

Entspannung: Neuropsychobiologische Aspekte einer vernachlässigten Selbstverständlichkeit

Uwe H. Ross

Praxis für Otorhinolaryngologie und Psychotherapie, Freiburg i.Br., Deutschland

Schlüsselwörter

Entspannungsreaktion · Interozeption · Selbstregulation · Meditation · Hypnose

Key Words

Relaxation response · Interoception · Self-regulation · Meditation · Hypnosis

Zusammenfassung

Hintergrund: Die Zunahme an Erkrankungen, bei denen Stress zumindest als Kofaktor angesehen wird, kann als Zeichen für eine Dysbalance von Anspannungs- und Entspannungsphasen in westlich zivilisierten Informations- und Dienstleistungsgesellschaften gewertet werden: dekompensierter Tinnitus, Schlafstörungen, Burn-out, Ängste und Depression. Trotz ihrer breiten Anwendung in Stressmanagement und Therapie ist das Verständnis der Wirkungsweise, Erfahrungsdimensionen und Nutzungsmöglichkeiten von Entspannung noch unvollständig. **Zielsetzung:** Anregung eines vertieften Verständnisses von «Entspannung» auf aktueller neuro- und psychobiologischer Basis. Beleuchten der Erfahrungsdimensionen und der Bedeutung von Entspannung in Bezug auf eine gesundheitsförderliche Selbstregulation. **Methoden:** Rekapitulation der Entspannungsforschung, Beleuchtung neurobiologischer Befunde zur Entspannungsreaktion, Synopsis gängiger Entspannungsverfahren sowie Erläuterung der Zusammenhänge von Interozeption und Entspannung am Beispiel der Klangmassage. **Ergebnisse und Schlussfolgerungen:** Anders als früher ergeben sich Entspannungsphasen nicht mehr automatisch aus den Aktivitätsrhythmen der Gesellschaft, sondern müssen aktiv und bewusst in den Alltag eingeplant werden. Dann gewährleisten sie nicht nur Entspannung im engeren, körperlichen Sinne als Reduktion des Sympathikotonus, sondern ermöglichen auch Wohlbefinden, Ressourcenaktivierung, Selbstbesinnung und -erkenntnis, kreative Ideenerschöpfungen und ein wesensgemäßes Selbstmanagement bis hin zu spirituellem Wachstum. Angesichts der Bandbreite an möglichen Entspannungserfahrungen lassen sich individuell angepasste Entspannungsziele definieren, die mit verschiedenen Verfahren erreicht werden können. Darüber hinaus eignen sich Entspannungsverfahren zum Ausbau der Körperwahrnehmung bzw. Interozeption als Basis für eine optimierte Selbstregulation.

Summary

Relaxation: Neuropsychobiological Aspects of a Neglected Matter of Course

Background: The increase of diseases in which stress is recognized as a cofactor can be seen as the consequence of a dysbalance in the tension-relaxation rhythm of western service- and information-oriented societies: annoying tinnitus, insomnia, burn-out, anxiety disorders, and depression. Despite of the widespread use of relaxation techniques in stress management and therapy, the general understanding of specific mechanisms of the effects, dimensions of experience, and specific utilization of relaxation is incomplete. **Objective:** Stimulation of a deeper understanding of «relaxation» on a neuro- and psychobiological basis. Elucidation of the experiential dimensions and of the role of relaxation regarding a health-promoting self-regulation. **Methods:** Recapitulation of relaxation research with emphasis on neurobiological findings of the relaxation response. Synopsis of commonly used relaxation methods as well as illustration of the relationship between interoception and relaxation on the model of sound bowl massage. **Results and Conclusion:** Differently from former times, phases of relaxation and rest do not automatically arise from daily activity rhythms of modern societies but have to be willingly and systematically implemented into daily life. Then, they provide not only relaxation in the strict somatic sense as a reduction of sympathetic activity but also facilitate well-being, resource activation, self-reflection and -realization, creative and generative processes, natural self-management up to spiritual growth via stimulus reduction, inner calm, and increasing self-recognition. Regarding the broad spectrum of experiences during relaxation, specific relaxation objectives can be individually defined and attained by several appropriate methods. Additionally, relaxation techniques are helpful to improve body recognition, awareness, and interoception, which represent the basis for optimal self-regulation.

Einleitung

Der Wechsel von erhöhter und verminderter Aktivität ist ein lebenswichtiges Prinzip aller Organismen. In unserer heutigen Zeit mit westlich zivilisierten Informations- und Dienstleistungsgesellschaften und einer «in time» vernetzten Welt scheint die Balance von Anspannungs- und Entspannungsphasen allerdings einseitig zu Rastlosigkeit, Arbeitsverdichtung mit dauerndem Leistungs- und Termindruck, Multitasking und Reizüberflutung verschoben zu sein. So wird andauernder Stress als Risiko für die Entstehung der heute häufigsten Zivilisationskrankheiten, wie kardiovaskuläre Krankheiten, Angst- und depressive Störungen, angesehen [1]. Begonnen hat diese Entwicklung in den industrialisierten Nationen, als die mechanisierte und hochgradig strukturierte Arbeit im 19. Jahrhundert quantitativ zunehmend an Bedeutung gewann. Es verwundert nicht, wenn kompensatorisch bereits hier das Bedürfnis nach Entspannung entstand, wobei diese nicht selten in

konsumptiven Prozessen gesucht wurde (Essen, Trinken, Rauchen) als in der Rückbesinnung auf die dem Menschen eigenen, natürlichen Basisfähigkeiten zur Entspannung. Bezeichnenderweise wurden die Entspannungsverfahren, die seit den 1990er-Jahren eine bis heute nie gekannte Popularität erfahren, grösstenteils im 19. und 20. Jahrhundert auf der Suche nach formalisierten und standardisierbaren Entspannungstechniken in medizinisch-psychologischen Kontexten entwickelt (auch wenn einige Methoden ideengeschichtlich in wesentlich früheren Zeitaltern liegen, wie z.B. Meditation oder Hypnose) [2].

Wo das Bedürfnis nach Beruhigung nicht mehr durch Praktiken des Lebensalltags (Ausschlafen, «sinnloses» Vor-sich-hin-Dösen, Spielen, Spaziergehen, Singen, Wandern, Tanzen, Beten) befriedigt werden kann, müssen heute oftmals spezielle Entspannungsverfahren oder ritualisierte Handlungen zur Entspannung den Schutz vor Überlastung gewährleisten. Zum klinischen Standardrepertoire gehören die in Tabelle 1 aufgeführten Verfahren.

Tab. 1. Synopsis gängiger Entspannungsverfahren (Auswahl)

Verfahren	Beschreibung
Autogenes Training (AT)	Autosuggestive, konzentrierte Selbstentspannung, vom Neurologen J.H. Schultz (1884–1970) in den 1930er-Jahren aus der Hypnoseforschung entwickelt. Der Übende konzentriert sich auf formelhafte, wiederholte Vorstellungen von Körpersensationen wie « <i>Mein rechter Arm ist schwer</i> » oder « <i>Herz schlägt ruhig und gleichmässig</i> ».
Progressive Muskelrelaxation (PMR)	In den 1920er-Jahren vom Arzt und Physiologen E. Jacobson (1885–1976) auf der Basis experimental-psychophysiologischer Beobachtungen (enge Wechselwirkung von psychisch-mental und neuromuskulären Prozessen) entwickeltes Verfahren, das durch sequenzielles, systematisches An- und Entspannen der willkürlichen Körpermuskulatur auf eine vegetative Umstimmung des Organismus abzielt.
Biofeedback	Anfang der 1970er-Jahre von Psychologen entwickelte Methode auf lerntheoretischer Konzeption, die auf der Verstärkung normalerweise nicht wahrnehmbarer physiologischer Prozesse (z.B. Herzfrequenz, Blutdruck, Temperatur, Muskelaktionspotenziale, Hirnströme, Schweißsekretion) und Rückmeldung als wahrnehmbare Signale (akustisch, optisch) beruht. Die Rückmeldung von Biosignalen ermöglicht deren willentliche Änderung durch den Probanden über das «Lernen am Erfolg» (operantes Konditionieren).
Imaginative Verfahren	Seit Anfang des 20. Jahrhunderts angewandtes Verfahren, das auf der willentlichen Generierung mentaler Vorstellungen beruht, die sensorische oder emotionale Qualitäten beinhalten, und dabei die Fähigkeit zur Visualisierung und das Vorstellungsvermögen nutzt, um Entspannungszustände zu induzieren.
Hypnose	Verfahren (Ursprung im Altertum) zur Induktion eines veränderten Bewusstseinszustands (Trance) über den interaktionellen Prozess der systematischen Fokussierung von Aufmerksamkeit (therapeutisch meist durch verbale Kommunikation). <i>Trance</i> bezeichnet dabei einen natürlichen Bewusstseinszustand, der geprägt ist von unwillkürlichen, automatischen Prozessen (unter anderem spontane Muskelzuckungen und lebhaftes, bildhaftes inneres Erleben) und der zumeist mit Entspannung einhergeht.
Meditation	Sammelbegriff für verschiedene, ursprünglich spirituelle Praktiken aus christlichen, islamischen, jüdischen und fernöstlichen religiösen Traditionen zur Erlangung einer tiefen Ruhe, Erweiterung des Bewusstseins und Förderung spiritueller Wachstums. Gemeinsames Prinzip ist die absichtsvolle Aufmerksamkeitsregulation durch eine systematische Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf Teilaspekte der inneren oder äusseren Erfahrung. Man unterscheidet aktive und passive, rezeptive und konzentrierte Formen. Seit den 1970er-Jahren finden durch die Arbeiten von Jon Kabat-Zinn insbesondere (passive) Praktiken der Achtsamkeitsmeditation (Vipassana/Zazen) Einzug in therapeutische Kontexte (achtsamkeitsbasierte Stressreduktion (MBSR), Verhaltenstherapie).
Klangmassage	Nutzung von Klängen durch Anwendung obertonreicher Instrumente (unter anderem Klangschalen, Monochord, Gongs) an oder nahe der Körperoberfläche mit Stimulation des auditiven und somatosensorischen Systems zur Erzeugung einer Klangtrance. Die Anwendung von Klangschalen geht vermutlich auf Heilungszeremonien und Trancerituale im Bön-Schamanismus Tibets zurück und fand seit Ende der 1950er-Jahre im Westen Verbreitung.

Zur Anwendung von Entspannungsverfahren

Aufgrund der unspezifischen psychophysiologischen Wirkungen in Hinblick auf eine effektive Stressreduktion ist das Anwendungsspektrum von Entspannungsverfahren als nachweislich wirksame Zusatzmassnahme in der Behandlung von zahlreichen stressbezogenen psychischen und körperlichen Störungen gross [3–6]. Indikationen sind:

- *Psychische Störungen:* Stressbedingte Störungen (z.B. Erschöpfungssyndrom), Angst-, Belastungs- und Anpassungsstörungen, leichte bis mittelgradige depressive Störungen, somatoforme Störungen, Schlafstörungen, Sexualfunktionsstörungen, Stimm- und Sprechstörungen.
- *Körperliche Erkrankungen:* Bluthochdruck, koronare Herzerkrankungen, periphere Durchblutungsstörungen, Asthma bronchiale, gastrointestinale Störungen, akute und chronische Schmerzen, Kopfschmerzen vom Migräne- und Spannungstyp, Schlafstörungen und sexuelle Funktionsstörungen.

Kontraindikationen

Folgende psychische Störungen, die zum Teil mit unsicherem Realitätsbezug oder Realitätsflucht einhergehen, sind als Kontraindikationen anzusehen: psychotische Störungen, schwere depressive Episoden, Zwangsstörungen, dissoziative Störungen, Depersonalisierungs-/Derealisationsyndrom, Kontrollverlustängste, Verwirrheitszustände, starke symbiontische Tendenzen, hypochondrische Störungen, Motivationsstörungen und unrealistische Erwartungen [3, 7, 8]. Unter den körperlichen Störungen sind folgende Kontraindikationen zu nennen: Gefässspasmen (z.B. bei zerebralen Insulten), parasympathisch getriggerte Symptomatik (z.B. Bronchospasmen, bradykarde Herzrhythmusstörungen) sowie entzündliche Muskel-, Gelenk- und Wirbelsäulenerkrankungen [3, 7].

Nebenwirkungen

Nicht unbeachtet bleiben sollte, dass die bei Entspannung wahrgenommenen Körpersensationen zwar meist, aber nicht immer angenehm sind: Schwindelgefühle, Kopfschmerzen, Muskelverspannungen und Änderungen des Körperschemas sind beispielsweise als sog. paradoxe Phänomene oder spontane autogene Entladungserscheinungen bekannt [3]. Bei der Induktion von Entspannung können auch Angstreaktionen auftreten: Die sog. «relaxationsinduzierte Angst» (paradoxe Angststeigerung [9]) soll in 31% der Fälle bei der progressiven Muskelrelaxation (PMR) und zu circa 54% bei der Meditation auftreten. Als begünstigende Faktoren hierfür gelten Ängste vor Kontrollverlust bzw. dem Sich-gehen-Lassen, vor Untätigkeit sowie generelle Ruhelosigkeit. Um auftretende

Nebeneffekte zu minimieren, sollte die angewandte Entspannungsmethode dem individuellen Verarbeitungsstil des Übenden angepasst und gegebenenfalls entsprechend modifiziert oder ergänzt werden [10].

Antizipatorische Stressantwort: Die initiale Aktivierung vor der Entspannung

Eine Erklärung für die genannte entspannungsinduzierte Angst liefert die bei verschiedenen stressreduzierenden Praktiken beobachtbare initiale Erregung vor der eigentlichen Entspannung: die antizipatorische Stressantwort («anticipatory stress response», ASR) [11]. Sie kann als protektiv wirksame Orientierungs- und Anpassungsreaktion mit situativer Bewertung vor einer neuen Erfahrung (z.B. Entspannung) angesehen werden, die durch eine milde, initiale sympathikotone Aktivierung mit Ausschüttung von Norepinephrin (= Noradrenalin), Vasokonstriktion und erhöhtem Arousal als Schutz des Individuums vor dem Unbekannten gekennzeichnet ist [12]. Unter geeigneten Umständen wird die antizipatorische Stressantwort über eine Ausschüttung des Botenstoffs Stickstoffmonoxid beendet und die Entspannungsreaktion eingeleitet [11]. Die entspannungsinduzierte, paradoxe Angstreaktion kann somit als das Resultat einer als bedrohlich wahrgenommenen Situation mit Fortbestehen der antizipatorischen Stressantwort verstanden werden (Abb. 1).

Begriffsfassung: Was ist Entspannung?

Im allgemeinen Sprachgebrauch wird unter dem Begriff Entspannung ein angenehmer Zustand mit gelöster Muskulatur, Ausgeglichenheit im Denken und Fühlen sowie Zufriedenheit verstanden. Vaitl [3] definiert Entspannung als «spezifischer psychophysiologischer Prozess, der sich auf einem Kontinuum von Aktiviertheit-Desaktiviertheit

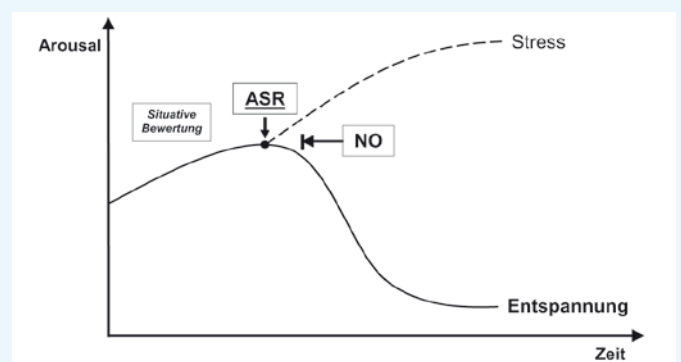


Abb. 1. Antizipatorische Stressantwort (ASR, nach Stefano et al. [11]): Initiale Zunahme des Arousal durch milde sympathikotone Aktivierung, bevor unter geeigneten, sicheren Umständen eine durch Stickstoffmonoxid (NO) vermittelte Entspannung eintritt (—). Wird die Situation als bedrohlich erlebt, erfolgt eine Stressreaktion (---).

zum Pol eines fiktiven Basalwerts hinbewegt und durch Gefühle des Wohlbefindens, der Ruhe und Gelöstheit gekennzeichnet ist».

Entspannung ist kein Sonderzustand, sondern vielmehr ein natürliches, biologisch determiniertes Reaktionsmuster, das prinzipiell jedem Menschen zur Verfügung steht [3]. Als Gegenpol zu den ebenfalls psychophysiologisch angelegten Prozessen der Alarm- und Stressreaktion («fight-or-flight» nach Cannon [13] bzw. «Stressadaptation» nach Selye [14]) dient Entspannung dem Schutz des Organismus vor übermäßiger Beanspruchung und stressbezogenen Krankheitsprozessen [6, 7, 15].

Die Entspannungsreaktion – gemeinsame Basis der Entspannungsverfahren

Wie unterschiedlich die einzelnen Methoden zur Induktion von Entspannung auch sind (Tab. 1), so bewirken sie allesamt eine *Entspannungsreaktion* («relaxation response») – ein Begriff, der von dem Internisten Herbert Benson 1974 in den USA geprägt wurde. Im deutschsprachigen Raum werden hierfür alternativ die Begriffe *Entspannungsreaktion* und *Entspannungsantwort* gebraucht. Diese Reaktion bzw. Antwort, die Resultat jeglicher Form von induzierter Entspannung ist, umfasst physiologische Veränderungen, die durch eine *Absenkung des sympathikotonen Aktivierungsniveaus* hervorgerufen werden [16–18], und nicht durch eine erhöhte parasympathikotone Aktivität, wie oft angenommen wird. Das wiederholte Praktizieren von Entspannungsmethoden hat meist eine *konditionierte Entspannungsreaktion* zur Folge, d.h. ein Auftreten dieser Reaktion bereits auf einen konditionierten Reiz hin (z.B. Atemfokussierung, Körperhaltung, Selbstinstruktion, imaginiertes Bild). Auf diese Weise lassen sich die mit der Entspannungsreaktion einhergehenden charakteristischen psychophysiologischen Veränderungen sehr rasch und willentlich herbeiführen.

Molekulare Mechanismen der Entspannungsreaktion

Bei Entspannungsprozessen spielt Stickstoffmonoxid (NO) eine Schlüsselrolle, zumal es die Fähigkeit besitzt, sympathikotone Reaktionen blockieren zu können [19], und da die relative expiratorische NO-Konzentration nach Entspannungstraining erhöht ist [20]. NO, ein freies Radikal mit ungepaartem Elektron und einer ungewöhnlich langen Halbwertszeit von 2–30 s [21, 22], ist als transmembranal diffusionsfähiger Botenstoff an vielen intra- und extrazellulären Prozessen, wie der Relaxation glatter Muskelzellen [23], der Neurotransmission [24] und der Immunfunktion [25], beteiligt. Es hat Signalfunktionen in unter anderem glatten und Skelettmuskelfasern, Neuronen des zentralen

und peripheren Nervensystems, Makrophagen und endokrinen Zellen [Überblick in 21, 26]. Die Pionierarbeit in den frühen 1980er-Jahren um die gefässerweiternde Wirkung von NO, das unter anderem aus organischen Nitraten freigesetzt wird, die als Nitrovasodilatoren (z.B. Isosorbiddinitrat) bei pektanginösen Beschwerden Anwendung finden, wurde 1998 durch die Vergabe des Medizin-Nobelpreises an Furchgott, Ignarro und Murad gewürdigt. Zielmolekül des Signalweges von NO in glatten Muskelzellen ist die lösliche Guanylatcyclase (sGC) [23], über die es die cGMP-Synthese (zyklisches Guanosinmonophosphat) stimuliert. Ein Anstieg von cGMP («second messenger») aktiviert Proteinkinase G, die über Ionenkanalveränderungen mit intrazellulärem Ca^{2+} - und K^{+} -Abfall und Phosphorylierung der leichten Kette des Myosins die Erschlaffung der Muskelzelle bewirkt [26, 27]. NO entsteht aus L-Arginin mittels NO-Synthasen (NOS), von denen man folgende Isoformen kennt [21, 26]:

1. induzierbare NOS (iNOS), vor allem in Makrophagen, durch die NO als Teil der unspezifischen Immunabwehr gegen Bakterien, Pilze und Parasiten fungiert;
2. endotheliale NOS (eNOS) in Gefäßendothelzellen, von wo aus NO in die Muskelzellen diffundiert;
3. neuronale NOS (nNOS) in Nervenzellen des ZNS, in peripheren Darmnerven und im Nebennierenmark.

Die beiden letztgenannten sind konstitutive NOS (kurz: cNOS) [15, 28, 29]. Im ZNS ist nNOS-gebildetes NO als nichtsynaptischer Neurotransmitter bzw. -modulator in der Regulation von Glutamat- und Monoamin-Signalssystemen wirksam und hemmt die Wiederaufnahme von Dopamin, Noradrenalin und Serotonin in zentralen Synapsen [28].

Stefano et al. [15] vermuten, dass in der initialen Phase der Entspannung auf die kurzanhaltende Norepinephrinvermittelte ASR unmittelbar eine Freisetzung von NO aus nitrogenen Nerven oder aus Gefäß-Endothelzellen und immunogenen Quellen folgt, welche die Norepinephrin-Wirkung am Rezeptor inhibiert und eine konzentrationsabhängige Vasodilatation mit subjektivem Wärmeempfinden mediiert. In Hinblick auf die meist hedonistisch gefärbten Erfahrungen des Wohlbefindens bei der Ausübung verschiedener Entspannungsverfahren werden auf neurophysiologischer Ebene funktionelle Verknüpfungen mit Strukturen des zentralnervösen Motivations- und Belohnungssystems postuliert, wie sie von anderen freudvollen Aktivitäten (z.B. Essen, Sex) bekannt sind, nämlich mit dem orbito- und präfrontalen Kortex, dem ventralen Tegmentum im Mittelhirn und dem limbischen System mit Zingulum, Amygdala, vorderer Insula, Hippocampus und Nucleus accumbens. Neurochemisch sollen hierbei neben GABA (γ -Aminobuttersäure) und Glutamat vor allem die Monoamine Dopamin und Serotonin sowie Opiat-(Endorphin-)Signalwege im mesolimbischen System und Endocannabinoid-Signalwege eine wesentliche Rolle

spielen [15, 30]. Sowohl Endorphine als auch Endocannabinoide führen über entsprechende Rezeptoren wiederum zur cNOS-induzierten NO-Freisetzung aus Immunzellen sowie neurovaskulären Geweben (Neurone, Gliazellen, Gefäßendothelien) in ZNS und Gastrointestinaltrakt (Abb. 2) [15, 29].

Physiologie der Entspannungsreaktion

Die physiologischen Kennzeichen der Entspannungsreaktion sind aus Abbildung 3 ersichtlich. Einige dieser Charakteristika werden nachfolgend erläutert:

Neuromuskuläres System: Die muskuläre Entspannung entsteht dadurch, dass die Anzahl der aktiven motorischen Einheiten oder die Entladungsfrequenz der betreffenden Motoneurone abnimmt, was sich insbesondere in einer Abnahme der Amplitude von Elektromyografie(EMG)-Signalen zeigt. Neben der eigentlichen Induktionstechnik hat auch bereits die Körperposition an sich Einfluss auf den Muskeltonus: Im Liegen beispielsweise sind die afferenten, aufsteigenden Signale aus der Stützmotorik reduziert. Durch den Wegfall von Afferenzen aus Sehnen, Muskeln und Gelenken (Propriozeption) im Liegen werden auch efferente Impulse aus den motorischen Bereichen des Hirnstamms vermindert, wodurch der Tonus der Bein- und Rumpfmuskulatur abnimmt [3]. Auch die sensorische Deprivation hat durch Wegfall stimulierender Reize auf die Formatio reticularis des Hirnstamms (Aktivitätssteuerung mit Arousal-/Weckreaktion) eine Abnahme des Muskeltonus zur Folge.

Kardiovaskuläres System: Einer der sichersten Parameter für eine eingetretene Entspannungsreaktion ist die durch periphere Vasodilatation bedingte Zunahme der Hauttemperatur, die mit einer subjektiven Wärmeempfindung in Entspannung korreliert [31]. Dies erklärt sich zum

einen aus der Abnahme der α - und β -adrenergen Aktivität in Entspannung und zum anderen durch einen Anstieg von Stickstoffmonoxid (NO), das unter anderem Norepinephrin am Rezeptor antagonisiert und zur Relaxation der glatten Gefäßmuskulatur führt [15, 19, 23]. Demgegenüber ist die Herzfrequenz kein guter Indikator für Entspannungsprozesse: In zahlreichen Studien konnte keine deutlichere Absenkung der Herzrate durch Autogenes Training (AT), Biofeedback oder Meditation beobachtet werden als diejenige, die allein durch den Wegfall körperlicher und emotional-kognitiver Beanspruchung erreicht wird [Übersicht in 3]. Lazar et al. [32] fanden sogar einen Anstieg der Herzrate während Meditation, wofür die bereits erwähnte ASR ursächlich sein könnte.

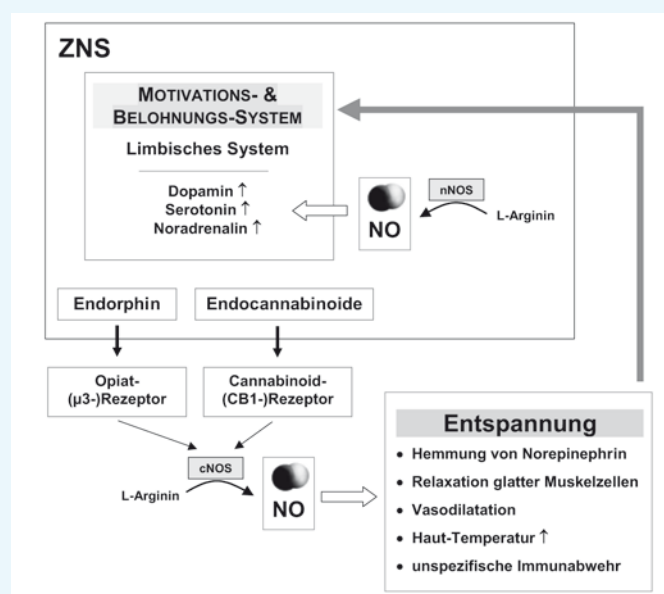


Abb. 2. Wirkungsweise von Stickstoffmonoxid (NO) und molekulare Signalwege bei Entspannung (in Anlehnung an Stefano et al. [15, 29]).

<p>Neuromuskuläres System Reflexfähigkeit ↓, Zahl aktiver motorischer Einheiten ↓, EMG-Signale ↓</p>	
<p>Kardiovaskuläres System Herzrate = / ↓, Blutdruck ↓, periphere Gefässerweiterung (→ Wärmeempfinden)</p>	
<p>Respiration Allgemeine Dämpfung, Inspirationsphase ↑, O₂-Verbrauch ↓, CO₂-Produktion ↓, Atmung flacher und gleichmässiger</p>	
<p>ZNS EEG: α-Wellen ↑, θ-Wellen ↑</p>	
<p>Stoffwechsel Blutzuckerspiegel ↓ ↑, Cholesterinspiegel ↓, Cortisol ↓, Norepinephrin/Epinephrin ↓, NO ↑</p>	
<p>Elektrodermale Eigenschaften Hautwiderstand ↑ bzw. Hautleitfähigkeit ↓ (Schweissdrüsenaktivität ↓)</p>	

Abb. 3. Physiologische Kennzeichen der Entspannungsreaktion [3, 17, 20, 32, 37, 40, 42].

Eine arterielle Blutdrucksenkung als Merkmal der Entspannungsreaktion [16] konnte hingegen bei Normotonikern wie bei Hypertonikern durch zahlreiche Studien belegt werden [33, 34; Übersicht in 3]. Hierfür ist wiederum die Minderung des Sympathikotonus [12] über cNOS-induziertes NO verantwortlich; zum einen direkt am Norpinephrin-Rezeptor sympathischer Nerven [15, 19], zum anderen zentral im Hirnstamm [35]. Nachhaltige Blutdrucksenkungen lassen sich allerdings erst nach mehrmonatigem, systematischem Entspannungstraining erzielen [3].

Respiratorisches System: Auf Atemparameter wie Frequenz und Atemzugvolumen hat Entspannung einen dämpfenden Effekt. Die Inspirationsphase ist verlängert. Der Sauerstoffverbrauch und die CO₂-Abgabe sind bei Entspannung vermindert [17, 32]. *Hirnelektrische Veränderungen* in Entspannungszuständen bei der Meditation und Hypnose gehen in Richtung Zunahme an niederfrequenten α - und θ -Wellen von 8–9 Hz bzw. 5–7 Hz [36–38; Übersicht in 39]. Die α -Aktivität nimmt allerdings bereits bei geschlossenen Augen zu und ist ein allen Entspannungsverfahren gemeinsames Merkmal, während die spontane θ -Aktivität Zeichen einer kortikalen Inhibition und Schläfrigkeit ist und auch im Wachzustand bei selektiver Aufmerksamkeitsfokussierung (z.B. bei Meditation, Hypnose) auftritt [3].

An *Stoffwechselveränderungen* wurden hinsichtlich des Blutzuckers sowohl eine Erhöhung bei AT [3] als auch eine Senkung nach Meditation [40] berichtet; des Weiteren eine Reduktion der Spiegel von Serumcholesterin [40], Speichel- und Plasma-Cortisol [41–43] sowie Epinephrin und Norpinephrin [37, 42]. Die relative, expiratorische NO-Konzentration steigt nach Entspannungstraining [20].

Unter Entspannung ändern sich schliesslich auch *elektrodermale Eigenschaften* im Sinne einer Zunahme des Hautwiderstands bzw. einer Abnahme der Hautleitfähigkeit infolge verminderter Schweißdrüsenaktivität [37, 44].

Kurzfristige und nachhaltige ZNS-Veränderungen

Bei der Anwendung von Entspannungsverfahren sinkt nicht nur die sympatho-adrenerge Erregungsbereitschaft, sondern auch Aktivitäten und Strukturen des ZNS verändern sich: Mithilfe der funktionellen Kernspintomografie (fMRI) liessen sich Hirnstrukturen identifizieren, die bei der Entspannungsreaktion und Meditation eine erhöhte Aktivität aufwiesen: dorsolateraler präfrontaler Kortex (bewusste Aufmerksamkeits- und Denkprozesse), vorderer zingulärer Kortex (Wachheit, Aufmerksamkeitsprozesse), Amygdala (Emotionen), Hippocampus (Gedächtnis), Hypothalamus und Mittelhirn (vegetative Steuerung) [32]. Die Aktivitäten des dorsolateralen präfrontalen Kortex und des anterioren Zingulums zeigten zudem positive Kor-

relationen mit der Meditationserfahrung in der fMRI [45]. Darüber hinaus liefern fMRI-Untersuchungen Hinweise dafür, dass regulär praktizierte Meditation zu strukturellen ZNS-Veränderungen im Sinne einer Verdickung von kortikalen Regionen führt, die der somatosensorischen, auditorischen und visuellen Verarbeitung sowie insbesondere der Interozeption (vordere Insula) zuzuordnen sind. Die beobachteten Veränderungen werden mit einer vermehrten Arborisation pro Neuron, einer Glia-Zunahme oder einer Zunahme regionaler Vaskularisation erklärt [46]. Ähnliche verhaltens- bzw. taskabhängige plastische kortikale Veränderungen sind auch anderweitig für den somatosensorischen Kortex beschrieben worden [47, 48].

Ein weiterer Meditationseffekt betrifft die asymmetrische, bilaterale Aktivierung der Hirnhemisphären abhängig von Meditationstyp und -technik (konzentrativ vs. beobachtend), nämlich eine betont rechtsseitige, präfrontale Hirnaktivierung bei willentlich intendierten Prozessen der Fokussierung von Aufmerksamkeit [49] und eine mehr linksanteriore Aktivierung beobachtend-erfahrungsorientierter Ansätze, die mit positiven Affekten und Zuständen verbunden und offensichtlich durch MBSR-Training (Mindfulness-based stress reduction) modulierbar ist [50, 51]. Eine umfangreiche Übersicht zu ZNS-Veränderungen – differenziert nach jeweils angewandter Meditationstechnik – findet sich in Cahn und Polich [39].

Psychologische Dimensionen von Entspannung

Neben den genannten physiologischen Aspekten der Entspannungsreaktion als Basis haben die verschiedenen Entspannungstechniken auch unterschiedliche psychologische Effekte [52]. Psychologische Kennzeichen von Entspannung sind zunächst affektive Indifferenz, mentale Frische, Erhöhung von Wahrnehmungsschwellen (für Aussenreize) sowie vermehrt assoziatives Denken [3, 7]. Zudem verbessern sich bei wiederholter, kurz- bis langfristig angewandeter Meditation die Konzentrationsleistungen, die Reaktionen auf mentalen Stress sowie das Lernverhalten [43, 53–55]. Wissenschaftliche Belege für die schmerzreduzierende Wirkung von Entspannung anhand vergleichbarer, kontrollierter Studien sind aufgrund der mangelnden Studienqualität rar [56]. Dennoch hat die PMR offenbar einen inhibitorischen Effekt auf die Nozizeption [57]. Der bereits früher berichtete Nutzen von achtsamkeitsbasierter Meditation bei chronischem Schmerz [58] wurde erst kürzlich durch eine randomisierte kontrollierte Studie bestätigt [59]. Als Erklärung für die schmerzlindernde Wirkung von Entspannung wurde jüngst ein Modell vorgeschlagen, das die oben skizzierten molekularen Mechanismen der Entspannungsreaktion mit der Schmerzverarbeitung verbindet: Schmerz löst üblicherweise eine Stressantwort mit Aktivierung der Hypothalamus- und Hypophysenachse aus, was zu einer Erhöhung der Cortisol- und Noradrenalin-Spiegel führt, welche wiederum die Schmerzverarbeitung verstärken. Entspannung reduziert diese Stressantwort und damit die Schmerzempfindlichkeit.

lamus-Hypophysen-Nebennieren-Achse sowie des medulären, sympatho-adrenalen Systems aus, die insbesondere durch einen Anstieg von Kortisol und Norepinephrin charakterisiert ist. Darüber hinaus können Katecholamine wiederum Nozizeptoren aktivieren. Über die bereits genannten entspannungsinduzierten molekularen Signalwege (Abb. 2) wird die schmerzassoziierte sympathikotone Reaktion antagonisiert, wobei NO, Endomorphine und Dopamin peripher bzw. im ZNS (limbisches System) einen dämpfenden Einfluss auf die Schmerzverarbeitung haben [60]. Tierexperimentell führt NO zu einer konzentrationsabhängigen, reversiblen Amplitudenreduktion axonaler Summenaktionspotenziale [61]. NO könnte somit zusätzlich direkt die axonale Schmerzweiterleitung beeinflussen.

Das kognitiv-behaviorale Modell der Entspannung beschreibt Entspannung als erreichbares Resultat spezifischer kognitiver und verhaltensbezogener Aktionen [62–64]. Unabdingbare Grundfaktoren jeglicher Entspannung sind danach:

- Fokussierung (Fähigkeit, die Konzentration über längere Zeit auf einfache Stimuli zu halten),
- Passivität (Fähigkeit, sich zielorientierter und analytischer Aktivitäten zu enthalten),
- Rezeptivität (Fähigkeit, unsichere, ungewöhnliche oder paradoxe Erfahrungen zu tolerieren und zu akzeptieren) [62].

In einer Meta-Analyse [64] mit mehr als 6000 Probanden arbeiteten Smith und Mitarbeiter (auf die Frage: *Was erleben Sie, wenn Sie entspannen?*) vier Kategorien von Entspannungserfahrungen mit unterschiedlichen Relaxationszuständen heraus, die das Entspannungserleben charakterisieren (Abb. 4). Diese erstrebenswerten Relaxationszustände sind zum einen als positive Verstärker (Motivatoren) bei der Initiierung und Aufrechterhaltung von Entspannungspraktiken nützlich, zum anderen lassen sich hieraus individuell angepasste Entspannungsziele ableiten (Abb. 5) und mit adäquaten Methoden erreichen. Auf diese Weise lassen sich je nach initialem Stressziel bzw. Ansatzpunkt Differenzialindikationen einzelner Entspannungsmethoden formulieren (Tab. 2). Die gängigen Entspannungsverfahren besitzen neben einem grundsätzlichen

Tab. 2. Differenzialindikation einiger Entspannungsverfahren (in Anlehnung an Smith [64])

Stressziel	Entspannungstechnik
Atmung	Atemübungen
Muskeln	Progressive Muskelrelaxation
Körperhaltung	Stretching, Hatha-Yoga
Körperwahrnehmung	Autogenes Training, Hypnose, Meditation
Emotionen	Imaginative Verfahren, Hypnose
Aufmerksamkeit	Meditation, Achtsamkeit



Abb. 4. Psychologische Kategorien (I.–IV.) und Charakteristika von Entspannungszuständen (*postulierte Charakteristika nach Smith [64]).



Abb. 5. Entspannungsziele (nach Smith [64]).

somatotropen, d.h. auf körperliche Veränderungen abzielenden, ein psychotropes Wirkungsprofil, das in einer kognitiven Restrukturierung besteht [3]. In diesem Wirkprofil unterscheiden sich die einzelnen Entspannungsverfahren tendenziell (Tab. 3).

Interozeption – Bedeutung bei Entspannung und Selbstregulation

In der heutigen Arbeits- und Lebenswelt hat die Entwicklung, die mit dem Aufkommen des Buchdrucks und der Aufklärung begann, mit starker Betonung der *audio-visuellen* Kommunikation und damit der Kopf- bzw. Fernsinne zu Ungunsten der Körperwahrnehmung als Nahsinn einen vorläufigen Höhepunkt erreicht [65]. So wundert es nicht, dass Entspannungsverfahren bei den heute häufigsten psychischen Störungen (Ängste, somatoforme Störungen, Depressionen) nicht nur wegen der Reizreduktion, sondern insbesondere zum Ausbau der Körperwahrnehmung erfolgreich eingesetzt werden.

Tab. 3. Klassifikation der Entspannungsverfahren (modifiziert in Anlehnung an Vaitl [3])

Entspannungsverfahren	Induktion/Instruktion		Beteiligung		Entspannungsreaktion	
	Selbst- (auto-)	Fremd- (hetero-)	aktiv	passiv	psychisch	somatisch
Autogenes Training	++	-	+	+	-	++
Progressive Muskelrelaxation	+	+	+	-	+	++
Biofeedback	-	-	++	-	-	++
Imaginative Verfahren	-	++	+	+	++	+
Hypnose	-	++	-	+	++	++
Meditation	++	+	-	+	+	+
Klangmassage	-	++	-	++	++	++

++ = Stark ausgeprägt; + = vorhanden; - = schwach ausgeprägt/fehlend.

Entspannung bringt den Übenden in einen Dialog mit dem eigenen Körper: Sämtliche der in Tabellen 1 und 3 aufgeführten Entspannungsverfahren beinhalten als Grundelement eine nach innen gerichtete Aufmerksamkeitsfokussierung, die durch die Übungsbedingungen begünstigt wird (ruhige Umgebung, Ausblenden von Aussenreizen, spezielle Instruktionen zur Ausrichtung der Aufmerksamkeit). Die Folge ist eine erhöhte Selbstaufmerksamkeit und -wahrnehmung in Hinblick auf mentale und insbesondere auf physiologische Prozesse. Bei Entspannungsprozessen treten so die Wahrnehmung der äusseren Welt über die spezifischen Sinne (visuell, auditiv, olfaktorisch, gustatorisch, vestibulär) und die Exterozeption (Sensorik der Körperoberfläche) über die Hautsinne und -sensibilität als Teil der Somatosensorik (Somatosensibilität [66]) zugunsten der *Interozeption*, der Wahrnehmung der Signale aus dem Körperinneren, in den Hintergrund. Diese gliedert sich in *Propriozeption* (Tiefensensibilität über Muskelspindel-, Sehnen-, Gelenkrezeptoren) und *Viszerozeption* (Wahrnehmung der Eingeweide) [67]. Interessant ist, dass tierexperimentellen Untersuchungen zufolge nur etwa 5% der gesamten Afferenzen eindeutig viszerale Afferenzen sind [68]. Die Eingeweide sind also nur schwach innerviert.

Zudem sind die meisten dieser Afferenzen «stumm», sofern keine Organreizung (z.B. Entzündung) vorliegt [3]. Das erklärt unter anderem die landläufige Auffassung, wonach «ein gesunder Körper schweigt». Tatsächlich können viele Menschen und insbesondere Patienten mit somatoformen Störungen ohne entsprechende Übung zunächst nicht positiv beschreiben, wie sie ihren Körper spüren, wenn er keine Symptome zeigt (die häufig zu hörende Aussage «gut» entspricht einer Bewertung, nicht einer spürbaren Wahrnehmungsqualität). Im Sinne einer Reizreduktion (Fokus auf wenige interozeptive Signale) spielt die Viszerozeption bei Entspannungsprozessen eine grosse Rolle. Neben der Entspannung geht es bei den genannten Störungen im therapeutischen Sinne auch darum, (wieder)

Zugang zu Empfindungen, Gefühlen und ressourcenreichen Körpererfahrungen zu erlangen. Explizit haben unter anderem PMR und Biofeedback die Verbesserung der interozeptiven Wahrnehmung zum Ziel; meist in der Vorstellung, dass gute Selbstwahrnehmer auch gute Selbstregulierer sind. Die Bedeutung der Körperempfindungen und Affekte als Informationsgeber im Sinne «*konzentrierter Erfahrungen*» für Entscheidungsfindungsprozesse hat der Hirnforscher Damasio [69, 70] sehr eindrucksvoll mit dem «Somatic marker»-Modell dargestellt. Tatsächlich ist die Viszerozeption mit Sensoren für mechanische, thermische, chemische und metabolische Veränderungen des Organismus und afferenten Projektionen aus dem kardiovaskulären, pulmonalen und gastrointestinalen System und aus dem Urogenitaltrakt in das Rückenmark, in den unteren Hirnstamm, Thalamus und somatosensorischen Kortex (Abb. 6) [67] – biologisch gesehen – eine wichtige Bedingung zur Adaptation bei der psychophysiologischen Aktivierungsregulation und bei der Verhaltenssteuerung zur Aufrechterhaltung einer gewissen Homöostase des Körpermilieus [3]. Neuere Befunde der erst in den letzten Jahren zunehmenden Interozeptionsforschung zeigen, dass die vordere Insula der nichtdominanten Hemisphäre neurales Korrelat für die Selbst- und Körperwahrnehmung ist [71, 72]. In fMRI-Untersuchungen zur Herzwahrnehmung korrelierten die Aktivität und das Volumen der grauen Substanz der vorderen Insula sogar mit der interozeptiven Genauigkeit und der viszerozeptiven Bewusstheit der Probanden [73]. Der insuläre Kortex ist offenbar auch an der Regulation kardiovaskulärer und sympathikoner Reaktionen beteiligt [74]. Zur optimalen Selbstregulation bedarf es allerdings nur initial der Bewusstwerdung interozeptiver Prozesse. Denn im Verlauf von Entspannungstrainings spielen Konditionierungen mit automatischer Auslösung der Entspannungsreaktion eine zunehmend grosse Rolle, die eine bewusste Wahrnehmung interozeptiver Signale zur Korrektur eines sich ändernden Entspannungszustands unnötig machen [3].

Viszerozepion



<ul style="list-style-type: none"> • Dehnung, Druck → Mechanosensoren • Wärme, Kälte → Themosensoren • Lactat, Glukose → Metabosensoren • CO₂, O₂ → Chemosensoren 	}	<p>Afferenz-Anteil</p> <p>PUL / KVS/ GIT 90% N. vagus (parasympathisch)</p> <p>GIT 50% N. splanchn. (sympathisch)</p> <p>UGT 50% Nn. pelvici (parasympathisch)</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Abb. 6. Sensoren und Afferenzen der Viszerozepion (nach Birbaumer und Schmidt [67]).

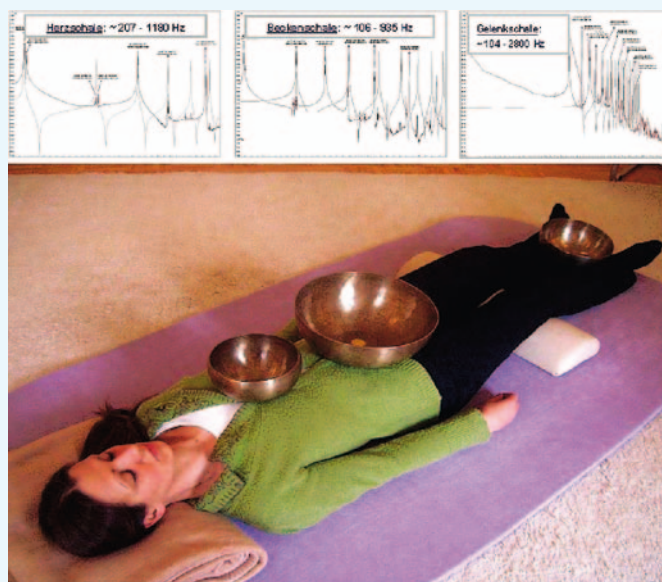


Abb. 7. Schalenfrequenzspektren und -positionen bei der Klangschalenmassage (Basistechnik nach Hess [75]).

Exkurs: Interozeption und Entspannung am Modell der Klangmassage

Die Klangmassage (Tab. 1) mithilfe auf dem Körper angeschlagener, obertonreicher Klangschalen (Obertöne = ganzzahlige Vielfache der Grundtonfrequenz) (Abb. 7) erfährt wegen seiner Beliebtheit als passives Entspannungsverfahren in den Bereichen von Wellness, Therapie und Rehabilitation aktuell weite Verbreitung. In der Therapie bei psychischen und psychosomatischen Störungen (z.B. störender Tinnitus) kann die Klangmassage im Sinne einer rezeptiven Musiktherapie [75] oder auch als körperbezogenes, hypnotherapeutisches Verfahren [76] angesehen werden. Vorteil wie Nachteil der Klangschalenmassage ist, dass sie als rezeptives Verfahren keine aktive Mitarbeit des Patienten erfordert, sodass die Methode nicht eigenständig zur Selbstanwendung genutzt werden kann. Dennoch ist die rezeptive Form der Anwendung gerade initial bei starker Erschöpfung entlastend und von grossem Vorteil, um den Patienten mittel- und langfristig für andere selbstinstrierte Entspannungstrainings zu motivieren (Tab. 3).

Um der allzu oft anzutreffenden esoterischen Betrachtungsweise entgegenzutreten, wird hier im Folgenden ein neurophysiologischer Erklärungsansatz der Klangmassage skizziert, der sich – in Ermangelung experimenteller Untersuchungen – deduktiv aus dem aktuellen Stand der Interozeptionsforschung ableitet. Dieser modellhafte Erklärungsansatz erscheint insofern probat, als dass durch den besonderen Stimulationsmodus der Klangmassage spezielle Strukturen angesprochen werden, die als neurobiologisches Korrelat der Selbstwahrnehmung angesehen werden.

Basis-Technik der Klangmassage

Die Klangmassage nach dem Physiker Peter Hess [75] verwendet in ihrer Grundform 3–4 Klangschalen, die nach Grösse, Gewicht und Klang in liegender Körperposition in Becken- bzw. Bauchregion (tieffrequente Beckenschale), Bein- und Kniegelenksregion (mittelfrequente Gelenkschale), Brustbereich (mittelfrequente Herzschale) und gegebenenfalls über dem Kopf (hochfrequente Zen-Schale) platziert und angeschlagen werden (Abb. 7). Der Patient spürt den Klängen bzw. Schwingungen im Körper mit geschlossenen Augen nach und meldet gegebenenfalls unangenehme Empfindungen zurück, die eine Korrektur der Anwendung erforderlich machen. Die Sitzungsdauer variiert zwischen 30–60 min. Die Anwendung ist sowohl einzeln als auch – nach entsprechender Instruktion – partnerweise simultan im Gruppensetting möglich.

Wirkungsweise aus physiologischer Sicht

Die Schwingungen der auf der Körperoberfläche angeschlagenen Klangschalen wirken zum einen auf das auditive System ein, da die Frequenzspektren der Klangschalen (Abb. 7) innerhalb des menschlichen Hörbereichs (20–20 000 Hz) liegen. Man kann davon ausgehen, dass die auditive Wahrnehmung der obertonreichen Klänge nach Schalltransduktion im Mittelohr und einer tonotopisch breiten Stimulation der inneren Haarzellen im Innenohr zur entsprechenden Aktivierung des auditorischen Kortex, des sensorischen, echoischen Gedächtnisses (Abgleich mit früheren Hörerfahrungen) sowie auch limbischer Strukturen mit meist subjektiv positiv besetzter emotionaler Färbung und entsprechenden vegetativen Reaktionen

führt. Zum anderen üben die Schwingungen der Schalen im direkten Körperkontakt Reize auf die Mechanorezeptoren der Haut aus (Exterozeption). Bereits 1966 haben Untersuchungen von Ehrenberger et al. [77] zum Vibrationsinn der Haut mittels somatosensorisch evozierter Potenziale ein Frequenzspektrum von 0–400 Hz mit einer Bestfrequenz von 200–300 Hz ermittelt, die durch neuere Angaben (150–300 Hz) bestätigt wurden [67]. Dieses Frequenzspektrum wird von den Klangschalen abgedeckt (Abb. 7). Man kann davon ausgehen, dass durch die Schwingungen der Klangschalen Vibrationen in der Haut entstehen, die für Pacini-Körperchen, subkutane Mechanorezeptoren, einen adäquaten Reiz darstellen, da sie auf Vibrationen im Frequenzbereich von 80–450 Hz (Bestfrequenz 300 Hz) ansprechen [78, 79]. Ferner ist davon auszugehen, dass auch das subkutane Weichteilgewebe des Körpers, zu durchschnittlich circa 68% aus Wasser bestehend [80], in Vibration gerät, sodass auch Mechanorezeptoren der Muskeln und Eingeweide gereizt werden. Die hier generierten Signale folgen den spino-thalamiko-kortikalen Bahnen: Die Impulse exterozeptiver Afferenzen kutaner, taktiler und vibratiler Stimuli sowie interozeptiver Afferenzen vibratiler Stimuli aus Muskelspindeln und Eingeweiden erreichen über A δ - und C-Fasern das Hinterhorn, wo sie auf das zweite Neuron umgeschaltet werden, zur Gegenseite kreuzen (Tractus spinothalamicus lateralis, Vorderseitenstrang) und weiter zum Hirnstamm ziehen. Hier projizieren die Neurone des Tractus spinothalamicus in Regionen, die wesentlich an der homöostatischen Integration und Regulation beteiligt sind. Auf dieser Ebene besteht zudem eine starke Interkonnektivität zum Hypothalamus, zum anterioren zingulären Kortex und zur Amygdala [72]. Diese hierarchischen spinalen und bulbären Projektionen stellen den afferenten Schenkel des autonomen Nervensystems mit sämtlichen Reflexen dar, der für die vegetative Regulation des Körperzustands (Homöostase) substanzial ist. Vom Hirnstamm aus ziehen die Fasern zum Thalamus, wo die zweite Umschaltung im ventromedialen und dorsomedialen Nukleus erfolgt. Die taktilen und vibratilen Impulse aus der Haut bzw. dem Körperinneren erreichen nach Umschaltung auf das dritte Neuron den anterioren zingulären Kortex, den primären sensorischen Kortex für die Exterozeption (Area 3a) und die nichtdominante anteriore Insula, den interozeptiven Kortex, wo die Signale über den Zustand des Körperinneren repräsentiert sind [72, 81–83]. Die anteriore Insula wird daher als neurobiologisches Korrelat der Selbstwahrnehmung angesehen [72, 81–83]. Wie Befunde der funktionellen Bildgebung zeigen, ist die vordere Insula insbesondere auch diejenige Region, die durch Vibrationsreize von 80–110 Hz aktiviert wird [84–88]. Es liegt somit nahe, dass diese Struktur bei der hier dargestellten Klangschalenmassage in besonderer Weise angesprochen wird.

Psychologische Wirkungen

Im Unterschied zur abendländischen Musik- und Hörtradition, die häufig mit rational-analytischen Betrachtungen einhergeht, ermöglichen obertonreiche Klänge, die dem östlichen Kulturraum entspringen, eher ein passives Absorbieren und Sich-gehen-Lassen und regen ein breites Spektrum an Assoziationen an, da sie semantisch vergleichsweise offen bzw. neutral sind und sich so dem rationalen Analysieren und Bewerten entziehen. Aus diesen Gründen sind neben Klangschalen auch andere obertonreiche Klanginstrumente (unter anderem Monochord, Gong) – hypnotherapeutisch gesehen – idealerweise geeignet, Trance-Prozesse auszulösen, also Bewusstseinszustände, bei denen unwillkürliche und autonome Prozesse im Vordergrund stehen [76]. Die Klangschalen mit ihren vielfältigen Obertönen haben tatsächlich eine tiefe Entspannung induzierende Wirkung mit Auslösung typischer Trance-Phänomene [89], wie beispielsweise sensorische bzw. perzeptive Fokussierung, Änderung der Willkürmotorik und des Körpererlebens, Veränderung des Zeit-erlebens und Entspannung. Aus der Musiktherapie ist bekannt, dass die simultane, vibrotaktile und auditive Stimulation eine stärkere Entspannungsreaktion auslöst als auditive Stimulation allein [90]. Untersuchungen zur crossmodalen Verarbeitung zeigen, dass die Wahrnehmung und Diskrimination vibrotaktile Stimuli durch die Koaktivierung des auditorischen Kortex durch Klänge gleicher Frequenz erleichtert werden [91–93], was für die zentralnervöse, bidirektionale crossmodale Verarbeitung von Fühlen und Hören spricht [94]. Es liegt daher nahe, dass diese Verarbeitungswege und Effekte bei der Klangschalenmassage zusätzlich eine Rolle spielen.

Die Klangschalenmassage ist darüber hinaus bei der Lösung neuromuskulärer Blockaden und der Linderung von Schmerzen hilfreich. Diese regelmässig beobachtbaren Effekte sind – neben der veränderten Schmerzwahrnehmung in Entspannungszuständen – durch die methodenspezifische, vibratorische Stimulation der Pacini-Körperchen, Propriozeptoren und Viszerozeptoren bei der Klangschalenmassage erklärbar. Hierfür sprechen klinische und experimentelle Befunde, die die Wirkungen vibrotaktile Stimuli (z.B. mit 240 Hz) im Sinne einer Schmerzreduktion bzw. Anhebung der Schmerzschwelle zeigen [95–99]. Schmerzlinderung durch vibrotaktile Stimulation ist also ein bekanntes Phänomen. Für die kurzzeitige und auch für die nachhaltige Anhebung der Schmerzschwelle wird eine Interaktion der afferenten Aktivität myelinisierter sensorischer Axone mit nozizeptiven Prozessen sowohl auf spinaler, thalamischer als auch auf kortikaler Ebene des ZNS als ursächlich angesehen [97, 100, 101], beispielsweise durch eine kortiko-kortikale Inhibition der Neurone der posterioren, schmerzverarbeitenden Insula durch die der anterioren, interozeptiven Insula [86, 102]. Denn Hirnläsionen, die die posteriore, jedoch nicht die anteriore

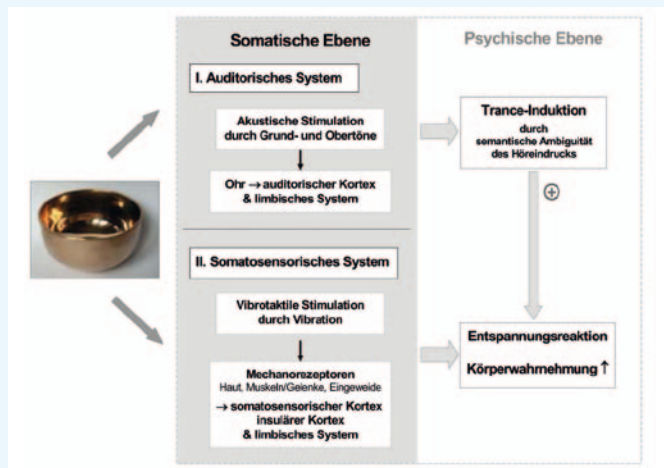


Abb. 8. Praktisches Wirkprinzip der Klangschalenmassage.

Insula betreffen, führen zur Anhebung der Schmerzschwelle [103].

Die oben dargestellte Wirkungsweise der Klangschalenmassage ist in Abbildung 8 zusammengefasst. Die Klangmassage wird hier als Verfahren angesehen, das über die skizzierten auditorischen und somatosensorischen Reizverarbeitungswege zur Entspannungsreaktion führt.

Vordere Insula bei Entspannungsprozessen

Nach aktuellem Kenntnisstand aus zahlreichen Neuroimaging-Studien wird der posterioren Insula eine zentrale Rolle bei der Schmerzverarbeitung zugemessen, während der anterioren Insula wichtige Prozesse der interozeptiven Verarbeitung von Informationen über den inneren Körperzustand sowie der physiologischen homöostatischen Selbstregulation zugeordnet werden [104]. Nachdem die Interozeption bei Entspannungsprozessen eine zentrale Rolle spielt, wundert es nicht, dass Entspannungsverfahren neben dem vorderen zingulären Kortex die Insula aktivieren, wie Critchley et al. [105] in einer fMRI-Studie für Biofeedback-Entspannung zeigen konnten. Die Neuronen der vorderen Insula erhalten unter anderem auch afferente Zuflüsse aus den Skelettmuskeln [106] und lassen sich durch muskuläre Kontraktionen aktivieren [107]. Eine Aktivierung des insulären Kortex kann daher auch bei der PMR angenommen werden. Auch durch Hypnose lässt sich neben dem anterioren Zingulum die interozeptive, insuläre kortikale Aktivität modulieren [108–110]. Aufgrund der methodischen Ähnlichkeiten mit Hypnose kann dies auch für AT gelten. Erst kürzlich zeigte die Arbeitsgruppe um Niels Birbaumer [111], dass die Aktivität der vorderen Insula mittels Echtzeit-fMRI im Sinne des Neurofeedbacks sogar willentlich trainierbar ist. Zusammenfassend kann daher davon ausgegangen werden, dass die vordere Insula neben dem anterioren Zingulum als neurobiologisches

Korrelat der Interozeption [73, 104], Selbstwahrnehmung [112] und Selbstreflexion [113] sowie der Selbstregulation [104, 111] durch Entspannungsverfahren, deren Grundelement eine erhöhte Selbstaufmerksamkeit ist, modulierbar ist. Die Klangmassage stellt diesbezüglich insofern eine methodische Besonderheit dar, da sie die genannten interozeptiven, peripheren und zentralnervösen Verarbeitungswege mit grosser Wahrscheinlichkeit über eine simultane, auditive und vibrotaktile Stimulation direkt aktiviert.

Ausblick auf ungenutzte Fähigkeiten: Einflussnahme auf autonome Prozesse

Wie die moderne Hirnforschung zeigt, lassen körperliche Funktionen und mentale Prozesse, die bisher als rein autonom galten, deutlich mehr Einflussnahme zu, als heute noch vielfach angenommen wird. Es gibt bestimmte Zustände, wie beispielsweise in Entspannung, unter denen man «*verborgene Reserven des höheren Nervensystems*» [114] freisetzen kann. Entspannungsverfahren bergen ein Potenzial, die Erfahrungsdimensionen von Entspannung und die Beeinflussung unwillkürlich autonomer Prozesse mehr als bisher zu kultivieren. Statt dort stehen zu bleiben, was wir in der Kindheit über autonome Kontrolle gelernt haben, nämlich die Kontrolle der Sphinkteren [3], ermöglicht die Kultivierung der Entspannung mit allen Erfahrungsdimensionen die Entwicklung autonomer Einflussnahme im Sinne von Siegel: «*Der Geist benutzt das Gehirn*» [115, 116]. Die jüngsten Entwicklungen der Interozeptionsforschung sprechen dafür, dass Entspannungsverfahren zukünftig noch gezielter und spezifischer in Hinblick auf den Ausbau der Interozeption und damit zur Regulation des insulären Kortex bei psychischen Störungen wie Somatisierung, Ängsten und Depressionen eingesetzt werden können.

Fazit für die Praxis

Gängige Entspannungsverfahren, die mit einer erhöhten Selbstaufmerksamkeit verbunden sind, führen neben der Veränderung physiologischer Parameter im Sinne einer Reduktion des Sympathikotonus bzw. einer stressassoziierten sympathikotonen Hyperreaktivität zu einer verstärkten Interozeption und mit grosser Wahrscheinlichkeit neben dem anterioren Zingulum zu einer Aktivierung der vorderen Insula, die als neurobiologisches Korrelat der Interozeption, Selbstwahrnehmung und Selbstregulation angesehen wird. Aufgrund der methodenspezifischen Besonderheit mittels auditiver und vibrotaktile Reizung erscheint die Klangschalenmassage als rezeptives Entspannungsverfahren geeignet, neben der Entspannung die interozeptiven Fähigkeiten zu optimieren. Moderne bild-

gebende Verfahren geben Hinweise darauf, dass sich – analog zur Formung des muskuloskelettalen Systems (z.B. Muskelaufbau durch körperliches Training) – durch regelmässige mentale Praktiken der Entspannung und Aufmerksamkeitsfokussierung wie Meditation Veränderungen des ZNS anregen lassen. Neuere fMRI-Untersuchungen belegen, dass der insuläre Kortex ebenso wie

andere Regionen des ZNS willentlich trainierbar und gestaltbar ist.

Disclosure Statement

The author states that there is no conflict of interest to declare regarding the contents of this article.

Literatur

- McEwen BS: Physiology and neurobiology of stress and adaptation: central role of the brain. *Physiol Rev* 2007;87:873–904.
- Kohl F: Die progressive Muskelentspannung nach E. Jacobson – ein «natürliches Entspannungsverfahren». *Ärzt Z Naturheilverf* 2000;41:800–810.
- Vaitl D, Petermann F: *Handbuch der Entspannungsverfahren, Band 1: Grundlagen und Methoden*, ed 2. Weinheim, Beltz, 2000.
- Stetter F, Kupper S: Autogenic training: a meta-analysis of clinical outcome studies. *Appl Psychophysiol Biofeedback* 2002;27:45–98.
- Astin JA, Shapiro SL, Eisenberg DM, Forsys KL: Mind-body medicine: state of the science, implications for practice. *J Am Board Fam Pract* 2003;16:131–147.
- Esch T, Fricchione GL, Stefano GB: The therapeutic use of the relaxation response in stress-related diseases. *Med Sci Monit* 2003;9:RA23–34.
- Derra C: *Progressive Relaxation*. Köln, DÄV, 2007.
- Linden M: *Entspannungstraining*; in Linden M, Hautzinger M (Hrsg): *Verhaltenstherapie-manual*, ed 6. Heidelberg, Springer, 2008.
- Heide FJ, Borkovec TD: Relaxation-induced anxiety: paradoxical anxiety enhancement due to relaxation training. *J Consult Clin Psychol* 1983;51:171–182.
- Lazarus AA, Mayne TJ: Relaxation: some limitations, side effects, and proposed solutions. *Psychotherapy* 1990;27:261–266.
- Stefano GB, Stefano JM, Esch T: Anticipator-stress response: a significant commonality in stress, relaxation, pleasure and love responses. *Med Sci Monit* 2008;14:RA17–21.
- Hoffmann JW, Benson H, Arns PA, Stainbrook GL, Landsberg GL, Young JB, Gill A: Reduced sympathetic nervous system responsivity associated with the relaxation response. *Science* 1982;215:190–192.
- Cannon WB: The emergency function of the adrenal medulla in pain and the major emotions. *Am J Physiol* 1914;33:356–372.
- Selye H: *Einführung in die Lehre vom Adaptationssyndrom*. Stuttgart, Thieme, 1953.
- Stefano GB, Fricchione GL, Esch T: Relaxation: molecular and physiological significance. *Med Sci Monit* 2006;12:HY21–31.
- Benson H, Beary JE, Carol MP: The relaxation response. *Psychiatry* 1974;37:37–46.
- Beary JE, Benson H: A simple psychophysiological technique which elicits the hypometabolic changes of the relaxation response. *Psychosom Med* 1974;36:115–120.
- Shapiro S, Lehrer P: Psychological effects of autogenic training and progressive relaxation. *Biofeedback Self Regul* 1980;5:249–255.
- Stefano GB, Murga J, Benson H, Zhu W: Nitric oxide inhibits norepinephrine stimulated contraction of human internal thoracic artery and rat aorta. *Pharmacol Res* 2001;43:199–203.
- Dusek JA, Chang BH, Zaki J, Lazar S, Deykin A, Stefano GB, Wohlhueter AL, Hibberd PL, Benson H: Association between oxygen consumption and nitric oxide production during relaxation response. *Med Sci Monit* 2006;12:CR1–10.
- Lowenstein CJ, Dinerman JL, Snyder SH: Nitric oxide: a physiologic messenger. *Ann Intern Med* 1994;120:227–237.
- Hakim TS, Sugimori K, Camporesi EM, Anderson G: Half-life of nitric oxide in aqueous solutions with and without haemoglobin. *Physiol Meas* 1996;17:267–277.
- Furchgott RF: Endothelium-derived relaxing factor: discovery, early studies, and identification as nitric oxide. *Biosci Rep* 1999;19:235–251.
- Christopoulos A, El-Fakahany EE: The generation of nitric oxide by G protein-coupled receptors. *Life Sci* 1999;64:1–5.
- Nussler AK, Billiar TR: Inflammation, immunoregulation, and inducible nitric oxide synthase. *J Leukoc Biol* 1993;54:171–178.
- Bredt DS: Nitric oxide signaling specificity – the heart of the problem. *J Cell Sci* 2003;116:9–15.
- Murad F: The Albert Lasker Medical Research Awards. Signal transduction using nitric oxide and cyclic guanosine monophosphate. *JAMA* 1996;276:1189–1192.
- Kiss JP, Vizi ES: Nitric oxide: a novel link between synaptic and nonsynaptic transmission. *Trends Neurosci* 2001;24:211–215.
- Stefano GB, Esch T, Cadet P, Zhu W, Mantione K, Benson H: Endocannabinoids as autoregulatory signaling molecules: coupling to nitric oxide and a possible association with the relaxation response. *Med Sci Monit* 2003;9:RA83–95.
- Esch T, Stefano GB: The neurobiology of pleasure, reward processes, addiction and their health implications. *Neuro Endocrinol Lett* 2004;25:235–251.
- Freedman RR: Physiological mechanisms of temperature biofeedback. *Biofeedback Self Regul* 1991;16:95–115.
- Lazar SW, Bush G, Gollub RL, Fricchione GL, Khalsa G, Benson H: Functional brain mapping of the relaxation response and meditation. *Neuroreport* 2000;11:1581–1585.
- Patel CH, North WRS: Randomized controlled trial of yoga and biofeedback in management of hypertension. *Lancet* 1975;2:93–99.
- Peters RK, Benson H, Peters JM: Daily relaxation response breaks in a working population: II. Effects on blood pressure. *Am J Public Health* 1977;67:954–959.
- Kagiyama S, Tsuchihashi T, Abe I, Fujishima M: Enhanced depressor response to nitric oxide in the rostral ventrolateral medulla of spontaneously hypertensive rats. *Hypertension* 1998;31:1030–1034.
- Wallace RK, Benson H, Wilson AF: A wakeful hypometabolic state. *Am J Physiol* 1971;221:795–799.
- Morse DR, Martin JS, Furst ML, Dubin LL: A physiological and subjective evaluation of meditation, hypnosis and relaxation. *Psychosom Med* 1977;39:304–324.
- Jacobs GD, Benson H: Topographic EEG mapping of the relaxation response. *Biofeedback Self Regul* 1996;21:121–129.
- Cahn BR, Polich J: Meditation states and traits: EEG, ERP, and neuroimaging studies. *Psychol Bull* 2006;132:180–211.
- Paul-Labrador M, Polk D, Dwyer JH, Velasquez I, Nidich S, Rainforth M, Schneider R, Merz CN: Effects of a randomized controlled trial of transcendental meditation on components of the metabolic syndrome in subjects with coronary heart disease. *Arch Intern Med* 2006;166:1218–1224.
- Jevening R: Adrenocortical activity during meditation. *Horm Behav* 1978;10:54–60.
- Infante JR, Torres-Abisbal M, Pineda P, Vallejo JA, Peran F, Gonzalez F, Contreras P, Pacheco C, Roldan A, Latre JM: Catecholamine levels in practitioners of the transcendental meditation technique. *Physiol Behav* 2001;72:141–146.
- Tang YY, Ma Y, Wang J, Fan Y, Feng S, Lu Q, Yu Q, Sui D, Rothbart MK, Fan M, Posner MI: Short-term meditation training improves attention and self-regulation. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2007;104:17152–17156.
- Brand W, Masters D: Electrodermal reactions to opposite types of autogenic training imagery. *Biol Psychol* 1980;10:211–218.
- Baron Short E, Kose S, Mu Q, Borckardt J, Newberg A, George MS, Kozel FA: Regional brain activation during meditation shows

- time and practice effects: an exploratory fMRI study. *Evid Based Complement Alternat Med* 2007;1-7.
- 46 Lazar SW, Kerr CE, Wasserman RH, Gray JR, Greve DN, Treadway MT, McCarvey M, Quinn BT, Dusek JA, Benson H, Rauch SL, Moore CI, Fischl B: Meditation experience is associated with increased cortical thickness. *Neuroreport* 2005;16:1893-1897.
 - 47 Elbert T, Pantev C, Wienbruch C, Rockstroh B, Taub E: Increased cortical representation of the fingers of the left hand in string players. *Science* 1995;270:305-307.
 - 48 Braun C, Schweizer R, Elbert T, Birbaumer N, Taub E: Differential activation in the somatosensory cortex for different discrimination tasks. *J Neurosci* 2000;20:446-450.
 - 49 Newberg AB, Iversen J: The neural basis of the complex mental task of meditation: neurotransmitter and neurochemical considerations. *Med Hypotheses* 2003;61:282-291.
 - 50 Davidson RJ, Kabat-Zinn J, Schumacher J, Rosenkranz M, Muller D, Santorelli SF, Urbanowski F, Harrington A, Bonus K, Sheridan JF: Alterations in brain and immune function produced by mindfulness meditation. *Psychosom Med* 2003;65:564-570.
 - 51 Farb NAS, Segal ZV, Mayberg H, Bean J, McKeon D, Fatima Z, Anderson AK: Attending to the present: mindfulness meditation reveals distinct neural modes of self-reference. *SCAN* 2007;2:313-322.
 - 52 Lehrer PM, Woolfolk RL: Specific effects of stress management techniques; in Lehrer PM, Woolfolk RL (eds): *Principles and Practices of Stress Management*, ed 2. New York, Guilford Press, 1993, pp 481-520.
 - 53 Carter OL, Presti DE, Callistemon C, Ungerer Y, Liu GB, Pettigrew JD: Meditation alters perceptual rivalry in Tibetan Buddhist monks. *Curr Biol* 2005;15:R412-R413.
 - 54 Jha A, Krompinger J, Baime MJ: Mindfulness training modifies subsystems of attention. *Cogn Affect Behav Neurosci* 2007;7:109-119.
 - 55 Gottselig JM, Hofer-Tinguely G, Borbély AA, Regel SJ, Landolt HP, Rétey JV, Achermann P: Sleep and rest facilitate auditory learning. *Neurosci* 2004;127:557-561.
 - 56 Kwekkeboom KL, Gretarsdottir E: Systematic review of relaxation interventions for pain. *J Nurs Scholarsh* 2006;38:269-277.
 - 57 Emery CF, France CR, Harris J, Norman G, Vanarsdalen C: Effects of progressive muscle relaxation on nociceptive flexion reflex threshold in healthy young adults: a randomized trial. *Pain* 2008;138:375-379.
 - 58 Kabat-Zinn J, Lipworth L, Burney R: The clinical use of mindfulness meditation for the self-regulation of chronic pain. *J Behav Med* 1985;8:163-190.
 - 59 Morone NE, Greco CM, Weiner DK: Mindfulness meditation for the treatment of chronic low back pain in older adults: a randomized controlled pilot study. *Pain* 2008;134:310-319.
 - 60 Salamon E, Esch T, Stefano GB: Pain and relaxation (review). *Int J Mol Med* 2006;18:465-470.
 - 61 Ashiki N, Hayes KC, Shi R: Nitric oxide reversibly impairs axonal conduction in guinea pig spinal cord. *J Neurotrauma* 2006;23:1779-1793.
 - 62 Smith JC: Steps toward a cognitive-behavioral model of relaxation. *Biofeedback Self Regul* 1988;13:307-329.
 - 63 Smith JC, Amutio A, Anderson JP, Aria LA: Relaxation: mapping an uncharted world. *Biofeedback Self Regul* 1996;21:63-90.
 - 64 Smith JC: Psychology of relaxation; in Lehrer PM, Woolfolk RL, Sime WE (eds): *Principles and Practice of Stress Management*, ed 3. New York, Guilford, 2007, pp 38-52.
 - 65 Classen C: *Worlds of Sense. Exploring the Senses in History and Across Cultures*. London, Routledge, 1993.
 - 66 Schandry R: *Biologische Psychologie*. Weinheim, Beltz, 2006.
 - 67 Birbaumer N, Schmidt RF: *Biologische Psychologie*, ed 6. Heidelberg, Springer, 2006.
 - 68 Jaenig W: Neuroanatomy and function of cardiovascular afferents; in Vaitl D, Shandry R (eds): *From the Heart to the Brain*. Frankfurt, Lang, 1995, pp 5-34.
 - 69 Damasio AR, Grabowski TJ, Bechara A, Damasio H, Ponto LLB, Parvizi J, Hichwa RD: Subcortical and cortical brain activity during the feeling of self-generated emotions. *Nature Neurosci* 2000;3:1049-1056.
 - 70 Damasio AR: Fundamental feelings. *Nature* 2001;413:781.
 - 71 Craig AD: A new view of pain as homeostatic emotion. *Trends Neurosci* 2003;26:303-307.
 - 72 Critchley HD: The human cortex responds to an interoceptive challenge. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2004;101:6333-6334.
 - 73 Critchley HD, Wiens S, Rotsstein P, Öhman A, Dolan RJ: Neural systems supporting interoceptive awareness. *Nat Neurosci* 2004;7:189-195.
 - 74 Oppenheimer SM, Gelb A, Girvin JP, Hachinsky VC: Cardiovascular effects of human insular cortex stimulation. *Neurology* 1992;42:1727-1732.
 - 75 Koller CM: *Der Einsatz von Klängen in pädagogischen Arbeitsfeldern*. Hamburg, Dr. Kovac, 2007.
 - 76 Ross UH: Klangarbeit als hypnotherapeutische Intervention bei psychischen und psychosomatischen Störungen; in Hess P, Koller C (Hrsg): *Klangmethoden in der therapeutischen Praxis*. Schüttorf, Peter Hess, 2009, pp 148-157.
 - 77 Ehrenberger K, Finkenzeller P, Keidel WD, Plattig KH: Elektrophysiologische Korrelation der Stevensschen Potenzfunktion und objektive Schwellenmessung am Vibrationsinn des Menschen. *Pflügers Arch* 1966;290:114-123.
 - 78 Sato M: Response of Pacinian corpuscles to sinusoidal vibration. *J Physiol* 1961;159:391-409.
 - 79 Talbot WH, Darian-Smith I, Kornhuber HH, Mountcastle VB: The sense of flutter-vibration: comparison of the human capacity with response patterns of mechanoreceptive afferents from the monkey hand. *J Neurophysiol* 1968;31:301-334.
 - 80 Kunsch K, Kunsch S: *Der Mensch in Zahlen. Eine Datensammlung mit 20 000 Einzelwerten*, ed 3. Stuttgart, Spektrum Akademischer Verlag, 2006.
 - 81 Craig AD: How do you feel? Interoception: the sense of the physiological condition of the body. *Nat Rev Neurosci* 2002;3:655-666.
 - 82 Craig AD: Interoception: the sense of the physiological condition of the body. *Curr Opin Neurobiol* 2003;13:500-505.
 - 83 Bechara A, Naqvi N: Listening to your heart: interoceptive awareness as a gateway to feeling. *Nat Neurosci* 2004;7:102-103.
 - 84 Burton H, Videen TO, Raichle ME: Tactile-vibration-activated foci in the insular and parietal-opercular cortex studied with positron emission tomography: mapping of the second somatosensory area in humans. *Somatosens Mot Res* 1993;10:297-308.
 - 85 Coghill RC, Talbot JD, Evans AC, Meyer E, Gjedde A, Bushnell MC, Duncan GH: Distributed processing of pain and vibration by the human brain. *J Neurosci* 1994;14:4095-4108.
 - 86 Ostrowsky K, Magnin M, Rylvlin P, Isnard J, Guenot M, Mauguière F: Representation of pain and somatic sensation in the human insula: a study of responses to direct electrical cortical stimulation. *Cereb Cortex* 2002;12:376-385.
 - 87 Ettlin DA, Zhang H, Lutz K Järman T, Meier D, Gallo LM, Jäncke L, Palla S: Cortical activation resulting from painless vibrotactile dental stimulation measured by functional magnetic resonance imaging (fMRI). *J Dent Res* 2004;83:747-761.
 - 88 Albanese MC, Duerden EG, Bohotin V, Rainville P, Duncan GH: Differential effects of cognitive demands on human cortical activation associated with vibrotactile stimulation. *J Neurophysiol* 2009;102:1623-1631.
 - 89 Kossak HC: *Hypnose. Ein Lehrbuch*, ed 2. Weinheim, Beltz, 1993.
 - 90 Standley JM: The effect of vibrotactile and auditory stimuli on perception of comfort, heart rate, and peripheral finger temperature. *J Music Ther* 1991;28:120-134.
 - 91 Iguchi Y, Hoshi Y, Nemoto M, Taira M, Hashimoto I: Co-activation of the secondary somatosensory and auditory cortices facilitates frequency discrimination of vibrotactile stimuli. *Neuroscience* 2007;148:461-472.
 - 92 Yarrow K, Haggard P, Rothwell JC: Vibrotactile-auditory interactions are post-perceptual. *Perception* 2008;37:1114-1130.
 - 93 Ro T, Hsu J, Yasar NE, Elmore LC, Beauchamp MS: Sound enhances touch perception. *Exp Brain Res* 2009;195:135-143.
 - 94 Caetano G, Jousmäki V: Evidence of vibrotactile input to human auditory cortex. *Neuroimage* 2006;29:15-28.
 - 95 Pertovaara A: Modification of human pain threshold by specific tactile receptors. *Acta Physiol (Scand)* 1979;107:339-341.
 - 96 Lundberg TC: Vibratory stimulation for the alleviation of chronic pain. *Acta Physiol Scand Suppl* 1983;523:1-51.
 - 97 Zoppi M, Voegelin MR, Signorini M, Zamponi A: Pain threshold changes by skin vibratory stimulation in healthy subjects. *Acta Physiol Scand* 1991;143:439-443.
 - 98 Roy EA, Hollins M, Maixner W: Reduction of TMD pain by high-frequency vibration: a spatial and temporal analysis. *Pain* 2003;101:267-274.
 - 99 Hollins M, Roy EA, Crane SA: Vibratory antinociception: effects of vibration amplitude and frequency. *J Pain* 2003;4:381-391.
 - 100 Kakigi R, Shibasaki H: Mechanisms of pain relief by vibration and movement. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1992;55:282-286.
 - 101 Dahlin L, Lund I, Lundberg T, Molander C: Vibratory stimulation increases the elec-

- tro-cutaneous sensory detection and pain thresholds in women but not in men. *BMC Compl Altern Med* 2006;6:20–26.
- 102 Inui K, Tsuji T, Kakigi R: Temporal analysis of cortical mechanisms for pain relief by tactile stimuli in humans. *Cereb Cortex* 2006;16:355–365.
- 103 Starr CJ, Sawaki L, Wittenberg GF, Burdette JH, Oshiro Y, Quevedo AS, Coghill RC: Roles of the insular cortex in the modulation of pain: insights from brain lesions. *J Neurosci* 2009;29:2684–2694.
- 104 Craig AD: How do you feel – now? The anterior insula and human awareness. *Nat Rev Neurosci* 2009;10:59–70.
- 105 Critchley HD, Melmed RN, Featherstone E, Mathias CJ, Dolan RJ: Brain activity during biofeedback relaxation. A functional neuroimaging investigation. *Brain* 2001;124:1003–1012.
- 106 Waldrop TG, Iwamoto GA: Neurons in the insular cortex are responsive to muscular contraction and have sympathetic and/or cardiac-related discharge. *Soc Neurosci Abstr* 1994;20:1370.
- 107 Williamson JW, McColl R, Mathews D: Evidence for central command activation of the human insular cortex during exercise. *J Appl Physiol* 2003;94:1726–1734.
- 108 Williamson JW, McColl R, Mathews D, Mitchell JH, Raven PB, Morgan WP: Hypnotic manipulation of effort sense during dynamic exercise: cardiovascular responses and brain activation. *J Appl Physiol* 2001;90:1392–1399.
- 109 Rainville P, Hofbauer RK, Bushnell MC, Duncan GH, Price DD: Hypnosis modulates activity in brain structures involved in the regulation of consciousness. *J Cogn Neurosci* 2002;14:887–901.
- 110 Faymonville ME, Roediger L, Del Fiore G, Delguedre C, Phillips C, Lamy M, Luxen A, Maquet P, Laureys S: Increased cerebral functional connectivity underlying the antinociceptive effects of hypnosis. *Cogn Brain Res* 2003;17:255–262.
- 111 Caria A, Veit R, Sitaram R, Lotze M, Weiskopf N, Grodd W, Bierbaumer N: Regulation of anterior insular cortex activity using real-time fMRI. *Neuroimage* 2007;35:1238–1246.
- 112 Mehling WE, Gopisetty V, Daubenmier J, Price CJ, Hecht FM, Stewart A: Body awareness: construct and self-report measures. *PLoS One* 2009;4:e4614.
- 113 Modinos G, Ormel J, Aleman A: Activation of the anterior insula during self-reflection. *PLoS One* 2009;4:e4618.
- 114 Bassin FV, Platonov KK: *Verborgene Reserven des höheren Nervensystems*. Stuttgart, Hippokrates, 1973.
- 115 Siegel DJ: Mindfulness training and neural integration: differentiation of distinct streams of awareness and the cultivation of well-being. *Soc Cogn Affect Neurosci* 2007;2:259–263.
- 116 Siegel DJ: *Das achtsame Gehirn*. Freiburg, Arbor, 2007.