



AWMF-Register Nr.	002/042	Klasse:	S2k
-------------------	---------	---------	-----

# Nutzung der Herzschlagfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität in der Arbeitsmedizin und der Arbeitswissenschaft

S2k-Leitlinie

der

Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. (DGAUM)

und

der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (GfA),

der Deutschen Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention e.V. (DGSP) und

der Deutschen Physiologischen Gesellschaft e. V. (DPG)



## Leitlinienkoordination

Stefan Sammito, Irina Böckelmann

**Leitliniengruppe**

Stefan Sammito<sup>1,2</sup>, Beatrice Thielmann<sup>1</sup>, Andre Klussmann<sup>3</sup>, Andreas Deußen<sup>4</sup>, Klaus-Michael Braumann<sup>5</sup>, Irina Böckelmann<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bereich Arbeitsmedizin, Medizinische Fakultät, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

<sup>2</sup>Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe, Köln

<sup>3</sup>Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW) Hamburg, Professur Arbeitswissenschaft

<sup>4</sup>Institut für Physiologie, Medizinische Fakultät der Technischen Universität Dresden

<sup>5</sup>Abt. Sport- und Bewegungsmedizin, Fakultät für Psychologie und Bewegungswissenschaft, Universität Hamburg

## Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	6
2.	Definitionen.....	6
3.	Physiologische Mechanismen.....	10
3.1	Physiologische Mechanismen der Hf.....	10
3.2	Physiologische Mechanismen der HRV.....	10
4.	Erfassung der NN-Intervalle für die Berechnung der Hf und der HRV.....	12
4.1	Technische Möglichkeiten und Voraussetzungen.....	12
4.2	Elektroden.....	15
4.3	Vorbereitung der Haut.....	15
4.4	Auswahl der Ableitung und Positionierung der Elektroden.....	16
4.5	Qualitätssicherung bei der Erfassung der Hf.....	17
4.6	Qualitätssicherung bei der Ermittlung der HRV.....	17
4.7	Weitere Störquellen.....	19
5.	Analyseverfahren und Parameter der HRV.....	20
6.	Einflussfaktoren der individuellen Hf und HRV.....	29
7.	Auswertung und Interpretation von Hf und der HRV.....	36
7.1	Herzschlagfrequenz (Hf).....	37
7.2	Ruheherzschlagfrequenz ( $Hf_{Ruhe}$ ).....	37
7.3	Maximale Herzschlagfrequenz ( $Hf_{max}$ ).....	38
7.4	Erholungsherzschlagfrequenz ( $Hf_{Erholung}$ ).....	39
7.5	(Herzschlagfrequenz-)Dauerleistungsgrenze.....	39
7.6	Herzfrequenzvariabilität (HRV).....	42
8.	Möglichkeiten der Anwendung in der Arbeitsmedizin und der Arbeitswissenschaft...45	
8.1	Einsatz bei physischen Belastungen.....	46
8.2	Einsatz bei psychischen Belastungen.....	47
8.3	Einsatz zur Prognose von Erkrankungen.....	47
8.4	Einsatz bei Präventionsmaßnahmen.....	49
8.5	Einsatz beim Biofeedback.....	50
9.	Schlussbemerkungen.....	50

10. References .....**Fehler! Textmarke nicht definiert.**

## Vorbemerkung

Die vorliegende aktualisierte Leitlinie ersetzt die erstmalig im Jahre 2014 publizierte Leitlinie zur „Nutzung der Herzschlagfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität in der Arbeitsmedizin und der Arbeitswissenschaft“ [1]. Die Autorengruppe hat basierend auf der 2014er Version der Leitlinie die in der Zwischenzeit publizierten Erkenntnisse zur Nutzung der Herzschlagfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität<sup>1</sup> gesichtet, bewertet und in eine Neufassung dieser Leitlinie einfließen lassen.

Diese Leitlinie wurde für den arbeitsmedizinischen bzw. -wissenschaftlichen Einsatz in Praxis und Forschung entwickelt, um die Einschätzung von Belastungen und die Beurteilung von Gefährdungen am Arbeitsplatz durch objektive physiologische Beanspruchungsparameter zu vervollständigen. Die Leitlinie gibt einen Überblick über die Einflussfaktoren auf die Regulation von Herzschlagfrequenz und Herzfrequenzvariabilität in Ruhe und unter den Bedingungen von Arbeitsbelastungen. Sie zeigt methodische Möglichkeiten der Messung im Labor und unter realen Arbeitsplatzbedingungen auf. Dabei werden ausgewählte Messmethoden und Anwendungsgebiete sowie Maßnahmen zur Qualitätssicherung bei der Erfassung und Auswertung der Herzschlagfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität beschrieben.

Die aktualisierte Leitlinie besitzt neben einzelnen kleineren redaktionellen bzw. inhaltlichen Änderungen im Schwerpunkt in folgenden Themenfeldern größeren Veränderungen:

- Aussage zur Nutzbarkeit mobiler Wearables (Kap. 4.1),
- Trennschärfe zwischen HRV und Pulswellenvariabilität (Kap 4.1),
- Ergänzung um Neuerung im Bereich der Messtechnik seit 2014 (Tab. 1),
- Aktualisierung der Übersichtstabelle zu den HRV-Parametern (Tab. 2),
- Aktualisierung der Evidenz zu Einflussfaktoren auf die HRV und Neustrukturierung (Tab. 3),
- Ergänzungen zur Nutzbarkeit der Hf bei dynamischen Belastungen (Kap. 7.1),
- Komplette Überarbeitung des Kapitels zu Referenzwerten der HRV (Kap. 7.6),

---

<sup>1</sup> Die Herzschlagfrequenz wird hier stellvertretend für die Begriffe Herzfrequenz und Herzrate synonym genutzt, für den Begriff Herzfrequenzvariabilität gilt entsprechendes.<sup>2</sup> Sie lässt sich auch aus dem Quotienten aus 60.000 und dem mittleren NN-Intervall (NN-Intervall = Normal-to-Normal-Intervall, synonym werden die Begriffe RR-Intervall, IBI (interbeat-intervall), Herzperiodendauer bzw. Kardiointervall genutzt) in Millisekunden berechnen

- Aktualisierung zum Einsatz der HRV bei der Prognose von Erkrankungen (Kap. 8.3).

## 1. Einleitung

Die Herzschlagfrequenz gibt Informationen über die Beanspruchung des Herzkreislaufsystems als Reaktion auf Belastungen. Die Herzfrequenzvariabilität liefert zusätzliche Informationen über die Mechanismen der Herzkreislaufregulation [2]. Diese beiden physiologischen Parameter sind seit Jahren aufgrund der nicht-invasiven, komfortablen Mess- und Analysetechnik, der Auswertung und der Anwendung in der stationären und ambulanten Versorgung (u. a. Kardiologie, Intensivmedizin, Endokrinologie, Neurologie, Arbeits-, Sport- und Geburtsmedizin) sowie in den verschiedenen Forschungsbereichen der Medizin und Naturwissenschaften (u. a. Arbeitsphysiologie, Sportphysiologie, Arbeitswissenschaft, Psychologie und Pharmakologie) etabliert.

## 2. Definitionen

<b>Kernaussage Nr. 1</b>	neu [07/2021]
In der medizinischen Bewertung ist zwischen der Herzschlagfrequenz (zentral gemessen) und der Pulsfrequenz (peripher gemessen) zu unterscheiden. Eine Differenz kann z. B. bei bestimmten Formen von Herzrhythmusstörungen als Pulsdefizit auftreten.	
Konsensusstärke: starker Konsens (100%)	

Als *Herzschlagfrequenz* (Hf) wird die Anzahl der Herzaktionen während einer Minute bezeichnet.<sup>2</sup> Die Hf spiegelt die individuelle Herzkreislaufbelastung wider und wird durch unterschiedliche Faktoren (s. Kap. 6) beeinflusst. Sie ist zu unterscheiden von der *Pulsfrequenz*, die als Anzahl der Pulswellen pro Minute definiert ist und peripher erfasst wird (z. B. A. radialis bzw. A. ulnaris am Handgelenk und A. carotis communis am Hals). Ein Unterschied zwischen beiden ist möglich, weil es z. B. bei bestimmten Formen von Herzrhythmusstörungen zu ineffektiven Herzkontraktionen kommt, die zu einem nicht messbaren Pulsschlag führen. Eine Differenz zwischen Hf und Pulsfrequenz wird als *Pulsdefizit* bezeichnet.

---

<sup>2</sup> Sie lässt sich auch aus dem Quotienten aus 60.000 und dem mittleren NN-Intervall (NN-Intervall = Normal-to-Normal-Intervall, synonym werden die Begriffe RR-Intervall, IBI (interbeat-intervall), Herzperiodendauer bzw. Kardiointervall genutzt) in Millisekunden berechnen

<b>Kernaussage Nr. 2</b>	neu [07/2021]
Beim Erwachsenen liegt die Ruheherzschlagfrequenz in der Regel zwischen 60 und 80 Schlägen/min. Bei ausdauertrainierten Personen können in Ruhe Werte deutlich unterhalb von 50 Schlägen/min gemessen werden.	
Konsensusstärke: starker Konsens (100%)	

Die normale *Ruheherzschlagfrequenz* ( $Hf_{\text{Ruhe}}$ ) des Erwachsenen liegt zwischen 60 und 80 Schlägen/min (S/min), bei Kindern ist sie i. d. R. höher (bis 120 S/min) [3]. Bei ausdauertrainierten Personen können in Ruhe Werte deutlich unterhalb von 50 S/min gemessen werden.

<b>Empfehlung Nr. 1</b>	neu [07/2021]
Die maximal erreichbare Herzschlagfrequenz ist interindividuell sehr unterschiedlich, sie ist u.a. alters- und geschlechtsabhängig. Es wird empfohlen, sie individuell im Rahmen einer ergometrischen Ausbelastung bei allgemeiner dynamischer Muskelarbeit zu ermitteln. Die Nutzung von Formeln zur Abschätzung der maximalen Herzschlagfrequenz sollte auf Grund der sehr breiten Streuung sehr zurückhaltend eingesetzt werden.	
Konsensusstärke: starker Konsens (100%)	

Durch Belastungen kann die Hf bis zu einem Maximum ansteigen. Dieses Maximum wird überwiegend vom Lebensalter bestimmt und nimmt mit zunehmendem Alter ab. Die häufig in der Arbeitsmedizin und in der Arbeitswissenschaft verwendete Faustformel zu Abschätzung der *maximal erreichbaren Hf* ( $Hf_{\text{max}}$ ) lautet [4]:

$$Hf_{\text{max}} = 220 - \text{Lebensalter.}$$

Sie unterschätzt jedoch die  $Hf_{\text{max}}$  bei Personen oberhalb des 40. Lebensjahres [5]. Basierend auf einer Metaanalyse sowie eigenen Untersuchungen ermittelten Tanaka et al. [5] eine Regressionsformel zur Abschätzung der altersbezogenen maximalen Hf:

$$Hf_{\text{max}} = 207 - 0,7 \times \text{Lebensalter,}$$

wobei auch hier geschlechtsspezifische Unterschiede nicht berücksichtigt werden [5, 6]. Die hohe interindividuelle Heterogenität der maximalen Herzschlagfrequenz als Funktion des Alters belegen klinische Studien für Frauen [7] und Männer [8]. Zur Bestimmung der individuellen

$Hf_{max}$  ist eine Ausbelastung bei allgemeiner dynamischer Muskelarbeit notwendig, z. B. im Rahmen einer Laufband- oder Fahrradergometrie [9]. Ob Laufband oder Fahrrad richtet sich auch nach den spezifischen Belastungen des Probanden. Deshalb kommen evtl. auch andere Geräte wie das Handkurbelergometer in Betracht.

<b>Kernaussage Nr. 3</b>	neu [07/2021]
Zur weiteren Einschätzung der Leistungsfähigkeit des Herzkreislaufsystems stehen die Erholungsherzschlagfrequenz, die Arbeitsherzschlagfrequenz und die Erholungsherzschlagsumme zur Verfügung.	
Konsensusstärke: starker Konsens (100%)	

Als Indikator für den Trainingszustand der Person wird in der Sportphysiologie häufig der  $Hf$ -Wert verwendet, der nach einer Minute<sup>3</sup> Erholung nach Ende der maximalen Belastung im Rahmen einer (Arbeits-)Belastung festgestellt wird. Er zeigt im Vergleich mit dem Maximalwert der Herzschlagfrequenz am Ende der Belastung die schnelle regulative Phase der Erholungsfähigkeit an und wird als *Erholungsherzschlagfrequenz* ( $Hf_{Erholung}$ ) bezeichnet.

Insbesondere im Bereich der Arbeitsmedizin und Arbeitswissenschaft wird bei der Analyse der Beanspruchung, z. B. zur Beurteilung von körperlicher Arbeit, die *Arbeitsherzschlagfrequenz*<sup>4</sup> ( $Hf_{Arbeit}$ ) betrachtet. Die  $Hf_{Arbeit}$  ist definiert als Differenz zwischen der  $Hf_{Ruhe}$  und dem während einer Belastung gemessenen Wert [10–12]. Gelegentlich wird diese auch als *Nettoherzschlagfrequenz* bezeichnet [13]. Der so ermittelte Wert korreliert dann besser als die  $Hf$  mit der Arbeitsbelastung, wenn es möglich ist, vor Aufnahme der Arbeit eine Ruhephase von mindestens fünf, idealerweise 15 min, ohne körperliche und emotionale Belastung einzuhalten. Während das im Labor eine unbedingte Voraussetzung sein sollte, kann es möglich sein, dass bei Messungen am Arbeitsplatz vor Beginn einer Arbeitsschicht diese Bedingungen nicht einzuhalten sind. Dann bildet die  $Hf$  insbesondere bei körperlichen Belastungen sicherer die reale Beanspruchung ab als die auf einer erhöhten Ruhfrequenz basierende  $Hf_{Arbeit}$ . Alternativ kann

---

<sup>3</sup> Bei manchen Belastungsprotokollen wird auch die  $Hf$  zusätzlich nach 3 oder 5 min. nach Belastungsende betrachtet

<sup>4</sup> Ältere Publikationen verwenden häufig eher den Begriff Arbeitspuls und nicht die Arbeits- $Hf$ .



auch die *Bezugsherzschlagfrequenz* bei leichter dynamischer Arbeit bestimmt werden (s. Kap. 7.2).

Als Maß für die Ermüdung und die Erholung wird in der Arbeitsmedizin und Arbeitswissenschaft zudem häufig die *Erholungsherzschlagsumme* ermittelt, um die individuellen körperlichen Belastungen zu beschreiben [14]. Hierbei werden die Herzschläge zusammengezählt, die in der Erholungsphase (nach Beendigung der Belastung bis zum Erreichen des Ausgangswertes, z. B. der  $Hf_{Ruhe}$ ) oberhalb des Ausgangswertes liegen (Bildung des Integrals der Herzschläge oberhalb der  $Hf_{Ruhe}$  über die Zeit vom Belastungsende bis zur Normalisierung der  $Hf$ ).

<b>Kernaussage Nr. 4</b>	neu [07/2021]
Die Herzfrequenzvariabilität basiert auf einer mathematischen Analyse einer Zeitreihe von aufeinander folgenden Herzaktionen - den sog. NN-Intervallen.	
Konsensusstärke: starker Konsens (100%)	

Der Begriff *Herzfrequenzvariabilität* (HRV) vereint eine Vielzahl von mathematisch berechneten Parametern, welche die Varianz, Rhythmik oder Komplexität einer Zeitreihe von aufeinander folgenden Herzaktionen - den sog. NN-Intervallen - kennzeichnet. Aufgrund der besseren Erfassung im Rahmen der automatischen Detektierung wird in der Regel die R-Zacke als Zeichen der Herzerregung genutzt (vgl. Abb. 1). Eine ausführliche Auflistung der häufig verwendeten Parameter findet sich im Kap. 5.



**Abb. 1:** Prinzip der Ermittlung der NN-Intervalle aus dem EKG als Abstandsmaß zwischen zwei R-Zacken.

### 3. Physiologische Mechanismen

#### 3.1 Physiologische Mechanismen der Hf

<b>Kernaussage Nr. 5</b>	neu [07/2021]
Die vegetative Modulation der Hf durch sympathische Herznerve und den N. vagus (parasympathisch) wird primär über den Sinusknoten vermittelt.	
Konsensusstärke: starker Konsens (100%)	

In Ruhe wird das Herz vom primären Taktgeber bzw. Erregungsbildungszentrum, dem Sinusknoten, angetrieben. Die Eigenfrequenz des nichtinnervierten Sinusknotens wird unterschiedlich in der Literatur angegeben. Kurzfristig nach Herztransplantation, bei der das Transplantat durch die Intervention denerviert ist, liegt die Hf höher als die normale physiologische Hf, die 60 bis 80 S/min beträgt [15]. Längere Zeit nach Transplantation verändert sie sich wieder in Richtung der normalen physiologischen Hf wahrscheinlich bedingt durch eine partielle Reinnervation. Nach Transplantation besteht jedoch weiterhin die beta-adrenerge Aktivierung der Sinusknotenzellen durch zirkulierendes Adrenalin aus dem Nebennierenmark, was zu der erhöhten  $Hf_{\text{Ruhe}}$  beitragen kann. Alle nachgeordneten, ebenfalls zur Spontandepolarisation fähigen Schrittmachergewebe (AV-Knoten, His-Bündel, Purkinje-Fasern) weisen geringere Eigenfrequenzen auf. Die vegetative Modulation der Hf durch den Sympathikus und den Parasympathikus (am Herzen singular durch den N. vagus beeinflusst) wird primär über den Sinusknoten vermittelt. Diese zweizügige Führung des vegetativen Nervensystems wurde in Blockadeversuchen der adrenergen (beta-Blocker) und muskarinisch-cholinergen (Atropin) Rezeptoren gezeigt-[16–18].

#### 3.2 Physiologische Mechanismen der HRV

<b>Kernaussage Nr. 6</b>	neu [07/2021]
Die Hf ist auch bei konstanter Belastung einer physiologischen Variabilität unterworfen, die unter anderem das Zusammenspiel von Sympathikus und N. vagus (als Teil des Parasympathikus) widerspiegelt, hieraus lassen sich HRV-Parameter berechnen.	
Konsensusstärke: starker Konsens (100%)	

Die Hf ist auch bei konstanter Belastung einer physiologischen Variabilität unterworfen, die unter anderem das Zusammenspiel von Sympathikus und N. vagus (als Teil des Parasympathikus widerspiegelt. Das vegetative Nervensystem führt mit seinem sympathischen Anteil über eine Adrenalin- und Noradrenalinfreisetzung zu einer reduzierten HRV und mit seinem parasympathischen (vagalen) Anteil über die Acetylcholinfreisetzung zu einer Erhöhung der HRV [19].

Unter Ruhebedingungen und bei geringer Belastung überwiegt die parasympathische (vagale) gegenüber der sympathischen Steuerung. Das führt zu einer höheren Variabilität des Herzrhythmus: Die Unterschiede in den Abständen zwischen zwei aufeinander folgenden Herzaktionen nehmen zu.

Die HRV-Analyse dient insbesondere dazu, dieses Zusammenspiel von Sympathikus und Parasympathikus bei unterschiedlichen Anforderungen differenzierter abschätzen zu können. Dabei lässt sich die vegetative Aktivität vor allem durch die Analyse rhythmischer Schwankungen der Herzschlagfolge quantifizieren. Schnelle Änderungen der Hf mit einer Zyklusdauer von ca. 2 - 7 Sekunden sind eng mit der Atmung assoziiert (Respiratorische Sinusarrhythmie [RSA]). Diese hochfrequenten Schwankungen werden fast ausschließlich über den parasympathischen Zweig des vegetativen Nervensystems (N. vagus) moduliert; langsame Schwankungen (Zyklusdauer ca. 10 Sekunden) dagegen sowohl durch sympathische als auch parasympathische Efferenzen [20]. Letztlich muss bei der Interpretation von Hf und HRV immer berücksichtigt werden, dass beide Parameter zwar primär das Endergebnis der Wirkung vegetativer kardialer Efferenzen darstellen, aber darüber hinaus auch andere modulierende Faktoren wie körperliche Belastung, Hitze und weitere Umweltbedingungen Einfluss besitzen. Im Fall von Temperaturveränderungen werden die Wirkungen einerseits über die Modulation des vegetativen Nervensystems und andererseits direkt über Temperatureffekte an den Sinusknochenzellen des Herzens vermittelt.

Der vagale Ruhetonus ist umso höher, je besser das Herz an die Bewältigung hoher physischer Belastungen angepasst ist, weshalb Trainierte (z. B. Ausdauersportler) neben einer geringeren  $Hf_{\text{Ruhe}}$  i. d. R. eine höhere HRV haben. Zusätzlich zu Veränderungen der Aktivitäten vegetativer Efferenzen kommt es als Folge von Ausdauertraining zu veränderten Expressionen von Ionenkanalproteinen und Membrantransportproteinen [21], was einen zusätzlichen senkenden Effekt auf die  $Hf_{\text{Ruhe}}$  ausübt.

#### 4. Erfassung der NN-Intervalle für die Berechnung der Hf und der HRV

##### 4.1 Technische Möglichkeiten und Voraussetzungen

<b>Empfehlung Nr. 2</b>	neu [07/2021]
Für die Erfassung der Herzaktionen stehen unterschiedliche Messsysteme zur Verfügung. Deren Messgenauigkeit für eine anschließende HRV-Analyse ist unterschiedlich. Es wird empfohlen, eine EKG-basierte Messung hierzu zu nutzen. Die Geräte sollten mit einer hohen Abtastrate (idealerweise 1000 Hz) nichtinvasiv messen, mechanisch robust und rückwirkungsfrei sein.	
Konsensusstärke: starker Konsens (100%)	

Zur Erfassung der Abstände zwischen zwei normalen Herzaktionen stehen verschiedene Messsysteme zur Verfügung: Stationäre EKG-Geräte - besser geeignet für Laboruntersuchungen bzw. im intensivmedizinischen Bereich - und mobile Messsysteme, die in Felduntersuchungen einsetzbar sind. Zu den mobilen Messsystemen gehören 24h-EKG-Geräte, Brustgurtsysteme mit direkter Speicherung bzw. Speicherung auf einem externen Datenmodul (z. B. in einer separaten Pulsuhr) sowie eine Reihe in den letzten Jahren auf dem Markt verfügbare mobil einsetzbare Messsysteme (z. B. Uhren ohne Brustgurt, Systeme mit Messung im Gehörgang, etc.). Allen Messsystemen gemeinsam ist, dass sie mit einer unterschiedlich genauen Messgenauigkeit die NN-Intervalle erfassen und es somit bei der anschließenden HRV-Analyse zu Abweichungen kommen kann [22, 23].

Pulsoximeter können über die Erfassung der Pulswelle ebenfalls einen Abstand zwischen zwei Pulswellen ermitteln. Diese unterscheiden sich jedoch von den mittels Elektroden gemessenen NN-Intervallen am Herzen. Ein systematisches Review [24] ergab, dass lediglich bei jungen, gesunden Probanden unter Ruhebedingungen akzeptable Übereinstimmungen zwischen NN-Intervallen und Puls-NN-Intervallen bestehen, jedoch HRV-Parameter basierend auf den Puls-NN-Intervallen teilweise signifikant erhöht sind (u. a. HF). Es gilt daher strikt zwischen der HRV und der sog. Pulsratenvariabilität (PRV) zu unterscheiden. Für die HRV-Analyse ist eine sog. „beat-to-beat-Aufzeichnung“ mit Erfassung aller Herzaktionen und hoher Abtastrate (idealerweise 1.000 Hz) sinnvoll, um die Abstände zwischen den einzelnen Herzaktionen mit hoher zeitlicher Genauigkeit zu erfassen.

Darüber hinaus sollten eingesetzte Geräte folgende Voraussetzungen erfüllen:

- Nichtinvasivität,
- Mechanische Robustheit (insbesondere bei Felduntersuchungen an Arbeitsplätzen mit körperlicher Schwerarbeit bzw. Umgebungsbedingungen wie Hitze, Nässe, Kälte usw.) und
- Rückwirkungsfreiheit (das Verfahren darf das Messergebnis selbst nicht beeinflussen).

Die Vor- und Nachteile einzelner Messsysteme sind in Tab. 1 zusammengestellt.

**Tab. 1:** Vor- und Nachteile verschiedener Messsysteme

	<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>
Stationäres (24h-)EKG	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EKG-Aufzeichnung</li> <li>• nicht invasiv</li> <li>• visuelle Überprüfbarkeit der R-Zacken-Detektierung</li> <li>• Medizinprodukt nach MPG<sup>5,6</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nicht tragbar, nur für Laboruntersuchungen und Intensivstationen geeignet</li> <li>• störende Kabel</li> </ul>
Mobiles (24h-)EKG	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tragbare, kleine Geräte</li> <li>• geeignet für Labor- und Felduntersuchung</li> <li>• EKG-Aufzeichnung</li> <li>• nicht invasiv</li> <li>• visuelle Überprüfbarkeit der R-Zacken-Detektierung</li> <li>• Medizinprodukt nach MPG</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• störende Kabel</li> </ul>
Brustgurtsysteme mit Speicherung in separater Pulsuhr	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tragbare, kleine Geräte</li> <li>• hohe Rückwirkungsfreiheit</li> <li>• nicht invasiv</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• keine EKG-Aufzeichnung</li> <li>• Störungen der Datenübertragung (Stromleitungen, Fahrzeuge usw.)</li> <li>• kein Medizinprodukt nach MPG</li> </ul>
Brustgurtsysteme mit direkter Speicherung im Brustgurt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tragbare, kleine Geräte</li> <li>• hohe Rückwirkungsfreiheit</li> <li>• nicht invasiv</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zumeist keine EKG-Aufzeichnung</li> <li>• kein Medizinprodukt nach MPG</li> </ul>
Uhrsysteme ohne Brustgurt und mit Sensoren zur Erfassung der Pulswelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tragbare, kleine Geräte</li> <li>• hohe Rückwirkungsfreiheit</li> <li>• nicht invasiv</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• keine EKG-Aufzeichnung</li> <li>• formal keine NN-Intervallfassung</li> <li>• zur Messung der HRV nicht geeignet</li> <li>• kein Medizinprodukt nach MPG</li> </ul>
Messung im Gehörgang	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tragbare, kleine Geräte</li> <li>• hohe Rückwirkungsfreiheit</li> <li>• nicht invasiv</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• keine EKG-Aufzeichnung</li> <li>• formal keine NN-Intervallfassung</li> <li>• zur Messung der HRV nicht geeignet</li> <li>• kein Medizinprodukt nach MPG</li> </ul>
Messung mittels Ohrclips auf Pulsoximeterbasis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tragbare, kleine Geräte</li> <li>• hohe Rückwirkungsfreiheit</li> <li>• nicht invasiv</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• keine EKG-Aufzeichnung</li> <li>• formal keine NN-Intervallfassung</li> <li>• zur Messung der HRV nicht geeignet</li> <li>• kein Medizinprodukt nach MPG</li> </ul>

<sup>5</sup> Medizinproduktegesetz

## 4.2 Elektroden

<b>Empfehlung Nr. 3</b>	neu [07/2021]
Es wird empfohlen, für ein optimales Messergebnis eine adäquate Vorbereitung der Elektroden durchzuführen.	
Konsensusstärke: starker Konsens (100%)	

Um Fehler bei der Messung zu vermeiden, sollten

- Klebeelektroden verwendet werden, die auch über einen langen Erfassungszeitraum von 24 Stunden und bei entsprechender Schweißproduktion der untersuchten Person ohne Hautkontaktverlust einsetzbar sind,
- die Elektroden am Brustgurt (Abnahmestellen) befeuchtet sein,
- ein guter Sitz des Brustgurtes garantiert sein und
- ein textiles Gurtband bevorzugt werden, da es sich optimal an die individuelle Oberkörperform anpasst.

## 4.3 Vorbereitung der Haut

<b>Empfehlung Nr. 4</b>	neu [07/2021]
Es wird empfohlen, für ein optimales Messergebnis eine adäquate Vorbereitung der Haut durchzuführen. Dies umfasst u.a. die Reduzierung des Fettilmes der Haut und ggf. eine Entfernung bestehender (Brust-)Behaarung.	
Konsensusstärke: starker Konsens (100%)	

Um ein optimales Messergebnis auch über einen längeren Zeitraum (24 h) zu erzielen, muss die Haut sorgfältig vorbereitet werden. Bei einem hochohmigen Haut-Elektroden-Kontakt ist die Qualität der Aufzeichnung geringer und die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Artefakten erhöht.

---

<sup>6</sup> Geräte nach dem MPG sind speziell für diagnostische oder therapeutische Zwecke und vom Hersteller zur Anwendung am Menschen bestimmt.

Die Hautvorbereitung hat das Ziel, den Fettfilm der Haut zu entfernen, um den Elektroden-Haut-Übergangswiderstand zu vermindern und eine bessere Haftung der Elektroden zu ermöglichen. Die Haut wird am vorgesehenen Elektrodensitz mit hautverträglicher, fettlösender Flüssigkeit (z. B. Alkohollösung) abgerieben. Oberstes Prinzip ist es jedoch, die Haut nicht zu beschädigen oder zu verletzen. Bei Brusthaarwuchs ist ggf. eine sorgfältige Entfernung der Behaarung an den entsprechenden Klebestellen vor Anbringen der Klebeelektroden notwendig. Eine zusätzliche Fixierung der Elektroden und der Elektrodenkabel (Pflaster) erhöht die Haftdauer und verhindert das schnelle Abreißen der Elektroden bzw. der Kabelendstücke.

#### 4.4 Auswahl der Ableitung und Positionierung der Elektroden

<b>Empfehlung Nr. 5</b>	neu [07/2021]
Es wird empfohlen, die EKG-Ableitung mit der größten Amplitude der R-Zacke des QRS-Komplexes auszuwählen.	
Konsensusstärke: starker Konsens (100%)	

Es sollte die EKG-Ableitung mit der größten Amplitude der R-Zacke des QRS-Komplexes ausgewählt werden (vgl. Abb. 1). Prinzipiell ist die Aufzeichnung einer Ableitung ausreichend, jedoch sollten zur besseren Artefaktkorrektur mehrere Ableitungen gewählt werden.

Bei einer automatischen NN-Intervall-Bestimmung ist darauf zu achten, dass bei der R-Zacken-Detektion nicht zwischen unterschiedlichen Ableitungen „gesprungen“ wird. Dies kann zu einer fälschlich gemessenen Erhöhung der HRV führen, da der Zeitpunkt der ermittelten R-Zacke zwischen unterschiedlichen Kanälen relevant variieren kann. So ist der Zeitpunkt des Beginns des QRS-Komplexes in den meisten Ableitungen von Mehrkanalsystemen nahezu identisch, nicht jedoch der Zeitpunkt des Auftretens der R-Zacke, der als Grundlage für die NN-Intervallbestimmung dient [25, 26].

Die Positionierung der Elektroden beeinflusst die Qualität der Aufnahme. Bei ungeeigneter Positionierung der Elektroden kann es zur Häufung von Artefakten kommen, was sich negativ auf die Qualität der Aufnahme auswirkt. Geeignete Stellen für die Positionierung der Elektroden sind die Interkostalräume. Hierbei sollten möglichst glatte Hautstellen ausgewählt werden (z. B. keine erhabenen Muttermale).



#### 4.5 Qualitätssicherung bei der Erfassung der Hf

<b>Kernaussage Nr. 7</b>	neu [07/2021]
Bei der Erfassung der Hf sind zur Qualitätssicherung die Bestimmung der Hf <sub>Ruhe</sub> , eine Artefaktkontrolle, eine möglichst hohe Abtastrate sowie die Berücksichtigung möglicher Einflussfaktoren notwendig.	
Konsensusstärke: starker Konsens (100%)	

Zur Qualitätssicherung sollten folgende Aspekte unter dem Gesichtspunkt der Praktikabilität berücksichtigt werden:

- die Bestimmung der Hf<sub>Ruhe</sub><sup>7</sup> vor Beginn einer Belastung als Basis der Auswertungen (s. Kap. 7.2),
- eine Artefaktkontrolle und ggf. -bereinigung (z. B. durch visuelle Kontrolle der Daten im Rahmen der Analysen, automatische Artefaktkorrekturverfahren),
- eine möglichst hohe Abtastrate (s.o.),
- die möglichen Einflussfaktoren je nach Fragestellung (s. Tab. 3) und
- die Beachtung der zirkadianen Rhythmik bei vergleichenden Untersuchungen.

#### 4.6 Qualitätssicherung bei der Ermittlung der HRV

<b>Empfehlung Nr. 6</b>	neu [07/2021]
Zur Qualitätssicherung bei der Ermittlung der HRV wird empfohlen, die Ableitung eines Ruhe-EKGs durchzuführen, eine Artefaktkontrolle und ggf. -bereinigung vorzunehmen, Aufzeichnungen mit wenigen Extrasystolen zu verwenden sowie eine geeignete Analysemethode und Messdauer zu wählen, eine möglichst hohe Abtastrate zu nutzen und mögliche Einflussfaktoren zu berücksichtigen.	
Konsensusstärke: starker Konsens (100%)	

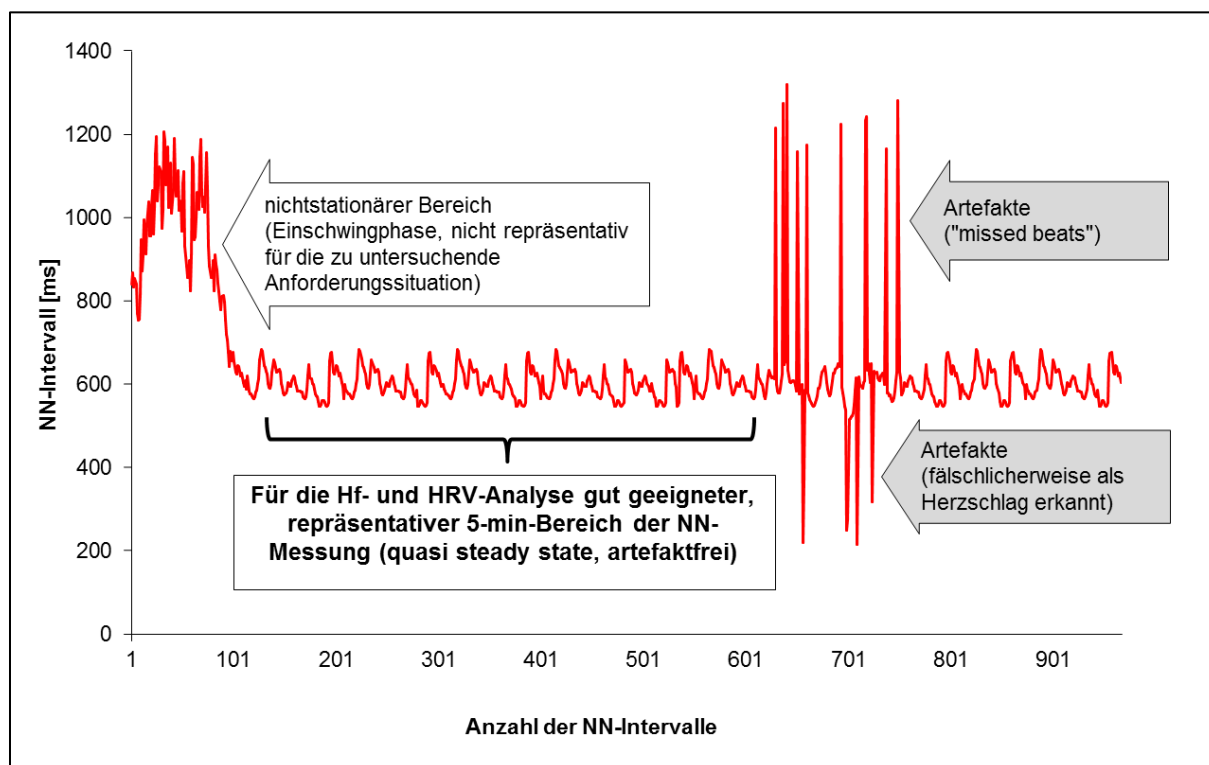
---

<sup>7</sup> Dafür wird folgendes Vorgehen empfohlen: Die Messung sollte vorzugsweise in sitzender Position, nach mindestens fünf idealerweise fünfzehn minütiger Ruhephase erfolgen und durch zwei aufeinander folgende Messungen bestimmt werden. Die Messdauer sollte mindestens 30 Sekunden betragen. Eine halbe Stunde vor der Messung sollte auf Rauchen, Nahrungsaufnahme, Koffein oder physische Anstrengung verzichtet werden [107, 195].

Zur Qualitätssicherung sollten folgende Aspekte unter dem Gesichtspunkt der Praktikabilität berücksichtigt werden:

- die Ableitung eines Ruhe-EKGs vor der Analyse der HRV, um Herzrhythmusstörungen (z. B. Vorhofflimmern) auszuschließen,
- Aufzeichnungen mit mehr als 1% von ventrikulären bzw. supraventrikulären Extrasystolen sollten aufgrund der scheinbaren Erhöhung der HRV kritisch begutachtet werden [27],
- eine Artefaktkontrolle und ggf. -bereinigung (z. B. durch visuelle Kontrolle der Daten im Rahmen der Analysen, automatische Artefaktkorrekturverfahren),
- die Wahl der Analysemethode (z. B. Fast Fourier Transformation, Autoregressives Modell, trigonometrisch regressive Spektralanalyse), um vergleichende Interpretationen zu ermöglichen (s. Kap. 5),
- die gewählte Messdauer (später Länge der Analysesequenz) bzw. die zu Grunde gelegte Datenmenge je nach gewählter Analysemethode bzw. Fragestellung (s. Tab. 2),
- eine möglichst hohe Abtastrate (s.o.),
- die möglichen Einflussfaktoren je nach gewählter Analysemethode bzw. Fragestellung (s. Tab. 3) und
- die Beachtung der zirkadianen Rhythmik bei vergleichenden Untersuchungen.

Im Rahmen von Kurzzeitmessungen (Aufzeichnungen kleiner als eine Stunde) ist die Auswahl eines geeigneten, repräsentativen Bereichs der NN-Intervalle zur HRV-Analyse ein wichtiges Kriterium zur Qualitätssicherung. Hierbei sollten nichtstationäre Einschwingphasen zu Beginn der Untersuchung und Aufzeichnungen mit Artefakten möglichst nicht zur Analyse genutzt werden (s. Abb. 2).



**Abb. 2:** Prinzip der Auswahl eines geeigneten 5-min-Bereichs der NN-Messung aus einer artefaktüberlagerten Aufzeichnung mit vorangegangenem nichtstationärem Bereich.

#### 4.7 Weitere Störquellen

<b>Kernaussage Nr. 8</b>	neu [07/2021]
Es existieren auch weitere Störquellen (wie z. B. elektromagnetische Felder), welche die Aufzeichnung von Hf und HRV beeinflussen können.	
Konsensusstärke: starker Konsens (100%)	

Insbesondere bei Verwendung von Brustgurtsystemen mit Funkübertragung zu einer separaten speichernden Uhr in der Nähe elektromagnetischer Felder von Strommasten und -leitungen [2] sowie beim Einsatz in Fahrzeugen und deren Umgebung [28, 29] sind diese hoch stör anfällig. Bei körperlicher Aktivität der untersuchten Person kann es zu Artefakten durch Bewegung und durch elektrische Aktivität anderer Muskeln kommen. Bei einer EKG-Aufzeichnung kann dies im Anschluss an die Aufzeichnung entdeckt und manuell entfernt werden, während bei einer Datenerfassung ohne EKG-Aufzeichnung (wie bei den meisten Brustgurtsystemen) keine Zuordnung der Bewegungsartefakte möglich ist.

## 5. Analyseverfahren und Parameter der HRV

<b>Kernaussage Nr. 9</b>	neu [07/2021]
Die Quantifizierung der HRV kann mittels Methoden des Zeit- und Frequenzbereichs sowie der nichtlinearen Analyse erfolgen. Es ist hierbei auf die richtige Auswahl mit Bezug zu Zielsetzung und Auswertzeit zu achten. Siehe auch Empfehlung Nr. 11 und Empfehlung Nr. 12.	
Konsensusstärke: starker Konsens (100%)	

Die Quantifizierung der HRV kann mittels Methoden des Zeit- und Frequenzbereichs sowie der nichtlinearen Analyse erfolgen (s. Abb. 3).

Analysen des Zeitbereiches sind in statistische und geometrische Methoden unterteilt. Während bei den statistischen Methoden die NN-Intervalle mathematisch hinsichtlich ihrer Varianz ausgewertet werden und die Rhythmusmaße mit einer Zeitdimension oder Prozentangabe versehen sind, wird die HRV bei den geometrischen Methoden anhand von geometrischen Formen bewertet. Hierzu werden z. B. Balkendiagramme, HRV-Dreiecksindizes und seine Modifikationen, dreieckige/dreischenklige Interpolationen des NN-Intervall-Balkendiagramms verwendet [30].

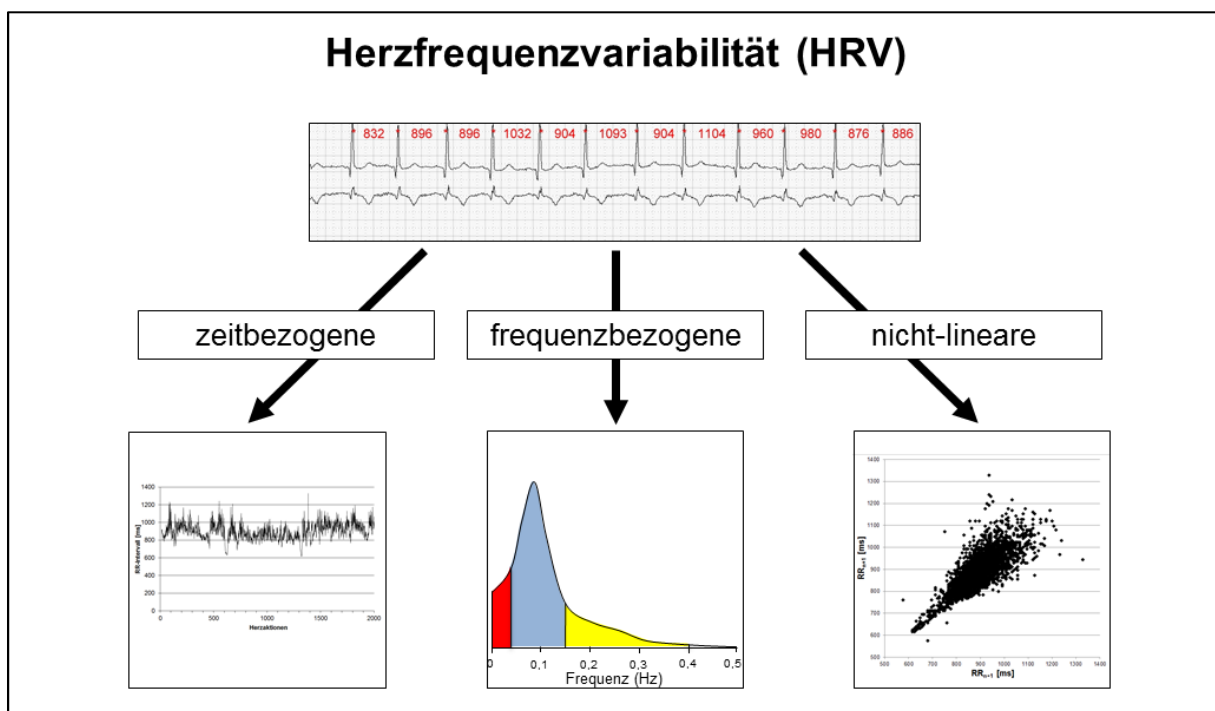
Zu den Analysen des Frequenzbereiches zählen u.a. die Verfahren der Fast Fourier-Transformation und die Autoregression [31] [32]. Hierbei werden die rhythmischen und nicht-rhythmischen Schwankungen der NN-Intervallreihen im Rahmen einer Spektralanalyse in frequenzabhängige Oszillationen umgewandelt. Dadurch ist es möglich, die NN-Intervallreihen und die periodischen Oszillationen des Herzschlages in verschiedene Frequenzen und Amplituden aufzuspalten, die wiederum verschiedene physiologische Prozesse bzw. verschiedene Regelsysteme abbilden [33].

In einigen Fällen wird zur Analyse bei unterschiedlichen Aufzeichnungslängen auch der Lomb-Algorithmus benutzt. Dieser stellt ein Spektralanalyseverfahren von nicht-äquidistant abgetasteten Messwerten dar [34]. Der Lomb-Algorithmus ist eine sehr langsame Technik, jedoch sind Näherungsverfahren etabliert, die die Durchführung des Lomb-Algorithmus deutlich beschleunigen [35].

Die Methoden der nichtlinearen Dynamik (z. B. Approximierte Entropie [ApEn], Sample Entropy [SampEn], Detrended Fluctuation Analysis [DFA]) [36–39] unterscheiden sich von den

traditionellen Zeit- und Frequenzparametern darin, dass sie nicht die Stärke der HRV widerspiegeln, sondern eher qualitative Aspekte der NN-Zeitreihe erfassen [36]. Oftmals sind diese Methoden sowohl für Langzeit- als auch für Kurzaufzeichnungen geeignet und robust gegen Artefakte.

Eine Form der Visualisierung von NN-Intervall Zeitreihen bietet der so genannte Poincaré-Plot<sup>8</sup> [39] (vgl. Abb. 3). Aus der so dargestellten Punktwolke lassen sich verschiedene Indizes (z. B. Länge und Breite der Punktwolke) ermitteln und interpretieren, aber auch möglicherweise Aufschluss über bestimmte Herzrhythmusstörungen gewinnen [40].



**Abb. 3:** Übersicht über die Möglichkeiten der HRV-Analyse mit Beispielen möglicher grafischer Darstellungen

Eine detaillierte Auflistung der HRV-Parameter ist in der Tab. 2 zusammengefasst.

<sup>8</sup> Synonym werden auch die Begriffe Lorenz-Plot oder Scatter-Plot verwendet

**Tab. 2:** Parameter der HRV

Methode	Variabilitätsmaß	andere Bezeichnung	Messeinheit	Definition und Erklärung	Indikator der...	Aktivität als Teil des vegetativen Nervensystems	Empfehlungen zur Auswertzeit
<b>zeitbezogene Parameter</b>							
Statistisch	SDNN	RRSD, SD, SDRR	ms	Standard deviation of NN intervals: Standardabweichung der NN-Intervalle im Messzeitbereich	Kurz- und Langzeitvariabilität [41]	Sympathikus und Parasympathikus [42]	
	CVRR	CV	k. E.	Koeffizient der Variation der NN Intervalle, entspricht der Standardabweichung der NN-Intervalle geteilt durch den Mittelwert der NN-Intervalle	keine klare Zuordnung	keine klare Zuordnung	
	SDANN		ms	Standard deviation of the average NN intervals: Standardabweichung der Mittelwerte der NN-Intervalle in 5-min-Segmenten	Langzeitvariabilität [42]	keine klare Zuordnung	Langzeiterfassung, am besten 24h
	RMSSD	R-MSSD, rMSSD	ms	Root Mean Square of successive differences: Quadratwurzel aus dem arithmetischen Mittel der quadrierten Differenzen zwischen benachbarten NN-Intervallen	Kurzzeitvariabilität [41]	Parasympathikus	
	SDNN-Index	SDANN-Index, SDNN <sub>i</sub>	ms	Mittelwert der Standardabweichungen der NN-Intervalle in 5-min-Segmenten	Langzeitvariabilität, Kurzzeitvariabilität [41]	keine klare Zuordnung	Langzeiterfassung, am besten 24h
	NN 50		k.E.	Anzahl der Paare benachbarter NN-Intervalle, die mehr als 50 ms voneinander abweichen	Spontanvariabilität, Langzeitvariabilität	Parasympathikus [41]	

zeitbezogene Parameter (Fortsetzung)							
Methode	Variabilitätsmaß	andere Bezeichnung	Messeinheit	Definition und Erklärung	Indikator der...	Aktivität als Teil des vegetativen Nervensystems	Empfehlungen zur Auswertzeit
Statistisch (Forts.)	pNN 50		%	Prozentsatz aufeinander folgender NN-Intervalle, die mehr als 50 ms voneinander abweichen, bezogen auf die Gesamtzahl der NN-Intervalle	Spontanvariabilität, Langzeitvariabilität	Parasympathikus [42]	
	SAa		ms	Absolute Sinusarrhythmie: Summe der Differenzen der aufeinanderfolgenden NN-Intervalle, dividiert durch ihre Anzahl	Keine klare Zuordnung	Keine klare Zuordnung	
geometrisch	HRV triangular Index	RR triangular index	k.E.	Integral der Dichteverteilung (Anzahl aller NN-Intervalle dividiert durch das Maximum (Höhe) der Dichteverteilung) bzw. Quotient aus der absoluten Anzahl der NN-Intervalle zur Anzahl der modalen NN-Intervalle	Gesamtvariabilität	keine klare Zuordnung	mind. 20 min
	TINN		ms	Triangular interpolation of NN intervall histogram: Länge der Basis des minimalen quadratischen Unterschiedes der triangulären Interpolation für den höchsten Wert des Histogramms aller NN-Intervalle	keine klare Zuordnung	keine klare Zuordnung	mind. 20 min

frequenzbezogene Parameter							
Methode	Variabilitätsmaß	andere Bezeichnung	Messeinheit	Definition und Erklärung	Indikator der...	Aktivität als Teil des vegetativen Nervensystems	Empfehlungen zur Auswertzeit
FFT (Fast Fourier Transformation) und Autoregressives Modell (AR)	TP		ms <sup>2</sup>	Total power: Gesamtleistung oder Gesamtspektrum; entspricht Energiedichte im Spektrum von 0,00001 bis 0,4 Hz	Gesamtvariabilität	keine klare Zuordnung	
	ULF		ms <sup>2</sup>	Ultra very low frequency: Leistungsdichtespektrum unter 0,003 Hz	keine klare Zuordnung	keine klare Zuordnung	
	ULF%		%	prozentualer ULF-Anteil am Gesamtspektrum	keine klare Zuordnung	keine klare Zuordnung	
	VLF		ms <sup>2</sup>	Very low frequency power: Leistungsdichtespektrum im Frequenzbereich von 0,003 bis 0,04 Hz	keine klare Zuordnung	Parasympathikus [43]	
	VLF%		%	prozentualer VLF-Anteil am Gesamtspektrum	keine klare Zuordnung	Parasympathikus [43]	
	LF	B-Band	ms <sup>2</sup>	Low frequency power: Leistungsdichtespektrum im Frequenzbereich von 0,04 bis 0,15 Hz	keine klare Zuordnung	Sympathikus und Parasympathikus	mind. 5 min [44]



frequenzbezogene Parameter (Fortsetzung)							
Methode	Variabilitätsmaß	andere Bezeichnung	Messeinheit	Definition und Erklärung	Indikator der...	Aktivität als Teil des vegetativen Nervensystems	Empfehlungen zur Auswertzeit
FFT (Fast Fourier Transformation) und Autoregressives Modell (AR) (Forts.)	LF%	relatives B-Band	%	prozentualer LF-Anteil am Gesamtspektrum	keine klare Zuordnung	Sympathikus und Parasympathikus	mind. 5 min [44]
	HF	C-Band, respiratorische Sinusarrhythmie, Atmungsband	ms <sup>2</sup>	High frequency power: Leistungsdichtespektrum im Frequenzbereich von 0,15 bis 0,40 Hz	keine klare Zuordnung	Parasympathikus [45]	mind. 5 min [44]
	HF%	relatives C-Band, respiratorische Sinusarrhythmie, Atmungsband	%	prozentualer HF-Anteil am Gesamtspektrum	keine klare Zuordnung	Parasympathikus	mind. 5 min [44]
	LF nu	LF n.U., LF norm	nu	Low frequency normalized unit: normierte Leistung oder Leistung der LF in normierten Einheiten; entspricht $LF/(TP-VLF) \times 100^1$	keine klare Zuordnung	Sympathikus und Parasympathikus	mind. 5 min (44)
	HF nu	HF n.U., HF norm	nu	High frequency normalized unit: normierte Leistung oder Leistung der HF in normierten Einheiten. Entspricht $HF/(TP - VLF) \times 100^1$	keine klare Zuordnung	Parasympathikus [45]	mind. 5 min [44]

Methode	Variabilitätsmaß	andere Bezeichnung	Mess-einheit	Definition und Erklärung	Indikator der...	Aktivität als Teil des vegetativen Nervensystems	Empfehlungen zur Auswertzeit
<b>frequenzbezogene Parameter (Fortsetzung)</b>							
	LF/HF	Quotient aus LF und HF; LF/HF-Ratio	k.E.	Quotient aus dem Spektrum in LF und dem Spektrum im HF	keine klare Zuordnung	Verhältnis oder Koeffizient oder Ratio zwischen LF- und HF-Bandleistung [45]	mind. 5 min [44]
	VLF-Peak		Hz	Very low frequency peak: Frequenzgipfel im VLF-Band; Thermoregulation-Peak	keine klare Zuordnung	keine klare Zuordnung	
	LF-Peak		Hz	Low frequency peak: Frequenzgipfel im LF-Band; Baroreflex-Peak	keine klare Zuordnung	keine klare Zuordnung	mind. 5 min [44]
	HF-Peak		Hz	High frequency peak: Frequenzgipfel im HF-Band; Respiratorischer Peak	keine klare Zuordnung	keine klare Zuordnung	mind. 5 min [44]
<b>nicht-lineare Parameter</b>							
Poincaré-Plot	DL	D <sub>L</sub> , Lorenz-Länge	ms	Länge des Längsdurchmessers der 95%-Vertrauensellipse	Langzeitvariabilität	keine klare Zuordnung	
	DQ	D <sub>q</sub> , DW, Lorenz-Breite	ms	Länge des Querdurchmessers der 95%-Vertrauensellipse	Kurzzeitvariabilität	keine klare Zuordnung	

Methode	Variabilitätsmaß	andere Bezeichnung	Messeinheit	Definition und Erklärung	Indikator der...	Aktivität als Teil des vegetativen Nervensystems	Empfehlungen zur Auswertzeit
<b>nicht-lineare Parameter (Fortsetzung)</b>							
Poincaré-Plot (Forts.)	SD1	SDQ, SD <sub>w</sub> , stdb, SO <sub>q</sub> , SD-quer, SO <sub>w</sub>	ms	Standardabweichung der Punktabstände zum Querdurchmesser <sup>2</sup>	Kurzzeitvariabilität [38, 46]	Parasympathikus [47]	
	SD2	SDL, SD-längs, stda, SO <sub>L</sub>	ms	Standardabweichung der Punktabstände zum Längsdurchmesser <sup>2</sup>	Langzeitvariabilität [38, 46]	Sympathikus und Parasympathikus [47]	
Detrended fluctuation Analyse (DFA) oder trend-bereinigende Fluktuationsanalyse	DFA1	alpha 1	k.E.	Grad der Zufälligkeit/Korrelation; reicht von 0,5 (zufällig) bis 1,5 (korreliert) mit Normalwerten um 1,0; wird häufig als nichtlinearer Parameter für kurze NN-Intervall-Daten genutzt	Kurzzeitvariabilität [38, 48, 49]	keine klare Zuordnung	
	DFA2	alpha 2	k.E.	wird häufig als nichtlinearer Parameter für RR-Intervalle längerer Aufzeichnungsdauer genutzt, reduzierte Werte sind assoziiert mit einer schlechten Prognose	Langzeitvariabilität [38, 48, 49]	keine klare Zuordnung	
	D2		k. E.	Correlation dimension: Korrelationsmaß	keine klare Zuordnung	keine klare Zuordnung	
Recurrence plot	Lmean		Schläge	Mean line length	keine klare Zuordnung	keine klare Zuordnung	
	Lmax		Schläge	Max line length	keine klare Zuordnung	keine klare Zuordnung	

Methode	Variabilitätsmaß	andere Bezeichnung	Mess-einheit	Definition und Erklärung	Indikator der...	Aktivität als Teil des vegetativen Nervensystems	Empfehlungen zur Auswertzeit
<b>nicht-lineare Parameter (Fortsetzung)</b>							
	REC		%	Recurrence rate	keine klare Zuordnung	keine klare Zuordnung	
	DET		%	Determinism	keine klare Zuordnung	keine klare Zuordnung	
	ShanEn		Schläge	Shannon Entropy	keine klare Zuordnung	keine klare Zuordnung	
Andere	ApEn		k. E.	Approximate entropy, hohe Werte entsprechen einer hohen Variabilität, Werte unabhängig von der Aufzeichnungslänge [50]	Kurzzeitvariabilität [38]	keine klare Zuordnung	
	SampEn		k. E.	Sample entropy: hohe Werte entsprechen einer hohen Variabilität, Werte abhängig von der Aufzeichnungslänge [50]	Kurzzeitvariabilität [38]	keine klare Zuordnung	

2 *Bemerkung: k.E. = keine Einheit*

3 <sup>1</sup> *LF nu und HF nu verhalten sich reziprok zueinander, die Summe beider Parameter ergibt 100 %*

4 <sup>2</sup> *SD1 und SD2 korrelieren direkt mit den HRV-Parameter SDNN und dem SDNN-Index und werden daher von einigen Autoren nicht als nicht-lineare Parameter, sondern vielmehr als zeitbezogene HRV-Parameter eingestuft [51]*

6

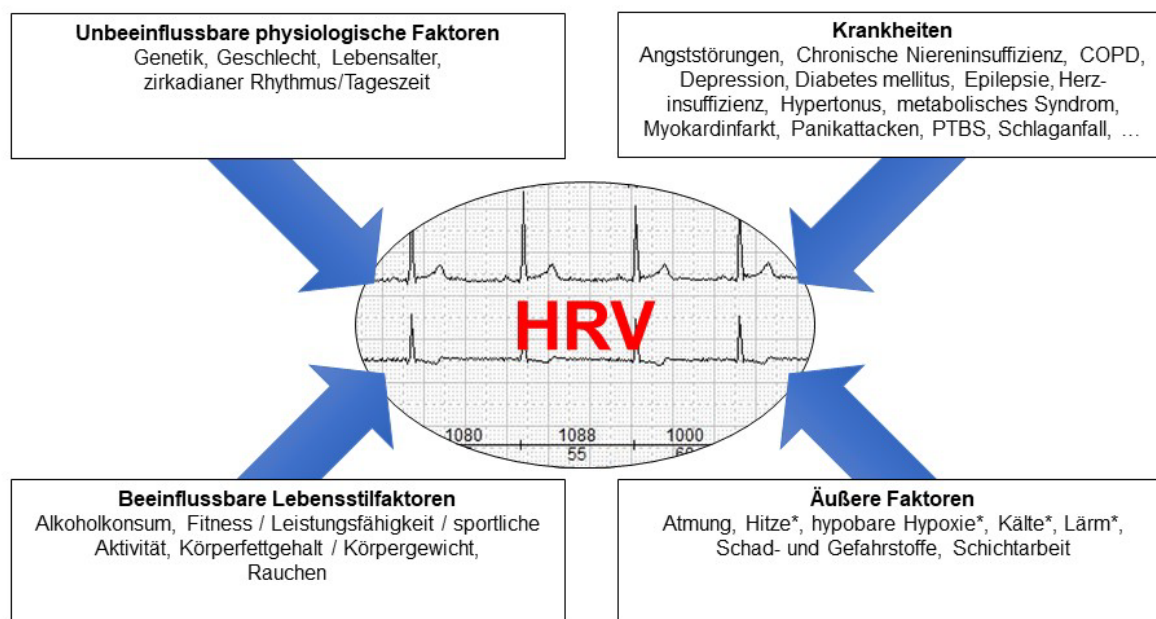
7 **6. Einflussfaktoren der individuellen Hf und HRV**

<b>Kernaussage Nr. 10</b>	neu [07/2021]
Hf und HRV werden unabhängig von der akuten Belastung durch zahlreiche veränderbare und nicht veränderbare Faktoren (unbeeinflussbare physiologische Faktoren, Krankheiten, beeinflussbare Lebensstilfaktoren und äußere Faktoren) beeinflusst.	
Konsensusstärke: starker Konsens (100%)	

8

9 Hf und HRV werden unabhängig von der akuten Belastung durch zahlreiche veränderbare und  
10 nicht veränderbare Faktoren beeinflusst. Neben unbeeinflussbaren physiologischen Parame-  
11 tern (z. B. Alter) existiert eine Reihe von veränderbaren Einflussfaktoren - z. B. Lebensge-  
12 wohnheiten der Probanden bzw. daraus entstehende Folgen oder äußere Rahmenbedingun-  
13 gen. Des Weiteren geht eine Vielzahl von Krankheiten mit einer reduzierten HRV einher, wobei  
14 der Einfluss auf das vegetative Nervensystem vielmehr als Folge der Krankheit und nur selten  
15 als potentielle Ursache betrachtet werden kann.

16 Hierbei lassen sich die einzelnen Einflussfaktoren in vier Hauptbereiche (unbeeinflussbare  
17 physiologische Faktoren, Krankheiten, beeinflussbare Lebensstilfaktoren und äußere Fakto-  
18 ren) unterteilen (siehe Abb. 4). Wesentliche Einflussfaktoren für arbeitsmedizinische und ar-  
19beitswissenschaftliche Fragestellungen werden in der Tab. 3 beschrieben. Der Kenntnis dieser  
20 Faktoren kommt eine besondere Bedeutung bei der Bewertung und Beurteilung der Hf und  
21 HRV zu. Darüber hinaus sind in der Literatur weitere Faktoren und Erkrankungen bekannt, die  
22 jedoch für die Arbeitsmedizin und Arbeitswissenschaft weniger bedeutsam sind (z. B. HRV  
23 beim Vorliegen einer intensivmedizinisch zu behandelnden Sepsis), so dass auf die weitere  
24 Erwähnung dieser Faktoren verzichtet wird.



25  
26 **Abb. 4:** Gruppierung der unterschiedlichen Einflussfaktoren auf die HRV in vier Hauptbereiche (über-  
27 setzt und modifiziert entnommen aus [52])  
28 \* = HRV-Reduzierung als Folge der physiologischen Reaktion auf den physikalischen Reiz

29 Auch Medikamente mit Einfluss auf das vegetative Nervensystem bzw. auf das Erregungslei-  
30 tungssystem des Herzens sind als externe beeinflussende Faktoren bei der Bewertung und  
31 Beurteilung der Hf und der HRV zu beachten. Aufgrund der Vielzahl möglicher pharmakologi-  
32 scher Interaktionen seien hier nur beispielhaft die Gruppen der Betablocker, ACE-Hemmer,  
33 Antiarrhythmika und Psychopharmaka genannt [45].

34 **Tab. 3:** Einflussfaktoren auf Hf und HRV, sortiert nach den vier Hauptbereichen, innerhalb des Haupt-  
35 bereichs alphabetisch sortiert

Einflussfaktor	Wirkung auf die $Hf_{Ruhe}$	Wirkung auf die HRV
<b>Unbeeinflussbare physiologische Faktoren</b>		
Genetik		Die HRV scheint zwischen Mitgliedern unterschiedlicher Ethnienzugehörigkeit unterschiedlich auszufallen [53].
Geschlecht	Die Hf ist bei Frauen üblicherweise höher als bei Männern [54].	Die meisten Studien ergaben bei Frauen gegenüber Männern eine erhöhte parasympathische Aktivität [55–62], die sich jedoch ab dem 50. Lebensjahr annähert [63–65].

Einflussfaktor	Wirkung auf die $Hf_{Ruhe}$	Wirkung auf die HRV
		Einige Studien haben jedoch eine erhöhte sympathische Grundaktivität bei Frauen gesehen [66–69].
Lebensalter	Mit dem Alter fallen $Hf_{Ruhe}$ [70] und $Hf_{max}$ [9] i. d. R. ab.	Die HRV steigt im ersten Lebensjahr stark, später bis zum 15. Lebensjahr an [71], ist im jungen Erwachsenenalter am höchsten und fällt mit dem Alter nicht-linear ab [38, 55, 57, 63–66, 69–80].
Schwangerschaft	Während der <b>Schwangerschaft</b> kommt es i. d. R. zu einem Anstieg der $Hf$ [81].	Während einer <b>Schwangerschaft</b> kommt es i. d. R. zu einer Reduzierung der HRV während des Fortschreitens der Schwangerschaft [81] und ist im 2. Trimenon am geringsten [82, 83].
Zirkadianer Rhythmus / Tageszeit	Die $Hf$ unterliegt einem zirkadianen Rhythmus, wobei es zu einer nächtlichen Absenkung der $Hf$ kommt [84].	Die HRV unterliegt einem zirkadianen Rhythmus, wobei die HRV in den Nachtstunden aufgrund des Überwiegens der Parasympathikusaktivität erhöht und in den Tagstunden aufgrund des Überwiegens der Sympathikusaktivität reduziert ist [85].
<b>Krankheiten</b>		
Chronische Niereninsuffizienz		Bei einer <b>chronischen Niereninsuffizienz</b> ist i. d. R. die HRV reduziert [86].
Chronisch obstruktive Lungenerkrankungen (COPD)		Bei einer <b>COPD</b> ist i. d. R. die HRV reduziert [87, 88].
Herzkreislaufkrankungen	<b>Herzinsuffizienz</b> führt zu erhöhter $Hf$ [89] und eingeschränkter maximaler $Hf$ .	Bei einer <b>Herzinsuffizienz</b> ist i. d. R. die HRV reduziert [6, 90–93].
		Bei einem <b>Hypertonus</b> ist i. d. R. die HRV reduziert [94, 95].
	Durch die Sympathikusaktivierung kommt es bei Patienten nach <b>Myokardinfarkt</b> häufig zu einer $Hf$ -Erhöhung und dies ist prognoseentscheidend [96–101].	Bei einer <b>Koronaren Herzerkrankung (KHK)</b> mit und ohne <b>Angina pectoris</b> sowie nach <b>Myokardinfarkt</b> ist i. d. R. die HRV reduziert [102, 103].
Kopfschmerzen, regelmäßig		Regelmäßige Kopfschmerzen sind i. d. R. mit einer erniedrigten HRV assoziiert [104, 105].

Einflussfaktor	Wirkung auf die $Hf_{Ruhe}$	Wirkung auf die HRV
Muskeldystrophie Duchenne		Die HRV ist in der Regel beim Vorliegen einer Muskeldystrophie Duchenne bereits in Frühstadien und bei manifester Erkrankung deutlich erniedrigt [106].
Psychiatrische Erkrankungen	Bei <b>Angststörungen</b> oder bei Patienten mit <b>Panikattacken</b> liegen i. d. R. erhöhte Hf vor [107].	Bei <b>Angststörungen</b> [72, 108–111] und Patienten mit <b>Panikattacken</b> [107, 109] kommt es i. d. R. zu einer Reduzierung der HRV.
	Patienten mit <b>Anorexie</b> haben i. d. R. eine reduzierte Hf [112].	Bei Patienten mit <b>Anorexie</b> ist die HRV i. d. R. erniedrigt [113].
		Bei Patienten mit <b>Bulimia nervosa</b> ist die HRV i. d. R. erniedrigt [114].
		Bei Vorliegen einer <b>Posttraumatische Belastungsstörung</b> ist die HRV erniedrigt [115].
	Eine <b>schwere Depression</b> führt häufig zu einer Erhöhung der Hf [116–118].	Bei einer ( <b>schweren</b> ) <b>Depression</b> ist häufig die HRV erniedrigt [72, 117, 119–123].
		Bei einer <b>Epilepsie</b> ist i. d. R. die HRV erniedrigt [124].
		Bei einer <b>Borderline-Persönlichkeitsstörung</b> ist i. d. R. die HRV erniedrigt [125].
		Bei einer <b>bipolaren Störung</b> [72, 122, 126, 127]/ <b>Schizophrenie</b> [128] ist i. d. R. die HRV erniedrigt.
Rheumatische Arthritis		Auf Basis einer systematischen Literaturrecherche scheint derzeit die HRV bei Vorliegen einer <b>rheumatischen Arthritis</b> nicht verändert zu sein [129].
Schlafstörungen		Eine Reduzierung der HRV bei bestehenden <b>Schlafstörungen</b> wird derzeit durch die wissenschaftliche Literatur nicht gestützt [130]. Ähnliches findet sich bei unbehandelten <b>Obstruktiven Schlafapnoesyndrom</b> .



Einflussfaktor	Wirkung auf die $Hf_{Ruhe}$	Wirkung auf die HRV
Schlaganfall		Ein <b>Schlaganfall</b> ist i. d. R. mit einer reduzierten HRV assoziiert [131].
Schmerz		Bei <b>chronischen Schmerzen</b> ist i. d. R. HRV erniedrigt [132].
Stoffwechselerkrankungen	Eine <b>Diabeteserkrankung</b> geht häufig mit einer Sympathikussteigerung und damit mit einer $Hf$ -Erhöhung einher [133].	Die HRV ist bei Patienten mit <b>Diabetes mellitus</b> häufig reduziert [61, 134–137], wobei eine Korrelation zwischen Ausprägung der HRV und Dauer der Diabeteserkrankungen, vor allem bei schlechter Diabeteseinstellung, besteht [138]. Die Reduzierung ist bedingt durch eine periphere Neuropathie auf dem Boden von Mikrozirkulationsstörungen [139].
		Bei einem <b>metabolischen Syndrom</b> ist die HRV i. d. R. erniedrigt [138, 140–146], wobei insbesondere bei Frauen sich dies eindeutig zeigt [147].
Tumorerkrankungen		Der Einfluss einer Brustkrebserkrankung auf die HRV ist unklar [148].
<b>Beeinflussbare Lebensstilfaktoren</b>		
Alkoholkonsum		Bei akutem Alkoholkonsum ist die HRV i. d. R. erniedrigt [149]. Geringer ständiger Alkoholkonsum mit einem Alkoholanteil von einem Standardgetränk bei Frauen bzw. zwei Standardgetränken bei Männern führt i. d. R. zu einer kurzfristigen, jedoch zu keiner langfristigen Veränderung der HRV bzw. einer erhöhten HRV, während chronischer Alkoholabusus mit einer Reduzierung der HRV assoziiert ist [149, 150].
Fitness, Leistungsfähigkeit, sportliche Aktivität		Hoch intensives Intervalltraining (HIIT) erhöht i. d. R. die HRV, was insbesondere für gesunde Probanden und Patienten mit metabolischem Syndrom gezeigt werden konnte [151]. Hochintensive Trainings- und Wettkampfsereien können hingegen zu einer reduzierten HRV führen [152, 153].

Einflussfaktor	Wirkung auf die $Hf_{Ruhe}$	Wirkung auf die HRV
	<p>Initial kommt es aufgrund der körperlichen Aktivität zu einer <math>Hf_{Ruhe}</math>-Erhöhung, die jedoch bei regelmäßiger körperlicher Aktivität ohne Übertrainingssymptome zu einer Abnahme der <math>Hf</math> aufgrund einer Erhöhung der Parasympathikusaktivität, einer Optimierung der Herzauswurfleistung führt [155]. Die Expression von Ionenkanälen für das Schrittmacherpotential ist reduziert [21]. Daher führt Ausdauertraining häufig zu einer trainingsinduzierten Bradykardie [156–159].</p>	<p>Bei Krafttraining finden sich i. d. R. bei Gesunden keine Veränderung der HRV, während bei Probanden mit chronischen Erkrankungen Krafttraining i. d. R. mit einer Erhöhung der HRV assoziiert ist [154].</p> <p>Im Rahmen regelmäßiger körperlicher Aktivität kommt es initial zur Steigerung des Sympathikus und zur Reduzierung der HRV [160], welche bei fortdauernder, regelmäßiger körperlicher Aktivität zu einer Steigerung des Parasympathikus und einer Erhöhung der HRV führt [66, 153, 160–162]. Ausdauertraining erhöht i. d. R. die HRV [152, 153, 163–165]. Diese Effekte sind auch bei Patienten mit Myokardinfarkt, mit Herzinsuffizienz [163] oder Diabetes mellitus II [166] zu finden.</p>
Körperfettgehalt/Körpergewicht	Erhöhtes Körpergewicht (BMI) führt i. d. R. zu einer Steigerung der $Hf_{Ruhe}$ [167], was teilweise über die stimulierende Wirkung von Leptin auf zentrale sympathische Neurone erklärt werden kann [168, 169].	Bei einem erhöhten Körpergewicht (BMI) bzw. einer erhöhten freien Fettmasse ist häufig die HRV erniedrigt [170].
Rauchen	Aktives [171] und passives Rauchen [172] kann zu einer $Hf$ -Erhöhung führen.	Rauchen kann zu einer Reduzierung der HRV führen [173], dieser Effekt ist dosisabhängig [172]. Auch bei Nichtrauchern führt Passivrauchen im privaten wie beruflichen Umfeld zu einer Reduzierung der HRV [172–174].
Stress/Mentale Anspannung	Stress (z. B. mentaler, arbeitsplatzbezogener) führt i. d. R. zur Erhöhung der $Hf$ [175–178]	Stress (z. B. mentaler, arbeitsplatzbezogener) führt i. d. R. zu einer Reduzierung der Parasympathikusaktivität und damit zu einer Reduzierung der HRV [176, 178–183].
<b>Äußere Faktoren</b>		
Atmung	Während der Inspiration kommt es zu einer kurzfristigen $Hf$ -Zunahme, während der Expiration zu einer kurzfristigen $Hf$ -Abnahme [184, 185]. Dies ist	Der Einfluss der Atmung auf die HRV spiegelt sich in der respiratorischen Sinusarrhythmie (RSA) wider und kommt im HF-Band zum Ausdruck.

Einflussfaktor	Wirkung auf die $Hf_{Ruhe}$	Wirkung auf die HRV
	wesentlich durch pulmonale Afferenzen von Dehnungsrezeptoren sowie Interaktionen von zentralen respiratorischen Neuronen zum Kreislaufzentrum in der Medulla oblongata bedingt	Insgesamt scheint der HRV-Parameter RMSSD von der Atmung nicht beeinflusst zu werden [186]. Für die übrigen Parameter ist die Studienlage nicht eindeutig [187–189].
Hitze, hohe Temperaturen	Hohe Umgebungstemperaturen führen zu einem Anstieg der $Hf$ [13, 190, 191] bedingt einerseits durch direkte Temperatureffekte am Sinusknoten und andererseits über die Erhöhung der sympathischen Aktivität als Folge der Aktivierung von Warmrezeptoren.	Hohe Umgebungstemperaturen führen zu einer erhöhten sympathischen Aktivität und einer reduzierten HRV [192, 193].
Hypoxie		Eine hypobare Hypoxie führt i. d. R. zu einer kurzfristigen Sympathikusaktivierung [194] und langfristig zu einer Reduzierung der HRV [195].
Kälte, niedrige Temperaturen	Niedrige Umgebungstemperaturen führen bei Männern i. d. R. zu einer Abnahme der $Hf$ sowohl unter Ruhe als auch Belastung während es bei Frauen zu keiner Abnahme der Herzfrequenz, sondern vielmehr zu einer leichten Erhöhung der $Hf$ kommt [196].	Es liegen nur wenige Studien zum Einfluss kalter Umgebungstemperaturen auf die HRV vor: bei kurzzeitiger Kälteexposition wird von einer reduzierten Sympathikusaktivität und damit erhöhter HRV berichtet [197], während bei langfristiger Kälteexposition, u.a. in Wintermonaten oder bei beruflicher Kälteexposition kein Einfluss auf die HRV gezeigt werden konnte. [192, 198, 199].
Lärm	Bei Lärm steigt die $Hf$ häufig an [200], bedingt durch eine Aktivierung sympathischer Nerven [201].	Es liegen nur wenige Studien zum Einfluss von Lärm auf die HRV vor; die HRV erscheint bei Auftreten von Lärm reduziert [202–205].
Schadstoffe		Neurotoxische Stoffe können zu einer Reduzierung der HRV führen: dies wurde u. a. für Carbondisulfid [206, 207], jedoch nicht für Langzeitkontakt im Niedrigdosisbereich [208]; für akute Diesel- und Biodieselinhalation [209]; für chronische Blei- [210, 211], und Cadmium- [212] oder Quecksilberexposition [213] sowie bei neurotoxischer Styrolexposition [214, 215] gezeigt. Die Datenlage zum Einfluss von chronischer Lösemittelexposition ist nicht eindeutig, es werden Reduzierungen der HRV und

Einflussfaktor	Wirkung auf die $Hf_{Ruhe}$	Wirkung auf die HRV
		<p>keine Unterschiede beschrieben [216–218].</p> <p>Dagegen fanden sich keine Hinweise für eine Reduzierung der HRV durch eine Quecksilberexposition [219]. Lediglich für fetale Quecksilberexposition scheint zu einer Erniedrigung der HRV zu führen [213].</p> <p>Eine Exposition gegenüber Feinstaubpartikel (PM2.5) scheint die HRV zu reduzieren [220].</p>
Schichtarbeit mit Nachtschicht		<p>Durch Schichtarbeit mit Nachtschicht kommt es i. d. R. zu einer Aktivierung des Sympathikus und einer Reduzierung des Parasympathikus und somit zu einer Reduzierung der HRV, wobei eine Korrelation zwischen Dauer der Schichtarbeit in Jahren und Reduzierung der HRV existiert [221–227].</p>

36

37 **7. Auswertung und Interpretation von  $Hf$  und der HRV**

<b>Empfehlung Nr. 7</b>	neu [07/2021]
<p>Um die Ergebnisse von <math>Hf</math>- und HRV-Analysen korrekt bewerten und interpretieren zu können, wird empfohlen im Vorfeld der Untersuchungen die konkrete Fragestellung, die eingesetzte Methode der Datenerfassung und die Auswertungsstrategie aufeinander abzustimmen.</p>	
<p>Konsensusstärke: starker Konsens (100%)</p>	

38

39 Um die Ergebnisse von  $Hf$ - und HRV-Analysen bewerten und interpretieren zu können, ist es  
 40 unerlässlich, im Vorfeld der Untersuchungen die konkrete Fragestellung, die eingesetzte Me-  
 41 thode der Datenerfassung und die Auswertungsstrategie aufeinander abzustimmen. Des Wei-  
 42 teren sind die  $Hf$ - und HRV-Parameter als Beanspruchungsdaten konkreter belasteter Perso-  
 43 nen im individuellen, psychophysiologischen und arbeitsplatzbezogenen Gesamtkontext zu  
 44 betrachten (vgl. Tab. 3) und ggf. mit ergänzenden Methoden (u. a. Fragebögen zur subjektiven  
 45 Beanspruchung, zum Stresserleben und dem Gesundheitszustand) zu kombinieren. Zeitgleich

46 sollte möglichst die Erfassung von physikalischen Arbeitsplatzbedingungen wie Lärm, Tempe-  
47 ratureinflüssen etc. erfolgen.

## 48 7.1 Herzschlagfrequenz (Hf)

<b>Kernaussage Nr. 11</b>	neu [07/2021]
Wesentliche Einflussgrößen für die Hf sind vor allem dynamische Belastungen großer Muskelgruppen, aber auch statische Muskelbelastungen, die thermische sowie die psychische Belastung.	
Konsensusstärke: starker Konsens (100%)	

49  
50 Wesentliche Einflussgrößen für die Hf sind vor allem dynamische Belastungen großer Muskel-  
51 gruppen, aber auch statische Muskelbelastungen, die thermische sowie die psychische Belas-  
52 tung [228, 229]. Diese Einflussgrößen wirken gemeinsam auf das Herzkreislaufsystem und  
53 führen bei erhöhten Belastungen zu entsprechend erhöhten Werten für die Hf. So untersuch-  
54 ten z. B. Hettinger et al. [200] die Einflüsse bei unterschiedlicher Muskel-, Temperatur- und  
55 Wärmestrahlungsbelastung. Eine Separierung der Einzelanteile ist so nur unter kontrollierten  
56 Bedingungen möglich. So kann die Hf bei einer dynamischen Arbeit, bei der größere Muskel-  
57 gruppen eingesetzt werden, zuverlässig für die Abschätzung des Energieumsatzes herange-  
58 zogen werden, wenn die Anteile an statischen Muskelbelastungen ebenso wie die psychischen  
59 Belastungen vernachlässigbar sind und neutrale thermische Bedingungen bestehen [229]. Be-  
60 gleitende statische Muskelbelastungen sowie psychische und thermische Belastungen führen  
61 zur Abnahme der Güte der Korrelation von Energieumsatz und Hf (kleinerer Korrelationskoef-  
62 fizient).

## 63 7.2 Ruheherzschlagfrequenz ( $Hf_{Ruhe}$ )

<b>Empfehlung Nr. 8</b>	neu [07/2021]
Es wird empfohlen, die $Hf_{Ruhe}$ als Ausgangswert der Interpretation der Hf-Veränderung unter Arbeitsbelastungen zugrunde zu legen.	
Konsensusstärke: starker Konsens (100%)	

64  
65 Für die Interpretation von gemessener Hf unter Arbeitsbelastungen stellt die  $Hf_{Ruhe}$  einen be-  
66 vorzugten Ausgangswert dar (s. Kap. 4.5). Hierbei gilt es, Aufnahmebedingungen (u. a. Posi-

67 tion der Person, Dauer der Aufnahme) bei Vergleichen mit Referenzwerten zu beachten. Er-  
68 höhte und reduzierte  $Hf_{Ruhe}$  können mit kardiologischen Erkrankungen assoziiert sein [230,  
69 231]. Personen mit einer tachykarden oder einer bradykarden  $Hf_{Ruhe}$  unter Berücksichtigung  
70 der Einflussfaktoren (s. Kap. 6) sollten ggf. ärztlich, vorzugsweise internistisch-kardiologisch  
71 untersucht werden.

72 Da die Ermittlung der  $Hf_{Ruhe}$  in Feldstudien häufig Schwierigkeiten bereitet (Einfluss psychi-  
73 scher Faktoren, Umgebungsbedingungen wie Lärm etc., die nur schwierig zu kontrollieren  
74 sind), empfehlen Hettinger und Wobbe [200] die Ermittlung einer Bezugsherzschlagfrequenz  
75 ( $Hf_{Bezug}$ ) bei leichter dynamischer Arbeit (z. B. 20 Watt auf einem Fahrradergometer für 10 min).  
76 Infolge der auch von den Probanden als sehr leicht empfundenen Arbeit wird die psychisch  
77 bedingte Verstellung der  $Hf_{Ruhe}$  weitgehend ausgeschaltet und der Einfluss der individuellen  
78 Leistungsfähigkeit ist wegen der geringen Belastung wenig ausgeprägt. Bei Männern erwartet  
79 man durch diese Belastung von 20 W eine Steigerung der Hf um ca. 18,5 S/min, bei Frauen  
80 um etwa 24,5 S/min gegenüber dem Ruhewert im Liegen bei relativ geringer individueller  
81 Schwankungsbreite [200].

### 82 7.3 Maximale Herzschlagfrequenz ( $Hf_{max}$ )

<b>Empfehlung Nr. 9</b>	neu [07/2021]
Es wird empfohlen, die $Hf_{max}$ als Ausbelastungskriterium zu nutzen und mittels eines standardisierten Belastungsprotokolls zu erheben.	
Konsensusstärke: starker Konsens (100%)	

83  
84 Die  $Hf_{max}$  dient als Ausbelastungskriterium und sollte mittels eines standardisierten Belas-  
85 tungsprotokolls erhoben werden [232]. Die am weitesten verbreiteten Methoden stellen hierbei  
86 die Laufband- und die Fahrradergometrie dar. Die optimale Motivation zum Erbringen der ma-  
87 ximalen Leistung und die Beachtung von Abbruchkriterien sind wesentliche Voraussetzungen  
88 zur Bestimmung der  $Hf_{max}$ . Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass neben Einflussfaktoren  
89 wie Alter, Geschlecht und aktuellem Trainingszustand [233] sowie einiger bradykardisierender  
90 Medikamente [9] die ermittelte  $Hf_{max}$  wesentlich von der eingesetzten Muskelmasse abhängt.

91 Eine Interpretation der Hf zur Abschätzung der kardialen Beanspruchung der zu untersuchen-  
92 den (Arbeits-)Belastung erfolgt sinnvollerweise in Bezug zur gemessenen  $Hf_{Ruhe}$  und der indi-  
93 viduell mittels standardisiertem Belastungsprotokoll gemessenen  $Hf_{max}$  bzw. errechneten  $Hf_{max}$

94 (s. Kap. 3). Hier deutet eine während der (Arbeits-)Belastung gemessene Hf in der Nähe der  
95  $Hf_{max}$  auf eine hohe kardiale Beanspruchung hin. Je nach eingesetzter Muskelmasse kann die  
96 (Herzschlagfrequenz-)Dauerleistungsgrenze zur Interpretation hinzugezogen werden (s. Kap.  
97 7.5).

#### 98 7.4 Erholungsherzschlagfrequenz ( $Hf_{Erholung}$ )

<b>Kernaussage Nr. 12</b>	neu [07/2021]
Zur Abschätzung der Erholungsfähigkeit des kardiovaskulären und metabolischen Systems kann die $Hf_{Erholung}$ genutzt werden.	
Konsensusstärke: starker Konsens (100%)	

99

100 Zur Abschätzung der Erholungsfähigkeit des kardiovaskulären und metabolischen Systems  
101 kann die  $Hf_{Erholung}$  genutzt werden. Sie korreliert hoch mit der Funktion des parasympathischen  
102 vegetativen Nervensystems [234] und nimmt nach Belastungsende exponentiell ab. Als we-  
103 sentliche Einflussfaktoren bestimmen Belastungsintensität, -dauer, -methode, initialer Leis-  
104 tungszustand und Art der Erholung den zeitlichen Verlauf der Wiederherstellung der Vagus-  
105 aktivität [235–237].

#### 106 7.5 (Herzschlagfrequenz-)Dauerleistungsgrenze

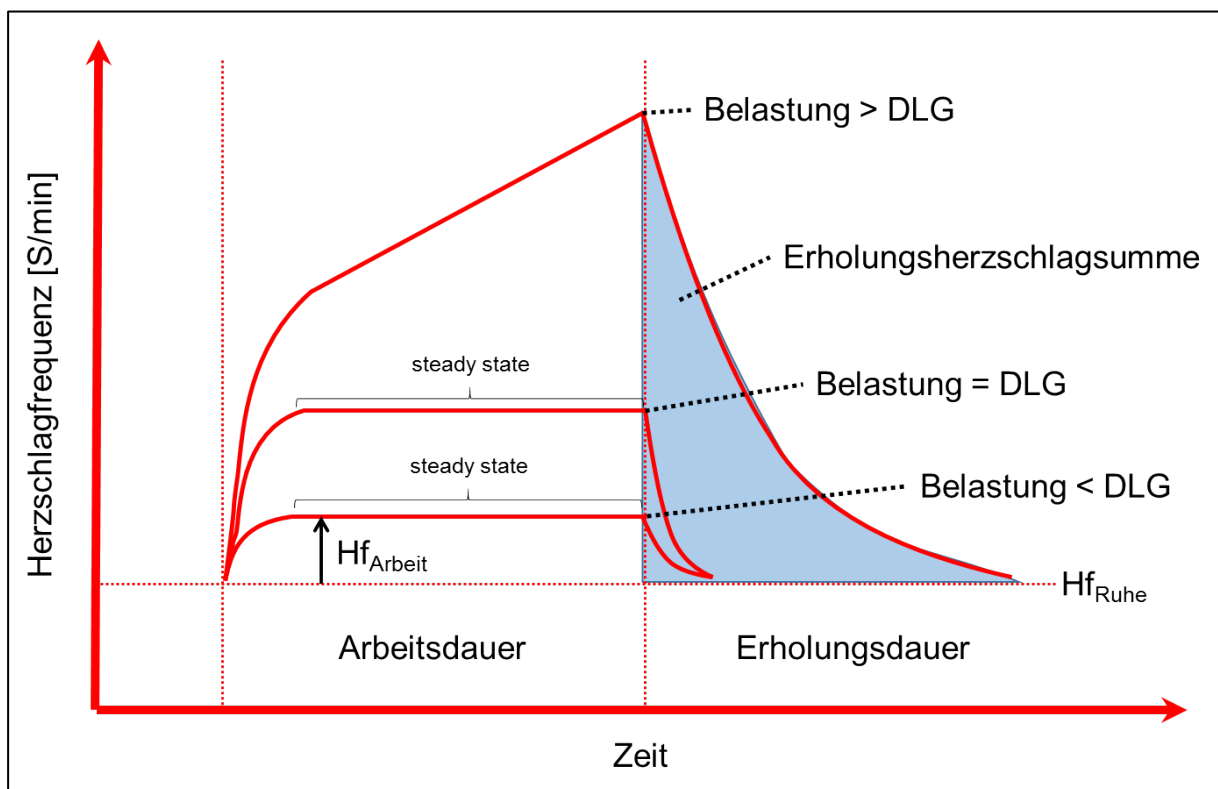
<b>Kernaussage Nr. 13</b>	neu [07/2021]
Die Dauerleistungsgrenze (DLG) bei körperlicher Arbeit ist die maximale körperliche Arbeit, die über eine Arbeitsschicht (ca. 8 Stunden) ohne fortschreitende Ermüdungserscheinung geleistet werden kann.	
Konsensusstärke: starker Konsens (100%)	

107

108 Die Dauerleistungsgrenze (DLG) bei körperlicher Arbeit ist die maximale körperliche Arbeit,  
109 die über eine Arbeitsschicht (ca. 8 Stunden) ohne fortschreitende Ermüdungserscheinung ge-  
110 leistet werden kann und bei der die messbaren physiologischen Parameter nach Beendigung  
111 der Belastung etwa nach 15 Minuten den Ausgangswert wieder erreicht oder unterschritten  
112 haben [13]. Insbesondere in der Arbeitswelt kann die DLG zur Identifikation von muskulär er-  
113 müdungsfreier physischer Belastung (unterhalb der DLG) und muskulär ermüdender physis-  
114 cher Belastung (oberhalb der DLG), jeweils bezogen auf eine 8-stündige Arbeitsschicht, ge-  
115 nutzt werden [10, 238, 239]. Zur Bestimmung der DLG können sowohl kardiale (z. B. Hf) als

116 auch metabolische Kennwerte (z. B. Energieumsatz, Laktat) genutzt werden. Alternativ kommt  
117 die spiroergometrische Bestimmung (z. B. 40 % der maximalen Sauerstoffaufnahme) in Be-  
118 tracht. Vor allem die Hf eignet sich als leicht zu erhebender kardialer Parameter zur Erfassung  
119 der kardio-pulmonalen Beanspruchung. Bei allgemeiner dynamischer Belastung liegt die Dau-  
120 erleistungsgrenze etwa im Bereich von 105-110 S/min, bzw. alternativ bestimmt bei  $Hf_{Ruhe} +$   
121 30 - 35 S/min [13]. Zu beachten ist, dass, wie bei der individuellen  $Hf_{Ruhe}$  und  $Hf_{max}$ , auch die  
122 zur Abschätzung der DLG genutzte Hf individuellen Unterschieden unterliegt, die sich unter  
123 anderem durch das Alter und den Grad der körperlichen Fitness erklären lassen.

124 Unterhalb der DLG zeigt die Hf mit zunehmender Arbeitsschwere eine lineare Zunahme. Bei  
125 einer leichten Arbeit mit zeitlich konstanter Leistung erreicht die Hf innerhalb kurzer Zeit (we-  
126 nige Minuten) eine annähernd gleichbleibende Auslenkung („steady state“). Dieses „steady  
127 state“ kann prinzipiell über die gesamte 8-stündige Arbeitsschicht beibehalten werden (vgl.  
128 Abb. 4).



129  
130 **Abb. 5:** Herzschlagfrequenzverläufe bei unterschiedlichen Belastungen (unterhalb bzw. oberhalb der  
131 DLG sowie im Bereich der DLG) mit jeweiliger Erholungsphase, schematische Darstellung, modifiziert  
132 nach Müller [14], DLG = Dauerleistungsgrenze



133 Kurzfristige geringe Überschreitungen der DLG (z. B. Hf um 130-140 S/min) sind im Arbeitsle-  
134 ben nicht außergewöhnlich und in der Regel ohne Gesundheitsrisiko. Bei dauernder physi-  
135 scher Belastung mit einer Hf >130 S/min wird die muskuläre Ermüdung nach Belastungsende  
136 durch vorgesehene Pausen wieder abgebaut. Ermüdende Tätigkeiten sind zeitlich umso mehr  
137 zu begrenzen, je intensiver die körperliche Belastung ist und je mehr der Zustand der Erschöp-  
138 fung erreicht wird, d. h. je weiter die DLG überschritten ist.

139 Wird die DLG ständig deutlich überschritten, wird von schwerer körperlicher Arbeit oder  
140 Schwerstarbeit im energetischen Sinne gesprochen [240]. Dies führt zu zunehmender Mus-  
141 kelermüdung, was i. A. ohne gesundheitliche Konsequenzen reversibel ist. Die Hf steigt hierbei  
142 fortlaufend weiter an und es kommt zum sog. Ermüdungsanstieg (s. Abb. 4). Gesundheitlich  
143 bedeutsam ist darüber hinaus Schwer- und Schwerstarbeit aus motorisch-biomechanischer  
144 Sicht, da am Bewegungsapparat (Gelenke, Bandscheiben) unter bestimmten Voraussetzun-  
145 gen relevante Schäden entstehen können [239]. Solche Aspekte werden in dieser Leitlinie  
146 jedoch nicht weiter vertieft.

147 Neben der DLG wird auch die Erholungsherzschlagsumme (s. Abb. 4) als Kenngröße der in-  
148 dividuellen körperlichen Belastungen betrachtet [14].

149 Es ist zu beachten, dass die Betrachtung der oben beschriebenen DLG nur sinnvoll ist, wenn  
150 die eingesetzte Muskelmasse > 1/6 der Gesamtmuskelmasse ist. Werden dagegen kleinere  
151 Muskelmassen im Rahmen dynamischen Tätigkeiten eingesetzt, ist die DLG umso niedriger,  
152 je geringer die arbeitende Muskelmasse ist, d. h. Hf, Hf<sub>Arbeit</sub> und Sauerstoffaufnahme weisen  
153 in diesem DLG-Bereich niedrigere Werte als bei Ganzkörperarbeit auf, so dass sie bei reiner  
154 Arm- oder Handarbeit wegen der geringen Erhöhung nicht mehr verwertbar ist [241]. Hierbei  
155 ist die lokale Belastung begrenzend für die Dauer der Arbeitsverrichtung. Bei statischer Arbeit  
156 bzw. bei zunehmendem Anteil statischer Muskelbeanspruchung ist eine Beurteilung der Be-  
157 lastungsintensität mit Hilfe der DLG ebenfalls nicht möglich.

158 Unter dem Gesichtspunkt der Arbeitsgestaltung sollten die Tätigkeiten einer speziellen Be-  
159 trachtung unterzogen werden, die für ein Überschreiten des DLG-Bereichs als verantwortlich  
160 erkannt werden.

161 **7.6 Herzfrequenzvariabilität (HRV)**

<b>Empfehlung Nr. 10</b>	neu [07/2021]
Es wird empfohlen, zur Interpretation von HRV-Parameter unter äußeren Belastungen eine sinnvolle Planung und Durchführung der Messung der Herzaktionen, insbesondere in Hinblick auf die Länge der Aufzeichnung zu beachten. Hierzu sind die Empfehlung Nr. 11 und Empfehlung Nr. 12 zu beachten.	
Konsensusstärke: starker Konsens (100%)	

162

163 Für die Berechnung der unterschiedlichen HRV-Parameter stehen mehrere Möglichkeiten zur  
164 Auswahl. Die HRV-Zeitbereichsparameter können prinzipiell über mathematische Funktionen  
165 in gängigen Tabellenkalkulationsprogrammen berechnet werden. Weiterhin bieten viele Her-  
166 steller ambulanter EKG-Messgeräte Softwareprogramme an, die eine Berechnung von HRV-  
167 Parametern im Zeit- und Frequenzbereich, aber auch eine nichtlineare Analyse von NN-Inter-  
168 vallreihen ermöglichen. Auch stehen frei verfügbare Softwarepakete mit guter Dokumentation  
169 zur Verfügung.

170 Für Aussagen zum vegetativen Nervensystem (s. Kap. 8.1 und 8.2) sollten geeignete HRV-  
171 Parameter herangezogen und mit einem für die Tätigkeit bzw. Ruhemessung geeigneten Zeit-  
172 bereich erfasst bzw. analysiert werden (s. Tab. 2). Hierbei ist zu berücksichtigen, ob primär  
173 ein Einfluss des sympathischen oder des parasympathischen vegetativen Nervensystems ge-  
174 messen werden soll bzw. wie lange die Erfassungszeit sinnvoll erfolgen kann.

175 Während für einige HRV-Parameter Langzeitmessungen obligat sind (s. Tab. 2), bzw. die 24h-  
176 Messung der HRV zur Gewinnung eines Gesamteindrucks des vegetativen Nervensystems  
177 von Vorteil sein kann, sollten zur Beurteilung von Belastungen am Arbeitsplatz mit kurzfristigen  
178 Änderungen der Anforderungen primär HRV-Parameter mit einer Eignung für die Kurzzeitmes-  
179 sungen genutzt werden. Nach Belastungswechsel sollte die erste Minute nicht in die Daten-  
180 analyse einbezogen werden, da in dieser Phase Einschwingvorgänge der vegetativen Regel-  
181 kreise dominieren.

182 Aufgrund der hohen interindividuellen Variabilität und den zahlreichen exogenen und endoge-  
183 nen Einflussfaktoren, die im Rahmen einer Messung der NN-Intervalle zumeist nicht verändert  
184 werden können, sollte die HRV-Analyse nur in Kombination mit einer Ruhe-HRV-Analyse bzw.

185 im Rahmen von länger andauernden Veränderungen durch Wiederholungsmessungen unter  
186 gleichen Bedingungen genutzt werden.

<b>Kernaussage Nr. 14</b>	neu [07/2021]
Für die Vergleichbarkeit von Ruhemessungen stehen einige Arbeiten mit Referenzwerten zur Verfügung. Hierbei ist auf die Alters- und Geschlechtsabhängigkeit der HRV sowie auf eine mit dem Probanden identische Vergleichspopulation zu achten.	
Konsensusstärke: starker Konsens (100%)	

187  
188 In den vergangenen Jahren wurden einige Arbeiten publiziert, welche mittels Referenzwerten  
189 erlauben sollen, HRV-Einzelmessungen in erhöhte bzw. reduzierte HRV zu unterscheiden.  
190 Aufgrund der oben beschriebenen Alters- und Geschlechtsabhängigkeit der HRV sollten ent-  
191 sprechende HRV-Referenzwerte dies ebenfalls berücksichtigen, was jedoch nur bei einigen  
192 der publizierten Arbeiten durchgeführt wurde. Eine Übersicht von Arbeiten mit Referenzwerten  
193 ist in der Tabelle 4 zu finden. Es sollte ferner aufgrund des möglichen genetischen Einflusses  
194 der Ethnie auf eine Studie zurückgegriffen werden, welche sich aus Probanden zusammen-  
195 setzte, welche mit der arbeitenden Bevölkerung ähnlich sind. Es bieten sich daher für den  
196 deutschsprachigen Raum die Arbeiten von Voss und Kollegen [79, 242] und Sammito & Bö-  
197 ckelmann [243, 244] an.

198 **Tab. 4:** Übersicht über die verschiedenen Studien mit der Angabe der Normwerte

Studie	Probanden / Altersgruppe	Anzahl	Dauer der Analyse	Altersbezogen	Geschlechterbezogen	Angabe der Normwerte als...
Bigger et al. 1995 [245]/ ESC/NASPE 1996 [45]	Erwachsene	274	24 h	nein	nein	Mw ± SD
ESC/NASPE 1996 [45]	Erwachsene	k. A.	5 min	nein	nein	Mw ± SD
Nunan et al. 2010 [246]	systematisches Review	1 – 40 Studien	5 min	nein	ja	Mw ± SD
Kim & Woo 2011 [247]	erwachsene Teilnehmer an Check-up-Untersuchungen in Korea	3.396	5 min	ja	ja	Mw ± SD
Voss et al. 2012 [79]	repräsentative erwachsene Bevölkerung aus Deutschland	1.906	5 min	ja	nein	Perzentile
Zeng et al. 2014 [248]	Probanden aus China	371	15 min	ja	ja, aber kein Unterschied festgestellt	Perzentile
Voss et al. 2015 [242]	repräsentative erwachsene Bevölkerung aus Deutschland	1.906	5 min	ja	ja	Mw ± SD
Sammito & Böckelmann 2017 [243]	erwachsene Bevölkerung aus Deutschland (20-60 Jahre)	695	24 h	ja	ja	Perzentile
Sammito & Böckelmann 2017 [244]	erwachsene Bevölkerung aus Deutschland (20-60 Jahre)	673	5 min	ja	ja	Perzentile

199 *Bemerkung: Mw - Mittelwert, SD – Standardabweichung, k. A. – keine Angaben*

200

201 Auch wenn hierdurch Grenzwerte für HRV-Parameter vorliegen gilt es zu bedenken, dass  
202 diese rein empirisch berechnet wurden. Daher sind hiermit auch keine generellen gesundheits-

203 bezogenen Aussagen möglich. Standardisierte Verlaufsmessungen (individuelle Längsschnitt-  
204 untersuchungen) der HRV in Kombination mit Anamnese, klinischer Untersuchung und wei-  
205 teren Instrumenten (z. B. Fragebögen) können jedoch bei der Aufklärung des individuellen  
206 Gesundheitsrisikos bzw. bei der Wirkung von präventivmedizinischen Maßnahmen sinn- und  
207 wertvoll sein.

208 **8. Möglichkeiten der Anwendung in der Arbeitsmedizin und der**  
209 **Arbeitswissenschaft**

<b>Kernaussage Nr. 15</b>	neu [07/2021]
Im Bereich der Arbeitsmedizin und der Arbeitswissenschaft sind Hf und HRV zu verschiedenen Fragestellungen sinnvoll einsetzbar.	
Konsensusstärke: starker Konsens (100%)	

210

211 Messmethoden zur Erfassung und Analyse der Hf und HRV können zur Objektivierung der  
212 Einflüsse der Aktivität des vegetativen Nervensystems eingesetzt werden. Im Bereich der Ar-  
213beitsmedizin und Arbeitswissenschaft ergeben sich u. a. folgende Anwendungsbereiche:

- 214 • ergänzende Untersuchung zur Gefährdungsanalyse und -beurteilung zur Identifizierung von betrieblichen Belastungsschwerpunkten,
- 215
- 216 • individuelle physische und psychische Beanspruchungsanalyse sowie prozessbegleitende Messungen zur Objektivierung der Beanspruchungen im Verlauf eines Arbeitstages,
- 217
- 218
- 219 • Erfassung eines Indikators zum Gesundheitsstatus,
- 220 • Ableitung von individuellen Handlungsempfehlungen z. B. zur Arbeitsplatzgestaltung,
- 221
- 222 • Erfassung des Ermüdungs- und Erholungsverhaltens und
- 223 • Evaluation arbeitsmedizinischer bzw. gesundheitsbezogener Interventionen.

224 **8.1 Einsatz bei physischen Belastungen**

<b>Kernaussage Nr. 16</b>	neu [07/2021]
Der Einsatz der Hf bei physischen Belastungen, insbesondere bei dynamischer Muskelarbeit, ist lange etabliert. Die Analyse der HRV bietet darüber hinaus aufgrund des oftmals zwei- oder mehrphasigen Verhaltens unter ansteigenden Belastungen einen Mehrwert im Vergleich zum linearen Verhalten der Hf.	
Konsensusstärke: starker Konsens (100%)	

225

<b>Empfehlung Nr. 11</b>	neu [07/2021]
Hierzu sollten die HRV-Parameter SDNN, RMSSD, Total Power, LF-Power und/oder HF-Power genutzt werden. Eine Mindestaufnahmedauer von 5 min wird empfohlen.	
Konsensusstärke: starker Konsens (100%)	

226

227 Die Beurteilung der physischen Belastung mittels Hf, insbesondere bei dynamischer Muskel-  
228 arbeit, ist lange etabliert. Der Informationsgewinn der HRV bei solchen Fragestellungen liegt  
229 in dem zumindest unter standardisierten Bedingungen nachweisbaren Zusammenhang zwi-  
230 schen HRV-Parametern und metabolischen und respiratorischen Beanspruchungsindikatoren,  
231 dem mehrphasigen Verlauf bei progressiver Belastungssteigerung unter standardisierten Be-  
232 dingungen und dem Erholungsverhalten nach unterschiedlichen Belastungsintensitäten [249,  
233 250]. Dies kann eine genauere Einschätzung der physischen Beanspruchungen bei gleichzei-  
234 tigem Verzicht auf eine zeitaufwändige, kostenintensive, teilweise nicht ambulant verfügbare  
235 und reaktive Messtechnik ermöglichen. Von den HRV-Parametern eignen sich für die Erfas-  
236 sung der akuten physischen Belastung neben den Parametern der Gesamtvariabilität wie  
237 SDNN oder Total Power insbesondere die Parameter RMSSD, LF-Power und HF-Power sowie  
238 nichtlineare Indizes. Diese zeigen unter ansteigender Belastung oftmals ein zwei- oder mehr-  
239 phasiges Verhalten und besitzen somit einen Mehrwert im Vergleich zum linearen Verhalten  
240 der Hf, insbesondere unter moderaten und hohen körperlichen Belastungen [251, 252].

241 **8.2 Einsatz bei psychischen Belastungen**

<b>Kernaussage Nr. 17</b>	neu [07/2021]
Für den Einsatz bei psychischen Belastungen können Hf und HRV genutzt werden. Die Auswahl geeigneter HRV-Parameter ist jedoch eingeschränkt.	
Konsensusstärke: starker Konsens (100%)	

242

<b>Empfehlung Nr. 12</b>	neu [07/2021]
Hierzu sollten die HRV-Parameter RMSSD, LF, HF, LF/HF, DQ und SD1 genutzt werden. Eine Mindestaufnahmedauer von 5 min wird empfohlen.	
Konsensusstärke: starker Konsens (100%)	

243

244 Bei psychischen Belastungen finden sich ebenso Auslenkungen der Hf und der HRV, die somit  
245 als psychische Beanspruchungsindikatoren genutzt werden können. Vor allem bei den schwer  
246 messbaren psychischen Belastungen gelten Hf und HRV als Parameter der allgemeinen Akti-  
247 vierung und bieten eine Möglichkeit, die vegetative Balance des Organismus zu beschreiben.  
248 Somit können über diesen Beanspruchungsparameter Rückschlüsse auf die psychische Be-  
249 lastung gezogen werden [109, 253–264]. Darüber hinaus lässt sich die HRV als Indikator für  
250 psychophysische Zustände des Organismus und als Indikator für Einschränkungen einer  
251 Adaptations- und Anpassungsfähigkeit für biopsychosoziale Fragestellungen einsetzen. Als  
252 HRV-Parameter für die psychischen Belastungen eignen sich RMSSD, LF, HF bzw. LFnu und  
253 HFnu, LF/HF sowie DQ und SD1. Nicht geeignet sind ULF und VLF. Für den Einsatz als Prä-  
254 dikator für kognitive Leistungen ist nach den z. Z. vorliegenden Kenntnissen aus der Literatur  
255 die Ruhe-HRV-Messung jedoch in Querschnittsanalysen nicht geeignet.

256 **8.3 Einsatz zur Prognose von Erkrankungen**

<b>Kernaussage Nr. 18</b>	neu [07/2021]
Eine reduzierte HRV korreliert bei einigen Erkrankungen (z. B. nach Myokardinfarkt, nach koronarer Bypass-Operation, bei Herzinsuffizienz, nach Schlaganfall, bei COPD und Bluthochdruck) mit einer erhöhten Morbidität- bzw. Mortalität.	
Konsensusstärke: starker Konsens (100%)	

257

258 Ein prognostischer Wert der HRV konnte derzeit lediglich für wenige Krankheiten nachgewie-  
259 sen werden. Hierbei zeigte sich u. a. in großen Kohortenstudien, dass bei Patienten nach My-  
260 okardinfarkt und einer erniedrigten HRV die Mortalität signifikant erhöht gegenüber Patienten  
261 mit höheren HRV-Parametern in der Postinfarktphase war [103, 265, 266]. So lag nach einer  
262 Metaanalyse von 5 Untersuchungen mit insgesamt 3.489 Patienten das Mortalitätsrisiko bei  
263 Patienten nach Myokardinfarkt und einer SDNN < 70 ms bei 21,7 %, während bei einer SDNN  
264 > 70 ms diese bei 8,1 % lag [265]. Das Risiko, in den nächsten 3 Jahren nach dem Myokardi-  
265 ninfarkt zu versterben, war damit in der Gruppe mit geringer HRV 2-3fach erhöht.

266 Auch bei Patienten nach koronarer Bypass-Operation konnte ein Zusammenhang zwischen  
267 erniedrigter HRV (hier SDNN < 93 ms) und erneutem Auftreten eines koronaren Ereignisses  
268 gefunden werden. Bei einer im Mittel dreijährigen Nachbeobachtungszeit erlitten 13 von 74  
269 Patienten mit erniedrigter HRV ein solches Ereignis, während dies in der Vergleichsgruppe  
270 (SDNN  $\geq$  93 ms) lediglich 3 von 132 Patienten betraf [267]. Auch für Patienten mit Herzinsuf-  
271 fizienz konnte ein Zusammenhang zwischen niedriger HRV und der Gesamtmortalität bzw.  
272 kardialen Endpunkten gefunden werden [268] bzw. bei Patienten mit Schlaganfällen korrelierte  
273 die individuelle HRV nach dem Schlaganfall mit dem langfristigen Outcome [131].

274 Schmidt et al. [269] konnten bei intensivmedizinischen Patienten mit Multiorganversagen zei-  
275 gen, dass der logarithmische Wert des frequenzbezogenen HRV-Parameter VLF (lnVLF) in  
276 der Kurzzeitprognose (bis 60 Tagen) eine gute Mortalitätsabschätzung erlaubt.

277 Ein systematisches Review über den Zusammenhang zwischen einer chronisch obstruktiven  
278 Lungenerkrankung und der HRV ergab, dass die Reduzierung der HRV mit dem Schweregrad  
279 der COPD korreliert [87].

280 Ferner scheint eine Korrelation zwischen einer höheren HRV und einem längeren Überleben  
281 im Rahmen einer Tumorerkrankung vorzuliegen [270, 271].

282 Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass die HRV bei diagnostiziertem Diabetes mellitus  
283 Typ I bereits vor dem Auftreten klinischer Zeichen einer vegetativen Dysfunktion erniedrigt ist  
284 [272]<sup>R</sup>.

285 Auch für das Auftreten eines manifesten Bluthochdrucks scheint ein Zusammenhang zwischen  
286 einer erniedrigten HRV und der späteren Manifestation vorzuliegen. So wiesen die Probanden  
287 des untersten Quartils der HRV einer nach Alter, Geschlecht, Ethnienzugehörigkeit, aktuellem



288 Rauchstatus, Diabetes mellitus und dem Bildungsstatus kontrollierten Gruppe von 2.061 Pro-  
289 banden ein 2,44fach erhöhtes Risiko für die Neumanifestation eines Bluthochdrucks nach drei  
290 Jahren auf [273]. Basierend auf Daten aus der Framingham Heart Study (2.024 Probanden)  
291 konnten Singh et al. [274] ein erhöhtes Risiko für das Entstehen eines Bluthochdruckes bei  
292 reduzierter HRV bei Männern, jedoch nicht bei Frauen zeigen. In einer Studie von Schroeder  
293 et al. [275] mit 11.061 Probanden war die Zugehörigkeit zum niedrigsten Quartil – bezogen auf  
294 den RMSSD-Wert – mit einem 1,36fach höheren Risiko für das Entstehen eines Bluthoch-  
295 drucks im Vergleich zum höchsten Quartil verbunden.

<b>Kernaussage Nr. 19</b>	neu [07/2021]
Die reduzierte HRV korreliert mit Prognose-Scores für das Auftreten von kardiovaskulären Ereignissen.	
Konsensusstärke: starker Konsens (100%)	

296  
297 In einer Untersuchung von Schuster et al. konnte an einem Kollektiv von 11.994 Probanden  
298 aus der Mannheimer Industriekohorte eine signifikante Korrelation zwischen der Reduzierung  
299 des HRV-Parameters RMSSD und verschiedenen Prognose-Scores für das Auftreten einer  
300 koronaren Herzerkrankung bzw. einem Schlaganfall aufgezeigt werden [276]. Hierbei wurden  
301 der PROCAM-Score nach Assmann et al. [277], der Coronary Heart Disease Framingham  
302 Score [278], sowie die kardiovaskulären Prognoseindikatoren SCORE, bezogen auf das Ri-  
303 siko einer koronaren Herzerkrankung (SCORE-CHD) bzw. für eine kardiovaskuläre Erkrän-  
304 kung (SCORE-CVD) nach Conroy et al. [279], betrachtet.

#### 305 **8.4 Einsatz bei Präventionsmaßnahmen**

<b>Kernaussage Nr. 20</b>	neu [07/2021]
Die HRV kann im Rahmen der Evaluierung von Präventionsmaßnahmen unter Einhaltung der Qualitätskriterien (siehe Kernaussage Nr. 7) eingesetzt werden. Hierzu sind wiederholte Messungen der HRV einzusetzen.	
Konsensusstärke: starker Konsens (100%)	

306  
307 Vor allem hat sich die HRV als nützlicher Parameter zur Evaluierung von Präventionsmaßnah-  
308 men etabliert, wie z. B. bei Stressbewältigungskursen, Ernährungs-, Genussmittel-, Konsum-  
309 mumstellungen, sportlichen Betätigungen einschließlich der präventiven Überwachung vor

310 Übertrainingssyndromen [280][281]<sup>R</sup> und Maßnahmen zur Gewichtsreduktion, um im Längs-  
311 schnittvergleich den Präventions- bzw. Interventionserfolg bei entsprechenden Maßnahmen  
312 einzuschätzen [282]. Eine Veränderung der sympathisch-parasympathischen Balance des ve-  
313 getativen Nervensystems hin zu einer höheren parasympathischen Grundaktivität (z. B. er-  
314 höhte SDNN oder RMSSD, erniedrigte LF/HF-Ratio) weist hierbei auf die Wirksamkeit von  
315 Präventionsmaßnahmen hin.

## 316 8.5 Einsatz beim Biofeedback

<b>Kernaussage Nr. 21</b>	neu [07/2021]
Hf und HRV-Parameter können für die Objektivierung von Entspannungseffekten im Rahmen des Biofeedbacks eingesetzt werden. Langfristige Effekte konnten mit HRV-basierten Biofeedbackverfahren nicht nachgewiesen werden.	
Konsensusstärke: starker Konsens (100%)	

317  
318 Bei der Stressbewältigung und in jüngster Zeit auch zur Behandlung von posttraumatischen  
319 Belastungsstörungen werden die Hf- und HRV-Parameter im Rahmen von Biofeedbackmetho-  
320 den eingesetzt, z. B. für die Objektivierung von Entspannungseffekten [182, 283–286]. Jedoch  
321 konnten bislang lediglich kurzfristige Effekte nachgewiesen werden. Eine Langzeitwirkung ist  
322 bisher nicht belegt worden [286]. Darüber hinaus müssen für die Nutzung der kurzfristigen  
323 Wirkungen der HRV-Biofeedbackmethoden geeignete und validierte Methoden zum Einsatz  
324 kommen. Mit Verweis auf die Erfassung und Auswertung der HRV ergibt sich zwangsläufig (s.  
325 Kap. 4.1), dass Biofeedbackmethoden, die die HRV mittels Pulsoximeter oder anhand der  
326 Atemtätigkeit ermitteln, nicht als valide Messinstrumente angesehen werden können und da-  
327 her nicht als HRV-Biofeedbackmethode eingesetzt werden sollten.

## 328 9. Schlussbemerkungen

329 Die Praxistauglichkeit der Hf- und HRV-Analysen im Rahmen von Felduntersuchungen an Ar-  
330beitsplätzen ist erwiesen. Die Analysen können für verschiedene Fragestellungen zielführend  
331 eingesetzt werden, wenn die methodischen Anforderungen erfüllt sind. Unter diesen Voraus-  
332setzungen können sie nicht nur Forschungseinrichtungen, sondern auch praktizierenden Ar-  
333beitsmedizinern und Betriebsärzten empfohlen werden, zumal kardioassoziierte Aspekte in

334 der modernen Arbeitsmedizin im Rahmen des Wandels der Arbeitswelt und der demografi-  
335 schen Situation der Erwerbstätigen in Deutschland eine zunehmend größere Bedeutung er-  
336 langen.

337 **10. References**

- 338 1. Sammito S, Thielmann B, Seibt R, Klussmann A, Weippert M, Böckelmann I. Leitlinie  
339 Nutzung der Herzschlagfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität in der Arbeitsmedizin  
340 und der Arbeitswissenschaft.: AWMF-RegNr 002/042;2014.
- 341 2. Hottenrott K. Trainingskontrolle mit Herzfrequenz-Messgeräten. Aachen: Meyer & Meyer  
342 Verlag; 2007.
- 343 3. Piper HM. Herzerregung. In: Schmidt RF, Lang F, Heckmann M, editors. Physiologie des  
344 Menschen mit Pathophysiologie. 31st ed. Heidelberg: Springer Medizin Verlag; 2011.  
345 p. 517–538.
- 346 4. Fox SM, Skinner JS. Über die Beziehung zwischen körperlicher Aktivität und koronarer  
347 Herzkrankheit. [Interrelation of physical activity and coronary heart disease]. Verh Dtsch  
348 Ges Kreislaufforsch. 1971;37:82–93.
- 349 5. Tanaka H, Monahan KD, Seals DR. Age-predicted maximal heart rate revisited. J Am  
350 Coll Cardiol. 2001;37:153–6. doi:10.1016/s0735-1097(00)01054-8.
- 351 6. Guzzetti S, Magatelli R, Borroni E, Mezzetti S. Heart rate variability in chronic heart fail-  
352 ure. Auton Neurosci. 2001;90:102–5. doi:10.1016/S1566-0702(01)00274-0.
- 353 7. Gulati M, Black HR, Shaw LJ, Arnsdorf MF, Merz CNB, Lauer MS, et al. The prognostic  
354 value of a nomogram for exercise capacity in women. N Engl J Med. 2005;353:468–75.  
355 doi:10.1056/NEJMoa044154.
- 356 8. Morris CK, Myers J, Froelicher VF, Kawaguchi T, Ueshima K, Hideg A. Nomogram  
357 based on metabolic equivalents and age for assessing aerobic exercise capacity in men.  
358 J Am Coll Cardiol. 1993;22:175–82. doi:10.1016/0735-1097(93)90832-I.
- 359 9. Such U, Meyer T. Die maximale Herzfrequenz. Dtsch Z Sportmed. 2010;61:310–1.
- 360 10. Grandjean E. Physiologische Arbeitsgestaltung. Landsberg: ecomed; 1991.
- 361 11. Hettinger T, Müller BH. Ergonomie. In: Reichel G, editor. Grundlagen der Arbeitsmedizin.  
362 Stuttgart Berlin Köln Mainz: Kohlhammer; 1985. p. 427–472.
- 363 12. Hettinger T. Klimawirkungen auf den Menschen. In: Konietzko J, Dupuis H, editors.  
364 Handbuch der Arbeitsmedizin. Landsberg München Zürich: ecomed; 1989. p. 1–16.
- 365 13. Triebig G, Ketner M, Schiele R, editors. Arbeitsmedizin – Handbuch für Theorie und Pra-  
366axis. 3rd ed. Stuttgart: Gentner Verlag; 2011.
- 367 14. Müller EA, editor. Handbuch der gesamten Arbeitsmedizin: Band 1. Berlin: Urban und  
368 Schwarzenberg; 1961.
- 369 15. Awad M, Czer LSC, Hou M, Golshani SS, Goltche M, Robertis M de, et al. Early Dener-  
370vation and Later Reinnervation of the Heart Following Cardiac Transplantation: A Re-  
371view. J Am Heart Assoc 2016. doi:10.1161/JAHA.116.004070.
- 372 16. Eckoldt K. Untersuchungen über die Wirkungen der vegetativen Herznerven mit Hilfe von  
373 unblutigen Meßverfahren: Humboldt-Universität Berlin; 1975.
- 374 17. Jose AD, Taylor RR. Autonomic blockade by propranolol and atropine to study intrinsic  
375 myocardial function in man. J Clin Invest. 1969;48:2019–31. doi:10.1172/JCI106167.
- 376 18. Jose AD. Effect of combined sympathetic and parasympathetic blockade on heart rate  
377 and cardiac function in man. Am J Cardiol. 1966;18:476–8. doi:10.1016/0002-  
3789149(66)90073-7.
- 379 19. Griebenow R, Gülker H, editors. Autonomes Nervensystem und Herzrhythmusstörungen.  
380 Stuttgart, New York: Thieme Verlag; 1990.

- 381 20. Berntson GG, Bigger JT, Eckberg DL, Grossman P, Kaufmann PG, Malik M, et al. Heart  
382 rate variability: origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology*.  
383 1997;34:623–48. doi:10.1111/j.1469-8986.1997.tb02140.x.
- 384 21. D'Souza A, Bucchi A, Johnsen AB, Logantha SJRJ, Monfredi O, Yanni J, et al. Exercise  
385 training reduces resting heart rate via downregulation of the funny channel HCN4. *Nat*  
386 *Commun*. 2014;5:3775. doi:10.1038/ncomms4775.
- 387 22. Dobbs WC, Fedewa MV, MacDonald HV, Holmes CJ, Cicone ZS, Plews DJ, Esco MR.  
388 The Accuracy of Acquiring Heart Rate Variability from Portable Devices: A Systematic  
389 Review and Meta-Analysis. *Sports Med*. 2019;49:417–35. doi:10.1007/s40279-019-  
390 01061-5.
- 391 23. Sammito S, Bockelmann I. Options and limitations of heart rate measurement and analy-  
392 sis of heart rate variability by mobile devices: A systematic review. [Möglichkeiten und  
393 Einschränkungen der Herzfrequenzmessung und der Analyse der Herzfrequenzvariabili-  
394 tät mittels mobiler Messgeräte: Eine systematische Literaturübersicht]. *Herz-*  
395 *schritt-macher* der *Elektrophysiol*. 2016;27:38–45. doi:10.1007/s00399-016-0419-5.
- 396 24. Schäfer A, Vagedes J. How accurate is pulse rate variability as an estimate of heart rate  
397 variability? A review on studies comparing photoplethysmographic technology with an  
398 electrocardiogram. *Int J Cardiol*. 2013;166:15–29. doi:10.1016/j.ijcard.2012.03.119.
- 399 25. García-González MA, Ramos-Castro J, Fernández-Chimeno M. The effect of electrocar-  
400 diographic lead choice on RR time series. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*.  
401 2011;2011:1933–6. doi:10.1109/IEMBS.2011.6090546.
- 402 26. Weippert M, Rieger A, Stoll R. Individuell unterschiedliche Vergleichbarkeit von R-R-De-  
403 tektionen mit verschiedenen Messgeräten. In: Hottenrott K, Hoos O, Esperer HD, editors.  
404 Herzfrequenzvariabilität: Gesundheitsförderung, Trainingsteuerung, Biofeedback. Ham-  
405 burg: Czwalina; 2011. p. 212–220.
- 406 27. Sammito S, Böckelmann I. Einfluss von Extrasystolen auf die Herzfrequenzvariabilitäts-  
407 messungen im Rahmen von 24h-Messungen. In: Hottenrott K, Gronwald T, Schmidt H,  
408 editors. Herzfrequenzvariabilität: Grundlagen - Methoden - Anwendungen. Hamburg:  
409 Feldhaus Verlag Edition Czwalina; 2014. 82-86.
- 410 28. Sammito S, Böckelmann I. Validierung von drei verschiedenen Systemen zur Erfassung  
411 der Herzschlagfrequenz in Sanitätsfahrzeugen. *ErgoMed/Prakt Arbmed*. 2012;36:38–45.
- 412 29. Sammito S, Darius S, Böckelmann I. Validierungsstudie zum Einsatz eines funklosen  
413 Brustgurtsystems zur Messung der Herzratenvariabilität unter Ruhebedingungen und in  
414 Fahrzeugen. *Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed*. 2011;46:60–5.
- 415 30. Billman GE. Heart rate variability - a historical perspective. *Front Physiol*. 2011;2:86.  
416 doi:10.3389/fphys.2011.00086.
- 417 31. Hoos O. Spektralanalyse der Herzfrequenzvariabilität im Sport – Methoden und Anwen-  
418 dungen, Möglichkeiten und Grenzen. In: Hottenrott K, editor. Herzfrequenzvariabilität:  
419 Methoden und Anwendungen in Sport und Medizin. Hamburg: Czwalina; 2006.
- 420 32. Burr RL, Cowan MJ. Autoregressive spectral models of heart rate variability. Practical is-  
421 sues. *J Electrocardiol*. 1992;25 Suppl:224–33. doi:10.1016/0022-0736(92)90108-c.
- 422 33. Rüdiger H, Klinghammer L, Scheuch K. The trigonometric regressive spectral analysis--a  
423 method for mapping of beat-to-beat recorded cardiovascular parameters on to frequency  
424 domain in comparison with Fourier transformation. *Comput Methods Programs Biomed*.  
425 1999;58:1–15. doi:10.1016/s0169-2607(98)00070-4.
- 426 34. Lomb NR. Least squares frequency algorithmus of unequally sampled data. *Astrophysics*  
427 *and Space Science*. 1976;39:447–62.

- 428 35. Radtke T, Kriemler S, Eser P, Saner H, Wilhelm M. Physical activity intensity and surrogate markers for cardiovascular health in adolescents. *Eur J Appl Physiol*.  
429 2013;113:1213–22. doi:10.1007/s00421-012-2542-2.  
430
- 431 36. Mäkikallio TH, Tapanainen JM, Tulppo MP, Huikuri HV. Clinical applicability of heart rate  
432 variability analysis by methods based on nonlinear dynamics. *Card Electrophysiol Rev*.  
433 2002;6:250–5. doi:10.1023/a:1016381025759.
- 434 37. Stein PK, Domitrovich PP, Huikuri HV, Kleiger RE. Traditional and nonlinear heart rate  
435 variability are each independently associated with mortality after myocardial infarction. *J*  
436 *Cardiovasc Electrophysiol*. 2005;16:13–20. doi:10.1046/j.1540-8167.2005.04358.x.
- 437 38. Voss A, Schulz S, Schroeder R, Baumert M, Caminal P. Methods derived from nonlinear  
438 dynamics for analysing heart rate variability. *Philos Trans A Math Phys Eng Sci*.  
439 2009;367:277–96. doi:10.1098/rsta.2008.0232.
- 440 39. Esperer HD. Nichtlineare HRV-Analyse im Sport: Grundlagen, Anwendungen und Limita-  
441 tionen. In: Hottenrott K, editor. *Herzfrequenzvariabilität: Methoden und Anwendungen in*  
442 *Sport und Medizin*. Hamburg: Czwalina; 2006. p. 64–97.
- 443 40. Schmidt G, Morfill GE. Nonlinear methods for heart rate variability assessment. In: Malik  
444 M, Camm AJ, editors. *Heart rate variability*. Armonk NY: Futura; 1995. p. 87–98.
- 445 41. Messmann M, Boese J, Scharf R. Vergleich der Methoden zur Bestimmung der Herzfre-  
446 quenzvariabilität. *Herzschr Elektrophys*. 1994;5:25–9.
- 447 42. Hilz MJ, Dütsch M. Quantitative studies of autonomic function. *Muscle Nerve*. 2006;33:6–  
448 20. doi:10.1002/mus.20365.
- 449 43. Taylor JA, Carr DL, Myers CW, Eckberg DL. Mechanisms underlying very-low-frequency  
450 RR-interval oscillations in humans. *Circulation*. 1998;98:547–55.  
451 doi:10.1161/01.cir.98.6.547.
- 452 44. Heathers JAJ. Everything Hertz: methodological issues in short-term frequency-domain  
453 HRV. *Front Physiol*. 2014;5:177. doi:10.3389/fphys.2014.00177.
- 454 45. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical  
455 use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society  
456 of Pacing and Electrophysiology. *Eur Heart J*. 1996;17:354–81.
- 457 46. Huikuri HV, Seppänen T, Koistinen MJ, Airaksinen J, Ikäheimo MJ, Castellanos A, My-  
458 erburg RJ. Abnormalities in beat-to-beat dynamics of heart rate before the spontaneous  
459 onset of life-threatening ventricular tachyarrhythmias in patients with prior myocardial in-  
460 farction. *Circulation*. 1996;93:1836–44. doi:10.1161/01.cir.93.10.1836.
- 461 47. Hoshi RA, Pastre CM, Vanderlei LCM, Godoy MF. Poincaré plot indexes of heart rate  
462 variability: relationships with other nonlinear variables. *Auton Neurosci*. 2013;177:271–4.  
463 doi:10.1016/j.autneu.2013.05.004.
- 464 48. Peng CK, Havlin S, Stanley HE, Goldberger AL. Quantification of scaling exponents and  
465 crossover phenomena in nonstationary heartbeat time series. *Chaos*. 1995;5:82–7.  
466 doi:10.1063/1.166141.
- 467 49. Sassi R, Cerutti S, Lombardi F, Malik M, Huikuri HV, Peng C-K, et al. Advances in heart  
468 rate variability signal analysis: joint position statement by the e-Cardiology ESC Working  
469 Group and the European Heart Rhythm Association co-endorsed by the Asia Pacific  
470 Heart Rhythm Society. *Europace*. 2015;17:1341–53. doi:10.1093/europace/euv015.
- 471 50. Richman JS, Moorman JR. Physiological time-series analysis using approximate entropy  
472 and sample entropy. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2000;278:H2039-49.  
473 doi:10.1152/ajpheart.2000.278.6.H2039.

- 474 51. Brennan M, Palaniswami M, Kamen P. Do existing measures of Poincaré plot geometry  
475 reflect nonlinear features of heart rate variability? *IEEE Trans Biomed Eng.*  
476 2001;48:1342–7. doi:10.1109/10.959330.
- 477 52. Sammito S, Böckelmann I. Factors influencing heart rate variability. *Int J Cardio Forum*  
478 2016. doi:10.17987/icfj.v6i0.242.
- 479 53. Hill LK, Hu DD, Koenig J, Sollers JJ, Kapuku G, Wang X, et al. Ethnic differences in rest-  
480 ing heart rate variability: a systematic review and meta-analysis. *Psychosom Med.*  
481 2015;77:16–25. doi:10.1097/PSY.000000000000133.
- 482 54. Lutfi MF, Sukkar MY. The effect of gender on heart rate variability in asthmatic and nor-  
483 mal healthy adults. *Int J Health Sci (Qassim).* 2011;5:146–54.
- 484 55. Abhishekh HA, Nisarga P, Kisan R, Meghana A, Chandran S, Trichur R, Sathyaprabha  
485 TN. Influence of age and gender on autonomic regulation of heart. *J Clin Monit Comput.*  
486 2013;27:259–64. doi:10.1007/s10877-012-9424-3.
- 487 56. Agelink MW, Malessa R, Baumann B, Majewski T, Akila F, Zeit T, Ziegler D. Standard-  
488 ized tests of heart rate variability: normal ranges obtained from 309 healthy humans, and  
489 effects of age, gender, and heart rate. *Clin Auton Res.* 2001;11:99–108.  
490 doi:10.1007/BF02322053.
- 491 57. Barantke M, Krauss T, Ortak J, Lieb W, Reppel M, Burgdorf C, et al. Effects of gender  
492 and aging on differential autonomic responses to orthostatic maneuvers. *J Cardiovasc*  
493 *Electrophysiol.* 2008;19:1296–303. doi:10.1111/j.1540-8167.2008.01257.x.
- 494 58. Jensen-Urstad K, Storck N, Bouvier F, Ericson M, Lindblad LE, Jensen-Urstad M. Heart  
495 rate variability in healthy subjects is related to age and gender. *Acta Physiol Scand.*  
496 1997;160:235–41. doi:10.1046/j.1365-201X.1997.00142.x.
- 497 59. Snieder H, van Doornen, Lorenz J P, Boomsma DI, Thayer JF. Sex differences and herit-  
498 ability of two indices of heart rate dynamics: a twin study. *Twin Res Hum Genet.*  
499 2007;10:364–72. doi:10.1375/twin.10.2.364.
- 500 60. Sookan T, McKune AJ. Heart rate variability in physically active individuals: reliability and  
501 gender characteristics. *Cardiovasc J Afr.* 2012;23:67–72. doi:10.5830/CVJA-2011.108.
- 502 61. Tsuji H, Venditti FJ, JR, Manders ES, Evans JC, Larson MG, Feldman CL, Levy D. De-  
503 terminants of heart rate variability. *J Am Coll Cardiol.* 1996;28:1539–46.  
504 doi:10.1016/s0735-1097(96)00342-7.
- 505 62. Koenig J, Thayer JF. Sex differences in healthy human heart rate variability: A meta-  
506 analysis. *Neurosci Biobehav Rev.* 2016;64:288–310. doi:10.1016/j.neubio-  
507 rev.2016.03.007.
- 508 63. Fagard RH, Pardaens K, Staessen JA. Influence of demographic, anthropometric and  
509 lifestyle characteristics on heart rate and its variability in the population. *J Hypertens.*  
510 1999;17:1589–99. doi:10.1097/00004872-199917110-00013.
- 511 64. Fagard RH. A population-based study on the determinants of heart rate and heart rate  
512 variability in the frequency domain. *Verh K Acad Geneesk Belg.* 2001;63:57-89; discus-  
513 sion 90-1.
- 514 65. Kuo TB, Lin T, Yang CC, Li CL, Chen CF, Chou P. Effect of aging on gender differences  
515 in neural control of heart rate. *Am J Physiol.* 1999;277:H2233-9. doi:10.1152/ajphe-  
516 art.1999.277.6.H2233.
- 517 66. Felber Dietrich D, Schindler C, Schwartz J, Barthélémy J-C, Tschopp J-M, Roche F, et  
518 al. Heart rate variability in an ageing population and its association with lifestyle and car-  
519 diovascular risk factors: results of the SAPALDIA study. *Europace.* 2006;8:521–9.  
520 doi:10.1093/europace/eul063.

- 521 67. Huang W, Zhu T, Pan X, Hu M, Lu S-E, Lin Y, et al. Air pollution and autonomic and vas-  
522 cular dysfunction in patients with cardiovascular disease: interactions of systemic inflam-  
523 mation, overweight, and gender. *Am J Epidemiol.* 2012;176:117–26.  
524 doi:10.1093/aje/kwr511.
- 525 68. Ramaekers D, Ector H, Demyttenaere K, Rubens A, van de Werf F. Association between  
526 cardiac autonomic function and coping style in healthy subjects. *Pacing Clin Electrophys-*  
527 *iol.* 1998;21:1546–52. doi:10.1111/j.1540-8159.1998.tb00241.x.
- 528 69. Umetani K, Singer DH, McCraty R, Atkinson M. Twenty-four hour time domain heart rate  
529 variability and heart rate: relations to age and gender over nine decades. *J Am Coll Car-*  
530 *diol.* 1998;31:593–601. doi:10.1016/s0735-1097(97)00554-8.
- 531 70. Britton A, Shipley M, Malik M, Hnatkova K, Hemingway H, Marmot M. Changes in heart  
532 rate and heart rate variability over time in middle-aged men and women in the general  
533 population (from the Whitehall II Cohort Study). *Am J Cardiol.* 2007;100:524–7.  
534 doi:10.1016/j.amjcard.2007.03.056.
- 535 71. Eyre ELJ, Duncan MJ, Birch SL, Fisher JP. The influence of age and weight status on  
536 cardiac autonomic control in healthy children: a review. *Auton Neurosci.* 2014;186:8–21.  
537 doi:10.1016/j.autneu.2014.09.019.
- 538 72. Alvares GA, Quintana DS, Hickie IB, Guastella AJ. Autonomic nervous system dysfunc-  
539 tion in psychiatric disorders and the impact of psychotropic medications: a systematic re-  
540 view and meta-analysis. *J Psychiatry Neurosci.* 2016;41:89–104.  
541 doi:10.1503/jpn.140217.
- 542 73. Ferrari AU. Modifications of the cardiovascular system with aging. *Am J Geriatr Cardiol.*  
543 2002;11:30–3. doi:10.1111/1467-8446.00044-i1.
- 544 74. Fukusaki C, Kawakubo K, Yamamoto Y. Assessment of the primary effect of aging on  
545 heart rate variability in humans. *Clin Auton Res.* 2000;10:123–30.  
546 doi:10.1007/BF02278016.
- 547 75. Greiser KH, Kluttig A, Schumann B, Swenne CA, Kors JA, Kuss O, et al. Cardiovascular  
548 diseases, risk factors and short-term heart rate variability in an elderly general popula-  
549 tion: the CARLA study 2002-2006. *Eur J Epidemiol.* 2009;24:123–42.  
550 doi:10.1007/s10654-009-9317-z.
- 551 76. Haerting J, Kluttig A, Greiser KH, Nuding S, Werdan K. A cohort study investigating risk  
552 factors for cardiovascular disease in an urban elderly East-German population (CARLA  
553 study). [Kohortenstudie zu Risikofaktoren für Herz-Kreislauf-Krankheiten in einer urba-  
554 nen älteren ostdeutschen Allgemeinbevölkerung (CARLA-Studie)]. *Bundesgesundheits-*  
555 *blatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz.* 2012;55:795–800. doi:10.1007/s00103-  
556 012-1493-4.
- 557 77. Shiogai Y, Stefanovska A, McClintock PVE. Nonlinear dynamics of cardiovascular age-  
558 ing. *Phys Rep.* 2010;488:51–110. doi:10.1016/j.physrep.2009.12.003.
- 559 78. Stein PK, Barzilay JI, Chaves PHM, Domitrovich PP, Gottdiener JS. Heart rate variability  
560 and its changes over 5 years in older adults. *Age Ageing.* 2009;38:212–8.  
561 doi:10.1093/ageing/afn292.
- 562 79. Voss A, Heitmann A, Schroeder R, Peters A, Perz S. Short-term heart rate variability--  
563 age dependence in healthy subjects. *Physiol Meas.* 2012;33:1289–311.  
564 doi:10.1088/0967-3334/33/8/1289.
- 565 80. Zhang J. Effect of age and sex on heart rate variability in healthy subjects. *J Manipulative*  
566 *Physiol Ther.* 2007;30:374–9. doi:10.1016/j.jmpt.2007.04.001.



- 567 81. Bett GCL. Hormones and sex differences: changes in cardiac electrophysiology with  
568 pregnancy. *Clin Sci*. 2016;130:747–59. doi:10.1042/CS20150710.
- 569 82. Ekholm EM, Erkkola RU. Autonomic cardiovascular control in pregnancy. *Eur J Obstet*  
570 *Gynecol Reprod Biol*. 1996;64:29–36. doi:10.1016/0301-2115(95)02255-4.
- 571 83. Lucini D, Strappazon P, Dalla Vecchia L, Maggioni C, Pagani M. Cardiac autonomic ad-  
572 justments to normal human pregnancy: insight from spectral analysis of R-R interval and  
573 systolic arterial pressure variability. *J Hypertens*. 1999;17:1899–904.  
574 doi:10.1097/00004872-199917121-00019.
- 575 84. Boudreau P, Yeh W-H, Dumont GA, Boivin DB. Circadian variation of heart rate variabil-  
576 ity across sleep stages. *Sleep*. 2013;36:1919–28. doi:10.5665/sleep.3230.
- 577 85. Sammito S, Sammito W, Böckelmann I. The circadian rhythm of heart rate variability: A  
578 systematic review of the literature. *Biol Rhythm Res*. 2016;47:717–30.  
579 doi:10.1080/09291016.2016.1183887.
- 580 86. Zhang J, Wang N. Prognostic significance and therapeutic option of heart rate variability  
581 in chronic kidney disease. *Int Urol Nephrol*. 2014;46:19–25. doi:10.1007/s11255-013-  
582 0421-3.
- 583 87. Roque AL, Valenti VE, Massetti T, da Silva TD, Monteiro CBdM, Oliveira FR, et al.  
584 Chronic obstructive pulmonary disease and heart rate variability: a literature update. *Int*  
585 *Arch Med*. 2014;7:43. doi:10.1186/1755-7682-7-43.
- 586 88. Mohammed J, Meeus M, Derom E, Da Silva H, Calders P. Evidence for Autonomic Func-  
587 tion and Its Influencing Factors in Subjects With COPD: A Systematic Review. *Respir*  
588 *Care*. 2015;60:1841–51. doi:10.4187/respcare.04174.
- 589 89. Bouvy ML, Heerdink ER, Leufkens HGM, Hoes AW. Predicting mortality in patients with  
590 heart failure: a pragmatic approach. *Heart*. 2003;89:605–9. doi:10.1136/heart.89.6.605.
- 591 90. Biswas PK, Basu S, Mitra KK, Chowdhury SP, Chatterjee BP, Das Biswas A, et al. Heart  
592 rate variability in dilated cardiomyopathy. *Indian Heart J*. 2000;52:187–91.
- 593 91. Davies LC, Colhoun H, Coats AJS, Piepoli M, Francis DP. A noninvasive measure of  
594 baroreflex sensitivity without blood pressure measurement. *Am Heart J*. 2002;143:441–7.  
595 doi:10.1067/mhj.2002.121263.
- 596 92. Lasisi GT, Adebola AP, Ogah OS, Daniel FA. Prevalence of ventricular arrhythmias and  
597 heart rate variability pattern in chronic heart failure. *Niger Postgrad Med J*. 2012;19:157–  
598 62.
- 599 93. Scalvini S, Volterrani M, Zanelli E, Pagani M, Mazzuero G, Coats AJ, Giordano A. Is  
600 heart rate variability a reliable method to assess autonomic modulation in left ventricular  
601 dysfunction and heart failure? Assessment of autonomic modulation with heart rate varia-  
602 bility. *Int J Cardiol*. 1998;67:9–17. doi:10.1016/s0167-5273(98)00252-6.
- 603 94. Carthy ER. Autonomic dysfunction in essential hypertension: A systematic review. *Ann*  
604 *Med Surg (Lond)*. 2014;3:2–7. doi:10.1016/j.amsu.2013.11.002.
- 605 95. Silveti MS, Drago F, Ragonese P. Heart rate variability in healthy children and adoles-  
606 cents is partially related to age and gender. *Int J Cardiol*. 2001;81:169–74.  
607 doi:10.1016/s0167-5273(01)00537-x.
- 608 96. Bigger JT, Kleiger RE, Fleiss JL, Rolnitzky LM, Steinman RC, Miller JP. Components of  
609 heart rate variability measured during healing of acute myocardial infarction. *Am J Car-*  
610 *diol*. 1988;61:208–15. doi:10.1016/0002-9149(88)90917-4.
- 611 97. Fox K, Borer JS, Camm AJ, Danchin N, Ferrari R, Lopez Sendon JL, et al. Resting heart  
612 rate in cardiovascular disease. *J Am Coll Cardiol*. 2007;50:823–30.  
613 doi:10.1016/j.jacc.2007.04.079.

- 614 98. Haas J, Liebrich A, Himmrich E, Treese N. Kurzzeitmessung der Herzfrequenzvariabilität  
615 bei Postinfarktpatienten –. Herzschrittachertherapie und Elektrophysiologie.  
616 2000;11:102–9. doi:10.1007/s003990070044.
- 617 99. Klingenheben T, Zabel M, Hohnloser SH. Brief analysis of heart rate variability in for de-  
618 termining prognosis in the post-myocardial infarct period: methodologically reliable alter-  
619 native to long-term ECG? [Kurzzeitanalyse der Herzfrequenzvariabilität im Zeitbereich  
620 zur Prognosebeurteilung nach Myokardinfarkt: methodologisch sinnvolle Alternative zum  
621 Langzeit-EKG?]. *Z Kardiol.* 1998;87:128–33. doi:10.1007/s003920050164.
- 622 100. Kovar D, Cannon CP, Bentley JH, Charlesworth A, Rogers WJ. Does initial and de-  
623 layed heart rate predict mortality in patients with acute coronary syndromes? *Clin Car-  
624 diol.* 2004;27:80–6. doi:10.1002/clc.4960270207.
- 625 101. Lombardi F, Sandrone G, Mortara A, La Rovere MT, Colombo E, Guzzetti S, Malliani  
626 A. Circadian variation of spectral indices of heart rate variability after myocardial infarc-  
627 tion. *Am Heart J.* 1992;123:1521–9. doi:10.1016/0002-8703(92)90804-5.
- 628 102. Huikuri HV, Mäkikallio TH. Heart rate variability in ischemic heart disease. *Auton Neu-  
629 rosci.* 2001;90:95–101. doi:10.1016/S1566-0702(01)00273-9.
- 630 103. Huikuri HV, Stein PK. Heart rate variability in risk stratification of cardiac patients.  
631 *Prog Cardiovasc Dis.* 2013;56:153–9. doi:10.1016/j.pcad.2013.07.003.
- 632 104. Koenig J, Williams DP, Kemp AH, Thayer JF. Vagally mediated heart rate variability  
633 in headache patients--a systematic review and meta-analysis. *Cephalalgia.*  
634 2016;36:265–78. doi:10.1177/0333102415583989.
- 635 105. Barloese MCJ. A Review of Cardiovascular Autonomic Control in Cluster Headache.  
636 *Headache.* 2016;56:225–39. doi:10.1111/head.12730.
- 637 106. da Silva TD, Massetti T, Crocetta TB, Mello Monteiro CB de, Carll A, Vanderlei LCM,  
638 et al. Heart Rate Variability and Cardiopulmonary Dysfunction in Patients with Duchenne  
639 Muscular Dystrophy: A Systematic Review. *Pediatr Cardiol.* 2018;39:869–83.  
640 doi:10.1007/s00246-018-1881-0.
- 641 107. Friedman BH, Thayer JF. Autonomic balance revisited: panic anxiety and heart rate  
642 variability. *J Psychosom Res.* 1998;44:133–51. doi:10.1016/s0022-3999(97)00202-x.
- 643 108. Friedman BH. An autonomic flexibility-neurovisceral integration model of anxiety and  
644 cardiac vagal tone. *Biol Psychol.* 2007;74:185–99. doi:10.1016/j.biopsycho.2005.08.009.
- 645 109. Aasman J, Mulder G, Mulder LJ. Operator effort and the measurement of heart-rate  
646 variability. *Hum Factors.* 1987;29:161–70. doi:10.1177/001872088702900204.
- 647 110. Chalmers JA, Quintana DS, Abbott MJ-A, Kemp AH. Anxiety Disorders are Associ-  
648 ated with Reduced Heart Rate Variability: A Meta-Analysis. *Front Psychiatry.* 2014;5:80.  
649 doi:10.3389/fpsy.2014.00080.
- 650 111. Paniccia M, Paniccia D, Thomas S, Taha T, Reed N. Clinical and non-clinical depres-  
651 sion and anxiety in young people: A scoping review on heart rate variability. *Auton Neu-  
652 rosci.* 2017;208:1–14. doi:10.1016/j.autneu.2017.08.008.
- 653 112. Mazurak N, Enck P, Muth E, Teufel M, Zipfel S. Heart rate variability as a measure of  
654 cardiac autonomic function in anorexia nervosa: a review of the literature. *Eur Eat Disord  
655 Rev.* 2011;19:87–99. doi:10.1002/erv.1081.
- 656 113. Chalmers JA, Quintana DS, Abbott MJ-A, Kemp AH. Anxiety Disorders are Associ-  
657 ated with Reduced Heart Rate Variability: A Meta-Analysis. *Front Psychiatry.* 2014;5:80.  
658 doi:10.3389/fpsy.2014.00080.

- 659 114. Peschel SKV, Feeling NR, Vögele C, Kaess M, Thayer JF, Koenig J. A Meta-analysis  
660 on Resting State High-frequency Heart Rate Variability in Bulimia Nervosa. *Eur Eat Dis-*  
661 *ord Rev.* 2016;24:355–65. doi:10.1002/erv.2454.
- 662 115. Sammito S, Thielmann B, Zimmermann P, Böckelmann I. Einfluss einer posttraumati-  
663 schen Belastungsstörung auf die Herzfrequenzvariabilität als Marker des autonomen  
664 Nervensystems - eine systematische Literaturübersicht. [Influence of post-traumatic  
665 stress disorder on heart rate variability as marker of the autonomic nervous system - a  
666 systematic review]. *Fortschr Neurol Psychiatr.* 2015;83:30–7. doi:10.1055/s-0034-  
667 1398779.
- 668 116. Berger S, Kliem A, Yeragani V, Bär K-J. Cardio-respiratory coupling in untreated pa-  
669 tients with major depression. *J Affect Disord.* 2012;139:166–71.  
670 doi:10.1016/j.jad.2012.01.035.
- 671 117. Birkhofer A, Schmidt G, Förstl H. Herz und Hirn -- Die Auswirkungen psychischer Er-  
672 krankungen und ihrer Therapie auf die Herzfrequenzvariabilität. [Heart and brain -- the  
673 influence of psychiatric disorders and their therapy on the heart rate variability]. *Fortschr*  
674 *Neurol Psychiatr.* 2005;73:192–205. doi:10.1055/s-2004-830109.
- 675 118. Kim CK, McGorray SP, Bartholomew BA, Marsh M, Dicken T, Wassertheil-Smoller S,  
676 et al. Depressive symptoms and heart rate variability in postmenopausal women. *Arch*  
677 *Intern Med.* 2005;165:1239–44. doi:10.1001/archinte.165.11.1239.
- 678 119. Kapfhammer H-P. Der zusammenhang von depression, angst und herzerkrankung -  
679 eine psychosomatische herausforderung. [The relationship between depression, anxiety  
680 and heart disease - a psychosomatic challenge]. *Psychiatr Danub.* 2011;23:412–24.
- 681 120. Kemp AH, Quintana DS, Gray MA, Felmingham KL, Brown K, Gatt JM. Impact of de-  
682 pression and antidepressant treatment on heart rate variability: a review and meta-analy-  
683 sis. *Biol Psychiatry.* 2010;67:1067–74. doi:10.1016/j.biopsych.2009.12.012.
- 684 121. Stapelberg NJ, Hamilton-Craig I, Neumann DL, Shum DHK, McConnell H. Mind and  
685 heart: heart rate variability in major depressive disorder and coronary heart disease - a  
686 review and recommendations. *Aust N Z J Psychiatry.* 2012;46:946–57.  
687 doi:10.1177/0004867412444624.
- 688 122. Bassett D. A literature review of heart rate variability in depressive and bipolar disor-  
689 ders. *Aust N Z J Psychiatry.* 2016;50:511–9. doi:10.1177/0004867415622689.
- 690 123. Brown L, Karmakar C, Gray R, Jindal R, Lim T, Bryant C. Heart rate variability altera-  
691 tions in late life depression: A meta-analysis. *J Affect Disord.* 2018;235:456–66.  
692 doi:10.1016/j.jad.2018.04.071.
- 693 124. Lotufo PA, Valiengo L, Benseñor IM, Brunoni AR. A systematic review and meta-anal-  
694 ysis of heart rate variability in epilepsy and antiepileptic drugs. *Epilepsia.* 2012;53:272–  
695 82. doi:10.1111/j.1528-1167.2011.03361.x.
- 696 125. Koenig J, Kemp AH, Feeling NR, Thayer JF, Kaess M. Resting state vagal tone in  
697 borderline personality disorder: A meta-analysis. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psy-*  
698 *chiatry.* 2016;64:18–26. doi:10.1016/j.pnpbp.2015.07.002.
- 699 126. Faurholt-Jepsen M, Kessing LV, Munkholm K. Heart rate variability in bipolar disor-  
700 der: A systematic review and meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev.* 2017;73:68–80.  
701 doi:10.1016/j.neubiorev.2016.12.007.
- 702 127. Carr O, Vos M de, Saunders KEA. Heart rate variability in bipolar disorder and bor-  
703 derline personality disorder: a clinical review. *Evid Based Ment Health.* 2018;21:23–30.  
704 doi:10.1136/eb-2017-102760.

- 705 128. Clamor A, Lincoln TM, Thayer JF, Koenig J. Resting vagal activity in schizophrenia:  
706 meta-analysis of heart rate variability as a potential endophenotype. *Br J Psychiatry*.  
707 2016;208:9–16. doi:10.1192/bjp.bp.114.160762.
- 708 129. Adlan AM, Lip GYH, Paton JFR, Kitas GD, Fisher JP. Autonomic function and rheu-  
709 matoid arthritis: a systematic review. *Semin Arthritis Rheum*. 2014;44:283–304.  
710 doi:10.1016/j.semarthrit.2014.06.003.
- 711 130. Dodds KL, Miller CB, Kyle SD, Marshall NS, Gordon CJ. Heart rate variability in in-  
712 somnia patients: A critical review of the literature. *Sleep Med Rev*. 2017;33:88–100.  
713 doi:10.1016/j.smr.2016.06.004.
- 714 131. Yperzeele L, van Hooff R-J, Nagels G, Smedt A de, Keyser J de, Brouns R. Heart  
715 rate variability and baroreceptor sensitivity in acute stroke: a systematic review. *Int J*  
716 *Stroke*. 2015;10:796–800. doi:10.1111/ij.12573.
- 717 132. Koenig J, Falvay D, Clamor A, Wagner J, Jarczok MN, Ellis RJ, et al. Pneumogastric  
718 (Vagus) Nerve Activity Indexed by Heart Rate Variability in Chronic Pain Patients Com-  
719 pared to Healthy Controls: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Pain Physician*.  
720 2016;19:E55-78.
- 721 133. Fakhrzadeh H, Yamini-Sharif A, Sharifi F, Tajalizadekhoob Y, Mirarefin M, Moham-  
722 madzadeh M, et al. Cardiac autonomic neuropathy measured by heart rate variability and  
723 markers of subclinical atherosclerosis in early type 2 diabetes. *ISRN Endocrinol*.  
724 2012;2012:168264. doi:10.5402/2012/168264.
- 725 134. Karayannis G, Giamouzis G, Cokkinos DV, Skoularigis J, Triposkiadis F. Diabetic car-  
726 diovascular autonomic neuropathy: clinical implications. *Expert Rev Cardiovasc Ther*.  
727 2012;10:747–65. doi:10.1586/erc.12.53.
- 728 135. Kuehl M, Stevens MJ. Cardiovascular autonomic neuropathies as complications of  
729 diabetes mellitus. *Nat Rev Endocrinol*. 2012;8:405–16. doi:10.1038/nrendo.2012.21.
- 730 136. Singh JP, Larson MG, O'Donnell CJ, Wilson PF, Tsuji H, Lloyd-Jones DM, Levy D.  
731 Association of hyperglycemia with reduced heart rate variability (The Framingham Heart  
732 Study). *Am J Cardiol*. 2000;86:309–12. doi:10.1016/s0002-9149(00)00920-6.
- 733 137. Benichou T, Pereira B, Mermillod M, Tauveron I, Pfabigan D, Maqdasy S, Dutheil F.  
734 Heart rate variability in type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis.  
735 *PLoS ONE*. 2018;13:e0195166. doi:10.1371/journal.pone.0195166.
- 736 138. Stein PK, Barzilay JI, Domitrovich PP, Chaves PM, Gottdiener JS, Heckbert SR,  
737 Kronmal RA. The relationship of heart rate and heart rate variability to non-diabetic fast-  
738 ing glucose levels and the metabolic syndrome: the Cardiovascular Health Study. *Diabet*  
739 *Med*. 2007;24:855–63. doi:10.1111/j.1464-5491.2007.02163.x.
- 740 139. Barrett EJ, Liu Z, Khamaisi M, King GL, Klein R, Klein BEK, et al. Diabetic Microvas-  
741 cular Disease: An Endocrine Society Scientific Statement. *J Clin Endocrinol Metab*.  
742 2017;102:4343–410. doi:10.1210/jc.2017-01922.
- 743 140. Assoumou HGN, Pichot V, Barthelemy JC, Dauphinot V, Celle S, Gosse P, et al. Met-  
744 abolic syndrome and short-term and long-term heart rate variability in elderly free of clini-  
745 cal cardiovascular disease: the PROOF study. *Rejuvenation Res*. 2010;13:653–63.  
746 doi:10.1089/rej.2010.1019.
- 747 141. Chang Y-W, Lin J-D, Chen W-L, Yen C-F, Loh C-H, Fang W-H, Wu L-W. Metabolic  
748 syndrome and short-term heart rate variability in adults with intellectual disabilities. *Res*  
749 *Dev Disabil*. 2012;33:1701–7. doi:10.1016/j.ridd.2012.04.005.

- 750 142. Gehi AK, Lampert R, Veledar E, Lee F, Goldberg J, Jones L, et al. A twin study of  
751 metabolic syndrome and autonomic tone. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2009;20:422–8.  
752 doi:10.1111/j.1540-8167.2008.01363.x.
- 753 143. Hemingway H, Shipley M, Brunner E, Britton A, Malik M, Marmot M. Does autonomic  
754 function link social position to coronary risk? The Whitehall II study. *Circulation.*  
755 2005;111:3071–7. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.104.497347.
- 756 144. Koskinen T, Kähönen M, Jula A, Mattsson N, Laitinen T, Keltikangas-Järvinen L, et al.  
757 Metabolic syndrome and short-term heart rate variability in young adults. The cardiovas-  
758 cular risk in young Finns study. *Diabet Med.* 2009;26:354–61. doi:10.1111/j.1464-  
759 5491.2009.02686.x.
- 760 145. Liao D, Sloan RP, Cascio WE, Folsom AR, Liese AD, Evans GW, et al. Multiple meta-  
761 bolic syndrome is associated with lower heart rate variability. The Atherosclerosis Risk in  
762 Communities Study. *Diabetes Care.* 1998;21:2116–22. doi:10.2337/diacare.21.12.2116.
- 763 146. Min K-B, Min J-Y, Paek D, Cho S-I. The impact of the components of metabolic syn-  
764 drome on heart rate variability: using the NCEP-ATP III and IDF definitions. *Pacing Clin*  
765 *Electrophysiol.* 2008;31:584–91. doi:10.1111/j.1540-8159.2008.01045.x.
- 766 147. Stuckey MI, Tulppo MP, Kiviniemi AM, Petrella RJ. Heart rate variability and the met-  
767 abolic syndrome: a systematic review of the literature. *Diabetes Metab Res Rev.*  
768 2014;30:784–93. doi:10.1002/dmrr.2555.
- 769 148. Arab C, Dias DPM, Barbosa RTdA, Carvalho TD de, Valenti VE, Crocetta TB, et al.  
770 Heart rate variability measure in breast cancer patients and survivors: A systematic re-  
771 view. *Psychoneuroendocrinology.* 2016;68:57–68. doi:10.1016/j.psyneuen.2016.02.018.
- 772 149. Ralevski E, Petrakis I, Altemus M. Heart rate variability in alcohol use: A review. *Phar-*  
773 *macol Biochem Behav.* 2019;176:83–92. doi:10.1016/j.pbb.2018.12.003.
- 774 150. Karpyak VM, Romanowicz M, Schmidt JE, Lewis KA, Bostwick JM. Characteristics of  
775 heart rate variability in alcohol-dependent subjects and nondependent chronic alcohol  
776 users. *Alcohol Clin Exp Res.* 2014;38:9–26. doi:10.1111/acer.12270.
- 777 151. Abreu RM de, Rehder-Santos P, Simões RP, Catai AM. Can high-intensity interval  
778 training change cardiac autonomic control? A systematic review. *Braz J Phys Ther.*  
779 2019;23:279–89. doi:10.1016/j.bjpt.2018.09.010.
- 780 152. Aubert AE, Seps B, Beckers F. Heart rate variability in athletes. *Sports Med.*  
781 2003;33:889–919. doi:10.2165/00007256-200333120-00003.
- 782 153. Hottenrott K, Hoos O, Esperer HD. Heart rate variability and physical exercise. Cur-  
783 rent status. [Herzfrequenzvariabilität und Sport]. *Herz.* 2006;31:544–52.  
784 doi:10.1007/s00059-006-2855-1.
- 785 154. Bhati P, Moiz JA, Menon GR, Hussain ME. Does resistance training modulate cardiac  
786 autonomic control? A systematic review and meta-analysis. *Clin Auton Res.* 2019;29:75–  
787 103. doi:10.1007/s10286-018-0558-3.
- 788 155. Hollmann W, Strüder H. K. *Sportmedizin: Grundlagen von körperlicher Aktivität, Trai-*  
789 *ning und Präventivmedizin.* 5th ed. Stuttgart: Schattauer; 2009.
- 790 156. Link MS, Homoud MK, Wang PJ, Estes NA. Cardiac arrhythmias in the athlete. *Car-*  
791 *diol Rev.* 2001;9:21–30. doi:10.1097/00045415-200101000-00006.
- 792 157. Melanson EL. Resting heart rate variability in men varying in habitual physical activity.  
793 *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32:1894–901. doi:10.1097/00005768-200011000-00012.
- 794 158. Shin K, Minamitani H, Onishi S, Yamazaki H, Lee M. Autonomic differences between  
795 athletes and nonathletes: spectral analysis approach. *Med Sci Sports Exerc.*  
796 1997;29:1482–90. doi:10.1097/00005768-199711000-00015.

- 797 159. Soares-Miranda L, Sandercock G, Vale S, Santos R, Abreu S, Moreira C, Mota J.  
798 Metabolic syndrome, physical activity and cardiac autonomic function. *Diabetes Metab*  
799 *Res Rev.* 2012;28:363–9. doi:10.1002/dmrr.2281.
- 800 160. Bernardi L, Piepoli MF. Autonomic nervous system adaptation during physical exer-  
801 cise. [Adattamenti del sistema nervoso autonomo durante esercizio fisico]. *Ital Heart J*  
802 *Suppl.* 2001;2:831–9.
- 803 161. Braith RW, Edwards DG. Neurohormonal abnormalities in heart failure: impact of ex-  
804 ercise training. *Congest Heart Fail.* 2003;9:70–6. doi:10.1111/j.1527-5299.2003.00277.x.
- 805 162. Rennie KL, Hemingway H, Kumari M, Brunner E, Malik M, Marmot M. Effects of mod-  
806 erate and vigorous physical activity on heart rate variability in a British study of civil serv-  
807 ants. *Am J Epidemiol.* 2003;158:135–43. doi:10.1093/aje/kwg120.
- 808 163. Routledge FS, Campbell TS, McFetridge-Durdle JA, Bacon SL. Improvements in  
809 heart rate variability with exercise therapy. *Can J Cardiol.* 2010;26:303–12.  
810 doi:10.1016/s0828-282x(10)70395-0.
- 811 164. Sandercock GRH, Bromley PD, Brodie DA. Effects of exercise on heart rate variabil-  
812 ity: inferences from meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37:433–9.  
813 doi:10.1249/01.mss.0000155388.39002.9d.
- 814 165. Bellenger CR, Fuller JT, Thomson RL, Davison K, Robertson EY, Buckley JD. Moni-  
815 toring Athletic Training Status Through Autonomic Heart Rate Regulation: A Systematic  
816 Review and Meta-Analysis. *Sports Med.* 2016;46:1461–86. doi:10.1007/s40279-016-  
817 0484-2.
- 818 166. Bhati P, Shenoy S, Hussain ME. Exercise training and cardiac autonomic function in  
819 type 2 diabetes mellitus: A systematic review. *Netherlands;* 2018 Jan-Mar.
- 820 167. Dehghan H, Mortazavi SB, Jafari MJ, Maracy MR. Cardiac Strain between Normal  
821 Weight and Overweight Workers in Hot/Humid Weather in the Persian Gulf. *Int J Prev*  
822 *Med.* 2013;4:1147–53.
- 823 168. Mark AL. Selective leptin resistance revisited. *Am J Physiol Regul Integr Comp Phys-*  
824 *iol.* 2013;305:R566-81. doi:10.1152/ajpregu.00180.2013.
- 825 169. Hall JE, do Carmo JM, da Silva AA, Wang Z, Hall ME. Obesity-induced hypertension:  
826 interaction of neurohumoral and renal mechanisms. *Circ Res.* 2015;116:991–1006.  
827 doi:10.1161/CIRCRESAHA.116.305697.
- 828 170. Fraley MA, Birchem JA, Senkottaiyan N, Alpert MA. Obesity and the electrocardio-  
829 gram. *Obes Rev.* 2005;6:275–81. doi:10.1111/j.1467-789X.2005.00199.x.
- 830 171. Valenti VE, Vanderlei LCM, Ferreira C, Fonseca FLA, Oliveira FR, Sousa FH, et al.  
831 Sidestream cigarette smoke and cardiac autonomic regulation. *Int Arch Med.* 2013;6:11.  
832 doi:10.1186/1755-7682-6-11.
- 833 172. Felber Dietrich D, Schwartz J, Schindler C, Gaspoz J-M, Barthélémy J-C, Tschopp J-  
834 M, et al. Effects of passive smoking on heart rate variability, heart rate and blood pres-  
835 sure: an observational study. *Int J Epidemiol.* 2007;36:834–40. doi:10.1093/ije/dym031.
- 836 173. Dinas PC, Koutedakis Y, Flouris AD. Effects of active and passive tobacco cigarette  
837 smoking on heart rate variability. *Int J Cardiol.* 2013;163:109–15.  
838 doi:10.1016/j.ijcard.2011.10.140.
- 839 174. Wilson MD, McGlothlin JD, Rosenthal FS, Black DR, Zimmerman NJ, Bridges CD. Er-  
840 gonomics. The effect of occupational exposure to environmental tobacco smoke on the  
841 heart rate variability of bar and restaurant workers. *J Occup Environ Hyg.* 2010;7:D44-9.  
842 doi:10.1080/15459624.2010.483980.

- 843 175. Benschop RJ, Geenen R, Mills PJ, Naliboff BD, Kiecolt-Glaser JK, Herbert TB, et al.  
844 Cardiovascular and immune responses to acute psychological stress in young and old  
845 women: a meta-analysis. *Psychosom Med.* 1998;60:290–6. doi:10.1097/00006842-  
846 199805000-00015.
- 847 176. Dishman RK, Nakamura Y, Garcia ME, Thompson RW, Dunn AL, Blair SN. Heart rate  
848 variability, trait anxiety, and perceived stress among physically fit men and women. *Int J*  
849 *Psychophysiol.* 2000;37:121–33. doi:10.1016/s0167-8760(00)00085-4.
- 850 177. Huang C-J, Webb HE, Zourdos MC, Acevedo EO. Cardiovascular reactivity, stress,  
851 and physical activity. *Front Physiol.* 2013;4:314. doi:10.3389/fphys.2013.00314.
- 852 178. Looser RR, Metzenthin P, Helfricht S, Kudielka BM, Loerbroks A, Thayer JF, Fischer  
853 JE. Cortisol is significantly correlated with cardiovascular responses during high levels of  
854 stress in critical care personnel. *Psychosom Med.* 2010;72:281–9.  
855 doi:10.1097/PSY.0b013e3181d35065.
- 856 179. Chandola T, Britton A, Brunner E, Hemingway H, Malik M, Kumari M, et al. Work  
857 stress and coronary heart disease: what are the mechanisms? *Eur Heart J.*  
858 2008;29:640–8. doi:10.1093/eurheartj/ehm584.
- 859 180. Chandola T, Heraclides A, Kumari M. Psychophysiological biomarkers of workplace  
860 stressors. *Neurosci Biobehav Rev.* 2010;35:51–7. doi:10.1016/j.neubiorev.2009.11.005.
- 861 181. Clays E, Bacquer D de, Crasset V, Kittel F, Smet P de, Kornitzer M, et al. The per-  
862 ception of work stressors is related to reduced parasympathetic activity. *Int Arch Occup*  
863 *Environ Health.* 2011;84:185–91. doi:10.1007/s00420-010-0537-z.
- 864 182. Lehrer P. Applied psychophysiology: beyond the boundaries of biofeedback (mending  
865 a wall, a brief history of our field, and applications to control of the muscles and cardi-  
866 orespiratory systems). *Appl Psychophysiol Biofeedback.* 2003;28:291–304.  
867 doi:10.1023/a:1027330909265.
- 868 183. Järvelin-Pasanen S, Sinikallio S, Tarvainen MP. Heart rate variability and occupa-  
869 tional stress-systematic review. *Ind Health.* 2018;56:500–11. doi:10.2486/indhealth.2017-  
870 0190.
- 871 184. Badra LJ, Cooke WH, Hoag JB, Crossman AA, Kuusela TA, Tahvanainen KU, Eck-  
872 berg DL. Respiratory modulation of human autonomic rhythms. *Am J Physiol Heart Circ*  
873 *Physiol.* 2001;280:H2674-88. doi:10.1152/ajpheart.2001.280.6.H2674.
- 874 185. Eckberg DL. The human respiratory gate. *J Physiol (Lond).* 2003;548:339–52.  
875 doi:10.1113/jphysiol.2002.037192.
- 876 186. Hill LK, Siebenbrock A. Are all measures created equal? Heart rate variability and  
877 respiration - biomed 2009. *Biomed Sci Instrum.* 2009;45:71–6.
- 878 187. Jennings JR, Mack ME. Does aging differentially reduce heart rate variability related  
879 to respiration? *Exp Aging Res.* 1984;10:19–23. doi:10.1080/03610738408258536.
- 880 188. Kanters JK, Højgaard MV, Agner E, Holstein-Rathlou NH. Influence of forced respira-  
881 tion on nonlinear dynamics in heart rate variability. *Am J Physiol.* 1997;272:R1149-54.  
882 doi:10.1152/ajpregu.1997.272.4.R1149.
- 883 189. Schaffer T, Hensel B, Weigand C, Schüttler J, Jeleazcov C. Evaluation of techniques  
884 for estimating the power spectral density of RR-intervals under paced respiration condi-  
885 tions. *J Clin Monit Comput.* 2014;28:481–6. doi:10.1007/s10877-013-9447-4.
- 886 190. Rowell LB. Chapter 27 „Cardiovascular adjustments to thermal stress“. In: Shepherd  
887 JT, Abboud FM, editors. *Handbook of Physiology: Section 2: The Cardiovascular Sys-*  
888 *tem, Volume III, Peripheral Circulation and Organ Blood Flow, Part 2;* 1983. p. 967–  
889 1023.

- 890 191. Wilson TE, Crandall CG. Effect of thermal stress on cardiac function. *Exerc Sport Sci*  
891 *Rev.* 2011;39:12–7. doi:10.1097/JES.0b013e318201eed6.
- 892 192. Ren C, O'Neill MS, Park SK, Sparrow D, Vokonas P, Schwartz J. Ambient tempera-  
893 ture, air pollution, and heart rate variability in an aging population. *Am J Epidemiol.*  
894 2011;173:1013–21. doi:10.1093/aje/kwq477.
- 895 193. Wu S, Deng F, Liu Y, Shima M, Niu J, Huang Q, Guo X. Temperature, traffic-related  
896 air pollution, and heart rate variability in a panel of healthy adults. *Environ Res.*  
897 2013;120:82–9. doi:10.1016/j.envres.2012.08.008.
- 898 194. Bhaumik G, Dass D, Bhattacharyya D, Sharma YK, Singh SB. Heart rate variability  
899 changes during first week of acclimatization to 3500 m altitude in Indian military person-  
900 nel. *Indian J Physiol Pharmacol.* 2013;57:16–22.
- 901 195. Dhar P, Sharma VK, Hota KB, Das SK, Hota SK, Srivastava RB, Singh SB. Auto-  
902 nomic cardiovascular responses in acclimatized lowlanders on prolonged stay at high al-  
903 titude: a longitudinal follow up study. *PLoS ONE.* 2014;9:e84274. doi:10.1371/jour-  
904 nal.pone.0084274.
- 905 196. Graham TE. Thermal, metabolic, and cardiovascular changes in men and women  
906 during cold stress. *Med Sci Sports Exerc.* 1988;20:S185-92. doi:10.1249/00005768-  
907 198810001-00017.
- 908 197. Huang C-M, Chang H-C, Kao S-T, Li T-C, Wei C-C, Chen C, et al. Radial pressure  
909 pulse and heart rate variability in heat- and cold-stressed humans. *Evid Based Comple-*  
910 *ment Alternat Med.* 2011;2011:751317. doi:10.1155/2011/751317.
- 911 198. Bortkiewicz A, Gadzicka E, Szymczak W, Szyjkowska A, Koszada-Włodarczyk W,  
912 Makowiec-Dabrowska T. Physiological reaction to work in cold microclimate. *Int J Occup*  
913 *Med Environ Health.* 2006;19:123–31. doi:10.2478/v10001-006-0020-y.
- 914 199. Harinath K, Malhotra AS, Pal K, Prasad R, Kumar R, Sawhney RC. Autonomic nerv-  
915 ous system and adrenal response to cold in man at Antarctica. *Wilderness Environ Med.*  
916 2005;16:81–91. doi:10.1580/pr30-04.1.
- 917 200. Hettinger T, Wobbe G. *Kompodium der Arbeitswissenschaft.* Ludwigshafen: Kiehl-  
918 Verlag; 1993.
- 919 201. Gross R, Kirchheim H. Effects of bilateral carotid and auditory stimulation on renal  
920 blood flow and sympathetic nerve activity in the conscious dog. *Pflugers Arch.*  
921 1980;383:233–9. doi:10.1007/BF00587524.
- 922 202. Kraus U, Schneider A, Breitner S, Hampel R, Rückerl R, Pitz M, et al. Individual day-  
923 time noise exposure during routine activities and heart rate variability in adults: a re-  
924 peated measures study. *Environ Health Perspect.* 2013;121:607–12.  
925 doi:10.1289/ehp.1205606.
- 926 203. Lee G-S, Chen M-L, Wang G-Y. Evoked response of heart rate variability using short-  
927 duration white noise. *Auton Neurosci.* 2010;155:94–7. doi:10.1016/j.autneu.2009.12.008.
- 928 204. Schnell I, Potchter O, Epstein Y, Yaakov Y, Hermesh H, Brenner S, Tirosh E. The ef-  
929 fects of exposure to environmental factors on Heart Rate Variability: an ecological per-  
930 spective. *Environ Pollut.* 2013;183:7–13. doi:10.1016/j.envpol.2013.02.005.
- 931 205. Veternik M, Tonhajzerova I, Misek J, Jakusova V, Hudeckova H, Jakus J. The impact  
932 of sound exposure on heart rate variability in adolescent students. *Physiol Res.*  
933 2018;67:695–702. doi:10.33549/physiolres.933882.
- 934 206. Bortkiewicz A, Gadzicka E, Szymczak W. Heart rate variability in workers exposed to  
935 carbon disulfide. *J Auton Nerv Syst.* 1997;66:62–8. doi:10.1016/s0165-1838(97)00045-3.



- 936 207. Jhun H-J, Yim S-H, Kim R, Paek D. Heart-rate variability of carbon disulfide-poisoned  
937 subjects in Korea. *Int Arch Occup Environ Health*. 2003;76:156–60. doi:10.1007/s00420-  
938 002-0391-8.
- 939 208. Reinhardt F, Drexler H, Bickel A, Claus D, Ulm K, Angerer J, et al. Electrophysiologi-  
940 cal investigation of central, peripheral and autonomic nerve function in workers with long-  
941 term low-level exposure to carbon disulphide in the viscose industry. *Int Arch Occup En-  
942 viron Health*. 1997;70:249–56. doi:10.1007/s004200050215.
- 943 209. Brito JM, Belotti L, Toledo AC, Antonangelo L, Silva FS, Alvim DS, et al. Acute cardio-  
944 vascular and inflammatory toxicity induced by inhalation of diesel and biodiesel exhaust  
945 particles. *Toxicol Sci*. 2010;116:67–78. doi:10.1093/toxsci/kfq107.
- 946 210. Böckelmann I, Pfister EA, McGauran N, Robra B-P. Assessing the suitability of cross-  
947 sectional and longitudinal cardiac rhythm tests with regard to identifying effects of occu-  
948 pational chronic lead exposure. *J Occup Environ Med*. 2002;44:59–65.  
949 doi:10.1097/00043764-200201000-00010.
- 950 211. Murata K, Araki S, Yokoyama K, Nomiya K, Nomiya H, Tao YX, Liu SJ. Auto-  
951 nomic and central nervous system effects of lead in female glass workers in China. *Am J  
952 Ind Med*. 1995;28:233–44. doi:10.1002/ajim.4700280208.
- 953 212. Feng W, He X, Chen M, Deng S, Qiu G, Li X, et al. Urinary metals and heart rate vari-  
954 ability: a cross-sectional study of urban adults in Wuhan, China. *Environ Health Per-  
955 spect*. 2015;123:217–22. doi:10.1289/ehp.1307563.
- 956 213. Grandjean P, Murata K, Budtz-Jørgensen E, Weihe P. Cardiac autonomic activity in  
957 methylmercury neurotoxicity: 14-year follow-up of a Faroese birth cohort. *J Pediatr*.  
958 2004;144:169–76. doi:10.1016/j.jpeds.2003.10.058.
- 959 214. Murata K, Araki S, Yokoyama K, Maeda K. Autonomic and peripheral nervous system  
960 dysfunction in workers exposed to mixed organic solvents. *Int Arch Occup Environ  
961 Health*. 1991;63:335–40. doi:10.1007/BF00381584.
- 962 215. Murata K, Araki S, Yokoyama K. Assessment of the peripheral, central, and auto-  
963 nomic nervous system function in styrene workers. *Am J Ind Med*. 1991;20:775–84.  
964 doi:10.1002/ajim.4700200609.
- 965 216. Araki S, Murata K, Yokoyama K. Application of neurophysiological methods in occu-  
966 pational medicine in relation to psychological performance. *Ann Acad Med Singapore*.  
967 1994;23:710–8.
- 968 217. Juntunen J, Matikainen E, Antti-Poika M, Suoranta H, Valle M. Nervous system ef-  
969 fects of long-term occupational exposure to toluene. *Acta Neurol Scand*. 1985;72:512–7.  
970 doi:10.1111/j.1600-0404.1985.tb00909.x.
- 971 218. Matikainen E, Juntunen J, Koskenvuo M, Antti-Poika M, Kaprio J. Cardiovascular re-  
972 flexes in monozygotic twins discordant for exposure to organic solvents. *Acta Genet Med  
973 Gemellol (Roma)*. 1987;36:503–7. doi:10.1017/s0001566000006875.
- 974 219. Gribble MO, Cheng A, Berger RD, Rosman L, Guallar E. Mercury Exposure and  
975 Heart Rate Variability: a Systematic Review. *Curr Environ Health Rep*. 2015;2:304–14.  
976 doi:10.1007/s40572-015-0053-0.
- 977 220. Buteau S, Goldberg MS. A structured review of panel studies used to investigate as-  
978 sociations between ambient air pollution and heart rate variability. *Environ Res*.  
979 2016;148:207–47. doi:10.1016/j.envres.2016.03.013.
- 980 221. Ha M, Kim J, Park J, Chung HK. Blood pressure and heart rate variability in workers  
981 of 8-hour shifts. *J Hum Ergol (Tokyo)*. 2001;30:229–33.

- 982 222. Lindholm H, Sinisalo J, Ahlberg J, Hirvonen A, Hublin C, Partinen M, Savolainen A.  
983 Attenuation of vagal recovery during sleep and reduction of cortisol/melatonin ratio in late  
984 afternoon associate with prolonged daytime sleepiness among media workers with irreg-  
985 ular shift work. *Am J Ind Med.* 2012;55:643–9. doi:10.1002/ajim.22042.
- 986 223. Wehrens SMT, Hampton SM, Skene DJ. Heart rate variability and endothelial function  
987 after sleep deprivation and recovery sleep among male shift and non-shift workers.  
988 *Scand J Work Environ Health.* 2012;38:171–81. doi:10.5271/sjweh.3197.
- 989 224. Chung M-H, Kuo TBJ, Hsu N, Chu H, Chou K-R, Yang CCH. Sleep and autonomic  
990 nervous system changes - enhanced cardiac sympathetic modulations during sleep in  
991 permanent night shift nurses. *Scand J Work Environ Health.* 2009;35:180–7.  
992 doi:10.5271/sjweh.1324.
- 993 225. Järvelin-Pasanen S, Ropponen A, Tarvainen MP, Karjalainen PA, Louhevaara V. Dif-  
994 ferences in heart rate variability of female nurses between and within normal and ex-  
995 tended work shifts. *Ind Health.* 2013;51:154–64. doi:10.2486/indhealth.ms1368.
- 996 226. Amirian I, Toftegård Andersen L, Rosenberg J, Gögenur I. Decreased heart rate vari-  
997 ability in surgeons during night shifts. *Can J Surg.* 2014;57:300–4.  
998 doi:10.1503/cjs.028813.
- 999 227. Jensen MA, Garde AH, Kristiansen J, Nabe-Nielsen K, Hansen ÅM. The effect of the  
1000 number of consecutive night shifts on diurnal rhythms in cortisol, melatonin and heart  
1001 rate variability (HRV): a systematic review of field studies. *Int Arch Occup Environ*  
1002 *Health.* 2016;89:531–45. doi:10.1007/s00420-015-1093-3.
- 1003 228. DIN 9886:2004. Ergonomie. Ermittlung der thermischen Beanspruchung durch physi-  
1004 ologische Messungen (ISO 9886:2004) Mai 2004.
- 1005 229. DIN 8996:2004,. Ergonomie der thermischen Umgebung. Bestimmung des körperei-  
1006 genen Energieumsatzes (ISO 8996:2004) Januar 2005.
- 1007 230. Cooney MT, Vartiainen E, Laatikainen T, Juolevi A, Dudina A, Graham IM. Elevated  
1008 resting heart rate is an independent risk factor for cardiovascular disease in healthy men  
1009 and women. *Am Heart J.* 2010;159:612-619.e3. doi:10.1016/j.ahj.2009.12.029.
- 1010 231. Williams BA, Merhige ME. The prognostic association between resting heart rate and  
1011 cardiac death--myocardial perfusion defects as a potential mechanism. *Atherosclerosis.*  
1012 2012;221:445–50. doi:10.1016/j.atherosclerosis.2012.01.025.
- 1013 232. Trappe HJ, Löllgen H. Guidelines for ergometry. German Society of Cardiology--Heart  
1014 and Cardiovascular Research. [Leitlinien zur Ergometrie]. *Z Kardiol.* 2000;89:821–31.  
1015 doi:10.1007/s003920070190.
- 1016 233. Gulati M, Shaw LJ, Thisted RA, Black HR, Bairey Merz CN, Arnsdorf MF. Heart rate  
1017 response to exercise stress testing in asymptomatic women: the st. James women take  
1018 heart project. *Circulation.* 2010;122:130–7. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.110.939249.
- 1019 234. Imai K, Sato H, Hori M, Kusuoka H, Ozaki H, Yokoyama H, et al. Vagally mediated  
1020 heart rate recovery after exercise is accelerated in athletes but blunted in patients with  
1021 chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol.* 1994;24:1529–35. doi:10.1016/0735-  
1022 1097(94)90150-3.
- 1023 235. Sugawara J, Murakami H, Maeda S, Kuno S, Matsuda M. Change in post-exercise  
1024 vagal reactivation with exercise training and detraining in young men. *Eur J Appl Physiol.*  
1025 2001;85:259–63. doi:10.1007/s004210100443.
- 1026 236. Takahashi T, Miyamoto Y. Influence of light physical activity on cardiac responses  
1027 during recovery from exercise in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.*  
1028 1998;77:305–11. doi:10.1007/s004210050338.

- 1029 237. Takahashi T, Okada A, Saitoh T, Hayano J, Miyamoto Y. Difference in human cardio-  
1030 vascular response between upright and supine recovery from upright cycle exercise. *Eur*  
1031 *J Appl Physiol.* 2000;81:233–9. doi:10.1007/s004210050036.
- 1032 238. Rohmert W, Rutenfranz J. *Praktische Arbeitsphysiologie.* Stuttgart, New York:  
1033 Thieme; 1983.
- 1034 239. Scheuch K. *Arbeitsphysiologie.* In: Triebig G, Ketner M, Schiele R, editors. *Arbeitsme-*  
1035 *medizin – Handbuch für Theorie und Praxis.* 3rd ed. Stuttgart: Gentner Verlag; 2011.  
1036 p. 413–458.
- 1037 240. Boutellier U. *Sport- und Arbeitsphysiologie.* In: Schmidt RF, Lang F, Heckmann M,  
1038 editors. *Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie.* 31st ed. Heidelberg: Springer  
1039 *Medizin Verlag;* 2011. p. 854–876.
- 1040 241. Frauendorf H, Kobryn U, Gelbrich W. Blutdruck- und Herzschlagfrequenzverhalten  
1041 bei fünf verschiedenen Formen dynamischer Muskelarbeit. *Z Arbwiss.* 1990;44:214–6.
- 1042 242. Voss A, Schroeder R, Heitmann A, Peters A, Perz S. Short-term heart rate variability-  
1043 -influence of gender and age in healthy subjects. *PLoS ONE.* 2015;10:e0118308.  
1044 doi:10.1371/journal.pone.0118308.
- 1045 243. Sammito S, Böckelmann I. New reference values of heart rate variability during ordi-  
1046 nary daily activity. *Heart Rhythm.* 2017;14:304–7. doi:10.1016/j.hrthm.2016.12.016.
- 1047 244. Sammito S, Böckelmann I. Alters- und geschlechterbezogene Referenzwerte für den  
1048 Einsatz der Herzfrequenzvariabilität in der Bewegungstherapie. *Bewegungstherapie und*  
1049 *Gesundheitssport.* 2017;33:268–75.
- 1050 245. Bigger JT, Fleiss JL, Steinman RC, Rolnitzky LM, Schneider WJ, Stein PK. RR varia-  
1051 bility in healthy, middle-aged persons compared with patients with chronic coronary heart  
1052 disease or recent acute myocardial infarction. *Circulation.* 1995;91:1936–43.  
1053 doi:10.1161/01.cir.91.7.1936.
- 1054 246. Nunan D, Sandercock GRH, Brodie DA. A quantitative systematic review of normal  
1055 values for short-term heart rate variability in healthy adults. *Pacing Clin Electrophysiol.*  
1056 2010;33:1407–17. doi:10.1111/j.1540-8159.2010.02841.x.
- 1057 247. Kim G-M, Woo J-M. Determinants for heart rate variability in a normal Korean popula-  
1058 tion. *J Korean Med Sci.* 2011;26:1293–8. doi:10.3346/jkms.2011.26.10.1293.
- 1059 248. Zeng F, Tang Z-H, Li Z, Yu X, Zhou L. Normative reference of short-term heart rate  
1060 variability and estimation of cardiovascular autonomic neuropathy prevalence in Chinese  
1061 people. *J Endocrinol Invest.* 2014;37:385–91. doi:10.1007/s40618-013-0047-4.
- 1062 249. Cottin F, Médigue C, Lopes P, Leprêtre P-M, Heubert R, Billat V. Ventilatory thresh-  
1063 olds assessment from heart rate variability during an incremental exhaustive running  
1064 test. *Int J Sports Med.* 2007;28:287–94. doi:10.1055/s-2006-924355.
- 1065 250. Kaikkonen P, Hynynen E, Mann T, Rusko H, Nummela A. Can HRV be used to evalu-  
1066 ate training load in constant load exercises? *Eur J Appl Physiol.* 2010;108:435–42.  
1067 doi:10.1007/s00421-009-1240-1.
- 1068 251. Sandercock GRH, Brodie DA. The use of heart rate variability measures to assess  
1069 autonomic control during exercise. *Scand J Med Sci Sports.* 2006;16:302–13.  
1070 doi:10.1111/j.1600-0838.2006.00556.x.
- 1071 252. Gronwald T, Hoos O. Correlation properties of heart rate variability during endurance  
1072 exercise: A systematic review. *Ann Noninvasive Electrocardiol.* 2020;25:e12697.  
1073 doi:10.1111/anec.12697.
- 1074 253. Backs RW, Ryan MR. Psychological measures of workload during continuous perfor-  
1075 mance. *Hum Factors.* 1994;36:514–31.

- 1076 254. Egelund N. Heart-rate and heart-rate-variability as indicators of driver workload in traf-  
1077 fic situations. In: Orlebeke J, Mulder G, van Doornen L, editors. Psychophysiology of car-  
1078 diovascular control: Models, methods, and data. New York: Plenum Press; 1985. p. 855–  
1079 863.
- 1080 255. Egelund N. Spectral analysis of heart rate variability as an indicator of driver fatigue.  
1081 Ergonomics. 1982;25:663–72. doi:10.1080/00140138208925026.
- 1082 256. Jenkins JG, Mitchell RH, McClure BG. Heart rate variability in the newborn infants.  
1083 Automedica. 1983;4:263–70.
- 1084 257. Jorna PG. Spectral analysis of heart rate and psychological state: a review of its va-  
1085 lidity as a workload index. Biol Psychol. 1992;34:237–57. doi:10.1016/0301-  
1086 0511(92)90017-o.
- 1087 258. Kalsbeek J, Ettema J. Continuous recording of heart rate and the measurement of  
1088 perceptual load. Ergonomics. 1963;6:306–7.
- 1089 259. Luczak H, Laurig W. An analysis of heart rate variability. Ergonomics. 1973;16:85–97.
- 1090 260. Manzey D. Psychophysiologie mentaler Beanspruchung. In: Rösler F, editor. Ergeb-  
1091 nisse und Anwendungen der Psychophysiologie: Enzyklopädie der Psychologie. Göttin-  
1092 gen: Hogrefe; 1998. p. 799–864.
- 1093 261. Opmeer CH. The information content of successive RR-interval times in the ECG. Pre-  
1094 liminary results using factor analysis and frequency analysis. Ergonomics. 1973;16:105–  
1095 12. doi:10.1080/00140137308924486.
- 1096 262. Paas FG, van Merriënboer JJ, Adam JJ. Measurement of cognitive load in instruc-  
1097 tional research. Percept Mot Skills. 1994;79:419–30. doi:10.2466/pms.1994.79.1.419.
- 1098 263. van Amelsvoort LG, Schouten EG, Maan AC, Swenne CA, Kok FJ. Occupational de-  
1099 terminants of heart rate variability. Int Arch Occup Environ Health. 2000;73:255–62.  
1100 doi:10.1007/s004200050425.
- 1101 264. Voss A, Esperer HD. Herzfrequenzvariabilität - Definition, Analyse und klinische Be-  
1102 deutung, Teil I. HerzRhythmus. 1994;6:1–8.
- 1103 265. Buccelletti E, Gilardi E, Scaini E, Galiuto L, Persiani R, Biondi A, et al. Heart rate vari-  
1104 ability and myocardial infarction: systematic literature review and metanalysis. Italy; 2009  
1105 Jul-Aug.
- 1106 266. Song T, Qu XF, Zhang YT, Cao W, Han BH, Li Y, et al. Usefulness of the heart-rate  
1107 variability complex for predicting cardiac mortality after acute myocardial infarction. BMC  
1108 Cardiovasc Disord. 2014;14:59. doi:10.1186/1471-2261-14-59.
- 1109 267. Lakusic N, Mahovic D, Sonicki Z, Slivnjak V, Baborski F. Outcome of patients with  
1110 normal and decreased heart rate variability after coronary artery bypass grafting surgery.  
1111 Int J Cardiol. 2013;166:516–8. doi:10.1016/j.ijcard.2012.04.040.
- 1112 268. Sandercock GRH, Brodie DA. The role of heart rate variability in prognosis for differ-  
1113 ent modes of death in chronic heart failure. Pacing Clin Electrophysiol. 2006;29:892–904.  
1114 doi:10.1111/j.1540-8159.2006.00457.x.
- 1115 269. Schmidt H, Hoyer D, Hennen R, Heinroth K, Rauchhaus M, Prondzinsky R, et al. Au-  
1116 tonomic dysfunction predicts both 1- and 2-month mortality in middle-aged patients with  
1117 multiple organ dysfunction syndrome. Crit Care Med. 2008;36:967–70.  
1118 doi:10.1097/CCM.0B013E3181653263.
- 1119 270. Kloter E, Barrueto K, Klein SD, Scholkmann F, Wolf U. Heart Rate Variability as a  
1120 Prognostic Factor for Cancer Survival - A Systematic Review. Front Physiol. 2018;9:623.  
1121 doi:10.3389/fphys.2018.00623.

- 1122 271. Zhou X, Ma Z, Zhang L, Zhou S, Wang J, Wang B, Fu W. Heart rate variability in the  
1123 prediction of survival in patients with cancer: A systematic review and meta-analysis. *J*  
1124 *Psychosom Res.* 2016;89:20–5. doi:10.1016/j.jpsychores.2016.08.004.
- 1125 272. França da Silva AK, Penachini da Costa de Rezende Barbosa M, Marques Vanderlei  
1126 F, Destro Christofaro DG, Marques Vanderlei LC. Application of Heart Rate Variability in  
1127 Diagnosis and Prognosis of Individuals with Diabetes Mellitus: Systematic Review. *Ann*  
1128 *Noninvasive Electrocardiol.* 2016;21:223–35. doi:10.1111/anec.12372.
- 1129 273. Liao D, Cai J, Barnes RW, Tyroler HA, Rautaharju P, Holme I, Heiss G. Association  
1130 of cardiac autonomic function and the development of hypertension: the ARIC study. *Am*  
1131 *J Hypertens.* 1996;9:1147–56. doi:10.1016/s0895-7061(96)00249-x.
- 1132 274. Singh JP, Larson MG, Tsuji H, Evans JC, O'Donnell CJ, Levy D. Reduced heart rate  
1133 variability and new-onset hypertension: insights into pathogenesis of hypertension: the  
1134 Framingham Heart Study. *Hypertension.* 1998;32:293–7. doi:10.1161/01.hyp.32.2.293.
- 1135 275. Schroeder EB, Liao D, Chambless LE, Prineas RJ, Evans GW, Heiss G. Hyperten-  
1136 sion, blood pressure, and heart rate variability: the Atherosclerosis Risk in Communities  
1137 (ARIC) study. *Hypertension.* 2003;42:1106–11.  
1138 doi:10.1161/01.HYP.0000100444.71069.73.
- 1139 276. Schuster AK, Fischer JE, Thayer JF, Mauss D, Jarczok MN. Decreased heart rate  
1140 variability correlates to increased cardiovascular risk. *Int J Cardiol.* 2016;203:728–30.  
1141 doi:10.1016/j.ijcard.2015.11.027.
- 1142 277. Assmann G, Cullen P, Schulte H. Simple scoring scheme for calculating the risk of  
1143 acute coronary events based on the 10-year follow-up of the prospective cardiovascular  
1144 Münster (PROCAM) study. *Circulation.* 2002;105:310–5. doi:10.1161/hc0302.102575.
- 1145 278. Executive Summary of The Third Report of The National Cholesterol Education Pro-  
1146 gram (NCEP) Expert Panel on Detection, Evaluation, And Treatment of High Blood Cho-  
1147 lesterol In Adults (Adult Treatment Panel III). *JAMA.* 2001;285:2486–97.  
1148 doi:10.1001/jama.285.19.2486.
- 1149 279. Conroy RM, Pyörälä K, Fitzgerald AP, Sans S, Menotti A, Backer G de, et al. Estima-  
1150 tion of ten-year risk of fatal cardiovascular disease in Europe: the SCORE project. *Eur*  
1151 *Heart J.* 2003;24:987–1003. doi:10.1016/s0195-668x(03)00114-3.
- 1152 280. Hoos O. Herzfrequenzvariabilität und Physiotherapie: Grundlagen, Methoden und An-  
1153 wendungen. *Zeitschrift für Physiotherapeuten.* 2009;61:277–82.
- 1154 281. Djaoui L, Haddad M, Chamari K, Dellal A. Monitoring training load and fatigue in soc-  
1155 cer players with physiological markers. *Physiol Behav.* 2017;181:86–94.  
1156 doi:10.1016/j.physbeh.2017.09.004.
- 1157 282. Tapanainen JM, Thomsen PEB, Køber L, Torp-Pedersen C, Mäkikallio TH, Still A-M,  
1158 et al. Fractal analysis of heart rate variability and mortality after an acute myocardial in-  
1159 farction. *Am J Cardiol.* 2002;90:347–52. doi:10.1016/s0002-9149(02)02488-8.
- 1160 283. Del Pozo JM, Gevirtz RN, Scher B, Guarneri E. Biofeedback treatment increases  
1161 heart rate variability in patients with known coronary artery disease. *Am Heart J.*  
1162 2004;147:E11. doi:10.1016/j.ahj.2003.08.013.
- 1163 284. Lehrer P, Vaschillo E, Lu S-E, Eckberg D, Vaschillo B, Scardella A, Habib R. Heart  
1164 rate variability biofeedback: effects of age on heart rate variability, baroreflex gain, and  
1165 asthma. *Chest.* 2006;129:278–84. doi:10.1378/chest.129.2.278.
- 1166 285. Lehrer PM, Vaschillo E, Vaschillo B, Lu S-E, Eckberg DL, Edelberg R, et al. Heart  
1167 rate variability biofeedback increases baroreflex gain and peak expiratory flow. *Psycho-*  
1168 *som Med.* 2003;65:796–805. doi:10.1097/01.psy.0000089200.81962.19.

- 1169 286. Peira N, Pourtois G, Fredrikson M. Learned cardiac control with heart rate biofeed-  
1170 back transfers to emotional reactions. PLoS ONE. 2013;8:e70004. doi:10.1371/jour-  
1171 nal.pone.0070004.  
1172

## 1173 **Leitlinien-Report zur Entwicklung der S2k Leitlinie**

1174 Registrierungsnummer: 002-042

1175

### 1176 **„Nutzung der Herzschlagfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität** 1177 **in der Arbeitsmedizin und der Arbeitswissenschaft“**

1178 im Auftrag der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. (DGAUM)  
1179 und der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (GfA) sowie der gemeinsamen Arbeits-  
1180 gruppe Forum Arbeitsphysiologie.

1181 Die vorliegende aktualisierte Leitlinie ersetzt die erstmalig im Jahre 2014 publizierte Leitlinie  
1182 zur „Nutzung der Herzschlagfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität in der Arbeitsmedizin  
1183 und der Arbeitswissenschaft“ (Autoren: Sammito S, Thielmann B, Seibt R, Klussmann A,  
1184 Weippert M, Böckelmann I) [1].

1185 Sie wurde letztmalig aktualisiert von

- 1186 - PD Dr. med. habil. Stefan Sammito  
1187 Bereich Arbeitsmedizin, Medizinische Fakultät, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg &  
1188 Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe, Köln
- 1189 - Dr. med. Beatrice Thielmann  
1190 Bereich Arbeitsmedizin, Medizinische Fakultät, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- 1191 - Prof. Dr.-Ing. habil. Andre Klussmann  
1192 Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW) Hamburg, Professur Arbeitswissenschaft
- 1193 - Prof. Dr. med. habil. Andreas Deußen  
1194 Institut für Physiologie, Medizinische Fakultät der Technischen Universität Dresden
- 1195 - Prof. Dr. med. habil. Klaus-Michael Braumann  
1196 Abt. Sport- und Bewegungsmedizin, Fakultät für Psychologie und Bewegungswissenschaft,  
1197 Universität Hamburg
- 1198 - Prof. Dr. med. habil. Irina Böckelmann  
1199 Bereich Arbeitsmedizin, Medizinische Fakultät, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

1200

## 1201 **1. Übersicht**

### 1202 Titel der Leitlinie

1203 Nutzung der Herzschlagfrequenz und der Herzschlagfrequenzvariabilität in der Arbeitsmedizin  
1204 und der Arbeitswissenschaft

1205 Anmeldedatum:

1206 23.03.2018

1207

1208 Gründe für die Themenwahl:

1209 Die Erfassung und Analyse der Herzfrequenz (Hf) und derer Variabilität (HRV) ist eine etab-  
1210 lierte Methode in der Arbeitsphysiologie. Häufig wird diese jedoch im betrieblichen Setting  
1211 ohne ausreichende Qualitätssicherung oder ohne die ausreichende medizinische Expertise  
1212 bzw. ohne ausreichenden Bezug zu arbeitsphysiologischen und arbeitsmedizinischen Frage-  
1213 stellungen durchgeführt. Die Bewertung und Ableitung von Erkenntnissen aus Studien sind  
1214 durch teilweise sehr differierende Erfassungs- und Auswertemethodiken erschwert, so dass  
1215 ein Konsensusprozess zur Ableitung von Empfehlungen gewählt worden ist.

1216

1217 Zielorientierung der Leitlinie:

1218 Ziel ist es über methodische Standards bei der Anwendung der Hf und HRV-Analyse in ar-  
1219beitsmedizinischer und arbeitswissenschaftlicher Forschung und praxisnaher Anwendung zu  
1220 einer verbesserten Qualität bei der Durchführung der Verfahren bei arbeitsbezogenen Fragen  
1221 in Forschung und Praxis beizutragen. Die kritische Auseinandersetzung mit den Analyseme-  
1222thoden und der Bestimmung der Beanspruchungsparameter zur Einschätzung der stattgefün-  
1223denen Belastung erfolgt mit dem Ziel einer verbesserten Vergleichbarkeit von Studienergeb-  
1224nissen und zu Verbesserung des Verständnisses der praktischen Relevanz und Bedeutung  
1225 von Messergebnissen bezüglich Hf und HRV in der Arbeitsmedizin und in den Arbeitswissen-  
1226schaften.

1227

1228 Entwicklungsstufe

1229 S2k

1230

1231 Verbindung zu vorhandenen Leitlinien anderer Fachgesellschaften:

1232 Nationale Versorgungs-Leitlinie (NVL): Chronische KHK

1233 Nationale Versorgungs-Leitlinie (NVL): Typ-2-Diabetes



1234 Nationale Versorgungs-Leitlinie (NVL): Neuropathie bei Diabetes im Erwachsenenalter

1235

1236 Anmelder (Person):

1237 Priv.-Doz. Dr. med. habil. Stefan Sammito, Bereich Arbeitsmedizin, Medizinische Fakultät,  
1238 Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg; Stefan.Sammito@med.ovgu.de, Tel. 0391-  
1239 6715056

1240

1241 Anmeldende Fachgesellschaft:

1242 Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. (DGAUM)

1243

1244 Beteiligung weiterer Fachgesellschaften:

1245 Deutsche Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention e.V. (DGSP)

1246 Deutsche Physiologische Gesellschaft e. V. (DPG)

1247 Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (GfA)

1248

1249 Koordinatoren:

1250 Prof. Dr. med. habil. Irina Böckelmann

1251 Bereich Arbeitsmedizin, Medizinische Fakultät

1252 Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

1253 email: Irina.Boeckelmann@med.ovgu.de, Tel. 0391-6715056

1254 und

1255 Priv.-Doz. Dr. med. habil. Stefan Sammito

1256 Bereich Arbeitsmedizin, Medizinische Fakultät

1257 Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

1258 email: Stefan.Sammito@med.ovgu.de, Tel. 0391-6715056

1259

1260 Adressaten der Leitlinie:

1261 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler und Anwender im Bereich der Arbeitsmedizin und  
1262 Betriebsmedizin, Arbeitsphysiologie, Arbeitswissenschaft, Gesundheitsförderung und -ma-  
1263 nagement, Sportmedizin und Sportwissenschaft.

1264

1265 Methodik:

1266 Auf Basis einer Aktualisierung der Literatur mittels Literaturrecherche der Publikationen von  
1267 2014 bis Ende 2019 wurde eine Aktualisierung der Leitlinie mittels Konsensuskonferenz der  
1268 Expertengruppe (Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit Expertise im Bereich der me-  
1269 thodischen Weiterentwicklung und Anwendung der Herzfrequenz und der HRV-Analyse bei  
1270 arbeitsbezogenen Fragestellungen) unter neutraler Moderation durchgeführt.

1271

1272 Einladung zur Konsensuskonferenz:

1273 Ging an die Mandatsträger der beteiligten Fachgesellschaften sowie an die Autoren der zu-  
1274 grundlegenden S2k-Leitlinie aus dem Jahr 2014.

1275

1276 Für eine Beteiligung an der Aktualisierung dieser Leitlinie wurden angefragt:

1277 Deutsche Physiologische Gesellschaft e. V. (DPG) (Arbeitsgruppe Herz- und Kreislauf-Physi-  
1278 ologie)

1279 Deutsche Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (GfA)

1280 Deutsche Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention e.V. (DGSP)

1281 Deutsche Gesellschaft für Sozialmedizin und Prävention e.V. (DGSMP)

1282

1283 Geplante Fertigstellung:

1284 31.12.2021

1285

1286 Herausgeber:

1287 Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. (DGAUM)

1288

## 1289 **2. Organisation der Leitlinien-Entwicklung**

1290 Die Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e. V. hat die Aktualisierung  
1291 der Leitlinie „Nutzung der Herzschlagfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität in der Arbeits-  
1292 medizin und der Arbeitswissenschaft“ beim Bereich Arbeitsmedizin, Medizinische Fakultät,  
1293 Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg in Auftrag gegeben.

1294 Hierzu sollten die im Jahr 2014 publizierte S2k-Leitlinie auf Basis einer Sichtung der in der  
1295 Zwischenzeit publizierten Literatur zur Thematik und unter Beteiligung weiterer Fachgesell-  
1296 schaften und einer Konsensusfindung aktualisiert werden.

1297 In einem ersten Schritt wurden im Herbst 2018 die oben aufgeführten Fachgesellschaften für  
1298 eine mögliche Mitarbeit angefragt und nach Eingang entsprechender Meldungen im März 2019  
1299 eine Telefonkonferenz zum weiteren Vorgehen mit den Mandatsträgern und den Autoren aus  
1300 der Leitlinienerstellung, die an einer weiteren Mitarbeit interessiert waren, durchgeführt. An  
1301 dieser Telefonkonferenz nahmen die Autoren dieser Leitlinie teil. Es wurde vereinbart, dass im  
1302 Rahmen einer Literatursichtung der Publikationen zum Thema seit der Erstellung der Leitlinie  
1303 bis dato (2014-2019) basierend auf der 2014-Version der Leitlinie Änderungen vorgeschlagen  
1304 und im Rahmen eines Umlaufverfahren und einer anschließenden Konsensuskonferenz ein-  
1305 gearbeitet werden sollen.

1306 Die Sichtung der Literatur und die Erarbeitung von Vorschlägen erfolgten vom März 2019 bis  
1307 Juni 2020, wurden zusammengeführt und am 17. Juli 2020 allen Autoren dieser Leitlinie zur  
1308 Sichtung und Bewertung zugeschickt.

1309 Im Rahmen einer virtuellen Konsensuskonferenz (aufgrund bestehender COVID-19-Pande-  
1310 mie) wurde am 28. September 2020 die Aktualisierung der Leitlinie diskutiert und im Konsen-  
1311 susverfahren unter einer neutralen Moderation von Frau Geraldine Müller, Köln verabschiedet.  
1312 Für jede Kernaussage und Handlungsempfehlung wurde zunächst die zuvor erarbeitete Aus-  
1313 sage vorgelesen, eventuelle Änderungen besprochen und im Rahmen einer Abstimmung die  
1314 Konsensusstärke (siehe entsprechenden Abschnitt weiter unten) bestimmt. Da bereits im ers-  
1315 ten Durchlauf in allen Punkten ein vollständiger Konsens (jeweils Einstimmigkeit) über die Vor-  
1316 schläge erreicht werden konnte, waren weitere Sitzungen nicht notwendig.

1317 Die präfinale Version wurde im Rahmen eines weiteren virtuellen Treffens der Autoren am 17.  
1318 Dezember 2020 final verabschiedet, im Anschluss noch einmal im Umlaufverfahren im Januar

1319 und Juli 2021 von allen Autoren bestätigt und im Anschluss an die Vorstände der beteiligten  
1320 Fachgesellschaften verschickt. Die Vorstände der jeweilig beteiligten Fachgesellschaften ha-  
1321 ben die Leitlinie diskutiert und der Veröffentlichung zugestimmt.

1322

1323 Finanzielle Förderung oder Unterstützung durch Dritte:

1324 keine

1325

### 1326 **3. Zusammensetzung der Leitliniengruppe**

1327 Leitlinienkoordination:

1328 Prof. Dr. med. Irina Böckelmann, Bereich Arbeitsmedizin, Medizinische Fakultät, Otto-von-  
1329 Guericke-Universität Magdeburg und Priv.-Doz. Dr. med. Stefan Sammito, Zentrum für Luft-  
1330 und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe, Köln und Bereich Arbeitsmedizin, Medizinische Fakultät,  
1331 Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

1332

1333 Mandatsträger:

Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. (DGAUM)	Priv.-Doz. Dr. med. habil. Stefan Sammito Prof. Dr. med. habil. Irina Böckelmann
Deutsche Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention e.V. (DGSP)	Prof. Dr. med. habil. Klaus-Michael Braumann
Deutsche Physiologische Gesellschaft e. V. (DPG)	Prof. Dr. med. habil. Andreas Deußen
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (GfA)	Prof. Dr. ing. habil. Andre Klusmann

1334

1335 Autoren:

1336 Priv.-Doz. Dr. med. habil. Stefan Sammito, Dr. med. Beatrice Thielmann, Prof. Dr. ing. habil.  
1337 Andre Klussmann, Prof. Dr. med. habil. Andreas Deußen, Prof. Dr. med. habil. Klaus-Michael  
1338 Braumann, Prof. Dr. med. habil. Irina Böckelmann

1339

1340 Ergänzende Expertin ohne Mandatsträgerschaft:

1341 Dr. med. Beatrice Thielmann, Bereich Arbeitsmedizin der Medizinischen Fakultät der Univer-  
1342 sität Magdeburg, hat als ursprüngliche Autorin der Leitlinie an der vorliegenden Aktualisierung  
1343 ohne Mandatsträgerschaft an der Literaturrecherche und Überarbeitung mitgearbeitet. An der  
1344 Konsensuskonferenz hat sie nicht teilgenommen.

1345

1346 Adressaten-/Patientenbeteiligung:

1347 In der Erstellung dieser Leitlinie wurden Beschäftigte an der Erstellung der Leitlinie nicht be-  
1348 teiltigt, da keine besondere Arbeitnehmergruppe existiert, für die diese Leitlinie ausschließlich  
1349 anzuwenden ist, sondern die aufgeführten Methoden grundsätzlich in allen Arbeitsbereichen  
1350 und bei allen Arbeitnehmern genutzt werden können. Daher ist es unmöglich eine spezielle  
1351 Interessengruppe zu berücksichtigen. Auch Arbeitgeberinnen und Arbeitgeber, die eine Nut-  
1352 zung dieser Methodik in ihrem Unternehmen in Betracht ziehen, wurden nicht an der Leitlinien-  
1353 erstellung beteiligt.

1354

1355 **4. Methodik der Leitlinienerstellung**

1356 Festlegung der Ziele:

1357 Ziel ist es, methodische Standards bei der Anwendung der Hf und HRV-Analyse in Forschung  
1358 und praxisnaher Evaluation zu etablieren. Die kritische Auseinandersetzung mit den Analyse-  
1359 methoden und der Bestimmung der Beanspruchungsparameter zur Einschätzung der stattge-  
1360 fundenen Belastung erfolgt mit dem Ziel einer verbesserten Vergleichbarkeit von Studien- bzw.  
1361 Messergebnissen bezüglich Hf und HRV in der Arbeitsmedizin und der Arbeitswissenschaft.

1362

1363 Literaturrecherche:

1364 Für die Erstellung der Leitlinie wurde auf selektive Literaturrecherchen der Mitglieder des Ex-  
1365 pertengremiums zurückgegriffen. Für die Aktualisierung der Leitlinie wurde durch zwei Mitglie-  
1366 der des Expertengremiums ergänzend eine systematische Literaturrecherche zu den in der  
1367 Zwischenzeit (2014-2019) publizierten Reviews und Metaanalysen zur HRV durchgeführt.  
1368 Hierzu wurde in der PubMed-Datenbank mittels der Schlagwörter „heart rate variability“ or „hrv“  
1369 mit dem Einschlusskriterium „Review“ gesucht. Aufgrund der Vielzahl der Treffer wurde an-  
1370 hand des durchsuchten Abstracts eine Vorauswahl der nutzbaren Literatur getroffen.

1371

1372 Konsensfindung:

1373 Es fand sowohl bei der elektronischen Konsensfindung als auch im Rahmen der Konsen-  
1374 suskonferenzen eine Konsensfindung aller beteiligten bzw. anwesenden Experten statt.

1375 Hierzu erfolgte im Rahmen der elektronischen Bearbeitung die Kommentierung der jeweiligen  
1376 Version durch jeden Mandatsträger bzw. der Expertin getrennt und die Kommentare und Än-  
1377 derungen wurden zur Abstimmung im Rahmen der virtuellen Konsensuskonferenz zusamen-  
1378 geführt. Hierzu wurde die Tischvorlage allen Experten im Vorfeld zur Verfügung gestellt.

1379

1380 Feststellung der Konsensstärke:

1381 Die Konsensstärke wurde wie folgt klassifiziert:

1382	starker Konsens	> 95% der Stimmberechtigten
1383	Konsens	>75-95% der Stimmberechtigten
1384	mehrheitliche Zustimmung	>50-75% der Stimmberechtigten
1385	Dissens	<50% der Stimmberechtigten

1386

1387 **4. Redaktionelle Unabhängigkeit**

1388 Finanzierung der Leitlinie:

- 1389
- Die Arbeit der Mandatsträger/Innen und Berater/Innen erfolgte ehrenamtlich bzw. auf  
1390 Kosten der jeweiligen Fachgesellschaft/Institution oder des jeweiligen Arbeitgebers.

- 1391 • Die finanziellen Mittel sowie die Personalmittel für die Leitlinienkoordination wurden  
1392 durch die jeweiligen Arbeitgeber bereitgestellt.
- 1393 • Alle Treffen fanden virtuell statt, so dass es hier zu keiner Bereitstellung von Räumen,  
1394 Getränken und Verpflegung gekommen ist.

1395

1396 Interessenkonflikte:

1397 Alle an der Erstellung dieser Leitlinie beteiligten Personen haben ihre Interessen schriftlich mit  
1398 Hilfe des von der AWMF bereitgestellten Formblattes erklärt. Diese Erklärungen wurden von  
1399 den Leitlinienkoordinatoren zusammengefasst, bewertet und können im Leitlinienreport einge-  
1400 sehen werden. Die Bewertung erfolgte entsprechend des AWMF-Regelwerkes. Alle an der  
1401 Leitlinie beteiligten Mandatsträger und Autoren besaßen nach Bewertung keine Interesskon-  
1402 flikte, welche für die Mitarbeit an der Leitlinienaktualisierung von Relevanz waren.

1403 Ferner wurde von der Leitliniengruppe beschlossen, dass alle Interessenskonflikte, auch die  
1404 der Personen in beratender Funktion, offengelegt werden, um hier ein hohes Maß an Trans-  
1405parenz zu gewährleisten. Die entsprechende Auflistung ist in der Anlage 1 aufgeführt.

1406

1407

1408 Stand der Leitlinie:

1409 07/2021

1410

1411 Gültigkeit und Aktualisierung der Leitlinie:

1412 Die Leitlinie ist bis spätestens 07/2026 gültig. Eine komplette Überarbeitung wird zu diesem  
1413 Zeitpunkt angestrebt. Die Koordinatoren sind für die entsprechende Initiative verantwortlich.  
1414 Zwischenzeitliche Erkenntnisse, die eine Aktualisierung einzelner Abschnitte oder Empfehlun-  
1415 gen schon vorher erforderlich machen, werden von der Leitliniengruppe beobachtet. Entspre-  
1416 chende Hinweise sollen an den Koordinator gerichtet werden, der die nötigen Bearbeitungs-  
1417 schritte einleitet. Es wird angestrebt, dadurch kontinuierlich bedarfsgerechte Aktualisierungen  
1418 vorzunehmen. Gültig ist nur die jeweils aktuelle Version gemäß dem AWMF-Register.

1419

1420 **6. Kontaktdaten**

1421 Hinweise senden Sie bitte an:

1422 Prof. Dr. med. Irina Böckelmann (Irina.Boeckelmann@med.ovgu.de)

1423 oder

1424 Priv.-Doz. Dr. med. Stefan Sammito (Stefan.Sammito@med.ovgu.de)

1425 oder

1426 die Geschäftsstelle der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V.,  
1427 Hauptgeschäftsführer: Dr. Thomas Nesseler, Jakob-Klar-Straße 4, 80796 München  
1428 (gsdgaum@dgaum.de)

1429 oder

1430 die Leitlinienbeauftragte der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin  
1431 e.V. (leitlinien@dgaum.de).



## Anlage 1: Tabelle zur Erklärung von Interessen und Umgang mit Interessenkonflikten

Im Folgenden sind die Interessenerklärungen als tabellarische Zusammenfassung dargestellt sowie die Ergebnisse der Interessenkonfliktbewertung und Maßnahmen, die nach Diskussion der Sachverhalte von der der LL-Gruppe beschlossen und im Rahmen der Konsensuskonferenz umgesetzt wurden.

**Leitlinienkoordination: Sammito, Stefan**

**Leitlinie: Herzschlagfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität in der Arbeitsmedizin und der Arbeitswissenschaft**

**Registernummer: 002/042**

	Tätigkeit als Berater*in und/oder Gutachter*in	Mitarbeit in einem Wissenschaftlichen Beirat (advisory board)	Bezahlte Vortrags- /oder Schulungstätigkeit	Bezahlte Autor*innen- /oder Coautor*innen-schaft	Forschungsvorhaben/ Durchführung klinischer Studien	Eigentümer*inneninteressen (Patent, Urheber*innenrecht, Aktienbesitz)	Indirekte Interessen	Von COI betroffene Themen der Leitlinie, Einstufung bzgl. der Relevanz, Konsequenz
Dr. Beatrice, Thielmann	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	kein Thema (keine), keine
Prof. Dr. Braumann, Klaus-Michael	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Mitglied: Präsident Deutsche Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention	kein Thema (keine), keine
Prof. Dr. Böckelmann, Irina	Nein	Nein	Firma Grüenthal GmbH(Deutschland)	Nein	Nein	Nein	Mitglied: DGAUM, Mandatsträgerin AG "Forum Arbeitsphysiologie" der DGAUM, Wissenschaftliche Tätigkeit: Methodische Fragestellungen, Anwendungsfelder der HRV  zahlreiche Publikationen zur HRV-Thematik, Beteiligung an Fort-/Ausbildung: Vortrag "Einsatz der Herzfrequenzvariabilität bei der Erfassung psychischer Belastung und in der Schmerztherapie". Ärztliche Weiter- und Fortbildung 09/2019 in Dresden)	kein Thema (keine), keine

	Tätigkeit als Berater*in und/oder Gutachter*in	Mitarbeit in einem Wissenschaftlichen Beirat (advisory board)	Bezahlte Vortrags- /oder Schulungstätigkeit	Bezahlte Autor*innen- /oder Coautor*innen-schaft	Forschungsvorhaben/ Durchführung klinischer Studien	Eigentümer*inneninteressen (Patent, Urheber*innenrecht, Aktienbesitz)	Indirekte Interessen	Von COI betroffene Themen der Leitlinie, Einstufung bzgl. der Relevanz, Konsequenz
Prof. Dr. Deußen, Andreas	Dr. Franz Köhler Chemie GmbH   Werner-von-Siemens-Str. 14-28   64625 Bensheim , Else Kröner-Fresenius-Stiftung, Am Pilgerrain 15 61352 Bad Homburg v. d. Höhe , Europäische Weltraumbehörde ESA/ ESTEC, Keplerlaan 1, 2201 AZ Noordwijk, Niederlande, Europäische Weltraumbehörde ESA/ ESTEC, Keplerlaan 1, 2201 AZ Noordwijk, Niederlande, Dr. Franz Köhler Chemie GmbH   Werner-von-Siemens-Str. 14-28   64625 Bensheim	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	kein Thema (keine), keine
Prof. Dr. Klusmann, Andre	Nein	Nein	IG Metall	Ärztekammer Nordrhein	BG Verkehr	Techniker Krankenkasse, IFB Hamburg	Mitglied: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (GfA), Mitglied: Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. (DGAUM) , Mitglied: International Commission on Occupational Health (ICOH) , Wissenschaftliche Tätigkeit: Verschiedene Publikationen zu physischen Belastungen in der Arbeitswelt u.a. im Projekt MEGAPHYS und zu den Leitmerkalmethoden	kein Thema (keine), keine
PD Dr. med. Sammito, Stefan	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	kein Thema (keine), keine

**Versionsnummer: 2.1**

**Erstveröffentlichung: 09/2014**

**Überarbeitung von: 07/2021**

**Nächste Überprüfung geplant: 07/2026**

Die AWMF erfasst und publiziert die Leitlinien der Fachgesellschaften mit größtmöglicher Sorgfalt - dennoch kann die AWMF für die Richtigkeit des Inhalts keine Verantwortung übernehmen. **Insbesondere bei Dosierungsangaben sind stets die Angaben der Hersteller zu beachten!**

**Autorisiert für elektronische Publikation: AWMF online**