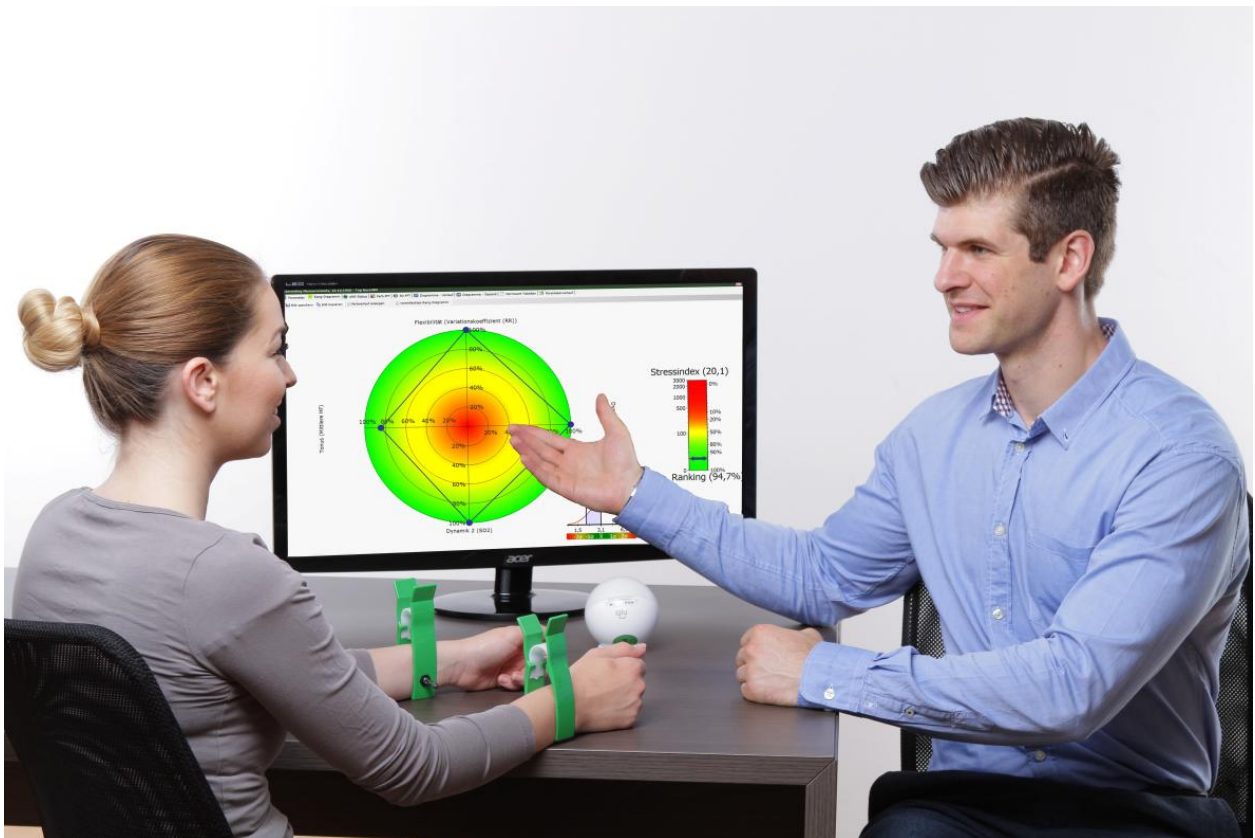


Dokumentation

zum

HRV-Scanner



BioSign
SCIENCE FOR A BETTER LIFE

BioSign GmbH
Brunnenstr. 21
D-85570 Ottenhofen
www.biosign.de
info@biosign.de

Inhalt

Vorwort.....	8
Online-Schulung/Support über TeamViewer	8
Fragen zur Interpretation.....	8
Stand der Dokumentation	8
Newsletter	8
Infomaterial für Probanden	8
Unser HRV-Konzept.....	8
Allgemeines	9
Installation der HRV-Scanner Software (HRV-Scanner und HRV-Scanner lite)	9
Deinstallation der Software	9
Lizenzierung der Software.....	9
Update-Lizenz	9
Anschluss der Hardware	9
Software starten.....	9
Untersucher aufnehmen	9
Proband aufnehmen	10
Das Hauptfenster.....	10
Statusanzeige im Hauptfenster	10
Mögliche Systemkonfigurationen	10
Netzwerkbetrieb	10
GDT Anbindung	10
Sprachwahl	10
Eigenes Logo und Angaben in den Berichten	10
Weitere wichtige Funktionen	11
Datensicherung	11
Import/Export	11
FAQ - häufige Probleme und Fragen.....	11
Ich habe eine Messung aus Versehen für den falschen Probanden gemacht.....	11
Ich habe mein Zugangspasswort (Untersucheranmeldung) vergessen	11
Beim Start der HRV-Scanner Software werde ich zur Eingabe eines Lizenz-Codes aufgefordert ..	11
Die Hardware ist mit dem PC verbunden, jedoch ist der Status bei der Messung "USB offline" ..	11
Meine HRV-Scanner Hardware zeigt kein EKG mehr	11
Signalerfassung mit der HRV-Scanner Hardware bei der Messung.....	12
Hinweise zur Verbesserung der Datenqualität bei der Auswertung.....	16
Schritt 1: Visuelle Kontrolle der Herzfrequenzkurve und des Biosignals.....	16
Schritt 2: Optimale automatische Bestimmung des Herzschlags im Biosignal	17
Schritt 3: manuelle Nachbearbeitung im Biosignal.....	18
Schritt 4: Grafisches Filtern.....	22
Schritt 5: Einstellen der Plausibilitätskontrolle und der Herzfrequenzfilter.....	24
Grenzen der HRV-Bestimmung	26
Beispiel 1: viele Extrasystolen (orange markiert)	26
Beispiel 2: Vorhofflimmern.....	27
Basis HRV-Messungen.....	28
Die Kurzzeit-HRV Messung	28

Zielparameter im Rang-Diagramm der Kurzzeit-HRV Messung	31
Flexibilität (Variationskoeffizient RR)	31
Tonus (mittlere HF)	32
Dynamik 1 (SD1)	32
Dynamik 2 (SD2)	32
SD2/SD1 Quotient	33
Stressindex	33
Atmung und HRV	34
Einfluss der Atmung auf die Ergebnisse der Kurzzeit-HRV	34
Unterscheidung Sympathikus - Parasympathikus in der Kurzzeit-HRV	35
Fazit	36
Methoden zur Messung der Atmung	37
EDR - ECG Derived Respiration (HRV-Scanner standard und HRV-Scanner lite)	37
Mechanische Bestimmung der Atmung - Atemgurt (HRV-Scanner plus)	37
Die RSA-Messung	39
Zielparameter im Rang-Diagramm der RSA-Messung	42
Flexibilität	42
Tonus	43
Dynamik	43
Warum zwei Messungen als Basis HRV	44
Der Valsalva Test (Valsalva Manöver)	44
Was hat einen negativen Einfluss auf die HRV	48
Arzneistoffe mit anticholinerg Hauptwirkung	48
Genußmittel/Drogen:	48
Chron. Krankheiten	48
Weitere Diagramme in der Auswertung	49
Poincaré Diagramm	49
Histogramm	50
Spektralanalyse	51
Farb-FFT	51
ANS-Status	53
Parameterverlauf	54
Parameterliste	55
Herzschläge berechnet aus []	55
Samplingfrequenz [Hz]	55
Messungsdauer [hh:mm:ss]	55
Anzahl Herzschläge [n]	55
Artefakt Ratio [%]	55
Befindlichkeit [%]	55
RSA-Qualität [%]	55
Messungsqualität [%]	55
Biofeedback-Qualität [%]	55
Probanden-Alter [Jahre]	55
Probanden-Größe [cm]	55
Probanden-Gewicht [kg] (initial)	55
Probanden-Geschlecht	55

Untersucher	56
Mittlere HF [1/min.]	56
Standardabweichung (St.Dev.) [ms]	56
Variationskoeffizient (HF) [%]	56
Mittlerer RR-Abstand [ms]	56
SDNN [ms]	56
PNN50 [%]	56
PNN20 [%]	56
Variationskoeffizient (RR)	56
RMSSD [ms]	57
SD1 [ms].....	57
SD2 [ms].....	57
SD2/SD1-Quotient	57
Normalisierter SD2/SD1-Quotient [σ]	58
Stressindex [Pkt.].....	60
HF-Band [Hz]	61
LF-Band [Hz].....	61
VLF-Band [Hz].....	61
Power HF-Band [ms^2]	61
Power LF-Band [ms^2]	61
Power VLF-Band [ms^2]	61
Power Total [ms^2].....	61
Rel. Power HF-Band [%]	61
Rel. Power LF-Band [%]	61
Rel. Power VLF-Band [%]	61
LF/HF Ratio	61
Rhythmisierungsgrad []	61
E-I [1/min.]	62
E/I []	62
MCR []	62
Ewing 30:15 Wert []	62
Biologisches HRV-Alter [Jahre]	62
Valsalva-Ratio	63
Alpha 1 []	63
Parameter der Atmung	64
Einfluss Atmung [%]	64
Atemfrequenz [1min.]	64
Atemstress []	64
Atemvariabilität []	64
Pulswellenlatenz [ms].....	64
HRV-Biofeedback	65
HRV-Biofeedback	65
Online Spektrum.....	66
Rhythmisierung	66
Grundlagen des HRV-Biofeedbacks	67

Vom Chaos zur Ordnung	67
Atmung ist der Schlüssel zur Kohärenz	67
Wie Sie erfahren, ob Atmung und Herzschlag im Takt (rhythmisiert) sind	68
Wie Sie die Kohärenz durch Biofeedback verbessern	68
Was tun, wenn die Kohärenz immer niedrig ist?	68
Was bedeutet der Ballon in der Mitte des Bildschirms?	69
Wie oft und wie lange soll man mit dem HRV-Biofeedback üben?	69
Wichtige Einstellungen im HRV-Biofeedback.....	70
Atemrhythmus	70
Übungsdauer.....	70
Vorgabewert Rhythmisierungsgrad (Schwierigkeitsgrad der Übung)	70
Qiu und HRV-Scanner.....	71
Der Qiu	71
Qiu-Konfigurator.....	71
Qiu mit dem PC verbinden.....	71
Zuordnen eines Qius zu einem Probanden	71
Konfiguration der Atemanzeige am Qiu	72
Festlegen der Übungsschwierigkeit	72
Festlegen der Übungsdauer	72
Konfiguration der Helligkeit des Biofeedbacks	72
Weitere Zusatzfunktionen	72
Datum/Uhrzeit des Qiu stellen	72
Qiu-Messungsspeicher löschen.....	72
Qiu Signal Check.....	73
Ohrclip als Alternative.....	73
Qiu Messungen	73
Festlegen des Übungsplans nach Wochentag und Tageszeit	73
Verwaltung der Qiu-Messungen.....	73
Nachbearbeiten der Messung.....	74
Übersicht über den Übungserfolg mit statistischer Auswertung.....	74
Statistische Auswertung:	74
Filtereinstellungen.....	74
Übersicht über die Übungs-Compliance, Compliance-Index.....	75
HRV-Monitoring mit dem Qiu	76
Probanden in den Qiu einweisen	76
Wie schaltet man den Qiu ein/aus?.....	76
Wie kann ich den Setting-Modus verlassen, wenn dieser beim Einschalten versehentlich aktiviert wurde?	76
Welche Halteposition ist geeignet?	76
Welche Sensorposition ist geeignet?	76
Wie erkenne ich eine ungeeignete Sensorposition?	76
Das optische Biofeedback bleibt permanent auf rot bzw. grün, egal was ich machte?.....	77
Was bedeutet das wandernde blaue LED-Licht am Äquator des Qiu?.....	77
Der Qiu leuchtet beim Einschalten hell auf, warum?	77
Im Anschluss an das helle Aufleuchten beim Einschalten blinkt der Qiu seit neustem einmal rot auf, warum ?	77
Im Anschluss an das helle Aufleuchten beim Einschalten blinkt der Qiu dreimal rot auf und schaltet dann ab, warum?	77
Muss Uhrzeit und Datum im Qiu nach Wechseln der Batterie neu gestellt werden?	77
Wie kann der Proband die Batterien wechseln?	77
Weitere HRV-Messungen.....	78
Liegen/Stehen Messungen	78
Langzeit-Messungen.....	79

Langzeitauswertung - Schritt 1 - Diagramme	80
Langzeitauswertung - Schritt 1 – Ansicht	80
Langzeitauswertung - Schritt 1 – EKG	81
Langzeitauswertung - Schritt 1 – Filter	82
Poincare-Filter	83
Langzeitauswertung - Schritt 1 - Tabellen	84
Langzeitauswertung - Schritt 1 - Protokoll	84
Langzeitauswertung - Schritt 2	85
Langzeitauswertung - Schritt 2 – HRV-Verlauf	86
Erweiterte 24h-Analyse	87
Detaillierte Beurteilung der Messqualität	87
Auffälligkeiten in der HRV	90
Spiderweb-Diagramme mit Normwertperzentilen	91
Beurteilung der nächtlichen Erholung	93
Spezifische Leistungsindizes für Sympathikus und Parasympathikus	94
„Functional HRV Age“ und „Premature Aging (PMA)“	95
Funktionelles HRV-Alter als Risikoparameter	98
Schlaf	99
Das Arbeiten mit Templates im HRV-Scanner	102
Templates anlegen	102
Auswerten mit Templates	103
Summary Report	105
Erstellen eines Summary Reports	105
Ergebnis	107
Definition des Scoring-Algorithmus eines Summary Reports	108
Schritt 1: Auswahl der Einzelparameter	108
Schritt 2: Festlegen der Bewertungskriterien für jeden Einzelparameter (Punktwerte definieren)	108
Schritt 3: Bewertungskriterien für einen Einzeltest	109
Schritt 4: Bewertung der kompletten Funktionsanalyse	109
Importmöglichkeiten	110
ASCII	110
ASCII Rohsignal	110
EDF - European Data Format	110
eMotion HRV	110
Polar	110
Suunto	110
SRM-Langzeitmessung	110
Möglichkeiten der EKG-Ableitung	111
Ableitung eines 1-Kanal EKG mit Klammern	111
Ableitung eines 1-Kanal EKG mit Klebeelektroden	112
Ableitung eines 3-Kanal EKG (nur HRV-Scanner Hardware plus)	112
Technisches Handbuch HRV-Scanner Hardware plus	113
Atemsensor vorbereiten und anlegen	113
Das Valsalva-Drucksensor Set	115
Technisches Handbuch HRV-Scanner Hardware standard	116
Wartung und Service	116

Gewährleistung	116
Technische Details	116
PC-Hardware-Voraussetzungen.....	117
Urheberrecht.....	117
Haftung	117
Gewährleistung	117
Anhang - Literatur.....	117
Literatur zum Parameter SD2/SD1	117

Vorwort

Vielen Dank für Ihr Interesse, sich mit unserem HRV-Scanner System zu beschäftigen. Als Firma BioSign sind wir seit über 20 Jahren im Bereich Analyse des vegetativen Nervensystems über die Herzratenvariabilität (HRV) tätig. Die HRV-Scanner Software als Teil unseres HRV-Konzepts spiegelt unser im Laufe der Jahre gewonnenes Knowhow wieder und ist deshalb an manchen Stellen sehr umfangreich. Wir stehen Ihnen jederzeit gerne für Fragen zur Verfügung und unterstützen Sie gerne bei der Arbeit mit unserem Produkt.

Online-Schulung/Support über TeamViewer

Beim Kauf eines HRV-Scanner, bzw. bei Nutzung unserer kostenlosen Demostellung bieten wir Ihnen online Support bzw. Einschulung per TeamViewer® an. Sie brauchen dazu lediglich einen PC mit Internetanschluss auf dem die HRV-Scanner Software installiert ist und ein Telefon. Vereinbaren Sie bei Interesse einen Termin mit uns. Darüber hinaus bieten wir Seminare und Ganzttagsschulungen an. Mehr Infos dazu finden Sie auf unserer Homepage unter **www.biosign.de**

Fragen zur Interpretation

Sie haben Fragen zur technischen Qualität Ihrer HRV-Messung , oder zur Interpretation der Ergebnisse? Kontaktieren Sie unseren kostenlosen Support per E-Mail (info@biosign.de). Für einen schnellen und kompetenten Support haben wir in den HRV-Scanner eine Exportmöglichkeit von Messungen eingebaut. So können wir uns die Messungen ansehen und Ihnen Tipps und Interpretationshilfen geben.

Stand der Dokumentation

Diese Dokumentation repräsentiert den Stand der HRV-Scanner Software bei Druck des Exemplars in Ihren Händen. Da wir jedoch selbst wissenschaftlich arbeiten und immer bemüht sind den aktuellen Stand der Wissenschaft in unsere Produkte einfließen zu lassen, gibt es immer wieder Änderungen und Neuerungen in der Software. An allen neuen Features partizipieren Sie uneingeschränkt über unser online Software-Update System. Änderungen in der Software bedingen aber auch eine Notwendigkeit diese Dokumentation von Zeit zu Zeit zu aktualisieren. Deshalb finden Sie zusammen mit den Updates in Ihrer Software unter "Hilfe" immer eine aktuelle Version dieser Dokumentation als PDF-Datei.

Newsletter

Möchten Sie immer über Neuerungen informiert sein? Dann tragen wir Sie gerne zu unserem Newsletter ein. Das passiert normalerweise beim Kauf eines unserer Systeme automatisch. Sie erhalten dann unverbindlich unseren Newsletter, von dem Sie sich auch jederzeit problemlos wieder abmelden können. Der Newsletter informiert über neue Software-Features oder sonstige für HRV-Scanner Anwender wichtige Neuerungen.

Infomaterial für Probanden

Benötigen Sie Infomaterial für Ihre Patienten/Klienten? Wir bieten Flyer, Poster, Info-Broschüren, Infomappen und vieles mehr an. Mehr Infos dazu finden Sie in unserem Online-Shop unter **www.biosign.de**

Unser HRV-Konzept


Neben dem HRV-Scanner bieten wir auch HRV-Biofeedbackgeräte für Ihre Patienten/Klienten an. Damit ermöglichen wir Ihnen ein HRV-Monitoring zur Überwachung Ihrer Therapie, bzw. Intervention. Die Messungsdaten werden in den Endgeräten oder über eine Internetcloud zugänglich und Trends können berechnet werden.

Bitte beachten Sie, dass nicht alle in dieser Dokumentation aufgeführten Features in der HRV-Scanner lite Software zur Verfügung stehen.

Allgemeines

Installation der HRV-Scanner Software (HRV-Scanner und HRV-Scanner **lite**)

Laden Sie bitte das aktuelle Setup von unserer Homepage (www.biosign) herunter. Das Setup finden Sie unter: **HRV-Scanner** -> **Downloads** ->

<p>Download – Setup für HRV-Scanner und HRV-Scanner lite</p> <p> aktuelles Setup HRV-Scanner/HRV-Scanner lite als EXE-Datei für Windows 7/8/10</p>	<p>Führen Sie das Programm HS_Setup.exe aus. Um Probleme mit der Windows Benutzerverwaltung zu vermeiden, empfehlen wir eine Installation wie im Setup vorgeschlagen unter C:\HRVScanner</p>
--	--

Deinstallation der Software

Deinstallieren Sie die HRV-Scanner Software über die Windows Systemsteuerung.

Lizenzierung der Software

Die Software-Lizenz befindet sich auf dem blauen HRV-Scanner Dongle, der an USB angesteckt werden muss, um die Software auszuführen. Alternativ besteht auch die Möglichkeit einer Online-Lizenz über das Internet. *Hinweis: Sie können die Software auf beliebig vielen PCs installieren. Die Software läuft jeweils da, wo der blaue HRV-Scanner Dongle (Lizenz) angesteckt ist.*

Update-Lizenz

Die HRV-Scanner Software läuft unbegrenzt. Beim Kauf erhalten Sie 365 Tage Update-Lizenz. Damit können Sie an allen Weiterentwicklungen der HRV-Scanner Software kostenlos profitieren. Die Software überprüft in Intervallen (festzulegen in der Systemsteuerung der HRV-Scanner Software), ob neue Updates vorhanden sind und lädt diese dann vom BioSign-Server herunter und installiert sie.

Eine Verlängerung der Update-Lizenz nach Ablauf ist jederzeit möglich. Nutzen Sie dazu die Bestellmöglichkeit in der HRV-Scanner Software.

Anschluss der Hardware

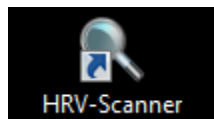
Verbinden Sie die HRV-Scanner Hardware mit dem USB-Kabel mit Ihrem PC. Die HRV-Scanner Software sollte nicht gestartet sein. Warten Sie, bis die Treiber von Windows installiert sind und Windows meldet, dass das Gerät verwendet werden kann.

Software starten

Stecken Sie zuerst Ihren HRV-Scanner Dongle in einen freien USB-Port. Falls Sie keinen freien USB-Port mehr haben, empfehlen wir einen USB-Hub zu verwenden (im Lieferumfang des HRV-Scanner enthalten).

Starten Sie die HRV-Scanner Software durch Doppelklick mit der Maus auf das HRV-Scanner Symbol. Je nachdem, welche Version Sie erhalten haben können Sie entweder nur die HRV-Scanner **lite** Software oder die HRV-Scanner und die HRV-Scanner **lite** Software ausführen.

HRV-Scanner Software
Vollversion mit allen Features



HRV-Scanner **lite** Software
Einsteiger-Version für Windows-Tablet und PC



Tipp: Zu Beginn kann die **lite** Version den Einstieg wesentlich erleichtern, da der Benutzer hier durch die Software und die Messungen geführt wird.

Untersucher aufnehmen

Beim ersten Start der HRV-Scanner Software müssen Sie zuerst einen neuen Untersucher anlegen. Geben Sie die Daten des neuen Untersuchers ein. Das Passwort ist optional und sollte eingegeben werden, wenn ein

Datenbestand vor unbefugten Zugriffen geschützt werden soll. Nach der Aufnahme eines neuen Untersuchers erscheint dieser im Anmeldefenster. Drücken Sie „OK“ um den Untersucher jetzt am System anzumelden.

Proband aufnehmen


Bevor eine Messung durchgeführt werden kann, müssen zuerst die Probandendaten eingegeben werden. Gehen Sie hierzu ins Hauptmenü und drücken Sie „Proband“ und dann „Proband neu aufnehmen“. Nach der Aufnahme eines Probanden können Sie die erste Messung durchführen.

Das Hauptfenster

Nach der Anmeldung des Untersuchers gelangen Sie in das Hauptfenster des HRV-Scanners. Von hier aus erreichen Sie alle weiteren Programmfeatures.

Statusanzeige im Hauptfenster

Im Hauptfenster rechts unten sehen Sie die Statusanzeige

HRV-Scanner	Study	←	Version der HRV-Scanner Software (Compact, Professional oder Study)
Version	V 3.04.01	←	Softwareversion
Dongle-Nr.	1721449808	←	Seriennummer Ihres angeschlossenen Dongles, bzw. Info zur Online-Lizenz
Update-Lizenz	es verbleiben 365 Tage	←	Verbleibende Zeitraum für kostenlose Updates aus dem Internet. Neue Updates vorhanden?
Netzwerk	Lokal	←	Lokal- oder Netzwerkbetrieb
Probandenmodus aktiv  100%			

Außerdem sehen Sie in der Statuszeile unten welcher Untersucher angemeldet ist, ob Sie sich im Probanden oder Studienmodus befinden und die aktuelle Größen-Skalierung der Software.

Mögliche Systemkonfigurationen

Netzwerkbetrieb

Es besteht die Möglichkeit, die HRV-Scanner Software im Netzwerkbetrieb laufen zu lassen. So können Daten zentral abgelegt werden und von mehreren Clients verwendet werden (Untersuchungsraum, Besprechungszimmer,...)

GDT Anbindung

Eine Übernahme der Probandendaten aus einer Praxis-Software ist über GDT möglich.

Sprachwahl

Die HRV-Scanner Software ist in mehreren Sprachen verfügbar. Wählen Sie die gewünschte Sprache in den Systemeinstellungen aus.

Eigenes Logo und Angaben in den Berichten

Sie können Ihr Logo und weitere Angaben in der Kopfzeile der Berichte einbinden

Weitere wichtige Funktionen

Datensicherung

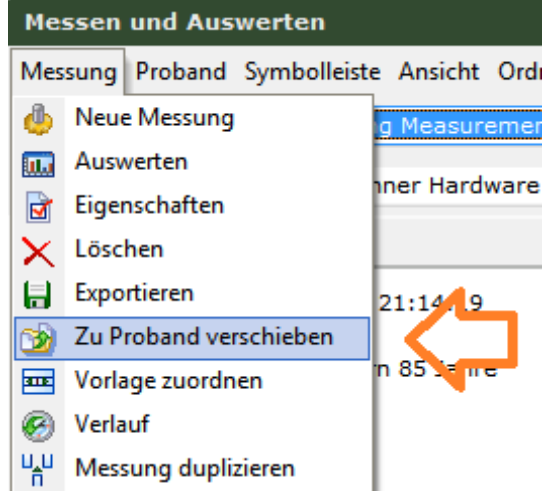
Wir empfehlen regelmäßig den Datenbestand zu sichern. Dazu gibt es eine eigene Funktion in der HRV-Scanner Software. **Tipp:** Weiterhin empfehlen wir von Zeit zu Zeit das gesamte HRV-Scanner Verzeichnis incl. aller Unterverzeichnisse auf einen externen Datenträger zu sichern.

Import/Export

Die HRV-Scanner Software verfügt über ein Export/Import System, mit dem Messungen samt allen Angaben zum Probanden zwischen den Systemen ausgetauscht werden können. Nutzen Sie dies auch für den Support. Sie können Messungen mit anonymisierten Probandendaten per Mail an uns senden und evtl. Fragen dazu schreiben.

FAQ - häufige Probleme und Fragen

Ich habe eine Messung aus Versehen für den falschen Probanden gemacht

 <p>The screenshot shows the 'Messen und Auswerten' menu. The 'Zu Proband verschieben' option is highlighted with an orange arrow. Other options include 'Neue Messung', 'Auswerten', 'Eigenschaften', 'Löschen', 'Exportieren', 'Vorlage zuordnen', 'Verlauf', and 'Messung duplizieren'.</p>	<p>Messungen können zu einem anderen Probanden verschoben werden. Nutzen Sie dazu die Funktion "Zu Proband verschieben" im Titelmnü des Fensters "Messen und Auswerten".</p> <p>Wählen Sie im angezeigten Fenster den Proband, zu welchem die Messung verschoben werden soll.</p>
--	---

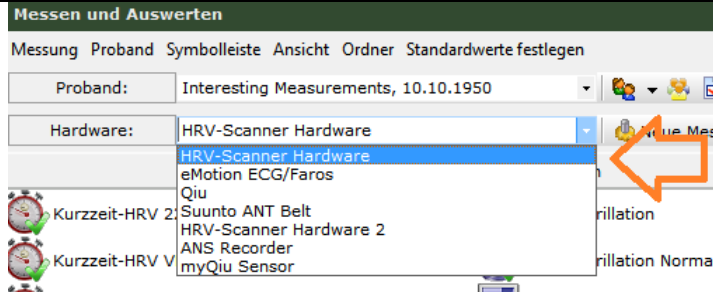
Ich habe mein Zugangspasswort (Untersucheranmeldung) vergessen

Kontaktieren Sie uns per Mail und senden uns die Datei "HRVScanner.mdb" aus dem HRV-Scanner Verzeichnis per Mail zu. Wir können die verschlüsselte Datei lesen und Ihnen Ihr Passwort mitteilen.

Beim Start der HRV-Scanner Software werde ich zur Eingabe eines Lizenz-Codes aufgefordert

Steckt Ihr USB Dongle am PC? Evtl. wird der Dongle nicht erkannt. Dieses Problem kann oftmals durch die Verwendung des im Lieferumfang befindlichen USB-Hubs gelöst werden.

Die Hardware ist mit dem PC verbunden, jedoch ist der Status bei der Messung "USB offline"

 <p>The screenshot shows the 'Messen und Auswerten' window. The 'Hardware' dropdown menu is open, and 'HRV-Scanner Hardware' is selected, indicated by an orange arrow. Other hardware options listed include 'eMotion ECG/Faros', 'Qiu', 'Suunto ANT Belt', 'HRV-Scanner Hardware 2', 'ANS Recorder', and 'myQiu Sensor'.</p>	<p>Haben Sie vor dem Start der Messung die richtige Hardware ausgewählt?</p>
---	--

Meine HRV-Scanner Hardware zeigt kein EKG mehr

Haben Sie noch ein Gerät aus der ersten Generation (Batteriefach auf der Unterseite). Dann sollten Sie die Batterien gegen neue und geladene Batterien austauschen.

Signalerfassung mit der HRV-Scanner Hardware bei der Messung

Die HRV-Scanner Software ist mit mehreren Endgeräten zur Signalerfassung kompatibel. Hier finden Geräte über USB und Bluetooth Anwendung. In diesem Kapitel wird die Erfassung eines 1-Kanal EKG und der Pulswelle mit der HRV-Scanner Hardware erklärt.

Hinweis: Wir empfehlen schon bei der Messung auf ein gutes Biosignal zu achten. Das erspart die Nachbearbeitung bei der Auswertung.



Verbinden Sie die einzelnen Hardware-Elemente, wie auf dem Bild dargestellt. Falls sich die Bananenstecker an den Klammern nicht einstecken lassen, drehen Sie bitte das oben liegende Rädchen weiter auf. Stecken Sie das USB-Kabel in einen freien USB-Port an Ihrem PC. Sollte kein freier USB-Port mehr zur Verfügung stehen, verwenden Sie bitte den beiliegenden USB-Hub.

Beim ersten Verbinden der Hardware mit dem PC werden die Treiber installiert. Bitte warten Sie bis dieser Vorgang abgeschlossen ist!

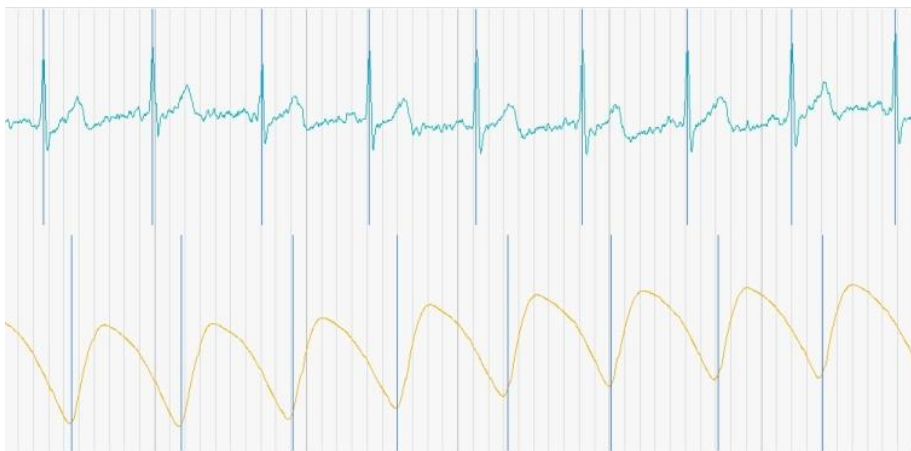


Legen Sie dem Probanden die EKG-Klammern an. Abweichend vom Bild sollte in den meisten Fällen das rote Kabel an der rechten Hand zum Liegen kommen. Entscheidend ist, dass die R-Zacke im EKG nach oben zeigt. Zeigt die Zacke nach unten, sollten die Klammern rechts/links getauscht werden. Das untergelegte EKG-Papier sollte mit Wasser angefeuchtet werden. Alternativ kann auch Elektroden-Gel verwendet werden.

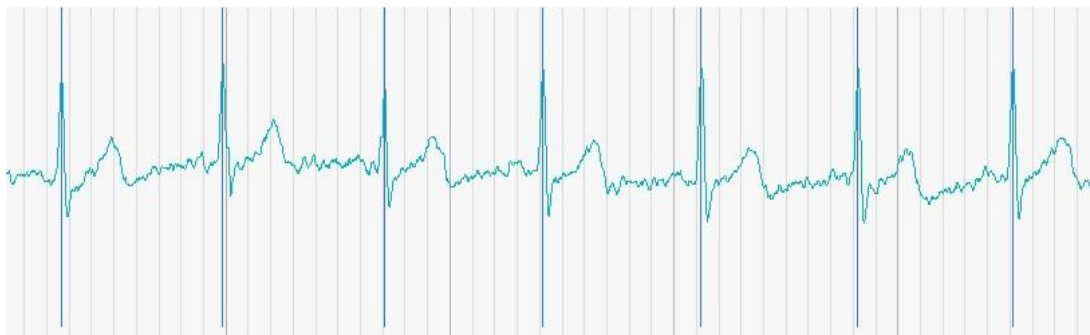
Weitere Möglichkeiten finden Sie im Kapitel: **Möglichkeiten der EKG-Ableitung**



Legen Sie dem Probanden den Ohrclip wie auf dem Bild gezeigt an. Befestigen Sie die silberne Halteklammer des Kabels z.B. am Hemdkragen oder Halsausschnitt der Kleidung.



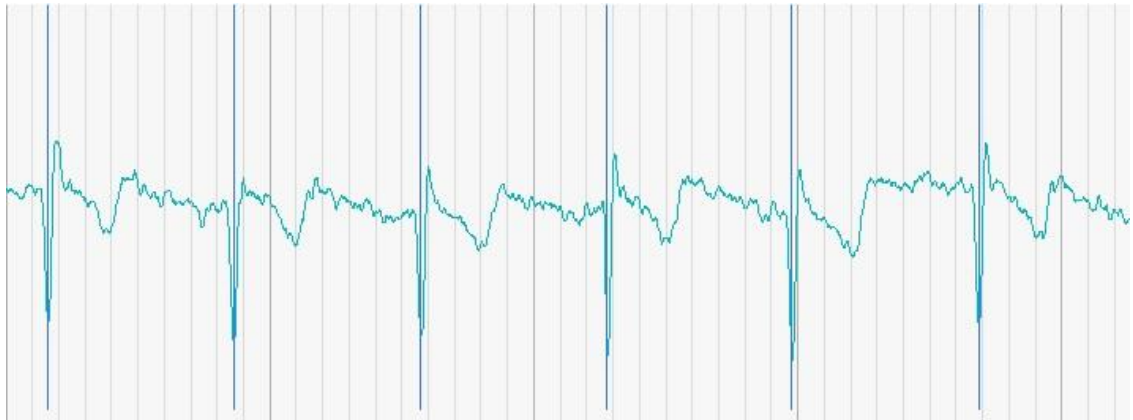
Von der HRV-Scanner Software werden grundsätzlich zwei Arten von Biosignalen erfasst. Das EKG (Abnahme mit Klammern oder Elektroden) und die Pulswelle (Abnahme mit dem Ohrclip). Bei der Verwendung alternativer Hardware stehen Ihnen, je nachdem, was für eine Hardware Sie verwenden entweder beide oder nur eine der beiden Signalquellen zur Verfügung. So liefert z.B. die HRV-Scanner Hardware EKG und Pulswelle, das Faros 180 nur EKG, der Qiu und die myQiu Hardware nur Pulswelle.



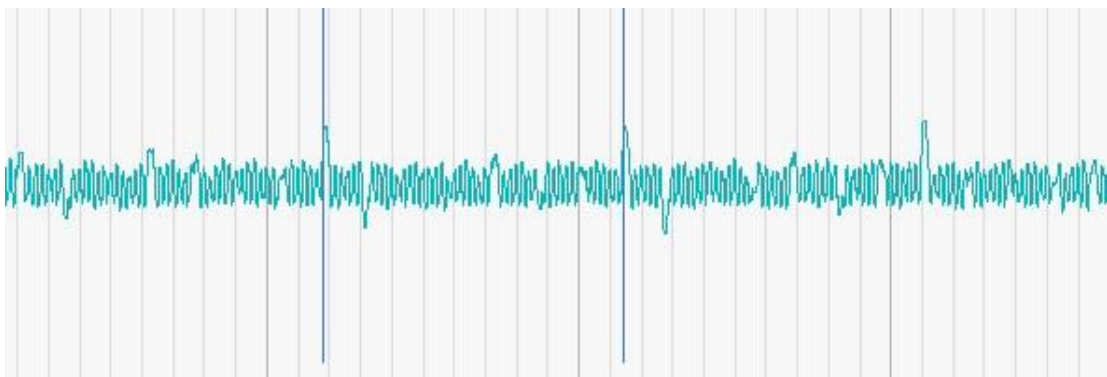
Hier ein Beispiel für ein optimale EKG Signal. Die spitzen R-Zacken sind deutlich zu erkennen und nach oben gerichtet. Die Grundlinie des EKG ist wenig verrauscht und die R-Zacken heben sich in der Größe klar vom Rest des Signals ab. Der senkrechte Strich in den R-Zacken zeigt an, dass die Software hier einen Herzschlag erkannt und markiert hat.

Die Form des EKGs mit seinen spitzen R-Zacken ermöglicht es den Zeitpunkt eines Herzschlages sehr genau festzulegen. Die Pulswelle ist ein eher weiches, schwingungsförmiges Signal. Hier ist das Festlegen des Zeitpunkts eines Herzschlages schwieriger und etwas ungenauer. Weiterhin unterliegt die Pulswelle der Regulation der Gefäßstrecke, was die Abweichung zur Genauigkeit des EKG evtl. zusätzlich erhöht.

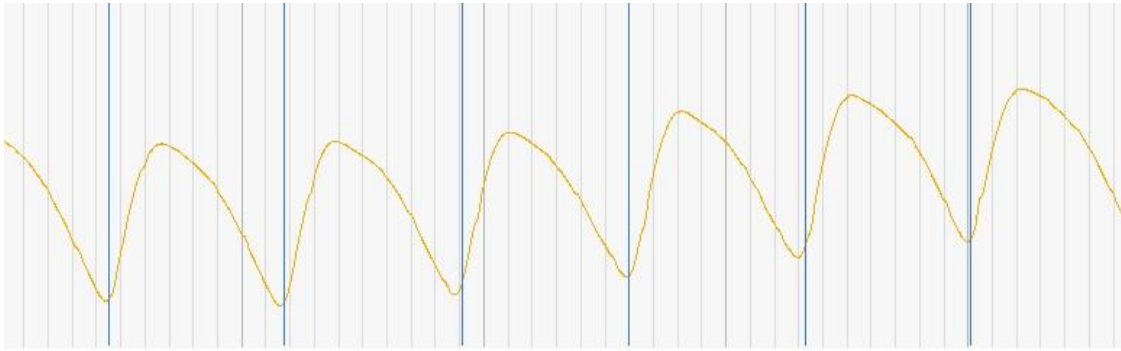
Daraus folgt, dass man für eine HRV-Messungen (RSA-Test, Kurzzeit-HRV) besser das EKG (und evtl. zusätzlich die Pulswelle) verwenden sollte. Für das HRV-Biofeedback ist die Genauigkeit der Pulswelle alleine ausreichend. Auch wegen der einfacheren Anwendung in der Praxis kann man die Pulswelle bedenkenlos zum HRV-Biofeedback benutzen.



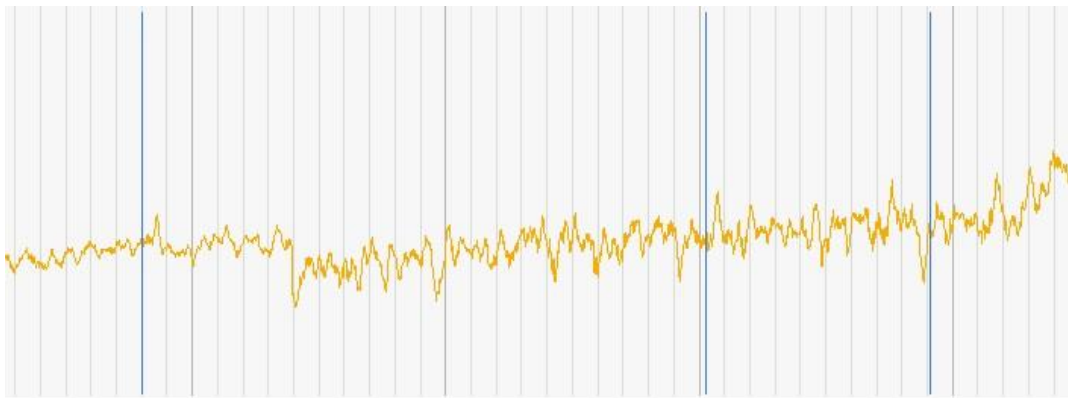
Hier ein Beispiel für ein nicht optimales EKG-Signal. Die hohen und spitzen R-Zacken sind zwar deutlich zu erkennen jedoch nach unten gerichtet. Man spricht hier von einem verpolten EKG. Dies kann sehr einfach durch Vertauschen (links gegen rechts) der Elektroden korrigiert werden.



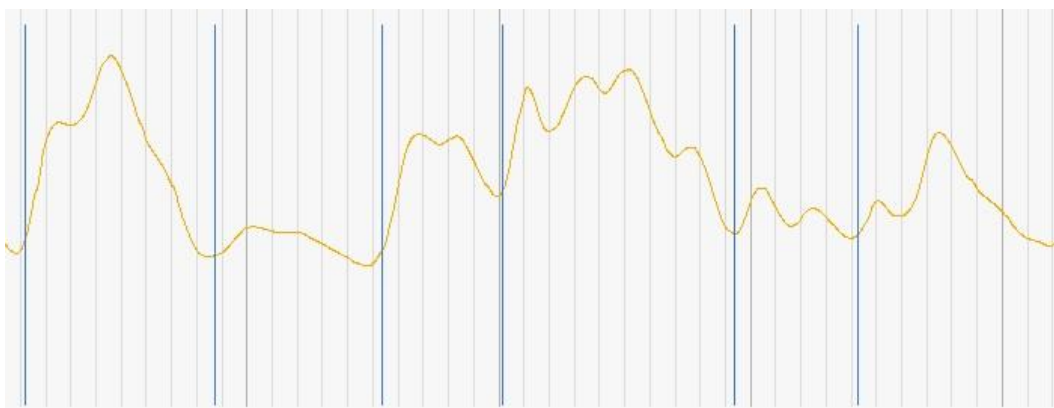
Hier ein Beispiel für ein unbrauchbares EKG-Signal. Die R-Zacken sind nicht mehr deutlich zu erkennen und in ihrer Höhe nur unwesentlich größer als das Grundrauschen. Man spricht hier von einem verrauschten EKG. Ursache ist entweder eine Störquelle (z.B. Leuchtstoffröhre, defektes Ladegerät an einem Notebook) oder eine unzureichende elektrische Leitfähigkeit an den Elektroden. Zur Behebung sollte die Störquelle entfernt werden (Lampe ausschalten, Ladegerät des Notebooks abziehen) und angefeuchtetes Elektrodenpapier unter die Klammern gelegt werden.



Eine gute Pulswelle sollte so aussehen. Das Signal gleicht einer Sinusschwingung. Die Nulllinie ist gut zu erkennen. Die großen Schwingungen entsprechen dem Blutvolumenfluß durch die Blutgefäße. Die blauen senkrechten Linien markieren einen erkannten Herzschlag.



Hier ein Beispiel für eine schlechte Pulswelle. Das Signal ist sehr klein und die einzelnen Volumenpulse sind nicht genau zu erkennen. Zur Behebung sollte der Ohrclip an einer anderen Stelle am Ohrläppchen oder am anderen Ohrläppchen positioniert werden. Es kann auch hilfreich sein, das Ohrläppchen vor dem Anlegen des Ohrclips etwas zu reiben, um den Blutfluß zu erhöhen.



Hier ein Beispiel für ein eigentlich gutes Pulssignal, das jedoch durch Bewegung des Probanden verwackelt wurde. Um das zu vermeiden, sollte der Proband den Kopf während des Biofeedbacks/der Messung stets ruhig halten. Abhilfe schafft auch, wenn das Kabel mit der silbernen Klammer am Hemdkragen o.ä. des Probanden fixiert wird.

Hinweise zur Verbesserung der Datenqualität bei der Auswertung

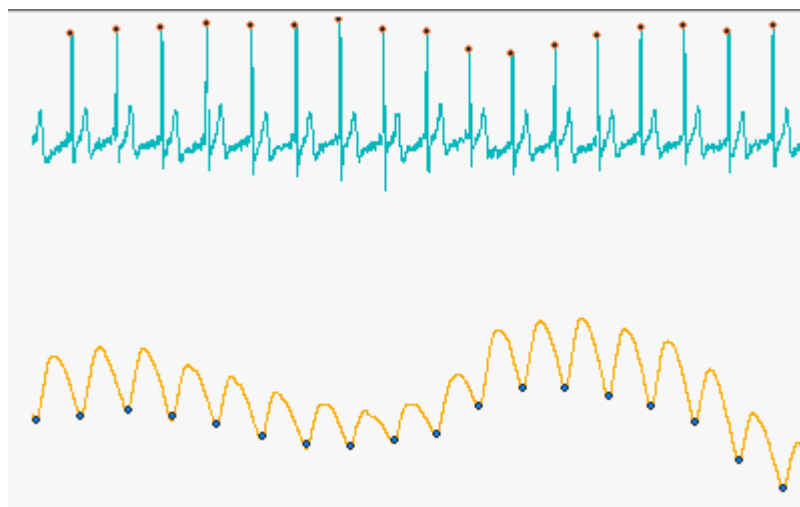
Die Registrierung der Herzratenvariabilität (HRV) bietet wertvolle Informationen über den Zustand der autonomen Regulation. Voraussetzung ist allerdings eine sehr hohe Qualität der Messung, sprich ein sehr sauberes Erfassen der Herzfrequenzkurve. Es gibt kaum eine medizinische Methode, die so empfindlich gegenüber Störungen und Artefakte ist, wie die HRV-Bestimmung. Bereits ein einziges Artefakt in einer 5 minütigen Kurzzeit-HRV kann bestimmte HRV-Parameter (z.B. RMSSD) um mehr als 100% verfälschen.

Aus diesem Grund ist die genaue Kontrolle der Herzfrequenzkurve und gegebenenfalls ein sorgfältiges Entfernen aller Artefakte die Grundlage für eine valide HRV-Auswertung. Dabei hat sich das nachfolgende Vorgehen bewährt:

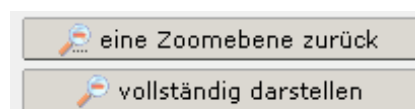
- **Schritt 1: Visuelle Kontrolle der Herzfrequenzkurve und des Biosignals**
- **Schritt 2: Optimale automatische Bestimmung des Herzschlags im Biosignal**
- **Schritt 3: manuelle Nachbearbeitung im Biosignal**
- **Schritt 4: Grafisches Filtern**
- **Schritt 5: Einstellen der Plausibilitätskontrolle und der Herzfrequenzfilter**

Schritt 1: Visuelle Kontrolle der Herzfrequenzkurve und des Biosignals

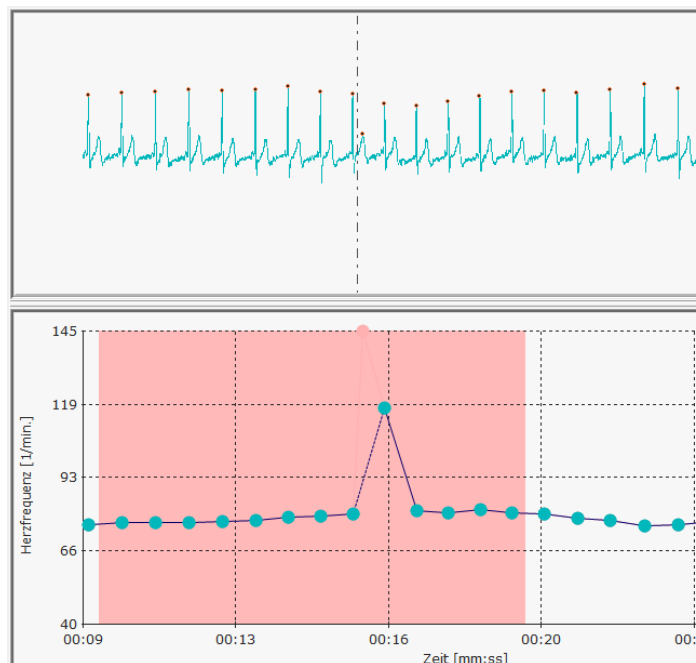
Sowohl im EKG, als auch im Pulswellensignal führt der Herzschlag zu charakteristischen Signalschwankungen, die eine genaue Zeitbestimmung der Herzaktivität erlauben. Beim EKG ist es die R-Zacke, in der Pulswelle der Beginn des steilen Anstiegs



Der HRV-Scanner markiert erkannte R-Zacken bzw. erkannte Pulswellen mit einem kleinen orangen, bzw. blauen Punkt (siehe Bild). Es empfiehlt sich, einen oder mehrere Bereiche des EKGs/Pulswelle zu vergrößern und optisch zu prüfen, ob die blauen Markierungen an der richtigen Stelle sitzen. Zum Vergrößern ziehen Sie mit gedrückter linker Maustaste einen Rahmen um den gewünschten Bereich. Die ursprüngliche Ansicht erhalten Sie durch Drücken der folgenden Schalter:

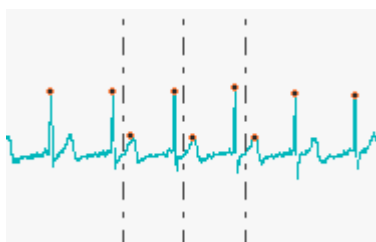


Falsch gesetzte Markierungen führen zu hohen Sprüngen in der Herzfrequenzkurve, die sich in der Regel deutlich vom übrigen Kurvenverlauf abheben (siehe Bild).

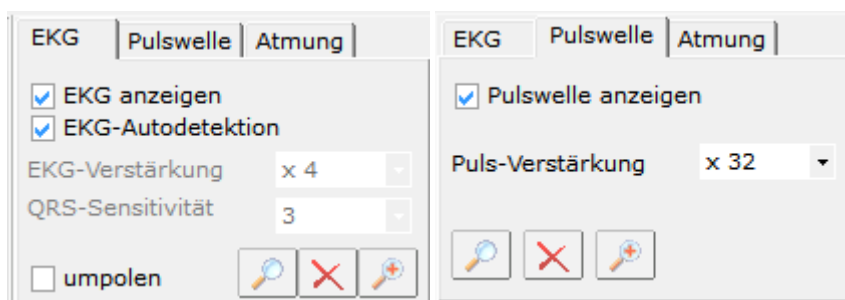


Schritt 2: Optimale automatische Bestimmung des Herzschlags im Biosignal

Sitzen die Markierungen an der falschen Stelle oder fehlen sie regelmäßig, sollte eine neue automatische Detektion der Herzschläge durchgeführt werden. Im nachfolgenden Beispiel sieht man im EKG, dass nicht nur die R-Zacke, sondern auch oft die nachfolgende T-Welle markiert wurde.



Daraus errechnet sich eine falsche Herzfrequenz von über 200 Schlägen pro Minute! Offensichtlich ist die Empfindlichkeit der automatischen Herzschlagdetektion zu hoch eingestellt. Um die Empfindlichkeit zu ändern, können Sie die Einstellungen für Signalgröße und Sensitivität anpassen (siehe Bild).



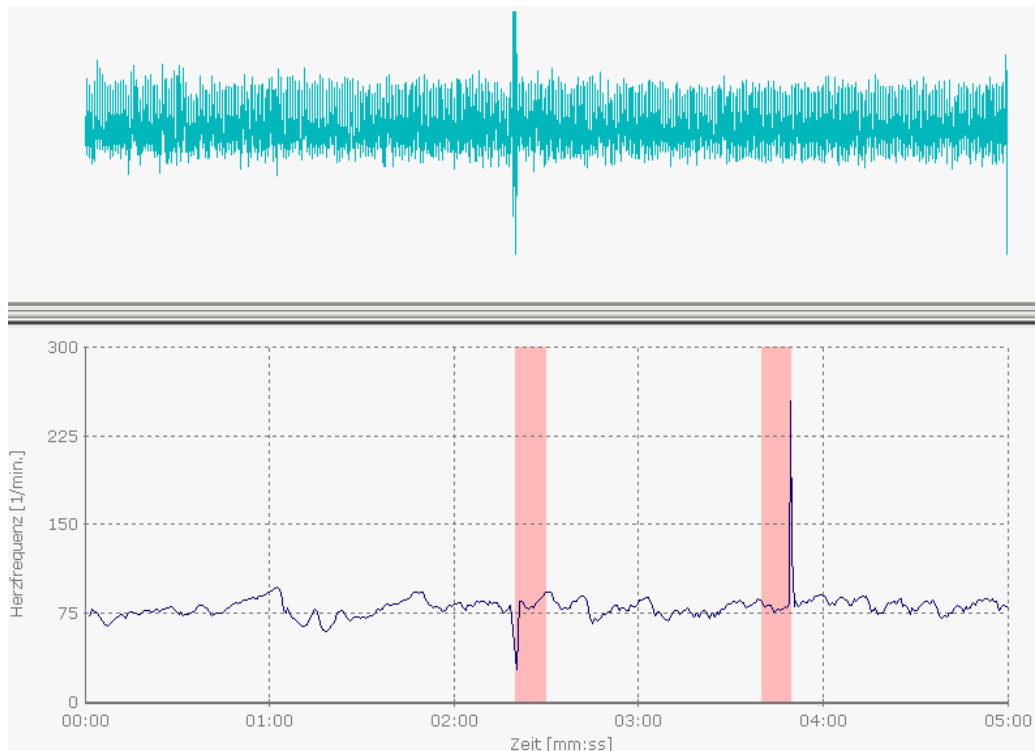
Verändern Sie hier die Einstellungen für das Biosignal, das Sie bearbeiten wollen. Beim EKG ist standardmäßig die Autodetektion aktiviert. Falls diese kein befriedigendes Ergebnis liefern kann, sollten Sie die Autodetektion deaktivieren und die Einstellungen für Verstärkung und QRS-Sensitivität manuell vornehmen.

Durch drücken des Schalters mit dem Lupensymbol wird eine komplette Neudetektion der Herzschläge mit den veränderten Einstellungen durchgeführt.

Überprüfen Sie das Ergebnis optisch und wiederholen Sie die Prozedur gegebenenfalls, bis Sie auf diesem Weg keine Verbesserung der Datenqualität mehr erzielen können. In diesem Fall gehen Sie zum nächsten Schritt und arbeiten die verbleibenden Artefakte manuell nach.

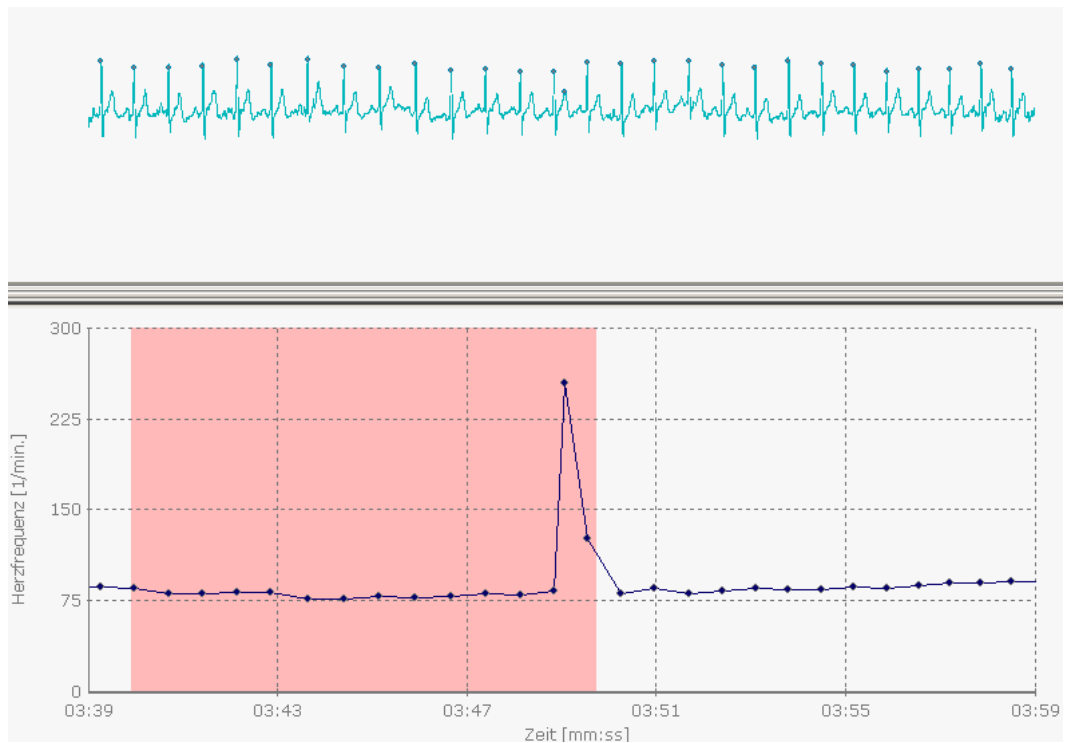
Schritt 3: manuelle Nachbearbeitung im Biosignal

Bei kürzeren Messungen (< 10 Minuten) und auch längeren Messungen mit wenig Artefakten sollten diese bevorzugt manuell entfernt werden.



In dem gezeigten Beispiel wurden vom Quality Wizard zwei Artefakte bemängelt, einen auffälligen Ausschlag der Herzfrequenz nach unten, und einen auffälligen Ausschlag der Herzfrequenz nach oben.

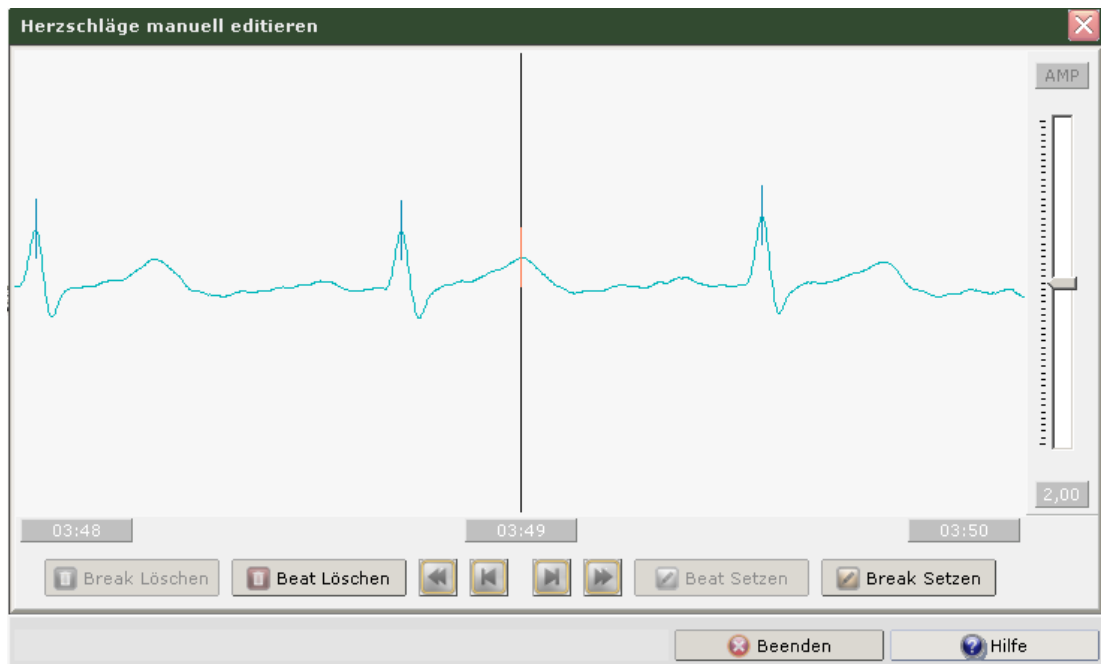
Durch Zoomen mit der linken Maustaste wird das Artefakt vergrößert:



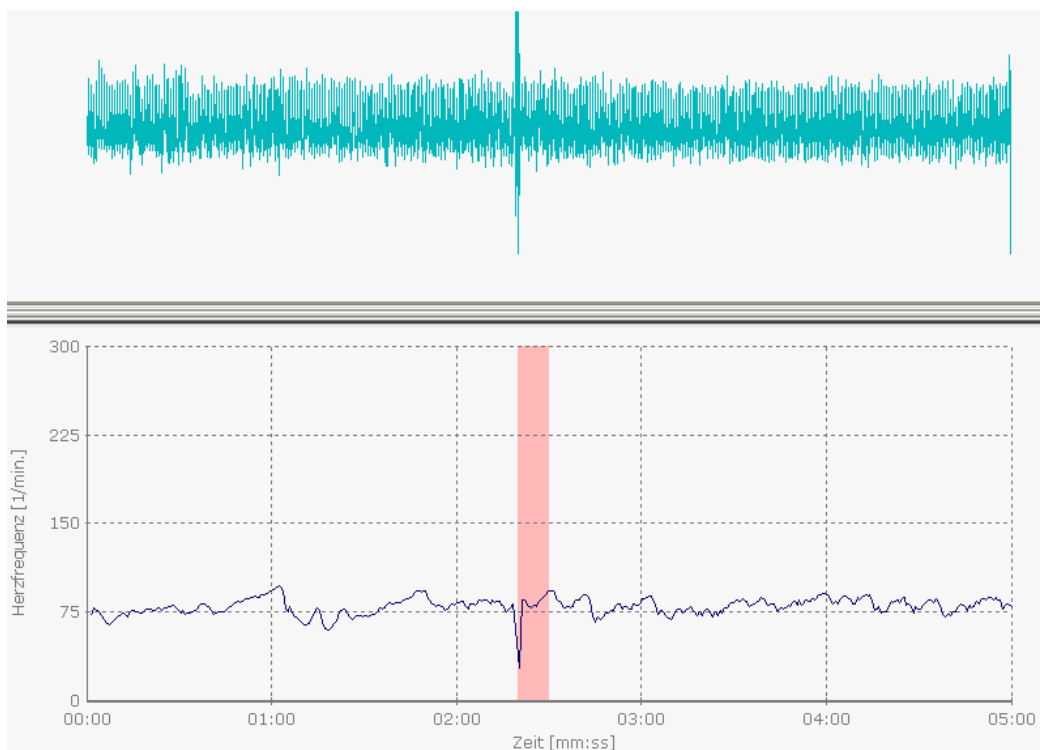
Durch Doppelklicken auf die Artefaktstelle im oberen Biosignaldiagramm oder im unteren Herzfrequenzdiagramm wird der Biosignaleditor gestartet.



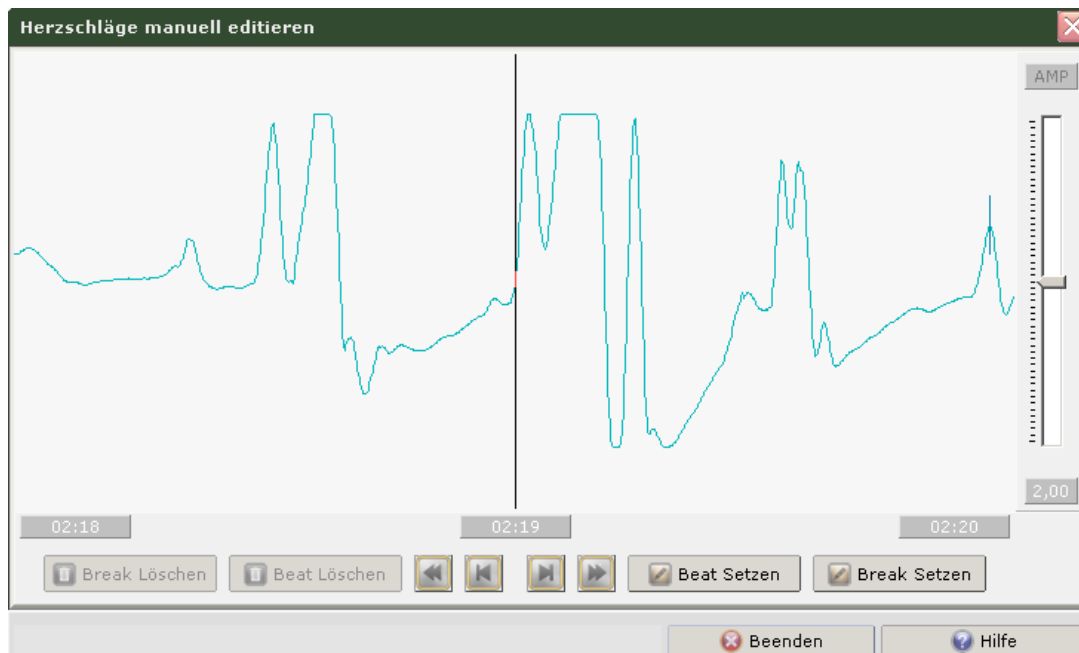
Im Biosignaleditor können Sie Markierungen manuell setzen oder löschen. Bewegen Sie dazu mit den Lauftasten die gewünschte Stelle in die Mitte des Fensters (vertikale Linie). Im obigen Beispiel wurde die T-Welle fälschlicherweise als R-Zacke markiert. Zum Löschen dieser Markierung bringen Sie diese in die Mitte des Fensters:



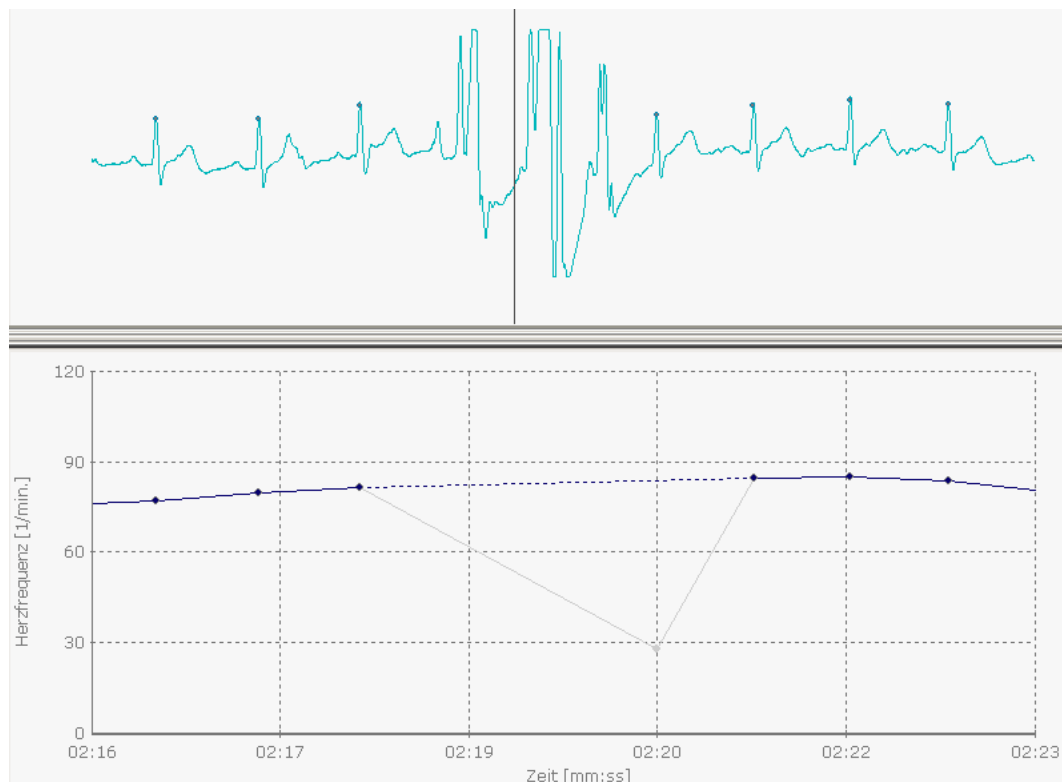
Die "Beat löschen" -Taste wird dadurch freigeschaltet. Durch Drücken der Taste wird die Markierung gelöscht und das erste Artefakt wurde behoben.



Zum Bearbeiten des zweiten Artefakts verfahren wir analog. Wir vergrößern durch Zoomen den Zeitausschnitt und doppelklicken auf das Artefakt, um den Biosignaleditor zu starten.



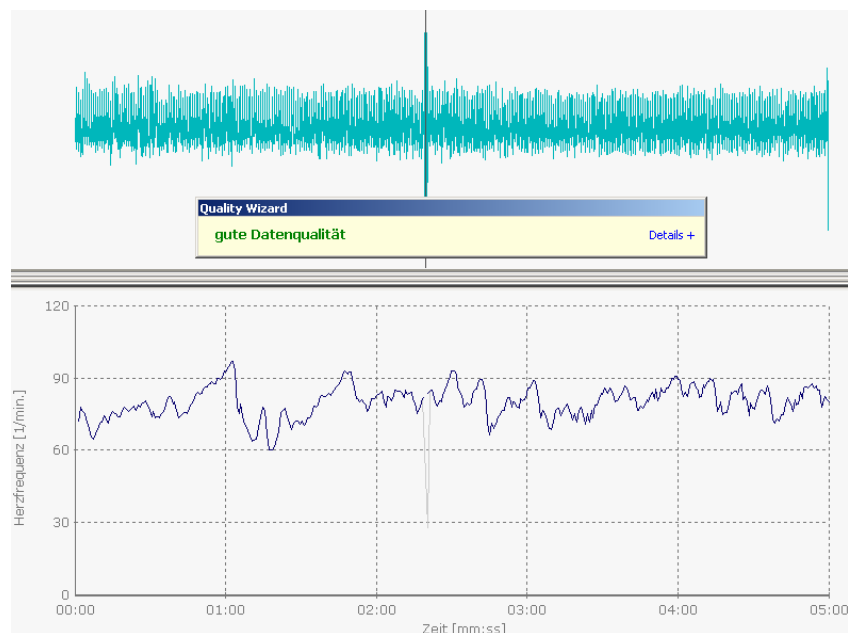
Im Editor sehen wir über mehrere Sekunden starke Signalstörungen ohne Markierungen. R-Zacken sind praktisch nicht zu erkennen. Dies erklärt auch den plötzlichen Abfall der Herzfrequenz im unteren Diagramm: Die Zeit zwischen der letzten markierten R-Zacke vor der Signalstörung und der ersten markierten R-Zacke nach der Signalstörung beträgt mehrere Sekunden. Da die Herzfrequenz sich direkt aus der Zeit zwischen zwei markierten R-Zacken errechnet ($HF = 60/RR\text{-Abstand in Sekunden}$) ergibt sich eine niedrige Herzfrequenz von ca. 30 Schlägen pro Minute an dieser Stelle. Um dieses Artefakt zu beheben setzen wir ein "Break" an eine beliebige Stelle der Signalstörung. Durch ein "Break" zeigen wir dem HRV-Scanner an, dass er keine Herzfrequenz aus dem RR-Intervall rechnen soll, in dem das Break gesetzt wurde.



Im Biosignaldiagramm sehen wir das gesetzte Break als durchgezogene vertikale Linie. Im unteren Herzfrequenzdiagramm sehen wir nur noch eine gestrichelte Linie als Verbindung zwischen den beiden

angrenzenden validen Herzfrequenzen. Eine feine graue Linie deutet an, wie der Herzfrequenzverlauf ohne gesetztes Break aussehen würde.

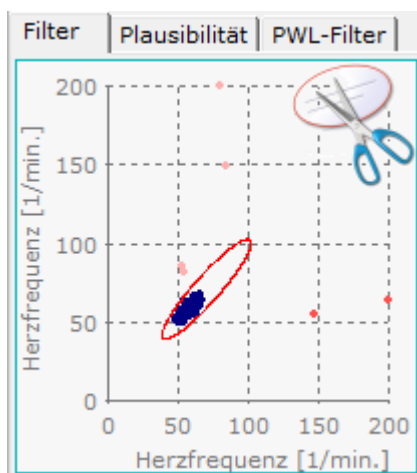
Damit sind in diesem Beispiel alle Datenprobleme behoben und die Berechnung von validen HRV-Parametern könnte jetzt erfolgen.



Hinweis: Nicht in jedem Fall liegt ein Artefakt oder ein verwackeltes Biosignal vor, wenn der Quality Wizard ein Artefakt markiert. Ist das Biosignal gut und alle Markierungen richtig gesetzt, können auffällige Sprünge in der Herzfrequenz auch Ausdruck von Herzrhythmusstörungen sein. Treten diese vereinzelt auf, z.B. in Form von gelegentlichen Extrasystolen, können sie genauso korrigiert werden, wie Artefakte.

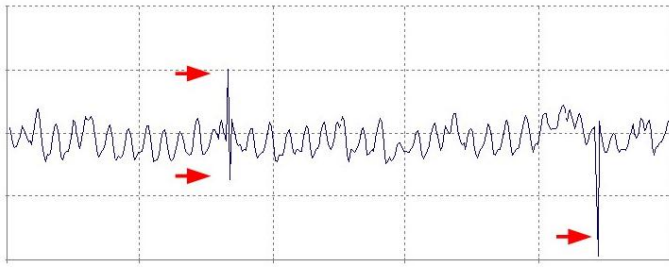
Schritt 4: Grafisches Filtern

Grafischer Filter



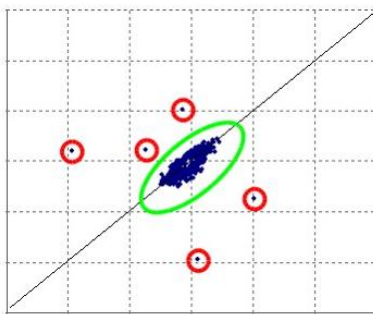
Eine HRV-Analyse sollte nur Herzschläge einschließen, die unter der Kontrolle des vegetativen Nervensystems stehen. Herzschläge, die in Folge von Rhythmusstörungen auftreten, verfälschen die HRV und führen in der Regel zu überhöhten HRV-Werten, was fälschlicherweise als eine gut funktionierende neurovegetative Regulation fehlinterpretiert werden kann. Eine gute Möglichkeit, „gute“ von „schlechten“ Herzschlägen zu trennen, bietet das Poincare-Diagramm. Durch die Neuroregulation bedingte Herzschläge ordnen sich im Poincare-Diagramm entlang der Winkelhalbierenden, wogegen Herzschläge bedingt durch Rhythmusstörungen ein irreguläres Muster aufweisen.

Beispiel:



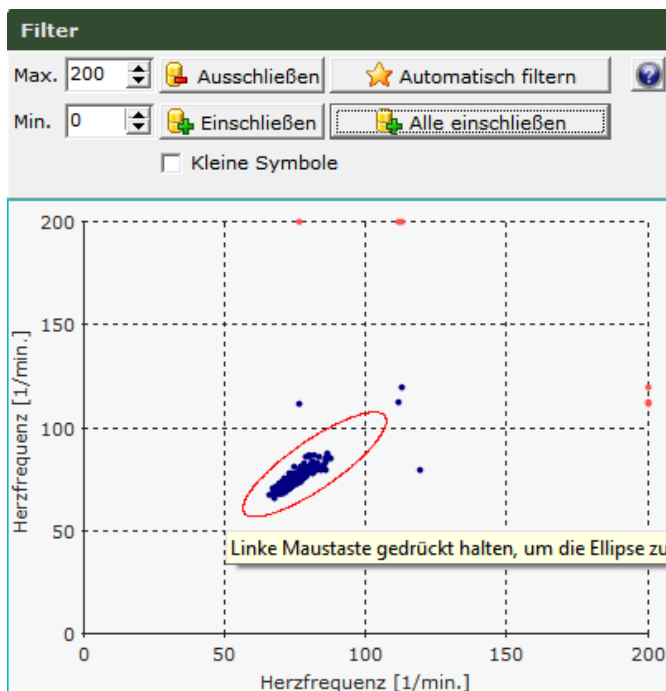
Im Herzfrequenzverlauf sind einige irreguläre Herzschläge aufgetreten, sogenannte Extra-systolen, erkennbar an den plötzlichen Sprüngen der Herzfrequenz (rote Markierung).

Im zugehörigen Poincare-Diagramm sind die irregulären Herzschläge noch besser erkennbar:



Herzschläge in Folge der vegetativen Regulation ordnen sich als Punktwolke entlang der Winkelhalbierenden (grüne Ellipse). Irreguläre Herzschläge weichen von diesem Verteilungsmuster ab und können leicht identifiziert werden (rote Kreise). Die besondere Eigenschaft des Poincare-Diagramms, reguläre von irregulären Herzschlägen zu unterscheiden, ermöglicht eine optimale Filterung des Herzfrequenzverlaufs.

Poincare-basierte Filterung



Zum Entfernen der irregulären Herzschläge ziehen Sie einfach eine Ellipse um die Punktwolke, die durch die regulären Herzschläge gebildet wird.

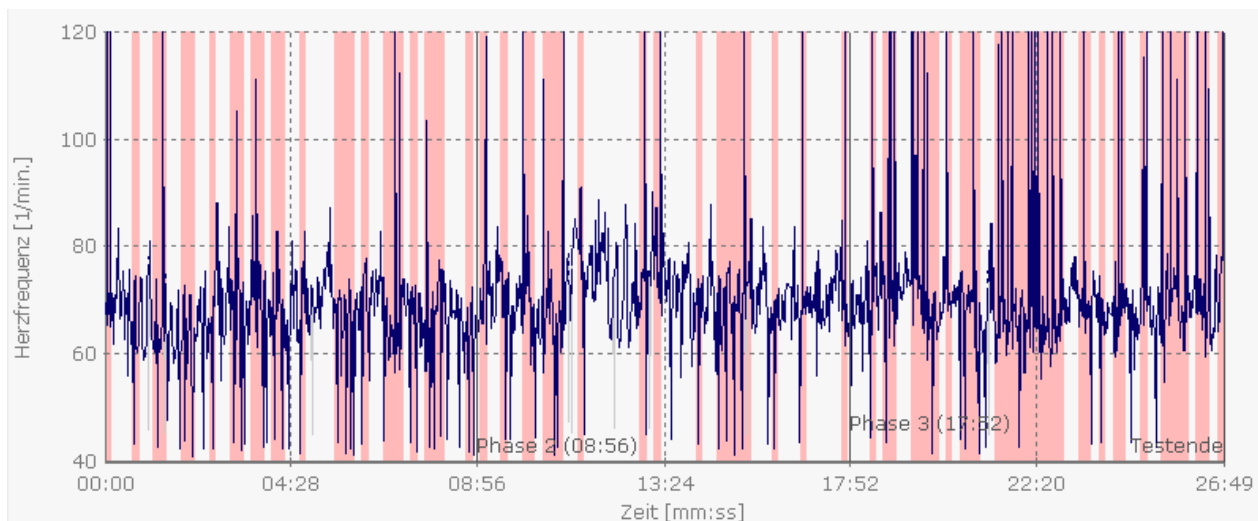
klicken Sie mit der Maus auf den „Ausschließen“-Schalter um alle Herzschläge außerhalb der Ellipse zu entfernen.

Mit dem „Einschließen“-Schalter können Sie Herzschläge wieder in die HRV-Analyse aufnehmen, falls Sie z.B. versehentlich reguläre Herzschläge ausgeschlossen haben.

Hinweis: "Automatisch Filtern" übernimmt das Ziehen der Ellipse und berechnet automatisch, welche Herzschläge als Artefakte markiert und bei der Auswertung ausgeschlossen werden sollen. "Alle einschließen" bewirkt ein Rückgängigmachen des grafischen Filterns.

Schritt 5: Einstellen der Plausibilitätskontrolle und der Herzfrequenzfilter

Bei längeren Messungen ist es unter Umständen sehr zeitaufwändig, jedes einzelne Artefakt manuell zu bearbeiten. Die nachfolgende Messung enthält beispielsweise in ca. 30 Minuten Messzeit zahlreiche Artefakte.



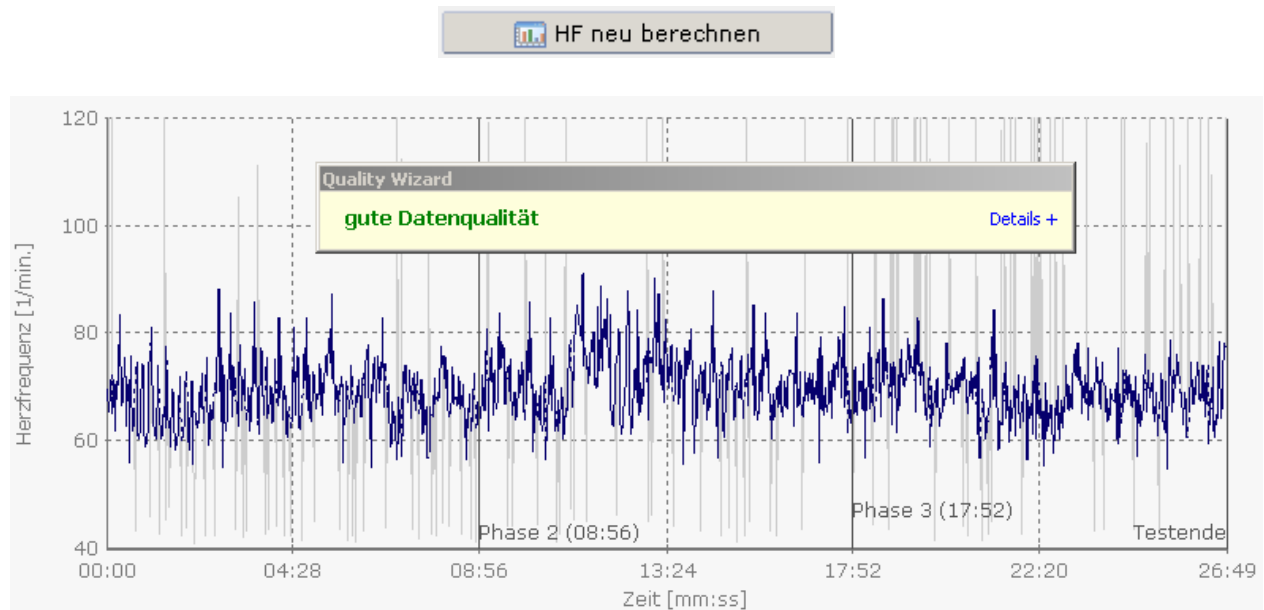
Da es sich hier um einen Import einer Polarmessung handelt, gibt es auch kein Biosignal, in dem man die automatische Herzschlagdetektion noch optimieren könnte (wie in Schritt 1 beschrieben). Bei verwackelten Messungen mit schlechter Signalqualität kann man ebenfalls solche Herzfrequenzverläufe erhalten, selbst bei optimierter Herzschlagdetektion.

Hier empfiehlt es sich, die Plausibilitätskontrolle des HRV-Scanners anzupassen.

Plausibilität	
Min.	50 [1/min.]
Max.	100 [1/min.]

Da die Herzfrequenz im Beispiel zwischen 90 und 55 schwankt erzielt man mit Plausibilitätswerten von 50/100 bereits ein sehr gutes Ergebnis.

Damit die geänderten Einstellungen wirksam werden drücken Sie den Schalter für Neuberechnen der Herzfrequenz.



Wie auf dem Bild zu sehen ist, hat in dem Beispiel bereits das Anpassen der Plausibilitätskontrolle genügt, um eine gute Datenqualität herzustellen.

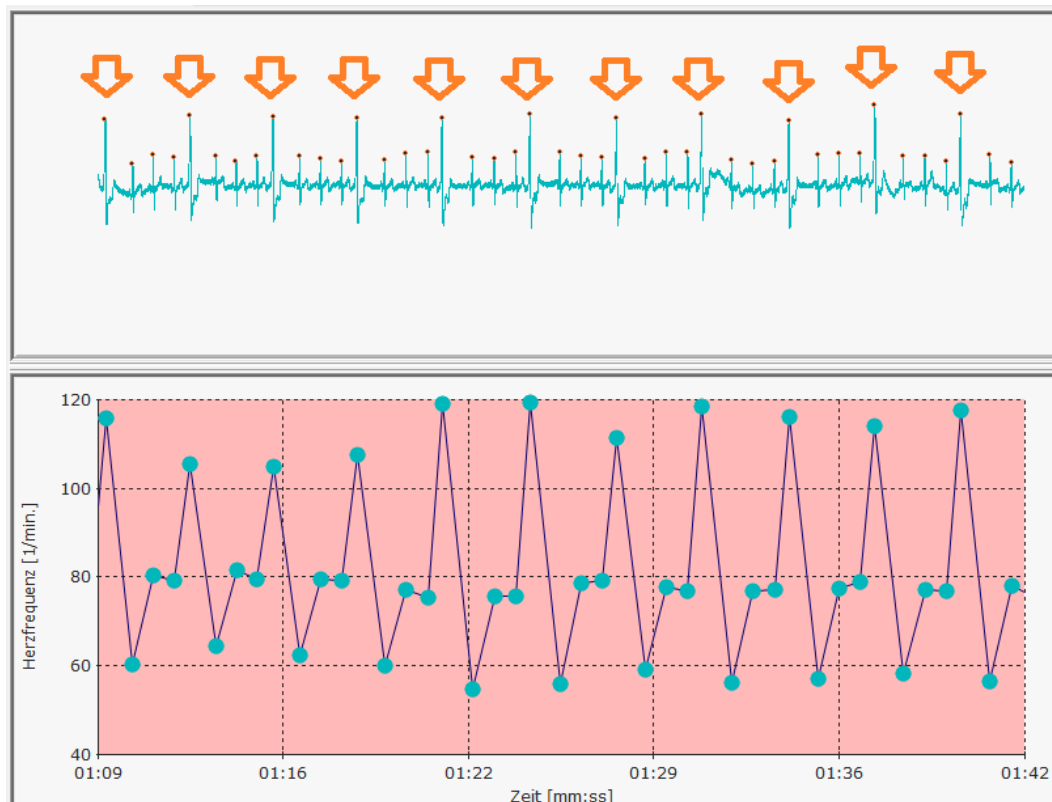
Was passiert bei der Plausibilitätskontrolle? Bei der Plausibilitätskontrolle vergleicht der HRV-Scanner für jedes Intervall zwischen zwei Herzschlägen, ob die resultierende Herzfrequenz ober- bzw. unterhalb der eingestellten Grenzwerte liegt. Ist dies der Fall setzt der HRV-Scanner ein "Break" in dieses RR-Intervall. "Breaks" kennen wir schon aus Schritt 2, sie verhindern das Berechnen der Herzfrequenz aus einem mit einem "Break" versehenen RR-Intervall.

Hinweis: Bleiben trotz der Plausibilitätskontrolle vereinzelt Artefakte stehen, können diese manuell korrigiert werden (siehe Schritt 2).

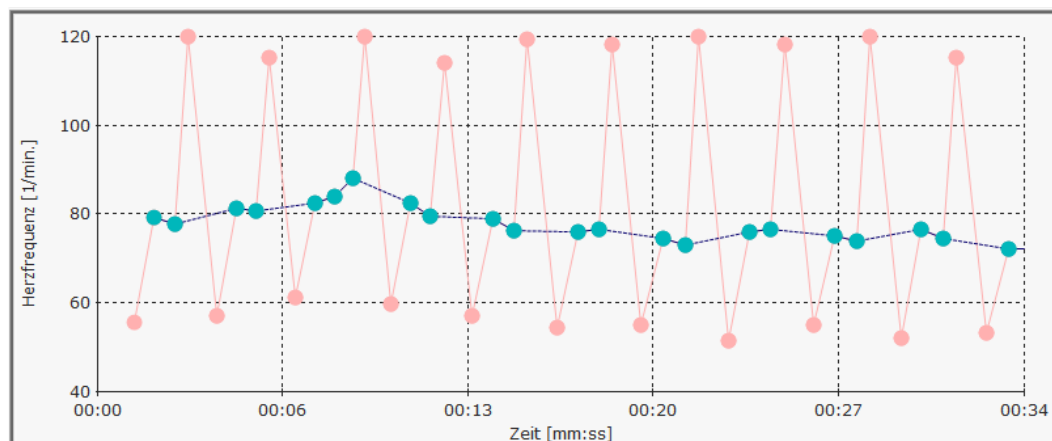
Grenzen der HRV-Bestimmung

Die Herzratenvariabilität bestimmt, wie schon der Name sagt, die Variabilität des Herzschlags. Das bedeutet, dass alle Arten von Artefakten (Wackeln im EKG durch Bewegung, Störsignale,...) und Herzrhythmusstörungen (Extrasystolen, Vorhofflimmern,...) zu einer erhöhten HRV führen. Da diese Regulation jedoch nicht aus dem vom Parasympathikus innervierten Sinusknoten kommt, dürfen wir solche Herzfrequenzverläufe nicht auswerten, ohne alle Artefakte und alle nicht aus dem Sinusrhythmus (Erregung aus dem Sinusknoten und nicht aus akzessorischen Schrittmacherzellen) stammenden Herzschläge vorher zu entfernen.

Beispiel 1: viele Extrasystolen (orange markiert)

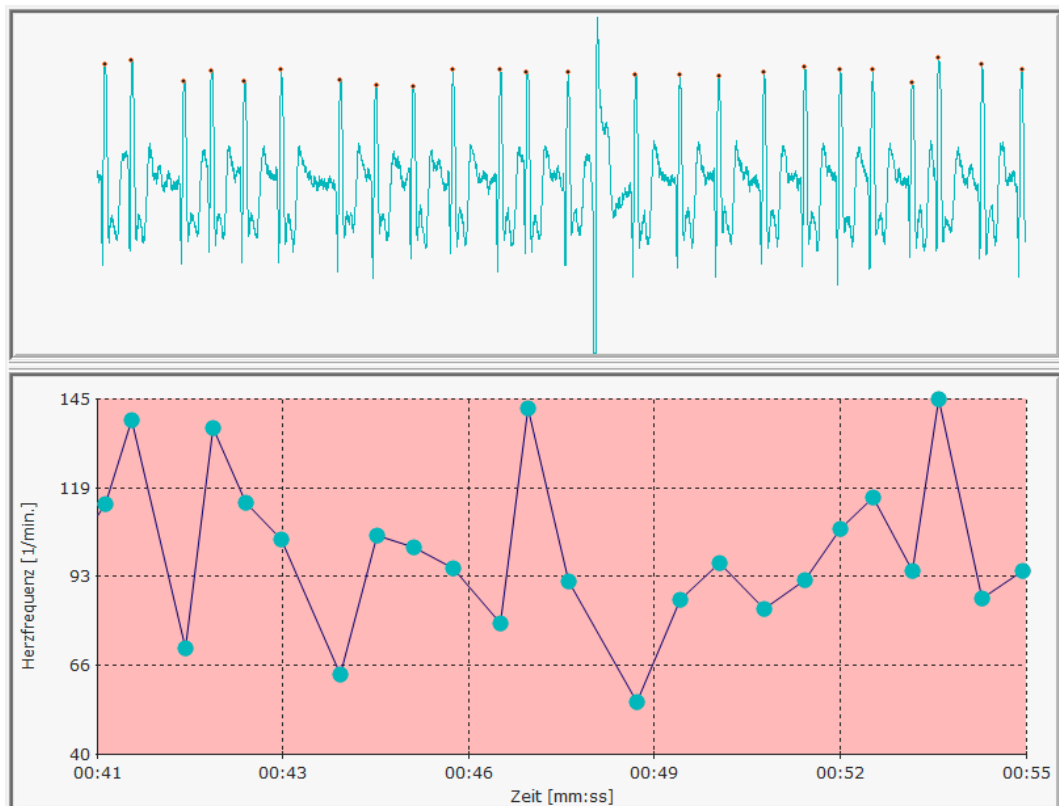


Man sieht hier deutlich die hohe Variabilität in der Herzfrequenzkurve durch die fast schon regelmäßig auftretenden Extrasystolen (3 normale QRS-Komplexe als Zeichen einer Erregung aus dem Sinusknoten, dann immer eine Extrasystole mit kompensatorischer Pause danach).

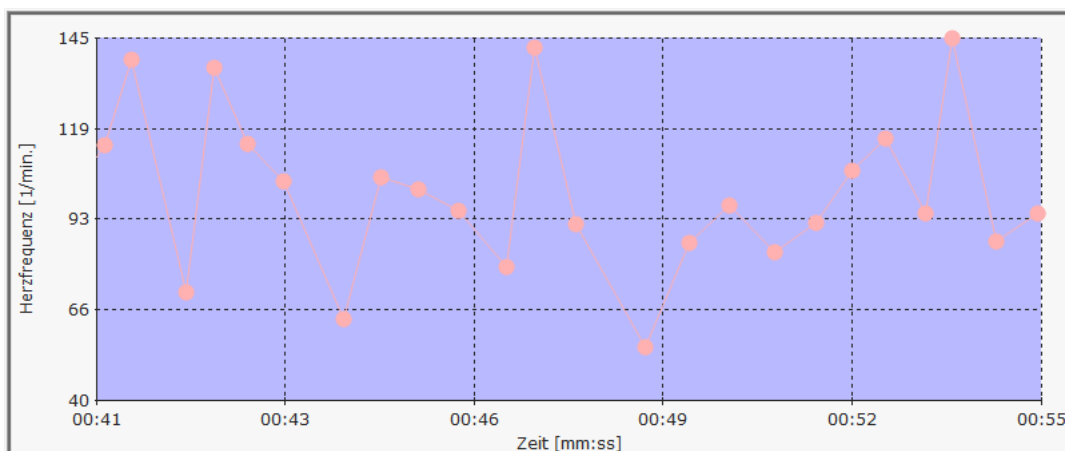


Der Herzfrequenzverlauf nach dem automatischen Filtern im Poincaré Filter. Nach Ausschließen der Extrasystolen (rosa eingefärbt) bleibt ca. 50% vom Herzfrequenzverlauf (grün) für die Auswertung übrig. Bei einer 5 minütigen Kurzzeit-HRV Messung kann man damit gerade noch die HRV bestimmen.

Beispiel 2: Vorhofflimmern



Auf den ersten Blick liegt hier ein reguläres EKG vor. Man würde hier nur eine Extrasystole vermuten. Bei Betrachtung des Herzfrequenzverlaufs fällt jedoch ein sehr ungeordneter Rhythmus auf. Daran ist das vorliegende Vorhofflimmern zu erkennen. Im EKG sieht man auch die fehlenden P-Wellen als Zeichen einer regulären Vorhoferregung.



Der Herzfrequenzverlauf nach dem automatischen Filtern im Poincaré Filter. Nach Ausschließen der Extrasystolen (rosa eingefärbt) bleibt kein Anteil des Herzfrequenzverlaufs (grün) für die Auswertung übrig. Somit ist eine Bestimmung der HRV bei vorliegendem Vorhofflimmern nicht möglich oder sinnvoll.

Die Erkennung solcher Rhythmusstörungen erfordert oftmals etwas Erfahrung. Bei Zweifeln können Sie hierfür gerne unseren Support nutzen.

Wichtig zur Differenzierung ist immer ein gutes EKG. Nur damit ist es möglich sich ein genaueres Bild über die vorliegenden Rhythmusstörungen zu machen. Das ist weder mit der Pulswelle noch mit einer RR-Abstands basierten HRV-Messung (Brustgurt ohne EKG) möglich.

Basis HRV-Messungen

Die beiden grundlegenden HRV-Messungen sind Kurzzeit-HRV und RSA-Messung. Durch die Kombination beider Messungen lässt sich der aktuelle Zustand der vegetativen Regulation zuverlässig bestimmen.

Diese beiden Messungen sind für Erst- und Verlaufsuntersuchungen sehr gut geeignet.

Begonnen wird mit der 5-minütigen Kurzzeit-HRV zur Erfassung der Ruhe-HRV. Der Proband sollte 5 Minuten entspannt liegen oder falls nicht möglich sitzen (bitte dann Beine hochlegen, um die orthostatische Belastung zu minimieren).

Nach der Kurzzeit-HRV erfolgt die RSA-Messung. Das ist ein 1-minütiger Funktionstest des Parasympathikus.

Die Kurzzeit-HRV Messung

Die Kurzzeit HRV-Messung ist ein bewährter und klinisch erprobter Test zur Beurteilung der Herzratenvariabilität in Ruhe. Die Kurzzeit HRV-Messung sollte mit dem EKG (und evtl. zusätzlich Pulswelle) durchgeführt werden. Dauer: reine Messungszeit 5 Minute, incl. Vorbereitung ca. 8-10 Minuten

Messung vorbereiten

Wie bei jeder HRV-Messung erfordert auch die Bestimmung der Kurzzeit-HRV eine sorgfältige Vorbereitung des Probanden. Es sollte sichergestellt sein, dass möglichst alle Faktoren, die einen Einfluss auf die neurovegetative Balance haben könnten, kontrolliert oder zumindest dokumentiert werden. Dazu gehören: Medikamente, aktuelle Erkrankungen, starke körperliche Anstrengungen (Sport) in den letzten Tagen, oder auch Kaffee oder Nikotin kurz vor der Messung. Bevor die Messung beginnt, sollte sich der Proband bereits einige Minuten in der endgültigen Liegeposition befinden, damit sich ein vegetativer Ruhezustand einstellen kann.

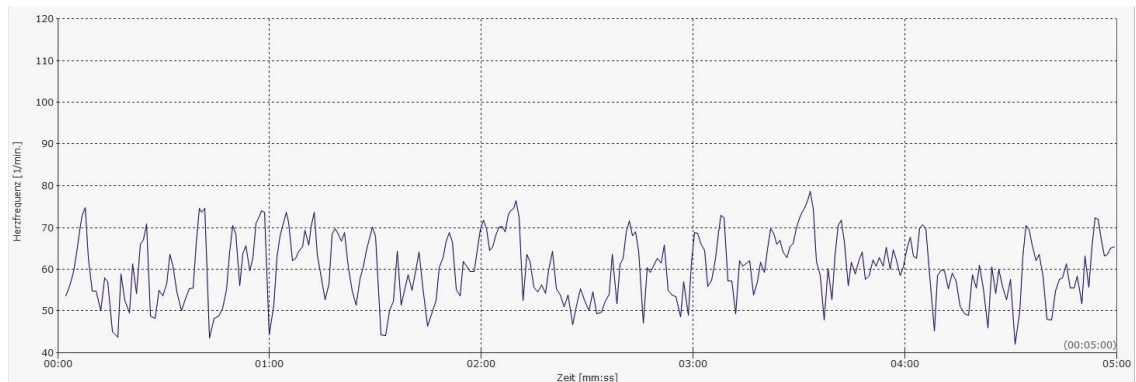
Messung durchführen

Achten Sie während der Kurzzeit-Messung darauf, dass der Proband ruhig liegt und normal atmet. Die Kurzzeit-HRV Messung sollte bevorzugt mit dem EKG durchgeführt werden. Nach Ablauf der Messungszeit erhalten Sie eine Meldung über die erfolgreiche Aufzeichnung der Messung. Schließen Sie jetzt das Messungsfenster. Die Messungsdaten werden in ein Archiv verschoben und im Fenster „Messen und Auswerten“ erscheint ein Eintrag für die neue Messung.

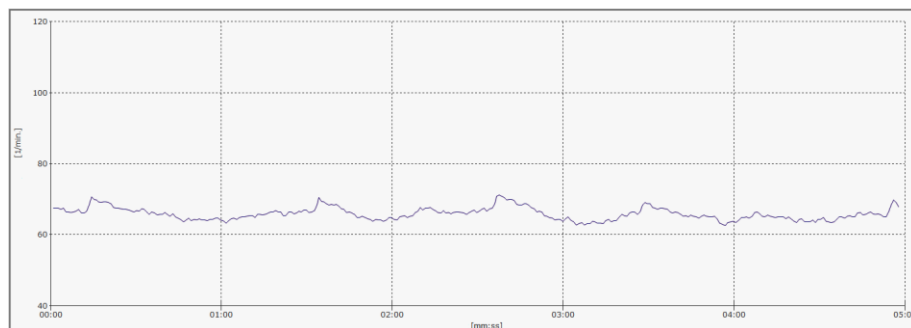
Auswertung

Markieren Sie dazu die durchgeführte Kurzzeit-HRV-Messung im Fenster „Messen und Auswerten“ mit der Maus und drücken Sie „Auswerten“ oder Doppelklicken Sie auf das Messungssymbol. Der Verlauf der Herzfrequenz sollte während der Kurzzeit-HRV ein stetiges Auf und Ab zeigen, bei dem die Herzfrequenz im normalen Bereich (60-80/Min.) liegen sollte.

Das untere Bild zeigt einen typischen Verlauf der Herzfrequenz während einer Kurzzeit-HRV Messung eines gesunden Probanden.

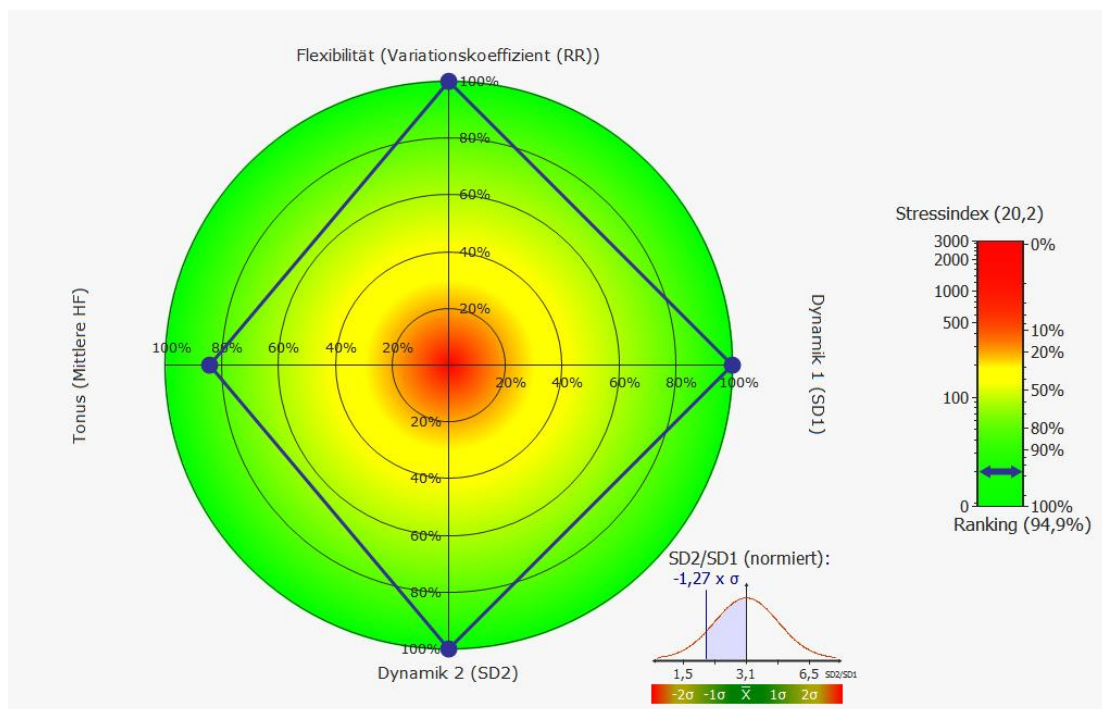


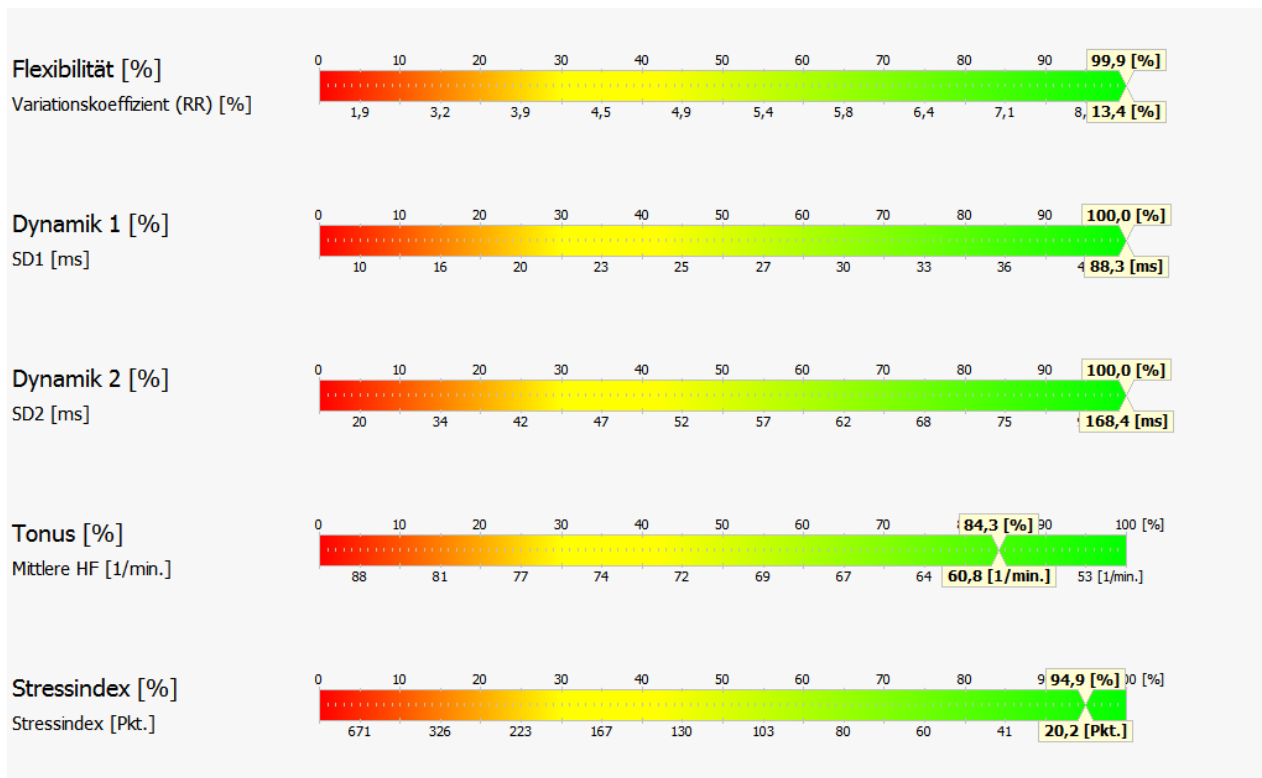
Das untere Bild zeigt einen typischen Verlauf der Herzfrequenz während einer Kurzzeit-HRV Messung eines Probanden mit deutlich eingeschränkter Herzratenvariabilität.



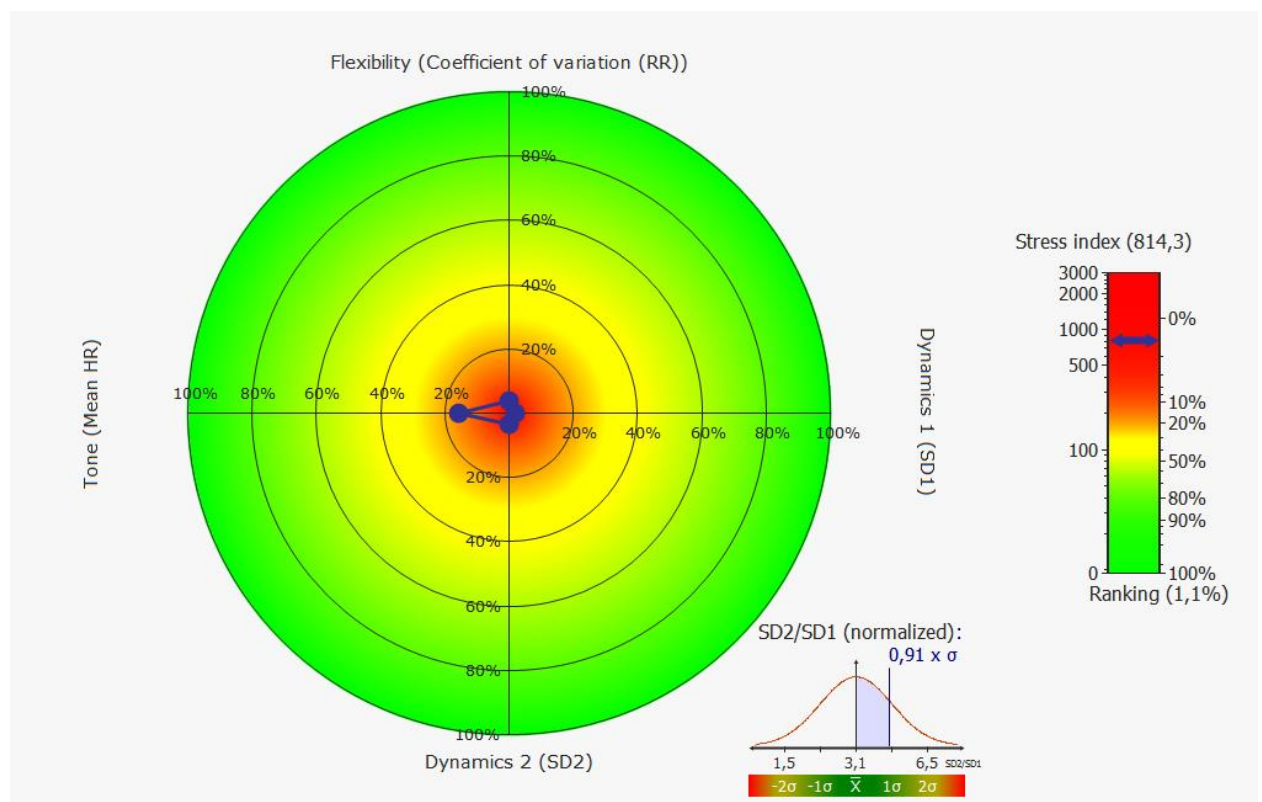
Für die wichtigsten Parameter der Kurzzeit-HRV sind Normwerte hinterlegt. Dies ermöglicht den Vergleich der aktuellen Messungsergebnisse mit den Ergebnissen gesunder Menschen gleichen Alters.

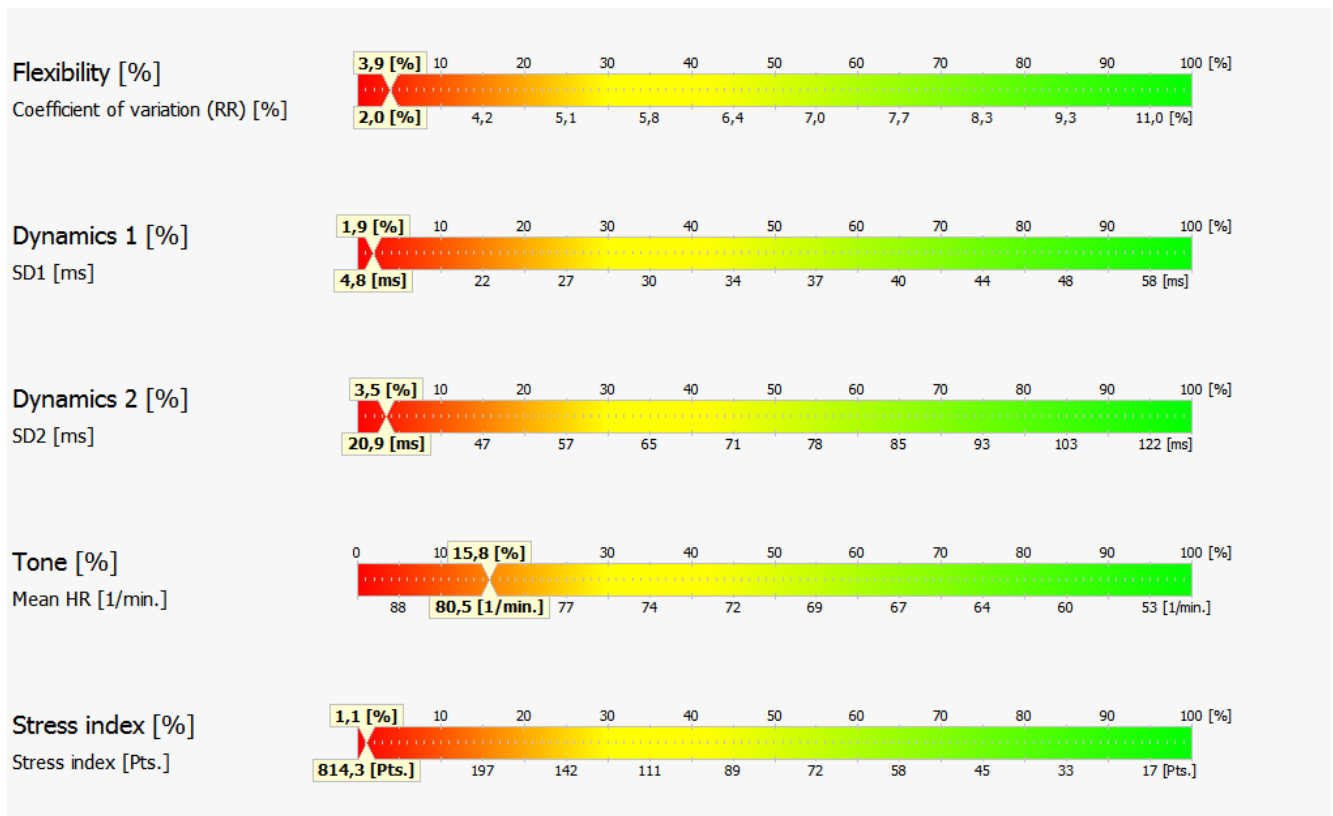
Ein typisches Ergebnis eines gesunden Probanden könnte wie folgt aussehen (Spiderweb- und Balkebdiagramm):





Die beiden folgenden Bilder zeigen ein Ergebnis eines Probanden mit eingeschränkter Regulationsfähigkeit (Spiderweb- und Balkendiagramm).

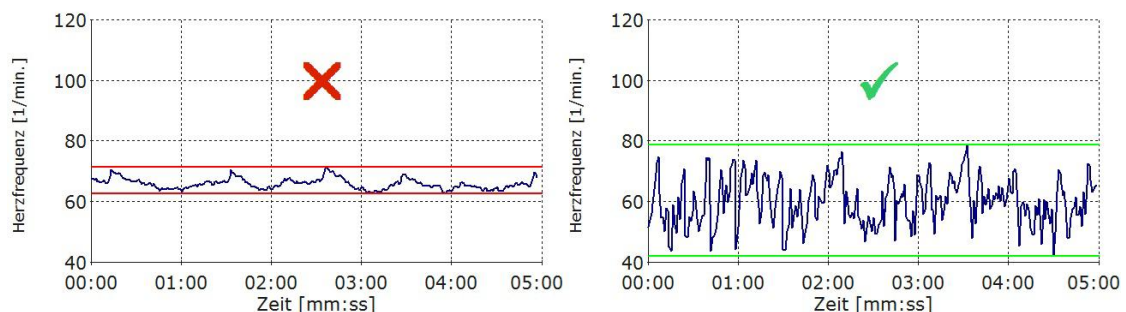




Zielparameter im Rang-Diagramm der Kurzzeit-HRV Messung

Flexibilität (Variationskoeffizient RR)

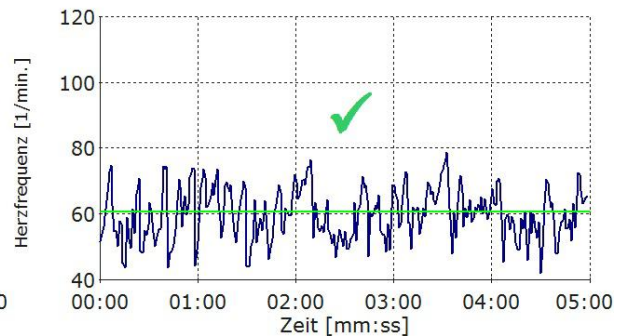
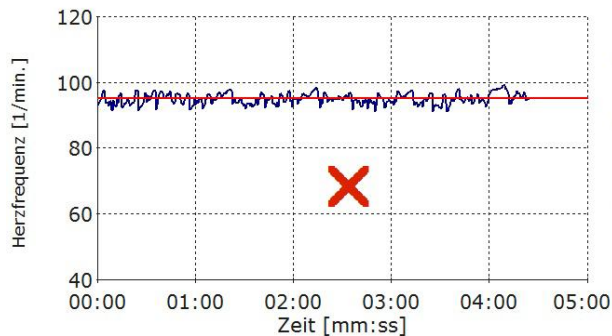
Eine ausreichende Anpassungsfähigkeit ist lebenswichtig und wird durch eine gut funktionierende innere Bremse (Parasympathikus) gewährleistet.



Ein hoher Flexibilitätswert spiegelt eine gute Anpassungsfähigkeit des Herz-Kreislaufsystems wieder. Dauerhaft niedrige Flexibilitätswerte sind Ausdruck einer Schwäche des Parasympathikus und können die Gesundheit beeinträchtigen. Akute Ereignisse wie Infektionen, Stress und Belastungen können vorübergehend zu einer Verringerung der Flexibilität führen.

Tonus (mittlere HF)

Nur ein leistungsfähiger Parasympathikus kann die Körpervorgänge optimal steuern und ermöglicht unsere lebenswichtige Anpassungsfähigkeit.

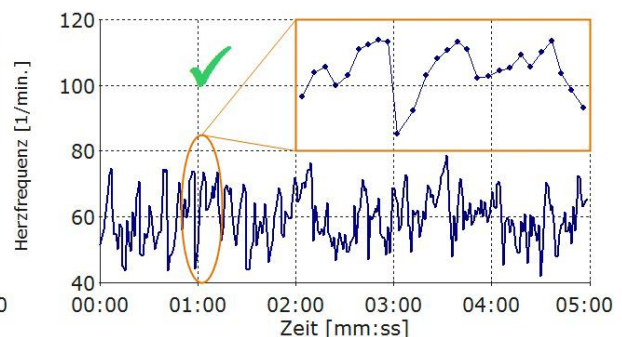
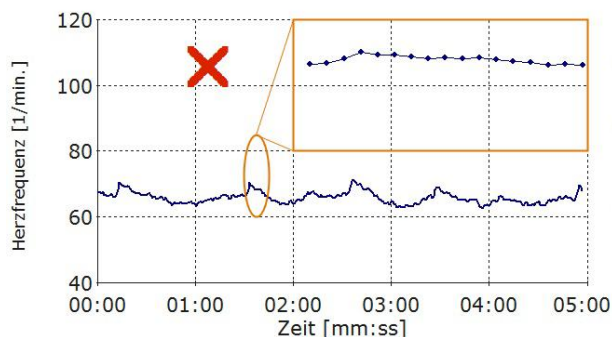


Ein guter parasympathischer Grundtonus drückt sich in einer niedrigeren Herzfrequenz aus. Beispielsweise haben Menschen mit einer Herzfrequenz > 90/min ein deutlich höheres Gesundheitsrisiko als Menschen mit einer Herzfrequenz < 60/min.

(HABIB, G.B. 1999. Reappraisal of heart rate as a risk factor in the general population. Eur. Heart J. Suppl. 1: H2-H10.)

Dynamik 1 (SD1)

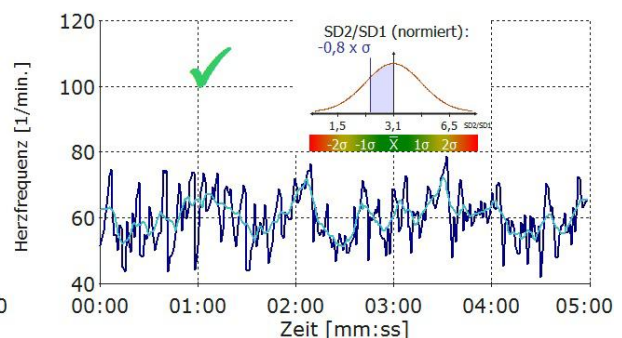
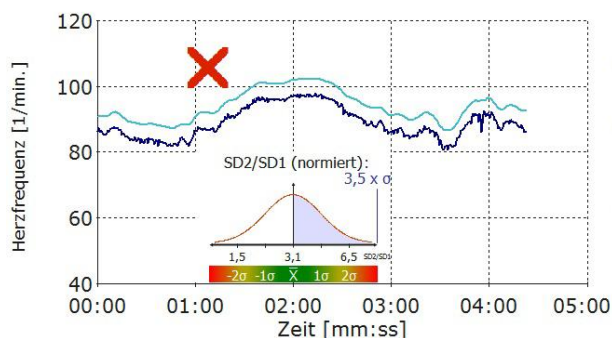
Schnelle Änderungen der Herzfrequenz in Ruhe sind Ausdruck einer gut funktionierenden "inneren Bremse".



Sie sind Merkmal einer schnellen Informationsverarbeitung und Zeichen einer guten Anpassungsfähigkeit.

Dynamik 2 (SD2)

Neben den schnellen Änderungen der Herzfrequenz (siehe Dynamik 1) treten auch langsame Änderungen der Herzfrequenz auf (hellblaue Linie).



Diese Änderungen entstehen sowohl durch die Aktivität des "Gaspedals" (Sympathikus), als auch durch die "Bremse" (Vagus). Ihr Auftreten ist deshalb zunächst weder gut noch schlecht. Allerdings stehen langsame und schnelle Änderungen der Herzfrequenz normalerweise in einem "gesunden" Verhältnis (SD2/SD1-Quotient). Überwiegt die langsame Dynamik (SD2), ist der Einfluss des Parasympathikus zu gering für eine

optimale Regulation. Ein Ungleichgewicht zwischen Sympathikus und Parasympathikus kann in diesem Fall nicht ausgeschlossen werden.

SD2/SD1 Quotient

Der normierte SD2/SD1-Quotient bildet ab, ob ein günstiges oder eher ungünstiges Verhältnis von langsamen zu schnellen Änderungen der Herzfrequenz vorliegt.



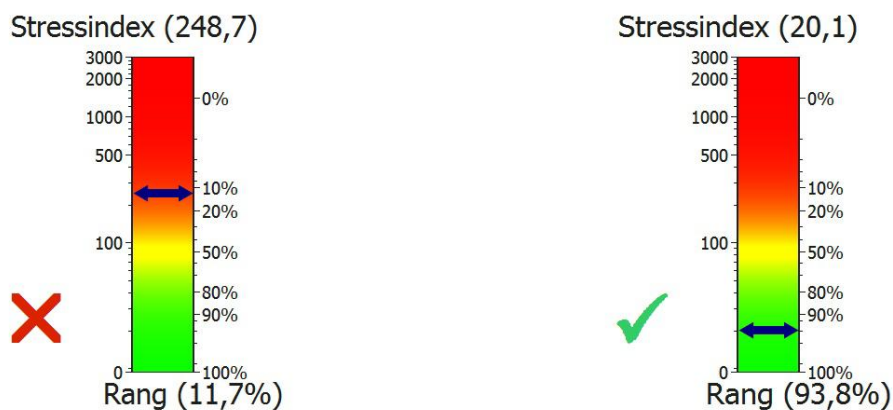
Dazu wird der SD2/SD1-Wert der Messung mit dem Mittelwert einer Referenzgruppe verglichen. Hohe positive Werte zeigen ein Überwiegen der langsamen Frequenz an. Je weiter rechts in der Verteilungskurve der Messwert zu finden ist, desto unwahrscheinlicher ist es, dass es sich noch um einen Normalbefund handelt. Negative Werte sprechen für ein Überwiegen der schnellen Frequenzen und sind eher als günstig zu bewerten. Ausnahme sind extreme negativen Werte, die sehr weit vom Mittelwert entfernt liegen ($< -2,0 \sigma$). Hier liegt möglicherweise kein normaler Sinusrhythmus vor, bzw. das EKG weist noch Artefakte auf, die vor der Analyse entfernt werden müssen.

(Ausgegeben wird die Abweichung des Messwerts vom Mittelwert als Vielfaches der Standardabweichung einer Referenzgruppe, $n = 832$, Normalverteilung der Messwerte nach Alterskorrektur und Logarithmieren, Kolmogorow-Smirnow-Test $p > 0.2$; Lilliefors $p > 0.2$)

Mehr Info zum SD2/SD1 Quotienten finden Sie bei der Erklärung der Parameter.

Stressindex

Der Stressindex ist besonders empfindlich für die ungünstige Kombination einer niedrigen Herzratenvariabilität in Verbindung mit einer hohen Herzfrequenz.



Er korreliert signifikant mit anerkannten Risiko-Scores wie z.B. dem PROCAM-Score. Sehr hohe Stress Index-Werte in Ruhe können ein gesteigertes Herz-Kreislaufisiko ausdrücken.

Atmung und HRV

Einfluss der Atmung auf die Ergebnisse der Kurzzeit-HRV

Bei der Interpretation der Ergebnisse der Kurzzeit-HRV wird die Atmung meist nicht berücksichtigt, obwohl sie eine wesentliche Quelle der Herzfrequenzvarianz darstellt. Insbesondere unter Ruhebedingungen hat die Atmung einen großen Einfluss auf die Herzfrequenzregulation.

Im Gegensatz zur RSA-Messung erfolgt bei der Kurzzeit-HRV keine Vorgabe der Atmung. Es ist ja gerade das Ziel der Kurzzeit-HRV, zu beobachten wie sich der Parasympathikus auf die vermeintlichen Ruhebedingungen einstellt. Beispielsweise gelingt es Stress-, Angst- und Depressionspatienten oft nicht in die Ruhe zu kommen. Diese Patienten atmen oft schnell und flach mit einer daraus resultierenden geringen HRV.

Der starke Einfluss von Atemfrequenz und Atemtiefe auf die neurovegetative kardiale Regulation ist im übrigen schon lange bekannt. Insbesondere eine tiefe und langsame Atmung (4-6 Atemzüge pro Minute) führt zu einem Maximum der respiratorischen Sinusarrhythmie. Zunehmende Atemfrequenzen gehen mit einer Verringerung der respiratorischen Sinusarrhythmie einher. Das Alter des Patienten spielt dabei ebenfalls eine wichtige Rolle: Mit zunehmenden Alter wird die respiratorische Sinusarrhythmie geringer. Die Abbildung verdeutlicht beispielhaft den Einfluss der Atemfrequenz und des Alters auf die Herzratenvariabilität bei der Kurzzeit-HRV.

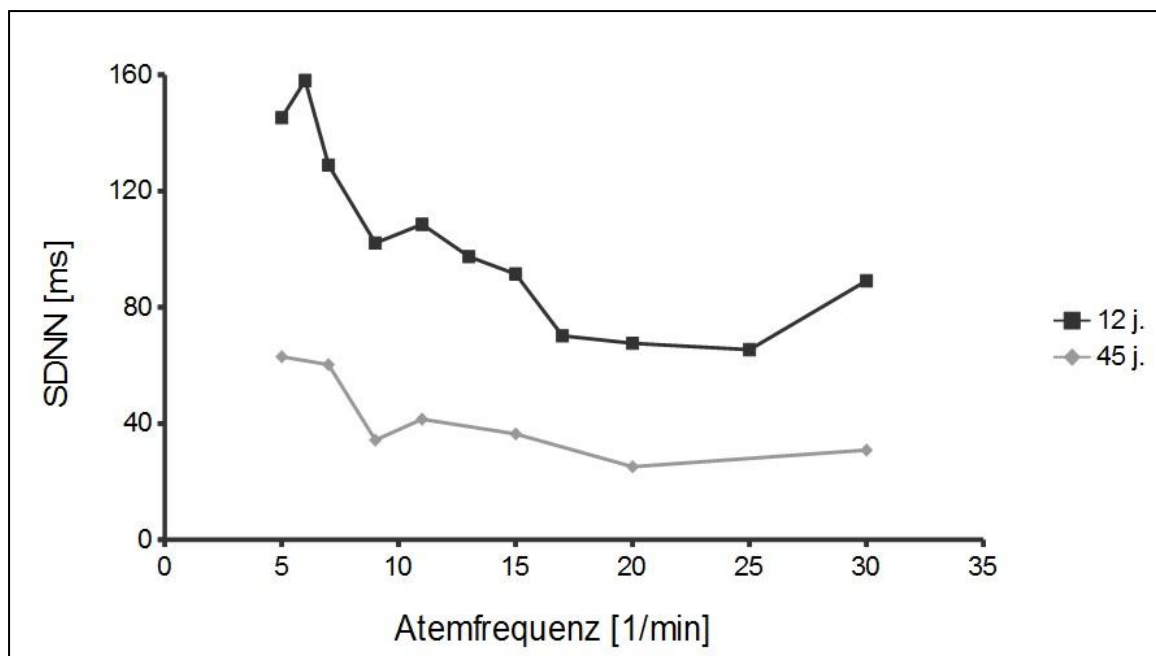


Abb. Sowohl beim Kind als auch beim Erwachsenen nimmt die HRV mit zunehmender Atemfrequenz deutlich ab.

Wir haben in einer Studie untersucht, welche Atemfrequenzen während einer Kurzzeit-HRV auftreten und fanden eine breite Verteilung von 4 - 23 Atemzügen pro Minute. Aufgrund der breiten Verteilung muss mit einem Einfluss der jeweiligen Atemsituation auf Ergebnisse der Kurzzeit-HRV auch im Praxisalltag gerechnet werden. Beispielsweise kann bei hohen Atemfrequenzen insbesondere bei älteren Patienten ein niedriges HRV-Ergebnis auftreten. Dahinter verbirgt sich aber nicht zwangsläufig eine autonome Funktionsstörung, sondern es kann sich um eine physiologische Einschränkung der HRV aufgrund der schnellen Atmung handeln. Im umgekehrten Fall führt eine sehr niedrige Atemfrequenz von 4-5 Atemzügen pro Minute schon rein physiologisch zwar zu höheren Amplituden der Herzfrequenzschwankungen aber zu vergleichsweise niedrigen RMSSD und SD1-Werten, weil sich die angekoppelte Herzfrequenz nur langsam ändert (RMSSD und SD1 messen schnelle Änderungen der Herzfrequenz). Es empfiehlt sich deshalb, die Atemfrequenz bei der Analyse der Kurzzeit-HRV immer mit zu betrachten und das HRV-Ergebnis im Kontext der Atmung zu werten. Zusätzlich wird empfohlen, die Kurzzeit-HRV immer mit einer RSA-Messung bei 6 Atemzügen pro Minute zu ergänzen. Dadurch lässt sich eine rein physiologische Einschränkung der HRV bei hoher oder sehr niedriger Atemfrequenz von einer tatsächlichen parasympathischen Dysfunktion abgrenzen.

Unsere Studie konnte zeigen, dass mentaler Stress bei den meisten Probanden zu einem deutlichen Anstieg der Atemfrequenz führt.

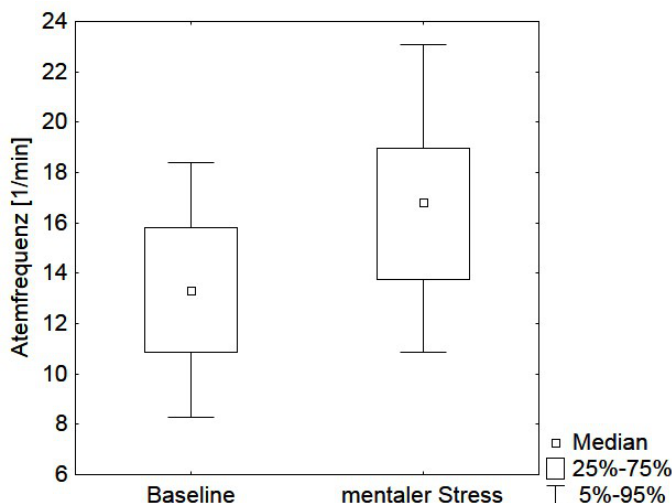


Abb. Atemfrequenzen in Ruhe und unter mentalem Stress (Belastung durch Kopfrechnen)

Es ist auch bekannt, dass insbesondere ängstliche Probanden auf mentalen Stress mit einem Anstieg der Atemfrequenz reagieren. Die Bestimmung der respiratorischen Parameter während der Kurzzeit-HRV kann deshalb ein diagnostischer Hinweis auf das Vorliegen einer möglichen Stressbelastung sein und sollte neben der HRV als weitere physiologische Größe bei Stress- und Belastungsuntersuchungen miterfasst werden. Liegt eine Stress- und Belastungssituation vor, könnten durch die Ermittlung der Atemfrequenz in Ruhe diejenigen Patienten identifiziert werden, die eine hohe Atemfrequenz aufweisen. Diese Patienten würden von einem atemfokussierten Stressbewältigungstraining wie HRV-Biofeedback, Meditation und achtsamkeitsbasierte Stressreduktion besonders profitieren, da sich ein solches Training günstig auf die Atemfrequenz in Ruhe auswirkt.

Unterscheidung Sympathikus - Parasympathikus in der Kurzzeit-HRV

Die Kurzzeit-HRV ist primär ein parasympathischer Funktionstest und liefert keine diagnostisch verwertbaren Aussagen über den Sympathikus. Allenfalls kann ein festgestellte Parasympathikus-Dysfunktion durch einen übermäßigen Sympathikus erklärt werden, wenn Zeichen einer Sympathikusaktivierung wie eine hohe Herzfrequenz vorliegen. Mitunter wird trotzdem der Versuch unternommen eine Aussage über die aktuelle Aktivität von Parasympathikus und Sympathikus zu treffen (vegetative Balance). Bisher verwendete Verfahren wie der LF/HF Quotient und der SD2/SD1 Quotient können diese Fragestellung bislang nicht zufriedenstellend klären. Die Regulationsgeschwindigkeit des Parasympathikus kann aufgrund seiner Physiologie zwar so hoch sein, dass sein Effekt auf die Regulation der Herzfrequenz alleine im HF-Band der Spektralanalyse bzw. einem hohen SD1 liegt. Jedoch kann der Parasympathikus bei langsamer Atmung auch so langsam regulieren, dass seine Regulationsleistung zusammen mit dem Sympathikus im LF-Band der Spektralanalyse, bzw. in einem hohen SD2 zu liegen kommt. So sehen wir z.B. eine ausgeprägte RSA bei einer Atmung von 6/Min. bei 0.1 Hz in der Spektralanalyse und damit im LF-Band. Eine eindeutige Trennung zwischen den beiden Akteuren des vegetativen Nervensystems im LF-Band bzw. im SD2 ist in diesem Fall nicht ohne Berücksichtigung der Atmung möglich.

Eine Hilfestellung hierbei leistet die Beurteilung des Einflusses der Atmung auf die Herzfrequenz, ausgedrückt als Prozentwert 0% bis 100% (=maximale Übereinstimmung von Herzfrequenz- und Atemkurve). Liegt ein hoher Einfluss der Atmung auf die Herzfrequenz vor, so handelt es sich um eine RSA (respiratorische Sinusarrhythmie) und damit um eine primär parasympathische Regulationsleistung - egal ob der Peak in der Spektralanalyse im LF- oder im HF-Bereich liegt.

Fazit

Die Beurteilung der HRV gerade in der Kurzzeit-HRV ist ohne Berücksichtigung der Atmung lückenhaft. Aus diesem Grund haben wir im HRV-Scanner die Bewertung der Atmung aufgenommen. Die Messung der Atmung erfolgt entweder über die Atemkurve aus dem EKG (EDR) oder direkt mechanisch über ein Gurtsystem (nur HRV-Scanner plus). Beide Methoden sind in der Lage unter Ruhebedingungen und im Liegen eine ausreichend gute Bewertung der Atmung zu ermöglichen. Für die EDR ist ein qualitativ gutes EKG Voraussetzung.

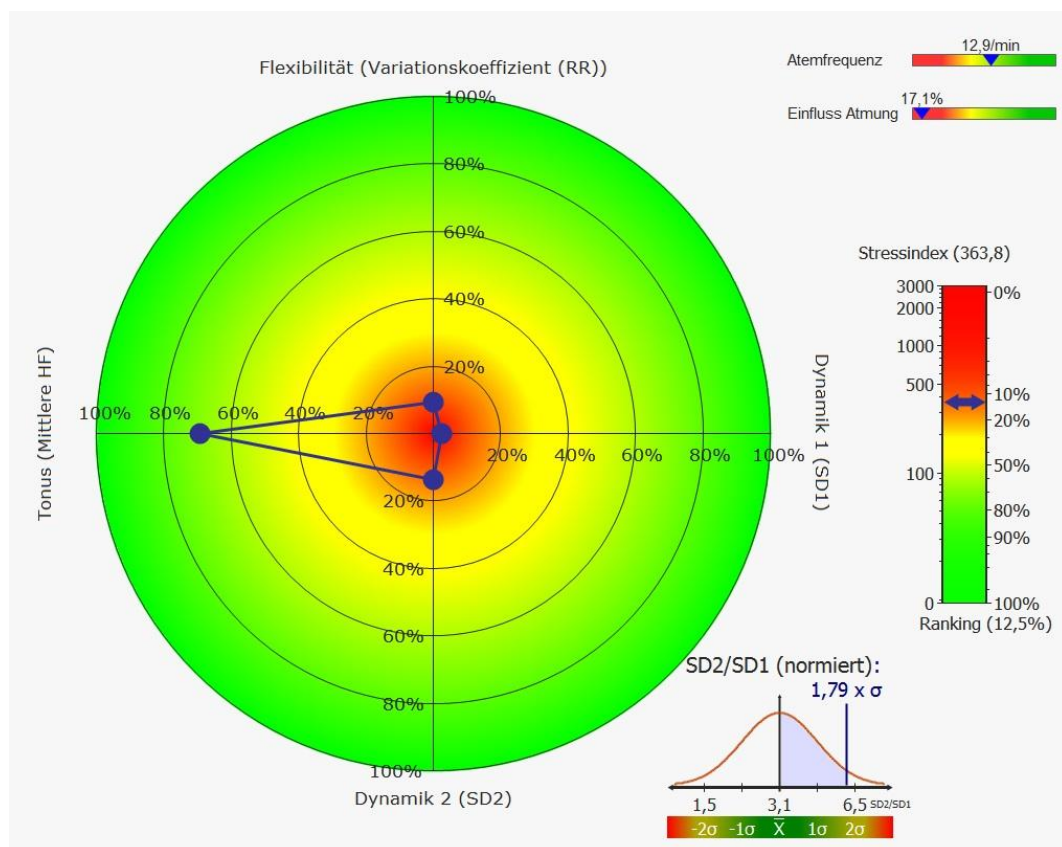


Abb. KHK-Patient mit ausgeprägter parasympathischer Dysfunktion. Normale Atemfrequenz, trotzdem kaum respiratorische Sinusarrhythmie vorhanden bei starker Einschränkung der dynamischen Anteile des Parasympathikus (SD1). In der RSA-Messung auch durch tiefe Atmung nicht stimulierbar.

Im Auswertediagramm der Kurzzeit-HRV wird sowohl die Atemfrequenz als auch der Einfluss der Atmung auf die Herzfrequenz angezeigt. Beide Parameter erlauben eine differenziertere Bewertung der HRV.

Folgende Punkte sind zu beachten:

- hohe Atemfrequenzen sind oftmals ein Hinweis auf Stress- und Belastungssituationen und können eine Erklärung für eine erniedrigte HRV sein.
- niedrige Atemfrequenzen bewirken eine langsame Regulation im Parasympathikus und führen zu vergleichsweise niedrigen RMSSD/SD1-Werten bei hohen Amplituden (hoher SDNN oder Variationskoeffizient).
- eine hoher Einfluss der Atmung auf die Herzfrequenz spricht für das Vorliegen einer RSA und damit für eine hohe Aktivität des Parasympathikus. Diese zeigt sich bei niedriger Atemfrequenz auch im LF-Band der Spektralanalyse und im SD2.
- eine geringer Einfluss der Atmung auf die Herzfrequenz spricht gegen das Vorliegen einer RSA. Dies kann auf eine fehlende Aktivität des Parasympathikus hindeuten (insbesondere wenn Zeichen einer Sympathikusaktivierung vorliegen wie hohe Herzfrequenzen) oder auf hohe Atemfrequenzen und mentale Beanspruchung.

Methoden zur Messung der Atmung

EDR - ECG Derived Respiration (HRV-Scanner standard und HRV-Scanner lite)

Eine indirekte Methode zur Registrierung der Atmung ist die Ableitung des Atemsignals aus dem EKG, genannt ECG Derived Respiration, abgekürzt EDR. Für die EDR macht man sich zu Nutze, dass die Zwerchfellbewegung beim Atmen eine geringfügige Änderung der Herzachse verursacht, die sich über die Amplitudenänderung der R-Zacke im EKG erfassen lässt (siehe Abb.).

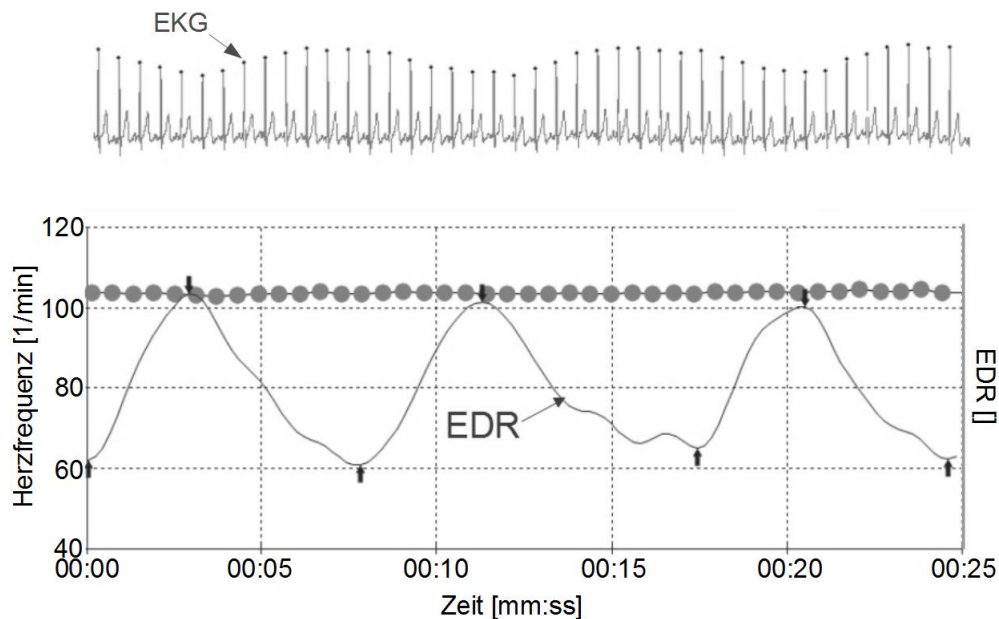
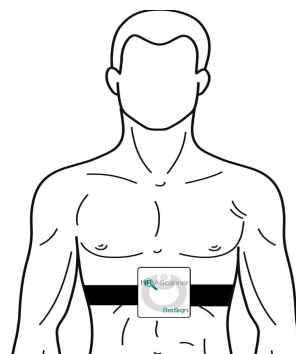


Abb. Durch die respiratorische Zwerchfellbewegung kommt es zu atemsynchronen Änderungen der Herzachse, die sich in einer wechselnden Amplitude der R-Zacke ausdrücken (obere Kurve). Das untere Bild zeigt die korrespondierende Herzfrequenzkurve, sowie die aus der Amplitude der R-Zacken abgeleitete Atemkurve. (Hinweis: Die EDR-Kurve wurde im HRV-Scanner invertiert, um einen möglichst analogen Verlauf mit der Thoraxbewegung zu erzielen.)

Mechanische Bestimmung der Atmung - Atemgurt (HRV-Scanner plus)

Durch einen Brustgurt wird die Atembewegung des Brustkorb gemessen und daraus die Atmung bestimmt. Der Atemgurt ist in der neurovegetativen Funktionsdiagnostik der Goldstandard zur Bestimmung der Atemfrequenz.



EDR und mechanische Sensoren korrelierten in der Kurzzeit-HRV hinreichend genau für eine Abschätzung der Atemfrequenz mittels EDR ($r = 0,91$). Für eine präzise Analyse ist allerdings ein Atemsensor erforderlich, da bei einzelnen Probanden Abweichungen der Atemfrequenzen von EDR und Brustgurt bis 4 Atemzüge pro Minute auftraten. Auffällig waren nicht respiratorisch bedingte Schwankungen im EDR-Signal, die vor allem bei niedrigeren Atemfrequenzen auftraten, siehe nachstehende Abbildung. Ihr Ursprung ist unklar. Möglicherweise gibt es neben der Zwerchfellbewegung auch noch andere dynamische Einflussgrößen auf die Herzachse. Es wird deshalb empfohlen, das EDR-Signal vor der Interpretation des Messungsergebnisses einer optischen Kontrolle zu unterziehen und die richtige Positionierung der Marker für Ein- und Ausatmung zu prüfen.

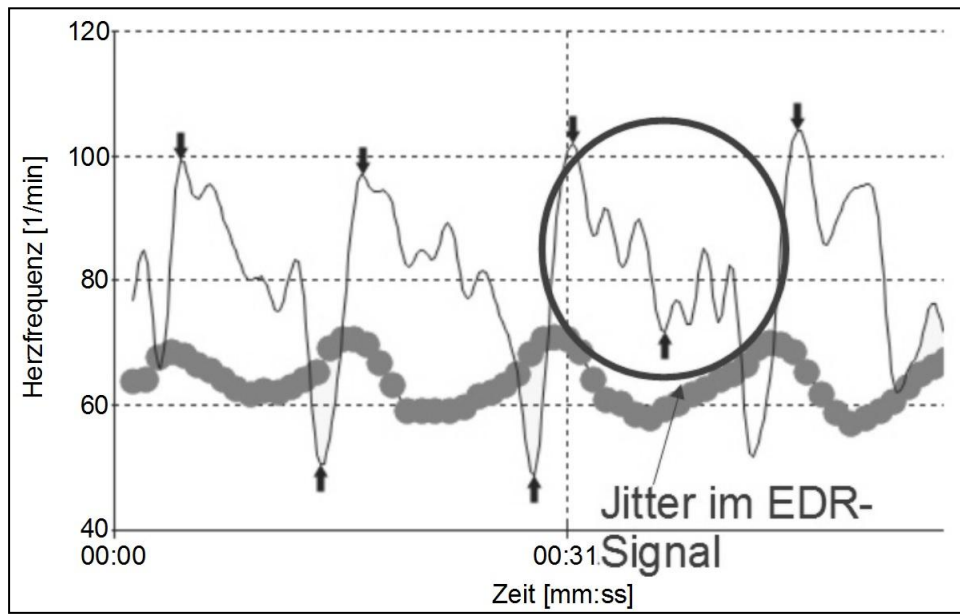


Abb. Störungen im EDR-Signal. Nicht in allen Fällen gelingt es, ein störungsfreies EDR-Signal aufzuzeichnen. Deshalb sollte das EDR-Signal und insbesondere die automatisch gesetzten Markierungen der Atemzyklen durch den Anwender auf Plausibilität geprüft werden.

Die RSA-Messung

Die RSA-Messung ist ein Standardtest der HRV-Messung. Ziel ist die Erfassung der maximal verfügbaren parasympathischen Regulation (Reserve). Die RSA-Messung sollte mit dem EKG (und evtl. zusätzlich Pulswelle) durchgeführt werden. Dauer: reine Messungsdauer 1 Minute, incl. Vorbereitung ca. 5 Minuten

Die RSA-Messung (Bestimmung der respiratorischen Sinusarrhythmie) ermittelt zuverlässig die aktuelle Anpassungsfähigkeit unseres inneren Steuer- und Kontrollsystems mittels eines neurophysiologischen Testverfahrens, das sich über mittlerweile vier Jahrzehnte in der Medizin bewährt hat. Eine regelmäßige Messung unterstützt das Erkennen von gesundheitlichen Risiken, akuten psychischen und physischen Überbelastungen und gibt ein positives Feedback bei erfolgreicher Lebensstilveränderung. Die Eigenschaften „**Flexibilität**“, „**Tonus**“ und „**Dynamik**“ beschreiben die drei Komponenten der „inneren Bremse“.

Messung vorbereiten

Wie bei jeder HRV-Messung erfordert auch die Bestimmung der RSA-Messung eine sorgfältige Vorbereitung des Probanden. Es sollte sichergestellt sein, dass möglichst alle Faktoren, die einen Einfluss auf die neurovegetative Balance haben könnten, kontrolliert oder zumindest dokumentiert werden. Dazu gehören: Medikamente, aktuelle Erkrankungen, starke körperliche Anstrengungen (Sport) in den letzten Tagen, oder auch Kaffee oder Nikotin kurz vor der Messung. Diese Messung erfolgt meist im Sitzen, damit die Probanden die Atemvorgabe am Bildschirm besser verfolgen können. Die RSA-Messung ist ein Funktionstest, d.h. der Proband muss hier aktiv mitarbeiten. Entscheidend ist die maximal tiefe Ein- und Ausatmung des Probanden nach der Vorgabe des Atembalkens. Die Atmung sollte vor dem Start der Messung zusammen mit dem Probanden geübt werden. Die durch die Atmung bedingte Blutvolumenverschiebung zwingt den Körper zu regulieren. Im Ergebnis der Messung sehen wir, wie gut das vegetative Nervensystem dazu in der Lage ist.

Messung durchführen

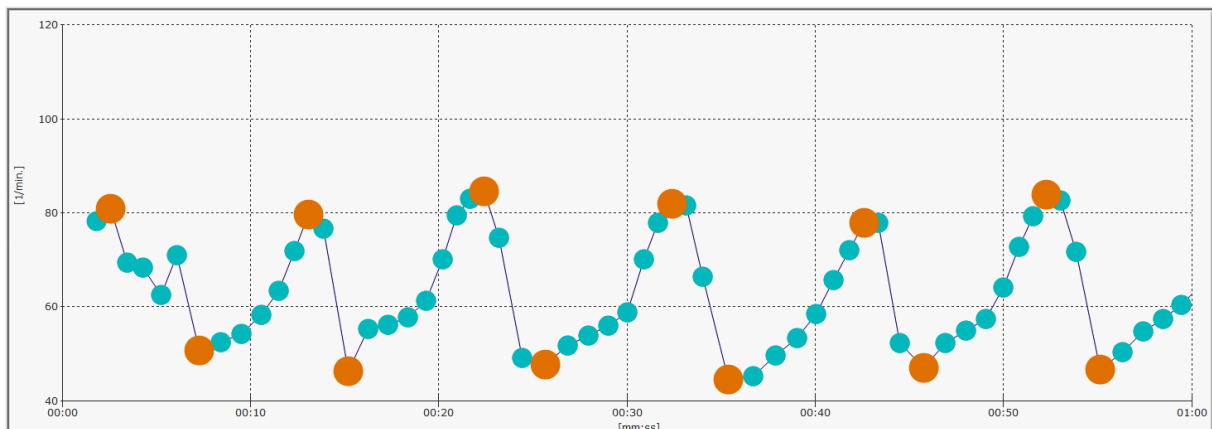
Achten Sie während der Kurzzeit-Messung darauf, dass der Proband tief und gleichmäßig atmet. Nach Ablauf der Messungszeit erhalten Sie eine Meldung über die erfolgreiche Aufzeichnung der Messung. Schließen Sie jetzt das Messungsfenster. Die Messungsdaten werden in ein Archiv verschoben und im Fenster „Messen und Auswerten“ erscheint ein Eintrag für die neue Messung.

Auswertung

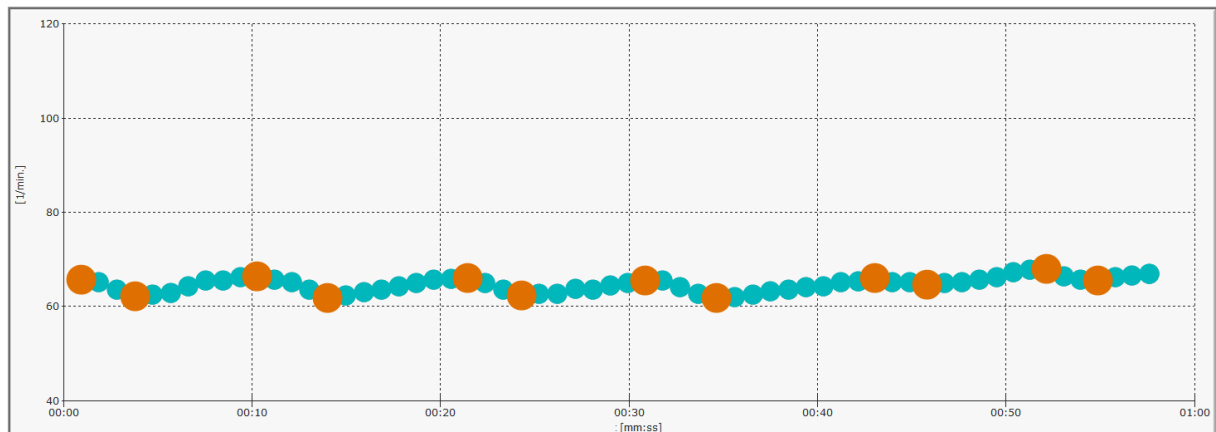
Markieren Sie dazu die durchgeführte RSA-Messung im Fenster „Messen und Auswerten“ mit der Maus und drücken Sie „Auswerten“ oder Doppelklicken Sie auf das Messungssymbol.

Der Verlauf der Herzfrequenz sollte während der RSA-Messung ein stetiges atemabhängiges Auf und Ab zeigen.

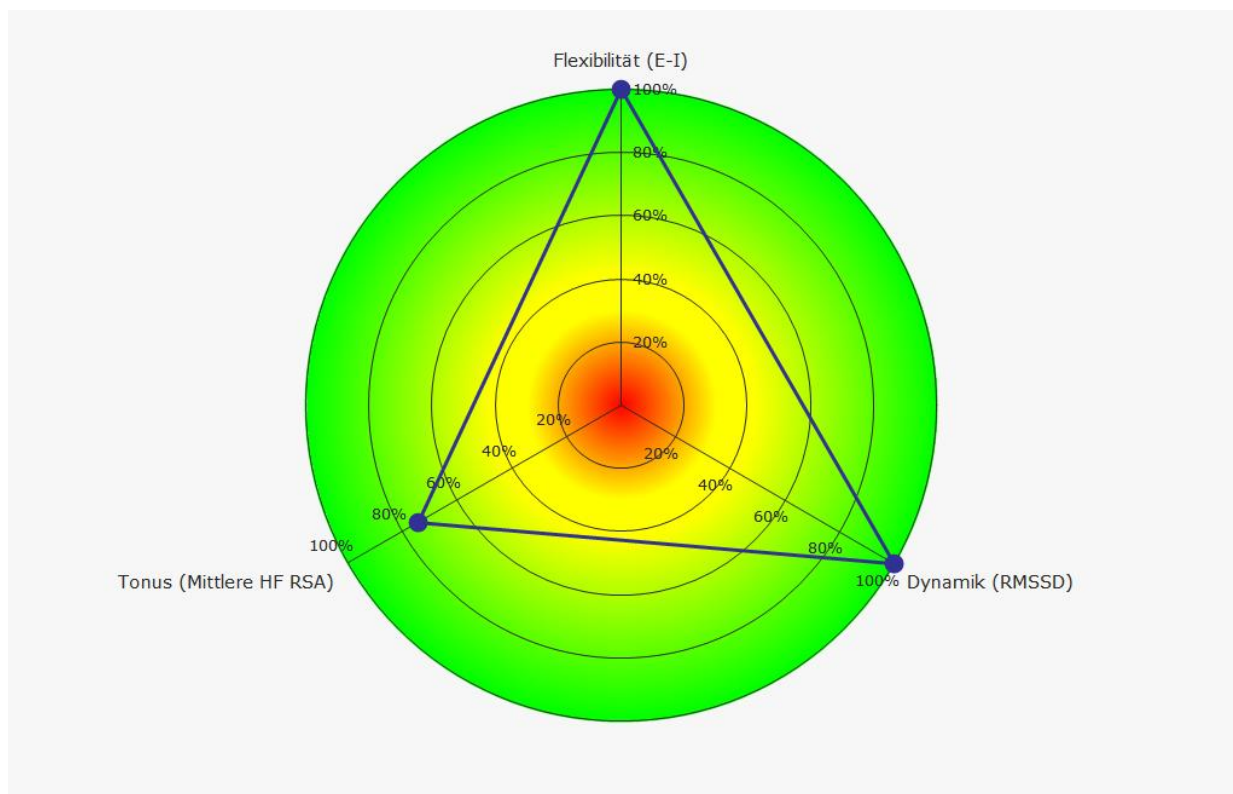
Das untere Bild zeigt einen typischen Verlauf der Herzfrequenz während einer RSA-Messung eines gesunden Probanden.

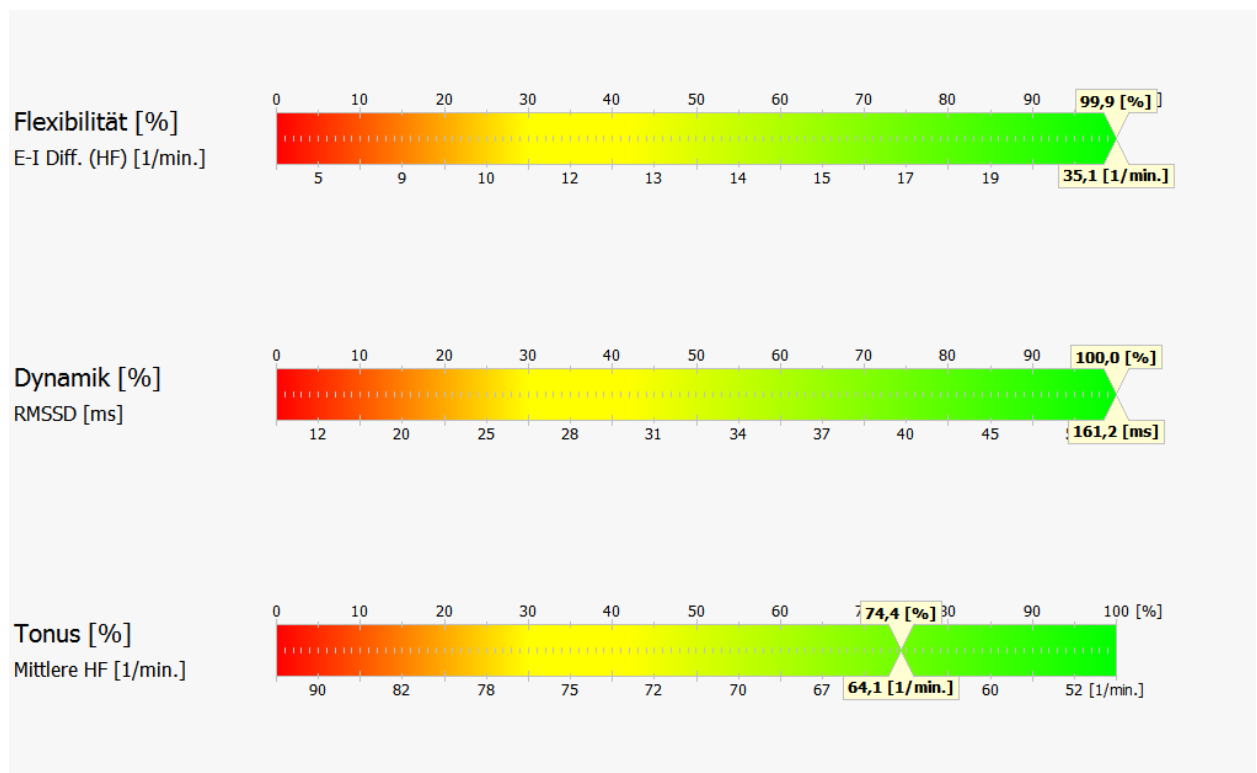


Das untere Bild zeigt einen typischen Verlauf der Herzfrequenz während einer RSA-Messung eines Probanden mit deutlich eingeschränkter Herzratenvariabilität.

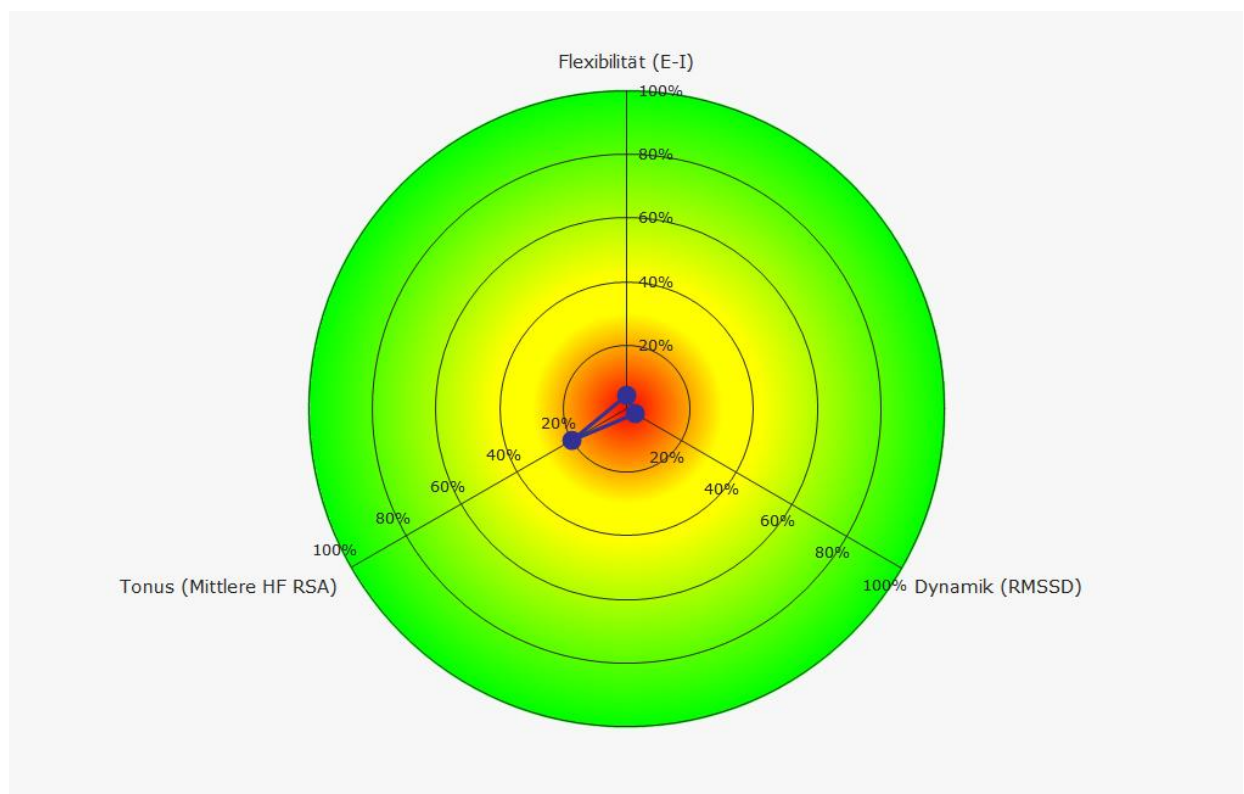


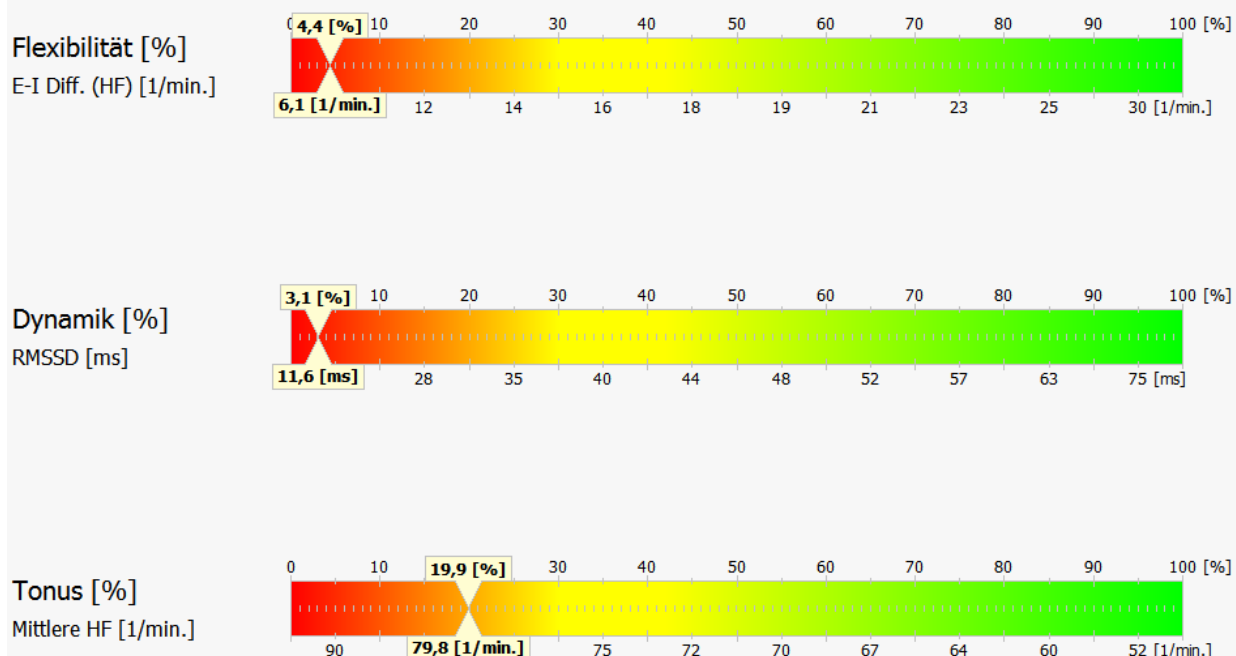
Ein typisches Ergebnis eines gesunden Probanden könnte wie folgt aussehen (Spiderweb- und Balkendiagramm):





Die folgenden Bilder zeigen ein Ergebnis eines Probanden mit eingeschränkter Regulationsfähigkeit (Spiderweb- und Balkendiagramm).

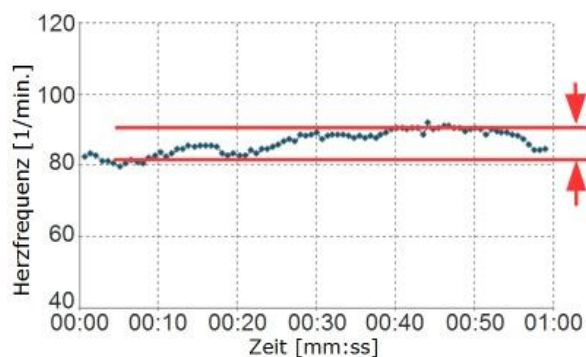




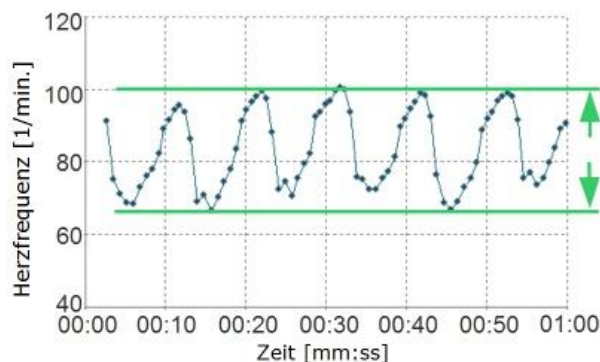
Zielparameter im Rang-Diagramm der RSA-Messung

Flexibilität

„Survival of the fittest“. Dieser oft falschverstandene Satz im Kontext der Darwin'schen Evolutionstheorie bedeutet wörtlich das „Überleben der am besten Angepassten“. Diese zum Überleben notwendige Anpassungsfähigkeit ist bereits auf der Ebene der Körperregulation ein absolutes Muss und wird durch eine gut funktionierende Herz-Hirn-Achse gewährleistet. Ein hoher Flexibilitätswert spiegelt eine gute Anpassungsfähigkeit unseres Herz-Kreislaufsystems wieder. Dauerhaft niedrige Flexibilitätswerte sind dagegen ein Ausdruck mangelnder Anpassungsfähigkeit. So ist ein geringer Flexibilitätswert beispielsweise ein prognostisch ungünstiges Zeichen nach Herzinfarkt*.



Beispiel einer sehr geringen Flexibilität (Herzfrequenzschwingung nicht mehr vorhanden)



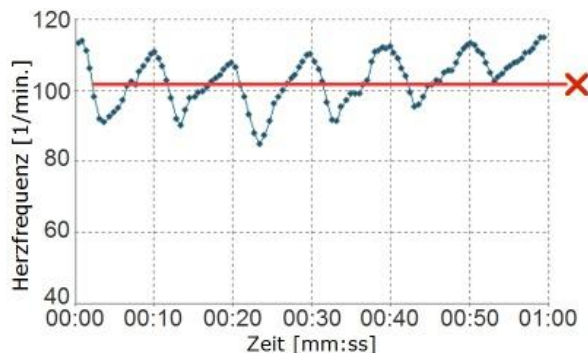
Beispiel einer hohen Flexibilität (große Amplitude der Herzfrequenzschwingung)

*A simple bedside test of 1-minute heart rate variability during deep breathing as a prognostic index after myocardial infarction. Katz A, Liberty IF, Porath A, Ovsyshcher I, Prystowsky EN. Am Heart J. 1999 Jul;138(1 Pt 1):32-8.

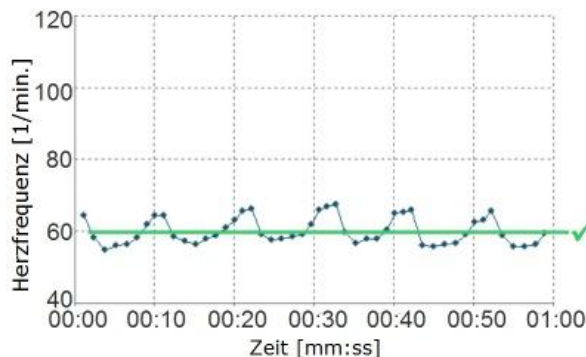
Tonus

In Ruhe ist unser körpereigenes Brems- und Regenerationssystem (Parasympathikus) der aktive Teil unserer Herz-Hirn-Achse. Nur ein leistungsfähiger Parasympathikus kann die Körpervorgänge optimal steuern und ermöglicht unsere lebenswichtige Anpassungsfähigkeit. Ein guter parasympathischer Grundtonus drückt sich in einer niedrigeren Herzfrequenz aus.

Beispielsweise haben Menschen mit einer Herzfrequenz $> 90/\text{min}$ ein mehr als dreifach höheres Sterberisiko als Menschen mit einer Herzfrequenz $< 60/\text{min}$.*



Beispiel eines geringen parasympathischen Tonus (hohe mittlere Herzfrequenz)

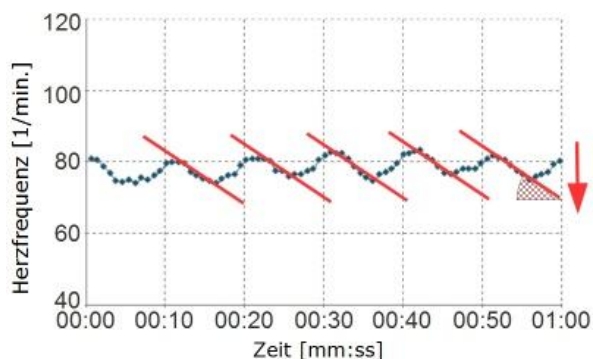


Beispiel eines hohen parasympathischen Tonus (niedrige mittlere Herzfrequenz)

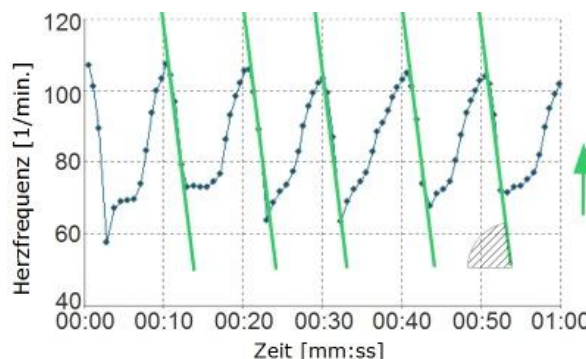
*HABIB, G.B. 1999. Reappraisal of heart rate as a risk factor in the general population. Eur. Heart J. Suppl. 1: H2-H10.

Dynamik

Ein wesentliches Merkmal einer leistungsfähigen Herz-Hirn-Achse ist die Geschwindigkeit, mit der die Informationsverarbeitung und Körperregulation erfolgt. Vergleichbar mit dem Bremsstest beim Auto gilt, je schneller das System zum „Stehen“ kommt, desto leistungsfähiger ist die eingebaute Bremse.



Beispiel einer Herz-Hirn-Achse, die nur über eine geringe Dynamik verfügt. Die Herzfrequenz ändert sich von Herzschlag zu Herzschlag nur wenig.



Beispiel für eine gute Dynamik. Die Herzfrequenz ändert sich beim Ausatmen (Abfall der Herzfrequenz) sehr stark

Warum zwei Messungen als Basis HRV

Warum empfehlen wir zur Basis HRV-Messung die Kombination aus Kurzzeit-HRV und RSA-Messung? Was sagt die kombinierte Interpretation der Ergebnisse beider Messungen?

Kurzzeit	RSA	Beschreibung	Aktuelle HRV	Reserve
+	+	Gutes Ergebnis in Kurzzeit- und RSA-Messung Die parasympathische Regulation funktioniert hier unter Stimulation und in Ruhe gut. Das vegetative Nervensystem ist im Gleichgewicht. Solche Ergebnisse finden wir meist bei Menschen, die in sich ruhen, gesund und sportlich sind und meist eine gute Work/Life Balance, bzw. eine gute Stress-Resilienz haben.	+	+
-	-	Schlechtes Ergebnis in Kurzzeit- und RSA-Messung Die parasympathische Regulation funktioniert weder unter Stimulation noch in Ruhe gut. Meist liegt bereits eine chronische Schädigung des Parasympathikus vor. Ursache hierfür ist häufig ein chronischer Prozess. (langjähriger Diabetes, chronischer Stress,...)	-	-
-	+	Schlechtes Ergebnis in Kurzzeit-Messung, aber gutes Ergebnis in der RSA-Messung Die parasympathische Regulation funktioniert hier unter Stimulation gut, jedoch in Ruhe schlecht. Das gibt uns einen Hinweis darauf, dass prinzipiell noch eine gute Kapazität /Reserve der Regulation vorliegt, diese aber unter Ruhebedingung nicht genutzt werden kann. Mögliche Ursachen sind: schnelle flache Ruheatmung als Zeichen einer mentale Stressbelastung. Solche Ergebnisse sieht man meist bei jüngeren Probanden, die bislang eine gute Regulation hatten, aber aktuell durch Stress belastet werden. Die Prognose zur Wiedererlangung einer gut funktionierenden vegetativen Regulation ist positiv, da das regulative System wahrscheinlich noch keine strukturellen Schaden genommen hat.	-	+

Der Valsalva Test (Vasalva Manöver)

Der Valsalva-Test ist ein zusätzlicher Stimulationstest zur Funktionsprüfung des autonomen Nervensystems. Da er als einer der wenigen Funktionstests auch die adrenergen Reflexbögen prüft ist er besonders dann angezeigt, wenn eine mögliche Beeinträchtigung des sympathischen Nervensystems untersucht werden soll.

Patientenvorbereitung

Beim Valsalva-Test kommt es auf eine sehr gute Ableitung des EKG-Signals und des Pulssignals an. Wenn während des Tests zu viele Artefakte auftreten, z.B. durch Armbewegungen beim Pressen, kann nötigenfalls auf Klebeelektroden am Brustkorb ausgewichen werden.

Kontraindikationen und Warnhinweise

Grundsätzlich gilt der Valsalva als sicherer Funktionstest. Aufgrund möglicher Blutdruckspitzen darf der Valsalva-Test allerdings nicht bei Personen durchgeführt werden, bei denen Blutdruckspitzen vermieden werden müssen. Dazu zählen beispielsweise Patienten mit Netzhautblutungen in der Vorgeschichte oder bekannten Hirnaneurysmen.

Testdurchführung

Beim Valsalva-Test wird der Patient aufgefordert, in ein Mundstück mit angeschlossenen Druckaufnehmer zu blasen und dabei einen Druck von etwa 40 mmHg über 15 Sekunden aufrecht zu halten. Der Druckaufnehmer sollte ein Leck aufweisen, um eine kontinuierlich geöffnete Glottis zu gewährleisten.

Physiologie

Das Valsalva-Manöver (VM) ist ein sehr wirksamer Kreislaufstimulus, der einen ausgeprägten transienten Blutdruckabfall auslöst. Die Verringerung des Parasympathikus allein reicht nicht aus, um den Blutdruckabfall entgegen zu wirken. Es kommt deshalb zu einer Aktivierung des adrenergen sympathischen Systems mit einer ausgeprägten Vasokonstriktion, die aufgrund der Trägheit des Sympathikus auch nach Ende des VM noch einige Sekunden anhält.

Die neurovegetative Regulation des VM lässt sich in vier Phasen gliedern:

Die initiale intrathorakale Druckerhöhung durch das aktive Pressen bewirkt zunächst eine transiente, wenige Sekunden andauernde Erhöhung des Blutdrucks (Phase I). Durch die intrathorakale Druckerhöhung wird der venöse Rückstrom zum Herzen beeinträchtigt, sodass Herzschlagvolumen und Blutdruck kontinuierlich abnehmen (Phase IIa). Reflektorisch kommt es zu einer Gegenregulation, die dadurch gekennzeichnet ist, dass initial der Vagus gehemmt wird und im weiteren Verlauf sich die sympathische Aktivität insbesondere an den Widerstandsgefäßen erhöht (Phase IIb, Vasokonstriktion). Bei Beendigung des Druckmanövers sinkt der intrathorakale Druck plötzlich ab. Dies führt zu einem kurzzeitigen, physikalisch bedingten Absinken des Blutdrucks (Phase III). Durch den wiedereinsetzenden starken venösen Zustrom steigt das Schlagvolumen deutlich an bei gleichzeitiger noch vorhandener Vasokonstriktion. Dies führt zu einem den Baseline-Wert in der Regel deutlich übersteigenden Anstieg des Blutdrucks (Phase IV). Dieses plötzliche Ansteigen des Blutdrucks verursacht eine schnelle vagale Gegenregulation, die sich in einem deutlich ausgeprägten Abfall der Herzfrequenz ausdrückt. Aus diesem Abfall der Herzfrequenz lässt sich das Valsalva-Ratio berechnen: Quotient des maximalen RR-Intervalls nach dem Manöver zum kürzesten RR-Intervall während oder kurz nach Beendigung des Manövers. Das Valsalva-Ratio ist vor allem ein parasymphathischer Parameter.

Anhand der Hüllkurve und den Amplituden des Pulssignals (gelbe Kurve) und der Pulswellenlaufzeit (PTT, rote Kurve) lässt sich der Verlauf des systolischen Blutdrucks beim Valsalva-Manöver gut abschätzen. Die PTT verhält sich invers zum systolischen Blutdruck: Je niedriger der systolische Blutdruck, desto größer die PTT.

Ein intaktes sympathisches System führt zu einer deutlichen Vasokonstriktion, ausgelöst durch den Blutdruckabfall während des Pressens. Aufgrund der längeren Reaktionszeiten des Sympathikus im Vergleich zum Parasympathikus setzt die Vasokonstriktion verzögert ein und hält über das Ende des VM hinaus an.

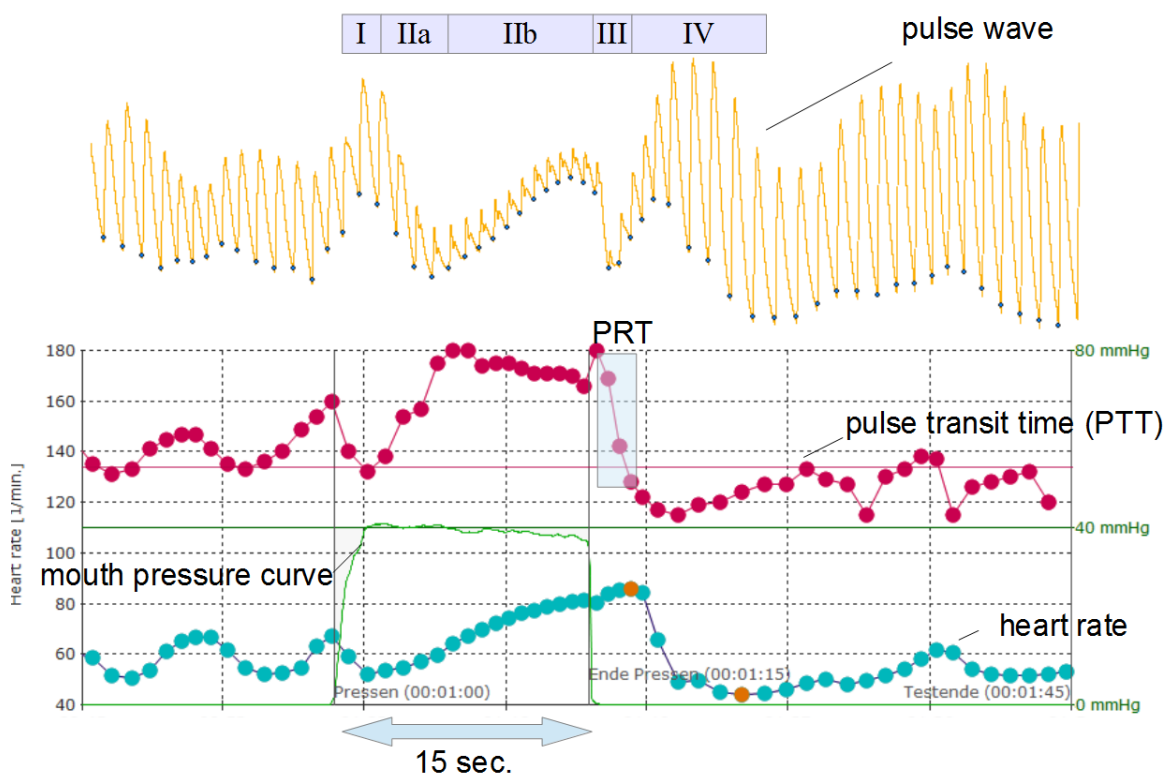


Abbildung 1: Valsalva-Test eines gesunden Probanden, durchgeführt mit dem HRV-Scanner plus. Anhand der roten PTT-Kurve lässt sich sehr gut der Blutdruckverlauf während des VM nachvollziehen: In Phase IIa kommt es zu einem Druckabfall (Anstieg der PTT). Durch die zunehmende Vasokonstriktion in Verbindung mit einem

Ansteigen der Herzfrequenz wird der Druckabfall gestoppt und geringfügig ausgeglichen (Phase IIb, sichtbarer stetiger Abfall der PTT). Mit Ende des Pressen kommt es bedingt durch die bestehende Vasokonstriktion bei gleichzeitig hoher Herzfrequenz und stark ansteigendem Schlagvolumen zu einem überschießenden Anstieg des Blutdrucks (Phase IV), erkennbar an einem Abfall der PTT unter den Baseline-Wert (rote horizontale Linie). Die "Blood pressor recovery time (PRT)" gibt die Zeit vom Beginn der Phase IV bis zum Wiederherstellen des Baseline-Blutdrucks an.

Hinweise für eine adrenerge Dysfunktion

Eine mögliche adrenerge Dysfunktion zeigt sich vor allem in einem abweichenden Verlauf der Blutdruckkurve. Aus diesem Grund wird der Valsalva-Test bisher meist nur in spezialisierten Einrichtungen durchgeführt, in denen ein kontinuierlich messendes Blutdruckmessgerät zur Verfügung steht, das eine quantitative Beat-to-Beat Analyse des Blutdrucks ermöglicht. Diese Systeme sind aufgrund ihres hohen Preises (>20.000 €) allerdings kaum verbreitet.

Um trotzdem eine Beurteilung des Blutdruckverlaufs beim VM zu ermöglichen berechnet der HRV-Scanner die Pulswellenlaufzeit (PTT), von der man aus vielen Studien weiß, das sie über kurze Zeiträume sehr gut mit dem systolischen Blutdruck korreliert. Die PTT lässt allerdings nur eine qualitative Beurteilung der Blutdruckänderungen zu, eine quantitative Analyse in mmHg ist damit nicht möglich. Eine deutliche adrenerge Insuffizienz führt allerdings zu einem typischen Muster des Blutdruckverlaufs, das auch in der PTT gut erkennbar ist: Durch die fehlende Vasokonstriktion in Phase IIa kann der Blutdruck nicht stabilisiert werden und fällt weiter ab. In Phase IV verlängert sich die Zeit bis zum Wiedererreichen des Baseline-Blutdrucks ("Pressure recovery Time", PRT). Es ergibt sich ein "V"-förmiges Muster des Blutdruckverlaufs. Die PRT beträgt normalerweise weniger als 5 Sekunden¹ und kann sich bei ausgeprägter adrenerger Schwäche auf bis zu 40 Sekunden verlängern².

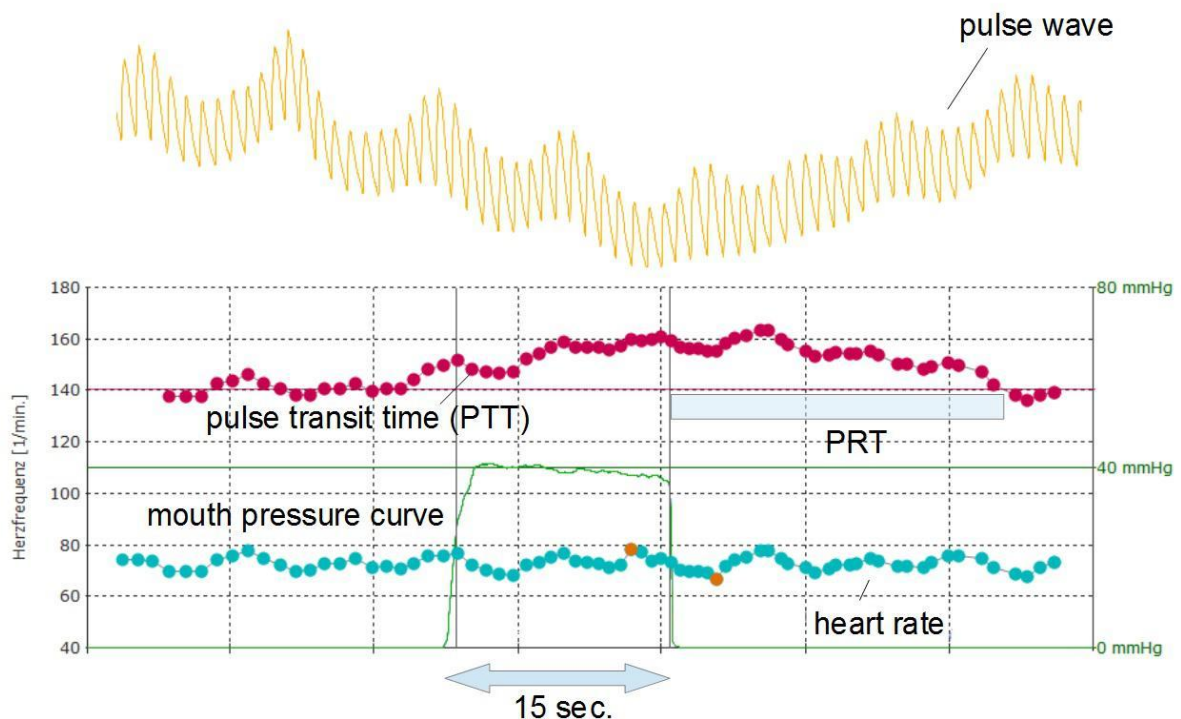


Abbildung 2: Schematischer Verlauf einer ausgeprägten Regulationsschwäche. Der Blutdruck sinkt während des Pressens fortwährend ab. Die "Blood pressor recovery time (PRT)" ist stark verlängert.

Es gibt vegetative Dysfunktionen wie das posturale Tachykardiesyndrom (POTS), die sich im VM deutlich von Normalbefunden und einer Sympathikusinsuffizienz (Abb. 2) unterscheiden. POTS-Patienten und Patienten mit CFS (Chronic Fatigue Syndrome) zeigen oft eine überlappende Symptomatik, die sich klinisch in Müdigkeit und Erschöpfung äußert³. Im VM findet sich bei POTS-Patienten ein hyperadrenerges Reaktionsmuster mit einem ausgeprägtem und lang anhaltendem Überschießen des Blutdrucks in Phase IV (Abb. 3). Die vagalen Funktionstests können dabei weitestgehend unauffällig sein.

Wir empfehlen deshalb bei Patienten mit einer Symptomatik von anhaltender Erschöpfung und Müdigkeit und natürlich bei Symptomen der Orthostase-Intoleranz nicht nur die primär vagalen Funktionstests durchzuführen, sondern ebenfalls den sympathischen Teil des autonomen Nervensystems mittels VM und Orthostase-Test zu prüfen.

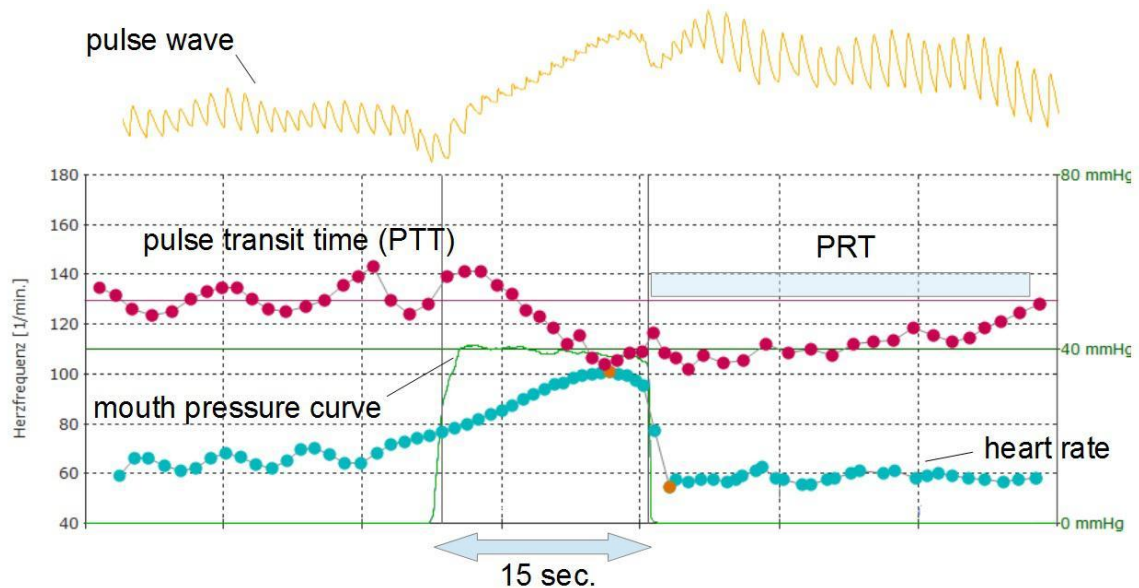


Abbildung 3: Schematischer Verlauf einer hyperadrenergen Reaktion im VM bei einem Patienten mit posturalem Tachykardiesyndrom (POTS). In Phase IV steigt der Blutdruck überschießend an und fällt nur sehr verzögert wieder auf den ursprünglichen Baseline-Wert ab.

Literatur

- 1) Huang, C. C., Sandroni, P., Sletten, D., Weigand, S. & Low, P. A. Effect of age on adrenergic and vagal baroreflex sensitivity in normal subjects. Muscle Nerve. 36, 637–642 (2007).
- 2) Naoki Wada, Wolfgang Singer, Tonette L. Gehrking, David M. Sletten, James D. Schmelzer, and Phillip A. Low. Comparison of Baroreflex Sensitivity to Fall and Rise in Blood Pressure Induced by the Valsalva Maneuver. Clin Sci (Lond). 2014 September 1; 127(5): 307–313
- 3) Okamoto LE1, Raj SR, Peltier A, Gamboa A, Shibao C, Diedrich A, Black BK, Robertson D, Biaggioni I. Neurohumoral and haemodynamic profile in postural tachycardia and chronic fatigue syndromes. Clin Sci (Lond). 2012 Feb;122(4):183-92.

Was hat einen negativen Einfluss auf die HRV

Ein deutlich erhöhter Nüchtern-Blutzuckerwert führt zur Einschätzung, dass eine Zuckerkrankheit (Diabetes) vorliegt. Bei der HRV ist der Sachverhalt leider wesentlich komplexer. Wie interpretieren wir schlechte Ergebnisse aus unseren HRV-Messungen? Entscheidend ist das Wissen, was die HRV negativ beeinflussen kann und die Befragung des Probanden (Anamnese). Beides vereint, wird uns schnell zur Ursache der Parasympathischen Dysfunktion, bzw. der verschobenen vegetativen Balance führen.

Anticholinerg wirkende Medikamente

Anticholinerg wirkende Medikamente (Antidepressiva,...) haben einen negativen Einfluss auf die HRV, da sie die Informationsübertragung im Parasympathikus hemmen. Diese Medikamente sind an folgenden Nebenwirkungen (siehe Beipackzettel) zu erkennen: Mundtrockenheit, leichte Sehstörungen, Obstipation, trockene Augen, Harnverhalt.

Arzneistoffe mit anticholinerg Hauptwirkung

Arzneistoffgruppe	Vertreter (Beispiele)
Antiemetika, Antivertiginosa	Dimenhydrinat, Promethazin, Scopolamin
Parkinsonmedikamente	Benzatropin, Biperiden, Trihexyphenidyl, Metixen
gastrointestinale Spasmolytika, Sekretionshemmer	Butylscopolamin, Pirenzepin
urologische Spasmolytika	Oxybutynin, Tolterodin, Fesoterodin, Darifenacin, Solifenacin
inhalative Bronchodilatoren	Ipratropium, Tiotropium, Acclidiniumbromid
Mydriatika	Atropin, Scopolamin, Homatropin, Tropicamid
Intensivmedizin, präoperative Medikation	Atropin

Weitere Medikamente

Eine Übersicht finden Sie unter <http://www.hrv24.de/HRV-Medikamente.htm> (ohne Gewähr).

Genußmittel/Drogen:

z.B. Koffein, Nikotin, Alkohol

Chron. Krankheiten

z.B. Diabetes, Morbus Parkinson, Depression

Akute Erkrankungen

z.B. Grippe, Herzinfarkt

Exzessiver Sport, Übertraining

Jede Art von sportlicher Überbelastung führt zu einer temporären Verminderung der individuellen HRV. Deswegen lässt sich die HRV-Messung auch gut zur Überwachung des Trainings im Sport verwenden.

Stress

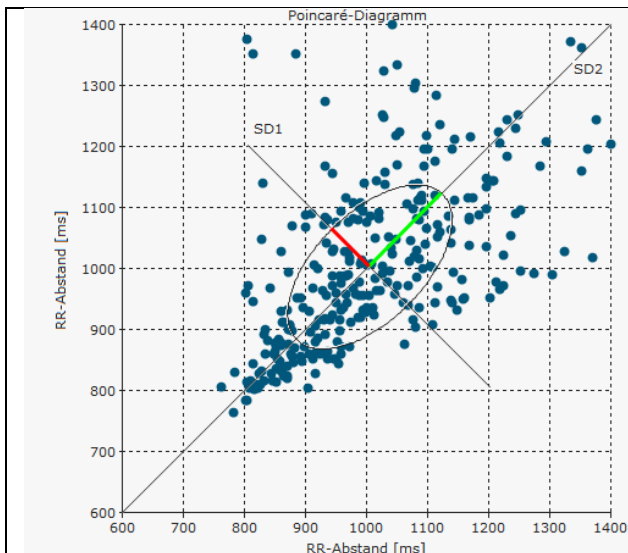
Akuter und chronischer Stress hat eine oftmals deutlichen negativen Einfluß auf die individuelle HRV. Das Ausmaß hängt ab von:

- individuelle Empfindlichkeit für Stress
- Qualität des Stress
- Dauer des Stress

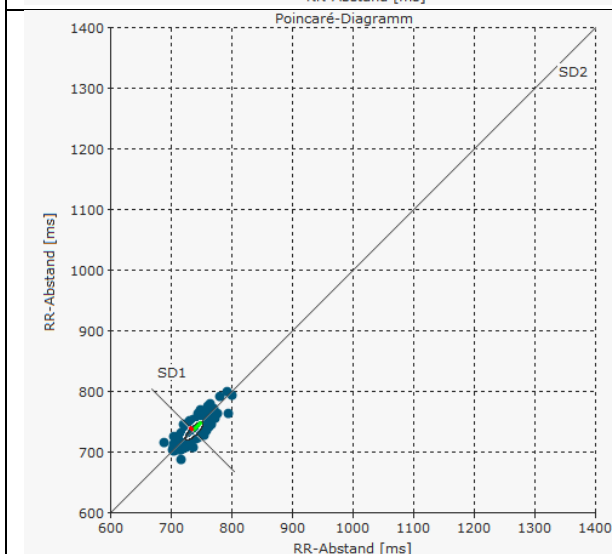
Weitere Diagramme in der Auswertung

Poincaré Diagramm

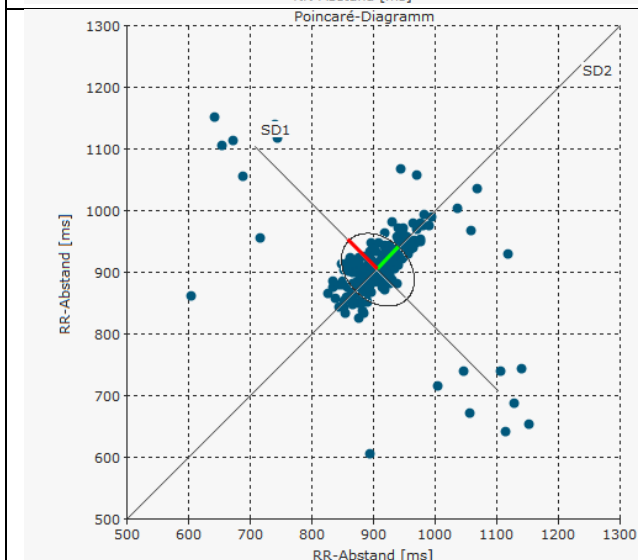
Das Poincaré Diagramm (Poincaré Plot, Lorenz-Diagramm, Scatter-Plot) wurde nach Henri Poincaré (1854-1912) benannt. Hier wird jeder RR-Intervall (oder Herzfrequenz) gegen seinen Nachfolger aufgetragen. Dabei entstehen typische Muster, die Periodizität und Ähnlichkeit darstellen.



Bei der HRV entsteht bei guter Variabilität und Periodizität typischerweise eine Punktwolke in Form einer Ellipse auf der Winkelhalbierenden.



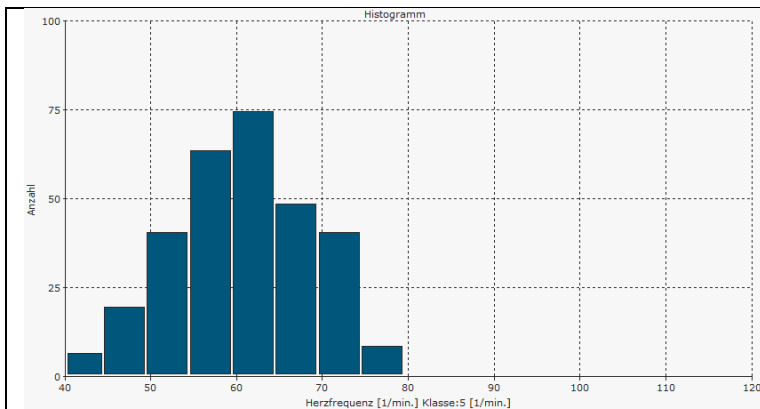
Eine eingeschränkte Herzratenvariabilität führt zu einer Konzentration der Punktwolke



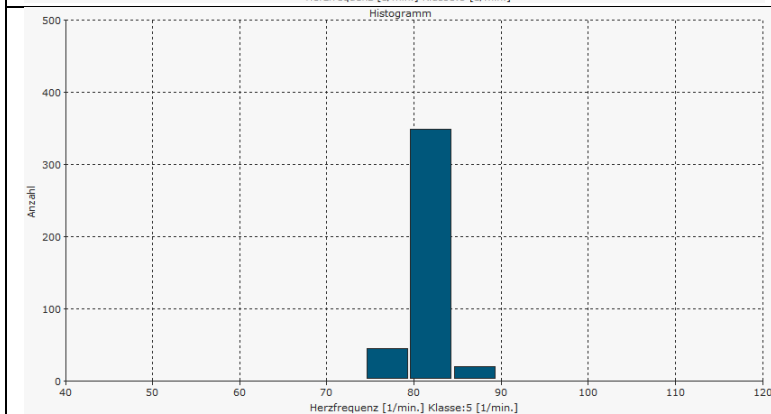
Rhythmusstörungen und Artefakte bilden sich typischerweise außerhalb der elliptischen Punktwolke. Deshalb verwenden wir als Diagramm auch in Form eines grafischen Filters zur Artefakt-Bereinigung.

Histogramm

Ein Histogramm ist eine graphische Darstellung der Häufigkeitsverteilung kardinal skalierten Merkmale. Es erfordert die Einteilung der Daten in Klassen. Es werden direkt nebeneinanderliegende Rechtecke von der Breite der jeweiligen Klasse gezeichnet, deren Flächeninhalte die Klassenhäufigkeiten darstellen. Die in der Messung auftretenden Herzschläge werden auf die einzelnen Klassen verteilt. Die Höhe jedes Rechtecks stellt dann die Anzahl Herzschläge pro Klasse dar.



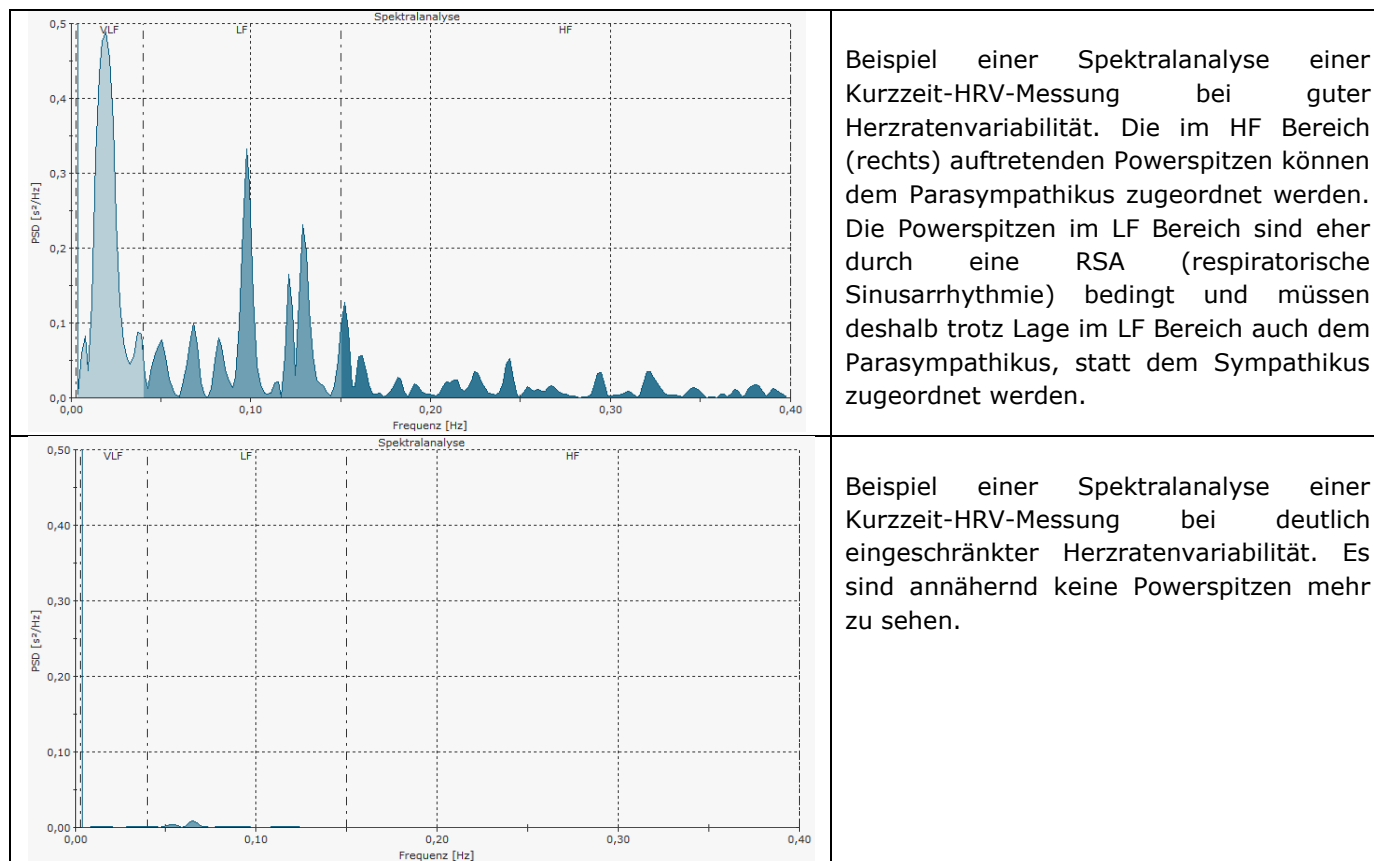
Histogramm eines Probanden mit guter Herzratenvariabilität. Das Diagramm erscheint breit und eher niedrig (Skalierung der Y-Achse = Anzahl beachten!)



Histogramm eines Probanden mit eingeschränkter HRV. Das Diagramm erscheint hoch und eher schmal (Skalierung der Y-Achse = Anzahl beachten!)

Spektralanalyse

In der Spektralanalyse beschreibt die in der Signal- und Zeitreihenanalyse aus der Fouriertransformation gewonnenen Werte. Hierbei wird der Herzfrequenzverlauf einer Messung hinsichtlich auftretende Schwingungsfrequenzen untersucht. Ziel ist durch Ermittlung der Powerwerte für die einzelnen Frequenzbänder zu untersuchen, welcher Ast des VNS bei der stattgefundenen Regulation in welchem Maß beteiligt war. Dazu nutzt man die Erkenntnis, dass der Parasympathikus aufgrund seiner Physiologie schneller als der Sympathikus regulieren kann. Alle im hochfrequenten Bereich (HF) auftretenden Schwingungen können eindeutig dem Parasympathikus zugeordnet werden. Den eher niederfrequenten Bereich (LF) teilen sich jedoch Sympathikus und Parasympathikus. Eine Abschätzung der Zuordnung ist hier nur unter Berücksichtigung der Atmung möglich. Der LF/HF Quotient ist also nur sehr bedingt geeignet die Balance zwischen Sympathikus und Parasympathikus wiederzugeben.



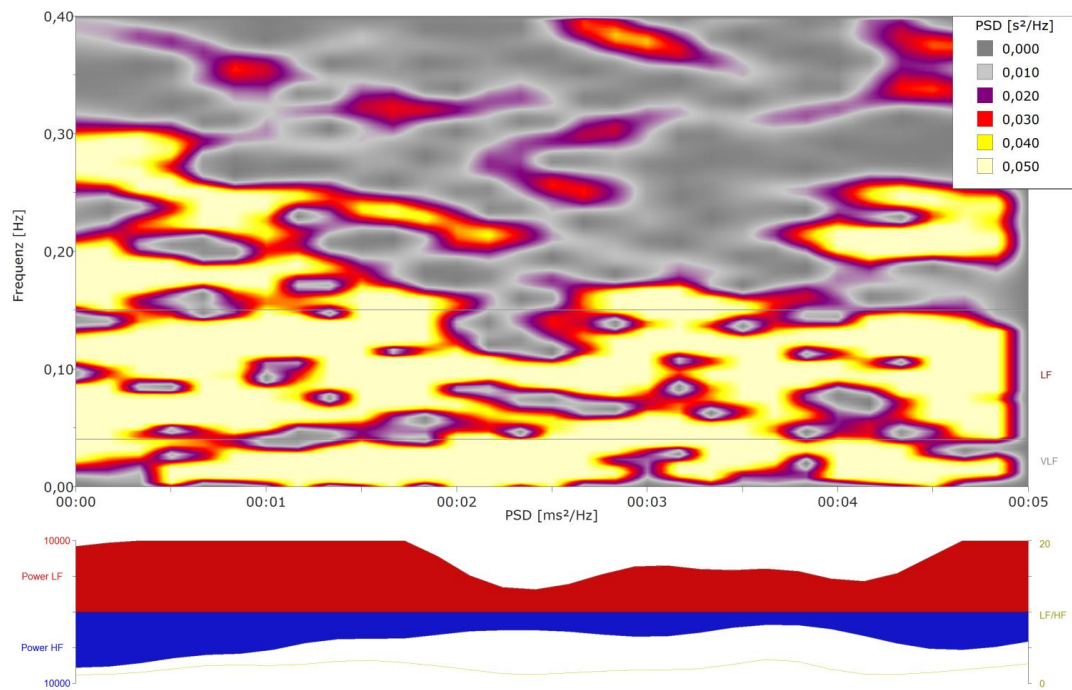
Farb-FFT

Die Spektralanalyse ermöglicht die Bestimmung der Frequenzbestandteile in der Herzfrequenzkurve. Damit kann in gewissen Grenzen auf die Parasympathikus- und Sympathikusaktivität zurückgeschlossen werden, da schnelle Änderungen der Herzfrequenz ($> 0,15$ Hz) nur durch die parasympathische Regulation ausgelöst werden können (siehe Kapitel "Parameter der Herzfrequenzvariabilität, Parameter der Spektralanalyse"). Bei längeren Messungen kann deshalb die Spektralanalyse herangezogen werden, um Veränderung der vegetativen Balance zu registrieren.

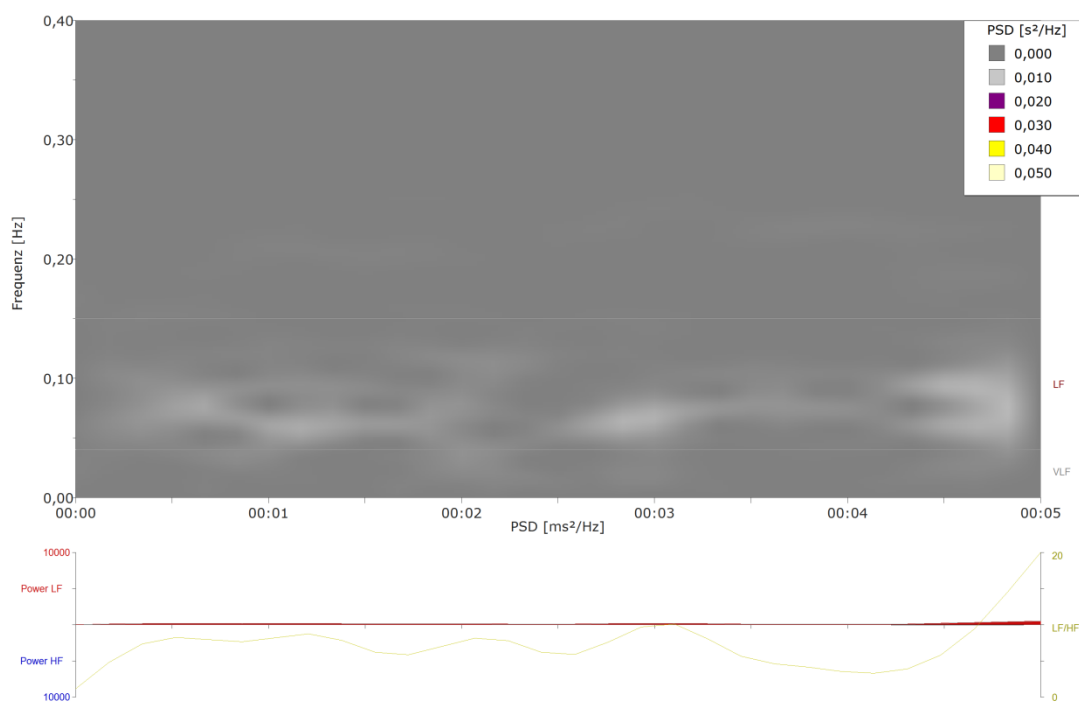
Zwei Diagramme visualisieren die Veränderungen der Spektralanalyse während der Messung anschaulich, das Farb-FFT und das 3D-FFT-Diagramm. Im Farb-FFT-Diagramm ist die Aktivität in einem bestimmten Frequenzband zu einem bestimmten Zeitpunkt durch die Farbe kodiert.

Im unteren Bereich werden das Verhältnis LF/HF und Power LF/Power HF dargestellt.

Beispiel eines Farb-FFTs aus einer Kurzzeit-HRV Messung mit guter HRV. Deutlich sichtbar sind die gelben Bänder als Darstellung hoher PSD-Werte (Power Spectral Density). Hohe Werte sprechen für ein häufiges Auftreten von Regulation im jeweiligen Frequenzbereich, hier im HF-Bereich als Zeichen einer eindeutig guten Parasympathikus-Funktion und im LF-Bereich als Zeichen einer ausgeprägten RSA und damit auch einer Regulation aus dem Parasympathikus.

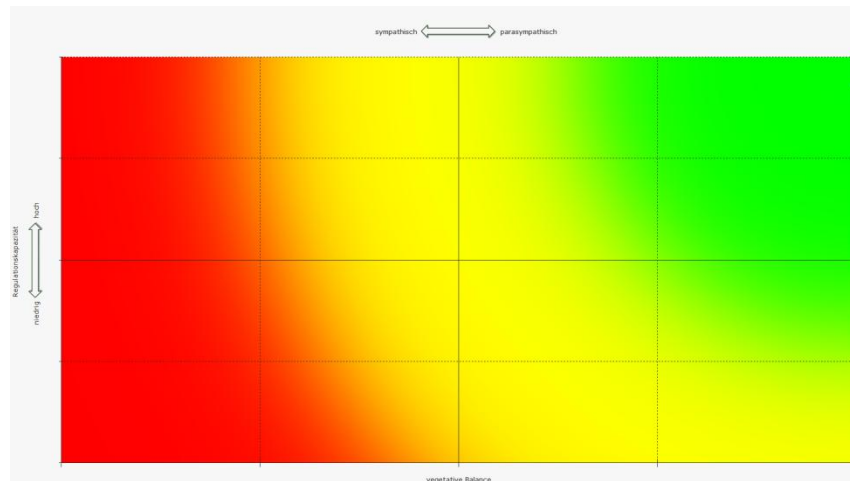


Beispiel eines Farb-FFTs aus einer Kurzzeit-HRV Messung mit eingeschränkter HRV. Hier ist ein komplettes Fehlen von Aktivität im HF-Bereich als Zeichen einer deutlichen Parasympathikus-Schwäche zu sehen. Im LF Bereich sind nur sehr diskrete Bänder zu sehen, was auch für eine eingeschränkte Regulation durch den Sympathikus spricht. Also insgesamt eine deutlich eingeschränkte Regulationskapazität.



ANS-Status

Das ANS-Status-Diagramm spiegelt den aktuellen Zustand des autonomen Nervensystems und der beiden gegensinnig wirkenden Äste Sympathikus und Parasympathikus in zwei Dimensionen wieder. Auf der horizontalen Achse ist das Verhältnis von parasympathischer zu sympathischer Aktivität aufgetragen, auf der vertikalen Achse die Regulationskapazität des vegetativen Nervensystems. Ein Überwiegen des Parasympathikus wird als "gut" bewertet, ebenso eine hohe Regulationskapazität. Deshalb befindet sich im optimalen Fall die blaue Markierung im rechten, oberen Feld (grün) und bei ungünstigen Messungsergebnissen im linken, unteren Feld (rot).



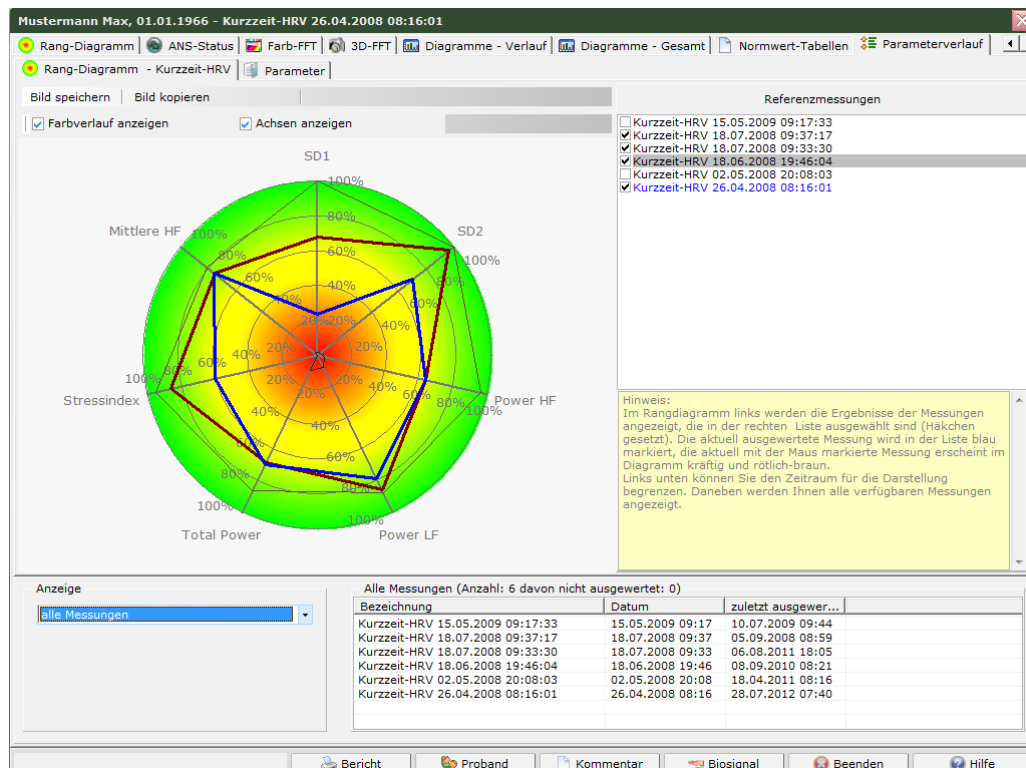
Auf Grundlage der Herzratenvariabilität lässt sich über den aktuellen Zustand des autonomen Nervensystems nur eine qualitative Aussage auf einer Ordinalskala im Sinne von "eher parasympathisch als sympathisch" oder "überwiegend parasympathisch" zu. Eine Bewertung im Sinne von "doppelt so viel parasympathische wie sympathische Aktivität" ist nicht möglich. Aus diesem Grund enthält das Diagramm keine Skalierung an der X-Achse und Y-Achse.

Für die Bestimmung der Regulationskapazität wird der alterskorrigierte, erzielte Rang der "Total Power" zugrunde gelegt, in der sowohl die sympathische, als auch die parasympathische Regulationsleistung mit eingehen.

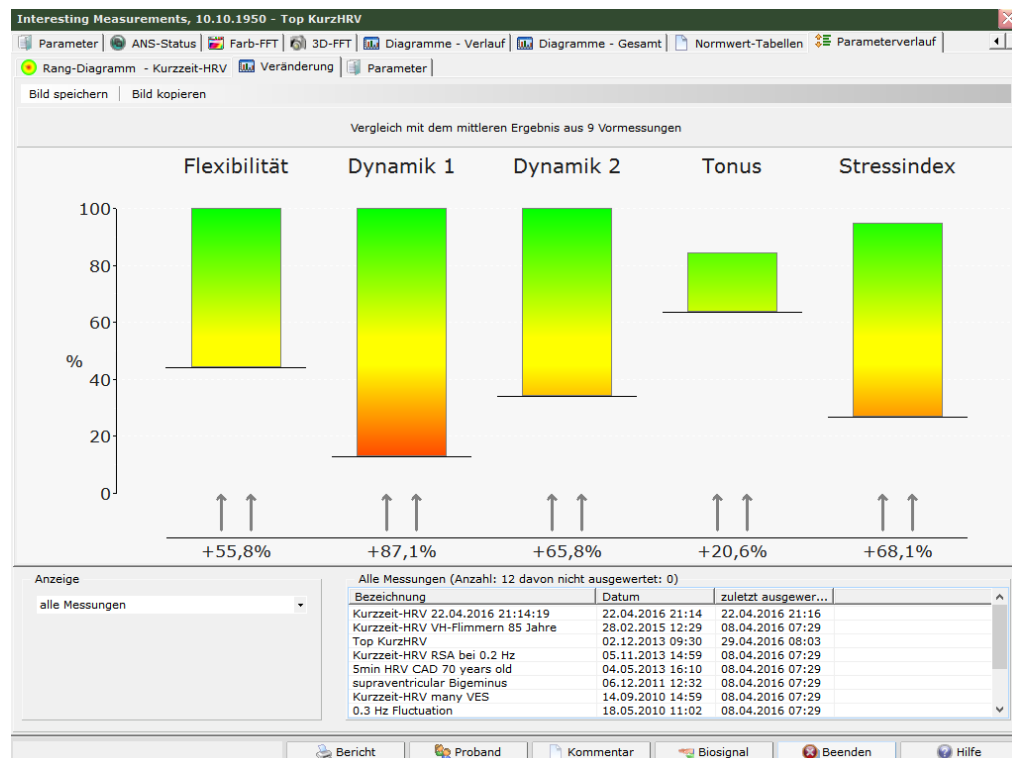
Die Bewertung der parasympathisch/sympathischen Balance wird anhand eines modifizierten LF/HF-Quotienten vorgenommen. Der LF/HF-Quotient ist das Verhältnis zwischen der Power im Niederfrequenzband (LF) der Spektralanalyse und der Power im Hochfrequenzband (HF) und stellt ein in internationalen Guidelines akzeptiertes Maß für die vegetative Balance dar. Spezifisch für den Parasympathikus ist allerdings nur der HF-Wert, weil nur der Parasympathikus aufgrund seiner Rezeptorphysiologie im Hochfrequenzbereich regeln kann. Der LF-Bereich beinhaltet sowohl sympathische, als auch parasympathische Aktivität, die überwiegend auf den Einfluss der Atmung zurückzuführen ist. Aus diesem Grund wird im HRV-Scanner aus dem LF-Bereich der parasympathische Einfluss der Atmung heraus gerechnet und dem HF-Bereich zugeschrieben. Dadurch wird die Trennschärfe des Quotienten zwischen sympathischer und parasympathischer Aktivität deutlich erhöht.

Parameterverlauf

Der Parameterverlauf zeigt Ihnen den Verlauf einzelner Parameter über die Zeit. Im Verlaufs-Rangdiagramm werden die Ergebnisse der Messungen angezeigt, die in der rechten Liste ausgewählt sind (Häkchen gesetzt). Die aktuell ausgewertete Messung wird in der Liste blau markiert, die aktuell mit der Maus markierte Messung erscheint im Diagramm kräftig und rötlich-braun. Links unten können Sie den Zeitraum für die Darstellung begrenzen. Daneben werden Ihnen alle verfügbaren Messungen angezeigt.



Messungsverlauf als Balkendiagramm der einzelnen Zielparame...



Parameterliste

Herzschläge berechnet aus []

Gibt an, ob die Herzfrequenz aus dem EKG oder der Pulswelle berechnet wurde

Samplingfrequenz [Hz]

Gibt an, mit welcher Abtastrate das der Messung zugrunde liegende Biosignal (EKG, Pulswelle) abgenommen wurde.

Messungsdauer [hh:mm:ss]

Dauer der Messung

Anzahl Herzschläge [n]

Anzahl der im Messbereich detektierten Herzschläge, die nicht als Artefakt markiert oder gefiltert wurden

Artefakt Ratio [%]

Anzahl der als Artefakt markierten oder gefilterten Herzschläge im Verhältnis zu allen im Messbereich detektierten Herzschlägen. Dieser Parameter lässt sich gut nutzen, um eine Beurteilung über die Auswertbarkeit einer HRV-Messung zu geben. Eine Artefakt Ratio von 0% bedeutet keine Artefakte oder herausgefilterten Herzschläge, eine Artefakt Ratio von 100% bedeutet, dass alle Herzschläge aus dem Messbereich als Artefakt markiert oder herausgefiltert wurden.

Befindlichkeit [%]

(nur RSA-Messung und Kurzzeit-HRV)

Wert aus der Befindlichkeitsabfrage vor RSA- und Kurzzeit-HRV Messung. Dieser Wert geht nicht in die Auswertung ein sondern in erster Linie zur besseren Interpretation einer Messung dienen. Messungen bei eher subjektiv angespannter Befindlichkeit lassen ein schlechteres Ergebnis erwarten, als Messungen mit subjektiv entspannter Befindlichkeit.

RSA-Qualität [%]

(nur RSA-Messung, statt Messungsqualität)

Kriterium über die Qualität einer RSA-Messung. Hierbei wird im Wesentlichen die Gleichmäßigkeit der aus der Atmung resultierenden Herzfrequenzanpassung beurteilt.

Messungsqualität [%]

Kriterium über die Qualität einer Messung. Die Messungsqualität wird durch Abschnitten mit fehlendem Herzschlag (z.B. zu viele Bewegungs-Artefakte,...) und Abschnitten mit unregelmäßigem Rhythmus negativ beeinflusst.

Biofeedback-Qualität [%]

(nur Biofeedback, statt Messungsqualität)

Kriterium über die Qualität einer Biofeedback-Sitzung anhand der Messungsqualität.

Probanden-Alter [Jahre]

Probandenalter zum Zeitpunkt der Messung (Berechnung aus dem Geburtsdatum in der Probandenverwaltung)

Probanden-Größe [cm]

Körpergröße des Probanden zum Zeitpunkt der Messung (Übernahme der Körpergröße aus der Probandenverwaltung zum Zeitpunkt der Messung)

Probanden-Gewicht [kg] (initial)

Gewicht des Probanden zum Zeitpunkt der Messung (Übernahme des Gewichtswertes aus der Probandenverwaltung zum Zeitpunkt der Messung)

Probanden-Geschlecht

Probandengeschlecht zum Zeitpunkt der Messung (Übernahme des Geschlechts aus der Probandenverwaltung zum Zeitpunkt der Messung)

Untersucher

Welcher Untersucher hat diese Messung durchgeführt

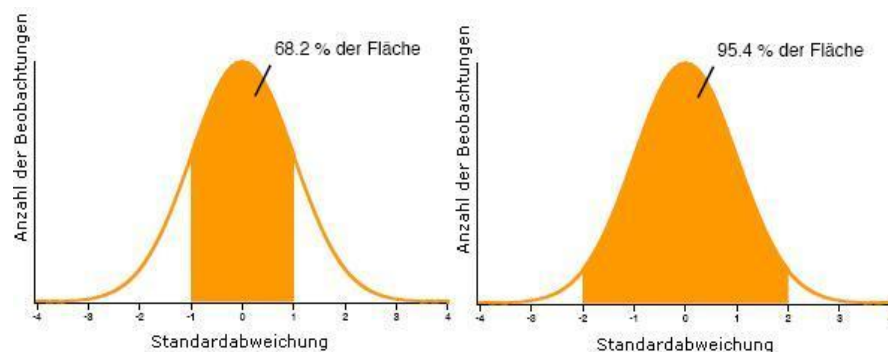
Mittlere HF [1/min.]

Durchschnittliche Herzfrequenz während der Messung.

Standardabweichung (St.Dev.) [ms]

Variationskoeffizient (HF) [%]

Beides sind Parameter aus der deskriptiven Statistik und beschreiben das Ausmaß der Streuung von Messwerten um einen Mittelwert. Da man Herzfrequenzvariabilität als statistisches Phänomen auffassen kann - die Herzfrequenzen schwanken um einen Mittelwert, wobei größere Abweichungen vom Mittelwert weniger wahrscheinlich sind, als kleinere Abweichungen - hat sich die Verwendung der Standardabweichung und des Variationskoeffizienten als beschreibende Größen der Herzratenvariabilität fest etabliert.



Messwerte verteilen sich in der Regel mehr oder weniger stark um einen Mittelwert. Im Bereich der ersten Standardabweichung finden sich 68,2% der Messwerte, in dem Bereich der zweiten Standardabweichung finden sich 95,4% aller Messwerte. Der Variationskoeffizient VK fasst Mittelwert und Standardabweichung in einer Zahl zusammen.

Er errechnet sich aus:

$$\frac{\text{Standardabweichung}}{\text{Mittelwert}} \times 100 = \text{VK}$$

Der VK wird in Prozent angegeben. Ein VK von 10% bedeutet beispielsweise, dass 68,2% der gemessenen Herzfrequenzen in dem Bereich $\pm 10\%$ des Mittelwerts zu finden sind.

Also: Je höher die Standardabweichung bzw. der VK, desto größer die Herzfrequenzvariabilität.

Mittlerer RR-Abstand [ms]

Analog zur mittleren Herzfrequenz gibt der mittlere RR-Abstand das durchschnittliche RR-Intervall aller Herzschläge der Messung an.

SDNN [ms]

Standardabweichung der RR-Intervalle. Analog zur Standardabweichung der Herzfrequenzen, kann diese statistischen Maßzahlen auch über die RR-Intervalle gerechnet werden. Der SDNN ist ein frequenzunabhängiger Indikator für die Höhe der Gesamtvariabilität (hohe SDNN - hohe HRV, niedrige SDNN - niedrige HRV)

PNN50 [%]

Prozentsatz aufeinanderfolgender RR-Intervalle, die mehr als 50 Millisekunden voneinander abweichen. Ein hoher pNN50-Wert bedeutet hohe spontane Änderungen der Herzfrequenz

PNN20 [%]

Prozentsatz aufeinanderfolgender RR-Intervalle, die mehr als 20 Millisekunden voneinander abweichen.

Variationskoeffizient (RR)

Analog zum Variationskoeffizienten der Herzfrequenzen, kann diese statistischen Maßzahlen auch über die RR-Intervalle gerechnet werden.

RMSSD [ms]

(root mean square of successive differences - sinngemäß: Wurzel aus dem Mittelwert der quadrierten Differenzen der RR-Intervalle aufeinanderfolgender Herzschläge)

Der RMSSD ist zwar mathematisch etwas kompliziert, beschreibt aber einen einfachen Sachverhalt: Er drückt aus, wie stark sich die Herzfrequenz von einem Herzschlag zum nächsten ändert.

$$RMSSD = \sqrt{\frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N (RR_{i+1} - RR_i)^2}$$

Artefakte sind durch starke Sprünge der Herzfrequenz gekennzeichnet. Bei Artefakten ändert sich deshalb die Herzfrequenz von einem zum nächsten Herzschlag sehr stark. Aus diesem Grund ist der RMSSD sehr empfindlich für Artefakte. Ein hoher RMSSD bei vergleichsweise niedriger Standardabweichung oder niedrigem Variationskoeffizient sollte Anlass sein, die Messung auf Artefakte zu prüfen.

SD1 [ms]

SD2 [ms]

SD1 und SD2 beschreiben die Streuung der Herzschläge im Poincaré-Diagramm. SD1 drückt die Breite der Punktwolke aus und ist sensibler zu schnellen, höherfrequenten Änderungen der Herzfrequenz, wogegen SD2 die Länge der Punktwolke beschreibt und eher die Langzeit-HRV quantifiziert.

SD2/SD1-Quotient

Der SD2SD1-Quotient ist das Verhältnis der bereits bekannten Parameter SD2 zu SD1, die sich aus dem Poincaré-Plot berechnen lassen. SD2 spiegelt die langsamen Änderungen der Herzfrequenz wieder, wogegen SD1 die schnelle Veränderung der Herzfrequenz von Schlag zu Schlag quantifiziert. Der Quotient der beiden Parameter drückt daher das Verhältnis von langsamen Veränderungen der Herzfrequenz im Vergleich zu schnellen Schwankungen der Herzfrequenz aus.

Der SD2/SD1-Quotient ist mit dem LF/HF-Quotienten vergleichbar, der üblicherweise verwendet wird, um das autonome Gleichgewicht zu quantifizieren. Dabei nutzt man die Eigenschaft des Parasympathikus, die Herzfrequenz vergleichsweise schnell ändern zu können - im Unterschied zum eher trägen Sympathikus. Schwingungen im hohen Frequenzband (HF) sind deshalb hauptsächlich durch die parasympathische Aktivität verursacht, der Sympathikus spielt hier praktisch keine Rolle. Diese klare Trennung zwischen sympathischer und parasympathischer Aktivität kann allerdings nicht für das niedrige Frequenzband (LF) vorgenommen werden, weil beide Zweige des autonomen Nervensystems (ANS) langsame Schwankungen der Herzrate veranlassen können.

Aufgrund der fehlenden Diskrimination im LF-Bereich ist der LF/HF-Quotient bestenfalls ein grobes Maß für das autonome Gleichgewicht. Darüber hinaus besteht eine zweite Einschränkung der praktischen Nutzbarkeit, die sich durch seine Empfindlichkeit für den Einfluss des Atmens ergibt. Atmen führt zu sinusförmigen Schwingungen der Herzfrequenz (Respiratorische Sinusarrhythmie, RSA). Abhängig von der Atemfrequenz liegt die RSA entweder im LF-Band oder im HF-Band. Die Grenze zwischen HF- und LF-Band wird mit einer Atemfrequenz von 9 Atemzügen erreicht. Höhere Atemfrequenzen tragen zum HF Band bei, niedrigere Atemfrequenzen erhöhen die LF-Leistung. Allerdings ist die RSA immer durch das parasympathische System vermittelt, unabhängig von der Atemfrequenz. Dies verursacht einen hohen LF/HF-Quotienten bei Vorliegen einer hohen RSA und Atemfrequenzen unter 9 Atemzüge pro Minute, das häufig als Überwiegen des Sympathikus missdeutet wird. Kleine Änderungen der Atemfrequenz, z.B. von 8 auf 10 Atemzüge pro Minute, können den LF/HF-Quotienten vollständig umkehren. Deshalb ist der LF/HF-Quotient kein gutes Maß, um das Verhältnis von langsamen zu schnellen Änderungen der Herzfrequenz auszudrücken.

Wir schlagen statt dessen vor, den SD2/SD1-Quotienten anstelle des LF/HF-Quotienten zu verwenden, da der SD2/SD1-Quotient ohne Frequenzbänder auskommt und einen kontinuierlichen Kurvenverlauf hat. (siehe Bild 1).

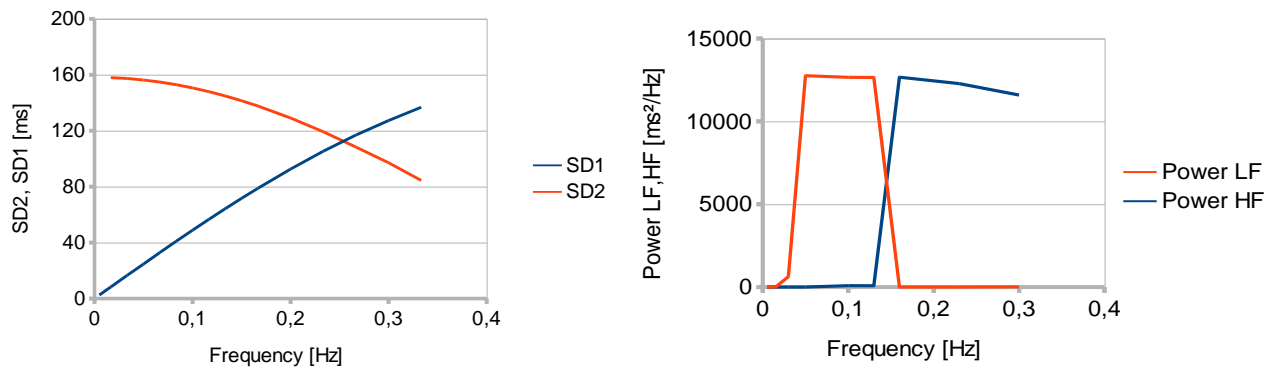


Bild 1

Einzelne Herzfrequenzschwingungen verschiedener Frequenzen von 0.005 Hz bis zu 0.33 Hz, jeweils mit einer konstanten Amplitude von 20 Schläge/Min., wurden nacheinander in einer Computersimulation analysiert. Dargestellt sind die resultierenden Werte für SD2 und SD1 (siehe linkes Diagramm). Das rechte Diagramm zeigt die entsprechenden Kurven für die Power HF und Power LF. Erwartungsgemäß nimmt SD1 mit steigender Frequenz zu während SD2 abnimmt. Im Gegensatz dazu verändern sich die Powerwerte mit steigender Frequenz erst, wenn die Schwingung das Frequenzband wechselt. Die Powerwerte verhalten sich mehr wie ein binärer Ein-/Aus-Schalter, sind aber außerstande, kleine Änderungen in der Dynamik anzuzeigen.

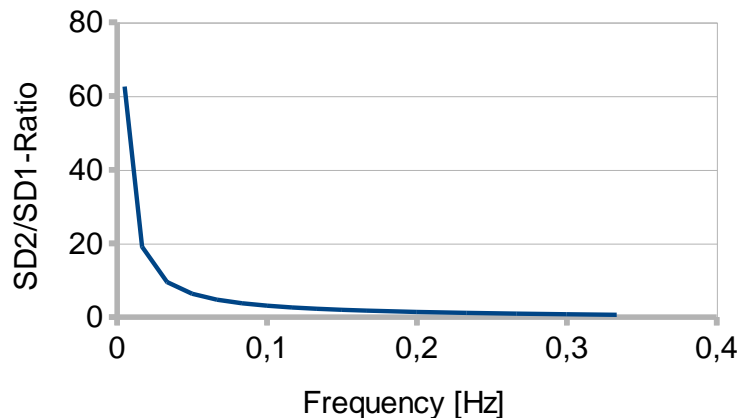


Bild 2 Verlauf des SD2/SD1-Quotienten für die entsprechenden SD-Werte von Bild 1.

Normalisierter SD2/SD1-Quotient [σ]

Die Berechnung des SD2/SD1-Quotienten führt fast automatisch zu der Frage, was ein „normaler“ SD2/D1-Quotient ist und was nicht. Wir haben deshalb die Verteilung des SD2/SD1-Quotienten in zahlreichen Kurzzeit-HRV-Messungen analysiert, die in zwei verschiedenen klinischen Studien gewonnen wurden. Die erste Studie war eine Normwertstudie, in der zweiten Studie wurden zahlreiche Personen einer Kurzzeit-HRV-Messung unterzogen. In dieser Studie gab es keine strengen Ausschlusskriterien (Querschnitts-Studie).

In der ersten Studie ($n = 204$) ergab sich ein durchschnittlicher SD2/SD1-Quotient von 2,9 und das 95%-Intervall von 1,37 bis 5,97. In der zweiten Studie ($n = 639$), fanden wir eine ähnliche Verteilung des SD2/SD1-Quotienten: Mittelwert: 3,1; 95%-Intervall von 1,53 bis 6,4.

Zur Normierung wurde eine Gauß'sche Verteilung durch Berechnen des natürlichen Logarithmus der SD2/SD1-Quotienten hergestellt (Kolmogorov Smirnov Test $>0,2$, Lilliefors $>0,2$). Der normalisierte SD2/SD1-Quotient ergibt sich dann als Differenz eines SD2/SD1-Quotienten vom Mittelwert der Gauß-Verteilung, ausgedrückt als ein Vielfaches der Standardabweichung.

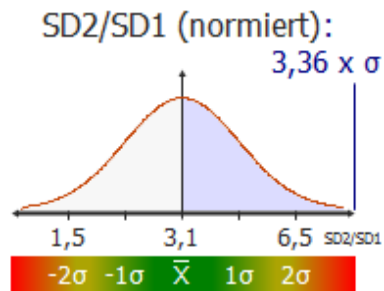


Bild 3

Gauß-Verteilung der SD2/SD1-Quotienten der beiden Studien ($n = 843$). Ein normierter SD2/SD1-Wert von beispielsweise 2σ bedeutet dementsprechend einen SD2/SD1-Quotienten, der zwei Standardabweichungen rechts vom Mittelwert liegt. Aufgrund der Gauß-Verteilung hätten nur 2,3% der Menschen einen noch höheren SD/SD1-Wert.

Zusammenhang mit anderen HRV-Parametern

HRV-Parameter sind normalerweise untereinander hoch korreliert. So beträgt der Korrelationskoeffizient r in den untersuchten Kurzzeit-HRV-Messungen zwischen Power HF und SD1 0,93. Der Zusammenhang zwischen Power LF und SD2 ist mit einem r von 0,84 ebenfalls hoch. Auch andere „klassische“ HRV-Parameter wie pnn50, SDNN und Stressindex sind untereinander hoch korreliert. Interessanterweise ist die beim SD2/SD1-Quotienten - unabhängig davon, ob normiert oder nicht - nicht der Fall. Die Korrelation mit den „klassischen“ HRV-Parametern ist vergleichsweise gering. Wäre dies anders und man fände eine hohe Übereinstimmung mit einem der anderen üblichen HRV-Parameter, wäre der Zusatznutzen des SD2/SD1-Quotienten gering, die Information wäre bereits in einem anderen Parameter kodiert. Da dies aber nicht der Fall ist, stellt sich die Frage, ob in dem SD2/SD1-Quotienten eine Information steckt, die sich nicht in den klassischen HRV-Parametern widerspiegelt.

Dies scheint so zu sein, weil sich vergleichsweise hohe Korrelationen mit zwei anderen klinisch relevanten HRV-Parametern zeigen, die man eher der nicht linearen HRV-Analyse zuordnet: Dem alpha1-Wert der Detrended Fluctuation Analysis (DFA) und dem Autokorrelationskoeffizient (ICC). Die Korrelation des norm. SD2/SD1-Quotienten mit DFA-alpha1 betrug in den untersuchten Messungen 0,71 und mit dem Autokorrelationskoeffizient ICC sogar 0,93. Die gute Korrelation mit DFA-alpha1 wurde mittlerweile bereits von Dritten in einer aktuellen Studie bestätigt ¹.

Es gibt eine Reihe von Studien, die belegen, dass ein reduzierter alpha1-DFA mit einem erhöhten Mortalitäts-Risiko verbunden ist ^{2,3,4,5,6}. In einer Studie hatte der SD1/SD2-Quotient, also der Kehrwert unseres SD2/SD1-Quotienten, sogar die stärkste Assoziation mit der Mortalität nach Herzinfarkt ². Je höher der SD1/SD2-Quotient (= je niedriger der SD2/SD1-Quotient) war, desto höher war das Mortalitätsrisiko.

In einer anderen aktuellen Studie, bei der es um den Zusammenhang zwischen koronarer Herzerkrankung und HRV ging, fand man interessanterweise genau den gegenteiligen Zusammenhang zwischen SD2/SD1-Quotient und Schädigung der Herzkranzgefäße ⁷. Je höher der SD2/SD1-Quotient, desto stärker war die Schädigung der Koronararterien.

Diese scheinbar widersprüchliche Studienergebnisse lassen sich über die zugrunde liegende Physiologie erklären:

Physiologische Bedeutung

Hohe SD2/SD1-Quotienten zeigen eine Dominanz von langsamen Schwankungen der Herzrate an. Dies kann durch eine Überaktivität des sympathischen Systems und/oder eine Schwäche des parasympathischen Zweigs des ANS zustande kommen, was beides die Gesundheit auf Dauer beeinträchtigen kann. Je höher der normalisierte SD2/SD1-Quotient ist, desto unwahrscheinlicher wird es, dass das Ergebnis eine gute parasympathische Aktivität widerspiegelt. Ein Mangel an parasympathischer Aktivität ist korreliert mit dem Auftreten von Entzündungsmediatoren im Blut wie z.B. CRP, was mit entzündlichen Vorgängen in den Herzkranzgefäßen und dem Entstehen der koronaren Herzkrankheit in Verbindung gebracht wird.

Im Gegensatz dazu zeigen niedrigere SD2/SD1-Quotienten ein ausreichendes Auftreten schneller Herzfrequenzschwingungen an. Trotzdem waren in mehreren Studien besonders die niedrigen SD2/SD1-Quotienten mit einer höheren Mortalität verbunden. Dies lag daran, dass es sich in solchen Fällen nicht mehr um einen „gesunden“ Sinusrhythmus handelte, sondern entweder um Rhythmusstörungen oder ein „erratischen“ Sinusrhythmus, der ein prognostisch eher ungünstiges Zeichen ist ⁶.

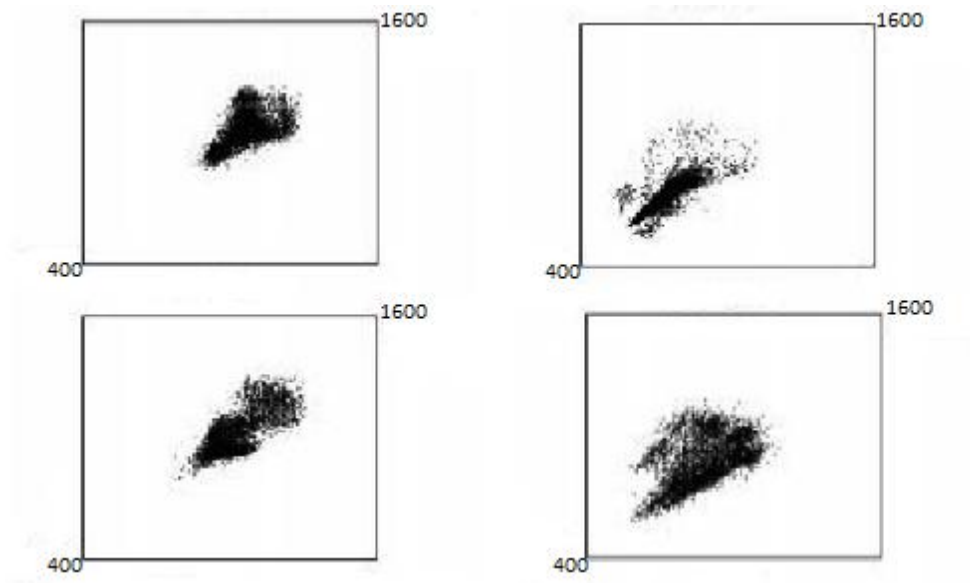


Bild 4

Poincare-Plots erratischer Sinusrhythmen

Bewertung

Ausgehend von der aktuellen Studienlage scheint also sowohl ein zu hoher, als auch ein zu niedriger SD2/SD1-Quotient ungünstig zu sein.



Wir schlagen deshalb folgende Herangehensweise bei der Interpretation vor:

Normalisierter SD2/SD1-Quotient	Interpretation
< -1 σ	<p>Auffällig niedriges Ergebnis</p> <p>Im ersten Schritt auf Artefakte und Extrasystolen prüfen und diese gegebenenfalls entfernen.</p> <p>Im zweiten Schritt prüfen, ob ein Sinusrhythmus vorliegt (Vorhofflimmern?). Ohne Sinusrhythmus kann keine sinnvolle HRV-Analyse durchgeführt werden.</p> <p>Zu berücksichtigen ist das Alter und die medizinische Vorgeschichte. Höheres Lebensalter und Hinweise für eine koronare Herzerkrankung oder einen Infarkt deuten eher auf einen erratischen Sinusrhythmus hin. Beim jugendlichen Leistungssportler sind sehr niedrige SD2/SD1-Quotienten Ausdruck einer hohen dynamischen Regulationsfähigkeit des Parasympathikus.</p> <p>Bei Verdacht auf einen erratischen Sinusrhythmus empfiehlt sich ein 24 Std. HRV-Messung.</p>
-1 σ bis 1 σ	Normalbefund
> 1 σ	<p>Auffällig hohes Ergebnis</p> <p>Deutliches Überwiegen der langsamen Herzfrequenzänderungen.</p> <p>Meist weitere Zeichen einer parasympathischen Dysfunktion vorhanden (niedriger SD1, kleine Power HF, hoher Stressindex)</p>

Die zugehörige Literatur zum Parameter SD2/SD1 finden Sie im Anhang.

Stressindex [Pkt.]

Berechnet wird der Stressindex in Anlehnung an Prof. Baevsky, der diesen Parameter im Rahmen der russischen Weltraummedizin entwickelt und validiert hatte. Der Stressindex erfreut sich zunehmender Beliebtheit, weil er sensitiv auf Verschiebungen des vegetativen Gleichgewichts zwischen Sympathikus und Parasympathikus reagiert. Er stellt letztlich eine mathematische Beschreibung des Histogramms dar:

$$\text{Stressindex} = \frac{A_{mo}}{2 \times M_o \times M_{xDMn}}$$

M_o = Modalwert, häufigster Wert des RR-Intervalls; A_{mo} = Anzahl der dem Modalwert entsprechenden RR-Intervalle in Prozent der Gesamtzahl aller Messwerte; M_{xDMn} = Variabilitätsbreite, Differenz der maximalen und minimalen RR-Intervalle.

Aufgrund seiner Empfindlichkeit ist der Stressindex ein gutes Maß, um Veränderungen innerhalb eines Probanden über die Zeit zu registrieren. Er ist aber, wie alle anderen HRV-Parameter auch, stark durch den Gesamtzustand der neurovegetativen Regulation beeinflusst. D.h., liegt eine organisch bedingte Einschränkung der HRV vor (z.B. als Komplikation durch einen langjährigen Diabetes), wird dies durch einen hohen bis sehr hohen Stressindex angezeigt, ohne dass eine Stressbelastung vorliegen muss.

HF-Band [Hz]

LF-Band [Hz]

VLF-Band [Hz]

Festlegung der Bereiche zur Trennung der Spektralanalyse in verschiedene Bänder (High frequency, Low frequency, Very low frequency)

Power HF-Band [ms^2]

High Frequency Power, Leistungsdichtespektrum im Frequenzbereich von z.B. 0,15 bis 0,40 Hz; zeigt ausschließlich den parasympathischen Stimmungsanteil

Power LF-Band [ms^2]

Low Frequency Power, Leistungsdichtespektrum im Frequenzbereich von z.B. 0,04 bis 0,15 Hz; daran ist sowohl der Sympathikus als auch der Parasympathikus beteiligt, wobei der Anteil des Sympathikus überwiegt.

Power VLF-Band [ms^2]

Very Low Frequency Power, Leistungsdichtespektrum im Frequenzbereich von z.B. 0,003 bis 0,04 Hz; Im VLF-Band sind zusätzlich noch weitere zentralnervöse Quellen der Herz-Regulation sichtbar

Power Total [ms^2]

Die Total Power quantifiziert die Gesamtleistung über alle Frequenzbänder

Rel. Power HF-Band [%]

Rel. Power LF-Band [%]

Rel. Power VLF-Band [%]

Die relative Power eines Frequenzbands gibt den Anteil der Power des Frequenzbands an der Total Power in Prozent an.

LF/HF Ratio

Der sogenannte LF/HF-Quotient gibt das Verhältnis der Power im LF-Band zu der Power im HF-Band an. Er wird oft als Ausdruck der vegetativen Balance von Parasympathikus und Sympathikus bezeichnet. Dies ist aber nur bedingt zutreffend. Zwar ist der HF-Bereich zuverlässig dem Parasympathikus zuzuordnen, der LF-Bereich enthält allerdings sowohl sympathisch, als auch parasympathisch vermittelte Regulationen der Herzfrequenz. Liegt beispielsweise eine ausgeprägte respiratorische Sinusarrhythmie bei langsamer und tiefer Atmung vor, erhält man einen sehr großen LF/HF-Quotient, der aber keine starke Sympathikusaktivität anzeigt, sondern Ausdruck einer gut funktionierenden parasympathischen Regulation ist.

Rhythmisierungsgrad []

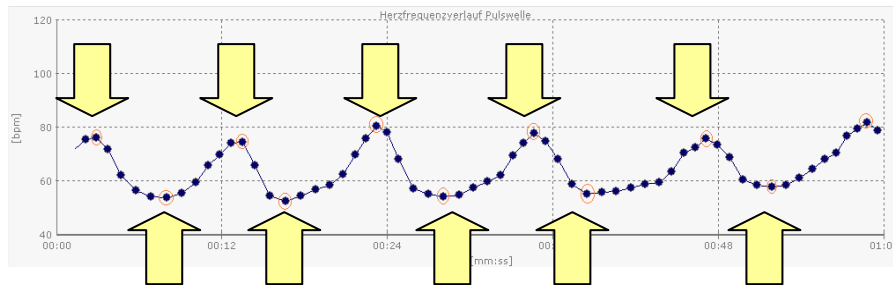
Der Rhythmisierungsgrad quantifiziert "Qualität" und "Quantität" der respiratorischen Sinusarrhythmie. "Quantität" meint dabei die Größe (Amplitude) der resp. Sinusarrhythmie, "Qualität" drückt aus, ob neben der resp. Sinusarrhythmie noch weitere Regelprozesse in der Herzfrequenz sichtbar sind. Insbesondere beim HRV-Biofeedback spielt der Rhythmisierungsgrad eine große Rolle, weil dort ein hoher Rhythmisierungsgrad (große resp. Sinusarrhythmie, geringe sonstige Regelprozesse) gezielt trainiert wird.

E-I [1/min.]

E/I []

(Expirations-/Inspirations-Differenz, bzw. -Quotient) - nur RSA-Messung

Die Berechnung des E-I ist die "klassische" Auswertung eines Atemtests, wie er beispielsweise in Kliniken, die über ein autonomes Funktionslabor verfügen, ausgewertet wird. E-I und E/I sind direkte Maßzahlen der respiratorischen Sinusarrhythmie. Die HRV-Scanner-Software berechnet für jeden einzelnen Atemzug die höchste und die niedrigste Herzfrequenz (siehe Bild).



Aus der höchsten und niedrigsten Herzfrequenz jedes Atemzyklus kann nun der E-I bzw. der E/I berechnet werden. Aufgrund der Berechnungsbasis mittels medianer Werte sind E-I und E/I relativ robust gegen Artefakte.

Bei der Interpretation des E-I ist zu beachten, dass Probanden mit einer sehr tiefen mittleren Herzfrequenz ($\leq 50/\text{min.}$) physiologisch einen geringen E-I als Probanden mit einer normalen oder höheren Herzfrequenz aufweisen. Grund hierfür ist der AV-Knoten (Atrioventrikularknoten, sekundäre Schrittmacher des Herzens neben dem Sinusknoten als primärem Schrittmacher), der den Frequenzabfall nach unten ($< 40\text{-}50/\text{min.}$) begrenzt.

MCR []

(Mean Circular Resultant) - nur RSA-Messung

Der MCR stellt einen Vektor dar, dessen Betrag gut mit der Größe der Respiratorischen Sinusarrhythmie korreliert und der relativ unempfindlich auf Ausreißer und Artefakte ist.

$$MCR = \sqrt{\left[\sum_{i=1}^n \cos\left(\frac{2\pi T_i}{\lambda}\right) \right]^2 + \left[\sum_{i=1}^n \sin\left(\frac{2\pi T_i}{\lambda}\right) \right]^2}$$

λ = Zykluslänge; T_1, T_2, \dots, T_n : Zeitpunkte der einzelnen Herzschläge

(siehe auch: Weinberg CR and Pfeifer MA, 1984, An improved method for measuring heart rate variability: assessment of cardiac autonomic function Biometrics 40:855-61)

Ewing 30:15 Wert []

synonym. 30/15-Ratio, 30/15-Quotient (nur Liegen/Stehen Messungen)

Die Ewing Parameter quantifizieren die Änderung der Herzfrequenz nach dem Aufstehen. Nach Ewing bezeichnet der RR 15 das RR-Intervall des 15. Herzschlages nach dem Aufstehen und der RR 30 das RR-Intervall des 30. Herzschlages nach dem Aufstehen. Da es interindividuelle Unterschiede in der Reaktion auf das Aufstehen gibt, werden im HRV-Scanner das längste RR-Intervall der Schläge 5 bis 25 und das kürzeste RR-Intervall der Schläge 20 bis 40 ins Verhältnis gesetzt. Dies hat sich in der Praxis bewährt, siehe Ziegler et al.

(Ziegler D., Laux G., Dannehl K., Spüler M., Mühlen H., Mayer P., Gries F.A., Assessment of Cardiovascular Autonomic Function: Age-related Normal Ranges and Reproducibility of Spectral Analysis, vector Analysis, and Standard Tests of Heart Rate Variation and Blood Pressure Responses, Diabetic Medicine, 1992, 9:166-175)

Biologisches HRV-Alter [Jahre]

(nur RSA-Messung und Kurzzeit-HRV)

Die HRV ist eine stark altersabhängige Größe. Je älter wir werden, desto geringer ist die HRV in der Regel. Dies ist allerdings (in gewissen Grenzen) ein reversibler Effekt. Es kann deshalb durchaus von Interesse sein zu wissen, welchem Alter die eigene HRV entspricht. Zur Bestimmung des biologischen HRV-Alters wird das Alter berechnet, bei dem genau 50% der gesunden Probanden bessere und 50% schlechtere HRV-Werte in der

RSA-Messung haben. Für die Berechnung bei der RSA-Messung werden E-I, E/I, MCR und RMSSD herangezogen, bei der Kurzzeit-HRV SD1, SD2, Power HF, Power LF, Total Power und Stressindex.

Valsalva-Ratio

(nur Valsalva Manöver)

Quotient aus längstem RR-Intervall nach Ende des Pressmanövers (reflektorische Bradykardie) und kürzestem RR-Intervall während des Pressmanövers.

Alpha 1 []

(detrended fluctuation analysis)

Berechnung

Die „detrended fluctuation analysis“ (DFA) quantifiziert in der Theorie die fraktalen Eigenschaften (Selbstähnlichkeit) einer Herzfrequenzkurve. Zur Berechnung werden die RR-Intervalle integriert und in Abschnitte definierter Anzahl von n RR-Intervallen unterteilt, wobei n mit jedem Durchlauf ansteigt. In jedem Abschnitt wird der Trend entfernt und die resultierende Fluktuation der RR-Intervalle berechnet. Für alle Abschnittsgrößen n wird die durchschnittliche Fluktuation $F(n)$ bestimmt.

Die resultierende Steigung der Regressionsgeraden in der $\log(F(n))$ zu $\log(n)$ -Darstellung entspricht dem Skalenexponent α . Wird die Steigung über kurze Abschnittsgrößen n berechnet (z.B. 4-16 Herzschläge pro Abschnitt), drückt der resultierende Skalenexponent α kurzzeitige Korrelationen aus (α_1 bzw. DFA1). Die Steigung über größere Abschnittsgrößen (z.B. n : 16-64) entspricht Korrelationen über einen längeren Zeitraum (α_2 bzw. DFA2). Ein α_1 von 0.5 zeigt eine komplett zufällige Herzfrequenzkurve an. Ein Wert von 1.5 wäre im Gegensatz dazu ein stark autokorreliertes Signal.

Physiologische Bedeutung

Es gibt mehrere Studien, die eine gute prognostische Wertigkeit von α_1 und α_2 im 24-EKG zeigen, z.B. nach Herzinfarkt (α_1) oder Mortalität bei Älteren (α_2).

Zusammenhang mit anderen HRV-Parametern

DFA1 ist hoch korreliert mit dem Parameter $LF/(LF+HF)$ und dem $SD2/SD1$ -Verhältnis. Dieser Zusammenhang ist in der Literatur schon öfters beschrieben worden und wird in eigenen Untersuchungen der BioSign bestätigt. In einer BioSign-Studie mit ca. 500 Probanden betrug die Korrelation von α_1 und dem $SD2/SD1$ -Verhältnis 0.71 und mit dem $LF/(LF+HF)$ -Verhältnis 0,72.

Damit ist DFA1 ähnlich wie das $SD2/SD1$ -Verhältnis ein Time-Domain-Äquivalent der spektralen Indices und kann deshalb lineare von nicht-linearen Korrelationen nicht unterscheiden. Der offensichtlichste Unterschied der DFA zur Spektralanalyse ist, dass die DFA die Untersuchungsabschnitte in Herzschlägen bemisst, im Gegensatz zur Spektralanalyse, die definierte Zeitabschnitte untersucht.

Klinischer Nutzen

Insbesondere bei Kurzzeitanalysen ist die DFA mit Vorsicht zu interpretieren. Die Analysen der BioSign zeigen für DFA1 einen starken Zusammenhang mit dem Einfluss der Atmung. In der bereits erwähnten Studie an 500 Probanden betrug die Korrelation mit dem Einfluss der Atmung (Kreuzkorrelation von Atemsignal und Herzfrequenzkurve) 0.53. Eine Regressionsanalyse mit dem unabhängigen Variablen $SD2/SD1$, $LF/(LF+HF)$ und Einfluss der Atmung ergab eine Korrelation von 0.88.

Damit scheint es unwahrscheinlich, dass bei Kurzzeit-HRV-Analysen die DFA über die bestehenden Parameter der Time-Domain und Frequency-Domain hinaus wesentliche zusätzliche Informationen beitragen kann. Der praktische Nutzen der DFA in der Kurzzeit-HRV ist auch durch die starke Streuung der Werte eingeschränkt. In obiger Studie betrug der mittlere DFA1 1.03 und die Standardabweichung 0.23. Aufgrund der starken Streuung der DFA1-Werte in der Kurzzeit-HRV auch in der Normalpopulation können keine sinnvollen Normwertgrenzen angegeben werden.

Parameter der Atmung

(nur Kurzzeit-HRV)

Die Atmung ist der primäre Trigger für die HRV in Ruhe. Es ist deshalb ausgesprochen hilfreich, die Ruheatmung bei der Bewertung einer Kurzzeit-HRV zu berücksichtigen. Ein schlechtes Testergebnis in der Kurzzeit-HRV ist nicht zwangsläufig Ausdruck einer parasympathischen Regulationsstörung, es kann auch sein, dass der Proband einfach nur viel zu schnell und zu flach geatmet hat (z.B. hoher Stresslevel). Das kann dann zu scheinbar widersprüchlichen Befunden in der RSA-Messung führen, wo oft ein gutes Ergebnis vorliegt. Es empfiehlt sich deshalb, bei der Auswertung einen Blick auf die Atmung zu werfen.

Einfluss Atmung [%]

Einfluss der Atmung auf die Änderung der Herzfrequenz. Je größer der Prozentwert, desto ausgeprägter ist die respiratorische Sinusarrhythmie und desto entspannter ist die gemessene Person.

Atemfrequenz [1min.]

Durchschnittliche Atemfrequenz im Messungsabschnitt. Hohe Atemfrequenzen führen in der Regel zu einer geringeren HRV. Es empfiehlt sich deshalb, bei niedrigen HRV-Werten die Atemfrequenz zu überprüfen. Aber auch sehr langsame Atemfrequenzen (< 6 Atemzüge pro Minute) können zu geringen SD1 bzw. RMSSD-Werten führen, weil bei langsamer Atmung der Parasympathikus auch nur langsam regelt.

Atemstress [°]

Abschätzung der Stressbelastung aus der Atmung. Ähnlich wie der Stressindex bei der HRV steigt auch der Atemstress-Wert steil (exponentiell) an, wenn die Atemfrequenz zu hoch ist. Atemstress und Atemfrequenz drücken im Grunde denselben Sachverhalt aus (Anstieg der Atemfrequenz) und werden deshalb in den zugehörigen Normwert-Grafiken ähnlich bewertet. **Hinweis:** Stark unterschiedliche Bewertungen von Atemstress und Atemfrequenz können auftreten, wenn die Atmung über EDR (ECG derived respiration) gemessen wird und das EDR-Signal nicht sauber abgeleitet werden kann. In diesem Fall sollten die Atemparameter nicht in die Bewertung einfließen.

Atemvariabilität [°]

Variabilität der Atmung während der Messung. Eine ruhige gleichmäßige Atmung ist kennzeichnend für einen entspannten Zustand. Hohe Variabilitätswerte können beispielsweise mentale Belastungen ("Kopfkino") anzeigen.

Pulswellenlatenz [ms]

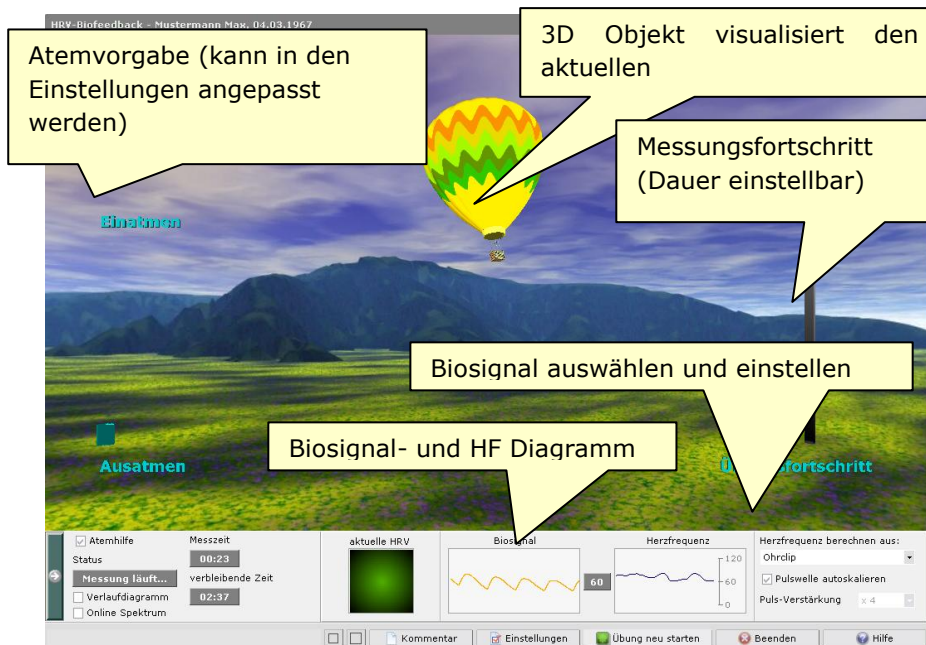
Die Pulswellenlatenz oder Pulswellenlaufzeit (engl. **pulse transit time**, PTT) ist ein kardiovaskulärer Messwert. Sie beschreibt die Zeit, die eine Pulswelle benötigt um eine gewisse Strecke im Gefäßsystem zurückzulegen. Durch die Messung der Pulswellenlaufzeit können Rückschlüsse auf wichtige Vitalparameter wie Blutdruck und Elastizität der Gefäße geschlossen werden. Im HRV-Scanner wird die PTT aus dem zeitlichen Abstand der R-Zacke aus dem EKG und der Pulswelle (z.B. per Ohrclip am Ohr) berechnet.

HRV-Biofeedback

Im HRV-Scanner stehen Ihnen drei HRV-Biofeedbackarten zur Verfügung:

HRV-Biofeedback

Das Biofeedbackfenster zeigt in der Grundeinstellung eine Szene, die auf den Probanden entspannend wirkt (verschiedene Landschaften stehen in den Einstellungen zur Auswahl) und ihm die errechneten Biofeedback-Parameter über ein Objekt (Ballon, Schmetterling, ...) visualisieren. Eine angenehme Hintergrundmusik und gesprochene Anleitungen helfen dem Probanden sich schnell und effektiv zu entspannen.



Biofeedback-Fenster mit Ballon

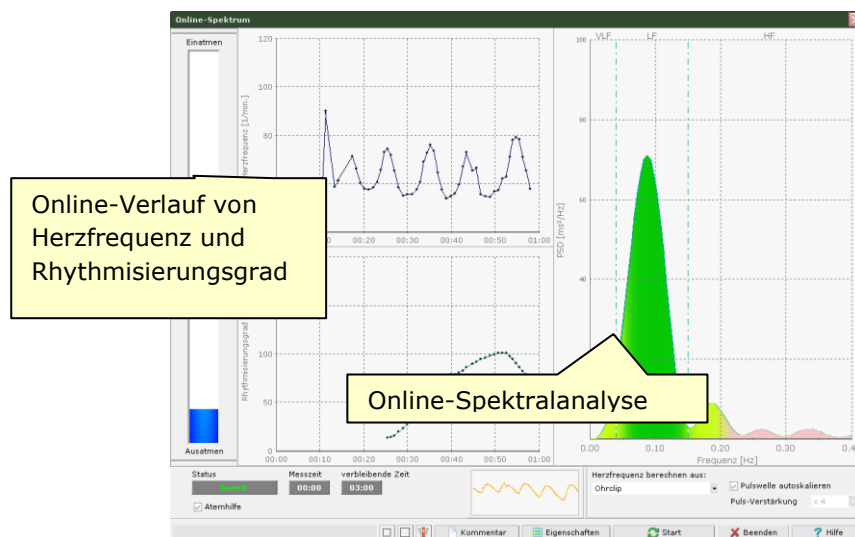
Im linken Teil des Biofeedbackfensters befindet sich der Atembalken, der den Rhythmus der Atmung vorgibt. Der Atemrhythmus können Sie in den Einstellungen individuell anpassen oder ganz ausblenden. Der Balken rechts stellt den Fortschritt der Biofeedbackübung dar (die Dauer der Übung kann ebenfalls in den Einstellungen angepasst werden).

Im unteren Fenster befinden sich weitere Einstellungsmöglichkeiten: die Anzeige für die aktuelle HRV, das Biosignal, die gemessene Herzfrequenz und die Einstellungen für das Biosignal (Verstärkung, Empfindlichkeit) und die Herzfrequenzerkennung.

Die verbleibende Messungsdauer und die bereits abgelaufene Zeit sehen Sie im Statusfeld. Nach Ablauf der Messungszeit erhalten Sie eine Meldung über die erfolgreiche Aufzeichnung der Messung. Schließen Sie jetzt das Messungsfenster. Die Messungsdaten werden in ein Archiv gepackt und im Fenster „Messen und Auswerten“ erscheint ein Eintrag für die neue Messung.

Online Spektrum

Das Online Spektrum ist dem HRV-Biofeedback im Ablauf ähnlich. Statt des Objekts werden hier die online berechnete Spektralanalyse, sowie die Herzfrequenz, das Poincaré Diagramm und der Rhythmisierungsgrad angezeigt.



Online-Spektrum-Fenster mit Online-Verlauf und Online-Spektrum

Rhythmisierung

Die Rhythmisierung ist dem HRV-Biofeedback im Ablauf ähnlich. Hier sollen Atemkurve und der Herzfrequenzverlauf synchronisiert werden.



Rhythmisierung - Atemkurve und Herzfrequenz sollen synchronisiert werden

Grundlagen des HRV-Biofeedbacks

Vom Chaos zur Ordnung

Ein variabler Herzrhythmus ist besser als ein zu starrer Rhythmus. Noch wesentlich besser allerdings ist es, wenn es gelingt, die ungeordnete, „chaotische“ Herzfrequenzvariabilität in eine geordnete, „rhythmisiertere“ Herzfrequenzvariabilität umzuwandeln (siehe Abbildung).



Chaotisch



Rhythmisch

Rhythmisierung tritt dann ein, wenn im Zustand der Entspannung Atmung und Herzschlag im Gleichklang sind (Kohärenz). Mit jedem Einatmen steigt die Herzfrequenz an, mit jedem Ausatmen fällt sie ab. Wenn der Zustand der Rhythmisierung erreicht wird, dann ist es gelungen, die „innere Bremse“, den Parasympathikus zu aktivieren. Bei vielen Entspannungstechniken (z.B. Yoga, Autogenes Training) passiert im Zustand der Entspannung genau diese Koppelung zwischen Atmung und Herzschlag. Mittels des HRV-Biofeedbacks kann man jetzt diesen Vorgang gezielt trainieren und erhält vor allem Informationen darüber, wie gut Atmung und Herzschlag rhythmisiert sind.

Wie erreicht man nun einen Zustand der Kohärenz oder Rhythmisierung?

Atmung ist der Schlüssel zur Kohärenz



Atem-Hilfe

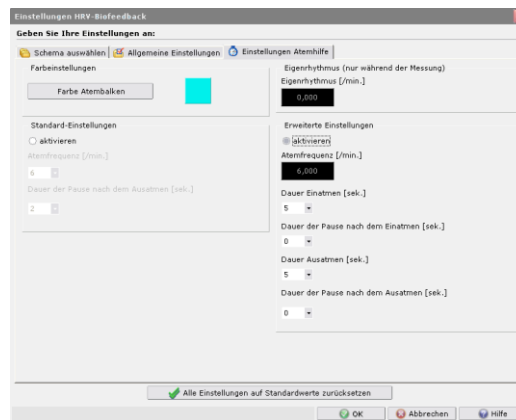
Wie schon gesagt ist Kohärenz der Gleichklang von Atmung und Herzschlag. Die richtige Atmung ist deshalb der zentrale Bestandteil eines jeden erfolgreichen HRV-Biofeedbacks. Um bei der richtigen Atmung zu unterstützen verfügt der HRV-Scanner über eine Atem-Hilfe:

Die Atemhilfe befindet sich auf der linken Bildschirmseite. Sie sehen einen farbigen Balken, der sich rhythmisch auf- und ab bewegt. Es ist wichtig, im Rhythmus des Balkens zu atmen. Einatmen, wenn der Balken nach oben geht, ausatmen, wenn der Balken sich nach unten bewegt. Die eingestellte Atemfrequenz liegt bei 6 Atemzügen pro Minute. Bei dieser Atemfrequenz ist das HRV-Biofeedback am effektivsten.

Wenn der Proband mit diesem Atemrhythmus nicht zurechtkommt und die Atem-Hilfe als störend empfindet, können Sie diese auch ausblenden. Deaktivieren Sie dazu die entsprechende Check-Box:

☒ Atemhilfe

Die Einstellungen für die Atemvorgabe (z.B. Frequenz) können Sie in den „Einstellungen“ des HRV-Biofeedback verändern und anpassen:

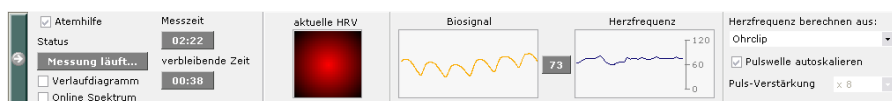


Wie Sie erfahren, ob Atmung und Herzschlag im Takt (rhythmisiert) sind

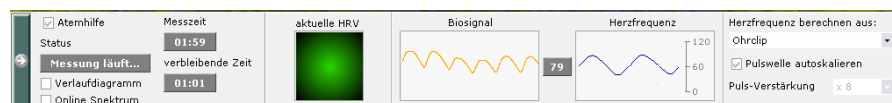
Richten Sie Ihre Aufmerksamkeit auf die Farbtafel links unten:



Die Farbtafel zeigt Ihnen den aktuellen Rhythmisierungsgrad (die HRV) an.



Ist die Farbtafel rot, dann ist der aktuelle Rhythmisierungsgrad niedrig, Atmung und Herzschlag laufen getrennt. Die Herzfrequenz verläuft ungeordnet und zeigt nicht das regelmäßige Auf und Ab der Atmung.



Ganz anders hier. Sie sehen der Herzfrequenz schon an, wie gut ihr Verlauf an die Atmung gekoppelt ist. Atmung und Herzschlag sind rhythmisiert. Der Parasympathikus, die „innere Bremse“, ist jetzt aktiv.

Wie Sie die Kohärenz durch Biofeedback verbessern

Die Farbtafel, das zentrale Objekt (Ballon, Schmetterling,...) die Diagramme im Online-Spektrum oder der Kurvenverlauf in der Rhythmisierung sind ein ganz wesentlicher Bestandteil des Kohärenz-Trainings. Wir benutzen sie sozusagen als Rückkoppelung, um den Rhythmisierungsgrad immer weiter zu verbessern. Man nennt diese Technik auch Biofeedback. Biofeedback ist eine Methode, die in vielen Bereichen der Medizin erfolgreich angewandt wird, um sonst unwillkürlich ablaufende Körpervorgänge zu beeinflussen. Wir benutzen Biofeedback innerhalb des HRV-Biofeedbacks, um die „innere Bremse“ noch stärker zu aktivieren:

Was tun, wenn die Kohärenz immer niedrig ist?

Zeigt z.B. die Farbtafel überwiegend rot, egal wie sehr sich der Proband bemüht, richtig zu atmen während er das Biofeedback ausführt?

Kontrollieren Sie zuerst das Pulssignal. Sind Sie sicher, dass das Pulssignal in Ordnung ist?

Wenn ja, beachten Sie bitte folgendes: Die Fähigkeit, Kohärenz zu erreichen, ist von Mensch zu Mensch unterschiedlich. Mit dem Alter beispielsweise verringert sich die Kohärenz. Ebenso führen Bluthochdruck,

Übergewicht, Herzerkrankungen, chronischer Stress und verschiedene Stoffwechselstörungen zu einem Kohärenzverlust. Es empfiehlt sich deshalb, die persönliche Fähigkeit zur Kohärenz zu messen und mit anderen zu vergleichen. Dadurch können Sie abschätzen, ob der Proband im Vergleich mit anderen eine niedrige, normale oder sogar hohe Fähigkeit zur Kohärenz hat.

Wenn die persönliche Kohärenz niedrig ist, sollte sich der Proband davon nicht entmutigen lassen. Genau das ist der beste Grund, regelmäßiges HRV-Biofeedback durchzuführen. Dazu sollten Sie allerdings das HRV-Biofeedback an das persönliche Niveau des Probanden in den Einstellungen anpassen.

Klicken Sie auf den Button „Einstellungen“, um das Einstellungen-Fenster aufzurufen. Gehen Sie zu "Sitzung". Stellen Sie den Vorgabewert für den Rhythmisierungsgrad auf einen niedrigeren Wert und klicken Sie auf „OK“. Jetzt sollte es dem Probanden leichter fallen, die Farbtafel grün zu färben. Damit wird das Biofeedback wirksamer.

Was bedeutet der Ballon in der Mitte des Bildschirms?

Das HRV-Biofeedback ist so angelegt, dass es in einer bestimmten, voreingestellten Zeit absolviert werden kann. Die Grundeinstellung beträgt drei Minuten. Um eine andere Dauer einzustellen rufen Sie das Einstellungen-Fenster auf und stellen eine Dauer nach Ihrer Wahl ein.

In der vorgegebenen Dauer sollte ein möglichst hoher Rhythmisierungsgrad aufrechterhalten werden. Je besser das gelingt, desto besser wird die Übung in der eingestellten Dauer absolviert. Der HRV-Scanner berechnet den aktuellen Grad der Rhythmisierung und zeigt diesen mittels des Objekts in der Bildschirmmitte an.

Bei den einzelnen Objekten verändert sich während des Biofeedbacks in Abhängigkeit von der erreichten Rhythmisierung folgendes:

Objekt	niedrige Rhythmisierung	hohe Rhythmisierung
Ballon	Ballon sinkt	Ballon steigt
Schmetterling	Schmetterling sinkt, flattert unruhig	Schmetterling steigt, ruhige Flugbahn
Kugel	rotiert schnell	rotiert wenig oder gar nicht

Wie oft und wie lange soll man mit dem HRV-Biofeedback üben?

„Noch gibt es keine „wissenschaftlich gesicherten“ Angaben zur „richtigen“ Übungsdauer. Aus der praktischen Erfahrung kann man aber ableiten, dass die „richtige“ Übungsdauer – also die, bei der die Wahrscheinlichkeit groß ist, dass man eine positive Wirkung verspürt - wohl individuell sehr unterschiedlich ausfällt. Da man aber vorher kaum weiß, wie viel einer Person gut tut, bzw. wie viel Übung man braucht, sollte man mit zwei bis dreimal täglich etwa drei bis fünf Minuten HRV-Biofeedback anfangen. Wenn es dem Probanden gut tut, kann er auch zwei bis dreimal täglich 10 Minuten üben.

Wichtige Einstellungen im HRV-Biofeedback

Neben den Einstellungen für Landschaft, Musik, Sprache usw. gibt es ein paar Einstellungen, die unbedingt individuell an den Probanden angepasst werden müssen. Das sind:

Atemrhythmus

Stellen Sie die Atemvorgabe so ein, dass der Übende die Atmung als entspannend empfindet. Menschen mit Stress-Problematik haben oft eine schnelle und flache Atmung. Hier ist es wenig hilfreich den Übenden sofort in eine sehr langsame Atmung zu pressen. Die Frequenz der Atmung sollte schrittweise angepasst werden. Ziel ist eine Atmung um 6/min.

Übungsdauer

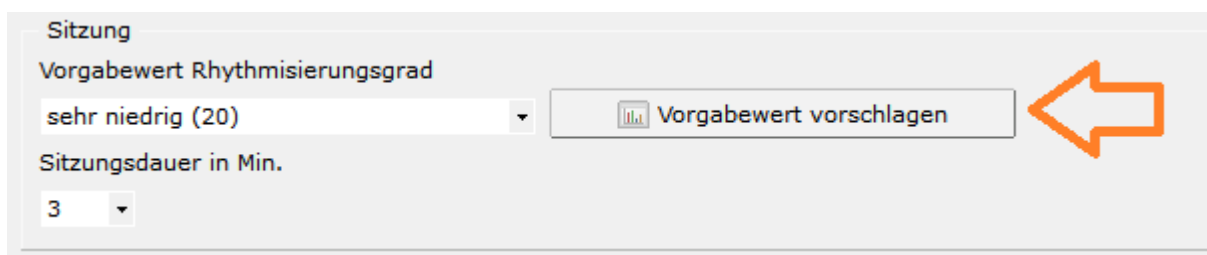
Für den Anfang empfehlen wir 3-5 Minuten. Am besten 2 oder 3 Mal täglich. Mit der Zeit kann die Dauer erhöht werden (evtl. auch unter Absenkung der täglichen Übungshäufigkeit).

Vorgabewert Rhythmisierungsgrad (Schwierigkeitsgrad der Übung)

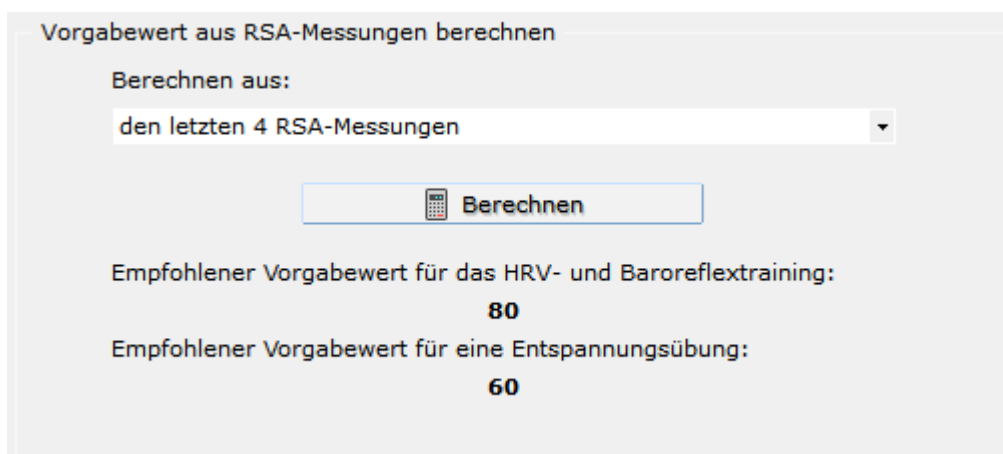
Wichtig ist das HRV-Biofeedback so für den Übenden einzustellen, dass eine gute Dynamik in der Wiedergabe der aktuellen Kohärenz (Farbtafel, Ballon steigt und fällt, Qiu leuchtet grün und rot,...) vorhanden ist. Es nutzt dem Übenden wenig, wenn z.B. die Farbtafel ständig rot ist, egal wie sehr er sich bemüht ruhig zu atmen und sich mental zu entspannen. Ebenso ist eine z.B. Farbtafel, die immer grün ist, egal ob der Übende gut oder schlecht atmet sinnlos.

Deshalb muss die Schwierigkeit der Übung an die individuelle HRV angepasst werden. Am besten orientiert man sich dazu an den Ergebnissen aus den Basis-Messungen (Kurzzeit-HRV und RSA-Messung). Probanden mit schlechten Ergebnissen sollten auf eine niedrige Schwierigkeitsstufe eingestellt werden.

Bei der Einstellung des Vorgabewertes finden Sie in allen Biofeedbackarten eine Funktion zur Berechnung des vorgeschlagenen Vorgabewertes aus der RSA-Messung.



Hier wird aus der letzten, bzw. den jeweils letzten RSA-Messungen ein Wert berechnet und vorgeschlagen.



Es wird jeweils ein Wert für das Entspannungstraining, bzw. das Baroreflextraining errechnet und vorgeschlagen.

Qiu und HRV-Scanner

Der Qiu



Der Qiu ist ein einfach zu bedienendes, handliches HRV-Biofeedbacksystem mit integriertem Speicher für über 500 Biofeedbackübungen inkl. Datum, Uhrzeit und Herzfrequenzkurve. Mit dem Qiu können Ihre Probanden auch zu Hause oder unterwegs effektiv und bequem nach Ihren Vorgaben üben, ohne auf einen PC oder Laptop angewiesen zu sein.

Die gespeicherten Daten werden entweder über die myQiu Plattform (Cloud), per E-Mail oder beim nächsten Praxisbesuch per USB in das Qiu-Modul Ihres HRV-Scanners für die weitere Auswertung übertragen.

Jeder Qiu kann von Ihnen mittels des Qiu-Moduls des HRV-Scanners individuell auf den Probanden eingestellt werden. So können Sie die vorgegebene Atmung, die Schwierigkeit und die Dauer der Biofeedbackübung optimal an jeden Probanden anpassen.

Das Qiu-Modul in der HRV-Scanner-Software



Das Qiu-Modul in der HRV-Scanner-Software ermöglicht die Verwaltung und Auswertung einer beliebigen Zahl von Qiu-Messungen, sowie die individuelle Konfiguration des Qius für Ihre Probanden. Das Modul ist gegliedert in die beiden Menüpunkte:

- *Qiu-Konfigurator*
- *Qiu Messungen*

Qiu-Konfigurator

Mit dem Qiu-Konfigurator können Sie den Qiu individuell für jeden Ihrer Probanden einstellen.

Qiu mit dem PC verbinden

Um den Qiu-Konfigurator zu aktivieren, muss ein Qiu mit dem PC verbunden werden.

Manchmal kann es vorkommen, dass die Verbindung des Qiu mit dem PC über USB nicht sofort einwandfrei funktioniert. Dazu folgende Tipps:

- Verwenden Sie einen anderen USB-Port Ihres PC
- Verwenden Sie einen USB-Hubs
- Neuinstallation der USB-Treiber: bitte lesen Sie dazu dieses Dokument https://www.biosign.de/download_Qiu/Qiu-Treiber-Installation.pdf
-

Falls oben genannte Tipps Ihr Problems nicht lösen, setzen Sie sich bitte mit uns in Verbindung (info@biosign.de).

Zuordnen eines Qius zu einem Probanden

Ein Qiu muss zwingend einem Probanden zugeordnet werden, damit die gespeicherten Messungen eindeutig dem jeweiligen Probanden zugeordnet werden können. Ein Qiu kann damit zu einem bestimmten Zeitpunkt nur einen Besitzer haben. Ein Proband kann aber mehrere Qius zugeordnet bekommen. Diese Zuordnungen werden in den Probanden-Stammdaten im Registerblatt "Qiu" abgelegt und können dort auch wieder aufgehoben werden.

Bei einer neuen Zuordnung eines Qiu zu einem Probanden überprüft der Qiu-Konfigurator, ob sich noch Messungen in dem Speicher des Qiu befinden. Diese Messungen sollten, sofern diese nicht von dem Probanden sind, dem der Qiu zugeordnet werden soll, gelöscht werden. Ansonsten kommt es zu einer fehlerhaften Zuordnung dieser Messungen.

Konfiguration der Atemanzeige am Qiu

Der Qiu kann mittels seiner blauen LEDs den gewünschten Atemrhythmus anzeigen. Sie können verschiedene Atemfrequenzen programmieren oder die Atemanzeige auch ganz deaktivieren. Wenn Sie einen eigenen Atemrhythmus definieren wollen, wählen Sie "individuell". Sie können dann die Werte für Ein- und Ausatmung selbst festlegen.

Festlegen der Übungsschwierigkeit

Die Übungsschwierigkeit legt fest, ab welchem erreichten Rhythmisierungsgrad der Qiu ein positives (grünes) Feedback anzeigt.

Die Übungsschwierigkeit sollte sorgfältig ausgewählt werden und richtet sich nach dem gewünschten Ziel des Biofeedbacks. Bei Biofeedbackübungen, bei denen Entspannung, Verbesserung des Körpergefühls und emotionale Komponenten im Vordergrund stehen, sollte die Übungsschwierigkeit so eingestellt werden, dass auch bei submaximaler Atemtiefe noch ein positives Feedback erreicht wird.

Übungen zur Verbesserung der HRV und der neurovegetativen Regulation erfordern eine tiefere Stimulation der zugrunde liegenden Regelkreise und sollten deshalb mit einer höheren Übungsschwierigkeit durchgeführt werden.

Ein Anhaltspunkt für den richtigen Vorgabewert liefert die standardisierte RSA-Messung, die Sie mit dem HRV-Scanner unter "Messen und Auswerten" durchführen können. Im Qiu-Konfigurator finden Sie unter dem Programmpunkt "Sonstiges" die Option "Vorgabewert vorschlagen", wo aus den Ergebnissen der letzten RSA-Messungen der optimale Vorgabewert je nach Übungszweck abgeschätzt wird.

Sie sollten zur Sicherheit nach Abschluss der Konfiguration den Probanden eine Biofeedback-Übung mit dem neu programmierten Qiu unter Aufsicht ausführen lassen, um sicherzustellen, dass der Proband die eingestellte Vorgabe erreichen kann aber auch nicht womöglich unterfordert ist.

Festlegen der Übungsdauer

Hier können Sie die Dauer der Übung zwischen einer Minute und 20 Minuten festlegen. Der Qiu schaltet dann bei Erreichen der Übungsdauer automatisch ab. Zu Beginn empfehlen wir eine Übungszeit von 3-5 Minuten.

Konfiguration der Helligkeit des Biofeedbacks

Der Qiu verfügt über zwei Möglichkeiten des optischen Biofeedbacks, farbkodiertes oder intensitätskodiertes Biofeedback. Die Stufen 1 bis 7 legen die Helligkeit des farbkodierten Biofeedbacks fest, Stufe 8 aktiviert das intensitätskodierte Biofeedback, das primär für Anwender mit einer Rot/Grün-Schwäche gedacht ist. Es wird empfohlen, möglichst hohe Helligkeiten einzustellen, damit der Qiu auch bei Tageslicht eingesetzt werden kann.

Hinweis: Alle wesentlichen Einstellungen des Qiu lassen sich auch direkt am Gerät vornehmen (siehe Bedienungsanleitung Qiu)

Weitere Zusatzfunktionen

Datum/Uhrzeit des Qiu stellen

Bevor der Proband beginnt mit dem Qi zu üben, muss das Datum und die Uhrzeit des Qiu gestellt werden. Nur so können später beim Einlesen der Qiu-Messungen diese in den Übungsplan richtig eingetragen und die Compliance berechnet werden.

Qiu-Messungsspeicher löschen

Wenn ein Qiu einem Probanden neu zugeordnet wird, ist es nötig, den Qiu-Speicher zu löschen, um versehentliches Einlesen von alten Messungen, die nicht vom aktuellen Probanden stammen, zu vermeiden.

Qiu Signal Check

Mit dieser Funktion können Sie in Echtzeit das Pulssignal und die daraus abgeleitete Herzfrequenz- und Rhythmisierungskurve darstellen. Diese Funktion eignet sich besonders dazu, eine geeignete Übungs- und Halteposition für den Qiu in der Hand des Probanden zu finden. Beispielsweise sind bei Probanden mit niedrigem Blutdruck oder Durchblutungsstörungen die Pulsamplituden an manchen Stellen der Hand (z.B. Daumenballen) zu gering für eine zuverlässige Registrierung der Herzfrequenz. Mit Hilfe der Anzeige der gemessenen Pulsweite in Echtzeit können verschiedene Haltepositionen ausprobiert und die geeignetste festgelegt werden.


Ohrclip als Alternative

Wird über den eingebauten Sensor kein gutes Biosignal gefunden, so empfehlen wir den Ohrclip als Alternative zu verwenden. Bitte beachten Sie, dass der Ohrclip immer schon vor dem Einschalten des Qiu in den Qiu eingesteckt werden muss. Der Qiu sucht beim Einschaltvorgang nach externen Sensoren. Wird hierbei kein angeschlossener externer Sensor gefunden, wird der integrierte Sensor verwendet, auch wenn nachträglich z.B. ein Ohrclip angesteckt wird.

Falls der Qiu auch mit dem Ohrclip kein ausreichend gutes Pulssignal abnehmen kann, hilft es das Ohrklappchen etwas mit den Fingern zu reiben oder die Position des Ohrclips am Ohr etwas zu verändern.

Qiu Messungen

Festlegen des Übungsplans nach Wochentag und Tageszeit

 Übungsplan 01.09.2008 21.11.2009	Uhrzeit	MO	DI
	1.00		
	2.00		
	3.00		
	4.00		
	5.00		
	6.00		
	7.00		
	8.00		
	9.00		

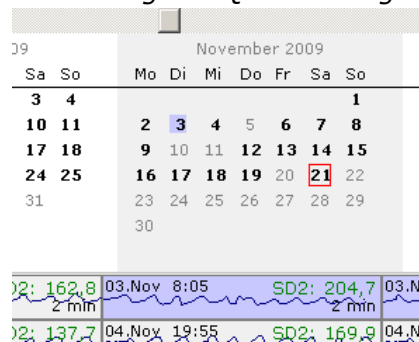
Zum Bearbeiten des Übungsplans klicken Sie im Qiu-Modul auf "Qiu-Messungen". Wählen Sie aus der Probandenliste oben den richtigen Probanden und im Anschluss das Register "Übungsplaner". Für jeden Probanden kann ein Übungsplan mit den Übungs-Sollzeiten erstellt werden.

Um für einen bestimmten Tag zu einer bestimmten Uhrzeit eine Biofeedback-Übung vorzugeben, klicken Sie einfach in der Tabelle auf die entsprechende Zelle. Wenn Sie alle Übungszeiten festgelegt haben, klicken Sie auf "Den Übungsplan dem Probanden ab jetzt zuordnen", um den neuen Übungsplan zu aktivieren.

Bitte beachten Sie, dass es pro Tag maximal einen Übungsplan geben darf. Der neue Übungsplan ist ab dem Tag der Erstellung solange gültig, bis er durch einen neuen Übungsplan ersetzt wird. Die Übungsplan-Historie links von der Tabelle zeigt Ihnen chronologisch alle bisherigen Übungspläne des Probanden an. Durch Klick auf einen Eintrag in der Liste wird das zugehörige Übungsschema in der Tabelle dargestellt.

In der späteren Compliance-Übersicht werden die tatsächlichen Übungszeiten mit dem Übungsplan automatisch verglichen, so dass Sie auf einen Blick die Compliance des Probanden bewerten können.

Verwaltung der Qiu-Messungen



Klicken Sie auf "Qiu-Messungen einlesen", um die Qiu-Daten in den HRV-Scanner zu übertragen. Alle Messungen im angeschlossenen Qiu, die bisher noch nicht übertragen wurden, werden nun in die HRV-Scanner-Software übertragen. Im Anschluss an die Übertragung werden die Übungsdaten automatisiert ausgewertet und in den Kalender eingetragen. Mittels der Scroll-Leiste über dem Kalender können Sie sich durch den Kalender bewegen.

Klicken Sie mit der Maus auf einen Kalendermonat, um alle Messungen dieses Monats grafisch darzustellen. Fett markierte Kalendertage eines Monats zeigen an, dass an diesem Tag Übungen durchgeführt wurden.

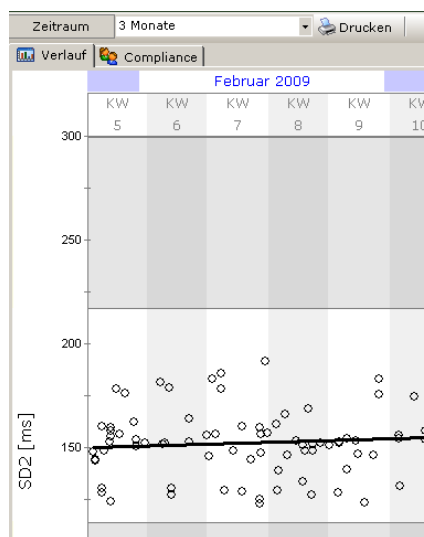
Wenn Sie mit der Maus auf einen einzelnen Tag klicken, werden in der Messungsübersicht darunter alle Messungen dieses Tages blau markiert.

Nachbearbeiten der Messung

Um eine einzelne Messung vergrößert zu betrachten klicken Sie mit der Maus auf die Messung in der Messungsübersicht. Die gewählte Messung wird nun im großen Diagramm unterhalb der Messungsübersicht angezeigt. Sie können diese Messung nun nachbearbeiten oder aus der Auswertung herausnehmen, falls die Übung z.B. aufgrund zu vieler Artefakte nicht auswertbar ist. Zum Nachbearbeiten klicken Sie auf "Bearbeiten", zum Herausnehmen klicken Sie auf "Nicht verwenden".

Hinweis: Die sorgfältige Nachbearbeitung ist wichtig, damit in die nachfolgende Auswertung möglichst nur artefaktfreie und qualitativ hochwertige Messungen eingehen. Wenn eine Nachbearbeitung aufgrund z.B. der schlechten Datenqualität nicht möglich ist, sollte die Messung als unbrauchbar markiert werden (Auf "Nicht verwenden" klicken)

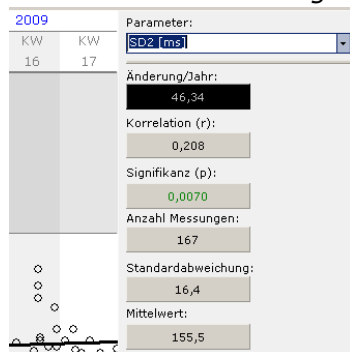
Übersicht über den Übungserfolg mit statistischer Auswertung



Aufgrund der vielen HRV-Daten, die mit dem Qiu bei regelmäßiger Anwendung erhoben werden, lassen sich Veränderungen der HRV sehr viel besser dokumentieren, als bei gelegentlichen HRV-Bestimmungen. Eine statistische Prüfung auf lineare (Pearson) Korrelation der HRV-Werte mit der Zeit ermöglicht es systematische Trends in der Entwicklung der HRV zuverlässig von der zufälligen Schwankung der Messwerte abzugrenzen.

Klicken Sie im Kalender unten auf "Verlauf", um die Übersicht über die Entwicklung der HRV-Werte aufzurufen. Sie können bei "Zeitraum" einen Zeitausschnitt für die Anzeige zwischen 1 Monat und 2 Jahren festlegen. Mit der Scroll-Leiste unterhalb des Diagramms können Sie einen beliebiges Zeitfenster darstellen und analysieren. Zum Auswählen aus verschiedenen HRV-Parametern, benutzen Sie die Auswahlliste "Parameter".

Statistische Auswertung:



Für alle angezeigten Messungen im Diagramm wird eine Korrelationsanalyse nach Pearson durchgeführt. Der Korrelationskoeffizient r (Bereich $-1 < r < 1$) gibt den Grad des Zusammenhangs zwischen HRV und Zeit an. Die statistische Signifikanz p zeigt, ob es sich bei dem gefundenen Trend um Zufall oder eine systematische Veränderung handelt. Ein p -Wert $< 0,05$ wird als statistisch signifikant betrachtet (grün markierter p -Wert) p -Werte größer als 0,05 sprechen für einen zufälligen Trend (rot markierter p -Wert). Bei einem p -Wert $< 0,05$ kann man mit einer Irrtums- Wahrscheinlichkeit von 5% davon ausgehen, dass ein systematischer Einfluss auf die HRV vorliegt.

Um die Größe der HRV-Veränderung abzuschätzen, wird die Veränderung der HRV auf ein Jahr hochgerechnet und angezeigt ("Änderung/Jahr").

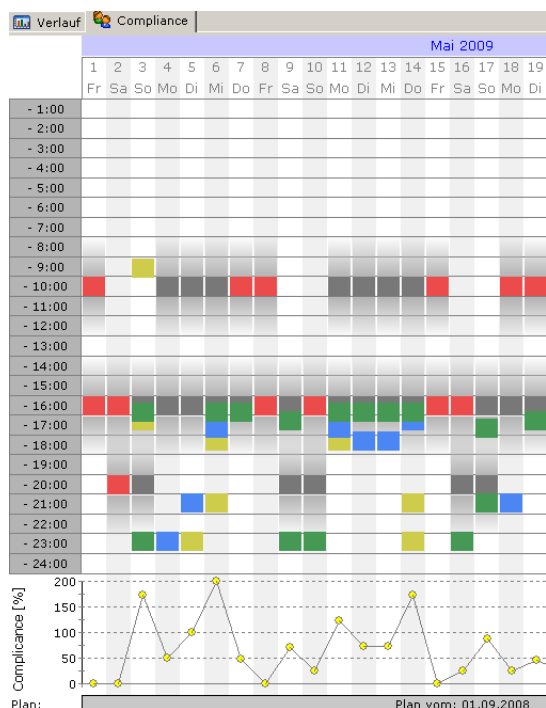
Hinweis: Es gibt einen systematischen, negativen Trend der HRV, der alle untersuchten Personen gleichermaßen trifft, nämlich die altersbedingte Abnahme der HRV. Mit jedem Lebensjahr geht ca. 1-2% der HRV verloren (bezogen auf den Ausgangswert eines 20 Jährigen). Ein negativer Trend in dieser Größe ist also als normal zu werten. (Cave! Stress-Index (SI): Der SI wird mit fallender HRV größer = positiver Trend)

Filtereinstellungen

Bei der Vielzahl der Qiu-Messungen können vereinzelt stark abweichende Messungsergebnisse vorkommen, bedingt durch Artefakte, Messungsfehler oder eine akute Erkrankung. Um die Trend-Analyse nicht zu

beeinflussen ist es sinnvoll, diese Ausreißer aus der Analyse zu entfernen. Damit Sie nicht mühsam im Kalender jede dieser Messungen suchen und manuell ausschließen müssen, können Sie die Daten vor der Analyse filtern. Aktivieren Sie dazu die Checkbox "Filter aktiv". Durch geschicktes Setzen der Filtergrenzen lassen sich so in der Regel alle Fehlmessungen ausschließen.

Übersicht über die Übungs-Compliance, Compliance-Index

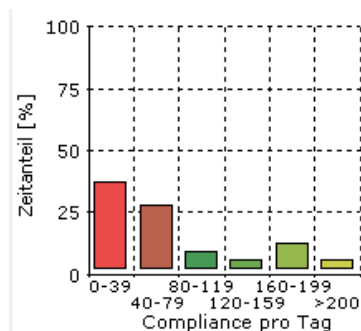


Die Compliance-Übersicht macht transparent, wie gut sich Ihr Proband an den vorgegebenen Übungsplan hält. Dazu werden die Zeitpunkte der Qiu-Messungen mit dem Übungsplan verglichen und grafisch dargestellt



Für jeden Tag wird die Tages-Compliance berechnet. Eine Compliance von 100% bedeutet eine genaue Erfüllung der Übungsvorgabe an diesem Tag. Eine Compliance größer 100% bedeutet ein Überfüllen der Vorgabe, d.h. der Proband hat mehr gemacht, als er sollte.

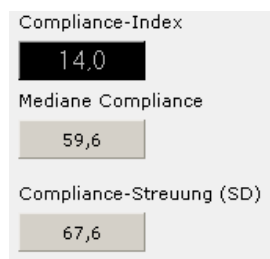
Entsprechend bedeutet eine kleinere Compliance als 100% ein zu geringes Üben des Probanden.



Das Compliance-Diagramm unterhalb der Compliance-Übersicht zeigt den Compliance-Verlauf im gewählten Zeitausschnitt. Eine Zusammenfassung über die Compliance gibt das Histogramm. Die Höhe der einzelnen Säulen gibt an, an wie vielen Tagen (in Prozent) im angezeigten Zeitraum die tägliche Compliance einem Wert entspricht, der innerhalb der Klassengrenzen der jeweiligen Säule liegt. Im Histogramm rechts liegt z.B. ca. an 27% der Tage die Compliance zwischen 40%-79%.

Mittels der Checkbox "Zeitabweichung werten" können Sie festlegen, ob Abweichungen von der vorgegebenen Zeit in die Berechnung der Compliance eingehen.

Ist die Checkbox aktiviert, führt ein verspätetes oder verfrühtes Üben zu einer Verringerung der Compliance. Weicht die Messungszeit von der Zeit der Vorgabe um mehr als zwei Stunden ab, so verringert sich die Compliance dieser Messung auf 50%. Innerhalb des Bereichs von zwei Stunden ist die Anpassung der Compliance fließend, d.h. bei einer Abweichung von einer Stunde wird die Compliance der Messung noch mit 75% gewertet.



Aus den Compliance-Werten der dargestellten Tage wird ein Index für die Compliance berechnet. Vereinfacht ausgedrückt ist der Compliance Index eine mathematische Beschreibung des Histogramms. In Beziehung gesetzt wird dabei der Anteil der gewünschten Compliance (mittlerer Bereich des Histogramms) zur Breite des Histogramms (Streuung). Der Compliance Index kann Werte zwischen 100 (gleichbleibend gute Compliance an allen Tagen) und 0 (keine Compliance) annehmen.

HRV-Monitoring mit dem Qiu

Oftmals wird die HRV als Parameter verwendet um den Erfolg, bzw. den Fortschritt von Therapien zu objektivieren, die auf eine Verbesserung der Parasympathikusfunktion abzielen. Dazu wird zu Beginn mit dem Probanden meist eine Basis-HRV Untersuchung (RSA-Messung und Kurzzeit-HRV) durchgeführt. Dann erfolgt eine Messung zum Abschluss der Behandlung oder im Idealfall noch vereinzelt Messungen im Verlauf der Behandlung, jedoch aufgrund des hohen Aufwandes meist in zeitlich größeren Abständen. Hierbei ist das Risiko, dass diese wenigen Messungen den Verlauf der HRV nicht zuverlässig protokollieren hoch.

Viele Dinge haben einen teils ungünstigen, jedoch kurzfristigen Einfluss auf die HRV. So beeinflussen mentale Anspannungszustände (Streit, akuter Stress), kurze Infektionskrankheiten oder Überbelastungen (Sport) die Ergebnisse der HRV-Messungen teils erheblich. Solche Ausreißer können bei einer kleinen Messungsanzahl den Verlauf sehr ungünstig beeinflussen.

Deshalb macht es Sinn, den Probanden während einer Therapie einen Qiu mitzugeben. Zum einen erfolgt damit ein Training des Parasympathikus, zum anderen bekommen Sie so eine große Anzahl von Messwerten. Vergleichbar mit dem Blutdruck-Tagesbuch verschafft der Qiu eine valide Dokumentation der HRV.

Idealerweise werden die Messungen des Probanden mit Hilfe der myQiu Plattform über die Cloud quasi in Echtzeit dem Therapeuten zur Einsichtnahme zur Verfügung gestellt. Proband und Therapeut synchronisieren den Messungsbestand über die myQiu Plattform. Über den HRV-Scanner kann der Therapeut alle Messungen des Probanden (Qiu, myQiu, PC-Biofeedback,...) einsehen und im Verlauf auswerten.

Eine Erweiterung auf Smartphone-Apps und einer Datenübermittlung über Bluetooth, sowie die Einbindung von externen Sensoren (Smartwatches, BT-Qiu) ist in Vorbereitung.

Probanden in den Qiu einweisen

Der Erfolg der Biofeedback-Übung und die Verwertbarkeit der gewonnenen Messdaten hängen stark von der guten Vorbereitung und der Einweisung des Probanden in den Qiu ab. Die Zeit die Sie hier investieren, erspart Ihnen später einen erheblichen Aufwand bei der Nacharbeitung qualitativ schlechter Messungen.

Die Einweisung sollte deshalb nach Möglichkeit mindestens folgende Fragen des Probanden beantworten:

Wie schaltet man den Qiu ein/aus?

Durch längeres Drücken der Taste, bis die blauen LEDs der Atemanzeige den An- bzw. Abschaltvorgang anzeigen.

Wie kann ich den Setting-Modus verlassen, wenn dieser beim Einschalten versehentlich aktiviert wurde?

Die Taste so lange drücken, bis der Qiu abschaltet.

Welche Halteposition ist geeignet?

Der Qiu sollte in sitzender Haltung mit aufgelegter Hand auf einer ruhigen Unterlage deutlich unterhalb der Herzhöhe gehalten werden (z.B. Ablage der Hand auf dem Oberschenkel).

Welche Sensorposition ist geeignet?

Bevorzugt sollten die Fingerkuppen von Zeige-, Mittelfinger oder Daumen verwendet werden. Eine geeignete Sensorposition kann auch mittels der Funktion "Qiu Signal Check" im Qiu-Konfigurator des HRV-Scanners gefunden werden.

Wie erkenne ich eine ungeeignete Sensorposition?

Zu Beginn jeder Biofeedback-Übung sucht der Qiu für ca. 10 Sekunden den Puls. In dieser Zeit spiegelt er die Amplitude des Pulses optisch in Form von blauen Pulsationen wieder. Fehlen diese Pulsationen und schaltet der Qiu nicht in den Biofeedbackmodus oder unterbricht der Qiu öfters die Übung, um erneut den Puls zu suchen, ist der Pulssensor nicht optimal platziert. In diesem Fall empfiehlt es sich, die Übung abubrechen, den Qiu aus- und wieder einzuschalten und eine andere Sensorposition zu wählen.

Das optische Biofeedback bleibt permanent auf rot bzw. grün, egal was ich mache?

Möglicherweise hat der Proband im Setting die Vorgabe des Rhythmisierungsgrads verstellt. Wenn der Proband mit dem Konfigurieren des Qius mittels der Taste am Qiu vertraut ist, kann er dies selbst kontrollieren, wenn nicht, müsste die Einstellung durch Sie überprüft werden.

Was bedeutet das wandernde blaue LED-Licht am Äquator des Qiu?

Die Reihe blauer LEDs signalisiert während des HRV-Biofeedbacks die Richtung und Geschwindigkeit von Ein- und Ausatmung des Probanden. Zweckmäßigerweise hat der Proband dies unter Aufsicht einige Atemzüge lang geübt, um eine sichere Ausführung zu gewährleisten.

Der Qiu leuchtet beim Einschalten hell auf, warum?

Während des Einschaltvorgangs wird der Batteriestand unter Belastung geprüft, deshalb wird der Qiu für eine Sekunde auf maximale Helligkeit geschaltet.

Im Anschluss an das helle Aufleuchten beim Einschalten blinkt der Qiu seit neustem einmal rot auf, warum ?

Die Ladung der Batterie nähert sich dem Ende. Es können noch einige Übungen ausgeführt werden, allerdings sollten Ersatzbatterien bzw. volle Akkus bereitgelegt werden.

Im Anschluss an das helle Aufleuchten beim Einschalten blinkt der Qiu dreimal rot auf und schaltet dann ab, warum?

Die Batterien /bzw. Akkus sind leer und sollten zügig gewechselt werden. Wichtig: Der stromlose Zustand während des Wechsels der Batterien sollte möglichst kurz sein, da die Uhr im Qiu während dieser Zeit stehen bleibt.

Muss Uhrzeit und Datum im Qiu nach Wechseln der Batterie neu gestellt werden?

Ein Stellen der Uhr durch den Probanden ist nicht nötig, wenn der Proband die Batterien zügig gewechselt hat. Die Uhr läuft bei Einsetzen voller Batterien an der Stelle weiter, an der sie stehen geblieben ist. Der kurze Laufzeitunterschied von in der Regel wenigen Minuten ist für die Zuordnung der Messungen im HRV-Scanner ohne praktische Bedeutung.

Wie kann der Proband die Batterien wechseln?

Zum Öffnen des Qiu kann die transparente Oberschale durch kurze Drehung gegen den Uhrzeigersinn entriegelt und abgehoben werden. Das Batteriefach kann dann geöffnet und die Batterien entnommen werden. nach Einsetzen der Batterien, Verschließen des Batteriefachs und Aufsetzend der Oberschale wird letztere durch kurze Drehung im Uhrzeigersinn verriegelt.

Hinweis: Auf richtige Polung der neuen Batterien ist zu achten.

Weitere HRV-Messungen

Liegen/Stehen Messungen

HRV Liegen/Stehen Messung mit oder ohne Blutdruckbestimmung. Standardmäßig 5 Min. Liegen/Aufstehen/5 Min. Stehen, oder frei konfigurierbar.

Dieser Test untersucht die physiologischen Reaktionen beim Wechsel der Körperposition vom Liegen zum Stehen. Da dem Aufstehen eine mindestens 5-minütige Liegenphase vorausgeht, kann in diesem Test zusätzlich die Kurzzeit-HRV durchgeführt werden. Dadurch kann eine separate Bestimmung der Kurzzeit-HRV entfallen und Messungszeit eingespart werden.

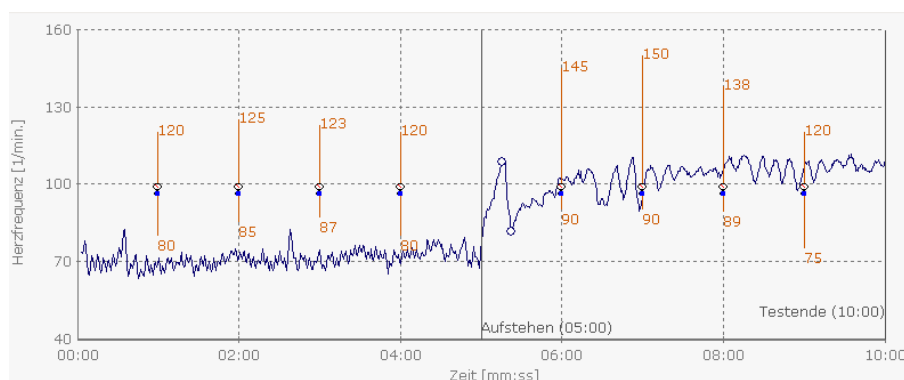
Unmittelbar nach dem Aufstehen steigt die Herzfrequenz an, bis sie sich nach ca. 20 Sekunden deutlich verlangsamt. Der rasche Anstieg der Herzfrequenz entsteht reflektorisch durch eine Verringerung der parasympathischen Aktivität, während die nachfolgende Bradykardie durch den Baroreflex vermittelt wird. Ziel der gesamten Regulation ist es für einen ausreichenden Blutdruck zu sorgen, da bei der Orthostase das plötzliche Versacken von mehr als einem halben Liter Blut in den Beinen ausgeglichen werden muss. Es kommt deshalb neben der Anpassung der Herzleistung auch zu einer Steigerung der sympathischen Aktivität am Gefäßsystem, verbunden mit einer Engerstellung der Gefäße. Bei Gesunden ist die orthostatische Regulation im Mittel nach ca. 20 Sekunden abgeschlossen.

Alter, Geschlecht und Trainingszustand könne das Regulationsverhalten genauso beeinflussen wie metabolische Faktoren, z.B. Nahrungsaufnahme, Alkohol oder Nikotin.

Eine normale, physiologische Blutdruckregulation drückt sich in einem geringen Abfall des systolischen Blutdrucks um 5-10 mmHg, einem Anstieg des diastolischen Blutdrucks um 2-5 mmHg und einem Anstieg der Herzfrequenz zwischen 5-20 Schläge/Min. aus.

Der Blutdruck sollte systolisch nicht mehr als 20 mmHg und diastolisch nicht mehr als 10 mmHg absacken. Eine stärkere Reduktion des Blutdrucks bezeichnet man auch als orthostatische Hypotonie. Eine weitere Fehlregulation ist ein zu starker Anstieg der Herzfrequenz im Stehen. Die Herzfrequenz sollte nicht mehr als 30 Schläge pro Minute gegenüber dem Wert im Liegen ansteigen, bzw. einen Wert von mehr als 120 Schläge/Min. nicht überschreiten.

Beispiel einer Orthostasemessung. Deutliche Ewing-Reaktion (schneller Anstieg der Herzfrequenz, gefolgt von einem deutlichen Abfall der Herzfrequenz). Auffallend ist der starke Anstieg der Herzfrequenz im Stehen (>30 Schläge/Min.).



Hinweis zur Durchführung:

Achten Sie darauf, den Probanden nicht zu früh über den Zeitpunkt des Aufstehens zu informieren, weil dadurch eine Erwartungshaltung aufgebaut wird, die mit einem erhöhten Sympathikotonus verbunden ist und das Ergebnis verfälschen kann. Der Proband sollte unmittelbar nach dem Aufstehen ruhig stehen, ohne die Beinmuskulatur stärker als nötig zu aktivieren, weil durch die Muskelpumpe willkürlich in die Regelung von Blutdruck und Herzfrequenz eingegriffen wird und dadurch die Regelleistung des vegetativen Nervensystems nicht mehr beurteilbar ist.

Achtung:

Bei der Durchführung des Ewing-Tests können bei manchen Personen Synkopen auftreten. Es ist durch eine entsprechende Gestaltung des Versuchsablaufs dafür Sorge zu tragen, dass der Proband beim Auftreten der Synkope keinen Schaden nimmt. (Keine spitzen oder scharfkantigen Gegenstände im Umkreis des Probanden. Assistenzpersonal in unmittelbarer Nähe des Probanden beim Aufstehen, das in der Lage ist, einen plötzlichen Sturz aufzufangen bzw. abzumildern.)

Blutdruck

Methode/Gerät angeben

manuell

manuell

Metronik C-06 / BL-6

Hinweis: Der Blutdruck kann manuell oder mittels des Blutdruckmessgeräts Metronik C-06/BL-6 gemessen werden. Geben Sie in den Systemeinstellungen an, welche Methode Verwendung finden soll.

Langzeit-Messungen

Langzeit-HRV-Messungen können wertvolle Erkenntnisse bzgl. der HRV im Tagesverlauf bieten. Die Messung erfolgt üblicherweise mit Holtersystemen. Wir empfehlen die Verwendung des Faros 180 von Mega Electronics. Das Gerät zeichnet das EKG auf und hat Beschleunigungssensoren in den drei Achsen.

Im ersten Schritt der Auswertung soll durch Bearbeitung des EKG eine möglichst gute Herzfrequenzkurve erstellt werden. Daraus werden dann im zweiten Schritt der Auswertung alle weiteren Parameter und Kurven erstellt.

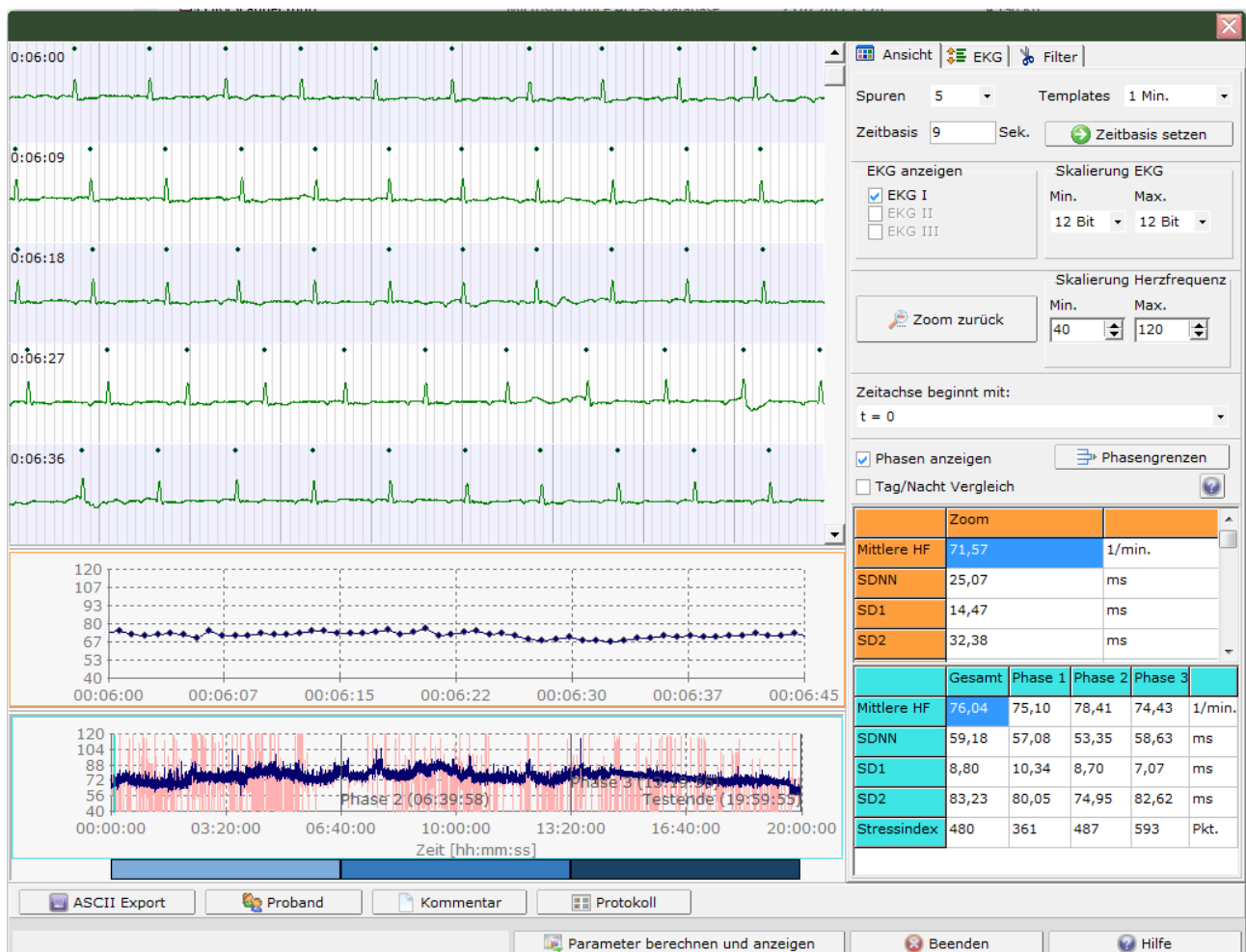


Abb.: Aufbau des Auswertungs-Fensters

Langzeitauswertung - Schritt 1 - Diagramme

Im linken Teil des Fenster finden Sie drei Diagramme und den Phasenbalken, der Ihnen die Länge der einzelnen Phasen einer Messung anzeigt. Das oberste Diagramm zeigt Ihnen das EKG, die beiden unteren Diagramme zeigen die Herzfrequenzkurve. Das obere Herzfrequenz-Diagramm stellt die Herzfrequenz da, die sich aus dem darüber liegenden EKG ergibt. Das untere Herzfrequenz-Diagramm zeigt die Herzfrequenzkurve der gesamten Messung.

Hinweis:

Die Größe der Diagramme können Sie durch Ziehen der beiden „Splitter“ (Trennlinien zwischen EKG und Herzfrequenz-Diagramm bzw. zwischen den beiden Herzfrequenz-Diagrammen) ändern.

Um durch die Messung zu scrollen, klicken Sie auf die Laufleiste rechts neben dem EKG-Diagramm. Sie können auch mit gedrückter linker Maustaste in jedem Diagramm ein Bereich im Diagramm vergrößern. Durch Drücken der Rückgängig-Taste im Reiter „Anzeige“ lässt sich das Vergrößern rückgängig machen. Den gleichen Effekt erzielen Sie auch durch Drücken der rechten Maustaste.

Unter den Herzfrequenz-Diagrammen finden Sie den Phasenbalken. Durch Ziehen mit der Maus bei gedrückter linker Maustaste können Sie die Messung in drei verschiedene Phasen unterteilen, die getrennt voneinander ausgewertet werden.

Langzeitauswertung - Schritt 1 – Ansicht

Hier können Sie die Diagramme einstellen.

Spuren 5 **Templates** 1 Min.

Zeitbasis 9 Sek. **Zeitbasis setzen**

EKG anzeigen
☒ EKG I
☐ EKG II
☐ EKG III

Skalierung EKG
Min. 12 Bit Max. 12 Bit

Skalierung Herzfrequenz
Min. 40 Max. 120

Zeitachse beginnt mit:
t = 0

☒ Phasen anzeigen **Phasengrenzen**
☐ Tag/Nacht Vergleich

	Zoom	
Mittlere HF	71,57	1/min.
SDNN	25,07	ms
SD1	14,47	ms
SD2	32,38	ms

	Gesamt	Phase 1	Phase 2	Phase 3	
Mittlere HF	76,04	75,10	78,41	74,43	1/min.
SDNN	59,18	57,08	53,35	58,63	ms
SD1	8,80	10,34	8,70	7,07	ms
SD2	83,23	80,05	74,95	82,62	ms
Stressindex	480	361	487	593	Pkt.

Spuren

Anzahl der Zeilen im EKG-Diagramm

Zeitbasis

Länge des in einer Spur angezeigten EKG in Sekunden. Um die Einstellung zu übernehmen bitte auf „Zeitbasis setzen“ klicken.

Template

Templates zeigen einen Ausschnitt der Messung mit einer definierten Länge an. Die Anzahl der Spuren und die Zeitbasis werden dabei so gesetzt, dass sich eine möglichst optimierte Darstellung ergibt.

Skalierung EKG

Das EKG wird im HRV-Scanner in einem 16Bit Format mit Vorzeichen gespeichert, also von +32767 bis -32767. Dies entspricht einem Zahlenraum von +15Bit bis -15Bit. Je nach EKG-Verstärkung wird dabei oft nur ein kleiner Teil des Zahlenraums genutzt, so dass eine entsprechend kleinerer Zahlenraum eingestellt werden muss, um das EKG erkennen zu können.

Hinweis: Bitte beachten Sie, dass sich Änderungen der Skalierung hier nur auf die Darstellung und nicht auf die Erkennung der R-Zacken im Reiter „EKG“ beziehen.

Skalierung Herzfrequenz

Hier können Sie die Y-Achse der Herzfrequenz-Diagramme skalieren.

Zeitachse beginnt mit

Hier legen Sie fest, ob die Zeitachse mit t = 0 oder mit der tatsächlichen Uhrzeit der Messung beginnt.

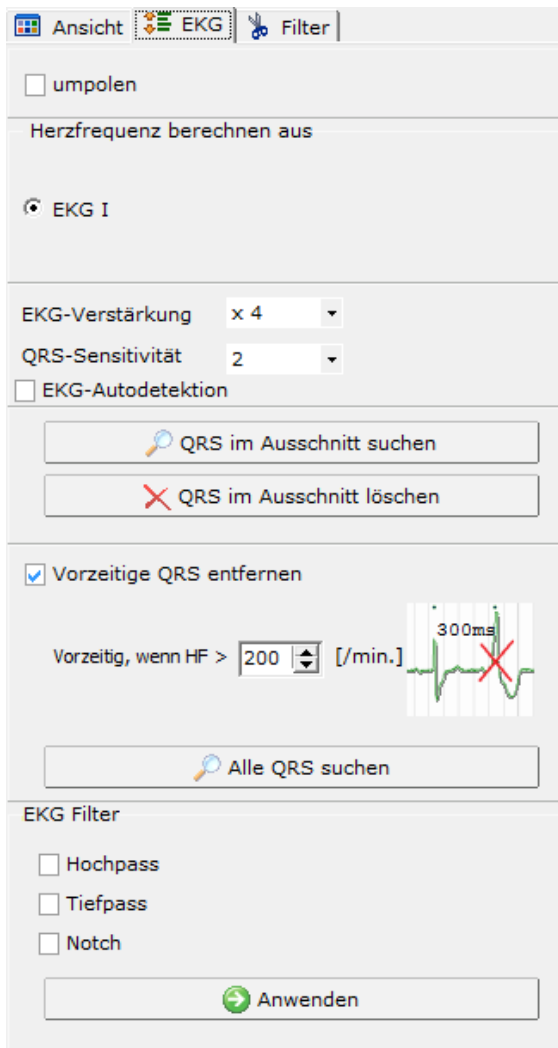
Phasen anzeigen

Hier können Sie einstellen, ob die Messung in drei Phasen unterteilt wird, bzw. ob die Unterteilung angezeigt und bei der Auswertung berücksichtigt wird.

Phasengrenzen setzen

Hier können Sie die Grenzen der Phasen (Beginn und Ende) setzen. Es erscheint das Fenster zum Bearbeiten der Phasengrenzen. In diesem Fenster werden die Phasengrenzen je nach Einstellung der Zeitachse eingegeben. Ist (t=0) gewählt, so bezieht sich die eingegebene Zeit auf den Abstand vom Messungsbeginn, ansonsten wird die tatsächliche Uhrzeit für die Phasengrenze eingegeben. Mit „Übernehmen“ übernehmen Sie die Phasengrenzen in die Messung und die Darstellung.

Langzeitauswertung - Schritt 1 – EKG



Umpolen

Polt das EKG um. Dies ist nützlich, wenn beispielsweise die Elektroden falsch herum angelegt wurden. Nach dem Umpolen sollte erneut die QRS-Analyse zur R-Zacken-Bestimmung durchgeführt werden.

Herzfrequenz berechnen aus

Wurden mehrere EKG-Spuren aufgezeichnet können Sie hier bestimmen, welche Spur zur Bestimmung der Herzfrequenz herangezogen wird.

EKG-Verstärkung und EKG-Sensitivität

Damit treffen Sie die Einstellungen für die QRS-Analyse. Je größer die eingestellten Werte, desto empfindlicher wird die QRS-Analyse. Dadurch vergrößert sich auch die Wahrscheinlichkeit, dass bereits kleine Artefakte fälschlicherweise als R-Zacke erkannt werden.

EKG-Autodetektion

Einstellungen für die QRS-Analyse werden automatisch vorgenommen.

QRS im Ausschnitt suchen

Sucht im EKG-Diagramm nach R-Zacken. Abschnitte der Messung außerhalb des EKG-Diagramms werden nicht analysiert.

QRS im Ausschnitt löschen

Löscht im EKG-Diagramm alle R-Zacken-Markierungen. Abschnitte der Messung außerhalb des EKG-Diagramms sind davon nicht betroffen.

Vorzeitige QRS entfernen (nur verfügbar bei tatsächlichem EKG, nicht verfügbar bei Messungen aus RR-Abständen und künstlich erzeugtem EKG)

Manchmal liegen zwei erkannte R-Zacken so dicht zusammen, dass es unwahrscheinlich ist, dass beide R-Zacken durch einen physiologischen Sinusrhythmus entstanden sind. Oftmals handelt es sich um eine Extrasystole oder ein Artefakt in der Nähe eines normalen Herzschlags. Wenn die Funktion „Vorzeitige QRS entfernen“ aktiviert ist, dann wird beim Klicken auf die Taste „Alle QRS suchen“ bei dicht zusammenliegenden R-Zacken die Form analysiert und mit den übrigen R-Zacken verglichen. Die R-Zacke mit der größeren

Formähnlichkeit wird beibehalten, die andere als Artefakt verworfen. Mit dem Eingabefeld können Sie festlegen, ab wann zwei R-Zacken als vorzeitig betrachtet und auf Formähnlichkeit überprüft werden.

Alle QRS suchen

Startet einen kompletten Suchlauf nach R-Zacken im EKG. Bestehende Markierungen werden dabei gelöscht.

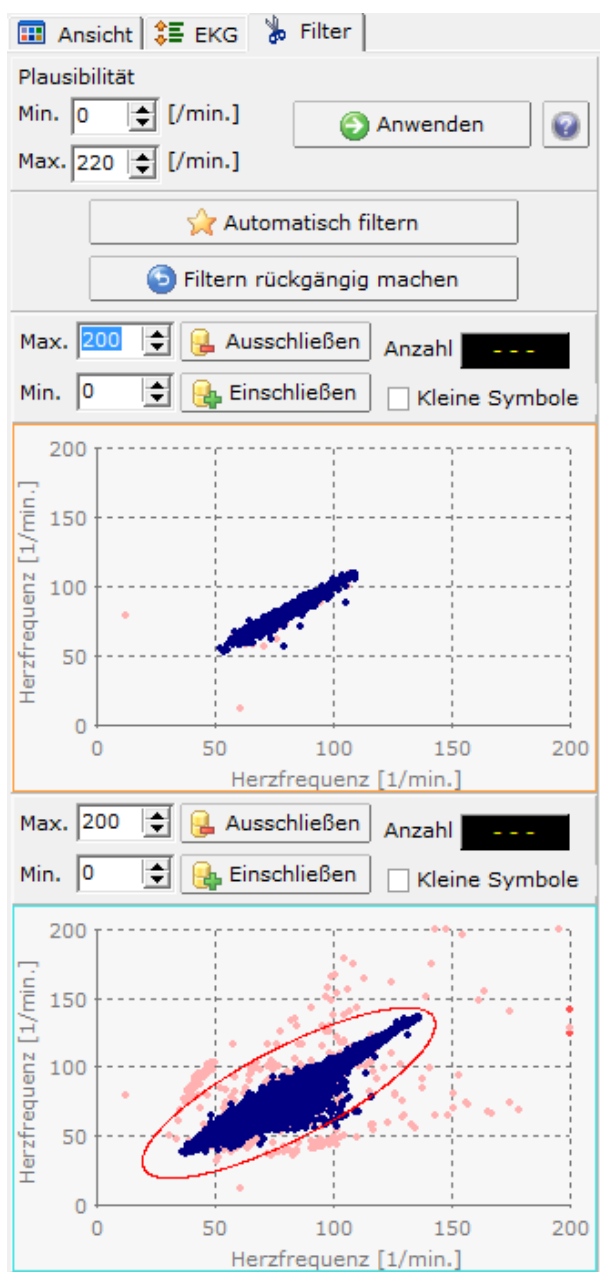
EKG Filter (nur verfügbar bei tatsächlichem EKG, nicht verfügbar bei Messungen aus RR-Abständen und künstlich erzeugtem EKG)

Mit dem EKG-Filter können Sie verschiedene Filter auf das EKG anwenden. Der Hochpassfilter entfernt langsame Signalanteile, z.B. Grundlinienschwankungen. Der Tiefpassfilter kann hochfrequente Störungen entfernen. Mit dem Notchfilter wird ein eventuelles Netzbrummen reduziert.

Hinweis: Messungen, die durch Import von RR-Listen generiert wurden, enthalten ein künstlich erzeugtes EKG. Die Filter stehen in diesem Fall nicht zur Verfügung, da es keine Störungen im Signal geben kann.

Langzeitauswertung - Schritt 1 – Filter

Nutzen Sie die verschiedenen Filter, um möglichst alle Artefakte auszuschließen. Nur so kann die Messung valide ausgewertet werden.



Plausibilität

Bei einer normalen Herzfrequenzkurve (Sinusrhythmus) ist es unwahrscheinlich, dass extrem hohe oder niedrige Herzfrequenzen auftreten. Meist sind solche Ausreißer durch Artefakte oder Extrasystolen bedingt. Legen Sie eine obere und untere Grenze fest, um solche Artefakte von vornherein auszuschließen.

Filtern rückgängig machen

Macht die letzte Poincare-Filterung rückgängig.

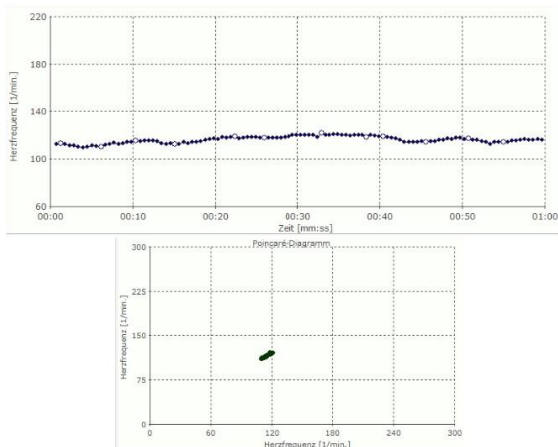
Poincare-Filter

siehe unten

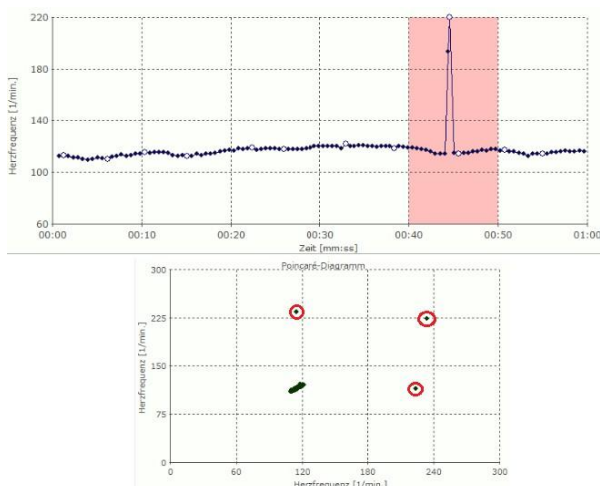
Poincare-Filter

Es stehen zwei grafische Filter zur Verfügung, die auf sogenannten Poincare-Plots beruhen. Poincare-Diagramme sind besonders gut geeignet, Ausreißer im Herzfrequenzverlauf zu erkennen.

Im nachfolgenden Beispiel ist eine Artefakt-freie Herzfrequenzkurve und darunter das zugehörige Poincare-Diagramm dargestellt.

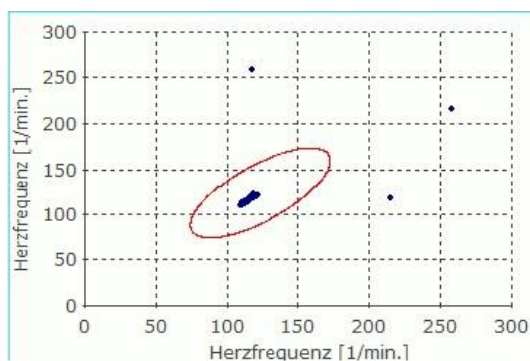


Nun die gleiche Herzfrequenzkurve mit einigen Artefakten:



Die Ausreißer sind im Poincare-Diagramm deutlich als Punkte außerhalb der Punktwolke zu erkennen (mit einem roten Kreis markiert) und lassen sich nun leicht herausfiltern:

Ziehen Sie dazu mit gedrückter linker Maustaste eine Ellipse um die Punktwolke, die durch die regelrechten Herzschläge gebildet wird (siehe Bild).



Drücken Sie nun die Taste „Ausschließen“, um die Artefakte zu entfernen. Wenn Sie versehentlich zu viele Herzschläge entfernt haben, können Sie die letzte Filterung durch Drücken der entsprechende Taste wieder

Zwei Tabellen zeigen Ihnen die wichtigsten HRV-Parameter zu Orientierung.

	Zoom	
Mittlere HF	70,36	1/min.
SDNN	64,93	ms
SD1	54,41	ms
SD2	73,97	ms
Stressindex	384	Pkt.

	Gesamt	Phase 1	Phase 2	Phase 3	
Mittlere HF	76,12	75,39	78,43	74,39	1/min
SDNN	79,18	77,88	75,41	78,22	ms
SD1	54,81	56,42	53,77	54,29	ms
SD2	97,64	94,59	92,10	96,39	ms
Stressindex	458	332	461	580	Pkt.

Die obere Tabelle zeigt die berechneten HRV-Parameter des oberen Herzfrequenz-Diagramms (Messungsausschnitt), die untere Tabelle zeigt die HRV-Parameter des unteren Herzfrequenz-Diagramms (gesamte Messung), unterteilt nach Phasen. Die Tabellen werden bei jeder Veränderungen in den Herz-frequenzkurven aktualisiert, z.B. nach Anwenden der Filter.

Mit Hilfe der Protokollfunktion kann die Langzeit-Messung gut kommentiert werden.

[illegible]

Abb.: Protokoll-Liste

Um einen Event zu der Liste hinzuzufügen, geben Sie eine Uhrzeit im Format „hh:mm:ss“ (Stunde zweistellig, Minute zweistellig, Sekunde zweistellig) ein. Ob Sie die tatsächliche Uhrzeit oder die Zeit nach Beginn der Messung eingeben müssen, hängt davon ab, welche Darstellungsart Sie in „Ansicht“ gewählt haben („t=0“ oder „Uhrzeit der Messung“). Geben Sie noch die Dauer des Events und eine Bezeichnung ein. Mit „Übernehmen“ fügen Sie den eingegebenen Event der Liste hinzu.

In diesem Fenster ist es ebenfalls möglich schon vorhandene Events zu bearbeiten, bzw. aus der Liste zu entfernen.

Die Events werden in den Herzfrequenz-Diagrammen und im HRV-Verlauf angezeigt.

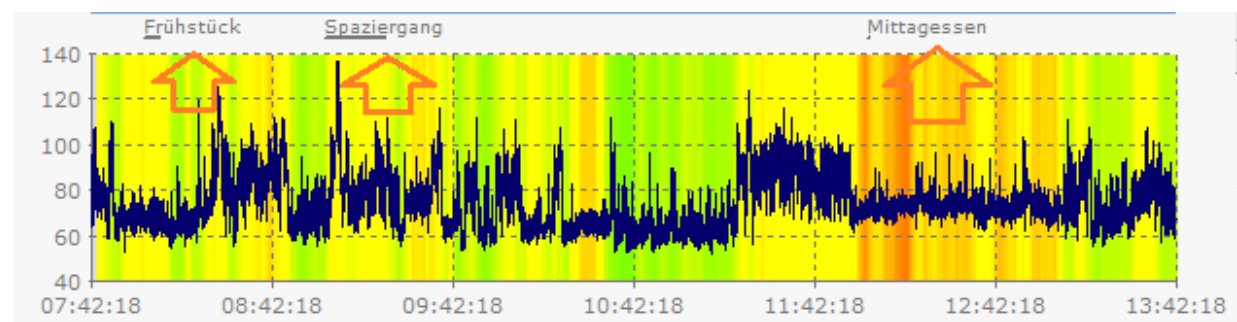


Abb.: Einträge aus der Protokoll-Liste im HRV-Verlauf

Langzeitauswertung - Schritt 2

Neben den üblichen Darstellungen der Auswertungen im HRV-Scanner (Parameter-Liste, Histogramm, Herzfrequenzkurve, Poincaré-Diagramm, Spektralanalyse für die gesamte Messung und bis zu 3 frei einstellbare Phasen, Farb-FFT, 3-D FFT) steht im neuen Langzeit-Modul eine farblich unterlegter HRV-Verlauf zur Verfügung.

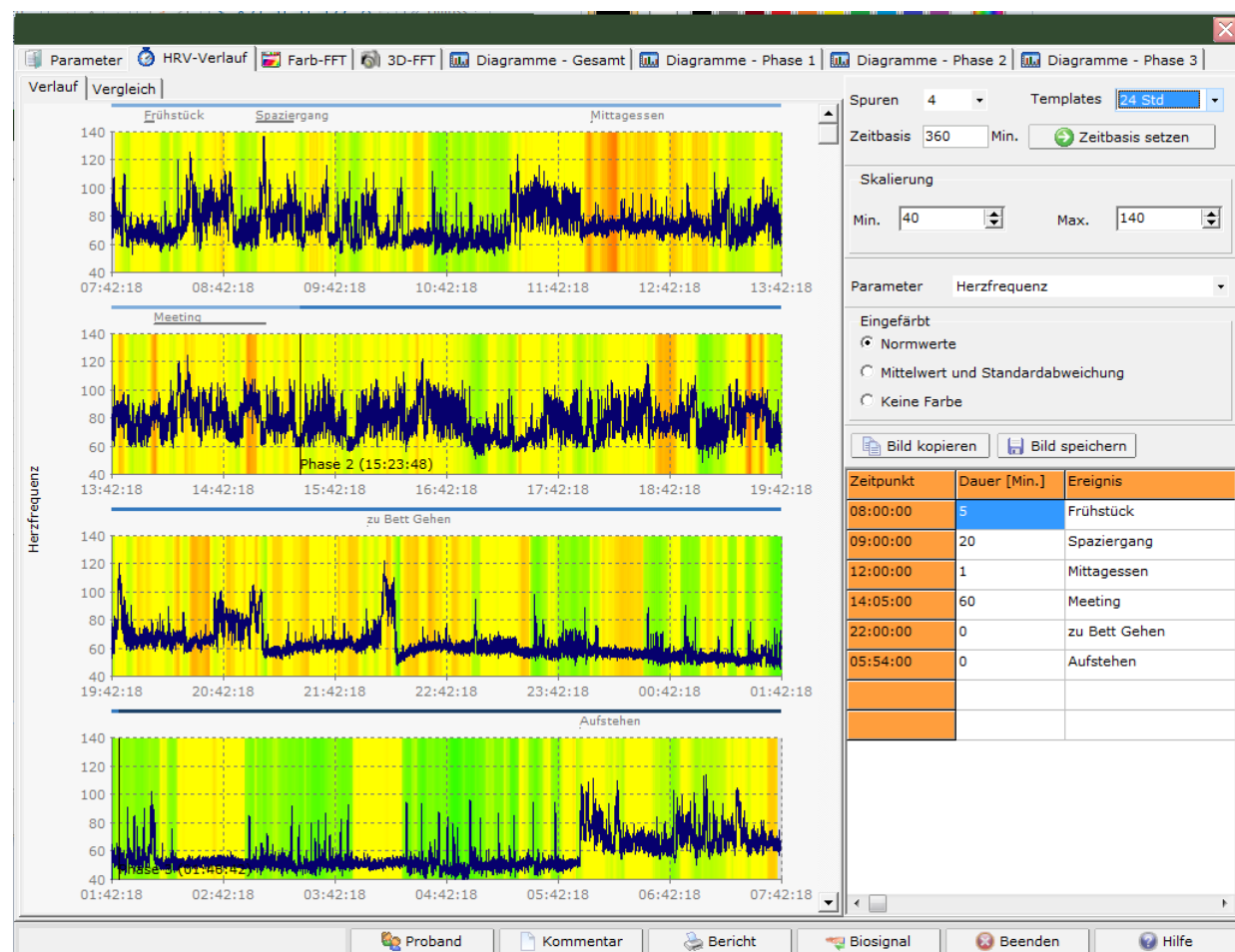


Abb.: Überblick Auswertefenster Schritt 2

Langzeitauswertung - Schritt 2 – HRV-Verlauf

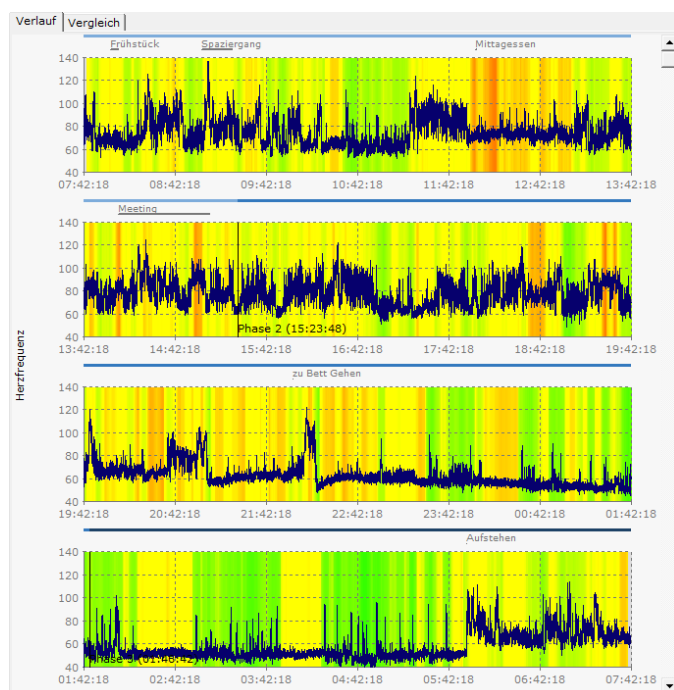


Abb.: HRV-Verlauf

Die dargestellten Farben im HRV-Verlauf resultieren aus den Prozenträngen der Alterskorrelation der Kurzzeit-HRV Messung. Dazu wird die Langzeit-Messung in viele Kurzzeit-HRV-Messungen (5 Minuten) unterteilt und für jeden Abschnitt werden die Prozentränge im Altersvergleich berechnet. Alternativ kann die unterlegte Farbe aus „Mittelwert und Standardabweichung“ berechnet werden. Eine Darstellung der Kurven ohne Farbungunterlegung ist ebenfalls möglich.

Für die Darstellung des HRV-Verlaufs können folgende Parameter ausgewählt werden:

Herzfrequenz, mittlere HF, St. Dev., SD1, SD2, Stressindex, ln(Stressindex), Power HF, Power LF, Power total, ln(Power HF), ln(Power LF), ln(Power total), LF/HF Ratio, Prozentrang (Kurzzeit-HRV), Rhythmisierungsgrad.

Im Vergleich wird die prozentuale Verteilung der aufgetretenen Abschnitte für den eingestellten Parameter im Vergleich Gesamt/Phase 1 – 3 oder im Tag/Nachtvergleich dargestellt.

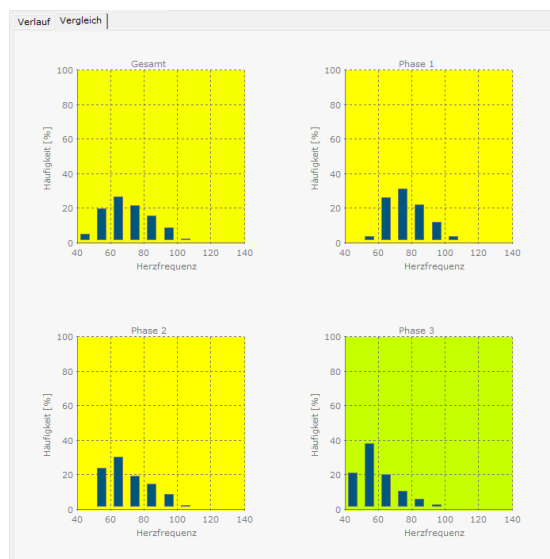


Abb.: Vergleich Gesamt/Phasen (1-3)

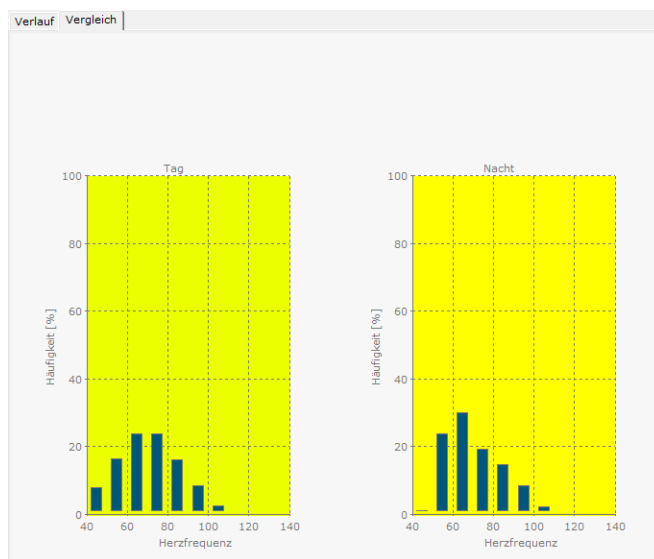


Abb.: Vergleich Tag/Nacht

Erweiterte 24h-Analyse

Einführung:

Mit der erweiterten 24h-Analyse stehen Ihnen einige neue Features zur Verfügung, die eine noch genauere Beurteilung der 24 Stunden HRV ermöglichen:

- Detaillierte Beurteilung der Messqualität im 24h-Verlauf.
- Analyse von Auffälligkeiten in der HRV (Prozentsatz HRV-Parameter jenseits der 1% bzw. der 99% Perzentile), getrennt für Tag und Nacht.
- Spiderweb-Diagramme mit Normwertperzentilen für zahlreiche Parameter, getrennt für Tag und Nacht.
- Beurteilung der nächtlichen Erholung (Day/Night-Shift der HRV).
- Spezifische Leistungsindizes für Sympathikus und Parasympathikus, getrennt für Tag und Nacht.
- „Functional HRV Age“: Berechnung eines funktionalen HRV-Alters als biologisches Alter des HRV-Regelsystems. Ein hohes Functional HRV Age kann ein erhöhtes kardiovaskuläres Risiko anzeigen.
- Schlaf: Scan auf obstruktive Schlafapnoe (OSA) mit Berechnung der Wahrscheinlichkeit das tatsächlich eine OSA vorliegt (Post-Test Probability).

Klicken Sie auf den "Erweiterte 24h-Analyse" , um die neuen Funktionen aufzurufen. Bitte beachten Sie, dass Sie dieses Auswertefenster unabhängig vom eigentlichen HRV-Scanner-Fenster auf dem Desktop verschieben können, so dass Sie die zusätzlichen Auswertungen parallel zu bisherigen Diagrammen betrachten können.

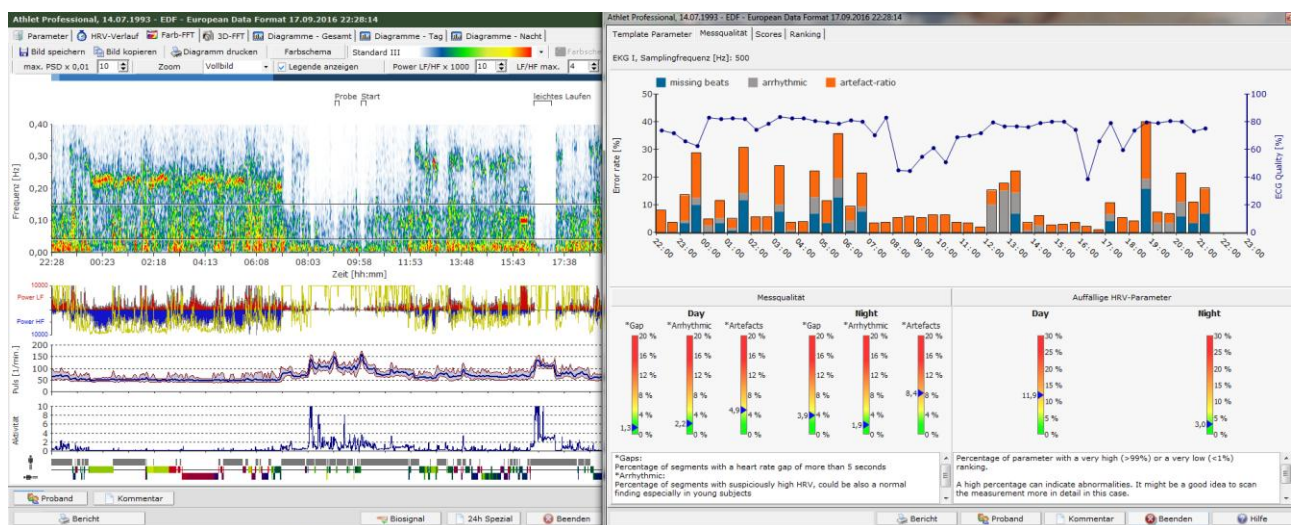


Bild: Versetzte Anordnung der 24h-Analysefenster möglich

Detaillierte Beurteilung der Messqualität

Grundlage jeder HRV Messung ist eine möglichst artefaktfreie Registrierung der EKG Kurve. Bewegungsartefakte, schlechter Elektrodenkontakt oder andere Störquellen wie zum Beispiel elektrische Störungen können zu einem qualitativ schlechten EKG führen. Dadurch wird die Erkennung der Herzschläge erschwert bzw. es können sich Fehler in der Berechnung der Herzfrequenzkurve ergeben.

Um die Validität einer HRV Messung zu beurteilen, sollte deshalb immer eine Betrachtung der Messqualität vorgenommen werden. Es gibt dazu im HRV-Scanner zwei neue Diagramme:

- Messqualität aufgeschlüsselt über die Zeit
- Messqualität aufsummiert jeweils für den Tag die Nacht.

Folgende Störquellen werden erfasst:

Lücken

Gibt den Prozentanteil an Segmenten an, die Lücken in der Herzfrequenzkurve von mehr als 5 Sekunden enthalten. Lücken treten auf, wenn beispielsweise eine ungünstige EKG-Ableitung gewählt wurde und die R-Zacken sehr klein sind und nicht zuverlässig von der QRS-Analyse erfasst werden. Lücken entstehen aber auch dann wenn beispielsweise ein stark verwackeltes EKG (Muskel- und Bewegungsartefakte) zu vielen falsch positiv erkannten R-Zacken führt, die dann im zweiten Schritt herausgefiltert werden.

Arrhythmik

Gibt den Prozentanteil an Segmenten mit auffällig hoher HRV an. Gewichtet werden insbesondere schnelle Änderungen der Herzfrequenz, wie sie typisch für Rhythmusstörungen oder Artefakte sind. Hohe Arrhythmiewerte sind allerdings nicht beweisend für eine mögliche Rhythmusstörung, da insbesondere Kinder und sportliche junge Erwachsene mitunter eine sehr hohe HRV aufweisen, die aber physiologisch ist. Unserer Erfahrung nach treten falsch hohe Arrhythmiewerte bei Probanden mit Sinusrhythmus älter als 30 Jahre nicht mehr auf. Im Zweifel empfiehlt es sich, das EKG und die Herzfrequenzkurve einer näheren Betrachtung zu unterziehen. Oft sind auch die Artefakte noch nicht ausreichend eliminiert, bzw. die Herzfrequenzkurve wurde noch nicht gefiltert.

Artefakt-Ratio

Die Artefakt-Ratio gibt den Prozentwert an, wie viele Herzschläge durch Filterung entfernt wurden. Je höher die Ratio, desto mehr Herzschläge wurden zwar erkannt, aber vom User als nicht dem Sinusrhythmus zuzuordnen eingeordnet und durch Filterung entfernt. Die Ursache lässt sich in der Regel dem EKG entnehmen. In den meisten Fällen handelt es sich um falsch erkannte R-Zacken aufgrund von Bewegungs- und Muskelartefakten.

Hinweis: Wenn die Herzfrequenzkurve noch nicht gefiltert wurde, ist das Artefakt-Ratio per Definition 0%. Dies ist aber nicht zu verwechseln mit einer artefaktfreien Herzfrequenzkurve!

EKG-Qualität

Falsch- oder nicht erkannte Herzschläge haben ihre Ursache meist in Signalstörungen des EKGs. Aus diesem Grund analysiert der HRV-Scanner das EKG auf typische Störungen wie z.B. Netzbrummen oder Bewegungsartefakte und errechnet eine EKG-Qualität zwischen 0-100% für halbstündige Zeitabschnitte. Gut verwertbare EKGs haben in der Regel einen EKG-Qualität von >80%. Stark absinkende EKG-Qualitäten sind ein Zeichen für Signalstörungen, z.B. während des Sports oder in Folge eines schlechten Elektrodenkontakts. Je geringer die EKG-Qualität und je höher die Störeinflüsse in einem bestimmten Zeitabschnitt, desto zurückhaltender sollte die HRV dieses Zeitabschnitts interpretiert werden.

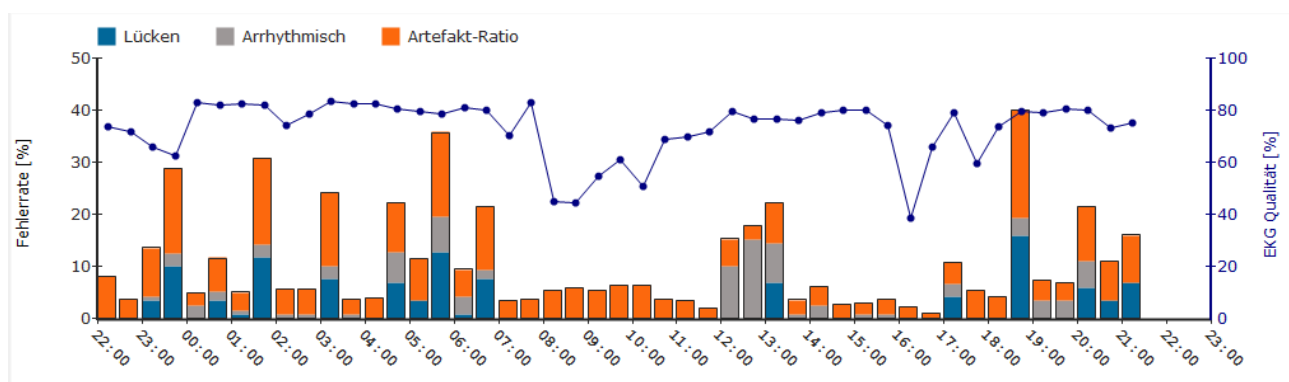


Bild: Anzeige der Messqualität im 24h-Verlauf. Die einzelnen Fehlerquellen (Lücken, Arrhythmie, Artefakt-Ratio) sind als Fehlerbalken für jede halbe Stunde dargestellt, die EKG-Qualität als blaue Kurve mit einer EKG-Qualität für jede halbe Stunde.

Hinweis: Wenn die 24h-Analyse aus einer Herzfrequenzliste (auch RR- oder IBI-Liste genannt) generiert wurde, gibt es aufgrund des fehlenden EKGs auch keine Anzeige der EKG-Qualität.

Die durchschnittliche Fehlerraten werden für Tag und Nacht getrennt ausgewiesen. Generell gilt, je geringer die Fehlerraten, desto plausibler ist die HRV-Analyse.

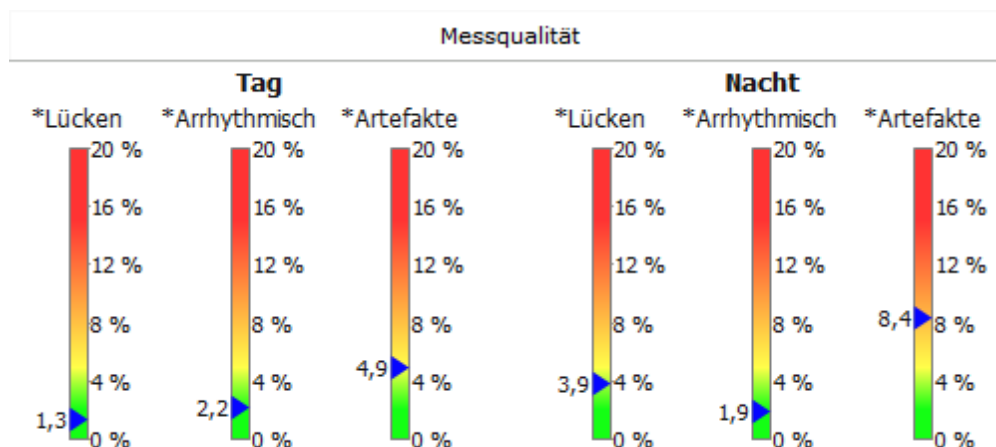


Bild: Durchschnittliche Messqualität getrennt für Tag und Nacht.

In der EKG-Studie an gesunden Probanden, aus der die Normwerte für 24h HRV abgeleitet wurden, betrugen die Fehlerraten im Mittel: Lücken: 0,1%; Arrhythmisch: 1,8%; Artefakte:1,1%. (Der Arrhythmiewert von im Mittel 1,8% in der Studie beruht nicht auf Rhythmusstörungen oder Artefakten, sondern ist die Folge der zahlreichen jungen Studienteilnehmer und ihrer alterstypisch hohen HRV. Der Arrhythmiewert der Studienteilnehmer älter als 30 Jahre betrug 0,2%)

Hinweis:

Die EKG-Qualität wird in den Herzfrequenzdiagrammen als dünne farbige Linie nach dem Ampelprinzip dargestellt. Dadurch erhält man bereits bei der Inspektion der Herzfrequenzkurve Hinweise auf mögliche Störungen im EKG-Signal. Da die Berechnung der EKG-Qualität sehr rechenaufwändig ist und je nach Leistungsfähigkeit des PCs zwischen 5-20 Sekunden dauert, wurde die Berechnung in den Hintergrund verlegt. Sobald die Berechnung abgeschlossen ist, wird die EKG-Qualität angezeigt. Sie können aber mit dem HRV-Scanner nach Belieben weiterarbeiten, während die Berechnung im Hintergrund läuft.

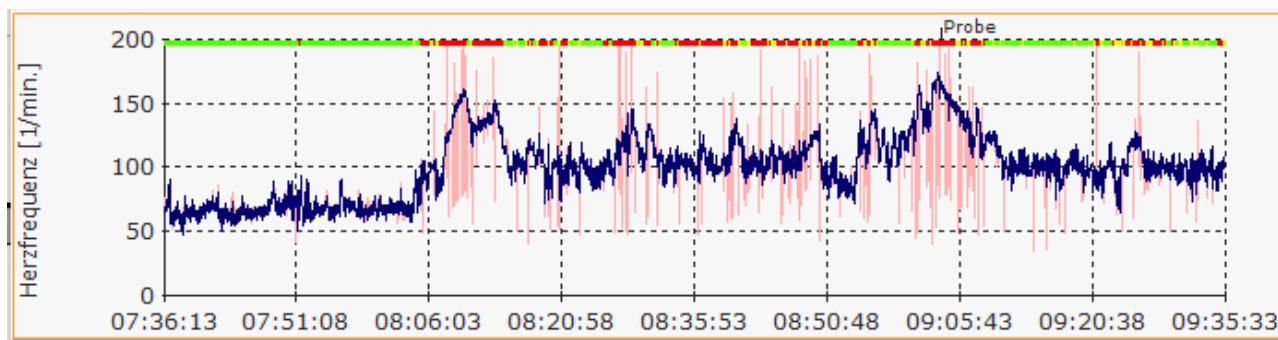


Bild: Anzeige der EKG-Qualität nach dem Ampelprinzip als dünne farbige Linie am oberen Rand der Herzfrequenzdiagramme. Im obigen Beispiel sind die Störungen im EKG durch Bewegungsartefakte bei sportlicher Aktivität verursacht.

Auffälligkeiten in der HRV

Ein guter Startpunkt für die HRV-Analyse ist eine Overall-Betrachtung, ob es sich um eine „normale“-HRV-Messung handelt. „Normal“ in diesem Kontext bedeutet, dass die meisten HRV-Parameter sich im Normbereich befinden. Zu diesem Zweck vergleicht der HRV-Scanner von 67 verschiedenen HRV-Parametern das jeweilige Ergebnis mit der entsprechenden alterskorrigierten Normwerttabelle und berechnet daraus den jeweiligen Rangwert (Ranking, Perzentile). Ergebnisse jenseits der 1% und 99%-Perzentile werden als „auffällig“ gewertet. Ein hoher Prozentsatz der „auffälligen“ Parameter kann ein Hinweis auf eine mögliche Störung in der vegetativen Regulation oder ein Problem mit der Messqualität sein.

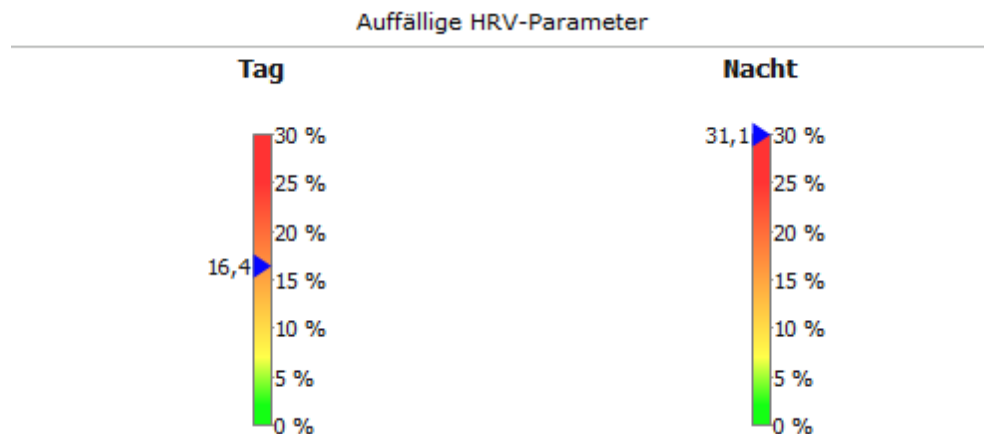
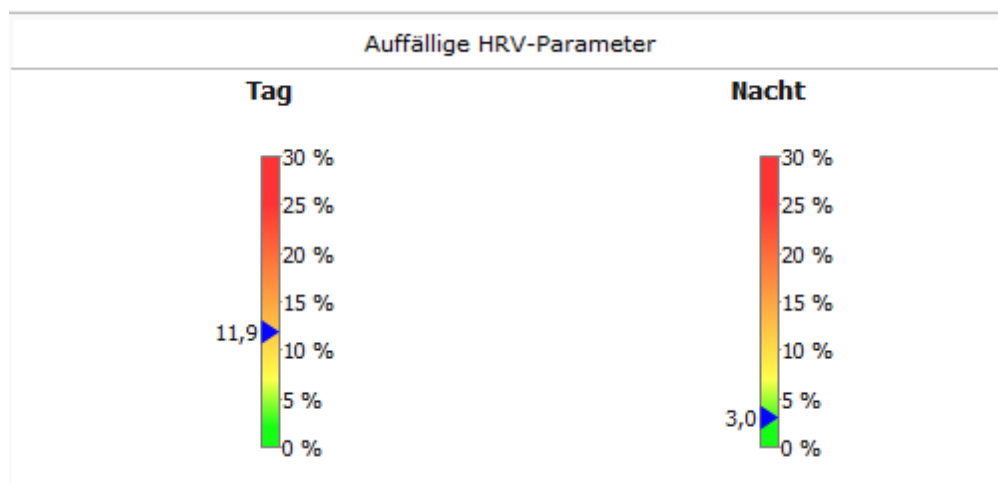


Bild: 70-jähriger Patient mit vagaler Dysfunktion und ausgeprägter Schlafapnoe.



Beispiel: 23-jähriger Leistungssportler mit intensiven Trainingsphasen tagsüber und erholsamen Nachtschlaf.

Spiderweb-Diagramme mit Normwertperzentilen

Ähnlich zu den bestehenden Rangdiagrammen der Kurzzeit-HRV-Analyse gibt es jetzt auch für die 24h-Analyse sogenannte Spiderweb-Diagramme, die eine Beurteilung der HRV ermöglichen, siehe Abbildung. Der Unterschied zu den Rangdiagrammen liegt in der Skalierung. Die Rangdiagramme der Kurzzeit-Messungen bilden die alterskorrigierten Perzentile (Rangwert) auf einer Skala von 0%-100% ab. Ein Rückschluss auf den zugrundeliegenden absoluten HRV-Wert ist damit nicht möglich. Anders in der 24h-Analyse: Die Spiderweb-Diagramme in der 24h-Analyse zeigen den absoluten HRV-Wert. Dadurch lassen sich Veränderungen von Tag zu Nacht besser erfassen. Zur Orientierung ob es sich um eine hohe, mittlere oder niedrige HRV-Wert im Vergleich mit der Altersgruppe handelt sind die 95%, 50% und 5%-Perzentilen der jeweiligen Altersgruppe eingezeichnet.

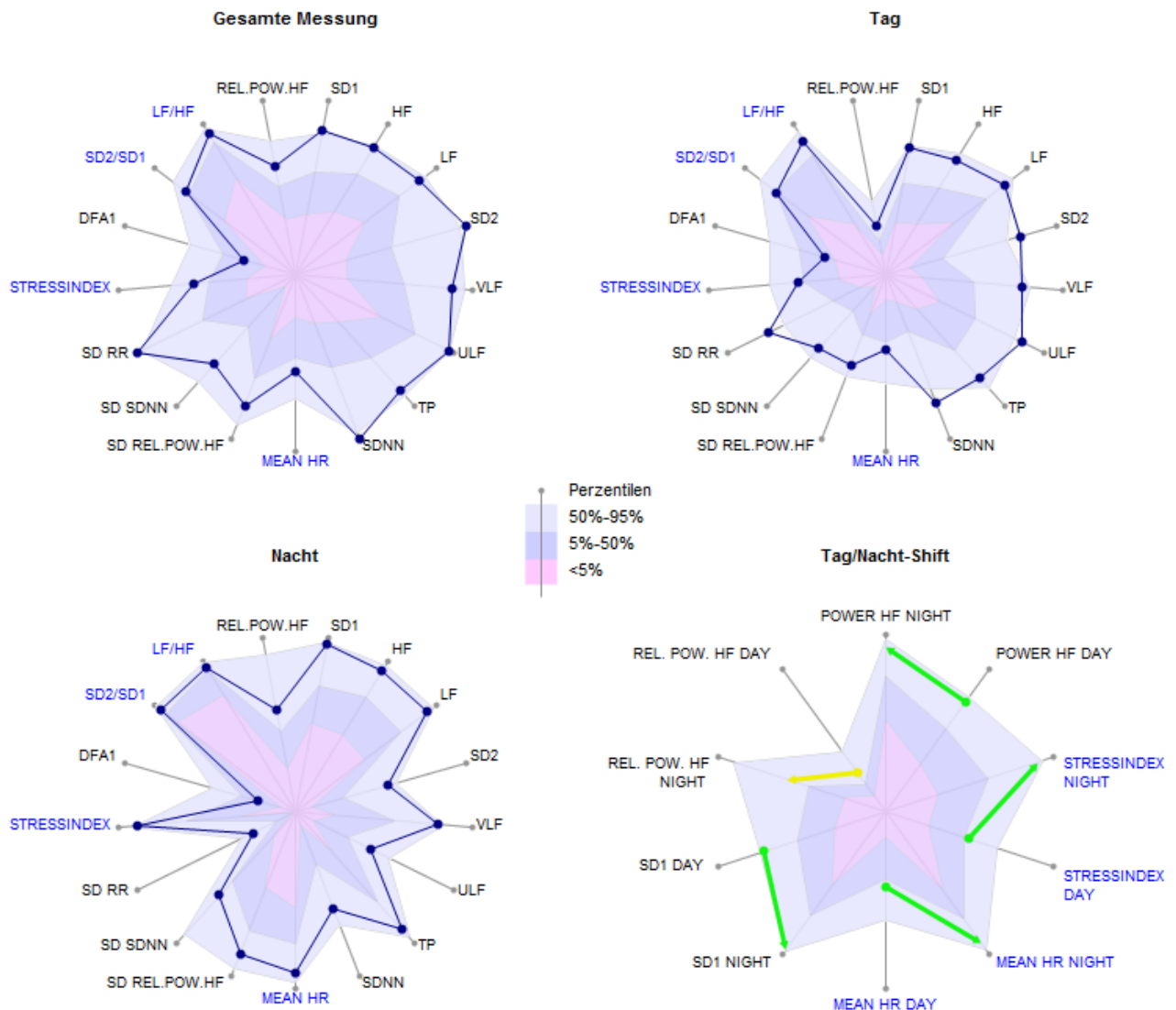


Bild Spiderwebs: 23-jähriger Leistungssportler. In jedes Spiderweb-Diagramm ist die 5%, 50% und 95% Perzentile eingezeichnet.

Skalierung

Die Spiderweb-Diagramme sind unabhängig vom Probanden, Probandenalter und Messperiode (Tag, Nacht, Gesamt) immer gleich skaliert. Auf die Beschriftung der absoluten Skalen wurde aus Gründen der besseren Lesbarkeit verzichtet. Durch die identische Skalierung sind die Diagramme untereinander und zwischen unterschiedlichen Probanden vergleichbar:

Beispielsweise sieht man am obigen Diagramm anhand der Perzentilen, dass die „Rel. Pow. HF“, (relative Power HF-Band) für die meisten Menschen offensichtlich tagsüber deutlich geringer ausfällt als während der Nacht. Dies entspricht unserem intuitiven Erwartungswert, weil Aktivitäten am Tage eine gewisses Maß an Sympathikusaktivität erfordern, was zu einer Verringerung der rel. Power HF führt.

In den Spiderwebs sind häufig verwendete HRV-Parameter dargestellt, die in der Regel bei keiner HRV-Analyse fehlen sollten. „Blaue“ Parameterbezeichnungen wie z.B. beim „Stressindex“ oder „Mean HR“ zeigen Parameter an, bei denen niedrige absolute Werte medizinisch günstiger sind, als große absolute Werte. Die Skala ist bei diesen „blauen“ Parametern vertauscht: Der höchste Wert der Skala liegt im Inneren des Diagramms, der kleinste außen.

Neu im HRV-Scanner sind die Parameter „SD RR“, „SD SDNN“ und „SD Rel. Pow. HF“. Es handelt sich dabei um die Standardabweichung (SD) der jeweiligen Parameter. Es sind deshalb Streuungsmaße der HRV und geben Auskunft, wie stark sich die einzelnen Parameter im jeweiligen Zeitabschnitt (Tag/Nacht/Gesamt) ändern. Sie sind damit ein Maß für den Wechsel in der Beanspruchung. Je stärker die Unterschiede zwischen Belastung und Entlastung und je häufiger der Belastungswechsel, desto höher die Standardabweichungen der HRV.

„SD RR“, auch SDANN genannt: Standardabweichung des Mittelwertes der RR-Intervalle in allen fünf-Minuten-Abschnitten der gesamten Aufzeichnung.

„SD SDNN“ Standardabweichung der SDNN aller fünf-Minuten-Abschnitte der 24-Stunden-Aufzeichnung

„SD Rel. Pow. HF“: Standardabweichung der relativen Power HF-Band aller fünf-Minuten-Abschnitte der 24-Stunden-Aufzeichnung.

Hinweis: Der HRV-Scanner berechnet die SD-X-Werte in „Moving Windows“ mit einer Fensterbreite von 5 Minuten und einer Schrittweite von einer Minute.

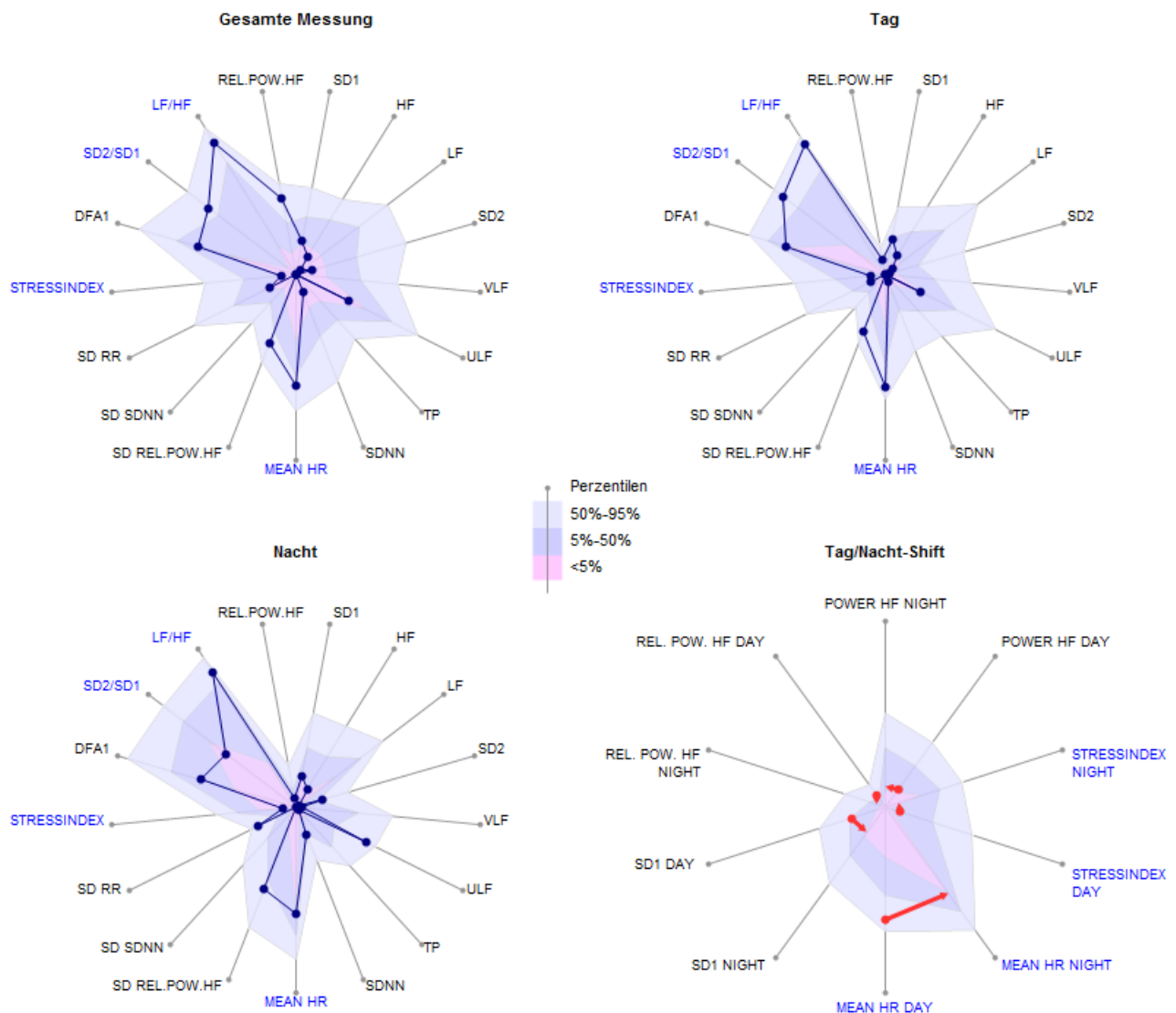


Abbildung: 74-jähriger KHK-Patient mit schlechter nächtlicher Erholung

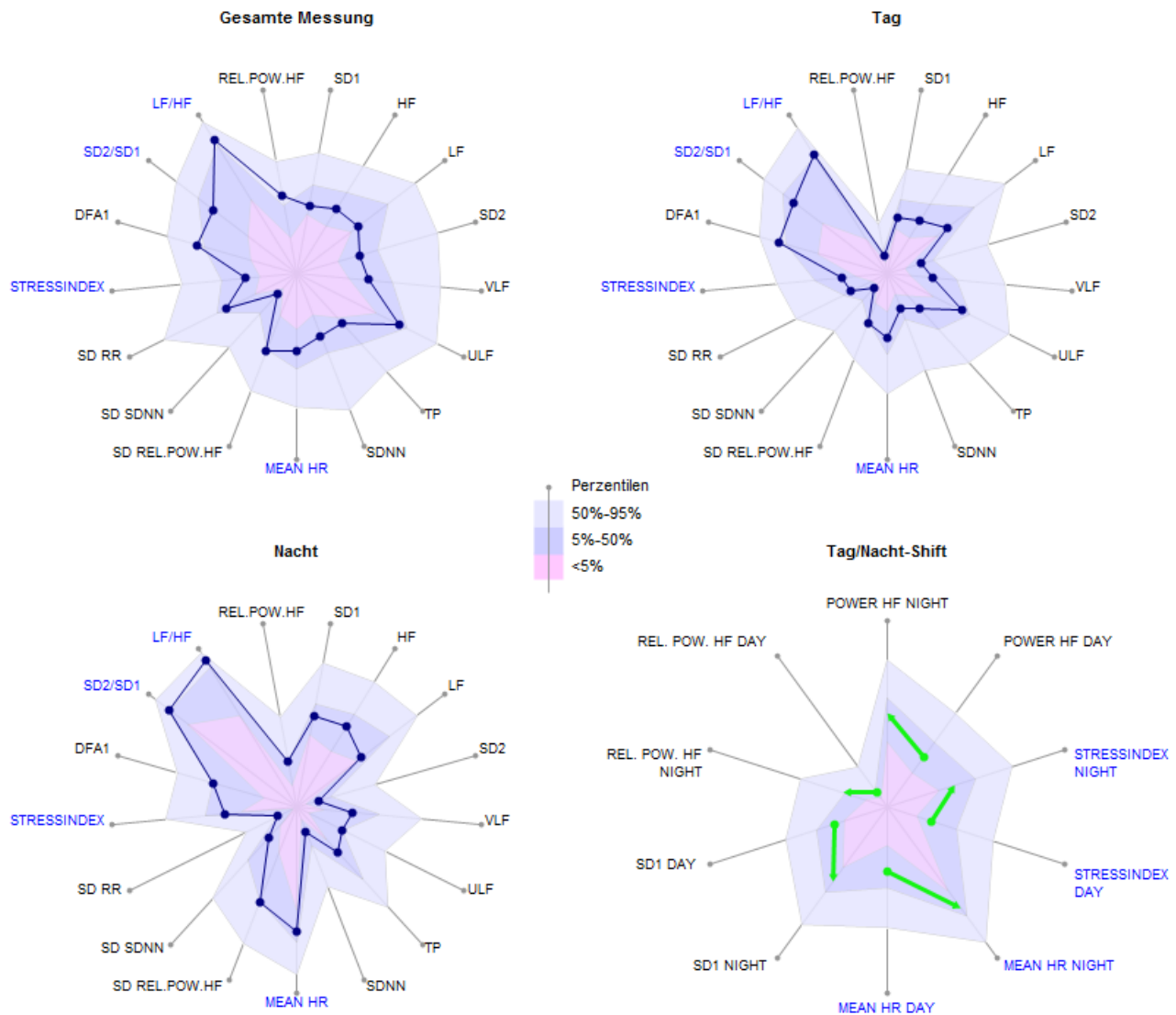


Abbildung: 43-jähriger mit durchschnittlicher neurovegetativer Regulation, Normbefund.

Beurteilung der nächtlichen Erholung

Das Spiderweb-Diagramm „Tag/Nacht-Shift“ zeigt für einige ausgewählte Parameter den durchschnittlichen Tageswert und unmittelbar daneben (gegen den Uhrzeigersinn) den zugehörigen Nachtwert an. Die entsprechenden Perzentilen sind ebenfalls eingezeichnet. Ein nach dem Ampelprinzip eingefärbter Pfeil zeigt die Veränderung von Tag und Nacht. Verschlechtert sich der absolute HRV-Wert, wird ein roter Pfeil angezeigt. Verbessert sich der absolute HRV-Wert und die Perzentile, so wird ein grüner Pfeil angezeigt. Verbessert sich der absolute HRV-Wert zwar, aber das Ranking des Nachtwerts fällt um mehr als 5 % ab, ist der Pfeil gelb (nicht optimale Regeneration). Die durchschnittliche relative Verbesserung der HRV-Parameter wird auch als Zahlenwert berechnet und steht im Diagramm „Schlaf“ als Recovery-Index zur Verfügung:

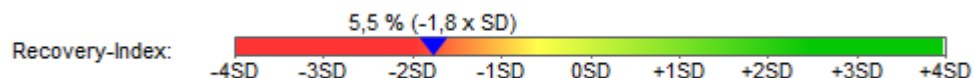


Bild: Recovery-Index eines Patienten mit einer Schlafstörung.

Der Recovery-Index drückt die durchschnittliche prozentuale Verbesserung wichtiger HRV-Parameter während der Nacht im Vergleich mit dem Tag aus. Der Zahlenwert in Klammern gibt an wie sich der errechnete Recovery-Index im Vergleich mit einer Normstichprobe einordnet. Im Durchschnitt erzielten die Probanden der Normwertstudie eine Recovery-Index von 31% mit einer Standardabweichung von 14%. Im obigen Beispiel liegt der Recovery-Index fast zwei Standardabweichungen unter dem Mittelwert, es handelt sich deshalb um eine deutlich unterdurchschnittliche Erholung.

Hinweis: Der Recovery-Index quantifiziert den Unterschied der HRV von Tag zu Nacht. Gibt es tagsüber kaum Beanspruchungen, z.B. durch Bettruhe bzw. lange Liegezeiten, kann der Recovery-Index niedrig sein, obwohl der Parasympathikotonus in der Nacht hoch ist. Zur Interpretation der Recovery empfiehlt es sich deshalb die Beanspruchung am Tag und Parasympathikus- und Sympathikusaktivität anhand der folgenden Leistungsindizes mit zu betrachten.

Spezifische Leistungsindizes für Sympathikus und Parasympathikus

Zur Beurteilung der vegetativen Balance berechnet der HRV-Scanner Leistungsindizes getrennt für Tag und Nacht.

- PNS-Index, (Parasympathikus-Index): Basiert auf Parametern, deren absoluter Wert mit zunehmender parasympathischer Aktivität anwächst: mittlerer RR-Abstand, PNN50, Power HF, Rel. Power HF, SD1
- SNS-Index, (Sympathikus-Index): Basiert auf Parametern, deren absoluter Wert mit zunehmender sympathischer Aktivität ansteigt : Mittlere Herzfrequenz, SD2/SD1-Ratio, Stressindex.

Zur Berechnung des jeweiligen Index wird für jeden Parameter ein alters- und varianzkorrigierter Z-Wert bestimmt und mittels Z-Transformation in eine Standardnormalverteilung überführt. Der resultierende Index ergibt sich als Durchschnitt der Z-transformierten Werte der Einzelparameter.

Ein PNS-Index von $+1 \times \text{SD}$ bedeutet dementsprechend, dass die zugrundeliegenden parasympathischen Parameter im Mittel eine Standardabweichung über dem Durchschnitt einer Normwertgruppe gleichen Alters liegen.

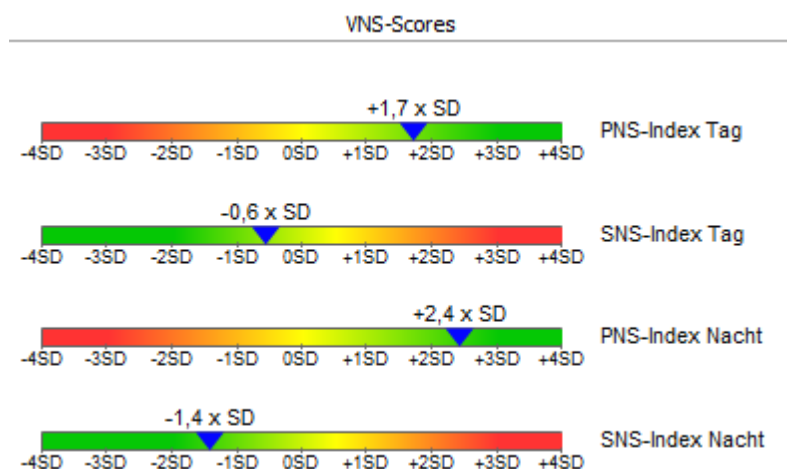


Abbildung VNS-Scores Leistungssportler

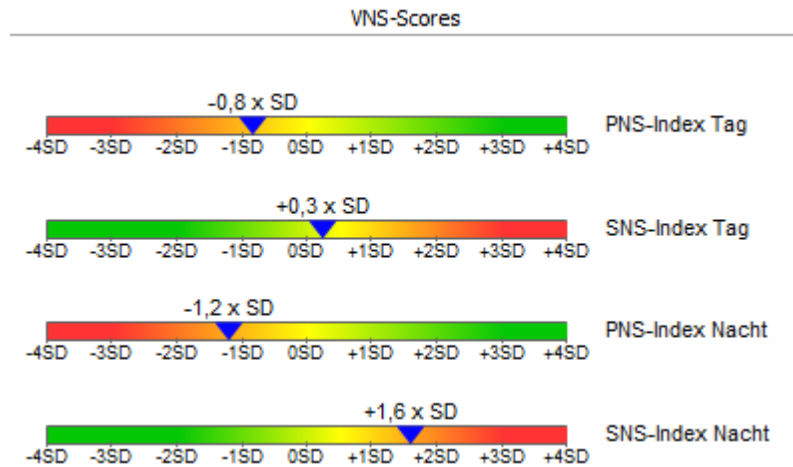


Abbildung VNS-Scores eines KHK-Patienten

„Functional HRV Age“ und „Premature Aging (PMA)“

Das Lebensalter ist einer der wichtigsten Risikofaktoren für kardiovaskuläre Erkrankungen. Je älter wir werden, desto wahrscheinlicher treten kardiovaskuläre Ereignisse wie ein Herzinfarkt auf. Aus diesem Grund wird das Lebensalter in der Regel als wichtige Einflussgröße in die Berechnung von Risikoscores mit einbezogen, siehe beispielsweise beim Procarn-Score. Auch eine verringerte HRV kann ein erhöhtes kardiovaskuläres Risiko anzeigen.

Interessant ist die gemeinsame Betrachtung von HRV und Lebensalter: Mit zunehmendem Lebensalter nimmt die neurovegetative Regulationsfähigkeit und damit die HRV ab, siehe Abbildung:

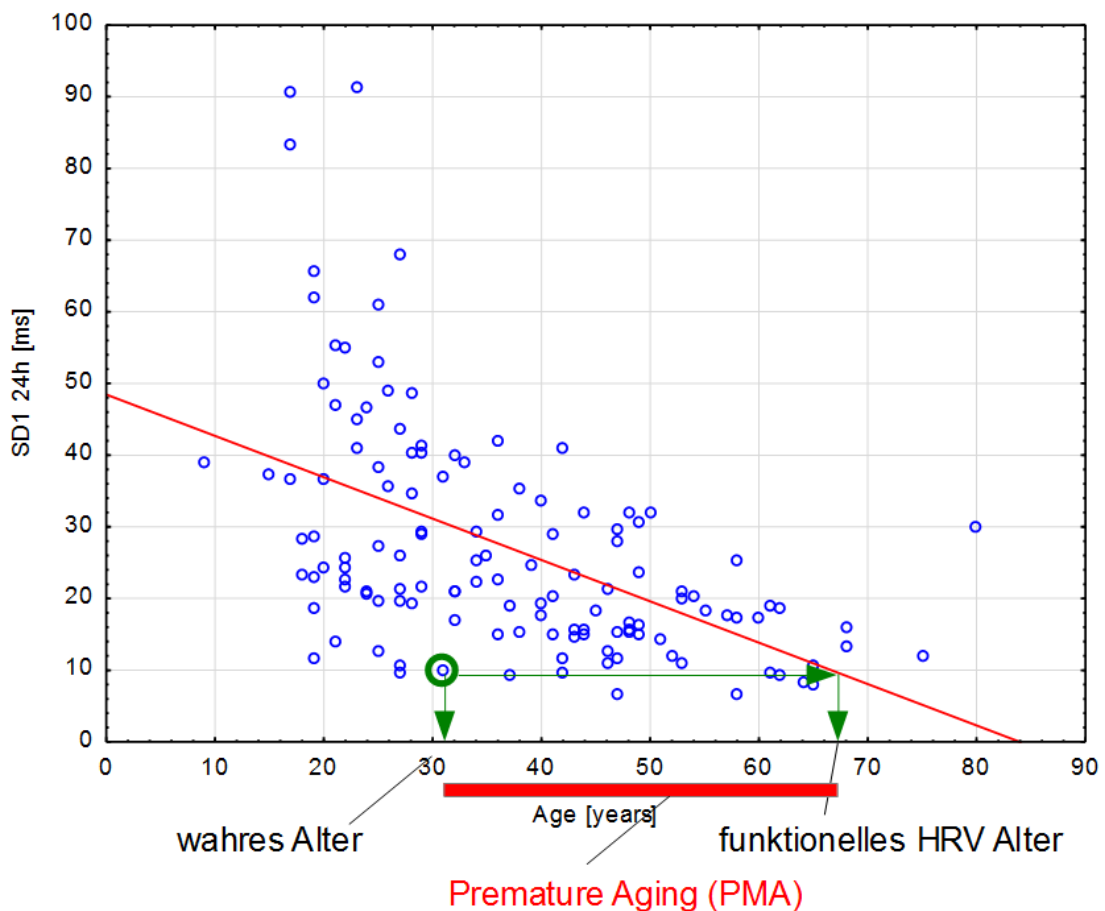


Abbildung: Abnahme der HRV am Beispiel des SD1 mit zunehmenden Alter in einem Normkollektiv gesunder Probanden.

Für viele HRV-Parameter ist das Alter der Probanden sogar der wichtigste Faktor für die Unterschiede in der HRV zwischen verschiedenen Probanden (interindividuelle Varianz). Niedrige HRV-Werte unterhalb der Regressionsgerade lassen sich in diesem Kontext als eine vorzeitige Alterung (Premature Aging, PMA) des neurovegetativen Regelsystems interpretieren. Das Ausmaß der vorzeitigen Alterung lässt sich durch das funktionelle HRV-Alter quantifizieren (Alterswert, der sich aus dem Schnittpunkt des HRV-Werts mit der 50%-Perzentile der Normwertpopulation ergibt.) Die Differenz des funktionellen HRV-Alters zum tatsächlichen Lebensalter ist der PMA-Wert und gibt an, um wie viel Jahre das neurovegetative Regelsystem älter ist als das tatsächliche Lebensalter. Negative PMA-Werte drücken aus, dass das neurovegetative Regelsystem jünger ist, als es dem Lebensalter entspricht.

Das funktionelle HRV-Alter und der PMA-Wert werden im HRV-Scanner für 52 HRV-Parameter berechnet, die gemeinsam haben, dass sie hoch mit dem Alter korrelieren ($r > 0.5$). Das resultierende funktionelle HRV-Alter ist der Medianwert der 52 Einzelwerte.

Hinweis: In der bisherigen Kurzzeit-HRV-Analyse wird das funktionelle HRV-Alters ebenfalls berechnet und als „biol. HRV-Alter“ ausgegeben. Der entscheidende Unterschied in der Berechnung ist die Berücksichtigung der Herzfrequenz bei der Bestimmung des funktionellen HRV-Alters in der neuen 24h-Analyse. Es hat sich in unseren Untersuchungen klar gezeigt, dass die HRV nicht nur vom Alter, sondern auch stark von der Herzfrequenz abhängt. Alter und Herzfrequenz wiederum sind nur schwach korreliert, also weitgehend unabhängig voneinander. (Im Alter nimmt die Herzfrequenz in der Regel leicht ab). Berücksichtigt man die Herzfrequenz nicht, wird die HRV bei niedriger Herzfrequenz überschätzt und bei hoher Herzfrequenz unterschätzt. Aus diesem Grund empfehlen wir, das modernere Konzept des funktionellen HRV-Alters in der 24h-Analyse zu verwenden und weniger das biol. HRV-Alter der Kurzzeit-Analyse. Bei letzterem sollte zudem immer die Herzfrequenz in der Interpretation mitberücksichtigt werden.

Die erforderliche Herzfrequenzkorrektur zur Bestimmung des funktionellen HRV-Alters stößt allerdings bei stark abweichenden Herzfrequenzen an seine Grenzen. In einem solchen Fall sollte das funktionelle HRV-Alter mit Zurückhaltung interpretiert werden. Der HRV-Scanner gibt dazu aber eine Warnmeldung aus, wenn er sehr hohe oder sehr niedrige Herzfrequenzen detektiert.

Zur Interpretation des funktionellen HRV-Alters liefert das entsprechende PMA-Diagramm wertvolle Informationen.

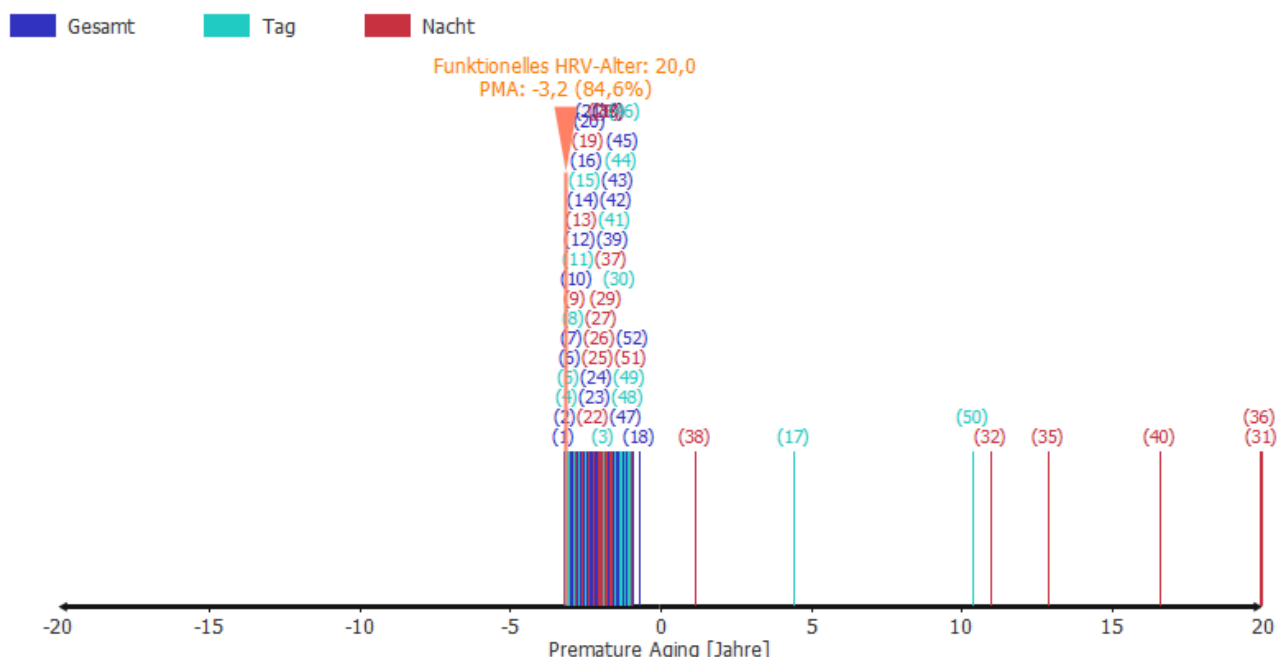


Abbildung PMA-Diagramm eines 23-jährigen Leistungssportlers. Die Zahlenwerte in Klammern über den Markierungen geben die Nummer des jeweiligen Parameters an. Der Prozentwert neben dem PMA-Wert in Klammern gibt den Prozentsatz von Parametern an, die den aktuellen PMA-Wert stützen.

Jede vertikale Markierung entspricht dem PMA-Wert eines einzelnen HRV-Parameters. Die Farbe kennzeichnet, ob es sich um einen Parameter der gesamten Messung, nur der Tageswerte oder nur der Nachtwerte handelt. Man erkennt in dem Beispiel auf den ersten Blick, dass fast alle Parameter einen negativen PMA-Wert haben, das resultierende funktionelle HRV-Alter also geringer ist, als es dem tatsächlichen Lebensalter entspricht. Es handelt sich also um ein überdurchschnittlich leistungsfähiges neurovegetatives Regelsystem.

Hinweis:

Das funktionelle HRV-Alter ist auf einen Bereich zwischen 20 - 85 Jahren beschränkt. Ergibt sich intern rechnerisch beispielsweise ein HRV-Alter von 10 Jahren, wird der Wert auf 20 Jahre korrigiert und ausgegeben. Aus diesem Grund gibt es keine PMA-Werte im obigen Beispiel eines 23-jährigen kleiner als -3 Jahre.

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit des Diagramms werden Markierungslinien mit gleichem PMA-Wert nicht übereinander sondern jeweils neben die vorhergehende Linie gezeichnet. Dadurch entsteht der Eindruck eines breiten Balkens und es wird intuitiv sichtbar, in welchem Bereich die meisten PMA-Werte liegen.

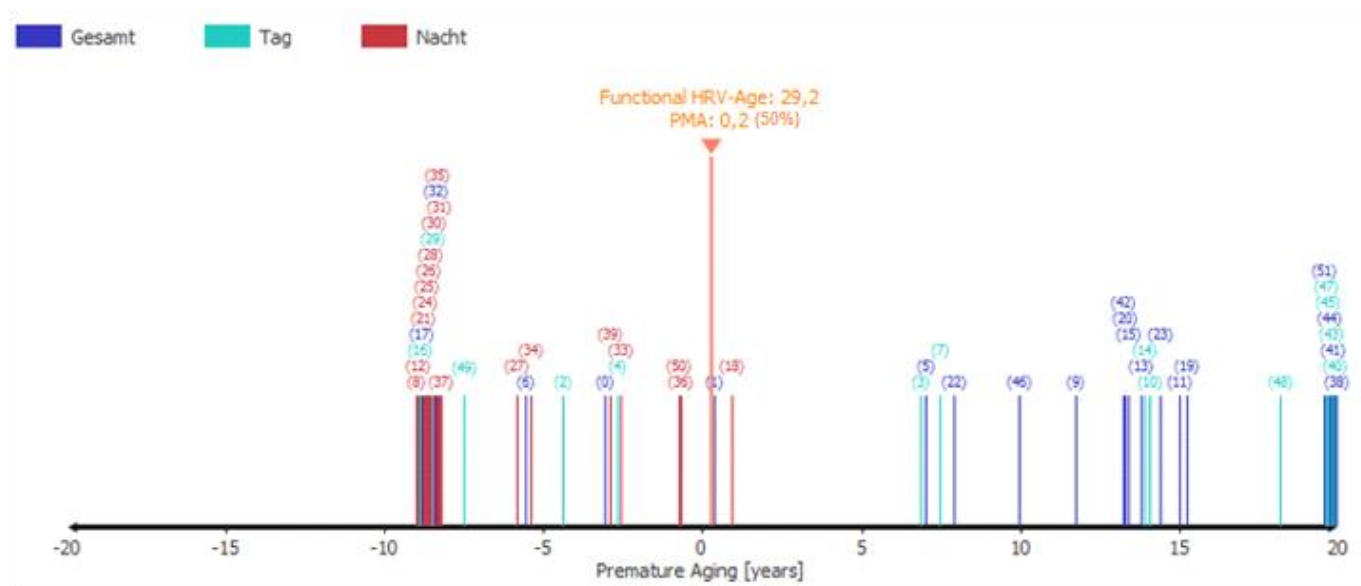


Abbildung: PMA-Diagramm eines 29-jährigen Probanden. Die Tag-Werte zeigen ein deutlich höheres premature Aging an, als die Nachtwerte. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die neurovegetative Regulation tagsüber eingeschränkt ist. Mögliche Ursachen sind beispielsweise zu hohe Belastungen tagsüber.

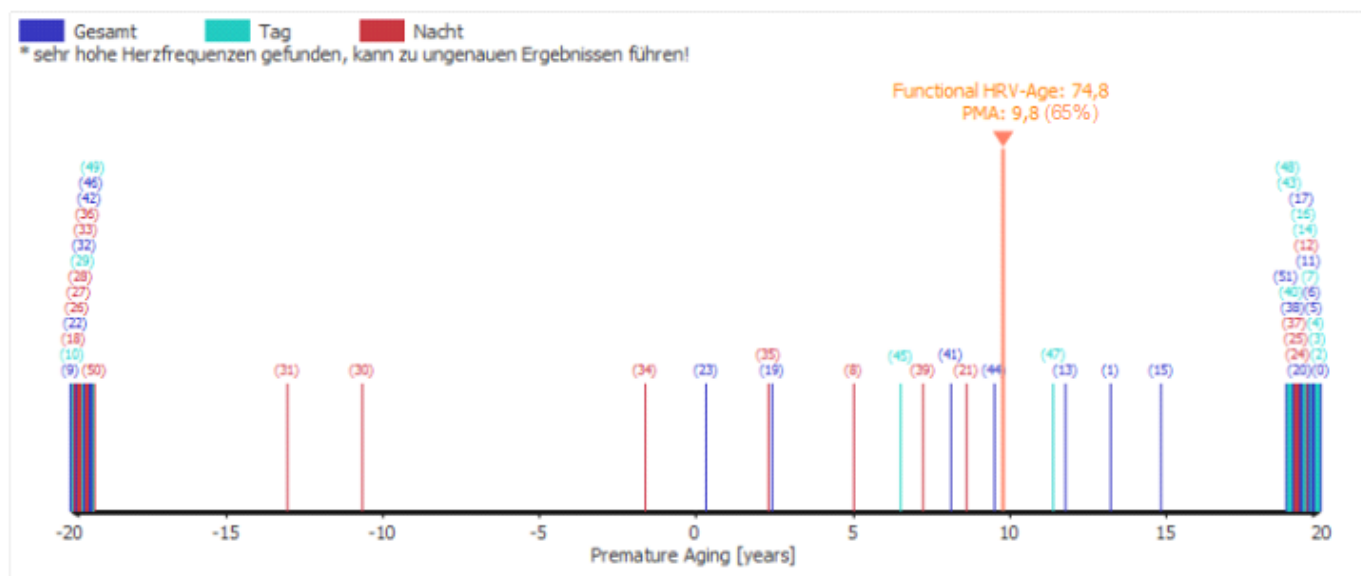


Abbildung: PMA-Diagramm eines 65-jährigen Probanden. Die Einzel-PMA-Werte zerfallen in zwei gegensätzliche Cluster. Gleichzeitig wird eine Herzfrequenzwarnung ausgegeben. Der Anteil der auffälligen Parameter ist für Tag und Nacht bei jeweils ca. 40% und damit ausgesprochen hoch. So eine HRV-Messung ist nur unter Vorbehalt valide. Der PMA-Wert und das funktionelle HRV-Alter sollten nicht verwendet werden.

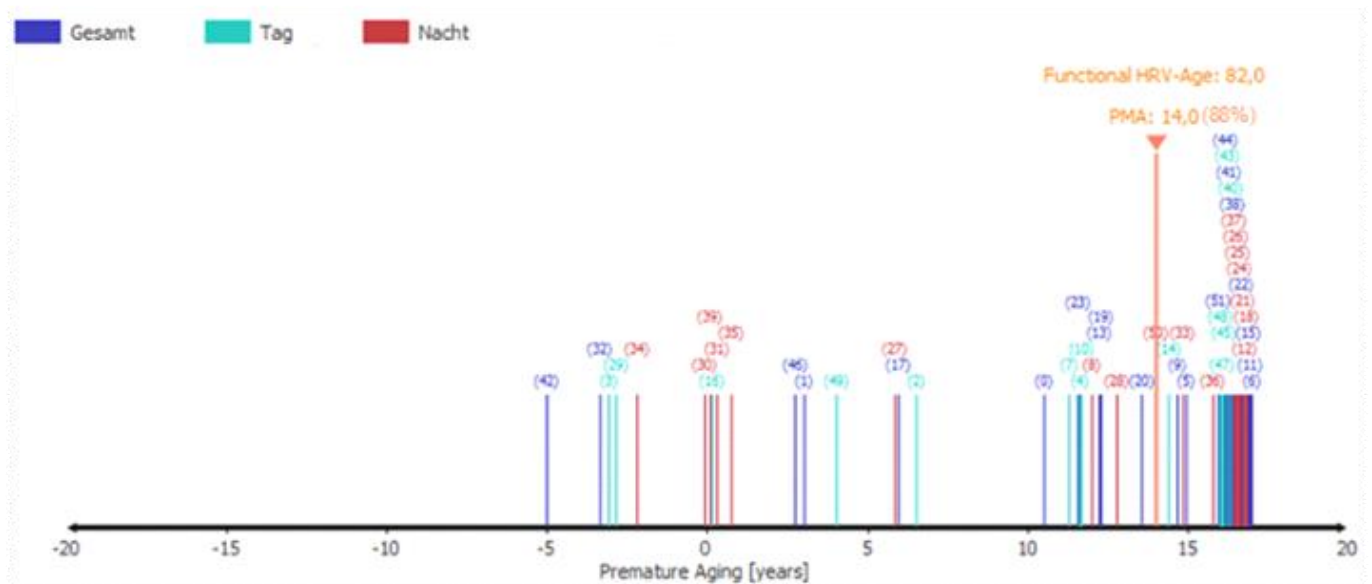


Abbildung: PMA-Diagramm eines 68-jährigen KHK-Patienten. Fast alle Parameter haben einen positiven PMA-Wert. Das funktionelle HRV-Alter ist 14 Jahre über dem tatsächlichen Lebensalter.

Funktionelles HRV-Alter als Risikoparameter

Wir haben untersucht, ob sich anhand des funktionellen HRV-Alters kardiovaskulär Erkrankte von Gesunden unterscheiden lassen. Zu diesem Zweck wurden die Daten einer gesunden Kontrollgruppe (n=140) mit denen einer Patientengruppe mit angiografisch nachgewiesener KHK verglichen (n=191). Für alle berechneten HRV-Parameter inkl. „funktionelles HRV-Alter“ wurde die Effektstärke (Cohen's d) des Gruppenunterschieds berechnet. Je größer der Unterschied zwischen zwei Gruppen bezogen auf einen bestimmten Parameter, desto größer seine Effektstärke. Zur Beurteilung, ob eine Effektstärke groß oder klein ist, siehe Tabelle:

Effect size	d	Reference
Very small	0.01	Sawilowsky, 2009
Small	0.20	Cohen, 1988
Medium	0.50	Cohen, 1988
Large	0.80	Cohen, 1988
Very large	1.20	Sawilowsky, 2009
Huge	2.0	Sawilowsky, 2009

(https://en.wikipedia.org/wiki/Effect_size#Cohen's_d)

Von allen 311 untersuchten HRV-Parametern war das „funktionelle HRV-Alter“ mit einer Effektstärke von 1,896 der Parameter mit der größten Effektstärke und damit der besten Unterscheidungsfähigkeit zwischen KHK-Patienten und Gesunden. Übliche HRV-Parameter wie SDNN (d: 0,872), SD1 (d: 0,654) oder Power HF (d: 0,881) wiesen deutlich geringere Effektstärken auf.

Der Spitzenplatz der Effektstärke für das „funktionelle HRV-Alter“ blieb auch bestehen, wenn man die KHK-Patienten in die Gruppe Ohne Betablocker (d: 1,571) und mit Betablocker (d: 1,972) getrennt untersucht.

Fazit: Alter ist ein Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen, ebenso wie eine eingeschränkte neurovegetative Regulation. Das „funktionelle HRV-Alter“ ist ein virtueller Alterswert, der im Grunde eine Zustandsbeschreibung der neurovegetativen Regulation vornimmt im Sinne von: „Die neurovegetative Regulation entspricht der eines xx-Jährigen“.

Je höher das „funktionelle HRV-Alter“, desto höher liegt sehr wahrscheinlich auch das kardiovaskuläre Risiko. Durch die Herzfrequenzkorrektur bei der Berechnung des „funktionellen HRV-Alter“ ist letzteres unabhängig von der Herzfrequenz und kann sogar bei Patienten unter Betablocker-Therapie berechnet werden.

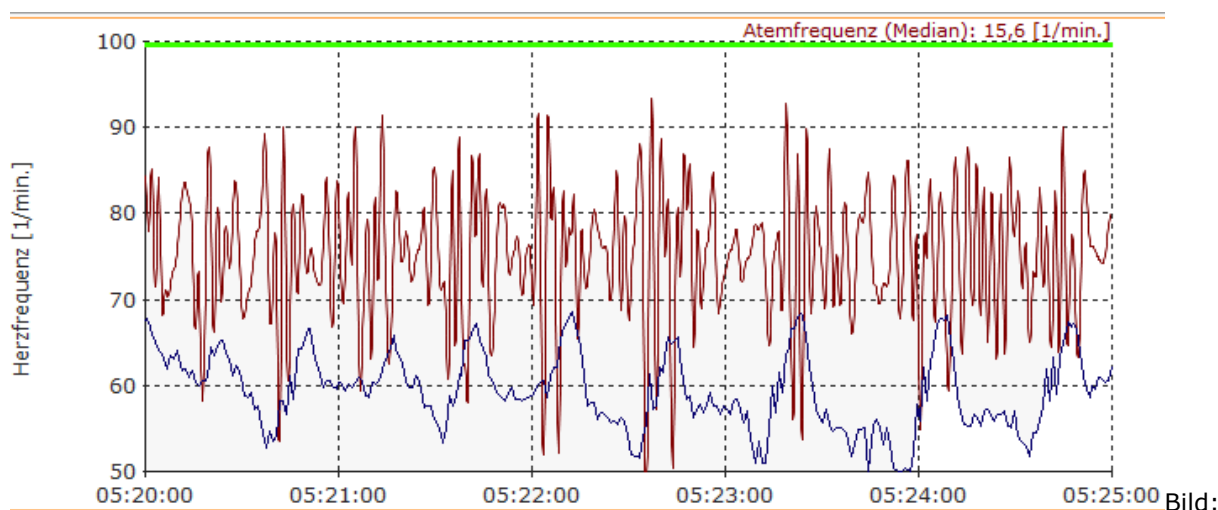
Schlaf

Schlaf ist ein hochaktiver Prozess, in dem verschiedene Grade der Aktivierung zyklisch durchlaufen werden. Tiefschlafphasen wechseln sich mit Leichtschlafphasen und Phasen hoher wachähnlicher EEG-Aktivität mit schnellen Augenbewegungen (REM) ab. Während des normalen Nachtschlafs überwiegt der Einfluss des Parasympathikus bei gleichzeitig verringertem Sympathikotonus. In den REM-Phasen erhöht sich der Sympathikotonus.

Ein erholsamer Schlaf ist unabdingbar zur Erhaltung der Gesundheit. Nicht ausreichender Schlaf oder Schlafstörungen können zu gravierenden gesundheitlichen Problemen führen, wenn sie länger anhalten. Ein bekanntes Beispiel ist der Anstieg des kardiovaskulären Risikos beim Auftreten der Schlafapnoe.

Es gibt zahlreiche Einschlaf- und Durchschlafstörungen, in deren Folge sich die Schlafqualität verringert. Die natürliche Abfolge der verschiedenen Schlafphasen ist dann in der Regel gestört. Dies wirkt sich auch auf das vegetative Nervensystem aus: Die für die Erholung wichtige Dominanz des Parasympathikus ist vermindert oder fehlt gänzlich.

Die Diagnose von Schlafstörungen ist komplex und erfordert meist die Registrierung zahlreicher verschiedener physiologischer Parameter im Schlaflabor (Polysomnographie). Die HRV-Analyse kann dies nicht ersetzen, allerdings können sich aus der HRV-Analyse manchmal wertvolle Hinweise auf das Vorliegen einer Schlafstörung ergeben: Beispielsweise kommt es bei der häufigen obstruktiven Schlafapnoe zu charakteristischen Veränderungen:



Charakteristische Muster von Atmung (aus EKG abgeleitet) und Herzfrequenz bei ausgeprägter, polysomnographisch bestätigter Schlafapnoe. Es treten 1-2 Apnoephasen pro Minute auf, begleitet von größeren Herzfrequenzoszillationen und einem spindelförmigem Atemmuster.

Der HRV-Scanner sucht in Atmung, Herzfrequenz und HRV nach Mustern, die charakteristisch sind für Schlafapnoe. Stärke und Häufigkeit dieser Muster werden in Form eines „OSA-Scores“ quantifiziert. Der OSA-Score wurde anhand der mehrere tausend polysomnographischen Datensätze umfassenden SHHS-Studie entwickelt. (Quan SF, Howard BV, Iber C, Kiley JP, Nieto FJ, O'Connor GT, Rapoport DM, Redline S, Robbins J, Samet JM, Wahl PW. The Sleep Heart Health Study: design, rationale, and methods. Sleep. 1997 Dec;20(12):1077-85. PubMed PMID: 9493915.)

Zur Validierung wurde der Algorithmus an den Datensätzen der frei verfügbaren OSA-Datenbank geprüft. (T Penzel, GB Moody, RG Mark, AL Goldberger, JH Peter. The Apnea-ECG Database. Computers in Cardiology 2000;27:255-258.) Die Korrelation des HRV-Scanner OSA-Scores mit dem polysomnographisch ermittelten AHI (Apnoe-Hypopnoe-Index) betrug 0.83. Die Sensitivität und Spezifität zu Erkennung einer OSA mittlerer Schwere (AHI \geq 15) betrug 95% bzw. 96%. Hohe OSA-Scores im HRV-Scanner können deshalb als Hinweis auf eine mögliche Schlafapnoe gewertet werden.

Ein hoher OSA-Score bedeutet aber nicht automatisch, dass mit Sicherheit eine obstruktive Schlafapnoe vorliegt. Dies gilt im übrigen für alle Screening-Untersuchungen, ein positives Testergebnis heißt nicht

zwangsläufig auch krank, auch wenn das oft so interpretiert wird. Die Vortest-Wahrscheinlichkeit (Prävalenz) spielt ebenfalls eine große Rolle:

Brustkrebs-Screening beispielsweise hat eine Sensitivität ca. 90% und eine Spezifität von ca. 94%. Bei einer Prävalenz von Brustkrebs von 0.8% ergibt sich damit ein positiver prädiktiver Wert (Posttest-Wahrscheinlichkeit) von ca. 10% für Brustkrebs bei positivem Mammographiebefund. Das heißt, nur eine von 10 Frauen mit einem positiven Mammographiebefund hat tatsächlich auch Brustkrebs. (Kerlikowske K, Grady D, Barclay J, Sickles EA, Ernster V. Likelihood ratios for modern screening mammography. Risk of breast cancer based on age and mammographic interpretation. JAMA. 1996 Jul 3;276(1):39-43.) (Je nach zugrunde liegender Studie ist dieser Wert mal etwas größer oder kleiner, aber immer in einer ähnlichen Größenordnung).

Die entscheidende Größe eines diagnostischen Tests ist die Likelihood-Ratio (LR) des Tests, weil mit Hilfe der LR und der Prävalenz die Posttest-Wahrscheinlichkeit berechnet werden kann, also die Wahrscheinlichkeit, dass bei einem positiven Testbefund auch tatsächlich die Erkrankung vorliegt. Für weitere Infos zur LR siehe auch: https://en.wikipedia.org/wiki/Likelihood_ratios_in_diagnostic_testing

Kurz gesagt gibt die positive Likelihood-Ratio (LRp) an, um wie viel häufiger ein Erkrankter einen positiven Test erhält, als ein Gesunder. Die negative Likelihood-Ratio (LRn) gibt an, um wie viel häufiger ein Kranker ein negatives Testergebnis erhält als ein Gesunder.

Die LR für das Mammographie-Screening ist übrigens ca. 14, d.h. positive Mammographie treten bei Brustkrebspatientinnen 14 mal häufiger auf als bei Frauen ohne Brustkrebs.

Der HRV-Scanner berechnet zu jedem OSA-Score die zugehörigen Likelihood-Ratios (LRs). Mit Hilfe der Prävalenztabelle und den LRs wird auch die Wahrscheinlichkeit (Posttest-Wahrscheinlichkeit, positiver prädiktiver Wert) für das Vorliegen einer Schlafapnoe berechnet (Punjabi NM., The epidemiology of adult obstructive sleep apnea, Proc Am Thorac Soc. 2008 Feb 15;5(2):136-43. doi: 10.1513/pats.200709-155MG.).

	20-44 Jahre	45-64 Jahre	>64 Jahre
Männer	3,2	11,3	18,1
Frauen	0,6	2,0	7,0

Tabelle: OSA-Prävalenz

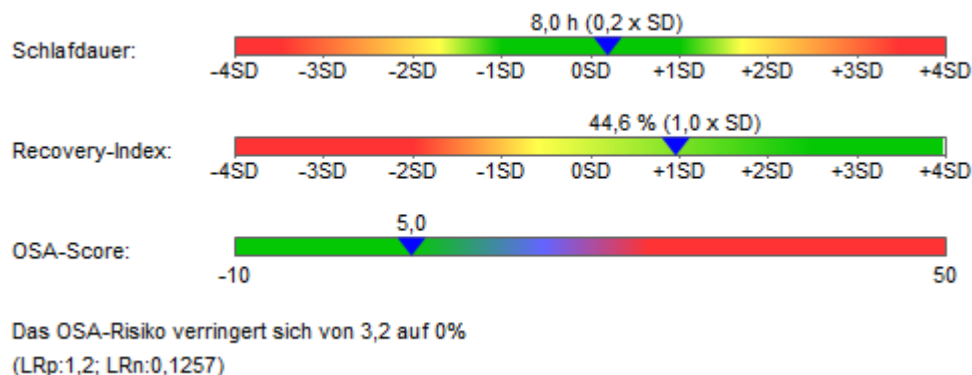


Bild: Schlafparameter eines gesunden Probanden. Ein niedriger OSA-Score senkt die Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen von OSA

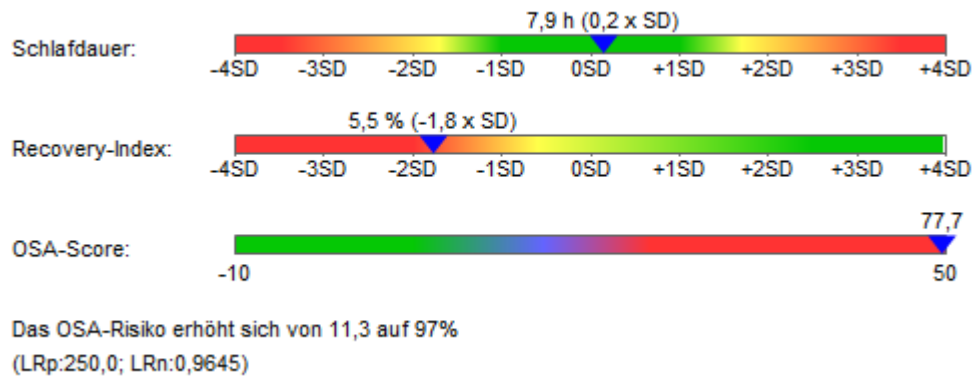


Bild: Schlafparameter eines Patienten mit polysomnographisch bestätigter OSA.

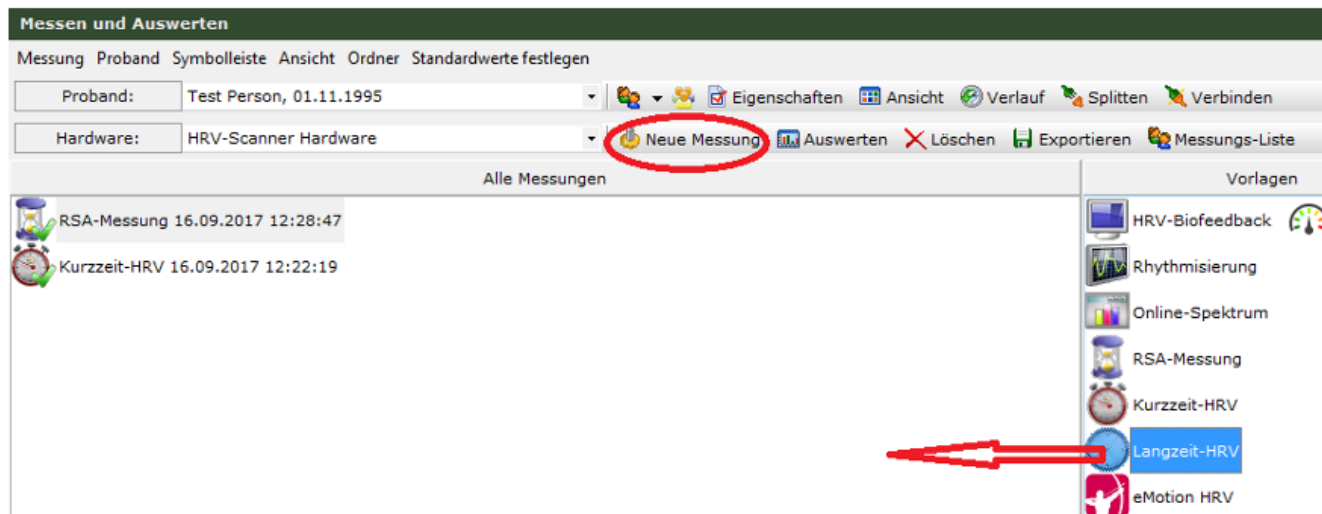
Hinweis: Die HRV-Analyse kann die Diagnose einer OSA mittels polysomnographie nicht ersetzen. Hohe OSA-Scores im HRV-Scanner insbesondere in Verbindung mit klinischen Symptomen wie vermehrte Tagesschläfrigkeit sollten aber an das Vorliegen einer Schlafapnoe denken lassen.

Das Arbeiten mit Templates im HRV-Scanner

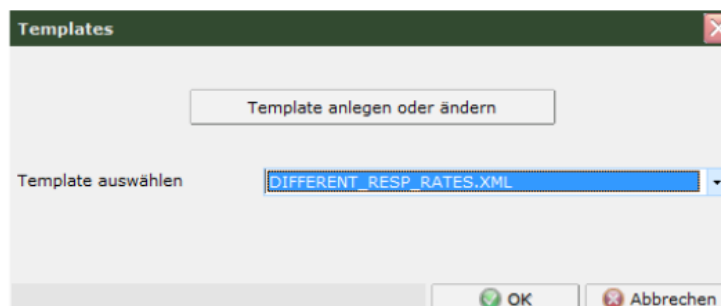
Templates erweitern die Analysemöglichkeiten des HRV-Scanners. Statt bisher maximal drei Phasen können nun für jede Messung bis zu 30 verschiedene Abschnitte definiert und analysiert werden.

Templates anlegen

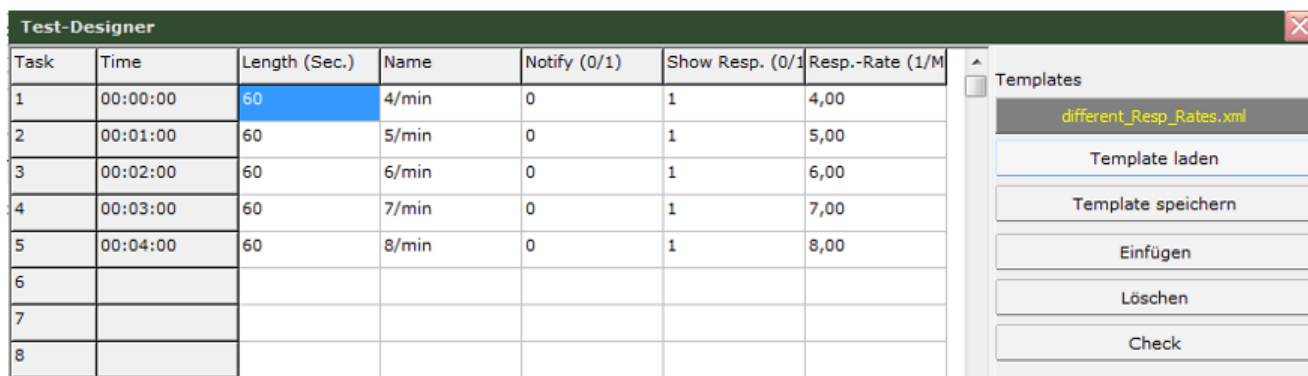
Zum Anlegen eines neuen Templates verwenden Sie die Testvorlage Langzeit-HRV. Starten Sie eine neue Langzeit-HRV wie gewohnt:



Es erscheint ein Fenster zur Auswahl eines bestehenden Templates bzw., zur Anlage eines neuen Templates.



Klicken Sie auf „Template anlegen“, um den Test-Designer zu starten:



Definieren Sie die gewünschte Anzahl von Tasks. Mittels „Notify“ können Sie festlegen, ob während der Testdurchführung jeweils einige Sekunden vor Beginn des Templates ein Meldungsfenster mit dem „Namen“ des Tasks eingeblendet wird. Im Feld „Show Resp.“ legen Sie fest, ob beim jeweiligen Task die Atemvorgabe angezeigt wird. Im Feld „Resp.-Rate“ wird festgelegt, mit welcher Frequenz die Atmung vorgegeben wird.

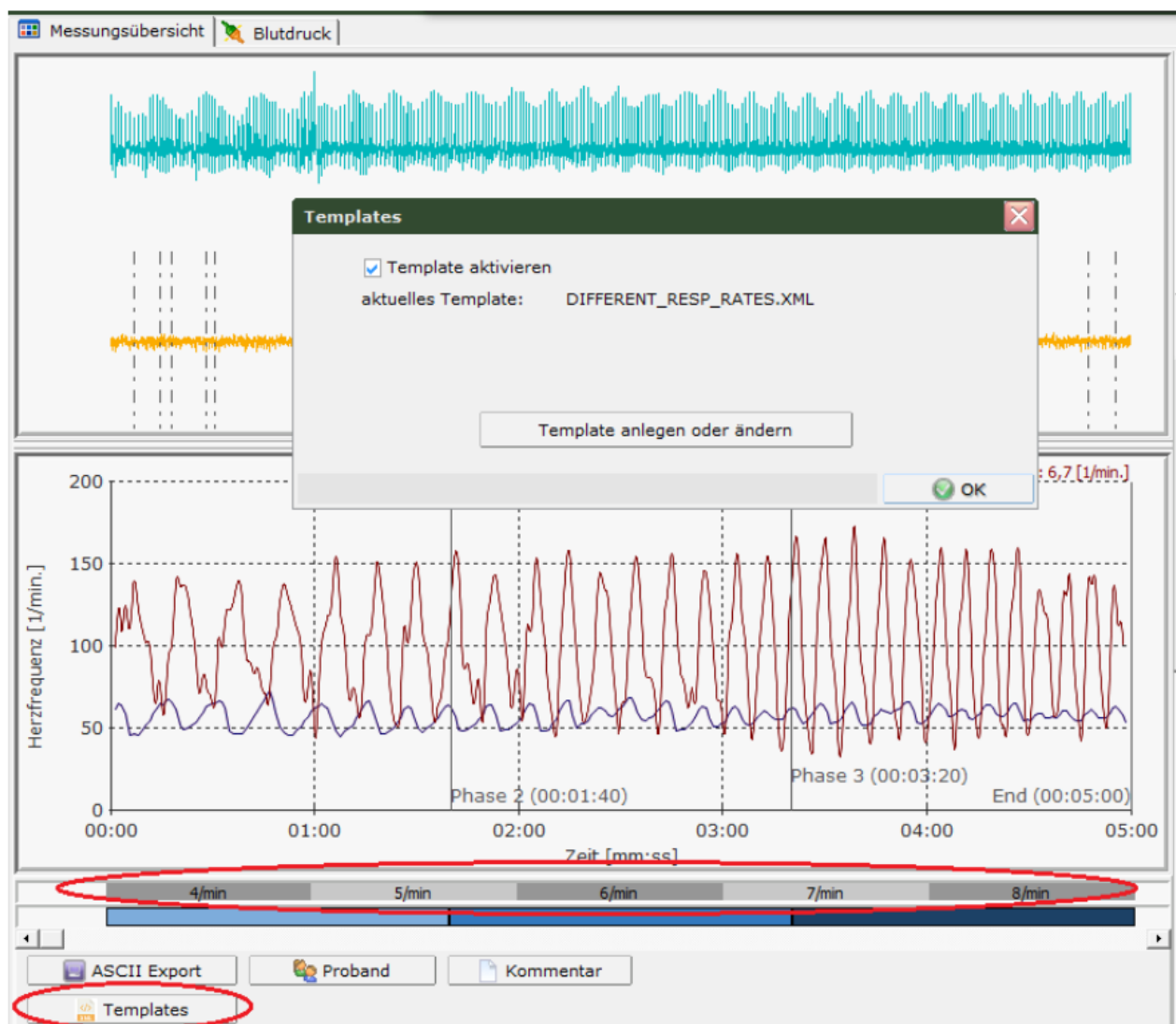
Speichern Sie das Template nach Fertigstellung ab. Bitte beachten, dass die Speicherung im Unterordner „XMLTemplates“ erfolgen muss.

Zum Starten einer Messung mit Templates wählen Sie das gewünschte Template aus und klicken auf OK:



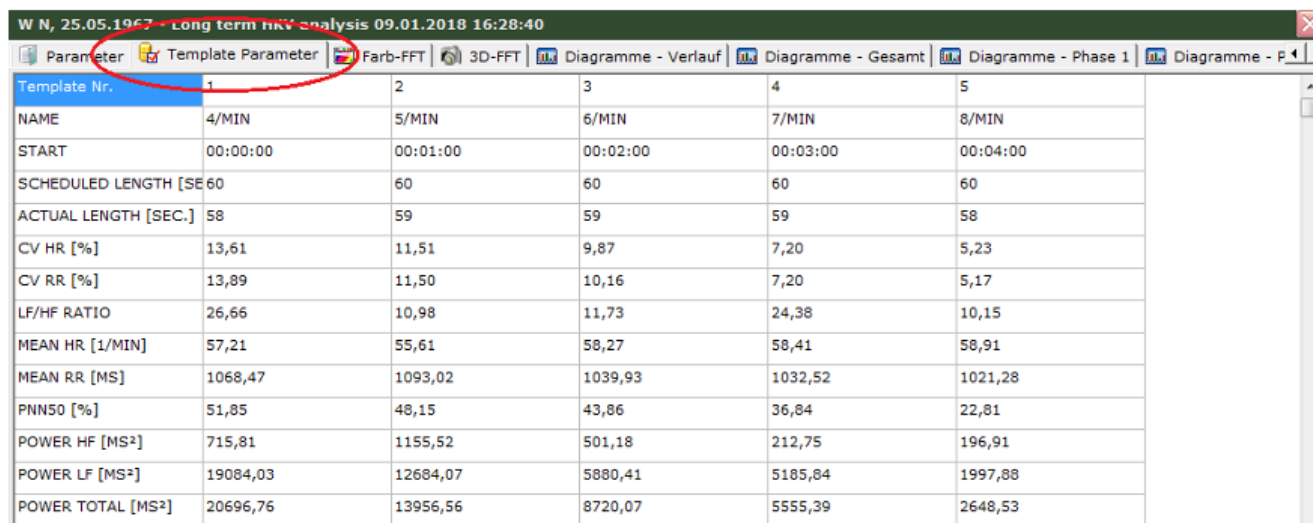
Auswerten mit Templates

Jede aufgezeichnete Messung kann zusätzlich mit Templates ausgewertet werden. Handelt es sich um eine Langzeitmessung, wird das entsprechende Template automatisch geladen. Für alle anderen Messungen kann ein Template hinzugefügt bzw. neu definiert werden. Wenn ein Template aktiv ist, werden die jeweiligen Tasks des Templates über der Darstellung der drei Phasen angezeigt.



Bitte beachten Sie, dass alle Veränderungen an den Templates einer Messung in den zugehörigen Messungsdaten abgespeichert werden und sich nur auf diese Messung auswirken!

Ist ein Template aktiv, werden für jeden Task des Templates zahlreiche Parameter berechnet und auf einem eigenen Tabellenblatt ausgegeben.



Template Nr.	1	2	3	4	5
NAME	4/MIN	5/MIN	6/MIN	7/MIN	8/MIN
START	00:00:00	00:01:00	00:02:00	00:03:00	00:04:00
SCHEDULED LENGTH [SEC]	60	60	60	60	60
ACTUAL LENGTH [SEC.]	58	59	59	59	58
CV HR [%]	13,61	11,51	9,87	7,20	5,23
CV RR [%]	13,89	11,50	10,16	7,20	5,17
LF/HF RATIO	26,66	10,98	11,73	24,38	10,15
MEAN HR [1/MIN]	57,21	55,61	58,27	58,41	58,91
MEAN RR [MS]	1068,47	1093,02	1039,93	1032,52	1021,28
PNN50 [%]	51,85	48,15	43,86	36,84	22,81
POWER HF [MS²]	715,81	1155,52	501,18	212,75	196,91
POWER LF [MS²]	19084,03	12684,07	5880,41	5185,84	1997,88
POWER TOTAL [MS²]	20696,76	13956,56	8720,07	5555,39	2648,53

Parameter, die nicht berechnet werden konnten weil beispielsweise die Task-Dauer zu gering war, werden mit dem Zahlencode „999999“ gekennzeichnet.

ST.DEV. [1/MIN]	7,79	6,40	5,75	4,21	3,08
STRESSINDEX	28,02	21,79	31,75	49,12	78,33
LN(STRESSINDEX)	3,33	3,08	3,46	3,89	4,36
DFA1	999999	999999	999999	999999	999999
DFA2	999999	999999	999999	999999	999999
AUTOCORREL.	0,8417	0,8012	0,7657	0,7324	0,6801
SLOPE OF AUTOCORREL.	0,0088	-0,0098	-0,0187	0,0027	0,0190
RESP. RATE	4,3097	5,2373	6,1465	7,0049	8,1790

Die Tabelle kann analog zu anderen Parameter-Listen im ASCII-Format exportiert werden.

Hinweis:

Die Tabelle enthält eine Reihe neuer, experimenteller HRV-Parameter, die bisher im HRV-Scanner noch nicht berechnet wurden. Die Anzahl dieser neuen Parameter, sowie die zugrundeliegenden Berechnungsverfahren können sich noch ändern. Aus diesem Grund behält sich BioSign das Recht vor, Template-Parameter bzw. deren Berechnungsgrundlagen jederzeit zu modifizieren. Ist die Verwendung von Template-Parametern innerhalb wissenschaftlicher Studien angestrebt, so wird empfohlen, vor Beginn der Studiauswertung Kontakt mit BioSign aufzunehmen.

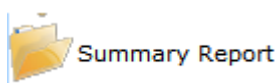
Summary Report

Die Durchführung einer neurovegetativen Funktionsanalyse umfasst meist die Kombination mehrerer einzelner Funktionstests, z.B. Kurzzeit-HRV, RSA, Liegen/Stehen (Schellong) und Valsalva-Manöver. Die Beurteilung ob eine neurovegetative Störung vorliegt ergibt sich in der Regel aus der Gesamtschau aller durchgeführten Messungen. Mit dem HRV-Scanner ist es ab jetzt möglich, auch diese Gesamtbewertung auf Knopfdruck automatisiert durchzuführen.

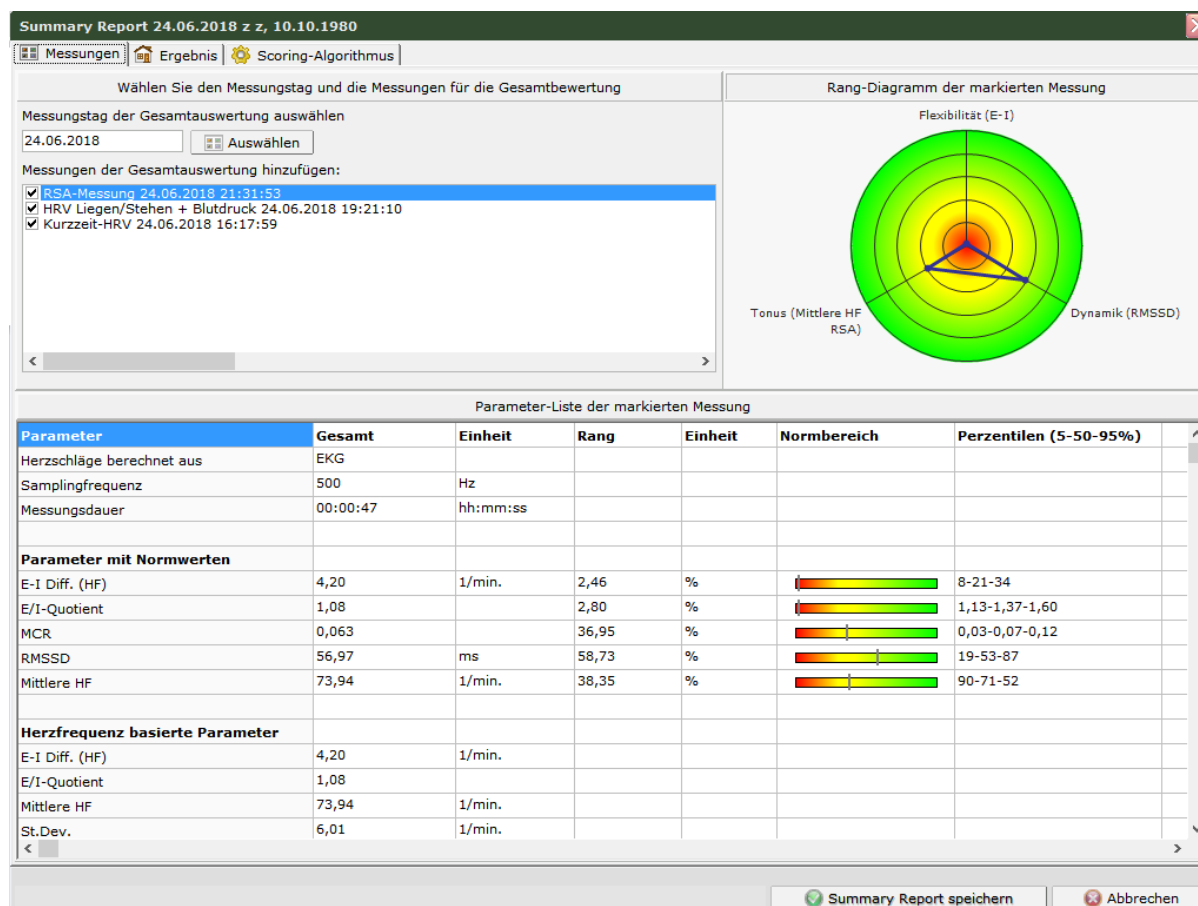
Zum Erstellen der Gesamtbewertung müssen die einzelnen Messungen ausgewertet sein. Die Zielparameter der einzelnen Funktionstests werden mit Hilfe eines Scoring-Systems gewichtet und zu einem Gesamtscore aufsummiert. Das zugrunde liegende Scoring-System ist durch den Anwender justierbar und kann so leicht an die eigenen Anforderungen angepasst werden.

Erstellen eines Summary Reports

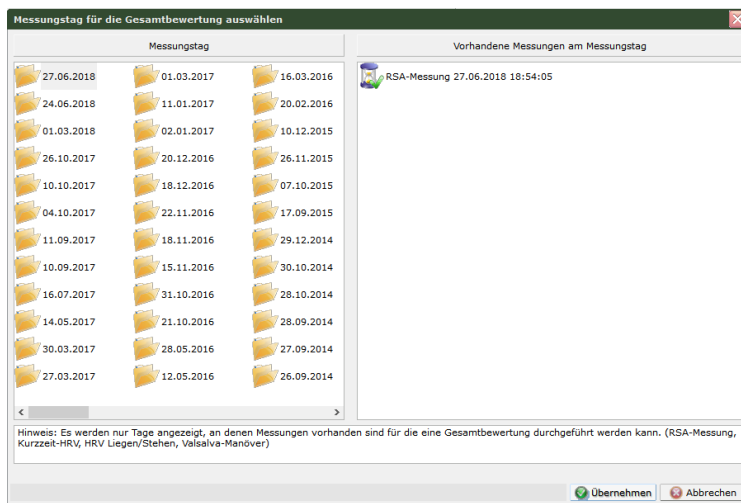
Das Erstellen eines Summary Reports erfolgt analog zum Starten einer neuen Messung.



Ziehen Sie das Summary Report Symbol mit der Maus in das linke Fenster der Probandenmessungen. Im Übersichtsfenster des Summary Reports sehen Sie die verfügbaren Messungen für den gewählten Messungstag und die Ergebnisse der aktuell markierten Messung.

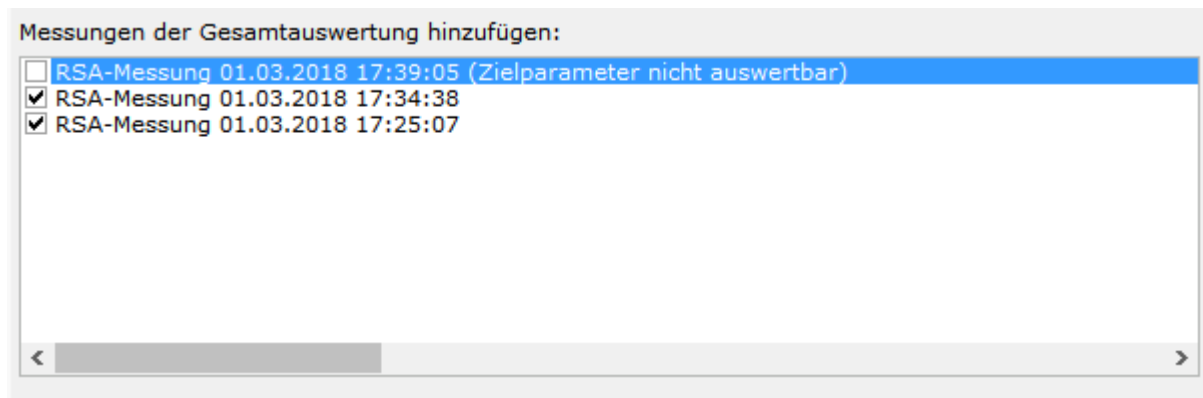


Den Messungstag können Sie über einen Dialog auswählen. Der Summary Report erhält das Datum des gewählten Messungstages und wird auch dementsprechend in der Liste im Fenster "Messen und Auswerten" der für einen Probanden durchgeführten Messungen eingeordnet.



Im Auswahldialog für den Messungstag werden nur Tage angezeigt, an denen Messungen vorhanden sind, für die ein Summary Report erstellt werden kann (RSA-Messung, Kurzzeit-HRV, Liegen/Stehen-HRV, Valsalva-Manöver).

Nach Auswahl des Messungstages sehen Sie die verfügbaren Messungen in der Liste. Hier können Sie auswählen, welche Messungen im Summary Report bewertet werden sollen.



Messungen, die noch nicht ausgewertet wurden, oder bei denen es zu Fehlern bei der Auswertung gekommen ist, können nicht verwendet werden und müssen erst nachbearbeitet werden.

Ergebnis

Summary Report 24.06.2018 z z, 10.10.1980

Messungen

Ergebnis

Scoring-Algorithmus

Gesamtbewertung

Hinweis! Bei der Auswertung ist/sind 1 Fehler aufgetreten!
Erreichte Gesamtpunktzahl aller Messungen (n=5): 15/30 =50,00%
Bewertung: normal
* 0-30% auffällig; 30-50% grenzwertig; 50-101% normal
Scoring-Algorithmus: BioSign V1.0

Bericht

Ergebnisse der Einzelmessungen

Messung	Typ	Parameter	Wert	Einheit	Rang[%]	Score[Pkt.]	Gesamt[Pkt.]	Bewertung
RSA-Messung 24.06.2018 21:31:53	RSA	E-I	4,20	1/min.	2,46	0		
		RMSSD	56,97	ms	58,73	2		
		Mittlere HF RSA	73,94	1/min.	38,35	2	4/6	normal
HRV Liegen/Stehen + Blutdruck 24.06.2018 19:15	Kurzzeit-HRV	Variationskoeffizient (RR)	6,05	%	28,82	2		
		SD1	22,52	ms	11,99	1		
		SD2	76,38	ms	38,40	2		
		Stressindex	83,51	Pkt.	40,68	2		
		Mittlere HF	64,75	1/min.	73,19	2	9/10	normal
HRV Liegen/Stehen + Blutdruck 24.06.2018 19:15	Ewing	30:15 Ratio	1,31		42,17	2	2/2	normal
HRV Liegen/Stehen + Blutdruck 24.06.2018 19:15	Blutdruck	Blutdruckänderung systol.	-10,00	mmHg		ERROR		
		Blutdruckänderung diastol.	-11,00	mmHg		0	0/2	auffällig
Kurzzeit-HRV 24.06.2018 16:17:59	Kurzzeit-HRV	Variationskoeffizient (RR)	0,66	%	1,91	0		
		SD1	1,61	ms	1,36	0		
		SD2	5,13	ms	1,62	0		
		Stressindex	4641,50	Pkt.	0,39	0		
		Mittlere HF	103,54	1/min.	0,37	0	0/10	auffällig

<

>

* "ERROR" bedeutet es wurde für diesen Parameter kein passender Scoring-Algorithmus gefunden! Passen Sie die Einstellungen an.

Im Ergebnis sehen Sie im oberen Panel die Gesamtbewertung des Messungstages, darunter die Einzeltest mit den jeweiligen Parametern. "ERROR" bedeutet, dass für einen Parameter in den Bedingungen zur Bewertung kein Bereich gefunden wurde und damit eine Inkonsistenz im Scoring-System vorliegt. Korrigieren Sie in diesem Fall die Berechnungsgrundlagen .

Im folgenden wird erklärt, wie ein eigener Scoring-Algorithmus implementiert werden kann.

Definition des Scoring-Algorithmus eines Summary Reports

Schritt 1: Auswahl der Einzelparameter

Tonus (Mittlere HF RSA)
wenn Rang ≥ 0 und Rang < 10 dann Punktwert = 0
wenn Rang ≥ 10 und Rang < 15 dann Punktwert = 1
wenn Rang ≥ 15 und Rang < 100 dann Punktwert = 2

Flexibilität (E-I)
wenn Rang ≥ 0 und Rang < 10 dann Punktwert = 0
wenn Rang ≥ 10 und Rang < 15 dann Punktwert = 1
wenn Rang ≥ 15 und Rang < 100 dann Punktwert = 2

Dynamik (RMSSD)
wenn Rang ≥ 0 und Rang < 10 dann Punktwert = 0
wenn Rang ≥ 10 und Rang < 15 dann Punktwert = 1
wenn Rang ≥ 15 und Rang < 100 dann Punktwert = 2

Für jeden Test stehen spezifische Einzelparameter zur Verfügung. Unter diesen kann ausgewählt werden, welche Parameter in die Bewertung mit eingehen sollen.

Schritt 2: Festlegen der Bewertungskriterien für jeden Einzelparameter (Punktwerte definieren)

Parameter-Bedingungen editieren: Tonus (Mittlere HF RSA)

wenn Rang ≥ 0 und Rang < 10 dann Punktwert = 0
wenn Rang ≥ 10 und Rang < 15 dann Punktwert = 1
wenn Rang ≥ 15 und Rang < 100 dann Punktwert = 2

Eine neue Bedingung hinzufügen

Markierte Bedingung löschen

Markierte Bedingung bearbeiten

wenn Rang \geq 0 und Rang $<$ 10 dann Punktwert = 0

*Rang-Parameter (Wertebereich 0% - 100%)

Übernehmen

Abbrechen

Die Bewertung der Einzelparameter erfolgt durch Bedingungen und der Vergabe von Punktwerten. Beachten Sie bei der Definition der Bedingungen, ob es sich um einen Rang-Parameter (Perzentile) mit dem immer gleichen Wertebereich 0-100% oder um einen absoluten Parameter (z.B. Blutdruckänderung) mit einem individuellen Wertebereich handelt. Die einzelnen Bedingungen sind so zu definieren, dass der mögliche Wertebereich vollständig abgedeckt wird. Bitte beachten Sie, dass bei Blutdruckänderungen sowohl positive Werte (Blutdruckanstieg), als auch negative Werte (Blutdruckabfall) auftreten können.

Schritt3: Bewertungskriterien für einen Einzeltest

In Abhängigkeit von den Ergebnissen aus der Parameterbewertung erfolgt eine Bewertung für den Einzeltest, so dass jeder Test einen zugehörigen Punktwert erhält.

Gesamtbewertung der Einzelmessung

Gesamtergebnis des Tests ist "auffällig" und er erhält eine Punktzahl von 0 wenn die Gesamtpunktzahl des Tests ≥ 0 und < 2
Gesamtergebnis des Tests ist "grenzwertig" und er erhält eine Punktzahl von 1 wenn die Gesamtpunktzahl des Tests ≥ 2 und < 3
Gesamtergebnis des Tests ist "normal" und er erhält eine Punktzahl von 2 wenn die Gesamtpunktzahl des Tests ≥ 3 und < 6

Max. Punktzahl dieses Tests: 6

Bewertung und Punktwerte definieren

Definiert wird die Punktzahl des Einzeltest und die Bewertung in Abhängigkeit der erreichten Punktzahl aus den Einzelparametern. Der Wertebereich von 0 Punkten bis zur maximal erreichbaren Gesamtpunktzahl eines Einzeltest sollte in den Bedingungen abgedeckt sein.

Einzeltest-Bedingungen editieren: Kurzzeit-HRV

Gesamtergebnis des Tests ist "auffällig" und er erhält eine Punktzahl von 0 wenn die Gesamtpunktzahl des Tests ≥ 0 und < 3
Gesamtergebnis des Tests ist "grenzwertig" und er erhält eine Punktzahl von 1 wenn die Gesamtpunktzahl des Tests ≥ 3 und < 5
Gesamtergebnis des Tests ist "normal" und er erhält eine Punktzahl von 2 wenn die Gesamtpunktzahl des Tests ≥ 5 und < 10

Eine neue Bedingung hinzufügen

Markierte Bedingung löschen

Markierte Bedingung bearbeiten

Gesamtergebnis des Tests ist
auffällig

und er erhält eine Punktzahl von
0

wenn die Gesamtpunktzahl des Tests \geq
0

und $<$
3

Übernehmen

Abbrechen

Schritt 4: Bewertung der kompletten Funktionsanalyse

Gesamtbewertung

RSA-Messung

Kurzzeit-HRV

HRV Liegen/Stehen Ewing

HRV Liegen/Stehen Blutdruck

Gesamtergebnis ist "auffällig" wenn Gesamtpunktzahl aller Tests $\geq 0\%$ und $< 30\%$ % der möglichen Gesamtpunktzahl
Gesamtergebnis ist "grenzwertig" wenn Gesamtpunktzahl aller Tests $\geq 30\%$ und $< 50\%$ % der möglichen Gesamtpunktzahl
Gesamtergebnis ist "normal" wenn Gesamtpunktzahl aller Tests $\geq 50\%$ und $< 100\%$ % der möglichen Gesamtpunktzahl

Bewertung und Prozentwerte definieren

Die Bewertung einer kompletten Funktionsanalyse erfolgt aus dem Verhältnis der erreichten Punktzahl zur maximal erreichbaren Punktzahl.

Gesamtbewertung-Bedingungen editieren

Gesamtergebnis ist "auffällig" wenn Gesamtpunktzahl aller Tests $\geq 0\%$ und $< 30\%$ % der möglichen Gesamtpunktzahl
Gesamtergebnis ist "grenzwertig" wenn Gesamtpunktzahl aller Tests $\geq 30\%$ und $< 50\%$ % der möglichen Gesamtpunktzahl
Gesamtergebnis ist "normal" wenn Gesamtpunktzahl aller Tests $\geq 50\%$ und $< 100\%$ % der möglichen Gesamtpunktzahl

Eine neue Bedingung hinzufügen

Markierte Bedingung löschen

Markierte Bedingung bearbeiten

Gesamtergebnis ist

wenn Gesamtpunktzahl aller Tests \geq
 %

und $<$
 % der möglichen Gesamtpunktzahl

Übernehmen

Abbrechen

Importmöglichkeiten

ASCII

Hier können Sie Messung in Form von Herzfrequenz oder RR-Abstands Listen in den HRV-Scanner importieren.

ASCII Rohsignal

Hier können Sie Messung in Form von Rohsignal Listen (Spannungskurve EKG in mV) in den HRV-Scanner importieren.

EDF - European Data Format

Import von Daten, die im EDF-Format vorliegen. Z.B. Import von Daten aus dem Messungsspeicher des Faros 180.

eMotion HRV

Langzeit-Messungen mit dem eMotion HRV-Rekorder.

Polar

Import von bereits auf den PC übertragenen Messungen aus Polar-Uhren (HRM-Dateien).

Suunto

Import von bereits auf den PC übertragenen Messungen aus dem Suunto Memory Belt.



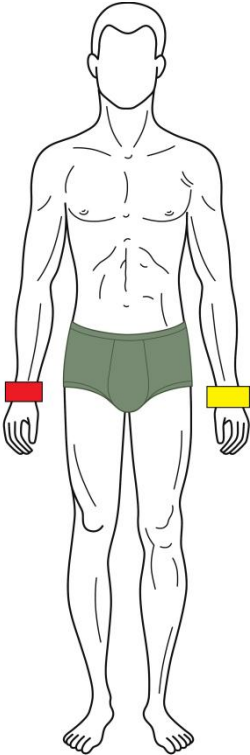
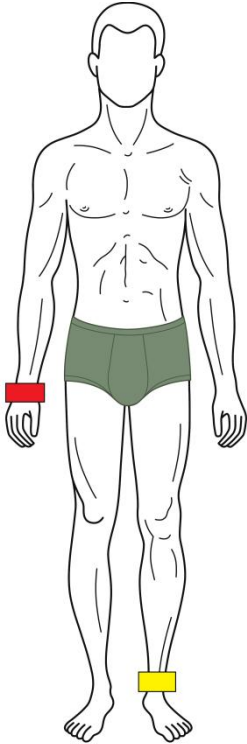
SRM-Langzeitmessung

Import der Messungsdaten aus dem SRM-Rekorder

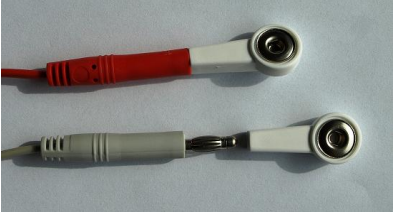
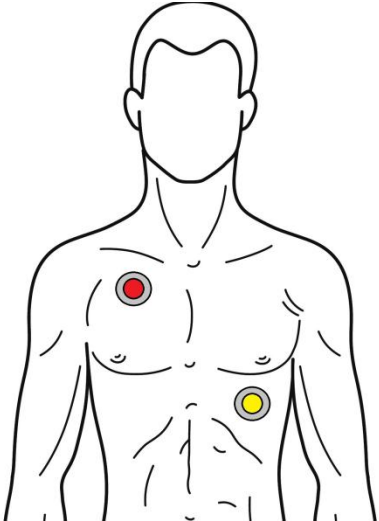
Möglichkeiten der EKG-Ableitung

Ableitung eines 1-Kanal EKG mit Klammern

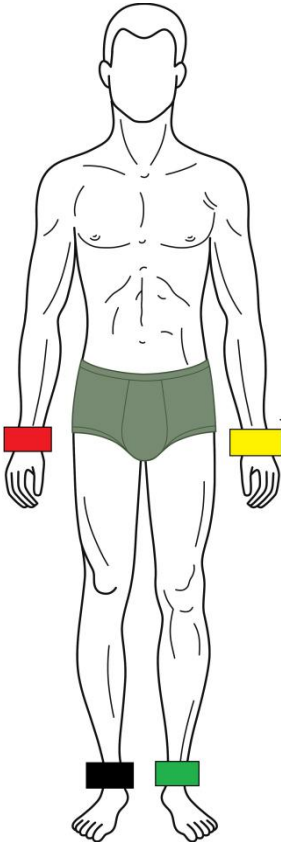
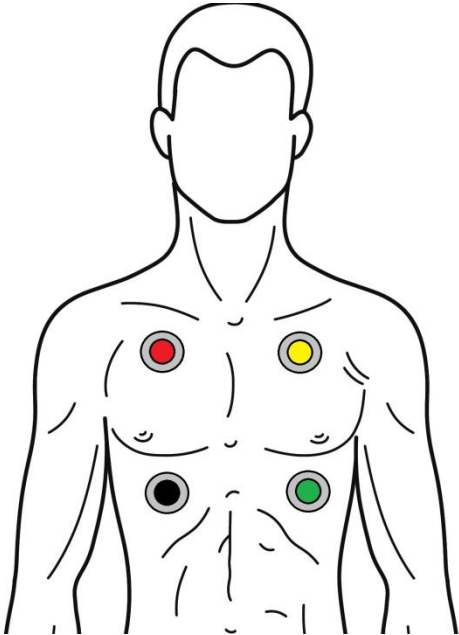
Vorbereitung: Verbinden Sie 2 EKG-Klammern mit dem EKG-Kabel

Hardware standard (2-adriges EKG-Kabel, Bananenstecker)	Hardware plus (4-adriges EKG-Kabel, Elektroden-Clip)
	
1) Ableitung rechter Arm gegen linker Arm	2) Ableitung rechter Arm gegen linken Fuß
	
Diese Art der Ableitung funktioniert in 98% der Fälle. Ausnahme wäre z.B. eine EKG, bei dem die R-Zacke und die T-Welle annähernd gleich groß sind, bzw. die T-Welle im EKG größer ist als die R-Zacke.	Alternative Ableitung

Ableitung eines 1-Kanal EKG mit Klebeelektroden

<p>Vorbereitung bei der Hardware standard (2-adriges EKG-Kabel, Bananenstecker)</p>	<p>Kleben Sie Klebeelektroden wie auf dem Bild angezeigt und verbinden Sie die Elektroden-Clips des EKG-Kabels mit den Elektroden</p>
<p>Stecken Sie die Adapter auf die beiden Bananenstecker.</p> 	

Ableitung eines 3-Kanal EKG (nur HRV-Scanner Hardware plus)

Ableitung eines 3-Kanal EKG mit Klammern	Ableitung eines 3-Kanal EKG mit Klebeelektroden
	

Technisches Handbuch HRV-Scanner Hardware plus

Die Technische Details zur HRV-Scanner Hardware plus entnehmen Sie bitte dem separaten Datenblatt.

- 3 Kanal EKG
- Pulswelle über Ohrclip
- Atemsensor über Brustgurt
- Drucksensor für das Valsalva Manöver



Atemsensor vorbereiten und anlegen

Schritt 1)



Nehmen Sie:

- den Atemsensor
- den Atemgurt
- die Befestigungsknöpfe

Schritt 2)



Führen Sie den Atemgurt von unten durch die seitliche Öse des Atemsensors

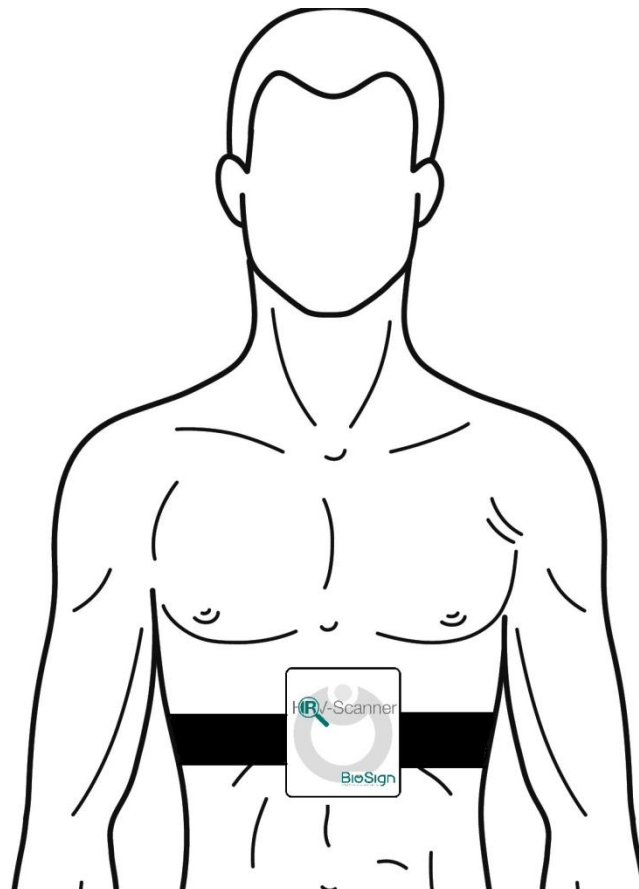
Schritt 3)

Verschließen Sie das durchgeführte Ende des Atemgurts mit Hilfe des Befestigungsknopfs.

Schritt 4)

Verfahren Sie auf der anderen Seite des Atemsensors genauso, indem Sie das andere Ende des Atemgurts durch die seitliche Öse führen und ebenfalls verschließen.

Der Gurt sollte in Höhe des unteren Rippenbogens angebracht werden, um sowohl Brust- als auch Bauchatmung zu erfassen. Den Sensor bitte über der Kleidung (Shirt) anlegen.



Das Valsalva-Drucksensor Set

Das Valsalva-Drucksensor Set besteht aus den 4 Einzelteilen:

Mundstück		Filter	
Ventil		Verschlusskappe	

Vor dem Zusammenstecken der einzelnen Teile bitte mit z.B. einer Pinnwand-Nadel ein kleines Loch von ca. 0,5 - 1 mm Durchmesser in die rote Verschlusskappe stechen. Dadurch wird ein Flow erzeugt und verhindert, dass der Druck durch einen Verschluss der Glottis nur mit dem Mund aufgebaut werden kann.



Zusammengesetzt sieht das Drucksensor Set so aus:



Die Verbindung mit der HRV-Scanner plus Hardware erfolgt über einen Schlauch mit je einem männlichen Luer-Verschluss an beiden Enden. Dazu wird am Filter die grüne Abdeckung geöffnet und der Schlauch aufgeschraubt. Das andere Ende wird mit dem Metallstutzen an der HRV-Scanner plus Hardware verbunden.

Ersatzteile für das Valsalva-Drucksensor Set können Sie in unserem Online-Shop oder im medizinischen Fachhandel bekommen.

Technisches Handbuch HRV-Scanner Hardware standard

Wartung und Service

HRV-Scanner unterliegt keiner Wartungspflicht. Der Anwender hat lediglich darauf zu achten, dass das Gerät nur unter den in den Technischen Daten und in der GAW angegebenen Bedingungen betrieben wird. Bei Schäden am Gerät ist dieses sofort außer Betrieb zu setzen und zur Reparatur einzusenden. Bitte beachten Sie, dass durch ein Öffnen des Gerätes jeder Gewährleistungsanspruch erlischt.

Gewährleistung

Der Gewährleistungsanspruch für HRV-Scanner beträgt zwei Jahre ab Kaufdatum (Beleg bitte aufbewahren).

Technische Details

Stromversorgung

Betriebsspannungen	+5 V
Stromaufnahme	100 mA
Sicherungen	Keine

Pulswelle

Sensorstrom für IR-LED	ca. 16 mA
Frequenzbereich	ca. 0,5 ... 10 Hz
Sensor	M3405, über Steckverbinder anschließbar
Abtastrate	500 Hz

EKG

Typ	eine Grundableitung L-R
Zeitkonstante	ca. 3 s
Sensor	2 EKG-Klammern, Klebeelektroden, über Steckverbinder anschließbar
Abtastrate	500 Hz

PC-Interface

Typ	USB 1.1
Gerätekategorie	HID (Human Interface Device)

Weitere Daten:

Sicherheit	EKG-Teil: Stromversorgung über isolierten DC/DC-Wandler Signalisolation über Optokoppler (doppelte Isolierung nach EN 60335-1, bei Anschluss an einen PC) Das Gerät darf nur an einen mit europäischen Prüfzeichen versehenen PC angeschlossen werden!
Abmessungen	ca. 92 mm x 150 mm x 32mm
Gewicht	ca. 0,15 kg (ohne Sensoren)

Umweltbedingungen während des Betriebes:

Temperaturbereich	10 °C ... 40 °C
Rel. Feuchte	25% ... 95 %
Luftdruck	700 ... 1200 hPa
keine mechanischen Schocks oder Vibrationen	

Umweltbedingungen während Lagerung u. Transport:

Temperatur	-20 °C ... 60 °C
Rel. Feuchte	30 % ... 95 % (nicht kondensierend)
Luftdruck	700 ... 1200 hPa

Das Gerät darf nicht zur medizinischen Diagnostik am Menschen verwendet werden.

HRV-Scanner ist ein Gerät der Schutzklasse III, gemäß EN 60335-1. Das Gerät ist konform mit den zutreffenden EG-Richtlinien. Dies wird durch die EG-Konformitätserklärung bestätigt.

PC-Hardware-Voraussetzungen

- Betriebssystem Windows 7/8/8.1/10
- USB-Anschluss ab V 1.0
- mind. 300 MB freier Speicherplatz
- 3D Grafikkarte (≥ 32 MB)
- DirectX 9.0 oder höher

Urheberrecht

Die Software ist urheberrechtlich geschützt und darf grundsätzlich nur privat genutzt werden. Insbesondere Vermietung, Tausch, Sendung, Vervielfältigung, Kopieren, Verarbeitung in elektronischen Systemen sind grundsätzlich nicht gestattet.

Haftung

HRV-Scanner ersetzt keinesfalls ärztliche Diagnostik oder ärztliche Therapie. Die Haftung von BioSign und ihrer Erfüllungsgehilfen für leicht fahrlässige Pflichtverletzungen ist ausgeschlossen, sofern keine vertragswesentlichen Pflichten, Schäden aus der Verletzung des Lebens, des Körpers oder der Gesundheit oder Garantien betroffen oder Ansprüche nach dem Produkthaftungsgesetz berührt sind.

Bei Verletzung vertragswesentlicher Pflichten haftet BioSign nur für den vertragstypischen, vorhersehbaren Schaden. Die Verjährungsfrist für Schadensersatzansprüche, die nicht auf einem BioSign zurechenbaren vorsätzlichen Verhalten beruhen, beträgt ein Jahr. Ausgenommen hiervon sind Schadensersatzansprüche von Verbrauchern wegen Mängeln an einer von BioSign gelieferten neuen Sache, sowie Lieferantenregressansprüche gemäß § 478 BGB.

Gewährleistung

Der Gewährleistungsanspruch für HRV-Scanner beträgt zwei Jahre ab Kaufdatum (Beleg bitte aufbewahren).

Anhang - Literatur

Literatur zum Parameter SD2/SD1

- 1) Hoshi RA, Pastre CM, Vanderlei LC, Godoy MF. Poincaré plot indexes of heart rate variability: relationships with other nonlinear variables. Auton Neurosci. 2013 Oct;177(2):271-4. Epub 2013 Jun 5.
- 2) Stein PK, Domitrovich PP, Huikuri HV, Kleiger RE; CAST Investigators. Traditional and nonlinear heart rate variability are each independently associated with mortality after myocardial infarction. J Cardiovasc Electrophysiol. 2005;113-20
- 3) Makikallio TH, Hoiber S, Kober L, Torp-Pedersen C, Peng CK, Goldberger AL, Huikuri HV. Fractal analysis of heart rate dynamics as a predictor of mortality in patients with depressed left ventricular function after acute myocardial infarction. Am J Cardiol. 1999;83:836.
- 4) Laitio TT, Huikuri HV, Makikallio TH, Jalonen J, Kentala ES, Helenius H, Pullisaar O, Hartiala J, Scheinin H. The breakdown of fractal heart rate dynamics predicts prolonged postoperative myocardial ischemia. Anesth Analg. 2004; 98:1239-44.
- 5) Stein PK, Barzilay JI, Chaves PH, Mistretta SQ, Domitrovich PP, Gottdiener JS, Rich MW, Kleiger RE. Novel measures of heart rate variability predict cardiovascular mortality in older adults independent of traditional cardiovascular risk factors: the Cardiovascular Health Study (CHS). J Cardiovasc Electrophysiol. 2008 Nov;19(11):1169-74.
- 6) Stein PK, Domitrovich PP, Hui N, Rautaharju P, Gottdiener J. Sometimes higher heart rate variability is not better heart rate variability: results of graphical and non-linear analyses. J. Cardiovasc Electrophysiol . 2005 ; 16 : 954 – 959
- 7) Simula S, Vanninen E, Lehto S, Hedman A, Pajunen P, Syväne M, Hartikainen J. Heart rate variability associates with asymptomatic coronary atherosclerosis. Clin Auton Res. 2013 Nov 30.

