveled. *Int J Obes (Lond)*, *30*(11), 1585-1594. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0803326>
- Khoury, B., Sharma, M., Rush, S. E., & Fournier, C. (2015, 2015/06/01/). Mindfulness-based stress reduction for healthy individuals: A meta-analysis. *Journal of Psychosomatic Research*, *78*(6), 519-528. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2015.03.009>
- Klein, E. M., Braehler, E., Dreier, M., Reinecke, L., Muller, K. W., Schmutzger, G., Wolfling, K., & Beutel, M. E. (2016, May 23). The German version of the Perceived Stress Scale - psychometric characteristics in a representative German community sample. *BMC Psychiatry*, *16*, 159. <https://doi.org/10.1186/s12888-016-0875-9>
- Kochunov, P., Williamson, D. E., Lancaster, J., Fox, P., Cornell, J., Blangero, J., & Glahn, D. C. (2012, 2012/01/01/). Fractional anisotropy of water diffusion in cerebral white matter across the lifespan. *Neurobiology of Aging*, *33*(1), 9-20. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2010.01.014>
- Kohls, N. (2013). Achtsamkeit und achtsamkeitsbasierte Interventionen. *Bewusstsein: Grundlagen, Anwendungen und Entwicklung*, 83-92.
- Koike, M. K., & Cardoso, R. (2014). Meditation can produce beneficial effects to prevent cardiovascular disease. *Hormone Molecular Biology and Clinical Investigation*, *18*(3), 137-143. <https://doi.org/doi:10.1515/hmbci-2013-0056>
- Koyama, T., & Domen, K. (2017, 2017/08/01/). Diffusion Tensor Fractional Anisotropy in the Superior Longitudinal Fasciculus Correlates with Functional Independence Measure Cognition Scores in Patients with Cerebral Infarction. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, *26*(8), 1704-1711. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2017.03.034>
- Kreek, M. J., & Koob, G. F. (1998, Jun-Jul). Drug dependence: stress and dysregulation of brain reward pathways. *Drug Alcohol Depend*, *51*(1-2), 23-47. [https://doi.org/10.1016/s0376-8716\(98\)00064-7](https://doi.org/10.1016/s0376-8716(98)00064-7)
- Kullmann, S., Callaghan, M. F., Heni, M., Weiskopf, N., Scheffler, K., Häring, H.-U., Fritsche, A., Veit, R., & Preissl, H. (2016, 2016/01/15/). Specific white matter tissue microstructure changes associated with obesity. *NeuroImage*, *125*, 36-44. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.10.006>
- Kunz-Ebrecht, S. R., Kirschbaum, C., Marmot, M., & Steptoe, A. (2004, May). Differences in cortisol awakening response on work days and weekends in women and men from

## Literaturverzeichnis

- the Whitehall II cohort. *Psychoneuroendocrinology*, 29(4), 516-528.  
[https://doi.org/10.1016/s0306-4530\(03\)00072-6](https://doi.org/10.1016/s0306-4530(03)00072-6)
- Lazar, S. W., Kerr, C. E., Wasserman, R. H., Gray, J. R., Greve, D. N., Treadway, M. T., McGarvey, M., Quinn, B. T., Dusek, J. A., Benson, H., Rauch, S. L., Moore, C. I., & Fischl, B. (2005). Meditation experience is associated with increased cortical thickness. *Neuroreport*, 16(17), 1893-1897.  
<https://doi.org/10.1097/01.wnr.0000186598.66243.19>
- Lee, R., Arfanakis, K., Evia, A. M., Fanning, J., Keedy, S., & Coccaro, E. F. (2016, 2016/10/01). White Matter Integrity Reductions in Intermittent Explosive Disorder. *Neuropsychopharmacology*, 41(11), 2697-2703. <https://doi.org/10.1038/npp.2016.74>
- Liston, C., McEwen, B. S., & Casey, B. J. (2009). Psychosocial stress reversibly disrupts prefrontal processing and attentional control. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(3), 912. <https://doi.org/10.1073/pnas.0807041106>
- Liu, J., Liang, P., Yin, L., Shu, N., Zhao, T., Xing, Y., Li, F., Zhao, Z., Li, K., & Han, Y. (2017). White Matter Abnormalities in Two Different Subtypes of Amnesic Mild Cognitive Impairment. *PLOS ONE*, 12(1), e0170185.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0170185>
- Lope-Piedrafita, S. (2018). Diffusion Tensor Imaging (DTI). *Methods Mol Biol*, 1718, 103-116.  
[https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7531-0\\_7](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7531-0_7)
- Lowe, C. J., Hall, P. A., & Staines, W. R. (2014). The Effects of Continuous Theta Burst Stimulation to the Left Dorsolateral Prefrontal Cortex on Executive Function, Food Cravings, and Snack Food Consumption. *Psychosomatic Medicine*, 76(7).  
[https://journals.lww.com/psychosomaticmedicine/Fulltext/2014/09000/The\\_Effects\\_of\\_Continuous\\_Theta\\_Burst\\_Stimulation.6.aspx](https://journals.lww.com/psychosomaticmedicine/Fulltext/2014/09000/The_Effects_of_Continuous_Theta_Burst_Stimulation.6.aspx)
- Makris, N., Kennedy, D. N., McInerney, S., Sorensen, A. G., Wang, R., Caviness, V. S., Jr, & Pandya, D. N. (2004). Segmentation of Subcomponents within the Superior Longitudinal Fascicle in Humans: A Quantitative, In Vivo, DT-MRI Study. *Cerebral Cortex*, 15(6), 854-869. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhh186>
- Makris, N., Worth, A. J., Papadimitriou, G. M., Stakes, J. W., Caviness, V. S., Kennedy, D. N., Pandya, D. N., Kaplan, E., Sorensen, A. G., Wu, O., Reese, T. G., Wedeen, V. J., Rosen, B. R., Kennedy, D. N., & Davis, T. L. (1997). Morphometry of in vivo human white matter association pathways with diffusion-weighted magnetic resonance imaging. *Annals of Neurology*, 42(6), 951-962.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ana.410420617>
- Mantzios, M., & Wilson, J. C. (2015, 2015/03/01). Mindfulness, Eating Behaviours, and Obesity: A Review and Reflection on Current Findings. *Current Obesity Reports*, 4(1), 141-146. <https://doi.org/10.1007/s13679-014-0131-x>

## Literaturverzeichnis

- Martín-Signes, M., Paz-Alonso, P. M., & Chica, A. B. (2018). Connectivity of Frontoparietal Regions Reveals Executive Attention and Consciousness Interactions. *Cerebral Cortex*, 29(11), 4539-4550. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhy332>
- McAllister, E. J., Dhurandhar, N. V., Keith, S. W., Aronne, L. J., Barger, J., Baskin, M., Benca, R. M., Biggio, J., Boggiano, M. M., Eisenmann, J. C., Elobeid, M., Fontaine, K. R., Gluckman, P., Hanlon, E. C., Katzmarzyk, P., Pietrobelli, A., Redden, D. T., Ruden, D. M., Wang, C., Waterland, R. A., Wright, S. M., & Allison, D. B. (2009, Nov). Ten putative contributors to the obesity epidemic. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 49(10), 868-913. <https://doi.org/10.1080/10408390903372599>
- Meule, A., Reichenberger, J., & Blechert, J. (2018, Jan 1). Development and preliminary validation of the Salzburg Stress Eating Scale. *Appetite*, 120, 442-448. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.10.003>
- Michalak, J., Heidenreich, T., Meibert, P., & Schulte, D. (2008, Aug). Mindfulness predicts relapse/recurrence in major depressive disorder after mindfulness-based cognitive therapy. *J Nerv Ment Dis*, 196(8), 630-633. <https://doi.org/10.1097/NMD.0b013e31817d0546>
- Miller, E. K. (2000, 2000/10/01). The prefrontal cortex and cognitive control. *Nature Reviews Neuroscience*, 1(1), 59-65. <https://doi.org/10.1038/35036228>
- Miller, J. J., Fletcher, K., & Kabat-Zinn, J. (1995, 1995/05/01/). Three-year follow-up and clinical implications of a mindfulness meditation-based stress reduction intervention in the treatment of anxiety disorders. *General Hospital Psychiatry*, 17(3), 192-200. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0163-8343\(95\)00025-M](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0163-8343(95)00025-M)
- Mori, S., Crain, B. J., Chacko, V. P., & Van Zijl, P. C. M. (1999). Three-dimensional tracking of axonal projections in the brain by magnetic resonance imaging. *Annals of Neurology*, 45(2), 265-269. [https://doi.org/https://doi.org/10.1002/1531-8249\(199902\)45:2<265::AID-ANA21>3.0.CO;2-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1002/1531-8249(199902)45:2<265::AID-ANA21>3.0.CO;2-3)
- Mori, S., Wakana, S., Van Zijl, P. C., & Nagae-Poetscher, L. (2005). *MRI atlas of human white matter*. Elsevier.
- Muehsam, D., Lutgendorf, S., Mills, P. J., Rickhi, B., Chevalier, G., Bat, N., Chopra, D., & Gurfein, B. (2017, 2017/02/01/). The embodied mind: A review on functional genomic and neurological correlates of mind-body therapies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 73, 165-181. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.12.027>
- Nakajima, R., Kinoshita, M., Shinohara, H., & Nakada, M. (2020, 2020/12/01). The superior longitudinal fascicle: reconsidering the fronto-parietal neural network based on anatomy and function. *Brain Imaging and Behavior*, 14(6), 2817-2830. <https://doi.org/10.1007/s11682-019-00187-4>

## Literaturverzeichnis

- O'Hare, E., Shaw, D. L., Tierney, K. J., E-M, K., Levine, A. S., & Shephard, R. A. (2004, Feb). Behavioral and neurochemical mechanisms of the action of mild stress in the enhancement of feeding. *Behav Neurosci*, *118*(1), 173-177.  
<https://doi.org/10.1037/0735-7044.118.1.173>
- Pagani, E., Agosta, F., Rocca, M. A., Caputo, D., & Filippi, M. (2008, 2008/07/01/). Voxel-based analysis derived from fractional anisotropy images of white matter volume changes with aging. *NeuroImage*, *41*(3), 657-667.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.03.021>
- Pierpaoli, C., & Basser, P. J. (1996). Toward a quantitative assessment of diffusion anisotropy. *Magnetic Resonance in Medicine*, *36*(6), 893-906.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/mrm.1910360612>
- Polivy, J. (1996, Jun). Psychological consequences of food restriction. *J Am Diet Assoc*, *96*(6), 589-592; quiz 593-584. [https://doi.org/10.1016/S0002-8223\(96\)00161-7](https://doi.org/10.1016/S0002-8223(96)00161-7)
- Repple, J., Opel, N., Meinert, S., Redlich, R., Hahn, T., Winter, N. R., Kaehler, C., Emden, D., Leenings, R., Grotegerd, D., Zaremba, D., Bürger, C., Förster, K., Dohm, K., Enneking, V., Leehr, E. J., Böhnlein, J., Karliczek, G., Heindel, W., Kugel, H., Bauer, J., Arolt, V., & Dannlowski, U. (2018, 2018/05/01/). Elevated body-mass index is associated with reduced white matter integrity in two large independent cohorts. *Psychoneuroendocrinology*, *91*, 179-185.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2018.03.007>
- Rosmond, R. (2003, Feb). Stress induced disturbances of the HPA axis: a pathway to Type 2 diabetes? *Med Sci Monit*, *9*(2), RA35-39.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12601304>
- Rosmond, R. (2005, Jan). Role of stress in the pathogenesis of the metabolic syndrome. *Psychoneuroendocrinology*, *30*(1), 1-10.  
<https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2004.05.007>
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000, Jan). Intrinsic and Extrinsic Motivations: Classic Definitions and New Directions. *Contemp Educ Psychol*, *25*(1), 54-67.  
<https://doi.org/10.1006/ceps.1999.1020>
- Sasson, E., Doniger, G., Pasternak, O., Tarrasch, R., & Assaf, Y. (2013, 2013-March-13). White matter correlates of cognitive domains in normal aging with diffusion tensor imaging [Original Research]. *Frontiers in Neuroscience*, *7*.  
<https://doi.org/10.3389/fnins.2013.00032>
- Sauer, S., Andert, K., Kohls, N., & Müller, G. F. (2011, 2011/12/01). Mindful Leadership: Sind achtsame Führungskräfte leistungsfähigere Führungskräfte? *Gruppendynamik und Organisationsberatung*, *42*(4), 339-349. <https://doi.org/10.1007/s11612-011-0164-5>

## Literaturverzeichnis

- Schmahmann, J. D., Smith, E. E., Eichler, F. S., & Filley, C. M. (2008). Cerebral White Matter. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1142(1), 266-309. <https://doi.org/https://doi.org/10.1196/annals.1444.017>
- Scott, K. A., Melhorn, S. J., & Sakai, R. R. (2012, Mar). Effects of Chronic Social Stress on Obesity. *Curr Obes Rep*, 1(1), 16-25. <https://doi.org/10.1007/s13679-011-0006-3>
- Sedlmeier, P., Loße, C., & Quasten, L. C. (2018, 2018/04/01). Psychological Effects of Meditation for Healthy Practitioners: an Update. *Mindfulness*, 9(2), 371-387. <https://doi.org/10.1007/s12671-017-0780-4>
- Segal Z, W. M., Teasdale J. (2002). *Mindfulness-Based Cognitive Therapy for Depression: A New Approach to Preventing Relapse*.
- Selassie, M., & Sinha, A. C. (2011, Mar). The epidemiology and aetiology of obesity: a global challenge. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol*, 25(1), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.bpa.2011.01.002>
- Selye, H. (1956, Sep). What is stress? *Metabolism*, 5(5), 525-530. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/13358567>
- Selye, H., & Procopio, J. (1951, Dec). [Concept of stress in 1951]. *Hospital (Rio J)*, 40(6), 863-872. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14917379> (O cenceito do stress em 1951.)
- Shapiro, S. L., Carlson, L. E., Astin, J. A., & Freedman, B. (2006, Mar). Mechanisms of mindfulness. *J Clin Psychol*, 62(3), 373-386. <https://doi.org/10.1002/jclp.20237>
- Siedentopp, U. (2016, 2016/01/01). Stress und Ernährung. *Deutsche Zeitschrift für Akupunktur*, 59(1), 44-47. [https://doi.org/10.1016/S0415-6412\(16\)30018-2](https://doi.org/10.1016/S0415-6412(16)30018-2)
- Siegel, D. J. (2007). Mindfulness training and neural integration: differentiation of distinct streams of awareness and the cultivation of well-being1. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 2(4), 259-263. <https://doi.org/10.1093/scan/nsm034>
- Smith, K. E., Luo, S., & Mason, T. B. (2021, 2021/05/01/). A systematic review of neural correlates of dysregulated eating associated with obesity risk in youth. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 124, 245-266. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.02.013>
- Stone, A. A., & Brownell, K. D. (1994, 1994/11/01). The stress-eating paradox: Multiple daily measurements in adult males and females. *Psychology & Health*, 9(6), 425-436. <https://doi.org/10.1080/08870449408407469>
- Tamashiro, K. L., Nguyen, M. M., Fujikawa, T., Xu, T., Yun Ma, L., Woods, S. C., & Sakai, R. R. (2004, Feb). Metabolic and endocrine consequences of social stress in a visible burrow system. *Physiol Behav*, 80(5), 683-693. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2003.12.002>

## Literaturverzeichnis

- Tang, Y.-Y., Hölzel, B. K., & Posner, M. I. (2015, 2015/04/01). The neuroscience of mindfulness meditation. *Nature Reviews Neuroscience*, *16*(4), 213-225. <https://doi.org/10.1038/nrn3916>
- Tang, Y.-Y., Lu, Q., Fan, M., Yang, Y., & Posner, M. I. (2012). Mechanisms of white matter changes induced by meditation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *109*(26), 10570. <https://doi.org/10.1073/pnas.1207817109>
- Tang, Y.-Y., Lu, Q., Geng, X., Stein, E. A., Yang, Y., & Posner, M. I. (2010). Short-term meditation induces white matter changes in the anterior cingulate. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *107*(35), 15649-15652. <https://doi.org/10.1073/pnas.1011043107>
- Tang, Y.-Y., Ma, Y., Wang, J., Fan, Y., Feng, S., Lu, Q., Yu, Q., Sui, D., Rothbart, M. K., Fan, M., & Posner, M. I. (2007). Short-term meditation training improves attention and self-regulation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *104*(43), 17152-17156. <https://doi.org/10.1073/pnas.0707678104>
- Tapper, K., Shaw, C., Ilsley, J., Hill, A. J., Bond, F. W., & Moore, L. (2009, 2009/04/01/). Exploratory randomised controlled trial of a mindfulness-based weight loss intervention for women. *Appetite*, *52*(2), 396-404. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.appet.2008.11.012>
- Teasdale, J. D., Moore, R. G., Hayhurst, H., Pope, M., Williams, S., & Segal, Z. V. (2002, Apr). Metacognitive awareness and prevention of relapse in depression: empirical evidence. *J Consult Clin Psychol*, *70*(2), 275-287. <https://doi.org/10.1037//0022-006x.70.2.275>
- Thera, N. (1962). The heart of Buddhist meditation. *New York: Weiser*.
- Tisdall, M. D., Hess, A. T., Reuter, M., Meintjes, E. M., Fischl, B., & van der Kouwe, A. J. (2012, Aug). Volumetric navigators for prospective motion correction and selective reacquisition in neuroanatomical MRI. *Magn Reson Med*, *68*(2), 389-399. <https://doi.org/10.1002/mrm.23228>
- Torske, A., Bremer, B., Hölzel, B. K., Maczka, A., & Koch, K. (2024, 2024/03/27). Mindfulness meditation modulates stress-eating and its neural correlates. *Scientific Reports*, *14*(1), 7294. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57687-7>
- Travis, K. E., Golden, N. H., Feldman, H. M., Solomon, M., Nguyen, J., Mezer, A., Yeatman, J. D., & Dougherty, R. F. (2015, 2015/01/01/). Abnormal white matter properties in adolescent girls with anorexia nervosa. *NeuroImage: Clinical*, *9*, 648-659. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.nicl.2015.10.008>
- Van Gordon, W., Shonin, E., & Garcia-Campayo, J. (2017). Are there adverse effects associated with mindfulness? *Australian & New Zealand Journal of Psychiatry*, *51*(10), 977-979. <https://doi.org/10.1177/0004867417716309>

## Literaturverzeichnis

- Vestergaard-Poulsen, P., van Beek, M., Skewes, J., Bjarkam, C. R., Stubberup, M., Bertelsen, J., & Roepstorff, A. (2009). Long-term meditation is associated with increased gray matter density in the brain stem. *Neuroreport*, *20*(2).  
[https://journals.lww.com/neuroreport/Fulltext/2009/01280/Long\\_term\\_meditation\\_is\\_associated\\_with\\_increased.14.aspx](https://journals.lww.com/neuroreport/Fulltext/2009/01280/Long_term_meditation_is_associated_with_increased.14.aspx)
- Via, E., Zalesky, A., Sánchez, I., Forcano, L., Harrison, B. J., Pujol, J., Fernández-Aranda, F., Menchón, J. M., Soriano-Mas, C., Cardoner, N., & Fornito, A. (2014). Disruption of brain white matter microstructure in women with anorexia nervosa. *Journal of Psychiatry and Neuroscience*, *39*(6), 367-375. <https://doi.org/10.1503/jpn.130135>
- Volkow, N. D., & Wise, R. A. (2005, 2005/05/01). How can drug addiction help us understand obesity? *Nature Neuroscience*, *8*(5), 555-560. <https://doi.org/10.1038/nn1452>
- Ward, P., Counsell, S., Allsop, J., Cowan, F., Shen, Y., Edwards, D., & Rutherford, M. (2006). Reduced Fractional Anisotropy on Diffusion Tensor Magnetic Resonance Imaging After Hypoxic-Ischemic Encephalopathy. *Pediatrics*, *117*(4), e619-e630.  
<https://doi.org/10.1542/peds.2005-0545>

## 10. Veröffentlichungsverzeichnis

### 10.1 Vortrag/ Oral presentation

Alexander Maczka, Alyssa Torske, Kathrin Koch, Claus Zimmer

*„The effects of food-related mindfulness meditation on stress-associated nutritional behavior and brain structure”*

Mündlich präsentiert von Alexander Maczka auf dem neuroRAD 2023 in Kassel, Deutschland

### 10.2 Zeitschriftenartikel

Torske, A., Bremer, B., Hoelzel, B., Maczka, A., Koch, K.

*„Mindfulness meditation modulates stress-eating and its neural correlates”*

Veröffentlicht bei Scientific Reports am 27.03.2024

## 11. Anhang

### 11.1 Ablaufschema der Achtsamkeitsintervention und des Gesundheitskurses

Session	Format	Achtsamkeitsintervention		Gesundheitskurs
		Theoretical training	Practical training	Theoretical training
1	Video	Introduction to mindfulness	Mindful breathing A	Sleep
2	Audio	<i>(Practice only)</i>	Mindful breathing A	Chronic pain
3	Audio	<i>(Practice only)</i>	Mindful breathing A	Light exposition and health
4	Video	Arriving in presence	Mindful breathing B	Sleep disturbances
5	Audio	<i>(Practice only)</i>	Mindful breathing B	Body memory
6	Audio	<i>(Practice only)</i>	Mindful breathing B	Migraine
7	Video	Arriving in the body	Bodyscan A	Burnout
8	Audio	<i>(Practice only)</i>	Walking meditation	Equanimity
9	Audio	<i>(Practice only)</i>	Bodyscan A	Social inequality and health
10	Video	Subjectivity of perception	Bodyscan B	Sore muscles / vegan diet
11	Audio	<i>(Practice only)</i>	Walking meditation	Happiness
12	Audio	<i>(Practice only)</i>	Bodyscan B	Time perception
13	Video	Communicating mindfully	Mindful attention to body sensations	Gender-specific health
14	Audio	<i>(Practice only)</i>	Mindful attention to body sensations	Illness as language of the soul
15	Audio	<i>(Practice only)</i>	Mindful attention to body sensations	Aging
16	Video	Non-judgement	Mindful attention to body sensations	Sugar
17	Audio	<i>(Practice only)</i>	Mindful listening	Medicinal plants
18	Audio	<i>(Practice only)</i>	Mindful listening	Self-deceit
19	Video	Dealing with stress	Mindfully approaching emotions	Maintaining health
20	Audio	<i>(Practice only)</i>	Mindfully approaching emotions	Migration and health
21	Audio	<i>(Practice only)</i>	Mindfully approaching emotions	Epigenetics
22	Video	Turning towards instead of turning away	Turning towards instead of turning away	Sensible footwear

## Anhang

<b>23</b>	Audio	<i>(Practice only)</i>	Approaching unpleasant feelings	Obsessive-compulsive disorder
<b>24</b>	Audio	<i>(Practice only)</i>	Awareness of thinking	Self-efficacy
<b>25</b>	Video	Positive qualities	Loving kindness	Microorganisms
<b>26</b>	Audio	<i>(Practice only)</i>	Loving kindness	Cardiovascular diseases
<b>27</b>	Audio	<i>(Practice only)</i>	Loving kindness	Hypnotherapy
<b>28</b>	Video	Decentring	Open monitoring	Staying active in the office
<b>29</b>	Audio	<i>(Practice only)</i>	Open monitoring	Negative empathy
<b>30</b>	Audio	<i>(Practice only)</i>	Silent meditation	Pain perception
<b>31</b>	Video	Reflecting the course	Silent meditation	Physical activity

## 11.2 Perceived Stress Scale (PSS-10)

### Instructions, items and subscales of the German 10-item Perceived Stress Scale (PSS-10)

From: Schneider, E. E., Schönfelder, S., Wolf, M., & Wessa, M. (submitted). The perceived stress scale: A self-report instrument to capture stress in clinical and nonclinical individuals

#### PERCEIVED STRESS SCALE - 10

Die folgenden Fragen beschäftigen sich mit Ihren Gedanken und Gefühlen während des letzten Monats. Bitte geben Sie für jede Frage an, wie oft sie in entsprechender Art und Weise gedacht oder gefühlt haben.

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

Skala Hilflosigkeit (H): Summe der Items 1, 2, 3, 6, 9, 10; Skala Selbstwirksamkeit (S): Summe der Items 4, 5, 7, 8. Für die Berechnung des Gesamtscores müssen die Items 4, 5, 7 und 8 der Selbstwirksamkeitsskala invertiert werden. Der Gesamtscore berechnet sich aus der Summe der Items der Hilflosigkeitsskala und der Summe der invertierten Items der Selbstwirksamkeitsskala. Höhere Werte deuten auf ein erhöhtes Stresslevel hin.

#### Original Items in English (Cohen et al., 1983)

The questions in this scale ask you about your feelings and thoughts during the last month. In each case, you will be asked to indicate how often you felt or thought a certain way.

- 1 PH In the last month, how often have you been upset because of something that happened unexpectedly?
- 2 PH In the last month, how often have you felt that you were unable to control the important things in your life?
- 3 PH In the last month, how often have you felt nervous and "stressed"?
- 4 PSE In the last month, how often have you felt confident about your ability to handle your personal problems?
- 5 PSE In the last month, how often have you felt that things were going your way?
- 6 PH In the last month, how often have you found that you could not cope with all the things that you had to do?
- 7 PSE In the last month, how often have you been able to control irritations in your life?
- 8 PSE In the last month, how often have you felt that you were on top of things?
- 9 PH In the last month, how often have you been angered because of things that were outside of your control?
- 10 PH In the last month, how often have you felt difficulties were piling up so high that you could not overcome them?

Answer range: 1 = never, 2 = almost never, 3 = sometimes, 4 = fairly often, 5 = very often; PH=perceived helplessness subscale; PSE=perceived self-efficacy; Items 4, 5, 7 and 8 are reverse scored for the total score. The PH subscale is computed by summing up items 1, 2, 3, 6, 9 and 10; the PSE subscale is computed by summing up items 4, 5, 7 and 8; the total score is the sum of all PH and reversed PSE items. Higher scores reflect greater levels of stress

### 11.3 Salzburg Stress Eating Scale (SSES)

Salzburg Stress Eating Scale (SSES)					
	esse ich <b>viel weniger</b> als sonst	esse ich <b>weniger</b> als sonst	esse ich <b>genauso viel</b> wie sonst	esse ich <b>mehr</b> als sonst	esse ich <b>viel mehr</b> als sonst
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>1.</b> Wenn mich die Dinge, die ich erledigen muss zu erdrücken drohen, ...	0	0	0	0	0
<b>2.</b> In sehr stressbelasteten Zeiten ...	0	0	0	0	0
<b>3.</b> Wenn ich das Gefühl habe, dass mir die Dinge über den Kopf wachsen, ...	0	0	0	0	0
<b>4.</b> An Tagen, an denen alles schiefzugehen scheint, ...	0	0	0	0	0
<b>5.</b> Wenn ich mich auf eine anstrengende Aufgabe vorbereite, ...	0	0	0	0	0
<b>6.</b> Wenn ich unter Druck stehe, ...	0	0	0	0	0
<b>7.</b> Wenn ich mich nervös und gestresst fühle, ...	0	0	0	0	0
<b>8.</b> Wenn ich das Gefühl habe, wichtige Dinge in meinem Leben nicht beeinflussen zu können, ...	0	0	0	0	0
<b>9.</b> Wenn ich das Gefühl habe, nichts mehr wirklich im Griff zu haben, ...	0	0	0	0	0
<b>10.</b> Wenn ich das Gefühl habe, dass sich die Probleme so aufgestaut haben, dass ich sie nicht mehr bewältigen kann, ...	0	0	0	0	0

## 12. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen danken, die mich bei der Anfertigung der Dissertationsarbeit unterstützt haben.

Herrn Prof. Dr. Claus Zimmer danke ich herzlich für die Unterstützung der Arbeit in der Abteilung für Neuroradiologie der Technischen Universität München und die freundlichen Feedbackgespräche.

Ganz besonders bedanke ich mich bei meiner Betreuerin Prof. Dr. Koch für die Bereitstellung des interessanten Promotionsthemas und die hervorragende Betreuung während des gesamten Forschungsprojekts. Ohne ihre stetige Hilfsbereitschaft und Unterstützung bei verschiedensten Fragestellungen wäre diese Arbeit nicht gelungen.

Genauso möchte ich mich herzlich bei Alyssa Torske bedanken, die ebenfalls zu jeder Zeit bei Fragen zur Verfügung stand und maßgeblich daran beteiligt war das Forschungsprojekt zu organisieren und umzusetzen. Ihre unglaubliche Beratung sowie hilfreichen Vorschläge während der gesamten Dauer meiner Doktorarbeit waren eine der Hauptgründe, weshalb mir dieses Projekt so viel Freude bereitet hat.

Des Weiteren möchte ich Ebru Ecem Tavacioglu meinen Dank äußern, die mir stets bei der komplexen Auswertung der Bildgebungsdaten geholfen hat.

Außerdem bedanke ich mich bei allen Patienten, die bereit waren an unserer Studie teilzunehmen und so das Erstellen der Promotionsarbeit ermöglichten.

Nicht zuletzt möchte ich mich von ganzem Herzen bei meinen Eltern für ihre bedingungslose Unterstützung während des gesamten Studiums bedanken. Ihre Begleitung in allen Höhen und Tiefen machten es überhaupt erst möglich, diese Promotionsarbeit zu beginnen und letztlich abzuschließen. Danke!