

Aus der Klinik für Diagnostische und Interventionelle Neuroradiologie
Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar
Direktor: Prof. Dr. med. Wolfgang Reith

**Struktureller Effekt im Gehirn
durch Hatha Yoga**

**Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Medizin (Dr. med.) der Medizinischen Fakultät
der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES
2019**

Vorgelegt von:
Malvina Garner, geb. am: 24.11.1990
in München

Tag der Promotion: 10.09.2020

Dekan: Prof. Dr. M.D. Menger

1. Berichterstatter: Herr Prof. Dr. med. Wolfgang Reith
2. Berichterstatter: Herr Prof. Dr. med. Klaus Faßbender

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	1
1.1 Deutsche Zusammenfassung	1
1.2 Abstract	2
2. Einleitung	4
2.1 Hinführung zum Thema	4
2.2 Grundlagen des Hatha Yoga	5
2.3 Neuroplastizität	6
2.4 VBM-Analyse	7
2.5 Aktuelle neurobiologische Studienlage	7
2.6 Fragestellung	10
3. Material und Methoden	11
3.1 Auswahl der Methode und Studienaufbau	11
3.2 Studienablauf	12
3.3 Probandenkollektiv und Rekrutierung	13
3.3.1 Allgemeine Einschlusskriterien	14
3.3.2 Allgemeine Ausschlusskriterien	14
3.3.3 Zwischenausschlusskriterien	14
3.4 Beschreibung der Interventionsgruppen	15
3.4.1 Hatha Yoga Unterricht	15
3.4.2 Bauch-Beine-Po, Core-Training, Body-Work-Out	19
3.4.3 Formale Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Yoga- und der Sportkurse	21
3.5 Beschreibung der Messinstrumente	23
3.5.1 Blutdruck- und Pulsmessung	23
3.5.2 Strukturelle cMRT-Messung	24
3.6 Datenverarbeitung	24
3.6.1 Normalisierung der Datensätze	25
3.6.2 Segmentierung der Datensätze	25
3.6.3 Glättung der Datensätze	25
3.6.4 Statistische Vorverarbeitung	26
3.6.5 Statistische Analyse	27
4. Ergebnisse	28
4.1 Deskriptive Statistik	28
4.1.1 Soziodemographische Beschreibung	28
4.1.2 Compliance der Trainingsteilnahme	29
4.2 Ergebnisse der Blutdruck- und Pulsmessung	29

4.2.1 Systolischer Blutdruck	29
4.2.2 Diastolischer Blutdruck	30
4.2.3 Puls	32
4.3 cMRT-Gruppenvergleiche	32
4.3.1 Signifikante räumliche Dichtezunahme der Grauen Substanz in der Yogagruppe im Vergleich zur Sportgruppe	32
4.3.2 Signifikante räumliche Dichteabnahme der Grauen Substanz in der Yogagruppe im Vergleich zur Sportgruppe	33
4.3.3 Feststellung der für den yogaspezifischen Effekt relevanten Cluster	34
4.3.4 Darstellung der Dichteveränderungen im Hippocampus	36
4.3.5 Auffälligkeiten in den Prämessungen	38
4.4 Korrelationsanalyse der vegetativen mit den strukturellen Veränderungen	46
5. Diskussion	47
5.1 Soziodemographische Ergebnisse	47
5.2 Diskussion der Yoga- und Sportintervention	48
5.3 Compliance der Trainingsteilnahme	50
5.4 Blutdruck- und Pulsmessung	51
5.5 Die VBM-Methode	52
5.6 Strukturelle Veränderungen	53
5.6.1 Struktur und Funktion des Hippocampus	53
5.6.2 Bekannte Einflüsse auf die Struktur des Hippocampus	54
5.6.3 Bewertung des Studienergebnisses	54
5.6.4 Korrelation der vegetativen mit den strukturellen Veränderungen	60
5.7 Klinischer Beitrag	62
5.8 Gruppenunterschied in den strukturellen Prämessungen	63
6. Limitationen	65
7. Schlussfolgerung und Ausblick	66
8. Literaturverzeichnis	68
9. Anhang	80
9.1 Atemübungen	80
9.2 Aufwärmübungen	80
9.3 Asanas	81
9.4 Entspannungsposition	83
9.5 Sportgruppe: Grundübungen	83
10. Publikation	85
11. Danksagung	86
12. Lebenslauf	87

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Tuschezeichnung einer Purkinje-Zelle aus dem Kleinhirn, ca. 1899, Cajal	6
Abbildung 2: Geschlechterverteilung in der Kontroll-, Sport- und Yogagruppe	299
Abbildung 3: Systolische Blutdruckdifferenz nach 10 Wochen im Gruppenvergleich	300
Abbildung 4: Diastolische Blutdruckdifferenz nach 10 Wochen im Gruppenvergleich	311
Abbildung 5: 3-dimensionale Darstellung der signifikanten GM-Zunahme im Hippocampus..	377
Abbildung 6: Paarweiser Gruppenvergleich GM-Veränderung Prä-Post im Hippocampus .	377
Abbildung 7: Dichte Grauer Substanz in der Prä- und Postmessung: Hippocampus	388
Abbildung 8: Dichte Grauer Substanz in der Prä- und Postmessung: Linker STS.....	388
Abbildung 9: Dichte Grauer Substanz in der Prä- und Postmessung: Rechter STS.....	388
Abbildung 10: Dichte Grauer Substanz in der Prä- und Postmessung: Linker superiorer Orbitalgyrus	388
Abbildung 11: Dichte Grauer Substanz in der Prä- und Postmessung: Rechtes BA44	399
Abbildung 12: Dichte Grauer Substanz in der Prä- und Postmessung: Linke Insula	399
Abbildung 13: Dichte Grauer Substanz in der Prä- und Postmessung: Rechte Insula	399
Abbildung 14: Dichte Grauer Substanz in der Prä- und Postmessung: Linker IPC.....	399
Abbildung 15: Häufigkeitsverteilung der Dichtewerte zur Prämessung: Rechter Hippocampus	411
Abbildung 16: Häufigkeitsverteilung der Dichtewerte zur Prämessung: Linker STS.....	411
Abbildung 17: Häufigkeitsverteilung der Dichtewerte zur Prämessung: Rechter STS.....	411
Abbildung 18: Häufigkeitsverteilung der Dichtewerte zur Prä-messung: Linker superiorer Orbitalgyrus	411
Abbildung 19: Häufigkeitsverteilung der Dichtewerte zur Prä-messung: Rechtes BA 44	422
Abbildung 20: Häufigkeitsverteilung der Dichtewerte zur Prä-messung: Linke Insula	422
Abbildung 21: Häufigkeitsverteilung der Dichtewerte zur Prä-messung: Rechte Insula	422
Abbildung 22: Häufigkeitsverteilung der Dichtewerte zur Prä-messung: Linker IPC.....	422
Abbildung 23: Dichte der grauen Substanz, der weißen Substanz und Liquor zum Zeitpunkt der Prämessung	433
Abbildung 24. Häufigkeitsverteilung der Dichtewerte der GM zur Prämessung.....	455
Abbildung 25. Häufigkeitsverteilung des Verhältnisses von GM/BV.....	455

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Chronologischer Studienablauf.....	133
Tabelle 2: Inhaltlicher Ablauf des Studienprogramms auf einen Blick.....	133
Tabelle 3: Aufbau des Hatha Yoga Unterrichts.....	155
Tabelle 4: Auswahl der möglichen Atemübungen.....	166
Tabelle 5: Auswahl der Lockerungsübungen.....	177
Tabelle 6: Auswahl der Asana-Übungen.....	188
Tabelle 7: Übersicht Aufbau der Sportkurse.....	20
Tabelle 8: Übersicht Zeitanpruch an die einzelnen Sport-Trainingseinheiten.....	211
Tabelle 9: Formaler Vergleich des Yogakurses mit den Sportkursen.....	222
Tabelle 10: Inhaltlicher Vergleich des Yogakurses mit den Sportkursen.....	233
Tabelle 11: Gruppeneinteilung in Bezug auf die Kohorten.....	288
Tabelle 12: Deskriptive Statistik zum systolischen Blutdruck innerhalb der Gruppen.....	300
Tabelle 13: Systolische Blutdruckdifferenz im paarweisen Gruppenvergleich.....	300
Tabelle 14: Deskriptive Statistik zum diastolischen Blutdruck innerhalb der Gruppen.....	311
Tabelle 15: Diastolische Blutdruckdifferenz im paarweisen Gruppenvergleich.....	311
Tabelle 16: Deskriptive Statistik zum Puls innerhalb der Gruppen.....	322
Tabelle 17: Signifikante GM-Zunahme in der Yogagruppe im Vergleich zur Sportgruppe ..	333
Tabelle 18: Signifikante GM-Zunahme in der Yogagruppe im Vergleich zur Sportgruppe ..	333
Tabelle 19: Prä-Post-Vergleich innerhalb der Gruppen: GM-Dichte rechter Hippocampus.	344
Tabelle 20: Prä-Post-Vergleich innerhalb der Gruppen: GM-Dichte des linken STS.....	344
Tabelle 21: Prä-Post-Vergleich innerhalb der Gruppen: GM-Dichte des rechten STS.....	355
Tabelle 22: Prä-Post-Vergleich innerhalb der Gruppen: GM-Dichte linker Orbitalgyrus.....	355
Tabelle 23: Prä-Post-Vergleich innerhalb der Gruppen: GM-Dichte des rechtes BA44.....	355
Tabelle 24: Prä-Post-Vergleich innerhalb der Gruppen: GM-Dichte der linken Insula.....	355
Tabelle 25: Prä-Post-Vergleich innerhalb der Gruppen: GM-Dichte der rechten Insula.....	366
Tabelle 26: Prä-Post-Vergleich innerhalb der Gruppen: GM-Dichte des linken IPC.....	366
Tabelle 27: Paarweiser Gruppenvergleich der GM-Veränderung: rechter Hippocampus....	366
Tabelle 28: Paarweiser Gruppenvergleich der Prämessung: GM-Dichte rechter Hippocampus, linker STS, rechter STS, linker Orbitalgyrus, rechtes BA44.....	400
Tabelle 29: Paarweiser Gruppenvergleich der Prämessung: GM-Dichte linke Insula, rechte Insula, linker IPC.....	400
Tabelle 30: Gesamtes Gehirn Prämessung: Graue Substanz (GM), Weiße Substanz (WM) und Liquor (Cerebral fluid=CF) sowie Gesamtdichte (GD) für alle drei Gruppen.....	444
Tabelle 31: Paarweiser Gruppenvergleich der Dichte GM, WM, CF und der Gesamtdichte (GV) bei der Prämessung sowie für das Verhältnis GM/GV.....	444
Tabelle 32: Korrelationsanalyse nach Spearman.....	466

Abkürzungsverzeichnis

ADHS	Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung
BA44	Brodmann Area 44
BDNF	Brain-Derived Neurotrophic Factor
BMI	Body-Mass-Index
BWL	Betriebswirtschaftslehre
DMN	Default-Mode-Network
cMRT	craniale Magnetresonanztomographie
CSF	Cerebro Spinal Fluid
DARTEL	Diffeomorphic Anatomical Registration Through Exponentiated Lie Algebra
DICOM	Digital Imaging and Communication in Medicine
DRT	Deep Relaxation Technique
fMRI	Functional Magnetic Resonance Imaging
FOV	Field of View
FWE-Korrektur	Family Wise Error Corrected
FWHM	Full Width at Half Maximum
GABA	Gamma-Aminobutyric Acid
GM	Grey Matter
IPC	Inferior Parietaler Cortex
IRT	Instant Relaxation Technique
MBSR	Mind-Body-Stress-Relaxation Technique
MNI	Montreal Neurological Institute
MPRAGE	Magnetization Prepared Rapid Gradient Echo
NIFTi	Neuroimaging Informatics Technology Initiative 2005
QRT	Quick Relaxation Technique
ROI	Region of Interest
SPM(8)	statistical parametric mapping (Version 8 Released 2009)
SPSS	IBM® SPSS Statistics
STS	Superiorer Temporalgyrus
VBM	Voxel basierte Morphometrie
WM	White Matter
YIC	Yoga Instructure Course (SVYASA Yoga University Bangalore)

1. Zusammenfassung

1.1 Deutsche Zusammenfassung

Hintergrund und Ziele: Bei Hatha Yoga handelt es sich um eine jahrtausendealte Methode aus Indien, die Halte-, Dehn- und Kräftigungsübungen sowie Atem- und Meditationstechniken umfasst. Im Westen wird Hatha Yoga mittlerweile häufig als Möglichkeit der Stressreduktion gewählt und gewinnt auch in der Prophylaxe und Therapie von Krankheiten zunehmend an Bedeutung. In zahlreichen Studien konnte bereits dahingehend ein signifikanter Effekt auf physischer und mentaler Ebene durch das Praktizieren von Yoga gezeigt werden. Hirnmorphologische Auswirkungen sind jedoch bis dato kaum erforscht. Bisherige Studienergebnisse lassen einen Effekt auf Areale vermuten, welche sowohl in der Emotions- und insbesondere Stressregulation als auch in vegetative Schaltkreise involviert sind. Doch auch Sport ist bekannt für eine ähnliche Wirkung. So soll in dieser Arbeit untersucht werden, ob sich durch Hatha Yoga diesbezüglich spezifische vegetative und strukturelle Veränderungen im Gehirn im Vergleich zu einer aktiven Sportgruppe und einer passiven Kontrollgruppe nachweisen lassen.

Methodik: In einer longitudinalen strukturellen cMRT Studie wurden Veränderungen in der Dichte der Grauen Substanz (GM) nach einer Yoga Intervention untersucht. Um die Wiederholbarkeit der Ergebnisse zu prüfen, wurden zwei Daten-Erhebungszeiträume (Kohorten) mit dem gleichen Studiendesign durchgeführt. Yoga naive Probanden (n=19/n=20) führten eine Yoga Intervention einmal die Woche für 75 Minuten über einen Zeitraum von 10 Wochen durch. Als Kontrolle dienten eine naive Sportgruppe (n=10/n=22) und eine passive Gruppe (n=17/n=14). Alle Probanden konnten sich je nach eigener Präferenz die Gruppenzugehörigkeit selbst wählen. Als vegetativer Kontrollparameter und zugleich indirekter Stressindikator kamen vor und nach der Intervention eine Blutdruck- und Pulsmessung zum Einsatz. Schließlich wurden die Ergebnisse beider Kohorten in einer Gesamtauswertung zusammengefasst.

Ergebnisse: In den strukturellen Messungen wiesen die Yoga Probanden bereits zu Beginn im Vergleich zu beiden Kontrollen signifikant niedrigere GM-Dichtewerte im rechten Hippocampus, im inferioren Parietalkortex, im rechten Brodmann Areal 44 sowie in beiden superioren Temporalgyri und Insulae auf. Dieser Befund präsentierte sich gleichermaßen und unabhängig voneinander in beiden Kohorten. Die longitudinalen MRT Messungen ergaben als Hatha Yoga spezifischen Effekt eine signifikante Zunahme an Dichte Grauer Substanz im Bereich des rechten Hippocampus.

Nach der Intervention waren in der Yogagruppe eine signifikante systolische und diastolische Blutdrucksenkung zu verzeichnen. Damit unterschied sie sich signifikant von beiden Kontrollgruppen. In der Pulsmessung war kein signifikanter Gruppenunterschied nachzuweisen. Die Korrelation der Blutdruckveränderung mit den strukturellen Veränderungen ergab einen signifikanten Zusammenhang zwischen diastolischer Blutdruckreduktion und GM-Dichteabnahmen beider Insulae.

Schlussfolgerung: Verschiedenste neurodegenerative und neuropsychiatrische Erkrankungen wie auch lang andauernder Stress führen zu einer strukturellen Abnahme der Grauen Substanz im Hippocampus. Eine Abnahme von Stress ist hingegen mit einer Zunahme der hippocampalen Dichte der Grauen Substanz assoziiert. Die signifikante strukturelle Zunahme im Bereich des Hippocampus durch die Yogaintervention kann daher als neuronales strukturelles Korrelat für den positiven Einfluss von Yoga auf das Stress-Management gewertet werden. Die nur in der Yogagruppe gezeigte signifikante Abnahme des systolischen und diastolischen Blutdrucks ist ebenfalls mit Stressreduktion assoziiert und unterstützt damit die obengenannte Schlussfolgerung. Der Zusammenhang der Blutdruckreduktion mit der insulären Veränderung in der Yogagruppe gibt zudem neue Informationen über strukturelle und autonome neuronale Wirkungskreisläufe.

Da die Yoga Teilnehmer beider Kohorten bereits vor der Intervention eine signifikant niedrigere Dichte einzelner stressbezogener Areale aufwiesen, kann als Ursache für die freiwillige Entscheidung für eine Yoga Intervention eine präexistierende, am ehesten unterbewusste höhere Stresssensitivität bzw. -vulnerabilität postuliert werden.

1.2 Abstract

Background: Hatha Yoga includes holding, stretching and strengthening exercises as well as breathing and meditation techniques. It became well known for its stress reducing effect and increasingly even for the positive impact in various cardiovascular and neurological diseases. According to morphological effects studies on meditation and mind body techniques point out stress and vegetative related areas. However, sport is also known for a similar effect.

The current study was designed to evaluate potential Yoga specific changes in the autonomic system and brain structure in comparison with an active sport group and a passive control group.

Materials and Methods: We conducted a longitudinal structural MRI study to investigate changes in gray matter (GM) density following a Yoga intervention. In order to check the repeatability of the results two data acquisition periods (cohorts) with the same study design were done. Yoga naive subjects (n=19/n=20) received a Yoga intervention once a

week for 75 minutes over a period of 10 weeks. Control groups included active sport subjects (n=10/n=22) and passive subjects (n=17/n=14). All participants could choose their group assignment by their own preference. A longitudinal and group comparison was done by voxel-based-morphometric analyses before and after the intervention. In addition, blood pressure and pulse were taken before and after the study period as a controlling instrument. Finally, the results of the two cohorts were reported into a comprising data set for a general conclusion on Yoga effects.

Results: Initially, hippocampal GM density as well as the GM density the inferior parietal lobe, the Brodmann Area 44 both insulae, superior temporal gyri and in the Yoga group was significantly lower than in both control groups already before the intervention. It was equally and independently present in both cohorts. The longitudinal MRI measurements showed a significant increase in the right hippocampal GM density as a specific effect of the Hatha Yoga intervention. Coincidentally, the blood pressure measurement detected a significant reduction in both systolic and diastolic blood pressure only in the Yoga group but not in the sport or passive group. Pulse rate showed no significant group differences. The diastolic blood pressure reduction correlated significantly with the GM reduction in both insulae.

Conclusions: Various neurodegenerative and neuropsychiatric diseases as well as long lasting stress lead to structural shrinkage of the hippocampal GM. In contrast, stress reduction was shown to be associated with an increase in the hippocampal GM density. The Yoga specific effect in this study can be considered as positive impact on both stress management and its underlying neural structure. These effects have been already proven in prevention and therapy of neurodegenerative and neuropsychiatric diseases. The Yoga induced stress reduction can be furthermore supported by the findings of blood pressure reduction. Blood pressure is well known as an indirect indicator for stress reduction. The correlation of blood pressure and insular change provides new information on the structural and autonomic relation due to Yoga intervention.

Since the GM density of some stress related areas were twice detected lower in the two Yoga cohorts compared to both control groups, one may postulate a pre-existing but unconscious higher stress vulnerability when voluntarily deciding for the Yoga intervention.

Keywords: Hatha Yoga, Hippocampus, Structural MRI, Stress, Blood Pressure, Physical exercise

2. Einleitung

Die Verfasserin dieser Arbeit absolvierte im Jahr 2006 an der Swami-Vivekananda Yoga Universität in Bangalore/Indien eine ein-monatige Ausbildung zur Yogalehrerin (YIC: Yoga Instructure Course). In der Folge gab sie im Rahmen des Hochschulsportprogramms der Universität des Saarlandes während ihres Medizinstudiums regelmäßig Hatha Yogakurse für Studenten und Mitarbeiter des Universitätsklinikums in Homburg. Aus dem daraus entstandenen auch wissenschaftlichen Interesse für Yoga, entwickelte sich in Zusammenarbeit mit dem Neurobiologen Dr. rer. Christoph Krick aus dem Institut für diagnostische und interventionelle Neuroradiologie des Universitätsklinikums Homburg das Konzept der vorliegenden Arbeit.

2.1 Hinführung zum Thema

Yoga ist eine ursprünglich Jahrtausende alte philosophische Lehre aus Indien [153]. In unserem westlichen Kulturkreis ist Yoga längst kein fremder Begriff mehr, wurde aber zunächst vielmehr mit speziellen Körperverrenkungen und akrobatischen Posen in Zusammenhang gebracht und auch darauf reduziert [153].

Mittlerweile wird Yoga aber nicht mehr nur als moderner Trendsport gesehen, den man gleichsam neben Fitnesstraining und Entspannungskursen antrifft [78]. Die ursprüngliche Idee, über auf bestimmte Weise ausgeführte Übungen zu tiefer körperlicher und geistiger Entspannung gelangen zu können, stößt beim modernen Menschen und seiner Frage nach Stressbewältigung immer mehr auf Interesse [38]. Davon unabhängig gliedert sich Yoga, so wie es in der westlichen Welt verstanden wird, in eine Reihe von Methoden ein, die ebenfalls zur Stressreduktion entwickelt wurden. Diese werden üblicherweise unter dem Begriff Mind-Body-Techniken zusammengefasst [206].

Cramer [38] führte 2014 eine repräsentative Umfrage in Deutschland durch, nach der die Lebenszeitprävalenz für die Yogapraxis bei 15% und die Punktprävalenz bei 3,3% lag. Dieses Interesse schlägt sich auch an einer sehr großen Fülle an Einrichtungen nieder, die Yogakurse für alle Gesellschafts- und Altersschichten anbieten. Hier werden vielfältige Stilrichtungen für die praktische Umsetzung von Yoga angeboten. Der sogenannte Hatha Yoga findet im Westen dabei eine große Verbreitung [35,212].

Beim Gesunden vermag Yoga dabei ein erhöhtes Wohlempfinden auf sowohl physischer als auch psychischer Ebene zu bewirken [25,175,212]. Dabei wurde Yoga insbesondere für seine effektive Stressreduktion bekannt [32,154,183]. Dank der in den letzten Jahrzehnten vorangetriebenen Forschung über präventive und therapeutische Effekte bei Yogapraktizierenden konnten deutlich positive Auswirkungen auch bei Patienten mit Volkskrankheiten nachgewiesen werden. Als Beispiel seien hier kardiovaskuläre Erkrankungen [41] genannt, insbesondere Bluthochdruck [82,141,197], oder auch neuro-

psychiatrische Erkrankungen [110,135] wie Depressionen [40,161,217], ADHS [10,33,170], posttraumatische Belastungsstörung [43,199], Angststörungen [42,90,116], und Schizophrenie [11,201]. Insbesondere der Effekt der deutlichen Stressreduktion [32,154,183] aber auch die positiven Auswirkungen auf im Alter oft auftretende Erkrankungen, wie Alzheimer oder andere dementielle Entwicklungen [52] und Parkinson [184], deren Heilung schulmedizinisch noch Grenzen auferlegt sind, macht Yoga zu einem spannenden, aktuellen Thema.

Die Frage nach einer spezifischen strukturellen Wirkung von Yoga ist bis dato kaum erforscht. Eine geeignete Methode für die Untersuchung dieses Problems stellt die Hirnforschung dar. Die bei einer Yogaintervention möglicherweise ablaufenden strukturellen Veränderung im Gehirn, welches das übergeordnete Steuerungszentrum unseres Körpers darstellt, können eventuell einen neurobiologischen Erklärungsansatz liefern. Hirnforscher konnten dabei bereits in vielen Studien strukturelle Veränderungen im Gehirn nach der Ausübung von Meditation, verschiedenen Mind-Body-Techniken und Sport aufzeigen (vgl. Kapitel 2.5). Welche spezifische strukturelle Veränderung im Gehirn bei der Praxis von Hatha Yoga entsteht, soll in dieser Studie untersucht werden.

2.2 Grundlagen des Hatha Yoga

Yoga hat seine Wurzeln in der indischen Kultur [153]. Dabei ist die Yogapraxis zwar unmittelbar mit der hinduistischen Tradition verbunden, gelehrt und verstanden wird sie aber als geistige Wissenschaft und Lebensphilosophie [159]. Die ersten Darstellungen von Yoga finden sich auf Skulpturen aus der Bronzezeit um 2000 v. Chr. Die erste bekannte systematische Abhandlung stammt von Patanjali [159], der in der Zeitenwende um Christi Geburt gelebt haben soll. In den von ihm verfassten sogenannten „Sutren“ beschrieb er den Weg zur Erleuchtung durch spezielle Yogatechniken. Unter Erleuchtung wurde dabei die Erkenntnis einer nicht-dualen Einheit von Ich-Bewusstsein und göttlichem Bewusstsein verstanden. Abgesehen von der spirituellen Zielsetzung, wird im Yoga ein psychophysiologisches Gleichgewicht sowie die Entwicklung zu einem natürlichen positiven Geisteszustand, einem Zustand der geistigen Ruhe, unabhängig von äußeren Umständen und einem allgemeinen Zustand des Wohlbefindens angestrebt [160].

Als elementare Werkzeuge auf diesem Weg beschrieb Patanjali die Beherrschung der Körperfunktionen, des Atems als Symbol der Lebenskraft sowie der Gedanken und Gefühle. Hatha Yoga, der um 1000 n. Chr. entstand, nutzt im Besonderen die Körperübungen (Asanas) und Atemübungen (Pranayama) als Basis für spätere intensive meditative Techniken, die in der Regel langes Sitzen erfordern.

Die Asanas sind ursprünglich verschiedenen Tierstellungen nachgeahmt, was noch immer aus den Sanskrit-Bezeichnungen der einzelnen Übungen zu entnehmen ist [163]. Sie

beginnen mit einer Entspannungsposition im Stehen, Sitzen oder Liegen, daran anschließend wird die Ausgangsstellung einer Asana eingenommen, die „Stiti“ genannt wird. Es folgt die langsame Ausführung der Übung bis zu einer maximal ohne Schmerz tolerierten Endstellung. In dieser Endstellung wird einige Atemzüge verweilt, danach erfolgt die langsame Auflösung in die Grundstellung. Dabei wird der Atem mit den Bewegungen synchronisiert. Im Anschluss an die Übung wird wieder die entsprechende Entspannungshaltung eingenommen [163].

Durch diese Asanas werden Gelenke mobilisiert, die Sehnen gedehnt und die Muskeln tonisch gekräftigt. Je nach Asana wird dabei zusätzlich auch ein Effekt auf weitere physische und psychische Funktionen postuliert [163]. Vor den Asanas werden typischerweise Aufwärm- und Lockerungsübungen durchgeführt. Des Weiteren werden spezielle Atem- und entspannende Meditationsübungen in den Ablauf eingebaut [163]. Ein allen Übungen zugrundeliegendes Element beim Hatha Yoga ist die Übung der Achtsamkeit. Dabei steht Achtsamkeit für das wertfreie Gewahrsein für den aktuellen Moment [102].

Zusammenfassend werden die grundsätzlichen Prinzipien des von Patanjali beschriebenen Hatha Yogaweges durch spezielle v.a. statische, dehnende und kräftigende Körperübungen, durch einen gleichwertigen Wechsel der Übungen von Anspannung und Entspannung, durch bewusste, regelmäßige, tiefe Ein- und Ausatmung, durch spezielle Atem- und Entspannungsübungen sowie durch die Übung der Achtsamkeit realisiert. Dabei kann Hatha Yoga in seiner ganzheitlichen Herangehensweise in die Gruppe der Mind-Body-Übungen eingeordnet werden [206]. Eine detaillierte Beschreibung der Grundlagen von Hatha Yoga findet sich bei Nagarathna und Nagendra [163].

2.3 Neuroplastizität

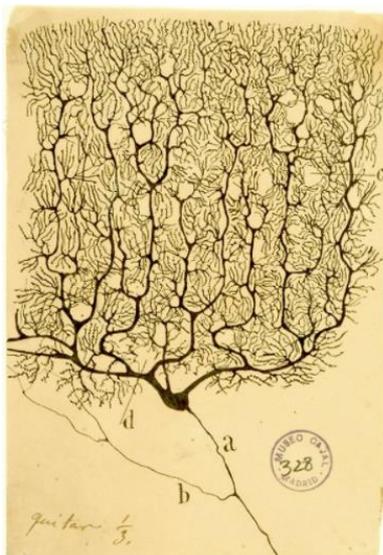


Abbildung 1: Tuschezeichnung einer Purkinje-Zelle aus dem Kleinhirn, ca. 1899, Cajal

Früher war man davon überzeugt, das Gehirn sei nach der Adoleszenz statisch und bis auf Abbauprozesse nicht mehr wesentlich bezüglich seiner Struktur veränderbar [98]. Doch bereits Ende des 18. Jahrhunderts wurde in Tierstudien ein makroskopischer struktureller Einfluss eines mentalen Trainings im Kleinhirn nachgewiesen [174]. Einen Eindruck der damals vermuteten Neuroplastizität zu Grunde liegenden dendritischen Verästelung im Kleinhirn zeigt Abbildung 1, in der Cajal [14] Ende des 19. Jahrhunderts die mikroskopische Aufzweigungen einer Purkinje-Zelle im Kleinhirn illustrierte. Durch fehlende Nachweismethoden wurde dies in der wissenschaftlichen Welt jedoch lange Zeit nicht akzeptiert [14]. Erst durch die Verbesserung der Genauigkeit der cMRT-Geräte mit ihrer hochauflösenden Bildgebung und entsprechend hochwertigen Analyseprogrammen gelang der Nachweis, dass sich das Gehirn

auf äußere und innere Einflüsse bzw. Reize ständig anpasst [62,129]. Als Beispiel sei die Jonglierstudie von Draganski et al [49] genannt, in welcher nach dreimonatigem motorischem Lernen strukturelle Veränderungen in entsprechenden motorischen Arealen nachgewiesen werden konnten.

Nicht nur nach motorischem Training, sondern auch nach verstärkter mentaler Tätigkeit, wie z.B. Lernen auf das medizinische Physikum [50], wurden morphologische Hirnveränderungen beschrieben. Darüber hinaus zeigt das Gehirn ebenso auf innere Einflussfaktoren wie Hormonänderungen [12,87,162] oder auch äußere Einflüsse wie die Jahreszeit [145] eine stetige plastische Anpassung.

2.4 VBM-Analyse

Für den Nachweis struktureller Hirnveränderungen werden heute meist die durch das cMRT gewonnene Bilddaten mittels der Voxelbasierten Morphometrie (VBM) analysiert. Diese Methode wurde von Ashburner et al. [5] im Jahr 2000 beschrieben und seitdem stetig weiterentwickelt.

Dabei wird das Gehirn in Kubikmillimeter großen Einheiten auf relative, regionale Unterschiede in Bezug auf Graue und Weiße Substanz verrechnet und ausgewertet, sodass einzelne anatomische Hirnstrukturen abgegrenzt und deren jeweilige Grauwertdichte bestimmt werden können. Damit ist sowohl die Analyse von Volumenunterschieden als auch Dichteunterschieden der lokalisierten Hirnregionen möglich. Voraussetzung sind methodisch exakt durchgeführte cMRT-Aufnahmen, hochauflösende Geräte sowie eine entsprechende Software.

2.5 Aktuelle neurobiologische Studienlage

Während strukturelle Effekte von Meditation [60], MBSR (Mind-Body-Stress-Relaxation-Technique), als eine dem Yoga ähnliche Mind-Body Übungen [76,91,92] und Sport [105,122,195] bereits seit längerem untersucht werden, gibt es bisher nur wenige strukturelle himmorphologische Studien über Yoga:

Villemure et al. [204] konnten in einer langjährig yogapraktizierenden Gruppe im Vergleich zu einer Kontrollgruppe eine Volumenzunahme in verschiedenen Hirnarealen (Präfrontaler Kortex, Cingulärer Kortex, Inferiorer Parietallobus) nachweisen. Dabei korrelierte die Volumenzunahme im Inselkortex mit einer erhöhten Schmerztoleranz. Die gleiche Arbeitsgruppe um Villemure et al. [205] untersuchte in einer Querschnittsstudie den Zusammenhang zwischen der Häufigkeit und Dauer der Yogapraxis mit strukturellen Unterschieden. Hierzu wurden ältere erfahrene Yogapraktizierende mit nicht Yogapraktizierenden verglichen. Während die nicht Yogapraktizierenden eine schon bekannte altersabhängige Abnahme der grauen Substanz zeigten, war dies in der Yogagruppe nicht der Fall. Die Anzahl der Jahre der Yogaerfahrung korrelierte positiv mit dem Volumen der Grauen

Substanz in der linken Hemisphäre, insbesondere in der Insula und im Präfrontalen Kortex. Die Anzahl der wöchentlich absolvierten Yogastunden stand in positivem Zusammenhang mit dem Volumen der grauen Substanz in verschiedenen Hirnarealen, unter anderem im Hippocampus.

Eine weitere im Jahr 2018 veröffentlichte Querschnittstudie [75] beleuchtet die strukturellen und funktionellen zerebralen Unterschiede von Langzeit-Yogapraktizierenden und Yoga Naiven. Auch hier wurde ein höheres Volumen der Grauen Substanz im linken Hippocampus bei den Yoga Erfahrenen detektiert. Im funktionellen MRI stellte man bei den Yogapraktizierenden darüber hinaus während eines Kurzzeitgedächtnistests eine verminderte Aktivierung im dorsolateralen Präfrontalen Cortex fest. Es wurde dahingehend postuliert, dass eine reguläre Yoga Praxis mit strukturellen und funktionellen Veränderungen in Arealen mit dem Aufgabenfeld exekutiver Funktionen, wie insbesondere die des Arbeitsgedächtnisses, einherginge.

Hariprasad et al. [85] konnten gleichermaßen in einer Längsschnittstudie zeigen, dass bei älteren Menschen, die über einen Zeitraum von 6 Monaten regelmäßig Yogaübungen durchführten, der Hippocampus an Volumen zunahm. Auch bei Kalyani et al. [103] wurde insbesondere durch „Om Chanting“, das im Hatha Yoga als „mind-sound-resonance“ Technik angewandt wird, und unter anderem zu höherer Konzentrationsfähigkeit und Entspannung des Geistes führen soll, ein Einfluss auf das limbische System beobachtet. Hölzel et al. [92] untersuchte, inwiefern sich ein 10-wöchiges dem Yoga ähnliches MBSR (Mindfulness-Based-Stress-Reduction) Programm auf die Gehirnstruktur naiver Probanden auswirkte. Eine Ganzhirnanalyse ergab dabei ebenso eine Zunahme der Dichte Grauer Substanz im Hippocampus.

Da insbesondere der Hippocampus bekannt ist für seine Stressanfälligkeit [71,80] und eine Volumenabnahme mit erhöhtem Stress einhergeht [56,114,137], erscheint es nicht verwunderlich, dass in den wenigen bisherigen Studien eine hippocampale strukturelle Zunahme nach einer Yogapraxis bzw. anderen Entspannungsverfahren herausgestellt wurde. Eine gute Übersicht über durch Yoga bedingte bisher gefundene strukturelle Veränderungen findet sich bei Desai et al. [46]. Sie behandelten in ihrer Review-Arbeit zusätzlich auch funktionelle MRT-Studien. Hier wurden unter anderem im limbischen System wie in der Amygdala vermehrt Aktivierungen nach einem Yogatraining angegeben. Die in dieser Arbeit zusammengefassten strukturellen und funktionellen Veränderungen betreffen Gehirnareale, welche mit Emotionsregulierung, Gedächtnis, Stress- und Schmerzantwort im Zusammenhang stehen.

Betrachtet man diese Areale genauer, insbesondere die Insula und den Hippocampus, sind sie nicht nur in oben genannte Aufgaben involviert, sondern auch in der Regulation des vegetativen Nervensystems [198]. Dies könnte einen neuronalen Erklärungsansatz für die

positive Wirkung von Yoga auf kardiovaskuläre Krankheitsbilder geben. Ein diesbezüglicher Zusammenhang wurde zwar häufig auf Grundlage entsprechender Ergebnisse vegetativer Messungen hypothetisiert [100,203], bis dato jedoch noch nicht in strukturellen MRT Studien behandelt bzw. hergestellt.

Des Weiteren fällt bei der Betrachtung der bisher wohl mit Yoga und Meditation in Verbindung stehenden Areale ein Zusammenhang mit dem sogenannten Default Mode Network (DMN) auf. In den 20er Jahren des letzten Jahrhunderts wiesen EEG-Befunde auf eine vermehrte allgemeine Gehirnaktivität in Ruhe anstatt in definierter Aktion hin [165]. 2001 wurde nach diesbezüglich weiteren Untersuchungen das Default Mode Network zum ersten Mal definiert [164]. Es beschreibt das Zusammenspiel von bestimmten Arealen, die in den Momenten des Nichtstuns, wenn das Gehirn also aufhört sich einer spezifischen Aufgabe konzentriert zu widmen, gemeinsam aktiv werden. Zu diesem Netzwerk zählen u.a. der Präfrontale Kortex, der Inferiore Parietalkortex, der Precuneus, der Cinguläre Kortex, der Anguläre Gyrus, die Temporoparietal Junction und der Hippocampus [166]. Über die Aktivierung dieses Netzwerks von Arealen kommt es zum Wandern der Gedanken über vergangenes und zukünftiges Geschehen, die meist auf das eigene Selbst bezogen sind. Interessanterweise scheint im DMN dabei eine vermehrte Neigung zu negativ ausgerichteten Urteilen und Bewertungen stattzufinden [84]. Nichtsdestotrotz wird insgesamt bisher davon ausgegangen, dass dieser neurokognitive Modus für allgemeine Verarbeitungsprozesse wichtig und notwendig ist [152]. Einige neurokognitive Erkrankungen wie Depressionen, Angsterkrankungen [22], posttraumatische Belastungsstörungen [2], neurodegenerative Erkrankungen [79] sowie auch das chronische Schmerzsyndrom [4] fanden eine Korrelation mit einer quantitativ und qualitativ höheren Aktivität des DMN. Bei Meditations- und Achtsamkeitsübungen trainiert man typischerweise den Geist, in einer freundlichen, offenen, nicht wertenden oder verurteilenden Haltung nicht in der Vergangenheit oder Zukunft, sondern ganz im jetzigen Moment zu verweilen. Garrison et al [64] fanden dazu passend bei langjährig Meditierenden eine verminderte Aktivierung des DMN. Dabei gingen sie davon aus, dass der neuronale Mechanismus zur Erklärung des positiven Impacts von Meditation auf oben beschriebene Erkrankungen in jener verminderten Aktivierung des DMN bestünde. Da die meditative bzw. achtsame Übung fester Bestandteil in der Yogapraxis ist, kann erwartet werden, dass sich strukturelle Veränderungen in DMN bezogenen Arealen hervortun.

Zusammenfassend kann man von einem strukturellen Effekt auf Gehirnareale ausgehen, die im Zusammenhang stehen mit Gedächtniskonsolidierung, Aufmerksamkeit, vegetativer, kognitiver und emotionaler Regulierung sowie Stressantwort.

2.6 Fragestellung

Mit dem Hintergrund der neuronalen Plastizität und der bereits nachgewiesenen himmorphologischen Effekte durch systematische motorische und kognitive Übungen ist zu erwarten, dass sich durch eine mehrwöchige Hatha Yogapraxis strukturelle Hirnveränderungen im cMRT nachweisen lassen, die nach aktueller Studienlage in Zusammenhang stehen mit Gedächtniskonsolidierung, Aufmerksamkeit, vegetativer, kognitiver und emotionaler Regulation. Im Speziellen wird hierbei eine strukturelle Zunahme im Hippocampus als stresssensitives neuronales Korrelat postuliert. Darüber hinaus wurden ebenso für Sport bereits ähnliche Effekte wie eine hippocampale strukturelle Zunahme beschrieben [57]. Um einen Effekt durch Yogatraining spezifizieren zu können, sollte daher das Hatha Yogatraining im Vergleich zu einer aktiven, dem Hatha Yoga vergleichbaren Sportart sowie einer passiven Kontrolle geprüft werden. Als vegetativer Kontrollparameter sowie indirekter Stressindikator kamen ebenso vor und nach der Intervention eine Blutdruck- und Pulsmessung zum Einsatz.

Die Fragestellungen lauten daher:

1. Verursacht ein 10-wöchiges Hatha Yoga Training bei gesunden Probanden im Vergleich zu einer aktiven und passiven Kontrollgruppe spezifisch strukturelle Veränderungen in vegetativ-, kognitiv und emotional assoziierten sowie insbesondere stressbezogenen Arealen, wie den Hippocampus.
2. Verursacht ein 10-wöchiges Hatha Yoga Training bei gesunden Probanden im Vergleich zu einer aktiven und passiven Kontrollgruppe einen spezifischen Effekt auf den Blutdruck und den Puls.
3. Kann eine spezifische Korrelation zwischen den Ergebnissen der vegetativen und strukturellen Messung hergestellt werden.

3. Material und Methoden

Bei der Studie handelt es sich um eine prospektive, longitudinale, kontrollierte, nicht-randomisierte Interventionsstudie. Sie verwendet ein Gruppen-Prätest-Posttest-Design, bei der eine Experimental- und zwei Kontrollgruppen in einem Interventionszeitraum von 10 Wochen eine cMRT- Prä- und Postmessung erhielten. Die Durchführung der Studie erfolgte im Rahmen zweier Datenerfassungsperioden (Kohorten) von Oktober 2013 bis Februar 2014 und von April 2014 bis Juni 2014 am Universitätsklinikum Homburg Saar, im Institut für diagnostische und interventionelle Neuroradiologie. Die Studie wurde durch die zuständige Ethikkommission der Ärztekammer des Saarlandes genehmigt und finanziell durch die Universitätsgesellschaft des Saarlandes (Forschungsausschuss) gefördert.

3.1 Auswahl der Methode und Studienaufbau

Um eine Aussage zu treffen, ob sich unter Hatha Yoga im Vergleich zu der aktiven und passiven Kontrollgruppe spezifische strukturelle Hirnveränderungen nachweisen lassen, wurden vor und nach der Intervention ein strukturelles cMRT durchgeführt. Die dabei entstandenen Bild-Dateien wurden mit der Methode der voxelbasierten Morphometrie (VBM) analysiert. Aus der paarweisen Messung und dem Vergleich der strukturellen Unterschiede zwischen den drei Teilnehmergruppen sollte auf strukturelle Effekte von Hatha Yoga geschlossen werden.

Eine Blutdruck- und Pulsmessung vor und nach der Intervention wurde sowohl als vegetativer Kontrollparameter als auch als indirektes und objektives Maß für Stress gewählt. Für diese vegetativen Messparameter konnten einige Studien [15,82,101] bereits einen Effekt durch Yoga Training belegen, sodass dieser Testapparat zugleich als allgemeine Kontrolle für die Wirksamkeit der Yoga Intervention gesehen werden kann. Die Messprotokolle sowie das Auswerteverfahren zur Erarbeitung der Methode wurden zusammen mit einem erfahrenen Gehirnforscher (Dr. Christoph Krick) diskutiert und festgelegt.

Die Hatha Yogagruppe wurde mit einer aktiven und einer passiven Kontrollgruppe verglichen. Dabei nahm die Yogagruppe über 10 Wochen einmal wöchentlich an einer 75-minütigen Hatha Yogastunde teil. Das ebenfalls 10-wöchige Programm für die aktive Kontrollgruppe bestand aus einem Sport Unterricht, das dem körperlichen Aspekt des Hatha Yoga ähneln sollte, ohne spezifische Yogaelemente mitaufzunehmen, die ihren Fokus auf Atemregulation, Entspannung und achtsamer, meditativer Haltung legen. Um genügend Probanden rekrutieren zu können und die Compliance zu steigern wurden hierfür drei geeignete Kurse ausgewählt: Ein vom Universitätssport ausgehendes Bauch-Beine-Po-, ein Body-Work-Out- sowie ein Core-Training standen den Teilnehmern zur Auswahl. Diese nahmen zeitlich zwischen 60 und 90 Minuten pro Woche in Anspruch. Die passive Kontrollgruppe wurde aus Probanden gebildet, die keine Änderung an ihrem gewöhnlichen Alltag vornahmen. Sowohl die Hatha

Yoga-, als auch die Sportgruppe waren bezüglich der Interventionen für mindestens sechs Monate naiv.

Die Studie wurde auf zwei Kohorten verteilt, da die Kapazität der begleitenden Kurse begrenzt war. Dabei war es erforderlich, jeweils alle drei Gruppen beider Kohorten in ähnlicher Fallzahl einzuschließen, um Jahreszeiteffekte auszugleichen. Darüber hinaus war mit dem Kohorten Design eine Kontrolle der Wiederholbarkeit der Ergebnisse möglich.

3.2 Studienablauf

Die Datenerhebung erfolgte im „Intervall 1“ von Oktober 2013 bis Februar 2014 und im „Intervall 2“ von April 2014 bis Juni 2014.

Beide Datenerfassungsperioden waren von den Arbeitsabläufen gleich. Nach der Rekrutierung und der freiwilligen Zuordnung der Probanden in die drei Gruppen, erfolgte eine Prämessung. Sie bestand aus der strukturellen cMRT-Messung sowie der Blutdruck- und Pulsmessung.

Ca. 1-2 Wochen nach der Prämessung folgte der Interventionszeitraum, der sich auf 10 Wochen belief. Hier erhielten die Probanden aus der Hatha Yogagruppe regelmäßig einmal pro Woche für 75 Minuten Yoga Unterricht. Es wurden zwei Yogatermine pro Woche angeboten, um den Teilnehmern Alternativtermine zu ermöglichen. Die Probanden aus der aktiven Kontrollgruppe sollten einmal pro Woche an einem Bauch-Beine-Po-, Body-Work-out- und/oder Core Training teilnehmen. Die Trainingsteilnahme in beiden Gruppen wurde dokumentiert.

Die Postmessungen erfolgten 1-2 Wochen nach der 10-wöchigen Interventionszeit, wobei die cMRT-Messung und die Blutdruck- und Pulsmessung wiederholt wurden. Am Anfang des darauffolgenden Sommersemesters wurde das gleiche Verfahren für die zweite Kohorte angewandt. Der Studienablauf wird in Tabelle 1 chronologisch und in Tabelle 2 inhaltlich veranschaulicht.

Tabelle 1: Chronologischer Studienablauf

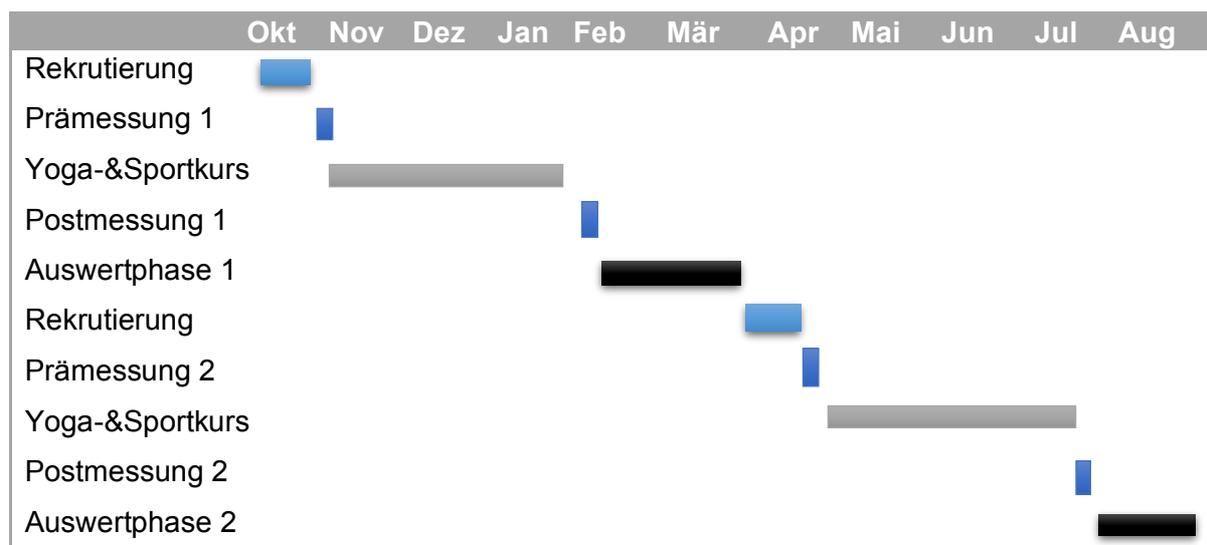


Tabelle 2: Inhaltlicher Ablauf des Studienprogramms auf einen Blick

Gruppe	Prämessung	Intervention	Postmessung
Yoga	cMRT-Messung Blutdruck- und Pulsmessung	10 Wochen lang Yoga- Trainingseinheiten	cMRT-Messung Blutdruck-und Pulsmessung
Sport	cMRT-Messung Blutdruck- und Pulsmessung	10 Wochen lang Sport- Trainingseinheiten	cMRT-Messung Blutdruck-und Pulsmessung
Passive Kontrolle	cMRT-Messung Blutdruck- und Pulsmessung	10 Wochen lang ohne Veränderung des Lebensstils	cMRT-Messung Blutdruck-und Pulsmessung

3.3 Probandenkollektiv und Rekrutierung

Bei der Auswahl des Probandenkollektivs wurden junge, gesunde Menschen in einem stressbetonten Umfeld ausgewählt. Als geeignet erschienen Probanden in einem fordernden Studium, wie zum Beispiel einem Medizinstudium. Pro Testgruppe wurde insgesamt eine Stichprobengröße von mindestens 30 Probanden angestrebt. Diese ist im Rahmen struktureller Longitudinalstudien mit gepaarter Testung und im Rahmen der strukturellen MRT-Auswertung für eine statistisch haltbare Aussage notwendig und ausreichend.

Die Rekrutierung erfolgte am Untersuchungsort Homburg (Saar) über mündliche Propaganda, über ein Informationsschreiben im Namen des Hochschulsport-Programms der Universität des

Saarlandes, sowie über ein soziales Netzwerk (Facebookgruppe für Medizinstudenten der Universität des Saarlandes). Die Teilnahme war freiwillig und kostenlos und beinhaltete als Gegenleistung zur regelmäßigen Teilnahme an den Messungen und den Interventionen einen digitalen Datensatz des eigenen Gehirns im Anschluss an die Bildverarbeitung. Die Zuordnung zur jeweiligen Gruppe war ebenfalls eine freiwillige Entscheidung des Probanden. Dies deshalb um eine möglichst geringe Drop Out Rate und eine ausreichend große Fallzahl sicherzustellen. Folgende Einschluss-, Ausschluss- und Zwischenausschlusskriterien wurden festgelegt.

3.3.1 Allgemeine Einschlusskriterien

- ❖ Alter zwischen 18 und 70 Jahren.
- ❖ Ausreichende Kenntnisse der deutschen Sprache, um Anweisungen in Tests und Kursen verstehen zu können.
- ❖ Adäquate körperliche Fitness für die Probanden der Interventionsgruppen, um den Anforderungen im Yoga- und Sportkurs nachkommen zu können.
- ❖ Bereitschaft für die Yogagruppe, während der Studienzeit keine neuen sportlichen Tätigkeiten aufzunehmen.
- ❖ Bereitschaft für die Sportgruppe, während der Studienzeit keine Entspannungstechniken wie Yoga oder autogenes Training zu beginnen.
- ❖ Bereitschaft für die passive Kontrollgruppe, ihren Alltag nicht wesentlich zu verändern und insbesondere während der Studienzeit weder eine neue regelmäßige sportliche Tätigkeit aufzunehmen noch Entspannungstechniken wie Yoga oder autogenes Training zu beginnen.
- ❖ Sowohl für die Yoga- als auch die Sportgruppe mindestens 6 Monate vor dem Studienbeginn keine Durchführung von Yoga bzw. kein Neubeginn einer mit der Intervention vergleichbaren sportlichen Tätigkeit.

3.3.2 Allgemeine Ausschlusskriterien

- ❖ Kontraindikationen für eine Kernspinuntersuchung wie metallische Implantate, Schwangerschaft oder Klaustrophobie.
- ❖ Klinisch relevante internistische oder neurologische Erkrankungen.
- ❖ Drogen- oder Alkoholmissbrauch.
- ❖ Therapiebedürftige psychiatrische Erkrankungen.

3.3.3 Zwischenausschlusskriterien

- ❖ Freiwilliger Abbruch der Studie durch den Probanden.
- ❖ Fehlende oder unvollständige Teilnahme an den Abschlussuntersuchungen.
- ❖ Neubeginn einer relevanten Medikation.
- ❖ Während des Interventionszeitraums hinzugetretene „allgemeine Ausschlusskriterien“.

Studienabbrecher, die zur Post-Messung nicht mehr erschienen, konnten aus methodischen Gründen in einer Longitudinalstudie nicht mehr berücksichtigt werden. Das Studienziel, das Prozedere des Studienablaufs, die Kriterien der Zuteilung zu den einzelnen Gruppen und die Einschluss-, Ausschluss- und Zwischenkriterien wurden in einem Informationsschreiben deutlich dargelegt und das Verstehen in Informations- und Beratungsgesprächen vor der Prä-Messung überprüft. Bezüglich der Kontraindikationen für eine cMRT-Untersuchung wurden alle Probanden vor der ersten cMRT-Untersuchung über ein Informationsschreiben aufgeklärt. Sie gaben diesbezüglich eine schriftliche Einwilligungserklärung ab.

3.4 Beschreibung der Interventionsgruppen

Im Folgenden werden die Interventionen Yoga, Body-Work-Out, Bauch-Beine-Po- und Core-Training genauer beschrieben.

3.4.1 Hatha Yoga Unterricht

Für die Experimentalgruppe war einmal wöchentlich Hatha Yoga Unterricht geplant. Die Interventionsfrequenz wurde so gewählt, wie sie auch im Alltag realistisch zur Anwendung kommt. Der Unterricht hielt sich an die Anweisungen, wie die Referentin, die Yogalehrerin, in der Swami Vivekananda Yoga Universität Bangalore (SVYASA) in Indien im Rahmen einer Yogalehrerausbildung (YIC) 2006 erlernt hatte. Der Unterricht fand in der Orthopädie-Turnhalle des Universitätsklinikum Homburg statt. Der Kurs wurde zweimal die Woche angeboten, um den Probanden eine wöchentliche Teilnahme zu ermöglichen und so die Compliance zur konstanten Teilnahme an der Intervention zu erhöhen. Ebenso wurde dadurch ein höherer Vergleichswert mit der aktiven Kontrollgruppe gegeben, welche ebenso die Möglichkeit hatte, an unterschiedlichen Tagen ihre jeweiligen Kurse zu besuchen. Eine Hatha Yoga Stunde dauerte 75 Minuten. Sie lief über die 10 Wochen im Wesentlichen immer im gleichen Stil, gleicher Reihenfolge und mit gleichen Anweisungen ab. Die Zusammensetzung der Übungselemente mit den entsprechenden Zeitintervallen ist in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Aufbau des Hatha Yoga Unterrichts

Hatha Yoga Einheiten	Dauer	in Prozent
1. Atemübungen	10 Minuten	13,3%
2. Instant Relaxation Technique (IRT)	2 Minuten	2,7%
3. Lockerungsübungen	5 Minuten	6,6%
4. Quick Relaxation Technique (QRT)	3 Minuten	4,0%
5. Sonnengruß	10 Minuten	13,3%
6. Asanas	25 Minuten	33,3%
7. Tiefenentspannung	10 Minuten	13,3%
8. Pranayama	10 Minuten	13,3%

Die Übungen werden im Weiteren grundsätzlich erläutert. Eine bildliche Darstellung findet sich im Anhang und wird detailliert bei Nagarathna und Nagendra [163] beschrieben.

Nach der Begrüßung begann der Unterricht mit Atemübungen (siehe Tabelle 4 und Kapitel 11.1). Bei diesen Atemübungen wurde eine Bewegung synchron zum Ein- und Ausatmen durchgeführt. Dadurch sollte ein Bewusstsein für die Synchronisierung der Atmung mit der zugehörigen Bewegung generiert werden. Insgesamt standen 8 mögliche Atemübungen mit Variationen zur Auswahl, von denen 4 pro Stunde unterrichtet wurden. In der „Hände-Ein- und Aus-Atmung“ zum Beispiel wurden beide Arme vor dem Oberkörper zusammengebracht, um sie dann im Einatmen langsam zur Seite hin zu öffnen und im Ausatmen langsam wieder zusammenzuführen. Dies wurde 5 Runden wiederholt und konnte mit geschlossenen Augen durchgeführt werden.

Tabelle 4: Auswahl der möglichen Atemübungen

Atemübungen
Hände Ein- und Ausatmung
Arm- Streck- Atmung
Fußgelenk- Streck- Atmung
Hasen- Atmung
Vor- und Rückbeugeatmung
Kobra- Atmung
Tiger- Atmung
Gestreckte Bein- Hebe- Atmung

Anmerkung: Die Atemübungen wurden jeweils 5 Mal durchgeführt

Den Atemübungen folgte die sogenannte „Instant Relaxation Technique“. Sie gehört zu einer Gruppe von drei Entspannungsübungen. Die Übung nimmt circa 1- 2 Minuten in Anspruch. Sie wird auf dem Rücken liegend in „Savasana“ (siehe Kapitel 11.5) durchgeführt. Die Probanden wurden schrittweise angewiesen von den Zehen beginnend bis zum Kopf die Muskeln anzuspannen. Am Punkt der maximalen Anspannung sollten sie einige Sekunde in voller Inspiration verharren, um dann komplett loszulassen, auszuatmen und zu entspannen.

Im Weiteren folgten Lockerungsübungen (siehe Tabelle 5 und Kapitel 11.2). Sie dienen dazu, den Körper für die anschließenden "Asanas" aufzuwärmen und zu lockern. Hier bieten Körperübungen, wie man sie aus dem Bereich der "Asanas" kennt, einen Grundstock. Diese werden auf eine dynamische Art und Weise ausgeführt. Ein Beispiel zeigt die Übung „Vorwärts-Rückwärts-Beugung“, bei der man die Arme so weit wie möglich nach oben und hinten ausstreckt und sie dann bei gleichzeitiger Beugung des Oberkörpers nach unten fallen lässt. Ohne hier innezuhalten richtet man sich wieder schwungvoll auf, streckt sich und beginnt die Einheit von Neuem. Auch hier gilt die Anweisung, mit den Bewegungen tief,

wenn möglich, durch die Nase ein- und auszuatmen. Fünf der folgenden Übungen in Tabelle 5 wurden bei jeder Unterrichtseinheit durchgeführt.

Tabelle 5: Auswahl der Lockerungsübungen

Lockerungsübungen
Jogging
Vor- und Rückwärtsbeugung
Seitwärtsbeugung
Beckentwist
Gestreckter Seitwärtstwist
Beinanhebung beidseits
Wechselsprung
Seitwärtstwist im Sitzen
Hüftbeuger
Wechselweise Kopra- und Hüftbeugeposition
Wechselweise Beinstreckung und -beugung
Cycling

Den Lockerungsübungen folgte die „Quick Relaxation Technique“. Ebenso wie die „Instant Relaxation Technique“ verfolgt sie das Ziel den Übenden innerhalb kurzer Zeit zur Entspannung zu führen. Diese Entspannungstechnik dauert circa 3 Minuten. Sie wird in liegender Position in „Savasana“ durchgeführt (siehe Kapitel 11.5) und durchläuft 3 Phasen. In der Phase I werden die Probanden angewiesen, sich die Bewegungen der Bauchdecke, die mit ihrem Ein- und Ausatmen einhergehen, bewusst zu machen. In der Phase II sollten sie versuchen, die Bewegungen der Bauchdecke mit ihrem Atem zu synchronisieren, sodass sich beim Einatmen der Bauch hebt und sich beim Ausatmen senkt. Die Phase III stellt die Aufgabe, die Atmung etwas zu vertiefen und zu verlängern. Beim Einatmen kann sich der Proband zusätzlich eine Aktivierung des Körpers vorstellen, beim Ausatmen wird er aufgefordert, bewusst komplett zu entspannen.

Den Übergang von den Lockerungsübungen zu den Asanas bildet der Sonnengruß. Da er in einem 12-Schritte Programm auf eine fließende Art und Weise durchgeführt wird, greift er den aufwärmenden und lockernden Aspekt der vorherigen Übungen auf. Während dieser Schritte gelangt der Körper in Haltepositionen, die für sich genommen als Asanas später geübt werden. Auch hier spielt die Synchronisation des eigenen Atems mit den verschiedenen Bewegungen eine wichtige Rolle.

Diese drei Trainingseinheiten bilden einen Grundstock für die "Asanas", welche spezielle Körperhaltungen darstellen. Man kann sie einteilen in stehende, sitzende und liegende

Asanas. Die liegenden Übungen werden dabei nochmals in Bauch- und Rückenlageübungen unterteilt. Dehnung, Kräftigung oder die Übung des Gleichgewichts können je nach Asana dominieren. Sie werden immer so durchgeführt, dass jede Haltung eine darauffolgende Gegenhaltung nach sich zieht, mit der das Ziel verfolgt werden soll, ein Gleichgewicht für den Körper herzustellen (z.B. Vorwärtsbeugung-Rückwärtsbeugung). Bei der Übung einer Asana wechseln sich Spannung und Entspannung ab. Der Stellenwert dieser beiden Elemente ist hierbei gleich. Die Ausführung einer Asana ist getragen von ihrer Langsamkeit, dem Bewusstsein für den jetzigen Moment, einer freundlichen und achtsamen Haltung gegenüber sich selbst und seinem Körper sowie dem Verweilen in der Endposition für einige ruhige und gleichmäßige Atemzüge. Wichtig dabei ist es, auf seine eigenen Grenzen zu achten und nur so weit zu gehen, wie es individuell möglich ist. Die Basis-Asanas werden in der folgenden Tabelle 6 dargestellt, eine bildliche Darstellung findet sich in Kapitel 11.3. Um dem Kursprogramm Abwechslung zu geben, wurden diese Grundstellungen im Schwierigkeitsgrad zum Teil variiert. In einer Stunde wurde von jeder Gruppe eine Auswahl getroffen.

Tabelle 6: Auswahl der Asana-Übungen

Stand-Positionen	Sitz- Positionen	Rücken- Positionen	Bauch-Positionen
Ardhakati Cakrasana	Pascimotttanasana	Cakrasana	Bhujangasana
Trikonasana	Ustrasana	Pavanamuktasana	Dhanurasana
Parsvakonasana	Vakrasana	Sarvangasana	Hamsasana
Artha Cakrasana	Ardha Masyendrasana	Matsysasana	Mayurasana
Pada Hastasana	Vajrasana Supta-Vajrasana	Viparitakrani kryia	

Anmerkung: Sanskrit- Bezeichnungen der Asanas

Nach den Asanas versucht man den Körper durch eine 10-minütige "Deep Relaxation" auf einer tiefen Ebene zu entspannen. Die Übung wird auf dem Rücken liegend in „Shavasana“ (siehe Kapitel 11.5) durchgeführt. Die Probanden werden schrittweise angewiesen, mit ihrer Aufmerksamkeit von den Zehen beginnend bis zum Kopf ganz bewusst die einzelnen Bereiche des Körpers zu entspannen. Nach Erreichen des Beckenniveaus wird der Laut „A“, nach Erreichen des Schulterniveaus der Laut „U“ und nach Entspannung der Nacken- und Gesichtsmuskulatur der Laut „M“ und am Ende der Übung die Tonfolge „AUM“ jeweils dreimal intoniert. Dieses Intonieren gehört speziell zur Gruppe der Meditationstechniken und wird als „Om-Chanting“ bezeichnet.

"Pranayama" bezeichnet eine Gruppe von Atemübungen, in denen der Aspekt der bewussten Atemregulation vertieft werden soll. Um für die Vorgänge des eigenen Atmens sensibilisiert zu

werden, gibt es verschiedene Atemtechniken. Zwei Techniken wurden dabei für die Studie ausgewählt. Als im engeren Sinn Pranayama vorbereitende Übung wurde „Kapalaphati“ unterrichtet. Hierbei sitzt der Proband in aufrechter Haltung und wird aufgefordert schnell circa 30 -100 x aktiv und kräftig auszuatmen und passiv einzuatmen. Der Proband wird angewiesen nach der letzten Runde, ruhig ohne Atmung zu verweilen und erst wieder mit dem Atmen fortzufahren, wenn dieser sich natürlich einstellt, was üblicherweise einige Sekunden dauert. „Nadi Shodhana Pranayama“, ist eine Pranayamaübung, bei der man sich darauf konzentriert, alternierend durch beide Nasenlöcher ein- und auszuatmen, wobei ein Nasenloch dabei jeweils mit dem Daumen bzw. Ringfinger verschlossen wird. Diese Techniken wurden jedes Mal für circa 5 Minuten in sitzender Position praktiziert.

3.4.2 Bauch-Beine-Po, Core-Training, Body-Work-Out

Die Probanden der aktiven Kontrollgruppe sollten im Interventionszeitraum mindestens einmal pro Woche an einem oder mehreren der folgenden Trainingsprogramme teilnehmen: Bauch-Beine-Po Training, Body-Work-Out und/oder Core-Training.

Diese Kurse wurden im Rahmen des Hochschulsportprogramms der Universität des Saarlandes jeweils einmal wöchentlich angeboten und waren somit auch für nicht Studienteilnehmer öffentlich zugänglich. Alle drei Sportprogramme beinhalteten Bewegungsabläufe mit ähnlichen muskulären Anspannungs-, und Dehnübungen sowie Aufwärmübungen, wie sie auch im Yogatraining zum Einsatz kommen. Die drei Kurse glichen sich ebenso grundsätzlich vom Aufbau und den Übungseinheiten. Das Body-Work-Out-Training stellte lediglich ein im Vergleich zum Bauch-Beine-Po-Training intensiveres Programm dar mit Übungen von höherem Schwierigkeitsgrad, welche dynamisch mit nur wenig Pausen zwischendurch geübt wurden. Das Core-Training hingegen war durch längere Überbrückungszeit von einer Übung zur anderen vom körperlichen Anspruch her etwas leichter aufgebaut. Die jeweiligen Kurse hatten über die zwei 10-wöchigen Interventionszeiträume den gleichen Aufbau mit dem gleichen Stil an Übungen und Anweisungen.

Die Studienleiterin nahm zur Kontrolle des Trainingsablaufs regelmäßig an den unterschiedlichen Sportangeboten teil. Alle drei Kurse fanden in der Turnhalle des Saarpfalz-Gymnasiums in Homburg statt und wurden jeweils von drei unterschiedlichen, geschulten Hochschulsporttrainern geleitet. Das Bauch-Beine-Po Training sowie das Core-Training dauerten 60 Minuten, das Body-Work-Out-Training endete nach 45 Minuten. An dem Bauch-Beine-Po-Training nahmen meist etwa 100 Personen teil. Für das Body-Work-Out und Core-Training erschienen regulär ca. 30 Teilnehmer. Jede Unterrichtseinheit wurde von lauter Musik begleitet. Der Aufbau der drei Kurse ist in Tabelle 7 übersichtlich dargestellt und wird im Weiteren genauer beleuchtet.

Tabelle 7: Übersicht Aufbau der Sportkurse

Bauch-Beine-Po	Body-Work-Out	Core-Training
1. Step-Work-Out	Laufen	Laufen
2. Kräftigungsübungen	Kräftigungsübungen	Kräftigungsübungen
3. Dehnübungen	Dehnübungen	Dehnübungen

3.4.2.1 Aufbau des Bauch-Beine-Po-Trainings

Das Aufwärmen erfolgte durch ca. 10-minütige Step-Aerobic-Übungen. Im nachfolgenden Kräftigungstraining wurde ein Eigengewichtstraining in Steh-, Sitz und Liegepositionen auf statische und dynamische Weise durchgeführt. Die Übungen wurden über ein Mikrofon durchgehend angeleitet und die Teilnehmer zum intensiven Training und Durchhalten motiviert. Die 5-minütige Entspannungsphase am Ende beinhaltete das Dehnen der beanspruchten Muskeln.

3.4.2.2 Aufbau des Body-Work-Out-Trainings

Im Body-Work-Out-Training begannen die Teilnehmer, sich ca. 10 Minuten durch Laufen aufzuwärmen. Um den Aufwärmprozess zu unterstützen, wurden meist auch unterschiedliche Laufarten wie kurze Sprints und Hopser-Lauf in diese erste Einheit mit einbezogen. Danach folgten für ca. 5 Minuten Lockerungsübungen, in denen die großen Gelenke einmal durchbewegt wurden. Im Anschluss daran startete das eigentliche Kräftigungstraining, das ca. 30 Minuten in Anspruch nahm. Es bestand aus meist dynamisch ausgeführten Eigengewichtsübungen, die dadurch ausgezeichnet waren, nur das eigene Körpergewicht als Widerstand zu nutzen. Dabei achtete der Trainingsleiter darauf, alle Partien des Körpers, das heißt Bein-, Rücken-, Arm-, Brust- und Bauchmuskeln bis zum Ende des Trainings miteinzubeziehen. Um einen besseren Trainingserfolg zu erzielen, wurden die Übungen auch in Variationen durchgeführt. Meist waren die einzelnen Übungen in eine dynamische Gesamteinheit verpackt, welche Steh-, Sitz- und Liegepositionen kombinierte. Dies erforderte von den Teilnehmern einen hohen Anspruch an Kraft und Ausdauer. Aufgrund des unterschiedlichen Trainingsniveaus der Teilnehmer wurde ihnen freigestellt, die Übung zu beenden, sobald sie sie aus Kraft- oder Konditionsgründen nicht mehr fortführen konnten. Zuletzt erfolgte ein ca. 5-minütiges Dehnen der beanspruchten Muskeln.

3.4.2.3. Aufbau des Core-Trainings

Das Core-Training begann mit einer ca. 10-minütigen Laufrunde. Das darauffolgende 40-minütige Krafttraining war als Parkour angelegt, welches der Kursleiter in ca. 5 Minuten erklärte und von den Teilnehmern paarweise durchgeführt wurde. Pro Station wurde die Zeit auf zwischen 2 und 4 Minuten begrenzt. Um den Effekt des Krafttrainings zu erhöhen wurden neben Eigengewichtsübungen auch Hilfsmittel wie Bälle, Bänke und Weichbodenmatten

verwendet. In den letzten 5 Minuten der Trainingsstunde wurden die beanspruchten Muskeln gelockert und gedehnt.

3.4.2.4 Vergleich der drei Sportkurse

Wieviel Zeit in etwa für die einzelnen Trainingseinheiten verwendet wurde, soll folgende Übersichtstabelle zusammenfassend darstellen.

Tabelle 8: Übersicht Zeitanpruch an die einzelnen Sport-Trainingseinheiten

	Bauch-Beine-Po	Body-Work-Out	Core-Training
Aufwärmübungen	10 Minuten	10 Minuten	10 Minuten
Kräftigungsübungen	40 Minuten	25 Minuten	40 Minuten
Dehnübungen zur Entspannung	5 Minuten	5 Minuten	5 Minuten
Extra Zeit für Erklärungen	5 Minuten	5 Minuten	5 Minuten

Die Sportkurse enthielten alle die gleichen Grundübungen (siehe Kapitel 11.5), welche aber in unterschiedlichen Varianten durchgeführt werden konnten. Der Bewegungsablauf sowie die beteiligten Muskelgruppen blieben dabei größtenteils gleich. Auch wenn Elemente des Ausdauertrainings, Übung der Beweglichkeit und Koordination ebenfalls mit Bestandteil einer Kurseinheit waren, lag das Hauptaugenmerk auf dem Krafttraining. Die Übungsleiter gaben konkrete Anweisungen zur korrekten Durchführung der einzelnen Übungseinheiten und achteten darauf, dass diese durch die Teilnehmer auch entsprechend richtig durchgeführt wurden. Um einen größtmöglichen Trainingserfolg zu erzielen, motivierten sie die Teilnehmer bis zu ihren Grenzen und wenn möglich noch etwas darüber hinaus zu gehen.

Alle drei Kurse enthielten wie im Yoga Kurs Kräftigungsübungen in Stand-, Sitz-, Rücken- und Bauchposition.

3.4.3 Formale Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Yoga- und der Sportkurse

Die Bewegungsabläufe des Aufwärmprogramms, des Muskeltrainings sowie der Dehnübungen am Ende der Sportkurse, sind mit den Lockerungsübungen, dem Sonnengruß und den Asanas des Yogakurses formal gesehen in etwa vergleichbar. Inhaltlich gesehen beinhalteten beide Interventionen die Elemente der Dehnung, Kräftigung, und Übung des Gleichgewichts. Im Yoga Unterricht werden die Elemente der Muskeldehnung und des Gleichgewichts besonders betont, während in der aktiven Kontrollintervention die Kräftigungsübungen den Schwerpunkt bilden.

Die Yoga- und Kontrollintervention unterscheiden sich inhaltlich im Aspekt der Entspannung, der in der Yogaintervention durch die gesamte Yoga Stunde getragen und durch IRT, QRT und DRT forciert wird. In der Kontrollintervention sind keine speziellen Übungen oder

Anweisungen zum Entspannen enthalten, jedoch Zeit zum individuellen Ausruhen, falls erwünscht bzw. benötigt. Der Yoga Unterricht legt großen Wert auf Anweisungen zu Achtsamkeit bezüglich des eigenen Körpers, aufkommender Gedanken und des eigenen Atemrhythmus. Dieser Aspekt wird in keiner der drei Kontrollkurse berücksichtigt. In der Yogastunde wird durchgängig auf die Regulation des Atemrhythmus geachtet und enthält auch zusätzlich spezielle Atemübungen (Pranayama). Auf die Atmung wird in den Sportgruppen nicht explizit geachtet, sondern den Erfordernissen individuell angepasst. Spezielle Atemübungen gibt es in den drei Kontrollkursen keine. Während außerdem im Yogakurs die Körperübungen langsam und in Synchronisation mit dem Atem durchgeführt werden, wurden die Übungen in den Sportkursen meist dynamisch und schnell durchgeführt.

Formale Unterschiede bestehen des Weiteren in der Kursdauer. Da der zeitliche Ablauf der Kurseinheiten beider Interventionen standardisiert war, zeigt sich, dass die Zeit, in der der Körper an Bewegungsabläufen beteiligt war, im Yoga Unterricht sowie im Bauch-Beine-Po-Kurs und Core-Training ca. 45 Minuten betrug. Im Body-Work-Out belief sich die Zeit auf 30 Minuten. Auch die Räumlichkeiten unterschieden sich. Der Orthopädie Turnsaal stellte eine kleinere Halle dar als die Turnhalle des Saarpfalz-Gymnasiums. Außerdem unterschieden sich die Yoga- und Sportgruppe in Bezug auf die Trainer, die Begleitmusik (nur in den Sportkursen) und der Anzahl der Teilnehmer je Kurs. Einen Überblick über formale und inhaltliche Unterschiede zeigen die Tabellen 9 und 10.

Tabelle 9: Formaler Vergleich des Yogakurses mit den Sportkursen

	Yoga	Sport		
Kurse		BBP	B-Workout	Core-Training
Kursleiter	Malvina	Katrin	Lukas	Antonio
Dauer	75 Minuten	60 Minuten	45 Minuten	60 Minuten
Kursteilnehmer pro	Maximal 22	ca. 100	ca. 30	ca. 30
Kurstunde				
Musik	Nein	Ja	Ja	Ja
Aufbau	Atemübungen			
	IRT			
	Lockerungsübung		Lockerungsübung	
	QRT			
	Sonnengruß		Kräftigungsübung	
	Asanas		Dehnübungen	
	DRT			
	Pranayama			

Anmerkung: BBP= Bauch-Beine-Po-Training; B-Workout=Body-Workout; IRT=Instant Relaxation Technique; QRT= Quick Relaxation Technique; DRT= Deep Relaxation Technique; Pranayama= spezielle Atemübungen

Tabelle 10: Inhaltlicher Vergleich des Yogakurses mit den Sportkursen

Gemeinsamkeiten	Zusätzliche Elemente im Yoga
Kräftigungsübungen	Statische Körperhaltungen
Dehnübungen	Langsame Bewegung
	Hoher Anspruch an Gleichgewicht
	Gleichsetzung der Elemente von Spannung und Entspannung
	Achtsamkeit
	Bewusste Atemregulation
	Spezifische Atemtechniken
	Entspannungsübungen mit Om-Chanting

3.5 Beschreibung der Messinstrumente

3.5.1 Blutdruck- und Pulsmessung

Der systolische und diastolische Blutdruck wurde nach der Methode Riva Rocci gemessen. Die Messung erfolgte zu Beginn und am Ende der Studie jeweils vor der cMRT-Messung durch den Untersuchungsleiter unter standardisierten Bedingungen jedes Mal sitzend und nach circa fünfminütiger Ruhe. Es wurde eine Standard-Blutdruckmanschette für Erwachsene (Blutdruckmanschette: ERKA, 29-40 cm, Kallmeyer Medizintechnik GmbH & Co KG, Bad Tölz, Deutschland) verwendet. Größere oder kleinere Manschetten waren aufgrund fehlender relevanter Abweichung der Armumfänge nicht notwendig. Zunächst wurde die Manschette vollständig entlüftet und dann am linken Oberarm so angelegt, dass sich der untere Rand circa 2 cm über der Ellenbeuge befand und die Markierung über der Arterie zu liegen kam. Da es sich um junge gesunde Probanden handelte und ein Bluthochdruck nicht zu erwarten war, wurde zunächst standardmäßig bis 160 mmHg aufgepumpt. Wurden höhere systolische Werte festgestellt, wurde auf ca. 190 mmHg aufgepumpt. Beim Ablassen des Druckventils wurde darauf geachtet, dass die Ablassrate nicht 3 mmHg pro Sekunde überstieg. Das erste einsetzende Klopfen markierte den systolischen Wert und das letzte noch hörbare Klopfen den diastolischen Wert. War die Messung nicht eindeutig, wurde sie nach einer Pause wiederholt. Um Blutdruckschwankungen über den Tag hinweg zu berücksichtigen, wurden die Blutdruckmessungen an den Tagen der Prä- und Postmessung zu ähnlichen Zeiten durchgeführt.

Der Puls wurde nach der Blutdruckmessung manuell an der linken Arteria radialis mit dem Endglied des Mittelfingers gemessen und in Schlägen pro Minuten festgehalten.

3.5.2 Strukturelle cMRT-Messung

Die strukturellen Kernspinaufnahmen entstanden im Institut für diagnostische und interventionelle Neuroradiologie des Universitätsklinikums des Saarlandes in Homburg Saar. Verwendet wurde ein 3 Tesla cMRT Scanner des Modells Magnetom Skyra der Firma Siemens, Erlangen, Deutschland, ausgestattet mit einer Standard-12-Kanal-Kopfspule. In einer Magnetization Prepared Rapid Gradient Echo (MPRAGE-)Sequenz wurden hochauflösende, dreidimensionale T1-gewichtete cMRT-Bilder mit einer Auflösung von 0,9 x 0,9 x 0,9 mm generiert. Die Parameter bei der anatomischen Vermessung waren wie folgt: Repetitionszeit (TR): 1900 ms, Echozeit (TE): 2,13 ms, Kippwinkel (flip angle): 9°, Matrixgröße (FoV): 0,9375 x 256 = 240 mm.

Eine Messung dauerte etwa 4 Minuten; um Bewegungsartefakte zu minimieren, wurden die Probanden gebeten, während der Untersuchung völlig still zu liegen und ruhig zu atmen. Während der Sequenz entstanden 192 sagittale Schichten.

3.6 Datenverarbeitung

Nach der Aufnahme lagen die gewonnen T1-MRT-Bilder unverarbeitet im DICOM-Format (Digital Imaging and Communications in Medicine) vor. Die Datensätze wurden auf die Workstation Windows exportiert und mit Hilfe des Programms MRICron in das Format NIFTI konvertiert. NIFTI (Neuroimaging Informatics Technology Initiative 2005) ist ein Datenformat für dreidimensionale Daten. Das auf der Programmiersprache MATLAB (the MathWorks Inc., Natick, Massachusetts USA) basierende Softwarepaket SPM8 (Statistical Parametric Mapping, Wellcome Department of Cognitive Neurology, London, UK, www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm) wurde verwendet, um die automatisierte morphologische Bearbeitung dieser Bilder und statistische Analyse der strukturellen Veränderungen des Gehirns zu ermöglichen [119]. Die in SPM8 implementierte Toolbox VBM Version 8 führte die jeweiligen Befehle der SPM8-Software aus (VBM8-Toolbox Manual <http://dbm.neuro.uni-jena.de/vbm8/vbm8-manual.pdf>). Die VBM-Methode bietet grundsätzlich die Möglichkeit, Dichteänderungen oder Volumenänderungen von Hirnstrukturen zu bestimmen. Aufgrund einer ungerichteten Ganzhirnanalyse und dem longitudinalen Aufbau der Studie mit einem Gruppenvergleich kam die Dichtemessung zum Einsatz. Um nun lokale Dichteunterschiede an grauer Substanz sowohl im zeitlichen Verlauf als auch zwischen der Yoga-, Sport- und Kontrollgruppe untersuchen zu können, mussten die Gehirndaten noch vor der eigentlichen Analyse einer Vorverarbeitung (Preprocessing) unterzogen werden. Diese erfolgte zusammengefasst in drei aufeinanderfolgenden Schritten: Räumliche Normalisierung auf ein standardisiertes räumliches Modell, Segmentierung des Datensatzes in die Hauptgewebssklassen und schließlich Glättung. Der Vergleich zwischen den unterschiedlichen Gehirnen fand nach der VBM-Methode voxelweise statt, wobei ein Voxel 1 mm³ entsprach.

Schlussendlich wird die Dichte und damit die Konzentration der Grauen Substanz in einem Kubikmillimeter Voxel mit einer Zahl zwischen 0 und 1 beschrieben. Die grundlegende Beschreibung der Methode ist bei Ashburner [5,6] dargestellt. Das Preprocessing wird automatisiert durch den 2007 entwickelte DARTEL (Diffeomorphic Anatomical Registration Through Exponentiated Lie Algebra)- Bildbearbeitungsalgorithmus durchgeführt [77].

3.6.1 Normalisierung der Datensätze

Jedes Gehirn hat eine individuelle morphologische Struktur. Um einen interindividuellen Vergleich möglich zu machen, wird jedes Gehirn an ein Referenzhirn angepasst. Als Template wurde dabei eine DARTEL-Vorlage im MNI-Koordinatensystem (Montreal Neurological Institute) verwendet, die aus einer Mittelung aus mehreren hundert kraniellen MRT-Bildern gesunder mitteleuropäischer Personen errechnet wurde.

Bezogen auf die Commissura anterior wurden die Datensätze der Probanden mit den entsprechenden MRI- Koordinaten abgeglichen und ausgerichtet. Die Anpassung an das Standardgehirn erfolgte dabei durch lineare und nicht lineare Transformationsprozesse, wobei die angewandten Faktoren in einer sogenannten Jakobi-Determinante festgehalten wurden, um spätere Rückrechnungen zu ermöglichen. Wichtig ist, dass die Unterschiede in der Verteilung von GM, WM und CSF dabei erhalten bleiben. Die lokale Verteilung der Grauen Substanz, der weißen Substanz und des Liquorkompartiments werden durch diesen Prozess nicht verändert, ebenso wenig wie die durch die lokalen Konzentrationsgradienten dargestellten Dichtewerte.

3.6.2 Segmentierung der Datensätze

Im Segmentierungsschritt werden die unterschiedlichen Grauwerte der Bilder zunächst mit Hilfe eines Gauß-Segmentierungsmodells den Gewebetypen Graue Substanz, Weiße Substanz und Liquor zugeordnet. Diese Zuteilung wird durch eine im SPM8 implementierte Information, welche die standardisierte räumliche Verteilung der Gewebeklassen enthält, überprüft, sodass sich aus der Kombination der Berechnungen eine Wahrscheinlichkeit für die Zugehörigkeit zu den einzelnen Gewebetypen ergibt [7]. Diese Wahrscheinlichkeit wird als Zahlenwert zwischen 0 und 1 angegeben.

3.6.3 Glättung der Datensätze

Nach der Segmentierung ist jedem Voxel ein Wahrscheinlichkeitswert für Graue oder Weiße Substanz mit einem Zahlenwert zwischen 0 und 1 zugeordnet. Da sich diese einem der beiden extremen Werte häufig stark annähern, entstehen starke Helligkeitskontraste, die zu einem Bildrauschen führen. Um dieses Rauschen zu vermindern, werden der durchschnittliche Grauwert eines jeden einzelnen Voxels mit dem der unmittelbar benachbarten Voxel verrechnet. Dies geschieht mit Hilfe eines 10-mm Full Width at Half Maximum (FWHM) Gaußschen Filters, der eine dreidimensionale Ausdehnung von 10 mm^3 erfasst [209]. Diese

Breite wurde aufgrund einer mäßig starken Effektstärke gewählt [132]. Der Vorgang folgt einer Gaußkurve, wodurch eine Annäherung an eine Normalverteilung und damit eine höhere statistische Aussagekraft erreicht wird [5]. Zusätzlich werden dadurch restliche im Rahmen der räumlichen Normalisierung verbliebene Ungenauigkeiten kompensiert.

3.6.4 Statistische Vorverarbeitung

Die nach dem Preprocessing vorliegenden morphologischen Bilddaten beider Kohorten wurden in SPM8 nun statistisch aufbereitet und analysiert. Um die Zuordnung der Datensätze der Prä-Post Messungen und der Gruppen festzulegen, wurden diese Eigenschaften über einen einfachen Zahlencode in eine von SPM8 vorgegebene Tabelle eingetragen. Damit erhielt man folgende Zuordnung: Yoga Prämessung, Yoga Postmessung, Sport Prämessung, Sport Postmessung, passive Kontrolle Prämessung, passive Kontrolle Postmessung. Um einen voxelweisen Vergleich der lokalen Konzentrationsunterschiede der Grauen Substanz zwischen den drei Gruppen statistisch herausarbeiten zu können, wurden zunächst aus der Mittelung der gruppenspezifischen Post- und Prä-Daten die Differenzen errechnet. Bezogen auf die Fragestellung der Studie ergaben sich folgende Bedingungen, die an das SPM8 als Befehl übergeben wurden:

1. Wo findet sich in der Yogagruppe nach den 10 Wochen eine signifikante Zu- oder Abnahme an grauer Substanz im Vergleich zur Sportgruppe. Der Befehl an das SPM lautete: „Yoga>Sport“ und „Yoga<Sport“
2. Wo findet sich in der Yogagruppe nach den 10 Wochen eine signifikante Zu- oder Abnahme grauer Substanz im Vergleich zur passiven Gruppe. Der Befehl an das SPM lautete: „Yoga>passive Kontrolle“ und „Yoga<passive Kontrolle“

Für die Gruppenvergleichsanalyse wurde ein ungepaarter T-Test auf dem 0,005 Niveau verwendet. Angezeigt werden sollten nur Cluster mit einer Größenschwelle von mehr als 5 Voxel. In Form einer parametrischen Karte werden die im Prä-Post-Gruppenvergleich signifikant unterschiedlichen Voxelbereiche (Cluster) farbig und dreidimensional in einem durchsichtigen „Glass Brain“ zur Darstellung gebracht und in tabellarischer Form mit genauer Koordinatenangabe nach MNI gemeinsam mit den T-Werten beschrieben. Nach Feststellung dieser signifikanten Areale wurden über eine in SPM8 integrierte „Anatomy Toolbox“ diesen Regionen bekannte anatomische Strukturen nach Wahrscheinlichkeiten zugordnet. Die diesbezüglichen Ergebnisse wurden ebenfalls in tabellarischer Form ausgegeben.

Für die weitere Verarbeitung wurden nur die ermittelten Cluster ausgewählt, die bezüglich der Yogaintervention eine signifikante Änderung zeigten. Die diesen Clustern zugeordneten Prä- und Post-Grauwert-Daten, die der Dichte der Grauen Substanz entsprechen, wurden für jeden Probanden in eine Excel-Tabelle zur weiteren statistischen Analyse übergeben, sowie auch

die Daten der Prämessung bezüglich der gesamten Grauen Substanz, Weißen Substanz und Liquor. Die Tabelle wurde anschließend um die Variablen Namen, Gruppenzugehörigkeit, Alter, Geschlecht, Größe, Profession, die Anzahl der Trainingseinheiten sowie die Daten der durchgeführten Messungen zu Blutdruck, und Puls ergänzt.

3.6.5 Statistische Analyse

Die weitere statistische Auswertung erfolgte mittels der Software IBM SPSS Statistics, Version 24. Da nicht für alle Variablen eine Normalverteilung gegeben war, wurden grundsätzlich nicht parametrische Tests verwendet. Für die deskriptive Statistik aller Variablen wurden der Median mit Minimum und Maximum angegeben. Die graphische Darstellung erfolgte mittels Boxplot Diagrammen. Ausreißer wurden als kleine Kreise mit Angabe der Teilnehmernummer angegeben. Kategoriale Variablen werden sowohl als Anzahl als auch als prozentualer Anteil beschrieben. Ob die Stichproben einer homogenen Grundgesamtheit angehören, wurde mit dem Chi-Quadrat-Test geprüft.

Für die statistische Analyse des Gruppenvergleichs zwischen allen drei Gruppen wurden der Kruskal-Wallis Test für unabhängige Stichproben verwendet. Wurden Unterschiede zwischen nur zwei Gruppen getestet, fand auch der Mann-Whitney-U-Test Anwendung.

Im Falle von Prä-Post-Vergleichen kam der Wilcoxon-Test (zweiseitiger Test) für verbundene Stichproben zum Einsatz.

Der Zusammenhang zwischen etwaigen Blutdruckveränderungen und strukturellen Veränderungen wurde über eine bivariate Korrelationsanalyse errechnet und mit Hilfe des Korrelationskoeffizienten nach Spearman dargestellt, womit eine Aussage über die Stärke des ungerichteten Zusammenhangs gegeben werden kann. Zur Klärung von Zusammenhängen zwischen abhängigen und unabhängigen Variablen wurde eine lineare Regressionsanalyse eingesetzt und die Effektstärke nach Cohen (1992) beurteilt.

Da die Stichprobengröße mit jeweils mehr als 30 Teilnehmern hinreichend groß war, wurde in allen Tests die asymptotische Signifikanz angegeben. Für alle Tests wurde von einem signifikanten statistischen Unterschied ab einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p \leq 0,05$ ausgegangen (in Tabellen gekennzeichnet mit zwei Sternen **). Als hochsignifikant galten Ergebnisse mit $p \leq 0,01$ (in Tabellen gekennzeichnet mit drei Sternen ***), tendenzielle Unterschiede mit einem p zwischen 0,1 und 0,05 wurden in Tabellen mit einem Stern* gekennzeichnet.

4. Ergebnisse

4.1 Deskriptive Statistik

4.1.1 Soziodemographische Beschreibung

Das Probandenkollektiv bestand aus gesunden, deutschsprachigen Probanden mit einer Fallzahl von $n=120$. Da insgesamt 5 Kontrollprobanden, 6 Yogaprobanden und 7 Sportprobanden während der 10 Wochen die Teilnahme aus persönlichen Gründen zurückzogen und nicht mehr zur Postmessung erschienen, konnten letztlich die Daten von $n=102$ Probanden statistisch ausgewertet werden. Die Drop-out-Rate betrug somit 15 %. 39 Probanden teilten sich der Yogagruppe, 32 der Sportgruppe und 31 der Kontrollgruppe zu. Die Aufteilung in die zwei Kohorten der Studie (Wintersemester und Sommersemester) ist in Tabelle 13 dargestellt. Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Aufteilung innerhalb der Gruppen (Chi-Quadrat nach Pearson: $df=2$; $p=0,144$).

Tabelle 11: Gruppenaufteilung in Bezug auf die Kohorten

	Wintersemester	Sommersemester	Gesamt
Yogagruppe	19	20	39
Sportgruppe	10	22	32
Passive Kontrolle	17	14	31

Anmerkung: Die Zahlen beschreiben die Anzahl der Probanden

In der Regel absolvierten die Probanden ein Medizinstudium (93,1%). Zusätzlich meldeten sich zwei BWL-Studenten, eine Wirtschafts-Informatik Studentin, eine Lehramt-Studentin, eine Hausfrau, eine Köchin sowie ein Mechaniker. Das durchschnittliche Alter zum Zeitpunkt der ersten Messung betrug 22,3 ($\pm 3,6$) Jahre (Altersspektrum: 18 – 49 Jahre). Zwei Ausreißer waren zu verzeichnen: eine 35-jährige Yoga- sowie eine 49-jährige Sportprobandin. Die drei Gruppen unterschieden sich nicht signifikant hinsichtlich des Durchschnittsalters (Chi-Quadrat nach Pearson: $df=202$; $p=0,447$). Insgesamt nahmen 75 Frauen und 27 Männer an der Studie teil. Die Interventionsgruppen bestanden hierbei vor allem aus Frauen. Für die Kontrollgruppe hingegen meldeten sich hauptsächlich Männer an. Die Geschlechterverteilung ist in Abbildung 3 veranschaulicht. Der zwischen der Kontrollgruppe und den Interventionsgruppen bestehende Geschlechterunterschied war signifikant (Chi-Quadrat=22,588; $df=1$; $p=0,000$) Unter den beiden Interventionsgruppen war die Aufteilung jedoch homogen (Mann-Whitney-U: $p=0,147$; $z= -1,251$; $n= 71$).

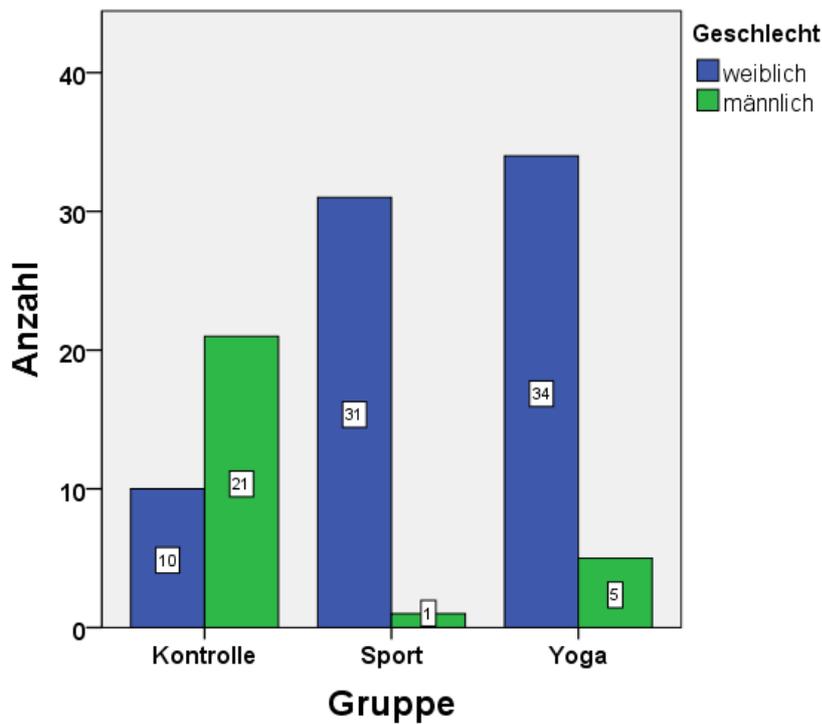


Abbildung 2: Geschlechterverteilung in der Kontroll-, Sport- und Yogagruppe

4.1.2 Compliance der Trainingsteilnahme

Während der 10-wöchigen Interventionsdauer wurde die Anzahl der jeweiligen Kursteilnahmen protokolliert. Durchschnittlich hat die Sportgruppe innerhalb der 10 Wochen 11,0 Mal (Teilnahmespektrum: 5-22) an den angebotenen Kursen teilgenommen. Die Teilnahme der Yogaprobanden am Yogatraining war mit 10,0 Mal (Teilnahmespektrum: 6-14) etwas niedriger. Ein signifikanter Unterschied in der Kursteilnahme zwischen den beiden Gruppen entstand jedoch nicht. (Mann-Whitney-U-Test: $p=0,064$; $z=-1,851$; $n=71$).

4.2 Ergebnisse der Blutdruck- und Pulsmessung

Die Ausgangswerte des systolischen und diastolischen Blutdrucks und des Pulses lagen in allen drei Gruppen sowohl vor als auch nach dem Interventionszeitraum im Normbereich und unterschieden sich in der Prämessung nicht signifikant.

4.2.1 Systolischer Blutdruck

Wie in Tabelle 12 veranschaulicht, ergab sich bezüglich des systolischen Blutdrucks nur in der Yogagruppe nach 10 Wochen ein hochsignifikanter Unterschied im Verlauf der Studie ($p=0,000$). Dabei unterschied sich nur die systolische Blutdrucksenkung der Yogagruppe signifikant von der Blutdrucksenkung in den beiden Kontrollgruppen. Der paarweise Gruppenvergleich ist in Tabelle 13 und in Abbildung 3 dargestellt.

Tabelle 12: Deskriptive Statistik zum systolischen Blutdruck in mmHg innerhalb der Gruppen

	Median -Prä	Median-Post	Median-Diff	p-Wert
Yogagruppe	118,0 (100→153)	110,0 (99→140)	-6,0 (-29→19)	0.000***
Sportgruppe	118,0 (94→163)	115,0 (101→150)	-0,5 (-27→15)	0,894
Kontrollgruppe	122,0 (99→160)	125,0 (109→145)	0,0 (-22→19)	0,918

Anmerkung: Wilcoxon-Vorzeichenrangtest; Range (Min→Max)

Tabelle 13: Systolische Blutdruckdifferenz nach 10 Wochen im paarweisen Gruppenvergleich

	p-Wert
Yogagruppe vs. Sportgruppe	0,019**
Yogagruppe vs. Kontrollgruppe	0,011**
Sportgruppe vs. Kontrollgruppe	1,000

Anmerkung: Angepasste Signifikanz im Kruskal- Wallis-Test.

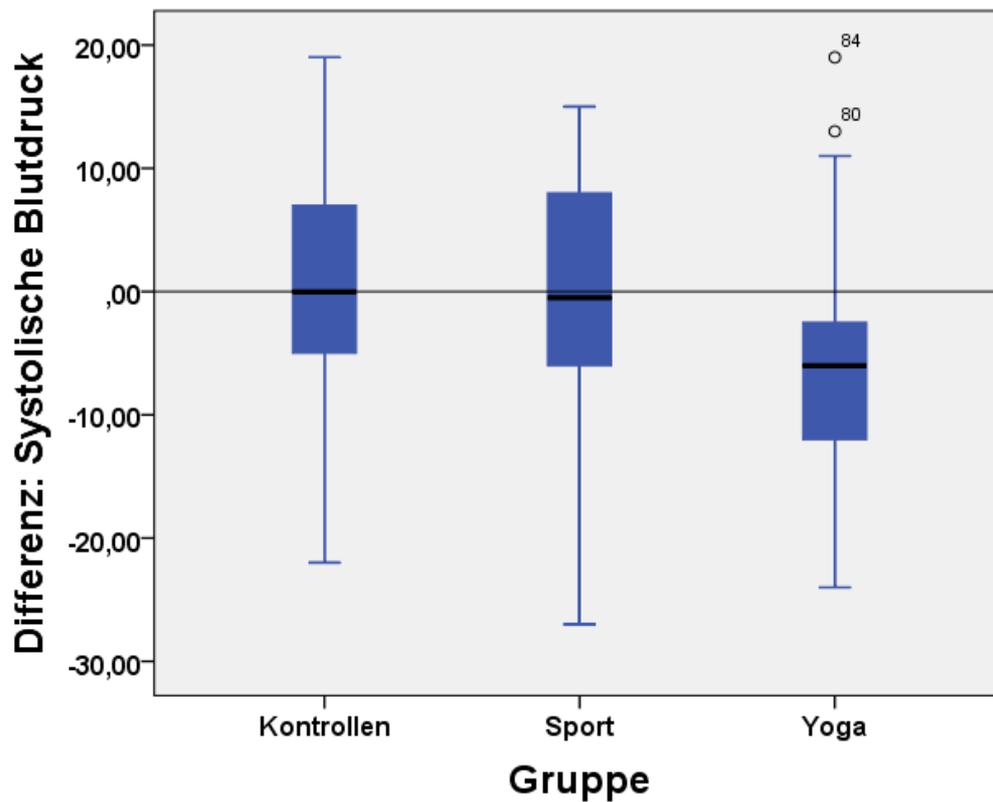


Abbildung 3: Systolische Blutdruckdifferenz nach 10 Wochen im Gruppenvergleich

4.2.2 Diastolischer Blutdruck

Am Ende der 10 Wochen ist bei allen Teilnehmern durchschnittlich eine Abnahme des diastolischen Blutdrucks zu erkennen. Doch nur in der Yogagruppe fällt diese im Prä-Post-

Vergleich im Wilcoxon-Vorzeichenstest signifikant aus. Einzelheiten ergeben sich aus Tabelle 14.

Tabelle 14: Deskriptive Statistik zum diastolischen Blutdruck in mmHg innerhalb der Gruppen

	Median -Prä	Median-Post	Median-Diff	p-Wert
Yogagruppe	76,0 (57→95)	67,0 (54→95)	-5,0 (-29→10)	0.000***
Sportgruppe	73,0 (59→100)	72,0 (55→100)	-1,0 (-23→12)	0,154
Kontrollgruppe	76,0 (61→91)	71,0 (57→91)	-3,0,0 (-20→17)	0,423

Anmerkung: Wilcoxon-Vorzeichenstest; Range (Min→Max)

Im Gruppenvergleich stellte sich im Kruskal- Wallis-Test Folgendes heraus: Die diastolische Blutdruckdifferenz ist nach den 10 Wochen in der Yogagruppe im Vergleich zur Sportgruppe signifikant unterschiedlich, im Vergleich zur Kontrollgruppe hingegen nicht. Vergleicht man die Blutdruckdifferenzen der Kontroll- und Sportprobanden nach den 10 Wochen, so findet sich hier ebenfalls kein signifikanter Unterschied. Siehe Tabelle 15 und Abbildung 4.

Tabelle 15: Diastolische Blutdruckdifferenz nach 10 Wochen im paarweisen Gruppenvergleich

	p-Wert
Yogagruppe vs. Sportgruppe	0,032**
Yogagruppe vs. Kontrollgruppe	0,214
Sportgruppe vs. Kontrollgruppe	1,000

Anmerkung: Angepasste Signifikanz im Kruskal- Wallis-Test.

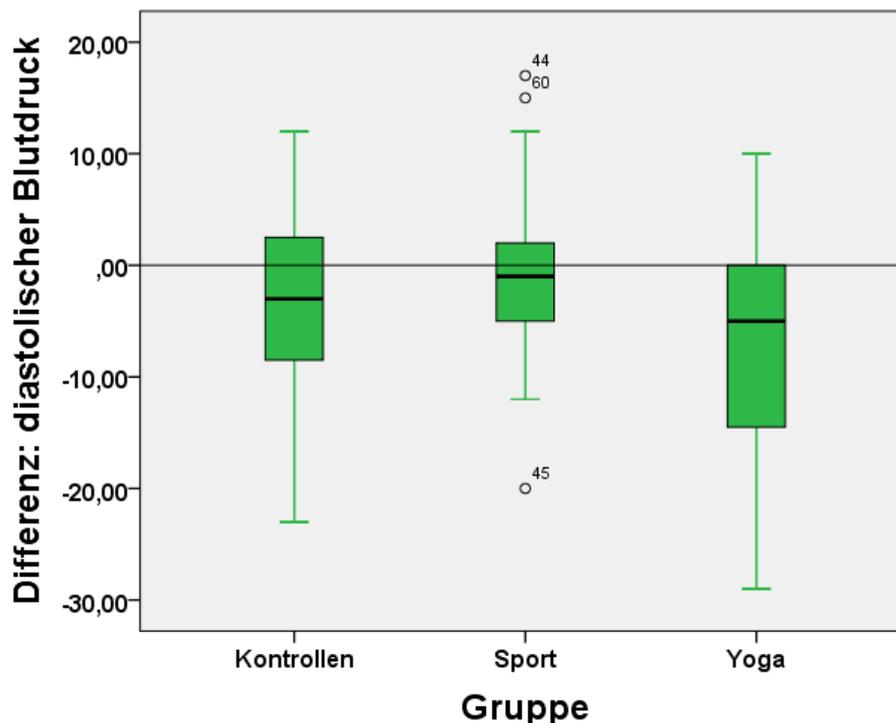


Abbildung 4: Diastolische Blutdruckdifferenz nach 10 Wochen im Gruppenvergleich

4.2.3 Puls

Der Prä-Post-Vergleich innerhalb der Gruppen ergab bei der Kontroll- und Sportgruppe eine signifikante Abnahme der Pulsfrequenz, in der Yogagruppe eine tendenzielle Abnahme (siehe Tabelle 16).

Tabelle 16: Deskriptive Statistik zur Pulsfrequenz in Pulsschlägen/min innerhalb der Gruppen

	Median -Prä	Median-Post	Median-Diff	p-Wert
Yogagruppe	80,0 (60→96)	72,0 (60→100)	-4,0 (-32→12)	0,085*
Sportgruppe	80,0 (60→104)	76,0 (56→100)	-2,0 (-24→20)	0,029**
Kontrollgruppe	80,0 (64→100)	72,0 (52→92)	-8,0,0 (-24→8)	0,000***

Anmerkung: Wilcoxon-Vorzeichenrangtest; Range (Min→Max)

Im paarweisen Gruppenvergleich fand sich jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen den drei Gruppen.

4.3 cMRT-Gruppenvergleiche

Zunächst wurden in SPM8 die Ergebnisse auf die Frage nach einem Gruppenunterschied in tabellarischer und die Lokalisation der signifikanten Voxelcluster in einem dreidimensionalen Umriss eines Gehirns (Glass Brain) visuell dargestellt. Im Anschluss folgten in weiteren Analysen die statistische Auswertung und graphische Darstellung.

Um zu zeigen, was sich nach den 10 Wochen für ein Gruppenunterschied in der Dichte grauer Substanz ergeben hatte, wurde die Differenz der Prä- und Postmessung in der Yogagruppe mit den entsprechenden Daten der Sportgruppe und der passiven Kontrollgruppe verglichen. Im Einzelnen ergaben sich dabei folgende Befunde:

4.3.1 Signifikante räumliche Dichtezunahme der Grauen Substanz in der Yogagruppe im Vergleich zur Sportgruppe

Die VBM-Analyse ergab in Verbindung mit der Anatomy Toolbox an fünf Lokalisationen einen signifikanten Dichteanstieg der Grauen Substanz in der Yogagruppe im Vergleich zur Sportgruppe: rechter Hippocampus, linker und rechter Superiorer Temporalsulcus (STS), sowie im Präfrontalen Kortex liegender linker Superiorer Orbitofrontaler Gyrus und rechtes Brodmann Areal 44 (BA44). Die Daten sind in Tabelle 17 beschrieben.

Tabelle 17: Signifikante GM-Zunahme in der Yogagruppe im Vergleich Sportgruppe (Yoga>Sport) in der explorativen Ganzhirn Analyse.

Region (peak of cluster)	Cluster size k	Cluster Level P-value	MNI Koordinaten x, y, z	T-Wert peak voxel
Rechter Hipp.	81 Voxel	20/1/-22	20/5/-27	3,74
Linker STS	51 Voxel	-50/-28/-4	-50/-24/-9	3,41
Rechter STS	10 Voxel	48/-23/-9	48/-19/-14	3,07
Linker superiorer Orbitaler Gyrus	34 Voxel			
Maximum 1		-17/41/-13	-17/45/-18	2,95
Maximum 2		-17/37/-15	-17/41/-20	2,80
Rechtes BA44	28 Voxel	47/8/2	47/12/21	3,21

Anmerkung: Hipp= Hippocampus; STS= Superiorer Temporalgyrus; BA 44= Brodmann Areal 44

4.3.2 Signifikante räumliche Dichteabnahme der Grauen Substanz in der Yogagruppe im Vergleich zur Sportgruppe

Die Frage nach einer Dichteabnahme der Yogagruppe im Vergleich zur Sportgruppe (Yoga<Sport) ergab in der VBM-Analyse drei signifikante Cluster: Dabei stimmt das Cluster 1 mit der Lokalisation über der linken Insula überein. Cluster 2 gibt ein Maximum über der rechten Insula und über dem rechten Inferioren Frontalen Gyrus an. In Cluster drei werden zwei Maxima über dem Inferioren Parietalkortex und ein Maximum über dem linken Angulären Gyrus angezeigt. Die zugehörigen Daten sind in Tabelle 18 dargestellt.

Tabelle 18: Signifikante Prä-Post GM-Abnahme in der Yogagruppe im Vergleich zur Sportgruppe (Yoga<Sport)

Region (peak of cluster)	Cluster size k	Cluster Level P-value	MNI Koordinaten x, y, z	T-Wert peak voxel
<u>Cluster 1:</u> Linke Insula	89 Voxel	-36/8/15	-36/12/10	4,32
<u>Cluster 2:</u>	35 Voxel			
Rechte Insula		36/11/15	36/15/10	2,82
Rechter inferiorer frontal Gyrus		39/8/15	39/12/10	3,17
<u>Cluster 3:</u>	109 Voxel			
Max 1: Linker IPC		-38/-56/44	-38/52/39	3,25
Max 2: Linker IPC		-42/53/47	-42/-49/-42	2,91
Max 2: Linker angulärer Gyrus		-35/-58/39	-35/-54/34	2,95

Anmerkung: IPC= inferiorer Parietalkortex

Die in SPM8 eingegebene Fragestellung „Yoga>passive Kontrollen“ und „Yoga<passive Kontrollen“ lieferte keine signifikanten Cluster.

4.3.3 Feststellung der für den yogaspezifischen Effekt relevanten Cluster

Um yogaspezifische Effekte nachzuweisen, sind in dieser Studie zwei Voraussetzungen notwendig:

1. Yoga muss mindestens zu einer der beiden Kontrollgruppen eine signifikante Dichteveränderung aufweisen.
2. Ein yogaspezifischer Effekt muss abgelehnt werden, wenn sich eine der beiden Kontrollgruppen in gleicher Richtung signifikant verändert hat.

Entsprechend der ersten Voraussetzung sind 8 Cluster zu betrachten. Bezüglich der zweiten Bedingung ist darauf zu prüfen, welche Cluster sich nur in der Yogagruppe im longitudinalen Vergleich verändert haben.

In den folgenden Tabellen sind die Mediane der Prä- und Postmessung für die jeweiligen Gruppen dargestellt. Die Zahlen stehen für die Dichte, also Konzentration der grauen Substanz. Die p-Werte zeigen die Ergebnisse aus dem Wilcoxon -Vorzeichenrang-Test für die einzelnen Vorher-Nachher-Vergleiche innerhalb der Gruppen.

Bezüglich des Hippocampus stellte sich heraus, dass die Yogagruppe allein eine signifikante Dichtezunahme zeigte. Während die Dichte der Grauen Substanz an dieser Stelle in der Sportgruppe signifikant abnahm. In der Kontrollgruppe änderte sich die Dichte Grauer Substanz nicht signifikant im Verlauf. Die dazugehörigen Daten finden sich in Tabelle 19.

Tabelle 19: Prä-Post-Vergleich innerhalb der Gruppen: GM-Dichte des rechten Hippocampus

	Dichte-Prämessung	Dichte-Postmessung	p-Wert
Yogagruppe	0,4407	0,4428	0,036**
Sportgruppe	0,5941	0,5745	0,004**
Kontrollgruppe	0,5884	0,5952	0,710

Anmerkung: Wilcoxon-Vorzeichenrangtest;

Im linken STS nahmen alle drei Gruppen signifikant ab (Tabelle 20).

Tabelle 20: Prä-Post-Vergleich innerhalb der Gruppen: GM-Dichte des linken STS

	Dichte-Prämessung	Dichte-Postmessung	p-Wert
Yogagruppe	0,4199	0,4143	0,004**
Sportgruppe	0,5620	0,5497	0,000***
Kontrollgruppe	0,5566	0,5563	0,048**

Anmerkung: Wilcoxon-Vorzeichenrangtest;

Im rechten STS war eine signifikante Abnahme in der Yoga- und Sportgruppe zu verzeichnen (Tabelle 21).

Tabelle 21: Prä-Post-Vergleich innerhalb der Gruppen: GM-Dichte des rechten STS

	Median-Prämessung	Median-Postmessung	p-Wert
Yogagruppe	0,3178	0,3111	0,025**
Sportgruppe	0,4268	0,4144	0,000***
Kontrollgruppe	0,4276	0,4256	0,969

Anmerkung: Wilkoxon-Vorzeichenrangtest;

Im linken superioren Orbitalgyrus stieg sowohl in der Yoga- als auch in der Sportgruppe die GM Dichte signifikant an (Tabelle 22).

Tabelle 22: Prä-Post-Vergleich innerhalb der Gruppen: GM-Dichte des linken superioren Orbitalgyrus

	Median-Prämessung	Median-Postmessung	p-Wert
Yogagruppe	0,3750	0,3880	0,022**
Sportgruppe	0,4540	0,4555	0,031**
Kontrollgruppe	0,4640	0,4640	0,821

Anmerkung: Wilkoxon-Vorzeichenrangtest;

Des Weiteren stellte sich heraus, dass die passive Kontrollgruppe im rechten Brodmann-Areal 44 signifikant zunahm, ebenso wie die Yogagruppe (Tabelle 23).

Tabelle 23: Prä-Post-Vergleich innerhalb der Gruppen: GM-Dichte des rechtes BA44

	Median-Prämessung	Median-Postmessung	p-Wert
Yogagruppe	0,4148	0,4244	0,012**
Sportgruppe	0,5731	0,5728	0,108
Kontrollgruppe	0,5725	0,5789	0,036**

Anmerkung: Wilkoxon-Vorzeichenrangtest;

Im Bereich der linken und rechten Insula nahm die Dichte in der Yogagruppe und in der Kontrollgruppe signifikant ab (Tabellen 24 und 25).

Tabelle 24: Prä-Post-Vergleich innerhalb der Gruppen: GM-Dichte der linken Insula

	Median-Prämessung	Median-Postmessung	p-Wert
Yogagruppe	0,4275	0,4212	0,001**
Sportgruppe	0,5636	0,5668	0,052*
Kontrollgruppe	0,5638	0,5576	0,001**

Anmerkung: Wilkoxon-Vorzeichenrangtest;

Tabelle 25: Prä-Post-Vergleich innerhalb der Gruppen: GM-Dichte der rechten Insula

	Median-Prämessung	Median-Postmessung	p-Wert
Yogagruppe	0,3822	0,3730	0,007***
Sportgruppe	0,5052	0,5070	0,197
Kontrollgruppe	0,5108	0,5074	0,006***

Anmerkung: Wilkoxon-Vorzeichenrangtest;

Der Dichteunterschied im linken inferioren Parietalkortex resultierte lediglich aus einer signifikanten Zunahme in der Sportgruppe. Die Yogagruppe und passive Kontrolle blieben hier unverändert (Tabelle 26).

Tabelle 26: Prä-Post-Vergleich innerhalb der Gruppen: GM-Dichte des linken IPC

	Median-Prämessung	Median-Postmessung	p-Wert
Yogagruppe	0,4057	0,4071	0,665
Sportgruppe	0,5233	0,5270	0,000***
Kontrollgruppe	0,5284	0,5234	0,505

Anmerkung: Wilkoxon-Vorzeichenrangtest;

4.3.4 Darstellung der Dichteveränderungen im Hippocampus

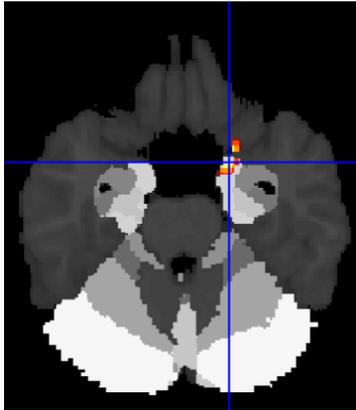
Nach den in Punkt 4.3.3 dargestellten Ergebnissen ergab sich in Bezug auf die Yogaintervention lediglich im rechten Hippocampus eine signifikante Dichtezunahme gegenüber beiden Kontrollgruppen. Der paarweise Gruppenvergleich nach Kruskal-Wallis bestätigt den von SPM8 errechneten signifikanten Dichteunterschied der Yogagruppe im Vergleich zur Sportgruppe (Tabelle 27). Abbildung 5 zeigt diese Daten in dreidimensionaler Darstellung und in Abbildung 6 in der Box-Plot-Graphik.

Tabelle 27: Paarweiser Gruppenvergleich der GM-Veränderung Prä-Post: rechter Hippocampus

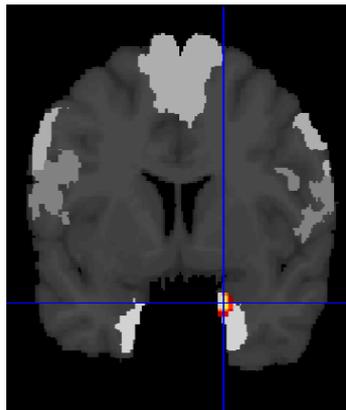
	p-Wert
Yogagruppe-Sportgruppe	0,002**
Yogagruppe-Kontrollgruppe	0,958
Sportgruppe-Kontrollgruppe	0,078*

Anmerkung: Angepasste Signifikanz im Kruskal- Wallis-Test.

5A



5B



5C

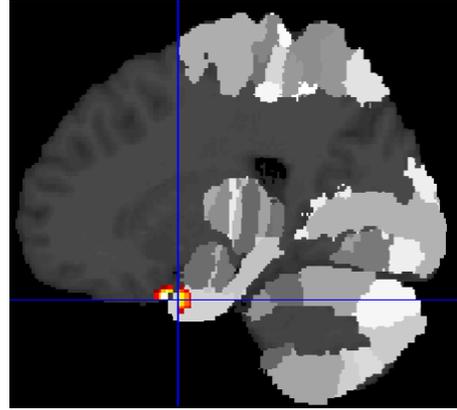


Abbildung 5: 3-dimensionale Darstellung der durch SPM8 Analyse errechneten signifikanten GM-Zunahme im rechten Hippocampus in der Yogagruppe im Vergleich zu den Kontrollgruppen. Die entsprechenden MNI Koordinaten $x = 20$ (5A), $y = 5$ (5B), $z = -27$ (5C) sind rot markiert.

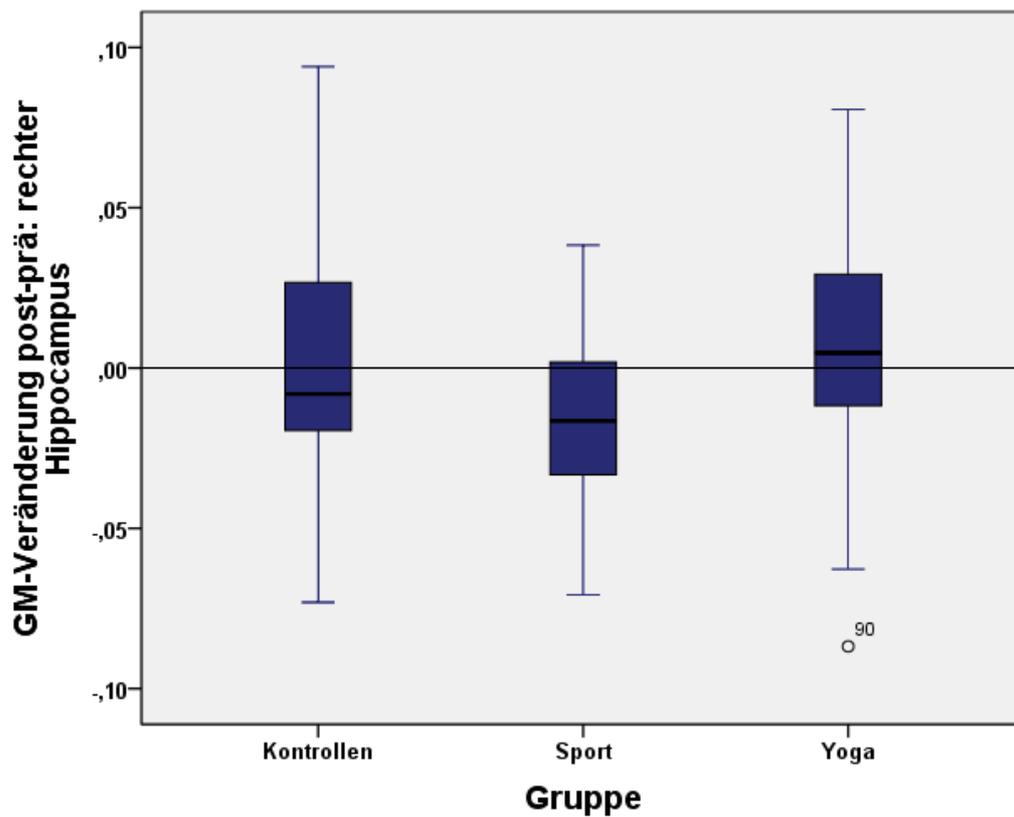


Abbildung 6: Paarweiser Gruppenvergleich der GM-Veränderung Prä-Post im rechten Hippocampus; die Fehlerbalken geben das 95% Konfidenzintervall an.

4.3.5 Auffälligkeiten in den Prämessungen

Da die Prämessungen in allen untersuchten Clustern in der Yogagruppe deutlich unter den Werten der Prämessung beider Kontrollgruppen lagen, werden im Folgenden die longitudinalen Messwerte, wie man sie aus den Tabellen 26-19 entnehmen kann, nochmals zur Verdeutlichung in Box-Plot-Form in den Abbildungen 7-14 graphisch dargestellt.

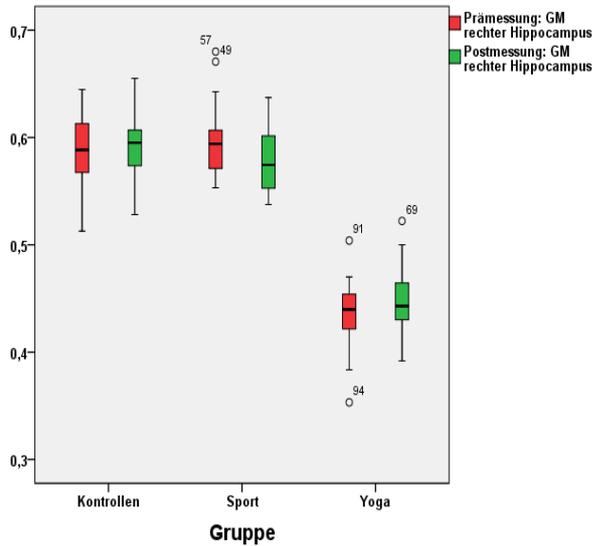


Abbildung 7: Dichte Grauer Substanz in der Prä- und Postmessung: Hippocampus

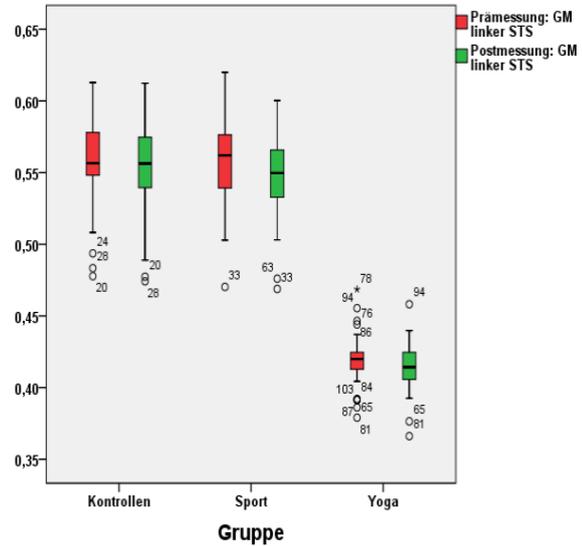


Abbildung 8: Dichte Grauer Substanz in der Prä- und Postmessung: Linker STS

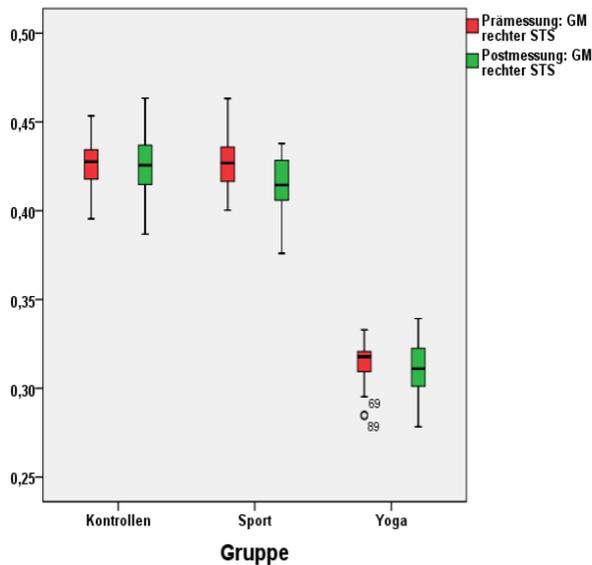


Abbildung 9: Dichte Grauer Substanz in der Prä- und Postmessung: Rechter STS

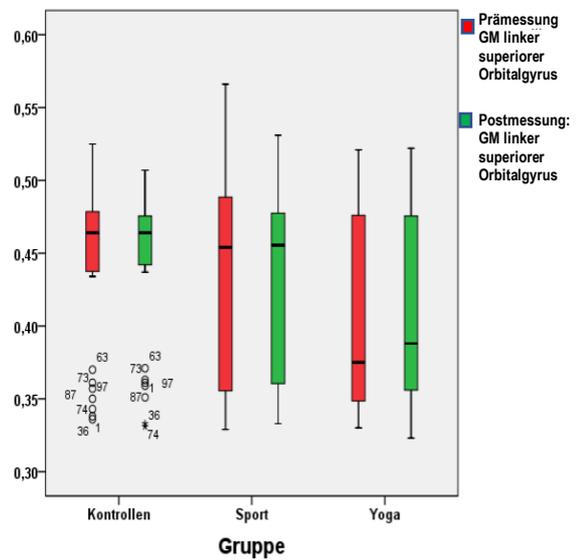


Abbildung 10: Dichte Grauer Substanz in der Prä- und Postmessung: linker superiorer Orbitalgyrus

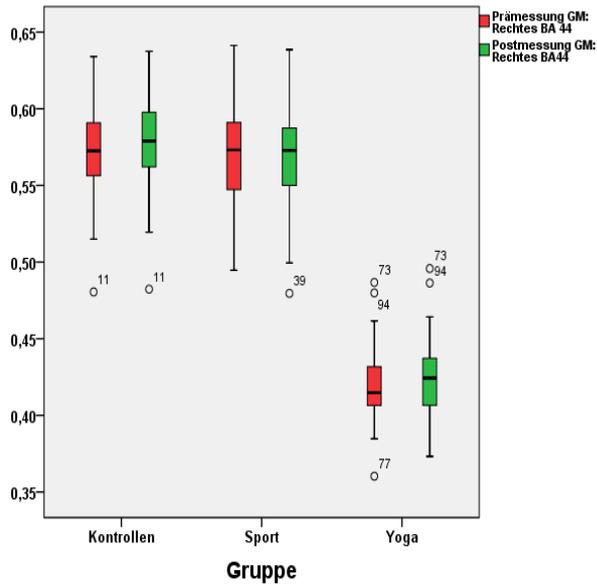


Abbildung 11: Dichte Grauer Substanz in der Prä- und Postmessung: Rechtes BA44

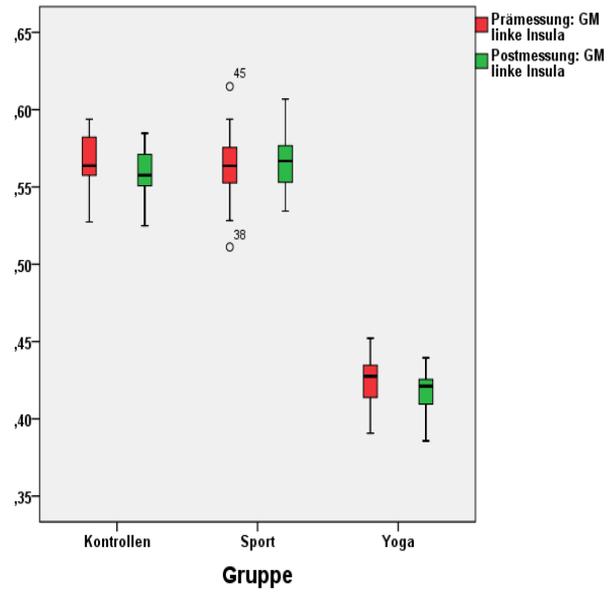


Abbildung 12: Dichte Grauer Substanz in der Prä- und Postmessung: Linke Insula

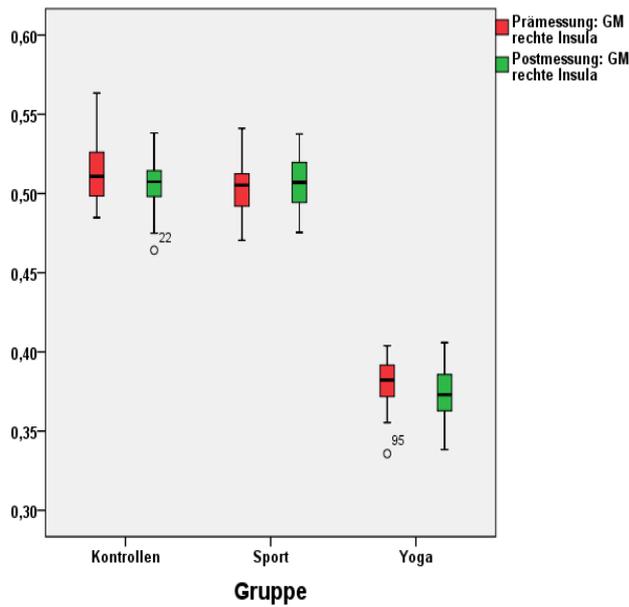


Abbildung 13: Dichte Grauer Substanz in der Prä- und Postmessung: Rechte Insula

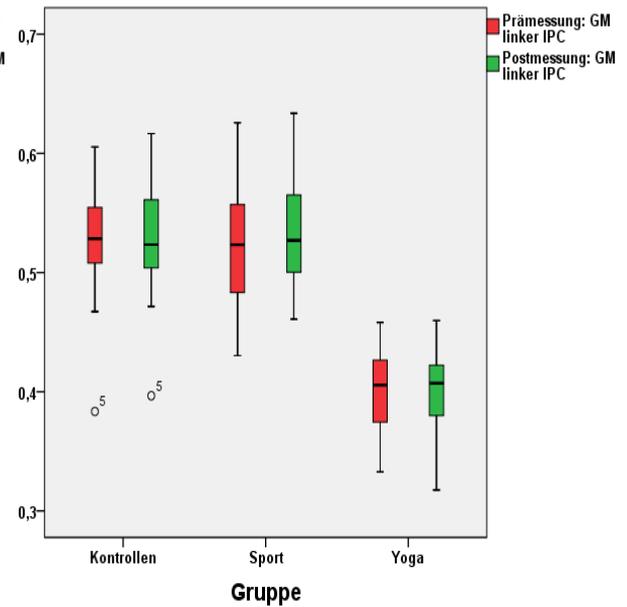


Abbildung 14: Dichte Grauer Substanz in der Prä- und Postmessung: Linker IPC

Es stellte sich heraus, dass dieser vorbestehende Unterschied der Dichte Grauer Substanz zwischen der Yogagruppe und den beiden Kontrollgruppen, also schon zum Zeitpunkt der Prämessung und somit vor Beginn der Intervention, in fast allen yogarelevanten Regionen (bis auf den linken superioren Orbitalgyrus) signifikant war (Tabelle 28 und 29).

Tabelle 28: Paarweiser Gruppenvergleich der Prämessung: GM-Dichte rechter Hippocampus, linker STS, rechter STS, linker superiorer Orbitalgyrus, rechtes BA44

	p-Wert re Hipp.	p-Wert li STS	p-Wert re. STS	p-Wert li. Orbit.	p-Wert re. BA44
Yogagruppe-Sportgruppe	0,000***	0,000***	0,000***	0,164	0,000*
Yogagruppe-Kontrollgruppe	0,000***	0,000***	0,000***	0,202	0,000***
Sportgruppe-Kontrollgruppe	1,000	1,000	1,000	0,884	1,000

Anmerkung: Angepasste Signifikanz im Kruskal- Wallis-Test für re Hipp. = rechter Hippocampus, li STS=linker STS, re STS= rechter STS, li. Orbit. = linker superiorer Orbitalgyrus; re. BA44 =rechter BA44

Tabelle 29: Paarweiser Gruppenvergleich der Prämessung: GM-Dichte linke Insula, rechte Insula, linker IPC

	p-Wert linke Insula	p-Wert rechte Insula	p-Wert linker IPC
Yogagruppe-Sportgruppe	0,000***	0,000***	0,000***
Yogagruppe-Kontrollgruppe	0,000***	0,000***	0,000***
Sportgruppe-Kontrollgruppe	1,000	0,783	1,000

Anmerkung: Angepasste Signifikanz im Kruskal- Wallis-Test.

Die folgenden Abbildungen 15-22 verdeutlichen nicht nur diesen Unterschied, sondern zeigen mit ihrer zweigipfligen Verteilung, dass sich die Yogagruppe als unterschiedliche Population im Vergleich zu einer einheitlichen Population beider Kontrollgruppen darstellt. Einzig im linken IPC liegt eine zumindest teilweise Überlappung vor. Im linken superioren orbitalen Kortex zeigt sich ebenfalls eine zweigipflige Verteilung. Diese ist jedoch nicht gruppenspezifisch.

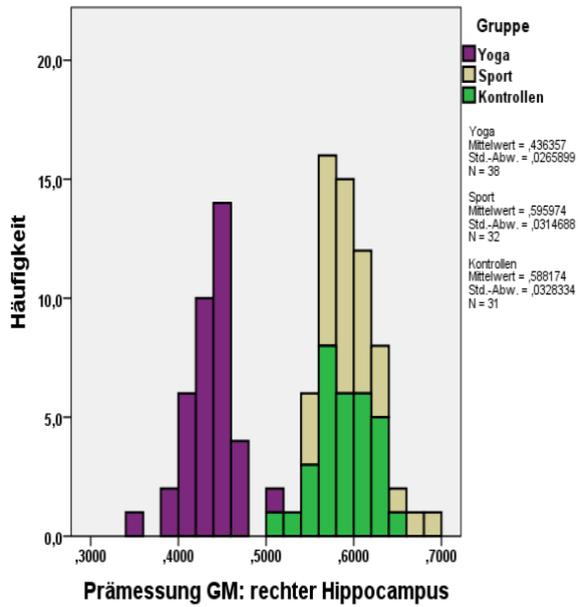


Abbildung 15: Häufigkeitsverteilung der Dichtewerte zur Prämessung: rechter Hippocampus

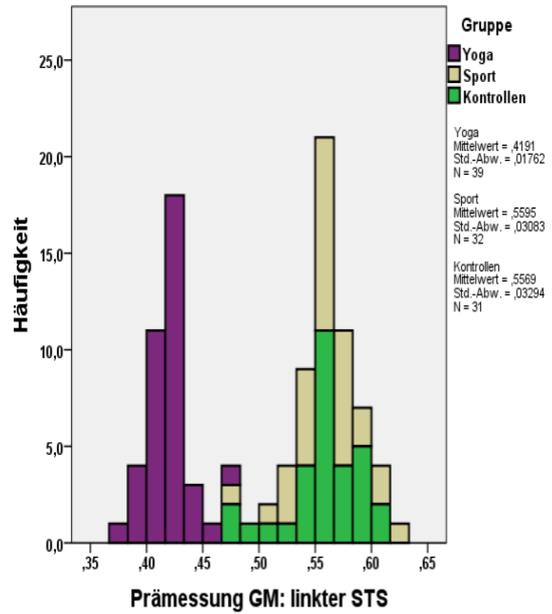


Abbildung 16: Häufigkeitsverteilung der Dichtewerte zur Prämessung: linker STS

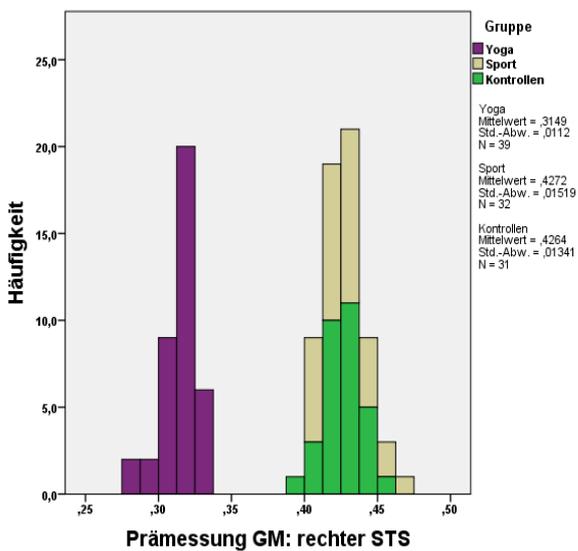


Abbildung 17: Häufigkeitsverteilung der Dichtewerte zur Prämessung: rechter STS

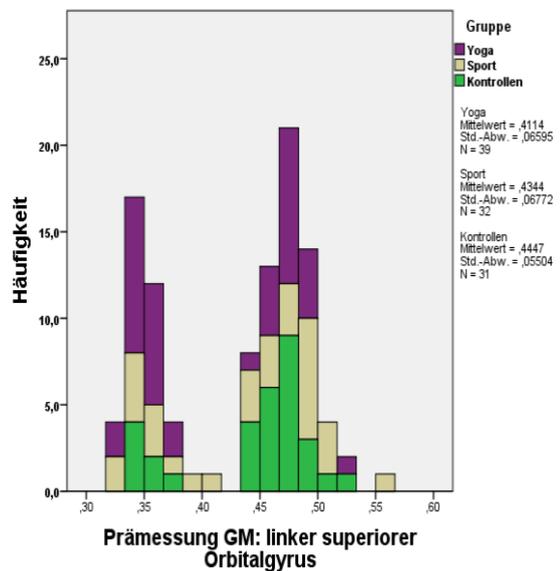


Abbildung 18: Häufigkeitsverteilung der Dichtewerte zur Prä-messung: linker superiorer Orbitalgyrus

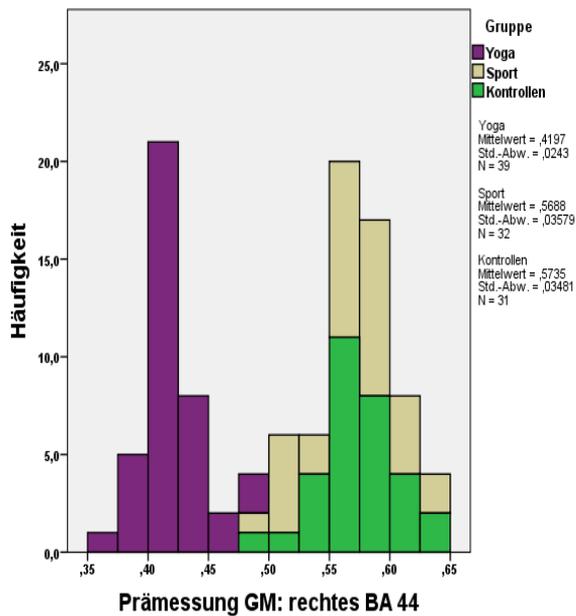


Abbildung 19: Häufigkeitsverteilung der Dichtewerte zur Prä-messung: rechtes BA 44

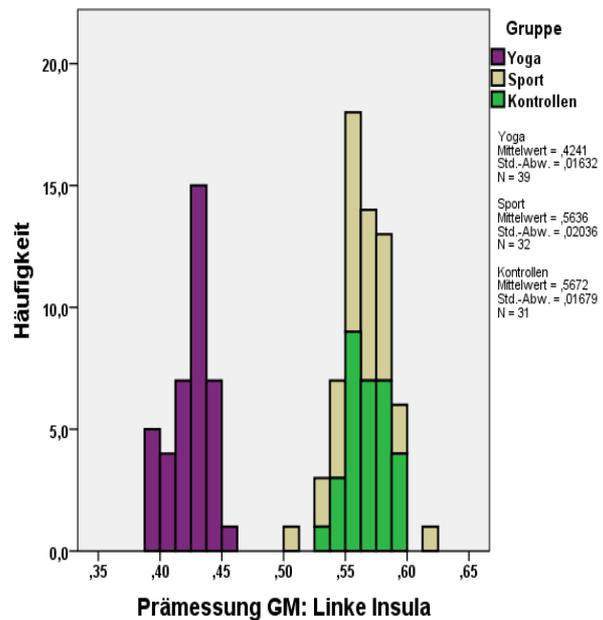


Abbildung 20: Häufigkeitsverteilung der Dichtewerte zur Prä-messung: linke Insula

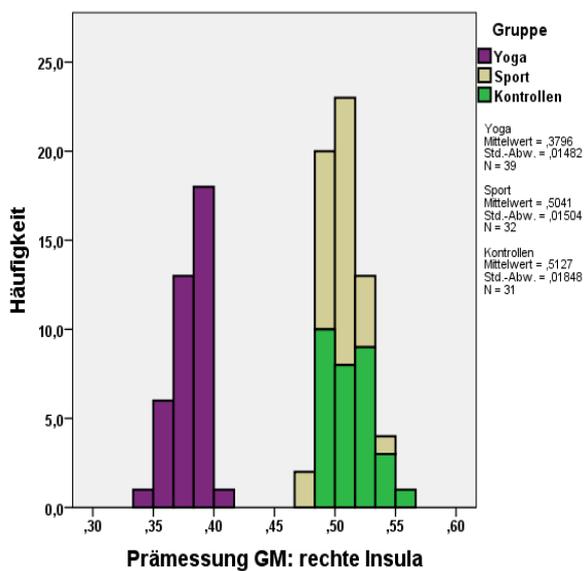


Abbildung 21: Häufigkeitsverteilung der Dichtewerte zur Prä-messung: rechte Insula

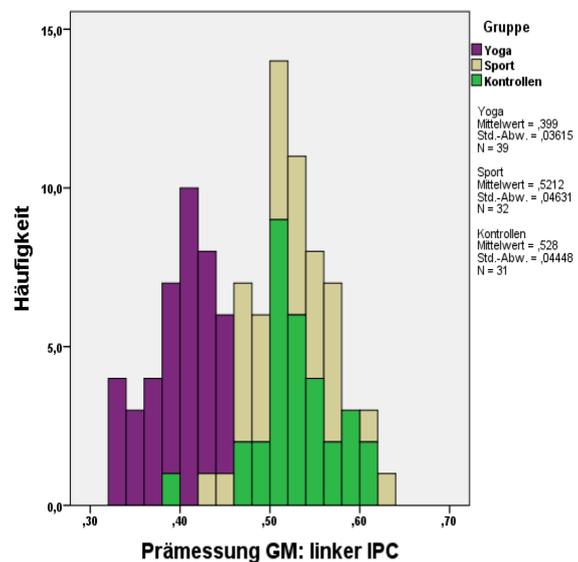


Abbildung 22: Häufigkeitsverteilung der Dichtewerte zur Prä-messung: linker IPC

Die unterschiedlich gemessenen Ausgangswerte der Dichte Grauer Substanz zwischen der Yogagruppe und der Sport- und passiven Kontrollgruppe bezogen sich auf einzelne Areale. Um diesen präexistierenden Gruppenunterschied weiter zu untersuchen, wurde der Frage nachgegangen, ob bereits die absolute Dichte der Grauen Substanz und auch der beiden anderen erfassten Kompartimente, Dichte der Weißen Substanz und Liquor, der einzelnen Gruppen zum Zeitpunkt der Prämessung unterschiedlich waren. Hier fiel die Yogagruppe mit einer sogar im Vergleich zu der Sportgruppe höheren Dichte aller drei Kompartimente auf. Signifikant waren diese Unterschiede zwischen der Yoga- und Sportgruppe nicht ($p=1,000$; $z=-0,915$; $n=71$). Die passive Kontrollgruppe hingegen zeigte sich mit der höchsten Dichte der 3 Kompartimente (siehe Abbildung 23 und Tabelle 30); dieser Unterschied wurde zur Sportgruppe und Yogagruppe signifikant ($p<0,05$; siehe Tabelle 31). Vergleicht man das gesamte Gehirnvolumen der drei Gruppen, berechnet aus der Addition der Dichte Grauer Substanz, Weißer Substanz und Liquor, ergibt sich wieder ein signifikanter Gruppenunterschied zwischen der Yoga- und Sportgruppe zu den passiven Kontrollen ($p<0,05$; siehe Tabelle 31).

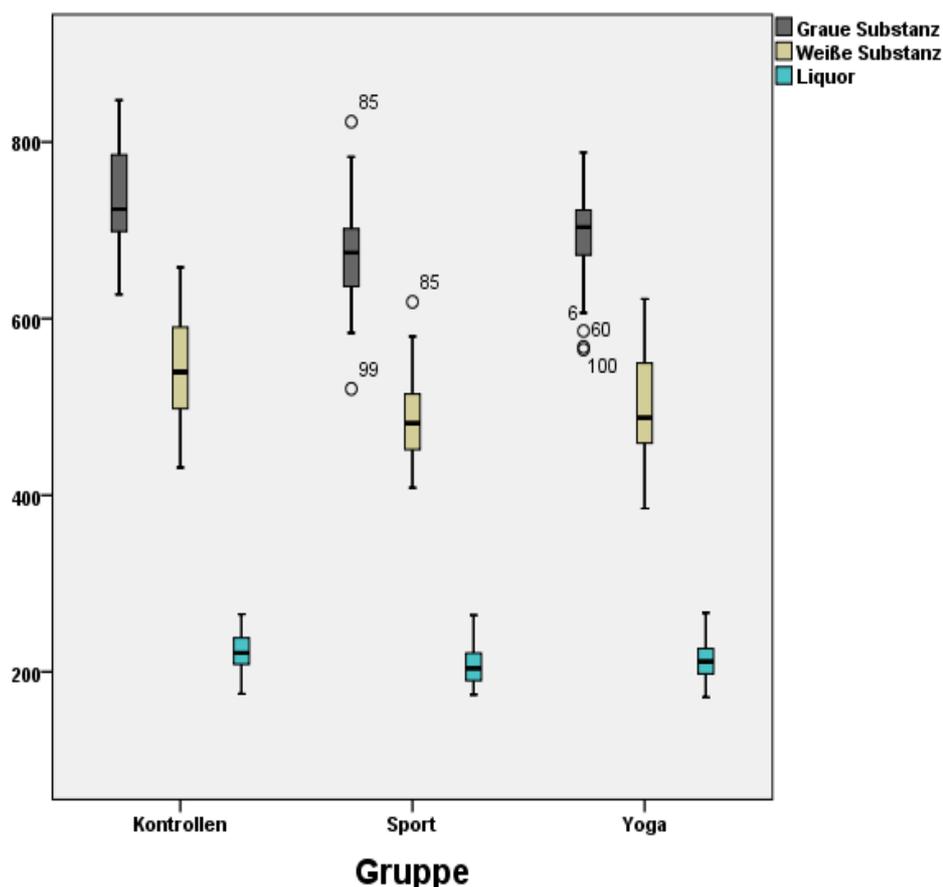


Abbildung 23: Dichte der grauen Substanz, der weißen Substanz und Liquor zum Zeitpunkt der Prämessung

Tabelle 30: Gesamtes Gehirn Prämessung: Graue Substanz (GM), Weiße Substanz (WM) und Liquor (Cerebral fluid= CF) sowie Gesamtdichte (GD) für alle drei Gruppen

	GM-Prä	WM -Prä	CF- Prä	GD-Prä
Yoga	703,7(564,9-788,1)	487,7 (385,0-622,2)	211,7(171,1-266,9)	1404,6 (1131,5-1665,7)
Sport	674,8 (520,5-822,9)	481,5 (408,5-618,8)	203,8(174,2-264,2)	1385,1(1148,0- 1691,4)
Passive Kontrolle	723,8 (627,3-847,4)	539,6 (431,4-658,0)	221,5(195,1-265,2)	1495,1(1271,1-1726,9)

Anmerkung: Deskriptive Statistik mit Angabe von Median und Spannweite

Die Analysen der Körpergröße der drei Gruppen zeigten, dass die Yogaprobanden etwas größer waren im Vergleich zur Sportgruppe (Yoga median 1,68 m; range: 1,50-1,88m; Sport median: 1,69m; range: 1,52-1,95m). Die passive Kontrollgruppe stach hingegen mit einer mittleren Körpergröße von 1,76 Meter heraus (Passive Kontrolle median: 1,76m; range: 1,58-2,0m). In einer linearen Regressionsanalyse ergab sich ein Zusammenhang zwischen der gesamten Gehirndichte mit der Körpergröße und dem Geschlecht der Probanden. Hierbei wurde die gesamte Gehirndichte als abhängige Variable gewählt. Für die unabhängigen Variablen wurde als erste Stufe die Körpergröße und als zweite Stufe das Geschlecht verwendet. Die Größe erklärt hierbei 29,1% der Dichte der Grauer Substanz (Körpergröße: Korrigiertes R-Quadrat= 0,291; F= 42,465; p=0,000), das Geschlecht zusätzlich 13% (Geschlecht: Korrigiertes R-Quadrat=0,421; F=37,669; p= 0,000). Nach Cohen (1992) entspricht dies einem starken Effekt.

Betrachtet man schließlich das Verhältnis aus der Dichte Grauer Substanz zum gesamten Gehirnvolumen, so ergibt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den drei Gruppen ($p > 0,05$) (siehe Tabelle 31).

Tabelle 31: Paarweiser Gruppenvergleich der Dichte GM, WM, CF, der Gesamtdichte (GV) bei der Prämessung sowie für das Verhältnis GM/GV.

	p-Wert GM-Prä	p-Wert WM-Prä	p-Wert CF-Prä	p-Wert GV prä	p-Wert GM/GV
Yogagruppe-Sportgruppe	0,185	1,0	1,0	0,630	0,603
Yogagruppe-Kontrollgruppe	0,067	0,005***	0,189	0,008***	0,504
Sportgruppe-Kontrollgruppe	0,000***	0,005***	0,045*	0,001***	0,978

Anmerkung: Angepasste Signifikanz im Kruskal- Wallis-Test für die GM-Prä und WM-Prä absolut, Mann-Whitney-U-Test für GM/GV zur Prä-Messung.

In den Abbildungen 24 und 25 ist die Häufigkeitsverteilung der gesamten Grauen Substanz sowie des Verhältnisses aus gesamter Grauer Dichte und der Gesamtdichte dargestellt. Hier ergibt sich keine zweigipflige Verteilung, sondern eine eingipflige normalverteilte Kurve.

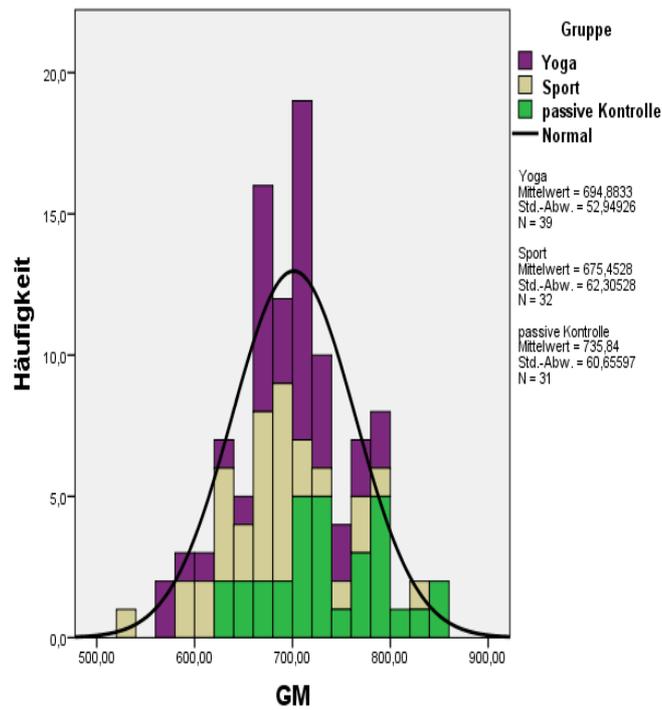


Abbildung 24: Häufigkeitsverteilung der Dichtewerte der GM zur Prämessung

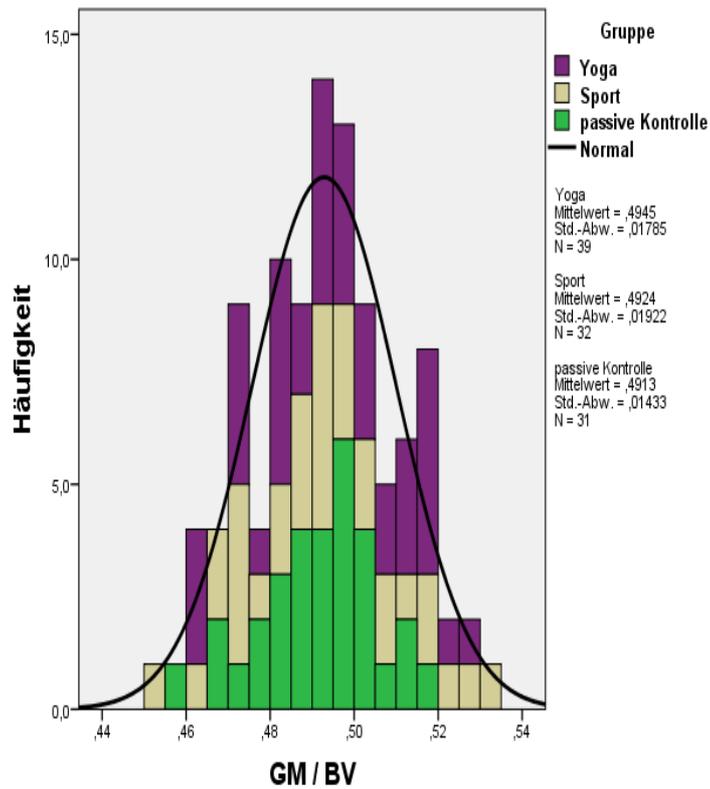


Abbildung 25: Häufigkeitsverteilung des Verhältnisses von GM/BV

4.4 Korrelationsanalyse der vegetativen mit den strukturellen Veränderungen

Die nachfolgende Darstellung bezieht sich auf die Effekte durch die jeweilige Intervention. Die bivariate Korrelationsanalyse ergab nach Ausschluss der passiven Kontrollprobanden einen schwachen positiven Zusammenhang zwischen der diastolischen Blutdruckveränderung und den strukturellen Veränderungen in beiden Insulae. Diese Korrelation war auf dem 0,05 Niveau signifikant (Linke Insula: $r(35,5) = 0,292$, $p = 0,013$; Rechte Insula: $r(35,5) = 0,238$, $p = 0,045$). Das heißt, eine diastolische Blutdruckabnahme korreliert mit einer Abnahme der Dichte GM in den Insulae und umgekehrt.

Eine Korrelation zwischen der yogaspezifischen hippocampalen GM Dichteänderung und der Blutdruckreduktion konnte nicht nachgewiesen werden. Ebenso wenig zeigten die Veränderungen des systolischen Blutdrucks und des Pulses Zusammenhänge mit den übrigen Clustern. Tabelle 40 gibt die Korrelationsanalyse nach Spearman für die als hier relevant aufgezeigten Parameter wieder.

Neben dem dargestellten Zusammenhang zwischen diastolischen Blutdruck und Dichteänderung in der rechten und linken Insula, wird aus der Tabelle auch ein schwach positiver jedoch signifikanter Zusammenhang zwischen dem diastolischen und systolischen Blutdruck ($r(35,5) = 0,256$, $p = 0,031$) sowie ein etwas stärkerer zwischen den Veränderungen beider Insulae ($r(35,5) = 0,642$, $p = 0,000$) deutlich.

Tabelle 32: Korrelationsanalyse nach Spearman

		Sys. RR	Dia. RR	Puls	Hippo.	Insula li	Insula re
Systolischer RR	Korr-Koeffizient	1,000	0,256*	0,031	-0,066	0,134	-0,068
	Sig. (2-seitig)		0,031	0,798	0,585	0,267	0,573
	N	71	71	71	71	71	71
Diastolischer RR	Korr-Koeffizient	0,256*	1,000	0,218	-0,065	0,292*	0,238*
	Sig. (2-seitig)	0,031		0,067	0,588	0,013	0,045
	N	71	71	71	71	71	71
Puls	Korr-Koeffizient	0,031	0,218	1,000	0,087	0,028	0,054
	Sig. (2-seitig)	0,798	0,067		0,472	0,814	0,653
	N	71	71	71	71	71	71
Hippocampus re.	Korr-Koeffizient	-0,066	-0,065	0,087	1,000	-0,104	-0,084
	Sig. (2-seitig)	0,585	0,588	0,472		0,388	0,488
	N	71	71	71	71	71	71
Insula links	Korr-Koeffizient	0,134	0,292*	0,028	-0,104	1,000	0,642**
	Sig. (2-seitig)	0,267	0,013	0,814	0,388		0,000
	N	71	71	71	71	71	71
Insula rechts	Korr-Koeffizient	-0,068	0,238*	0,054	-0,084	0,642**	1,000
	Sig. (2-seitig)	0,573	0,045	0,653	0,488	0,000	
	N	71	71	71	71	71	71

Anmerkung: Syst. RR= Systolische Blutdruckveränderung; Dia. RR= Diastolische Blutdruckveränderung; Hippocampus re.= Hippocampus rechts; Korr-Koeffizient= Korrelationskoeffizient;

5. Diskussion

Ziel der Studie war es, nachzuweisen, ob eine zeitlich auf 10 Wochen begrenzte Anwendung von Hatha Yoga strukturelle Veränderungen in stressbezogenen Gehirnarealen wie insbesondere den Hippocampus bewirkt. Da bekannt ist, dass aufgrund der neuronalen Plastizität strukturelle Veränderungen nicht nur durch intensives Training [50,51,176], sondern auch durch vielfältige andere Einflussfaktoren wie Jahreszeit [145], mentale oder emotionale Krisen [208] oder veränderte äußere Umweltbedingungen [126] eintreten können, waren Kontrollgruppen miteinzubeziehen. Um einen spezifischen Effekt des Hatha Yogatrainings nachweisen zu können, wurden deshalb eine aktive, dem Hatha Yoga vergleichbare Sportgruppe und eine passive Kontrollgruppe eingesetzt. Die Gruppenzugehörigkeit konnten die Probanden selbst wählen. Als indirekten Stressindikator wurden zudem eine Blutdruck- und Pulsmessung zur Kontrolle des Yogaeffekts vor und nach der 10-wöchigen Intervention durchgeführt und die Ergebnisse mit den strukturellen Veränderungen in Korrelationsanalysen weiteruntersucht. Um die Wiederholbarkeit der Ergebnisse zu prüfen, wurden die Probanden auf zwei Daten-Erhebungszeiträume (Kohorten) mit dem gleichen Studiendesign im Wintersemester 2013/14 und Sommersemester 2014 aufgeteilt. Die Studie entspricht einer prospektiven, kontrollierten, nicht randomisierten, longitudinalen Interventionsstudie.

5.1 Soziodemographische Ergebnisse

An der Studie nahmen zu Beginn insgesamt 120 gesunde Probanden teil. Der Tatsache, dass in einer longitudinalen Interventionsstudie mit einer gewissen Abbruchquote gerechnet werden muss, wurde durch die Akquirierung einer höheren Fallzahl begegnet. Letztlich brachen 18 Probanden aus persönlichen Gründen während der Studie ab. Somit konnten 102 Probanden ausgewertet werden. Die Drop-out-Rate betrug somit 15 %, was für eine insgesamt hohe Compliance der Studienteilnehmer spricht. Dabei hatten die Yogagruppe (n=39), die Sportgruppe (n=32) und die passive Kontrollgruppe (n=31) bezogen auf ihre Teilnehmeranzahl ein ausgewogenes Verhältnis. Die zwei Kohorten des Winter- und Sommersemesters unterschieden sich nicht bezüglich der soziodemographischen Daten. Mit einer Teilnehmeranzahl von mehr als 30 pro Gruppe konnte eine Fallzahl erreicht werden, die für die Methodik der longitudinalen Voxel Based Morphometry notwendig und ausreichend gewesen war. Somit konnten mit dieser Fallzahlhöhe statistisch signifikante Ergebnisse erzielt werden. Das Probandenkollektiv bestand zum größten Teil (93,1%) aus Medizinstudenten. Vier weitere nahmen an einem anderen Studiengang teil, der von den Anforderungen her nicht grundsätzlich anders zu bewerten war. Auch diese Probanden hatten v.a. am Ende des Semesters, das heißt zum Ende der Studie hin, Prüfungen zu meistern und waren damit einem erheblichen Stress ausgesetzt. Da drei Probanden bereits im Beruf standen, passten sie zwar nicht in das Kollektiv des Studentenlebens, doch ging man davon aus, dass auch sie

Herausforderungen im Alltag und in der Arbeit zu bewältigen hatten. Vom Verhältnis her machten sie jedoch einen sehr geringen Anteil aus (2,9%).

Auch das Alter wurde als mögliche Einflussgröße festgehalten. Mit einem durchschnittlichen Alter von 22,3 Jahren gehörten die Probanden zu einem Kollektiv aus jungen Erwachsenen. In diesem Altersgefüge ist insbesondere im Hippocampus die jugendliche Dynamik der Entwicklungskurve einem plateauartigen Verlauf gewichen [36]. Gravierende strukturelle Veränderungen des Gehirns, wie sie noch in der Adoleszenz auftreten, sind in diesem Alter folglich weniger zu erwarten. Die zwei Ausreißer bewirkten kaum eine Veränderung des Medians, sodass sie nicht weiter beachtet werden müssen. Die drei Gruppen unterschieden sich nicht hinsichtlich ihres Durchschnittsalters, was im Sinne eines ausgewogenen Verhältnisses der Gruppen für die statistischen Vergleiche günstig war.

Bezüglich des Geschlechts konnte solch ein ausgewogenes Verhältnis nur zwischen den Interventionsgruppen hergestellt werden. An den Yoga- und Sportkursen nahmen vor allem Frauen teil (n=75). Dieser weibliche Überschuss ist am ehesten der Art der Intervention geschuldet. So konnte im Falle von Yoga der BDY (Berufsverband der Yogalehrenden in Deutschland e.V.) in einer repräsentativen Studie „Yoga in Zahlen“ in Deutschland 2014 [67] (also zum Zeitpunkt der Rekrutierung) einen deutlich höheren Anteil an weiblichen aktuell Yogapraktizierenden herausstellen. Frauen schienen demnach zu dieser Zeit deutlich interessierter an der Teilnahme von Yogakursen zu sein. Die TK-Bewegungsstudie 2016 [47] detektierte auch bei Aerobic und Gymnastik Sportarten, zu was die aktive Kontrollintervention gezählt werden kann, ein höheres Interesse seitens der Frauen in Deutschland.

Zwischen Kontrollgruppe und den beiden Interventionsgruppen waren der Geschlechterunterschied sowie die Körpergröße signifikant. Inwiefern dieser Geschlechter- und Größenunterschied eine Relevanz für die Studienergebnisse haben, wird in Kapitel 5.6 diskutiert.

Zusammenfassend lässt sich aus der soziodemographischen Beschreibung, mit Ausnahme von Geschlecht und der damit verknüpften Körpergröße, eine Homogenität (z.B. Altersstruktur, Ausbildungsstatus, Stresslevel, Lebenssituation, Gesundheitsstatus) der untersuchten Gruppen ableiten.

5.2 Diskussion der Yoga- und Sportintervention

Die primäre Motivation der Arbeit rührte daher, dass Yoga insbesondere im Westen von vielen Laien für eine Art Gymnastiksport gehalten wird [153]. Wer Yoga jedoch praktiziert, erfährt die zusätzlichen Komponenten, durch welche sich Yoga von Gymnastik Übungen unterscheidet. Die formalen Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Yoga- und Sportintervention werden

nun an dieser Stelle auf dem Kapitel 3.4.3 aufbauend aus persönlicher Einschätzung und Erfahrung näher beleuchtet und diskutiert:

Yoga beinhaltet spezielle Körper-, Atem-, Entspannungs- und Achtsamkeitsübungen. Als Kontrollgruppe wurde eine Sportart gewählt, bei der dem Yoga ähnliche Körperübungen durchgeführt wurden, jedoch die yogaspezifischen Komponenten der Entspannungsverfahren, der Atemtechniken und der Achtsamkeitsübungen nicht aufgegriffen wurden. Bezüglich der Bewegungsmuster selbst konnten die Yoga- und Sportgruppe mit ihren fitnessorientierten Kräftigungs- und Dehnübungen als vergleichbar beurteilt werden. Im Yoga wurden dabei mehr Dehnung und Gleichgewicht priorisiert, beim Sport die Kräftigung. Die im Yoga angewandten spezifischen Entspannungsverfahren, welche sich mehr oder weniger intensiv durch die gesamte Kursdauer zogen, standen im Gegensatz zu den relativ kurz andauernden und individuell gestalteten Erholungszeiten in den Sportkursen. Durch die langsame Ausführung der Übungen konnte beim Yoga eine regelmäßige Atmung durch die Nase erfolgen, wohingegen die Sportübungen schnell und dynamisch durchgeführt wurden. Dies erforderte nach eigener Einschätzung wiederum eine etwas unregelmäßigere Mundatmung. Im Yoga Unterricht wurde über stetige Anweisungen das Üben der Achtsamkeit auf den jetzigen Moment gefördert. Im Kursraum herrschte stets Ruhe und der Raum, sich einzig auf sich selbst zu konzentrieren. In den Sportkursen lief stets laute Musik und auch die Teilnehmerzahl war bei weitem höher als im Yogakurs. In den Pausen und auch während der Übungen war es in den Sportkursen durchaus normal, mit anderen zu kommunizieren. Man konzentrierte sich auf die korrekte Durchführung der Bewegungen; Achtsamkeit im Speziellen, welche zwar auf Konzentration basiert, jedoch weitere Elemente beinhaltet (wie Übung von urteilsfreiem Denken, Entspannung und Mitgefühl) wurden nicht trainiert. Inwieweit die Yogaprobanden wirklich den Übungen, speziell den Entspannungs-, Atem-, und Achtsamkeitsübungen folgen konnten, ist aufgrund diverser innerer und äußerer Einflussfaktoren auf jeden einzelnen Probanden, wie die Erwartungshaltung der Probanden selbst, des Trainers oder des Studienleiters bezüglich der Quantität und Qualität nur eingeschränkt objektivierbar. Fragebögen über die eigene Einschätzung der Wirksamkeit von Yoga wurden bereits in diversen Studien verwendet. Als Beispiel seien Brunner et al. [23] und Shohani et.al [186] genannt, die damit ein signifikant höheres Achtsamkeitsempfinden [23] und niedrigeres Stressempfinden [186] bei Yogaprobanden in einem zur vorliegenden Studie ähnlichen Studienprogramm detektierten. Aufgrund einer anderen Fragestellung wurden derartige Fragebögen in dieser Studie nicht verwendet, weshalb keine Aussage über die subjektive Einschätzung der Probanden getroffen werden kann. Es seien an dieser Stelle dennoch mündliche Berichte angemerkt, welche zumeist bisherige Studienergebnisse in der Aussage eines höheren Achtsamkeits- und eines niedrigeren Stressempfindens unterstützen. Insbesondere die Tiefenentspannungsübungen (DRT) am Ende des Unterrichts wurde von

den meisten als sehr entspannend empfunden. Die ruhige Atmosphäre hätte dabei im Besonderen dazu beigetragen, loslassen zu können. Darüber hinaus empfanden es viele jedoch insbesondere am Anfang schwer, die Bewegungen mit den Atemzügen zu koordinieren und die Konzentration und Achtsamkeit über mehrere Momente aufrecht zu erhalten. Je näher sie jedoch die Übung kennengelernt hatten, desto leichter fiel es ihnen, die einzelnen Yoga Elemente zu involvieren. Nach deren und auch meiner eigenen Erfahrung sind Effekte von Interventionen wie Yoga und Sport nicht nur von der gesamten Atmosphäre und dem Probanden mit seiner Motivation und seinem individuellen Allgemeinzustand abhängig, sondern auch vom jeweiligen Lehrer. Ändert man diese Faktoren, ist durchaus von anderen Effekten auszugehen. Unter Beachtung dieser Vermutung, sollten weitere Studien mit gleichem Studienprotokoll, jedoch mit z.B. unterschiedlichen Lehrern erfolgen, um die Wiederholbarkeit eines unabhängigen, yogaeigenen, spezifischen Effekts herausfiltern zu können.

Da weder beim Yoga noch in den aktiven Kontrollinterventionen Kraft- und Dehnübungen im Sitzen, Stehen oder Liegen geübt wurden und aerobes Ausdauertraining [155] wie Laufen, Schwimmen und Radfahren nicht involviert war, kann man das Yoga- und Sporttraining in dieser Studie am ehesten als anaerobe Aktivität werten [155, 156].

Zusammenfassend besteht eine insgesamt gute Vergleichbarkeit des körperlichen Aspekts von Yoga mit den ausgewählten Sportkursen. Die Yoga Elemente der Entspannung, Atmung und Achtsamkeit waren in den Gymnastik- und Fitnesssportarten nicht enthalten. So kann die Studie einen generellen Effekt von Yoga im Vergleich zu einer vornehmlich anaeroben Gymnastik- und Fitness orientierten Sportart aufzeigen. Ein ganz spezifischer Yogaeffekt erschließt sich daraus jedoch nicht. Dafür wären noch weitere Kontrollgruppen notwendig gewesen wie Sitzmeditation (Elemente Achtsamkeit und Konzentration), Thai Chi (Bewegungselemente kombiniert mit Atem- und Achtsamkeitsübungen), oder auch Martial Arts Kampfsportarten wie Kung Fu (Wechsel zwischen Spannungs- und Entspannungsübungen, Konzentration). Da der Beweggrund wie oben bereits geschrieben, die Aufdeckung von Yoga im Unterschied zu Sport war, und mögliche Kontrollgruppen für einen Vergleich mit den Aspekten der Entspannung, der speziellen Atemtechniken und der Achtsamkeit nicht zur Verfügung standen, sollte die Frage nach dem ganz spezifischen Effekt von Yoga in Konsektivstudien behandelt werden.

5.3 Compliance der Trainingsteilnahme

Aus den protokollierten Kursteilnahmen zeigte sich, dass die für die Studie angesetzten 10 Unterrichtsstunden innerhalb der 10-wöchigen Interventionsdauer im Durchschnitt von beiden Gruppen befolgt werden konnten. Die Sport Probanden besuchten ihre Kurse im Mittel 11 Mal und nahmen damit einmal häufiger am Unterricht teil als die Yoga Probanden, die durchschnittlich 10 Yogaeinheiten absolvierten. Die meisten Probanden nahmen regelmäßig

wöchentlich teil, es gab nur wenige Ausreißer mit in der Yogagruppe minimalen Teilnahme von 6 Mal und maximalen Teilnahme von 12 Mal, und in der Sportgruppe minimalen Teilnahme von 5 Mal und maximal 13 Mal.

Die beiden Gruppen unterschieden sich bezüglich der Teilnahme insgesamt nicht signifikant. Von einer Vergleichbarkeit des Trainingseffekts ist daher auszugehen.

5.4 Blutdruck- und Pulsmessung

Alle Probanden hatten sowohl zu Beginn als auch am Ende der Studie Blutdruckwerte im Normbereich. In der Yogagruppe nahm der systolische Blutdruck im Prä-Postvergleich hochsignifikant um 6 mmHg ab. In den beiden Kontrollgruppen war keine signifikante systolische Blutdrucksenkung zu verzeichnen. Im Gruppenvergleich war die systolische Blutdrucksenkung in der Yogagruppe im Vergleich zu den Kontrollgruppen signifikant. Der diastolische Blutdruck nahm in der Yogagruppe hochsignifikant um 5 mmHg ab. Die diastolischen Blutdruckwerte der Kontrollgruppen änderten sich hingegen nicht signifikant. Im Gruppenvergleich war hier aber nur der Unterschied zur Sportgruppe signifikant.

Der Effekt einer yogabedingten Blutdrucksenkung ist in der Literatur bereits vielfach beschrieben [82,197,207], und dies auch bei normotensiven Yogapraktizierenden [187]. Die signifikante Blutdrucksenkung in der Yogagruppe nach nur 10 Yogastunden wirkt darüber hinaus überraschend, deckt sich jedoch mit einigen anderen Studien, welche über einen ähnlichen Effekt bereits nach kurzen Interventionsperioden berichteten konnten [34,83,136,194]. Da weder bei den Yogaprobanden hypotensive Werte detektiert wurden noch in anderen Studien eine yogabedingte hypotensive Blutdruckentwicklung aufgefallen war, ist nicht von einer strikt linearen Korrelation zwischen dem Blutdruckverhalten und dem Yogaeffekt auszugehen. Vielmehr ist zu diskutieren, ob die hier gezeigte blutdrucksenkende Wirkung über allgemeine vegetative Regulationsmechanismen zustande kam, die unabhängig von der Höhe des Blutdrucks Wirkung zeigten. Mit dieser Überlegung werden Postulate [63,147,193] unterstützt, nach denen Yoga Aspekte des autonomen und zentralnervösen Nervensystems modifizieren kann. Als Wirkungsmechanismus könnte dabei der stressreduzierende Effekt durch Yoga eine Rolle zu spielen. Ein positiver Zusammenhang zwischen Stress und Bluthochdruck sowie Stressreduktion und Blutdruckabfall ist allgemein bekannt [9,65,190]. Ob nun Stressreduktion zu einer Senkung des Blutdrucks geführt haben könnte oder umgekehrt, ist über die vorliegende Studie nicht abschließend zu klären. Auch das direkte oder indirekte neuronale Abhängigkeitsverhältnis diesbezüglich ist ein Gebiet der aktuellen Hirnforschung [181]. Die vorliegenden strukturellen Ergebnisse können hierzu eine Diskussionsgrundlage und einen möglichen Beitrag liefern (siehe Kapitel 5.6.4).

Bezüglich des Pulsverhaltens ergab sich im paarweisen Gruppenvergleich kein signifikanter Unterschied zwischen allen drei Gruppen, obwohl der Puls in den beiden Kontrollgruppen im

zeitlichen Verlauf signifikant abgenommen hatte. Bei der Yogagruppe konnte diesbezüglich nur eine tendenzielle Abnahme gezeigt werden. Die beinahe einheitliche Abnahme des Pulses in den drei Gruppen kann darauf zurückzuführen sein, dass für die meisten Probanden die cMRT-Messung zum Prä-Zeitpunkt die erste diesbezügliche Messung in ihrem Leben war und dies durchaus zu einem stressbedingten Pulsanstieg geführt haben könnte [106]. Bei der zweiten Messung kannten die Teilnehmer bereits den Ablauf der cMRT-Messung und hatten deswegen möglicherweise weniger Stress bzw. Aufregung und damit einen niedrigeren Puls.

5.5 Die VBM-Methode

Zur Messung des Effekts von Hatha Yoga wurde zu Beginn und am Ende der Studie ein hochauflösendes strukturelles cMRT durchgeführt. Die Daten wurden mittels VBM-Analyse mit Hilfe des Programms SPM8 aufbereitet und ausgewertet. Diese Methode findet im Bereich der Neurowissenschaften in den letzten Jahren in vielen Studien mit ähnlicher Fragestellung Anwendung und ist gut validiert. Als Beispiele seien Studien zum neuroprotektiven Effekt von Yogaübungen von Villemure et al. [205] oder hirmorphologische Dichteänderungen durch MBSR, einer yogaähnlichen Mind-Body-Intervention durch Hölzel et al. [92] angeführt. Die Methode wurde von Ashburner und Friston [5] erstmals im Jahr 2000 beschrieben und wird seitdem ständig weiterentwickelt. In dieser Studie wurde als Auswertungsprogramm die derzeit aktuelle Version (SPM8) verwendet. Durch die VBM-Analyse ist die automatisierte Analyse des gesamten Gehirns möglich. Mit diesem Verfahren können strukturelle GM-Dichteänderungen großer Probandenmengen objektiv miteinander verglichen werden. Welche anatomischen Veränderungen den Grauwertunterschieden entsprechen, ist dabei noch nicht abschließend geklärt, wird jedoch eingehend in der Arbeit von May [131] diskutiert: Neuronale GM-Veränderungen können demnach als „Verlagerung der neuronalen Homöostase“ verstanden werden, „die auf den Ausgleich der neuronalen Aktivität, der Freisetzung von Neurotransmittern, der neuronalen und möglicherweise glialen Morphogenese und der Veränderungen des neuronalen Netzwerks im Sinne der Bildung und Eliminierung von Synapsen abzielt“.

Es lagen bereits wenige Yoga MRT Studien vor, welche Vermutungen über den strukturellen Yoga Effekt zuließen. Eine ROI (Region of Interest) Analyse des Hippocampus zum Beispiel wäre daher durchaus denkbar gewesen. Sie hätte den Vorteil gehabt, eine höhere Signifikanz und damit ein noch spezifischeres Ergebnis hervorzubringen. Da es bisher jedoch keine Studien zu dem Thema „allgemeine strukturelle Effekte durch Yoga“ gab, wurde mit einer Ganzhirnanalyse ein explorativer Ansatz gewählt. Damit war es möglich Änderungen in allen Gehimarealen theoretisch mitzuerfassen. In Anbetracht unserer bisherigen Erkenntnisse darüber, dass unser Gehirn vielmehr als Netzwerk als mehrere unabhängig voneinander fungierende Areale zu verstehen ist [157], erscheint der ganzheitliche Blickwinkel

mittels der Ganzhirnanalyse des Weiteren suffizienter, um einen allgemeinen Effekt durch Yoga festzustellen.

Im Gegensatz zu einer funktionellen MRT Messungen, bei denen u.a. ein momentaner mentaler Status analysiert wird, ist es mit Hilfe der VBM Methode möglich, langfristige, von aktuellen äußeren und inneren Einflussfaktoren unabhängige strukturelle Effekte nachzuweisen. Eine MRT Messung, insbesondere wenn sie bei jemanden zum ersten Mal durchgeführt wird, kann für den Zeitraum der Messung zu erheblichem Stress führen. Eine z.B. dadurch entstehende Verfälschung der Ergebnisse war bei dieser groß angelegten Studie nicht erwünscht. Zusätzliche funktionelle Messungen, welche durchaus noch mehr Informationen erbringen hätten können, waren mit insgesamt 120 Probanden aufgrund des hohen Zeitanspruchs für das Studienkonzept nicht kompatibel.

5.6 Strukturelle Veränderungen

5.6.1 Struktur und Funktion des Hippocampus

5.6.1.1 Lokalisation

Der Hippocampus ist dem Archikortex zugeordnet und gehört damit entwicklungsgeschichtlich zu den älteren Hirnstrukturen [179]. Man findet ihn beidseits medial des Telenzephalons im medialen Temporallappen unterhalb des Temporalhorns der Seitenventrikel. Makroskopisch hat er eine langgestreckte gebogene Form, die an ein Seepferdchen erinnert, was zur Namensgebung führte. Er ist komplex aufgebaut und besteht funktionell aus verschiedenen Anteilen, sodass eher von einer Hippocampusformation gesprochen werden kann.

5.6.1.2 Verbindungen

Der Hippocampus stellt eine der wichtigsten Schaltzentralen im Gehirn dar, der mit vielen anderen Hirnstrukturen funktionell über Afferenzen und Efferenzen verbunden ist. Eine besondere Rolle spielen dabei die Projektionen zum Neokortex, zu anderen Zentren des limbischen Systems, und zu vegetativen Kernen wie den Hypothalamus [97], die Corpora mamillaria [202] und die im Hirnstamm [29]. Dabei ist er unter anderem eingebunden in wichtige Regelkreise, wie z.B. den Papez-Kreis, der über den Hippocampus, Thalamus, den Gyri cinguli und den Cortex enterohinali zur Emotionsregulierung beitragen soll [13,182] und gilt als fester Bestandteil des Default Mode Networks (siehe Kapitel 2.5).

5.6.1.3 Funktion

Zusammen mit seinen vielfältigen Projektionen wird der Hippocampus zu den zentralen Strukturen des limbischen Systems gezählt [167,173]. Diesem werden wichtige Funktionen in Bezug auf Emotionskontrolle, Bildung von Motivation, Antrieb, Affektverhalten und Impulskontrolle zugeschrieben. Der Hippocampus für sich genommen wurde bisher vor allem für seine Aufgabe der Gedächtniskonsolidierung, das heißt die Überführung von Reizen in das

Kurz- und Langzeitgedächtnis sowie für die Koordinierung der Gedächtnisinhalte, bekannt [72]. Darüber hinaus spielt er eine zentrale Rolle in der Regulierung von Stresskreisläufen [108] und Emotionen [130]. So vermag man mit seiner Hilfe unter anderem Situationen mehr rational zu bewerten, während sie in der Amygdala eher emotional interpretiert werden. Bei einer Fehlfunktion des Hippocampus entsteht z.B. bei einer Gefahrensituation eine rational nicht erklärbare Angst, während bei Störungen im Bereich der Amygdala Gefahrensituationen emotionslos und rational empfunden werden [53,55]. Beim räumlichen Denken und der Orientierung scheint insbesondere der rechte Hippocampus involviert zu sein [59,124,185] und wirkt zusammen mit dem Striatum bei der Konsolidierung von motorischen Sequenzen mit [196]. Darüber hinaus übernimmt er unter anderem über eine enge Beziehung zum Hypothalamus und dem Hirnstamm Aufgaben in der Regulierung des vegetativen Nervensystems [29,112,139,,158,143,215].

5.6.2 Bekannte Einflüsse auf die Struktur des Hippocampus

Das alternde Gehirn macht sich durch eine Abnahme des gesamten Gehirnvolumens bemerkbar. Dabei erkannte man, dass der Hippocampus als einer der ersten Areale eine strukturelle Abnahme im Zusammenhang mit dem Alter aufweist. Er gehört zu den frühesten strukturell nachweisbaren Indikatoren für das Auftreten der Alzheimerdemenz [89]. Das verminderte Volumen korreliert mit dem Fortschreiten dieser Erkrankung. Auch in diversen neuropsychiatrischen Erkrankungen wie Depression [113,134], posttraumatische Belastungsstörung [71,81,210] und Schizophrenie [88] wird eine im Vergleich zu gesunden Kontrollen vermindertes Volumen im Hippocampus angegeben. Das gleiche gilt für diverse Angst- und Suchterkrankungen [93,96]. Bei neurologischen Erkrankungen ist insbesondere die Temporallappen Epilepsie als einer der häufigsten Epilepsieformen mit einer Hippocampusatrophie [30] assoziiert. Zudem steht ein geringeres Volumen des Hippocampus mit vermehrtem Stress in Zusammenhang [69].

Eine strukturelle Zunahme des Hippocampus wurde bei Patienten nach medikamentösen [28], psychotherapeutischen Behandlungen [26] und anderen therapeutischen Interventionen [66] beschrieben. Bei gesunden Probanden finden sich entsprechende Arbeiten nach Mind-Body-Interventionen wie MBSR [92], Sport [57] und Meditation [121]. So kann insgesamt die strukturelle GM-Dichtezunahme bisher als Resultat einer höheren funktionalen Einflussnahme des Hippocampus gesehen werden.

5.6.3 Bewertung des Studienergebnisses

5.6.3.1 Vergleichbarkeit von Dichte- und Volumenmessung

In der vorliegenden Studie wurden Dichteänderungen gemessen. In anderen Studien zu diesem Themenbereich haben die Autoren Volumenänderungen betrachtet. Da wahrscheinlich ähnliche strukturmorphologische Vorgänge sowohl zu einer

Dichteveränderung als auch zu einer Volumenveränderung führen (vgl. Kapitel 5.5), werden im Folgenden beide Methoden berücksichtigt und als vergleichbar betrachtet.

5.6.3.2 Dichtezunahme im rechten Hippocampus als yogaspezifischen Effekt

In der Yogagruppe zeigte sich eine signifikante Dichtezunahme der Grauen Substanz im Bereich des rechten Hippocampus im Vergleich zu beiden Kontrollgruppen.

Dies findet eine vielfache Übereinstimmung mit Studien aus dem Yoga-, Mind-Body-, Meditations- und Sportbereich [75,204,205]. Hariprasad et al. [85] zum Beispiel untersuchte 2011 in einer Längsschnittstudie den strukturellen Effekt von Yoga auf 7 gesunde ältere Menschen speziell auf den Hippocampus. Als Kontrolle dienten gematchte Probanden, welche sich keiner Yogaintervention unterzogen. Die Ergebnisse wurden mit einer ausgewählten Region (ROI) im occipitalen Gyrus verglichen. Nach 6 Monaten 5 Mal wöchentlicher Yogapraxis, wobei mindestens eine Stunde täglich geübt wurde, konnte im Vergleich zu den passiven Kontrollen ein signifikanter Volumenanstieg in beiden Hippocampi verzeichnet werden. Die Kontroll-Region im occipitalen Gyrus veränderte sich dabei nicht. Die Autoren schlossen daraus, dass durch Yoga dem normalen Alterungsprozess des Gehirns, der mit einer generellen Volumenabnahme, insbesondere im Hippocampus einhergeht, entgegengewirkt werden kann. Limitiert wurde die Studie durch eine geringe Fallzahl und fehlende aktive Kontrollen. Die vorliegende Studie zeigt, dass sich eine solche hippocampale Zunahme nach Yoga nicht auf eine ältere Generation beschränkt, sondern auch bei einem jungen Kollektiv (durchschnittliches Alter: 22,3 Jahre) stattfindet. Dies findet ebenso bei Villemure et al. [205] in seiner Querschnittsstudie Bestätigung (durchschnittliches Alter: 37,0 Jahre). Bemerkenswert ist, dass im Unterschied zur Studie von Hariprasad et al. [85] in der vorliegenden Studie eine deutlich geringere Häufigkeit und Dauer der Intervention (75 Minuten, einmal pro Woche, über 10 Wochen) zur Anwendung kam und dennoch ein Effekt auf den Hippocampus nachgewiesen werden konnte. Dass eine vergleichbar geringe Anzahl an Yogainterventionen zu Hirnveränderungen führt, ergibt sich auch aus anderen Studien, die strukturelle Hirnveränderungen schon bei kurzer und niederfrequenter Anwendung nachgewiesen haben. So wurde eine hippocampale Dichtezunahme von Hölzel et al. [92] nach einer 8 wöchigen MBSR-Intervention von wöchentlich je 2,5 Stunden und einer einzigen ganztägigen Unterweisung beschrieben. Villemure et al. [205] konnten des Weiteren nachweisen, dass die strukturellen Hippocampusveränderungen mit der Häufigkeit der wöchentlichen Yogapraxis korrelierten. Da in der vorliegenden Studie nur eine vergleichsweise geringe Intensität mit 75 Minuten pro Woche zur Anwendung kam, könnte dies erklären, warum hier nur im rechten Hippocampus und nicht in beiden Hippocampi, wie in obiger Studie, eine Volumenzunahme gezeigt werden konnte. Nach der Yogaintervention fielen neben der signifikanten hippocampalen Dichtezunahme, auch signifikante Dichtezunahmen im superioren Orbitalgyrus (Teil des präfrontalen Kortex), in beiden superioren Temporalgyri und

im Brodmann Areal 44 (Teil des präfrontalen Kortex) sowie Dichteabnahmen in beiden Insulae auf. Ein Anstieg an GM im inferioren Parietalgyrus war ebenfalls zu sehen, signifikant fiel dieser jedoch nicht aus. Da die signifikanten Veränderungen im Gruppenvergleich keinen Bestand gegen die Kontrollgruppen hatten, wurde ein yogaspezifischer Effekt ausgeschlossen. Gerade diese Areale wurden jedoch auch bei Villemure et al. [204] nach langjähriger Yogapraxis im Vergleich zu nicht Yogapraktizierenden beschrieben, sodass ein fehlender signifikanter yogaspezifischer Nachweis möglicherweise auf die vergleichsweise geringe Interventionsintensität zurückzuführen ist .

Die oben genannten zusätzlichen Areale, und im Besonderen jene im Präfrontalen Kortex und in der Insula, fallen in diversen Studien als meditationsbezogene signifikante Cluster auf [20]. Dies unterstützt die Vermutung, dass die Veränderungen trotz fehlendem Nachweis einer eindeutigen Gruppenspezifität dennoch aufgrund der Yogapraxis entstanden sind.

Neben dem Hippocampus passen der präfrontale Kortex, die Temporalgyri und der Inferiore Parietalkortex darüber hinaus gut in das Modell des Default Mode Networks (siehe Kapitel 2.5). Auch wenn in der vorliegenden Studie keine funktionelle Messung stattfand, kann aus der yogabezogenen signifikante strukturellen GM-Dichtezunahme in den oben genannten Arealen eine Miteinflussnahme von Yoga auf das DMN vermutet werden. Ähnliche Folgestudien mit zusätzlicher funktioneller Messung sowie mit längerem oder intensiverem Training könnten in Zukunft Aufschluss geben, ob sich diese Areale schließlich auch gegen Kontrollgruppen als yogaspezifisch hervortun. Andererseits ist zu diskutieren, ob der Effekt sich nicht doch auf lediglich den Hippocampus beschränkt. Driemeyer et al. [51] gehen davon aus, dass die maximale Veränderung zum Zeitpunkt des Erlernens neuer Fähigkeiten besteht.

Da der Effekt des Weiteren nicht nur gegen die passive wie bei Hariprasad et al. [85], sondern auch gegen die aktive Kontrollgruppe bestand hatte, ist davon auszugehen, dass die Dichtezunahme im Hippocampus nicht durch bloße Kräftigungs- und Dehnübungen, zustande gekommen ist, sondern dass speziell die yogatypischen Elemente wie Meditation, Entspannungs- und Atemübungen für den Effekt mitverantwortlich waren [45]. Welches Element im Hatha Yoga den strukturellen Effekt am stärksten beeinflusst hat, kann über diese Studie jedoch nicht konkret beantwortet werden.

Bei den Kräftigungs- und Dehnübungen handelt es sich größtenteils um anaerobe Übungen. Die Unterscheidung zwischen aeroben und anaeroben Übungen könnte durchaus relevant für den Effekt auf den Hippocampus sein: Dehn- und statische Kräftigungsübungen ergaben im Vergleich zu aeroben Ausdauertraining keine signifikanten strukturellen Änderungen im Hippocampus [57]. Eine Mäuse-Studie zeigte ebenfalls nach mäßigen aeroben Ausdauertraining eine Volumenzunahme im Hippocampus, während dies nach intensivem

anaeroben Training nicht erreicht werden konnte [200]. Das erklärt möglicherweise auch die fehlende Zunahme in der hippocampalen Dichte bei den Sport Probanden.

Im Folgenden soll nun der Hippocampus und sein möglicher Zusammenhang mit der Yogaintervention genauer betrachtet und diskutiert werden: Zunächst einmal scheint der Hippocampus bei der rationalen Bewertung von Situationen eine tragende Rolle zu spielen [53,55]. Die nüchterne Beobachtung des aktuellen Moments stellt einen Aspekt des meditativen Elements im Hatha Yoga dar. Die regelmäßige Übung einer solchen Haltung mag zu der Dichtezunahme im Hippocampus beigetragen haben. Diese These wird durch verschiedene theoretische Modelle [39,61,63] bezüglich der Wirkungsweise von Yoga unterstützt und ebenfalls in einigen Studien zu Meditation und MBSR diskutiert [20,92,115,121].

Des Weiteren stellt die meditative Übung im Yoga eine erhebliche kognitive Anforderung an die Probanden dar. Der positive Zusammenhang zwischen kognitiver Leistungsminderung und hippocampaler struktureller Abnahme [89,177], lässt vermuten, dass die kognitiven Anforderungen im Rahmen der Meditation die bei uns gezeigte Zunahme im Hippocampus verursacht haben könnte. Auch der Nachweis vieler anderer Meditations- und achtsamkeitsbasierter Interventionsstudien bezüglich einer strukturellen Zunahme des Hippocampus unterstreicht die Annahme, wie wichtig der meditative Aspekt für den strukturellen Effekt durch Hatha Yoga zu sein scheint [92,115,120]. So beschreiben Hölzel et al. [92] zum Beispiel eine Dichtezunahme der Grauen Substanz im Hippocampus nach einem 8-wöchigen MBSR Training. Bei MBSR handelt es sich dabei um ein Training, das der vorliegenden Hatha Yogaintervention sehr ähnlich ist. Der Fokus wird jedoch vor allem auf Achtsamkeits- und Entspannungsübungen gelegt, mit weniger Betonung auf die Hatha Yoga spezifischen Körperübungen. Darüber hinaus konnte eine fMRI Studie über Kundalini Yoga, was ein stark meditativ basiertes Yoga darstellt, bei Probanden mit kurzzeitiger Yoga Erfahrung (weniger als 2 Jahre) die meiste Aktivierung in bilateralen Hippocampus- und Parahippocampusformationen nachweisen. Die Autoren schlossen daraus, dass auch nach moderater Meditationspraxis und auch durch unterschiedliche Meditations- und Entspannungsmethoden der Hippocampus aktiviert wird [54]. Zusammengefasst kann postuliert werden, dass sowohl das kognitive Training beim Erlernen neuer Fähigkeiten und Techniken als auch die Übung der Konzentration während der Yoga Übungen zur Dichtezunahme im Hippocampus beigetragen haben können.

Da der Hippocampus bekannt für seine wesentlichen Aufgaben bei der Langzeitgedächtniskonsolidierung [191] sowie bei Lernvorgängen [50] ist, wird durch die hippocampale strukturelle Zunahme nach der Yogaintervention der postulierte Zusammenhang zwischen der Yogapraxis und Verbesserungen des Arbeitsgedächtnisses [73,74] darüber hinaus nun auch aus neuronaler Sicht unterstützt [75].

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass gerade der rechtseitige Hippocampus mit räumlicher Orientierung [24] und Konsolidierung von Motorsequenzen [3] in Verbindung steht, können die Gleichgewichtsübungen, die einen elementaren Bestandteil der Yogaübungen darstellen, ebenfalls als Ursache für den Effekt im Hippocampus diskutiert werden. So konnten mehrere Studien nach Interventionen zum Gleichgewicht eine strukturelle Zunahme des Hippocampus nachweisen [94,144,171,180]. Exemplarisch sei eine aktuelle Arbeit von Rehfeld et al. [171] genannt, die in einer longitudinalen Studie eine Tanzintervention mit einer aeroben Sportintervention über 18 Monate hinweg verglichen. Während man in beiden Gruppen eine Volumenzunahme im linken Hippocampus fand, wurden nur in der Tanzgruppe signifikant bessere Gleichgewicht-Scores sowie eine zusätzlich im rechten Hippocampus aufgetretene Volumenzunahme festgestellt. Kritisch anzumerken ist, dass andere Studien zum Gleichgewicht nicht nur im rechten, sondern auch in beiden oder auch nur im linken Hippocampus eine Zunahme gefunden haben [94,144,171,180]. Niemann et al. [144] fand zum Beispiel einen Unterschied zwischen den Auswirkungen einer aeroben Intervention und eines Koordinierungstrainings. Dabei ergab sich nach 12 Monaten Ausdauertraining eine Volumenzunahme in beiden Hippocampi (links>rechts), beim Koordinationstraining war dies nur im rechten Hippocampus nachweisbar. In einer anderen Studie ergab sich nach einem Ausdauertraining eine Dichtezunahme in beiden Hippocampi [57]. Betrachtet man die Ergebnisse der Yoga- und Mind-Body-Studien, so zeigt sich ein ähnliches inhomogenes Bild bezüglich der betroffenen Hemisphären. Bei Hariprasad et al. [85] zum Beispiel waren beide Hippocampi betroffen, bei Hölzel et al. [92] nur der linke. Das Ergebnis speziell im rechten Hippocampus lässt die Schlussfolgerung zu, dass bei der Hatha Yogaintervention das Gleichgewicht und die räumliche Orientierung im Besonderen geschult werden konnten.

Auch die bewusst durchgeführten atemsynchronen Körperübungen (Asanas) sowie die speziellen Atemtechniken (Pranayama) passen in das Bild der möglichen Ursachen für die hippocampale Dichtezunahme in der Yogagruppe: In der Hatha Yoga Intervention wurde insbesondere auf die Übung einer Verlängerung bzw. Vertiefung der In- und Expiration Wert gelegt. Außerdem wurde stets auf die Durchführung einer Nasenatmung hingewiesen. Dass dies bezüglich des Hippocampus eine Rolle spielen kann, deuten die Studienergebnisse von Zelano et al. [215] hin. Sie fanden eine Aktivierung des Hippocampus nur für die Nasenatmung, jedoch nicht bei der Mundatmung. Auch Harper et al. [86] postulierten nach seinen Studienergebnissen, dass der Hippocampus direkt an der Atemregulation beteiligt sei. Liu et al. [118] fanden darüber hinaus, dass kognitive Funktionen direkt durch den Atemrhythmus beeinflusst werden. Es ist zudem bekannt, dass die Atemfrequenz mit negativen und positiven Emotionen in Wechselwirkung steht [127,169]. Der Hippocampus mit seinen Funktionen in kognitiven Verarbeitungsprozessen und als Teil des limbischen Systems mit Aufgaben wie der emotionalen Regulierung fügt sich hier gut in das Bild ein. Darüber hinaus wurde in

vorliegender Studie eine Veränderung im ventralen Anteil des Hippocampus nachgewiesen. Dieser ist Teil des limbischen Systems, von dem angenommen wird, dass er die Aktivitäten von Zellen in der ventrolateralen Medulla, welche mit Atmung in Zusammenhang stehen, moduliert [112]. Diese Verbindung mit der Medulla oblongata passt ebenfalls zu den Befunden, nach denen verlängerte bzw. vertiefte Atemzüge mit Veränderungen des Blutdrucks und der Herzfrequenz korrelierten [1,194]. Die in dieser Studie gezeigte signifikante Blutdruckreduktion nach der Yoga Intervention unterstützt schließlich das Postulat, dass über die Atemübungen im Yoga neben der Dichtezunahme im Hippocampus auch Schaltkreise zwischen Neuronen des ventralen Hippocampus und der Hirnstammkerne beeinflusst werden [1]. Darüber hinaus wird in der Hatha Yogaintervention durch die Kapalabhati-Atmung eine kontrollierte Hyperventilation durchgeführt. Durch die dadurch bedingte Hypokapnie kommt es vermutlich zu einer Gefäßengstellung im Gehirn, was vermutlich zu einer kurz andauernden relativen Hypoxie führt [21]. Bousama et al. [21] postulierten in ihrer Arbeit, dass intermittierende Hypoxie der Schlüsselfaktor für eine Neurogenese-Modulation im Hippocampus sein könnte. Sie vermuteten, dass die Aktivierung der Neurogenese eine Reaktion gegen den durch die Hypoxie ausgelösten neuronalen Verlust darstellt und relative Hypoxie dadurch einen neuroprotektiven Mechanismus darstellt [44,127,125].

Des Weiteren wurde in einigen Studien der Zusammenhang zwischen einem kleineren hippocampalen Volumen und erhöhtem Stress postuliert [56,114,137]. Stressreduktion hingegen scheint mit einer erhöhten GM-Dichte des Hippocampus [92] wie auch mit erhöhten BDNF Spiegel [189] zu korrelieren. Bei BDNF handelt es sich dabei um einen neurotrophen Faktor [18], der als Mediator für die Neurogenese im dentalen Gyrus fungiert [213]. Ein nach Yogapraxis gemessener Anstieg neurotropher Faktoren, einschließlich BDNF, wurde bereits beschrieben [27,168]. Da sich beim Hatha Yoga nicht um ein aerobes Training handelt, welche nachweislich den BDNF-Spiegel erhöhen kann [57,99,123], wird vermutet, dass yogaspezifische Elemente wie spezielle Atmung, Entspannung und mentales Training eine entscheidende Rolle bei der Modulation von neuroprotektiven Faktoren spielen und verantwortlich für den strukturellen Effekt auf den Hippocampus sind. Während Hölzel et al. [92] zwar eine Korrelation von erhöhtem Stressempfinden mit strukturellen Veränderungen in der Amygdala nachwies, galt dieser Zusammenhang nicht für die zudem festgestellte strukturelle Zunahme im Hippocampus. Boccia et al. [20] unterstützen jedoch in ihrer Meta-Analyse das Postulat, nach dem die Dichtezunahme der Grauen Substanz im Hippocampus zusammen mit der signifikanten Blutdrucksenkung als indirekter Indikator auf eine interventionsbedingte Stressreduktion als ein strukturelles Korrelat einer sowohl neuroprotektiven als auch stressreduzierenden Wirkung durch Yoga gesehen werden kann.

5.6.4 Korrelation der vegetativen mit den strukturellen Veränderungen

Zur Klärung möglicher neuronaler Zusammenhänge zwischen den signifikanten strukturellen Dichteveränderungen und der Blutdruckveränderung wurden Korrelationsanalysen durchgeführt. Hier konnte eine signifikante positive Korrelation zwischen der diastolischen Blutdrucksenkung und den insulären GM-Dichteabnahmen gezeigt werden.

Die strukturelle GM-Dichteabnahme in den beiden Insulae war nicht nur in der Yogagruppe, sondern auch in der passiven Kontrollgruppe nachzuweisen, weshalb ein yogaspezifischer Effekt prinzipiell ausgeschlossen wurde. Da jedoch die yogaspezifische Blutdruckreduktion eine Korrelation mit der in der Yogagruppe gezeigten signifikanten GM-Dichteabnahmen zeigten, ist ein yogabedingter Effekt hier nicht ausgeschlossen. Wie im vorherigen Kapitel 5.6.3 diskutiert, ist es unter Hinzuziehung bisheriger Studien, die einen Effekt auf die Insula nach Yoga oder Meditation nachweisen konnten, möglich, dass sich nach erhöhter Frequenz und/oder Interventionszeit ein gruppen- bzw. yogaspezifisches Ergebnis herausgestellt hätte.

Der insuläre Kortex ist schon seit längerem bekannt für seine herausragende, enge Konnektivität mit dem limbischen und autonomen System [109,150]. Emotionale sowie externe und interne sensorische Informationen und Reize, eingeschlossen der vegetativen Reaktionen auf solche Stimuli, werden unter Hinzuziehung insbesondere auch der infralimbischer Areale, wie die Amygdala oder der Hippocampus, über diverse afferente und efferente Projektionen [8,142,214] gemessen, bewertet und in physiologische Antworten übersetzt [149,151]. Vegetative Prozesse wie die des kardiovaskulären Systems werden hier neuronal moduliert [17,95,128]. Dabei ist die Insula in der Aufrechterhaltung und Regulation insbesondere der Herzfrequenz und des Blutdrucks entscheidend involviert [142] und unterstützt damit den vorliegenden signifikanten Zusammenhang zwischen der Blutdruckreduktion und der Insula Veränderung.

Eine direkte Korrelation zwischen der Blutdruckreduktion mit der hippocampalen Dichtezunahme konnte nicht nachgewiesen werden. Dennoch ist zu überlegen, ob über die beschriebene enge Verbindung zwischen Insula und Hippocampus nicht ein indirekter Zusammenhang zwischen stressbedingter Blutdruckreduktion und struktureller insulärer und hippocampaler Veränderung besteht. Es wird davon ausgegangen, Stress führe zu einer Dysregulation des autonomen Nervensystems, indem es den „Pathway“ zwischen insulärem Kortex und dem restlichen limbischen System stört oder unterbricht [117]. Im Umkehrschluss könnte die stressreduzierende Wirkung durch Yoga diesen „Pathway“ und damit auch die vegetative Modulation stärken [117]. Darüber hinaus ist ein direkter yogabedingter Effekt auf die Insula möglich: Villemure et al. [204] beschrieben einen positiven Zusammenhang des insulären Volumens mit einer erhöhten Schmerzresistenz bei Personen, die über einen langen Zeitraum Yoga praktizierten im Vergleich zu einer naiven Kontrollgruppe [204]. Eine Erhöhung der Schmerzresistenz kann im Yoga u.a. über meditativ durchgeführte Dehn- und

Halteübungen erreicht werden [204]. In der Insula werden ununterbrochen Stimuli im gesamten Körper verarbeitet, woraus schließlich ein subjektives Empfinden generiert wird [37]. Im Rahmen meditativer Übungen versucht man sich sowohl aller externer als auch interner Reize und Stimuli, als auch aufkommender Gedanken und Gefühle bewusst zu werden und gleichwohl in einer entspannten und ruhigen Haltung zu verweilen. Ein daraus folgender struktureller Effekt auf die Insula wurde bereits in mehreren Studien beschrieben [20,60].

Die bewusste Regulation der Atmung hin zu einer vermehrt ausgeglichenen, ruhigeren und tieferen Atmung unterstützt die Praxis der Achtsamkeitsübung. Studien konnten aufzeigen, dass die Insula an der Modulation der Atmung über diverse kortikale Projektionen beteiligt ist [58], sodass ein Einfluss von Yoga auf die Insula auch dahingehend nicht überraschend ist. Interessant wäre es herauszufinden, welche Stellung die Bewusstwerdung der Reize und des Atems für einen Effekt auf die Insula einnimmt. Reicht es aus, Yogastellungen einzunehmen und reguliert zu atmen oder muss man sich dessen bewusst sein bzw. Achtsamkeit üben, um einen Effekt zu erzielen? Da die aktive Kontrollgruppe keinen Effekt auf die Insula oder den Blutdruck zeigte und auch die Studienlage bisher nur sporadisch von einem Effekt auf die Insula durch rein sportliche Übungen berichtet [16], ist die Wichtigkeit des Achtsamkeitstraining für einen Effekt auf die Insula und damit auf ein vegetatives, emotionales und kognitives Kontrollzentrum durchaus möglich. Diese Vermutung werden durch Okon-Singer et al. unterstützt [146]. Funktionelle MRI Studien zu dem Thema könnten hier zukünftig weiterhelfen.

Warum in vorliegender Studie die diastolische, jedoch nicht die systolische Blutdruckreduktion mit dem insulären Kortex korrelierte, ist aktuell aufgrund fehlender Diskussionsgrundlage nicht erklärbar, denn die bisherige Literatur gibt lediglich über allgemeine Blutdruckveränderungen in diesem Zusammenhang Auskunft [109, 128, 142].

Betrachtet man des Weiteren die Befunde der bisherigen Studien, stößt man auf ein kontroverses Verhalten der beiden Insulae. Während die rechte Insula mit einer Erhöhung des Blutdrucks in Zusammenhang zu stehen scheint, scheint die linke mit dem gegenteiligen Effekt assoziiert zu sein [140,148]. In dem vorliegenden Fall war in der linken Insula eine etwas vermehrte GM-Dichteabnahme im Vergleich zur rechten nachzuweisen, doch zeigten beide - strukturell gesehen- insgesamt ein ähnliches, gleichgerichtetes Verhalten. Im Gegensatz zu den Befunden der vorliegenden Arbeit dokumentierten Schaare et al. [178] in ihrer strukturellen cMRT Studie des Weiteren eine insuläre Volumenabnahme mit einem korrelierenden erhöhten Blutdruck. Es ist zu diskutieren, ob die Ursache für die fehlende strukturelle Übereinstimmung der vorliegenden Ergebnisse mit der oben genannten Studie unter anderem an dem unterschiedlichen Probandenkollektiv liegen könnte. In der vorliegenden Studie wurden gesunde normotensive Probanden untersucht. Möglicherweise laufen neuronale strukturelle Umbauprozesse bei Gesunden unterschiedlich ab. In den bisherigen Meditations- und

Yogastudien war des Weiteren von insulären Volumenzunahmen die Rede [20,60,204], welche dem Effekt der Meditation bzw. dem Yoga zugesprochen wurden. Dabei ist anzumerken, dass diese Kohortenanalysen stets langjährige Praktizierende untersucht hatten. Es ist weiterhin zu überlegen, ob die Ursache für ein solch unterschiedliches strukturelles Verhalten möglicherweise individuell unterschiedlichen strukturellen Ausgangswerten zu Grunde liegt. Es wäre möglich, dass die Baseline der Probanden dieser Studie im Vergleich zu anderen Studien von vornherein unterschiedlich war und im Rahmen der strukturellen Regulationsprozesse auf eine allgemeine Norm der Dichte bzw. des Volumens ausgeglichen wurde. Aufgrund fehlender Baseline-Vergleichswerte kann dies aktuell nicht kontrolliert werden und sollte deshalb durchaus in weiteren Forschungsarbeiten zu diesem Thema miteinbezogen werden.

Zusammenfassend findet sich in der Korrelation der Blutdrucksenkung mit der insulären Dichteveränderung ein bereits von vielen Studien unterstütztes neuronales Korrelat dessen, wie Yoga auf ZNS Ebene in emotionale, kognitive und vegetative Regulationsprozesse eingreift. Da hier keine eindeutig yogaspezifische insuläre Veränderung nachgewiesen werden konnte und auch nur ein schwaches Korrelat detektiert werden konnte, sollten die Überlegungen in Folgestudien überprüft werden und stehen bis dahin unter Vorbehalt.

5.7 Klinischer Beitrag

Verschiedene neurodegenerative Erkrankungen wie die Alzheimer-Krankheit [31] und neuropsychiatrische Erkrankungen wie Depression [211,216], Angststörung [138], posttraumatische Belastungsstörung [133] und Schizophrenie [188] führen zu einer strukturellen Abnahme des Hippocampus. Mehrere Studien haben in diesem Zusammenhang auf den positiven Einfluss von Hatha Yoga auf Symptome bei neurologischen Erkrankungen hingewiesen [10,48,111,192]. Bei Patienten nach medikamentöser Therapie [28], psychotherapeutischer Behandlung [26] oder anderen therapeutischen Interventionen [66] wurde über eine Zunahme der Dichte und des Volumens des Hippocampus berichtet. Gerade bei den oben beschriebenen Erkrankungen spielt der Stressfaktor eine besondere Rolle. Die Dichtezunahme des Hippocampus als morphologisches Korrelat für Stressreduktion einerseits und Verbesserung in Richtung emotionaler Regulierung und Kognition andererseits unterstützt den Einsatz stressreduzierender Maßnahmen bei der Therapie vieler stressassoziierter Erkrankungen [205]. Darüber hinaus wurde der blutdruckreduzierende Effekt durch Yoga in dieser Arbeit abermals wie in vielen anderen Studien [82,197] bestätigt. Da es sich hier um gesunde normotensive Probanden handelte, ist eine insgesamt blutdruckregulierende Wirkung durch Yoga am ehesten wahrscheinlich. Der Zusammenhang der insulären strukturellen Veränderungen mit der yogabedingten Blutdruckreduktion bekräftigt den häufig postulierten regulatorischen Effekt von Yoga auf das vegetative Nervensystem [193] und zeigt

nun damit zum ersten Mal einen strukturellen neuronalen Wirkmechanismus auf. Der komplementäre Einsatz von Yoga bei Erkrankungen, bei denen eine vegetative Dysregulation eine Rolle spielt [142], wie arterielle Hypertonie, kann demnach empfohlen werden. Spannend bleibt, inwiefern der Faktor Achtsamkeit eine tragende Rolle im Einfluss auf die Insula und damit auch auf das vegetative Nervensystem einnimmt.

5.8 Gruppenunterschied in den strukturellen Prämessungen

Im Rahmen der Analysen, welche auf die Verifizierung bzw. Ablehnung der oben beschriebenen Hypothese abzielten, kam es zu Auffälligkeiten bezüglich der cMRT-Prädaten: Bereits vor Beginn der Intervention zeigten diejenigen, die sich für das Yogatraining entschieden hatten, im Vergleich zu beiden Kontrollgruppen signifikant niedrigere GM-Dichte Werte im rechten Hippocampus, im rechten Brodmann-Areal 44 (Teil des Präfrontalen Kortex), im linken inferioren Parietalkortex und in beiden STS und Insula Regionen (vgl. Abbildung 7-22). Der linke superiore Orbitalgyrus war davon ausgenommen. Dieser Befund zeigte sich in allen beiden Kohorten, d.h. sowohl für Probanden im Winter- als auch im Sommersemester, gleichermaßen und unabhängig voneinander. Er war demnach reproduzierbar, was einen Zufallsbefund sehr unwahrscheinlich macht. Dieser Dichteunterschied zu Beginn der Interventionen betraf nur die einzelnen genannten Regionen, nicht aber das gesamte Gehirn. Die weiteren Analysen ergaben sogar eine insgesamt etwas höhere Dichte aller drei Kompartimente in der Yogagruppe im Vergleich zur Sportgruppe. Die passive Gruppe hatte hingegen eine signifikant höhere Gesamtdichte im Vergleich zur Yoga- und Sportgruppe (vgl. Abbildung 23). Diese Verteilungskonstellation der gesamten Hirnsubstanz erklärt sich durch eine starke Korrelation zwischen der Gesamtdichte mit der Körpergröße und dem Geschlecht der Probanden. Eine geschlechts- und größenabhängige Korrelation mit dem Gesamtgehirnvolumen wurde bereits in anderen Studien beschrieben und überrascht daher nicht [104,172]. Der geschlechts- und größenbedingte Unterschied galt jedoch nicht für die Ausgangswerte des Hippocampus, und der anderen genannten einzelnen Areale. Denn in diesen hatten die Frauen dominante Sportgruppe und die Männer dominante passive Kontrollgruppe sehr ähnliche Ausgangsdichtewerte. Die signifikant niedrigeren Dichtewerte in der Yogagruppe können so schwerlich durch das Geschlecht oder die Größe erklärt werden. Aus den soziodemographischen Daten ist zu ersehen, dass eine Homogenität bezüglich Alter, Profession, Gesundheitszustand und studentischem Alltagsablauf in allen drei Gruppen bestand. Hieraus ergibt sich also ebenso keine richtungsweisende Erklärung, warum sich die Yogaprobanden schon von zu Beginn an von den Sportprobanden und der passiven Kontrolle unterschieden.

Welche inneren oder äußeren Einflüsse letztlich zur Entscheidung der Gruppenzugehörigkeit führten, kann an dieser Stelle nur hypothetisch behandelt werden, da das Studiendesign

ursprünglich für eine andere Fragestellung ausgelegt war: Kanai et al. [104] postulierten in ihrer Studie, dass sich bestimmte Eigenschaften wie Kognition, Intelligenz, Verhalten, Lernfähigkeit oder Persönlichkeitsmerkmale über die lokale Struktur der grauen und weißen Substanz vorhersagen lassen. Ein neuronales Korrelat für die Neigung zu Yoga bzw. Yoga verwandten Themen wurde bisher nicht untersucht, könnte aber in Zukunft ein Thema weiterer Forschungsarbeiten sein. Bereits in alten Yogaschriften [159] sind Aussagen über Charaktertypen mit einer speziellen Neigung zu einer Meditationspraxis zu finden. Hierhin werden die Menschen in drei verschiedene Charaktertypen eingeteilt. In die sogenannten Gunas „tamas“ „sattva“ „rajas“ Typen. Der Sattva Typ hat demnach eine Persönlichkeit mit einem besonderen Interesse an Spiritualität, Meditation bzw. Yoga. 2018 wurde eine Studie mit dem Thema: „Yoga in Zahlen“ an 2000 Männern und Frauen über 14 Jahre durchgeführt [68]. Als Grund für das Interesse an Yoga gaben dabei 66% der Teilnehmer den Wunsch nach Verbesserung des körperlichen Befindens an, 64% strebten nach einer Verbesserung des geistigen bzw. psychischen Befindens. Für 58% war die Steigerung der körperlichen und für 53% der geistigen Leistungsfähigkeit am wichtigsten [68]. In dieser Studie zeigten speziell bestimmte Personengruppen (in Partnerschaft und mit Kindern Zusammenlebende, Selbstständige und Beamte) das körperliche Wohlempfinden als Motivation für eine Yogapraxis. In persönlichen Gesprächen über die Motivation der Probanden am Yoga Unterricht teilzunehmen, ergaben sich vornehmlich folgende Aspekte: Die einen versprachen sich vom Yoga einen sowohl für den Körper als auch für die Psyche entspannungsfördernden Effekt, die anderen interessierten sich vermehrt für Meditation und wieder andere für die ganzheitliche Herangehensweise beim Yoga. Yoga erschien hingegen denjenigen, die sich für die Sportgruppe entschieden hatten, meist zu langweilig, zu esoterisch oder zu wenig „auspowernd“. Sie sprachen nicht vom Wunsch nach Entspannung, sondern allenfalls vom Ausgleich und mehr Fitness oder dem Wunsch kräftig und schlank zu werden. Diese Gespräche wurden nicht über validierte Fragebögen erfasst, weshalb sie hier nur unter Vorbehalt berücksichtigt werden können.

Da in dieser Studie nicht funktionelle, sondern neuronale Strukturen untersucht wurden, ist es wahrscheinlich, dass die strukturellen Eigenheiten der Yogaprobanden über einen längeren Zeitraum hinweg entstanden sind. So könnten die beschriebenen auffällig gewordenen Cluster das neuronale Korrelat für bereits lang bestehende oder möglicherweise auch angeborene Neigungen aufzeigen. Eine kürzlich durchgeführten fMRI-Studie beschrieb in dem Zusammenhang einen strukturellen Phänotyp, der für individuelle Unterschiede in der Blutdruckreaktivität verantwortlich zu sein scheint [70]. Der Hippocampus im Besonderen sei zudem sehr anfällig für Stress [107]. Grigoryan et al. [80] zeigten, dass ein pränatales geringes Hippocampus Volumen die persönliche Stresstendenz prognostizieren könne. In einer anderen monozygoten Zwillingsstudie wurde vorgeschlagen, dass ein reduziertes

Hippocampusvolumen ein prädisponierender Faktor für die Entwicklung einer PTSD nach einem Trauma sei [71]. Da die Yogagruppe genauso wie die Kontrollgruppen aus gesunden jungen Menschen bestanden, wird es als unwahrscheinlich angesehen, dass diese lokalen strukturellen Unterschiede einem bestehenden pathologischen Korrelat entsprachen.

Die Baseline der GM-Dichte war des Weiteren nicht nur im Hippocampus auffällig unterschiedlich. Auch in anderen Arealen (u.a. Temporalgyri, BA 44 als Teil des präfrontalen Kortex und der inferiorere Parietalgyrus), die zusammengenommen im Default Mode Network eine entscheidende Rolle spielen, waren die Gruppenunterschiede sichtbar. Das Default Mode Network scheint einerseits zwar für generelle Verarbeitungsprozesse wichtig zu sein, andererseits steht eine Überaktivität jedoch auch mit negativem Stress und verminderter Kontrolle kognitiver und emotionaler Regulationsmechanismen in Verbindung (siehe Kapitel 2.5). Zukünftige fMRT Studien in Kombination mit strukturellen Messungen könnten hier mögliche kausale Zusammenhänge aufzeigen und gegebenenfalls weitere Erklärungsansätze für die unterschiedlichen Baseline Daten bieten.

Insgesamt kann schließlich unter Hinzuziehung der aktuellen Studienlage ein denkbarer Erklärungsansatz darin bestehen, dass die Probanden, die sich für die Yogagruppe entschieden hatten, besonders sensibel und/oder stresssensitiv waren, und möglicherweise deswegen die Yogaintervention als Entspannung versprechende Interventionsmethode wählten.

6. Limitationen

- Eine Randomisierung fand aufgrund der Selbstzuordnung eines jeden Probanden zu den drei verschiedenen Gruppen nicht statt. Einzelne Faktoren (z.B. Alter, Geschlecht, Körpergröße, Beruf) spielten jedoch bei den gepaarten Tests, die in der Längsschnittstudie durchgeführt wurden, keine wesentliche Rolle, da nur die relativen Unterschiede analysiert wurden.
- Die Interpretation der Kohortenanalyse betraf dagegen die absoluten Prä-Daten. Die Wiederholbarkeit der Ergebnisse der Kohortenanalyse, also der präexistentiellen strukturellen Unterschiede, spricht dabei gegen einen Zufallsbefund. Dennoch muss angemerkt werden, dass die Untersuchungsmethode für diesen Fall nicht ausgelegt worden war. Folglich müssen die Ergebnisse, die sich auf die Prä-Daten beziehen, mit Sorgfalt genossen werden. Eine Wiederholung der Studie sollte insbesondere unter Berücksichtigung des Einhaltens homogener und gematchter Gruppen durchgeführt werden.
- Die Studie konnte aus methodischen Gründen nicht Doppelblind durchgeführt werden, da jeder Proband wusste, welcher Gruppe er zugeteilt war. Dies ist bei einer solchen Interventionsstudie nicht vermeidbar.

- Die Blutdruck- und Pulsmessung fand insgesamt nur zwei Mal statt, dies jedoch zur ähnlichen Tageszeit und unter ähnlichen Bedingungen. Häufigere Messungen wären noch aussagekräftiger gewesen.
- Mit dem Studiendesign konnte lediglich ein genereller Effekt von Yoga im Vergleich zu einer vornehmlich anaeroben Gymnastik- und Fitness orientierten Sportart aufgezeigt werden. Die Hinzuziehung weiterer Kontrollen, bei denen z.B. Sitzmeditation oder Thai Chi durchgeführt wird, könnte zur Spezifizierung des Yogaeffekts hilfreich sein.

7. Schlussfolgerung und Ausblick

In der vorliegenden Studie konnte durch ein 10-wöchiges jeweils 75-minütiges Hatha Yoga Training im rechten Hippocampus eine signifikante Dichtezunahme im Vergleich zu einer aktiven und passiven Kontrollgruppe nachgewiesen werden. Dieses Ergebnis stimmt mit den in der Literatur bisher beschriebenen Veränderungen nach einer Yogaintervention überein. Die Dichtezunahme im Hippocampus wird als strukturelles Korrelat für die schon viel beschriebenen yogabedingten Verbesserung im Bereich von Kognition, Gedächtnis, Emotions- und Stressregulation gesehen. Das neuronale Korrelat einer yogabedingten Stressreduktion wird durch das Ergebnis einer signifikanten Blutdrucksenkung in der Yogagruppe im Vergleich zu beiden Kontrollgruppen als indirekter Indikator für Stressempfinden unterstützt. Darüber hinaus unterstützt die Blutdruckreduktion nach der Yogaintervention den bereits viel beschriebenen Effekt von Yoga auf das vegetative Nervensystem. Der Nachweis einer Korrelation zwischen der Blutdruckreduktion und der insulären Veränderung gibt darüber hinaus nun zum ersten Mal einen Erklärungsansatz über diesbezügliche neuronale Wirkmechanismen von Yoga. Die Insula scheint dabei über die stetige Kalibrierung zentraler und vegetativer innerer und äußerer Reize und Antworten an der Aufrechterhaltung einer emotionalen und physiologischen Homöostase im Wesentlichen beteiligt zu sein. Die Reduktion des stets normalen Blutdrucks der Yogaprobanden beruht demnach am ehesten auf allgemeinen vegetativen Regulationsmechanismen, welche zugleich vermutlich mit einer yogainduzierten Stressreduktion bzw. einer erhöhten emotionalen Ausgeglichenheit in Verbindung stehen. Auch die Verbindung atem- und blutdruckregulatorischer Kerne im Hirnstamm mit dem ventralen Teil des Hippocampus, welcher in dieser Studie eine Veränderung zeigte, weist auf den Einfluss von Yoga auf vegetative Zentren und mögliche neuronale Wirkungsmechanismen hin. Da der strukturelle Effekt auf den Hippocampus sowie die Reduktion des Blutdrucks im Vergleich zur aktiven Kontrollgruppe bestand hatte, kann vermutet werden, dass die im Yoga zusätzlich enthaltenen spezifischen Elemente, wie das Training von Achtsamkeit, Entspannung und Atemtechniken, für die Wirkung verantwortlich waren.

Die Ergebnisse bieten insgesamt eine neuronale Erklärung für die präventive und therapeutische Wirkung von Yoga bei neurodegenerativen und neuropsychiatrischen Erkrankungen, welche sich durch ein geringes hippocampales Volumen auszeichnen. Darüber hinaus unterstützen die Befunde bezüglich des Blutdrucks einen komplementären Einsatz von Yoga bei Patienten mit arteriellem Hypertonus.

Die yoganaiven Teilnehmer wiesen des Weiteren im Vergleich zu beiden Kontrollgruppen schon vor Beginn der Intervention eine signifikant niedrigere Dichte im Hippocampus, in beiden superioren Temporalgyri, in beiden Insulae, im Präfrontalen Kortex sowie im linken inferioren Parietalkortex auf. Dieser Befund war gleichermaßen und unabhängig voneinander in beiden Kohorten festzustellen. Ein Zufallsbefund ist demnach unwahrscheinlich. Strukturelle Eigenheiten als Prädiktoren für zum Beispiel Bluthochdruck oder neuropsychiatrische Erkrankungen wurden ebenso wie der Nachweis persönlichkeitsbezogener struktureller Charakteristika in der Literatur beschrieben. Der Hippocampus im Besonderen wurde dabei vielfach bei geringem Volumen mit höherer Stressvulnerabilität assoziiert. In der vorliegenden Studie handelte es sich bei allen Teilnehmern um junge, gesunde Studenten ohne klinische Auffälligkeiten. Ein möglicher Erklärungsansatz für die hier gezeigten vorbestehenden Dichteminderungen bei den Probanden, die sich für die Yogaintervention entschieden hatten, könnte sein, dass sie sensitiver und gegenüber Stressfaktoren vulnerabler waren und deswegen unbewusst gezielt nach einem Entspannung-versprechenden Verfahren suchten. Insgesamt muss betont werden, dass die aktuelle Studie aufgrund des Designs keine adäquate Grundlage zur Klärung diesbezüglicher Unterschiede zwischen Yoga- und Kontrollprobanden bietet. Es bedarf an Wiederholungen mit entsprechendem passenden Studiendesign. Dabei könnte ein randomisiertes Vorgehen für Interventionsstudien, bei dem die Vorlieben der Probanden nicht beachtet werden, durchaus hilfreich sein.

Auch eine längere und/oder intensivere Intervention wäre erstrebenswert, um gegebenenfalls weitere Cluster nachweisen zu können, wie es in anderen Studien zu diesem Thema der Fall war. In der aktuellen Studie wurden hauptsächlich Medizinstudenten mit einem Durchschnittsalter von 22 Jahren untersucht. Meist nahmen Frauen an den Interventionsgruppen teil. Die Verallgemeinerung sollte sich daher auf diese Personengruppe beschränken. Zukünftige Studien werden erforderlich sein, um zu prüfen, ob sich die Ergebnisse auch auf andere Gruppenpopulationen hinsichtlich Alter, Beruf und Geschlecht auswirken. Die vorliegende Studie verwendete eine große Stichprobengröße, dennoch wären größere Studien erstrebenswert.

8. Literaturverzeichnis

1. Ajayi IE, Mills PC (2017) Effects of the hippocampus on the motor expression of augmented breaths. *PLoS ONE* 12(8):e0183619. doi:10.1371/journal.pone.0183619
2. Akiki T, Averill C, Wrocklage K, Scott JC, Alexander-Bloch A, Southwick S, Krystal J, Abdallah C (2017) 581. The Default Mode Network in Posttraumatic Stress Disorder (PTSD). A Data-Driven Multimodal Approach. *Biological Psychiatry* 81(10):S235. doi:10.1016/j.biopsych.2017.02.451
3. Albouy G, Sterpenich V, Balteau E, Vandewalle G, Desseilles M, Dang-Vu T, Darsaud A, Ruby P, Luppi P-H, Degueldre C, Peigneux P, Luxen A, Maquet P (2008) Both the hippocampus and striatum are involved in consolidation of motor sequence memory. *Neuron* 58(2):261–272. doi:10.1016/j.neuron.2008.02.008
4. Alshelh Z, Marciszewski KK, Akhter R, Di Pietro F, Mills EP, Vickers ER, Peck CC, Murray GM, Henderson LA (2018) Disruption of default mode network dynamics in acute and chronic pain states. *Neuroimage Clin* 17:222–231. doi:10.1016/j.nicl.2017.10.019
5. Ashburner J, Friston KJ (2000) Voxel-based morphometry—the methods. *Neuroimage* 11(6 Pt 1):805–821. doi:10.1006/nimg.2000.0582
6. Ashburner J (2007) A fast diffeomorphic image registration algorithm. *Neuroimage* 38(1):95–113. doi:10.1016/j.neuroimage.2007.07.007
7. Ashburner J, Friston KJ (2005) Unified segmentation. *Neuroimage* 26(3):839–851. doi:10.1016/j.neuroimage.2005.02.018
8. Augustine JR (1996) Circuitry and functional aspects of the insular lobe in primates including humans. *Brain Res Brain Res Rev* 22(3):229–244
9. Ayada C, Toru Ü, Korkut Y (2015) The relationship of stress and blood pressure effectors. *Hippokratia* 19(2):99–108
10. Balasubramaniam M, Telles S, Doraiswamy PM (2012) Yoga on our minds. A systematic review of yoga for neuropsychiatric disorders. *Front Psychiatry* 3:117. doi:10.3389/fpsy.2012.00117
11. Bangalore NG, Varambally S (2012) Yoga therapy for Schizophrenia. *Int J Yoga* 5(2):85–91. doi:10.4103/0973-6131.98212
12. Barth C, Steele CJ, Mueller K, Rekkas VP, Arélin K, Pampel A, Burmann I, Kratzsch J, Villringer A, Sacher J (2016) In-vivo Dynamics of the Human Hippocampus across the Menstrual Cycle. *Sci Rep* 6:32833. doi:10.1038/srep32833
13. Bear MF, Connors BW, Paradiso MA (2007) *Neuroscience. Exploring the brain*, 3. Aufl. Lippincott Williams & Wilkins, Baltimore, Md.
14. Berlucchi G, Buchtel HA (2009) Neuronal plasticity. Historical roots and evolution of meaning. *Exp Brain Res* 192(3):307–319. doi:10.1007/s00221-008-1611-6
15. Bhargava R, Gogate MG, Mascarenhas JF (1988) Autonomic responses to breath holding and its variations following pranayama. *Indian J Physiol Pharmacol* 32(4):257–264
16. Bherer L, Erickson KI, Liu-Ambrose T (2013) A review of the effects of physical activity and exercise on cognitive and brain functions in older adults. *J Aging Res* 2013:657508. doi:10.1155/2013/657508
17. Biancardi VC, Stern JE (2016) Compromised blood-brain barrier permeability. Novel mechanism by which circulating angiotensin II signals to sympathoexcitatory centres during hypertension. *J Physiol (Lond)* 594(6):1591–1600. doi:10.1113/JP271584
18. Binder DK, Scharfman HE (2004) Brain-derived neurotrophic factor. *Growth Factors* 22(3):123–131
19. Blume J von, Duran JM, Forlanelli E, Alleaume A-M, Egorov M, Polishchuk R, Molina H, Malhotra V (2009) Actin remodeling by ADF/cofilin is required for cargo sorting at the trans-Golgi network. *J Cell Biol* 187(7):1055–1069. doi:10.1083/jcb.200908040

20. Boccia M, Piccardi L, Guariglia P (2015) The Meditative Mind. A Comprehensive Meta-Analysis of MRI Studies. *Biomed Res Int* 2015:419808. doi:10.1155/2015/419808
21. Bouslama M, Adla-Biassette H, Ramanantsoa N, Bourgeois T, Bollen B, Brissaud O, Matrot B, Gressens P, Gallego J (2015) Protective effects of intermittent hypoxia on brain and memory in a mouse model of apnea of prematurity. *Front Physiol* 6:313. doi:10.3389/fphys.2015.00313
22. Broyd SJ, Demanuele C, Debener S, Helps SK, James CJ, Sonuga-Barke EJS (2009) Default-mode brain dysfunction in mental disorders. A systematic review. *Neurosci Biobehav Rev* 33(3):279–296. doi:10.1016/j.neubiorev.2008.09.002
23. Brunner D, Abramovitch A, Etherton J (2017) A yoga program for cognitive enhancement. *PLoS ONE* 12(8):e0182366. doi:10.1371/journal.pone.0182366
24. Burgess N, Maguire EA, O'Keefe J (2002) The Human Hippocampus and Spatial and Episodic Memory. *Neuron* 35(4):625–641. doi:10.1016/S0896-6273(02)00830-9
25. Büssing A, Michalsen A, Khalsa SBS, Telles S, Sherman KJ (2012) Effects of yoga on mental and physical health. A short summary of reviews. *Evid Based Complement Alternat Med* 2012:165410. doi:10.1155/2012/165410
26. Butler O, Willmund G, Gleich T, Gallinat J, Kühn S, Zimmermann P (2018) Hippocampal gray matter increases following multimodal psychological treatment for combat-related post-traumatic stress disorder. *Brain Behav* 8(5):e00956. doi:10.1002/brb3.956
27. Cahn BR, Goodman MS, Peterson CT, Maturi R, Mills PJ (2017) Yoga, Meditation and Mind-Body Health. Increased BDNF, Cortisol Awakening Response, and Altered Inflammatory Marker Expression after a 3-Month Yoga and Meditation Retreat. *Front Hum Neurosci* 11:315. doi:10.3389/fnhum.2017.00315
28. Campbell S, Macqueen G (2004) The role of the hippocampus in the pathophysiology of major depression. *J Psychiatry Neurosci* 29(6):417–426
29. Castle M, Comoli E, Loewy AD (2005) Autonomic brainstem nuclei are linked to the hippocampus. *Neuroscience* 134(2):657–669. doi:10.1016/j.neuroscience.2005.04.031
30. Cersósimo R, Flesler S, Bartuluchi M, Soprano AM, Pomata H, Caraballo R (2011) Mesial temporal lobe epilepsy with hippocampal sclerosis. Study of 42 children. *Seizure* 20(2):131–137. doi:10.1016/j.seizure.2010.11.002
31. Chappelle M, Aldebert J, Montembeault M, Brambati SM (2016) Atrophy in Alzheimer's Disease and Semantic Dementia. An ALE Meta-Analysis of Voxel-Based Morphometry Studies. *J Alzheimers Dis* 54(3):941–955. doi:10.3233/JAD-160382
32. Chong CSM, Tsunaka M, Tsang HWH, Chan EP, Cheung WM (2011) Effects of yoga on stress management in healthy adults. A systematic review. *Altern Ther Health Med* 17(1):32–38
33. Chou C-C, Huang C-J (2017) Effects of an 8-week yoga program on sustained attention and discrimination function in children with attention deficit hyperactivity disorder. *PeerJ* 5:e2883. doi:10.7717/peerj.2883
34. Cohen DL, Bloedon LT, Rothman RL, Farrar JT, Galantino ML, Volger S, Mayor C, Szapary PO, Townsend RR (2011) Iyengar Yoga versus Enhanced Usual Care on Blood Pressure in Patients with Prehypertension to Stage I Hypertension. A Randomized Controlled Trial. *Evid Based Complement Alternat Med* 2011:546428. doi:10.1093/ecam/nep130
35. Collins C (1998) Yoga. Intuition, preventive medicine, and treatment. *J Obstet Gynecol Neonatal Nurs* 27(5):563–568
36. Coupé P, Catheline G, Lanuza E, Manjón JV (2017) Towards a unified analysis of brain maturation and aging across the entire lifespan. A MRI analysis. *Hum Brain Mapp* 38(11):5501–5518. doi:10.1002/hbm.23743
37. Craig AD (2009) How do you feel — now? The anterior insula and human awareness. *Nature Reviews Neuroscience* 10:59 EP -. doi:10.1038/nrn2555

38. Cramer H (2015) Yoga in Deutschland - Ergebnisse einer national repräsentativen Umfrage. *Forsch Komplementmed* 22(5):304–310. doi:10.1159/000439468
39. Cramer H (2017) Wo und wie wirkt Yoga? – Eine wissenschaftliche Bestandsaufnahme. *Dtsch Med Wochenschr* 142(25):1925–1929. doi:10.1055/s-0043-116158
40. Cramer H, Lauche R, Langhorst J, Dobos G (2013) Yoga for depression. A systematic review and meta-analysis. *Depress Anxiety* 30(11):1068–1083. doi:10.1002/da.22166
41. Cramer H, Lauche R, Haller H, Steckhan N, Michalsen A, Dobos G (2014) Effects of yoga on cardiovascular disease risk factors. A systematic review and meta-analysis. *Int J Cardiol* 173(2):170–183. doi:10.1016/j.ijcard.2014.02.017
42. Cramer H, Lauche R, Anheyer D, Pilkington K, Manincor M de, Dobos G, Ward L (2018) Yoga for anxiety. A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Depress Anxiety* 35(9):830–843. doi:10.1002/da.22762
43. Cramer H, Anheyer D, Saha FJ, Dobos G (2018) Yoga for posttraumatic stress disorder - a systematic review and meta-analysis. *BMC Psychiatry* 18(1):72. doi:10.1186/s12888-018-1650-x
44. Critchley HD, Nicotra A, Chiesa PA, Nagai Y, Gray MA, Minati L, Bernardi L (2015) Slow breathing and hypoxic challenge. Cardiorespiratory consequences and their central neural substrates. *PLoS ONE* 10(5):e0127082. doi:10.1371/journal.pone.0127082
45. Damirchi A, Hosseini F, Babaei P (2018) Mental Training Enhances Cognitive Function and BDNF More Than Either Physical or Combined Training in Elderly Women With MCI. A Small-Scale Study. *Am J Alzheimers Dis Other Demen* 33(1):20–29. doi:10.1177/1533317517727068.
46. Desai R, Tailor A, Bhatt T (2015) Effects of yoga on brain waves and structural activation. A review. *Complement Ther Clin Pract* 21(2):112–118. doi:10.1016/j.ctcp.2015.02.002
47. Die Techniker Krankenkasse (2016) *Beweg Dich, Deutschland. TK Bewegungsstudie 2016.*
<https://www.tk.de/resource/blob/2033598/9f2d920e270b7034df3239cbf1c2a1eb/beweg-dich-deutschland-data.pdf>
48. DiStasio SA (2008) Integrating yoga into cancer care. *Clin J Oncol Nurs* 12(1):125–130. doi:10.1188/08.CJON.125-130
49. Draganski B, Gaser C, Busch V, Schuierer G, Bogdahn U, May A (2004) Neuroplasticity. Changes in grey matter induced by training. *Nature* 427(6972):311–312. doi:10.1038/427311a
50. Draganski B, Gaser C, Kempermann G, Kuhn HG, Winkler J, Büchel C, May A (2006) Temporal and spatial dynamics of brain structure changes during extensive learning. *J Neurosci* 26(23):6314–6317. doi:10.1523/JNEUROSCI.4628-05.2006
51. Driemeyer J, Boyke J, Gaser C, Büchel C, May A (2008) Changes in gray matter induced by learning--revisited. *PLoS ONE* 3(7):e2669. doi:10.1371/journal.pone.0002669
52. Du Q, Wei Z (2017) The therapeutic effects of yoga in people with dementia. A systematic review. *Int J Geriatr Psychiatry* 32(1):118. doi:10.1002/gps.4538
53. Elbrecht C (2012) *Trauma Healing at the Clay Field. A Sensorimotor Art Therapy Approach.* Jessica Kingsley Publishers, London
54. Engström M, Pihlsgård J, Lundberg P, Söderfeldt B (2010) Functional magnetic resonance imaging of hippocampal activation during silent mantra meditation. *J Altern Complement Med* 16(12):1253–1258. doi:10.1089/acm.2009.0706
55. Enkavi AZ, Weber B, Zweyer I, Wagner J, Elger CE, Weber EU, Johnson EJ (2017) Evidence for hippocampal dependence of value-based decisions. *Sci Rep* 7(1):17738. doi:10.1038/s41598-017-18015-4
56. Erickson KI, Prakash RS, Voss MW, Chaddock L, Heo S, McLaren M, Pence BD, Martin SA, Vieira VJ, Woods JA, McAuley E, Kramer AF (2010) Brain-derived neurotrophic

- factor is associated with age-related decline in hippocampal volume. *J Neurosci* 30(15):5368–5375. doi:10.1523/JNEUROSCI.6251-09.2010
57. Erickson KI, Voss MW, Prakash RS, Basak C, Szabo A, Chaddock L, Kim JS, Heo S, Alves H, White SM, Wojcicki TR, Mailey E, Vieira VJ, Martin SA, Pence BD, Woods JA, McAuley E, Kramer AF (2011) Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proc Natl Acad Sci U S A* 108(7):3017–3022. doi:10.1073/pnas.1015950108
 58. Evans KC, Dougherty DD, Schmid AM, Scannell E, McCallister A, Benson H, Dusek JA, Lazar SW (2009) Modulation of spontaneous breathing via limbic/paralimbic–bulbar circuitry. An event-related fMRI study. *Neuroimage* 47(3):961–971. doi:10.1016/j.neuroimage.2009.05.025
 59. Finger S (2001) *Origins of neuroscience. A history of explorations into brain function*, 1. Aufl. Oxford University Press paperback. Oxford Univ. Press, Oxford
 60. Fox KCR, Nijeboer S, Dixon ML, Floman JL, Ellamil M, Rumak SP, Sedlmeier P, Christoff K (2014) Is meditation associated with altered brain structure? A systematic review and meta-analysis of morphometric neuroimaging in meditation practitioners. *Neurosci Biobehav Rev* 43:48–73. doi:10.1016/j.neubiorev.2014.03.016.
 61. Froeliger BE, Garland EL, Modlin LA, McClernon FJ (2012) Neurocognitive correlates of the effects of yoga meditation practice on emotion and cognition. A pilot study. *Front Integr Neurosci* 6:48. doi:10.3389/fnint.2012.00048
 62. Gage FH (2002) Neurogenesis in the adult brain. *J Neurosci* 22(3):612–613
 63. Gard T, Noggle JJ, Park CL, Vago DR, Wilson A (2014) Potential self-regulatory mechanisms of yoga for psychological health. *Front Hum Neurosci* 8:770. doi:10.3389/fnhum.2014.00770
 64. Garrison KA, Zeffiro TA, Scheinost D, Constable RT, Brewer JA (2015) Meditation leads to reduced default mode network activity beyond an active task. *Cogn Affect Behav Neurosci* 15(3):712–720. doi:10.3758/s13415-015-0358-3
 65. Gasperin D, Netuveli G, Dias-da-Costa JS, Pattussi MP (2009) Effect of psychological stress on blood pressure increase. A meta-analysis of cohort studies. *Cad Saude Publica* 25(4):715–726
 66. Gbyl K, Videbech P (2018) Electroconvulsive therapy increases brain volume in major depression. A systematic review and meta-analysis. *Acta Psychiatr Scand* 138(3):180–195. doi:10.1111/acps.12884
 67. GfK (2014) *Yoga in Zahlen*. <https://www.yoga.de/downloads/studien/yoga-in-zahlen-2015/>
 68. GfK (2018) *Yoga in Zahlen*. https://www.yoga.de/site/assets/files/2433/bdy_yoga_in_zahlen_2018-02-09.pdf
 69. Gianaros PJ, Jennings JR, Sheu LK, Greer PJ, Kuller LH, Matthews KA (2007) Prospective reports of chronic life stress predict decreased grey matter volume in the hippocampus. *Neuroimage* 35(2):795–803. doi:10.1016/j.neuroimage.2006.10.045
 70. Gianaros PJ, Sheu LK, Uyar F, Koushik J, Jennings JR, Wager TD, Singh A, Verstynen TD (2017) A Brain Phenotype for Stressor-Evoked Blood Pressure Reactivity. *J Am Heart Assoc* 6(9). doi:10.1161/JAHA.117.006053.
 71. Gilbertson MW, Shenton ME, Ciszewski A, Kasai K, Lasko NB, Orr SP, Pitman RK (2002) Smaller hippocampal volume predicts pathologic vulnerability to psychological trauma. *Nat Neurosci* 5(11):1242–1247. doi:10.1038/nn958
 72. Gluck MA, Mercado E, Myers CE (2014) *Learning and Memory. From brain to behavior*, 2. Aufl. Worth Publ, New York, NY
 73. Gothe N, Pontifex MB, Hillman C, McAuley E (2013) The acute effects of yoga on executive function. *J Phys Act Health* 10(4):488–495

74. Gothe NP, Kramer AF, McAuley E (2014) The effects of an 8-week Hatha yoga intervention on executive function in older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 69(9):1109–1116. doi:10.1093/gerona/glu095
75. Gothe NP, Hayes JM, Temali C, Damoiseaux JS (2018) Differences in Brain Structure and Function Among Yoga Practitioners and Controls. *Front Integr Neurosci* 12:26. doi:10.3389/fnint.2018.00026
76. Gotink RA, Meijboom R, Vernooij MW, Smits M, Hunink MGM (2016) 8-week Mindfulness Based Stress Reduction induces brain changes similar to traditional long-term meditation practice - A systematic review. *Brain Cogn* 108:32–41. doi:10.1016/j.bandc.2016.07.001
77. Goto M, Abe O, Aoki S, Hayashi N, Miyati T, Takao H, Iwatsubo T, Yamashita F, Matsuda H, Mori H, Kunimatsu A, Ino K, Yano K, Ohtomo K (2013) Diffeomorphic Anatomical Registration Through Exponentiated Lie Algebra provides reduced effect of scanner for cortex volumetry with atlas-based method in healthy subjects. *Neuroradiology* 55(7):869–875. doi:10.1007/s00234-013-1193-2
78. Govindaraj R, Karmani S, Varambally S, Gangadhar BN (2016) Yoga and physical exercise - a review and comparison. *Int Rev Psychiatry* 28(3):242–253. doi:10.3109/09540261.2016.1160878
79. Greicius MD, Srivastava G, Reiss AL, Menon V (2004) Default-mode network activity distinguishes Alzheimer's disease from healthy aging. Evidence from functional MRI. *Proc Natl Acad Sci U S A* 101(13):4637–4642. doi:10.1073/pnas.0308627101
80. Grigoryan G, Segal M (2016) Lasting Differential Effects on Plasticity Induced by Prenatal Stress in Dorsal and Ventral Hippocampus. *Neural Plast* 2016:2540462. doi:10.1155/2016/2540462
81. Gurvits TV, Shenton ME, Hokama H, Ohta H, Lasko NB, Gilbertson MW, Orr SP, Kikinis R, Jolesz FA, McCarley RW, Pitman RK (1996) Magnetic resonance imaging study of hippocampal volume in chronic, combat-related posttraumatic stress disorder. *Biological Psychiatry* 40(11):1091–1099. doi:10.1016/S0006-3223(96)00229-6
82. Hagins M, States R, Selfe T, Innes K (2013) Effectiveness of yoga for hypertension. Systematic review and meta-analysis. *Evid Based Complement Alternat Med* 2013:649836. doi:10.1155/2013/649836
83. Hagins M, Rundle A, Consedine NS, Khalsa SBS (2014) A randomized controlled trial comparing the effects of yoga with an active control on ambulatory blood pressure in individuals with prehypertension and stage 1 hypertension. *J Clin Hypertens (Greenwich)* 16(1):54–62. doi:10.1111/jch.12244
84. Hamilton JP, Farmer M, Fogelman P, Gotlib IH (2015) Depressive Rumination, the Default-Mode Network, and the Dark Matter of Clinical Neuroscience. *Biological Psychiatry* 78(4):224–230. doi:10.1016/j.biopsych.2015.02.020
85. Hariprasad VR, Varambally S, Shivakumar V, Kalmady SV, Venkatasubramanian G, Gangadhar BN (2013) Yoga increases the volume of the hippocampus in elderly subjects. *Indian J Psychiatry* 55(Suppl 3):S394-6. doi:10.4103/0019-5545.116309
86. Harper RM, Poe GR, Rector DM, Kristensen MP (1998) Relationships between hippocampal activity and breathing patterns. *Neurosci Biobehav Rev* 22(2):233–236
87. Heany SJ, van Honk J, Stein DJ, Brooks SJ (2016) A quantitative and qualitative review of the effects of testosterone on the function and structure of the human social-emotional brain. *Metab Brain Dis* 31(1):157–167. doi:10.1007/s11011-015-9692-y
88. Heckers S, Konradi C (2002) Hippocampal neurons in schizophrenia. *J Neural Transm (Vienna)* 109(5-6):891–905. doi:10.1007/s007020200073
89. Henneman WJP, Sluimer JD, Barnes J, van der Flier WM, Sluimer IC, Fox NC, Scheltens P, Vrenken H, Barkhof F (2009) Hippocampal atrophy rates in Alzheimer disease. Added value over whole brain volume measures. *Neurology* 72(11):999–1007. doi:10.1212/01.wnl.0000344568.09360.31

90. Hofmann SG, Andreoli G, Carpenter JK, Curtiss J (2016) Effect of Hatha Yoga on Anxiety. A Meta-Analysis. *J Evid Based Med*. doi:10.1111/jebm.12204
91. Hölzel BK, Carmody J, Evans KC, Hoge EA, Dusek JA, Morgan L, Pitman RK, Lazar SW (2010) Stress reduction correlates with structural changes in the amygdala. *Soc Cogn Affect Neurosci* 5(1):11–17. doi:10.1093/scan/nsp034
92. Hölzel BK, Carmody J, Vangel M, Congleton C, Yerramsetti SM, Gard T, Lazar SW (2011) Mindfulness practice leads to increases in regional brain gray matter density. *Psychiatry Res* 191(1):36–43. doi:10.1016/j.psychresns.2010.08.006
93. Holzschneider K, Mulert C (2011) Neuroimaging in anxiety disorders. *Dialogues Clin Neurosci* 13(4):453–461
94. Hüfner K, Binetti C, Hamilton DA, Stephan T, Flanagin VL, Linn J, Labudda K, Markowitsch H, Glasauer S, Jahn K, Strupp M, Brandt T (2011) Structural and functional plasticity of the hippocampal formation in professional dancers and slackliners. *Hippocampus* 21(8):855–865. doi:10.1002/hipo.20801.
95. Iadecola C, Davisson RL (2008) Hypertension and cerebrovascular dysfunction. *Cell Metab* 7(6):476–484. doi:10.1016/j.cmet.2008.03.010.
96. Irle E (2010) Reduced amygdala and hippocampal size in adults with generalized social phobia. *J Psychiatry Neurosci* 35(2):126–131. doi:10.1503/jpn.090041
97. Jacobson L, Sapolsky R (1991) The role of the hippocampus in feedback regulation of the hypothalamic-pituitary-adrenocortical axis. *Endocr Rev* 12(2):118–134. doi:10.1210/edrv-12-2-118
98. James W (2012) *The Principles of Psychology, Vol. 2*. Dover Publications, Newburyport
99. Jeon YK, Ha CH (2017) The effect of exercise intensity on brain derived neurotrophic factor and memory in adolescents. *Environ Health Prev Med* 22(1):27. doi:10.1186/s12199-017-0643-6
100. Jerath R, Edry JW, Barnes VA, Jerath V (2006) Physiology of long pranayamic breathing. Neural respiratory elements may provide a mechanism that explains how slow deep breathing shifts the autonomic nervous system. *Med Hypotheses* 67(3):566–571. doi:10.1016/j.mehy.2006.02.042
101. Joseph S, Sridharan K, Patil SK, Kumaria ML, Selvamurthy W, Joseph NT, Nayar HS (1981) Study of some physiological and biochemical parameters in subjects undergoing yogic training. *Indian J Med Res* 74:120–124
102. Kabat-Zinn J (2005) *Guided Mindfulness Meditation*. Sounds True Audio, [Place of publication not identified]
103. Kalyani BG, Venkatasubramanian G, Arasappa R, Rao NP, Kalmady SV, Behere RV, Rao H, Vasudev MK, Gangadhar BN (2011) Neurohemodynamic correlates of 'OM' chanting. A pilot functional magnetic resonance imaging study. *Int J Yoga* 4(1):3–6. doi:10.4103/0973-6131.78171
104. Kanai R, Rees G (2011) The structural basis of inter-individual differences in human behaviour and cognition. *Nat Rev Neurosci* 12(4):231–242. doi:10.1038/nrn3000
105. Killgore WDS, Olson EA, Weber M (2013) Physical exercise habits correlate with gray matter volume of the hippocampus in healthy adult humans. *Sci Rep* 3:3457. doi:10.1038/srep03457
106. Kim H-G, Cheon E-J, Bai D-S, Lee YH, Koo B-H (2018) Stress and Heart Rate Variability. A Meta-Analysis and Review of the Literature. *Psychiatry Investig* 15(3):235–245. doi:10.30773/pi.2017.08.17
107. Kim JJ, Diamond DM (2002) The stressed hippocampus, synaptic plasticity and lost memories. *Nat Rev Neurosci* 3(6):453–462. doi:10.1038/nrn849
108. Kim EJ, Pellman B, Kim JJ (2015) Stress effects on the hippocampus. A critical review. *Learn Mem* 22(9):411–416. doi:10.1101/lm.037291.114
109. Kitamura J, Ueno H, Nagai M, Hosomi N, Honjo K, Nakamori M, Mukai T, Imamura E, Nezu T, Aoki S, Ohshita T, Nomura E, Wakabayashi S, Maruyama H, Matsumoto M

- (2018) Blood Pressure Variability in Acute Ischemic Stroke. Influence of Infarct Location in the Insular Cortex. *Eur Neurol* 79(1-2):90–99. doi:10.1159/000486306
110. Klatte R, Pabst S, Beelmann A, Rosendahl JS (2016) The Efficacy of Body-Oriented Yoga in Mental Disorders. *Dtsch Arztebl Int* 113(12):195–202. doi:10.3238/arztebl.2016.0195
111. Krishnakumar D, Hamblin MR, Lakshmanan S (2015) Meditation and Yoga can Modulate Brain Mechanisms that affect Behavior and Anxiety-A Modern Scientific Perspective. *Anc Sci* 2(1):13–19. doi:10.14259/as.v2i1.171
112. Lacuey N, Zonjy B, Londono L, Lhatoo SD (2017) Amygdala and hippocampus are symptomatogenic zones for central apneic seizures. *Neurology* 88(7):701–705. doi:10.1212/WNL.0000000000003613
113. Lange C, Irle E (2004) Enlarged amygdala volume and reduced hippocampal volume in young women with major depression. *Psychol Med* 34(6):1059–1064
114. Lee T, Jarome T, Li S-J, Kim JJ, Helmstetter FJ (2009) Chronic stress selectively reduces hippocampal volume in rats. A longitudinal magnetic resonance imaging study. *Neuroreport* 20(17):1554–1558. doi:10.1097/WNR.0b013e328332bb09
115. Leung M-K, Chan CCH, Yin J, Lee C-F, So K-F, Lee TMC (2013) Increased gray matter volume in the right angular and posterior parahippocampal gyri in loving-kindness meditators. *Soc Cogn Affect Neurosci* 8(1):34–39. doi:10.1093/scan/nss076
116. Li AW, Goldsmith C-AW (2012) The effects of yoga on anxiety and stress. *Altern Med Rev* 17(1):21–35
117. Liberzon I, Martis B (2006) Neuroimaging studies of emotional responses in PTSD. *Ann N Y Acad Sci* 1071:87–109. doi:10.1196/annals.1364.009
118. Liu Y, McAfee SS, Heck DH (2017) Hippocampal sharp-wave ripples in awake mice are entrained by respiration. *Sci Rep* 7(1):8950. doi:10.1038/s41598-017-09511-8.
119. Luders E, Gaser C, Jancke L, Schlaug G (2004) A voxel-based approach to gray matter asymmetries. *Neuroimage* 22(2):656–664. doi:10.1016/j.neuroimage.2004.01.032
120. Luders E, Toga AW, Lepore N, Gaser C (2009) The underlying anatomical correlates of long-term meditation. Larger hippocampal and frontal volumes of gray matter. *Neuroimage* 45(3):672–678. doi:10.1016/j.neuroimage.2008.12.061
121. Luders E, Toga AW, Lepore N, Gaser C (2009) The underlying anatomical correlates of long-term meditation. Larger hippocampal and frontal volumes of gray matter. *Neuroimage* 45(3):672–678
122. Ma C-L, Ma X-T, Wang J-J, Liu H, Chen Y-F, Yang Y (2017) Physical exercise induces hippocampal neurogenesis and prevents cognitive decline. *Behav Brain Res* 317:332–339. doi:10.1016/j.bbr.2016.09.067
123. Mackay CP, Kuys SS, Brauer SG (2017) The Effect of Aerobic Exercise on Brain-Derived Neurotrophic Factor in People with Neurological Disorders. A Systematic Review and Meta-Analysis. *Neural Plast* 2017:4716197. doi:10.1155/2017/4716197
124. Maguire EA, Gadian DG, Johnsrude IS, Good CD, Ashburner J, Frackowiak RS, Frith CD (2000) Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers. *Proc Natl Acad Sci U S A* 97(8):4398–4403. doi:10.1073/pnas.070039597
125. Malshe PC (2011) Nisshesha rechaka pranayama offers benefits through brief intermittent hypoxia. *Ayu* 32(4):451–457. doi:10.4103/0974-8520.96114
126. Mandolesi L, Gelfo F, Serra L, Montuori S, Polverino A, Curcio G, Sorrentino G (2017) Environmental Factors Promoting Neural Plasticity. Insights from Animal and Human Studies. *Neural Plast* 2017:7219461. doi:10.1155/2017/7219461
127. Manukhina EB, Downey HF, Shi X, Mallet RT (2016) Intermittent hypoxia training protects cerebrovascular function in Alzheimer's disease. *Exp Biol Med (Maywood)* 241(12):1351–1363. doi:10.1177/1535370216649060

128. Marins FR, Iddings JA, Fontes MAP, Filosa JA (2017) Evidence that remodeling of insular cortex neurovascular unit contributes to hypertension-related sympathoexcitation. *Physiol Rep* 5(5). doi:10.14814/phy2.13156
129. Markham JA, Greenough WT (2004) Experience-driven brain plasticity. Beyond the synapse. *Neuron Glia Biol* 1(4):351–363. doi:10.1017/s1740925x05000219
130. Martin JH (2003) *Neuroanatomy. Text and atlas*, 3. Aufl. McGraw-Hill, New York, N.Y.
131. May A (2011) Experience-dependent structural plasticity in the adult human brain. *Trends Cogn Sci (Regul Ed)* 15(10):475–482. doi:10.1016/j.tics.2011.08.002
132. Mechelli A, Price C, Friston K, Ashburner J (2005) Voxel-Based Morphometry of the Human Brain. *Methods and Applications. CMIR* 1(2):105–113. doi:10.2174/1573405054038726
133. Meng Y, Qiu C, Zhu H, Lama S, Lui S, Gong Q, Zhang W (2014) Anatomical deficits in adult posttraumatic stress disorder. A meta-analysis of voxel-based morphometry studies. *Behav Brain Res* 270:307–315. doi:10.1016/j.bbr.2014.05.021
134. Mervaala E, Föhr J, Könönen M, Valkonen-Korhonen M, Vainio P, Partanen K, Partanen J, Tiihonen J, Viinamäki H, Karjalainen AK, Lehtonen J (2000) Quantitative MRI of the hippocampus and amygdala in severe depression. *Psychol Med* 30(1):117–125
135. Meyer HB, Katsman A, Sones AC, Auerbach DE, Ames D, Rubin RT (2012) Yoga as an ancillary treatment for neurological and psychiatric disorders. A review. *J Neuropsychiatry Clin Neurosci* 24(2):152–164. doi:10.1176/appi.neuropsych.11040090
136. Mizuno J, Monteiro HL (2013) An assessment of a sequence of yoga exercises to patients with arterial hypertension. *J Bodyw Mov Ther* 17(1):35–41. doi:10.1016/j.jbmt.2012.10.007
137. Mondelli V, Cattaneo A, Murri MB, Di Forti M, Handley R, Hepgul N, Miorelli A, Navari S, Papadopoulos AS, Aitchison KJ, Morgan C, Murray RM, Dazzan P, Pariante CM (2011) Stress and inflammation reduce brain-derived neurotrophic factor expression in first-episode psychosis. A pathway to smaller hippocampal volume. *J Clin Psychiatry* 72(12):1677–1684. doi:10.4088/JCP.10m06745
138. Moon C-M, Jeong G-W (2017) Abnormalities in gray and white matter volumes associated with explicit memory dysfunction in patients with generalized anxiety disorder. *Acta Radiol* 58(3):353–361. doi:10.1177/0284185116649796
139. Moulton EA, Becerra L, Johnson A, Burstein R, Borsook D (2014) Altered hypothalamic functional connectivity with autonomic circuits and the locus coeruleus in migraine. *PLoS ONE* 9(4):e95508. doi:10.1371/journal.pone.0095508
140. Müller-Ribeiro FCdF, Zaretsky DV, Zaretskaia MV, Santos RAS, DiMicco JA, Fontes MAP (2012) Contribution of infralimbic cortex in the cardiovascular response to acute stress. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 303(6):R639-50. doi:10.1152/ajpregu.00573.2011
141. Murray A, Wilson K (2018) Yoga and Hypertension. A Systematic Review. *J Yoga Phys Ther* 08(02). doi:10.4172/2157-7595.1000289
142. Nagai M, Hoshida S, Kario K (2010) The insular cortex and cardiovascular system. A new insight into the brain-heart axis. *J Am Soc Hypertens* 4(4):174–182. doi:10.1016/j.jash.2010.05.001
143. Nguyen Chi V, Müller C, Wolfenstetter T, Yanovsky Y, Draguhn A, Tort ABL, Brankač J (2016) Hippocampal Respiration-Driven Rhythm Distinct from Theta Oscillations in Awake Mice. *J Neurosci* 36(1):162–177. doi:10.1523/JNEUROSCI.2848-15.2016
144. Niemann C, Godde B, Voelcker-Rehage C (2014) Not only cardiovascular, but also coordinative exercise increases hippocampal volume in older adults. *Front Aging Neurosci* 6:170. doi:10.3389/fnagi.2014.00170

145. Nottebohm F (1981) A brain for all seasons. Cyclical anatomical changes in song control nuclei of the canary brain. *Science* 214(4527):1368–1370. doi:10.1126/science.7313697
146. Okon-Singer H, Mehnert J, Hoyer J, Hellrung L, Schaare HL, Dukart J, Villringer A (2014) Neural control of vascular reactions. Impact of emotion and attention. *J Neurosci* 34(12):4251–4259. doi:10.1523/JNEUROSCI.0747-13.2014.
147. Okonta NR (2012) Does yoga therapy reduce blood pressure in patients with hypertension? An integrative review. *Holist Nurs Pract* 26(3):137–141. doi:10.1097/HNP.0b013e31824ef647.
148. Oppenheimer S (1993) The anatomy and physiology of cortical mechanisms of cardiac control. *Stroke* 24(12 Suppl):I3-5
149. Oppenheimer S, Cechetto D (2016) The Insular Cortex and the Regulation of Cardiac Function. *Compr Physiol* 6(2):1081–1133. doi:10.1002/cphy.c140076
150. Oppenheimer SM, Cechetto DF (1990) Cardiac chronotropic organization of the rat insular cortex. *Brain Res* 533(1):66–72
151. Oppenheimer SM, Gelb A, Girvin JP, Hachinski VC (1992) Cardiovascular effects of human insular cortex stimulation. *Neurology* 42(9):1727–1732
152. Pan J, Zhan L, Hu C, Yang J, Wang C, Gu L, Zhong S, Huang Y, Wu Q, Xie X, Chen Q, Zhou H, Huang M, Wu X (2018) Emotion Regulation and Complex Brain Networks. Association Between Expressive Suppression and Efficiency in the Fronto-Parietal Network and Default-Mode Network. *Front Hum Neurosci* 12:70. doi:10.3389/fnhum.2018.00070
153. Pandurangi AK, Keshavan MS, Ganapathy V, Gangadhar BN (2017) Yoga. Past and Present. *Am J Psychiatry* 174(1):16–17. doi:10.1176/appi.ajp.2016.16080853
154. Pascoe MC, Thompson DR, Ski CF (2017) Yoga, mindfulness-based stress reduction and stress-related physiological measures. A meta-analysis. *Psychoneuroendocrinology* 86:152–168. doi:10.1016/j.psyneuen.2017.08.008
155. Patel H, Alkhawam H, Madanieh R, Shah N, Kosmas CE, Vittorio TJ (2017) Aerobic vs anaerobic exercise training effects on the cardiovascular system. *World J Cardiol* 9(2):134–138. doi:10.4330/wjc.v9.i2.134
156. Pescatello LS (2014) ACSM's guidelines for exercise testing and prescription, 9. Aufl
157. Pessoa L (2014) Understanding brain networks and brain organization. *Phys Life Rev* 11(3):400–435. doi:10.1016/j.pprev.2014.03.005
158. Poe GR, Kristensen MP, Rector DM, Harper RM (1996) Hippocampal activity during transient respiratory events in the freely behaving cat. *Neuroscience* 72(1):39–48
159. Prabhavananda (2006) Patanjali yoga sutras. Sri Ramakrishna Math, Madras, India
160. Pradhan B (2015) Yoga and Mindfulness Based Cognitive Therapy. A Clinical Guide. Springer International Publishing, Cham, s.l.
161. Prathikanti S, Rivera R, Cochran A, Tungol JG, Fayazmanesh N, Weinmann E (2017) Treating major depression with yoga. A prospective, randomized, controlled pilot trial. *PLoS ONE* 12(3):e0173869. doi:10.1371/journal.pone.0173869
162. Quinque EM, Karger S, Arélin K, Schroeter ML, Kratzsch J, Villringer A (2014) Structural and functional MRI study of the brain, cognition and mood in long-term adequately treated Hashimoto's thyroiditis. *Psychoneuroendocrinology* 42:188–198. doi:10.1016/j.psyneuen.2014.01.015
163. R N, H R N (2007) Yoga. Breathing Practices, Asanas, Pranayama, Mudras, Bhandas and Krias, Meditation. Eigenverlag
164. Raichle ME, MacLeod AM, Snyder AZ, Powers WJ, Gusnard DA, Shulman GL (2001) A default mode of brain function. *Proc Natl Acad Sci U S A* 98(2):676–682. doi:10.1073/pnas.98.2.676
165. Raichle ME (2006) Neuroscience. The brain's dark energy. *Science* 314(5803):1249–1250. doi:10.1126/science.

166. Raichle ME (2015) The brain's default mode network. *Annu Rev Neurosci* 38:433–447. doi:10.1146/annurev-neuro-071013-014030
167. Rajmohan V, Mohandas E (2007) The limbic system. *Indian J Psychiatry* 49(2):132–139. doi:10.4103/0019-5545.33264
168. Raju T (2017) Yoga Induced Brain Plasticity- Role of Neurotrophic Factors. *OAJNN* 6(1). doi:10.19080/OAJNN.2017.06.555680
169. Ramirez J-M (2014) The integrative role of the sigh in psychology, physiology, pathology, and neurobiology. *Prog Brain Res* 209:91–129. doi:10.1016/B978-0-444-63274-6.00006-0
170. Ramsay JR (2010) Nonmedication treatments for adult ADHD. Evaluating impact on daily functioning and well-being, 1. Aufl. American Psychological Association, Washington, D.C
171. Rehfeld K, Müller P, Aye N, Schmicker M, Dordevic M, Kaufmann J, Hökelmann A, Müller NG (2017) Dancing or Fitness Sport? The Effects of Two Training Programs on Hippocampal Plasticity and Balance Abilities in Healthy Seniors. *Front Hum Neurosci* 11:305. doi:10.3389/fnhum.2017.00305
172. Ritchie SJ, Cox SR, Shen X, Lombardo MV, Reus LM, Alloza C, Harris MA, Alderson HL, Hunter S, Neilson E, Liewald DCM, Auyeung B, Whalley HC, Lawrie SM, Gale CR, Bastin ME, McIntosh AM, Deary IJ (2018) Sex Differences in the Adult Human Brain. Evidence from 5216 UK Biobank Participants. *Cereb Cortex* 28(8):2959–2975. doi:10.1093/cercor/bhy109
173. Rolls ET (2015) Limbic systems for emotion and for memory, but no single limbic system. *Cortex* 62:119–157. doi:10.1016/j.cortex.2013.12.005
174. Rosenzweig MR (1996) Aspects of the search for neural mechanisms of memory. *Annu Rev Psychol* 47:1–32. doi:10.1146/annurev.psych.47.1.1
175. Ross A, Thomas S (2010) The health benefits of yoga and exercise. A review of comparison studies. *J Altern Complement Med* 16(1):3–12. doi:10.1089/acm.2009.0044
176. Roy NS, Wang S, Jiang L, Kang J, Benraiss A, Harrison-Restelli C, Fraser RA, Couldwell WT, Kawaguchi A, Okano H, Nedergaard M, Goldman SA (2000) In vitro neurogenesis by progenitor cells isolated from the adult human hippocampus. *Nat Med* 6(3):271–277. doi:10.1038/73119
177. Sawyer K, Corsentino E, Sachs-Ericsson N, Steffens DC (2012) Depression, hippocampal volume changes, and cognitive decline in a clinical sample of older depressed outpatients and non-depressed controls. *Aging Ment Health* 16(6):753–762. doi:10.1080/13607863.2012.678478
178. Schaare HL, Kharabian Masouleh S, Beyer F, Kumral D, Uhlig M, Reinelt JD, Reiter AMF, Lampe L, Babayan A, Erbey M, Roebbig J, Schroeter ML, Okon-Singer H, Mueller K, Mendes N, Margulies DS, Witte AV, Gaebler M, Villringer A (2017) Association of Peripheral Blood Pressure with Grey Matter Volume in 19- to 40-Year-Old Adults
179. Schultz C, Engelhardt M (2014) Anatomy of the hippocampal formation. *Front Neurol Neurosci* 34:6–17. doi:10.1159/000360925
180. Sehm B, Taubert M, Conde V, Weise D, Classen J, Dukart J, Draganski B, Villringer A, Ragert P (2014) Structural brain plasticity in Parkinson's disease induced by balance training. *Neurobiol Aging* 35(1):232–239. doi:10.1016/j.neurobiolaging.2013.06.021.
181. Seryapina AA, Shevelev OB, Moshkin MP, Markel AL, Akulov AE (2017) Stress-sensitive arterial hypertension, haemodynamic changes and brain metabolites in hypertensive ISIAH rats. MRI investigation. *Exp Physiol* 102(5):523–532. doi:10.1113/EP086064.
182. Shah A, Jhavar SS, Goel A (2012) Analysis of the anatomy of the Papez circuit and adjoining limbic system by fiber dissection techniques. *J Clin Neurosci* 19(2):289–298. doi:10.1016/j.jocn.2011.04.039

183. Sharma M (2014) Yoga as an alternative and complementary approach for stress management. A systematic review. *J Evid Based Complementary Altern Med* 19(1):59–67. doi:10.1177/2156587213503344
184. Sharma NK, Robbins K, Wagner K, Colgrove YM (2015) A randomized controlled pilot study of the therapeutic effects of yoga in people with Parkinson's disease. *Int J Yoga* 8(1):74–79. doi:10.4103/0973-6131.146070
185. Sharp PE (Hrsg) (2002) *The neural basis of navigation. Evidence from single cell recording.* Kluwer Academic, Boston, London
186. Shohani M, Badfar G, Nasirkandy MP, Kaikhavani S, Rahmati S, Modmeli Y, Soleymani A, Azami M (2018) The Effect of Yoga on Stress, Anxiety, and Depression in Women. *Int J Prev Med* 9:21. doi:10.4103/ijpvm.IJPVM_242_16
187. Sieverdes JC, Mueller M, Gregoski MJ, Brunner-Jackson B, McQuade L, Matthews C, Treiber FA (2014) Effects of Hatha yoga on blood pressure, salivary α -amylase, and cortisol function among normotensive and prehypertensive youth. *J Altern Complement Med* 20(4):241–250. doi:10.1089/acm.2013.0139
188. Singh S, Khushu S, Kumar P, Goyal S, Bhatia T, Deshpande SN (2018) Evidence for regional hippocampal damage in patients with schizophrenia. *Neuroradiology* 60(2):199–205. doi:10.1007/s00234-017-1954-4
189. Smith MA, Makino S, Kvetnansky R, Post RM (1995) Stress and glucocorticoids affect the expression of brain-derived neurotrophic factor and neurotrophin-3 mRNAs in the hippocampus. *J. Neurosci.* 15(3):1768–1777. doi:10.1523/JNEUROSCI.15-03-01768.1995
190. Spruill TM (2010) Chronic psychosocial stress and hypertension. *Curr Hypertens Rep* 12(1):10–16. doi:10.1007/s11906-009-0084-8
191. Squire LR, Genzel L, Wixted JT, Morris RG (2015) Memory consolidation. *Cold Spring Harb Perspect Biol* 7(8):a021766. doi:10.1101/cshperspect.a021766
192. Streeter CC, Whitfield TH, Owen L, Rein T, Karri SK, Yakhkind A, Perlmutter R, Prescott A, Renshaw PF, Ciraulo DA, Jensen JE (2010) Effects of yoga versus walking on mood, anxiety, and brain GABA levels. A randomized controlled MRS study. *J Altern Complement Med* 16(11):1145–1152. doi:10.1089/acm.2010.0007
193. Streeter CC, Gerbarg PL, Saper RB, Ciraulo DA, Brown RP (2012) Effects of yoga on the autonomic nervous system, gamma-aminobutyric-acid, and allostasis in epilepsy, depression, and post-traumatic stress disorder. *Med Hypotheses* 78(5):571–579. doi:10.1016/j.mehy.2012.01.021
194. Telles S, Yadav A, Kumar N, Sharma S, Visweshwaraiah NK, Balkrishna A (2013) Blood pressure and Purdue pegboard scores in individuals with hypertension after alternate nostril breathing, breath awareness, and no intervention. *Med Sci Monit* 19:61–66
195. Tremblay S, Pascual-Leone A, Théoret H (2018) A review of the effects of physical activity and sports concussion on brain function and anatomy. *Int J Psychophysiol* 132(Pt A):167–175. doi:10.1016/j.ijpsycho.2017.09.005
196. Trepel M (2017) *Neuroanatomie. Struktur und Funktion*, 7. Aufl. Elsevier, München
197. Tyagi A, Cohen M (2014) Yoga and hypertension. A systematic review. *Altern Ther Health Med* 20(2):32–59
198. Ueyama T, Senba E (2010) Limbic system and autonomic nervous system. *Rinsho Shinkeigaku* 50(11):1003–1006
199. van der Kolk BA, Stone L, West J, Rhodes A, Emerson D, Suvak M, Spinazzola J (2014) Yoga as an adjunctive treatment for posttraumatic stress disorder. A randomized controlled trial. *J Clin Psychiatry* 75(6):e559-65. doi:10.4088/JCP.13m08561
200. van Praag H, Shubert T, Zhao C, Gage FH (2005) Exercise enhances learning and hippocampal neurogenesis in aged mice. *J Neurosci* 25(38):8680–8685. doi:10.1523/JNEUROSCI.1731-05.2005

201. Vancampfort D, Vansteelandt K, Scheewe T, Probst M, Knapen J, Herdt A de, Hert M de (2012) Yoga in schizophrenia. A systematic review of randomised controlled trials. *Acta Psychiatr Scand* 126(1):12–20. doi:10.1111/j.1600-0447.2012.01865.x.
202. Vann SD, Nelson AJD (2015) The mammillary bodies and memory. More than a hippocampal relay. *Prog Brain Res* 219:163–185. doi:10.1016/bs.pbr.2015.03.006
203. VEMPATI RP (2002) YOGA-BASED GUIDED RELAXATION REDUCES SYMPATHETIC ACTIVITY JUDGED FROM BASELINE LEVELS. *PR* 90(2):487. doi:10.2466/PR.90.2.487-494
204. Villemure C, Ceko M, Cotton VA, Bushnell MC (2014) Insular cortex mediates increased pain tolerance in yoga practitioners. *Cereb Cortex* 24(10):2732–2740. doi:10.1093/cercor/bht124
205. Villemure C, Čeko M, Cotton VA, Bushnell MC (2015) Neuroprotective effects of yoga practice. Age-, experience-, and frequency-dependent plasticity. *Front Hum Neurosci* 9:281. doi:10.3389/fnhum.2015.00281
206. Wahbeh H, Elsas S-M, Oken BS (2008) Mind-body interventions. Applications in neurology. *Neurology* 70(24):2321–2328. doi:10.1212/01.wnl.0000314667.16386.5e
207. Wang J, Xiong X, Liu W (2013) Yoga for essential hypertension. A systematic review. *PLoS ONE* 8(10):e76357. doi:10.1371/journal.pone.0076357
208. Wang F, Pan F, Shapiro LA, Huang JH (2017) Stress Induced Neuroplasticity and Mental Disorders. *Neural Plast* 2017:9634501. doi:10.1155/2017/9634501
209. Whitwell JL (2009) Voxel-based morphometry. An automated technique for assessing structural changes in the brain. *J Neurosci* 29(31):9661–9664. doi:10.1523/JNEUROSCI.2160-09.2009
210. Wignall EL, Dickson JM, Vaughan P, Farrow TFD, Wilkinson ID, Hunter MD, Woodruff PWR (2004) Smaller hippocampal volume in patients with recent-onset posttraumatic stress disorder. *Biological Psychiatry* 56(11):832–836. doi:10.1016/j.biopsych.2004.09.015
211. Wise T, Radua J, Via E et al (2017) Common and distinct patterns of grey-matter volume alteration in major depression and bipolar disorder. Evidence from voxel-based meta-analysis. *Mol Psychiatry* 22(10):1455–1463. doi:10.1038/mp.2016.72
212. Woodyard C (2011) Exploring the therapeutic effects of yoga and its ability to increase quality of life. *Int J Yoga* 4(2):49–54. doi:10.4103/0973-6131.85485
213. Yamada K, Nabeshima T (2003) Brain-Derived Neurotrophic Factor/TrkB Signaling in Memory Processes. *J Pharmacol Sci* 91(4):267–270. doi:10.1254/jphs.91.267
214. Yasui Y, Breder CD, Saper CB, Cechetto DF (1991) Autonomic responses and efferent pathways from the insular cortex in the rat. *J Comp Neurol* 303(3):355–374. doi:10.1002/cne.903030303
215. Zelano C, Jiang H, Zhou G, Arora N, Schuele S, Rosenow J, Gottfried JA (2016) Nasal Respiration Entrain Human Limbic Oscillations and Modulates Cognitive Function. *J Neurosci* 36(49):12448–12467. doi:10.1523/JNEUROSCI.2586-16.2016
216. Zhou H, Li R, Ma Z, Rossi S, Zhu X, Li J (2016) Smaller gray matter volume of hippocampus/parahippocampus in elderly people with subthreshold depression. A cross-sectional study. *BMC Psychiatry* 16:219. doi:10.1186/s12888-016-0928-0
217. Zou L, Yeung A, Li C, Wei G-X, Chen KW, Kinser PA, Chan JSM, Ren Z (2018) Effects of Meditative Movements on Major Depressive Disorder. A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *J Clin Med* 7(8). doi:10.3390/jcm7080195

9. Anhang

9.1 Atemübungen

Hände Ein- und Ausatmung



Arm- Streck- Atmung



Fußgelenk- Streck- Atmung



Hasen- Atmung



Vor- und Rückbeugeatmung



Tiger- Atmung



Kobra-Atmung



Gestreckte Bein- Hebe- Atmung



9.2 Aufwärmübungen

Jogging



Beckentwist



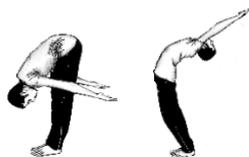
Seitwärtsbeugung



Gestreckter Seitwärtstwist



Vor- und Rückwärtsbeugung



Wechselsprung



Hüftenbeuger



Beinhebung beidseits



Seitwärtstwist im Sitzen



Wechselweise Kobra und Hüftbeuger Position



Wechselweise Beinstreckung- und Beugung



Cycling



9.3 Asanas

9.3.1 Asanas aus der stehenden Position

Ardhachati-Cakrasana



Trikonasana



Ardha Cakrasana



Padahastasana



Parshvakonasana



9.3.2 Asanas aus der sitzenden Position

Ardhamasyendrasan



**Paschimott-
anasana**



Ustrasana



Vakrasana



Vajrasana



Suptavajrasana



9.3.3 Asanas aus der Rückenlage

Sarvangasana



Matsyasana



Pavanamuktasana



Chakrasana



Viparitamarni kriya



9.3.4 Asanas aus der Bauchlage

Bhujangasana



Dhanurasana



Hamsasana



Mayurasana



9.4 Entspannungsposition: Quick Relaxation Technique (QRT), Instant Relaxation Technique (IRT) und Deep Relaxation Technique (DRT)

**Savasana -
Leichnahmstellung**



9.5 Sportgruppe: Grundübungen



Skippings



Hampelmann



Seitlicher Ausfallschritt



Kniebeugen



Standwaage



Seitarmstütz



Liegestütz



Beinheben



Sit-Ups



Unterarmstütz



Beckenheben



Bergsteiger



10. Publikation

Originalarbeit:

Garner M, Reith W, Krick C. 2019. 10-Week Hatha Yoga Increases Right Hippocampal Density Compared to Active and Passive Control Groups: A Controlled Structural cMRI Study. J Neuroimaging Psychiatry Neurol 4(1): 1-11. Published: January 22, 2019.

Kongressbeiträge:

Vortrag über die obige Arbeit auf folgenden internationalen Kongressen:

22nd INCOFYRA (International Conference on Frontiers in Yoga Research and its Applications), 5.-8. January 2018; Bangalore, India.

Verleihung des ersten Preises für „oral presentation“

3rd International Conference on Integrative Medicine: Role of Yoga and Ayurveda, 22.-24. June 2018. Theme: Role of Yoga and Ayurveda in Cancer and Palliative Care. Harvard Medical School, Boston, USA;

11. Danksagung

Ich freue mich und fühle mich geehrt, an dieser Stelle allen danken zu dürfen, die mich während meiner Forschungsarbeit unterstützt und mir diese vorliegende Arbeit ermöglicht haben. Leider kann ich hier nicht jeden namentlich erwähnen, aber alle dürfen gewiss sein, dass ich sie in meinem Herzen dankbar bewahre.

An erster Stelle aber möchte ich Sie, **Herr Prof. Dr. Wolfgang Reith** als meinen Doktorvater ansprechen. Sie erlaubten mir nicht nur, die Studie durchführen zu dürfen, für die ich mich so sehr interessierte, sondern auch, darüber zu promovieren. Von Herzen ein großes Dankeschön, dass Sie dies alles ermöglicht haben und an mich glaubten.

Des Weiteren will ich Ihnen, **Herr Dr. Christoph Krick** danken. Sie haben mich zu dieser Arbeit inspiriert und damit erlaubt mir einen Traum zu erfüllen. Sie haben mich, meine Dissertation und Publikation als Zweitgutachter wissenschaftlich und methodisch betreut. Ich danke auch Ihnen von Herzen für Ihre Unterstützung, Geduld und alles, was ich von Ihnen lernen durfte.

Die **Universitätsgesellschaft des Saarlandes e.V.** hat meine Arbeit finanziell gefördert und mich damit motiviert. Vielen Dank dafür.

Ohne meine **120 Probanden** gäbe es keine Ergebnisse. Es grenzt fast schon ein kleines Wunder, dass sie trotz des anstrengenden Studentenlebens zuverlässig zu allen vorgegebenen Terminen kommen konnten, wozu der regelmäßige Besuch von Yoga- und Sportkursen sowie MRT- und Blutdruckmessungen gehörten. Das berührt mich nachhaltig.

Danke, vielen Dank **Johannes Jene, Tobias Woerner und Lukas Weick**. 240 MRT-Messungen machen eine Menge Arbeit. Ihr habt mir viel Zeit bei der Umsetzung geschenkt, damit ich alles unter Dach und Fach bekommen konnte.

Danke auch **Nicole Polloczec**. Du hast mir die Turnhalle für den Yoga-Unterricht in Absprache mit dem Hochschulsport der Universität des Saarlandes kostenlos zur Verfügung gestellt. Und wie hätte die Studie ohne die **Kursleiter** der aktiven Kontrollgruppe und das regelmäßige Training gelingen sollen? Gar nicht. Deshalb ein großes Dankeschön.

Meine liebe Freundin **Magdalena Seis** hat mir ihre Professionalität und kostbare Zeit zur Verfügung gestellt und die Arbeit Korrektur gelesen. Ich danke Dir sehr dafür. An dieser Stelle auch herzlichen Dank an Dich, **Michael Grey**. Als Muttersprachler im Englischen hast du das Paper zu meiner Arbeit sprachlich und grammatikalisch vervollkommenet.

Mein ganz besonderer Dank gilt aber meinen **Eltern**, Diane und Christoph Garner, deren Liebe und Fürsorge mich bedingungslos begleiten und denen ich diese Arbeit mit großer Freude widme.

12. Lebenslauf

Aus datenschutzrechtlichen Gründen wird der Lebenslauf in der elektronischen Fassung der Dissertation nicht veröffentlicht.