

**Aus dem Lehrstuhl
für Psychiatrie und Psychotherapie
Prof. Dr. med. R. Rupprecht
der Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg**

**Psychophysiologische Wirkungen der tiefen
und langsamen Atmung auf die
Schmerzwahrnehmung, die autonome Aktivität
und die Stimmungsveränderung**

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

**der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg**

Vorgelegt von Mariya Kozhuharova

2013

**Aus dem Lehrstuhl
für Psychiatrie und Psychotherapie
Prof. Dr. med. R. Rupprecht
der Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg**

**Psychophysiologische Wirkungen der tiefen
und langsamen Atmung auf die
Schmerzwahrnehmung, die autonome Aktivität
und die Stimmungsveränderung**

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

**der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg**

Vorgelegt von Mariya Kozhuharova

2013

Dekan: Prof. Dr. Dr. Torsten E. Reichert

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Peter Eichhammer

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Ulrich Bogdahn

Tag der mündlichen Prüfung: 04.12.2013

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Zielsetzung	5
3. Methoden	7
3.1. Probanden	7
3.2. Testinventare	7
3.2.1. SCID-Icv	7
3.2.2. BDI.....	8
3.2.3. STAI-X2	8
3.3. Design und Ablauf der Studie	8
3.4. Die Atemübungen	11
3.5. Messung der Atemparameter.....	13
3.6. Messung des Sympathikotonus	13
3.7. Messung der somatosensorischen Schwellen	14
3.8. Psychometrische Messungen	16
3.9. Laborumgebung.....	16
3.10. Statistik	17
4. Ergebnisse	18
4.1. Stichprobe.....	18
4.2. Wertverteilungen.....	18
4.3. Untersuchungen der Atemparameter.....	18
4.4 Untersuchungen der somatosensorischen Schwellen	19
4.5. Untersuchungen der SCL-Parameter.....	22
4.6. Korrelationsanalysen	24
4.7. Die Untersuchungen der Stimmungsveränderung	24
5. Diskussion	26

5.1. Veränderungen in der Schmerzempfindung.....	26
5.2. Veränderung der sympathischen Aktivität.....	29
5.3. Sympathikotonus und Schmerzwahrnehmung.....	32
5.4. Stimmungseffekte	34
5.5 Limitationen.....	36
5.6.Zusammenfassung und Ausblick.....	37
Literatur	39
Abkürzungsverzeichnis.....	50
Abbildungsverzeichnis.....	51
Tabellenverzeichnis.....	51

1. Einleitung

Die Atmung ist viel mehr als nur eine physiologische, automatisch ausgeführte Funktion des menschlichen Organismus. Alle Aspekte des Atemprozesses können, auch wenn vorübergehend, bewusst reguliert werden (1). Das Praktizieren bestimmter Atemtechniken kann zur Veränderung ungesunder Atemgewohnheiten führen und hat dementsprechend eine nicht zu unterschätzende Bedeutung im klinischen Alltag. Die Technik der vertieften und langsamen Bauchatmung ist eine weit verbreitete Behandlungsmethode in einer Vielzahl von somatischen Krankheiten und psychiatrischen Störungen.

Diesbezüglich beschäftigt sich eine Reihe von Studien mit der Wirksamkeit der tiefen und langsamen Atmung bei kardialen und pulmonalen Erkrankungen. Die therapeutische Veränderung ungesunder Atemmuster mithilfe von Atemübungen wurde als rehabilitative Maßnahme bei Herzinfarktpatienten und Patienten mit COPD angewendet (1). Unter anderem konnte empirisch gezeigt werden, dass das Risiko für erneuten Herzinfarkt durch die langfristige Senkung der Herzfrequenz und des Blutdrucks sowie durch die deutliche Rückbildung der Ischämiezeichen im EKG minimiert wurde. Signifikant niedrigere systolische und diastolische Werte bestätigten die Beobachtung, dass die arterielle Hypertonie durch Atemübungen positiv beeinflusst werden konnte. Darüber hinaus profitierten COPD-Patienten besonders gut von einer Atemtherapie, indem sie im Nachhinein höhere Sauerstoffsättigungswerte, geringeren Einsatz der Atemhilfsmuskulatur sowie deutlich bessere körperliche Belastbarkeit aufweisen.

Im Gebiet der Psychiatrie wird die vertiefte und langsame Bauchatmung hauptsächlich in der Therapie von Angsterkrankungen (4), depressiven Syndromen (2,3) und stressbedingten Störungen (4-10) angesetzt.

Entspannungsübungen mit Schwerpunkt auf einer langsamen und vertieften Bauchatmung können erfolgreich zur Bekämpfung von Prüfungsangst, Selbstunsicherheit, Nervosität und Konzentrationsstörungen bei gesunden Studenten

angewendet werden (35). Solche Atemübungen führen ebenso zu signifikanter Befindlichkeitsbesserung bei Patienten mit Angststörungen (4).

Die tiefe und langsame Atmung zeigte einen positiven Effekt auf depressive Symptome. Patienten, welche die diagnostischen Kriterien nach ICD-10 für Dysthymie oder schweres depressives Syndrom erfüllten, konnten durch regelmäßige Atemübungen eine Besserung der depressiven Symptomatik verspüren, welche wiederum mit deutlich niedrigeren Ergebnissen in diagnostischen Verfahren wie der Hamilton-Scala (HAM-D), dem BDI und CGI korrelierte (2, 3).

Ferner spielte die tiefe und langsame Atmung eine Rolle in der Bewältigung von depressiven Begleitsymptomen bei Patienten, die an schweren somatischen Erkrankungen litten und dadurch einer enormen psychischen Belastung ausgesetzt waren. Beispielsweise wurde bei Patienten, die sich einer Stammzelltransplantation unterzogen hatten, mithilfe der Atemtherapie eine Linderung der Angstsymptomatik sowie eine allgemeine Affektbesserung beobachtet (3, 89).

Patienten, die verhaltensbedingt zu einer Kurzatmigkeit neigten, verspürten eine Angstreduktion sowie Nachlassen ihrer depressiven Beschwerden, nachdem sie durch Umschulung ihres Atemverhaltens ein verbessertes Atemmuster erlernten (9). Des Weiteren wurden entspannende Atemübungen als Interventionsmöglichkeit bei Personen mit Verhaltensauffälligkeiten angewendet. Beispielsweise kam es nach einer entspannenden Atemtherapie zur Besserung einiger Verhaltenskomponenten bei Jugendlichen mit aggressiven Verhaltensweisen (91).

Eine Stimmungsveränderung durch die Atmung wurde auch bei chronischen Schmerzpatienten beobachtet. So verspürten Patientinnen mit Fibromyalgie-Syndrom ein Nachlassen negativer Gefühle und depressiver Verstimmung, und zwar im Anschluss an Atemübungen mit niedriger Atemfrequenz. Zur gleichen Zeit berichteten gesunde Erwachsene über Verminderung von negativen Affekten und stärkere Aktivierung von positiven Affekten nach den Atemübungen (18).

Entspannende Atemtechniken aus Yoga (11); Qi-Gong und Tai Chi (13) wurden unterstützend in die multimodale Behandlung von chronischen Schmerzstörungen

integriert. Neuere Studien vertreten die Ansicht, dass die langsame und vertiefte Bauchatmung über einen relevanten analgetischen Effekt verfügt. Bei Patientinnen mit diagnostiziertem Fibromyalgie-Syndrom wurde nach einigen Wochen Qi-Gong-Atemübungen über Linderung der Schmerzsymptomatik und einem verbesserten Allgemeinbefinden berichtet. Hier erschien die Kombination von Atemübungen und Bewegung viel effektiver hinsichtlich der Schmerzreduktion als das alleinige Praktizieren von Körperbewegungen ohne die begleitende Atemtechnik (12).

Nicht nur bei chronischen Schmerzpatienten wurde eine Veränderung der Schmerzwahrnehmung nach langsamer und vertiefter Bauchatmung festgestellt. Auch gesunde Erwachsene, welche an einem Atemtraining teilnahmen, wiesen erhöhte Schmerzschwellen und Schmerztoleranzen auf (14).

Allerdings bleibt es immer noch unklar, wodurch der schmerztherapeutische Effekt solcher Atemübungen zustande kommt. Die analgetische Wirksamkeit der vertieften und langsamen Atemtechnik beruht wahrscheinlich auf einem komplexen Zusammenspiel verschiedener Faktoren, welche bis heutzutage kaum erforscht sind (15).

Die Entspannung spielt möglicherweise eine zentrale Rolle bei der Umwandlung der vertieften und langsamen Atmung in eine effektive Behandlungsmethode von stressbedingten Krankheiten und chronischen Schmerzstörungen. Bei gesunden Erwachsenen wurde eine Senkung der stressinduzierten sympathische Aktivität beobachtet, indem sie eine zugleich *entspannend* wirkende Atemübung durchführten (7). Im Gegensatz dazu konnte eine Atemübung, die durch eine vorher festgelegte Atemweise und ein visuelles Biofeedback charakterisiert war, keine Senkung des Sympathotonus erzielen. Der wesentliche Unterschied zwischen den zwei Atemübungen war die Biofeedback-Aufgabe in der zweiten Übung, welche die ununterbrochene Aufmerksamkeit der Probanden herausforderte (16). Darüber hinaus bewirke die anhaltende Konzentration auf das Ein- und Ausatmen während achtsamer Atemübungen keine Entspannung, sondern eine Erhöhung der sympathischen Aktivität (17).

Zwischen Atmung und Emotion besteht ein enger Zusammenhang. Auch an dieser Stelle wird jedoch die Frage gestellt, ob die Entspannung die wichtigste Komponente während einer tiefen und langsamen Bauchatmung ist, die somit einen wesentlichen Einfluss auf die Stimmungslage ausübt. In diesem Fall würde die Entspannung als ein biologisch und klinisch wichtiges Merkmal der Atemtherapie fungieren, welches sich zusätzlich auf die Stimmungsmodulation auswirkt (18). Dieser Aspekt ist besonders wichtig in Anbetracht dessen, dass die willkürliche Modulation der Atmung im Stande ist, eine positive Stimmungsveränderung sogar in der Anwesenheit von Schmerz zu bewirken. Des Weiteren wird dadurch die wechselseitige Beziehung zwischen Affekt und Schmerz offensichtlich (19). Allerdings können auch kürzlich publizierte Studien keinen Einblick in die spezifischen Mechanismen geben, die für den Effekt von Atmung und Entspannung auf die Emotionsverarbeitung verantwortlich sind (20).

2. Zielsetzung

Diese Arbeit hat zum Ziel, die spezifischen psychophysiologischen Auswirkungen der vertieften und langsamen Atmung in Bezug auf Schmerzwahrnehmung, Sympathikotonus und Stimmung in einer Gruppe gesunder Erwachsenen zu erfassen. Dabei ist die Rolle der Entspannung während der Atmung von besonderem Interesse, da die Entspannung einen unabhängigen Faktor bei der Modulation von Schmerz, Vegetativum und Affekt darstellen könnte. Dementsprechend ist die Ausprägung der Entspannung während einer langsamen Bauchatmung das zu untersuchende Hauptmerkmal in der vorliegenden Arbeit.

Die erste wichtige Fragestellung beschäftigt sich mit dem Zusammenhang zwischen der Schmerzwahrnehmung und dem Entspannungsgrad während einer vertieften und langsamen Atmung. Die Empfindungs- und Schmerzschwellen der Probanden werden vor und nach Atemübungen mit bzw. ohne entspannende Eigenschaften registriert und ausgewertet. Inwiefern ist die Schmerzmodulation von der Ausprägung der Entspannung abhängig? Wird die Schmerzempfindung vorwiegend durch das Merkmal „Entspannung“ beeinflusst, oder ist die alleinige Umstellung des Atemmusters im Stande, eine Veränderung der Empfindungs- und Schmerzschwellen zu bewirken?

Darüber hinaus ist der potentielle Effekt der vertieften und langsamen Atmung auf die sympathische Aktivität zu untersuchen. Um mögliche Zusammenhänge diesbezüglich aufzudecken, werden die Hautleitfähigkeitsveränderungen der Testpersonen während der Atemübungen gemessen, und analysiert. Auch hier soll untersucht werden, ob die Entspannung während der Atmung den wesentlichen Einfluss auf den Sympathikotonus hat, oder ob auch eine langsame und vertiefte Atmung ohne entspannende Eigenschaften zu einer veränderten sympathischen Aktivität führt.

Außerdem wird in der vorliegenden Arbeit diskutiert, ob und inwiefern eine Veränderung der sympathischen Aktivität sich auf die Schmerzwahrnehmung auswirkt.

Des Weiteren soll auch die Verbindung zwischen der vertieften und langsamen Atmung und der emotionalen Befindlichkeit der Testpersonen untersucht werden.

Damit diese beurteilt werden kann, werden die Probanden gebeten, ihre Stimmungsveränderungen anhand standardisierter psychometrischer Testinventare im Laufe der Studie zu erfassen. Geht die vertiefte und langsame Atmung auch mit einer Stimmungsveränderung einher? Und falls darin tatsächlich ein Zusammenhang besteht, ist die Entspannung die entscheidende Komponente dieser Atmungsart?

Zum Schluss bleibt noch die Frage zu beantworten, ob eventuelle, subjektiv eingeschätzte Stimmungsveränderungen mit objektiv messbaren Veränderungen der Schmerzwahrnehmung und der sympathischen Aktivität in Verbindung stehen.

3. Methoden

3.1. Probanden

Sechzehn junge und gesunde Erwachsene (13 Frauen, 3 Männer, StudentInnen der Universität Regensburg, Deutschland) nahmen an der Studie teil. Ausschlusskriterien waren wie folgt: psychiatrische Störungen oder neurologische Syndrome, kardiale oder pulmonale Erkrankungen, bekannte Migräne oder andere (chronische) Schmerzerkrankungen in der Vorgeschichte, sowie die Einnahme von Schmerzmedikamenten oder psychotropen Substanzen. Alle Teilnehmer wurden neurologisch und psychiatrisch untersucht. Vor ihrem Einschluss in die Studie wurde des Weiteren mit allen Testpersonen ein psychiatrisches Interview durchgeführt. Im Rahmen dieses Interviews wurde das SCID-1 Screening Instrument verwendet (Strukturiertes klinisches Interview für die DSM-IV Achse I-Störungen, klinische Version (SCID-I/cv)) (22, 23). Außerdem füllten alle Probanden das Beck-Depressionsinventar sowie den „Trait anxiety“-Teil des State-Trait-Angstinventars (STAI) aus. Alle Teilnehmer wurden ausführlich über das Thema und den Ablauf der Studie aufgeklärt und gaben anschließend ihre schriftliche Zustimmung. Die Studie wurde von der Ethikkommission der Universität Regensburg genehmigt.

3.2. Testinventare

3.2.1. SCID-I/cv

Alle Probanden wurden vor Beginn der Testungen aufgefordert, die deutschsprachige Version des SCID-I/cv auszufüllen (22). Damit konnten mögliche klinisch relevante psychiatrische Erkrankungen ausgeschlossen werden. SCID-I/cv ist ein strukturiertes Interview, welches zur Diagnostik der psychischen Störungen der DSM-Achse-I verwendet wird (21) und sich als ein zuverlässiges, präzises Screening-Instrument bewiesen hat (23, 24). Zur Achse I des DSM-Klassifikationssystems werden die affektiven Störungen, die Angststörungen, die Psychosen und die Suchtstörungen angerechnet.

3.2.2. BDI

Die Ausprägung depressiver Symptomatik wurde mit Hilfe des Beck-Depressionsinventars bewertet (Originalversion (25), deutschsprachige Version (26), psychometrische Eigenschaften (27)). Mit diesem Fragebogen wurden emotionale, somatische und Verhaltenssymptome umfasst. Das Beck-Depressionsinventar besteht aus insgesamt 21 Fragen und zählt zu den weltweit am häufigsten verwendeten Instrumenten zur Selbstbeurteilung der Intensität depressiver Symptome. Höhere Gesamtscores gehen mit einer Zunahme der depressiven Beschwerden einher, ein Gesamtscore von ≥ 18 Punkten deutet auf eine klinische Depression hin.

3.2.3. STAI-X2

Das State-Trait Angstinventar (STAI) kam in dieser Studie als ein weiteres Testverfahren zur Anwendung. STAI ist ein psychologischer Fragebogen, der die aktuelle (state) und habituelle (trait) Angst erfasst (Originalversion (29); deutschsprachige Version (30); psychometrische Eigenschaften (31)). Das Inventar besteht dementsprechend aus zwei Fragebögen mit jeweils 20 Items auf einer vierstufigen Likert-Skala. Die Ergebnisse der einzelnen Fragebögen können im Endergebnis zwischen 20 und 80 Punkten variieren, wobei höhere Gesamtscores größerer Trait- oder State-Angst entsprechen. Der State-Fragebogen enthält Items, die sich auf den aktuellen Zustand beziehen. Der Trait-Fragebogen beinhaltet dagegen Fragen, die das allgemeine, situationsunabhängige Befinden der Testpersonen beschreibt. Dieses Testverfahren verfügt über keine Cut-off-Werte, da die Ausprägung der Trait- und State-Angst vom Geschlecht und Alter abhängig ist (29). Die Fragebögen können unabhängig von einander verwendet werden. In dieser Studie wurde nur der Trait-Fragebogen genommen.

3.3. Design und Ablauf der Studie

Die Studie (Makrozyklus) bestand aus zwei aufeinander folgenden Atemtherapien (zwei Mesozyklen, jeder Mesozyklus jeweils 6 Wochen lang). Jeder Mesozyklus

setzte sich aus 6 Mikrozyklen zusammen, jeder Mikrozyklus dauerte eine Woche lang. Ein Mikrozyklus bestand aus der eigentlichen Atemübung sowie aus einer Messung vor und einer Messung nach der Übung. Die Atemübungen wurden dreimal pro Woche durchgeführt (einmal unter Aufsicht im Labor, zweimal selbständig zu Hause).

Die Schwellenwerte für Temperatur und Schmerz wurden im ersten, vierten und sechsten Mikrozyklus gemessen. Außerdem wurden die Atemfrequenz und -tiefe sowie die elektrodermale Aktivität (skin conductance level, SCL) gemessen.

Die Stimmungsveränderungen wurden mithilfe des POMS-Fragebogens (Profile of Mood States) vor und nach der Atemübung beurteilt (Figur 1). Alle Messungen wurden unter gleichen Bedingungen durchgeführt.

2 aufeinander folgende Mesozyklen (achtsame Biofeedback-Atemübung vs. entspannende Atemübung; jeder Mesozyklus jeweils 6 Wochen)

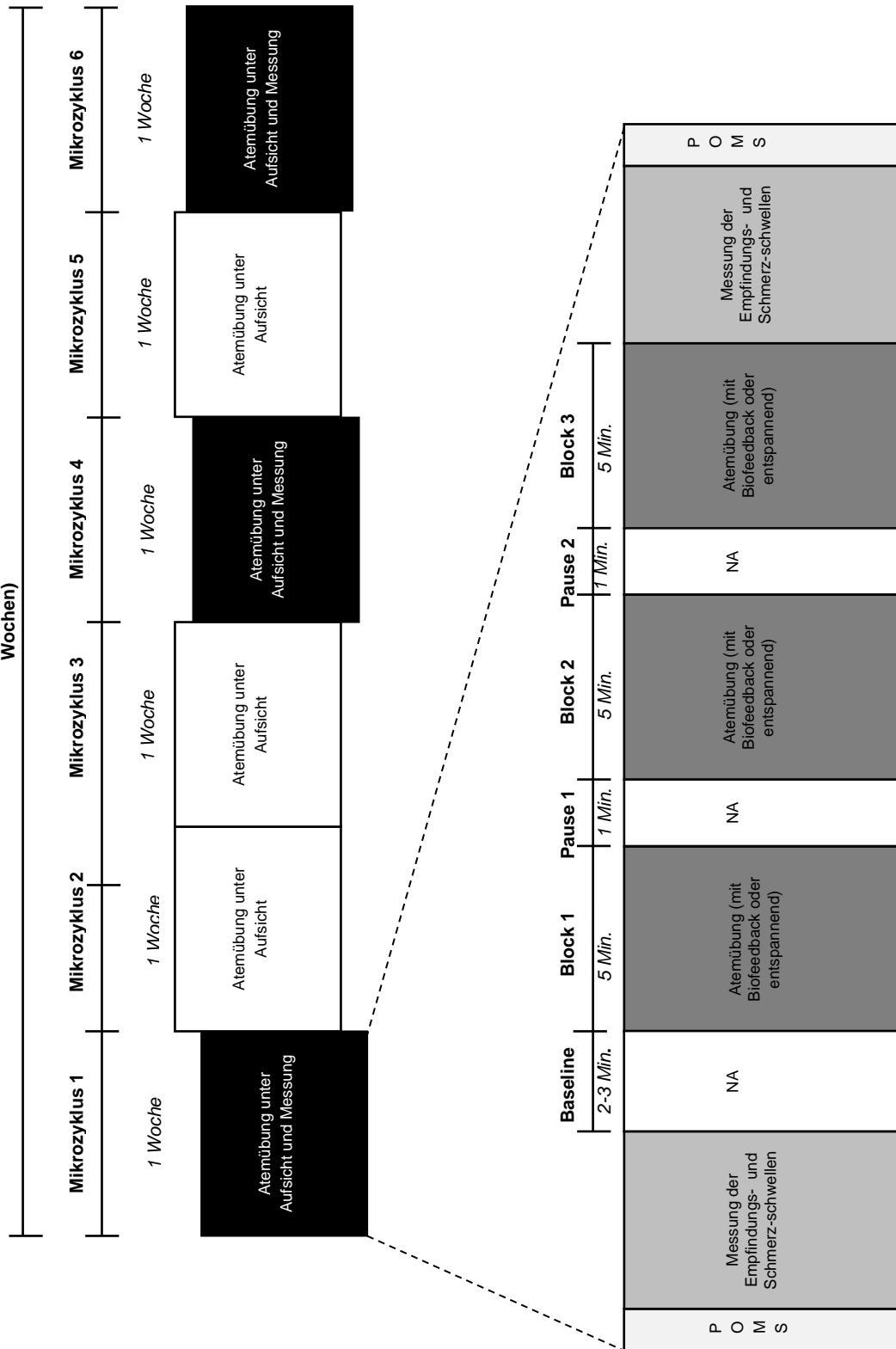


Abbildung 1: Studienablauf. Min. = Minute; POMS = profile of mood states; NA = Normalatmung

3.4. Die Atemübungen

Allen Probanden wurden schriftliche Informationen über den Studienablauf sowie eine Anleitung zur tiefen und langsamen Bauchatmung gegeben. Die angewendeten Atemübungen entsprachen den Empfehlungen in der Fachliteratur (32). Um Übertragungseffekte zu vermeiden, gab es ein übungsfreies Intervall von 6 Monaten zwischen den zwei Mesozyklen. Dazu war es den Probanden nicht gestattet, während dieses freien Intervalls die bereits erlernte Atemübung selbständig durchzuführen oder an weiteren Atem- oder Meditationsübungen teilzunehmen. Des Weiteren wurden mit allen Probanden einige Tage vor Beginn der Messungen zwei Testsitzungen durchgeführt.

Manche der Vorgehensweisen im Rahmen des vorliegenden Studiendeisgns wurden deswegen bevorzugt, weil sie in der Therapie von Patienten mit chronischen Schmerzstörungen eingesetzt wurden. Zum Beispiel wurde eine Atemtherapie genommen, die insgesamt 20 Minuten dauerte und in einzelnen fünfminütigen Blöcken aufgeteilt war, weil diese zeitliche Strukturierung sich als üblich für eine therapeutische Atemsitzung etabliert hat (16,38).

Die zwei unterschiedlichen Atemübungen waren:

- (1) achtsame Atemübung: Die Probanden wurden instruiert, in Beachtung von einer Biofeedback-Atemübung zu atmen (35). Die Atmung war hierbei durch eine festgelegte Atemrate gekennzeichnet. Der Atemtätigkeit der Probanden wurde durch eine vorgegebene, ideale Atemkurve beeinflusst. Sowohl die ideale Atemkurve als auch die Atemkurve der eigenen Atemtätigkeit wurde auf einem Feedback-Schirm zurückgemeldet. Somit war es die Aufgabe der Probanden, ihre eigene Atemkurve an die ideale anzupassen. Auf diese Art und Weise waren ihre Aufmerksamkeit und Konzentration während der gesamten Atemübung erforderlich.
- (2) entspannende Atemübung: Hier wurde von den Probanden verlangt, sich nur auf den Prozess der Atmung zu konzentrieren. Sie mussten auf einen Punkt auf der Wand schauen, um ihre Augen offen zu halten. Mit Hilfe von verbalen Anleitungen des Untersuchers kontrollierten die Probanden selbständig ihren Atemstil. So erzielten sie ein ähnlich tiefes Atemmuster und eine ähnlich

niedrige Atemfrequenz wie im ersten Mesozyklus. Die Atmung wurde in diesem Fall jedoch nicht via ein Biofeedbackbild mit Darstellung der Atemkurven zurückgemeldet, und die Probanden konnten sie deshalb nicht visuell kontrollieren. Diese Übung war hiermit dadurch gekennzeichnet, dass sie nur wenig kognitive Beteiligung erforderte und so das Erreichen eines eher meditativen Zustandes erleichterte (7, 34-36).

In beiden Atemübungen wurden die Probanden darauf hingewiesen, sich auf eine vertiefte, langsame und gleichmäßige Atemtechnik zu konzentrieren. Die Atemfrequenz betrug 7 cpm (Zyklen pro Minute) und war dadurch ungefähr zweimal so langsam wie die Atemfrequenz, die in früheren Studien über entspannende Atemtechniken angewendet wurde (37). Außerdem wurde eine Respirationstiefe von 2 cm Amplitude/Zyklus verlangt. Alle Probanden wurden im Laufe beider Atemtherapien betreut und angeleitet. Darüber hinaus wurden sie aufgefordert, ihr Atem nicht anzuhalten. Stattdessen hatten sie die Aufgabe, während des ganzen Atemzyklus tief und langsam zu atmen, mit einem fließenden Übergang von In- zur Expiration. Das Inspiration/Expiration-Quotient der einzelnen Atemzyklen war in beiden Atemtherapien 30%/60%. Eine kurze Pause (10%) folgte jedem Atemzyklus. Somit entsprach das Design der Atemübungen den Empfehlungen der Fachliteratur für Tiefenatmung (16, 38).

Um mögliche Interaktionseffekte zwischen Untersucher und Probanden zu vermeiden und ein ähnliches Atemmuster zu gewährleisten, wurden alle Probanden während der Übungen in jedem der zwei Mesozyklen durch ähnliche verbale Anleitungen unterstützt. Es wurden strukturierte Sätze verwendet, die auf empfohlenen Dialogen aus der Literatur über entspannte Tiefatmung basierten.

Die Gesamtdauer einer Atemübung war 20 Minuten: 2-3 Minuten Baseline, gefolgt von drei fünfminütigen Atemblöcken, mit Pausen von jeweils einer Minute nach jedem Atemblock. Während der Baseline konnten die Messgeräte kalibriert werden und die Probanden konnten sich an der Laborumgebung gewöhnen. Die Werte der Baseline und der Pausen zwischen den einzelnen Atemblöcken wurden zur weiteren Datenerhebung nicht herangezogen.

3.5. Messung der Atemparameter

Sowohl die Biofeedback-Übungen mit einer vorher festgelegten Atemrate als auch die im Voraus erlernten, entspannenden Atemübungen ohne äußere Kontrolle gehen meistens mit einer bewussten Beherrschung der thorakalen und abdominalen Atembewegungen einher (40). In Studien über eine bewusst kontrollierte Atmung wurde beobachtet, dass die abdominalen Atembewegungen auch bei im Voraus festgelegte Atemfrequenzen und -tiefen exakt wiedergeben konnten. Diesbezüglich bewirkte das Vorhandensein oder das Fehlen einer visuellen Kontrolle (z.B. ein Biofeedback-Monitor) keine Unterschiede in den Atembewegungen (41). Aus diesem Grund wurde ein abdominales respiratorisches Modul (ein 2-Kanal-Gerät) verwendet, welches um den Oberbauch der Probanden befestigt wurde und ein digitales, zu den Atembewegungen analoges Signal produzierte (*Amplitude* in mm/Zyklus; *Frequenz* in Zyklen/min, cpm). Mit diesem dehnbaren Atemgürtel konnte dementsprechend das Ein- und Ausatmen registriert, umgerechnet und visuell rückgemeldet werden. Damit die Gürtelposition bei jeder Messung gleich bleiben konnte, befand sich der Atemgürtel jedes Mal genau 5 cm oberhalb des Nabels, direkt an der Haut. Aus den respiratorischen Frequenzen und Tiefen aller drei Blöcke eines jeden Mikrozyklus wurden Mittelwerte gebildet. Zum Schluss wurde ebenso ein Mittelwert aus dem ersten, vierten und sechsten Mikrozyklus gebildet.

3.6. Messung des Sympathikotonus

Die Innervation der menschlichen Schweißdrüsen wird ausschließlich vom sympathischen Teil des vegetativen Nervensystems gewährleistet (48). Da Schweiß eine sehr gute elektrische Leitfähigkeit hat, stehen alle Veränderungen der Schweißsekretion in direkter Verbindung mit der elektrodermalen Aktivität (47). Hiermit ist die Erhöhung der elektrodermalen Aktivität ein zuverlässiges Indiz für jede psychisch oder physiologisch verursachte Erhöhung des Sympathikotonus (49). Neuere Studien konnten dazu die Kovarianz zwischen elektrodermalen Aktivität und Schmerzwahrnehmung beweisen (50, 51).

Die elektrodermale Aktivität unterliegt sowohl tonischen als auch phasischen Veränderungen und wird in der Praxis durch ihre beiden Bestandteile

Hautleitwertniveau (Hautleitfähigkeitsniveau, skin conductance level, SCL) und *Hautleitwertreaktion* (Hautleitfähigkeitsreaktion, skin conductance response, SCR) beschrieben.

Das Hautleitwertniveau (SCL) beschreibt die psychophysiologische Grunderregung des Organismus und entspricht somit dem tonischen Anteil der elektrodermalen Aktivität. Das Hautleitwertniveau ist durch kurzzeitige, regelmäßige Erhöhungen gekennzeichnet. Diese werden als Spontanfluktuationen betrachtet und treten *ohne äußere Reize* auf. Eine größere mittlere SCL-Amplitude ist somit für eine erhöhte Aktiviertheit kennzeichnend. Im Gegenteil dazu wird die Hautleitwertreaktion zur Ermittlung der Änderung (Amplitude) der Hautleitfähigkeit als Antwort *auf bestimmte Reize* verwendet.

Im Einklang mit dem Ziel dieser Studie war das Hautleitwertniveau von Bedeutung und wurde deshalb zur Bestimmung des Tonus des Sympathikus herangezogen. Aus diesem Grund wurden alle Fluktuationen auf äußere Reize oder gestörte Atemmuster (Gähnen, Seufzen, Husten) nicht ausgewertet. Die SCL-Werte wurden mittels eines Messgeräts mit konstanter Spannung erhoben (Biofeedback Expert 2000, Fa. Schuhfried, Österreich; verteilt von Fa. Schwa-Medico, Ehringshausen, Deutschland), wie von Venables und Kollegen beschrieben (47). Die SCL-Aktivität im Laufe jedes Mikrozyklus wurde kontinuierlich aufgezeichnet (Spannweite 0,5 μS ; Digitalauflösung 0,024 μS). Bevor die Ag/AgCl-Elektrode an die nicht-dominante Hand befestigt wurde (an die Palmarseite der Ringfingerphalanx), wurde die Haut mit einer Alkohollösung desinfiziert (52). Die Zeitmarker, die die einzelnen Atemblöcke von den Pausen trennten, entsprachen dem chronologischen Ablauf der Atemübung. Die durchschnittliche SCL-Veränderung während eines Atemblocks wurde als das Verhältnis vom SCL-Wert in der ersten zum SCL-Wert in der letzten Minute ausgewertet. Darauffolgend wurde ein SCL-Mittelwert aus allen drei Atemblöcken eines jeden Mikrozyklus gebildet. Die Primärdaten (in μS) wurden anschließend bearbeitet, um die SCL-Änderungen prozentual einschätzen zu können.

3.7. Messung der somatosensorischen Schwellen

Obwohl die Atemübungen in jedem Mesozyklus insgesamt sechs Mal unter Supervision durchgeführt wurden, erfolgte die Messung der Temperaturempfindungs-

und Schmerzschwellen nur während des ersten, vierten und sechsten Mikrozyklus, jeweils vor und nach der Atemübung.

Die Temperaturempfindungsschwellen sowie die Schmerzschwellen für kalte und heiße Stimuli (42) wurden mithilfe des TSA 2001-II thermal sensory Testgerätes (Fa. Medoc, Ramat Yishai, Israel) gemessen, wobei das QST-Protokoll des Deutschen Forschungsverbund Neuropathischer Schmerz (DFNS) berücksichtigt wurde (43). Alle QST-Messungen erfolgten auf der dorsalen Seite der rechten Hand mit einer Kontaktfläche der Thermode von 3x3cm (9cm²). Die Thermode wurde mittels eines elastischen Bandes befestigt, so dass ein konstanter Druck zwischen der Handfläche und der Thermode ausgeübt wurde. Zuerst wurden die Empfindungsschwellen für Kälte (KES) und für Wärme (WES), anschließend auch die Schmerzschwellen für Kälte (KSS) und für Hitze (HSS) gemessen. Die Ausgangstemperatur der Thermode betrug 32°C (Basislinie). Die Stimuli wurden mit einer von dieser Basislinie ausgehenden Temperaturänderung von 1°C/sec dargeboten. Die Temperaturgrenzen sind standardmäßig jenseits der 0°C und 50°C abgeriegelt.

Die Einzelwerte der Schwellen wurden gespeichert, indem die Probanden die Temperaturstimuli selbst per Knopfdruck beendeten, sobald die jeweilige Schwelle erreicht wurde. Daten aus den Messungen vor und nach der Atemübung im ersten, vierten und sechsten Mikrozyklus wurden erhoben und Mittelwerte der jeweiligen Temperaturschwellen wurden gebildet. Während der Messungen konnte keiner der Probanden den Computerbildschirm des Untersuchers sehen. Die Empfindungsschwellen für Kälte und Wärme sowie die Schmerzschwellen für Kälte und Hitze wurden nach der folgenden Berechnung z-transformiert, wodurch sichergestellt wurde, dass alle Parameter standardnormalverteilt waren (Mittelwert 0 mit Standardabweichung von 1):

$$Z\text{-Wert} = (X_{\text{Einzelwert}} - \text{Mittelwert}_{\text{Gruppe}}) / Sd_{\text{Gruppe}} \quad (\text{Gruppe}=15).$$

Sd- Standardabweichung

Die z-Werte für WES und HSS wurden angepasst (*-1). Die Schwellenwerte für Empfindung (KES/WES) bzw. für Schmerz (KSS/HSS) wurden anschließend gepoolt. Die z-Transformation wurde deswegen durchgeführt, um die Mittelwerte der

Schwellenänderungen vergleichbar zu machen. Außerdem war es dadurch möglich, einen Gesamtschwellenwert für die Empfindung bzw. für die Schmerz Wahrnehmung zu bilden. Diese Transformation wurde entsprechend den Empfehlungen in einer neulich erschienenen QST-Studie durchgeführt (44). Der Gesamtschwellenwert gab an, inwiefern die Probanden für die benannten Parameter empfindlich waren. Werte über „0“ deuteten auf einen Funktionsverlust an, d.h. die Probanden waren weniger empfindlich (45). Zusätzlich wurden die ursprünglichen Schwellenwerte der Biofeedback-Atemübungen mit denjenigen der entspannenden Atemübungen verglichen, um mögliche Carry-over-Effekte auszuschließen (46).

3.8. Psychometrische Messungen

Alle Testpersonen wurden aufgefordert, einen POMS-Fragebogen (Profile of Mood States) vor und nach der Atemübung im ersten, vierten und sechsten Mikrozyklus auszufüllen. POMS ist ein gut etabliertes, faktorenanalytisch abgeleitetes Messinstrument zur subjektiven Einschätzung der psychischen Belastung. Es ist durch hohe Reliabilität und Validität gekennzeichnet (Originalversion (53), deutschsprachige Version (54), psychometrische Eigenschaften (55, 56)) und wurde in verschiedenen Studien benutzt, die sich mit der Forschung von depressiven Erkrankungen, Angst- und (chronischen) Schmerzstörungen befassten (57-60). Der POMS besteht aus 65 Items auf einer Scala von 0 bis 4, die sechs unterschiedliche Stimmungszustände und ein *Total Mood Score* beschreiben: Anspannung-Ängstlichkeit (AÄ), Depression-Niedergeschlagenheit (DN), Ärger-Feindseligkeit (ÄF), Müdigkeit (M), Vitalität (V), Verwirrung-Fassungslosigkeit (VF), und *Total Mood Disturbance* (TMD). Der POMS-Fragebogen wurde bei allen Probanden vor und nach der Atemübung des ersten, vierten und sechsten Mikrozyklus ausgewertet.

3.9. Laborumgebung

Der Versuchsraum war schallgedämpft und während der Sitzungen diffus beleuchtet. Auf Musik wurde verzichtet, weil die Exposition gegenüber Musik die Stressreaktionen zusätzlich beeinflussen kann (61, 62). Die Raumtemperatur wurde

bei 20°C stabil gehalten (62, 63). Da viele Substanzen die sympathische Aktivität und damit die SCL-Werte beeinflussen können, durften die Probanden 48 Stunden vor den Messungen kein Alkohol konsumieren und am Tag der Messungen nicht mehr als zwei Tassen Kaffee trinken. Außerdem war es ihnen nicht erlaubt, zwei Stunden vor Sitzungsbeginn zu rauchen (64, 65). Die Probanden wurden ermutigt, bequem zu sitzen und ihre Hände in den Schoß zu legen.

3.10. Statistik

Um festzustellen, wie groß der Effekt der beiden Atemübungen auf die z-transformierten Empfindungs- und Schmerzschwellen war, wurde eine 2x3x2 faktorielle ANOVA mit Messwiederholungen durchgeführt. Es wurde nach dem allgemeinen linearen Modell gerechnet. Die drei Faktoren waren „Mesozyklus“ (Mesozyklus 1 mit Biofeedback-Atmung vs. Mesozyklus 2 mit entspannter Atmung), „Mikrozyklus“ (Mikrozyklus 1 vs. Mikrozyklus 4 vs. Mikrozyklus 6) und „Atemübung“ (vor vs. nach der 20-minütigen Atemübung).

Die Z-Werte der Schmerzschwellen wurden post hoc mittels Mittelwertvergleiche (t-Tests) für abhängige Stichproben analysiert. Auf diese Weise erfolgte ebenso der Vergleich der Atemparameter. Der Zusammenhang zwischen den Veränderungen der SCL-Werte und den Veränderungen der Schmerzschwellen wurde anhand der Korrelationsanalyse nach Bravais-Pearson untersucht.

Die Effektstärke wurde mit Hilfe der Cohen's d Effektgröße ausgewertet, um die Unterschiede in den post-hoc-Tests zu untersuchen (66), welche ein Korrelationsdesign ermöglichen (aufgrund der Messwiederholungen) (67). Für die Daten der Stimmungsveränderungen (POMS) wurden nichtparametrische Rangplatzvergleiche (Wilcoxon-Tests) verwendet.

Als signifikant galten Ergebnisse mit $p < 0.05$.

Die statistischen Auswertungen wurden mithilfe SPSS für Windows 17.0 durchgeführt (Fa. SPSS Science Chicago, Illinois, USA).

4. Ergebnisse

4.1. Stichprobe

Eine männliche Testperson brach seine Teilnahme an der Studie vor Ende des zweiten Mesozyklus ab. Seine Daten wurden deshalb von der weiteren Auswertung ausgeschlossen (per Protokoll). Alle restlichen Probanden (13 Frauen, 2 Männer) absolvierten beide Mesozyklen der Studie. Keiner der Teilnehmer berichtete unerwünschte Nebenwirkungen.

Das Durchschnittsalter der endgültigen Stichprobe (N=15) war 25.1 ± 2.1 Jahre (Spannweite 23-30 Jahre). Der Mittelwert des BDI-Gesamtscore dieser Stichprobe war $4.27 (\pm 3.24)$ Punkte und lag damit deutlich unterhalb des auf eine depressive Störung hinweisenden Cut-off-Wertes (25).

Der Mittelwert des Trait-Angstskala war $38.70 (\pm 8.80)$ und somit im 95% Konfidenzintervall für weibliche und männliche Erwachsene (Alter 15-29, 34.49 ± 5.5 Frauen, 35.65 ± 5.7 Männer) (53).

4.2. Wertverteilungen

Es wurden Mittelwerte für SCL, die Empfindungs- und Schmerzschwellen sowie für die Atemfrequenz- und tiefe gebildet. Diese zeigten sich normalverteilt (Shapiro-Wilks-Tests für kleine Stichproben; qq-Plots).

Die Ergebnisse der POMS-Untersuchungen wichen dabei minimal von der Standardverteilung ab. Deswegen wurden hier zur weiteren Datenanalyse die nicht-parametrischen Wilxokon-Tests durchgeführt.

4.3. Untersuchungen der Atemparameter

Zunächst wurden die Atemtechniken in den verschiedenen Mesozyklen auf ihre Auswirkungen auf die Atemtiefe und Atemfrequenz untersucht. In beiden Techniken zeigten sich Veränderungen der abhängigen Variablen während der Testbedingung

(Atemübung), die sich in den Pausen zurückbildeten. Dabei ergab sich kein signifikanter Unterschied bezüglich dieser Veränderung zwischen den Mesozyklen (Trainingsarten), d.h. die Mittelwerte der Atemfrequenzen und -tiefen waren in beiden Mesozyklen ähnlich und erreichten während der Pausen Baseline-Werte (Tabelle 1).

Tabelle 1: Atemparameter

		MES1	MES2		
		M ± sd	M ± sd	T	p
	Baseline	0.95 ± 0.50	1.01 ± 0.37	-0.45	ns (0.66)
Atemtiefe (mm)	Atemblöcke	22.4 ± 7.0	20.2 ± 5.5	1.53	ns (0.15)
	Pausen	0.98 ± 0.43	0.95 ± 0.40	0.52	ns (0.61)
	Baseline	15.05 ± 2.04	14.16 ± 2.54	1.29	ns (0.22)
Atemfrequenz (min⁻¹)	Atemblöcke	7.04 ± 0.52	7.38 ± 1.01	-1.10	ns (0.29)
	Pausen	15.79 ± 3.59	14.45 ± 2.57	1.85	ns (0.09)

Anmerkung: Mittelwertvergleiche (±sd) der Atemtiefe und der Atemfrequenz für alle Atemblöcke und Pausen während der ersten, vierten und sechsten Sitzung (Mikrozyklus) des ersten Mesozyklus (Mes1; Biofeedback-Atmung) und des zweiten Mesozyklus (Mes 2; mit entspannender Atmung). M= Mittelwert, sd=Standardabweichung. T=Teststatistik, p=Signifikanz, ns=nicht signifikant.

4.4 Untersuchungen der somatosensorischen Schwellen

Die ursprünglichen Empfindungs- (KES: $t=0.36$, ns(0.73), WES: $T=1.02$, ns(0.32)) und Schmerzschwellen (KSS: $T=0.15$, ns(0.88), HSS: $T=-0.93$, ns(0.37)) beider Mesozyklen unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Die Empfindungs- (KES, WES) bzw. die Schmerzschwellen (KSS, HSS) vor und nach den

Atemübungen im ersten, vierten und sechsten Mikrozyklus sind in Tabelle 2 dargestellt:

Tabelle 2: Empfindungs- und Schmerzschwellen

		KES		WES		KSS		HSS	
		pre	post	pre	post	pre	post	pre	post
		M (\pm sd)	M (\pm sd)	M (\pm sd)	M (\pm sd)	M (\pm sd)	M (\pm sd)	M (\pm sd)	M (\pm sd)
MES1	M1	31.03	30.96	33.51	33.45	24.85	25.16	38.16	37.86
		(\pm 0.44)	(\pm 0.39)	(\pm 0.48)	(\pm 0.52)	(\pm 3.88)	(\pm 3.89)	(\pm 2.97)	(\pm 2.87)
	M4	30.74	30.74	33.22	33.39	23.27	23.98	39.71	39.67
		(\pm 0.60)	(\pm 0.58)	(\pm 0.73)	(\pm 0.95)	(\pm 5.11)	(\pm 4.98)	(\pm 3.41)	(\pm 3.35)
	M6	30.40	30.18	33.64	33.79	21.44	21.79	39.59	40.19
		(\pm 0.91)	(\pm 0.95)	(\pm 0.53)	(\pm 0.54)	(\pm 5.67)	(\pm 5.59)	(\pm 4.13)	(\pm 3.22)
MES2	M1	30.97	30.43	33.35	33.69	24.67	24.24	39.01	39.76
		(\pm 0.49)	(\pm 0.69)	(\pm 0.50)	(\pm 0.60)	(\pm 2.99)	(\pm 3.26)	(\pm 3.71)	(\pm 4.04)
	M4	30.70	30.08	33.41	33.56	23.40	21.98	38.96	40.23
		(\pm 0.71)	(\pm 0.90)	(\pm 0.30)	(\pm 0.53)	(\pm 4.62)	(\pm 4.77)	(\pm 3.79)	(\pm 3.39)
	M6	30.69	30.01	33.55	33.76	22.71	20.90	40.54	41.36
		(\pm 0.90)	(\pm 0.87)	(\pm 0.41)	(\pm 0.54)	(\pm 3.89)	(\pm 4.21)	(\pm 4.12)	(\pm 3.72)

Anmerkung: Empfindungs- und Schmerzschwellen der ersten, vierten und sechsten Sitzung (Mikrozyklus) vor (pre) und nach (post) der Atemübungen im Mesozyklus 1 (MES1, BFB-gesteuerte Atmung) bzw. Mesozyklus 2 (MES2, entspannende Atmung.)
WES=Wärmeempfindungsschwelle, KES=Kälteempfindungsschwelle;
HSS=Hitzeschmerzschwelle; KSS= Kälteschmerzschwelle. SD=Standardabweichung,
M=Mittelwert, M1=Mikrozyklus 1, M4=Mikrozyklus 4, M6=Mikrozyklus 6.

Zum Zweck der statistischen Analyse wurden die oben dargestellten Daten zur Standardnormalverteilung transformiert (z-Transformation, wie in den Methoden beschrieben).

Die Daten der Empfindungsschwellen KES/WES bzw. der Schmerzschwellen KSS/HSS wurden gepoolt, woraufhin jeweils eine zusammenfassende Variable für Empfindung und eine für Schmerz gebildet wurden.

Die dreifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholungen der z-transformierten Schwellenwerte ergab signifikante Effekte für den Faktor „Atemübung“ sowie für die „Mesozyklus*Atemübung“-Interaktion. Der Faktor „Mikrozyklus“ und seine Interaktionen zeigten allerdings keine signifikanten Effekte bei der Datenanalyse (Tabelle 3).

Tabelle 3: Multifaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholungen für die Empfindungs- und Schmerzschwellen

Hauptfaktoren und Interaktionen			Empfindungsschwellen		Schmerzschwellen	
	<i>df</i>	<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
	<i>Hypothese</i>	<i>Fehler</i>				
Mesozyklus	1	29	3.55	ns (0.07)	0.68	ns (0.41)
Mikrozyklus	2	28	0.15	ns (0.98)	0.54	ns (0.59)
Atemübung	1	29	16.08	<.001	8.72	<.01
Mesozyklus * Mikrozyklus	2	28	0.46	ns (0.63)	0.17	ns (0.84)
Mesozyklus * Atemübung	1	29	19.02	<.001	6.75	.01
Mikrozyklus * Atemübung	2	28	0.04	ns (0.96)	2.35	ns (0.11)
Mesozyklus*Mikrozyklus* Atemübung	2	28	0.90	ns (0.42)	1.92	ns (0.17)

Anmerkung: Multifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholungen für die z-transformierten Empfindungs- und Schmerzschwellen. Die Haupteffekte und die Interaktionen sind als dreifaktorielles Model gezeigt. Faktoren sind "Mesozyklus" (Mesozyklus 1 mit BFB-Atmung vs. Mesozyklus 2 mit entspannter Atmung), "Mikrozyklus" (M1 vs. M4 vs. M6) und "Atemübung" (vor vs. nach einer Atemübung). F= Prüfgröße für die Varianzanalyse, p=Signifikanz, df=Freiheitsgrade zur Schätzung der Hypothese und des Fehlers, ns=nicht signifikant.

Post-hoc-Analysen brachten den Gesamtanstieg mittlerer Veränderung der Empfindungs- (-0.73, p = <0.001; Cohen's d = 0.88) und der Schmerzschwellen (-

0.27, $p < 0.001$, Cohen's $d = 1.01$) mit den entspannenden Atemübungen des zweiten Mesozyklus in Verbindung. Dahingegen wurden keine Änderungen der Empfindungs- (-0.12 , $p = ns$ (0.20); Cohen's $d = 0.23$) oder der Schmerzschwellen (0.04 , $p = ns$ (0.62); Cohen's $d = -0.09$) während des ersten Mesozyklus festgestellt, in welchem die Atmung durch Biofeedback geleitet war (Abbildung 2).

4.5. Untersuchungen der SCL-Parameter

Die SCL-Werte waren nach der ersten, vierten und sechsten Sitzung des zweiten Mesozyklus (entspannende Atmung) signifikant reduziert. Im Gegenteil dazu gab es keine signifikante Veränderung der SCL-Werte während der Sitzungen im ersten Mesozyklus (Biofeedback-gesteuerte Atmung), sondern es wurde sogar ein Anstieg des Sympathikotonus beobachtet. Die mittlere Veränderung von SCL (in $\Delta\%$) zeigte eine signifikante Reduktion von 18% während der entspannenden Atmung des zweiten Mesozyklus ($T = 3.88$, $p = .002$) und eine insignifikante Gesamterhöhung von 1% während der Biofeedback-Atmung des ersten Mesozyklus ($T = 0.85$, $ns(.41)$) (Abbildung 2).

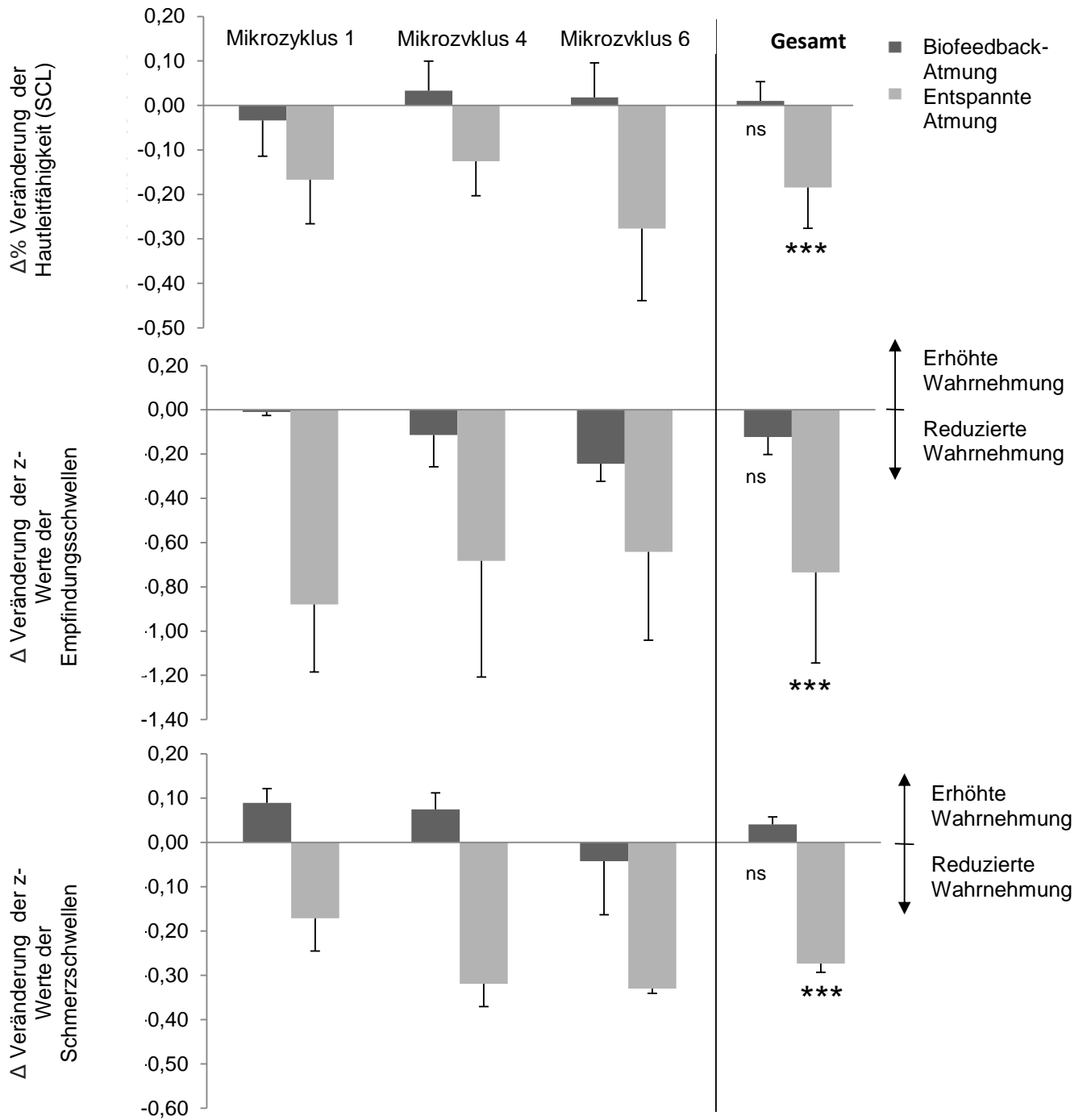


Abbildung 2: Veränderung des Hautleitfähigkeitsniveaus (SCL) und der somatosensorischen Schwellen

4.6. Korrelationsanalysen

Während der entspannenden Atemübungen konnte ein geringfügiger Zusammenhang zwischen der Gesamtänderung der z-Werte der Schmerzschwellen und der Änderung der SCL-Werte festgestellt werden ($r=0.40$; $p<.05$). Ein solcher Zusammenhang war bei der Biofeedback-Atmung nicht zu beobachten ($r=0.30$; $p=ns(.11)$). Weder bei der Biofeedback-Übung ($r=0.14$; $p=ns(.48)$) noch bei der entspannenden Atemübung ($r=0.18$; $p=ns(.35)$) bestand eine signifikante Korrelation zwischen der Änderung der z-Werte der Empfindungsschwellen und der Änderung der SCL-Werte.

4.7. Die Untersuchungen der Stimmungsveränderung

Die Veränderung der Stimmung wurde mit Hilfe des POMS-Inventars erfasst. Angespanntheit, Depression und Ärger waren unmittelbar nach der Biofeedback-Atmung sowie nach der entspannenden Atemübung deutlich vermindert, d.h. die Art der Atemintervention spielte in Bezug auf diesen Aspekt keine Rolle. Die Werte für Vitalität, Müdigkeit und Verwirrung änderten sich sowohl nach der extern gesteuerten als auch nach der entspannenden Atmung nur geringfügig. Die TMD-Werte (total mood disturbance) waren nach beiden Mesozyklen niedriger, wieder unabhängig von der Art der Atemtechnik (Tabelle 4).

Tabelle 4: Profile of Mood States

	MES 1				MES2				Vergleich MES 1 vs. MES 2	
	pre	post	Z	p	pre	post	Z	p	Z	p
	M (±SD)	M (±SD)			M (±SD)	M (±SD)				
Spannung	6.62 (±3.66)	2.40 (±2.50)	-3.41	<.001	6.53 (±2.82)	2.22 (±1.60)	-3.41	<.001	-0.21	ns(.83)
Niederge- schlagenheit	5.42 (±5.86)	1.82 (±2.09)	-3.13	<.01	6.13 (±6.12)	2.93 (±3.13)	-2.94	<.01	-0.41	ns(.68)
Reizbarkeit	3.62 (±3.34)	1.67 (±1.40)	-2.67	<.01	4.42 (±1.19)	1.80 (±1.42)	-2.93	<.01	-0.98	ns(.33)
Tatkraft	16.42 (±4.54)	15.56 (±4.79)	-1.29	ns(.20)	15.96 (±3.99)	14.91 (±5.25)	-0.63	ns(.53)	-0.22	ns(.83)
Müdigkeit	6.24 (±4.21)	6.40 (±3.85)	+0.01	ns(.99)	7.69 (±3.41)	6.49 (±3.07)	-1.32	ns(.19)	-1.36	ns(.17)
Verwirrung	4.71 (±2.98)	4.44 (±2.04)	-0.77	ns(.44)	5.04 (±2.59)	4.47 (±2.51)	-1.88	ns(.06)	-0.66	ns(.51)
TMD	9.87 (±21.44)	0.90 (±10.54)	-1.99	<.05	13.98 (±19.91)	3.04 (±12.42)	-2.73	<.01	-0.59	ns(.55)

Anmerkung: Nichtparametrische Rangplatzvergleiche (Wilcoxon Tests) für Profile of Mood States und Total Mood Disturbances (TMD) vor (pre) und nach (post) dem ersten Mesozyklus mit Biofeedback-Atmung (MES1) und dem zweiten Mesozyklus mit entspannter Atmung (MES2). Es sind die Mittelwerte des ersten, vierten und sechsten Mikrozyklus dargestellt (insgesamt). MES1 = erster Mesozyklus; MES2 = zweiter Mesozyklus; SD = Standardabweichung; Z = Prüfgröße für Wilcoxon Tests; p = Signifikanz; ns = nicht signifikant

5. Diskussion

Trotz einer breiten klinischen Anwendung der tiefen und langsamen Atmung wurden ihre spezifischen Effekte bislang kaum erklärt. Diese Arbeit befasst sich mit dem Einfluss zweier unterschiedlicher Atemtechniken auf die emotionale Befindlichkeit, den sympathischen Anteil des autonomen Nervensystems und insbesondere auf die Schmerzwahrnehmung bei fünfzehn gesunden Probanden.

Beide Atemübungen waren durch ähnliche Atemtiefe und Atemfrequenz gekennzeichnet. Somit unterschieden sie sich in Bezug auf ihr Atemmuster nur sehr wenig voneinander. Allerdings übten die Probanden im Laufe des ersten Mesozyklus der Studie eine Biofeedback-geleitete Übung, d.h. eine Übung mit einem vorher festgelegten Atemmuster. Die Aufgabe, die eigene Atemkurve an die vorgegebene, ideale Atemkurve anzupassen, setzte stets die Aufmerksamkeit und die Konzentration der Testpersonen voraus. Dahingegen hatte die Atemtechnik im zweiten Mesozyklus zum Ziel, eine tiefe Entspannung mit einer möglichst geringen kognitiven Anstrengung zu ermöglichen.

5.1. Veränderungen in der Schmerzempfindung

Eine der zentralen Fragestellungen in dieser Arbeit war es, ob Veränderungen in der Schmerzmodulation während einer tiefen und langsamen Atmung auftreten können, und wenn ja, ob diese Veränderungen vorwiegend mit dem speziellen Atemmuster oder eher mit der Entspannungskomponente in Zusammenhang stehen.

Der bemerkenswerteste Befund in dieser Arbeit war der wesentliche Anstieg der Schmerzschwellen nur nach der entspannenden Atemübung, und zwar in allen drei Mikrozyklen des zweiten Mesozyklus. Diese Erhöhung wies auf eine deutliche Abschwächung der subjektiven Schmerzwahrnehmung hin, d. h. die Probanden waren weniger schmerzempfindlich. Im Gegensatz zu diesem Befund blieben die Werte der Empfindungs- und der Schmerzschwellen während der Biofeedback-Atemübung im ersten Mesozyklus auf einem konstanten Niveau. Des Weiteren stiegen sowohl nicht nur die Schmerz-, sondern auch die Empfindungsschwellen im Anschluss an die entspannenden Atemübungen. Daher lässt sich folgen, dass die

entspannende Atemtechnik eine allgemeine Abschwächung der somatosensorischen Wahrnehmung verursachte.

Übereinstimmend mit diesen Ergebnissen heben neuere Studien ähnliche Befunde hervor: im Gegensatz zur normalen oder schnellen Atmung, kann ein tiefes und langsames Atemmuster zur Reduktion der Schmerzintensität führen. *Chalaye et al.* beobachteten einen signifikanten Anstieg der thermischen Schmerzschwellen und der Schmerztoleranz in gesunden Erwachsenen nach einer tiefen und langsamen Atemübung (14).

Der Einfluss der langsamen Atmung auf die Schmerzwahrnehmung wurde von *Zautra et al.* ebenso anhand thermischer Schmerzstimuli bei Fibromyalgie-Patientinnen und bei gleichaltrigen gesunden Frauen untersucht. Tatsächlich wurde eine Senkung der Schmerzintensität in Verbindung mit einer niedrigen Atemfrequenz festgestellt, auch wenn dieser Effekt bei den chronischen Schmerzpatientinnen vergleichsweise weniger ausgeprägt war (18).

Grant et al. untersuchte mittels Temperaturstimuli die Schmerzwahrnehmung unerfahrener Testpersonen und solcher mit langjähriger Meditationserfahrung während meditativer Übungen. Bei den erfahrenen Meditierenden waren deutlich höhere Temperaturwerte zur Auslösung moderater Schmerzen erforderlich. Außerdem war ihre Schmerzmodulation mit einem tiefen, meditativ - konzentrativen Entspannungszustand und einer *niedrigeren Atemfrequenz* verbunden. Die Ergebnisse zeigten, dass der analgetische Effekt bei den Meditierenden in Zusammenhang mit ihrem veränderten Atemmuster stand: je langsamer die Probanden während ihrer meditativen Entspannung atmeten, desto höher waren ihre Schmerzschwellen bzw. desto geringer war die wahrgenommene Schmerzintensität (68).

An dieser Stelle soll bemerkt werden, dass aufgrund des Designs dieser bisherigen Studien nicht differenziert werden konnte, welche Veränderungen in der Schmerzwahrnehmung durch die Entspannung und welche durch die Atmung zustande kamen. In diesem Fall war keine Kontrollgruppe zum Vergleich vorhanden, die mit einer analogen Atemtiefe und Atemfrequenz hätte atmen sollen, allerdings ohne die Möglichkeit, sich während der Atemübungen zu entspannen.

Die vorliegende Arbeit weist jedoch darauf hin, dass die Entspannung eine essentielle Eigenschaft der vertieften und langsamen Atmung bei der Veränderung der Schmerzwahrnehmung darstellt. Dieser unspezifische psychomotorische Effekt ruft einen ebenso unspezifischen Anstieg der Empfindungs- und Schmerzschwellen hervor.

Zur Unterstützung dieser Beobachtungen wurde in einer Reihe von Studien gezeigt, in welchen keine Atemübungen verwendet wurden, dass die Reaktion auf noxische Stimuli während eines tiefen Entspannungszustands mit Verminderung der Schmerzempfindung verbunden war. So zeigten Testpersonen unter den Bedingungen der hypnotischen Analgesie eine signifikante Absenkung ihrer somatosensorischen ereigniskorrelierten Potentiale (SERP) (73,74). Die SERP, die durch phasische Schmerzstimuli hervorgerufen wurden, dienten als physiologischer Index für die Schmerzempfindung während hypnotischer Analgesie (75).

Crawford et al. beschrieben, dass Patienten mit chronischen Rückenschmerzen während hypnotischer Analgesie niedrigere SERP nach elektrischen Schmerzreizen zeigten. Ferner äußerte sich die Änderung der Schmerzwahrnehmung nicht nur im Rahmen der Hypnosesitzungen, sondern die Testpersonen berichteten über eine anhaltende Reduktion ihrer chronischen Schmerzen und eine Besserung ihres psychischen Befindens (73).

Im Einklang mit den dargestellten Ergebnissen beobachteten *Zachariae und Bjerling* eine wesentliche Verminderung der Schmerzwahrnehmung und der SERP bei Probanden, die gut hypnotisierbar waren (74). Eine Erhöhung der Empfindungs- und Schmerzschwellen während Hypnose wurde außerdem in Zusammenhang mit niedrigeren kortikalen SERP gebracht (75). In diesem Kontext übt die Entspannung möglicherweise ihren inhibitorischen Effekt auf die somatosensorische Wahrnehmung aus, indem sie die Aktivität einer inhibierenden Feedback-Schleife zwischen dem anterioren frontalen Kortex und der thalamokortikalen Aktivitäten fördert (73).

Dieses Phänomen ließe sich theoretisch auch damit erklären, dass sowohl die Müdigkeit als auch die verminderte Vigilanz zu geringfügig verlängerten Reaktionszeiten führen können (69). Dieser Störfaktor wurde in der vorliegenden

Studie allerdings kontrolliert. Die Daten bewiesen, dass der Müdigkeitsgrad während der Atemübungen in beiden Mesozyklen auf einem annähernd konstanten Niveau blieb. Außerdem wurde in der Studie von *Langner et al.* bestätigt, dass die kognitive Ermüdung keinen Einfluss auf die Reaktionszeit bei der Ausführung von gezielten Aufgaben hatte (70).

Zudem könnten solche Einflüsse, wenn überhaupt vorhanden, eine Schwellendifferenz von 1°C in unserer Studie nicht überzeugend erklären, weil in diesem Fall eine Verlangsamung der Reaktionszeit von fast über einer Sekunde zu erwarten wäre. Ganz im Gegenteil: *Subramanya et al.* konnten bessere Ergebnisse in der Ausführung einer psychomotorischen Aufgabe beobachten, nachdem die Probanden zwei Yoga-Entspannungstechniken geübt hatten (71). Dieser Befund stand außerdem mit einer Besserung der psychomotorischen Vigilanz und der motorischen Geschwindigkeit im Zusammenhang (72).

Es lässt sich diskutieren, ob die Probanden in der vorliegenden Arbeit während der zwei unterschiedlichen Atemübungen unterschiedlich stark abgelenkt waren. Allerdings mögen sich umgekehrt die beiden Interventionen u. U. auch nicht im Grad der Ablenkung unterscheiden haben: Manche der Probanden waren wohl vorwiegend durch die Aufgabe in der ersten Atemübung, ihre Atemkurve an die fest vorgegebene, ideale Atemkurve anzupassen, abgelenkt. Wiederum berichteten manche von ihnen, dass sie während der zweiten Atemübung im ähnlichen Maße abgelenkt waren, in diesem Fall aber durch das Nachhängen ihren eigenen Gedanken.

5.2. Veränderung der sympathischen Aktivität

Ferner wurde zu Beginn der vorliegenden Studie die Frage gestellt, ob und inwiefern eine vertiefte und langsame Atemintervention eine Veränderung des Sympathikotonus bewirkt. In diesem Kontext war außerdem wichtig zu untersuchen, ob auch hier die Entspannung eine vorrangige Rolle bei der eventuellen Sympathikolyse spielt, oder ob die alleinige Veränderung des Atemmusters zu einer niedrigeren sympathischen Aktivität führen kann.

In dieser Arbeit korrelierten die Veränderungen im Hautleitfähigkeitsniveaus (skin conductance level; SCL-Werte), der Empfindungsschwellen und der Schmerzschwellen nur schwach miteinander. Diese Arbeit zeigte dennoch eine wesentliche Verminderung der SCL-Werte und deutete dadurch auf ein Nachlassen der sympathischen Aktivität hin. Hierbei handelte es sich um einen Effekt, der ausschließlich auf die *entspannende* Atmung bezogen und in allen drei Mikrozyklen des zweiten Mesozyklus nachzuweisen war. Demgegenüber wurde während der Biofeedback-Atemübung keine Reduktion, sondern gar eine Erhöhung der sympathischen Aktivität beobachtet.

Die vorliegenden Ergebnisse, die eine gleichsinnige Veränderung von Nozizeption mit einem Entspannungszustand belegen, sind in Übereinstimmung mit einer Reihe von Studien, welche den Effekt tiefer Entspannungstechniken auf das autonome Nervensystem untersuchten. Die basale elektrodermale Aktivität war während Meditation (76), Achtsamkeitsübungen zur Stressbewältigung (*mindfulness-based stress-reduction; MBSR*) (77) und *body-mind-Training* (78) im Wesentlichen reduziert.

Zusätzlich soll in Betracht gezogen werden, dass die Atemtätigkeit alleine die Hauptrolle für die verringerte sympathische Aktivität spielen kann. Ein möglicher Wirkmechanismus zur Modulation des autonomen Nervensystems durch die Atmung kann u. a. auf der Stimulation des Baroreflexes bei einer niedrigeren Atemfrequenz beruhen. *Bernardi et al.* untersuchten fünfzehn gesunde Probanden mit der Fragestellung, ob eine langsame Atmung die Aktivität der Barorezeptoren beeinflusst. Während einer Atemübung mit 6 Atemzyklen pro Minute wurde eine eindeutige Sensitivitätserhöhung des Baroreflexes festgestellt (104).

Eine regelmäßige Stimulation der Barorezeptoren bewirkt wahrscheinlich eine anhaltende Verstärkung des Baroreflexes und beeinflusst somit die Herzfrequenzvariabilität. Damit wird auf eine allgemeine Downregulation der sympathischen Aktivität hinweisen (100).

Im Gegensatz dazu wurde in dieser Arbeit festgestellt, dass das Hautleitfähigkeitsniveau der Probanden während der Biofeedback-Atemübung anstieg, d.h. ihre sympathische Aktivität war trotz dieser tiefen und langsamen

Atmungsart erhöht. Ein potentieller Mechanismus, der diesem Phänomen zugrunde liegen kann, ist die kognitive Beschäftigung mit der Aufgabe während der ersten Atemintervention: so wurde ein erhöhter Sympathikotonus aufrecht erhalten und die SCL-Werte blieben konstant oder stiegen.

Diese Hypothese stimmt mit der Studie von *Cappo und Holmes* überein, in welcher der Effekt spezifischer Atemaufgaben auf den Sympathikotonus untersucht wurde. Dabei wurde die Konzentration der Testpersonen erheblich herausgefordert, da sie während der respiratorischen Aufgaben fest vorgegebenen, abwechselnden Atemmanövern und –frequenzen folgen mussten. Währenddessen wurde ihre elektrodermale Aktivität untersucht. Die Ergebnisse zeigten eine allgemeine Erhöhung der elektrodermalen Aktivität und sprachen daher für eine größere Erregbarkeit des Sympathikus (16).

Zur weiteren Unterstützung dieser Hypothese ergab sich in der Studie von *Holmes et al.* keine Verminderung der stressbezogenen Reaktionen bei Personen, die an einer respiratorischen Aufgabe teilnahmen. Die Teilnehmer mussten während dieser Aufgabe den genauen Ablauf ihrer Atmung überwachen und kontrollieren, was ihre anhaltende Konzentration erforderte (79).

Zudem wurde in einer klinischen Stichprobe mit Patienten, die eine signifikant hohe Trait-Angst (STAI) aufwiesen, eine Reduktion der elektrodermalen Aktivität erreicht, jedoch nur nach der Durchführung entspannender Atemübungen ohne äußerliche Kontrolle. Ein solcher Effekt auf die sympathische Aktivität war während Übungen mit einem vorgegebenen Atemmuster deutlich schwächer ausgeprägt (80).

In der Studie von *Sato et al.* wurde zudem eine Erhöhung des Sympathikotonus in Bezug auf eine tiefe und langsame Bauchatmung registriert. In diesem Experiment mussten die Probanden eine spezifische Atemübung mit einer festgelegten Atemfrequenz von 6 Atemzyklen pro Minute (5 Sekunden Inspiration / 5 Sekunden Expiration) durchführen, und zwar in stehender oder sitzender Position mit nach oben ausgestreckten Armen. Die Testpersonen mussten dadurch zum Einen ihre Atemtätigkeit anhaltend bewusst kontrollieren und zum Anderen aufpassen, in der vorgegebenen, eher unnatürlichen Körperposition zu bleiben. Unmittelbar nach der beschriebenen Atemübung wurde die Konzentration von Noradrenalin im Urin

gemessen. Diese erwies sich als erhöht und deutete somit auf eine Stimulation des Sympathikus hin (98).

Es kann daher behauptet werden, dass die Aufmerksamkeit der Probanden während der Biofeedback-Atemübung eine Senkung der sympathischen Aktivität verhinderte. Aus diesem Grund führt nicht jede tiefe und langsame Atmung zwangsläufig zu verminderten Stressreaktionen. Vielmehr ist dieser Effekt der Atmung stark vom Grad der Entspannung abhängig.

5.3. Sympathikotonus und Schmerzwahrnehmung

In dieser Studie wurde ein geringfügiger Zusammenhang zwischen der Veränderung der SCL-Werte und der Schmerzschwellen während der entspannenden Atemübung gefunden ($r=0.40$; $p<.05$). Nicht zuletzt sollte daher auch die Interaktion zwischen dem autonomen Nervensystem, insbesondere der Sympathikolyse, und der Schmerzwahrnehmung diskutiert werden.

Schmerzhafte Stimuli stellen eine Möglichkeit zur generalisierten Stimulation des Sympathikus dar. Der Einfluss der Nozizeption auf das autonome Nervensystem wird anhand des schmerzauslösenden Kälte-Druck-Testes (KDT) ersichtlich: in diesem Verfahren werden die peripheren Kälterezeptoren stimuliert, indem die Probanden ihre Unterarme in eiskaltes Wasser legen. Auf diese Weise kommt es zu einer Sympathikusaktivierung, die sich durch Vasokonstriktion und erhöhte Herzfrequenz kenntlich macht (81, 83).

Daher liegt es nahe anzunehmen, dass die Modulation des autonomen Nervensystems, insbesondere die Sympathikolyse, wiederum eine verminderte Schmerzwahrnehmung erzielen kann.

Ring et al. beobachteten eine Verminderung der Schmerzwahrnehmung bei gesunden Probanden nach der Ausführung von isometrischen Übungen, und zwar in einem linearen Zusammenhang. Diese Ergebnisse traten in Verbindung mit einer phasischen Blutdrucksteigerung auf, welche durch Muskelkontraktion während der isometrischen Übungen hervorgerufen wurde. Eine Erklärung für die beobachtete

Hypalgesie war die ausgelöste Aktivierung der Barorezeptoren im Sinus caroticus und im Arcus aortae und ihre inhibierende Wirkung auf den Sympathotonus. (101). Ähnliche Befunde wurden von *Dworkin et al.* beschrieben. Auch hier war eine Erhöhung des Blutdrucks mit einem aktivierten Baroreflex sowie mit einer reduzierten zerebralen Aktivität auf noxische Stimuli verbunden (102).

Die Interaktion zwischen Sympathikotonus und Nozizeption über die Barorezeptorenaktivität wurde auch in der Studie von *Duscheck et al.* dargestellt. Die Schmerzwahrnehmung bei hypotensiven sowie bei normotensiven Probanden wurde wieder mithilfe des Kälte-Druck-Testes untersucht. Hier reagierten die hypotensiven Testpersonen mit niedrigeren Schmerzschwellen im Vergleich zu den normotensiven Probanden. Als mögliche Erklärung für die Unterschiede in der Nozizeption diente erneut die vom Blutdruck abhängige Aktivität der Barorezeptoren, welche sich bei den hypotensiven Testpersonen im geringeren Ausmaß manifestierte. Die Sympathikolyse, und dadurch auch die Hypalgesie, waren bei ihnen deshalb ebenso weniger ausgeprägt (103).

An dieser Stelle ist wichtig zu differenzieren, dass gerade die Auslösung des Baroreflexes und sein Einfluss auf das autonome Nervensystem für die veränderte Nozizeption wichtig sind. Die Aktivierung der Barorezeptoren durch die aufgetretene Blutdruckerhöhung bewirkt eine Sympathikolyse, welche wiederum mit erhöhten Schmerzschwellen im Zusammenhang stehen kann. Eine Erhöhung des Blutdrucks muss nicht zwangsläufig mit erhöhtem Sympathikotonus einhergehen. *Rau und Elbert* beschrieben sogar die „Barbituraten-ähnliche“ Wirkung des Baroreflexes bei der Hypertension, die erhöhte Aktivierungsbereitschaft der Barorezeptoren bei höheren Blutdruckwerten, und betrachteten die phasische Blutdruckerhöhung als eine vom Organismus „gelernte“ Coping-Strategie zur Schmerz- und Stresslinderung (105).

Zum anderen ist das autonome Nervensystem in einer Vielzahl von chronischen Schmerzerkrankungen beeinträchtigt. Das breite Beschwerdebild der chronischen Schmerzpatienten lässt sich mit einer allgemeinen autonomen Dysfunktion und erhöhtem basalen Sympathotonus erklären (82, 84). Die höheren SCL-Werte bei dieser Patientengruppe sind außerdem mit stärkeren Schmerzen assoziiert (85).

In einer Studie von *Hassett et al.* konnten chronische Schmerzpatienten ihre autonome Reaktion verbessern, indem sie nach mehreren Sitzungen langsamer, entspannender Atemübungen höhere HRV-Werte erreichten. Eine anhaltende und somit therapeutisch relevante Erhöhung der Herzfrequenzvariabilität, die für eine verminderte sympathische Aktivität kennzeichnend war, korrelierte mit einer Linderung der Schmerzbeschwerden (86).

Sowohl primär afferente Schmerzfasern (A δ und C) als auch Neuronen der Lamina I im Hinterhorn des Rückenmarks stammen von Vorläufern sympathischer Interneuronen. Das Zusammenspiel zwischen Sympathikotonus und Schmerzempfindung beruht deshalb möglicherweise auf ihrer gemeinsamen, koordinierten genetischen Entwicklung. Andererseits lässt sich ihre homöostatische afferente Aktivität vermutlich mit einer synaptischen Verschaltung erklären (87).

Die Ergebnisse dieser Arbeit sind hinsichtlich der Interaktion zwischen Nozizeption und Sympathikotonus im Einklang mit den dargestellten Studien. Es lässt sich daher annehmen, dass eine verminderte sympathische Aktivität tatsächlich im Stande ist, eine Hypalgesie zu bewirken.

5.4. Stimmungseffekte

Im Hinblick auf die Stimmungsmodulation wurde eine signifikante Besserung von Anspannung, Ärger und depressiven Beschwerden in *beiden* Atemtechniken festgestellt, was auf eine generelle Reduktion des subjektiv empfundenen Stressniveaus hinweist. Einige, zu dieser Arbeit analoge Studien, deren Ergebnisse bereits erwähnt wurden, zeigten in ähnlicher Weise, dass eine Reduktion der negativen Gefühle mithilfe von Atemübungen bei gesunden Personen, aber auch bei Patienten mit depressivem Syndrom oder mit chronischer Schmerzsymptomatik möglich war (2-4, 18, 35, 88- 92).

Im Gegensatz zu den Ergebnissen, dass nur eine *entspannende* tiefe und langsame Atmung im Stande ist, die autonomen Reaktionen und die Schmerzwahrnehmung zu beeinflussen, wurde die affektive Verarbeitung nach *beiden* Atemtechniken in ähnlicher Weise moduliert, d.h. unabhängig davon, ob die Atemübungen mit

gleichzeitiger verifizierbarer Entspannung einhergehen oder nicht. Die subjektive Wahrnehmung, dass beide Atemübungen gleichermaßen zur Entspannung führten, stimmte jedoch nicht mit der tatsächlichen vegetativen Entspannung überein, die ausschließlich während der zweiten, entspannenden Atemtechnik auftrat.

Diese Tatsache deutet dazu daraufhin, dass nur eine verifizierbare Sympathikolyse, und nicht die bloße Stimmungsmodulation, für die Wirksamkeit der Atmung auf die Schmerzwahrnehmung entscheidend ist. In der Studie von *Downey et al.* scheiterte die tiefe und langsame Atmung *ohne* ausreichende vegetative Entspannung beim Versuch, die Schmerzwahrnehmung zu beeinflussen. Trotzdem wurde sie von den Schmerzpatienten als durchaus nützlich und harmonisierend empfunden (95).

Darüber hinaus ist es sicherlich nicht möglich, Veränderungen in der zentralen Schmerzverarbeitung direkt durch die Stimmungsmodulation zu erklären (93). Patienten mit einem schweren depressiven Syndrom erlebten nach konsequenter Wachtherapie eine Besserung der depressiven Verstimmung bei gleichzeitiger Verstärkung der Schmerzwahrnehmung (Hyperalgesie) (94). Ähnliche Befunde wurden bei Patienten mit somatoformen Schmerzen gefunden (99). Dies ist ein Hinweis dafür, dass die affektive und die vegetative Komponente der Schmerzwahrnehmung unterschiedlich und unabhängig von einander verarbeitet werden.

Demzufolge ist zu vermuten, dass andere, von der Entspannung verschiedene Faktoren eine Rolle bei der Stimmungsverbesserung während der Atemübungen spielen. Eine mögliche Erklärung dafür kann auf psychologischen Gründen basieren und steht unter anderem im Zusammenhang mit dem Ausmaß der Erwartung der Testpersonen, dass eine Atemtherapie, die als gut bekannte und effektive Methode zur Stressbewältigung gilt, zur Abschwächung von Anspannung und Ärger führt. Eine alternative Erklärung für dieses Phänomen kann auf die neurophysiologische Ebene zurückgeführt werden. In Anbetracht der nahen strukturellen Verbindung zwischen respiratorischen Regionen und Neuronen der Amygdala, kann die Atmung ihre Stimmungsmodulation über biologische Mechanismen ausüben (96, 97).

5.5. Limitationen

Die zwei Mesozyklen wurden sukzessiv durchgeführt und nicht balanciert (cross-over). Es wird natürlich in Betracht gezogen, dass dies einen einschränkenden Faktor bei der Interpretation der Ergebnisse darstellen kann, weil nicht ausgeschlossen werden kann, dass durch Lerneffekte das Ergebnis im zweiten Mesozyklus beeinflusst wurde, wodurch womöglich die interne Validität vermindert wurde.

Nicht desto trotz wurden sowohl vor dem ersten als auch vor dem zweiten Mesozyklus der Studie festgestellt, dass die Schmerzschwellen zu Beginn der jeweiligen Atemintervention identisch waren, so dass von gleichen Bedingungen ausgegangen werden konnte und somit carry-over Effekte unwahrscheinlich waren. Außerdem waren die zwei Atemtherapieformen deutlich unterschiedlich in ihrer Durchführung, obwohl darauf geachtet wurde, dass die Atemfrequenz und die Atemtiefe auf einem ähnlichen Niveau bleiben. Somit ist nicht zu erwarten, dass die Testpersonen im Stande waren, ihre Erfahrung aus dem ersten Mesozyklus im zweiten Mesozyklus zu nutzen.

Zusätzlich kann angenommen werden, dass die Zeit von sechs Monaten zwischen den zwei Mesozyklen eine ausreichende Washout-Phase für dezente Übertragungseffekte darstellt. Anschließend wurde sicher gestellt, dass die Testpersonen zwei Wochen vor dem zweiten Mesozyklus keine Atemübungen zuhause durchführten. Dies war ohnehin nicht möglich, da sie nicht über die erforderliche technische Ausstattung verfügten. Zudem wurde ihnen während der Washout-Phase nicht erlaubt, an weiteren Atemtherapien oder Meditationsschulungen teilzunehmen.

Eine weitere Einschränkung ist die ausschließliche Untersuchung von gesunden Probanden. Während die Ergebnisse der entspannenden Atemtechnik auf die Schmerzwahrnehmung vielversprechend sind, sollte die differentielle Wirkung in klinischen Stichproben untersucht werden. Zum einen sollte die Frage berücksichtigt werden, ob es überhaupt bei Schmerzpatienten unter experimentellen Bedingungen zu einer Verringerung der Schmerzwahrnehmung kommen muss. Zum anderen sollte untersucht werden, ob eine potentielle Verringerung auch klinisch relevant wäre.

Weitere Untersuchungen sind notwendig, die auf die Effekte der tiefen und langsamen Atmung auf Patienten mit verschiedenen Schmerzsyndromen und -qualitäten fokussieren.

5.6. Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegenden Ergebnisse weisen insgesamt darauf hin, dass die vertiefte und langsame Atmung einen entscheidenden Einfluss auf die vegetativen Funktionen sowie auf die Schmerzverarbeitung hat. Diese Studie trug zum aktuellen Kenntnisstand über die psychophysiologischen Auswirkungen der Atmung bei, indem sie zeigte, dass die Entspannung während einer tiefen und langsamen Atmung eine bedeutende Rolle in der Modulation des Sympthotonus und der Schmerzwahrnehmung spielt.

In allen drei Mikrozyklen der entspannenden Atemübung kam es zu einer ähnlich ausgeprägten Senkung der sympathischen Aktivität sowie zu einer Dämpfung der Schmerzwahrnehmung. Die Befunde deuten zum einen darauf hin, dass die Atemtechnik leicht zu erlernen ist, da allen Probanden bereits in der ersten Sitzung eine deutliche, mit den späteren Sitzungen vergleichbare Entspannung erreichten; zum anderen verfügt die entspannende Atemübung über einen inhibitorischen Einfluss auf die Schmerzverarbeitung.

Demgegenüber erscheinen die Stimmungsveränderungen zumindest teilweise von anderen Faktoren abhängig zu sein, und nicht ausschließlich vom Ausmaß der vegetativen Entspannung. Dafür spricht, dass beide Ateminterventionen gleich ausgeprägt zu einer Befindlichkeitsbesserung führten.

Die Veränderung der Empfindungs- (1.01) bzw. der Schmerzschwellen (0.88) ist bei gesunden Probanden signifikant. Obwohl in dieser Studie ausschließlich gesunde Probanden getestet wurden, verweisen die Studienergebnisse auf möglicherweise vielversprechende Erkenntnisse über den Effekt der entspannenden Atmung auf Patienten mit Schmerzsyndromen. Weitere Untersuchungen der einzelnen Komponenten der entspannenden Bauchatmung und ihren Einfluss auf chronische

Schmerzsymptome können den Weg für eine optimierte Atemtherapie im klinischen Setting bahnen. Erkenntnisse in diesem Bereich sind deshalb so wichtig, weil die entspannende Atemtherapie ein nützliches Instrument in der Behandlung von chronischen Schmerzpatienten sein kann, bei welchen die alleinige medikamentöse Behandlung häufig nicht ausreichend ist.

Literatur

1. Gilbert C. Clinical applications of breathing regulation. Beyond anxiety management. *Behav Modif* 2003; 27: 692–709.
2. Brown RP, Gerbarg PL. Sudarshan Kriya Yogic breathing in the treatment of stress, anxiety, and depression. Part II—Clinical applications and guidelines. *J Altern Complement Med* 2005; 11:711–7.
3. Kim SD, Kim HS. Effects of a relaxation breathing exercise on anxiety, depression, and leukocyte in hemopoietic stem cell transplantation patients. *Cancer Nurs* 2005;28:79–83.
4. Han JN, Stegen K, De Valck C, Clement J, Van de Woestijne KP. Influence of breathing therapy on complaints, anxiety and breathing pattern in patients with hyperventilation syndrome and anxiety disorders. *J Psychosom Res* 1996;41:481–93.
5. Jerath R, Edry JW, Barnes VA, Jerath V. 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* 2006;67:566–71.
6. Mourya M, Mahajan AS, Singh NP, Jain AK. Effect of slow- and fast-breathing exercises on autonomic functions in patients with essential hypertension. *J Altern Complement Med* 2009;15:711–7.
7. Pal GK, Velkumary S, Madanmohan M. Effect of shortterm practice of breathing exercises on autonomic functions in normal human volunteers. *Indian J Med Res* 2004;120:115–21.
8. Raghuraj P, Telles S. Effect of yoga-based and forced uninostril breathing on the autonomic nervous system. *Percept Mot Skills* 2003;96:79–80.

9. Sydorчук LP, Tryniak MH. Effect of the special breathing exercises on the autonomic regulation of the functional state of respiration and muscular systems. *Lik Sprava* 2005;3:44–7.
10. Nardi AE, Freire RC, Zin WA. Panic disorder and control of breathing. *Respir Physiol Neurobiol* 2009;167:133–43.
11. Sovik R. The science of breathing- The yogic view. *Prog Brain Res* 2000;122: 491–505.
12. Li TY, Yeh ML. The application of qi-gong therapy to health care. *Hu Li Za Zhi* 2005;52:65–70.
13. Li JX, Hong Y, Chan KM. Tai chi: Physiological characteristics and beneficial effects on health. *Br J Sports Med* 2001;35:148–56.
14. Chalaye P, Goffaux P, Lafrenaye S, Marchand S. Respiratory effects on experimental heat pain and cardiac activity. *Pain Med* 2009;10:1334–40.
15. Cahalin LP, Hernandez ED, Matsuo Y. Diaphragmatic breathing training: Further investigation needed. *Phys Ther* 2005; 85: 369–70, author reply 70-3.
16. Cappel BM, Holmes DS. The utility of prolonged respiratory exhalation for reducing physiological and psychological arousal in non-threatening and threatening situations. *J Psychosom Res* 1984;28:265–73.
17. Beary JF, Benson H. A simple psychophysiological technique which elicits the hypometabolic changes of the relaxation response. *Psychosom Med* 1974;36: 115–20.
18. Zautra AJ, Fasman R, Davis MC, Craig AD. The effects of slow breathing on affective responses to pain stimuli: An experimental study. *Pain* 2010;149:12–8.
19. McDonnell L, Bowden ML. Breathing management: A simple stress and pain reduction strategy for use on a pediatric service. *Issues Compr Pediatr Nurs* 1989;12: 339–44.

20. Arch JJ, Craske MG. Mechanisms of mindfulness: Emotion regulation following a focused breathing induction. *Behav Res Ther* 2006;44:1849–58.
21. First M, Spitzer R, Gibbon M, Williams J. Structured Clinical Interview for DSM-IV Axis I Disorders, Clinician Version (SCID-CV). Washington, DC: American Psychiatric Press, Inc.; 1996.
22. Wittchen HU, Zaudig M, Fydrich T. SKID— Strukturiertes Klinisches Interview Für DSM-IV. Göttingen: Hogrefe-Verlag; 1997.
23. Lobbestael J, Leurgans M, Arntz A. Inter-rater reliability of the Structured Clinical Interview for DSM-IV Axis I Disorders (SCID I) and Axis II Disorders (SCID II). *Clin Psychol Psychother* 2011;18:75–9.
24. Shear MK, Greeno C, Kang J, et al. Diagnosis of nonpsychotic patients in community clinics. *Am J Psychiatry* 2000;157:581–7.
25. Beck AT, Ward CH, Mendelson M, Mock J, Erbaugh J. An inventory for measuring depression. *Arch Gen Psychiatry* 1961;4:561–71.
26. Hautzinger M. The Beck Depression Inventory in clinical practice. *Nervenarzt* 1991;62:689–96.
27. Beck AT, Steer RA, Garbin MG. Psychometric properties of the Beck Depression Inventory: Twenty-five years of evaluation. *Clin Psychol Rev* 1988;8:77–100.
28. Richter P, Werner J, Heerlein A, Kraus A, Sauer H. On the validity of the Beck Depression Inventory. A review. *Psychopathology* 1998;31:160–8.
29. Spielberger CD, Gorsuch RL, Lushene RE. Manual for the State-Trait Anxiety Inventory. Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press; 1970.
30. Laux L, Glanzmann P, Schaffner P, Spielberger C. STAI—State Trait Angst Inventar. Göttingen: Hogrefe- Verlag; 1981.
31. Tilton SR. Review of the State-Trait Anxiety Inventory (STAI). *News Notes* 2008;48:1–3.

32. Scheibenbogen O, Prieler J. Biofeedback Aided Psychotherapy (BAP). New York: Kluwer Academic/ Plenum Publishers; 2002.
33. Marx R, Scheibenbogen O. Visualisierung der Respiration als verhaltenstherapeutische Intervention bei Angsterkrankungen. Foto-Medico—Internationaler Arbeitskreis für Medizinische Bilddokumentation 1999;9:7–9.
34. Brown RP, Gerbarg PL. Yoga breathing, meditation, and longevity. *Ann N Y Acad Sci* 2009;1172:54–62.
35. Paul G, Elam B, Verhulst SJ. A longitudinal study of students' perceptions of using deep breathing meditation to reduce testing stresses. *Teach Learn Med* 2007;19:287–92.
36. Wolkove N, Kreisman H, Darragh D, Cohen C, Frank H. Effect of transcendental meditation on breathing and respiratory control. *J Appl Physiol* 1984;56:607–12.
37. Harris VA, Katkin ES, Lick JR, Habberfield T. Paced respiration as a technique for the modification of autonomic response to stress. *Psychophysiology* 1976;13:386–91.
38. Strauss-Blasche G, Moser M, Voica M, et al. Relative timing of inspiration and expiration affects respiratory sinus arrhythmia. *Clin Exp Pharmacol Physiol* 2000;27: 601–6.
39. Ehrmann W. Handbuch der Atemtherapie. Ahlerstedt: Param-Verlag; 2004.
40. Wang SZ, Li S, Xu XY, et al. Effect of slow abdominal breathing combined with biofeedback on blood pressure and heart rate variability in prehypertension. *J Altern Complement Med* 2010;16:1039–45.
41. Minyaev V, Petushkov M. Voluntary control of thoracic and abdominal respiratory movements. *Hum Physiol* 2005;31:44–8.
42. Fruhstorfer H, Lindblom U, Schmidt WC. Method for quantitative estimation of thermal thresholds in patients. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1976;39: 1071–5.

43. Rolke R, Baron R, Maier C, et al. Quantitative sensory testing in the German Research Network on Neuropathic Pain (DFNS): Standardized protocol and reference values. *Pain* 2006;123:231–43.
44. Magerl W, Krumova EK, Baron R, et al. Reference data for quantitative sensory testing (QST): Refined stratification for age and a novel method for statistical comparison of group data. *Pain* 2010;151:598–605.
45. Glass GV, Stanley JC. *Statistical Methods in Education and Psychology*. Boston, MA: Allyn & Bacon; 1970.
46. Wallenstein S, Fisher AC. The analysis of the twoperiod repeated measurements crossover design with application to clinical trials. *Biometrics* 1977;33: 261–9.
47. Venables PH, Martin I. The relation of palmar sweat gland activity to level of skin potential and conductance. *Psychophysiology* 1967;3:302–11.
48. Fuhrer MJ. Stimulus site effects on skin conductance responses from the volar surfaces. *Psychophysiology* 1974;11:365–71.
49. Germana J. Effects on behavioral responding on skin conductance level. *Psychol Rep* 1969;24:599–605.
50. Breimhorst M, Sandrock S, Fechir M, et al. Do intensity ratings and skin conductance responses reliably discriminate between different stimulus intensities in experimentally induced pain? *J Pain* 2011;12: 61–70.
51. Storm H. Changes in skin conductance as a tool to monitor nociceptive stimulation and pain. *Curr Opin Anaesthesiol* 2008;21:796–804.
52. Venables PH, Christie I. Electrodermal activity. In: Martin I, Venables PH, eds. *Techniques in Psychophysiology*. Chichester: Wiley; 1973:3–67.
53. McNair PM, Lorr M, Droppleman LF. *POMS Manual: Profile of Mood States*. San Diego, CA: Educational and Industrial Testing Service; 1992.

54. McNair D, Lorr M, Droppleman L. Profile of Mood States POMS—Ein Verfahren zur Messung von Stimmungszuständen. In: CIPS, ed. Internationale Skalen für Psychiatrie. Weinheim: Beltz Test Gesellschaft; 1981:1–5.
55. Lira FT, Fagan TJ. The profile of mood states: Normative data on a delinquent population. *Psychol Rep* 1978;42:640–2.
56. Pollock V, Cho DW, Reker D, Volavka J. Profile of Mood States: The factors and their physiological correlates. *J Nerv Ment Dis* 1979;167:612–4.
57. Cui J, Matsushima E, Aso K, Masuda A, Makita K. Psychological features and coping styles in patients with chronic pain. *Psychiatry Clin Neurosci* 2009;63:147–52.
58. Jungquist CR, O'Brien C, Matteson-Rusby S, et al. The efficacy of cognitive-behavioral therapy for insomnia in patients with chronic pain. *Sleep Med* 2010;11:302–9.
59. Malouff JM, Schutte NS, Ramerth W. Evaluation of a short form of the POMS-Depression scale. *J Clin Psychol* 1985;41:389–91.
60. Casten RJ, Parmelee PA, Kleban MH, Lawton MP, Katz IR. The relationships among anxiety, depression, and pain in a geriatric institutionalized sample. *Pain* 1995;61:271–6.
61. Knight WE, Rickard Ph DN. Relaxing music prevents stress-induced increases in subjective anxiety, systolic blood pressure, and heart rate in healthy males and females. *J Music Ther* 2001;38:254–72.
62. Iwanaga M, Moroki Y. Subjective and physiological responses to music stimuli controlled over activity and preference. *J Music Ther* 1999;36:26–38.
63. Boucsein W. *Elektrodermal Activity*. Berlin: Springer; 1980.
64. Lyvers M, Miyata Y. Effects of cigarette smoking on electrodermal orienting reflexes to stimulus change and stimulus significance. *Psychophysiology* 1993;30:231–6.

65. Zahn TP, Rapoport JL. Autonomic nervous system effects of acute doses of caffeine in caffeine users and abstainers. *Int J Psychophysiol* 1987;5:33–41.
66. Cohen J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Hillsdale, NJ: Lawrence Earlbaum Associates; 1988.
67. Morris SB, DeShon RP. Combining effect size estimates in meta-analysis with repeated measures and independent-groups designs. *Psychol Methods* 2002;7:105–25.
68. Grant JA, Rainville P. Pain sensitivity and analgesic effects of mindful states in Zen meditators: A cross-sectional study. *Psychosom Med* 2009;71:106–14.
69. Appelle S, Oswald LE. Simple reaction time as a function of alertness and prior mental activity. *Percept Mot Skills* 1974;38:1263–8.
70. Langner R, Steinborn MB, Chatterjee A, Sturm W, Willmes K. Mental fatigue and temporal preparation in simple reaction-time performance. *Acta Psychol (Amst)* 2010;133:64–72.
71. Subramanya P, Telles S. Performance on psychomotor tasks following two yoga-based relaxation techniques. *Percept Mot Skills* 2009;109:563–76.
72. Kaul P, Passafiume J, Sargent CR, O'Hara BF. Meditation acutely improves psychomotor vigilance, and may decrease sleep need. *Behav Brain Funct* 2010;6:1–9.
73. Crawford HJ, Knebel T, Kaplan L, et al. Hypnotic analgesia: 1. Somatosensory event-related potential changes to noxious stimuli and 2. Transfer learning to reduce chronic low back pain. *Int J Clin Exp Hypn* 1998;46:92–132.
74. Zachariae R, Bjerring P. Laser-induced pain-related brain potentials and sensory pain ratings in high and low hypnotizable subjects during hypnotic suggestions of relaxation, dissociated imagery, focused analgesia, and placebo. *Int J Clin Exp Hypn* 1994;42:56–80.

75. De Pascalis V, Magurano MR, Bellusci A. Pain perception, somatosensory event-related potentials and skin conductance responses to painful stimuli in high, mid, and low hypnotizable subjects: Effects of differential pain reduction strategies. *Pain* 1999;83:499–508.
76. Travis F. Autonomic and EEG patterns distinguish transcending from other experiences during Transcendental Meditation practice. *Int J Psychophysiol* 2001;42:1–9.
77. Lush E, Salmon P, Floyd A, et al. Mindfulness meditation for symptom reduction in fibromyalgia: Psychophysiological correlates. *J Clin Psychol Med Settings* 2009;16:200–7.
78. Tang YY, Ma Y, Fan Y, et al. Central and autonomic nervous system interaction is altered by short-term meditation. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2009;106:8865– 70.
79. Holmes DS, McCaul KD, Solomon S. Control of respiration as a means of controlling responses to threat. *J Pers Soc Psychol* 1978;36:198–204.
80. Clark ME, Hirschman R. Effects of paced respiration on anxiety reduction in a clinical population. *Biofeedback Self Regul* 1990;15:273–84.
81. Victor RG, Leimbach WN Jr, Seals DR, Wallin BG, Mark AL. Effects of the cold pressor test on muscle sympathetic nerve activity in humans. *Hypertension* 1987;9:429–36.
82. Martinez-Lavin M, Hermosillo AG. Autonomic nervous system dysfunction may explain the multisystem features of fibromyalgia. *Semin Arthritis Rheum* 2000;29:197–9.
83. Qiao ZG, Vaeroy H, Morkrid L. Electrodermal and microcirculatory activity in patients with fibromyalgia during baseline, acoustic stimulation and cold pressor tests. *J Rheumatol* 1991;18:1383–9.

84. Cohen H, Neumann L, Shore M, et al. Autonomic dysfunction in patients with fibromyalgia: Application of power spectral analysis of heart rate variability. *Semin Arthritis Rheum* 2000;29: 217–27.
85. Ozgocmen S, Ozyurt H, Sogut S, Akyol O. Current concepts in the pathophysiology of fibromyalgia: The potential role of oxidative stress and nitric oxide. *Rheumatol Int* 2006;26:585–97.
86. Hassett AL, Radvanski DC, Vaschillo EG, et al. A pilot study of the efficacy of heart rate variability (HRV) biofeedback in patients with fibromyalgia. *Appl Psychophysiol Biofeedback* 2007;32:1–10.
87. Craig AD. A new view of pain as a homeostatic emotion. *Trends Neurosci* 2003;26:303–7.
88. Harvey JR. The effect of yogic breathing exercises on mood. *J Am Soc Psychosom Dent Med* 1983;30:39– 48.
89. Kim KS, Lee SW, Choe MA, et al. Effects of abdominal breathing training using biofeedback on stress, immune response and quality of life in patients with a mastectomy for breast cancer. *Taehan Kanho Hakhoe Chi* 2005; 35:1295–303.
90. Tweeddale PM, Rowbottom I, McHardy GJ. Breathing retraining: Effect on anxiety and depression scores in behavioural breathlessness. *J Psychosom Res* 1994;38:11–21.
91. Gaines T, Barry LM. The effect of a self-monitored relaxation breathing exercise on male adolescent aggressive behavior. *Adolescence* 2008;43:291–302.
92. Kubzansky LD, Wright RJ, Cohen S, et al. Breathing easy: A prospective study of optimism and pulmonary function in the normative aging study. *Ann Behav Med* 2002;24:345–53.
93. Dickens C, Jayson M, Sutton C, Creed F. The relationship between pain and depression in a trial using paroxetine in sufferers of chronic low back pain. *Psychosomatics* 2000;41:490–9.

94. Kundermann B, Hemmeter-Spernal J, Huber MT, Krieg JC, Lautenbacher S. Effects of total sleep deprivation in major depression: Overnight improvement of mood is accompanied by increased pain sensitivity and augmented pain complaints. *Psychosom Med* 2008;70:92–101.
95. Downey LV, Zun LS. The effects of deep breathing training on pain management in the emergency department. *South Med J* 2009;102: 688–92.
96. Fulwiler CE, Saper CB. Subnuclear organization of the efferent connections of the parabrachial nucleus in the rat. *Brain Res* 1984;319:229–59.
97. Yasui Y, Tsumori T, Oka T, Yokota S. Amygdaloid axon terminals are in contact with trigeminal premotor neurons in the parvicellular reticular formation of the rat medulla oblongata. *Brain Res* 2004;1016:129–34.
98. Sato K, Kawamura T, Yamagiwa S. The "Senobi" breathing exercise ameliorates depression in obese women through up-regulation of sympathetic nerve activity and hormone secretion. *Biomed res.* 2011 Apr;32(2):175-80.
99. Busch V, Haas J, Crönlein T, Pieh C, Geisler P, Hajak G, Eichhammer P. Sleep deprivation in chronic somatoform pain-effects on mood and pain regulation. *Psychiatry Res.* 2012 Feb 28;195(3):134-43.
100. Henderson LA, Macey PM, Macey KE, Frysinger RC, Woo MA, Harper RK, Alger JR, Yan-GoFL, Harper RM. Brain responses associated with the Valsalva maneuver revealed by functional magnetic resonance imaging. *J. Neurophysiol.* 2002 Dec; 88(6):3477-86.
101. Ring C, Edwards L, Kavussanu M. Effects of isometric exercise on pain are mediated by blood pressure. *Biol Psychol.* 2008 Apr;78(1):123-8.
102. Dworkin BR, Filewich RJ, Miller NE, Craigmyle N, Pickering TG. Baroreceptor activation reduces reactivity to noxious stimulation: implications for hypertension. *Science.* 1979 Sep 21;205(4412):1299-301.

103. Duschek S, Schwarzkopf W, Schandry R. Increased pain sensitivity in low blood pressure. *Journal of Psychophysiology*. Vol 22(1), 2008, 20-27.
104. Bernardi L, Porta C, Spicuzza L, Bellwon J, Spadacini G, Frey AW, Yeung LY, Sanderson JE, Pedretti R, Tamarin R. Slow breathing increases arterial baroreflex sensitivity in patients with chronic heart failure. *Circulation*. 2002 Jan 15;105(2):143-5.
105. Rau H, Elbert T. Psychophysiology of arterial baroreceptors and the etiology of hypertension. *Biol Psychol*. 2001 Jul-Aug;57(1-3):179-201.

Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius
ANOVA	Analysis of Variance, Varianzanalyse
BDI	Beck-Depressions-Inventar
BFB	Biofeedback
CGI	Clinical Global Impression
COPD	Chronic obstructive pulmonary disease
df	Freiheitsgrad
DSM	Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders
EKG	Elektrokardiogramm
F	Prüfgröße
HAM-D	Hamilton Depression Rating Scale
HSS	Hitzeschmerzschwelle
KDT	Kälte-Druck-Test
KES	Kälteempfindungsschwelle
KSS	Kälteschmerzschwelle
M	Mittelwert
M1	Mikrozyklus 1
M4	Mikrozyklus 4
M6	Mikrozyklus 6
MBSR	Mindfulness-based stress reduction
MES1	Mesozyklus 1
MES2	Mesozyklus 2
Min.	Minute
mm	Millimeter
NA	Normalatmung
ns	nicht signifikant
P	Signifikanz
POMS	Profile of Mood States
QST	Quantitativ Sensorische Testung
r	Korrelationsgröße
SCID-I	Structured Clinical Interview for DSM-IV Axis I Disorders

sd	Standardabweichung
SCL	Skin conductance level
SCR	Skin conductance response
sec	Sekunde
SERP	Somatosensorische ereigniskorrelierte Potentiale
STAI	State-Trait-Angstinventar
T	Teststatistik
TMD	Total mood disturbance
WES	Wärmeempfindungsschwelle
Z	Prüfgröße für Wilcoxon-Tests
µs	Mikrosekunde

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.: Studienablauf.....	10
Abbildung 2.: Veränderung des Hautleitfähigkeitsniveaus (SCL) und der somatosensorischen Schwellen.....	23

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.: Atemparameter.....	19
Tabelle 2.: Empfindungs- und Schmerzschwellen.....	20
Tabelle 3.: ANOVA mit Messwiederholungen für die Empfindungs- und Schmerzschwellen.....	21
Tabelle 4.: Profile of Mood States.....	25

Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich bei meinem Doktorvater Prof. Dr. Peter Eichhammer für die Gewährung des interessanten Themas sowie für seine konstruktiven Vorschläge und Diskussionen bedanken.

Mein besonderer Dank gilt PD Dr. Volker Busch für seine hervorragende, außerordentlich lehrreiche Betreuung und dafür, dass er immer ein offenes Ohr für meine Fragen hatte.

Ich bedanke mich herzlich bei allen Probanden für ihre Bereitschaft, an dieser Dissertation teil zu nehmen. Ohne deren Zeit und Engagement wäre diese Arbeit nie zustande gekommen.

Meiner Familie danke ich für die großartige persönliche Unterstützung. Und schließlich aber keineswegs zuletzt möchte ich mich bei Anja für ihr sorgfältiges und geduldiges Korrekturlesen bedanken.

