

**Ambulantes Assessment zur Erfassung  
psychophysiologischer Zusammenhänge im Arbeitsalltag:  
Studien zum Wohlbefinden und der Herzratenvariabilität im  
Kontext von Anforderungen und Ressourcen**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades  
der Philosophisch-Pädagogischen Fakultät  
der Katholischen Universität Eichstätt-Ingolstadt

vorgelegt von

**Regina Franziska Schmid**

2021

**Referent: Prof. Dr. Joachim Thomas**

**Korreferent: Prof. Dr. Marco Steinhauser**

**Tag der Disputation: 22. April 2022**

---

## Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung .....	1
2 Herzratenvariabilität und Beanspruchung von Lehrkräften (Publikation I) .....	20
3 Herzratenvariabilität und Selbstregulation von Klinikpersonal (Publikation II) .....	54
4 Diskussion .....	90
Literaturverzeichnis der Synopse (Einleitung und Diskussion) .....	101
Anhang: Physiologische Aspekte der Achtsamkeit (Publikation III).....	118

## 1 Einleitung

*„How healthy are individuals? How effective is their thinking, their stress management, their emotion regulation? [...] Surely, you think that the precise answer to each of these questions would take hours and the use of dozens of measures [...]. But let's now imagine that there would be a simple way to summarize all this information in one indicator [...], cardiac vagal control.“ – Laborde et al. (2018, p. 1)*

Psychische und physische Gesundheit im Beruf bildet die Grundlage für eine langfristige Leistungsfähigkeit und hohe Lebenszufriedenheit (Edwards, 1992). Die präzise Diagnostik des Wohlergehens am Arbeitsplatz stellt allerdings eine gewisse Herausforderung dar: Es unterscheidet sich oft von Tag zu Tag, ist abhängig vom aktuellen, realen Berufsalltag und wird rückblickend betrachtet oft über- oder unterschätzt (Ilies et al., 2015). Hinzukommt, dass sich subjektive Selbstberichte oft von objektiven Biodaten unterscheiden (Campbell & Ehlert, 2012) und ein ganzheitliches Abbild der Gesundheit den Einbezug sämtlicher körperlicher, geistiger und sozialer Aspekte verlangt (WHO, 2020). Die Schwankungen, die Kontextabhängigkeit und Anfälligkeit für Erinnerungsfehler sowie die biopsychosozialen Interdependenzen erfordern dabei eine ebenso dynamische, zeit- und realitätsnahe, multimodale Erfassung. Wie untersucht man berufliches Wohlergehen also besser als durch physiologische Messungen im natürlichen Setting, kombiniert mit wiederholten Fragen zur Situation und dem Befinden der Mitarbeiter? Das oben genannte Zitat rückt das Potenzial der Herzratenvariabilität (HRV) als Globalindex für Gesundheit, Beanspruchung und Selbstregulation in den Fokus der organisationalen Forschung (Laborde et al., 2018). Unter besonderer Berücksichtigung der HRV beschäftigt sich die vorliegende Arbeit mit ebensolchen ambulanten psychophysiologischen Assessments. Anhand exemplarischer Studien werden der Mehrwert dieser Methode sowie neue Erkenntnisse zum Zusammenhang von Anforderungen, Ressourcen, Wohlbefinden und HRV aufgezeigt.

Ambulantes Assessment meint die Sammlung von Daten im natürlichen Lebensumfeld der Probanden und gilt als innovative Art der Analyse menschlichen Erlebens und Verhaltens (Trull & Ebner-Priemer, 2014). Auch bekannt als „ambulatory assessment“, „experience sampling method“ (ESM) oder „ecological momentary assessment“ (EMA) und verwandt mit dem „daily diary“ unterscheidet sich die Methode wesentlich von traditionellen einmaligen Befragungen oder Labormessungen (Fahrenberg, 2010). Im Fokus stehen psychologische, physiologische oder behaviorale Daten von Personen, während sie ihrer normalen Tagesroutine nachgehen. Üblicherweise werden dazu mehrmals täglich kurze Fragebögen am Smartphone zur aktuellen Situation ausgefüllt oder auch mobile Sensoren am Körper getragen. Damit werden dynamische Fluktuationen innerhalb von Personen („within-person“) in deren Alltag („real-life“) und in Echtzeit („real-time“) erfasst (Ohly et al., 2010), was als sehr vorteilhaft gegenüber klassischen Herangehensweisen diskutiert wird (Myin-Germeys & Kuppens, 2021).

In Anbetracht der genannten Stärken und der ständig wachsenden Möglichkeiten der statistischen Auswertung entwickelte sich das ambulante Assessment in den letzten Jahren zu einem weit verbreiteten Instrument in nahezu allen angewandten Disziplinen der Psychologie, darunter die Psychopathologie (Trull & Ebner-Priemer, 2020), die Emotionsforschung (Koval et al., 2020), die Sozial- und Persönlichkeitspsychologie (Nezlek, 2020) und nicht zuletzt die organisationale Gesundheitsforschung (Beal, 2015; Fisher & To, 2012; Ilies et al., 2015) und die Psychophysiologie (Eatough et al., 2016; Ganster et al., 2018; Massaro & Pecchia, 2019).

Der „within-person“-Ansatz wird dabei der Annahme gerecht, dass sich Personen in ihrem Befinden und ihrer Physiologie von Moment zu Moment unterscheiden (Bolger et al., 2003). Mithilfe sich wiederholender Mehrfach-Erhebungen pro Person wird das Ziel verfolgt, die dynamische Natur dieser Schwankungen abzubilden und in Abhängigkeit des jeweiligen Situations- und Umgebungskontexts zu erklären. Auch in der organisationalen Forschung herrscht Konsens, dass ein Großteil der Varianz von beruflichen Anforderungen, Ressourcen

und Outcomes auf der intrapersonellen Ebene zu verorten ist und diese Variablen starken situativen Wechselwirkungen unterliegen (z.B. Binnewies et al., 2009; Butler et al., 2005; Simbula, 2010; Sonnentag, 2003; Xanthopoulou et al., 2008). Die ambulante Physiologie liefert darüber hinaus besonders interessante Einblicke, da der Verlauf biologischer Reaktivitäts- und Erholungsmuster abhängig von akutem Stress studiert werden kann (z.B. Ilies et al., 2010).

Dadurch, dass Informationen sowohl auf Ebene der Person als auch mehrmals auf Ebene der Arbeitssituation erhoben werden können, bieten die Datensätze überdies das Potenzial, völlig neuartige Fragestellungen zu beantworten (Ohly et al., 2010): So lässt sich z.B. nicht nur untersuchen, inwiefern situative Variablen über die Zeit schwanken oder mit anderen situativen Variablen zusammenhängen bzw. interagieren, sondern es können auch „cross-level“-Interaktionen eruiert werden, d.h. Effekte stabiler Merkmale auf Zusammenhänge zwischen situativen Variablen (Trull & Ebner-Priemer, 2020). Die Varianzzerlegung in interpersonelle Trait-Anteile und intrapersonelle State-Anteile geht also insofern mit einem Erkenntnisgewinn einher, als globale Trends für Gesamtstichproben und zugleich Kovariationsmuster innerhalb Individuen geschätzt werden können (Roczniewska et al., 2020). Die Trennung zwischen den Perspektiven ist dabei sehr wichtig, denn Modelle oder Ergebnisse dürfen mangels Ergodizität keinesfalls einfach aus der einen auf die andere Ebene übertragen werden (Ganster et al., 2018).

Der Aspekt „real-life“ zielt darauf ab, dass die Erhebungen „in-situ“ stattfinden, während sich die Probanden in ihren alltäglichen oder den interessierenden Lebensumwelten, z.B. am Arbeitsplatz, befinden (Fisher & To, 2012). Der sogenannte Weißkitteleffekt (Lantelme et al., 1998) deutet darauf hin, dass affektive und physiologische Reaktionen in unnatürlichen Umgebungen oft verzerrt sind, z.B. durch artifizielle Laborsituationen oder künstliche Befragungssettings. Dies kann durch eine realitätsnahe Datenerfassung eingedämmt werden. In arbeits- und gesundheitsbezogenen Studien können somit echte berufliche Anforderungen, Ressourcen und Outcomes direkt und unmittelbar am Ort des Geschehens betrachtet werden

und damit einen heuristischen Blick auf den Forschungsgegenstand geben (Ganster et al., 2018). Die Feldmessungen erhöhen also nicht nur die ökologische Validität, sondern auch die Aussagekraft und Generalisierbarkeit der Ergebnisse (Raugh et al., 2019). Zudem erlauben sie die Betrachtung längerer Zeiträume über verschiedene Kontexte hinweg sowie die Analyse zirkadianer Verläufe und Tag-Nacht-Rhythmen, die aufgrund des begrenzten Settings im Labor noch nicht ausreichend erforscht werden konnten (Trull & Ebner-Priemer, 2020).

„Real-time“ hingegen bezieht sich auf die Erfassung der Zielvariablen in Echtzeit oder nahezu in Echtzeit (Ohly et al., 2010). Anders als bei querschnittlichen, einmaligen Erhebungen, in denen die Befragten üblicherweise rückblickend Auskünfte über längere Zeiträume in aggregierter Form geben (z.B. „in den letzten vier Wochen“), fokussieren ambulante Assessments die aktuelle Situation sowie deren momentane Erfahrung (z.B. „im Moment“, „in der letzten Stunde“). Dadurch, dass keine bzw. kaum retrospektive Einschätzungen getroffen werden müssen, verringert sich die Gefahr von Rückschaufehlern, Erinnerungsverzerrungen und Gedächtnisheuristiken, wie etwa das Risiko des bekannten „rosy view effect“ (Mitchell et al., 1997) oder der „peak-end rule“ (Fredrickson & Kahneman, 1993).

Abhängig von der Sampling-Strategie werden die Selbstberichte in der Regel in mehreren Intervallen eingeholt (Ohly et al., 2010). Zu unterscheiden sind ereignis- und zeitbasierte Methoden, wobei die Probanden den Fragebogen entweder jedes Mal nach vorab festgelegten Ereignissen ausfüllen, z.B. einer Stresssituation („event sampling“), oder ihn infolge eines Hinweistons beantworten. Der Alarm kann dabei zu festen („fixed time sampling“, z.B. um 10, 14 und 18 Uhr) oder auch zu zufälligen Zeitpunkten („random time sampling“, z.B. vier Mal zwischen 9 und 17 Uhr) vom Smartphone gesendet werden (Ohly et al., 2010).

Dank rasanter Fortschritte in mobilen Technologien können Feldforscher heutzutage subjektive Selbstberichte relativ einfach durch objektive Parameter ergänzen (Eatough et al., 2016). Innovative Apps erlauben etwa die Kombination mit kognitiven Tests, Sensoren

wiederum die parallele Aufzeichnung körperlicher Aktivität, physiologischer Maße oder physikalischer Umgebungsfaktoren (Fahrenberg, 2010). Angesichts der Qualitätsverbesserung in Bezug auf die Aufzeichnung und Analyse und der alltagstauglichen Anwendung erlebte speziell der Gebrauch physiologischer Assessments einen regen Aufschwung (Laborde et al., 2017; Sammito et al., 2014). Mit beeindruckend hoher Messpräzision und einer nur minimalen Erhöhung der Teilnehmerbelastung kann eine Vielzahl zusätzlicher Variablen berücksichtigt werden: Die Möglichkeiten reichen von Bewegung, Körpertemperatur und Atmung über mobile Elektrokardiogramme (EKGs) und Aufzeichnungen der elektrodermalen Aktivität (EDA) bis hin zu Speichelproben und Blutdruckmessungen (Rough et al., 2019). Während die meisten Parameter mithilfe von Brustgurten oder Armbändern kontinuierlich über die gesamte Studiendauer erfasst werden („continuous sampling“), wird die letztgenannte Kategorie oft wiederholt und parallel zu den Selbstberichten erhoben (Eatough et al., 2016; Ohly et al., 2010).

Der kombinierte Einbezug von sowohl psychischen als auch physischen Aspekten wurde auch von der arbeits- und gesundheitspsychologischen Forschung als Mehrwert erkannt (Eatough et al., 2016). Ein Grund für das wachsende Interesse ist sicherlich die ganzheitliche Sicht auf Aspekte der Gesundheit am Arbeitsplatz. Außerdem erlauben diese Ansätze Vergleiche zwischen kognitiv-affektiven Zuständen und ihren physiologischen Referenzen, wodurch Forscher Einblicke in die Kohärenz emotionaler Reaktionssysteme und komplexe „mind-body“-Interaktionen erhalten (Brown et al., 2020; Cacioppo et al., 2017). Darüber hinaus begegnet man den Problemen ausschließlich subjektiver Befragungen, sodass sozial erwünschte, fehlerhafte oder unbewusst verzerrte Antworten vermieden bzw. objektiver betrachtet werden können und Daten erfassbar sind, die nicht bewusst zugänglich sind (Ganster et al., 2018; Rough et al., 2019). Zudem wird das Risiko der „common method variance“ reduziert, da die Zielvariablen anhand verschiedener Methoden erhoben werden. Dies beugt künstlich erhöhten Teststärken und Fehlschlüssen vor (Podsakoff & Organ, 1986).



Die psychophysiologischen Assessments im Betrieb liefern also eine holistische und wissenschaftlich präzise Perspektive auf berufliche Schwankungen und Wechselwirkungen von Körper und Geist (Ganster et al., 2018). Gleichwohl gewähren diese Designs in einem so dynamischen Setting wie dem Arbeitsplatz wertvolle Erkenntnisse über intrapersonelle Mikroprozesse, sodass die Mitarbeiter-Gesundheit in ihrer Variabilität unter Berücksichtigung der Arbeitsumgebung und der Person kontextspezifisch und individuumorientiert analysiert werden kann (Fisher & To, 2012; Ohly et al., 2010). Die Smartphones fungieren dabei sinnbildlich als digitale Fragebögen in der Hosentasche und sind oft genauso unaufdringlich und einfach in den Alltag zu integrieren wie niedrighschwellige Sensor-Messungen (Bolger et al., 2003). In der betrieblichen Gesundheitsforschung wird diese Herangehensweise als wichtige Annäherung an eine Realitäts- und Prozessperspektive und als bedeutsamer Schritt in Richtung eines interdisziplinären Verständnisses gewertet. Eine Gesamtschau über die Möglichkeiten und Grenzen der Methode sowie neueste Befunde liefern Beal (2015), Eatough et al. (2016), Ganster et al. (2018), Ilies et al. (2015) sowie Massaro und Pecchia (2019).

Angesichts des breiten Spektrums an Biomarkern stellt sich allerdings die Frage, welcher am besten für Untersuchungen rund um die ambulante Mitarbeiter-Gesundheit geeignet ist. Dank der nicht-invasiven und gleichermaßen praktikablen wie auch komfortablen Anwendung wurde die HRV als besonders vielversprechendes Maß hervorgehoben (Chandola et al., 2010; Ganster et al., 2018). Sie bringt zudem sehr gute statistische Eigenschaften sowie eine vielfältige inhaltliche Bedeutung mit (Massaro & Pecchia, 2019). Konkret wird die HRV, auch Herzfrequenzvariabilität oder Herzschlagvariabilität genannt, aus einem EKG abgeleitet und aus der Variation des Zeitintervalls (RR-Intervall) zweier aufeinanderfolgender Herzschläge (R-Zacken) berechnet (Malik et al., 1996). Diese kardiovaskulären Variationen entspringen der sympathisch-adrenal-medullären (SAM) Achse und gehen letztendlich auf das Zusammenspiel aus Sympathikus und Parasympathikus zurück, welche gemeinsam das vegetative (autonome)

Nervensystem bilden. Während der Sympathikus energiebereitstellend und leistungssteigernd wirkt, stellt der parasympathische „Nervus vagus“ das dämpfende Teilsystem dar und dient der Energiespeicherung, Erholung und Regeneration (Böckelmann, 2012). Die HRV spiegelt damit die Flexibilität und Regulationskapazität eines Organismus auf sich ändernde Einflüsse wider (Grossman & Taylor, 2007; Porges, 2001; Thayer & Lane, 2009). Dabei wird vermutet, dass die psychophysiologische Anpassungs- und Erholungsfähigkeit sowie Situationsbewältigung umso besser ist, je höher die HRV bzw. der vagale Tonus ausgeprägt ist (Sammito et al., 2014).

Methodisch betrachtet lässt sich die HRV durch eine Vielzahl verschiedener Maße des Zeit-, Frequenz- und Phasenbereichs quantifizieren (Böckelmann, 2012; Eller-Berndl, 2015; Sammito et al., 2014). Eine Gesamtschau über die Kenngrößen ist dem Buchkapitel im Anhang zu entnehmen. Der RMSSD („root mean square of successive differences“), einer der am häufigsten verwendeten deskriptiven Streuungsparameter, repräsentiert z.B. die Varianz der zeitlichen Abstände in RR-Intervallen und erwies sich in früheren Studien als gut geeignet für ambulante Messungen der parasympathischen Aktivität (Goedhart et al., 2007). Die HRV kann dabei sowohl über längere (meist 24 Stunden) als auch kürzere (meist fünf Minuten) Perioden erfasst und konzeptionell als Trait und auch als State interpretiert werden (Laborde et al., 2017). Auch wenn beide Komponenten der HRV – das tonische und phasische Maß – hoch korreliert sind und beide die Adaptionmöglichkeiten eines Organismus widerspiegeln (Martens et al., 2008), liegen den Konzepten doch unterschiedliche Annahmen bezüglich verschiedener Stressreaktionen und -manifestationen zugrunde (Ganster et al., 2018).

Die tonische HRV bezieht sich dabei auf Baseline-Maße, die entweder über wenige Minuten unter standardisierten Ruhebedingungen im Labor oder ambulant über ein oder zwei Tage erhoben werden und in gemittelter Form als interindividuelle Unterschiede im autonomen Gesundheitsstatus interpretiert werden (Laborde et al., 2017). Dabei wird angenommen, dass eine gesunde Physiologie von hoher, adaptiver Variabilität geprägt ist (Lohninger, 2017).

Studien konnten zeigen, dass eine hohe Trait-HRV mit positiven Outcomes einhergeht, z.B. mentale und körperliche Gesundheit, Resilienz, Selbstregulation und kognitive Leistungsfähigkeit. Eine niedrige Trait-HRV wird dagegen mit pathologischen Zuständen oder Dispositionen in Verbindung gebracht, z.B. Angst, Stress, Depression, Krankheit und Mortalität (Geisler et al., 2010; Thayer et al., 2012; Thayer et al., 2009; Thayer & Lane, 2009).

Die phasische HRV ist demgegenüber eher für Momentbetrachtungen physiologischer Reaktionen auf sich ändernde Umstände geeignet, weshalb sie im Labor üblicherweise in „reactivity-recovery“-Designs oder im Feld durch Kurzzeitmessungen erhoben wird (Laborde et al., 2017). Die Interpretation der State-HRV ist allerdings insofern komplexer, als eine kurzzeitig reduzierte Variabilität des Herzrhythmus nicht per se als dysfunktional, sondern im Kontext aktuell anspruchsvoller (Arbeits-)Bedingungen sogar als adaptiv eingestuft werden kann (Laborde et al., 2017). Dies demonstriert nämlich die Fähigkeit, den Körper flexibel und situativ angemessen mit der nötigen Energie versorgen zu können (McEwen, 2007). Ambulante Forscher konnten die Sensitivität und Reaktivität der Kurzzeit-HRV auf wechselnde Einflüsse bereits darstellen, z.B. in Verbindung mit Stress und Sorgen (Pieper et al., 2007), positivem Affekt (Schwerdtfeger & Gerteis, 2014) und situativer Resilienz (Schwerdtfeger & Dick, 2019).

Obwohl vor diesem Hintergrund eine Unterscheidung in physiologische States und Traits sehr sinnvoll erscheint, sieht die aktuelle Forschungspraxis anders aus: „Sometimes authors interpret a measure as a short-term stress response [...] and at other times, such short-term measures are interpreted as indicators of health status itself“ (Ganster et al., 2018, p. 269). Ein und dieselben Reaktionen werden also als stellvertretend für verschiedene Prozesse bzw. Konstrukte interpretiert. Dies ist kritisch zu bewerten und verlangt nach einem einheitlichen Konzept, um akute und chronische Effekte von Arbeitsfaktoren präzise beschreiben zu können.

Mit dem Ziel eines einheitlichen Verständnisses hierarchischer, psychophysiologischer Zusammenhänge der Gesundheit am Arbeitsplatz wurden zahlreiche Modelle aufgestellt. Sie

versuchen auf unterschiedliche Weise, berufliche Outcomes durch Eigenarten des Berufs, der Person oder ihrer Gesundheit vorherzusagen (Ilies et al., 2015). Mit Bezug auf die HRV muss zwischen zwei zentralen Forschungssträngen differenziert werden, die sie einerseits als Outcome der Beanspruchung und andererseits als prädiktive Ressource im Sinne einer verbesserten Selbstregulation im Zusammenhang mit affektiven Zuständen untersuchen. Zum ersten Zweig zählen etwa das „job demand-control(-support)“ Modell (Johnson & Hall, 1988; Karasek, 1979) und das „effort-reward-imbalance“ Modell (Siegrist, 2002). Aufgrund der ökonomischen Zusammenfassung dieser ursprünglichen Modellannahmen sowie des Einbezugs mehrerer Ebenen und physiologischer Aspekte werden stellvertretend für die „stressor-strain“-Literatur das „job demands-resources“ (JD-R) Modell (Bakker & Demerouti, 2017) und das „allostatic load“ (AL) Modell (McEwen, 2007) näher ausgeführt. Exemplarisch für die psychophysiologischen, HRV-basierten Regulationstheorien wird das Modell der Neuroviszeralen Integration von Thayer und Lane (2009) vorgestellt.

Das JD-R Modell unterscheidet zwei Gruppen von psychosozialen, physikalischen oder organisationalen Faktoren (Demerouti et al., 2001): Anforderungen und Ressourcen. Während Anforderungen jene Aspekte des Berufskontexts abbilden, die eine beeinträchtigende Wirkung entfalten können (z.B. Zeitdruck, Konflikte), spiegeln organisationale oder personale Ressourcen positive und förderliche Aspekte wider (z.B. Unterstützung, Autonomie, Achtsamkeit). Die Modellannahmen gliedern sich, basierend auf dieser Klassifikation, in zwei Hauptpfade, die entweder gesundheitliche oder motivationale Outcomes vorhersagen (Bakker & Demerouti, 2017): Im „health-impairment“-Prozess wird angenommen, dass hohe Anforderungen zu psychologischen oder psychosomatischen „strain“-Reaktionen führen, z.B. Erschöpfung, Müdigkeit und körperliche Beschwerden. Hohen Ressourcen wird jedoch das Potenzial attestiert, den negativen Effekt hoher Anforderungen im Sinne eines Stresspuffers zu reduzieren (Demerouti et al., 2001). Im zweiten Pfad, dem „coping“-Prozess, wird postuliert,

dass hohe Ressourcen mit mehr Motivation und Arbeitsengagement assoziiert sind. Ebendieser Prozess kann, so die Vorhersage, im Sinne eines Saliengewinns durch hohe Anforderungen zusätzlich verstärkt werden (Xanthopoulou et al., 2008).

Zur Erklärung der negativen Wirkung von Anforderungen und der stresspuffernden Wirkung von Ressourcen beziehen sich die Autoren des JD-R Modells (Bakker & Demerouti, 2007) auf breiter gefasste, aber in vielen Punkten übereinstimmende Modelle: die „conservation of resources“ Theorie (Hobfoll, 1989, 2001) sowie die Anforderungsmanagement-Theorie von Hockey (1993). Hobfoll (1989) postuliert demnach, dass Menschen stets nach einem gefüllten Ressourcenpool streben und das individuelle Wohlbefinden von der Verfügbarkeit von Ressourcen abhängt. Ressourcen, so Hobfoll, schützen vor Anforderungen, indem sie bei ihrer Bewältigung („coping“) und positiven Bewertung („appraisal“) unterstützen. Allerdings seien diese Ressourcen begrenzt und können von hohen Anforderungen erschöpft werden. Hockey (1993) führt begründend an, dass Individuen bemüht sind, ihre Leistungen auch in stressreichen Momenten aufrechtzuerhalten. Durch Aktivierung des sympathischen Nervensystems steigern sie ihre Informationsverarbeitungskapazität, was allerdings mit psychophysiologischen Kosten und einem Ressourcenverbrauch einhergeht (Hockey, 1993). Beeinträchtigungen im Befinden resultieren also dann, wenn Personen ihre Ressourcen nicht ausreichend erhalten bzw. wiederherstellen können. Mit Annahme dieser periodischen Aktivierung und Erholung lässt das JD-R Modell (Bakker & Demerouti, 2017), basierend auf Hobfolls (1989) und Hockeys (1993) Theorien, auf eine gewisse Situationsabhängigkeit des Befindens schließen und deutet damit implizit in Richtung intrapersonelle Zustandsperspektive (Demerouti & Nachreiner, 2019).

Mit einem stärkeren Einbezug physiologischer Parameter und einer klaren Struktur zur Berücksichtigung von sowohl inter- als auch intraindividuellen Unterschieden wurde das AL Modell (McEwen, 2007; McEwen & Stellar, 1993) eingeführt. Ursprünglich aus der medizinisch-physiologischen Forschungswelt kommend, gilt es heute als eines der populärsten

Modelle, wenn es darum geht, stressbedingte psychophysiologische Veränderungen auf kurz-, mittel- und langfristiger Perspektive in ihrem Bezug zur Gesundheit zu erklären. Zudem erlaubt die Theorie, verschiedene Biomarker eindeutig den unterschiedlichen Mechanismen, die sie repräsentieren, zuzuordnen (Ganster et al., 2018; Ilies et al., 2015). Ganster und Rosen (2013) übertrugen das AL Modell auf die berufliche Gesundheit und würdigen es als übergreifenden theoretischen Rahmen für die Analyse psychophysiologischer, hierarchischer Zusammenhänge am Arbeitsplatz. Im Kern geht es um verschiedene Anpassungs- und Erholungsreaktionen bzw. regulative Prozesse und körpereigene Systeme, die den Organismus optimal an die Bewältigung der aktuellen Umweltaforderung anpassen (Schulz, 2009). Schwerpunkt dieser Theorie sind die Konzepte der Allostase und der allostatistischen Last sowie drei verschiedene Stufen bzw. Phasen, zu denen wiederum drei Klassen von Markern gehören (Ganster et al., 2018; Ilies et al., 2015). Kurz gesagt geht es erstens um akute Stressreaktionen, die bei anhaltender Dauer zweitens in chronische pathophysiologische Gesundheitsbeeinträchtigungen münden und drittens zu manifesten Krankheiten und erhöhter Sterblichkeit führen können (McEwen, 2007).

Bei Konfrontation mit einem Stressor setzt zunächst der primäre Prozess ein („allostasis“). Im Rahmen dessen wird Cortisol oder (Nor-)Adrenalin ausgeschüttet, was mit einer schnellen Freigabe von Energie und einer kurzzeitigen kardiovaskulären Aktivierung einhergeht (McEwen, 2007). Diese Reaktionskette ermöglicht typische, phylogenetisch bekannte „fight-or-flight“-Reaktionen und gilt als adaptive und protektive Antwort auf externe Anforderungen, sofern sich der Organismus danach durch allostatistische Regulation wieder erholt. Zur Erfassung dieser spontanen, situationsabhängigen Stressreaktionen eignen sich laut Ganster et al. (2018) vorwiegend solche Biomarker, deren Reaktivität schnell zu beobachten ist, z.B. Cortisol, Herzrate, Blutdruck und EDA. Unter dem Stichwort „vagal withdrawal“ wird auch die State-HRV als geeigneter Marker diskutiert (Ganster et al., 2018). Indem sie sich bei der Bewältigung einer Bedrohung vorübergehend eingeschränkt zeigt und danach wieder ihrem

Ursprungs-Niveau annähert, wird der primäre Prozess von der allostatistischen Anpassung bis zur Rückkehr in ein sympathovagales Gleichgewicht abgebildet (Laborde et al., 2017).

Dauert das Stressereignis allerdings länger an bzw. sind die hormonellen Mediatoren zu oft, lange oder stark aktiviert, führt die anhaltende regulatorische Anpassung laut McEwen (2007) im sekundären Prozess dazu, dass sich die ursprünglich homöostatischen Soll-Werte verschieben („allostatic load“). Die physiologische Überbeanspruchung infolge der chronischen Aktivierung wird als Ausdruck mangelnder Regulations- und Erholungsfähigkeit gedeutet und manifestiert sich z.B. in Bluthochdruck oder einer erhöhten Ruhe-Herzrate. Auch eine niedrige Trait-HRV scheint auf ebensolche Belastungsexpositionen zurückzugehen (Chandola et al., 2010). Die daraus resultierenden, stabilen Unterschiede in der sympathischen Dominanz können durch Ruhe- oder Langzeit-EKGs sehr gut sichtbar gemacht werden und greifen exakt das Messparadigma der allostatistischen Last auf (Ganster et al., 2018). Eine Vielzahl an Reviews untermauert die Rolle der Trait-HRV als valides Gesundheits-Maß für Überlastungen am Arbeitsplatz im sekundären Prozess (Chandola et al., 2010; Collins, 2001; Jarczok et al., 2013; Kim et al., 2018; Togo & Takahashi, 2009). Die vagalen Einschränkungen infolge erhöhter beruflicher Belastungen zeigten sich dabei sowohl für die laborgestützt erhobene Baseline-HRV (Chandola et al., 2008; Eller et al., 2011) als auch für die ambulante Langzeit-HRV (Borchini et al., 2015; Collins & Karasek, 2010; Vrijkotte et al., 2000).

Der tertiäre Prozess bezieht sich schließlich auf den Fall, wenn die maladaptiven sekundären Veränderungen fortbestehen und so im Rahmen komplexer neurobiologischer Prozesse kumulativ zu gesundheitlichen Schäden, wie psychischen oder physischen Erkrankungen, oder sogar zum Tod führen (McEwen, 2007; McEwen & Stellar, 1993).

Abhängig vom methodischen Zugang lassen also beide Modelle, das JD-R und das AL Modell, Aussagen über sowohl inter- als auch intraindividuelle Beanspruchungsunterschiede zu. Sie erfüllen damit zentrale Forderungen aktueller Reviews, explizit zwischen akuten

Reaktionen bzw. phasischen Zuständen und chronischen Abnormitäten bzw. tonischen Eigenschaften zu trennen (Ganster et al., 2018). Das JD-R Modell mit seinem differenzierten Fokus auf arbeitsrelevante Prädiktoren (Anforderungen und Ressourcen) und das AL Modell mit seiner systematisierten Perspektive auf mentale wie auch körperliche Outcomes der State- und Trait-Ebene (primärer, sekundärer und tertiärer Prozess) ergänzen sich integrativ also gegenseitig sehr gut, um psychophysiologische Gesundheitsprozesse im Beruf zu beschreiben.

Vor dem Hintergrund der angehenden Sättigung der Stressforschung bezüglich Labor- und Zwischensubjekt-Befunden richteten sich sämtliche Forschungsbemühungen der letzten Jahre auf intrapersonelle Prozesse unter realen Arbeitsbedingungen aus (Ilies et al., 2015). Eine exemplarische Studie im Rahmen der JD-R und AL Modelle ist die Arbeit von Simbula (2010), in der 61 Lehrkräfte über fünf Schultage hinweg tagesaktuelle Fragebögen ausfüllten. Die Forscherin konnte so zeigen, dass Tage mit Arbeitskonflikten mit erhöhter Erschöpfung und Arbeitsunzufriedenheit sowie eingeschränkter mentaler Gesundheit verbunden waren. Ähnliche Studien demonstrierten ergänzend, dass situative Arbeitsanforderungen mit akuter Müdigkeit (Garrick et al., 2014), vorübergehenden Einbußen im Wohlbefinden (Tadić et al., 2015) sowie erhöhter Anspannung (Riedl & Thomas, 2019) zusammenhingen. Evidenz für die Stresspuffer-Hypothese innerhalb von Personen erbrachte zudem die Studie von Garrick et al. (2014): Anforderungen im Lehrerberuf wirkten weniger ermüdend, wenn gleichzeitig ein hohes psychosoziales Sicherheitsklima präsent war. Übereinstimmend legten Johnston et al. (2016) nahe, dass der negative Effekt situativer Arbeitsanstrengungen auf den momentanen positiven Affekt weniger stark war, wenn die Pflegekräfte für ihren Einsatz Wertschätzung erfuhren.

Wichtige Pionierarbeit hinsichtlich psychophysiologischer Studien im Kontext Beruf leisteten unter anderem Jacobs et al. (2007), Ilies et al. (2010) sowie Bono et al. (2013). In einer beispielhaften zweitägigen Feldstudie von Johnston et al. (2016) füllten 100 Pflegekräfte alle 90 Minuten ein elektronisches Tagebuch aus und trugen parallel dazu ein kontinuierlich



aufzeichnendes EKG-Gerät. Durch Kopplung der Selbstberichte mit den korrespondierenden zehnminütigen Auszügen aus dem physiologischen Datenmaterial fanden die Forscher intraindividuelle Zusammenhänge zwischen aktuellen Arbeitsanforderungen und gesteigertem Stresserleben sowie situativ erhöhter Herzrate. In ähnlichen Designs konnten zudem positive Zusammenhänge zwischen akuten „work-family“-Konflikten und Herzrate (Shockley & Allen, 2013), sozialen Stressoren und Cortisol (Jacobs et al., 2007) sowie Workload und Blutdruck (Ilies et al., 2010) festgestellt werden. Pieper et al. (2007) untersuchten speziell die ambulante HRV von 73 Lehrkräften und fanden in einem viertägigen Assessment, dass stressreiche Ereignisse und Sorgen mit einer situativ reduzierten HRV einhergingen. Zum JD-R Modell mitsamt seinem Stresspuffer-Prozess existieren allerdings noch große Forschungsdefizite in Bezug auf HRV-basierte ambulante Kurzzeit-Outcomes.

Basierend auf der zitierten arbeitsmedizinischen Forschung lässt sich schlussfolgern, dass die HRV ein besonders nützliches Korrelat der psychophysiologischen Beanspruchung zu sein scheint (Böckelmann, 2012; Ganster et al., 2018; Sammito et al., 2014). Durch den Fokus auf Innersubjekt-Zusammenhänge und die zeitlich enge Kopplung zwischen Stressor und Datenerhebung erwies sich zudem das ambulante Assessment als geeignetes Instrument, um die gesundheitlichen „States“ am Arbeitsplatz im Rahmen des primären Prozesses zu untersuchen (Ganster et al., 2018; Ilies et al., 2016). Trotzdem muss angemerkt werden, dass bei vielen Studien die anforderungsinduzierten kardiovaskulären Veränderungen in der HRV ausblieben oder sogar in die gegenteilige Richtung zeigten (Hanson et al., 2001; Karhula et al., 2014; Vahle-Hinz et al., 2014; van Amelsvoort et al., 2000). Auch wenn diese Befunde aufgrund starker methodischer Abweichungen in ihrer Vergleichbarkeit eingeschränkt sind, besteht Klärungsbedarf bezüglich der gemischten Befundlage (Chandola et al., 2010). Ein weiteres Forschungsdesiderat stellt, wie bereits erwähnt, die Integration vagaler Outcome-Maße in das JD-R Modell dar. Die wenigen Studien, die die ambulante State-HRV als Outcome

nutzen, beziehen oft keine Ressourcen mit ein und beschränken sich häufig nur auf den Alltag statt auf den Beruf (z.B. Verkuil et al., 2016). Trotz der geschätzten Fortschritte zeichnen sich also etliche offene Fragen für die zukünftige ambulante „stressor-strain“-Forschung ab.

Der zweite bedeutende Forschungszweig mit Bezug auf die HRV am Arbeitsplatz konzentriert sich, wie eingangs benannt, auf die Untersuchung selbstregulativer Prozesse und emotionaler Zustände (Massaro & Pecchia, 2019). Es steht außer Frage, dass die subjektiven Reaktionen in Bezug auf Umweltreize von physiologischen Reaktionen begleitet werden und diese allesamt als primäre AL-Indikatoren gedeutet werden können (Ganster & Rosen, 2013). Entscheidend für das affektive Wohlbefinden sind aber selbstregulative Kompetenzen (Goldberg & Grandey, 2007). Die individuelle Emotionsregulation hängt dabei maßgeblich davon ab, ob ein Organismus physiologisch schnell und flexibel reagieren kann, weshalb eine HRV-Analyse sehr naheliegend erscheint (Gross, 1998; Massaro & Pecchia, 2019).

Das Modell der Neuroviszeralen Integration (Thayer & Lane, 2009) hat sich in der Vergangenheit erfolgreich durchgesetzt, um die Beziehung zwischen einer hohen HRV, einer guten kognitiv-affektiven Selbstregulation und Gesundheit zu beschreiben. Es repräsentiert eine dynamische Systemtheorie, die, ausgehend von einem neurobiologischen Netzwerk aus zerebralen und kardialen Verbindungen, auf einem inhibitorischen und reziproken Schaltkreis basiert. Dieser Schaltkreis, so die Modellannahme, steuert gleichermaßen autonome Aktivitäten wie auch Arbeitsgedächtnisprozesse und Emotionen. Im Mittelpunkt steht der Vagotonus als Bindeglied zu übergeordneten exekutiven Strukturen des Gehirns, welche gemeinsam eine optimale Anpassung an die Umwelt erlauben (Thayer & Lane, 2009). Ähnliche Erklärungsansätze liefern darüber hinaus die Polyvagale Theorie von Porges (2001) und die Theorie des Vagalen Tanks von Laborde et al. (2018).

Angesichts der häufigen Widersprüche in psychologischen und physiologischen Maßen (Ashkanasy & Dorris, 2017) beziehen neuere theoretische Bemühungen stärker die Bedeutung

der Kohärenz mit ein, d.h. der Übereinstimmung affektiver und körperlicher Regungen (Brown et al., 2020; McCraty & Zayas, 2014). Ebenso wichtig erscheint die Eigenschaft der Spezifität in dem Sinne, dass verschiedene Stimmungen und Gefühle mit distinkten Antwortmustern in biologischen Systemen assoziiert sind (Levenson, 2014). Bei Vorliegen einer autonomen und emotionalen Kohärenz bzw. Spezifität, so die Vorhersage, kann ein Organismus besonders adaptiv auf die Umwelanforderungen reagieren, was wiederum mit äußerst förderlichen Effekten auf das Wohlbefinden und die Gesundheit einhergeht (McCraty & Zayas, 2014).

Für die Betrachtung der stabilen, interindividuellen Selbstregulationskapazität etablierte sich vor allem das tonische Baseline-Maß der HRV (Appelhans & Luecken, 2006; Geisler et al., 2010; Segerstrom & Nes, 2007; Thayer & Lane, 2009). Die Trait-HRV erwies sich zudem als wichtige moderierende und stresspuffernde Ressource in verschiedenen „stressor-strain“-Kontexten abseits der alltäglichen Arbeit (Martens et al., 2008; Murdock et al., 2017; Utsey & Hook, 2007). Die Beziehung zwischen aktueller Stimmung und parasympathischer Aktivität wird dagegen typischerweise aus der ambulanten State-Perspektive analysiert. Schwerdtfeger und Gerteis (2014) brachten beispielsweise eine hohe Kurzzeit-HRV im Alltag mit einem hohen (deaktivierenden) positiven Affekt in Verbindung. Verkuil et al. (2016) konnten darüber hinaus aufdecken, dass eine niedrige ambulante State-HRV mit geringerem positivem Affekt und höherer Anspannung im täglichen Leben assoziiert ist. Kok und Fredrickson (2010) stützten sich wiederum auf eine Kombination aus laborgestützten und ambulanten Methoden und fanden einen prospektiven und reziproken Zusammenhang zwischen einer hohen Ruhe-HRV und positiven Emotionen im Alltag. Die bisherige Emotionsforschung lieferte also sowohl für die Trait- als auch die State-HRV mehrfach Evidenz bezüglich ihrer gesundheitsförderlichen und -schützenden Rolle im Sinne einer psychophysiologischen Regulationsressource.

Nichtsdestotrotz muss angemerkt werden, dass die ambulante HRV-Forschung mit explizitem Bezug zu arbeitsbezogenen Anforderungen, Ressourcen und Befindensmaßen noch

weitgehend am Anfang steht. Weder das Stresspuffer-Potenzial einer hohen Trait-HRV noch die temporär erhöhte State-HRV als Ausdruck der selbstregulierenden Kapazität im Moment wurden in beruflichen Lebensumwelten bis dato ausreichend empirisch beforscht. Auch über das Zusammenspiel der HRV mit anderen regulativen Ressourcen wie etwa der Achtsamkeit ist in diesem Kontext noch wenig bekannt, was angesichts der inhaltlichen Nähe der Konzepte sehr überrascht (für mehr Informationen siehe Buchkapitel im Anhang). Vermehrt werden daher Forderungen laut, Indizes der Selbstregulation ökologisch valide in echten Umwelten mit realen regulativen Erfordernissen zu untersuchen. Aktuelle, affektive Dynamiken sollten somit in Kombination mit den zugehörigen kardiovaskulären Veränderungen direkt am Arbeitsplatz studiert werden (Ganster et al., 2018). Die kontinuierlichen Langzeit- und sich wiederholenden Kurzzeit-Messungen im Zuge ambulanter HRV-Assessments setzen genau hier an und bieten einzigartige Erhebungsmöglichkeiten in einem kombinierten Design.

Angesichts des Mangels an psychophysiologischen Studien im Arbeitsalltag auf der einen Seite und dem vielversprechenden Nutzen einer HRV-Analyse auf der anderen Seite, bestand das Ziel dieses Dissertationsvorhabens darin, mithilfe ambulanter Methoden im Beruf das Wohlbefinden und die HRV in ihren Zusammenhängen mit situativen Anforderungen und Ressourcen genauer zu ergründen. Unter Berücksichtigung der genannten Limitationen sowie des identifizierten Forschungsbedarfs widmete es sich der Aufgabe, diese Lücken zu schließen. Die integrative Betrachtung verschiedener allostatistischer und regulativer Prozesse auf mehreren psychophysiologischen, zeitlichen und statistischen Ebenen steht dabei im Mittelpunkt. Mit den Befunden sollen theoretische Modelle überprüft und erweitert sowie empirische Ergebnisse präzisiert werden. Auf Basis der gewonnenen Informationen leisten die vorliegenden Studien zudem einen praktischen Beitrag für betriebliche Präventions- und Interventionsansätze. Über gemischte Berufsgruppen hinweg können demnach Implikationen für individuelle und passgenaue, biopsychosoziale Gesundheitsmaßnahmen abgeleitet werden.

In der ersten Studie wurde die HRV einerseits als anforderungssensitives Maß der Beanspruchung (State-Outcome) und andererseits als selbstregulative, stressreduzierende Ressource (personaler Trait-Prädiktor) betrachtet. Trotz hohem theoretischem Interesse existiert wie erwähnt wenig Forschung zu HRV-basierten Outcomes und Moderatoreffekten im Berufskontext. Deshalb ging es vordergründig um die Frage, ob die State-HRV ebenso sensitiv auf Anforderungen reagiert wie subjektive Beanspruchungsmaße und ob die Trait-HRV ebenso stresspuffernd wirken kann wie arbeitsbezogene Ressourcen. Konkret wurden die Effekte diverser Anforderungen (emotionale Anforderungen und Zeitdruck) in ihrem Zusammenspiel mit verschiedenen Ressourcen (Kontrolle, soziale Unterstützung und Trait-HRV) auf psychophysiologische Outcomes (emotionale Erschöpfung und State-HRV) untersucht. Zu diesem Zweck trugen über hundert Lehrkräfte an zwei Schultagen ein mobiles EKG und füllten täglich bis zu sechs Smartphone-Fragebögen aus. Für die State-HRV wurde die fünfminütige HRV vor dem Ausfüllen jedes Fragebogens extrahiert und gemittelt. Für die Trait-HRV wurde der Gesamtmittelwert der 48-stündigen Datenaufzeichnung herangezogen. Gemäß der Vorhersagen der JD-R, AL und psychophysiologischen Theorien (Bakker & Demerouti, 2017; McEwen, 2007; Thayer & Lane, 2009) wurden allostatistische bzw. gesundheitsbeeinträchtigende Effekte von Anforderungen und stresspuffernde Effekte von Ressourcen erwartet.

Die zweite Studie fokussierte ergänzend dazu die HRV als selbstregulative, wohlbefindensförderliche Ressource im Moment (State-Prädiktor). Konkret wurden unter Kontrolle relevanter Arbeitsanforderungen die Effekte verschiedener Selbstregulationsmaße (State-HRV und State-Achtsamkeit) in ihrem Zusammenspiel auf diverse Stimmung-Outcomes (emotionale Erschöpfung, Entspannung und Zufriedenheit) untersucht. Wegen der konzeptionellen Ähnlichkeit zur HRV in Bezug auf individuelle Regulationskapazitäten (Christodoulou et al., 2020) erschien es in der zweiten Studie vielversprechend, zusätzlich die situative Achtsamkeit miteinzubeziehen. Zu diesem Zweck durchliefen knapp neunzig

---

medizinische Fachkräfte über zwei bis vier Schichten eine ambulante EKG-Messung während der Arbeitszeit und eine bis zu viermalige Smartphone-Befragung pro Schicht. Die State-HRV wurde identisch zur ersten Studie operationalisiert. In Anlehnung an psychophysiologische, regulative und achtsamkeitsbasierte Theorien (Brown & Ryan, 2003; Hobfoll, 1989; Levenson, 2014; McCraty & Zayas, 2014; Segerstrom & Nes, 2007) wurden positive und sich gegenseitig verstärkende Effekte von HRV und Achtsamkeit auf das Wohlbefinden erwartet.

## **2 Herzratenvariabilität und Beanspruchung von Lehrkräften**

### **(Publikation I)**

#### **Teachers' ambulatory heart rate variability as an outcome and moderating variable in the job demands-resources model**

Regina Franziska Schmid and Joachim Thomas

The Version of Record of this manuscript has been published and is available in:

Schmid, R. F., & Thomas, J. (2020). Teachers' ambulatory heart rate variability as an outcome and moderating variable in the job demands-resources model. *Anxiety, Stress, & Coping*, 33(4), 387–402. <https://doi.org/10.1080/10615806.2020.1746286>

This version does not completely fit the Version of Record and is not citable.

It is deposited under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

© 31 March 2020, <https://www.tandfonline.com/10.1080/10615806.2020.1746286>

**Abstract**

**Background and Objectives:** According to the job demands-resources (JD-R) model, strain reactions are based on the level of job demands and moderating resources. The present study aims to contribute to psychophysiological research by integrating vagally mediated heart rate variability (HRV) into the JD-R framework. **Design and Methods:** Using a sample of school teachers, we conducted an ambulatory assessment study to investigate HRV as (1) a state outcome measure of job demands and resources and (2) a trait moderator in the relationship between job demands and emotional exhaustion. In total, 101 participants wore an electrocardiogram device on two school days and rated their level of job demands (emotional demands and time pressure), job resources (control and support), and exhaustion six times a day. Based on 669 measurements, multilevel models of the 5-minute state HRV measure and emotional exhaustion were built. **Results:** The results supported the health-impairing effects of job demands on emotional exhaustion but not state HRV. There was no evidence of the moderating effects of job resources. Notably, the 48-hour trait HRV measure significantly buffered the effect of emotional demands on exhaustion. **Conclusions:** These findings highlight the stress-buffering potential of trait HRV as theoretical research extension and practical intervention goal.

Keywords: job demands-resources model; heart rate variability; emotional exhaustion; school teacher; ambulatory assessment



## 1 Introduction

Frequently encountering emotionally demanding student misbehaviors and classroom disturbances, teachers are continuously under time pressure due to tight curricula (Dicke, Stebner, Linninger, Kunter, & Leutner, 2018; Keller, Chang, Becker, Goetz, & Frenzel, 2014). It is well known that teachers are subjected to a substantial amount of job strain and that teaching demands are associated with adverse affective adjustments (Dicke et al., 2018) and changes in cardiac measures (Pieper, Brosschot, van der Leeden, & Thayer, 2010).

One of the most influential theories of job-related stress is the job demands-resources (JD-R) model (Bakker & Demerouti, 2017; Demerouti, Bakker, Nachreiner, & Schaufeli, 2001). The JD-R model distinguishes between two types of work characteristics. Job demands represent toxic psychosocial or organizational conditions that may produce job strain, whereas job resources refer to the positive aspects of the job that may help people cope with demands. Consistent with the conservation of resources (COR) theory (Hobfoll, 1989), people strive to deploy their resources, but when resources are lost due to exceeding demands, strain reactions are likely. Accordingly, high demands seem to deplete resources and have detrimental effects on mental and physical health, which is known as the *health-impairment process* (Bakker & Demerouti, 2017). A well-studied outcome measure in the JD-R model is the level of emotional exhaustion, which is defined as a central component of burnout and an indicator of psychological strain, poor well-being, and low energy (e.g., Demerouti et al., 2001; Maslach & Jackson, 1981). Many studies demonstrate that the model is also applicable to within-person studies of situational fluctuations in emotional exhaustion (e.g., Riedl & Thomas, 2019). Directly related to the teaching context, numerous studies have examined the JD-R model at both the between-subject (e.g., Dicke et al., 2018; Guglielmi, Panari, & Simbula, 2012) and within-subject (Garrick et al., 2014; Simbula, 2010; Tadić, Bakker, & Oerlemans, 2015) levels. Given the great variety of job demands, emotional demands and time pressure seem to be

particularly hazardous with respect to teachers' health (Dicke et al., 2018; Guglielmi et al., 2012; Sonnentag, 2001). According to the authors, emotional demands may specifically occur in terms of disruptive students and interpersonal conflicts in the classroom, while temporal constraints may be provoked mainly by means of timetables and curricula. An additional assumption of the JD-R theory states that resources can buffer the detrimental effects of job demands on health-related outcomes (Bakker & Demerouti, 2017). According to this so-called *stress-buffering hypothesis*, resources render employees more resilient and less vulnerable to stress, which may help them cope with stressors (Hobfoll, 1989). Reflecting influence by Karasek (1979) and Johnson and Hall (1988), job control and social support are among the most prominent resources in the JD-R framework (Demerouti et al., 2001). The buffering potentials of control and support have also been confirmed empirically in studies related to teachers' fatigue (Garrick et al., 2014) and positive affect (Tadić et al., 2015).

However, while flourishing research has investigated daily psychological strain reactions (e.g., Keller et al., 2014; Simbula, 2010), fewer studies address daily physiological pathways (Bakker & Demerouti, 2017). To date, the psychophysiological processes involved in coping with job demands at the within-person level are not sufficiently understood. Of the wide range of sympatho-adrenal and hypothalamic-pituitary-adrenal (HPA) biomarkers, Chandola, Heraclides, and Kumari (2010) suggest that heart rate variability (HRV), which is an indicator of the autonomic nervous system, is a particularly valid biological correlate of workplace stressors. Consistently, reviews have provided evidence suggesting that heightened job demands are closely related to decreased levels of HRV (Jarczok et al., 2013; Togo & Takahashi, 2009). Specifically, HRV represents a measure of the irregularity of time between consecutive heartbeats and is sensitive to both sympathetic and parasympathetic (vagal) efferences (Jarczok et al., 2013; Malik, 1996). For example, HRV indexes the "contribution of the parasympathetic nervous system to cardiac regulation" (Laborde, Mosley, & Thayer, 2017,

p. 1) and has been associated with both physiological and psychological flexibility and adaptability in response to different situations (Grossman & Taylor, 2007; Thayer & Lane, 2009; Togo & Takahashi, 2009). Notably, HRV can be investigated at the short-term phasic level (state HRV) and long-term tonic level (trait HRV).

State HRV is thought to reflect mainly cardiac vagal activity and to be sensitive to immediate changes in environmental requirements (Laborde et al., 2017; Thayer & Lane, 2009). For instance, studies have linked short-term vagal tone to state positive affect (Schwerdtfeger & Gerteis, 2014), momentary resilience (Schwerdtfeger & Dick, 2019), acute stressful events (Pieper, Brosschot, van der Leeden, & Thayer, 2007), and situational worry episodes (Pieper et al., 2010). It is important to note that some of the results remain equivocal, e.g., the association between state HRV and positive affect apparently depended on the arousal level (i.e., only deactivated, but not activated, positive affect was related to higher HRV), and the negative relationship between state HRV and resilience somewhat contradicted the hypotheses. However, empirical support for a demand-induced reduction in HRV was found in ambulatory studies investigating the job demand-control model (e.g., Borchini et al., 2015; Collins & Karasek, 2010), and even the deleterious combination of high demands and low control or support was found to predict a decreased HRV (Borchini et al., 2015; Chandola et al., 2010; Collins & Karasek, 2010). Nonetheless, evidence for the JD-R model is generally mixed (Chandola et al., 2010), and only a few studies have investigated the relations between acute teaching demands and HRV (Filaire, Portier, Massart, Ramat, & Teixeira, 2010).

In contrast, tonic HRV typically refers to resting or baseline measures collected over longer periods (e.g., 24 h). Certainly, trait HRV is highly correlated with state HRV (Martens, Greenberg, & Allen, 2008) but is mainly known to constitute the level at which interindividual differences concerning adaptive and maladaptive vagal response patterns are manifested (Laborde et al., 2017). For example, a higher trait HRV is positively associated with health and

resilience and negatively associated with chronic stress, depression, diseases, and mortality (for an overview see Thayer, Åhs, Fredrikson, Sollers, & Wager, 2012). Consistent with the neurovisceral integration model (Thayer & Lane, 2009) and the biological behavioral model (Grossman & Taylor, 2007), which assume that vagally mediated cardiac regulation is reflected in healthy self-regulation, tonic HRV has been previously considered “a resource that enables cognitive and emotional regulation” (Martens et al., 2008, p. 377) and “a functional energy reserve capacity from which the organism can draw during more active states” (Grossman & Taylor, 2007, p. 279). Hence, studies have shown the potential of trait HRV to moderate non-work-related stress- or threat-induced effects (Martens et al., 2008; Murdock, LeRoy, & Fagundes, 2017; Utsey & Hook, 2007). Given the flexibility of the JD-R model in incorporating almost all types of resources (Bakker & Demerouti, 2017), we shed further light on personal physical health resources. An elevated trait vagal tone may function similarly to favorable aspects of the job or personality because of its similar relationships with the above-mentioned constructs related to regulatory strength, coping, well-being, and health.

In the present study, we aimed to elucidate the psychophysiological role of HRV in the JD-R theory and studied HRV, as recommended by Laborde et al. (2017), not only as a sensitive dependent variable at the within-subject level but also as a stable moderating variable at the between-subject level. Different types of demands and resources and their relationship with fluctuations in subjective exhaustion and objective cardiac vagal outcome measures were analyzed applying the ambulatory assessment or so-called experience sampling methodology (ESM; Ohly, Sonnentag, Niessen, & Zapf, 2010). Recently, Bakker and Demerouti (2017) and Eatough, Shockley, and Yu (2016) called for such a multimethodological approach in ambulatory occupational health research. In accordance with our health-related outcomes, we specifically focused on the health-impairment process as presented above (e.g., Demerouti et al., 2001). We hypothesized that job demands, namely, emotional demands and time pressure,

will be negatively related to state HRV (H1a) and positively related to emotional exhaustion (H1b). Given the stress-buffering prediction (Bakker & Demerouti, 2017), job resources, namely, job control and social support, were expected to moderate the health-impairment process on state HRV (H2a) and emotional exhaustion (H2b) such that high job resources reduce the detrimental effects of high job demands on the outcome measures. Similarly, following relevant psychophysiological approaches (e.g., Grossman & Taylor, 2007; Martens et al., 2008), we expected long-term HRV to moderate the effect of job demands on emotional exhaustion such that high trait HRV reduces the detrimental effects of high job demands on emotional exhaustion (H3).

## 2 Methods

### 2.1 Participants

Initially, 121 German school teachers volunteered to participate in this study. In total, 20 subjects could not be included in the analysis due to sick leave and dropout ( $N = 7$ ), insufficient data recordings ( $N = 5$ ), technical failure ( $N = 3$ ), excessive artifacts ( $N = 3$ ), and missing nocturnal HRV data ( $N = 2$ ). The final sample consisted of  $N = 101$  participants (70 females) from different school types with a mean age of 42.87 years ( $SD = 11.46$ ) and a mean body mass index (BMI) of 23.92 ( $SD = 3.35$ ). The teachers were employed at 22 different schools, including elementary (48%), secondary (31%), vocational (16%), and mixed (6%) schools. On average, the subjects taught 22.53 lessons a week ( $SD = 4.91$ ) and spent an additional 18.39 ( $SD = 8.42$ ) working hours at school or home. The following inclusion criteria had to be met: at least 50% employment, no heavy smoking or alcohol consumption, no excessive physical activity, and no cardiovascular, mental, or metabolic diseases or related medication. All teachers gave their written informed consent and did not receive monetary compensation for their participation. The study was approved by the ethics committee of the Catholic University

of Eichstätt-Ingolstadt and the Bavarian State Ministry for Education, Culture, Science, and Arts.

## **2.2 Design and procedures**

We conducted an ambulatory assessment study by continuously collecting physiological data for 48 h and repeatedly assessing subjective state measures over the same 48-hour period. To recruit the teacher sample, we contacted 40 German principals in diverse schools to introduce our research aims. Prior to participation, all teachers received verbal or written information concerning the study, its procedure and the use of the technical equipment. To maximize compliance, we offered individual feedback regarding the HRV parameters. The participating teachers chose two typical school days as measurement days from Tuesday to Thursday and were subsequently equipped with study materials on the Monday before the measurement started. These materials included an information sheet, an electrocardiogram (ECG) device, a smartphone, and a demographic questionnaire. At the beginning of the first study day, the teachers were asked to attach the ECG and carry both the physiological (ECG) and subjective (smartphone) monitoring device during the following two study days. After participation, all materials were returned to the school to be collected by the study personnel.

## **2.3 Measures**

### **2.3.1 Subjective state questionnaire**

The smartphones were programmed with the movisensXS application (movisens GmbH, Karlsruhe, Germany) to implement the ESM items. Signal-contingently, the subjective ratings were assessed six times per day. The teachers were presented with beeps by their smartphones randomly between 7:30 AM and 9:00 PM outside the official lessons. The minimum time between two prompts was set at approximately 1–2 h according to the schools' timetables. Each

questionnaire had a maximum delay time of 15 min. All variables were answered on a seven-point Likert scale ranging from “strongly disagree” to “strongly agree,” such that higher scores indicated more demands, resources, and exhaustion. Because ESM items must be answered at a very high frequency, we applied single-item scales to maintain compliance as recommended by Ohly et al. (2010). To capture short-term changes, we used the wordings “In the last two hours...” and “At the moment...” when referring to the predictor and outcome variables, respectively.

*Job demands.* We focused on emotional and temporal demands by adapting two questions from the German Copenhagen Psychosocial Questionnaire (Nübling, Stöbel, Hasselhorn, Michaelis, & Hofmann, 2006). The items were “...my work puts me in emotionally disturbing situations” (emotional demands) and “...I had to work very fast” (time pressure).

*Job resources.* To assess momentary job resources, we administered two adapted items from the same questionnaire (Nübling et al., 2006) to measure job control (“...I had a large degree of influence concerning my work”) and social support (“...I felt supported”).

*Emotional exhaustion.* Emotional exhaustion was assessed with the item “...I feel emotionally exhausted” adapted from the German Maslach Burnout Inventory (Büssing & Perrar, 1992).

### **2.3.2 Physiological recordings**

The data were recorded over 48 h, usually starting at 7:00 AM, using the EcgMove3 and EcgMove4 devices (movisens GmbH, Karlsruhe, Germany). The sensor capturing the single-channel ECG recordings and physical activity was connected to a chest belt with two dry electrodes. The sensor was worn at the sternum base and scanned cardiovascular signals at 1024 Hz and bodily movement through a three-dimensional acceleration sensor sampling at 64 Hz.

## 2.4 Data analysis

Prior to the statistical analysis, we visually inspected the 48-hour ECG signals of each individual to exclude subjects with massive artifacts. A final total of 80% of the included participants had a proportion greater than 90% of valid HRV data. Then, the HRV and bodily movements were analyzed using the movisens DataAnalyzer (movisens GmbH, Karlsruhe, Germany). The algorithms produce outputs on a minute-by-minute basis derived from 2-minute segments, which were averaged every 30 s. Concerning bodily movement, the mean value of acceleration across the three axes attributable to bodily movements was calculated. The software used a bandpass filter for each axis (0.25–11 Hz). Concerning HRV, the procedure used to detect the R-peaks was adapted from Hamilton (2002); the filter used to exclude artifacts was based on the recommendations by Clifford, McSharry, and Tarassenko (2002). Specifically, interbeat intervals above or below 250–2000 ms and R-peak amplitudes above or below 0.1–5 mV were removed. The maximum variation in the RR intervals was set at 20%, and that for the R amplitudes was set at 30%. Overall, the software eliminated 6% of the segments due to artifacts. To match the state subjective and physiological data, we extracted the 5-minute means of the 48-hour ECG and activity data prior to each ESM questionnaire. This duration is recommended for analyzing short-term HRV (Malik, 1996). To examine long-term HRV, we calculated the mean 48-hour HRV. Thus, we used physiological state measures as outcome (5-minute HRV) and covarying (5-minute bodily movement) variables and a physiological trait measure as a moderating variable (48-hour HRV). To quantify the HRV, a time-domain parameter, i.e., the root mean square of successive differences (RMSSD), was selected. According to Malik (1996), the RMSSD is recommended for detecting variations in parasympathetic activity and has good statistical properties. Moreover, the ambulatory RMSSD has been proven to reliably index the short-term vagal tone (Goedhart, van der Sluis, Houtveen, Willemsen, & de Geus, 2007). To correct for skewness, we performed a natural logarithmic



transformation (lnRMSSD). To search for relevant covariates, we further performed separate tests assessing bodily movement, age, BMI, and gender as predictors of the dependent variables. As a result, bodily movement, age, and BMI were significantly associated with lnRMSSD and, therefore, considered covariates in the analyses predicting HRV. Other covariates were excluded to avoid model overspecification.

Due to the hierarchical data structure in which the within-person variables (level 1) are nested in persons (level 2), multilevel models were separately estimated for each outcome (state lnRMSSD and emotional exhaustion). We used the R statistic software (version 3.6.1; R Core Team, 2019) with the package “nlme” (version 3.1–140; Pinheiro, Bates, DebRoy, Sarkar, & R Core Team, 2019). First, to estimate the variance partitioning of the dependent variables, we calculated the intraclass correlations (*ICC*) based on null models. For the hypothesis testing, the independent variables were entered step-by-step. Concerning the prediction of lnRMSSD, we initially added the covariates bodily movement, age, and BMI (covariates model). Then, for both outcomes, we included the main effects of emotional demands, time pressure, control, and support (main effects model). Subsequently, the interaction effects emotional demands  $\times$  control, emotional demands  $\times$  support, time pressure  $\times$  control, and time pressure  $\times$  support were modeled (interaction model). Finally, for emotional exhaustion, we introduced the main and demand-moderating effects of trait lnRMSSD (cross-level interaction model). The models included a random intercept. In the exhaustion model, we also included random slopes for emotional demands and time pressure since these variables served as the random effects of interests due to the cross-level interactions (Snijders & Bosker, 2012). No other random slopes were specified to avoid overparameterized or non-converging models (Bates, Kliegl, Vasishth, & Baayen, 2015; Fox & Weisberg, 2015). As recommended by Ohly et al. (2010), all situation-related predictors were person-mean centered, and all person-related predictors were centered on the grand mean. To quantify the model improvement, we additionally calculated the

differences between the log likelihood ratios and degrees of freedom and determined the  $p$ -value by chi-square tests. Finally, we specified a continuous first-order autoregressive error structure because of our unequally distributed random time prompts over the two study days (Schwartz & Stone, 1998). This approach was used to account for the declining correlation between the residuals of two time points by a function of the trigger time and led to a better model fit for both outcomes (state lnRMSSD:  $\phi = 0.17$ ; emotional exhaustion:  $\phi = 0.28$ ). The significant two-way interaction was tested online (<http://www.quantpsy.org>) with simple slope analyses and conditional values 1  $SD$  below and above the mean (Preacher, Curran, & Bauer, 2006) and was plotted graphically. For all tests, the level of significance was set at 5% (two-tailed).

### 3 Results

#### 3.1 Compliance rate and database

The teachers were presented with beeps 1193 times. A total of 1030 questionnaires were completed, 147 beeps were ignored, and 16 beeps were dismissed. These numbers correspond to a compliance rate of 86% and an average of 10.20 ( $SD = 1.83$ , range: 3–12) completed questionnaires per person. Similarly, 14% of the prompts were skipped, which is discussed later. However, notably, the questionnaires cover both work and leisure time because of the teachers' flexible working schedules in the afternoon and evening hours. Therefore, in the present JD-R study, we needed to exclude situations that were not related to job activities. To identify such situations in the ESM data, the subjects initially responded to a multiple-choice question regarding their activities during the last two hours. When "teaching," "class preparation," "student evaluation" or "administrative tasks" were selected instead of only "leisure time" or "private commitments," the events were included in the analyses. Overall, 669 of the completed questionnaires were relevant to the teachers' jobs. Most work-related activities

addressed teaching (56%), followed by administrative tasks (29%), class preparation (25%), and student evaluation (14%). Because the subjects could select several options in the multiple-choice question, the total number exceeds 100%.

### 3.2 Descriptive analyses

The descriptive statistics are presented in Table 1. All significant correlations were consistent with our expectations. Most of the variance in the ESM variables was located at the within-person level ( $ICC = 0.13\text{--}0.31$ ), suggesting that the variables substantially varied within the teachers across situations. Only the state HRV measure ( $ICC = 0.57$ ) suggested higher between-subject than within-subject differences.

### 3.3 Tests of hypotheses

#### 3.3.1 Prediction of state heart rate variability

Table 2 presents the final model results of both outcomes. Concerning state HRV, the covariates bodily movement ( $\gamma = -2.58$ ,  $t(524) = -10.62$ ,  $p < .01$ ), age ( $\gamma = -0.01$ ,  $t(97) = -3.36$ ,  $p < .01$ ), and BMI ( $\gamma = -0.02$ ,  $t(97) = -2.01$ ,  $p < .05$ ) were negatively associated with state HRV. However, the health-impairment process (H1a) could neither be supported for state emotional demands ( $\gamma = 0.00$ ,  $t(524) = 0.34$ ,  $p = .736$ ) nor time pressure ( $\gamma = -0.02$ ,  $t(524) = -1.89$ ,  $p = .060$ ). Similarly, no effects of job control ( $\gamma = 0.01$ ,  $t(524) = 1.39$ ,  $p = .166$ ) or social support ( $\gamma = -0.01$ ,  $t(524) = -1.47$ ,  $p = .143$ ) on state HRV could be detected. Regarding the interaction effects between job demands and resources (H2a), none of the four interaction terms were significant (emotional demands  $\times$  control:  $\gamma = 0.00$ ,  $t(524) = 0.45$ ,  $p = .654$ ; emotional demands  $\times$  support:  $\gamma = 0.01$ ,  $t(524) = 1.08$ ,  $p = .280$ ; time pressure  $\times$  control:  $\gamma = -0.00$ ,  $t(524) = -0.21$ ,  $p = .831$ ; time pressure  $\times$  support:  $\gamma = -0.01$ ,  $t(524) = -1.32$ ,  $p = .187$ ). In summary, both the health-impairment hypothesis and stress-buffering hypothesis regarding

Table 1. Means ( $M$ ), standard deviations ( $SD$ ), intraclass correlations ( $ICC$ ), and intercorrelations of the measured variables.

Variable	$M$	$SD$	$ICC$	1	2	3	4	5	6	7	8
1 5-minute HRV (RMSSD)	27.67	11.64	0.51		0.89**	-0.06	-0.05	-0.11**	0.04	-0.07	
2 5-minute HRV (lnRMSSD)	3.19	0.43	0.57	0.96**		-0.12**	-0.02	-0.11**	0.03	-0.03	
3 Emotional exhaustion	2.79	0.99	0.25	-0.14	-0.15		0.30**	0.29**	-0.09*	-0.15**	
4 Emotional demands	2.74	0.99	0.13	-0.12	-0.14	0.36**		0.28**	-0.00	-0.00	
5 Time pressure	3.34	1.08	0.23	0.02	-0.02	0.34**	0.39**		-0.03	-0.08*	
6 Job control	4.32	1.12	0.28	-0.02	0.00	-0.12	-0.06	-0.01		0.19**	
7 Social support	4.00	1.20	0.31	-0.14	-0.10	-0.08	0.12	0.13	0.10		
8 48-hour HRV (RMSSD)	31.48	14.37		0.88**	0.82**	-0.20*	-0.07	-0.03	0.01	-0.12	
9 48-hour HRV (lnRMSSD)	3.36	0.43		0.87**	0.88**	-0.25*	-0.10	-0.04	0.06	-0.07	0.95**

Note. Correlations below the diagonal are between-person correlations with level 1 variables aggregated to level 2 ( $N_2 = 101$ ). Correlations above the diagonal are within-person correlations ( $N_1 = 669$ ). HRV = heart rate variability. RMSSD = root mean square of successive differences. lnRMSSD = natural logarithmic transformation of root mean square of successive differences. \*\*  $p < .01$ , \*  $p < .05$ .

Table 2. Multilevel model estimates of state 5-minute heart rate variability (HRV) and emotional exhaustion.

Fixed effects	State 5-minute HRV (lnRMSSD)				State emotional exhaustion					
	Estimate (SE)	df	t	p	Estimate (SE)	df	t	p		
Intercept	3.19 (0.04)	524	83.15	< .001**	2.76 (0.10)	556	28.49	< .001**		
5-minute bodily movement	-2.58 (0.24)	524	-10.62	< .001**						
Age	-0.01 (0.00)	97	-3.36	.001**						
BMI	-0.02 (0.01)	97	-2.01	.048*						
ED	0.00 (0.01)	524	0.34	.736	0.21 (0.03)	556	6.09	< .001**		
TP	-0.02 (0.01)	524	-1.89	.060	0.17 (0.04)	556	4.00	< .001**		
Job control	0.01 (0.01)	524	1.39	.166	-0.03 (0.04)	556	-0.92	.358		
Social support	-0.01 (0.01)	524	-1.47	.143	-0.11 (0.04)	556	-3.14	.002**		
48-hour HRV (lnRMSSD)					-0.45 (0.23)	99	-2.00	.048*		
ED × job control	0.00 (0.01)	524	0.45	.653	0.01 (0.02)	556	0.04	.967		
ED × social support	0.01 (0.01)	524	1.08	.280	-0.04 (0.02)	556	-1.90	.058		
ED × 48-hour HRV					-0.18 (0.08)	556	-2.35	.019*		
TP × job control	-0.00 (0.01)	524	-0.21	.831	0.02 (0.03)	556	0.95	.342		
TP × social support	-0.01 (0.01)	524	-1.32	.187	-0.05 (0.03)	556	-1.84	.066		
TP × 48-hour HRV					0.19 (0.10)	556	1.94	.053		
Random effects variances	Estimate (SD)									
Var (intercept)	0.12 (0.35)									
Var (ED)	0.01 (0.10)									
Var (TP)	0.03 (0.18)									
Model comparison	Null model	Covariates	Main effects	Interaction	CAR(1)	Null model	Main effects	Interaction	Cross-level interaction	CAR(1)
-2* Log likelihood	679.06	568.76	592.30	623.07	615.02	2489.77	2396.37	2413.62	2410.42	2389.92
Δ-2* Log likelihood		110.30**	23.54**	30.77**	8.04**		93.41**	17.25**	3.20	20.50**
df		3	4	4	1		9	4	3	1

Note.  $N_2$  (persons) = 101,  $N_1$  (situations) = 669. lnRMSSD = natural logarithmic transformation of root mean square of successive differences. BMI = body mass index. ED = emotional demands. TP = time pressure. CAR(1) = continuous first-order autoregressive correlation structure. \*\*  $p < .01$ , \*  $p < .05$ .

state HRV must be rejected.

### 3.3.2 Prediction of state emotional exhaustion

Concerning emotional exhaustion, both momentary emotional demands ( $\gamma = 0.21$ ,  $t(556) = 6.09$ ,  $p < .01$ ) and time pressure ( $\gamma = 0.17$ ,  $t(556) = 4.00$ ,  $p < .01$ ) were positively associated with the outcome measure. Consistent with the health-impairment hypothesis (H1b), the teachers reported higher levels of exhaustion under the conditions of high emotional demands and time pressure. Regarding resources, situational social support ( $\gamma = -0.11$ ,  $t(556) = -3.14$ ,  $p < .01$ ) and trait HRV ( $\gamma = -0.45$ ,  $t(99) = -2.00$ ,  $p < .05$ ) had negative effects on emotional exhaustion, while momentary control was unrelated to emotional exhaustion ( $\gamma = -0.03$ ,  $t(556) = -0.92$ ,  $p = .358$ ). Regarding the buffering hypothesis (H2b), the analyses again revealed no moderating effects of job resources in the stressor-strain process predicting emotional exhaustion (emotional demands  $\times$  control:  $\gamma = 0.00$ ,  $t(556) = 0.04$ ,  $p = .967$ ; emotional demands  $\times$  support:  $\gamma = -0.04$ ,  $t(556) = -1.90$ ,  $p = .058$ ; time pressure  $\times$  control:  $\gamma = 0.02$ ,  $t(556) = 0.95$ ,  $p = .342$ ; time pressure  $\times$  support:  $\gamma = -0.05$ ,  $t(556) = -1.84$ ,  $p = .066$ ).

Concerning the moderating role of the 48-hour HRV measure (H3), evidence of an interaction effect with emotional demands ( $\gamma = -0.18$ ,  $t(556) = -2.35$ ,  $p < .05$ ), but not time pressure ( $\gamma = 0.19$ ,  $t(556) = 1.94$ ,  $p = .053$ ), on emotional exhaustion was found (see Table 2). As shown in Figure 1, the significant interaction effect between emotional demands and trait HRV on emotional exhaustion represents the expected stress-buffering effect. The simple slope analyses showed that the problematic effect of high emotional demands on exhaustion when trait HRV was high ( $\omega = 0.13$ ,  $z = 2.64$ ,  $p < .01$ ) was less pronounced than that when it was low ( $\omega = 0.28$ ,  $z = 6.27$ ,  $p < .01$ ). High levels of HRV were particularly beneficial in cases of high ( $\omega = -0.33$ ,  $z = -3.11$ ,  $p < .01$ ) as opposed to low ( $\omega = -0.06$ ,  $z = -0.49$ ,  $p = .623$ ) emotional demands. Further analysis additionally considering the trait covariates of HRV (mean 48-hour

bodily movement, age, and BMI) resulted in essentially the same findings in terms of the interaction term; thus, we reported the more parsimonious model here. Overall, H3 could be partially supported as trait HRV proved to be a relevant stress-buffering moderator of high emotional demands but not high time pressure.

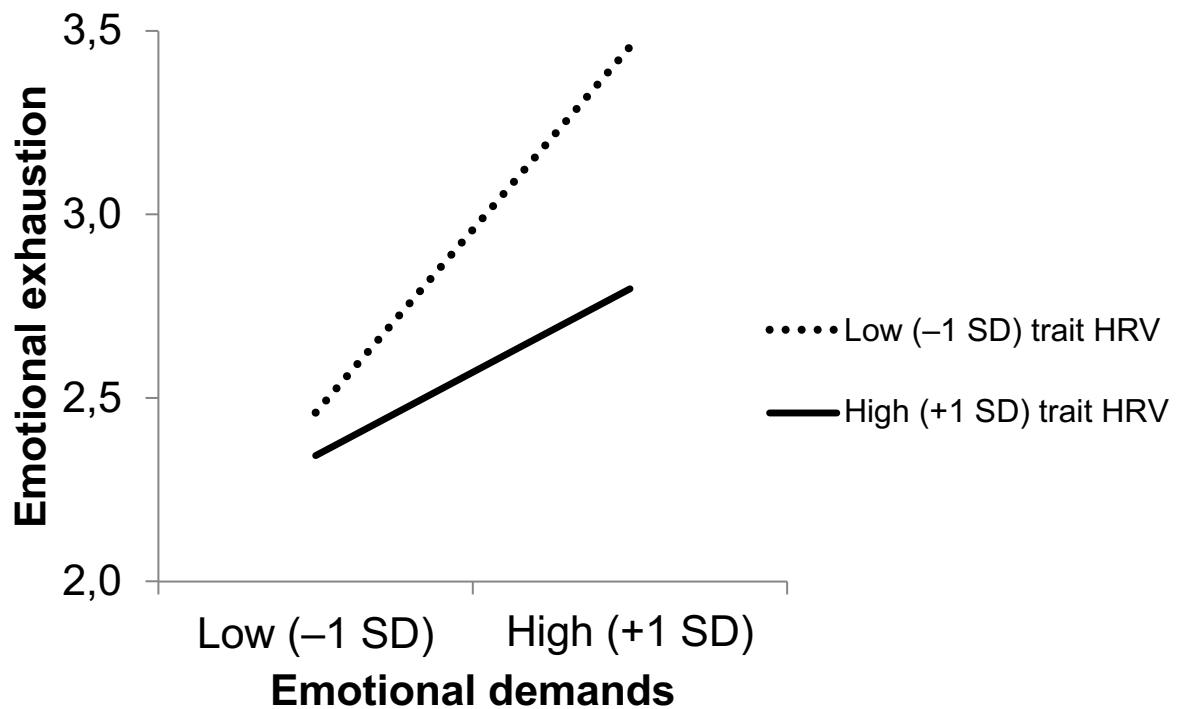


Figure 1. Interaction effect of emotional demands and trait heart rate variability (HRV) on emotional exhaustion.

#### 4 Discussion

The aim of the present ambulatory field study was to investigate teachers' momentary cardiac vagal tone and emotional exhaustion in relation to changing job demands. Therefore, a real-life real-time approach combining smartphone questionnaires and 48-hour ECG recordings over two days was carried out. Embedded in the JD-R framework (Demerouti et al., 2001), we analyzed different demand and resource types and their associations with fluctuations in subjective (emotional exhaustion) and physiological (HRV) state measures. We also shed light

on trait HRV as a moderator that potentially buffers the detrimental effects of job demands on emotional exhaustion. Therefore, this study provides insights into the health-impairment process (H1) and stress-buffering effects of both state job resources (H2) and trait HRV (H3). While good support was found for H1 with regard to emotional exhaustion, no evidence was found with regard to state HRV. H2 must be rejected for both outcomes. Notably, long-term HRV significantly moderated the effect of emotional demands, but not time pressure, on emotional exhaustion (H3). Considering the predominantly psychological research focus, these psychophysiological results contribute to the literature by integrating HRV into the JD-R theory as both an outcome and a moderator, which might be important not only for theoretical model extensions but also for practical interventions.

## **4.1 Explanations and interpretations**

### **4.1.1 Role of job demands**

Considering the direct effects of job demands, we hypothesized that there would be health-impairing effects of emotional demands and time pressure on state HRV (H1a) and emotional exhaustion (H1b). Therefore, situations with high emotional or temporal demands were expected to be accompanied by diminished values of HRV and higher levels of exhaustion.

Concerning the effect of job demands on state HRV, we found no cardiovascular changes in fluctuating emotional or temporal demands after adjusting for the covariates. This result indicates that there were no acute biological adjustments in terms of an increased sympathetic and decreased vagal control of the heart when teachers were emotionally charged or pressed for time, which contradicts our hypothesis. Similarly, Pieper et al. (2010) and Vahle-Hinz, Bamberg, Dettmers, Friedrich, and Keller (2014) also failed to confirm comparable effects. The lack of support may be due to the characteristics of the state HRV measure, which generally



shows a greater amount of between-subject variance ( $ICC = 0.57$ ) and a strong positive correlation with the trait measure ( $r = .88$ ). This finding is meaningful because it implies that there may have been insufficient statistical power to detect demand-induced fluctuations in HRV. Another explanation may be that the 5-minute time spans may have been too short for the demands to elicit physiological reactivity. However, Malik (1996) introduced the 5-minute period as the recommended duration for short-term analyses to facilitate comparability between research findings, and we aimed to achieve such comparability. Importantly, however, various previous studies have revealed opposite results that show associations between demanding job conditions and a low variability in the heart rhythm (e.g., Borchini et al., 2015; Chandola et al., 2008; Filaire et al., 2010). To address the mixed evidence regarding the prediction of HRV, additional research is needed.

Concerning the effect of job demands on emotional exhaustion, our results fully confirm the health-impairment process. In situations with emotional hindrances or temporal constraints, teachers were more likely to be exhausted. These results are consistent with the predictions of the JD-R model (e.g., Demerouti et al., 2001) and the COR theory (Hobfoll, 1989), which state that high levels of job demands deplete individuals' resources and impair health. Similarly, this finding replicates numerous previous findings showing the potentially damaging concomitants of emotional and temporal demands between teachers (Dicke et al., 2018; Guglielmi et al., 2012; Pomaki & Anagnostopoulou, 2003) and within teachers (Keller et al., 2014; Sonnentag, 2001). Overall, H1a (decreased HRV) must be rejected for both emotional and temporal demands, while H1b (increased emotional exhaustion) is supported for both demand types.

Notably, although we investigated state HRV and exhaustion by means of a job-related theory of stress (Bakker & Demerouti, 2017), we cannot equate the outcome measures with physiological or psychological stress responses. It is debatable whether daily life events as assessed in the present study justify the use of the term "stress" (Kagan, 2016; Slavich, 2019).

According to the authors, not all unpleasant situations accompanied by momentary changes in affective or biological systems can be considered stressful events as such labeling would only be appropriate for long-lasting and serious health-endangering events. Since our outcomes might also have been affected by other environmental, motivational or affective circumstances or even long-term chronic difficulties and since we only captured two sorts of job demands appearing during only two days, our study does not allow conclusions regarding stress reactions (Slavich, 2019). Moreover, temporary changes in HRV or exhaustion do not necessarily indicate a clinically relevant “health impairment.” Instead, such changes may also be considered an organism’s ability to situationally activate resources and supply energy for “an adaptive, flexible responding to challenging environmental demands” (Schwerdtfeger & Dick, 2019, p. 599). Hence, researchers should pay attention to avoid the overly permissive use of the term “stress.”

#### **4.1.2 Role of job resources**

Although beyond the scope of our research question, the modest main effects of job control and social support on short-term HRV and emotional exhaustion require further attention. The reason explaining why none of the resources were related to the state vagal tone might again be found in the above-mentioned limitations of the phasic HRV measure. However, only social support, but not job control, was negatively associated with emotional exhaustion. While the beneficial effect of support in terms of lower feelings of emotional exhaustion is in accordance with other studies involving teacher samples (e.g., Näring, Briët, & Brouwers, 2006), the missing control effect contradicts existing results (e.g., Näring et al., 2006). However, the failure of control to predict teachers’ emotional exhaustion is not unknown (Kittel & Leynen, 2003; Pomaki & Anagnostopoulou, 2003) and may arise from the potential non-linearity of this relationship (Warr, 1990) or a dependency on third variables, such as desire of

control (e.g., Parker, Jimmieson, & Amiot, 2009). Another explanation may be that job control in general is more strongly associated with motivational rather than health-related outcomes (Bakker & Demerouti, 2017; Demerouti et al., 2001), but additional studies are certainly desirable.

Considering the interaction effects between job demands and resources, we expected a stress-buffering potential of momentary job control and social support on state HRV (H2a) and emotional exhaustion (H2b). Therefore, situations with high demands were expected to be less threatening when job resources were present. However, in contrast to our expectations, control and support did not mitigate the effects of emotionally or temporally demanding situations on either HRV or exhaustion. Although the buffering hypothesis has attracted much theoretical attention, the empirical evidence appears to be sparse. Many studies have paralleled our nonsignificant results on both cardiac and exhaustion outcomes (e.g., Cendales-Ayala, Useche, Gómez-Ortiz, & Bocarejo, 2017; Pomaki & Anagnostopoulou, 2003). Thus, support for the buffering effect of job resources seems to be weak not only in our study but also in occupational health research in general. One of the most prominent explanations for the missing evidence is the lack of consideration given to the so-called *matching principle*, which is discussed elsewhere (van der Doef & Maes, 1999). It might also have been the case that the nonsignificant findings arise from methodological restrictions. As mentioned above, the school questionnaires were only completed during breaks and not during lessons. In addition, several prompts were skipped, implying that some situations may have been too demanding to allow a timely response. Altogether, these issues may have contributed to a bias in the answered alarms such that the questionnaires were completed under low-strain rather than high-strain conditions, which, in turn, could have artificially reduced the variance in the measures of demands and resources (see also the means and standard deviations in Table 1).

### 4.1.3 Role of trait heart rate variability

The results indicate that basal HRV is negatively associated with emotional exhaustion. Thus, the teachers with high tonic HRV were on average less exhausted throughout the work activities than the teachers with low tonic HRV. One interpretation might be that stable between-subject differences in HRV along with the interrelated capacity to use appropriate self- and emotion-regulation strategies (Thayer & Lane, 2009) may determine the mean extent to which a person experiences exhaustion during the day. Importantly, chronically poor levels of HRV may have a threatening effect in the long term as they have been related to serious health risks and mortality (for an overview see Malik, 1996).

Concerning the interactive effects, the present study analyzed whether the buffering hypothesis is applicable to elevated long-term HRV. We expected that a high person-mean HRV would act as a moderator in the relationship between job demands and exhaustion (H3). Indeed, trait HRV significantly buffered the effect of emotional demands on exhaustion, which is consistent with the JD-R framework (Demerouti et al., 2001). The teachers with an elevated tonic HRV were less exhausted in the case of high emotional demands than the teachers whose cardiac vagal tone was chronically restricted. This result also parallels the predictions of psychobiological models (e.g., Thayer & Lane, 2009) in which a stable high vagal control of the heart is discussed as a correlate of psychobiological self- and emotion-regulation skills, which have health-protective roles and facilitate coping with job demands (Eatough et al., 2016; Grossman & Taylor, 2007; Thayer & Lane, 2009). Similarly, Utsey and Hook (2007) demonstrated that HRV weakened the association between social race-related stress and psychological distress. Moreover, Murdock et al. (2017) found a reduced effect of hostility on cortisol secretion in individuals with high HRV.

However, the relationship between time urgency and emotional exhaustion remained unaffected by trait HRV. The inability of the basal vagal tone to moderate the pressure effect is

contradictory to our expectations based on psychophysiological and occupational health models (e.g., Demerouti et al., 2001; Grossman & Taylor, 2007). An explanation for why the buffering effect applies to emotional, but not temporal demands may stem from the matching principle (van der Doef & Maes, 1999) and the fact that emotional demands are more strongly connected to the requirement of emotion-regulation capacities, which, in turn, are interrelated with trait HRV (Thayer & Lane, 2009). Notably, previous studies also failed to confirm moderating effects of resources in the relationship between quantitative demands and teachers' exhaustion (e.g., Näring et al., 2006). According to the authors, being pressed for time may always be exhausting regardless of whether individuals are resourceful because a high workload may interfere with mobilizing coping resources and may cancel any buffering effect (e.g., Pomaki & Anagnostopoulou, 2003; Searle, Bright, & Bochner, 1999). Importantly, the latter explanation was formulated for resources other than HRV; hence, the transferability to the current finding might be limited.

Overall, the present results suggest that subjects with high tonic HRV, which is characterized as a correlate of good health and psychophysiological adaptivity to changing situations (Grossman & Taylor, 2007; Thayer & Lane, 2009; Togo & Takahashi, 2009), cope with emotionally, but not temporally, demanding periods more easily than individuals with low tonic HRV. Given this finding and previous evidence, one could interpret that high HRV may allow full power and concentration to be targeted to the emotional demand and coping process and may help efficiently detach from such demand. However, this interpretation is speculative, and certainly, given the mixed results, more research is needed before conclusions can be drawn regarding the stress-buffering and health-protective potential of trait HRV.

## 4.2 Practical implications

Our major results suggest that situationally increased levels of demands seem to be accompanied by momentary feelings of exhaustion and that a flexible cardiac vagal response may be a moderator of this relationship. Although it is tempting to draw the conclusion that, for example, emotional demands have pathological consequences on exhaustion and that high trait HRV dampens this effect, the present cross-sectional study design precludes any causal assumptions. Hence, it could also have been possible that being emotionally exhausted (combined with having low or high trait HRV) resulted in perceiving more (or less) emotional demands. Therefore, future research should aim to clarify the directionality of these relationships. Nevertheless, if the demand effects on exhaustion outweigh the exhaustion effects on perceived demands, it could be suggested to reduce job demands and provide resources. However, directly reducing job demands does not appear to be a viable solution because engaging in the emotionally demanding classroom management and completing teaching tasks on time are as important in the teaching profession as the act of teaching itself. Earlier recommendations with regard to strengthening job resources (e.g., Demerouti et al., 2001) are also inconsistent with our findings because the present resources did not buffer the negative concomitants of teaching hazards. We suggest focusing on interventions that increase trait HRV to support adaptive coping with emotionally charged situations with regard to psychophysiological self-regulation capacities (Thayer & Lane, 2009). People could positively influence their vagal tone in various ways, e.g., exercise training (Malik, 1996). Again, proof of causality must have priority and should be achieved by future studies.

## 4.3 Limitations and directions for future research

Our study is not free from limitations. First, a bias may exist in the recruited sample because only healthy teachers, mostly females, participated in the study. Although exclusion

criteria are commonly used in physiological studies (e.g., Vahle-Hinz et al., 2014), such criteria may lead to an unrepresentative sample because subjects suffering from chronic diseases, which often exist only due to prolonged strain, do not participate. Therefore, future studies should extend the current results by analyzing different samples. The second limitation concerns our measures. Although single-item scales are recommended for ESM studies (Ohly et al., 2010), one might argue that these scales are more prone to errors and only assess a broad, less differentiated picture of the demand setting. However, it was necessary to keep the instrument as brief as possible to enable the teachers to complete the assessments even during short school breaks and compensate for the rather high participant load produced by wearing sensors. Another critical aspect is that we only investigated a limited set of demands, resources, and outcomes. There may have been other aspects of the teachers' working environment, personality or physical health that play similar roles in the health-impairment process. To gain a complete picture of the HRV correlates in the JD-R model, the relationships with other demands, resources, and outcomes in addition to the motivational process (Bakker & Demerouti, 2017) must be explored.

#### **4.4 Conclusion**

In summary, the present study applied a multimethodological ambulatory assessment approach to study state HRV and exhaustion in a large teacher sample. This study aimed to contribute to the JD-R theory (Bakker & Demerouti, 2017) by analyzing psychophysiological approaches to coping with job demands and introducing a relatively new moderator to the stressor-strain relationship, namely, trait HRV. By examining ecologically valid objective and subjective outcome measures in light of different demand and resource types, we offer a holistic picture of the health-impairment and stress-buffering processes that disclose possible roles of HRV in the JD-R model as both a (state) outcome and a (trait) moderating variable. Our results

seem to corroborate earlier findings suggesting that unfavorable teaching conditions are associated with situationally increased exhaustion, but not HRV, and that job resources did not buffer these relationships. The question of why none of the JD-R effects on state HRV could be confirmed needs more attention. Although several authors have proven the sensitivity of ambulatory short-term cardiac responses (e.g., Schwerdtfeger & Dick, 2019; Schwerdtfeger & Gerteis, 2014), the present results suggest that such responses represent a rather insensitive within-subject measure. The fact that there are more findings similar to ours (e.g., Pieper et al., 2010) depicts a mixed picture of support for the variability of ambulatory state HRV, underlining the importance of future studies. However, concerning trait HRV, we found a moderating effect in the relationship between emotional demands and exhaustion, suggesting that high tonic HRV may be beneficial as a stress-buffering variable when facing high emotional demands. Before the tentative conclusion that high trait HRV might index a new category of personal physical health resources can be drawn, further research is needed.

## References

- Bakker, A. B., & Demerouti, E. (2017). Job demands-resources theory: Taking stock and looking forward. *Journal of Occupational Health Psychology, 22*(3), 273–285.  
<https://doi.org/10.1037/ocp0000056>
- Bates, D., Kliegl, R., Vasishth, S., & Baayen, H. (2015). *Parsimonious mixed models*.  
<https://arxiv.org/pdf/1506.04967.pdf>
- Borchini, R., Ferrario, M. M., Bertù, L., Veronesi, G., Bonzini, M., Dorso, M., & Cesana, G. (2015). Prolonged job strain reduces time-domain heart rate variability on both working and resting days among cardiovascular-susceptible nurses. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health, 28*(1), 42–51.  
<https://doi.org/10.2478/s13382-014-0289-1>



- Büssing, A., & Ferrar, K.-M. (1992). Measuring burnout: A study of a German version of the Maslach Burnout Inventory (MBI-D). *Diagnostica*, 38(4), 328–353.  
<https://psycnet.apa.org/record/1993-86074-001>
- Cendales-Ayala, B., Useche, S. A., Gómez-Ortiz, V., & Bocarejo, J. P. (2017). Bus operators' responses to job strain: An experimental test of the job demand-control model. *Journal of Occupational Health Psychology*, 22(4), 518–527.  
<https://doi.org/10.1037/ocp0000040>
- Chandola, T., Britton, A., Brunner, E., Hemingway, H., Malik, M., Kumari, M., ... Marmot, M. (2008). Work stress and coronary heart disease: What are the mechanisms? *European Heart Journal*, 29(5), 640–648. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehm584>
- Chandola, T., Heraclides, A., & Kumari, M. (2010). Psychophysiological biomarkers of workplace stressors. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 35(1), 51–57.  
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.11.005>
- Clifford, G. D., McSharry, P. E., & Tarassenko, L. (2002). Characterizing artefact in the normal human 24-hour RR time series to aid identification and artificial replication of circadian variations in human beat to beat heart rate using a simple threshold. *Computers in Cardiology*, 129–132. <https://doi.org/10.1109/CIC.2002.1166724>
- Collins, S., & Karasek, R. (2010). Reduced vagal cardiac control variance in exhausted and high strain job subjects. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 23(3), 267–278. <https://doi.org/10.2478/v10001-010-0023-6>
- Demerouti, E., Bakker, A. B., Nachreiner, F., & Schaufeli, W. B. (2001). The job demands-resources model of burnout. *Journal of Applied Psychology*, 86(3), 499–512.  
<https://doi.org/10.1037//0021-9010.86.3.499>
- Dicke, T., Stebner, F., Linninger, C., Kunter, M., & Leutner, D. (2018). A longitudinal study of teachers' occupational well-being: Applying the job demands-resources model.

*Journal of Occupational Health Psychology*, 23(2), 262–277.

<https://doi.org/10.1037/ocp0000070>

Eatough, E., Shockley, K., & Yu, P. (2016). A review of ambulatory health data collection methods for employee experience sampling research. *Applied Psychology*, 65(2), 322–354. <https://doi.org/10.1111/apps.12068>

Filaire, E., Portier, H., Massart, A., Ramat, L., & Teixeira, A. (2010). Effect of lecturing to 200 students on heart rate variability and alpha-amylase activity. *European Journal of Applied Physiology*, 108(5), 1035–1043. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1310-4>

Fox, J., & Weisberg, S. (2015). *Mixed-effects models in R: An appendix to an R companion to applied regression*. <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion-2E/appendix/Appendix-Mixed-Models.pdf>

Garrick, A., Mak, A. S., Cathcart, S., Winwood, P. C., Bakker, A. B., & Lushington, K. (2014). Psychosocial safety climate moderating the effects of daily job demands and recovery on fatigue and work engagement. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 87(4), 694–714. <https://doi.org/10.1111/joop.12069>

Goedhart, A. D., van der Sluis, S., Houtveen, J. H., Willemsen, G., & de Geus, E. J. (2007). Comparison of time and frequency domain measures of RSA in ambulatory recordings. *Psychophysiology*, 44(2), 203–215. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2006.00490.x>

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. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2005.11.014>

Guglielmi, D., Panari, C., & Simbula, S. (2012). The determinants of teachers' well-being: The mediating role of mental fatigue. *European Journal of Mental Health*, 7(1), 204–220. <https://doi.org/10.5708/EJMH.7.2012.2.3>

- Hamilton, P. S. (2002). Open source ECG analysis software documentation. *Computers in Cardiology*, 101–104. <https://doi.org/10.1109/CIC.2002.1166717>
- Hobfoll, S. E. (1989). Conservation of resources: A new attempt at conceptualizing stress. *American Psychologist*, 44(3), 513–524. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.44.3.513>
- Jarczok, M. N., Jarczok, M., Mauss, D., Koenig, J., Li, J., Herr, R. M., & Thayer, J. F. (2013). Autonomic nervous system activity and workplace stressors: A systematic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37(8), 1810–1823. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.07.004>
- Johnson, J. V., & Hall, E. M. (1988). Job strain, work place social support, and cardiovascular disease: A cross-sectional study of a random sample of the Swedish working population. *American Journal of Public Health*, 78(10), 1336–1342. <https://doi.org/10.2105/AJPH.78.10.1336>
- Kagan, J. (2016). An overly permissive extension. *Perspectives on Psychological Science*, 11(4), 442–450. <https://doi.org/10.1177/17456916166635593>
- Karasek, R. A. (1979). Job demands, job decision latitude, and mental strain: Implications for job redesign. *Administrative Science Quarterly*, 24(2), 285–311. <https://doi.org/10.2307/2392498>
- Keller, M. M., Chang, M. L., Becker, E. S., Goetz, T., & Frenzel, A. C. (2014). Teachers' emotional experiences and exhaustion as predictors of emotional labor in the classroom: An experience sampling study. *Frontiers in Psychology*, 5, 1442. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01442>
- Kittel, F., & Leynen, F. (2003). A study of work stressors and wellness/health outcomes among Belgian school teachers. *Psychology and Health*, 18(4), 501–510. <https://doi.org/10.1080/0887044031000147229>

- Laborde, S., Mosley, E., & Thayer, J. F. (2017). Heart rate variability and cardiac vagal tone in psychophysiological research: Recommendations for experiment planning, data analysis, and data reporting. *Frontiers in Psychology*, 8, 213. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00213>
- 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 electrophysiology. *European Heart Journal*, 17(3), 354–381. <https://doi.org/10.1111/j.1542-474X.1996.tb00275.x>
- Martens, A., Greenberg, J., & Allen, J. J. (2008). Self-esteem and autonomic physiology: Parallels between self-esteem and cardiac vagal tone as buffers of threat. *Personality and Social Psychology Review*, 12(4), 370–389. <https://doi.org/10.1177/1088868308323224>
- Maslach, C., & Jackson, S. E. (1981). The measurement of experienced burnout. *Journal of Occupational Behaviour*, 2(2), 99–113. <https://doi.org/10.1002/job.4030020205>
- Murdock, K. W., LeRoy, A. S., & Fagundes, C. P. (2017). Trait hostility and cortisol sensitivity following a stressor: The moderating role of stress-induced heart rate variability. *Psychoneuroendocrinology*, 75, 222–227. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2016.10.014>
- Näring, G., Briët, M., & Brouwers, A. (2006). Beyond demand–control: Emotional labour and symptoms of burnout in teachers. *Work & Stress*, 20(4), 303–315. <https://doi.org/10.1080/02678370601065182>
- Nübling, M., Stöbel, U., Hasselhorn, H. M., Michaelis, M., & Hofmann, F. (2006). Measuring psychological stress and strain at work: Evaluation of the COPSOQ questionnaire in Germany. *GMS Psycho-Social-Medicine*, 3, Doc05. <https://www.egms.de/static/en/journals/psm/2006-3/psm000025.shtml>

- Ohly, S., Sonnentag, S., Niessen, C., & Zapf, D. (2010). Diary studies in organizational research. *Journal of Personnel Psychology, 9*(2), 79–93. <https://doi.org/10.1027/1866-5888/a000009>
- Parker, S. L., Jimmieson, N. L., & Amiot, C. E. (2009). The stress-buffering effects of control on task satisfaction and perceived goal attainment: An experimental study of the moderating influence of desire for control. *Applied Psychology, 58*(4), 622–652. <https://doi.org/10.1111/j.1464-0597.2008.00367.x>
- Pieper, S., Brosschot, J. F., van der Leeden, R., & Thayer, J. F. (2007). Cardiac effects of momentary assessed worry episodes and stressful events. *Psychosomatic Medicine, 69*(9), 901–909. <https://doi.org/10.1097/PSY.0b013e31815a9230>
- Pieper, S., Brosschot, J. F., van der Leeden, R., & Thayer, J. F. (2010). Prolonged cardiac effects of momentary assessed stressful events and worry episodes. *Psychosomatic Medicine, 72*(6), 570–577. <https://doi.org/10.1097/PSY.0b013e3181dbc0e9>
- Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S., Sarkar, D., & R Core Team (2019). *nlme: Linear and nonlinear mixed effects models. R package version 3.1–141*. <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>
- Pomaki, G., & Anagnostopoulou, T. (2003). A test and extension of the demand/control/social support model: Prediction of wellness/health outcomes in Greek teachers. *Psychology and Health, 18*(4), 537–550. <https://doi.org/10.1080/0887044031000147256>
- Preacher, K. J., Curran, P. J., & Bauer, D. J. (2006). Computational tools for probing interactions in multiple linear regression, multilevel modeling, and latent curve analysis. *Journal of Educational and Behavioral Statistics, 31*(4), 437–448. <https://doi.org/10.3102/10769986031004437>
- R Core Team (2019). *R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for statistical Computing, Vienna*. <http://www.R-project.org/>

- Riedl, E. M., & Thomas, J. (2019). The moderating role of work pressure on the relationships between emotional demands and tension, exhaustion, and work engagement: An experience sampling study among nurses. *European Journal of Work and Organizational Psychology, 28*(3), 414–429. <https://doi.org/10.1080/1359432X.2019.1588251>
- Schwartz, J. E., & Stone, A. A. (1998). Strategies for analyzing ecological momentary assessment data. *Health Psychology, 17*(1), 6–16. <https://doi.org/10.1037/0278-6133.17.1.6>
- Schwerdtfeger, A. R., & Dick, K. (2019). Episodes of momentary resilience in daily life are associated with HRV reductions to stressful operations in firefighters: An ambulatory assessment approach using Bayesian multilevel modeling. *The Journal of Positive Psychology, 14*(5), 593–602. <https://doi.org/10.1080/17439760.2018.1497689>
- Schwerdtfeger, A. R., & Gerteis, A. K. S. (2014). The manifold effects of positive affect on heart rate variability in everyday life: Distinguishing within-person and between-person associations. *Health Psychology, 33*(9), 1065–1073. <https://doi.org/10.1037/hea0000079>
- Searle, B. J., Bright, J. E., & Bochner, S. (1999). Testing the 3-factor model of occupational stress: The impact of demands, control and social support on a mail sorting task. *Work & Stress, 13*(3), 268–279. <https://doi.org/10.1080/026783799296066>
- Simbula, S. (2010). Daily fluctuations in teachers' well-being: A diary study using the job demands-resources model. *Anxiety, Stress, & Coping, 23*(5), 563–584. <https://doi.org/10.1080/10615801003728273>
- Slavich, G. M. (2019). Stressnology: The primitive (and problematic) study of life stress exposure and pressing need for better measurement. *Brain, Behavior, and Immunity, 75*, 3–5. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2018.08.011>
- Snijders, T. A. B., & Bosker, R. J. (2012). *Multilevel analysis: An introduction to basic and advanced multilevel modelling*. Los Angeles: Sage.

- Sonntag, S. (2001). Work, recovery activities, and individual well-being: A diary study. *Journal of Occupational Health Psychology, 6*(3), 196–210. <https://doi.org/10.1037/1076-8998.6.3.196>
- Tadić, M., Bakker, A. B., & Oerlemans, W. G. M. (2015). Challenge versus hindrance job demands and well-being: A diary study on the moderating role of job resources. *Journal of Occupational and Organizational Psychology, 88*(4), 702–725. <https://doi.org/10.1111/joop.12094>
- Thayer, J. F., & Lane, R. D. (2009). Claude Bernard and the heart–brain connection: Further elaboration of a model of neurovisceral integration. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 33*(2), 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2008.08.004>
- Thayer, J. F., Åhs, F., Fredrikson, M., Sollers III, J. J., & Wager, T. D. (2012). A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: Implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 36*(2), 747–756. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.11.009>
- Togo, F., & Takahashi, M. (2009). Heart rate variability in occupational health: A systematic review. *Industrial Health, 47*(6), 589–602. <https://doi.org/10.2486/indhealth.47.589>
- Utsey, S. O., & Hook, J. N. (2007). Heart rate variability as a physiological moderator of the relationship between race-related stress and psychological distress in African Americans. *Cultural Diversity and Ethnic Minority Psychology, 13*(3), 250–253. <https://doi.org/10.1037/1099-9809.13.3.250>
- Vahle-Hinz, T., Bamberg, E., Dettmers, J., Friedrich, N., & Keller, M. (2014). Effects of work stress on work-related rumination, restful sleep, and nocturnal heart rate variability experienced on workdays and weekends. *Journal of Occupational Health Psychology, 19*(2), 217–230. <https://doi.org/10.1037/a0036009>

van der Doef, M., & Maes, S. (1999). The job demand-control (-support) model and psychological well-being: A review of 20 years of empirical research. *Work & Stress*, 13(2), 87–114. <https://doi.org/10.1080/026783799296084>

Warr, P. B. (1990). Decision latitude, job demands, and employee well-being. *Work & Stress*, 4(4), 285–294. <https://doi.org/10.1080/02678379008256991>



### **3 Herzratenvariabilität und Selbstregulation von Klinikpersonal (Publikation II)**

**The interactive effects of heart rate variability and mindfulness on indicators of well-being in healthcare professionals' daily working life**

Regina Franziska Schmid and Joachim Thomas

The Version of Record of this manuscript has been published and is available in:

Schmid, R. F., & Thomas, J. (2021). The interactive effects of heart rate variability and mindfulness on indicators of well-being in healthcare professionals' daily working life. *International Journal of Psychophysiology*, 164, 130–138.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2021.01.012>

This version does not completely fit the Version of Record and is not citable.

It is deposited under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

© 03 February 2021, Elsevier,

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167876021000246?via%3Dihub>

**Abstract**

**Objective:** Heart rate variability (HRV) and mindfulness have been described as correlates of self-regulation and well-being. The goal of the present study was to investigate their interactions from a within-person perspective in the context of work. **Methods:** Applying an ambulatory assessment approach, we studied 89 healthcare professionals across two to four work shifts. Self-reports of momentary job demands, mindfulness, and well-being (as indicated by emotional exhaustion, relaxation, and contentment) were provided three to four times a day via smartphone questionnaires. Electrocardiogram and activity sensors continuously recorded data from the beginning to the end of the shifts. Multilevel models based on 937 measurements were built for emotional exhaustion, relaxation, and contentment. **Results:** After controlling for covariates, including bodily movement, shift, and job demands, short-term HRV was marginally significantly related to decreased emotional exhaustion and significantly related to increased relaxation. State mindfulness was significantly related to decreased emotional exhaustion, and increased relaxation and contentment. Furthermore, HRV and mindfulness significantly interacted such that emotional exhaustion was lowest and relaxation was highest when both HRV and mindfulness were high. **Conclusions:** Together, the findings provide insights into the use of HRV and mindfulness as indexes of psychophysiological regulatory resources that seemingly intensify their respective beneficial effects on the daily well-being of employees.

**Keywords:** ambulatory assessment; heart rate variability; state mindfulness; occupational well-being; emotional exhaustion; relaxation

## 1 Introduction

Employees' well-being has been identified as a key driver of mental and physical health and is considered crucial for generating positive experiences and motivation in the context of work (Bakker & Demerouti, 2017). Healthcare professionals appear to be particularly prone to poor well-being due to high levels of job stress and therefore constitute a frequently studied group in occupational health research (Bria et al., 2012). Another focus within the organizational research is situational fluctuations in well-being: the primary interest is to examine *when* employees feel well rather than *which* of them feels well (Johnston et al., 2016; Ohly et al., 2010).

The following three basic factors of well-being have emerged as particularly variable and important in daily life (Wilhelm & Schoebi, 2007): arousal, calmness, and valence. The first, arousal, represents the momentary energy level. Lower levels of energetic arousal have been linked to exhaustion (Thayer, 1986), and emotional exhaustion, in turn, has received increasing interest in burnout and strain research—particularly with regard to service providers (Maslach & Jackson, 1981). Studies have revealed, for example, that nurses' daily emotional exhaustion correlates with acute physical symptoms and interpersonal conflicts, as well as with situational loss of job satisfaction and commitment (e.g., Che, 2015). Calmness, in contrast, refers to the level of tension vs. relaxation, and valence refers to the affective tone and the feeling of being discontent vs. content. Calmness and relaxation, as well as valence and contentment, have also been widely investigated as descriptions of momentary mood (e.g., Huffziger et al., 2013; Warr, 1990). In the healthcare context, for example, studies have shown that situational peaks in these measures are associated with nurses' energy and engagement at work, with a better collective team mood and team climate, and with perceiving fewer demands and being less irritated (e.g., Baethge & Rigotti, 2015; Riedl & Thomas, 2019; Totterdell et al., 1998). Studies aiming to explore the factors associated with these fluctuations seem pivotal, as they provide important

starting points for interventions to prevent emotional exhaustion and to promote relaxation and contentment. Based on resource-oriented theories of well-being (e.g., Hobfoll, 1989; Hockey, 1993), well-being depends on the availability of resources—particularly physiological and psychological control mechanisms—but demands can deplete these resources and reduce well-being. While ample evidence exists that links caregivers' variations in well-being to momentary job demands (e.g., Baethge & Rigotti, 2015; Johnston et al., 2016; Riedl & Thomas, 2019), daily psychophysiological resources are less understood.

The autonomic nervous system has been suggested to decisively affect various physical and mental health outcomes (Geisler et al., 2010; Thayer et al., 2012). In particular, the vagally mediated regulation of cardiac activity is posited to play an important role in these outcomes (Appelhans & Luecken, 2006; Segerstrom & Nes, 2007). Previous studies have provided evidence that autonomic balance allows flexible and adaptive responses in different life situations (Thayer et al., 2012), thus possibly supporting effective situation management and improving situational well-being. According to the polyvagal theory (Porges, 2001), the neurovisceral integration model (Thayer & Lane, 2009), and the biological behavioral model (Grossman & Taylor, 2007), common network processes exist between the heart and the brain in which the vagus nerve indexes the ability of an organism to meet regulatory demands at both the physiological and psychosociobehavioral levels. Heart rate variability (HRV) is a well-established marker of autonomic functioning—specifically parasympathetic (vagal) activity—and is derived from beat-to-beat variations in an electrocardiogram (ECG) (Malik et al., 1996). Whereas low trait HRV has been linked to a negative mood, depression, and anxiety, high trait HRV has been identified as a stress-buffering variable and significant correlate of resilience, adaptive coping, and emotion regulation (Geisler et al., 2010; Kok & Fredrickson, 2010; Schmid & Thomas, 2020; Thayer et al., 2012). As a state, ambulatory HRV has been suggested to reflect immediate psychophysiological adjustments to contextual requirements and to reflect

dynamics in affective regulatory well-being (Levenson, 2003; McCraty & Zayas, 2014; Porges, 2001; Thayer et al., 2012). Indeed, ambulatory research has linked a low HRV at work to a higher persistence of negative emotions (de Longis et al., 2020) and increased emotional exhaustion (e.g., Collins & Karasek, 2010). High ambulatory HRV, in contrast, was found to be related to positive affectivity in daily life (Bhattacharyya et al., 2008; Schwerdtfeger & Gerteis, 2014; Schwerdtfeger et al., 2015), feeling relaxed (Parker et al., 2020), and feeling satisfied or content at work (Uusitalo et al., 2011).

Similarly, mindfulness is posited to exert salutary and buffering effects on health-related outcomes (e.g., Brown & Ryan, 2003). Mindfulness more precisely constitutes a state that incorporates the open and receptive awareness and attention given to the present moment with respect to environmental, physiological and psychological sensations (Brown & Ryan, 2003). Several researchers have revealed negative correlations between mindfulness and anxiety, stress, and depression and positive correlations with pleasant affect, optimism, satisfaction, performance, and self-esteem (e.g., Brown & Ryan, 2003; Dane, 2011; Hülshager et al., 2013), thus potentially improving well-being. While mindfulness is typically operationalized as a stable trait, several researchers argue that it is inherently a state that may vary over time (e.g., Brown & Ryan, 2003; Good et al., 2016; Hülshager et al., 2013; Huffziger et al., 2013). Notably, mindfulness, by definition, refers to a state-specific and present-focused consciousness of what is occurring in the current moment (Dane, 2011). Indeed, strong empirical evidence exists for within-person differences in mindfulness, which have also been associated with numerous other state variables. For instance, Brown and Ryan (2003) found that both trait and state mindfulness were associated with positive affective states and that state mindfulness was additionally inversely related to negative affective states. Although higher dispositional mindfulness predicted increased situational mindfulness, their effects were statistically independent, which was also replicated by Nezlek et al. (2016) and Weinstein et al.

(2009). State mindful attention was further found to predict momentary decreased emotional exhaustion (Hülshager et al., 2013), increased relaxation (Ding et al., 2019; Huffziger et al., 2013), and contentment (Ding et al., 2019).

Collectively, both variables, i.e., HRV and mindfulness, have been shown to be positively related to health and well-being, both between and within persons. However, one could argue that interactive effects may also exist, particularly at the state level. An interaction between HRV and mindfulness on a situational basis appears reasonable, since they share important conceptual spaces in terms of situational self-regulation. Vagal autonomic dominance, for example, has been linked to improved state physiological regulation (Geisler et al., 2010; McCraty & Zayas, 2014; Segerstrom & Nes, 2007), and mindfulness is associated with enhanced momentary cognitive and emotional regulation (Brown & Ryan, 2003). Research also exists showing that both variables are positively interrelated (Brown et al., 2012; Kadziolka et al., 2016). Based on the psychophysiological regulation model (McCraty & Zayas, 2014), which is built on previous theories (Porges, 2001; Thayer & Lane, 2009), physiological and mental or emotional self-regulation techniques are assumed to be involved in complex neuro-cognitive control mechanisms that are associated with psychophysiological response coherence, which, in turn, has been associated with affective well-being. Hence, HRV and mindfulness, which may reflect these regulatory capacities, could be assumed to be favorably involved in these processes and, in combination, to allow even more adaptive and coherent responses, thus ultimately supporting superior well-being. However, the proposed main and cumulative effects of HRV and mindfulness on state-specific affect might also be derived from the mind-body awareness concept, according to which mindfulness may increase the interoceptive and sensitive awareness of healthy vagal conditions during this process and therefore intensify its beneficial effects on well-being (Brown & Ryan, 2003; Brown et al., 2019; Levenson, 2003; Sze et al., 2010). Thus, given the roles of HRV and mindfulness as

potential indexes of psychophysiological regulation, positive affective states may be most pronounced in situations characterized by both increased vagal activity and mindful attention. Indeed, O'Loughlin and Zuckerman (2008) previously found that trait mindfulness intensified the negative association between physiological functioning and self-reported physical symptoms among students. In addition, Sze et al. (2010) revealed that mindful meditators showed greater similarities among cardiac and emotional reactions than individuals in the control group. However, research on intraindividual associations, particularly in ambulatory work settings, is sparse. Drawing on the highly dynamic environment of healthcare and its situational regulation requirements, more research is needed to study the interactions of present-moment HRV and mindfulness on well-being.

Importantly, although psychophysiological self-control mechanisms are considered decisive for affective well-being, the aforementioned theories also emphasize the role of environmental demands, which should not be neglected in this process. Based on the limited resource models of self-regulation and well-being (Hobfoll, 1989; Hockey, 1993; McCraty & Zayas, 2014; Porges, 2001; Thayer & Lane, 2009), contextual demands trigger self-regulatory efforts and physiological adjustments to meet the demands and subsequently deplete resources and reduce well-being. According to this reasoning, ample empirical support is available for the health-impairment process, postulating a strong relationship between high job demands and losses of health and well-being (e.g., Bakker & Demerouti, 2017). In the healthcare sector, for example, high workload and emotional and social job demands have been described as some of the most costly and detrimental factors contributing to nurses' affective and cardiac well-being (e.g., Bria et al., 2012; Johnston et al., 2016; Riedl & Thomas, 2019). Thus, studies including these confounders would help better interpret the key variables when investigating ambulatory psychophysiological associations.

The present ambulatory assessment study conducted in daily working life aimed to extend these findings by testing the effects of interactions between physiological (HRV) and psychological (mindfulness) markers of regulatory resources on well-being, while controlling for the covarying effects of job demands. Considering the predominantly laboratory-based and between-person research focus (Ganster et al., 2018), we applied a multimethodological within-person approach among healthcare professionals, including nurses, psychologists, and physicians. In particular, we investigated whether 5-minute HRV and state mindfulness exert beneficial and mutually amplifying effects on different facets of well-being (i.e., emotional exhaustion, relaxation, and contentment) when accounting for relevant job demands (i.e., workload, difficult clients, and tensions within the team). Based on resource-oriented theories of well-being (Hobfoll, 1989; Hockey, 1993), as well as psychophysiological self-regulation and coherence models (e.g., Brown & Ryan, 2003; McCraty & Zayas, 2014; Segerstrom & Nes, 2007; Thayer & Lane, 2009), we hypothesized that interactive effects of short-term HRV and state mindfulness on momentary emotional exhaustion, relaxation, and contentment will be observed, such that elevated levels of HRV together with elevated levels of mindfulness will be associated with lower levels of emotional exhaustion and higher levels of relaxation and contentment.

## **2 Methods**

### **2.1 Participants**

The sample consisted of  $N = 89$  (61 female) healthcare professionals from two clinics in southern Germany. Initially, 105 individuals expressed their interest in the study, 97 decided to participate, and 94 of these health professionals ultimately participated in the study. We excluded additional subjects from the analysis because of insufficient data recordings ( $N = 2$ ) and substantial artifacts ( $N = 3$ ). The participants had a mean age of 40.58 years ( $SD = 12.62$ ),



a mean body mass index (BMI) of 26.28 kg/m<sup>2</sup> ( $SD = 5.01$ ), and were employed at least 50% part-time. They had an average professional experience of 18.39 years ( $SD = 13.16$ ) and were employed as nurses ( $N = 62$ ), psychologists ( $N = 12$ ), physicians ( $N = 7$ ), and other professions with direct contact with patients ( $N = 8$ ). Most of the participants worked in the area of psychiatry (63%), followed by forensics (16%), neurology (12%), and psychosomatics (9%). All participants signed an informed consent form and declared that they do not heavily consume tobacco or alcohol, are not excessively physically active and do not have cardiovascular, mental or metabolic diseases or take related medications. Every employee received individual feedback on HRV parameters. The project was approved by the ethics committee of the Catholic University of Eichstätt-Ingolstadt (approval number: 2019/09).

## 2.2 Design and procedure

The ambulatory assessment study consisted of continuous physiological recordings and subjectively rated smartphone state questionnaires during several working shifts. Two clinics were asked if they were willing to participate in the study and both agreed. In addition to oral presentations, we also distributed leaflets in which our research aims were explained. Nonbinding tally sheets were used to record the number of interested employees per ward, and each of the interested individuals subsequently received a study information package that was anonymized through a participant code. The packages contained more detailed written information, a declaration of consent and a timetable in which the employees could enter their preferred working days and times if they intended to participate in the study. The minimum was set to two shifts, which were required to be within the same study week. On Monday morning of the study week, the participants were equipped with individually programmed smartphones and ECG devices, as well as chargers and demographic questionnaires. On the following study

days, they were instructed to carry both the ECG device and the smartphone from the beginning until the end of their shift. After participation, all materials were collected.

Overall, data were available from 282 shifts, including 16 night shifts. On average, each person participated during  $M = 3.17$  shifts ( $SD = 0.76$ ); 19 professionals participated in two shifts, 36 professionals in three shifts and 34 professionals in four shifts. Most of the shifts (44%) lasted 8 h; the average shift length was  $M = 7.95$  h ( $SD = 1.41$ ).

## 2.3 Measures

### 2.3.1 Smartphone state questionnaires

The smartphone questionnaires were generated using the movisensXS application (movisens GmbH, Karlsruhe, Germany). For the majority of shifts (98%), four semi-random time triggers were programmed. In the other 2% of the shifts, only three alarms were sent because the shifts were particularly short in duration (e.g., only 4 h), and we wanted the trigger intervals to be consistent across shifts at approximately 2 h. Relatedly, the average interval between two questionnaires within one shift was  $M = 2.12$  h ( $SD = 0.68$ ). All smartphone questionnaire items were rated on a seven-point Likert scale ranging from “strongly disagree” to “strongly agree”. To focus on situational fluctuations, the questions related to the covariates (job demands) were introduced by “In the past hours” and those related to the key variables (mindfulness and well-being) by “At the moment”.

*Job demands.* Based on job-related and resource-oriented theories of well-being (e.g., Bakker & Demerouti, 2017; Hobfoll, 1989) according to which demands are essentially costly, we included three single items of job demands to account for the potentially most important covariates. Two items were translated and adapted from the Job Demands-Resources Scale (Rothmann et al., 2006) to measure workload (“...I had to be attentive to many things at the same time”) and difficult clients (“...I had contact with difficult patients and relatives”). The

item for tensions within the team (“...there were tensions within the team or with other professions”) was translated and modified from the study by Giebels and Janssen (2005).

*Mindfulness.* We administered the German translation (Michalak et al., 2008) of the Daily Mindfulness Measure (Robinson et al., 2014), which was itself based on Brown and Ryan’s (2003) Mindful Attention and Awareness Scale, to assess situational mindfulness. The three inverse items were “...I do jobs or tasks automatically, without being aware of what I’m doing”, “...I find myself preoccupied with the future or the past” and “...I rush through activities without really being attentive to them”. We further calculated both between- and within-subject reliability by applying generalizability theory (Shrout & Lane, 2012). The results revealed excellent between-subject reliability ( $R_{KR} = 0.93$ ) but debatable within-subject reliability ( $R_C = 0.49$ ), which will be discussed later.

*Well-being.* The outcome variables covered the three basic dimensions of well-being, i.e., energetic arousal, calmness, and valence (Wilhelm & Schoebi, 2007). Given the flexibility of well-being measures according to profession-specific relevance (e.g., Warr, 1990) and their respective empirical support concerning situational fluctuations (e.g., Wilhelm & Schoebi, 2007), we operationalized well-being in terms of three single items for emotional exhaustion, relaxation, and contentment. Emotional exhaustion, as an indicator of energetic arousal (Thayer, 1986), was measured with “...I feel emotionally exhausted” from the German version (Büssing & Perrar, 1992) of the Maslach Burnout Inventory (Maslach & Jackson, 1981). Relaxation and contentment were assessed in terms of two bipolar items that were both reverse-scored and derived from the German short-scale provided by Wilhelm and Schoebi (2007). “...I feel relaxed—tense” quantified relaxation (calmness dimension) and “...I feel content—discontent” quantified contentment (valence dimension).

### 2.3.2 Physiological recordings and data processing

Physiological data were recorded continuously by EcgMove3 and EcgMove4 devices connected to a chest belt with two dry electrodes (movisens GmbH, Karlsruhe, Germany). These devices incorporate an ECG sensor sampling at 1,024 Hz and an activity sensor recording three-dimensional acceleration with a sampling rate of 64 Hz. At the beginning of every shift, the participants attached the device at the height of their sternum and wore it until they left work. Before processing, we performed a visual inspection of the ECG recordings to identify individuals who must be excluded from the analyses due to extraordinary beats or ventricular extrasystoles. Then, the HRV was calculated using the movisens DataAnalyzer (movisens GmbH, Karlsruhe, Germany). The procedures and algorithms, including filtering, artifact detection, R-peak detection, RR interval listing, segmentation, and detrending, are available online (<https://docs.movisens.com/DataAnalyzer/>). Validated and detrended outputs were provided every minute and were related to the means of 2-minute segments, of which the average value was calculated every 30 s. To determine HRV, we chose the root mean squared successive differences (RMSSD), which constitutes a time-domain parameter that is particularly recommended and suitable for analyzing state vagal activity in ambulatory settings (Goedhart et al., 2007; Malik et al., 1996). In pursuing a normal distribution, the parameter was log-transformed (lnRMSSD). As with HRV, we used the movisens DataAnalyzer (movisens GmbH, Karlsruhe, Germany) to compute bodily movement on a minute-by-minute basis as the average movement acceleration across the three axes. Again, we performed a natural logarithmic transformation (ln) to reduce skewness. We matched each smartphone prompt with the 5-minute means of HRV and activity data preceding the alarm to deliver synced physiological and psychological recordings. This duration was selected according to previous recommendations (Malik et al., 1996; Massaro & Pecchia, 2019).

## 2.4 Statistical analyses

We used multilevel models of emotional exhaustion, relaxation, and contentment to account for the hierarchical nature of data, in which assessments (level 1) were nested within persons (level 2). Prior to analyses, the level 1 predictors were person-mean centered (Ohly et al., 2010). We computed linear random intercept models with R (version 3.6.1; R Core Team, 2019) using the “nlme” package in version 3.1–140 (Pinheiro et al., 2019). First, null models and intraclass correlation coefficients (*ICCs*) were calculated. Next, the main (HRV and mindfulness) and interaction (HRV  $\times$  mindfulness) effects were entered. Moreover, we controlled for bodily movement and included shift and job demands (workload, difficult clients, and tensions within the team) as randomly varying covariates, since this approach largely improved the model fits tested using log likelihood ratios (data available on request). Finally, we fitted a continuous autoregressive error structure of order 1 (CAR(1)) that accounts for dependencies between any two observations within individuals by including a time covariate and autocorrelated within-person errors (Schwartz & Stone, 1998). The specification of this covariance structure was reasonable because of the unequally spaced, semi-random assessments. Therefore, our analysis resulted in better model fits (emotional exhaustion:  $\phi = 0.12$ ; relaxation:  $\phi = 0.06$ ; contentment:  $\phi = 0.22$ ). The table presents the final models for all outcomes, as well as chi-square goodness-of-fit tests for stepwise comparisons of the models. Significant interactions were examined online (<http://www.quantpsy.org>; Preacher et al., 2006) by conducting simple slope analyses with conditional values of  $\pm 1 SD_w$  and then illustrated graphically. The alpha level was set to 0.05 (two-sided).

### 3 Results

#### 3.1 Descriptive analyses

Of 1098 smartphone triggers, 937 were answered, 114 were ignored, and 47 were dismissed, resulting in a compliance rate of 85%. On average, 10.53 prompts ( $SD = 3.53$ , range: 3–16) were completed per person. Each subject completed at least two assessments with both valid sensor and smartphone data. For all study variables, we calculated the mean scores, standard deviations, *ICCs*, and within- and between-subject correlations (see Table 1). Because the *ICCs* ranged from 0.13 to 0.65, all variables showed considerable variability within and between individuals, thus justifying the multilevel analysis. Note that for emotional exhaustion, relaxation, contentment, bodily movement, and the three job demands, a higher proportion of the total variance was attributable to situational fluctuations within subjects, whereas for mindfulness and HRV, a slightly higher proportion of the total variance was attributable to between-person differences, which is, however, consistent with previous studies (e.g., Robinson et al., 2014; Schmid & Thomas, 2020).

#### 3.2 Emotional exhaustion

As shown in Table 2, emotional exhaustion was not associated with bodily movement ( $\gamma = 0.06$ ,  $t(766) = 1.02$ ,  $p = .307$ ), but it increased with each shift within the study week ( $\gamma = 0.14$ ,  $t(766) = 2.77$ ,  $p < .01$ ). The job demands did not, however, represent significant covariates (workload:  $\gamma = 0.02$ ,  $t(766) = 0.57$ ,  $p = .572$ ; difficult clients:  $\gamma = 0.07$ ,  $t(766) = 1.68$ ,  $p = .094$ ; tensions within the team:  $\gamma = 0.10$ ,  $t(766) = 1.47$ ,  $p = .141$ ). Momentary HRV ( $\gamma = -0.23$ ,  $t(766) = -1.79$ ,  $p = .074$ ) marginally predicted and state mindfulness ( $\gamma = -0.31$ ,  $t(766) = -5.35$ ,  $p < .01$ ) significantly predicted diminished levels of exhaustion. The analyses also revealed a significant effect of the interaction between HRV and mindfulness on emotional exhaustion ( $\gamma = -0.34$ ,  $t(766) = -2.03$ ,  $p < .05$ ), which is plotted in Figure 1. Supporting our

Table 1. Descriptive statistics and correlations among the measured variables.

Variable	<i>M</i>	<i>SD<sub>w</sub></i>	<i>SD<sub>b</sub></i>	<i>ICC</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Emotional exhaustion	2.48	1.30	0.97	0.36		-0.29**	-0.32**	0.10**	0.13**	0.09**	0.05	-0.04	-0.22**
2 Relaxation	4.92	1.17	0.97	0.41	-0.63**		0.44**	-0.23**	-0.16**	-0.11**	-0.07*	0.07	0.19**
3 Contentment	5.44	1.16	0.87	0.36	-0.71**	0.78**		-0.04	-0.12**	-0.12**	-0.05	0.03	0.14**
4 Workload	3.72	1.41	1.09	0.37	0.37**	-0.44**	-0.34**		0.37**	0.07*	0.06	-0.02	-0.24**
5 Difficult clients	2.74	1.57	1.05	0.31	0.39**	-0.34**	-0.40**	0.47**		0.12**	0.05	0.08*	-0.17**
6 Tensions within the team	1.58	1.03	0.53	0.21	0.34**	-0.41**	-0.46**	0.33**	0.43**		0.00	0.04	-0.16**
7 Bodily movement	-3.23	0.95	0.36	0.13	0.02	0.01	-0.02	0.20	0.24*	0.04		-0.21**	-0.05
8 HRV (lnRMSSD)	3.14	0.36	0.49	0.65	0.03	0.11	0.05	-0.31**	-0.10	0.16	-0.21		-0.01
9 Mindfulness	5.91	0.78	0.85	0.54	-0.55**	0.61**	0.61**	-0.49**	-0.39**	-0.53**	-0.10	-0.04	

Notes:  $N_2$  (persons) = 89,  $N_1$  (assessments) = 937.  $SD_w$  = within-person standard deviation.  $SD_b$  = between-person standard deviation.  $ICC$  = intraclass correlation coefficient. Correlations above the diagonal are level 1 correlations, and those below the diagonal are level 2 correlations that rely on aggregated data. HRV = heart rate variability. lnRMSSD = log-transformed root mean squared successive differences. \*\*  $p < .01$ . \*  $p < .05$ .

Table 2. Multilevel models predicting emotional exhaustion, relaxation, and contentment.

Fixed effects	Emotional exhaustion			Relaxation			Contentment		
	Estimate (SE)	df	t p	Estimate (SE)	df	t p	Estimate (SE)	df	t p
Intercept	2.19 (0.14)	766	15.36 < .001**	4.97 (0.14)	766	35.19 < .001**	5.63 (0.15)	766	37.42 < .001**
Bodily movement	0.06 (0.06)	766	1.02 .307	-0.04 (0.05)	766	-0.82 .414	-0.01 (0.05)	766	-0.16 .869
Shift	0.14 (0.05)	766	2.77 .006**	-0.02 (0.05)	766	-0.51 .613	-0.10 (0.06)	766	-1.84 .067
Workload	0.02 (0.04)	766	0.57 .572	-0.12 (0.03)	766	-3.86 < .001**	0.04 (0.04)	766	1.12 .262
Difficult clients	0.07 (0.04)	766	1.68 .094	-0.04 (0.03)	766	-1.27 .204	-0.07 (0.03)	766	-1.96 .050*
Tensions within the team	0.10 (0.06)	766	1.47 .141	-0.11 (0.04)	766	-2.60 .010**	-0.21 (0.04)	766	-4.72 < .001**
HRV (lnRMSSD)	-0.23 (0.13)	766	-1.79 .074	0.26 (0.11)	766	2.28 .023*	0.17 (0.11)	766	1.49 .138
Mindfulness	-0.31 (0.06)	766	-5.35 < .001**	0.18 (0.05)	766	3.32 < .001**	0.15 (0.05)	766	2.85 .005**
HRV × mindfulness	-0.34 (0.17)	766	-2.03 .043*	0.35 (0.15)	766	2.26 .024*	0.22 (0.15)	766	1.53 .128
Random effects variances									
	Estimate (SD)			Estimate (SD)			Estimate (SD)		
Intercept	0.70 (0.83)			0.91 (0.96)			0.96 (0.98)		
Shift	0.01 (0.12)			0.02 (0.14)			0.07 (0.27)		
Workload	0.00 (0.06)			0.00 (0.05)			0.02 (0.15)		
Difficult clients	0.07 (0.26)			0.01 (0.12)			0.03 (0.16)		
Tensions within the team	0.10 (0.31)			0.00 (0.03)			0.02 (0.14)		
Model comparison									
	Null model	Main effects and interaction model	CAR(1) model	Null model	Main effects and interaction model	CAR(1) model	Null model	Main effects and interaction model	CAR(1) model
$\sigma^2$	1.69	1.33	1.37	1.38	1.10	1.18	1.34	1.04	1.14
$\tau_{00}$	0.94	0.74	0.70	0.94	1.00	0.91	0.76	1.27	0.96
-2* LL	3275.44	2978.20	2972.62	3104.43	2829.90	2827.66	3063.69	2787.06	2766.16
$\chi^2$		297.24**	5.58*		274.53**	2.24		276.63**	20.90**
df		22	1		22	1		22	1

Notes:  $N_2$  (persons) = 89,  $N_1$  (assessments) = 937. HRV = heart rate variability. lnRMSSD = log-transformed root mean squared successive differences. CAR(1) = continuous autoregressive error structure of order 1. \*\*  $p < .01$ . \*  $p < .05$ .



hypotheses, the simple slope analyses indicated a strong negative association between momentary HRV and exhaustion in situations where the participants reported elevated levels of mindfulness (1  $SD_w$  above the mean;  $\omega = -0.49$ ,  $z = -2.75$ ,  $p < .01$ ), but this association decreased ( $\omega = 0.04$ ,  $z = 0.22$ ,  $p = .826$ ) whenever employees' mindfulness was lower than usual (1  $SD_w$  below the mean). As predicted, having a HRV together with being attuned to one's present moment helped individuals feel less exhausted.

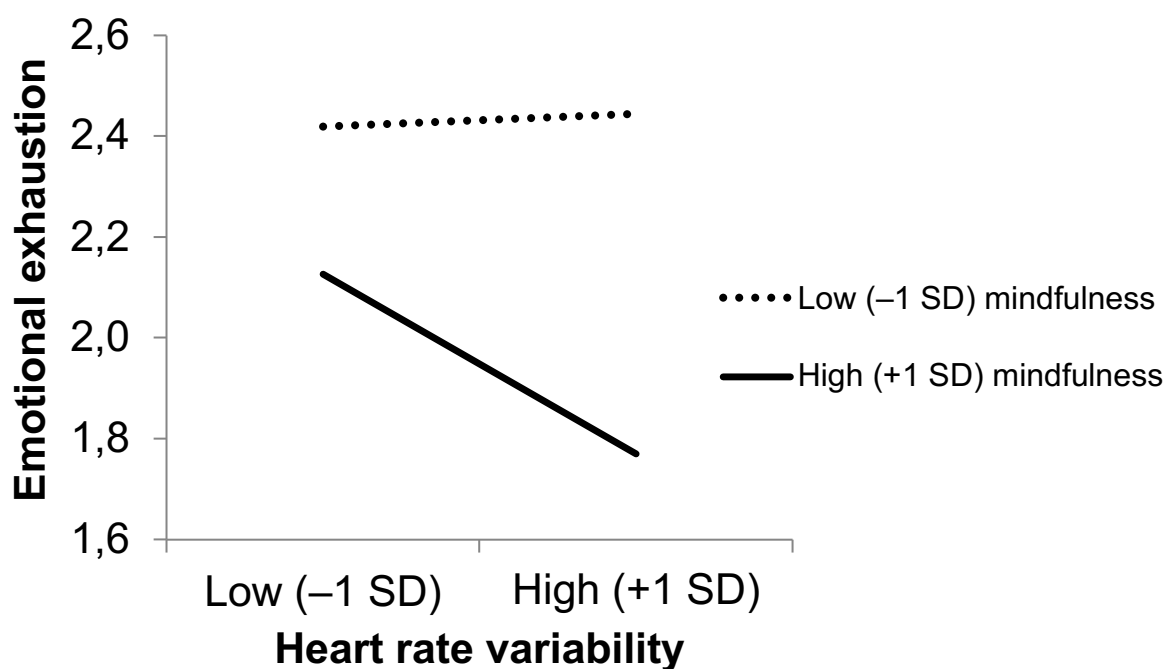


Figure 1. Effect of the interaction between heart rate variability and mindfulness on emotional exhaustion.

### 3.3 Relaxation

Relaxation (Table 2) was neither associated with bodily movement ( $\gamma = -0.04$ ,  $t(766) = -0.82$ ,  $p = .414$ ) nor with the shift ( $\gamma = -0.02$ ,  $t(766) = -0.51$ ,  $p = .613$ ). Workload ( $\gamma = -0.12$ ,  $t(766) = -3.86$ ,  $p < .01$ ) and social tensions within the team ( $\gamma = -0.11$ ,  $t(766) = -2.60$ ,  $p < .01$ ) were significantly and inversely related to relaxation, indicating lower levels of relaxation when

participants were involved in multitasking or conflictual situations; however difficult clients were not associated with relaxation ( $\gamma = -0.04$ ,  $t(766) = -1.27$ ,  $p = .204$ ). Being relaxed at work was also accompanied by higher levels of state HRV ( $\gamma = 0.26$ ,  $t(766) = 2.28$ ,  $p < .05$ ) and state mindfulness ( $\gamma = 0.18$ ,  $t(766) = 3.32$ ,  $p < .01$ ). The moderator analysis again revealed a significant interaction between HRV and mindfulness ( $\gamma = 0.35$ ,  $t(766) = 2.26$ ,  $p < .05$ ). Consistent with our hypotheses, the conditional analyses showed that HRV was not related to relaxation ( $\omega = 0.01$ ,  $z = 0.08$ ,  $p = .940$ ) under conditions of low mindfulness ( $-1 SD_w$ ), while the positive relation between HRV and relaxation increased ( $\omega = 0.53$ ,  $z = 3.22$ ,  $p < .01$ ) under conditions of high mindfulness ( $+1 SD_w$ ). Hence, the combination of having a high HRV and being fully aware of the current state was associated with the highest levels of relaxation (Figure 2).

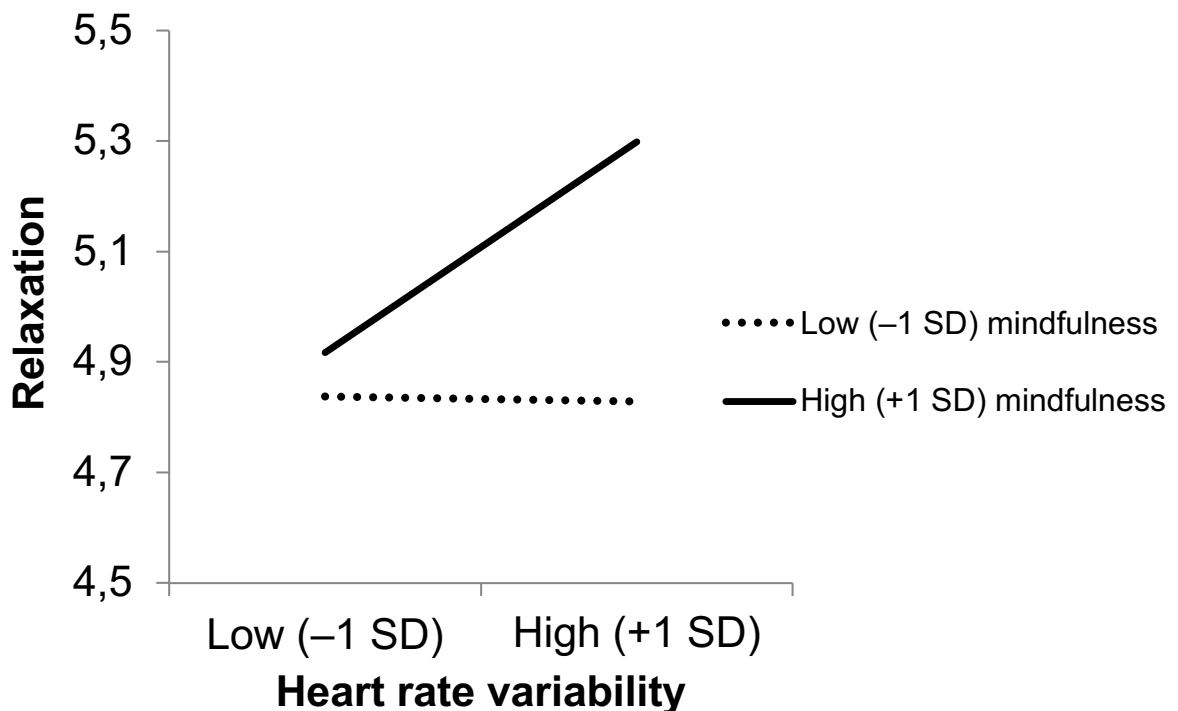


Figure 2. Effect of the interaction between heart rate variability and mindfulness on relaxation.

### 3.4 Contentment

The calculations for contentment (Table 2) yielded nonsignificant associations with bodily movement ( $\gamma = -0.01$ ,  $t(766) = -0.16$ ,  $p = .869$ ), shift ( $\gamma = -0.10$ ,  $t(766) = -1.84$ ,  $p = .067$ ), and workload ( $\gamma = 0.04$ ,  $t(766) = 1.12$ ,  $p = .262$ ), but significant negative associations with difficult clients ( $\gamma = -0.07$ ,  $t(766) = -1.96$ ,  $p < .05$ ) and tensions within the team ( $\gamma = -0.21$ ,  $t(766) = -4.72$ ,  $p < .01$ ). While HRV was not associated with employees' contentment ( $\gamma = 0.17$ ,  $t(766) = 1.49$ ,  $p = .138$ ), moments of mindfulness were related to temporarily increased contentment experiences ( $\gamma = 0.15$ ,  $t(766) = 2.85$ ,  $p < .01$ ). However, unexpectedly, the effect of the interaction between HRV and mindfulness on contentment did not reach significance ( $\gamma = 0.22$ ,  $t(766) = 1.53$ ,  $p = .128$ ).

### 3.5 Further analyses

It could be hypothesized that these findings are distorted by demographic characteristics that are strongly intercorrelated with HRV, i.e., age, sex, and BMI (Massaro & Pecchia, 2019). We therefore centered age and BMI (level 2) around the grand mean (Ohly et al., 2010) and conducted further analyses that included these additional covariates. However, no changes in exhaustion and contentment were observed, and only two new effects were found for relaxation, i.e., a main effect of sex with reduced relaxation levels for females ( $\gamma = -0.67$ ,  $t(84) = -2.70$ ,  $p < .01$ ) and a negative relationship between difficult clients and relaxation ( $\gamma = -0.06$ ,  $t(766) = -1.98$ ,  $p < .05$ ). However, these findings are not primarily relevant to the present research question, and the results for the main and interaction effects were essentially the same, which is why we decided not to add them to the final model to avoid overfitting (Nezlek, 2011). The results are available from the authors upon request.

Additionally, it could be argued that the interactive effect of HRV and mindfulness on well-being is particularly important when high job demands are present. To test this hypothesis,

we included three-way interactions between job demands (workload, difficult clients, and tensions within the team), HRV, and mindfulness in each of the three models. However, support for this assumption was not obtained, since all three-way interaction terms were nonsignificant (again, data are available on request). Nevertheless, the results for these higher order interactions should be interpreted with caution, as the limited statistical power due to the sample size might have played a role.

#### **4 Discussion**

Aiming to obtain a deeper understanding of the interactive association between vagally mediated HRV and mindfulness on well-being from a real-life and real-time perspective, the present ambulatory assessment study analyzed healthcare professionals' physiological and psychological response patterns while they performed their routine hospital activities. Short-term measures were simultaneously derived from ECG recordings and smartphone questionnaires at multiple semi-random occasions. Building on findings of resource-oriented and self-regulatory well-being (e.g., Brown & Ryan, 2003; Hobfoll, 1989; Levenson, 2003; McCraty & Zayas, 2014; Segerstrom & Nes, 2007), we hypothesized that temporarily increased HRV and mindfulness are associated with lower emotional exhaustion and higher relaxation and contentment, particularly when high HRV and high mindfulness are combined. After accounting for several covariates, the expected interactions between HRV and mindfulness were observed for emotional exhaustion and relaxation, but not for contentment. Considering the vast majority of laboratory-based and between-person methods used in psychophysiological research (Ganster et al., 2018), we add to the literature by presenting intraindividual field data that elucidate beneficial and mutually amplifying effects of state HRV and mindfulness on occupational well-being.

Our study found that situations with elevated vagal activity were accompanied by marginally significantly lower levels of exhaustion and significantly higher levels of relaxation. By focusing on the clear and unambiguous relaxation effect, this finding converges with relevant theories on the positive connection between vagal and emotional or affective regulation (e.g., Appelhans & Luecken, 2006; Thayer & Lane, 2009). The result also conforms with previous studies linking increased HRV to healthy physical and mental well-being (e.g., Geisler et al., 2010; Thayer et al., 2012), decreased exhaustion (e.g., Collins & Karasek, 2010), and increased relaxation (e.g., Parker et al., 2020). Both the physiological and psychological states appear to mutually represent how well one can deal with the current situation or how much one is struggling to adapt to it (Thayer & Lane, 2009). A high HRV and relaxation, for example, may therefore reflect the status of the other parameter in a person's psychophysiological balance and homeostatic regulation. Notably, this coherence is considered functional in helping to coordinate the response systems appropriately and efficiently responding to environmental demands (Brown et al., 2019; Sze et al., 2010). Importantly, even a transient vagal withdrawal, a high momentary exhaustion or a low situational relaxation level are not necessarily negative. Rather, they may also indicate adaptive changes necessary in every psychophysiological (stress) response, allowing the organism to deploy energy and manage the situation. These conditions may be associated with poor health and mortality only if they persist chronically in the long term (e.g., Malik et al., 1996).

The question of why changes in HRV were completely unrelated to changes in feeling content requires further attention. Although our hypotheses were built on previous evidence (Uusitalo et al., 2011; Zhu et al., 2019), many studies have paralleled our nonsignificant result (e.g., Gruber et al., 2015). One feasible explanation for this finding is that not all facets of well-being are automatically equally positively associated with HRV (e.g., Levenson, 2003). For instance, Duarte and Pinto-Gouveia (2017), and Schwerdtfeger and Gerteis (2014) proposed

that only deactivating positive affect in terms of calmness, quiescence, and peacefulness may be associated with vagal dominance, whereas activating positive affect in terms of excitement, enthusiasm, and approach motivation may be associated with vagal withdrawal—or possibly sympathetic contributions, which, however, are not necessarily maladaptive responses, as mentioned above. Our results appear to be compatible with this hypothesis because our relaxation item may have covered the soothing state to a greater extent, while the contentment item may have covered the excited state to a greater extent. The state of being content vs. discontent may be more strongly related to the subjective evaluation of and the satisfaction with a given situation than to certain bodily characteristics. Another possibility for the lack of support may be an underlying quadratic relationship between vagal tone and contentment (Duarte & Pinto-Gouveia, 2017; Gruber et al., 2015). Undoubtedly, these possibilities complicate the view of a purely positive association between HRV and well-being and emphasizes the necessity of future studies to obtain insights into the vagal concomitants of different states of mind.

Concerning state mindfulness, our results revealed beneficial within-person effects on all three facets of well-being. Working with a focused awareness and clarity of the present experience was related to feeling less exhausted and more relaxed and content, which supports the findings of previous research linking state mindfulness to healthy well-being (Brown & Ryan, 2003), decreased emotional exhaustion (Hülshager et al., 2013), and increased relaxation and contentment (Ding et al., 2019; Huffziger et al., 2013). The regulatory and mindful focus appeared to help the hospital workers to view external work events separately from their own inner reactions, to be less distracted by problems in the future or past, and to accept the current moment non-judgmentally as it is, which may have supported better situational well-being (Brown & Ryan, 2003; Good et al., 2016; Schmid & Thomas, 2019).

Notably, momentary well-being was not only solely related to the vagal activity or the mindful attention in a given situation but also importantly to their respective interaction. Episodes in which participants showed exceptionally high levels of both vagal and mindful activity were associated with the lowest exhaustion and the highest relaxation perceptions. Participants who were situationally able to autonomically and mindfully control their physiology, cognitions, emotions, and behavior appeared to benefit from doubled self-regulation capacities, which, in turn, may have been associated with even better adaptations to current circumstances and, ultimately, with the highest qualities of well-being. This finding is consistent with theoretical concepts and empirical investigations of HRV and mindfulness (e.g., Brown & Ryan, 2003; McCraty & Zayas, 2014; Segerstrom & Nes, 2007), suggesting that both variables may be indexes of self-regulatory resources and control mechanisms that are considered decisive for maintaining well-being (Hobfoll, 1989; Hockey, 1993). From a body awareness and coherence perspective, the interactions might also be interpreted in terms of the greater interoceptive sensitivity to somatic cues, which is attributed to mindfulness (Brown & Ryan, 2003; Brown et al., 2019; O’Loughlin & Zuckerman, 2008; Sze et al., 2010). Hence, mindful qualities throughout the day may have helped the employees become more aware of their *vagal* well-being, which, in turn, may have promoted coherent *affective* well-being (although, notably, mindfulness and bodily or interoceptive awareness are different aspects that are complexly intertwined; Sze et al., 2010). Exhaustion and relaxation obviously share a genuine physiological component, on which people inevitably must reflect when regulating their emotions, and mindfulness may have increased the knowledge of this information. However, further tests of these interpretations constitute a valuable research aim in the future.

The lack of evidence for the interaction effect between HRV and mindfulness on contentment also requires further discussion. A potential explanation may again be found in the assumption that the vagal concomitants of contentment are generally not as consistent and

positive as, for example, those of relaxation (see Duarte & Pinto-Gouveia, 2017). One hypothesis is that the interactive effects of HRV and mindfulness may only become evident under clearly vagus-based affective states where the capacity to actively attend to organismic sensations can draw on characteristic physiological patterns. Another explanation might be found in the descriptive statistics of contentment and mindfulness. Both variables are characterized by rather high mean values and attenuated variances. The generally higher levels of contentment in daily life may have increased the difficulty of detecting increases in contentment in situations where both HRV and mindfulness were high. However, these notions are, again, interpretive, and more research is warranted to support them.

Our findings have essential implications for scientific approaches. First, substantial within-subject variations in all measures were captured in the daily work context, which stresses the importance of investigating fluctuations over time. Second, the naturalistically occurring changes in workplace well-being might be explained by the momentary vagal tone and state mindfulness, as well as their respective interactions. Untangling the vagal and mindful concomitants of affective well-being will add important knowledge about intraindividual processes, which are relevant for theoretically and empirically extending theories of psychophysiological self-regulation and well-being (e.g., Brown et al., 2019; Hobfoll, 1989; Hockey, 1993; McCraty & Zayas, 2014; Segerstrom & Nes, 2007). Third, as illustrated by our covariates, researchers should carefully assess confounding factors in ambulatory research, as this may enhance the ecological validity and generalizability of psychophysiological results (Ganster et al., 2018; Massaro & Pecchia, 2019; Ohly et al., 2010).

When translating the findings into practical recommendations for the workplace, two causal pathways should be acknowledged, as both appear plausible based on our correlational study. First, given the assumption that HRV and mindfulness causally influence well-being, programs designed to increase cardiac flexibility and mindful awareness appear to be promising



for promoting well-being. Trainings based on coherence (McCraty & Zayas, 2014), HRV biofeedback (Zhu et al., 2019), and mindful, interoceptive or body awareness (Sze et al., 2010) may be helpful in this pathway. Second, given the assumption that well-being potentially affects HRV and mindfulness in a particular moment, interventions focusing on improving well-being appear appropriate for promoting heightened HRV and mindfulness. Self-induced positive affective states, for instance, may be useful in this regard (McCraty et al., 1995). As the question of directivity remains unclear, future applications designed to examine whether multidimensional strategies that combine all these attempts may prove superior would also be interesting.

Our study also has some shortcomings. First, the assessments were restricted to working hours. Since this approach hampers the generalizability of the current results to off-job time, extending the data collection period to contexts and populations outside work would be a fruitful approach in the future. For example, long-term HRV recordings collected over 48 h (e.g., Schmid & Thomas, 2020) would allow conclusions to be drawn about diverse conditions, including work and rest. The second restriction concerns our measures. Although the use of single items is recommended in ambulatory settings, this approach has also been criticized (Ohly et al., 2010). However, regarding the already high work pressure in clinical settings and the already high participant burden due to wearing sensors, minimal short instruments were assumed to be the only practicable solution to achieve adequate compliance. We also must admit that the only multi-item scale we used, the mindfulness measure, showed low reliability at the within-person level. Although we acknowledge this limitation, it is a validated scale for which similar reliabilities were found in the original study (Robinson et al., 2014). In addition, Nezlek (2011, 2017) states that values of approximately 0.50 are not unusual in hierarchical datasets and that more liberal criteria should be applied at the within-person level than at the between-person level because of the possibly lower homogeneity in daily life. Nevertheless, we

recommend interpreting our results with caution and encourage future studies to focus on more appropriate instruments. One idea would be to consider multidimensional measures of state mindfulness and investigate its different cognitive, attentional and experiential dimensions in order to elucidate which of these foci are decisively involved in the moderating effect. Third, our study focused on the interaction between HRV and mindfulness and considered job demands only as confounders. As job demands constitute robust predictors of well-being (e.g., Bakker & Demerouti, 2017), future studies examining three-way interactions between various demands, HRV, and mindfulness would promote a better understanding of the role of demanding contexts in these relations (although the current study does not support this finding). Furthermore, dispositional traits, such as neuroticism (e.g., Ode et al., 2010), may also serve as confounders or moderators of these relationships. Future research should therefore address further third variables to test whether or in which way they influence the present results. The final limitation refers to the correlational nature of our study. As already noted above, one cannot conclude that HRV and mindfulness result in well-being because the reverse path or even reciprocal influences might also be true. Many published studies employed cross-sectional designs that preclude any causal interpretations (e.g., Geisler et al., 2010; Schwerdtfeger & Gerteis, 2014). Hence, future studies with longitudinal designs and clear directivity would be of great interest (e.g., Kok & Fredrickson, 2010).

In summary, the present ambulatory assessment study highlights the value of investigating real-time fluctuations in vagal tone, mindful attention and affective well-being at work. We were able to show that health professionals' phasic HRV and state mindfulness measured across several shifts exerted mutually amplifying effects on being less exhausted and more relaxed, but not on being content. Contributing to the growing body of ambulatory psychophysiological research, this study strengthens the respective but also interactive salutary role of vagal and mindful self-regulation in the exploration of momentary occupational well-

being. We provide preliminary impulses for HRV- and mindfulness-based interventions that may comprehensively foster well-being during daily work, but additional studies devoted to examining clear causality, different contexts and populations, as well as other third variables and multifaceted mindfulness measures would help strengthen this evidence.

## References

- Appelhans, B. M., & Luecken, L. J. (2006). Heart rate variability as an index of regulated emotional responding. *Review of General Psychology, 10*(3), 229–240. <https://doi.org/10.1037/1089-2680.10.3.229>
- Baethge, A., & Rigotti, T. (2015). Three-way interactions among interruptions/multitasking demands, occupational age, and alertness: A diary study. *Work, Aging and Retirement, 1*(4), 393–410. <https://doi.org/10.1093/workar/wav014>
- Bakker, A. B., & Demerouti, E. (2017). Job demands-resources theory: Taking stock and looking forward. *Journal of Occupational Health Psychology, 22*(3), 273–285. <https://doi.org/10.1037/ocp0000056>
- Bhattacharyya, M. R., Whitehead, D. L., Rakhit, R., & Steptoe, A. (2008). Depressed mood, positive affect, and heart rate variability in patients with suspected coronary artery disease. *Psychosomatic Medicine, 70*(9), 1020–1027. <https://doi.org/10.1097/PSY.0b013e318189afcc>
- Bria, M., Băaban, A., & Dumitrașcu, D. L. (2012). Systematic review of burnout risk factors among European healthcare professionals. *Cognition, Brain, Behavior, 16*(3), 423–452.
- Brown, K. W., & Ryan, R. M. (2003). The benefits of being present: Mindfulness and its role in psychological well-being. *Journal of Personality and Social Psychology, 84*(4), 822–848. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.84.4.822>

- Brown, K. W., Weinstein, N., & Creswell, J. D. (2012). Trait mindfulness modulates neuroendocrine and affective responses to social evaluative threat. *Psychoneuroendocrinology*, 37(12), 2037–2041. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2012.04.003>
- Brown, C. L., van Doren, N., Ford, B. Q., Mauss, I. B., Sze, J. W., & Levenson, R. W. (2019). Coherence between subjective experience and physiology in emotion: Individual differences and implications for well-being. *Emotion*, 20(5), 818–829. <https://doi.org/10.1037/emo0000579>
- Büssing, A., & Perrar, K.-M. (1992). Measuring burnout: A study of a German version of the Maslach Burnout Inventory (MBI-D). *Diagnostica*, 38(4), 328–353.
- Che, X. (2015). *Effects of occupational stressors on nurses' safety performance and well-being: A within-individual study*. (Doctoral dissertation). University of South Florida, Tampa, Florida. <http://scholarcommons.usf.edu/etd/5665>
- Collins, S., & Karasek, R. (2010). Reduced vagal cardiac control variance in exhausted and high strain job subjects. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 23(3), 267–278. <https://doi.org/10.2478/v10001-010-0023-6>
- Dane, E. (2011). Paying attention to mindfulness and its effects on task performance in the workplace. *Journal of Management*, 37(4), 997–1018. <https://doi.org/10.1177/0149206310367948>
- de Longis, E., Alessandri, G., & Ottaviani, C. (2020). Inertia of emotions and inertia of the heart: Physiological processes underlying inertia of negative emotions at work. *International Journal of Psychophysiology*, 155, 210–218. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2020.06.007>

- Ding, X., Du, J., Zhou, Y., An, Y., Xu, W., & Zhang, N. (2019). State mindfulness, rumination, and emotions in daily life: An ambulatory assessment study. *Asian Journal of Social Psychology, 22*(4), 369–377. <https://doi.org/10.1111/ajsp.12383>
- Duarte, J., & Pinto-Gouveia, J. (2017). Positive affect and parasympathetic activity: Evidence for a quadratic relationship between feeling safe and content and heart rate variability. *Psychiatry Research, 257*, 284–289. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2017.07.077>
- Ganster, D. C., Crain, T. L., & Brossoit, R. M. (2018). Physiological measurement in the organizational sciences: A review and recommendations for future use. *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior, 5*, 267–293. <https://doi.org/10.1146/annurev-orgpsych-032117-104613>
- Geisler, F. C., Vennwald, N., Kubiak, T., & Weber, H. (2010). The impact of heart rate variability on subjective well-being is mediated by emotion regulation. *Personality and Individual Differences, 49*(7), 723–728. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2010.06.015>
- Giebels, E., & Janssen, O. (2005). Conflict stress and reduced well-being at work: The buffering effect of third-party help. *European Journal of Work and Organizational Psychology, 14*(2), 137–155. <https://doi.org/10.1080/13594320444000236>
- Goedhart, A. D., van der Sluis, S., Houtveen, J. H., Willemsen, G., & de Geus, E. J. (2007). Comparison of time and frequency domain measures of RSA in ambulatory recordings. *Psychophysiology, 44*(2), 203–215. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2006.00490.x>
- Good, D. J., Lyddy, C. J., Glomb, T. M., Bono, J. E., Brown, K. W., Duffy, M. K., Baer, R. A., Brewer, J. A., & Lazar, S. W. (2016). Contemplating mindfulness at work: An integrative review. *Journal of Management, 42*(1), 114–142. <https://doi.org/10.1177/0149206315617003>

- 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. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2005.11.014>
- Gruber, J., Mennin, D. S., Fields, A., Purcell, A., & Murray, G. (2015). Heart rate variability as a potential indicator of positive valence system disturbance: A proof of concept investigation. *International Journal of Psychophysiology*, *98*(2), 240–248. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2015.08.005>
- Hobfoll, S. E. (1989). Conservation of resources: A new attempt at conceptualizing stress. *American Psychologist*, *44*(3), 513–524. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.44.3.513>
- Hockey, G. R. J. (1993). Cognitive-energetical control mechanisms in the management of work demands and psychological health. In A. Baddeley & L. Weiskrantz (Eds.), *Attention: Selection, awareness, and control* (pp. 328–345). Oxford, UK: Clarendon Press.
- Hülshager, U. R., Alberts, H. J., Feinholdt, A., & Lang, J. W. (2013). Benefits of mindfulness at work: The role of mindfulness in emotion regulation, emotional exhaustion, and job satisfaction. *Journal of Applied Psychology*, *98*(2), 310–325. <https://doi.org/10.1037/a0031313>
- Huffziger, S., Ebner-Priemer, U., Eisenbach, C., Koudela, S., Reinhard, I., Zamoscik, V., Kirsch, P., & Kuehner, C. (2013). Induced ruminative and mindful attention in everyday life: An experimental ambulatory assessment study. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, *44*(3), 322–328. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2013.01.007>
- Johnston, D., Bell, C., Jones, M., Farquharson, B., Allan, J., Schofield, P., Ricketts, I., & Johnston, M. (2016). Stressors, appraisal of stressors, experienced stress and cardiac response: A real-time, real-life investigation of work stress in nurses. *Annals of Behavioral Medicine*, *50*(2), 187–197. <https://doi.org/10.1007/s12160-015-9746-8>

- Kadziolka, M. J., Di Pierdomenico, E. A., & Miller, C. J. (2016). Trait-like mindfulness promotes healthy self-regulation of stress. *Mindfulness*, 7(1), 236–245. <https://doi.org/10.1007/s12671-015-0437-0>
- Kok, B. E., & Fredrickson, B. L. (2010). Upward spirals of the heart: Autonomic flexibility, as indexed by vagal tone, reciprocally and prospectively predicts positive emotions and social connectedness. *Biological Psychology*, 85(3), 432–436. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2010.09.005>
- Levenson, R. W. (2003). Autonomic specificity and emotion. In R. J. Davidson, K. R. Scherer & H. Hill Goldsmith (Eds.), *Handbook of affective sciences* (pp. 212–224). Oxford, UK: Oxford University Press.
- Malik, M., Bigger, J. T., Camm, A. J., Kleiger, R. E., Malliani, A., Moss, A. J., & Schwartz, P. J. (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 Electrophysiology. *European Heart Journal*, 17(3), 354–381. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a014868>
- Maslach, C., & Jackson, S. E. (1981). The measurement of experienced burnout. *Journal of Occupational Behaviour*, 2(2), 99–113. <https://doi.org/10.1002/job.4030020205>
- Massaro, S., & Pecchia, L. (2019). Heart rate variability (HRV) analysis: A methodology for organizational neuroscience. *Organizational Research Methods*, 22(1), 354–393. <https://doi.org/10.1177/1094428116681072>
- McCraty, R., & Zayas, M. A. (2014). Cardiac coherence, self-regulation, autonomic stability, and psychosocial well-being. *Frontiers in Psychology*, 5, 1090. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01090>
- McCraty, R., Atkinson, M., Tiller, W. A., Rein, G., & Watkins, A. D. (1995). The effects of emotions on short-term power spectrum analysis of heart rate variability. *American*

*Journal of Cardiology*, 76(14), 1089–1093. [https://doi.org/10.1016/S0002-9149\(99\)80309-9](https://doi.org/10.1016/S0002-9149(99)80309-9)

Michalak, J., Heidenreich, T., Ströhle, G., & Nachtigall, C. (2008). Die deutsche Version der Mindful Attention and Awareness Scale (MAAS): Psychometrische Befunde zu einem Achtsamkeitsfragebogen [The German version of the Mindful Attention and Awareness Scale (MAAS): Psychometric findings of a mindfulness questionnaire]. *Zeitschrift für Klinische Psychologie und Psychotherapie*, 37(3), 200–208. <https://doi.org/10.1026/1616-3443.37.3.200>

Nezlek, J. B. (2011). *Multilevel modeling for social and personality psychology*. Los Angeles, LA: Sage.

Nezlek, J. B. (2017). A practical guide to understanding reliability in studies of within-person variability. *Journal of Research in Personality*, 69, 149–155. <https://doi.org/10.1016/j.jrp.2016.06.020>

Nezlek, J. B., Holas, P., Rusanowska, M., & Krejtz, I. (2016). Being present in the moment: Event-level relationships between mindfulness and stress, positivity, and importance. *Personality and Individual Differences*, 93, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2015.11.031>

O’Loughlin, R. E., & Zuckerman, M. (2008). Mindfulness as a moderator of the relationship between dehydroepiandrosterone and reported physical symptoms. *Personality and Individual Differences*, 44(5), 1193–1202. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2007.11.013>

Ode, S., Hilmert, C. J., Zielke, D. J., & Robinson, M. D. (2010). Neuroticism’s importance in understanding the daily life correlates of heart rate variability. *Emotion*, 10(4), 536–543. <https://doi.org/10.1037/a0018698>



- Ohly, S., Sonnentag, S., Niessen, C., & Zapf, D. (2010). Diary studies in organizational research. *Journal of Personnel Psychology, 9*(2), 79–93. <https://doi.org/10.1027/1866-5888/a000009>
- Parker, S. L., Sonnentag, S., Jimmieson, N. L., & Newton, C. J. (2020). Relaxation during the evening and next-morning energy: The role of hassles, uplifts, and heart rate variability during work. *Journal of Occupational Health Psychology, 25*(2), 83–98. <https://doi.org/10.1037/ocp0000155>
- Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S., Sarkar, D., & R Core Team (2019). *nlme: Linear and nonlinear mixed effects models. R package version 3.1–141*. <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>
- Porges, S. W. (2001). The polyvagal theory: Phylogenetic substrates of a social nervous system. *International Journal of Psychophysiology, 42*(2), 123–146. [https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(01\)00162-3](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(01)00162-3)
- Preacher, K. J., Curran, P. J., & Bauer, D. J. (2006). Computational tools for probing interactions in multiple linear regression, multilevel modeling, and latent curve analysis. *Journal of Educational and Behavioral Statistics, 31*(4), 437–448. <https://doi.org/10.3102/10769986031004437>
- R Core Team (2019). *R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna*. <http://www.R-project.org/>
- Riedl, E. M., & Thomas, J. (2019). The moderating role of work pressure on the relationships between emotional demands and tension, exhaustion, and work engagement: An experience sampling study among nurses. *European Journal of Work and Organizational Psychology, 28*(3), 414–429. <https://doi.org/10.1080/1359432X.2019.1588251>
- Robinson, M. D., Ode, S., & Hilmert, C. J. (2014). Daily Mindfulness Measure. *PsycTESTS*. <https://doi.org/10.1037/t46209-000>

- Rothmann, S., Mostert, K., & Strydom, M. (2006). A psychometric evaluation of the Job Demands-Resources Scale in South Africa. *SA Journal of Industrial Psychology, 32*(4), 76–86.
- Schmid, R. F., & Thomas, J. (2019). Physiologische Aspekte der Achtsamkeit [Physiological aspects of mindfulness]. In Y.-S. Chang-Gusko, J. Heße-Husain, M. Cassens & C. Schulte-Meßtorff (Eds.), *Achtsamkeit in Arbeitswelten: Für eine Kultur des Bewusstseins in Unternehmen und Organisationen [Mindfulness in working environments: Towards a culture of awareness in companies and organizations]* (pp. 35–49). Wiesbaden, Germany: Springer.
- Schmid, R. F., & Thomas, J. (2020). Teachers' ambulatory heart rate variability as an outcome and moderating variable in the job demands-resources model. *Anxiety, Stress, & Coping, 33*(4), 387–402. <https://doi.org/10.1080/10615806.2020.1746286>
- Schwartz, J. E., & Stone, A. A. (1998). Strategies for analyzing ecological momentary assessment data. *Health Psychology, 17*(1), 6–16. <https://doi.org/10.1037/0278-6133.17.1.6>
- Schwerdtfeger, A. R., & Gerteis, A. K. S. (2014). The manifold effects of positive affect on heart rate variability in everyday life: Distinguishing within-person and between-person associations. *Health Psychology, 33*(9), 1065–1073. <https://doi.org/10.1037/hea0000079>
- Schwerdtfeger, A. R., Friedrich-Mai, P., & Gerteis, A. K. S. (2015). Daily positive affect and nocturnal cardiac activation. *International Journal of Behavioral Medicine, 22*(1), 132–138. <https://doi.org/10.1007/s12529-014-9396-4>
- Segerstrom, S. C., & Nes, L. S. (2007). Heart rate variability reflects self-regulatory strength, effort, and fatigue. *Psychological Science, 18*(3), 275–281. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01888.x>

- Shrout, P. E., & Lane, S. P. (2012). Psychometrics. In M. R. Mehl & T. S. Conner (Eds.), *Handbook of research methods for studying daily life* (pp. 302–320). London, UK: The Guilford Press.
- Sze, J. A., Gyurak, A., Yuan, J. W., & Levenson, R. W. (2010). Coherence between emotional experience and physiology: Does body awareness training have an impact? *Emotion, 10*(6), 803–814. <https://doi.org/10.1037/a0020146>
- Thayer, J. F., & Lane, R. D. (2009). Claude Bernard and the heart–brain connection: Further elaboration of a model of neurovisceral integration. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 33*(2), 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2008.08.004>
- Thayer, J. F., Åhs, F., Fredrikson, M., Sollers III, J. J., & Wager, T. D. (2012). A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: Implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 36*(2), 747–756. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.11.009>
- Thayer, R. E. (1986). Activation-deactivation adjective check list: Current overview and structural analysis. *Psychological Reports, 58*(2), 607–614. <https://doi.org/10.2466/pr0.1986.58.2.607>
- Totterdell, P., Kellett, S., Teuchmann, K., & Briner, R. B. (1998). Evidence of mood linkage in work groups. *Journal of Personality and Social Psychology, 74*(6), 1504–1515. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.74.6.1504>
- Uusitalo, A., Mets, T., Martinmäki, K., Mauno, S., Kinnunen, U., & Rusko, H. (2011). Heart rate variability related to effort at work. *Applied Ergonomics, 42*(6), 830–838. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2011.01.005>
- Warr, P. (1990). The measurement of well-being and other aspects of mental health. *Journal of Occupational Psychology, 63*(3), 193–210. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8325.1990.tb00521.x>

- Weinstein, N., Brown, K. W., & Ryan, R. M. (2009). A multi-method examination of the effects of mindfulness on stress attribution, coping, and emotional well-being. *Journal of Research in Personality, 43*(3), 374–385. <https://doi.org/10.1016/j.jrp.2008.12.008>
- Wilhelm, P., & Schoebi, D. (2007). Assessing mood in daily life. *European Journal of Psychological Assessment, 23*(4), 258–267. <https://doi.org/10.1027/1015-5759.23.4.258>
- Zhu, J., Ji, L., & Liu, C. (2019). Heart rate variability monitoring for emotion and disorders of emotion. *Physiological Measurement, 40*(6), 064004. <https://doi.org/10.1088/1361-6579/ab1887>

## 4 Diskussion

Das Ziel der vorliegenden Arbeit bestand darin, die psychophysiologische Gesundheit am Arbeitsplatz im Rahmen methodenübergreifender, ambulanter Designs genauer zu eruieren. Unter Berücksichtigung aktueller Arbeitsanforderungen und Ressourcen lag der Fokus auf der Analyse des situativen Wohlbefindens und der HRV der Mitarbeiter. Die Studien leisten damit einen Beitrag zum arbeits- und gesundheitspsychologischen Erkenntnisstand im Kontext alltäglicher, psychophysiologischer Zusammenhänge und Schwankungen. Konkret durchliefen verschiedene Berufsgruppen an mehreren Arbeitstagen eine kontinuierliche EKG-Messung und befüllten begleitend dazu sich wiederholende Smartphone-Befragungen zur aktuellen Situation. Insgesamt betrachtet schwankten die selbstberichteten Zielvariablen stärker innerhalb als zwischen Personen. Das heißt, Anforderungen, Ressourcen und Wohlbefinden waren keineswegs stabil über die Zeit, sondern unterschieden sich wesentlich von Moment zu Moment. Dies wäre in Einmal-Befragungen unter Umständen untergegangen und betont einmal mehr die Berechtigung und Bedeutung solcher ambulanten, intraindividuellen Studien.

In der ersten Studie lag das Forschungsinteresse darin, die ambulante HRV in ihrer Rolle als State-Outcome und Trait-Moderator im Gesundheitsbeeinträchtigungs- und Stresspufferprozess gemäß den Vorhersagen des JD-R Modells (Bakker & Demerouti, 2017) zu überprüfen. Die vorliegenden Ergebnisse zeigten, dass emotionale und zeitliche Anforderungen zwar mit Erschöpfungssymptomen aber nicht mit der State-HRV assoziiert waren. Während die Effekte auf Erschöpfung an die Datenbasis von Keller et al. (2014) anknüpfen, widersprechen die fehlenden Effekte auf die HRV den Ergebnissen von Pieper et al. (2007). Eine stresspuffernde Wirkung der Arbeitsressourcen zeigte sich für keine der zwei abhängigen Variablen, allerdings reduzierte eine hohe Trait-HRV erwartungsgemäß die erschöpfende Wirkung emotional aufgeladener Situationen. Dieses Ergebnis stimmt mit früheren Ansätzen überein und bekräftigt das Potenzial der HRV als stresspuffernde personale Gesundheitsressource (Murdock et al.,

2017; Thayer & Lane, 2009; Utsey & Hook, 2007). Eine mögliche Interpretation wäre, dass Lehrkräfte mit hohen HRV-Werten metaphorisch betrachtet von einem gefüllten vagalen Tank profitieren konnten, der sämtliche regulative, energetische und kognitive Ressourcen bereitstellt, um die Anforderungen besser bewältigen zu können (Laborde et al., 2018). Diese Schlussfolgerungen müssen jedoch vorsichtig betrachtet werden, denn der ebenso erwartete Moderatoreffekt der HRV auf die Beziehung zwischen Zeitdruck und Erschöpfung blieb aus.

Es stellt sich zudem die kritische Frage, weshalb bezüglich der State-HRV entgegen bisheriger Studien (z.B. Pieper et al., 2007) keinerlei JD-R Effekte identifiziert werden konnten. Ein Grund könnte die womöglich fehlende Sensitivität der Kurzzeit-HRV in Bezug auf Belastungen sein, was sie als intraindividuelles Maß der Beanspruchung infrage stellen würde. Zwar schreiben Ganster et al. (2018) der Kurzzeit-HRV sehr wohl das Attribut eines validen primären AL-Markers zu, allerdings gestehen sie, dass wenig darüber bekannt ist, wie schnell bzw. stark sich die HRV tatsächlich in Reaktion auf Umweltreize verändert. Die Berechnungen zur Intraklassenkorrelation der State-HRV ergaben in beiden Studien, dass ein Großteil der Varianz auf Personen-Unterschiede zurückgeht. Die HRV schwankt im Alltag also schlichtweg seltener bzw. weniger stark als z.B. die individuelle Stimmung. Im Umkehrschluss heißt dies, dass die HRV weniger situationsabhängig ist, was es aufgrund fehlender Varianz und Power in den Daten schwieriger gemacht haben könnte, situative Prädiktoren zu finden.

Ein weiterer Erklärungsansatz für die schlechte Vorhersagekraft könnte sein, dass die Messzeitfenster nicht optimal aufeinander abgestimmt waren: Das Anforderungserleben wurde mit Bezug auf die vorangegangenen zwei Stunden erfasst, während die HRV nur über die letzten fünf Minuten vor dem Ausfüllen des Fragebogens gemittelt wurde. Ganster et al. (2018) warnen dazu, „that stressor events need to be linked closely in time with physiological reactivity assessment to detect a relationship“ (p. 272). Womöglich fehlte der Studie also die nötige kurze Latenzzeit, sodass der kardiovaskuläre State-Ausschnitt kaum noch an die bis zu zwei Stunden

zurückliegenden Anforderungen gekoppelt war. Übereinstimmend mit dieser Interpretation und auf Basis zeitlich ähnlich problematischer Designs fanden auch Jacobs et al. (2007), Bono et al. (2013) und Shockley und Allen (2013) nicht durchgehend die erwarteten Zusammenhänge zwischen vergangenen Anforderungen und momentanem Cortisol oder Blutdruck. Die „stressor-strain“-Beziehungen könnten durch andere Vorkommnisse, Umweltaspekte oder auch körperliche Erholungsprozesse konfundiert worden sein, welche sich womöglich in der Zeit zwischen dem eigentlichen Anforderungsevent und der physiologischen Momentaufzeichnung ereigneten. Allgemein scheint der ohnehin geringe psychophysiologische Zusammenhang im Feld noch kleiner bzw. schwerer nachzuweisen zu sein als im Labor: „What such studies gain in ecological validity they seem to lose in lack of standardization of stressor exposures and the general noise that accompanies field studies“ (Ganster et al., 2018, p. 273).

Daran anknüpfend lag der Forschungsbeitrag der zweiten Studie darin, die Rolle der State-HRV und State-Achtsamkeit als selbstregulierende, prädiktive Ressourcen in Bezug auf subjektive Wohlbefindens-Marker zu untersuchen. Anders als in der ersten Studie wurden alle Zielvariablen simultan bezogen auf den aktuellen Moment erfasst. Darüber hinaus wurden HRV und Stimmung nicht in separaten statistischen Modellen unabhängig voneinander ausgewertet, sondern in ein Modell zusammengefasst. Der Fokus lag also auf dem direkten Zusammenhang zwischen State-HRV und Wohlbefinden. Nach Kontrolle der Anforderungen zeigte sich, dass eine höhere State-HRV mit tendenziell niedrigerer Erschöpfung und signifikant erhöhter Entspannung im Klinikalltag assoziiert war, was sich mit anderen Arbeiten deckt (Collins & Karasek, 2010; Parker et al., 2020; Thayer & Lane, 2009). Der Erkenntnisgewinn lag jedoch vor allem in dem konzeptionell hergeleiteten Zusammenspiel zwischen State-HRV und State-Achtsamkeit als physiologische bzw. psychologische Marker selbst-regulativer Ressourcen im Moment (Brown & Ryan, 2003; Christodoulou et al., 2020; Hobfoll, 1989; McCraty & Zayas, 2014): Entsprechend der Hypothesen verstärkten sich die

beiden Variablen bei hohen Ausprägungen gegenseitig in ihren förderlichen Effekten auf das aktuelle Wohlbefinden. Durch scheinbar verdoppelte Anpassungskapazitäten wurden solche Situationen als besonders entspannend und wenig erschöpfend erlebt. Die Ergebnisse könnten laut Kohärenzperspektive auch so interpretiert werden, dass die für die Achtsamkeit charakteristischen interozeptiven Fähigkeiten mit einer bewussteren Wahrnehmung der körperlichen homöostatischen Balance einhergingen und so ein entsprechend höheres seelisches Wohlbefinden begünstigt haben könnten (Brown et al., 2020; Sze et al., 2010).

Der Grund, warum in Bezug auf die Stimmungskomponente der Zufriedenheit weder Haupteffekte der State-HRV noch Interaktionseffekte mit der State-Achtsamkeit repliziert werden konnten, mag darin zu finden sein, dass dieses Outcome-Maß womöglich eher aktivierende positive Zustände repräsentiert, während Erschöpfung und Entspannung eher deaktivierende Aspekte widerspiegeln (Schwerdtfeger & Gerteis, 2014). Ob jemand im Moment zufrieden ist oder nicht, könnte in diesem Sinne weniger in körperlicher Erholung bzw. Beanspruchung verortet sein, sondern vielmehr von der positiven Valenz einer Arbeitssituation abhängen, z.B. bei Freude über erfüllende Patientenkontakte (Duarte & Pinto-Gouveia, 2017).

Weshalb die Befunde in der zweiten, verglichen mit der ersten Studie, derart ergiebig in Bezug auf die State-HRV waren, könnte daran liegen, dass die selbstberichteten Zielvariablen diesmal ausnahmslos auf den aktuellen Moment bezogen erfragt wurden – und nicht wie vorher zum Teil über die letzten zwei Stunden. Der stärkere Fokus auf die Hier-und-Jetzt-Perspektive und die engere zeitliche Taktung zwischen fünfminütiger HRV und gegenwärtiger Achtsamkeit bzw. Befindlichkeit könnte den analysierten Zusammenhängen im positiven Sinn zuträglich gewesen sein. Eine weitere plausible Erklärung wäre die Eigenart der geprüften Konstrukte und zugrundeliegenden Prozesse selbst: Während sich die Lehrer-Studie auf die Rolle der State-HRV in „stressor-strain“-Relationen abhängig von Anforderungen und Arbeitsressourcen bezog, fokussierte die Klinik-Studie die Zusammenhänge der State-HRV mit Wohlbefinden



und Achtsamkeit als personale Ressource. Es könnte demnach zutreffen, dass die State-HRV per se stärker mit affektiven und selbstregulativen Maßen als mit Belastungen assoziiert ist.

Das naturalistische Erhebungssetting der vorliegenden Untersuchungen erlaubt neben den theoretischen Erkenntnisgewinnen auch für die Praxis bedeutsame Ableitungen in Bezug auf gesundheitsfördernde Maßnahmen am Arbeitsplatz. Studienübergreifend lässt sich bei einem Großteil der berechneten Modelle ein negativer Zusammenhang zwischen den Anforderungen der Situation und den in diesem Moment erhobenen Wohlbefindensmaßen feststellen. Egal ob im Lehr- oder Klinikkontext erwiesen sich sowohl quantitative (z.B. Arbeits- und Zeitdruck) als auch qualitative Aspekte (z.B. emotionale und soziale Anforderungen) als beeinträchtigend. Da es sich in der Praxis häufig als schwierig entpuppt, diese Faktoren objektiv zu reduzieren, erscheint es vielversprechend, am individuellen Umgang damit anzusetzen. Forscher betonen in diesem Zuge die Relevanz von ausreichend Erholung und Abstand von der Arbeit (z.B. Meijman & Mulder, 1998; Sonnentag et al., 2008). Auch Ressourcen könnten im Prozess der psychologischen Abgrenzung und Bewältigung eine unterstützende Rolle einnehmen. Zwar konnte in der vorliegenden Arbeit keine stresspuffernde Wirkung von Arbeitsressourcen gefunden werden, allerdings gingen Unterstützung und Achtsamkeit am Arbeitsplatz mit einer guten Stimmung und einem subjektiven Ruhegefühl einher. Um diese psychosozialen Schutzfaktoren zu fördern, wäre es ratsam, eine verantwortungsbewusste und wertschätzende Betriebskultur zu etablieren und die Ressourcen sowohl räumlich (z.B. durch einen Raum der Stille oder für soziale Begegnungen) als auch organisatorisch (z.B. durch Ansprechpartner und Programme) zu institutionalisieren (Michaelsen et al., 2021; Ulich & Wülser, 2015). Höchst gewinnbringend in Anbetracht der vorliegenden Erkenntnisse erscheint auch die Förderung der individuellen HRV. Eine hohe kardiovaskuläre vagale Kontrolle erwies sich nicht nur als Begleiterscheinung situativer Entspannung und niedriger Erschöpfung, sondern auch als Puffer gegen die gesundheitsbeeinträchtigende Wirkung emotional aufgeladener Situationen und als

Verstärker der wohlbefindensförderlichen Wirkung achtsamer Momente. Eine gesunde Schlafhygiene, regelmäßige Bewegung sowie Entspannungs-, Körperwahrnehmungs- und Atemübungen können geeignete Instrumente darstellen, um die phasische und tonische HRV zu verbessern (Hottenrott et al., 2019; Laborde et al., 2018; McCraty & Zayas, 2014; Sze et al., 2010; Zhu et al., 2019). Auch in betrieblichen Gesundheitsmanagements könnten diese Maßnahmen herangezogen werden, um die Gesundheit am Arbeitsplatz zu schützen.

Eine Stärke der vorliegenden Arbeit ist, dass sie sich der Forderung von Ganster et al. (2018) angenommen und ambulant über reine Selbstberichte hinaus auch physiologische Aspekte im Beruf untersucht hat. Mit dem Design wurde ein multimethodischer Beitrag zur Analyse psychophysiologischer Schwankungen innerhalb und zwischen Personen geleistet, was einen ökologisch validen Blick auf arbeits- und gesundheitsbezogene Verläufe im natürlichen Umfeld zulässt und das Kernpotenzial der verwendeten Methode charakterisiert.

Trotzdem weist der vorliegende methodische Ansatz Grenzen auf. Die ambulante Psychophysiologie birgt beispielsweise die Gefahr schlechter Datenqualität oder gar fehlender Daten. Technische Probleme bei der Aufzeichnung, unkontrollierbare Artefakte, Rauschen in den Daten sowie mangelnde Compliance beim Tragen der Geräte oder beim Ausfüllen der Fragebögen sind typische Schwachstellen (Eatough et al., 2016). Auch wenn diese Probleme in der wissenschaftlichen Praxis laut Raugh et al. (2019) selten berichtet werden, stellen sie doch methodische Besonderheiten dar, die eine gewisse Reflexion seitens der Forschung bedürfen.

Um die Fehleranfälligkeit der technischen Ausrüstung und Aufzeichnung zu minimieren, wurde in der vorliegenden Arbeit auf ein wissenschaftlich präzises, hochqualitatives EKG-Equipment gesetzt, das die von etablierten Richtlinien geforderten Mindeststandards um ein Vielfaches übertrifft, z.B. bezüglich der Samplingrate zur Detektion von R-Zacken (Laborde et al., 2017; Malik et al., 1996). Zudem schaffte die persönliche mündliche und ausführliche schriftliche Instruktion der Stichproben die Grundlage für ein korrektes, selbständiges Anlegen

des Brustgurts und eine möglichst störfreie Aufzeichnungsperiode. Qualitätssichernd fungierte auch die visuelle Inspektion sämtlicher EKG-Daten zusätzlich zur computerbasierten, automatischen Artefaktkorrektur nach Kriterien anerkannter Empfehlungen (Laborde et al., 2017). Mit dem Ziel eines möglichst reinen Datensatzes wurden dabei z.B. Personen mit zu vielen Datenlücken oder auffälligen Ausschlägen und Herzrhythmusstörungen ausgeschlossen.

Mit Blick auf die ebengenannte Problemstellung könnte die vorliegende Arbeit dennoch dahingehend kritisiert werden, dass nur eine kleine Auswahl potenzieller Kovariaten bezüglich der HRV erfasst wurde. Die ambulante Physiologie ohne die Möglichkeit experimenteller Standardisierung wird als sehr anfällig gegenüber unvollständigen Kontrollvariablen dargestellt (Raugh et al., 2019). Vor dem Hintergrund, nur die wichtigsten Maße kontrollieren zu können, um die Teilnehmerbelastung nicht überzustrapazieren, wurden körperliche Bewegung, Alter, Geschlecht, Body Mass Index, Erkrankungen und Medikationen berücksichtigt. Trotzdem seien auch tageszeitliche Verläufe, der aktuelle (soziale) Kontext und physikalische Faktoren wie Lärm, Temperatur und Schadstoffe zu bedenken (Sammito et al., 2014). Auch bereits ein Atemzug und Augenblinzeln oder die situative Nahrungsaufnahme, speziell der Konsum von Koffein, Nikotin und Alkohol, seien relevante Störfaktoren (Raugh et al., 2019). Künftige Studien sollten erforschen, inwiefern diese Aspekte im vorliegenden Kontext tatsächlich konfundierend sind, um die Evidenz der Befunde zu stützen (Wilhelm & Grossman, 2010).

In Bezug auf das Risiko mangelnder Compliance steht außer Frage, dass den Teilnehmern intensiver multimodaler Monitorings viel zugemutet wird. Um einen externen Anreiz zum möglichst langen Tragen des Brustgurts im Alltag zu schaffen, wurden die Probanden der vorliegenden Studien mit individuellen Auswertungsprofilen ihrer HRV incentiviert. Bei den auszufüllenden Smartphone-Fragebögen wurde auf ökonomische und teilnehmerfreundliche Instrumente sowie zeitlich flexible und mit der Zielgruppe abgesprochene Sampling-Pläne geachtet. Diese Maßnahmen resultierten in einem akzeptablen Umfang vollständiger EKG-

Daten und eine im Vergleich zu Durchschnittswerten relativ gute Mitarbeit beim Beantworten der Items (Fisher & To, 2012). Trotzdem sei darauf verwiesen, dass die hohe Compliance kein Zeugnis für zuverlässig abgegebene Daten ist. Gerade die subjektiven Selbstberichte könnten durch unüberlegtes, zufälliges Durchklicken oder sozial erwünschtes Antwortverhalten verfälscht worden sein (Goldammer et al., 2020; van de Mortel, 2008). Selbst die unausgefüllten Fragebögen sind insofern problematisch zu bewerten, als man nicht weiß, ob die Alarme einfach überhört oder aufgrund einer akuten Stresssituation mangels Zeit bewusst ausgelassen wurden. Sowohl verzerrte Antworten als auch aktiv ignorierte Alarme könnten die Interpretierbarkeit der vorliegenden Daten stark einschränken (Fisher & To, 2012).

Eine allgemein bekannte Schwäche ambulanter Assessments ist auch das Phänomen der Reaktivität (Barta et al., 2012). Das wiederholte Beantworten ein und derselben Items sowie das spürbare Tragen physiologischer Sensoren kann mit einer erhöhten Aufmerksamkeit und Sensitivität gegenüber den gemessenen Konstrukten oder sogar einem veränderten Verhalten und Erleben einhergehen. Inwiefern die vorliegenden Studien anfällig für solche Verzerrungen waren, ist schwer abzuschätzen. Künftigen Selbstmonitorings sei aber geraten, derartige Effekte nach Möglichkeit zu berücksichtigen (für mögliche Ansatzpunkte siehe Barta et al., 2012).

Diese Limitationen führen klar die Grenzen der Methode vor Augen. Dies heißt aber nicht, dass psychophysiologische ambulante Ansätze keine valide Erhebungsstrategie sind – es betont nur, wie wichtig es ist, diese Schwachstellen von vornherein miteinzubeziehen (Rough et al., 2019). Forscher arbeiten mit Hochdruck daran, Lösungsansätze und methodisch fortgeschrittene Studienprotokolle zu entwickeln. Neueste Sensor- und Mess-Technologien erlauben etwa das synchrone Tracking von Bewegung, Temperatur, Schlaf, Stimme, Aufenthaltsort sowie Video- und Bildmaterial. All diese Informationen können als zusätzliche Kovariaten Störeinflüsse reduzieren und die Datenqualität erhöhen (Rough et al., 2019). Ein attraktiver Ausblick für weitere Studien ist auch der Einsatz multipler Assessments, z.B. die

Erweiterung mobiler EKGs durch ambulante EEG-, EDA- oder Blutdruck-Geräte (Ganster et al., 2018). Die Vielzahl körperlicher Vergleichsmaße würde helfen, Zusammenhänge verschiedener Biomarker isoliert voneinander aber auch kombiniert miteinander zu ergründen.

Künftige Studien könnten zudem verstärkt von intelligenten Algorithmen profitieren. Durch die Analyse physiologischer Verlaufsdaten in Echtzeit könnten so Abweichungen von der individuellen Baseline identifiziert und z.B. als Index außerordentlich hoher An- oder Entspannung interpretiert werden (Rough et al., 2019). Gekoppelt an interaktive Assessments, d.h. Fragebogen-Trigger, könnten letztlich immer dann Selbstberichte eingeholt werden, wenn physiologisch gerade etwas Auffälliges passiert. Die Abstimmung des Samplings allein auf interessante Zeitpunkte schont nicht nur Probanden, sondern ist durch die erhöhte Aussagekraft und Varianz der Daten auch für Forscher reizvoll. Ein Beispiel zu EDA-Triggern im Alltag von Studierenden liefern van Halem et al. (2020). Unter den Stichworten „ecological momentary interventions“ oder „mHealth“ birgt diese Funktion auch für die klinische Anwendungspraxis einen Mehrwert (Gründahl et al., 2020): Langzeit-Monitorings zu gesundheitlichen Symptomen könnten mit Feedbacks an Patienten und Therapeuten sowie bei Bedarf mit maßgeschneiderten Interventionen wie Atemübungen verbunden werden, um die Rückkehr zu einem psychophysiologischen Gleichgewicht aus der Ferne zu unterstützen (Winslow et al., 2016).

Schließlich könnten durch Änderungen am Design auch anknüpfende Forschungsfragen beantwortet werden. Interessant wäre etwa, die Psychophysiologie nicht nur am Arbeitsplatz, sondern vergleichend dazu während des Schlafs, der Freizeit oder an Ruhetagen zu untersuchen (Wettstein et al., 2020). Außerdem könnten zeitverzögerte („time-lagged“) Zusammenhänge analysiert werden. Parker et al. (2020) zeigten etwa, dass eine hohe HRV während der Arbeit die Entspannung am Abend und indirekt die Energie am nächsten Morgen vorhersagen kann. Lohnenswert wäre ebenso die verstärkte Anwendung experimenteller Ansätze (Schmiedek & Neubauer, 2020). Huffziger et al. (2013) zeigten so z.B., dass induzierte Achtsamkeit im Alltag

das situative Ruhegefühl erhöhen kann. Gleichzeitig könnten bisher unberücksichtigte Aspekte fokussiert werden, z.B. Erholungsprozesse und medierte Zusammenhänge (Vahle-Hinz et al., 2014) oder Interaktionen zwischen States und Traits in Bezug auf die HRV (Park et al., 2014).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das vorliegende Dissertationsvorhaben den besonderen Nutzen psychophysiologischer ambulanter Assessments am Arbeitsplatz aber auch deren Komplexität verdeutlicht. Die erste Studie konnte Aufschluss darüber geben, dass die State-HRV – im Gegensatz zur subjektiven Erschöpfung – wenig sensitiv gegenüber situativ erhöhten emotionalen und zeitlichen Anforderungen zu sein scheint. Der erschöpfende Effekt emotionaler Arbeitsanforderungen konnte aber durch eine hohe Trait-HRV als stresspuffernde Ressource abgemildert werden. Darüber hinaus erbrachte die zweite Studie positive und sich gegenseitig verstärkende Effekte einer hohen State-HRV und State-Achtsamkeit auf eine reduzierte Erschöpfung und erhöhte Entspannung. Diese Ergebnisse betonen die transdiagnostische Bedeutung einer intra- und interindividuell hohen HRV für betriebliche Interventionen, sind aber insgesamt nicht ausreichend und konsistent genug, um eindeutige, allgemeingültige Schlüsse für allostatistische und selbstregulatorische Prozesse ziehen zu können.

Eine mögliche Fortsetzung des Forschungsprogramms wäre daher, herauszufinden, unter welchen Bedingungen Schwankungen in der HRV feststellbar sind. Mehrere situative und stabile Prädiktoren der Person und des Berufsumfelds könnten modellerweiternd integriert und in ihrem Zusammenhang mit der State- und Trait-HRV analysiert werden. Beispielsweise könnte detaillierter erfasst werden, welche situativen Aspekte konkret förderlich vs. hinderlich wirken und wie intensiv gewisse An- oder Entspannungssituationen erlebt werden (Tadić et al., 2015). Ein weiterer Ansatzpunkt wäre, zu untersuchen, wie und zu welchen Zeitpunkten bevorzugt gemessen werden soll, um die situationsabhängigen physiologischen Fluktuationen bestmöglich einzufangen. Weiterführende Studien mit unterschiedlichen Messmethoden wären also hilfreich, um die bestehenden Unklarheiten zu beseitigen und künftigen Forschern

differenziertere Entscheidungen für ihre Erhebung zu erlauben. Anhand verschiedener Stichproben wäre es zudem interessant zu erforschen, ob interindividuelle Unterschiede zusätzliche Varianz aufklären können. Lohnenswert erscheint hier der Einbezug globaler Fitness- und Gesundheitsindikatoren oder individueller Emotionsregulations- und Interozeptionsfähigkeiten (McCraty & Zayas, 2014; Schwerdtfeger et al., 2019). Unter Berücksichtigung geeigneter Messzeitrahmen sowie relevanter Kontext- und Personenfaktoren können sich dadurch sicherlich gewinnbringende Erkenntnisse zur Variabilität vs. Stabilität der berufsbedingten HRV ergeben.

Eine sinnvolle Ergänzung wäre auch, neben der HRV noch andere physiologische Marker zu erheben. Speziell die EDA würde sich in diesem Zuge anbieten, da sie ebenso gut im ambulanten Alltag, nicht-invasiv und peripher messbar ist (Eatough et al., 2016). Die Tatsache, dass sie eher sympathische Aktivitäten und die HRV eher die Balance aus sympathischen und parasympathischen Aktivitäten abbildet (Ganster et al., 2018), könnte zudem vielversprechende Aussagen zu den Unterschieden und Gemeinsamkeiten der beiden Biomarker liefern, z.B. bezüglich ihrer Sensitivität und Reaktivität auf bestimmte Ereignisse (Raugh et al., 2019).

Mit diesen spezifischen Ausblicken bleibt zu hoffen, dass der ambulanten HRV-Forschung im Beruf eine florierende Zukunft blüht, die den erwünschten empirischen Fortschritt für ein konzeptionell verbessertes Verständnis bringt. Schließlich ist festzuhalten, dass die Methode zweifelsfrei das Potenzial birgt, mehr und dazu genauere Informationen über arbeits- und gesundheitspsychologisch relevante Zusammenhänge zu liefern.

**Literaturverzeichnis der Synopse (Einleitung und Diskussion)**

- Appelhans, B. M., & Luecken, L. J. (2006). Heart rate variability as an index of regulated emotional responding. *Review of General Psychology, 10*(3), 229–240. <https://doi.org/10.1037/1089-2680.10.3.229>
- Ashkanasy, N. M., & Dorris, A. D. (2017). Emotions in the workplace. *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior, 4*, 67–90. <https://doi.org/10.1146/annurev-orgpsych-032516-113231>
- Bakker, A. B., & Demerouti, E. (2007). The job demands-resources model: State of the art. *Journal of Managerial Psychology, 22*(3), 309–328. <https://doi.org/10.1108/02683940710733115>
- Bakker, A. B., & Demerouti, E. (2017). Job demands-resources theory: Taking stock and looking forward. *Journal of Occupational Health Psychology, 22*(3), 273–285. <https://doi.org/10.1037/ocp0000056>
- Barta, W. D., Tennen, H., & Litt, M. D. (2012). Measuring reactivity in diary research. In M. R. Mehl & T. S. Conner (Eds.), *Handbook of research methods for studying daily life* (pp. 108–123). Guilford Press.
- Beal, D. J. (2015). ESM 2.0: State of the art and future potential of experience sampling methods in organizational research. *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior, 2*(1), 383–407. <https://doi.org/10.1146/annurev-orgpsych-032414-111335>
- Binnewies, C., Sonnentag, S., & Mojza, E. J. (2009). Daily performance at work: Feeling recovered in the morning as a predictor of day-level job performance. *Journal of Organizational Behavior, 30*(1), 67–93. <https://doi.org/10.1002/job.541>



- Böckelmann, I. (2012). Analyse der Herzfrequenzvariabilität (HRV) – Praktische Relevanz. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie*, 62(5), 275–279.  
<https://doi.org/10.1007/bf03346164>
- Bolger, N., Davis, A., & Rafaeli, E. (2003). Diary methods: Capturing life as it is lived. *Annual Review of Psychology*, 54, 579–616.  
<https://doi.org/10.1146/annurev.psych.54.101601.145030>
- Bono, J. E., Glomb, T. M., Shen, W., Kim, E., & Koch, A. J. (2013). Building positive resources: Effects of positive events and positive reflection on work stress and health. *Academy of Management Journal*, 56(6), 1601–1627.  
<https://doi.org/10.5465/amj.2011.0272>
- Borchini, R., Ferrario, M. M., Bertu, L., Veronesi, G., Bonzini, M., Dorso, M., & Cesana, G. (2015). Prolonged job strain reduces time-domain heart rate variability on both working and resting days among cardiovascular-susceptible nurses. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 28(1), 42–51.  
<https://doi.org/10.2478/s13382-014-0289-1>
- Brown, C. L., van Doren, N., Ford, B. Q., Mauss, I. B., Sze, J. W., & Levenson, R. W. (2020). Coherence between subjective experience and physiology in emotion: Individual differences and implications for well-being. *Emotion*, 20(5), 818–829.  
<https://doi.org/10.1037/emo0000579>
- Brown, K. W., & Ryan, R. M. (2003). The benefits of being present: Mindfulness and its role in psychological well-being. *Journal of Personality and Social Psychology*, 84(4), 822–848. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.84.4.822>
- Butler, A. B., Grzywacz, J. G., Bass, B. L., & Linney, K. D. (2005). Extending the demands-control model: A daily diary study of job characteristics, work-family conflict and work-

- family facilitation. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 78(2), 155–169. <https://doi.org/10.1348/096317905x40097>
- Cacioppo, J. T., Tassinary, L. G., & Berntson, G. (Eds.). (2017). *Handbook of psychophysiology*. Cambridge University Press.
- Campbell, J., & Ehlert, U. (2012). Acute psychosocial stress: Does the emotional stress response correspond with physiological responses? *Psychoneuroendocrinology*, 37(8), 1111–1134. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2011.12.010>
- Chandola, T., Britton, A., Brunner, E., Hemingway, H., Malik, M., Kumari, M., Badrick, E., Kivimaki, M., & Marmot, M. (2008). Work stress and coronary heart disease: What are the mechanisms? *European Heart Journal*, 29(5), 640–648. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehm584>
- Chandola, T., Heraclides, A., & Kumari, M. (2010). Psychophysiological biomarkers of workplace stressors. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 35(1), 51–57. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.11.005>
- Christodoulou, G., Salami, N., & Black, D. S. (2020). The utility of heart rate variability in mindfulness research. *Mindfulness*, 11(3), 554–570. <https://doi.org/10.1007/s12671-019-01296-3>
- Collins, S. M. (2001). Emerging methods for the physiological assessment of occupational stress. *Work*, 17(3), 209–219.
- Collins, S., & Karasek, R. (2010). Reduced vagal cardiac control variance in exhausted and high strain job subjects. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 23(3), 267–278. <https://doi.org/10.2478/v10001-010-0023-6>
- Demerouti, E., Bakker, A. B., Nachreiner, F., & Schaufeli, W. B. (2001). The job demands-resources model of burnout. *Journal of Applied Psychology*, 86(3), 499–512. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.86.3.499>

- Demerouti, E., & Nachreiner, F. (2019). Zum Arbeitsanforderungen-Arbeitsressourcen-Modell von Burnout und Arbeitsengagement—Stand der Forschung. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, *73*(2), 119–130. <https://doi.org/10.1007/s41449-018-0100-4>
- Duarte, J., & Pinto-Gouveia, J. (2017). Positive affect and parasympathetic activity: Evidence for a quadratic relationship between feeling safe and content and heart rate variability. *Psychiatry Research*, *257*, 284–289. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2017.07.077>
- Eatough, E., Shockley, K., & Yu, P. (2016). A review of ambulatory health data collection methods for employee experience sampling research. *Applied Psychology*, *65*(2), 322–354. <https://doi.org/10.1111/apps.12068>
- Edwards, J. R. (1992). A cybernetic theory of stress, coping, and well-being in organizations. *Academy of Management Review*, *17*, 238–274. <https://doi.org/10.5465/amr.1992.4279536>
- Eller, N. H., Blønd, M., Nielsen, M., Kristiansen, J., & Netterstrøm, B. (2011). Effort reward imbalance is associated with vagal withdrawal in Danish public sector employees. *International Journal of Psychophysiology*, *81*, 218–224. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.06.014>
- Eller-Berndl, D. (2015). *Herzratenvariabilität*. Verlagshaus der Ärzte.
- Fahrenberg, J. (2010). Ambulantes Assessment. In H. Holling & B. Schmietz (Hrsg.), *Handbuch Statistik, Methoden und Evaluation* (S. 201–212). Hogrefe.
- Fisher, C. D., & To, M. L. (2012). Using experience sampling methodology in organizational behavior. *Journal of Organizational Behavior*, *33*(7), 865–877. <https://doi.org/10.1002/job.1803>
- Fredrickson, B. L., & Kahneman, D. (1993). Duration neglect in retrospective evaluations of affective episodes. *Journal of Personality and Social Psychology*, *65*(1), 45–55. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.65.1.45>

- Ganster, D. C., Crain, T. L., & Brossoit, R. M. (2018). Physiological measurement in the organizational sciences: A review and recommendations for future use. *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior*, 5, 267–293. <https://doi.org/10.1146/annurev-orgpsych-032117-104613>
- Ganster, D. C., & Rosen, C. C. (2013). Work stress and employee health: A multidisciplinary review. *Journal of Management*, 39(5), 1085–1122. <https://doi.org/10.1177/0149206313475815>
- Garrick, A., Mak, A. S., Cathcart, S., Winwood, P. C., Bakker, A. B., & Lushington, K. (2014). Psychosocial safety climate moderating the effects of daily job demands and recovery on fatigue and work engagement. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 87(4), 694–714. <https://doi.org/10.1111/joop.12069>
- Geisler, F. C., Vennwald, N., Kubiak, T., & Weber, H. (2010). The impact of heart rate variability on subjective well-being is mediated by emotion regulation. *Personality and Individual Differences*, 49(7), 723–728. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2010.06.015>
- Goedhart, A. D., van der Sluis, S., Houtveen, J. H., Willemsen, G., & de Geus, E. J. (2007). Comparison of time and frequency domain measures of RSA in ambulatory recordings. *Psychophysiology*, 44(2), 203–215. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2006.00490.x>
- Goldammer, P., Annen, H., Stöckli, P. L., & Jonas, K. (2020). Careless responding in questionnaire measures: Detection, impact, and remedies. *The Leadership Quarterly*, 31(4), 101384. <https://doi.org/10.1016/j.leaqua.2020.101384>
- Goldberg, L. S., & Grandey, A. A. (2007). Display rules versus display autonomy: Emotion regulation, emotional exhaustion, and task performance in a call center simulation. *Journal of Occupational Health Psychology*, 12, 301–318. <https://doi.org/10.1037/1076-8998.12.3.301>

- Gross, J. J. (1998). The emerging field of emotion regulation: An integrative review. *Review of General Psychology, 2*, 271–299. <https://doi.org/10.1037/1089-2680.2.3.271>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2005.11.014>
- Gründahl, M., Deckert, J., & Hein, G. (2020). Three questions to consider before applying ecological momentary interventions (EMI) in psychiatry. *Frontiers in Psychiatry, 11*, 333. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2020.00333>
- Hanson, E. K. S., Godaert, G. L. R., Maas, C. J. M., & Meijman, T. F. (2001). Vagal cardiac control throughout the day: The relative importance of effort–reward imbalance and within-day measurements of mood, demand and satisfaction. *Biological Psychology, 56*, 23–44. [https://doi.org/10.1016/S0301-0511\(01\)00066-7](https://doi.org/10.1016/S0301-0511(01)00066-7)
- Hobfoll, S. E. (1989). Conservation of resources: A new attempt at conceptualizing stress. *American Psychologist, 44*(3), 513–524. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.44.3.513>
- Hobfoll, S. E. (2001). The influence of culture, community, and the nested-self in the stress process: Advancing conservation of resources theory. *Applied Psychology, 50*, 337–370. <https://doi.org/10.1111/1464-0597.00062>
- Hockey, G. R. J. (1993). Cognitive-energetical control mechanisms in the management of work demands and psychological health. In A. Baddeley & L. Weiskrantz (Eds.), *Attention: Selection, awareness, and control* (pp. 328–345). Clarendon Press.
- Hottenrott, L., Ketelhut, S., & Hottenrott, K. (2019). Commentary: Vagal tank theory: The three Rs of cardiac vagal control functioning – resting, reactivity, and recovery. *Frontiers in Neuroscience, 13*, 1300. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.01300>
- Huffziger, S., Ebner-Priemer, U., Eisenbach, C., Koudela, S., Reinhard, I., Zamoscik, V., Kirsch, P., & Kuehner, C. (2013). Induced ruminative and mindful attention in everyday

- life: An experimental ambulatory assessment study. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 44(3), 322–328. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2013.01.007>
- Ilies, R., Aw, S. S., & Lim, V. K. (2016). A naturalistic multilevel framework for studying transient and chronic effects of psychosocial work stressors on employee health and well-being. *Applied Psychology*, 65(2), 223–258. <https://doi.org/10.1111/apps.12069>
- Ilies, R., Aw, S. S., & Pluut, H. (2015). Intraindividual models of employee well-being: What have we learned and where do we go from here? *European Journal of Work and Organizational Psychology*, 24(6), 827–838. <https://doi.org/10.1080/1359432X.2015.1071422>
- Ilies, R., Dimotakis, N., & de Pater, I. E. (2010). Psychological and physiological reactions to high workloads: Implications for well-being. *Personnel Psychology*, 63(2), 407–436. <https://doi.org/10.1111/j.1744-6570.2010.01175.x>
- Jacobs, N., Myin-Germeys, I., Derom, C., Delespaul, P., van Os, J., & Nicolson, N. A. (2007). A momentary assessment study of the relationship between affective and adrenocortical stress responses in daily life. *Biological Psychology*, 74(1), 60–66. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2006.07.002>
- Jarczok, M. N., Jarczok, M., Mauss, D., Koenig, J., Li, J., Herr, R. M., & Thayer, J. F. (2013). Autonomic nervous system activity and workplace stressors—A systematic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37(8), 1810–1823. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.07.004>
- Johnson, J. V., & Hall, E. M. (1988). Job strain, work place social support, and cardiovascular disease: A cross-sectional study of a random sample of the Swedish working population. *American Journal of Public Health*, 78(10), 1336–1342. <https://doi.org/10.2105/AJPH.78.10.1336>

- Johnston, D., Bell, C., Jones, M., Farquharson, B., Allan, J., Schofield, P., Ricketts, I., & Johnston, M. (2016). Stressors, appraisal of stressors, experienced stress and cardiac response: A real-time, real-life investigation of work stress in nurses. *Annals of Behavioral Medicine, 50*(2), 187–197. <https://doi.org/10.1007/s12160-015-9746-8>
- Karasek, R. A. (1979). Job demands, job decision latitude, and mental strain: Implications for job redesign. *Administrative Science Quarterly, 24*(2), 285–311. <https://doi.org/10.2307/2392498>
- Karhula, K., Henelius, A., Härmä, M., Sallinen, M., Lindholm, H., Kivimäki, M., Vahtera, J., & Puttonen, S. (2014). Job strain and vagal recovery during sleep in shift working health care professionals. *Chronobiology International, 31*(10), 1179–1189. <https://doi.org/10.3109/07420528.2014.957294>
- Keller, M. M., Chang, M. L., Becker, E. S., Goetz, T., & Frenzel, A. C. (2014). Teachers' emotional experiences and exhaustion as predictors of emotional labor in the classroom: An experience sampling study. *Frontiers in Psychology, 5*, 1442. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01442>
- Kim, H.-G., Cheon, E.-J., Bai, D.-S., Lee, Y. H., & Koo, B.-H. (2018). Stress and heart rate variability: A meta-analysis and review of the literature. *Psychiatry Investigation, 15*(3), 235–245. <https://doi.org/10.30773/pi.2017.08.17>
- Kok, B. E., & Fredrickson, B. L. (2010). Upward spirals of the heart: Autonomic flexibility, as indexed by vagal tone, reciprocally and prospectively predicts positive emotions and social connectedness. *Biological Psychology, 85*(3), 432–436. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2010.09.005>
- Koval, P., Kalokerinos, E. K., Verduyn, P., & Greiff, S. (2020). Introduction to the special issue: Capturing the dynamics of emotion and emotion regulation in daily life with

- ambulatory assessment. *European Journal of Psychological Assessment*, 36(3), 433–436.  
<https://doi.org/10.1027/1015-5759/a000599>
- Laborde, S., Mosley, E., & Mertgen, A. (2018). Vagal tank theory: The three Rs of cardiac vagal control functioning – resting, reactivity, and recovery. *Frontiers in Neuroscience*, 12, 458. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00458>
- Laborde, S., Mosley, E., & Thayer, J. F. (2017). Heart rate variability and cardiac vagal tone in psychophysiological research: Recommendations for experiment planning, data analysis, and data reporting. *Frontiers in Psychology*, 8, 213. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00213>
- Lantelme, P., Milon, H., Gharib, C., Gayet, C., & Fortrat, J. O. (1998). White coat effect and reactivity to stress: cardiovascular and autonomic nervous system responses. *Hypertension*, 31(4), 1021–1029. <https://doi.org/10.1161/01.HYP.31.4.1021>
- Levenson, R. W. (2014). The autonomic nervous system and emotion. *Emotion Review*, 6(2), 100–112. <https://doi.org/10.1177/1754073913512003>
- Lohninger, A. (2017). *Herzratenvariabilität: Das HRV-Praxis-Lehrbuch*. Facultas.
- Malik, M., Bigger, J. T., Camm, A. J., Kleiger, R. E., Malliani, A., Moss, A. J., & Schwartz, P. J. (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 Electrophysiology. *European Heart Journal*, 17(3), 354–381. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a014868>
- Martens, A., Greenberg, J., & Allen, J. J. (2008). Self-esteem and autonomic physiology: Parallels between self-esteem and cardiac vagal tone as buffers of threat. *Personality and Social Psychology Review*, 12(4), 370–389. <https://doi.org/10.1177/1088868308323224>



- Massaro, S., & Pecchia, L. (2019). Heart rate variability (HRV) analysis: A methodology for organizational neuroscience. *Organizational Research Methods*, 22(1), 354–393. <https://doi.org/10.1177/1094428116681072>
- McCraty, R., & Zayas, M. A. (2014). Cardiac coherence, self-regulation, autonomic stability, and psychosocial well-being. *Frontiers in Psychology*, 5, 1090. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01090>
- McEwen, B. S. (2007). Physiology and neurobiology of stress and adaptation: Central role of the brain. *Physiological Reviews*, 87(3), 873–904. <https://doi.org/10.1152/physrev.00041.2006>
- McEwen, B. S., & Stellar, E. (1993). Stress and the individual: Mechanisms leading to disease. *Archives of Internal Medicine*, 153(18), 2093–2101. <https://doi.org/10.1001/archinte.1993.00410180039004>
- Meijman, T. F., & Mulder, G. (1998). Psychological aspects of workload. In P. J. D. Drenth, H. Thierry, & C. J. de Wolff (Eds.), *Handbook of work and organizational psychology: Work psychology* (pp. 5–33). Psychology Press.
- Michaelson, M. M., Graser, J., Onescheit, M., Tuma, M., Pieper, D., Werdecker, L., & Esch, T. (2021). *iga.Report 45. Wirksamkeit von Achtsamkeitstechniken im Arbeitskontext*. iga. [https://www.iga-info.de/fileadmin/redakteur/Veroeffentlichungen/iga\\_Reporte/Dokumente/iga.Report\\_45\\_Achtsamkeitstechniken.pdf](https://www.iga-info.de/fileadmin/redakteur/Veroeffentlichungen/iga_Reporte/Dokumente/iga.Report_45_Achtsamkeitstechniken.pdf)
- Mitchell, T. R., Thompson, L., Peterson, E., & Cronk, R. (1997). Temporal adjustments in the evaluation of events: The “rosy view”. *Journal of Experimental Social Psychology*, 33(4), 421–448. <https://doi.org/10.1006/jesp.1997.1333>
- Murdock, K. W., LeRoy, A. S., & Fagundes, C. P. (2017). Trait hostility and cortisol sensitivity following a stressor: The moderating role of stress-induced heart rate variability.

- Psychoneuroendocrinology*, 75, 222–227.  
<https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2016.10.014>
- Myin-Germeys, I., & Kuppens, P. (2021). *The open handbook of experience sampling methodology: A step-by-step guide to designing, conducting, and analyzing ESM studies*.  
<https://ppw.kuleuven.be/okp/esmhandbook.php>
- Nezlek, J. (2020). Diary studies in social and personality psychology: An introduction with some recommendations and suggestions. *Social Psychological Bulletin*, 15(2), e2679.  
<https://doi.org/10.32872/spb.2679>
- Ohly, S., Sonnentag, S., Niessen, C., & Zapf, D. (2010). Diary studies in organizational research. *Journal of Personnel Psychology*, 9(2), 79–93. <https://doi.org/10.1027/1866-5888/a000009>
- Park, G., Vasey, M. W., van Bavel, J. J., & Thayer, J. F. (2014). When tonic cardiac vagal tone predicts changes in phasic vagal tone: The role of fear and perceptual load. *Psychophysiology*, 51(5), 419–426. <https://doi.org/10.1111/psyp.12186>
- Parker, S. L., Sonnentag, S., Jimmieson, N. L., & Newton, C. J. (2020). Relaxation during the evening and next-morning energy: The role of hassles, uplifts, and heart rate variability during work. *Journal of Occupational Health Psychology*, 25(2), 83–98.  
<https://doi.org/10.1037/ocp0000155>
- Pieper, S., Brosschot, J. F., van der Leeden, R., & Thayer, J. F. (2007). Cardiac effects of momentary assessed worry episodes and stressful events. *Psychosomatic Medicine*, 69(9), 901–909. <https://doi.org/10.1097/psy.0b013e31815a9230>
- Pieper, S., Brosschot, J. F., van der Leeden, R., & Thayer, J. F. (2010). Prolonged cardiac effects of momentary assessed stressful events and worry episodes. *Psychosomatic Medicine*, 72(6), 570–577. <https://doi.org/10.1097/PSY.0b013e3181dbc0e9>

- Podsakoff, P. M., & Organ, D. W. (1986). Self-reports in organizational research: Problems and prospects. *Journal of Management*, 12(4), 531–544.  
<https://doi.org/10.1177/014920638601200408>
- Porges, S. W. (2001). The polyvagal theory: Phylogenetic substrates of a social nervous system. *International Journal of Psychophysiology*, 42(2), 123–146.  
[https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(01\)00162-3](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(01)00162-3)
- Raugh, I. M., Chapman, H. C., Bartolomeo, L. A., Gonzalez, C., & Strauss, G. P. (2019). A comprehensive review of psychophysiological applications for ecological momentary assessment in psychiatric populations. *Psychological Assessment*, 31(3), 304–317.  
<https://doi.org/10.1037/pas0000651>
- Riedl, E. M., & Thomas, J. (2019). The moderating role of work pressure on the relationships between emotional demands and tension, exhaustion, and work engagement: An experience sampling study among nurses. *European Journal of Work and Organizational Psychology*, 28(3), 414–429. <https://doi.org/10.1080/1359432X.2019.1588251>
- Roczniowska, M., Smoktunowicz, E., & Gruszczyńska, E. (2020). Capturing life and its fluctuations: Experience sampling and daily diary studies in studying within-person variability. *Social Psychological Bulletin*, 15(2), e3643.  
<https://doi.org/10.32872/spb.3643>
- Sammito, S., Thielmann, B., Seibt, R., Klussmann, A., Weippert, M., & Böckelmann, I. (2014). *AWMF-Nr. 002/042 – S2k-Leitlinie: Nutzung der Herzschlagfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität in der Arbeitsmedizin und der Arbeitswissenschaft*.  
[https://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/002-042l\\_S2k\\_Herzschlagfrequenz\\_Herzfrequenzvariabilität\\_2014-07.pdf](https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/002-042l_S2k_Herzschlagfrequenz_Herzfrequenzvariabilität_2014-07.pdf)

- Schmiedek, F., & Neubauer, A. B. (2020). Experiments in the wild: Introducing the within-person encouragement design. *Multivariate Behavioral Research*, *55*(2), 256–276. <https://doi.org/10.1080/00273171.2019.1627660>
- Schulz, K.-H. (2009). Zur Bedeutung chronischer Belastung und sozialer Unterstützung für die Entwicklung körperlicher Erkrankungen. In V. Schumpelick & B. Vogel (Hrsg.), *Volkskrankheiten: Gesundheitliche Herausforderungen in der Wohlstandsgesellschaft* (S. 527–552). Herder.
- Schwerdtfeger, A. R., & Dick, K. (2019). Episodes of momentary resilience in daily life are associated with HRV reductions to stressful operations in firefighters: An ambulatory assessment approach using Bayesian multilevel modeling. *The Journal of Positive Psychology*, *14*(5), 593–602. <https://doi.org/10.1080/17439760.2018.1497689>
- Schwerdtfeger, A. R., & Gerteis, A. K. S. (2014). The manifold effects of positive affect on heart rate variability in everyday life: Distinguishing within-person and between-person associations. *Health Psychology*, *33*(9), 1065–1073. <https://doi.org/10.1037/hea0000079>
- Schwerdtfeger, A. R., Heene, S., & Messner, E. M. (2019). Interoceptive awareness and perceived control moderate the relationship between cognitive reappraisal, self-esteem, and cardiac activity in daily life. *International Journal of Psychophysiology*, *141*, 84–92. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2019.04.003>
- Segerstrom, S. C., & Nes, L. S. (2007). Heart rate variability reflects self-regulatory strength, effort, and fatigue. *Psychological Science*, *18*(3), 275–281. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01888.x>
- Shockley, K. M., & Allen, T. D. (2013). Episodic work–family conflict, cardiovascular indicators, and social support: An experience sampling approach. *Journal of Occupational Health Psychology*, *18*(3), 262–275. <https://doi.org/10.1037/a0033137>

- Siegrist, J. (2002). Effort–reward imbalance at work and health. In P. L. Perrewé & D. C. Ganster (Eds.), *Historical and current perspectives on stress and health* (pp. 261–291). JAI Elsevier.
- Simbula, S. (2010). Daily fluctuations in teachers' well-being: A diary study using the job demands-resources model. *Anxiety, Stress, & Coping*, 23(5), 563–584. <https://doi.org/10.1080/10615801003728273>
- Sonnentag, S. (2003). Recovery, work engagement, and proactive behavior: A new look at the interface between nonwork and work. *Journal of Applied Psychology*, 88(3), 518–528. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.88.3.518>
- Sonnentag, S., Binnewies, C., & Mojza, E. J. (2008). “Did you have a nice evening?” A day-level study on recovery experiences, sleep, and affect. *Journal of Applied Psychology*, 93(3), 674–684. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.93.3.674>
- Sze, J. A., Gyurak, A., Yuan, J. W., & Levenson, R. W. (2010). Coherence between emotional experience and physiology: Does body awareness training have an impact? *Emotion*, 10(6), 803–814. <https://doi.org/10.1037/a0020146>
- Tadić, M., Bakker, A. B., & Oerlemans, W. G. (2015). Challenge versus hindrance job demands and well-being: A diary study on the moderating role of job resources. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 88(4), 702–725. <https://doi.org/10.1111/joop.12094>
- Thayer, J. F., Åhs, F., Fredrikson, M., Sollers III, J. J., & Wager, T. D. (2012). A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: Implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 36(2), 747–756. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.11.009>
- Thayer, J. F., Hansen, A. L., Saus-Rose, E., & Johnsen, B. H. (2009). Heart rate variability, prefrontal neural function, and cognitive performance: The neurovisceral integration

- perspective on self-regulation, adaptation, and health. *Annals of Behavioral Medicine*, 37(2), 141–153. <https://doi.org/10.1007/s12160-009-9101-z>
- Thayer, J. F., & Lane, R. D. (2009). Claude Bernard and the heart–brain connection: Further elaboration of a model of neurovisceral integration. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 33(2), 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2008.08.004>
- Togo, F., & Takahashi, M. (2009). Heart rate variability in occupational health: A systematic review. *Industrial Health*, 47(6), 589–602. <https://doi.org/10.2486/indhealth.47.589>
- Trull, T. J., & Ebner-Priemer, U. W. (2014). The role of ambulatory assessment in psychological science. *Current Directions in Psychological Science*, 23, 466–470. <https://doi.org/10.1177/0963721414550706>
- Trull, T. J., & Ebner-Priemer, U. W. (2020). Ambulatory assessment in psychopathology research: A review of recommended reporting guidelines and current practices. *Journal of Abnormal Psychology*, 129(1), 56–63. <https://doi.org/10.1037/abn0000473>
- Ulich, E., & Wülser, M. (2015). *Gesundheitsmanagement in Unternehmen: Arbeitspsychologische Perspektiven*. Springer.
- Utsey, S. O., & Hook, J. N. (2007). Heart rate variability as a physiological moderator of the relationship between race-related stress and psychological distress in African Americans. *Cultural Diversity and Ethnic Minority Psychology*, 13(3), 250–253. <https://doi.org/10.1037/1099-9809.13.3.250>
- Vahle-Hinz, T., Bamberg, E., Dettmers, J., Friedrich, N., & Keller, M. (2014). Effects of work stress on work-related rumination, restful sleep, and nocturnal heart rate variability experienced on workdays and weekends. *Journal of Occupational Health Psychology*, 19(2), 217–230. <https://doi.org/10.1037/a0036009>
- van Amelsvoort, L. G. P. M., Schouten, E. G., Maan, A. C., Swenne, C. A., & Kok, F. J. (2000). Occupational determinants of heart rate variability. *International Archives of*

- Occupational and Environmental Health*, 73(4), 255–262.  
<https://doi.org/10.1007/s004200050425>
- van de Mortel, T. F. (2008). Faking it: Social desirability response bias in self-report research. *The Australian Journal of Advanced Nursing*, 25(4), 40–48.
- van Halem, S., van Roekel, E., Kroencke, L., Kuper, N., & Denissen, J. (2020). Moments that matter? On the complexity of using triggers based on skin conductance to sample arousing events within an experience sampling framework. *European Journal of Personality*, 34(5), 794–807. <https://doi.org/10.1002/per.2252>
- Verkuil, B., Brosschot, J. F., Tollenaar, M. S., Lane, R. D., & Thayer, J. F. (2016). Prolonged non-metabolic heart rate variability reduction as a physiological marker of psychological stress in daily life. *Annals of Behavioral Medicine*, 50(5), 704–714. <https://doi.org/10.1007/s12160-016-9795-7>
- Vrijlkotte, T. G., van Doornen, L. J., & de Geus, E. J. (2000). Effects of work stress on ambulatory blood pressure, heart rate, and heart rate variability. *Hypertension*, 35(4), 880–886. <https://doi.org/10.1161/01.HYP.35.4.880>
- Wettstein, A., Kühne, F., Tschacher, W., & la Marca, R. (2020). Ambulatory assessment of psychological and physiological stress on workdays and free days among teachers. A preliminary study. *Frontiers in Neuroscience*, 14, 112. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.00112>
- Wilhelm, F. H., & Grossman, P. (2010). Emotions beyond the laboratory: Theoretical fundamentals, study design, and analytic strategies for advanced ambulatory assessment. *Biological Psychology*, 84(3), 552–569. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2010.01.017>
- Winslow, B. D., Chadderdon, G. L., Dechmerowski, S. J., Jones, D. L., Kalkstein, S., Greene, J. L., & Gehrman, P. (2016). Development and clinical evaluation of an mHealth

application for stress management. *Frontiers in Psychiatry*, 7, 130.  
<https://doi.org/10.3389/fpsyt.2016.00130>

World Health Organization (WHO) (2020). Constitution of the World Health Organization. In World Health Organization (Eds.), *Basic documents: Forty-ninth edition* (pp. 1–20). World Health Organization. [https://apps.who.int/gb/bd/pdf\\_files/BD\\_49th-en.pdf](https://apps.who.int/gb/bd/pdf_files/BD_49th-en.pdf)

Xanthopoulou, D., Bakker, A. B., Heuven, E., Demerouti, E., & Schaufeli, W. B. (2008). Working in the sky: A diary study on work engagement among flight attendants. *Journal of Occupational Health Psychology*, 13(4), 345–356. <https://doi.org/10.1037/1076-8998.13.4.345>

Zhu, J., Ji, L., & Liu, C. (2019). Heart rate variability monitoring for emotion and disorders of emotion. *Physiological Measurement*, 40(6), 064004. <https://doi.org/10.1088/1361-6579/ab1887>



## **Anhang: Physiologische Aspekte der Achtsamkeit (Publikation III)**

### **Physiologische Aspekte der Achtsamkeit**

Regina Franziska Schmid und Joachim Thomas

Die Verlagsfassung (Version of Record) dieses Manuskripts wurde veröffentlicht und ist verfügbar in:

Schmid, R. F., & Thomas, J. (2019). Physiologische Aspekte der Achtsamkeit. In Y.-S. Chang-Gusko, J. Heße-Husain, M. Cassens, & C. Schulte-Meßtorff (Hrsg.), *Achtsamkeit in Arbeitswelten: Für eine Kultur des Bewusstseins in Unternehmen und Organisationen* (S. 35–49). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-25673-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-658-25673-9_3)

Diese Version entspricht nicht vollständig der Verlagsfassung und ist nicht zitierfähig.

*Reproduced with permission from Springer Nature.*

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2019

## **1 Relevanz der Thematik**

Mit wachsendem wissenschaftlichem Interesse widmen sich immer mehr empirische Forschungsarbeiten der neurologischen bzw. physiologischen Verankerung der Achtsamkeit. Tatsächlich scheint es, als ob die achtsame Erfahrung gegenwärtiger Momente eng mit der Regulation körperlicher Prozesse assoziiert ist und letztendlich nicht nur auf psychologischer, sondern auch auf physiologischer Ebene ein inneres Gleichgewicht herbeiführen kann. Die verhaltens- und emotionsregulatorischen Skills der Achtsamkeit sollen sich demnach gewissermaßen in der Funktionsfähigkeit physiologischer Selbstregulationsmechanismen widerspiegeln. Kurz gesagt: Wenn eine Person flexibel und adaptiv auf verschiedene Situationen reagieren kann, wie es bei achtsamen Personen der Fall ist, dann soll dasselbe auch für deren Organismus gelten (Thayer & Lane 2000). Eine Vielzahl an Studien untermauert diese Annahme, wonach Achtsamkeit mit einer besseren autonomen Selbstregulation und Anpassungsfähigkeit (Kadziolka et al., 2016), einer geringeren physiologischen Reaktivität gegenüber Stress (Holt, 2012) und allgemein positiveren neuronalen Markern (Burg et al., 2012) einhergeht. Diese jüngsten Erkenntnisse demonstrieren nicht nur das zunehmende Interesse am Thema Achtsamkeit oder bestimmten physiologischen Markern, sondern bestärken auch die Verbundenheit beider Forschungsrichtungen.

Aufgrund der großen Bandbreite an physiologischen Parametern des neuropsychokardiologischen Netzwerks können in diesem Kapitel nur ausgewählte Bereiche dargestellt werden. Wegen der aktuell großen Popularität der Thematik in der Forschung und der hohen inhaltlichen Nähe zum Konstrukt der Achtsamkeit wird der Schwerpunkt vorwiegend auf die Herzratenvariabilität (HRV) gelegt. Als zuverlässiger physiologischer Marker liefert die HRV nützliche Auskünfte über Beanspruchungsreaktionen im Arbeits- und Stresskontext (vgl. Böckelmann, 2012) sowie über den Gesundheitsstatus des vegetativen Nervensystems (Eller-Berndl, 2015). Besondere Berücksichtigung im Kapitel finden dabei die efferenten Nerven

Sympathikus und Parasympathikus, die die vegetativen Verbindungen zum Herzen repräsentieren und letztendlich für selbstregulatorische Prozesse im Sinne von Leistungs- und Erholungsreaktionen stehen. Mithilfe der HRV ist es möglich, ebendiese Prozesse abzubilden und Aussagen über die parasympathische Leistung und der sympathovagalen Balance abzuleiten (Wittling & Wittling 2012). Damit werden nicht nur neurologische Aspekte, sondern zugleich auch kardiovaskuläre Prozesse im Rahmen der Herzkreislaufregulation thematisiert.

Nach einer allgemeinen Einführung in die Physiologie der HRV werden die Parallelen dieser körperlichen Selbstregulationsprozesse zu den psychologischen Selbstregulationsprozessen, wie sie im Rahmen der Achtsamkeit eine Rolle spielen, schrittweise hergeleitet.

## **2 Herzratenvariabilität**

### **2.1 Neurovegetative Bedeutung und Regulationsmechanismen**

Bereits zu Beginn des ersten Jahrtausends stellte der chinesische Mediziner Wang Shu-Ho (180–270 n. Chr.) einen Zusammenhang zwischen der Regelmäßigkeit des Herzschlags und der körperlichen Konstitution fest: „Wenn das Herz so regelmäßig wie das Klopfen eines Spechtes oder das Tröpfeln des Regens auf dem Dach wird, wird der Patient innerhalb von vier Tagen sterben“ (Wang zit. nach Eller-Berndl, 2015, S. 10). Dieses weithin bekannte Zitat beschreibt die Tragweite einer zu starren Herzfrequenz hinsichtlich der Sterblichkeit bzw. Krankheit eines Organismus und erinnert dabei stark an die heutige Definition der HRV nach Malik et al. (1996): Im Grunde ist die HRV nichts anderes als die spontane Variabilität der Herzfrequenz, wie sie sich aus einem klassischen Elektrokardiogramm (EKG) ableiten lässt. Die Basis der HRV bildet dabei die Tatsache, dass das menschliche Herz nicht immer genau gleichmäßig schlägt, sondern die Herzschlagfolge, das sogenannte RR-Intervall, einer gewissen Variabilität und Schwankung unterliegt.

Die HRV-Generierung selbst ist äußerst komplex und geht letztendlich auf das Zusammenspiel aus Sympathikus und Parasympathikus zurück. Dabei ist der Sympathikus, auch Nervus sympathicus, das aktivierende Teilsystem des vegetativen Nervensystems und stellt den Körper auf energiebereitstellende und leistungssteigernde Fight-or-Flight-Reaktionen ein. Der Parasympathikus, auch Nervus vagus, hingegen ist das dämpfende, schützende Teilsystem und regt energiespeichernde Erholungsreaktionen an, sodass seine Aktivität in Ruhe- und Regenerationsphasen überwiegt. Bei der Steuerung der Herzaktivität wirken die beiden Nervenverbindungen antagonistisch, das heißt, das eine Teilsystem wirkt aktivierend und das andere Teilsystem hemmend auf ein und denselben körperlichen Vorgang ein (für eine detaillierte Darstellung siehe Wittling & Wittling 2012). Das daraus resultierende Verhältnis an Sympathikus- und Parasympathikusaktivität spiegelt die Anpassungsfähigkeit des Organismus an verschiedene Situationen wider und gibt darüber Auskunft, ob der Körper durch feine Anpassungen in der Dauer der Herzzyklen flexibel auf äußere und innere Faktoren reagieren und sich den momentanen Erfordernissen, das heißt Energiebereitstellung vs. Energiespeicherung, anpassen kann oder nicht (Böckelmann, 2012).

Konkret bedeutet eine hohe HRV demnach, dass das Herz sowohl schnelle, regelmäßige als auch langsame, unregelmäßige Schläge zulässt. In physiologischer Hinsicht ist dies ein Zeichen für sympathovagale Balance, das heißt ein ausgeglichenes Sympathikus-Parasympathikus-Verhältnis. Dieses Gleichgewicht wiederum steht für eine gesunde Anpassungsfähigkeit im Sinne der adäquaten An- oder Entspannung des Körpers, eine gute Erholungsfähigkeit, psychisches Wohlbefinden, körperliche Gesundheit sowie Vitalität (Hottenrott, 2007). Ein durchgängig starrer, gleichmäßiger Herzrhythmus, das heißt eine niedrige HRV, hingegen geht meist auf eine überwiegend sympathisch dominierte Aktivität zurück. Ein charakteristisches Beispiel hierfür sind chronische Stresszustände, bei denen das Herz auch nach intensiven Belastungsphasen gleichmäßig weiterschlägt und kaum mehr in den

Ruhemodus schaltet (Eller-Berndl, 2015). Tiefergehende Grundlagen, etwa zum Zusammenhang mit dem Sinusknoten oder der Möglichkeit einer positiven Einflussnahme auf die HRV durch Atmung, Stichwort Respiratorische Sinusarrhythmie (RSA), sind unter anderem in Eller-Berndl (2015) nachzulesen. Festzuhalten bleibt, dass dieses nervale Zusammenspiel die Funktionsfähigkeit des Herzkreislaufsystems quantifiziert und damit eine Beschreibung über die Gesundheit neurokardiologischer Prozesse liefert.

## **2.2 Herzratenvariabilität bei akutem und chronischem Stress**

Dass die HRV als eine valide Kenngröße für die physiologische Beanspruchung und Erholungsfähigkeit anzusehen ist, ist mittlerweile unbestritten (Sammito et al., 2014) und wird durch zahlreiche Forschungsarbeiten untermauert: In verschiedensten Stresssettings konnte eine reduzierte parasympathische Aktivität sowie eine erhöhte sympathische Aktivität repliziert werden, z.B. für experimentell induzierten Stress (Castaldo et al., 2015) genauso wie für alltäglichen Stress (Lucini et al., 2002) und für akuten Stress (Holt, 2012) genauso wie für chronische Stresszustände im Falle der Trait-Angst (Dishman et al., 2000) oder der Arbeitsüberlastung (Eller-Berndl, 2015). Am meisten verbreitet sind HRV-Studien zu kurzzeitig induziertem, psychischem Stress, etwa bei Rechenaufgaben, Reaktionszeitaufgaben, Stroop-Tests, Vortrags- oder sozialem Stress (Delaney & Brodie, 2000; Holt, 2012; Jain et al., 2001; Nater et al., 2006). Die Metaanalyse von Castaldo et al. (2015) stellt diese zusammenfassend dar. Typischerweise charakterisiert sich diese autonom-nervöse Stressreaktion dabei folgendermaßen: Nach Eintritt des Stressreizes kommt es in einer – im Vergleich zu neuroendokrinen Vorgängen relativ raschen – Wirkkette zu einer sympathischen Aktivierung und parasympathischen Herunterregulierung. Wird der Stressor entfernt, folgt eine schnelle kardiovagale Erholungsreaktion und die Systeme gleichen sich erneut ihrem Ursprungsniveau an (Wittling & Wittling, 2012). Insgesamt bleibt festzuhalten,

dass sich bei akuten Stresssituationen zwar das sympathovagale Gleichgewicht kurzzeitig zugunsten des Sympathikus verschiebt, dies in Anbetracht der Anforderungen aber eine eindeutig zweckmäßige Reaktion des Organismus im Sinne der Ressourcenaktivierung und Leistungserbringung darstellt und keinesfalls als klinisch relevant oder gesundheitsbeeinträchtigend einzustufen ist.

Anders verhält es sich hingegen bei der chronischen Stressbelastung, bei der die sympathische Dominanz durch anhaltende Alarmreize auch nach der Stresssituation erhalten bleibt und die parasympathische Erholungsreaktion unterdrückt wird. Entwickelt sich der sympathisch dominierte Zustand über Monate bis Jahre hinweg in eine Chronifizierung, führt dies zur Überlastung des Organismus und einem Ungleichgewicht der Systeme (Eller-Berndl, 2015). Das damit assoziierte, erhöhte gesundheitliche Risiko zieht nicht nur kardiovaskuläre und immunologische Beeinträchtigungen nach sich, sondern begünstigt auch die Entstehung psychischer Erkrankungen. Grund dafür ist unter anderem die Kaskade aus vegetativen und endokrinologischen Wechselwirkungen, die letztendlich in einem Stadium des völligen physischen und psychischen Energieverlusts resultiert und besser als Burn-out- oder Erschöpfungssyndrom bekannt ist (Wittling & Wittling, 2012).

### **2.3 Methodische Aspekte der Herzratenvariabilität**

Aus methodischer Sicht lässt sich die HRV sowohl in Kurz- als auch in Langzeitmessungen abbilden. Bei der Entscheidung für ein Design empfiehlt es sich, die individuelle Fragestellung zu reflektieren und den Erhebungsprozess an allgemeingültigen Richtlinien auszurichten. Sammito et al. (2014) liefern einen umfassenden Überblick über die technischen Möglichkeiten und Voraussetzungen der Erhebungsinstrumente und nehmen dabei unter anderem Bezug auf mögliche Störquellen sowie Vor- und Nachteile verschiedener EKG-Systeme. Zur Quantifizierung der HRV selbst liegt ein großes Spektrum an Parametern vor,

wobei die Auswahl auch hier von der spezifischen Fragestellung und Messdauer abhängt und stets im Einzelfall abzuwägen ist. Aufgrund der ähnlichen mathematischen Herleitung kann es allerdings zu teils starken Überschneidungen und sogar Redundanzen in der Aussagekraft der Parameter kommen, weshalb auf einen sparsamen Umgang mit Parametern zu verweisen ist (Wittling & Wittling, 2012). Unterscheidbar sind grundlegend die Parameter des Zeitbereichs, des Frequenzbereichs sowie der nichtlinearen Dynamik:

- Zeitanalytische Methoden beziehen sich auf die zeitliche Dimension der Rhythmen und gründen auf deskriptiven Streuungsmaßen. Zu den zentralen Größen laut Malik et al. (1996) zählen die Standardabweichung aller RR-Intervalle (SDNN), die Quadratwurzel des Mittelwertes der Summe der quadrierten Differenzen aufeinanderfolgender RR-Intervalle (RMSSD) sowie der Prozentsatz aufeinanderfolgender RR-Intervalle, die sich jeweils um mehr als 50 ms voneinander unterscheiden (pNN50). Während die SDNN die Gesamtvariabilität der HRV widerspiegelt, sind die Parameter RMSSD und pNN50 stark vagal moduliert und eignen sich als Indikatoren parasympathisch dominierter Kurzzeitvariabilität (für einen Überblick siehe Eller-Berndl, 2015).
- Im frequenzanalytischen Bereich werden die zugrunde liegenden Rhythmen mit ihren charakteristischen Verläufen, Amplituden und Intensitäten in Frequenzkomponenten und -bänder zerlegt, z.B. mithilfe der Fast-Fourier-Transformation. Grundsätzlich differenziert man zwischen vier Frequenzbändern, wobei nur zwei davon für den arbeitswissenschaftlichen Bereich relevant sind (Sammito et al., 2014): das High-Frequency-Band (HF; 0,15 bis 0,40 Hz) des parasympathisch und respiratorisch modulierten Frequenzbereichs sowie das Low-Frequency-Band (LF; 0,04 bis 0,15 Hz) aus überwiegend sympathikonen Einflüssen. Überdies lässt die Spektralanalyse auch mathematische Kalkulationen zu, z.B. des Quotienten aus dem LF- und HF-Band

(LF/HF), dessen Interpretation allerdings kontrovers diskutiert wird (z.B. Eller-Berndl, 2015).

- Die Verfahren der nonlinearen Dynamik, auch Phasenbereich genannt, betrachten dagegen aufeinanderfolgende RR-Intervalle in der visualisierten Form eines Koordinatensystems. Prominente Darstellungsbeispiele sind Lorenz- oder auch Poincaré-Plots, bei denen sukzessive RR-Wertepaare als Punktwolkendiagramm abgetragen werden. Wichtige numerisch zu quantifizierende Parameter sind z.B. die Standardabweichung der Punktabstände zum Querdurchmesser (SD1) als Kennwert der Kurzzeitvariabilität und die Standardabweichung der Punktabstände zum Längsdurchmesser (SD2) als Kennwert der Langzeitvariabilität (Sammito et al., 2014). Pfister et al. (2006) liefern darüber hinaus hilfreiche Ansatzpunkte zur qualitativen Interpretation dieser resultierenden Figuren.

Für den gesamten Prozess der Datenerhebung, -analyse und -interpretation empfehlen sich, wie bereits angedeutet, standardisierte Vorgehensweisen, um methodisch korrekte und inhaltlich gültige sowie vergleichbare Studien zu planen. Einen der ersten und heute immer noch wichtigsten Beiträge zu Leit- und Richtlinien lieferte die Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology (Malik et al., 1996), die kürzlich eine hinsichtlich des neuen Kenntnisstandes überarbeitete Version neupublizierte (Sassi et al., 2015). Leitlinien zur Anwendung der HRV speziell im Kontext Arbeit finden sich darüber hinaus auch im deutschsprachigen Raum von der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin (Pfister et al., 2006) sowie der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (Sammito et al., 2014). Gemäß Sammito et al. (2014) lässt sich psychische Belastung, wie sie häufig im beruflichen Kontext verbreitet ist, am besten mit den Parametern RMSSD, LF, HF, LF/HF sowie SD1 quantifizieren. Zwar gibt es zur Interpretation dieser HRV-Daten auch bereits



Referenzwerte und Metaanalysen (Nunan et al., 2010; Umetani et al., 1998), jedoch wird der Vergleich mit Normdaten allgemein durch die hohe interindividuelle Variabilität der HRV erschwert. So wirken nicht nur konstitutionelle (z.B. Alter, Geschlecht, Gewicht) und endogene (z.B. Atmung, Blutdruck, Hormone) Faktoren auf die HRV ein, sondern auch Faktoren exogener Art, z.B. körperliche Aktivität und Stress (Hottenrott, 2007). Bei der Planung und Interpretation einer Studie empfiehlt es sich also, all diese Faktoren entsprechend zu berücksichtigen, um die Forschungsfrage eindeutig und isoliert von unerwünschten Wechselwirkungen beantworten zu können.

#### **2.4 Herzratenvariabilität im Kontext beruflicher Belastungen**

Beruflicher Stress als eine der geläufigsten Formen chronischen Stresses gilt als bedeutender Risikofaktor, was die Entstehung psychischer und physischer Probleme betrifft. Gerade der Zusammenhang zwischen psychosozialen Anforderungen am Arbeitsplatz und kardiovaskulären Veränderungen wurde vielfach untersucht und gestützt (Borchini et al., 2015; Collins & Karasek, 2010; Hanson et al., 2001). Eine der verheerendsten Folgen, die ungünstige Arbeitsbedingungen bewirken können, sind dabei Erkrankungen des Herzkreislaufsystems, die mittlerweile zu den führenden Ursachen für Mortalität und Morbidität in industrialisierten Ländern zählen (Togo & Takahashi, 2009). Eine Vielzahl an Studien beschäftigte sich daher in der Vergangenheit mit der Identifikation von Arbeitsplatzfaktoren, die diese kardiovagalen Beeinträchtigungen bedingen. Die Autoren konnten folgende HRV-einschränkende Aspekte identifizieren: bestimmte physikalische und chemische Arbeitsumwelten (vgl. Sammito et al., 2014), Schicht- und Nachtarbeit (z.B. Adams et al., 1998), überhöhte Arbeitsbelastung und Workload bei geringem Ausmaß von Entscheidungsspielraum und Unterstützung (z.B. Chandola et al., 2008; Collins et al., 2005), empfundene organisationale Ungerechtigkeit (z.B. Elovainio et al., 2006) sowie erlebtes Ungleichgewicht zwischen Arbeitseinsatz und Belohnung

(Eller et al., 2011; Hanson et al., 2001). Eller-Berndl (2015) zeigt dazu die verschiedenen Stadien einer autonom-nervös manifestierten Stresssymptomatik auf – von chronischer Stressbelastung über das chronische Überlastungssyndrom bis hin zum Burn-out-Syndrom – und verknüpft diese in anschaulicher Weise mit den jeweilig charakteristischen HRV-Kennwerten. Überblickshafte und methodenkritische Reviews über den Zusammenhang zwischen Arbeitsstress und kardiovaskulären Erkrankungen finden sich bereits bei Belkic et al. (2004), die nach einer Analyse von mehr als 35 Studien unterschiedlicher Designs den Schluss zogen, dass – vor allem männliche – Arbeitnehmer mit überdurchschnittlichen Stressniveaus ein deutlich erhöhtes Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen aufweisen. Das Review von Chandola et al. (2010) konzentrierte sich infolge vielmehr auf die genauen psychophysiologischen Wirkprozesse, die den gesundheitsgefährdenden Arbeitsmerkmalen zugrunde liegen. Unter all den untersuchten Biomarkern lieferte gerade die HRV, speziell das HF-Band, die konsistentesten und verlässlichsten Befunde zur Vorhersage beruflicher Beanspruchung. In einem weiteren Review spezialisierten sich Togo und Takahashi (2009) zum Thema Gesundheit im Beruf allein auf die HRV und stellten neben einem detaillierten Überblick zu krankmachenden Arbeitsfaktoren einen Vergleich zwischen Arbeits- und Erholungsphasen auf. Dabei kamen die Autoren zu der Erkenntnis, dass sich die kardiovagalen Einschränkungen keinesfalls nur auf die Arbeitszeit beschränken, sondern auch Freizeit- und Schlafperioden überdauern können. Die aktuellste Übersicht über Forschungsergebnisse im Zusammenhang mit klassischen arbeitspsychologischen Modellen gewährt Jarczok et al. (2013) mit insgesamt 19 ausgewählten HRV-Studien. Die Autoren betonen die Wichtigkeit einer primären Prävention vegetativer Dysregulation, die eine frühzeitige HRV-basierte Beanspruchungsanalyse oder Risikostratifizierung für Herz-Kreislauf-Erkrankungen voraussetzt.

Dies greift zugleich auch die zentralen Anwendungsmöglichkeiten von HRV-Analysen im betrieblichen Gesundheitsmanagement auf. Wie Sammito et al. (2014) berichten, können

die Parameter z.B. besonders beanspruchende und gefährdende Tätigkeiten im Betrieb oder Ermüdungs- und Erholungserscheinungen der Mitarbeiter verlässlich identifizieren. Auch Einzelpersonen können vom Nutzen der HRV-Messung profitieren: Mit persönlichen körperlichen und mentalen Beanspruchungsanalysen können individuelle Aussagen zum Gesundheitsstatus gemacht und maßgeschneiderte Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Letztendlich erlauben die HRV-Messungen auch Aussagen zum Erfolg arbeits- und gesundheitsorientierter Präventionen und Interventionen, etwa bei Arbeitsplatzumgestaltungen, Stressbewältigungstrainings, körperlichen Betätigungen oder Veränderungen im Lebensstil. Grundsätzlich gilt: Je höher die postale parasympathische Grundaktivität, desto positiver der Effekt der jeweiligen Maßnahme (Sammito et al., 2014).

Festzuhalten bleibt, dass berufliche Anforderungen unmittelbar mit der psychischen und physischen Gesundheit verbunden sind und dieser Zusammenhang in physiologischen Parametern wie der HRV sichtbar wird. Interventions- und Präventionsmaßnahmen können hilfreich sein, um den negativen Effekt von chronischem Arbeitsstress zu reduzieren. Nichtsdestotrotz sind es auch persönliche Schutz- und Resilienzfaktoren, die den Menschen gesund halten, ihn stressresistent machen und zu einer innerlichen sowie äußerlichen Balance beitragen – und Achtsamkeit ist eine dieser Ressourcen.

### **3 Physiologische und kardiovaskuläre Befunde zur Achtsamkeit**

Das wachsende Interesse am Konstrukt der Achtsamkeit als Schutzfaktor gegenüber Stress ist vor allem auch in arbeits- und gesundheitspsychologischer Hinsicht begründet. Definitionsgemäß gilt Achtsamkeit „als Bewusstseinszustand, der dadurch entwickelt wird, dass man seine Aufmerksamkeit vorsätzlich, also ganz bewusst, auf all jene Dinge richtet, über die man für gewöhnlich nie nachdenkt“ (Kabat-Zinn, 1994, S. 16). Diese akzeptierende, nicht-bewertende Erfahrung der Gegenwart führt dazu, dass achtsame Personen externe (Stress-

)Ereignisse isoliert von eigenen, inneren Reaktionen betrachten können. Sie lenken ihre Aufmerksamkeit weniger auf die mit den Ereignissen assoziierten Probleme in der Vergangenheit oder Zukunft, sondern akzeptieren vielmehr den aktuellen Moment und können so die Stresssituation konstruktiv und ohne Ablenkung bewältigen (Weick & Putnam, 2006). In Anbetracht dessen verwundert es nicht, dass die stressregulierende Ressource immer stärker in den Fokus der beruflichen Stressforschung gerät. Gerade der selbstregulierende Aspekt der Achtsamkeit in kognitiver, affektiver und behavioraler Hinsicht steht hier bzw. grundsätzlich in Verbindung mit physiologischen Studien im Mittelpunkt.

Um die Physiologie der Achtsamkeit besser verstehen zu können, ist an dieser Stelle zunächst ein kleiner Exkurs in die Physiologie der Emotionsregulation hilfreich. Viele psychophysiologische Modelle und Theorien versuchten in der Vergangenheit, die psychologischen Regulationsprozesse mit physiologischen Regulationsprozessen in Beziehung zu setzen. Eine der bekanntesten Theorien, die die HRV im Zusammenhang mit kognitiven und emotionsregulatorischen Prozessen abbildet, ist das Modell der neuroviszeralen Integration nach Thayer (Thayer, 2007; Thayer & Lane, 2000). Postuliert wird ein systemisch-dynamisches Netzwerk zwischen Gehirn und Herz, das durch funktionelle Verbindungen die Balance bzw. Flexibilität von vegetativen wie auch kognitiv-affektiven Prozessen gleichermaßen beeinflusst. Appelhans und Luecken (2006) bringen darüber hinaus die Regulation von Emotionen und Verhalten über verschiedene physiologische Aktivitätszustände mit dem vegetativen Nervensystem in Verbindung. Demnach kann das vegetative Nervensystem nur dann das nötige Ausmaß an physiologischer Aktivität bezüglich der adäquaten Reaktionen und Emotionen und somit eine flexible, kognitiv-affektive Reaktion auf die Umwelt generieren, wenn es auch sich selbst durch eine flexible Anpassungsfähigkeit an momentane Situationen im Sinne einer hohen HRV auszeichnet. Die Tatsache, dass Personen mit einer höheren HRV über bessere emotions- und verhaltensregulierende Fähigkeiten verfügen, findet zahlreiche empirische Unterstützung

(Appelhans & Luecken, 2006; Segerstrom & Nes, 2007; Thayer & Lane, 2009; Thayer et al., 2012). Entsprechend lässt sich schlussfolgern, dass eine höhere HRV als Indikator der regulativen Fähigkeit des vegetativen Nervensystems gleichermaßen auch als Indikator der selbstregulierenden Stärke gilt (Appelhans & Luecken, 2006; Segerstrom & Nes, 2007).

Die physiologischen Wirkmechanismen der Achtsamkeit selbst basieren im Großen und Ganzen auf denselben Annahmen. Viele Autoren bauen ihre Argumentation zum Zusammenhang der HRV mit Achtsamkeit entsprechend auf der hohen inhaltlichen Nähe der Achtsamkeit mit den Konzepten der Emotions- und Verhaltensregulation auf. Demnach machen diese selbstregulierenden Fähigkeiten das zentrale Charakteristikum der Achtsamkeitsdefinition aus (vgl. Burg et al., 2012). Die Gemeinsamkeit der Konstrukte wird jedoch auch in wissenschaftlichen Studien (z.B. Modinos et al., 2010) und einschlägigen Überblickswerken (z.B. Ostafin et al., 2015) deutlich, die Achtsamkeit sogar mit Selbstregulation gleichsetzen. Der Gebrauch der HRV als Marker selbstregulierender Vorgänge auf der einen Seite und die selbstregulierenden Eigenschaften der Achtsamkeit entsprechend ihrer Definition auf der anderen Seite, veranlassten Burg et al. (2012) schließlich, die HRV ebenso als physiologischen Marker der Achtsamkeit anzusehen. Die neurokardiologische Verankerung der Achtsamkeit basiert mittlerweile auf einer guten, wenn auch noch jungen Studienbasis. Viele Untersuchungen enthüllen die positiven Effekte einer achtsamkeitsbasierten Übung oder Meditation auf die HRV: Im Vergleich zur Kontrollgruppe zeigten Achtsamkeits-Meditierende z.B. eine erhöhte RSA (z.B. Ditto et al., 2006; Peng et al., 2004), erhöhte HF-HRV-Werte (Lehrer et al., 1999; Tang et al., 2009) sowie niedrigere LF-HRV- und LF/HF-Werte (z.B. Takahashi et al., 2005; Telles et al., 2005). Konkret konnten Ditto et al. (2006) beispielsweise zeigen, dass die Teilnehmer eines Programms zur achtsamkeitsbasierten Stressreduktion (MBSR; Kabat-Zinn, 1994) während der Meditation eine höhere parasympathische Aktivität aufwiesen als bei anderen Aktivitäten. In ähnlicher

Weise konnten auch Krygier et al. (2013) einen erhöhten log-transformierten HF-Wert während einer zehntägigen Vipassana-Meditation im Vergleich zur Ruhebedingung aufzeigen. Shearer et al. (2016) eruierten darüber hinaus während einer stressinduzierenden Aufgabe bei einer Achtsamkeitstrainingsgruppe höhere SDNN-Werte als bei der inaktiven Kontrollgruppe. In eher experimentell orientierten Laborstudien zeigte sich während bzw. nach einer achtsamkeitsbasierten Atmungsübung über rein deskriptive Korrelationen zwischen den HRV-Parametern SDNN und RMSSD und der Trait-Achtsamkeit (Burg et al., 2012) hinaus auch ein reduzierter LFnu-Wert (May et al., 2016). Außerdem ergab sich für achtsame Personen im Rahmen von stressinduzierenden Aufgaben bzw. Interviews generell eine höhere parasympathische Aktivität (z.B. Holt, 2012; Kadziolka et al., 2016). Die Autoren konnten damit zeigen, dass achtsame Personen allgemein mit weniger (physiologischer) Reaktivität auf äußere Stressoren reagieren und sich nach der Stresssituation durch effektives Herunterregulieren besser erholen können als wenig achtsame Personen.

Auch die umgekehrte Kausalität der Wirkungsrichtung mit Achtsamkeit als abhängiger Variable wurde überprüft: Trait-Achtsamkeit ließ sich zuverlässig anhand von HRV-Daten und HRV-Biofeedback-Interventionen vorhersagen (z.B. Kleen & Reitsma, 2011; Prinsloo et al., 2013). Tatsächlich scheint die HRV-Biofeedback-Methode in Sachen Stressbewältigung in ähnlicher Weise zu wirken wie die in den Studien genannten Methoden zur Achtsamkeitsmeditation. Mit dem Einsatz von Biofeedback baut sich also nochmals ein neues arbeitspsychologisches Anwendungsfeld der HRV, z.B. zur Visualisierung von Entspannungsprozessen, auf (z.B. Lehrer, 2003; Lehrer et al., 2003; Peira et al., 2013). In einem kurzen Überblick klären Sammito et al. (2014) über die positiven kurzzeitigen wie auch die noch eingeschränkt untersuchten langzeitigen Wirkungen der Methode auf und geben Hinweise zu geeigneten und ungeeigneten HRV-Biofeedback-Methoden. Zur Frage, ob nun eine achtsamkeitsbasierte Meditation oder eine HRV-Biofeedback-Intervention Stresssymptome

effektiver bekämpfen und Wohlbefinden und Schlafqualität effektiver erhöhen kann, konnten van der Zwan et al. (2015) keine Unterschiede in der Wirksamkeit der beiden Maßnahmen finden und folgern, dass sie gleichermaßen zur individuellen Stressregulierung geeignet sind.

Um abschließend noch einen Einblick in das restliche achtsamkeitsassoziierte neuronale Netzwerk zu gewähren, seien ausgewählte Studienergebnisse kurz skizziert. Ein tiefer gehender Überblick zu allgemeinen neurologischen Aspekten mit speziellem Blick auf den Teil der fMRT- und EEG-basierten Achtsamkeitsforschung findet sich bei Sayers et al. (2015). Vereinfacht ausgedrückt bildet die Grundlage auch hier die Nähe der Achtsamkeit mit Emotionsregulationsprozessen, was sich auch in der gemeinsamen neuroanatomischen Verankerung ausdrückt. Demnach steht Achtsamkeit beispielsweise in Zusammenhang mit der Aktivität im anterioren cingulären Cortex (ACC), im präfrontalen Cortex (PFC) sowie der Amygdala, die allesamt auch mit der Kontrolle autonomer Funktionen oder der Selbstregulation von Kognitionen, Emotionen und zum Teil auch Aufmerksamkeit assoziiert sind (Modinos et al., 2010; Tang et al., 2009; Thayer, 2007). Wie Tang et al. (2009) schlussfolgern, bedingen sich diese neurologischen Achtsamkeitsmarker jedoch gegenseitig und sind teilweise auch wiederum eng mit kardiovaskulären Regulationsmechanismen, etwa der HRV, korreliert, was den komplexen, interagierenden und dynamischen Charakter des neuronalen Achtsamkeitsnetzwerks im Gesamten verdeutlicht.

#### **4 Zusammenführung aktueller und zukünftiger Forschungsthemen**

Im Gesamturteil rechtfertigen die dargestellten Studienergebnisse die Aussage, dass die HRV als exemplarischer physiologischer Marker ein geeignetes Korrelat der Achtsamkeit darstellt. Aus den verschiedenen Studien zur erhöhten HRV bei achtsamkeitspraktizierenden Personen lässt sich hinreichend Evidenz für den Schluss ableiten, dass die selbstregulierte Aufmerksamkeit auf den gegenwärtigen Moment die Art und Weise verändert, wie unser

Körper auf äußere Reize reagiert. Auch wenn dieses Kapitel nur eine überblickshafte Darstellung über einen exemplarischen physiologischen Parameter liefert und die restlichen neurobiologischen Marker nur am Rande behandeln konnte, trägt dies bedeutsam zum Verständnis der Physiologie der Achtsamkeit bei. Zwar verfügt die empirische Studienbasis in Anbetracht des erst kürzlich entstandenen Forschungsinteresses bereits über eine gute Grundlage zum physiologischen Nutzen der Achtsamkeit, dennoch gibt es eine Reihe offener Fragen, die noch weiterer empirischer Untersuchungen bedürfen. Eine davon betrifft die Analyse dynamisch-physiologischer Ausprägungen des Achtsamkeitslevels im Sinne einer State- statt einer globalen Trait-Variable (vgl. Kadziolka et al., 2016). Dies könnte nicht nur zusätzliche Informationen über Momentaufnahmen physiologischer Begleitprozesse liefern, sondern auch Auskünfte geben, wie gut sich die Probanden in verschiedenen Situationen psychologisch wie auch physiologisch selbstregulieren können. Außerdem wären tiefer gehende Studien zu Achtsamkeitseffekten außerhalb von Laboren und experimentell-standardisierten Bedingungen wünschenswert, um mehr über die kardiovagalen Wirkmechanismen der Achtsamkeit im alltäglichen oder gar im beruflichen Umfeld zu erfahren. Wie May et al. (2016) darstellen, könnten hierzu mobile Smartphone-Apps und HRV-Brustgurte die technisch nötigen Voraussetzungen liefern, ohne dabei Einbußen in der Praxistauglichkeit oder Qualität der Daten und Geräte verzeichnen zu müssen (Böckelmann, 2012). Der stärkere Realitätsbezug und die höhere externe Validität der Erhebungen stellen eine lohnenswerte Zielsetzung für zukünftige Forschungsarbeiten dar.

Die kommenden Jahre werden daher zweifelsohne die bisherige Forschungslandschaft zusätzlich erweitern. Gerade auch im arbeits- und gesundheitspsychologischen Bereich ist aufgrund des gemeinsamen Bezugs zur Stressregulation auf eine florierende Zukunft der HRV-basierten Achtsamkeitsforschung zu hoffen. Vor dem Hintergrund der Omnipräsenz von Stress in unserem heutigen Alltag und der steigenden Herausforderungen moderner Arbeitswelten, in



denen psychische Belastungen und kardiovaskuläre Erkrankungen einen bedrohlichen Wachstumstrend verzeichnen, ist dies aber auch zwingend erforderlich. Die Initiative für geeignete Präventions- und Interventionsstrategien muss dabei nicht nur auf forschungs-, sondern auch auf anwendungsbezogener Ebene ergriffen werden. Auf Zielebene letztendlich ausschlaggebend für die Gesundheit und das Wohlbefinden der Beschäftigten ist die Erhaltung bzw. Verbesserung der psychologischen wie auch physiologischen Regulationsfähigkeit. Physiologische Messungen und Achtsamkeitsinterventionen können dabei, gerade auch in Verknüpfung, als nützliche Instrumente fungieren.

### Literatur

- Adams, S. L., Roxel, D. M., Weiss, J., Zhang, F., & Rosenthal, J. E. (1998). Ambulatory blood pressure and Holter monitoring of emergency physicians before, during, and after a night shift. *Academic Emergency Medicine*, 5, 871–877. <https://doi.org/10.1111/j.1553-2712.1998.tb02816.x>
- Appelhans, B. M., & Luecken, L. J. (2006). Heart rate variability as an index of regulated emotional responding. *Review of General Psychology*, 10, 229–240. <https://doi.org/10.1037/1089-2680.10.3.229>
- Belkic, K. L., Landsbergis, P. A., Schnall, P. L., & Baker, D. (2004). Is job strain a major source of cardiovascular disease risk? *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 30, 85–128. <https://doi.org/10.5271/sjweh.769>
- Böckelmann, I. (2012). Analyse der Herzfrequenzvariabilität (HRV) – Praktische Relevanz. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie*, 62, 275–279. <https://doi.org/10.1007/BF03346164>
- Borchini, R., Ferrario, M. M., Bertù, L., Veronesi, G., Bonzini, M., Dorso, M., & Cesana, G. (2015). Prolonged job strain reduces time-domain heart rate variability on both working

- and resting days among cardiovascular-susceptible nurses. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 28, 42–51.  
<https://doi.org/10.2478/s13382-014-0289-1>
- Burg, J. M., Wolf, O. T., & Michalak, J. (2012). Mindfulness as self-regulated attention: Associations with heart rate variability. *Swiss Journal of Psychology*, 71, 135–139.  
<https://doi.org/10.1024/1421-0185/a000080>
- Castaldo, R., Melillo, P., Bracale, U., Caserta, M., Triassi, M., & Pecchia, L. (2015). Acute mental stress assessment via short term HRV analysis in healthy adults: A systematic review with meta-analysis. *Biomedical Signal Processing and Control*, 18, 370–377.  
<https://doi.org/10.1016/j.bspc.2015.02.012>
- Chandola, T., Britton, A., Brunner, E., Hemingway, H., Malik, M., Kumari, M., Badrick, E., Kivimaki, M., & Marmot, M. (2008). Work stress and coronary heart disease: What are the mechanisms? *European Heart Journal*, 29, 640–648.  
<https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehm584>
- Chandola, T., Heraclides, A., & Kumari, M. (2010). Psychophysiological biomarkers of workplace stressors. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 35, 51–57.  
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.11.005>
- Collins, S., & Karasek, R. (2010). Reduced vagal cardiac control variance in exhausted and high strain job subjects. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 23, 267–278. <https://doi.org/10.2478/v10001-010-0023-6>
- Collins, S. M., Karasek, R. A., & Costas, K. (2005). Job strain and autonomic indices of cardiovascular disease risk. *American Journal of Industrial Medicine*, 48, 182–193.  
<https://doi.org/10.1002/ajim.20204>

- Delaney, J. P. A., & Brodie, D. A. (2000). Effects of short-term psychological stress on the time and frequency domains of heart-rate variability. *Perceptual and Motor Skills*, *91*, 515–524. <https://doi.org/10.2466/pms.2000.91.2.515>
- Dishman, R. K., Nakamura, Y., Garcia, M. E., Thompson, R. W., Dunn, A. L., & Blair, S. N. (2000). Heart rate variability, trait anxiety, and perceived stress among physically fit men and women. *International Journal of Psychophysiology*, *37*, 121–133. [https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(00\)00085-4](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(00)00085-4)
- Ditto, B., Eclache, M., & Goldman, N. (2006). Short-term autonomic and cardiovascular effects of mindfulness body scan meditation. *Annals of Behavioral Medicine*, *32*, 227–234. [https://doi.org/10.1207/s15324796abm3203\\_9](https://doi.org/10.1207/s15324796abm3203_9)
- Eller, N. H., Blønd, M., Nielsen, M., Kristiansen, J., & Netterstrøm, B. (2011). Effort reward imbalance is associated with vagal withdrawal in Danish public sector employees. *International Journal of Psychophysiology*, *81*, 218–224. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.06.014>
- Eller-Berndl, D. (2015). *Herzratenvariabilität*. Wien: Verlagshaus der Ärzte.
- Elovainio, M., Kivimäki, M., Puttonen, S., Lindholm, H., Pohjonen, T., & Sinervo, T. (2006). Organisational injustice and impaired cardiovascular regulation among female employees. *Occupational and Environmental Medicine*, *63*, 141–144. <https://doi.org/10.1136/oem.2005.019737>
- Hanson, E. K. S., Godaert, G. L. R., Maas, C. J. M., & Meijman, T. F. (2001). Vagal cardiac control throughout the day: The relative importance of effort–reward imbalance and within-day measurements of mood, demand and satisfaction. *Biological Psychology*, *56*, 23–44. [https://doi.org/10.1016/S0301-0511\(01\)00066-7](https://doi.org/10.1016/S0301-0511(01)00066-7)

- Holt, M. P. (2012). *Dispositional mindfulness and cardiovascular functioning under stress: Predictions of social evaluative stress reactivity and recovery*. Dissertation, Virginia Commonwealth University, Richmond.
- Hottenrott, K. (2007). Trainingskontrolle mit Herzfrequenz-Messgeräten. Aachen: Meyer & Meyer.
- Jain, D., Joska, T., Lee, F. A., Burg, M., Lampert, R., & Zaret, B. L. (2001). Day-to-day-reproducibility of mental stress-induced abnormal left ventricular function response in patients with coronary artery disease. *Journal of Nuclear Cardiology*, 8, 347–355. <https://doi.org/10.1067/mnc.2001.11>
- Jarczok, M. N., Jarczok, M., Mauss, D., Koenig, J., Li, J., Herr, R. M., & Thayer, J. F. (2013). Autonomic nervous system activity and workplace stressors – A systematic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37, 1810–1823. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.07.004>
- Kabat-Zinn, J. (1994). *Gesund durch Meditation: Das große Buch der Selbstheilung*. Bern: Barth.
- Kadziolka, M. J., Di Pierdomenico, E. A., & Miller, C. J. (2016). Trait-like mindfulness promotes healthy self-regulation of stress. *Mindfulness*, 7, 236–245. <https://doi.org/10.1007/s12671-015-0437-0>
- Kleen, M., & Reitsma, B. (2011). Appliance of heart rate variability biofeedback in acceptance and commitment therapy: A pilot study. *Journal of Neurotherapy*, 15, 170–181. <https://doi.org/10.1080/10874208.2011.570695>
- Krygier, J. R., Heathers, J. A., Shahrestani, S., Abbott, M., Gross, J. J., & Kemp, A. H. (2013). Mindfulness meditation, well-being, and heart rate variability: A preliminary investigation into the impact of intensive Vipassana meditation. *International Journal of Psychophysiology*, 89, 305–313. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2013.06.017>

- Lehrer, P. (2003). Applied psychophysiology: Beyond the boundaries of biofeedback (mending a wall, a brief history of our field, and applications to control of the muscles and cardiorespiratory systems). *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, *28*, 291–304. <https://doi.org/10.1023/A:1027330909265>
- Lehrer, P., Sasaki, Y., & Saito, Y. (1999). Zazen and cardiac variability. *Psychosomatic Medicine*, *61*, 812–821. <https://doi.org/10.1097/00006842-199911000-00014>
- Lehrer, P., Vaschillo, E., Vaschillo, B., Lu, S. E., Eckberg, D. L., Edelberg, R., Shih, W. J., Lin, Y., Kuusela, T., Tahvanainen, K., & Hamer, R. M. (2003). Heart rate variability biofeedback increases baroreflex gain and peak expiratory flow. *Psychosomatic Medicine*, *65*, 796–805. <https://doi.org/10.1097/01.PSY.0000089200.81962.19>
- Lucini, D., Norbiato, G., Clerici, M., & Pagani, M. (2002). Hemodynamic and autonomic adjustments to real life stress conditions in humans. *Hypertension*, *39*, 184–188. <https://doi.org/10.1161/hy0102.100784>
- Malik, M., Bigger, J. T., Camm, A. J., Kleiger, R. E., Malliani, A., Moss, A. J., & Schwartz, P. J. (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*, 354–381. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.93.5.1043>
- May, R. W., Bamber, M., Seibert, G. S., Sanchez-Gonzalez, M. A., Leonard, J. T., Salsbury, R. A., & Fincham, F. D. (2016). Understanding the physiology of mindfulness: aortic hemodynamics and heart rate variability. *Stress*, *19*, 168–174. <https://doi.org/10.3109/10253890.2016.1146669>
- Modinos, G., Ormel, J., & Aleman, A. (2010). Individual differences in dispositional mindfulness and brain activity involved in reappraisal of emotion. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *5*, 369–377. <https://doi.org/10.1093/scan/nsq006>

- Nater, U. M., La Marca, R., Florin, L., Moses, A., Langhans, W., Koller, M. M., & Ehlert, U. (2006). Stressinduced changes in human salivary alpha-amylase activity: Associations with adrenergic activity. *Psychoneuroendocrinology*, *31*, 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2005.05.010>
- Nunan, D., Sandercock, G. R. H., & Brodie, D. A. (2010). A quantitative systematic review of normal values for short-term heart rate variability in healthy adults. *Pace*, *33*, 1407–1417. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2010.02841.x>
- Ostafin, B. D., Robinson, M. D., & Meier, B. P. (2015). Introduction: The science of mindfulness and self-regulation. In B. D. Ostafin, M. D. Robinson, & B. P. Meier (Hrsg.), *Handbook of mindfulness and self-regulation* (S. 1–6). New York: Springer.
- Peira, N., Pourtois, G., & Fredrikson, M. (2013). Learned cardiac control with heart rate biofeedback transfers to emotional reactions. *PloS one*, *8*, e7004. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070004>
- Peng, C. K., Henry, I. C., Mietus, J. E., Hausdorff, J. M., Khalsa, G., Benson, H., & Goldberger, A. L. (2004). Heart rate dynamics during three forms of meditation. *International Journal of Cardiology*, *95*, 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2003.02.006>
- Pfister, E. A., Rüdiger, H., & Scheuch, K. (2006). *Herzrhythmusanalyse in der Arbeitsmedizin. Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e. V. (DGAUM)*. [http://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/002-021\\_S1\\_Herzrhythmusanalyse\\_in\\_der\\_Arbeitsmedizin\\_08-2005\\_08-2010.pdf](http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/002-021_S1_Herzrhythmusanalyse_in_der_Arbeitsmedizin_08-2005_08-2010.pdf)
- Prinsloo, G. E., Derman, W. E., Lambert, M. I., & Rauch, H. G. (2013). The effect of a single episode of short duration heart rate variability biofeedback on measures of anxiety and relaxation states. *International Journal of Stress Management*, *20*, 391–411. <https://doi.org/10.1037/a0034777>

- Sammito, S., Thielmann, B., Seibt, R., Klusmann, A., Weippert, M., & Böckelmann, I. (2014). *Nutzung der Herzschlagfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität in der Arbeitsmedizin und der Arbeitswissenschaft*. [http://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/002-042l\\_S2k\\_Herzschlagfrequenz\\_Herzfrequenzvariabilität\\_2014-07.pdf](http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/002-042l_S2k_Herzschlagfrequenz_Herzfrequenzvariabilität_2014-07.pdf)
- Sassi, R., Cerutti, S., Lombardi, F., Malik, M., Huikuri, H. V., Peng, C. K., Schmidt, G., & Yamamoto, Y. (2015). Advances in heart rate variability signal analysis: Joint position statement by the e-cardiology ESC working group and the European heart rhythm association co-endorsed by the Asia Pacific heart rhythm society. *Europace*, *17*, 1341–1353. <https://doi.org/10.1093/europace/euv015>
- Sayers, W. M., Creswell, J. D., & Taren, A. (2015). The emerging neurobiology of mindfulness and emotion processing. In B. D. Ostafin, M. D. Robinson, & B. P. Meier (Hrsg.), *Handbook of mindfulness and self-regulation* (S. 9–22). New York: Springer.
- Segerstrom, S. C., & Nes, L. S. (2007). Heart rate variability reflects self-regulatory strength, effort, and fatigue. *Psychological Science*, *18*, 275–281. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01888.x>
- 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*, 232–254. <https://doi.org/10.1037/a0039814>
- Takahashi, T., Murata, T., Hamada, T., Omori, M., Kosaka, H., Kikuchi, M., Yoshida, H., & Wada, Y. (2005). Changes in EEG and autonomic nervous activity during meditation and their association with personality traits. *International Journal of Psychophysiology*, *55*, 199–207. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2004.07.004>
- Tang, Y. Y., Ma, Y., Fan, Y., Feng, H., Wang, J., Feng, S., Lu, Q., Hu, B., Lin, Y., Li, J., Zhang, Y., Wang, Y., Zhou, L., & Fan, M. (2009). Central and autonomic nervous system interaction is altered by short-term meditation. *Proceedings of the National Academy of*

- Sciences of the United States of America*, 106, 8865–8870.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.0904031106>
- Telles, S., Mohapatra, R. S., & Naveen, K. V. (2005). Heart rate variability spectrum during vipassana mindfulness meditation. *Journal of Indian Psychology*, 23, 1–5.
- Thayer, J. F. (2007). What the heart says to the brain (and vice versa) and why we should listen. *Psychological Topics*, 16, 241–250.
- Thayer, J. F., & Lane, R. D. (2000). A model of neurovisceral integration in emotion regulation and dysregulation. *Journal of Affective Disorders*, 61, 201–216.  
[https://doi.org/10.1016/S0165-0327\(00\)00338-4](https://doi.org/10.1016/S0165-0327(00)00338-4)
- Thayer, J. F., & Lane, R. D. (2009). Claude Bernard and the heart–brain connection: Further elaboration of a model of neurovisceral integration. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 33, 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2008.08.004>
- Thayer, J. F., Åhs, F., Fredrikson, M., Sollers, J. J., & Wager, T. D. (2012). A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: Implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 36, 747–756.  
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.11.009>
- Togo, F., & Takahashi, M. (2009). Heart rate variability in occupational health – A systematic review. *Industrial Health*, 47, 589–602. <https://doi.org/10.2486/indhealth.47.589>
- Umetani, K., Singer, D. H., McCraty, R., & Atkinson, M. (1998). Twenty-four hour time domain heart rate variability and heart rate: Relations to age and gender over nine decades. *Journal of the American College of Cardiology*, 31, 593–601.  
[https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(97\)00554-8](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(97)00554-8)
- van der Zwan, J. E., de Vente, W., Huizink, A. C., Bögels, S. M., & de Bruin, E. I. (2015). Physical activity, mindfulness meditation, or heart rate variability biofeedback for stress



reduction: A randomized controlled trial. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 40, 257–268. <https://doi.org/10.1007/s10484-015-9293-x>

Weick, K. E., & Putnam, T. (2006). Organizing for mindfulness: Eastern wisdom and western knowledge. *Journal of Management Inquiry*, 15, 275–287. <https://doi.org/10.1177/1056492606291202>

Wittling, W., & Wittling, R. A. (2012). *Herzschlagvariabilität: Frühwarnsystem, Stress- und Fitnessindikator*. Heiligenstadt: Eichsfeld.