

Andreas Voss, Martin Bogdanski,
Mike Sandbothe und Reyk Albrecht

Medizinische Evaluation: Achtsamkeitstraining für Studierende (MBST®) führt zu einer physiologischen Stressreduktion

Abstract

In der heutigen schnelllebigen Zeit ist chronischer Stress zu einem ernsthaften Problem mit häufig schwerwiegenden Folgen für unsere körperliche und geistige Gesundheit geworden. Das Konzept der Achtsamkeit und das daraus abgeleitete Programm zur Stressreduktion durch Achtsamkeit (MBSR) gelten als wirksame Stressbewältigungstechniken für kranke wie auch für gesunde Menschen.

In dieser Studie haben wir das an der Ernst-Abbe-Hochschule Jena prototypisch entwickelte Achtsamkeitstraining für Studierende (MBST®) mit Hilfe von Methoden der Biosignalanalyse im Zeitraum vom 11. April 2017 bis 31. März 2020 evaluiert, um dessen Auswirkungen auf die autonome Regulation der Trainingsteilnehmenden zu untersuchen. Als Biosignale wurden über 20 Minuten kontinuierlich das Elektrokardiogramm, die Fingerpulscurve und die Atmungsaktivität von Studierenden, die entweder der Interventionsgruppe (IGR, N = 38) oder einer passiven Kontrollgruppe (N = 35) angehörten, vor und nach der achtwöchigen MBST®-Intervention erfasst und ausgewertet.

Der Vergleich verschiedener linearer und nichtlinearer Parameter der Herzfrequenzvariabilität, der Pulswellenvariabilität und der Atmung zeigte in der IGR nach acht Wochen MBST® signifikante, positive Veränderungen in der autonomen Regulation. Diese ist mit einer Stressreduktion assoziiert und stellt damit einen gesundheitlichen Nutzen des MBST®-Programms für Studierende dar.¹

1 Das Kapitel ist eine Übersetzung von Voss et al. 2020 in leicht abgeänderter Fassung.

Einführung

Hochschulen bieten anerkanntermaßen ein stressiges Umfeld, das sich oft negativ auf die akademische Leistung, die physische Gesundheit und das psychische Wohlbefinden der Studierenden auswirkt. Eine Studie unter Medizinstudent:innen im Grundstudium in den Vereinigten Staaten von Amerika zeigte bereits 1994, dass 23 Prozent von ihnen an einer klinischen Depression litten und 57 Prozent unter psychischem Stress standen (vgl. Mosley et al. 1994). Ähnliche Ergebnisse belegen auch neuere Studien in Deutschland. So sind hier Studierende überdurchschnittlich gestresst. Das ging auch aus einer repräsentativen Onlinebefragung des Lehrstuhls für Marketing der Universität Potsdam und des Lehrstuhls für Marketing und Business Development der Universität Hohenheim unter mehr als 18.000 Hochschüler:innen hervor (vgl. Herbst et al. 2016). Es haben mittlerweile zwischen 15 und 20 Prozent der 2,8 Millionen Studierenden in Deutschland, die früher als ›gesunde Gruppe‹ galten, eine psychische Erkrankung (vgl. Schug 2018). So konnte bei ihnen nachgewiesen werden, dass immer häufiger Stress und Versagensängste zu psychischen Belastungen und im schlimmsten Fall zum völligen Versagen im Studium führen. Studierende, die für Prüfungen lernen, berichten häufig über Stress. Von ihnen wird erwartet, dass sie eine große Menge an Wissen und Fähigkeiten erwerben und beherrschen. Die persönlichen und sozialen Opfer, die sie erbringen müssen, um gute akademische Ergebnisse zu erzielen, setzen sie in einem hart umkämpften Umfeld unter viel Stress. Dieser Stress kann schwerwiegende Folgen haben, die u.a. zur Entwicklung von Depressionen und Angstzuständen führen können. Studien über psychologische Probleme wie Stress, Depression und Angst unter Studierenden haben ergeben, dass diese Störungen bisher zu wenig diagnostiziert und behandelt wurden. Wenn diese Störungen nicht erkannt

werden, führt dies zu einer erhöhten psychologischen Morbidität mit unerwünschten Auswirkungen auf die berufliche Laufbahn bzw. sogar auf das gesamte Leben der Betroffenen (vgl. Tyssen et al. 2001).

Die Früherkennung psychologischer Probleme verkürzt deren Dauer und führt langfristig zu weit weniger sozialen Beeinträchtigungen. Daher ist es wichtig, Symptome von psychischem Stress bei Studierenden rechtzeitig zu erkennen, um die Behandlung dieser Probleme zu erleichtern.

Damit es gar nicht erst zu solchen Problemen kommt, können präventive Maßnahmen bereits heute erfolgreich eingesetzt werden. Dazu zählen insbesondere Methoden der achtsamkeitsbasierten Stressreduktion. Als medizinisches Behandlungsprogramm wurden Achtsamkeitsübungen in den 1970er Jahren von Jon Kabat-Zinn eingeführt (vgl. Kabat-Zinn 1982). Das Konzept wurde von buddhistischen Praktiken inspiriert und für die westliche Welt adaptiert. Darüber hinaus bildete es die Grundlage für das Programm zur achtsamkeitsbasierten Stressreduktion (MBSR) als Behandlungsprotokoll, um Achtsamkeit zunächst Menschen mit chronischen Schmerzen und anderen Krankheiten und später auch gesunden Menschen zu vermitteln (vgl. Kabat-Zinn 2013). Heute gilt MBSR als eine wirksame Methode zur Stressreduktion und als eine Technik zur Stressbewältigung in vielen Lebensbereichen (vgl. Frank et al. 2015; Ștefan/Căpraru/Szilágyi 2018). Inwieweit jedoch diese Methoden bei Studierenden wirken, wurde in der im Folgenden beschriebenen Studie zum physiologischen Nachweis einer Stressreduktion durch Anwendung eines speziell für Studierende zugeschnittenen, prototypischen Achtsamkeitstrainings – MBST® – untersucht (vgl. Voss/Bogdanski et al. 2020).

1. Psychische Belastungen bei Studierenden

Der Job bzw. die Ausbildung stehen laut einer 2016 durchgeführten Studie auf Platz eins der Stressursachen in Deutschland (vgl. Wohlers/Hombrecher 2016). Demnach fühlen sich 46 Prozent der Befragten durch Schule, Studium und Beruf belastet. Weiterhin wurde anhand der Untersuchung von annähernd 190.000 Studierenden eine gestiegene psychische Belastung festgestellt. Studierende kontaktieren häufiger Psychotherapeut:innen und bekommen öfter Antidepressiva verordnet als berufstätige Erwachsene gleichen Alters. Dies geht vermehrt mit affektiven Störungen, Depressionen oder Angststörungen einher.

Die Gründe für die Zunahme des Stresslevels bei Studierenden sind vielschichtig. Aktuell werden die folgenden Gründe (vgl. ebd.) für einen erhöhten Stress bei Studierenden diskutiert:

- höherer Lernumfang aufgrund der Zunahme des Wissens, das vermittelt wird; Umstellung auf Bachelor/ Master (stärkere Verschulung, stärkere Fixierung auf Regelstudienzeiten, höhere Dichte von Prüfungen)
- zunehmende Digitalisierung (Reizüberflutung durch rasante Entwicklung von Medien, Verkehr, ...)
- Wandel der Gesellschaft (Überstress wird kommuniziert, Studierende outen sich und werden daher besser als früher erfasst)
- gestiegenes Ablenkungspotenzial durch vielfache Angebote (Kunst, Kultur, ...), was zu Lasten der eigentlich notwendigen Lernzeit geht (damit entsteht im Unterbewusstsein ein permanentes ›Schuldgefühl‹)
- Belastung durch erforderlichen Nebenjob zur Finanzierung des Studiums
- zunehmende Versagensängste
- Streben nach Anerkennung, gestiegene Ansprüche an sich selbst

2. Stress und autonome Regulation

Im täglichen Leben verwenden wir oft den Begriff Stress, um negative Situationen zu beschreiben. Dies führt viele Menschen zu der Annahme, dass jeder Stress schlecht für sie sei. In Anlehnung an das Yerkes-Dodson-Gesetz (vgl. Yerkes/Dodson 1908) kann man einen Zusammenhang zwischen Stresslevel und (kognitiver) Leistungsfähigkeit herstellen (siehe Abbildung 1).

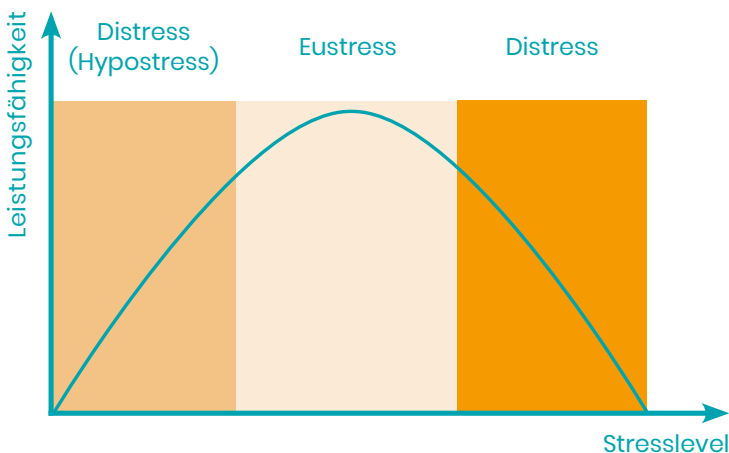


Abbildung 1: Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit vom Stresslevel

Dabei stellt Eustress (positiver Stress) jede Art von herausforderndem Reiz dar, der das Individuum belastet, aber mit dem Ergebnis, dass es sich energetisiert und motiviert fühlt, darauf zu reagieren oder nutzbringend für sich selbst zu handeln. Distress hingegen ist die am häufigsten genannte Art von Stress, die negative Auswirkungen hat. Auf der einen Seite führt eine intellektuelle Unterforderung (Distress als sogenannter Hypostress) zu Langeweile, Müdigkeit, Frustration und Unzufriedenheit. Auf der anderen Seite jedoch führt eine Überbelastung zu einer Reduzierung der Problemlösungsfähigkeit, zu einem geringen Selbstwertgefühl, zu Frustration bis hin zur Erkrankung. Wenn man kontinuierlich oder häufig einer Stressbelastung ohne angemessene Erholungszeiten ausgesetzt ist, kann der wahrgenommene psychische Stress chronisch werden, sich (spiralförmig) aufschaukeln und damit körperliche und psychische Krankheiten verursachen bzw. fördern (siehe Abbildung 2, in Anlehnung an Langs 2016). Zu derart initiierten Erkrankungen zählen z.B. ein beeinträchtigtes Immunsystem und das gestiegene Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen oder Diabetes (vgl. Wirtz/Känel 2017). Schließlich kann chronischer psychischer Stress auch zu Angststörungen, Depressionen oder Burnout führen (vgl. Marin et al. 2011).



Abbildung 2: Stressspirale, Auswirkung von chronischem Stress auf den Menschen

Das autonome Nervensystem (ANS) reguliert die Funktionen unserer inneren Organe wie Herz, Lunge, Magen und Darm. Dabei erfolgen die Regulationen unbewusst, arbeiten selbständig (autonom) und sind somit unserem Willen nicht unterworfen. So funktionieren beispielsweise Atmung und Herzschlag, ohne dass wir uns darum kümmern müssen. Das ANS wird unterteilt in das sympathische Nervensystem (SNS) und das parasympathische Nervensystem (PNS). Diese beiden Subsysteme werden in Zeiten der Erregung oder Erholung aktiviert. Dabei führt die Aktivierung des SNS zu einer Kampf- oder Fluchtreaktion und die Aktivierung des PNS zu einer Ruhe- und Verdauungsreaktion. Vereinfacht ausgedrückt steht das SNS mehr für Aktivität und das PNS mehr für Passivität. Beide Subsysteme arbeiten so, dass der Körper optimal und an die aktuelle Situation angepasst versorgt wird. Am Beispiel des Herzens verdeutlicht, führt eine verstärkte Aktivierung des SNS zu einer Erhöhung der Herzfrequenz, während eine verstärkte Aktivierung des PNS eine Reduzierung der Herzfrequenz bewirkt.

Chronische Stressbelastungen induzieren nachhaltige Veränderungen in den Regulationsmustern des ANS, die eine Disbalance zwischen sympathischer und parasympathischer Regulation zur Folge haben. Der Zusammenhang zwischen Stresseinflüssen und einem erhöhten Risiko einer koronaren Herzerkrankung wird durch eine Steigerung der Aktivität des Sympathikus erklärt (vgl. Collins/Karasek/Costas 2005). Die sympathisch-parasympathische Balance wird demnach durch chronisch psychosozialen Stress negativ verändert (vgl. Rozanski/Blumenthal/Kaplan 1999). Unter Stressbelastung steigt also die Aktivität des SNS an.

3. Erfassung von Stress durch Messung von Körpersignalen

Schwerpunkt der Messungen von Stressaktivierung sind die Signale, die den Zustand des ANS beschreiben. Deren Messung erfolgt nicht-invasiv und ist damit wenig belastend für den Menschen. Ein wichtiges Signal ist hierbei die Herzfrequenzvariabilität (HRV). Vereinfacht betrachtet ist die HRV (auch Herzratenvariabilität, engl. *heart rate variability*) der natürliche Anstieg und Fall der Herzfrequenz als Antwort auf Atmung, Blutdruck, Hormone, Stress und Gefühle. Je größer die HRV, desto regulierungsfähiger und gesünder sind das Herz und Nervensystem und umgekehrt. Auf diese Art und Weise spiegelt die HRV die gesamte psycho-physiologische (Verstand, Seele und Körper) Gesundheit und Balance des Körpers wider. Dabei stellt die HRV auch den einfachsten Weg dar, die autonome Regulation zu bewerten. Dies

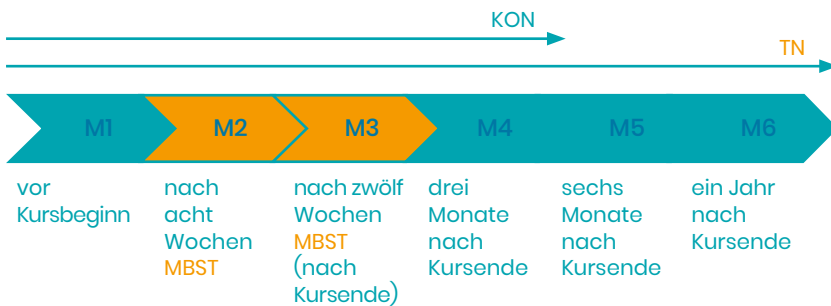
erfolgt auf Basis mathematischer Analysen der Schlag-zu-Schlag-Variabilität normaler Herzschläge (R-R-Abstände im EKG). Die Fluktuationen der Herzfrequenz zeigen die Wechsel in der autonomen kardialen Regulation, da der Sinusknoten im Vorhof des Herzens permanent durch sympathische und parasympathische Impulse moduliert wird (vgl. Malik et al. 1996).

Was schränkt jedoch die Herzfrequenzvariabilität ein? Angesichts eines stressauslösenden Ereignisses (Stressor) muss der Körper mit einer passenden Antwort reagieren. Diese Leistungs- und Stressantwort erfolgt in Form von erhöhtem Puls und Blutdruck, Freisetzung von speziellen Hormonen, Anspannen der Muskeln etc. Alle diese Reaktionen sind sinnvoll und notwendig für das normale Funktionieren unseres Körpers. Probleme entstehen jedoch, wenn der Körper mehr als notwendig auf diese Weise reagieren muss bzw. keine Möglichkeit bekommt, zwischen den Herausforderungen auch Erholungsphasen zu haben, um zum balancierten Gleichgewicht zurückzukehren. Das Resultat ist ein durchweg erhöhter Puls, eine verringerte HRV, eine erhöhte Blutdruckvariabilität, ein anhaltendes, extremes Niveau der zerstörenden Stresshormone, unterdrückte immune Tätigkeit und der Ausbruch der mit Stress in Verbindung stehenden Symptome und Krankheiten. Anhaltender Stress verursacht weiterhin eine erhöhte Wachsamkeit, Aufmerksamkeit und Erregung, erhöht damit den Blutdruck und steigert die Atemfrequenz. Daraus folgt, dass man durch Messungen des EKGs (HRV), der Pulskurve als Surrogat für den Blutdruck (Blutdruckvariabilität; vgl. Isabelle et al. 2016) und der Atemfrequenz (Atemfrequenzvariabilität) eine relativ einfache Methode zur Beschreibung bzw. Bewertung der autonomen Regulation zur Verfügung hat (vgl. Leder et al. 2002). Damit können ergänzende Informationen zur Charakterisierung der autonomen Regulation gewonnen werden, die zur erweiterten Charakterisierung des Stresszustandes beitragen können.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass mit der Messung der Funktion des ANS mittels der HRV, der Puls- und Blutdruckvariabilität sowie des Einflusses der Atmung eine zuverlässige Diagnostik zur Verfügung steht, die nicht nur einen sehr hohen prädiktiven Wert im Hinblick auf präventive Maßnahmen hat, sondern auch die physiologische Grundlage für alle kurativen Therapien innerhalb der regulativen Medizin liefert (Biofeedbackverfahren, kontrollierte Atmung, Bewegungstherapien, Yoga etc.; vgl. Karavidas et al. 2007). Sie ermöglicht weiterhin auch die Erfolgskontrolle für diese Therapien.

4. Physiologischer Nachweis einer Stressreduktion durch MBST®

Die hier vorgestellte Studie (für Details siehe Voss/Bogdanski et al. 2020) war als (eingeschränkt randomisierte) kontrollierte Studie konzipiert, in der die messbaren Auswirkungen einer zwölfwöchigen MBST®-Intervention für Studierende der Ernst-Abbe-Hochschule Jena untersucht werden sollten. Alle Teilnehmer:innen wurden zu mehreren Zeitpunkten innerhalb des Evaluationszeitraums vom 11. April 2017 bis 31. März 2020 vor, während (nach acht Wochen MBST®), am Ende und über Monate nach Abschluss der MBST®-Intervention gemessen (siehe Abbildung 3). An dieser Stelle betrachten wir nur die Entwicklung der autonomen Regulation innerhalb der ersten beiden Messpunkte.



M0: Eingewöhnungsmessung (später nicht berücksichtigt)

M1: Messung unmittelbar vor Beginn des MBST®

M2: Messung nach acht Wochen MBST®

M3: Messung nach insgesamt zwölf Wochen MBST®

M4: Messung drei Monate nach MBST®

M5: Messung sechs Monate nach MBST®

M6: Messung zwölf Monate nach MBST®

Abbildung 3: Zeitlicher Studienablauf

Wir untersuchten den Effekt des MBST® nach acht Wochen in einer IGR bzw. Trainingsgruppe im Vergleich zu einer Kontrollgruppe (KON), die dieses Training nicht besuchte, aber ansonsten der IGR gleich und den gleichen Studienablauf hatte (siehe Tabelle 1).

Studierende mit bekannter Herzerkrankung, Bluthochdruck, Diabetes, Schwangere, (Halb-)Profisportler:innen und solche mit fortgeschrittener Erfahrung im Achtsamkeitstraining wurden ausgeschlossen.

Messung

Die Messungen erfolgten nacheinander im selben Raum und wurden immer von der gleichen Person durchgeführt. Die Teilnehmer:innen wurden gebeten, in ruhigem Zustand auf einem Bürostuhl zu sitzen, und sollten sich während der Aufnahmen möglichst nicht bewegen. Es erfolgte eine zehninütige Aufzeichnung folgender Biosignale (siehe Abbildung 4): Elektrokardiogramm (EKG) mit zwei Kanälen, Fingerpuls-Photoplethysmogramm (PPG) und zwei Kanäle der Atemtätigkeit (RESP, über einen Atemgürtel). Daraus leiteten wir folgende Informationen ab:

- EKG → HRV
- PPG → Pulsfrequenzvariabilität, Pulskurvenform
- RESP → Atemfrequenzvariabilität

Gruppe	N (Teilnehmer:in)	Geschlecht (weiblich/ männlich)	Alter (Jahre)	BMI (kg/m²)
IGR	38	32/6	24.5 ± 3.7	22.2 ± 2.8
KON	35	31/4	24.1 ± 7.1	22.6 ± 5.0

Tabelle 1: Studienteilnehmende: IGR und KON (Alter als Mittelwert ± Standardabweichung; Body-Mass-Index [BMI])

- 1 EKG-Elektroden Kanal 1 (unter T-Shirt)
- 2 EKG-Elektroden Kanal 2 (unter T-Shirt)
- 3 Atemgurt 1
- 4 Atemgurt 2
- 5 Fingerpulssensor
- 6 Pulsuhr

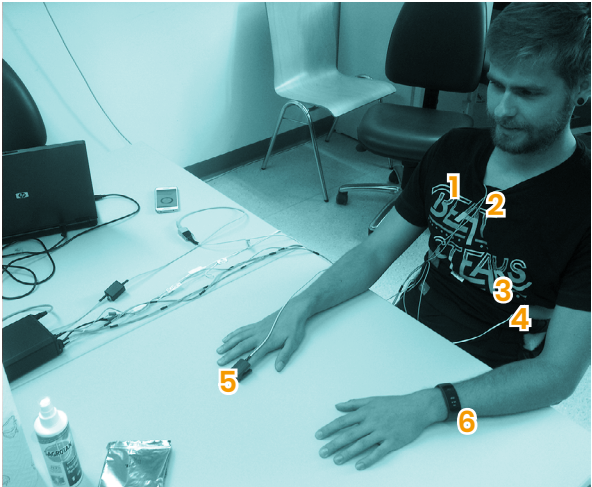
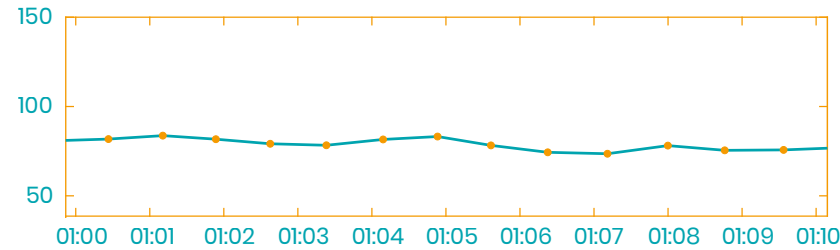


Abbildung 4: Messplatz



Bei allen EKG-Zyklen wurde die Spitze (Peak) erkannt, was hier durch ein kleines, auf den Kopf gestelltes Dreieck markiert ist (der gestrichelte Kreis schließt ein solches Dreieck beispielhaft ein).

Abbildung 5: Peak-Erkennung im EKG

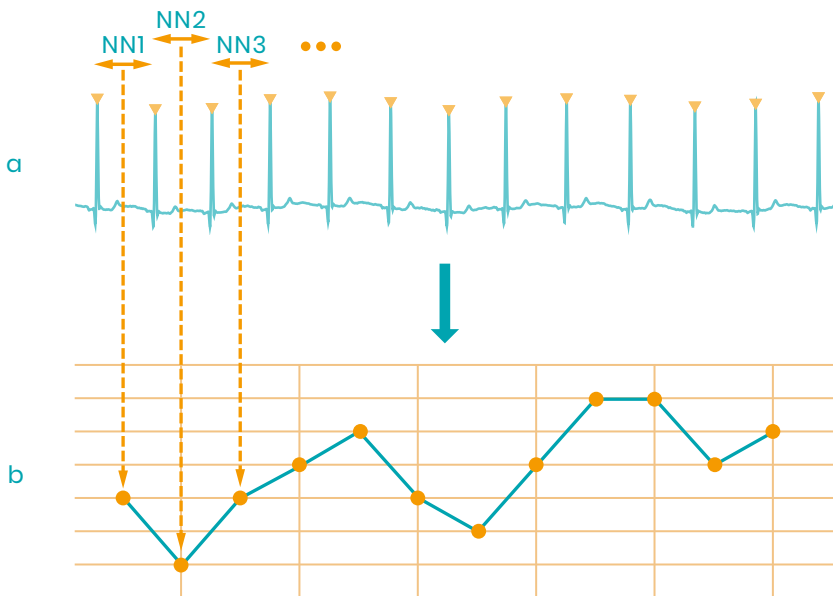


Abbildung 6: Peak-Erkennung in der Pulskurve

Signalverarbeitung

Nach ihrer Erfassung mussten die Rohdatenaufzeichnungen vorverarbeitet werden, um sie in eine verwertbare Form zu bringen. Dazu wurden (von ehemals jeweils zwei Kanälen) der EKG- bzw. RESP-Kanal mit der höheren Signalqualität zur weiteren Verarbeitung ausgewählt. Im nächsten Schritt wurden charakteristische Merkmale aus den Signalen gewonnen (z.B. Peaks, siehe Abbildung 5).

In einem dritten Schritt wurden die Ergebnisse überprüft und manuell bearbeitet, um falsche Peaks zu verwerfen oder gegebenenfalls übersehene Peaks hinzuzufügen. Die erkannten Peaks aus dem EKG (R-Peaks) lieferten die Peak-zu-Peak-Intervallzeitreihe (Abstände zwi-



- a: EKG-Abschnitt: Die Abstände zwischen zwei benachbarten normalen Herzschlägen werden als NN bezeichnet und durchnummeriert (beispielhaft sind hier nur die ersten drei benannt).
- b: Die Werte der jeweiligen Herzschlagabstände werden auf der y-Achse als Sekundenwerte über die Zeit (x-Achse) aufgetragen. Die sich daraus ergebende Linie (Zeitreihe) wird als Tachogramm bezeichnet.
- c: Pulscurvenabschnitt: Die jeweiligen Maxima (als PSYS bezeichnet) werden durchnummeriert (beispielhaft sind hier nur die ersten drei benannt).
- d: Die Werte der jeweiligen systolischen Maxima werden auf der y-Achse über die Zeit (x-Achse) aufgetragen. Die sich daraus ergebende Linie (Zeitreihe) wird als Pulssystogramm bezeichnet.

schen den einzelnen R-Peaks über die Zeit aufgetragen, die auch als Tachogramm oder NN-Reihen bezeichnet werden, siehe Abbildung 7a, b) für die spätere Analyse der HRV. Darüber hinaus erhielten wir aus dem PPG (siehe Abbildung 6) alle Zeitpunkte und Amplituden der systolischen Maxima (Systole, PSYS) und diastolischen Minima (Diastole, PDIA), die auch (über die Zeit aufgetragen) als Pulssystogramm und Pulsdiastogramm (siehe Abbildung 7c, d) bezeichnet werden (in Analogie zu Blutdruckdaten). Daraus können wir die Pulswellenvariabilität (PWV) als eine Art Surrogat für die Blutdruckvariabilität (BPV) analysieren. Schließlich lieferten die charakteristischen Punkte der Maxima und Minima im RESP-Signal die Zeitreihen für Inspiration (RESPin) und Expiration (RESPex) der Atemtätigkeit.

Auf der Grundlage der vorverarbeiteten Zeitreihen führten wir mehrere Methoden zur Merkmalsextraktion durch. Diese Methoden liefern Informationen, die die Merkmale von NN-, PSYS-, PDIA- und RESP-Zeitreihen als Marker der autonomen Regulation und damit als Marker eines bestimmten Belastungsniveaus beschreiben. Diese Methoden umfassen Berechnungen im Zeit- und Frequenzbereich sowie mit der nichtlinearen Dynamik (NLD), die als Ergebnis sowohl uni- als auch multivariate Parameter ergeben. Standardparameter für die HRV im

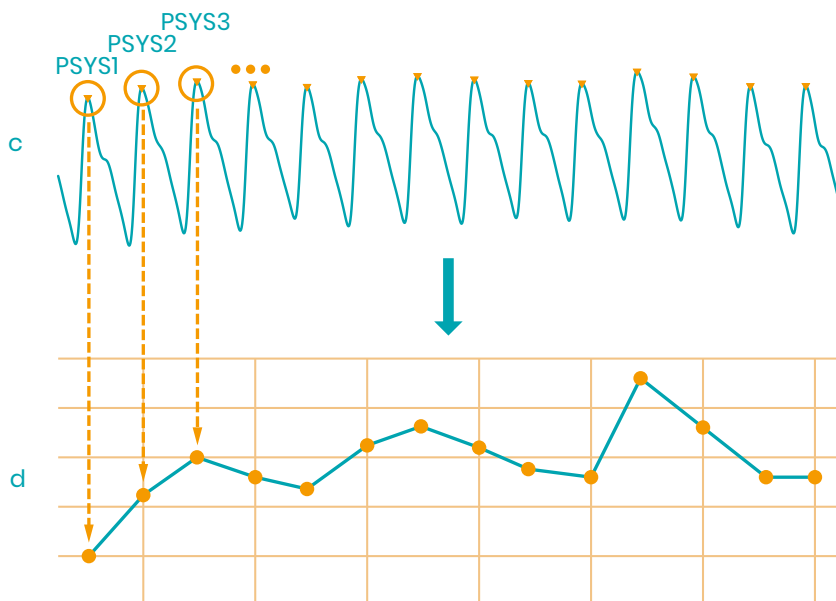


Abbildung 7: Gewinnung der NN-Zeitreihen aus dem EKG und die PSYS-Zeitreihen aus dem PPG-Signal

Zeit- und Frequenzbereich wurden entsprechend der Task Force der European Society of Cardiology und der North American Society of Pacing and Electrophysiology berechnet (vgl. Malik et al. 1996).

In Übereinstimmung mit anderen Forschungsergebnissen und klinischen Praktiken ist das PPG geeignet, um kardiovaskuläre Indizes zu erhalten, die Aufschluss über das Verhalten des Gefäßsystems geben können (vgl. Martinez et al. 2018). Neben der HRV aus dem EKG ist es daher ein weiterer Ansatz, die Ausprägungen der autonomen Regulation einer Person anhand der Analyse des PPG in Form der PWV zu beschreiben. Für die Auswertung der PWV berechneten wir ebenfalls Standardparameter, die wir aus der Analyse der Blutdruckvariabilität kennen, zur Beschreibung der systolischen und diastolischen Amplituden und deren Variabilitäten (vgl. Voss/Malberg et al. 2000).

Neben diesen Standardparametern berechneten wir weitere Parameter, die die Variabilitäten und Wechselwirkungen in den untersuchten Zeitreihen noch detaillierter beschreiben und insbesondere die nichtlinearen Wechselwirkungen charakterisieren. Zu diesen Parametern gehören Indizes aus Korrelations- und Transinformationsberechnungen (vgl. Hoyer et al. 2002).

Darüber hinaus verwendeten wir Methoden zur Quantifizierung der Komplexität als Ausdruck der Vorhersagbarkeit für die gegebene Zeitreihe. Dies geschah durch Berechnung verschiedener Entropien (vgl. Voss/Kurths et al. 1995; Baumert et al. 2004; Valencia et al. 2009) für die jeweilige Zeitreihe (NN, PSYS und PDIA).

Mit Methoden der symbolischen Dynamik aus der NLD berechneten wir Wortwahrscheinlichkeiten, um die Zeitreihen und ihre Variabilität nichtlinear und detaillierter zu beschreiben (gilt für HRV und PWV; vgl. Kurths et al. 1995; Voss/Kurths et al. 1996).

Ein weiterer NLD-Ansatz, den wir zur Analyse nichtlinearer Interaktionen zwischen NN- und PSYS-/PDIA-Zeitreihen verwendeten, waren Methoden der bivariaten und multivariaten hochauflösenden symbolischen Dynamik (vgl. Schulz et al. 2013).

Schließlich führten wir erweiterte Poincaré-Plot-Analysen durch, eine zusätzliche NLD-Methode, die eine Entwicklung der Zeitreihe im nichtlinearen Raum ermöglicht (vgl. Voss/Fischer et al. 2010). Die berechneten Parameter wurden statistisch analysiert, um signifikante Veränderungen von M1 (vor der MBST®) zu M2 (nach acht Wochen MBST®) sowohl in der IGR als auch in der KON zu identifizieren. Hierzu verwendeten wir nichtparametrische Tests für unsere gepaarten Daten (Wilcoxon-Test gekoppelt mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test).

Auf der Grundlage der erhaltenen Ergebnisse konnten wir die Interventionsgruppe innerhalb der ersten acht Wochen des MBST®-Trainings

auf statistisch signifikante Veränderungen prüfen und untersuchen, ob diese Veränderungen auch für die Kontrollgruppe (im gleichen Zeitraum) zutrafen. Darüber hinaus führten wir einen Mann-Whitney-U-Test durch, um mögliche Startunterschiede zwischen beiden Gruppen bei MI zu untersuchen. Auch hier verwendeten wir einen nichtparametrischen Test, der nicht die rigorosen Annahmen parametrischer Tests erfordert. Alle statistischen Tests wurden auf den Signifikanzniveaus $\alpha_1 = 0,05$, $\alpha_2 = 0,01$ und $\alpha_3 = 0,001$ durchgeführt, um signifikante, höher signifikante bzw. hochsignifikante Parameter zu identifizieren. Dabei wurden hochkorrelierte Parameter ($r > 0,8$) ausgeschlossen.

Ergebnisse

Wir untersuchten Veränderungen in der autonomen Regulation für die IGR nach acht Wochen MBST® (von MI bis M2) im Vergleich zur KON. Generell zeigten die Messungen signifikant veränderte Parameter ($n = 17$) in der IGR im Gegensatz zur KON, wo keine signifikante Veränderung nachweisbar war. Die Aufteilung nach Signifikanzstärke und Parameterdomäne zeigt dabei Tabelle 2.

Parameterdomäne	PSYS	PDIA	NLD, Kopplung
Signifikanzlevel		Anzahl Parameter	
*	1	1	–
**	2	–	8
***	3	–	5

*: leicht signifikant $\alpha < 0,05$; **: signifikant $\alpha < 0,01$; ***: hochsignifikant $\alpha < 0,001$

Tabelle 2: Anzahl der unterschiedlich signifikanten Parameter in den verschiedenen Domänen

Interessanterweise gab es fast keine signifikanten Veränderungen bei den Standardparametern aus den Zeit- und Frequenzbereichen. Die RESP- und HRV-Parameter waren innerhalb der IGR überhaupt nicht signifikant verändert. Nur drei Standardparameter, die mit der Variabilität in PSYS und PDIA zusammenhängen, zeigten signifikante Veränderungen. Dies waren die Standardabweichungen von PSYS und PDIA sowie der Variationskoeffizient in PSYS. Hingegen zeigten die 14 Parameter aus der NLD (symbolische Dynamik, Komplexität, Poincaré-Plot-

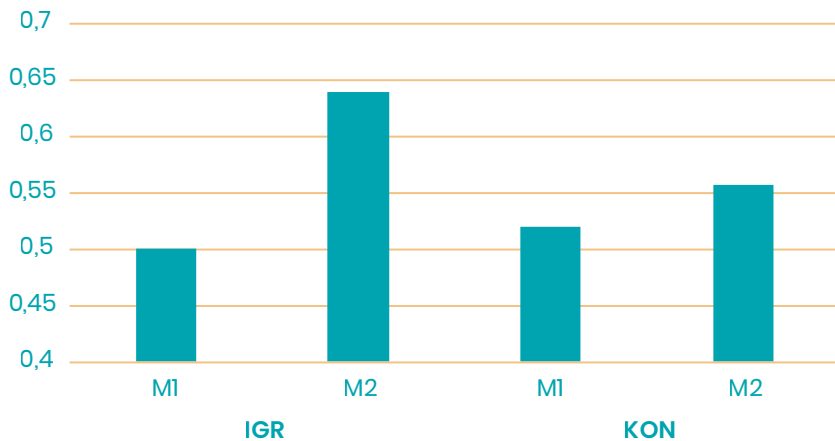


Abbildung 8: PWV_SymDyn – Entwicklung des PWV-Parameters, der die Verringerung der vaskulären Variabilität repräsentiert von M1 nach M2 für die Gruppen IGR (links) und KON (rechts)

Analysen) bzw. aus den Kopplungsanalysen deutliche Veränderungen in der IGR. Diese deuten alle auf eine hochsignifikante Verringerung der PWV nach acht Wochen MBST®-Training hin (siehe Abbildung 8).

Entsprechende signifikante Veränderungen von M1 zu M2 traten innerhalb des KON nicht auf. Besonders auffällig ist, dass ausschließlich die PSYS- und PDIA-Parameter und deren Interaktionen, anders als die der HRV oder RESP, Ausdruck signifikanter und vor allem nichtlinearer Veränderungen infolge dieser MBST®-Untersuchung sind.

Der direkte Vergleich zwischen IGR und KON bei M1 (vor dem MBST®-Training) zeigte praktisch keinen Unterschied (mit Ausnahme eines einzigen leicht signifikanten Kopplungsparameters), was bedeutet, dass beide Gruppen aus der gleichen Population stammten und daher vergleichbare Ausgangsbedingungen erfüllten.

5. Zusammenfassung und Diskussion

In dieser explorativen Studie untersuchten wir die Auswirkungen einer auf Studierende zugeschnittenen achtsamkeitsbasierten Intervention auf die autonome Regulation. Dies erfolgte auf der Basis des im Rahmen des Thüringer Modells *Achtsame Hochschulen* entwickelten, prototypischen MBST®-Programms, das aus MBSR für die Anforderungen des täglichen Lebens an der Hochschule adaptiert wurde. Unmittelbar vor und nach acht Wochen Training wurden Messungen von EKG, PPG und Atemaktivität bei den Probanden aus der IGR und bei einer (nichtinterventionellen) passiven KON durchgeführt. Der Vergleich der

berechneten Variabilitätsparameter aus den NN-, PSYS-, PDIA- und RESP-Zeitreihen ergab signifikante Veränderungen in der IGR nach acht Wochen MBST®-Intervention, nicht aber in der KON.

Als Ergebnis konnten wir zeigen, dass das MBST®-Training die autonome Regulation im Hinblick auf eine Stressreduktion in einem positiven Sinne erheblich beeinflusst. Mehrere Parameter, die das Verhalten der autonomen Regulation charakterisieren, veränderten sich innerhalb der IGR signifikant, während dieselben Parameter innerhalb der KON unverändert blieben. Im Detail scheinen die Standardparameter, die die Variabilitäten der Herzfrequenz, der Pulswelle oder der Atemaktivität in linearen Funktionen und Interaktionen beschreiben, für den Nachweis der Wirksamkeit des MBST®-Trainings weniger geeignet zu sein. Hingegen scheinen Parameter aus der NLD, die den Grad der Komplexität quantifizieren und nichtlineare Interaktionen (Kopplungen) zwischen den physiologischen Subsystemen in der autonomen Regulation beschreiben, in erster Linie gute Indikatoren für die Effektivität des Trainings zu sein. Darüber hinaus können die Variabilitäten von PSYS und PDIA, die die aus der Finger-PPG abgeleitete PWV als eine Art Ersatz für die systolische und diastolische Blutdruckvariabilität repräsentieren, die kardiovaskulären Aktivitäten als Haupttreiber der beobachteten Effekte charakterisieren. Die HRV konnte dabei überraschenderweise keine signifikanten Veränderungen zeigen.

Wenn wir uns die Richtungen der veränderten Werte der IGR im Detail ansehen, können wir feststellen, dass sich die veränderten Parameter wie erwartet verhalten haben. In Ruhe sollte eine gesunde Person in der Regel eine relativ hohe HRV, aber eine niedrige BPV aufweisen, was auf eine gute kardiovaskuläre Interaktion und Ansprechbarkeit im Gegensatz zu einer reduzierten HRV und/oder erhöhten BPV bei verschiedenen (kardiologischen und nichtkardiologischen) Erkrankungen hinweist (vgl. Malik et al. 1996; Acharya et al. 2006; Parati et al. 2015). Einerseits kann eine verminderte HRV und/oder erhöhte BPV (wie auch PWV) ein Anzeichen für einen Stresszustand unter einer schweren körperlichen oder mentalen Belastung sein, wie beim Sport oder bei Prüfungen. Andererseits könnte dies ansonsten auf eine Dysfunktion der autonomen Regulation hindeuten, die mit einem höheren Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Mortalität oder psychische Störungen verbunden ist. Mehrere Studien untersuchten den Zusammenhang von verschiedenen Erkrankungen mit Veränderungen der BPV (vgl. Sung et al. 2014; Gosmanova et al. 2016).

In dieser Hinsicht haben sich die Veränderungen der signifikanten Parameter innerhalb der IGR von M1 zu M2 als konsistent herausgestellt. Sowohl die Standardparameter als auch die Parameter der NLD und Kopplungsanalyse zeigten als Folge nach acht Wochen MBST® in der IGR:

- Die Pulswellenvariabilität ist reduziert.
- Die Komplexität der Pulswellenvariabilität ist reduziert.
- Die Kopplungen haben sich verstärkt (was eine reduzierte Variabilität impliziert).

Zusammenfassend weisen diese Befunde auf eine reduzierte systolische und diastolische Variabilität in den Pulswellen-Zeitreihen hin und implizieren daher ein geringeres Stressniveau und eine bessere Regulation der autonomen Körperfunktionen ausschließlich für die MBST®-Interventionsgruppe bereits nach acht Wochen Training.

Auch wenn diese vorläufigen Ergebnisse einen allgemeinen Einblick in die erwarteten Auswirkungen des MBST® auf die Funktionen der autonomen Regulation bei Hochschulstudierenden geben, sind einige Einschränkungen dieser Studie zu beachten: Das Geschlechterverhältnis war zugunsten der Frauen verschoben. Obwohl es sich hier nicht um eine rein randomisierte Studie handelt, kann davon ausgegangen werden, dass der Auswahlprozess der Proband:innen mit der Zufälligkeit der Anmeldung (Zeitpräsenz, Kenntnis der Studie, ...) ein nahezu randomisiertes Verfahren war. Darüber hinaus ist die aktuelle Auswertung für bestimmte protokollierte Metainformationen wie Altersgruppen, Geschlecht, BMI, Menge der sportlichen Aktivitäten (Profisportler:innen waren bereits ausgeschlossen), Menge der Vorerfahrungen in Meditation oder Yoga (diejenigen mit MBSR-Erfahrung waren bereits ausgeschlossen) sowie die Menge der unabhängigen Achtsamkeitspraxis zu Hause noch nicht kontrolliert. Es ist daher zu beachten, dass einige dieser ausgelassenen Informationen die Ergebnisse beeinflussen könnten.

Aus unseren vorliegenden Ergebnissen schließen wir, dass das durchgeführte MBST®-Programm tatsächlich eine statistisch gesicherte Verbesserung der autonomen Regulation bei den MBST®-Teilnehmenden zeigt. Auf Grundlage unserer Ergebnisse gehen wir davon aus, dass die durch die MBST® verursachten Veränderungen in der autonomen Regulation mehr nichtlinearer Art sind und daher wahrscheinlich schlechter durch klinische etablierte einfache lineare Parameter festgestellt werden können. Schließlich lassen die erhaltenen Ergebnisse die Annahme eines positiven Einflusses auf die Gesundheit der MBST®-Teilnehmer:innen zu.

Literatur

- Acharya, Rajendra U./Joseph, Paul K./Kannathal, N./Lim, Min Choo/Jasjit, Suri S. (2006): »Heart rate variability: a review«, in: *Medical and Biological Engineering and Computing* 44(12), S. 1031-1051, doi.org/10.1007/s11517-006-0119-0.
- Baumert, Mathias/Baier, Vico/Haueisen, Jens/Wessel, Niels/Meyerfeldt, Udo/Schirdewan, Alexander/Voss, Andreas (2004): »Forecasting of Life Threatening Arrhythmias Using the Compression Entropy of Heart Rate«, in: *Methods of Information in Medicine* 43(2), S. 202-206, doi.org/10.1055/s-0038-1633859.
- Collins, Sean M./Karasek, Robert A./Costas, Kevin (2005): »Job Strain and Autonomic Indices of Cardiovascular Disease Risk«, in: *American Journal of Industrial Medicine* 48(3), S. 182-193, doi.org/10.1002/ajim.20204.
- Frank, Jennifer L./Reibel, Diane/Broderick, Patricia/Cantrell, Todd/ Metz, Stacie (2015): »The Effectiveness of Mindfulness-Based Stress Reduction on Educator Stress and Well-Being: Results from a Pilot Study«, in: *Mindfulness* 6(2), S. 208-216, doi.org/10.1007/s12671-013-0246-2.
- Gosmanova, Elvira O./Mikkelsen, Margit K./Molnar, Miklos Z./Lu, Jun L./Yessayan, Lenar T./Kalantar-Zadeh, Kamyar/Kovesdy, Csaba P. (2016): »Association of Systolic Blood Pressure Variability With Mortality, Coronary Heart Disease, Stroke, and Renal Disease«, in: *Journal of the American College of Cardiology* 68(13), S. 1375-1386, doi.org/10.1016/j.jacc.2016.06.054.
- Herbst, Uta/Voeth, Markus/Eidhoff, Anne Theresa/Müller, Mareike/Stief Sarah (2016): *Studierendenstress in Deutschland – eine empirische Untersuchung*, Berlin, uni-heidelberg.de/md/journal/2016/10/08_projektbericht_stressstudie.pdf [letzter Zugriff 01.11.2024].
- Hoyer, Dirk/Leder, Uwe/Hoyer, Heike/Pompe, Bernd/Sommer, Michael/Zwiener, Ulrich (2002): »Mutual information and phase dependencies: measures of reduced nonlinear cardiorespiratory interactions after myocardial infarction«, in: *Medical Engineering & Physics* 24(1), S. 33-43, doi.org/10.1016/S1350-4533(01)00120-5.
- Isabelle, Marc/Chimenti, Stefano/Beaussier, Hélène/Gransagne, Denis/Ville-neuve, Nicole/Safar, Michel E./Duchatelle, Véronique/Vilaine, Jean-Paul/Vayssettes-Courchay, Christine/Bezie, Yvonnick (2016): »SBP, DBP, and pulse blood pressure variability are temporally associated with the increase in pulse wave velocity in a model of aortic stiffness«, in: *Journal of Hypertension* 34(4), S. 666-675, doi.org/10.1097/HJH.0000000000000838.
- Kabat-Zinn, Jon (1982): »An outpatient program in behavioral medicine for chronic pain patients based on the practice of mindfulness meditation: theoretical considerations and preliminary results«, in: *General Hospital Psychiatry* 4(1), S. 33-47, doi.org/10.1016/0163-8343(82)90026-3.
- Kabat-Zinn, Jon (2013): *Gesund durch Meditation: Das vollständige Grundlagenwerk zu MBSR*, München. (Original: [1990]: *Full Catastrophe Living: Using the Wisdom of Your Body and Mind to Face Stress, Pain, and Illness*, New York).
- Karavidas, Maria/Katsamanis/Lehrer, Paul M./Vaschillo, Evgeny/Vaschillo, Bronya/Marin, Humberto/Buyske, Steven/Malinovsky, Igor/Radvanski, Diane/Hassett, Afton (2007): »Preliminary results of an open label study of heart rate variability biofeedback for the treatment of major depression«, in: *Applied Psychophysiology and Biofeedback* 32(1), S. 19-30, doi.org/10.1007/s10484-006-9029-z.
- Kurths, Juergen/Voss, Andreas/Saparin, Peter/Witt, Annette/Kleiner, H. J. J./Wessel, Niels (1995): »Quantitative analysis of heart rate variability«, in: *Chaos* 5(1), S. 88-94, doi.org/10.1063/1.166090.
- Langs, Gernot (2016): »Stress – die größte Gesundheitsgefahr des 21. Jahrhunderts«, in: *btc-distelmeyer.de*, 17.07.2016, btc-danielmeyer.de/blog/stress-die-groesste-gesundheitsgefahr-des-21-jahrhunderts/ [letzter Zugriff 09.12.2021].

- Leder, Uwe/Baumert, Mathias/Baier, Vico/Liehr, M.]/Osterziel, Karl Josef/Figulla, Hans-Reiner/Voss, Andreas (2002): »Nachlast und Blutdruckamplitude bei dilatativer Kardiomyopathie/Afterload and Blood Pressure Amplitude in Dilated Cardiomyopathy«, in: *Biomedical Engineering/Biomedizinische Technik* 47(7-8), S. 191-194, doi.org/10.1515/bmte.2002.47.7-8.191.
- Malik, Marek/Bigger, J. Thomas/Camm, A. John/Kleiger, Robert E./Malliani, Alberto/Moss, Arthur J./Schwartz, Peter J. (1996): »Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use«, in: *European Heart Journal* 17(3), S. 354-381, doi.org/10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a014868.
- Marin, Marie-France/Lord, Catherine/Andrews, Julie/Juster, Robert-Paul/Sindi, Shireen/Arsenault-Lapierre, Geneviève/Fiocco, Alexandra J./Lupien, Sonia J. (2011): »Chronic stress, cognitive functioning and mental health«, *Neurobiology of Learning and Memory* 96(4), S. 583-595, doi.org/10.1016/j.nlm.2011.02.016.
- Martinez, Gloria/Howard, Newton/Abbott, Derek/Lim, Kenneth/Ward, Rabab/Elgendi, Mohamed (2018): »Can Photoplethysmography Replace Arterial Blood Pressure in the Assessment of Blood Pressure«, in: *Journal of Clinical Medicine* 7(10), 316, doi.org/10.3390/jcm7100316.
- Mosley, Thomas H. Jr./Perrin, Sean G./Neral, Susan M./Dubbert, Patricia M./Grothues, Carol A./Pinto, Bernadine M. (1994): »Stress, coping, and well-being among third-year medical students«, in: *Academic Medicine* 69(9), S. 765-767, doi.org/10.1097/00001888-199409000-00024.
- Parati, Gianfranco/Ochoa, Juan Eugenio/Lombardi, Carolona/Bilo, Grzegorz (2015): »Blood pressure variability: assessment, predictive value, and potential as a therapeutic target«, in: *Current Hypertension Reports* 17(4), 537, doi.org/10.1007/s11906-015-0537-1.
- Rozanski, Alan/Blumenthal, James A./Kaplan, Jay (1999): »Impact of Psychological Factors on the Pathogenesis of Cardiovascular Disease and Implications for Therapy«, in: *Circulation* 99(16), S. 2192-2217, doi.org/10.1161/01.CIR.99.16.2192.
- Schug, Markus (2018): »Studenten im Stress. Projekt gesundes Studium«, in: *faz.net*, 16.08.2018, faz.net/aktuell/rhein-main/region-und-hessen/studie-viele-studenten-haben-psychische-erkrankungen-15740104.html [letzter Zugriff 01.11.2024].
- Schulz, Steffen/Tupaika, Nadine/Berger, Sandy/Haueisen, Jens/Bar, Karl-Jürgen/Voss, Andreas (2013): »Cardiovascular coupling analysis with high-resolution joint symbolic dynamics in patients suffering from acute schizophrenia«, in: *Physiological Measurement* 34(8), S. 883-901, doi.org/10.1088/0967-3334/34/8/883.
- Ștefan, Catrinel A./Căpraru, Călin/Szilágyi, Melinda (2018): »Investigating Effects and Mechanisms of a Mindfulness-Based Stress Reduction Intervention in a Sample of College Students at Risk for Social Anxiety«, in: *Mindfulness* 9(5), S. 1509-1521, doi.org/10.1007/s12671-018-0899-y.
- Sung, Jidong/Woo, Jong-Min/Kim, Won/Lim, Seoung-Kyeon/Chung, Ahn-Soo (2014): »Relationship between Blood Pressure Variability and the Quality of Life«, in: *Yonsei Medical Journal* 55(2), S. 374-378, doi.org/10.3349/ymj.2014.55.2.374.
- Tyssen, Reidar/Vaglum, Per/Grønvold, Nina T./Ekeberg, Øivind (2001): »Suicidal ideation among medical students and young physicians: a nationwide and prospective study of prevalence and predictors«, in: *Journal of Affective Disorders* 64(1), S. 69-79, doi.org/10.1016/S0165-0327(00)00205-6.
- Valencia, Jose F./Vallverdú, Montserrat/Schroeder, Rico/Voss, Andreas/Vázquez, Rafael/Bayés de Luna, Antonio/Caminal, Pere (2009): »Complexity of the short-term heart-rate variability«, in: *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine* 28(6), S. 72-78, doi.org/10.1109/MEMB.2009.934621.

- Voss, Andreas/Bogdanski, Martin/Langohr, Bernd/Albrecht, Reyk/Sandbothe, Mike (2020): »Mindfulness-Based Student Training Leads to a Reduction in Physiological Stress«, in: *Frontiers in Psychology* 11, 645, doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00645.
- Voss, Andreas/Fischer, Claudia/Schroeder, Rico/Figulla, Hans-Reiner/Goernig, Matthias (2010): »Segmented Poincare plot analysis for risk stratification in patients with dilated cardiomyopathy«, in: *Methods of Information in Medicine* 49(5), S. 511-515, doi.org/10.3414/ME09-02-0050.
- Voss, Andreas/Kurths, Jürgen/Kleiner, Hans J./Witt, Annette/Wessel, Niels (1995): »Improved analysis of heart rate variability by methods of nonlinear dynamics«, in: *Journal of Electrocardiology* 28(s1), S. 81-88, doi.org/10.1016/S0022-0736(95)80021-2.
- Voss, Andreas/Kurths, Jürgen/Wessel, Niels/Witt, Annette/Kleiner, Hans J./Dietz, Rainer (1996): »Multiparametric Heart Rate Variability Analysis for High Risk Stratification after Myocardial Infarction«, in: *Clinical Science* 91(s1), S. 118-119, doi.org/10.1042/cs0910118supp.
- Voss, Andreas/Malberg, Hagen/Schumann, Agnes/Wessel, Niels/Walther, Thomas/Stepan, Holger/Faber, Renaldo (2000): »Baroreflex sensitivity, heart rate, and blood pressure variability in normal pregnancy«, in: *American Journal of Hypertension* 13(11), S. 1218-1225, doi.org/10.1016/S0895-7061(00)01199-7.
- Wirtz, Petra H./Känel, Roland v. (2017): »Psychological Stress, Inflammation, and Coronary Heart Disease«, in: *Current Cardiology Reports* 19, 111, doi.org/10.1007/s11886-017-0919-x.
- Wohlert, Katja/Hombrecher, Michaela (2016): »Entspann dich, Deutschland. TK-Stressstudie 2016«, Hamburg, tk.de/resource/blob/2026630/9154e4c-71766c410dc859916aa798217/tk-stressstudie-2016-data.pdf [letzter Zugriff 01.11.2024].
- Yerkes, Robert M./Dodson, John D. (1908): »The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation«, in: *Journal of Comparative Neurology and Psychology* 18(5), S. 459-482, doi.org/10.1002/cne.920180503.