

Teil 1

Entspannung durch Atmung – Messung objektiver Stress- und Entspannungsparameter im Feldversuch

Dominic Bläsing

Universität Greifswald

Zusammenfassung

Stress und wahrgenommene Beanspruchung am Arbeitsplatz steigen stetig an. Mit Hilfe arbeitsplatznaher, leicht zu erlernender und jederzeit anwendbarer Entspannungstechniken kann diesem Trend entgegen gewirkt werden. Im Rahmen einer Untersuchung im Kletterpark ($N = 14$) wurde eine Arbeitsumgebung simuliert und das Verfahren der Herzkohärenzatemung zur Entspannungserzeugung angewandt. Zeitgleich erfolgte über ein biometrisches T-Shirt die Erfassung eines EKG zur objektiven Messung von Stress- und Entspannungszuständen, welche über Veränderungen der Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität quantifiziert werden sollten. Die Atemintervention konnte ab dem ersten Training erfolgreich umgesetzt werden und es zeigten sich Unterschiede im Beanspruchungserleben im Vergleich von Interventions- und Kontrollgruppe.

Schlüsselwörter: Herzkohärenz, Atemtraining, Herzfrequenzvariabilität, objektive Stressmessung

Relaxation through breathing – measurement of objective stress- and relaxation indicators in a field experiment

Abstract

Workplace related subjectively perceived stress is continuously on the rise. Different relaxation techniques could be used to give workers the ability to relieve their stress during working days. In a field experiment in a climbing high rope course an easy to use and learn and all time useable relaxation technique was tested ($N = 14$). This technique is similar to a heart coherence breathing technique, a paced breathing with approximately six breath cycles per minute. During the experiment an ECG signal was recorded using a biometrical shirt with textile electrodes to objectively measure stress and relaxation. Those states are quantified through changes in heart rate and heart rate variability. The breathing technique was successfully used since the first training. Differences in objective stress parameters can be observed between control and experimental group.

Keywords: heart coherence, breathing exercise, heart rate variability, objective stress measurement

Die Arbeitswelt befindet sich im stetigen Wandel. Der damit einhergehende Veränderungsdruck führt zu einem subjektiven Anstieg von Stress und wahrgenommener Beanspruchung am Arbeitsplatz, deren Folge steigende Krankheitstage auf Grund von physischen, aber vor allem auch psychischen Erkrankungen und Beschwerden sind (Badura, 2016). Um der steigenden Beanspruchung entgegenzuwirken, werden nicht nur verhältnispräventive, sondern verstärkt auch verhaltenspräventive Maßnahmen wie beispielsweise Entspannungstrainings ergriffen. Diese können in ihrer Wirkungsweise sowohl global und auf lange Dauer als auch lokal und

auf kurze Frist bezogen eingesetzt werden. Ziel der hier dargestellten Studie war es, eine leicht zu erlernende und schnell anwendbare Intervention zu erproben, um Anspannungszustände eigenständig und arbeitsplatznah durch eine spezifische Atemtechnik abbauen zu können. Dabei stehen körpereigene Regulationsmechanismen im Vordergrund, insbesondere die Herzfrequenz und die Herzfrequenzvariabilität. Da eine intensivere Stressexposition arbeitsbegleitend nur schwer möglich ist, wurde ein Klettertraining im Hochseilgarten als Alternative zur Arbeitstätigkeit gewählt.

Stress als Reaktion des autonomen Nervensystems

Umgangssprachlich wird unter Stress ein negativer Zustand verstanden, ein Gefühl von Anspannung, Gereiztheit und Zeitdruck. Laut Stressreport der Techniker Krankenkasse fühlten sich in Deutschland im Jahr 2016 60 Prozent der Menschen gestresst (Wohlers & Hombrecher, 2016). Der Stressbegriff wird umgangssprachlich dabei wesentlich weniger trennscharf genutzt, als es für eine wissenschaftliche Analyse des Themas notwendig ist. Je nach theoretischem Hintergrund unterscheiden sich jedoch auch wissenschaftliche Definitionen und Modelle des Stresses bzw. der Stressgenese erheblich.

Je nach Arbeitsplatz und Arbeitsplatzbedingungen sind Individuen unterschiedlichen Konstellationen von Umweltreizen ausgesetzt. Jeder dieser Reize ist potentiell dazu in der Lage, eine negative Reaktion des Organismus hervorzurufen. Dieser Grundgedanke findet sich u.a. im Belastungs-Beanspruchungs-Konzept wieder (Rohmert & Rutenfranz, 1975). Belastung wird hierbei entgegen der umgangssprachlichen Bedeutung als wertneutrales Konzept verwendet. Jeder von außen auf den Organismus einwirkende Reiz wird als Belastung verstanden, die in Abhängigkeit der individuellen Voraussetzungen zu mehr oder minder stark ausgeprägten Beanspruchungen führt. Erweiterte Konzepte gehen dabei noch zusätzlich auf den Punkt der Bewältigung ein, da das reine Vorliegen eines Reizes z.T. nicht ausreichend ist, um eine Beanspruchung zu empfinden, sondern erst die Interaktion mit dem Reiz die Beanspruchung auslöst (Triebig et al., 2014).

Mittels des Belastungs-Beanspruchungs-Konzeptes lässt sich besonders gut der Einfluss physikalisch messbarer Größen auf den arbeitenden Menschen erklären. Lasten, Strahlung, Schall und Beleuchtung sind messbare Größen und lassen sich mit definierten Standards und Grenzwerten vergleichen. Komplexer gestaltet sich dabei die Erfassung psychischer Belastungen am Arbeitsplatz und der aus ihnen resultierenden Beanspruchungen. Gemäß DIN EN ISO 10075 werden psychische Belastungen als „die Gesamtheit aller erfassbaren Einflüsse, die von außen auf den Menschen zukommen und psychisch auf ihn einwirken“ (DIN EN ISO 10075-1) definiert.

Kognitivistisch geprägte Modelle stellen hingegen die Bewertung eines Reizes bzw. Stressors durch das Individuum in den Vordergrund der Betrachtung. Im transaktionalen Stressmodell von Lazarus (1966) kann jeder Umweltreiz zu Stress führen, indem er den Prozess der Wahrnehmung sowie der anschließenden Bewertung durchläuft. Stress entsteht dann, wenn der Bewertungsprozess ergibt, dass es sich um einen potentiell gefährlichen Reiz im Sinne einer Bedrohung oder eines Verlustes handelt. Zudem wird hierbei angenommen, dass der Organismus nicht über die benötigten Ressourcen verfügt, um den Reiz erfolgreich verarbeiten zu können.

Eines der wichtigsten arbeitspsychologischen Modelle der Stressgenese am Arbeitsplatz ist das Job-Demands-Resources-Modell. Laut dieses Modells gibt es sowohl in der Arbeit als auch in der Person verortete Ressourcen, die zu motivierenden Aspekten von Arbeit wie Commitment, Engagement und Zufriedenheit beitragen. Zeitgleich verfügt jeder Job über eine bestimmte Anforderungsstruktur, die in Kombination mit gegebenen und aktuell zur Verfügung stehenden Ressourcen zur Beanspruchung der Person führen kann. Je nach Verhältnis von Ressourcen und Anforderungen ändert sich die gezeigte Leistung (Bakker & Demerouti, 2017; Bakker et al., 2003).

Das Problem bei der Erfassung von Stress und Beanspruchung am Arbeitsplatz liegt vor allem in der Multikausalität der Stressgenese begründet. Eine distinkte Exposition gegenüber nur einem bestimmten Reiz erfolgt selten. In der Regel kommt es zu einer Konfrontation mit Reizkonstellationen, die eine bestimmte physiologische Anpassungsreaktion erfordern. Stress entsteht auch in diesem Fall immer dann, wenn der Organismus nicht über genügend Ressourcen verfügt, um den Stressor bewältigen zu können. Nicht jede Exposition führt dabei zu direkt spürbaren Folgen, sondern nur dann, wenn der Organismus über die nötigen Rezeptoren verfügt, um Reiz und Reaktion wahrnehmen zu können.

Die an der Stressentstehung maßgeblich beteiligten Systeme sind das Autonome Nervensystem (ANS) und die Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-Achse, welche sich vor allem durch endokrinologische Veränderungen auszeichnet (Triebig et al., 2014). Das ANS gliedert sich in ein sympathisch erregendes und parasympathisch hemmendes Teilsystem. Bei Ruhe und Entspannung sind parasympathische Anteile überwiegend, bei physischer, mental-kognitiver oder emotionaler Beanspruchung ist vermehrt das sympathische ergotrophe Teilsystem aktiv. Das ANS stellt ein sich dynamisch an wechselnde Umweltbedingungen anpassendes System dar, welches sich unter anderem über die Variabilität der Herzfrequenz quantifizieren lässt (Revina, 2006). Stress wird dann als vermehrter sympathischer Einfluss definiert, der sich durch ein Absinken der Herzfrequenzvariabilität (HRV) bemerkbar macht. Entspannung gilt als Gegenpol zu Stress und zeichnet sich durch eine Verminderung der physiologischen Stressreaktion, hervorgerufen durch vermehrte parasympathische Einflüsse aus. Diese Änderungen gehen mit einem Anstieg der HRV einher.

Herzfrequenzvariabilität – Bedeutung, Funktion und Berechnung

Die Erfassung von Belastung und Beanspruchung am Arbeitsplatz erweist sich als schwierig. Fragebogenerhebungen haben mit bekannten Verzerrungsproblemen wie sozialer Erwünschtheit zu

kämpfen und erfassen eher punktuelle und meist zurückliegende Zustände als sich dynamisch verändernde Reaktionen. Beobachtungsverfahren geben keine direkte Rückmeldung über interne Zustände. Objektive Verfahren erfreuen sich vor allem aufgrund der zunehmend mobilen Einsatzmöglichkeiten auch von EKG, EMG, EEG und fNIRS (funktionelle Nahinfrarotspektroskopie) steigender Beliebtheit. Mittels objektiver Messungen werden zudem nicht nur einzelne Zustände erfasst, sondern auch Veränderungen der internen Abläufe des Systems.

Die Aktivitäten des Herz-Kreislauf-Systems stehen dabei in den letzten Jahren vermehrt im Fokus der Aufmerksamkeit, da sie als geeigneter Indikator zur Beanspruchungsmessung gelten (Böckelmann, 2012). Die valide Erfassung dieser Aktivität erfolgt i.d.R. durch die Aufzeichnung eines EKG, mit dessen Hilfe Schwankungen des elektrischen Potentials der Herzmuskulatur gemessen werden können. Der Zyklus der in der Regel vom Sinusknoten ausgehenden elektrischen Reizweiterleitung, der seinen auffälligsten Ausschlag in der sog. R-Zacke hat, hervorgerufen durch die Kontraktion der Herzkammern, wiederholt sich bei einem gesunden Erwachsenen in Ruhe ca. 65- bis 75-mal in der Minute (beats per minute = bpm) (Sammito et al., 2014). Als Dauerleistungsgrenze für Arbeit werden dabei Werte definiert, die 30 Schläge über dem Ruhepuls liegen (REFA Consulting AG, 2017).

Die Herzfrequenz unterliegt den dynamischen Schwankungen des ANS. Verstärkte Aktivität des Sympathikus führt, über den Neurotransmitter Noradrenalin innerviert, zu einer verstärkten Depolarisation der Herzzellen. Diese Depolarisierung führt sodann zu einem Anstieg der Herzfrequenz. Bei erhöhter parasympathischer Aktivierung kommt es zu einer vermehrten Ausschüttung von Acetylcholin, dessen hemmende Wirkung auf die Depolarisierung der Herzzellen eine Verlangsamung der Herzfrequenz zur Folge hat. Aufgrund dieser dynamisch, pro Minute mehrfach ablaufenden Prozesse eignet sich die alleinige Aufzeichnung der Herzfrequenz nicht zwingend als Indikator für Beanspruchung, da diese i.d.R. als über einen bestimmten Zeitraum gemittelter Wert angegeben wird. Der Einfluss des ANS spiegelt sich besser in der Herzfrequenzvariabilität wider. Mit Hilfe dieses Maßes werden Schwankungen der Herzfrequenz mathematisch quantifizierbar. Mit der HRV liegt ein Maß vor, das Auskunft darüber gibt, wie gut der Organismus dazu in der Lage ist, sich wechselnden Umweltbedingungen anzupassen. Die HRV gilt ebenso als Indikator für das Gleichgewicht des ANS.

Eine Vielzahl von Faktoren nimmt Einfluss auf die HRV. Als besonders relevant erweisen sich nicht nur allgemeine Umwelt- und spezifische Arbeitsbedingungen, sondern auch das Alter, die sportliche Fitness sowie das Ernährungsverhalten inklusive Alkohol- und Nikotinkonsum (Sammito & Böckelmann, 2016).

Für die Erhebung von HRV-Parametern im Bereich Arbeitsmedizin und Arbeitswissenschaften

liegt seit 2014 eine Richtlinie vor, die die Standards von Malik (1996) zur Erhebung und Interpretation ergänzt (Sammito et al., 2014). Die nachfolgenden Erhebungen und Analysen orientieren sich an beiden Richtlinien bezüglich ausgewählter Analyseverfahren, Standards zur Erhebung eines EKGs sowie der Verarbeitung des EKG-Rohsignals.

Entspannungsverfahren und ihre Wirkungsweise

Am Arbeitsplatz werden im Rahmen des betrieblichen Gesundheitsmanagements immer häufiger Entspannungsübungen praktiziert, um Mitarbeiter zu entlasten bzw. ihre Stressresilienz zu erhöhen. Besonders präsent sind dabei Verfahren wie Yoga (Chu et al., 2017; Streeter et al., 2017), Progressive Muskel Relaxation (Dolbier & Rush, 2012), Meditation (Shearer et al., 2015) und Biofeedback-Übungen (Van der Zwan et al., 2015).

Der Großteil der Verfahren erreicht den beruhigenden Effekt durch eine Veränderung der Atmung. Der Einfluss der Atmung auf das ANS lässt sich dabei nicht nur in Laborsituationen finden, sondern auch unter verschiedenen z.T. simulierten Bedingungen nah dem Arbeitsplatz (Andersen et al., 2015; Lehrer, 2014.).

Im Rahmen der hier vorgestellten Studie wird eine schnell zu erlernende und einfach anzuwendende Intervention mit direktem Effekt eingesetzt. Vor dem Hintergrund sich immer schneller wandelnder Arbeitsbedingungen sollte nicht nur der Aufbau von Resilienz, sondern der Umgang mit einer akuten Stressexposition im Vordergrund der Untersuchung stehen. Aus diesem Grund wurde auf ein Ateminterventionstraining mit einer Taktatmung von ca. sechs Atemzügen pro Minute zurückgegriffen.

Respiratorische Sinusarrhythmie und Herzkohärenz

Physiologische Grundlage des Effektes der Atemintervention ist die respiratorische Sinusarrhythmie (RSA). Darunter versteht man den Zusammenhang zwischen dem Rhythmus der Atmung sowie dem daraus resultierenden Effekt von Beschleunigung und Verlangsamung des Herzschlages (Lehrer et al., 2003). Während der Inspiration kommt es zu vermehrter sympathischer Reaktion, während der Expiration zu einer Zunahme parasympathischer Anteile. Beide Zweige des ANS beeinflussen wiederum zeitgleich die Herzfrequenz. Das daraus resultierende Muster von sich verlängernden und verkürzten RR-Intervallen wird über die Herzfrequenzvariabilität (HRV) quantifizierbar.

Bei bewusst langsamer Atmung mit einem Rhythmus, bei dem sich die Atemzyklen alle zehn Sekunden wiederholen, kann eine Kohärenz zwischen Atem- und Herzrhythmus erreicht werden. Die Stärke der RSA ist dabei abhängig von der

Häufigkeit und Amplitude der Atmung, ebenso vom zugrundeliegenden autonomen Zustand des Organismus. Während bei Schlaf oder Ruhe die rhythmische Verbindung von Atmung und Herz-Kreislaufsystem am stärksten ausgeprägt ist, wird diese unterbrochen, sobald der Organismus durch Stressoren negativ beeinflusst wird (McCraty et al., 2009). Auf psychologischer Ebene ist der Zustand der Herzkohärenz assoziiert mit der reduzierten Wahrnehmung von Stress, anhaltendem positiven Affekt sowie verbesserter sensomotorischer Integration, Kognition und Aufgabenleistung.

Die Technik der Herzkohärenzatemung ist von den meisten Probanden innerhalb von zehn Minuten problemlos erlernbar. Eine Atemfrequenz von sechs Atemzügen pro Minute erweist sich für einen Großteil der Probanden als optimal (Vaschillo et al., 2002).

Ziele der Untersuchung

Im Rahmen eines einfachen Kontrollgruppenversuchs wird der beruhigende Einfluss eines Herzkohärenztrainings auf den Organismus während einer Beanspruchungssituation analysiert. Die Ermittlung des Einflusses der Atmung auf die Entspannung soll dabei dreistufig erfolgen. Zu Beginn wird ein Effekt des Kletterns an sich ausgeschlossen, d.h. es wird sichergestellt, dass es keinen Effekt des wiederholten Kletterns auf die Herzfrequenz und HRV gibt. Im Anschluss daran wird der bereinigte Effekt der Atemintervention während einer Kletterpause ermittelt. Hierbei soll aufgezeigt werden, dass es zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe Unterschiede hinsichtlich des Anstieges der HRV-Parameter gibt. Ein geringer Anstieg durch den Wegfall der körperlichen Beanspruchung durch das Klettern ist in beiden Gruppen zu erwarten. Der zusätzlich erwartete Anstieg in der Interventionsgruppe sollte jedoch auf die Intervention zurückgehen. Zur vertiefenden

Überprüfung dieses erwarteten Effekts werden im letzten Schritt Veränderungen des Herz-Kreislaufsystems analysiert, die auf die Atmungsaktivität zurückzuführen sind. Hierzu werden Differenzen in den RR-Tachogrammen sowie in unterschiedlichen Phasen der Kletterpause einer detaillierten Betrachtung unterzogen.

Methode

Die Erhebungen fanden im Zeitraum August-Oktober 2016 im Hochseilgarten des Vereins für Klettersport und Erlebnispädagogik e.V. in Greifswald statt. Die Probanden wurden zufällig auf Interventions- und Kontrollgruppe aufgeteilt und sollten unabhängig von der Gruppenzuteilung über einen Zeitraum von vier Wochen zu vier Kletterterminen erscheinen. Die Interventionsgruppe erhielt vor Beginn des ersten Kletterdurchgangs eine intensive Unterweisung über den Zusammenhang zwischen Beanspruchung und HRV sowie über den Einfluss der Atmung auf die HR und HRV. Im Anschluss erfolgte ein visuell gestütztes Biofeedbacktraining zur Herzkohärenzatemung. Zu Beginn eines jeden folgenden Klettertermins erhielten sie erneut das Biofeedbacktraining. Zu jedem der vier Termine wurde derselbe Parcours absolviert. Dieser umfasste zwölf zu bewältigende Elemente (eine Kombination aus Hängebrücken, Seilleitern, Seilbahnen u.ä.) und hatte einen zeitlichen Umfang von 30 bis 45 Minuten (Abbildung 1). Auf der Hälfte des Parcours wurde eine Pause in ca. neun Metern Höhe auf einer Plattform eingelegt. Die Interventionsgruppe wurde aufgefordert, hier nach dem im Vorfeld erlernten und geübten Atemrhythmus zu atmen, die Kontrollgruppe erhielt keine spezifische Instruktion zum Atmen. Die Höhenexposition wurde mit der körperlichen Anstrengung als Stressexposition verstanden. Zur Gewährleistung der Sicherheit der Probanden wurde jeder Proband von einem erfahrenen

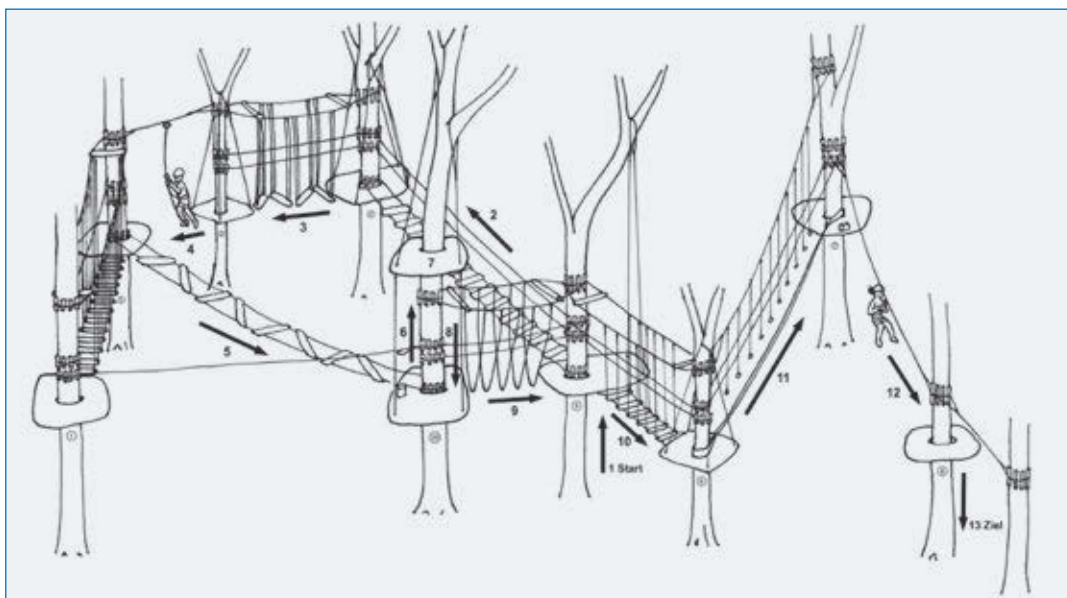


Abbildung 1
Skizzierter Ablauf des zu kletternden Parcours

Klettertrainer begleitet. Die Pausen verbrachte jedoch jeder Proband allein auf der Plattform.

Probanden

An der Untersuchung nahmen 14 Probanden (8 weiblich; Alter MW = 24.36, SD = 3.37, zu gleichen Teilen in Interventions- und Kontrollgruppe) teil. Bei der Auswertung der Pausenzeiten mussten drei Probanden ausgeschlossen werden. Zwei der Probanden der Interventionsgruppe führten die Atemintervention nicht wie gefordert durch. Bei einem Probanden der Kontrollgruppe lag der Takt der Atmung von Anfang an zwischen sieben und neun Atemzügen pro Minute und war damit deckungsgleich mit der Atmung der Probanden der Interventionsgruppe. Für die Gesamtauswertung wurden somit fünf Probanden der Interventions- und sechs Probanden der Kontrollgruppe betrachtet.

Messmethodik

Zur Erfassung verschiedener Vitalparameter kamen Hexoskin-T-Shirts mit integrierten Textilelektroden der Firma Carree Technologies zum Einsatz. Die Validität der T-Shirts für die Aufzeichnung von EKG-Daten ist wiederholt bestätigt worden (Al Sayed et al., 2017; Villar et al., 2015). Die Aufzeichnung der EKG-Daten erfolgte über drei Elektroden (zwei auf Brust-, eine auf Bauchhöhe) mit einer Abtastrate von 256 Hz. Die Atmung wurde getrennt für Brust- und Bauchatmung mit einer Abtastrate von 128 Hz erfasst. Bewegungsparameter wurden über im Speichermodul verbaute Inertialsensoren anhand von Beschleunigungsmustern entlang der drei Raumachsen mit einer Frequenz von 64 Hz aufgezeichnet.

Auswertung

Schwerpunkt der Analysen bilden Verfahren aus dem Bereich der Time-Domain-Analysen, welche zu den meistgenutzten Verfahren zählen (Föhr et al., 2015). Zum Einsatz kommen dabei die Standard-

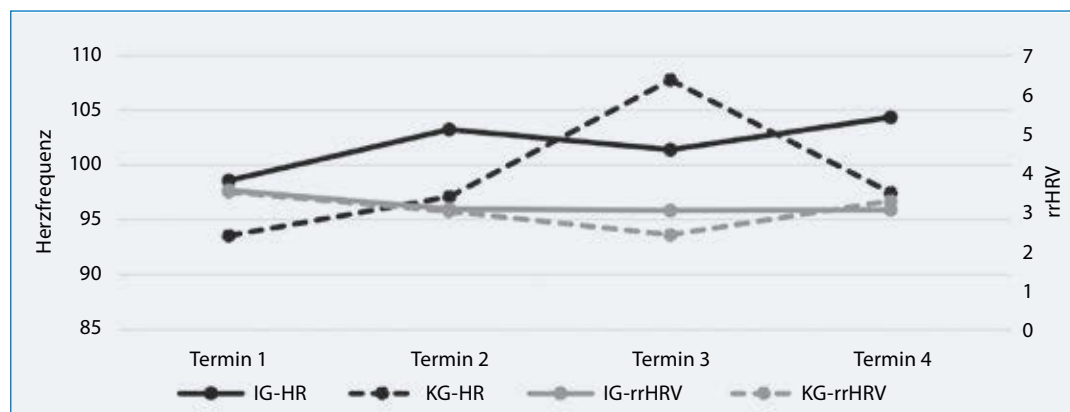
abweichung der RR-Intervalle (SDNN), die Quadratwurzel der mittleren Abweichung der Differenzen zwischen benachbarten RR-Intervallen (RMSSD), die prozentuale Anzahl aller aufeinanderfolgenden RR-Intervalle, die sich um mindestens 50 ms unterscheiden (pNN50), sowie ein neues Maß rrHRV, dessen Berechnung auf prozentualen Unterschieden aufeinanderfolgender RR-Intervalle beruht (Vollmer, 2016). rrHRV erweist sich dabei als robuster gegenüber der Herzfrequenz im allgemeinen (SDNN, RMSSD und auch pNN50 weisen eine hohe Abhängigkeit von der aktuellen Herzfrequenz ab), sowie gegenüber Veränderungen in der Herzfrequenz im Verlauf der Messung. Mathematisch lässt sich rrHRV als mediane euklidische Distanz aufeinanderfolgender RR-Paare zu einem gemeinsamen Zentrum definieren (Vollmer, 2015). Zur Auswertung der Daten kamen MATLAB R2016a sowie die auf MATLAB basierende App HRVTool von Vollmer (2016) zum Einsatz.

Kletter- und Pausenzeiten der Probanden wurden anhand der Daten der Inertialsensoren des T-Shirts ermittelt. Die Daten der drei Raumachsen wurden miteinander verrechnet, um einen Ausdruck für die allgemeine Bewegungsaktivität zu erhalten. Unter Verwendung eines gleitenden Mittels wurden die Daten geglättet, um den Einfluss von kurzen, aber intensiven Bewegungen herauszurechnen. Die daraus resultierenden Daten wurden mit der optisch gestützten Full Width At Half Maximum Methode (Markevich & Gertner 1989) mit dem Ziel analysiert, Start- und Endzeitpunkte der Kletterphasen sowie Pausenzeiten zu erfassen.

Ergebnisse

Sowohl für die Interventions-(IG)- als auch für die Kontrollgruppe (KG) konnte kein einheitlicher Verlauf der HR- und der HRV-Parameter über die vier Messzeitpunkte ermittelt werden. Für die Interventionsgruppe schwankte die durchschnittliche Herzfrequenz der Teilnehmer an den vier Terminen zwischen 99 bpm (SD = 11) und 104 bpm (SD = 11) beim ersten und beim letzten Training. In der Kontrollgruppe variierten die Werte zwischen 94 bpm (SD = 7) und 108 bpm (SD = 12) am dritten Termin

Abbildung 2
Einfluss des Trainings
auf HR und rrHRV



(Abbildung 2). Sowohl durch das wiederholte Klettern als auch durch die durchgeführte Atemintervention ergeben sich demnach keine Veränderungen über die vier Termine.

Für die Einschätzung der Wirkung des Herzkoherenzatemtrainings wurden die Werte der Pausenzeiten über alle Personen und Wochen gemittelt. Verglichen wurden dabei die Werte zu Beginn der Pause und während der letzten Minute der Pause (siehe Abbildung 3). In beiden Gruppen war ein Absinken der HR von Beginn im Vergleich zum Ende der Pause zu erkennen ($IG_{\text{Beginn}} = 91.2$, $IG_{\text{Ende}} = 79.7$; $KG_{\text{Beginn}} = 86.7$, $KG_{\text{Ende}} = 81.3$). Dieser Effekt sollte in Folge des Wegfalls der physischen Beanspruchung durch das Klettern auftreten und entspricht den Erwartungen. Für die HRV-Parameter SDNN, RMSSD, pNN50 und rrHRV (in Abbildung 3 zur besseren Vergleichbarkeit lineartransformiert um den Faktor 10) ergeben sich innerhalb der Gruppen Unterschiede. In der Interventionsgruppe war für alle Parameter

ein Anstieg zu verzeichnen ($IG_{\Delta\text{SDNN}} = 10.9$, $IG_{\Delta\text{RMSSD}} = 18.2$, $IG_{\Delta\text{pNN50}} = 11.0$, $IG_{\Delta\text{rrHRV}} = 1.95$). In der Kontrollgruppe kam es zu einem Absinken des Parameters SDNN, für alle anderen berechneten Parameter gab es einen Anstieg ($KG_{\Delta\text{SDNN}} = -30.0$, $KG_{\Delta\text{RMSSD}} = 7.3$, $KG_{\Delta\text{pNN50}} = 4.6$, $KG_{\Delta\text{rrHRV}} = 0.6$). Die gemessenen Anstiege der restlichen berechneten HRV-Parameter in der Kontrollgruppe lagen dabei immer unter den gemessenen Anstiegen der Parameter in der Interventionsgruppe.

Es scheint somit ein Einfluss der Atmung auf HR und HRV vorhanden zu sein. Diesen Befund unterstützen auch die RR-Tachogramme von Interventions- und Kontrollgruppe (Abbildung 4). Zu erkennen ist ein in Phasen verlaufender Wechsel von niedrigeren und höheren RR-Werten in der Interventionsgruppe und ein weniger zyklischer Verlauf in der Kontrollgruppe. In diesen Verläufen spiegelt sich der verstärkte und zyklische Einfluss des ANS wider. Um den Einfluss der Atmung auf

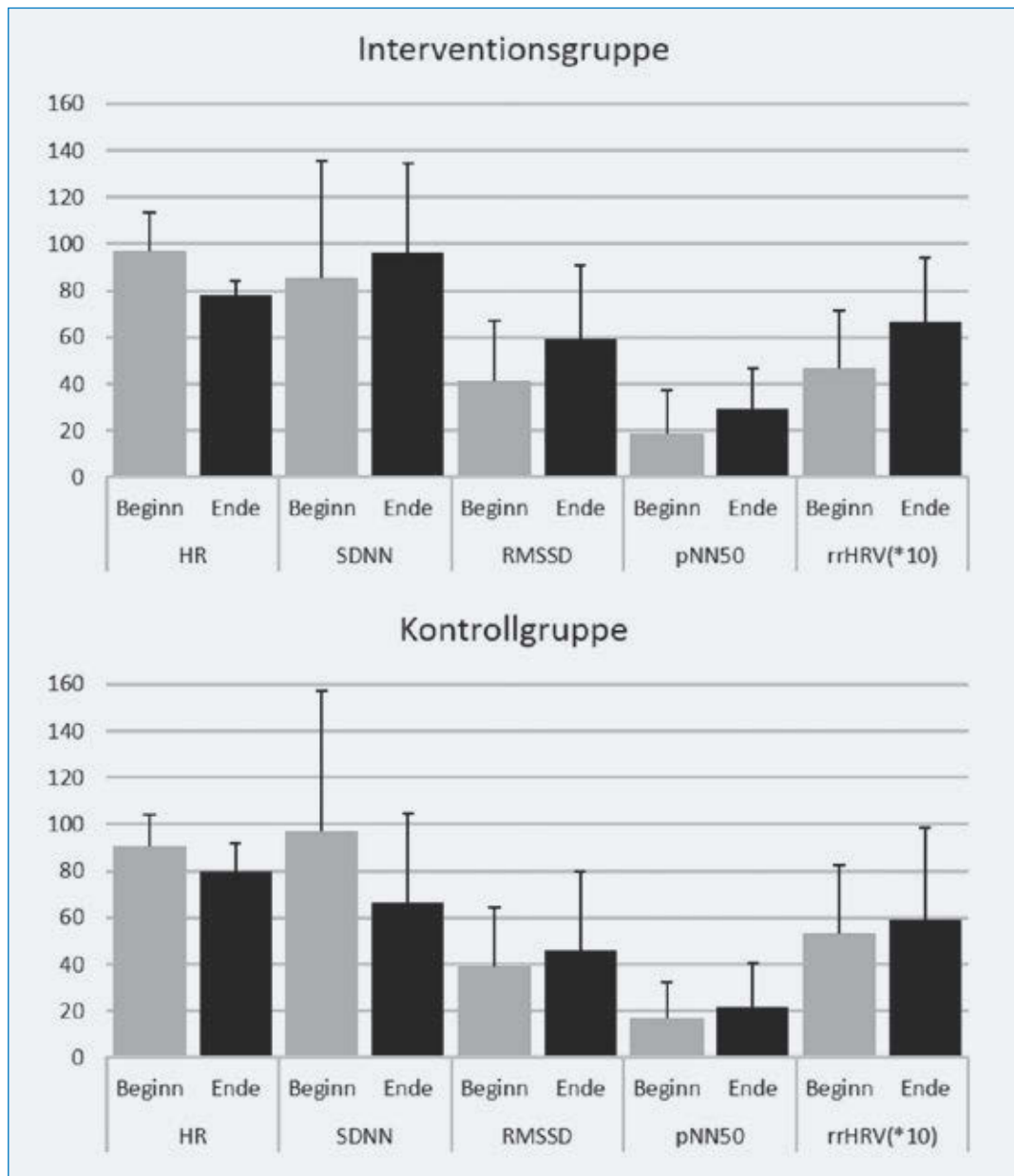
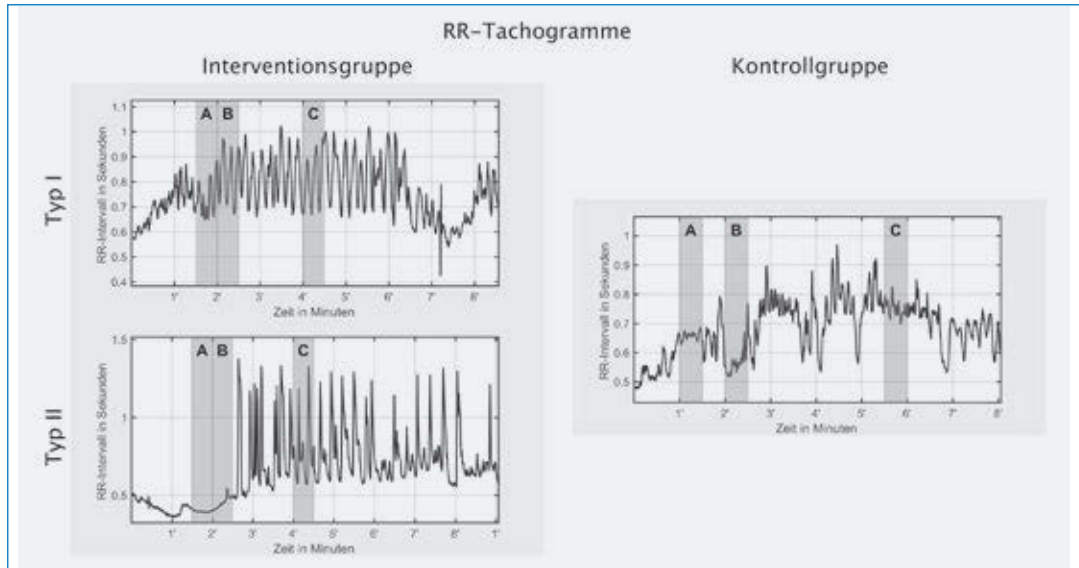


Abbildung 3
Einfluss der Atmung auf
HR- und HRV-Parameter
während der Pause

Abbildung 4
RR-Tachogramme
für Interventions-
und Kontrollgruppe

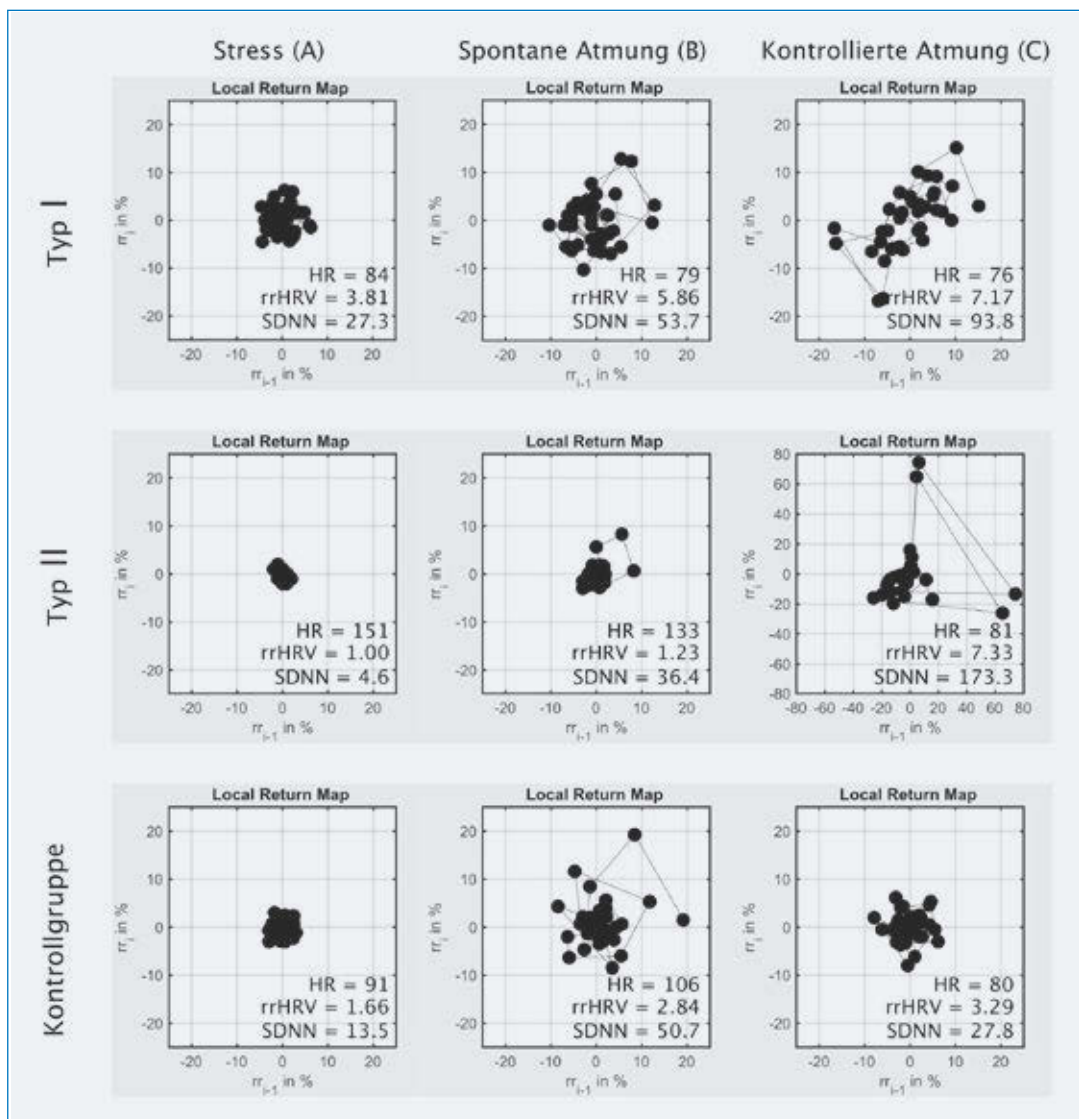


das Herz-Kreislauf-System detaillierter aufzuzeigen, wurde anschließend eine Analyse aufeinanderfolgender Herzschläge für je 30-Sekunden-Abschnitte durchgeführt. In Streudiagrammen wurden aufeinanderfolgende relative RR-Intervalle abgetragen.

Betrachtet wurden dabei drei unterschiedlich beanspruchende Phasen der Pause:

- a) zum Zeitpunkt des Betretens der Plattform unter physiologischem Stress bzw. kurz nach Ende des Aufstieges,

Abbildung 5
Musteranalyse des Einflusses
der Atmung
während der Pause



- b) für das Zeitfenster der Fragebogeneingabe, während der in beiden Gruppen spontane Atmung vorherrschend war, und
- c) während des Sitzens in der eigentlichen Pause, in der in der Interventionsgruppe kontrollierte Taktatmung erfolgen sollte.

Zu erkennen ist, dass es, ähnlich wie bei den RR-Tachogrammen, zwei Typen von Verläufen gibt, welche sich in unterschiedlichen Mustern bei kontrollierter Atmung niederschlagen. Für Stress und spontane Atmung ergeben sich nur geringfügige Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen. Bei Stress erfolgt aufgrund der meist erhöhten HR eine Ballung der Punkte (geringe Unterschiede zwischen den Herzschlägen) um den gemeinsamen Nullpunkt. Bei spontaner Atmung kommt es zu einer Auflösung der Ballung, verbunden mit einem Anstieg der HRV-Parameter (im betrachteten Fall $rrHRV$). In der Pause sinkt die HR wie erwartet ab, bei einem leichten Anstieg der HRV-Parameter in der Kontrollgruppe ($rrHRV = 3.29$). Es ergibt sich jedoch auch im weiteren Verlauf der Pause kein auffälliges Muster. Für die Interventionsgruppe ist ein stärkerer Anstieg der HRV-Parameter (Typ I $rrHRV = 7.17$, Typ II $rrHRV = 7.33$) zu beobachten. Für Typ I entsteht im Streudiagramm eine eher ovale Form. Bei der Einatmung kommt es zu einem Anstieg und bei Ausatmung zu einem Abfall der Werte in elliptischer Form. Für Typ II ergibt sich eine Ballung des Streudiagramms (geringe Unterschiede zwischen den Herzschlägen) für die Ausatmung und eine Dreiecksstruktur für die Einatmung (Abbildung 5).

Diskussion

Ein entspannender Effekt im Sinne einer vermehrten parasympathischen und verminderten sympathischen Aktivität des ANS während der Pausenzeiten konnte in beiden Gruppen gezeigt werden, allerdings erfolgte wie vermutet ein stärkerer Anstieg in der Interventionsgruppe. Ein allgemeiner Anstieg der HRV-Parameter war durch den Wegfall der physischen Beanspruchung durch das Klettern zu erwarten. Der über den auch in der Kontrollgruppe zu verzeichnenden Anstieg der HRV-Parameter hinausgehende Zuwachs in der Interventionsgruppe stellt eine Folge der Atemintervention dar. Aufgrund der fehlenden Unterschiede über die vier Termine hinweg kann davon ausgegangen werden, dass eine solche Atemintervention ab der ersten Anwendung erfolgversprechend ist. Je häufiger dieser Atemrhythmus praktiziert und je routinierter der Anwender wird, umso häufiger kann diese Technik auch spontan zum Einsatz kommen (McCraty et al., 2009). Um am Arbeitsplatz den gewünschten stressmindernden Effekt erreichen zu können, sollte das Verfahren im Vorfeld regelmäßig geübt und Mitarbeiter wiederholt an die Technik erinnert werden, bis es zu einer gesteigerten Internalisierung der Intervention kommt.

Die Datenanalysen ergaben Hinweise auf mit der Atemintervention in Zusammenhang stehende

Muster der Herzaktivität. Diese schlugen sich nicht nur wie zu erwarteten in den RR-Tachogrammen nieder (Grossmann & Taylor, 2007; McCraty et al., 2009), sondern zeigten sich zudem in spezifischen Mustern aufeinanderfolgender RR-Intervalle. An diesem Punkt besteht aufgrund der geringen Stichprobengröße allerdings noch Forschungsbedarf. Ziel eines bereits geplanten Laborexperimentes ist es, Merkmale zu identifizieren, anhand derer bestimmt werden kann, welche Person zu welchem der aufgefundenen Typen gehört und bzw. herauszufinden, ob es mehr als die zwei in der aktuellen Studie gefundenen Typen gibt. Aufschluss darüber könnten die Atemtiefe sowie spezielle Atemtechniken geben (Hirsch & Bishop, 1981). Ein genaueres Wissen über das Vorkommen und Aussehen solcher Muster könnte bei Langzeitmessungen helfen, durch Atmung induzierte Entspannung von sonstigen Entspannungsphänomenen zu unterscheiden, ohne dass eine parallele Aufzeichnung der Atmung notwendig ist. In der Kontrollgruppe konnten schwach ausgeprägte Muster gefunden werden, die denen von Typ I und Typ II ähnelten. Für eine Berechnung der Periodenlänge war die erhobene Stichprobe jedoch noch zu gering. Folgeuntersuchungen stehen hier aus. Im Zweifelsfall könnte es zur besseren Analyse und Interpretation der Daten sogar hilfreich bzw. notwendig sein, den Einfluss der Atmung aus der HRV herauszurechnen, indem die Veränderung der Herzfrequenz durch die Atmung stärker berücksichtigt wird (Gaşior et al., 2016). Für durch den Anstieg der Herzfrequenz hervorgerufene Änderungen der HRV sind unterschiedliche HRV-Indikatoren jedoch unterschiedlich anfällig, so dass dies bei der Analyse der Daten ebenfalls Berücksichtigung finden muss. Mit dem Maß $rrHRV$ liegt ein Parameter vor, der gegenüber den Standardparametern robuster ist und sich weniger leicht durch Artefakte und Veränderungen der HR beeinflussen lässt (Vollmer, 2016).

Limitationen

Der Schwerpunkt der Untersuchung lag auf der Erfassung von Stress- und Entspannungszuständen in einem sich dynamisch verändernden System. Durch die Wahl der Messgeräte, des Designs und der Art der Auswertung sind verschiedene Limitationen für die Untersuchung entstanden.

Bei der Auswahl der Messgeräte ergaben sich Abweichungen zu der in der S2K-Richtlinie vorgeschlagenen Erhebung des EKGs mit einer Mindestabtastrate von 1.000 Hz. Es konnte jedoch wiederholt gezeigt werden, dass nur geringfügige Unterschiede zwischen Messungen mit 256 Hz und 1.000 Hz bestehen (Pizzuti, 1985; Ziemssen et al., 2008). In einer eigenen Laboruntersuchung wird dieser Problematik nachgegangen und das eingesetzte Smart-Shirt erneut validiert werden.

Des Weiteren ergaben sich Abweichungen zur S2K-Richtlinie bezüglich der minimalen Aufzeichnungsdauer für HRV-Analysen. Der gewählte Zeit-

raum von 30 Sekunden gilt als zu gering für Frequency-Domain-Analysen, sie wurden daher von Anfang an ausgeschlossen. Für Time-Domain-Analysen gilt eine Messdauer von 30 Sekunden jedoch als ausreichend. Der Parameter pNN50 wird immer in Abhängigkeit zur Grundgesamtheit der im Zeitraum detektierten Herzschläge berechnet, rrHRV wird ebenfalls unabhängig von der Dauer der Aufzeichnung nur auf Grundlage der im gewünschten Zeitraum erfassten Herzschläge ermittelt. RMSSD gilt auch bei Analysezeiträumen von 30 Sekunden als geeignetes Maß (Munoz et al., 2015), lediglich die Auswertung von SDNN könnte mit Problemen verbunden sein, die auch das Absinken der Werte in der Kontrollgruppe relativieren könnten (Thong et al., 2003).

Die Zusammensetzung der Stichprobe könnte einen Effekt auf die Ergebnisse haben. Bei allen Probanden handelte es sich um relativ junge Erwachsene. Für die RSA gibt es eine exponentielle Verminderung der Amplitude mit zunehmendem Alter und zunehmender Herzfrequenz. Die Veränderungen durch das Alter sind besonders stark zwischen 20 und 35 Jahren, danach folgt bis in das Alter von ca. 78 Jahren keine weitere Verminderung (Hirsch & Bishop, 1981). Zudem handelte es sich um eine kleine Stichprobe, was eine inferenzstatistische Auswertung der Daten erschwerte. Eine erneute Erhebung ohne längsschnittliches Design, dafür mit größerer Probandenzahl ist in Planung.

Die unimodale Erfassung von Zuständen wie Stress und Entspannung gestaltet sich schon allein aufgrund der vielfältigen Ursachen von Stress und des Überwiegens des Einflusses von körperlicher Aktivierung bei EKG-Messungen als schwierig. Mit der Atmung liegt ein weiterer Parameter vor, der in die Analysen mit einbezogen werden kann (Bernardi et al., 2000). Eine Erweiterung der Messung um Verfahren wie EEG, fNIRS (Vergleich Reiser et al. in diesem Heft) oder EMG (Vergleich Nisser et al. in diesem Heft) erscheint sinnvoll, sie wird in der Literatur auch als Königsweg der Beanspruchungsmessung bezeichnet (Chen et al., 2015). Solche Ergänzungen werden aufgrund miniaturisierter Sensorik auch im Feld nach und nach möglich.

Insgesamt betrachtet geben die Befunde Anlass, sich intensiver mit den Möglichkeiten der Messung objektiver Beanspruchungsparameter am Arbeitsplatz zu beschäftigen. Eine solche Erfassung liefert die Möglichkeit, Prozesse detaillierter zu analysieren und auch feingranulare Prozessschritte auf deren Beanspruchungsgehalt hin zu untersuchen. Parallel dazu ist es möglich, Mitarbeitenden über Biofeedback vermittelte, leicht zu erlernende Techniken an die Hand zu geben, um eine selbstbestimmte Stressregulation im laufenden Arbeitsprozess vornehmen zu können.

Forschungsbedarf besteht gerade auch im Bereich der Entspannungstrainings. Es stellen sich unter anderem Fragen nach der physiologischen Einordnung von Entspannung als Gegenteil von Stress und danach, wie Entspannung durch ein reines Absinken sympathischer Aktivität quantifiziert

werden kann. Ebenso ist noch weitgehend unklar, über welche zeitliche Dauer der Effekt der Atemintervention anhält, wie lange die bewusst zu steuernde Intervention selbst aufrechterhalten werden kann und wann die kontrollierte Atmung wieder in spontane Atmung übergeht (McCraty et al., 2009). Abschließend bleibt die praktische Frage zu klären, inwieweit die gezeigte Intervention dazu in der Lage ist, Arbeitskräften im Büro, in Meetings oder am Fließband parallel zu den jeweils ablaufenden Arbeitsprozessen eine Minderung der Anspannung zu verschaffen.

Literatur

- Al Sayed, C., Vinches, L. & Hallé, S. (2017). Validation of a wearable biometric system's ability to monitor heart rate in two different climate conditions under variable physical activities. *E-Health Telecommunications, Systems, and Networks*, 6 (02), 19-30.
- Andersen, J. P., Papazoglou, K., Koskelainen, M., Nyman, M. et al. (2015). Applying resilience promotion training among special forces police officers. *SAGE open* 5 (2).
- Aras, D., Aklam, C., Koz, M. & Ileri, M. (2015). Does long term sport rock climbing training affect on echocardiography and heart rate variability in sedentary adults? A randomized, and controlled study. *International Journal of Applied Exercise Physiology*, 5 (1), 26-35.
- Badura, B., Ducki, A., Schröder, H., Klöse, J. & Meyer, M. (2016). *Fehlzeiten-Report 2016: Unternehmenskultur und Gesundheit – Herausforderungen und Chancen*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Bakker, A. B. & Demerouti, E. (2017). Job demands-resources theory: Taking stock and looking forward. *Journal of Occupational Health Psychology*, 22 (3), 273-285.
- Bakker, A. B., Demerouti, E., Boer, E. & Schaufeli, W. B. (2003). Job demands and job resources as predictors of absence duration and frequency. *Journal of Vocational Behavior*, 62 (2), 341-356.
- Bernardi, L., Wdowczyk-Szulc, J., Valenti, C., Castoldi, S. et al. (2000). Effects of controlled breathing, mental activity and mental stress with or without verbalization on heart rate variability. *Journal of the American College of Cardiology*, 35 (6), 1462-1469.
- Böckelmann, I. (2012). Analyse der Herzfrequenzvariabilität (HRV) — praktische Relevanz. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie*, 62 (5), 275-279.
- Chen, F., Zhou, J., Wang, Y., Yu, K. et al. (2016). *Robust multimodal cognitive load measurement*. Cham: Springer.
- Chu, I.-H., Wu, W.-L., Lin, I.-M., Chang, Y.-K. et al. (2017). Effects of yoga on heart rate variability and depressive symptoms in women: a randomized controlled trial. *Journal of alternative and complementary medicine*, 23 (4), 310-316.
- Dolbier, C. L. & Rush, T. E. (2012). Efficacy of abbreviated progressive muscle relaxation in a high-stress

- college sample. *International Journal of Stress Management*, 19 (1), 48-68.
- DIN EN ISO 10075-1 (2000). *Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung*. Berlin: Beuth.
- Föhr, T., Tolvanen, A., Myllymäki, T., Järvelä-Reijonen, E. et al. (2015). Subjective stress, objective heart rate variability-based stress, and recovery on workdays among overweight and psychologically distressed individuals: A cross-sectional study. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 10, 39.
- Gąsior, J. S., Sacha, J., Jeleń, P. J., Zieliński, J. & Przybylski, J. (2016). Heart rate and respiratory rate influence on heart rate variability repeatability: Effects of the correction for the prevailing heart rate. *Frontiers in Physiology*, 7, 356.
- Gomez, C. G., Rodríguez, D. A. S., Carvalho, W. R. G., Mostarda, C. T. et al. (2017). The practice of sport climbing contributes to the improvement of autonomic modulation in young individuals. *Journal of Exercise Physiology online*, 20 (2), 84-91.
- Grossman, P. & Taylor, E. W. (2007). Toward understanding respiratory sinus arrhythmia: Relations to cardiac vagal tone, evolution and biobehavioral functions. *Biological Psychology*, 74 (2), 263-285.
- Hirsch, J. A. & Bishop, B. (1981). Respiratory sinus arrhythmia in humans: How breathing pattern modulates heart rate. *The American Journal of Physiology*, 241 (4), 620-629.
- Lazarus, R. S. (1966). *Psychological stress and the coping process*. New York: McGraw-Hill.
- Lehrer, P. M. & Gevirtz, R. (2014). Heart rate variability biofeedback: How and why does it work? *Frontiers in Psychology*, 5, 756.
- Lehrer, P. M., Vaschillo, E., Vaschillo, B., Lu, S.-E. et al. (2003). Heart rate variability biofeedback increases baroreflex gain and peak expiratory flow. *Psychosomatic Medicine*, 65 (5), 796-805.
- Malik, M. (1996). Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *European Heart Journal*, 17 (3), 354-381.
- Markevich, N. & Gertner, I. (1989). Comparison among methods for calculating FWHM. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 283, 72-77.
- McCraty, R., Atkinson, M., Tomasino, D. & Bradley, R. T. (2009). The coherent heart: Heart-brain interactions, psychophysiological coherence, and the emergence of system-wide order. *Integral Review*, 5 (2), 10-115.
- Munoz, M. L., van Roon, A., Riese, H., Thio, C. et al. (2015). Validity of (ultra-)short recordings for heart rate variability measurements. *PLoS one*, 10 (9), [e0138921].
- Pizzuti, G. P., Cifaldi, S. & Nolfè, G. (1985). Digital sampling rate and ECG analysis. *Journal of Biomedical Engineering*, 7 (3), 247-250.
- REFA Consulting AG (2017). *Dauerleistungsgrenze*. Abgerufen von <https://refa-consulting.de/dauerleistungsgrenze>.
- Revina, N. E. (2006). Heart rate variability as an autonomic index of conflict-induced behavior of individuals under emotional stress. *Human Physiology*, 32 (2), 182-186.
- Rohmert, W. & Rutenfranz, J. (1975). *Arbeitswissenschaftliche Beurteilung der Belastung und Beanspruchung an unterschiedlichen industriellen Arbeitsplätzen*. Bonn: Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung.
- Sammito, S., Böckelmann, I. (2014). Analyse der Herzfrequenzvariabilität. Mathematische Basis und praktische Anwendung. *Herz*, 40, 1, 76-84.
- Sammito, S. & Böckelmann, I. (2016). Factors influencing heart rate variability. *International Cardiovascular Forum Journal*, 6, 18-22.
- Sammito, S., Thielmann, B., Seibt, R., Klußmann, A. et al. (2014). *Leitlinie Nutzung der Herzschlagfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität in der Arbeitsmedizin und der Arbeitswissenschaft*. [Online-Ausg.]. Düsseldorf: AWMF (AWMF online – Das Portal der wissenschaftlichen Medizin, 002/042). Abgerufen von <http://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/002-042.html>.
- Shearer, A., Hunt, M., Chowdhury, M. & Nicol, L. (2016). Effects of a brief mindfulness meditation intervention on student stress and heart rate variability. *International Journal of Stress Management*, 23 (2), 232-254.
- Streeter, C. C., Gerbarg, P. L., Saper, R. B., Ciraulo, D. A. & Brown, R. P. (2012). Effects of yoga on the autonomic nervous system, gamma-aminobutyric acid, and allostasis in epilepsy, depression, and post-traumatic stress disorder. *Medical Hypotheses*, 78 (5), 571-579.
- Thong, T., Li, K., McNames, J., Aboy, M. & Goldstein, B. (2003). Accuracy of ultra-short heart rate variability measures. In *25th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* (pp. 2424-2427). Cancun, Mexico, 17-21 Sept. 2003.
- Triebig, G., Kentner, M. & Schiele, R. (2014). *Arbeitsmedizin. Handbuch für Theorie und Praxis* (4. Aufl.) Stuttgart: Gertner.
- Van der Zwan, J. E., Vente, W. de, Huizink, A. C., Bögels, S. M. & Bruin, E. I. de (2015). Physical activity, mindfulness meditation, or heart rate variability biofeedback for stress reduction: A randomized controlled trial. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 40 (4), 257-268.
- Vaschillo, E., Lehrer, P., Rishe, N. & Konstantinov, M. (2002). Heart rate variability biofeedback as a method for assessing baroreflex function: A preliminary study of resonance in the cardiovascular system. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 27 (1), 1-27.
- Villar, R., Beltrame, T. & Hughson, R. L. (2015). Validation of the Hexoskin wearable vest during lying, sitting, standing, and walking activities. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 40 (10), 1019-1024.

- Vollmer, M. (2015). *A robust, simple and reliable measure of heart rate variability using relative RR intervals*. Retrieved from <http://marcusvollmer.github.io/HRV/files/paper.pdf>
- Vollmer, M. (2016). *Neue robuste Methoden zur Herzschlagerkennung und zur Quantifizierung der Herzfrequenzvariabilität*. Dissertation. Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald. Online verfügbar unter <https://d-nb.info/1124413723/34>.
- Wohlers, K. & Hombrecher, M. (2016). *Entspann dich, Deutschland – TK-Stressstudie 2016*. Hrsg. v. Techniker Krankenkasse. Abgerufen von https://www.tk.de/centaurus/servlet/contentblob/921466/Da/tei/3654/TK-Stressstudie_2016_PDF_barrierefrei.pdf
- Ziemssen, T., Gasch, J. & Ruediger, H. (2008). Influence of ECG sampling frequency on spectral analysis of RR intervals and baroreflex sensitivity using the EUROBAVAR data set. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, 22 (2), 159-168.



Dominic Bläsing

Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät
Institut für Psychologie der Universität Greifswald
Franz-Mehring-Straße 47
D-17487 Greifswald
dominic.blaesing@uni-greifswald.de