

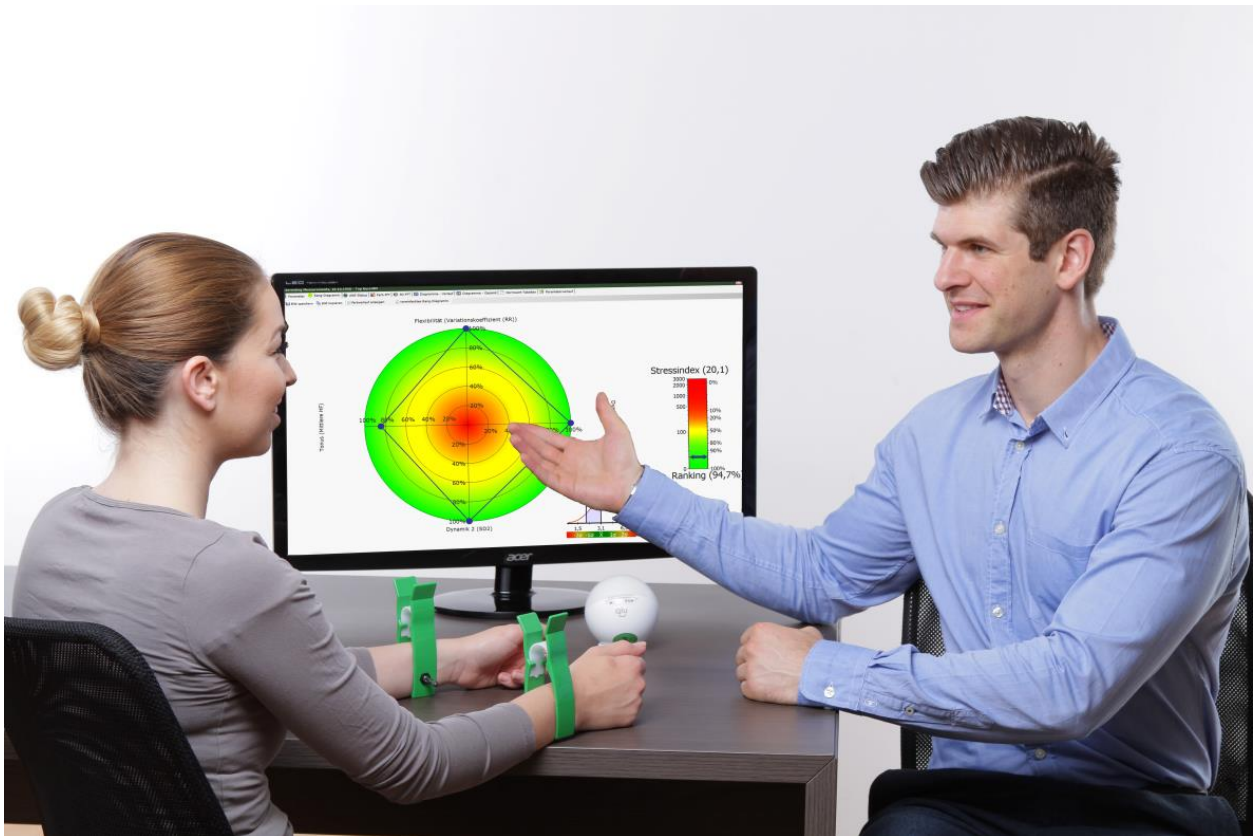
# Dokumentation

zum



## Teil 1:

**Grundlagen, RSA-Test, Kurzzeit-HRV,  
HRV-Biofeedback/Qiu, Parameter,  
FAQ, HRV und Atmung**



**BioSign**  
SCIENCE FOR A BETTER LIFE

BioSign GmbH  
Brunnenstr. 21  
D-85570 Ottenhofen  
[www.biosign.de](http://www.biosign.de)  
[info@biosign.de](mailto:info@biosign.de)

# Inhalt

<b>Vorwort.....</b>	<b>7</b>
Online-Schulung/Support über TeamViewer .....	7
Fragen zur Interpretation.....	7
Stand der Dokumentation .....	7
Newsletter .....	7
Infomaterial für Probanden .....	7
Unser HRV-Konzept.....	7
<b>Allgemeines .....</b>	<b>8</b>
Installation der HRV-Scanner Software (HRV-Scanner und HRV-Scanner lite) .....	8
Deinstallation der Software .....	8
Lizenzierung der Software.....	8
Update-Lizenz .....	8
Anschluss der Hardware .....	8
Software starten.....	8
Untersucher aufnehmen .....	8
Proband aufnehmen .....	9
Das Hauptfenster.....	9
Statusanzeige im Hauptfenster .....	9
<b>Mögliche Systemkonfigurationen .....</b>	<b>9</b>
Netzwerkbetrieb .....	9
GDT Anbindung .....	9
Sprachwahl .....	9
Eigenes Logo und Angaben in den Berichten .....	9
<b>Weitere wichtige Funktionen .....</b>	<b>10</b>
Datensicherung .....	10
Import/Export .....	10
<b>FAQ - häufige Probleme und Fragen.....</b>	<b>10</b>
Ich habe eine Messung aus Versehen für den falschen Probanden gemacht.....	10
Ich habe mein Zugangspasswort (Untersucheranmeldung) vergessen .....	10
Beim Start der HRV-Scanner Software werde ich zur Eingabe eines Lizenz-Codes aufgefordert ..	10
Die Hardware ist mit dem PC verbunden, jedoch ist der Status bei der Messung "USB offline" ..	10
Meine HRV-Scanner Hardware zeigt kein EKG mehr .....	10
<b>Signalerfassung mit der HRV-Scanner Hardware bei der Messung.....</b>	<b>11</b>
<b>Hinweise zur Verbesserung der Datenqualität bei der Auswertung.....</b>	<b>15</b>
Schritt 1: Visuelle Kontrolle der Herzfrequenzkurve und des Biosignals.....	15
Schritt 2: Optimale automatische Bestimmung des Herzschlags im Biosignal .....	16
Schritt 3: manuelle Nachbearbeitung im Biosignal.....	17
Schritt 4: Grafisches Filtern.....	21
Schritt 5: Einstellen der Plausibilitätskontrolle und der Herzfrequenzfilter.....	23
<b>Grenzen der HRV-Bestimmung .....</b>	<b>25</b>
Beispiel 1: viele Extrasystolen (orange markiert) .....	25
Beispiel 2: Vorhofflimmern.....	26
<b>Das BioSign HRV-Konzept: "Tonus, Flexibilität, Dynamik" .....</b>	<b>27</b>
Tonus.....	28

Flexibilität.....	28
Dynamik.....	29
<b>Das Rang-Diagramm verstehen.....</b>	<b>30</b>
<b>Basis HRV-Messungen.....</b>	<b>33</b>
<b>Die Kurzzeit-HRV Messung .....</b>	<b>33</b>
<b>Zielparameter im Rang-Diagramm der Kurzzeit-HRV Messung.....</b>	<b>36</b>
Flexibilität (Variationskoeffizient RR) .....	36
Tonus (mittlere HF).....	37
Dynamik 1 (SD1).....	37
Dynamik 2 (SD2).....	37
SD2/SD1 Quotient .....	38
Stressindex.....	38
<b>Atmung und HRV.....</b>	<b>39</b>
Einfluss der Atmung auf die Ergebnisse der Kurzeit-HRV .....	39
Unterscheidung Sympathikus - Parasympathikus in der Kurzzeit-HRV.....	40
Fazit .....	41
<b>Methoden zur Messung der Atmung .....</b>	<b>42</b>
EDR - ECG Derived Respiration (HRV-Scanner standard und HRV-Scanner lite) .....	42
Mechanische Bestimmung der Atmung - Atemgurt (HRV-Scanner plus) .....	42
<b>Die RSA-Messung .....</b>	<b>44</b>
<b>Zielparameter im Rang-Diagramm der RSA-Messung.....</b>	<b>47</b>
Flexibilität.....	47
Tonus.....	48
Dynamik.....	48
<b>Warum zwei Messungen als Basis HRV .....</b>	<b>49</b>
<b>Was hat einen negativen Einfluss auf die HRV .....</b>	<b>50</b>
Arzneistoffe mit anticholinerg Hauptwirkung.....	50
Genußmittel/Drogen: .....	50
Chron. Krankheiten .....	50
<b>Weitere Diagramme in der Auswertung .....</b>	<b>51</b>
Poincaré Diagramm.....	51
Histogramm .....	52
Spektralanalyse.....	53
Farb-FFT.....	53
ANS-Status .....	55
<b>Parameterverlauf/Vormessungen .....</b>	<b>56</b>
Anzahl der Vormessungen im HRV-Scanner lite.....	57
<b>Vormessungen im HRV-Scanner standard .....</b>	<b>57</b>
Rang-Diagramm .....	57
Biofeedback-Verlauf .....	58
Veränderung .....	59
Parameter.....	59
<b>Parameterliste .....</b>	<b>60</b>
Herzschläge berechnet aus [] .....	60
Samplingfrequenz [Hz] .....	60
Messungsdauer [hh:mm:ss].....	60
Anzahl Herzschläge [n].....	60

Artefakt Ratio [%] .....	60
Befindlichkeit [%] .....	60
RSA-Compliance [%] .....	60
Messungsqualität [%] .....	60
Biofeedback-Qualität [%] .....	60
Probanden-Alter [Jahre] .....	60
Probanden-Größe [cm] .....	60
Probanden-Gewicht [kg] (initial) .....	60
Probanden-Geschlecht .....	60
Untersucher .....	61
Mittlere HF [1/min.] .....	61
Standardabweichung (St.Dev.) [ms] .....	61
Variationskoeffizient (HF) [%] .....	61
Mittlerer RR-Abstand [ms] .....	61
SDNN [ms] .....	61
PNN50 [%] .....	61
PNN20 [%] .....	61
Variationskoeffizient (RR) .....	61
RMSSD [ms] .....	62
SD1 [ms] .....	62
SD2 [ms] .....	62
SD2/SD1-Quotient .....	62
Normalisierter SD2/SD1-Quotient [ $\sigma$ ] .....	63
Stressindex [Pkt.] .....	65
HF-Band [Hz] .....	66
LF-Band [Hz] .....	66
VLF-Band [Hz] .....	66
Power HF-Band [ $\text{ms}^2$ ] .....	66
Power LF-Band [ $\text{ms}^2$ ] .....	66
Power VLF-Band [ $\text{ms}^2$ ] .....	66
Power Total [ $\text{ms}^2$ ] .....	66
Rel. Power HF-Band [%] .....	66
Rel. Power LF-Band [%] .....	66
Rel. Power VLF-Band [%] .....	66
LF/HF Ratio .....	66
Rhythmisierungsgrad [] .....	66
E-I [1/min.] .....	67
E/I [] .....	67
MCR [] .....	67
Ewing 30:15 Wert [] .....	67
Biologisches HRV-Alter [Jahre] .....	67
Valsalva-Ratio .....	68
Alpha 1 [] .....	68
Parameter der Atmung .....	69
Einfluss Atmung [%] .....	69

Atemfrequenz [1min.] .....	69
Atemstress [] .....	69
Atemvariabilität [] .....	69
Pulswellenlatenz [ms].....	69
Guzik-Index .....	69
Parameter Guzik-Index.....	70
<b>HRV-Biofeedback .....</b>	<b>72</b>
HRV-Biofeedback .....	72
Online Spektrum.....	73
Rhythmisierung .....	73
<b>Grundlagen des HRV-Biofeedbacks .....</b>	<b>74</b>
Vom Chaos zur Ordnung .....	74
Atmung ist der Schlüssel zur Kohärenz .....	74
Wie Sie erfahren, ob Atmung und Herzschlag im Takt (rhythmisiert) sind .....	75
Wie Sie die Kohärenz durch Biofeedback verbessern .....	75
Was tun, wenn die Kohärenz immer niedrig ist?.....	75
Was bedeutet der Ballon in der Mitte des Bildschirms?.....	76
Wie oft und wie lange soll man mit dem HRV-Biofeedback üben? .....	76
<b>Wichtige Einstellungen im HRV-Biofeedback.....</b>	<b>77</b>
Atemrhythmus .....	77
Übungsdauer.....	77
Vorgabewert Rhythmisierungsgrad (Schwierigkeitsgrad der Übung) .....	77
<b>Qiu und HRV-Scanner.....</b>	<b>78</b>
Der Qiu .....	78
Qiu-Konfigurator.....	78
Qiu mit dem PC verbinden .....	78
Zuordnen eines Qius zu einem Probanden .....	78
Konfiguration der Atemanzeige am Qiu .....	79
Festlegen der Übungsschwierigkeit.....	79
Festlegen der Übungsdauer .....	79
Konfiguration der Helligkeit des Biofeedbacks.....	79
Weitere Zusatzfunktionen .....	79
Datum/Uhrzeit des Qiu stellen .....	79
Qiu-Messungsspeicher löschen .....	79
Qiu Signal Check .....	80
Ohrclip als Alternative .....	80
Qiu Messungen.....	80
Festlegen des Übungsplans nach Wochentag und Tageszeit.....	80
Verwaltung der Qiu-Messungen .....	80
Nachbearbeiten der Messung.....	81
Übersicht über den Übungserfolg mit statistischer Auswertung .....	81
Statistische Auswertung: .....	81
Filtereinstellungen .....	81
Übersicht über die Übungs-Compliance, Compliance-Index .....	82
HRV-Monitoring mit dem Qiu .....	83
Probanden in den Qiu einweisen .....	83

Wie schaltet man den Qiu ein/aus? .....	83
Wie kann ich den Setting-Modus verlassen, wenn dieser versehentlich aktiviert wurde? .....	83
Welche Halteposition ist geeignet? .....	83
Welche Sensorposition ist geeignet? .....	83
Wie erkenne ich eine ungeeignete Sensorposition? .....	83
Das optische Biofeedback bleibt permanent auf rot bzw. grün, egal was ich machte? .....	84
Was bedeutet das wandernde blaue LED-Licht am Äquator des Qiu? .....	84
Der Qiu leuchtet beim Einschalten hell auf, warum? .....	84
Im Anschluss an das helle Aufleuchten beim Einschalten blinkt der Qiu einmal rot auf? .....	84
Im Anschluss an das helle Aufleuchten beim Einschalten blinkt der Qiu dreimal rot? .....	84
Muss Uhrzeit und Datum im Qiu nach Wechseln der Batterie neu gestellt werden? .....	84
Wie kann der Proband die Batterien wechseln? .....	84
<b>Möglichkeiten der EKG-Ableitung .....</b>	<b>85</b>
Ableitung eines 1-Kanal EKG mit Klammern .....	85
Ableitung eines 1-Kanal EKG mit Klebeelektroden .....	86
Ableitung eines 3-Kanal EKG (nur HRV-Scanner Hardware plus) .....	86
<b>Technisches Handbuch HRV-Scanner Hardware standard .....</b>	<b>87</b>
Wartung und Service .....	87
Gewährleistung .....	87
Technische Details .....	87
PC-Hardware-Voraussetzungen .....	88
Urheberrecht .....	88
Haftung .....	88
Gewährleistung .....	88
<b>Anhang - Literatur .....</b>	<b>88</b>
Literatur zum Parameter SD2/SD1 .....	88

## **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 wider 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](http://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](mailto: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](http://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](http://www.biosign)) herunter. Das Setup finden Sie unter: **HRV-Scanner** -> **Downloads** ->

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

## 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

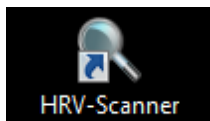
Verbinden Sie die HRV-Scanner Hardware mit dem USB-Kabel mit Ihrem PC. Die HRV-Scanner Software sollte nicht gestartet sein. Warten Sie, bis die Treiber von Windows installiert sind und Windows meldet, dass das Gerät verwendet werden kann.

## Software starten

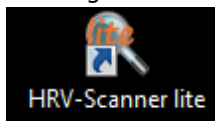
Stecken Sie zuerst Ihren HRV-Scanner Dongle in einen freien USB-Port. Falls Sie keinen freien USB-Port mehr haben, empfehlen wir einen USB-Hub zu verwenden (im Lieferumfang des HRV-Scanner enthalten).

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  
Einstieger-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

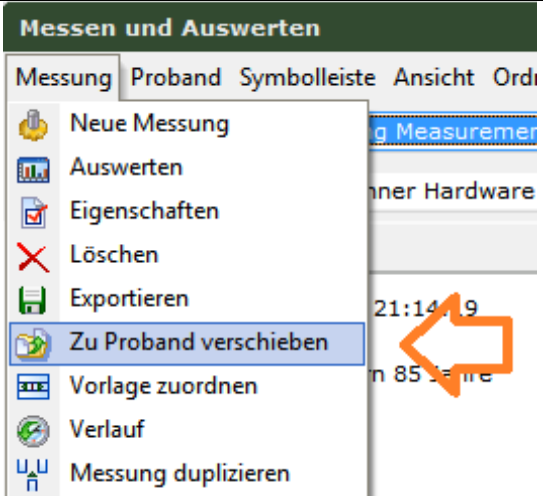
Wir empfehlen regelmäßig den Datenbestand zu sichern. Dazu gibt es eine eigene Funktion in der HRV-Scanner Software. **Tipp:** Weiterhin empfehlen wir von Zeit zu Zeit das gesamte HRV-Scanner Verzeichnis incl. aller Unterverzeichnisse auf einen externen Datenträger zu sichern.

### 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>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>
--	---

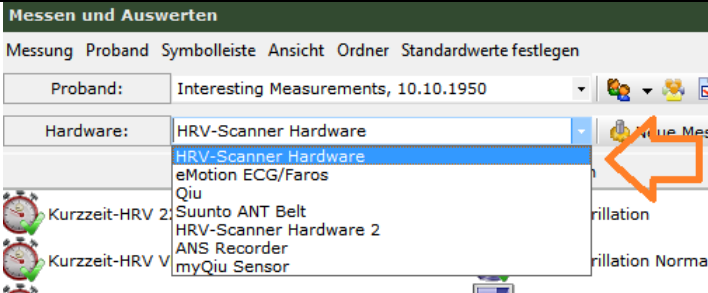
### Ich habe mein Zugangspasswort (Untersucheranmeldung) vergessen

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>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

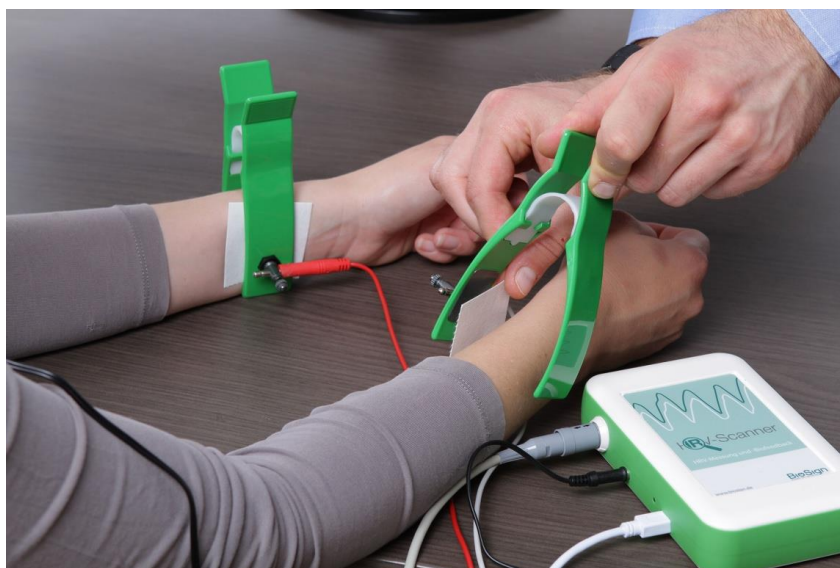
Die HRV-Scanner Software ist mit mehreren Endgeräten zur Signalerfassung kompatibel. Hier finden Geräte über USB und Bluetooth Anwendung. In diesem Kapitel wird die Erfassung eines 1-Kanal EKG und der Pulswelle mit der HRV-Scanner Hardware erklärt.

**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!



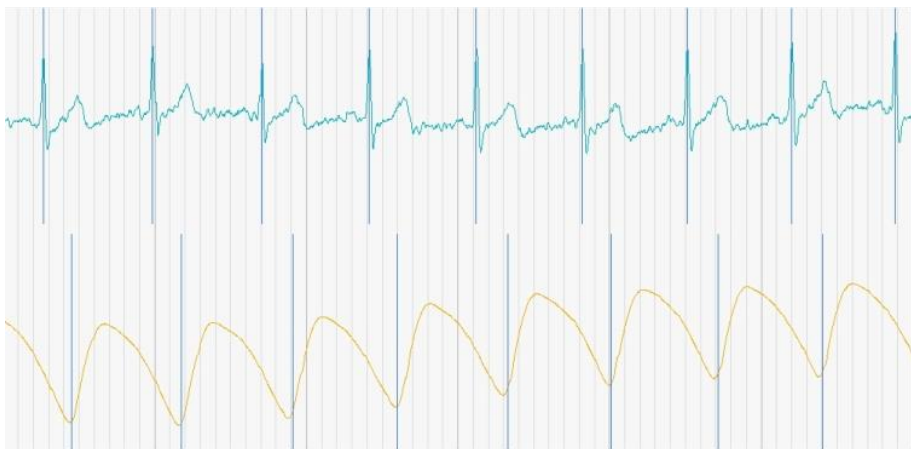
Legen Sie dem Probanden die EKG-Klammern an. Abweichend vom Bild sollte in den meisten Fällen das rote Kabel an der rechten Hand zum Liegen kommen. Entscheidend ist, dass die R-Zacke im EKG nach oben zeigt. Zeigt die Zacke nach unten, sollten die Klammern rechts/links getauscht werden. Das untergelegte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

**Hinweis:** Falls Sie mit Ableitung I (rechtes Handgelenk gegen linkes Handgelenk) keine ausreichend große R-Zacke bekommen, sollten Sie Ableitung III (rechtes Handgelenk gegen linkes Fußgelenk) ausprobieren. Dazu

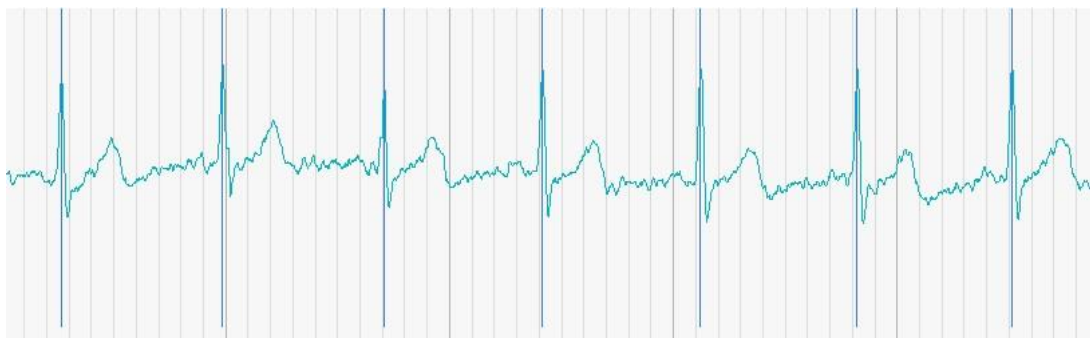
legen Sie die Klammer vom linken Handgelenk an das linke Fußgelenk. Eine der beiden Ableitung bringt in den meisten Fällen eine große R-Zacke und erspart damit die Nachbearbeitung. (siehe auch Kapitel: **Möglichkeiten der EKG-Ableitung**)



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.

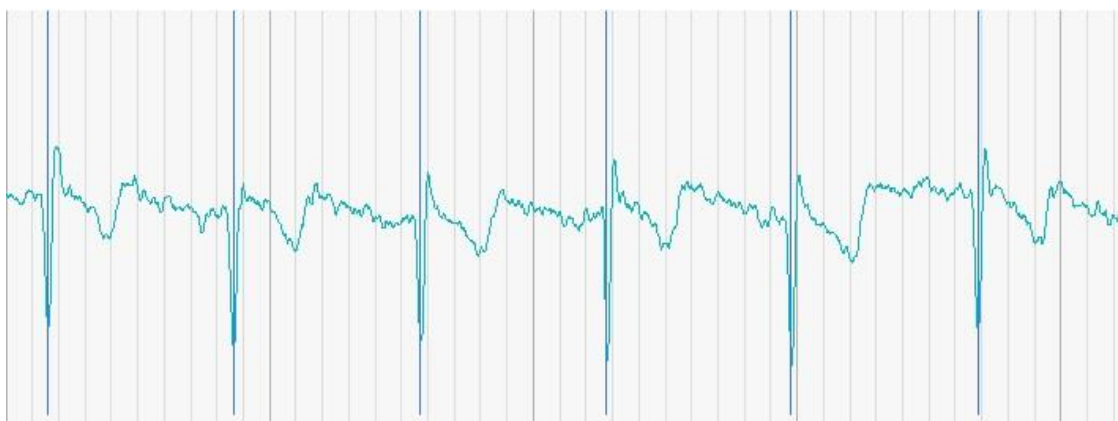


Hier ein Beispiel für ein optimale EKG Signal. Die spitzen R-Zacken sind deutlich zu erkennen und nach oben gerichtet. Die Grundlinie des EKG ist wenig verrauscht und die R-Zacken heben sich in der Größe klar vom

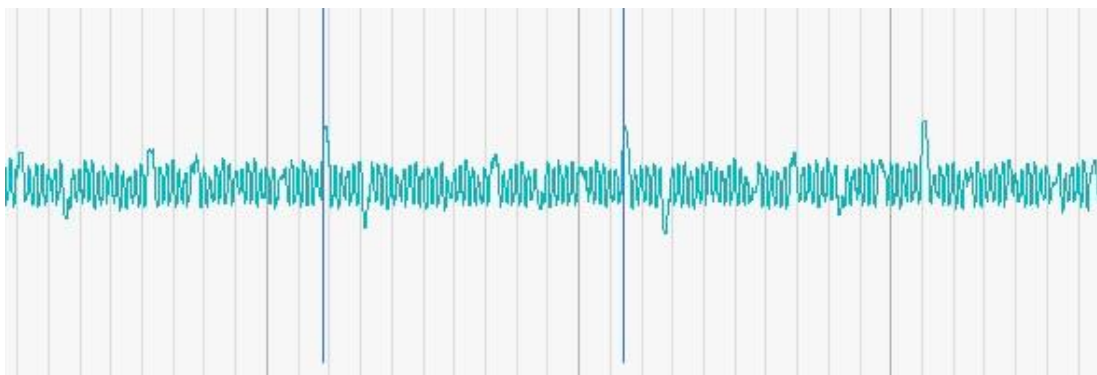
Rest des Signals ab. Der senkrechte Strich in den R-Zacken zeigt an, dass die Software hier einen Herzschlag erkannt und markiert hat.

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.

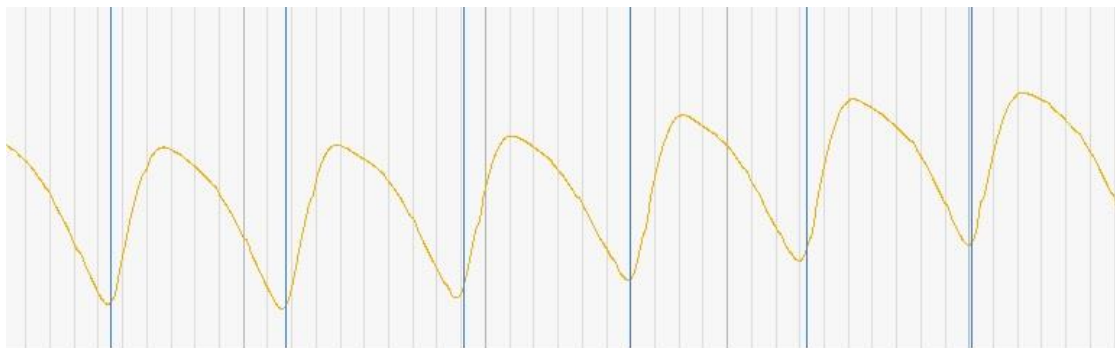
Daraus folgt, dass man für eine HRV-Messungen (RSA-Test, Kurzzeit-HRV) besser das EKG (und evtl. zusätzlich die Pulswelle) verwenden sollte. Für das HRV-Biofeedback ist die Genauigkeit der Pulswelle alleine ausreichend. Auch wegen der einfacheren Anwendung in der Praxis kann man die Pulswelle bedenkenlos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



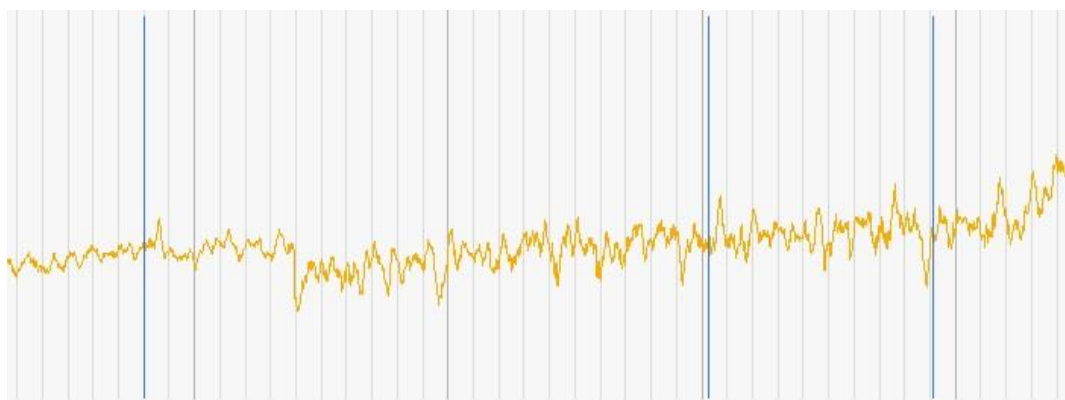
Hier ein Beispiel für ein nicht optimales EKG-Signal. Die hohen und spitzen R-Zacken sind zwar deutlich zu erkennen jedoch nach unten gerichtet. Man spricht hier von einem verpolten EKG. Dies kann sehr einfach durch Vertauschen (links gegen rechts) der Elektroden korrigiert werden.



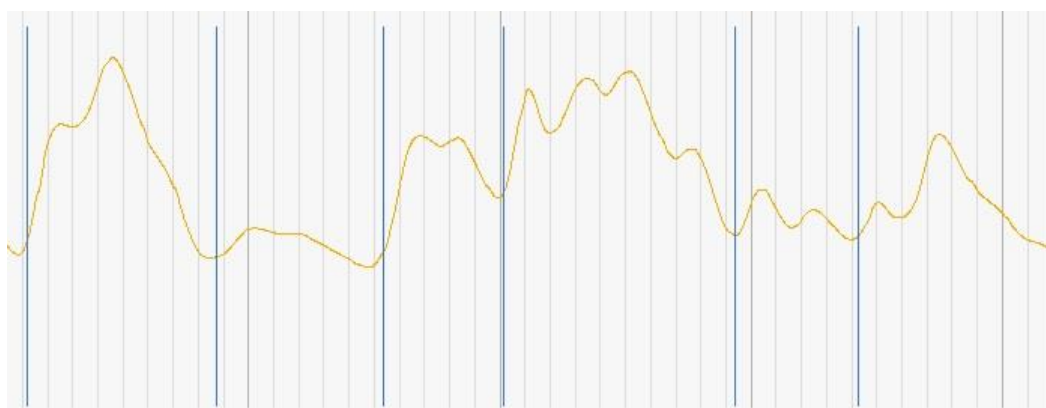
Hier ein Beispiel für ein unbrauchbares EKG-Signal. Die R-Zacken sind nicht mehr deutlich zu erkennen und in ihrer Höhe nur unwesentlich größer als das Grundrauschen. Man spricht hier von einem verrauschten EKG. Ursache ist entweder eine Störquelle (z.B. Leuchtstoffröhre, defektes Ladegerät an einem 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, bzw. Kontaktgel 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 Ohr läppchen oder am anderen Ohr läppchen positioniert werden. Es kann auch hilfreich sein, das Ohr läppchen 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

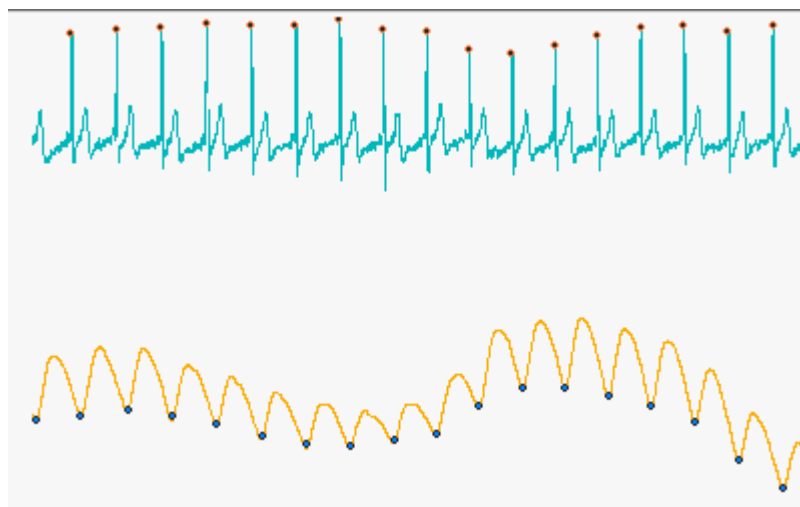
Die Registrierung der Herzratenvariabilität (HRV) bietet wertvolle Informationen über den Zustand der autonomen Regulation. Voraussetzung ist allerdings eine sehr hohe Qualität der Messung, sprich ein sehr sauberes Erfassen der Herzfrequenzkurve. Es gibt kaum eine medizinische Methode, die so empfindlich 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:

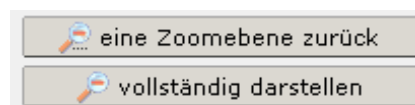
- **Schritt 1: Visuelle Kontrolle der Herzfrequenzkurve und des Biosignals**
- **Schritt 2: Optimale automatische Bestimmung des Herzschlags im Biosignal**
- **Schritt 3: manuelle Nachbearbeitung im Biosignal**
- **Schritt 4: Grafisches Filtern**
- **Schritt 5: Einstellen der Plausibilitätskontrolle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

### Schritt 1: Visuelle Kontrolle der Herzfrequenzkurve und des Biosignals

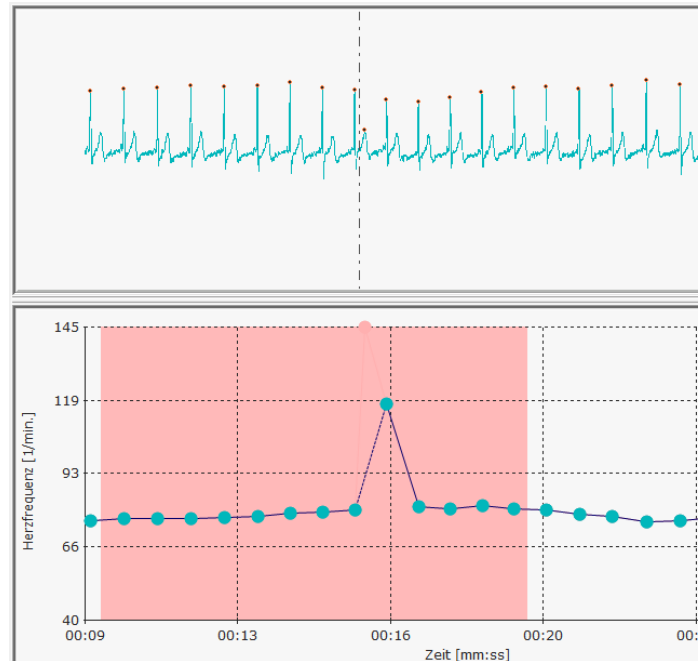
Sowohl im EKG, als auch im Pulswellensignal führt der Herzschlag zu charakteristischen Signalschwankungen, die eine genaue Zeitbestimmung der Herzaktivität erlauben. Beim EKG ist es die R-Zacke, in der Pulswelle der Beginn des steilen Anstiegs



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:

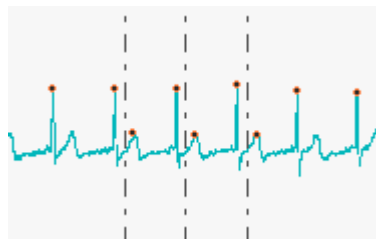


Falsch gesetzte Markierungen führen zu hohen Sprüngen in der Herzfrequenzkurve, die sich in der Regel deutlich vom übrigen Kurvenverlauf abheben (siehe Bild).

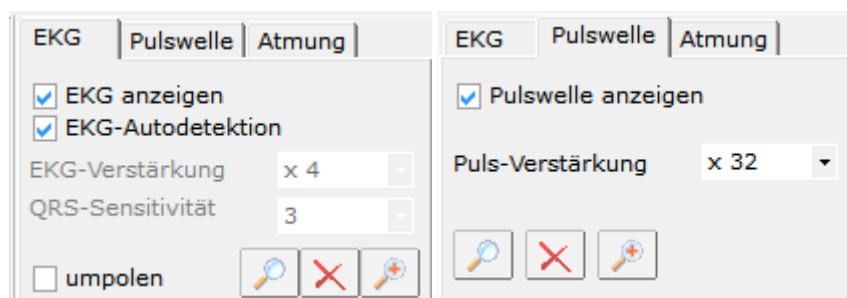


## Schritt 2: Optimale automatische Bestimmung des Herzschlags im Biosignal

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.

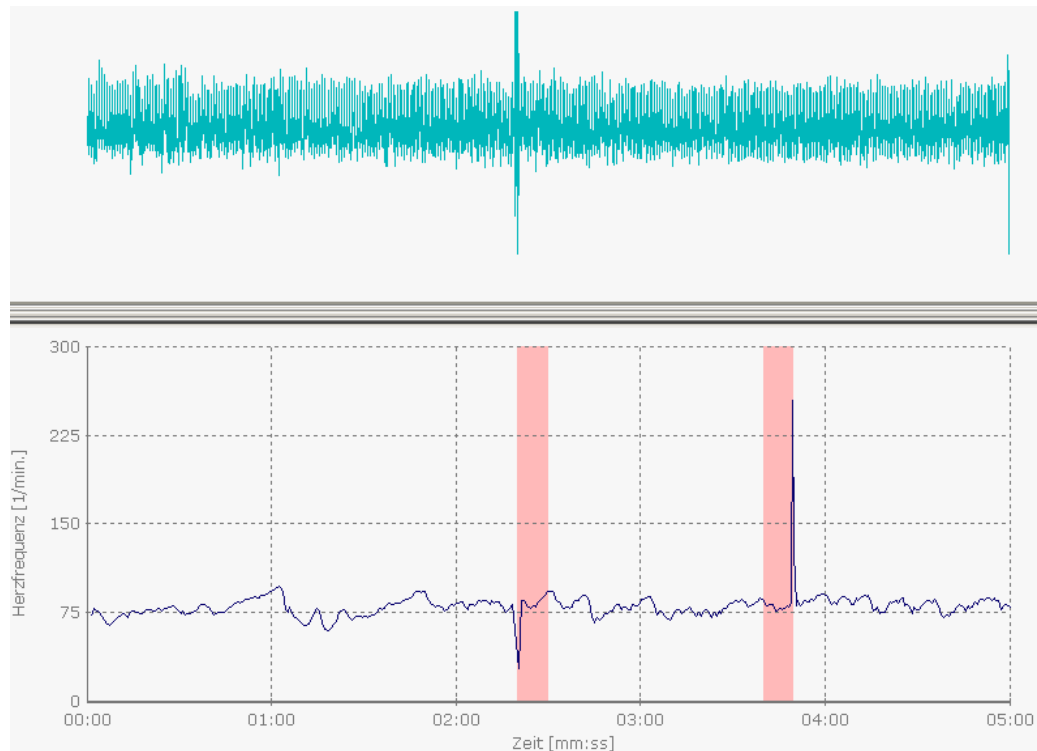


Durch drücken des Schalters mit dem Lupensymbol wird eine komplette Neudetektion der Herzschläge mit den veränderten Einstellungen durchgeführt.

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.

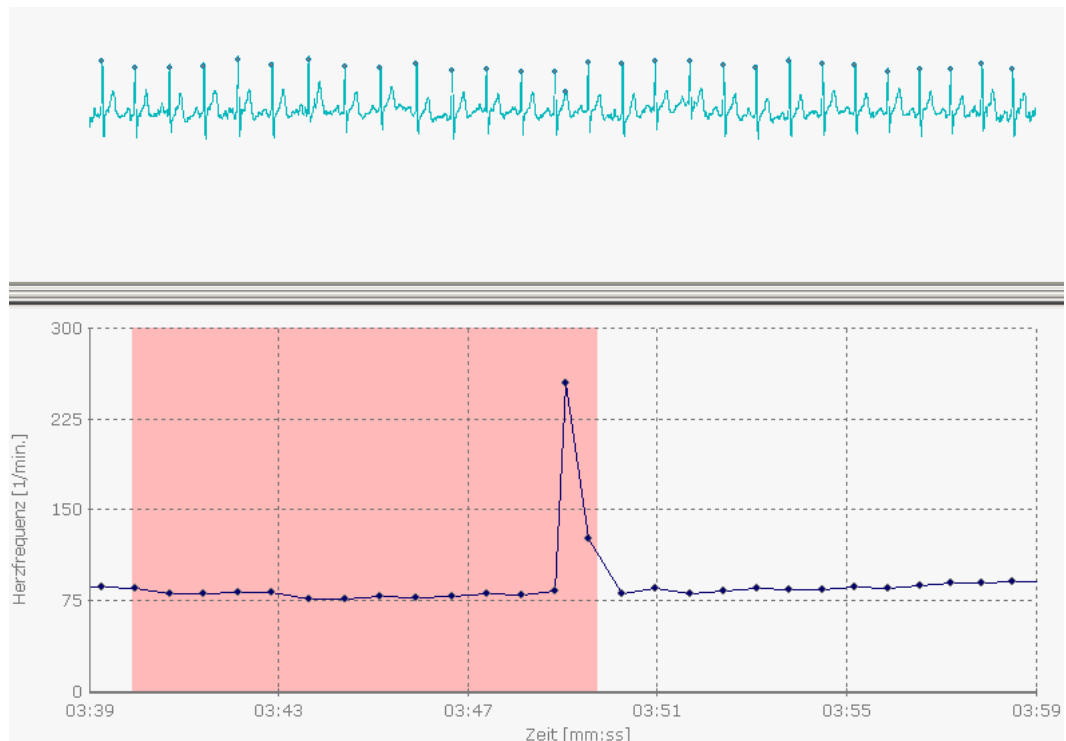
### Schritt 3: manuelle Nachbearbeitung im Biosignal

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.

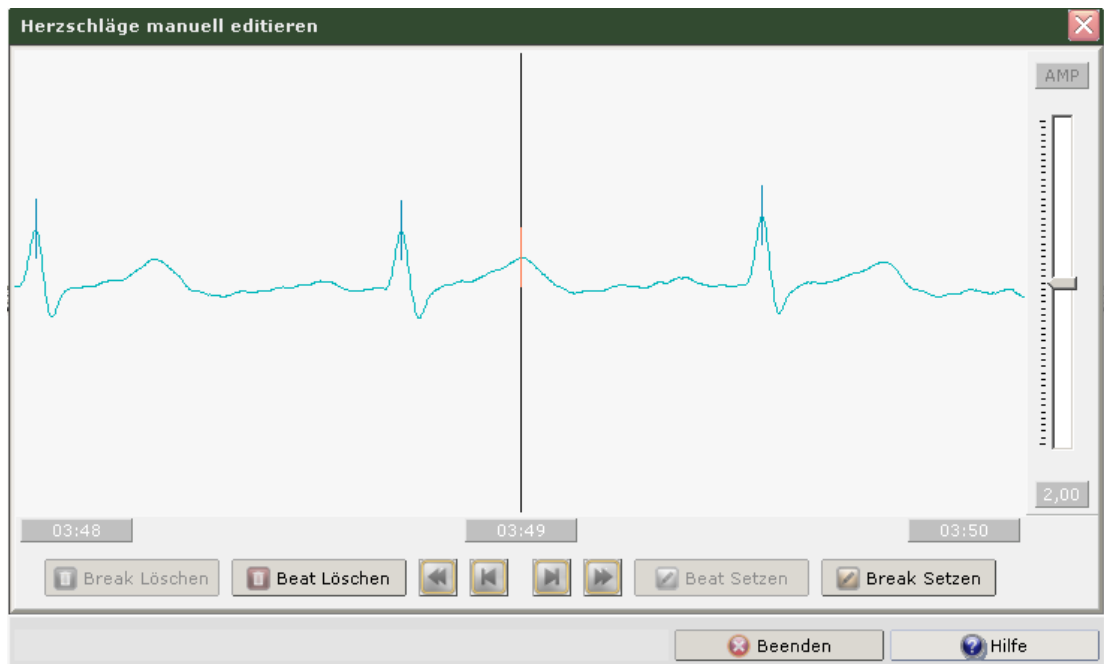
Durch Zoomen mit der linken Maustaste wird das Artefakt vergrößert:



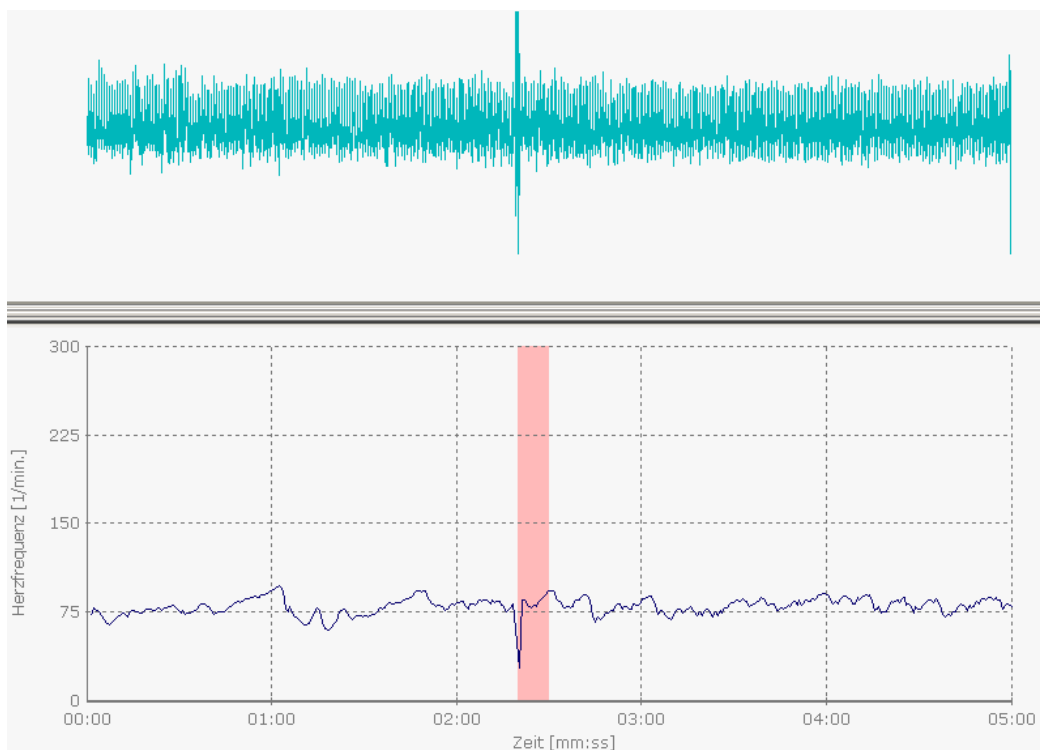
Durch Doppelklicken auf die Artefaktstelle im oberen Biosignaldiagramm oder im unteren Herzfrequenzdiagramm wird der Biosignaleditor gestartet.



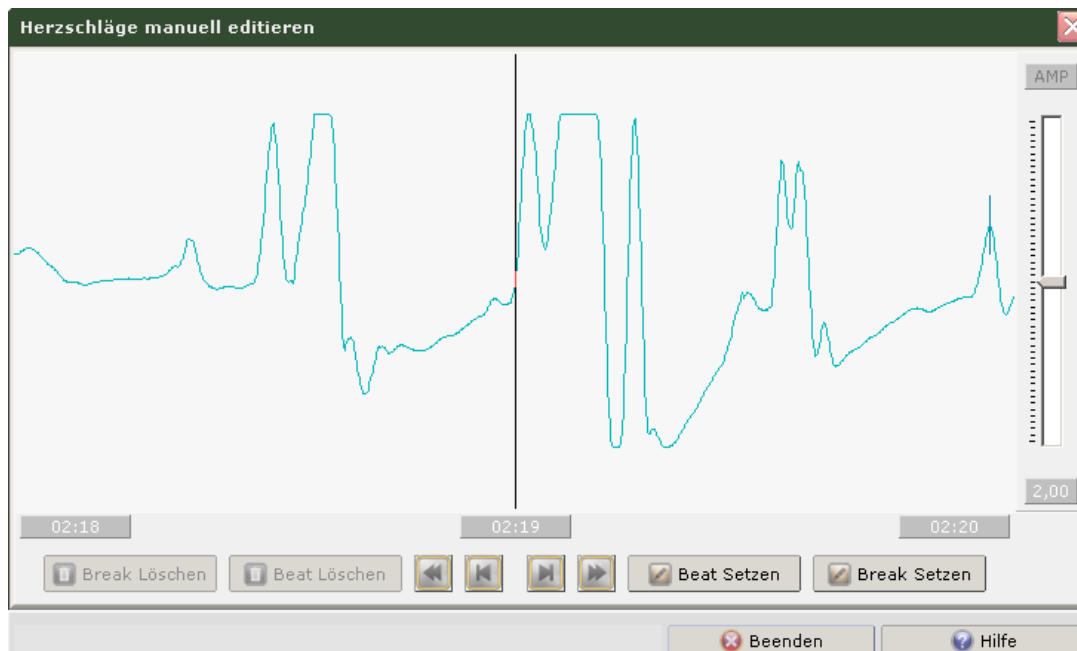
Im Biosignaleditor können Sie Markierungen manuell setzen oder löschen. Bewegen Sie dazu mit den Laufstasten die gewünschte Stelle in die Mitte des Fensters (vertikale Linie). Im obigen Beispiel wurde die T-Welle fälschlicherweise als R-Zacke markiert. Zum Löschen dieser Markierung bringen Sie diese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



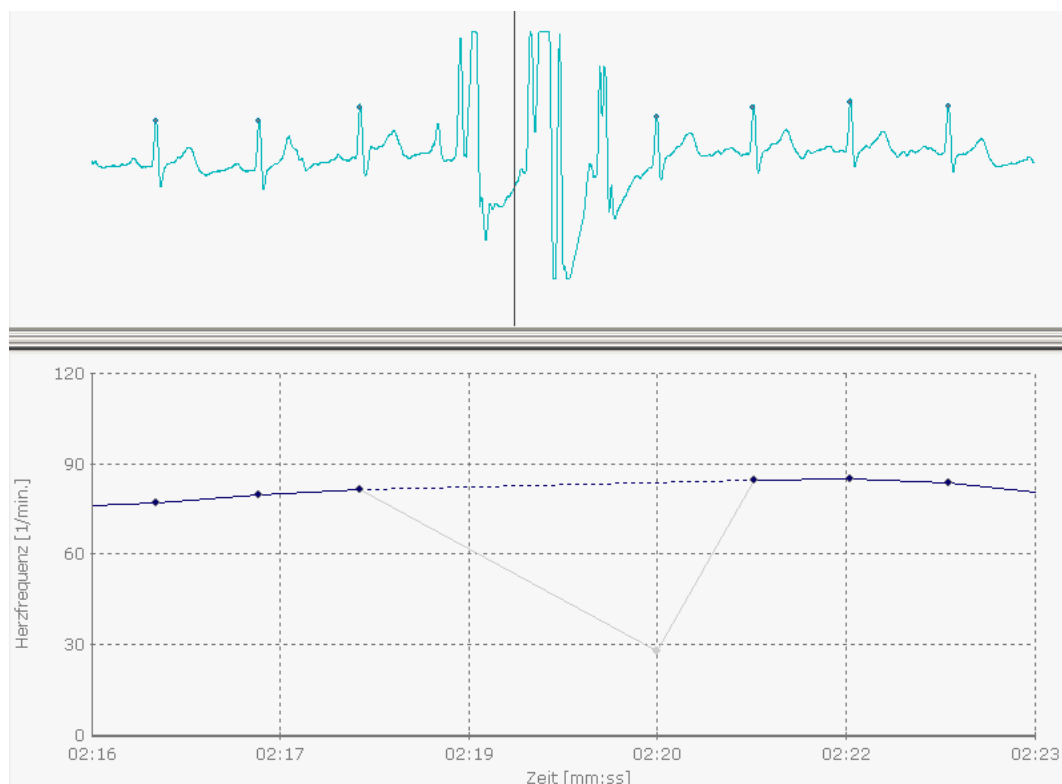
Die "Beat löschen" -Taste wird dadurch freigeschaltet. Durch Drücken der Taste wird die Markierung gelöscht und das erste Artefakt wurde behoben.



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



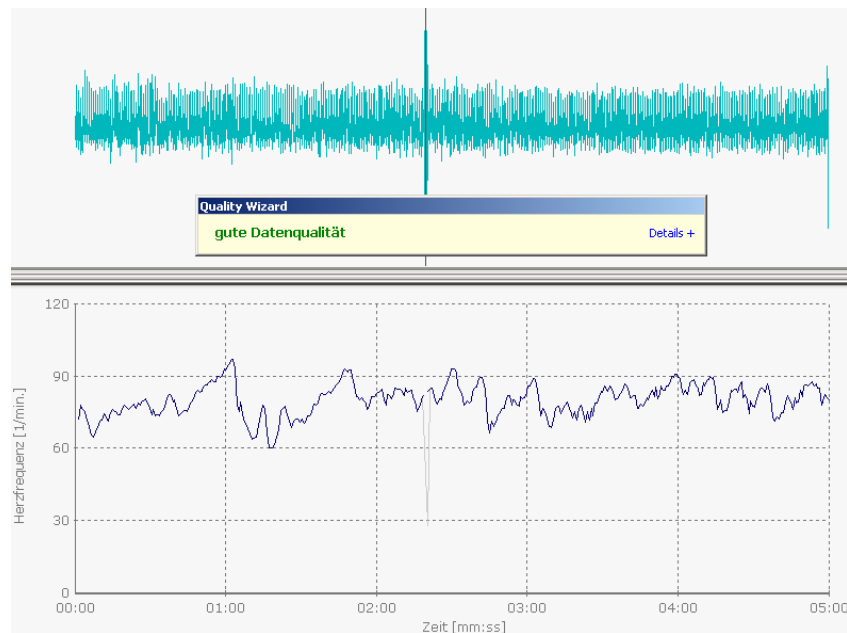
Im Editor sehen wir über mehrere Sekunden starke Signalstörungen ohne Markierungen. R-Zacken sind praktisch nicht zu erkennen. Dies erklärt auch den plötzlichen Abfall der Herzfrequenz im unteren Diagramm: Die Zeit zwischen der letzten markierten R-Zacke vor der Signalstörung und der ersten markierten 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.

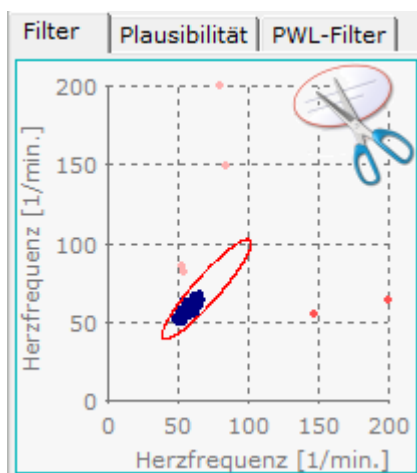
Damit sind in diesem Beispiel alle Datenprobleme behoben und die Berechnung von validen HRV-Parametern könnte jetzt erfolgen.



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.

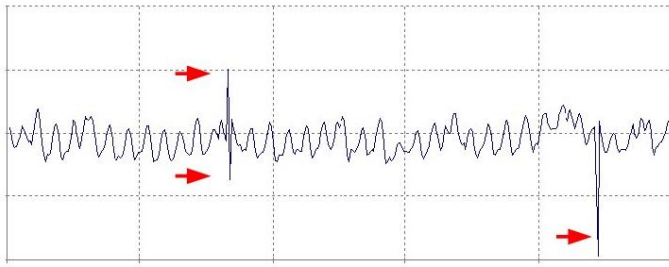
#### Schritt 4: Grafisches Filtern

Grafischer Filter



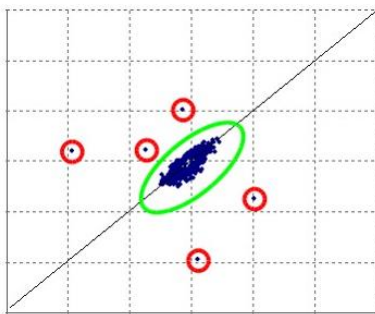
Eine HRV-Analyse sollte nur Herzschläge einschließen, die unter der Kontrolle des vegetativen Nervensystems stehen. Herzschläge, die in Folge von Rhythmusstörungen auftreten, verfälschen die HRV und führen in der Regel zu überhöhten HRV-Werten, was fälschlicherweise als eine gut funktionierende neurovegetative 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:



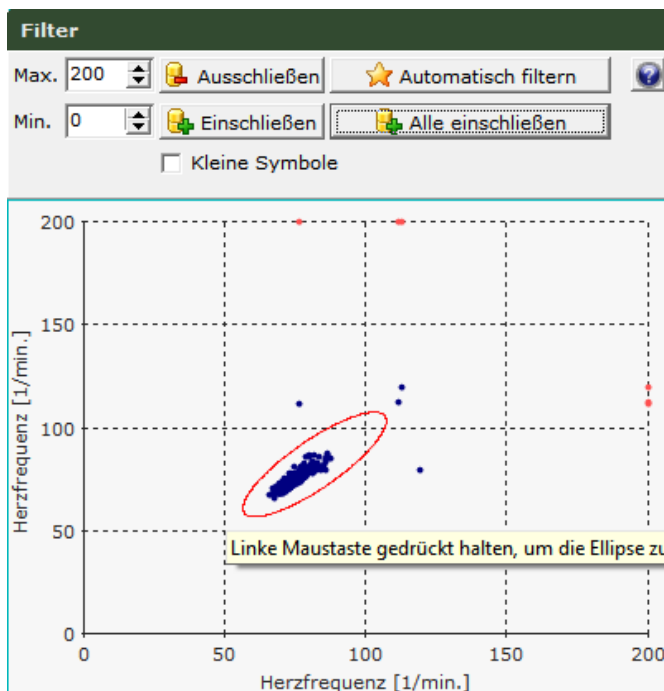
Im Herzfrequenzverlauf sind einige irreguläre Herzschläge aufgetreten, sogenannte Extra-systolen, erkennbar an den plötzlichen Sprüngen der Herzfrequenz (rote Markierung).

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.

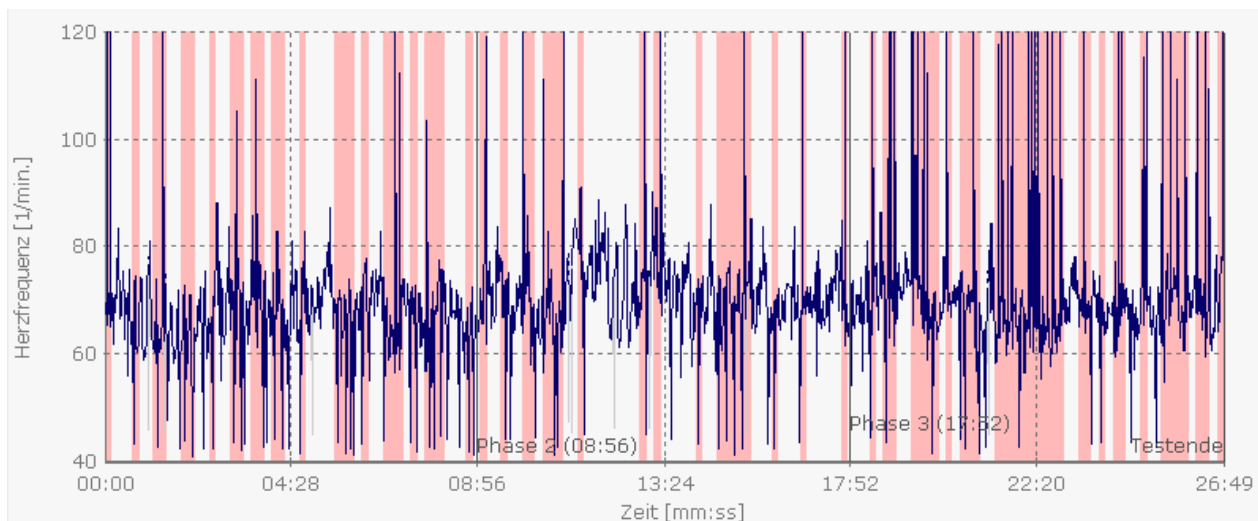
klicken Sie mit der Maus auf den „Ausschließen“-Schalter um alle Herzschläge außerhalb der Ellipse zu entfernen.

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.



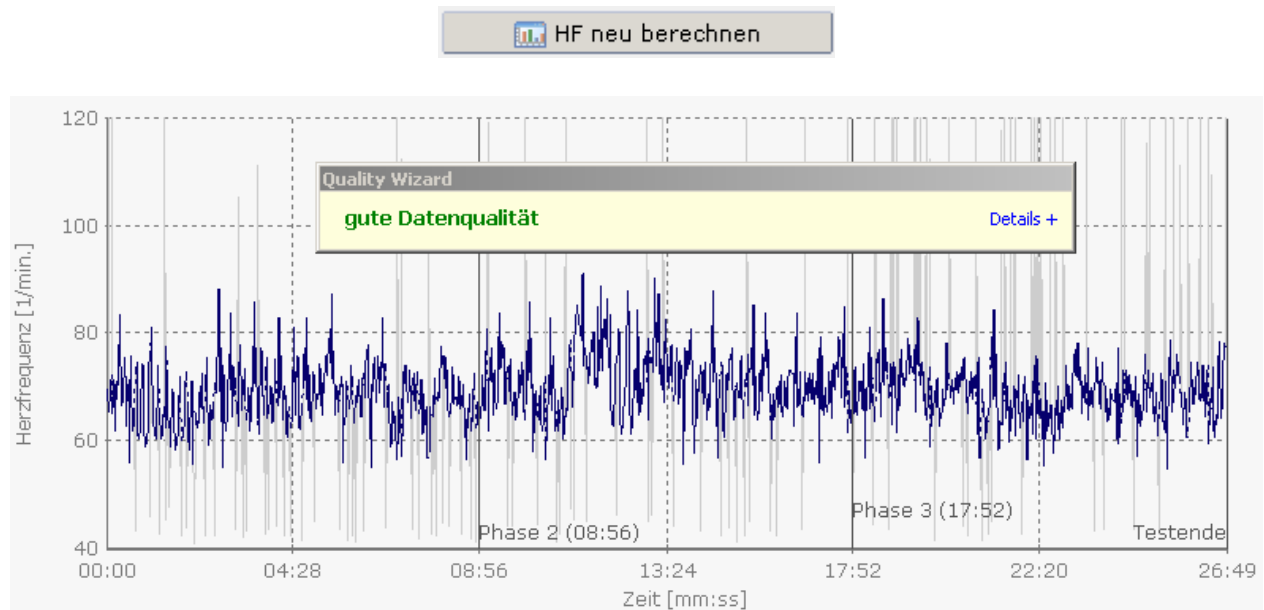
Da es sich hier um einen Import einer Polarmessung handelt, gibt es auch kein Biosignal, in dem man die automatische Herzschlagdetektion noch optimieren könnte (wie in Schritt 1 beschrieben). Bei verwackelten Messungen mit schlechter Signalqualität kann man ebenfalls solche Herzfrequenzverläufe erhalten,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

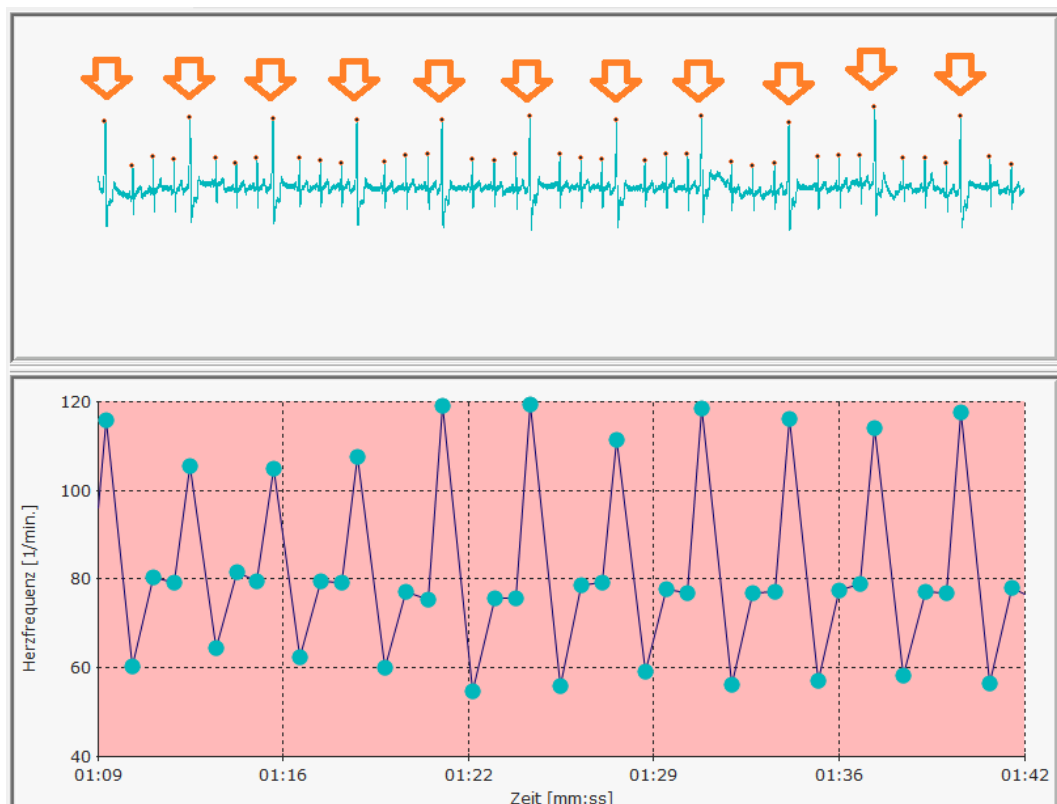
Hinweis: Bleiben trotz der Plausibilitätskontrolle vereinzelt Artefakte stehen, können diese manuell korrigiert werden (siehe Schritt 2).



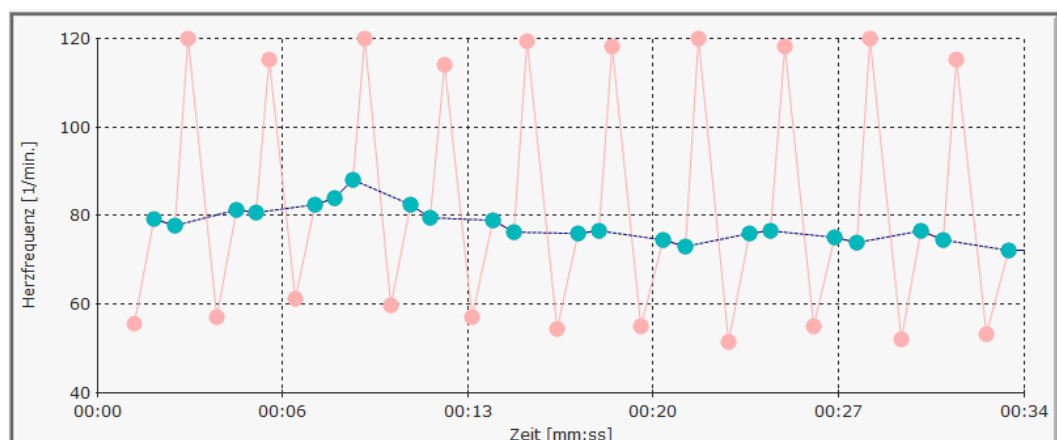
## Grenzen der HRV-Bestimmung

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)

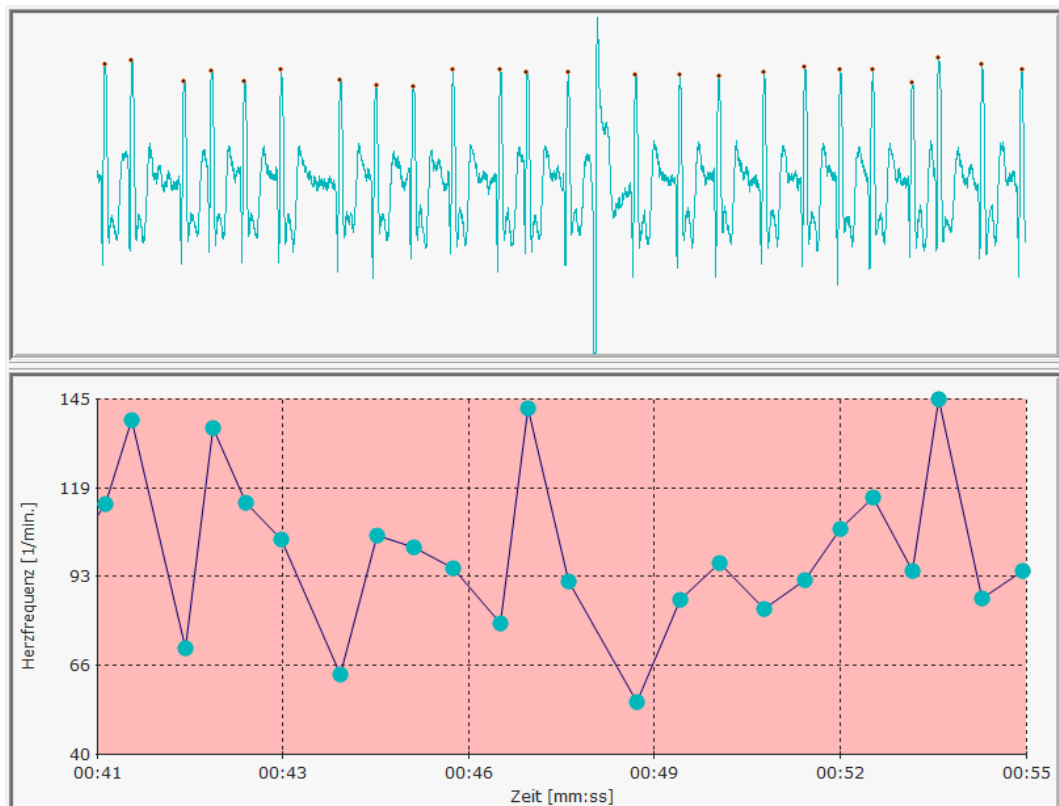


Man sieht hier deutlich die hohe Variabilität in der Herzfrequenzkurve durch die fast schon regelmäßig auftretenden Extrasystolen (3 normale QRS-Komplexe als Zeichen einer Erregung aus dem Sinusknoten, dann immer eine Extrasystole mit kompensatorischer Pause danach).

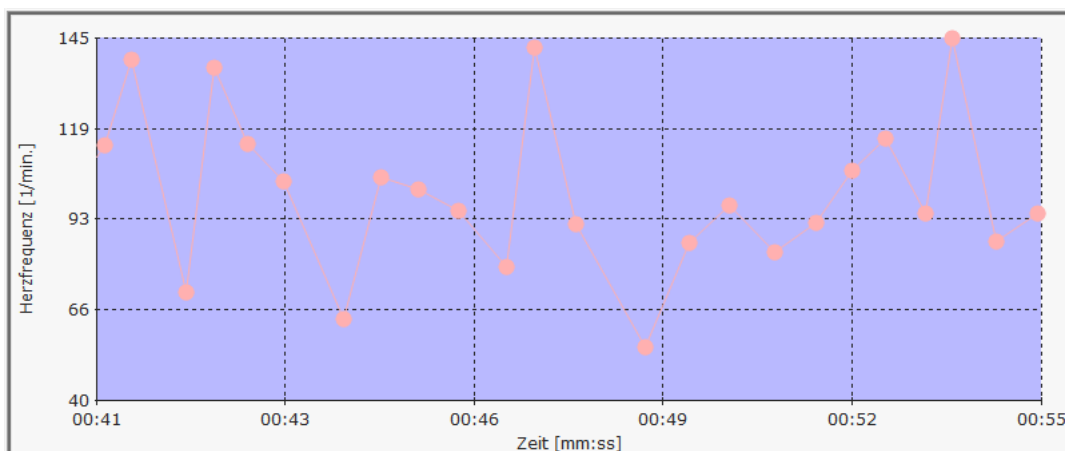


Der Herzfrequenzverlauf nach dem automatischen Filtern im Poincaré Filter. Nach Ausschließen der Extrasystolen (rosa eingefärbt) bleibt ca. 50% vom Herzfrequenzverlauf (grün) für die Auswertung übrig. Bei einer 5 minütigen Kurzzeit-HRV Messung kann man damit gerade noch die HRV bestimmen.

## 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.**

## Das BioSign HRV-Konzept: "Tonus, Flexibilität, Dynamik"

Das Konzept im HRV-Scanner "Tonus, Flexibilität, Dynamik" soll dabei helfen in das auf den ersten Blick etwas chaotische Nebeneinander der vielen HRV-Parameter etwas Ordnung zu bringen. Es erleichtert später auch die Auswertung und Interpretation und hilft damit, HRV-Messungen besser zu verstehen.

Variable	Faktorladungen Extraktion: Hauptkomponenten (Markierte Ladungen > ,700000)		
	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3
CV_HR	0,959304	0,023655	0,023190
LF/HF Ratio	0,060667	0,592394	0,058098
Mean HR	-0,151470	0,208226	0,943346
Power HF	0,765579	-0,410370	0,102415
Power LF	0,846968	-0,087486	0,078846
Power Total	0,940370	-0,062544	-0,075956
Power VLF	0,615069	0,179412	-0,285452
SD1	0,808041	-0,511046	-0,195286
SD2	0,953021	0,025015	-0,219223
SD2/SD1	-0,060707	0,897920	0,152777
SD2SD1norm	-0,079343	0,951984	0,151692
SDNN	0,956371	-0,061864	-0,221310
LN_SI	-0,821952	0,138351	0,386142
alpha1	-0,155677	0,835549	0,159377
Correl	-0,080564	0,894116	0,140807
Mean RR	0,163385	-0,196586	-0,946330
Erkl.Var	6,731791	4,140534	2,269172
Ant.Ges.	0,420737	0,258783	0,141823

Wenn man mit einer Vielzahl von Variablen zu tun hat, die in Ihrer Gesamtheit ein ziemlich unübersichtliches Bild vermitteln, ist es sinnvoll, die Vielzahl von Variablen auf einige Wenige zu reduzieren, die möglichst die zentralen Komponenten der Datenmenge - in unserem Beispiel also die Herzratenvariabilität - abbilden

Eine solche Datenreduktion ermöglicht beispielsweise die Faktoranalyse, die in einem Pool vieler Variablen nach den zugrunde liegenden Faktoren sucht und die einzelnen Variablen entsprechend ihrem Beitrag zum jeweiligen Hauptfaktor gruppiert.

Wir haben eine solche Faktoranalyse auf die HRV-Messungen von über 1000 Personen angewendet und dabei herausgefunden, dass sich die vielen HRV-Parameter auf im wesentlichen drei Hauptfaktoren reduzieren lassen, die wir uns im folgenden mal näher anschauen.

Beginnen wir mit dem Faktor 3 rechts in der Tabelle. Wie man sieht beschreibt er im wesentlichen die Herzfrequenz, da nur die beiden Parameter Herzfrequenz und mittleren RR-Abstand, also der Abstand zwischen zwei Herzschlägen in Millisekunden, zu diesem Faktor beitragen. Wir bezeichnen diesen Faktor deshalb **"Tonus"**, weil er sozusagen den Grundtonus des vegetativen Nervensystems beschreibt, mit dem die kardiovaskuläre Regulation stattfindet.

Der zweite Faktor gruppiert Parameter, die vor allem mit der Änderungsgeschwindigkeit, also der Dynamik der Herzfrequenzkurve zu tun haben. Besonders hoch auf diesen Faktor laden das Verhältnis der langsamen Herzfrequenzänderungen zu den schnellen Änderungen der Herzfrequenz, der SD2 zu SD1 Quotient, sowie die der Autokorrelationskoeffizient und der alpha1-Wert der Detrended Fluctuation Analysis, die ebenfalls ausdrücken, wie hoch der Anteil an schnellen Änderungen der Herzfrequenz ist. Auch der SD1-Wert selbst, also die mittlere Änderung der Herzfrequenz von Herzschlag zu Herzschlag, lädt vergleichsweise hoch auf den Faktor 2. Bei kurzen Messungen wie zum Beispiel der ein-minütigen Bestimmung der respiratorischen Sinusarrhythmie wird oft der RMSSD-Wert statt des SD1 verwendet. RMSSD und SD1 drücken aber beide das Gleiche aus, nämlich wie sich die Herzfrequenz von einem Schlag zum nächsten ändert und unterscheiden sich nur in ihrem Betrag. Sie lassen sich auch leicht ineinander umrechnen.

Ähnlich wie mit SD1 und SD2 verhält es sich mit den Power-Werten, die mittels einer Spektralanalyse berechnet werden. Die Power HF ist dabei vergleichbar mit dem SD1 und RMSSD, und das LF/HF-Verhältnis drückt analog zum SD2 zu SD1-Quotient aus, ob sich die Herzfrequenzkurve eher aus langsamen oder aus schnellen Änderungen der Herzfrequenz zusammensetzt. Insgesamt hat unsere zweite Hauptkomponente also offensichtlich viel mit Dynamik zu tun, weswegen wir dem zugrundeliegende Faktor kurzerhand den Namen **"Dynamik"** gegeben haben.

Schauen wir uns jetzt den ersten Faktor an. Wir sehen, dass die Parameter am höchsten auf diesen Faktor laden, die keine Aussage mehr über die Dynamik enthalten und nur noch die Amplitude der Herzfrequenzänderungen ausdrücken wie die Standardabweichung SDNN, der Variationskoeffizient oder die Total Power. Auch die Parameter, die vor allem langsame Änderungen der Herzfrequenz quantifizieren wie SD2 und Low Frequency Power lassen sich vor allem dem Faktor 1 zuordnen. Faktor 1 bewertet also offensichtlich vor allen die Amplitude der Herzfrequenzänderung. Wir haben deshalb für diesen Faktor den Begriff "**Flexibilität**" gewählt. Die Flexibilität drückt die Anpassungsfähigkeit unseres kardiovaskulären Systems aus, und beschreibt wie weit sich die Herzfrequenz beim Auftreten von Störgrößen, die auf unseren Organismus einwirken ändert, um der Störgröße entgegenzuwirken .

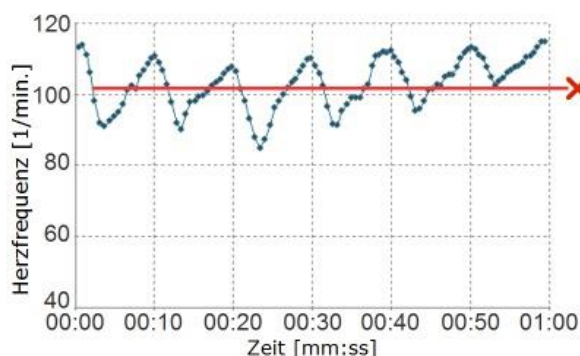
Für jede dieser Hauptkomponenten "**Tonus, Flexibilität und Dynamik**" ist übrigens in klinischen Studien nachgewiesen worden, dass eine ungünstige Veränderung mit einer signifikanten Erhöhung der Sterblichkeit einhergeht. Beispielsweise erhöht sich die Sterblichkeit um das Dreifache, wenn die Ruheherzfrequenz > 90 Schläge pro Minute beträgt, im Vergleich zu einer Ruheherzfrequenz < 60 Schläge pro Minute. Jeder dieser Faktoren "**Tonus, Flexibilität und Dynamik**" enthält deshalb eine klinisch relevante Information, die bei keiner HRV-Analyse fehlen sollte.

Es sind also im wesentlichen drei Fragen, die wir in einer HRV-Analyse stellen:

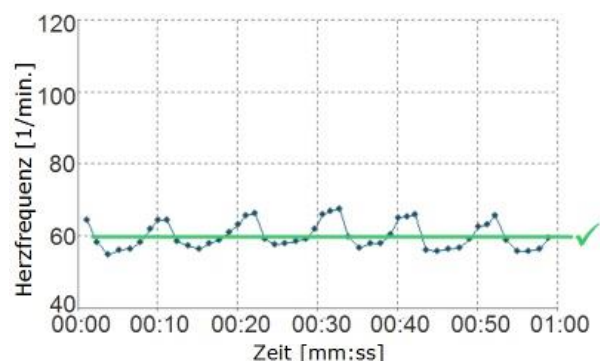
- Wie hoch ist der **Tonus** der Herzfrequenzkurve?
- Wie hoch ist die **Flexibilität** der Herzfrequenzkurve?
- Und wie hoch ist die **Dynamik** der Herzfrequenzkurve?

### Tonus

Wenn wir von einem hohen oder guten Tonus sprechen, meinen wir damit, dass die mittlere Herzfrequenz vergleichsweise niedrig ist. Ein schlechter oder niedriger Tonus zeigt sich in einer zu hohen Herzfrequenz.



Beispiel eines geringen parasympathischen Tonus (hohe mittlere Herzfrequenz)

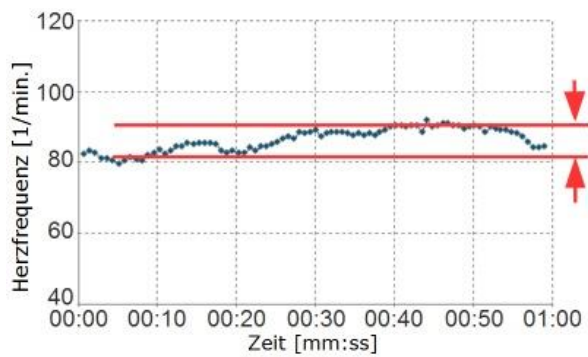


Beispiel eines hohen parasympathischen Tonus (niedrige mittlere Herzfrequenz)

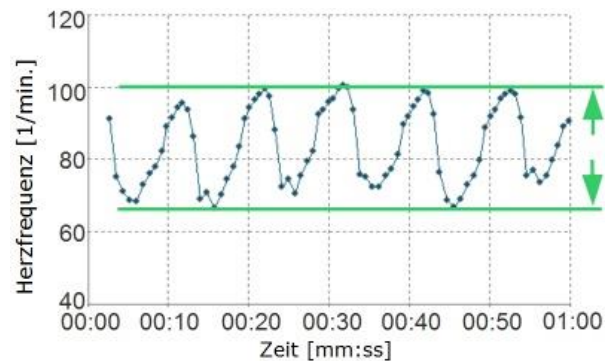
### Flexibilität

Bei der Flexibilität schauen wir uns an, wie stark die Herzfrequenz schwankt. Bei der RSA-Messung, der Bestimmung der respiratorischen Sinusarrhythmie mittels einer tiefen Taktatmung mit 6 Atemzügen pro Minute nehmen wir beispielsweise das Maximum der Herzfrequenz beim Einatmen und ziehen davon das Minimum der Herzfrequenz beim Ausatmen ab. So erhalten wir die Amplitude der Sinusarrhythmie, den E-I-Wert, wobei E für Expiration und I für Inspiration steht. Bei der Bestimmung der Kurzzeit-HRV machen wir ja im Unterschied zur Bestimmung der respiratorischen Sinusarrhythmie keine Vorgabe der Atmung und sehen deshalb nicht immer eine respiratorische Sinusarrhythmie. Wir nehmen deshalb einen anderen geeigneten Parameter, um die Flexibilität zu beurteilen, wie z.B. die Standardabweichung SDNN, den Variationskoeffizienten oder die Total Power.

Eine hohe Flexibilität erkennt man daran, dass sich die Herzfrequenzänderungen über einen größeren Bereich erstrecken, wogegen es bei einer geringen Flexibilität nur wenige Änderungen der Herzfrequenz gibt.



Beispiel einer sehr geringen Flexibilität (Herzfrequenzschwingung nicht mehr vorhanden)



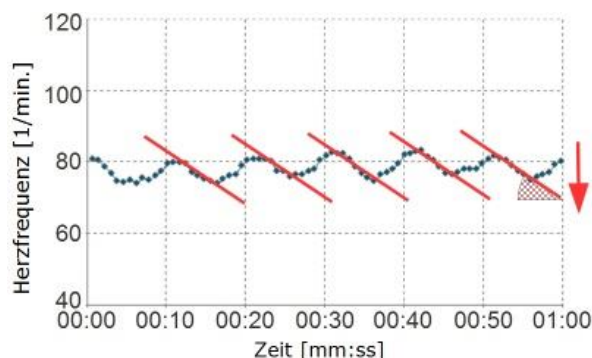
Beispiel einer hohen Flexibilität (große Amplitude der Herzfrequenzschwingung)

## Dynamik

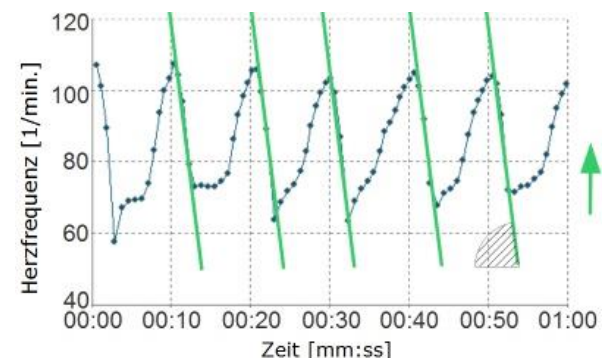
Für die Beurteilung der Dynamik schauen wir uns an, wie schnell die Veränderungen der Herzfrequenz ablaufen. Es interessiert uns also die Geschwindigkeit der Regulation. Die Schnelligkeit der Herzfrequenzanpassung wird übrigens von unserem Parasympathikus, also unserer Bremse geleistet, nicht von unserem Gaspedal, dem Sympathikus. Der ist nämlich vergleichsweise träge und braucht ungefähr 10 mal länger bis er reagiert, als der Parasympathikus. Deshalb sagt uns die Dynamik vor allem etwas über den Funktionszustand des Parasympathikus.

Eine gute Dynamik kann man beispielsweise bei der RSA-Messung schon mit bloßem Auge erkennen. Beim Ausatmen fällt die Herzfrequenz in der Regel sehr viel schneller ab, als sie beim Einatmen ansteigt. Ein top-trainierter Leistungssportler beispielsweise braucht für den Abfall der Herzfrequenz vom Maximum beim Einatmen bis zum Minimum bei Ausatmen oft nur einen einzigen Herzschlag, wie wir in diesem Beispiel einer Messung eines Profisportlers, seines Zeichens mehrfacher Weltmeister und Olympiasieger schön erkennen können.

Liegt eine ausgesprochene Schwäche des Parasympathikus vor, kommt es zu einer deutlichen Verzögerung in der Dynamik und es braucht viel mehr Herzschläge, bis das Minimum beim Ausatmen erreicht ist, wie man in diesem Beispiel schön erkennen kann. Parameter, die vor allem die Geschwindigkeit der Herzfrequenzänderung bewerten sind der RMSSD bzw. der SD1.



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

Um nun zu einer Gesamtbeurteilung der HRV zu kommen müssen wir bei der Beurteilung der einzelnen Hauptkomponenten Flexibilität, Dynamik und Tonus noch berücksichtigen, dass das jeweilige Lebensalter in hohem Maße die Leistungsfähigkeit unserer neurovegetativen Regulation bestimmt. Mit zunehmenden Alter lässt die Leistungsfähigkeit des vegetativen Nervensystems nach. Wir verlieren im Jahr ungefähr 1 bis 1 1/2 % unserer ursprünglichen Leistungsfähigkeit, die wir als junger Mensch einmal hatten, wobei die einzelnen Hauptkomponenten unterschiedlich vom Alterungsprozess betroffen sind. Die Herzfrequenz, nimmt im Alter geringfügig ab, das Herz schlägt also etwas langsamer, was grundsätzlich ja positiv ist, wogegen die Flexibilität und die Dynamik im Alter deutlich geringer sind als in jungen Jahren. Die jeweiligen



Messungsergebnisse für Flexibilität und Dynamik müssen deshalb alterskorrigiert werden, was der HRV-Scanner für Sie ja automatisch durchführt.

Am Ende will man natürlich wissen, ob das Messungsergebnis eine gute Flexibilität zeigt, oder zum Beispiel die Dynamik nicht ausreichend ist. Dies sieht man den bloßen Zahlenwerten der HRV-Parameter allerdings nicht ohne weiteres an. Der HRV-Scanner übersetzt deshalb die Ergebnisse der HRV-Berechnungen in Rangwerte zwischen 0 und 100%. Diese Rankings geben an, wie viele von 100 gesunden und körperlich fitten Leuten gleichen Alters eine schlechtere HRV haben. Zum Beispiel bedeutet ein Prozentrang von 10% für die Flexibilität, dass nur 10 von 100 Gesunden und körperlich fitten Menschen eine schlechtere Flexibilität haben und die überwiegende Mehrzahl von 90% einen besseren Wert erreichen. Analog verhält es sich mit der Dynamik. Beim Tonus bedeutet ein 10% Ergebnis, dass nur 10 von 100 Gesunden und körperlich fitten Menschen eine noch höhere Herzfrequenz aufweisen und bei 90% das Herz langsamer schlägt. Wir erinnern uns, ein hoher parasympathischer Grundtonus ist gekennzeichnet durch eine niedrige Herzfrequenz.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Konzept "**Tonus, Flexibilität und Dynamik**" eine sinnvolle Strukturierung der HRV-Parameter ermöglicht und dabei alle wichtigen Hauptkomponenten der HRV berücksichtigt. Mit dem Konzept gelingt die Beschränkung auf das Wesentliche, Überflüssiges wird weggelassen und verstellt nicht länger den Blick auf möglicherweise wichtige Veränderungen der neurovegetativen Regulation. Das Konzept Flexibilität, Dynamik und Tonus lässt sich auch sehr gut und mit vergleichsweise wenig Aufwand den gemessenen Personen kommunizieren und erklären. Die HRV-Messung wird dadurch effizienter.

## Das Rang-Diagramm verstehen

Rang-Diagramme bilden die wichtigsten Messwerte der HRV-Analyse auf einer Rang-Skala von 0 bis 100% ab. Mit Hilfe dieser Skala können wir das Messungsergebnis bewerten und eine Aussage darüber machen, ob es sich um ein schlechtes Ergebnis (0%) oder ein gutes Ergebnis (100%) handelt.

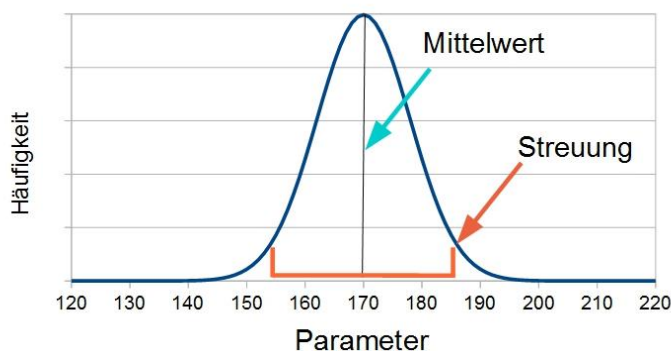
Dazu ist es allerdings nötig, die einzelnen HRV-Messwerte auf den entsprechenden Rangwert umzurechnen.

Um zu verstehen, wie der HRV-Scanner das macht betrachten wir mal folgendes Beispiel:

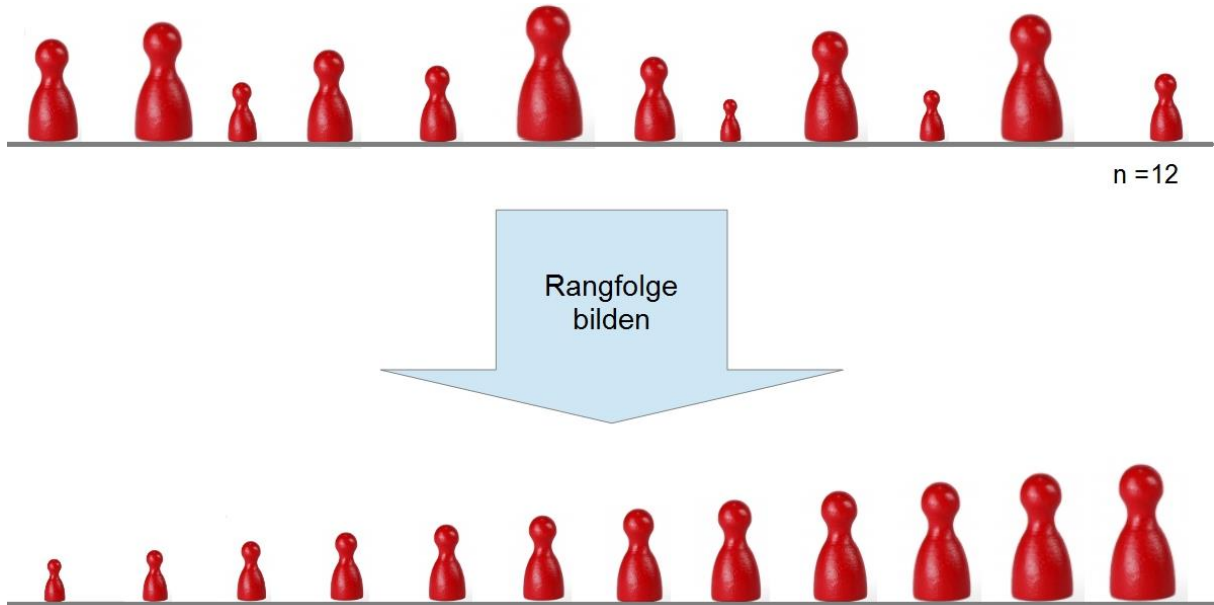
In einer Gruppe von Personen messen wir die Körpergröße und stellen wie zu erwarten fest, dass die meisten Personen unterschiedlich groß sind.



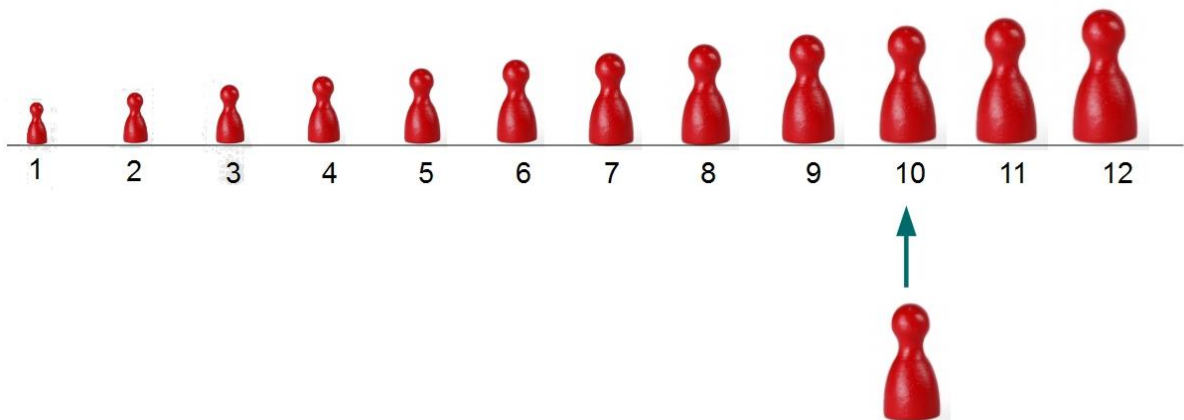
Wenn wir in einer Grafik auftragen, wie häufig einzelne Körpergrößen auftreten, erhalten wir die zugehörige Verteilungskurve.



Ein bekanntes Beispiel für eine Verteilungskurve ist die gaußsche Normalverteilung. Der Verteilungskurve können wir nun den Mittelwert und den Streubereich entnehmen. Wir sehen auf Anhieb, dass Messwerte umso seltener auftreten, um so weiter sie vom Mittelwert auftreten. Um nun den Rang eines einzelnen Messwerts zu bestimmen ordnen wir die einzelnen Messwerte der Größe nach an.

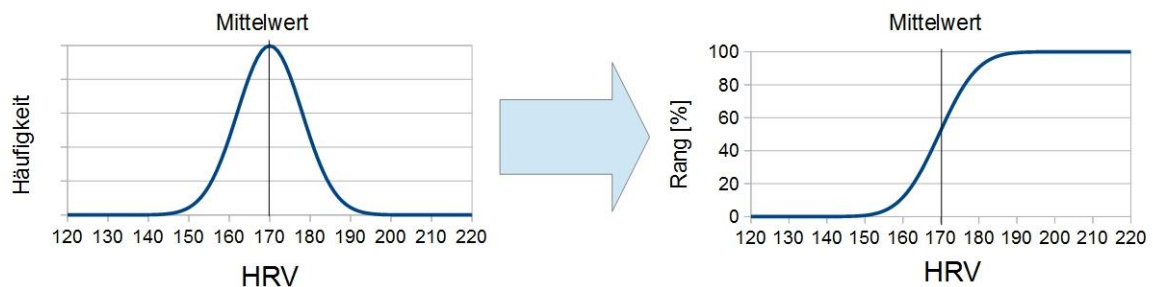


Den Rang jedes einzelnen Messwerts in Prozent erhalten wir dann, in dem wir im ersten Schritt den Rangplatz des Messwerts bestimmen, also an welcher Stelle unserer Größen-sortierten Stichprobe sich der Messwert einordnet.

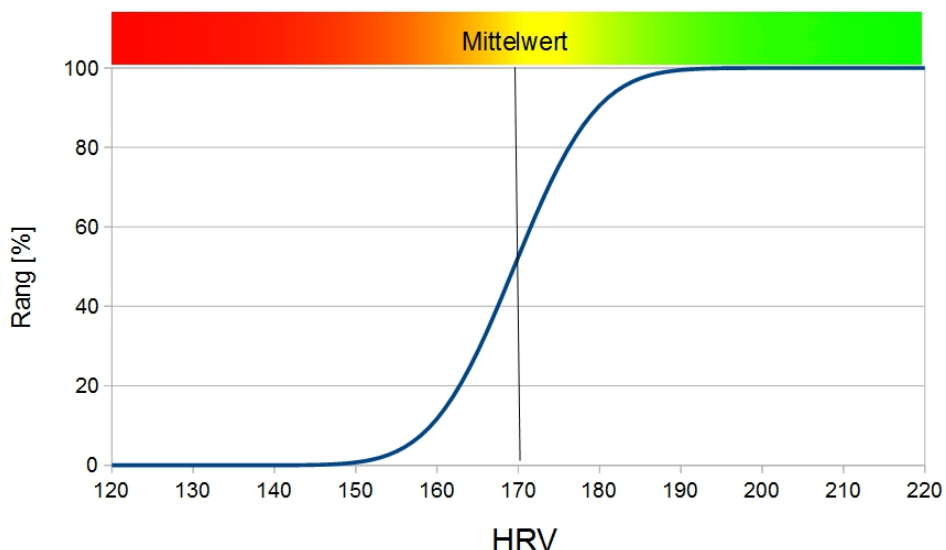


Wenn wir diese Platznummer unseres Messwerts durch die Gesamtzahl der Messwerte teilen und mit 100 multiplizieren, erhalten wir den Prozentrang des Messwertes.

Im HRV-Scanner ist nun für jeden Norm-Parameter die zugehörige Verteilungsfunktion hinterlegt, so dass für jeden beliebigen Messwert der zugehörige Prozentrang errechnet werden kann.



Zur besseren Illustration ist der Prozentbereich im HRV-Scanner nach dem Ampelprinzip eingefärbt, so dass auf einen Blick deutlich wird, ob es sich bei dem jeweiligen Ergebnis um ein gutes oder schlechtes Ergebnis handelt.



Rangwerte sind zwar praktisch, weil man sofort erkennt, wie sich ein HRV-Wert im Bezug zu einer Referenzgruppe einordnet, auf der anderen Seite haben sie einige Besonderheiten, die man bei der Interpretation berücksichtigen muss und die wir uns jetzt einmal näher anschauen.

Betrachten wir einmal die Rangkurve, die uns für jeden HRV-Wert den zugehörigen Prozentrang angibt. Wir sehen einen S-förmigen Kurvenverlauf, d.h. große Änderungen der HRV-Werte im Niedrigen Prozentbereich und im hohen Prozentbereich führen nur zu einer geringen Änderungen des Prozentrangs.

Im mittleren Bereich der Kurve verhält es sich genau umgekehrt. Hier führen bereits kleine Änderungen der HRV zu größeren Änderungen des Prozentrangs. Der S-förmige Kurvenverlauf wirkt in diesem Bereich also wie ein Hebel, der Änderungen der HRV verstärkt wiedergibt.

Gleichzeitig halten sich aufgrund der zugehörigen Verteilungsfunktion die Mehrzahl der gemessenen Probanden in diesem Bereich auf. Das bedeutet, dass die Prozentwerte der meisten gemessenen Personen bei wiederholten Messungen mehr oder weniger stark schwanken können, da HRV-Werte im Gegensatz zu anderen biologischen Parametern wie Körpergröße, Gewicht oder Knochendichte sich von Messung zu Messung stärker ändern und diese Änderung durch die Hebelwirkung der S-Kurve noch verstärkt wird. Schwankungen der Prozentränge bei wiederholter Messung bei Personen mit durchschnittlicher HRV sind also ganz normal.

Im Gegensatz dazu kommt es bei Personen mit stark eingeschränkter HRV zu wesentlich geringeren Schwankungen der Prozentränge. Personen mit einer manifesten neurovegetativen Dysfunktion behalten in der Regel also ihre schlechten Rankings auch bei erneuten Retests. Rangdiagramme sind deshalb besonders gut geeignet, um eine Schwäche der neurovegetativen Regulation festzustellen, da sich der Prozentrang der betroffenen Personen auch bei Fluktuation der Messwerte kaum ändern.

Wenn wir dagegen beurteilen wollen, wie sich die HRV über die Zeit ändert und wir genügend Messungen haben, dann greifen wir statt dessen auf eine Zeitreihenanalyse zurück, die uns im Qiu-Modul oder im Messungs-/Parameterverlauf zur Verfügung steht.

Diese Zeitreihenanalyse kann auf beliebige HRV-Messungen angewendet werden und zeigt uns nicht nur, ob und wie stark ein Trend in der Entwicklung der HRV-Werte vorliegt, sondern auch, wie stark die HRV-Werte streuen, wobei wir hier nicht die Prozentränge, sondern die eigentlichen Messwerte betrachten und deshalb die Hebelwirkung der S-förmigen Verteilungskurve keine Rolle spielt.



## 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.

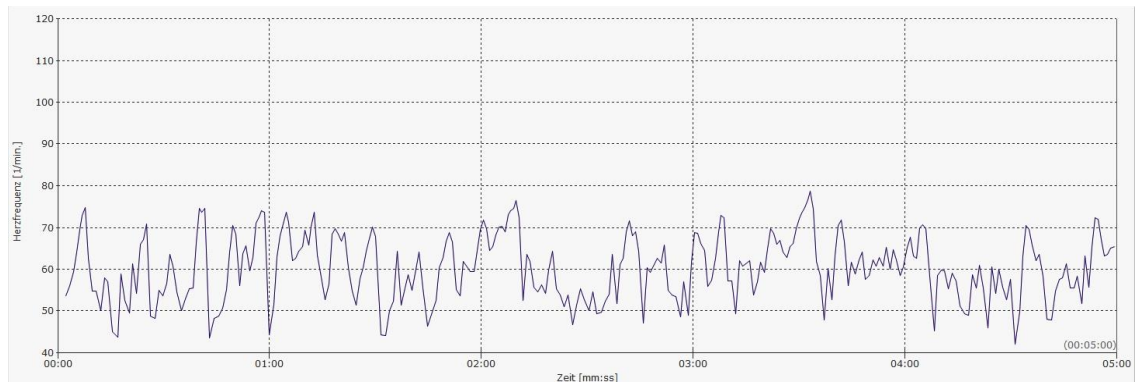
### *Messung durchführen*

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.

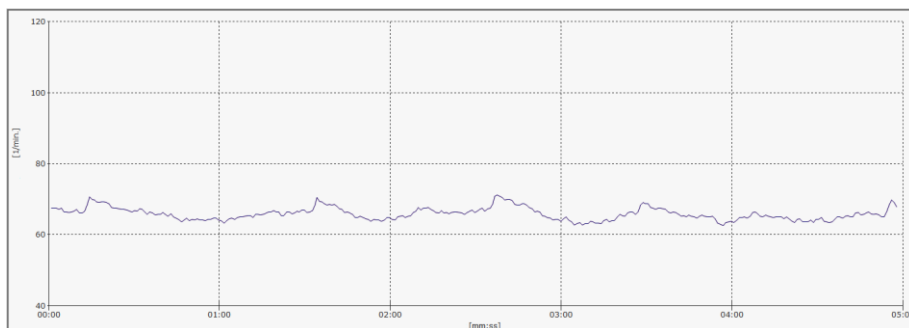
### *Auswertung*

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.

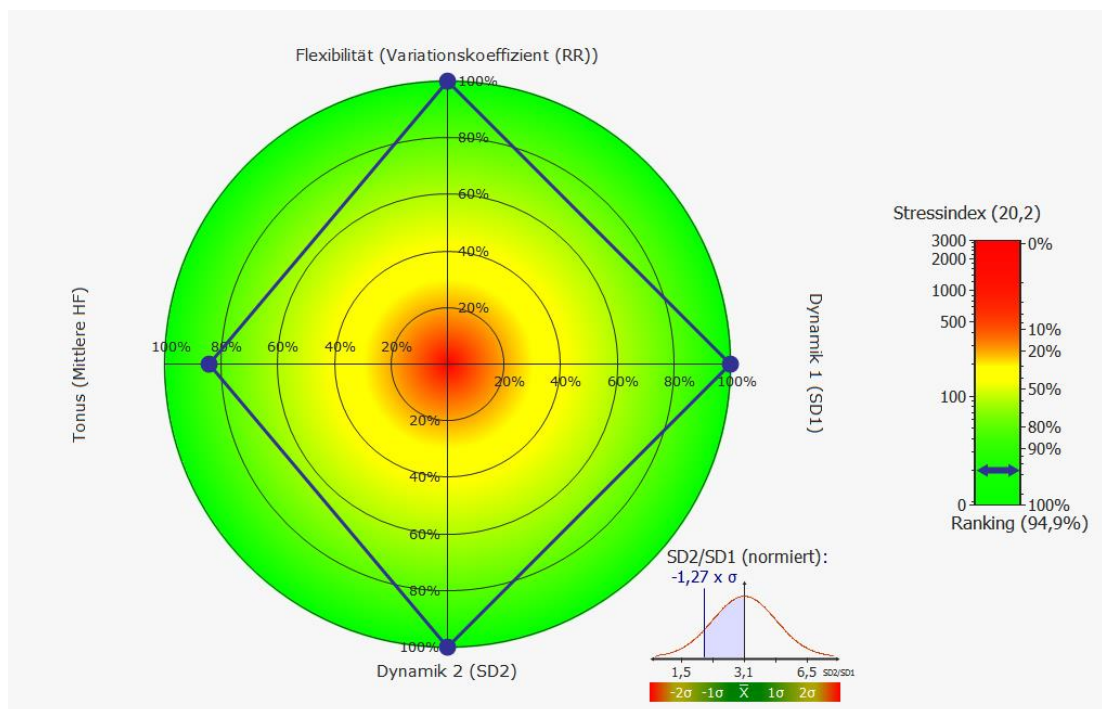


Das untere Bild zeigt einen typischen Verlauf der Herzfrequenz während einer Kurzzeit-HRV Messung eines Probanden mit deutlich eingeschränkter Herzratenvariabilität.

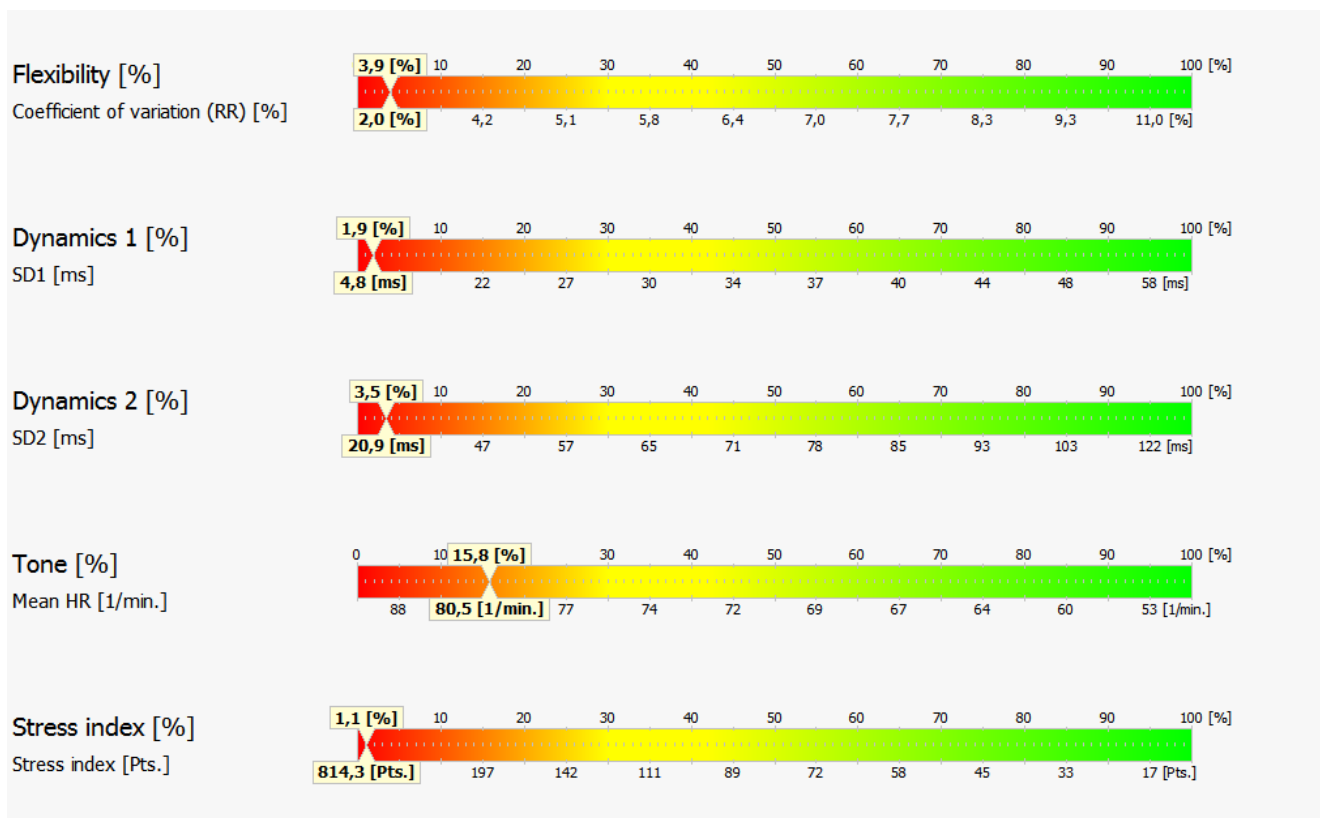


Für die wichtigsten Parameter der Kurzzeit-HRV sind Normwerte hinterlegt. Dies ermöglicht den Vergleich der aktuellen Messungsergebnisse mit den Ergebnissen gesunder Menschen gleichen Alters.

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



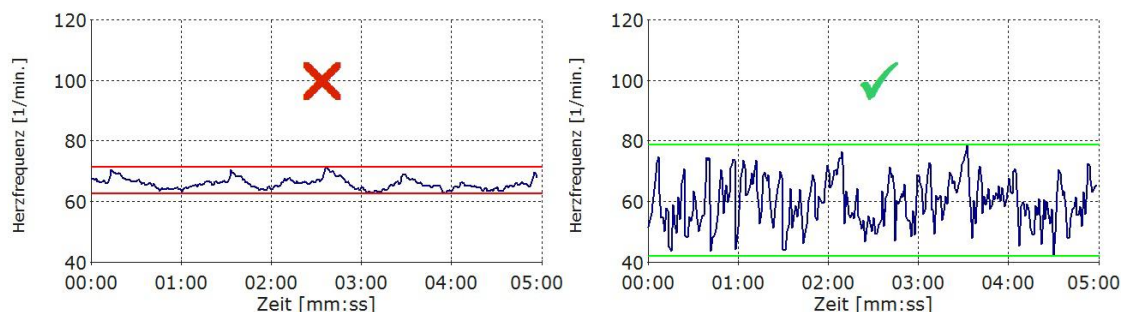




## Zielparameter im Rang-Diagramm der Kurzzeit-HRV Messung

### Flexibilität (Variationskoeffizient RR)

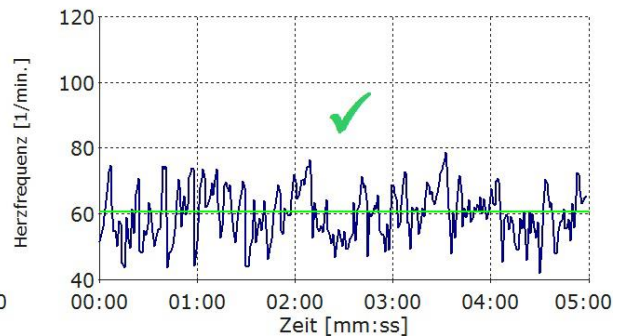
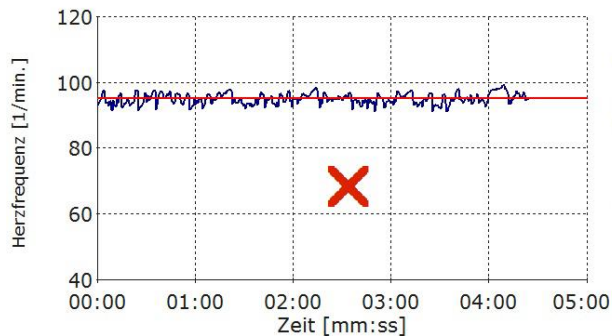
Eine ausreichende Anpassungsfähigkeit ist lebenswichtig und wird durch eine gut funktionierende innere Bremse (Parasympathikus) gewährleistet.



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.

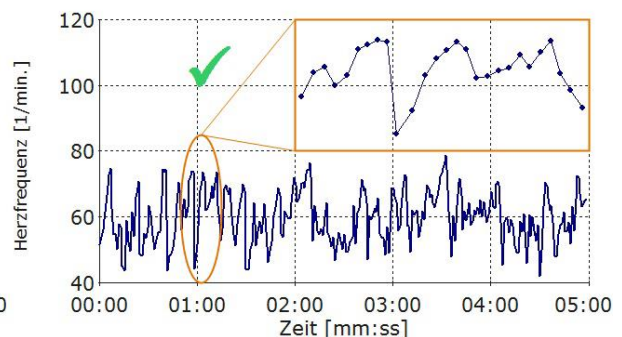
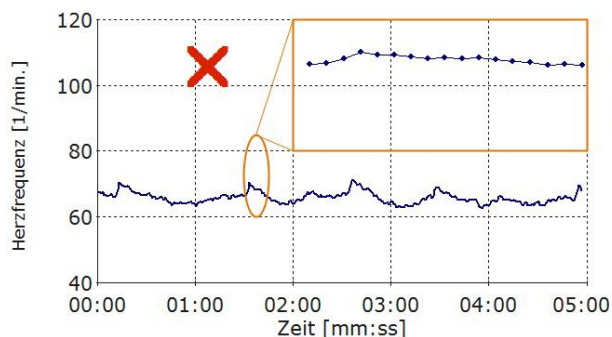


Ein guter parasympathischer Grundtonus drückt sich in einer niedrigeren Herzfrequenz aus. Beispielsweise haben Menschen mit einer Herzfrequenz > 90/min ein deutlich höheres Gesundheitsrisiko als Menschen mit einer Herzfrequenz < 60/min.

(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)

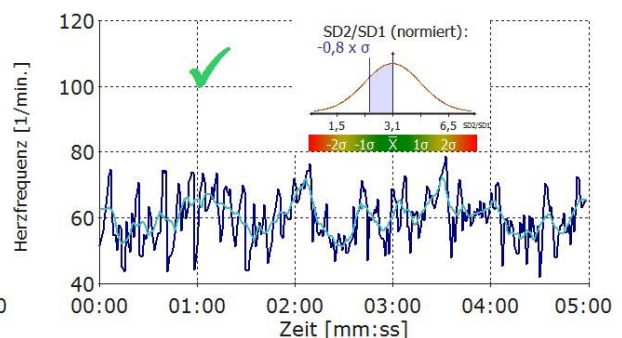
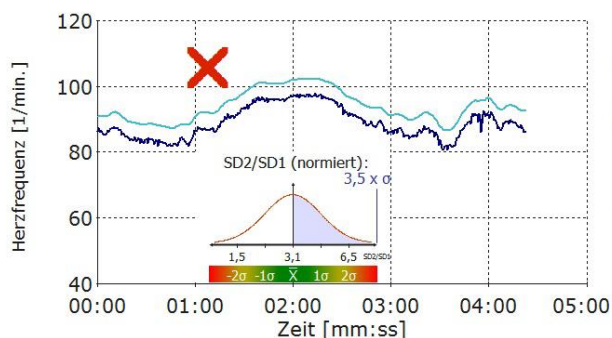
Schnelle Änderungen der Herzfrequenz in Ruhe sind Ausdruck einer gut funktionierenden "inneren Bremse".



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.



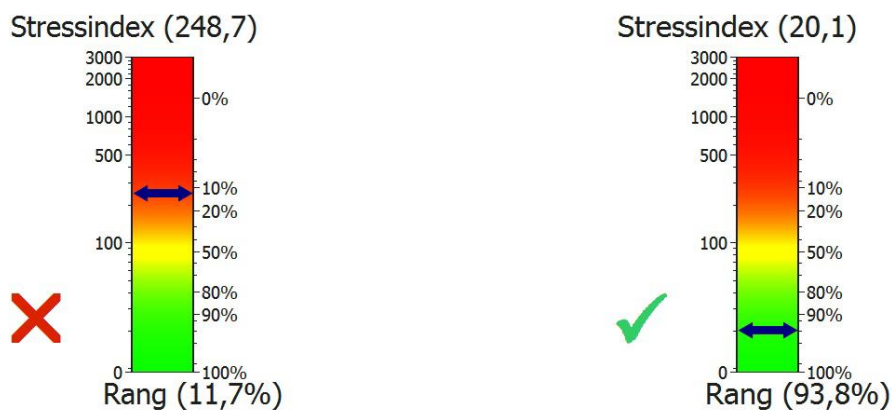
Dazu wird der SD2/SD1-Wert der Messung mit dem Mittelwert einer Referenzgruppe verglichen. Hohe positive Werte zeigen ein Überwiegen der langsamen Frequenz an. Je weiter rechts in der Verteilungskurve der Messwert zu finden ist, desto unwahrscheinlicher ist es, dass es sich noch um einen Normalbefund 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.



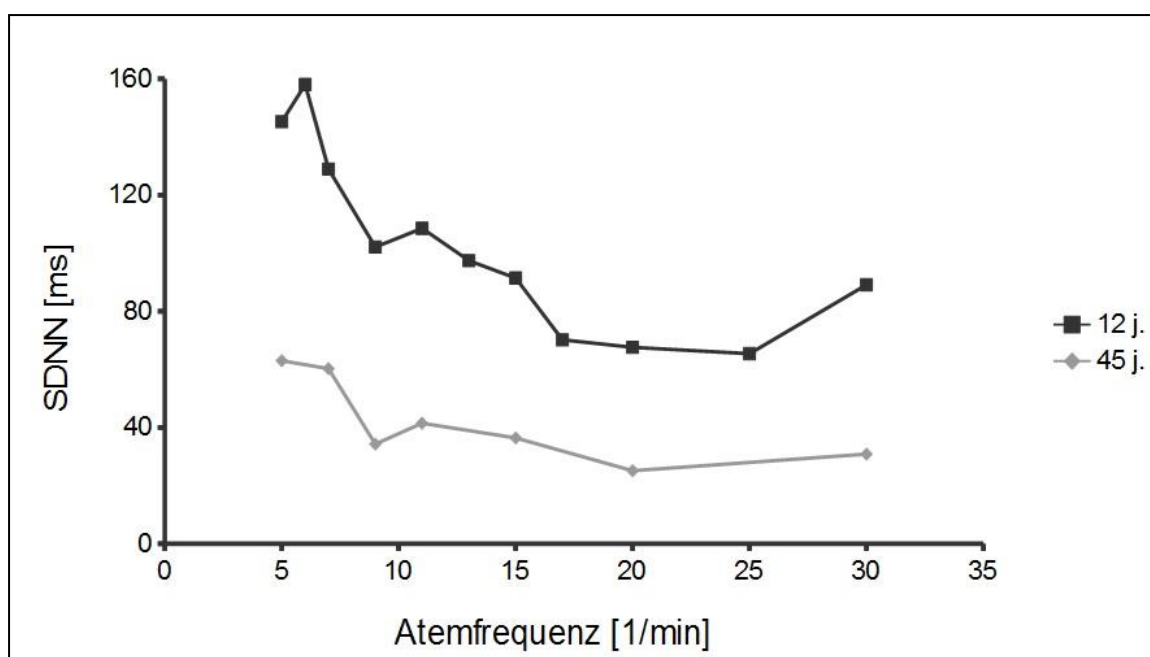
# Atmung und HRV

## 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 Atemzüge 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.

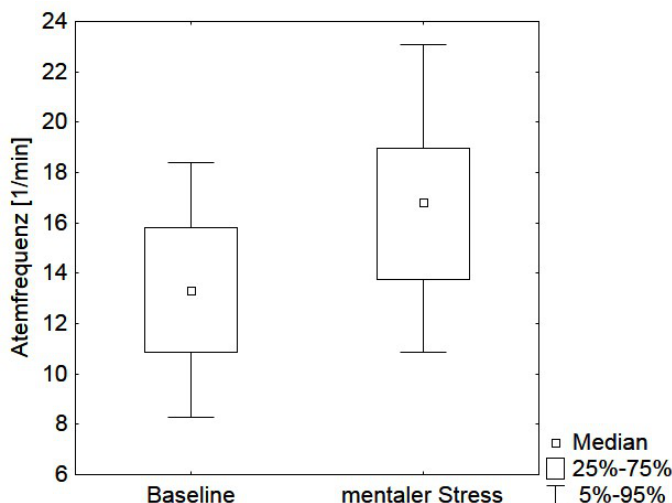


Abb. Atemfrequenzen in Ruhe und unter mentalem Stress (Belastung durch Kopfrechnen)

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 eine 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.

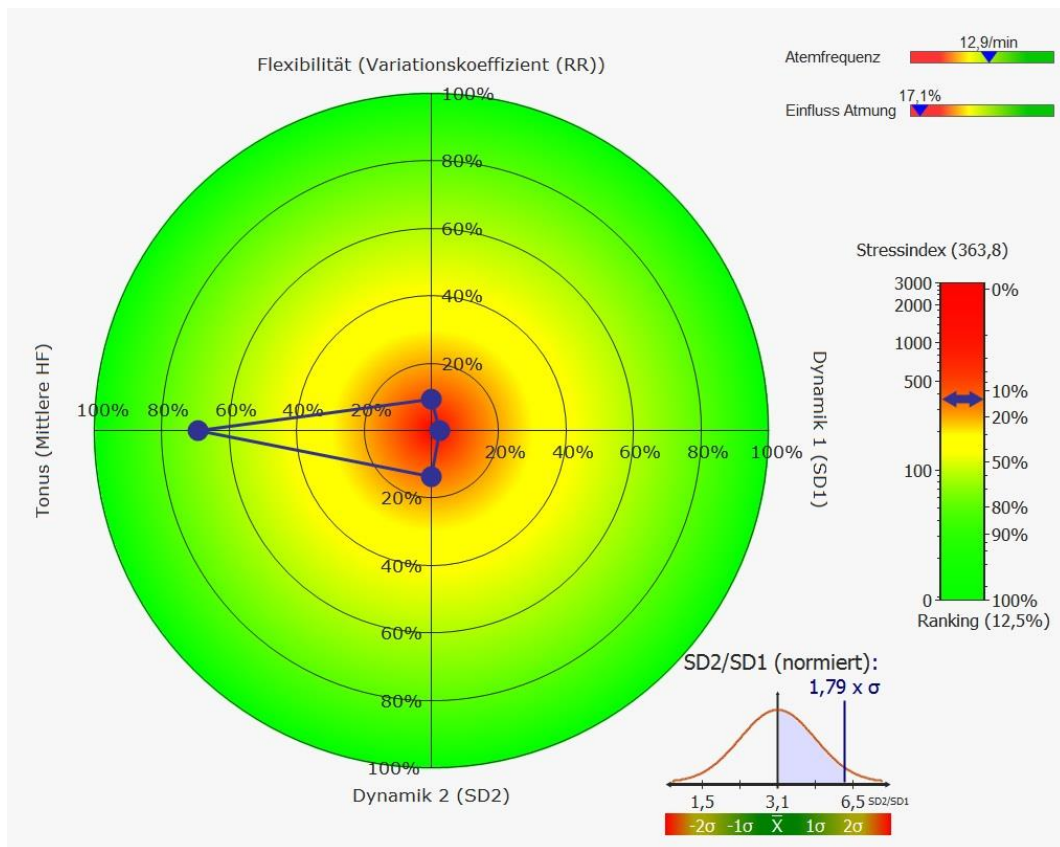


Abb. KHK-Patient mit ausgeprägter parasympathischer Dysfunktion. Normale Atemfrequenz, trotzdem kaum respiratorische Sinusarrhythmie vorhanden bei starker Einschränkung der dynamischen Anteile des Parasympathikus (SD1). In der RSA-Messung auch durch tiefe Atmung nicht stimulierbar.

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.).

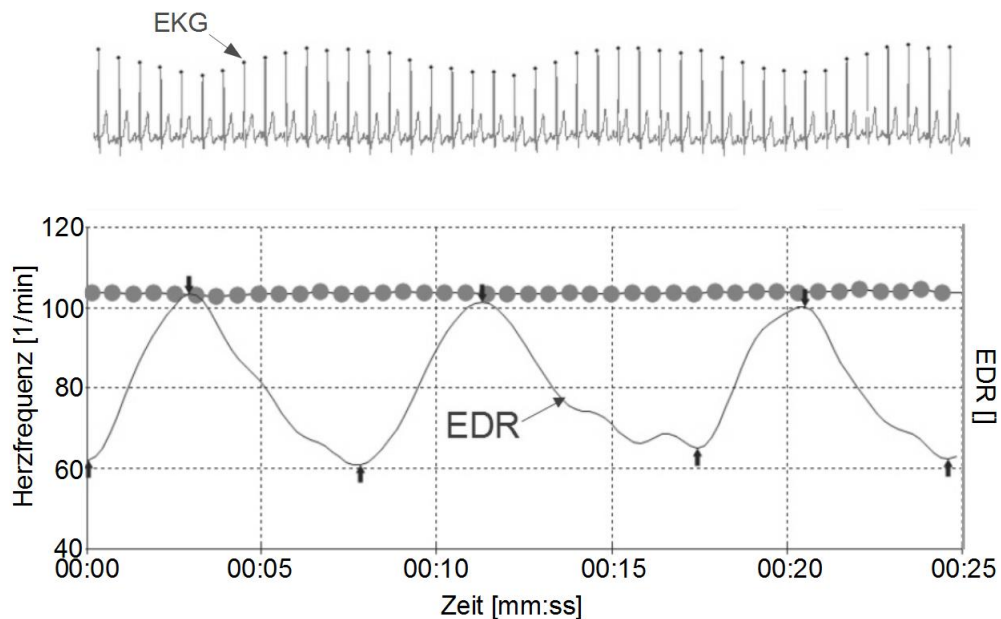
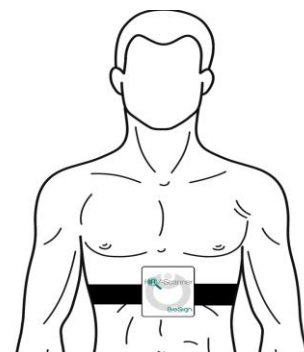


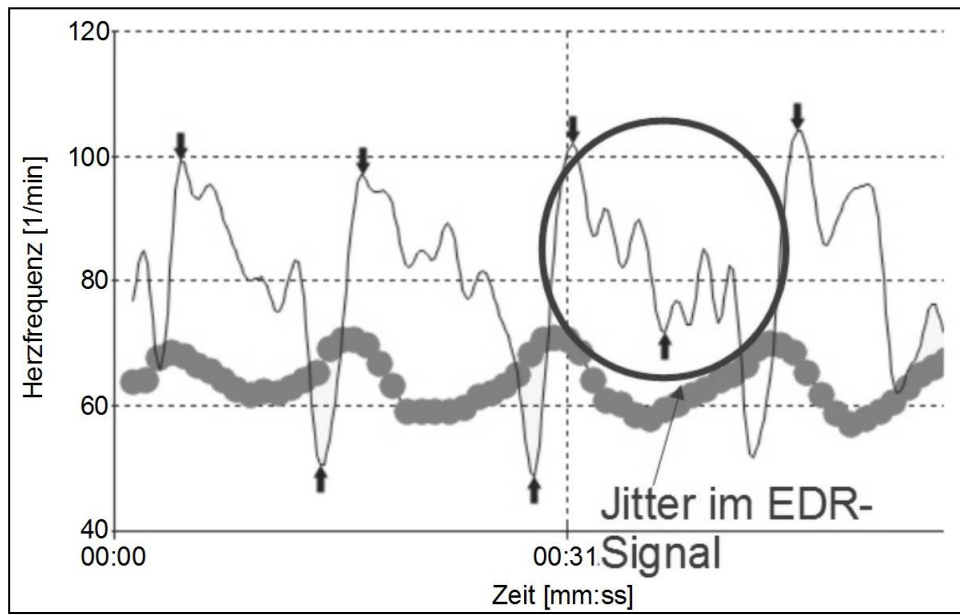
Abb. Durch die respiratorische Zwerchfellbewegung kommt es zu atemsynchronen Änderungen der Herzachse, die sich in einer wechselnden Amplitude der R-Zacke ausdrücken (obere Kurve). Das untere Bild zeigt die korrespondierende Herzfrequenzkurve, sowie die aus der Amplitude der R-Zacken abgeleitete Atemkurve. (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 Atembalken. 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*

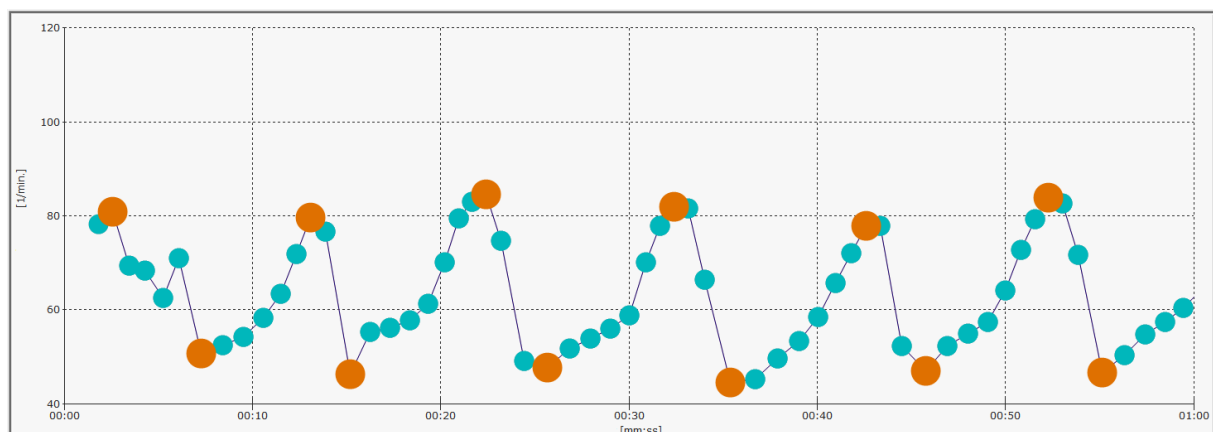
Achten Sie während der RSA-Messung darauf, dass der Proband tief und gleichmäßig atmet. Nach Ablauf der Messungszeit erhalten Sie eine Meldung über die erfolgreiche Aufzeichnung der Messung. Schließen Sie jetzt das Messungsfenster. Die Messungsdaten werden in ein Archiv verschoben und im Fenster „Messen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

### *Auswertung*

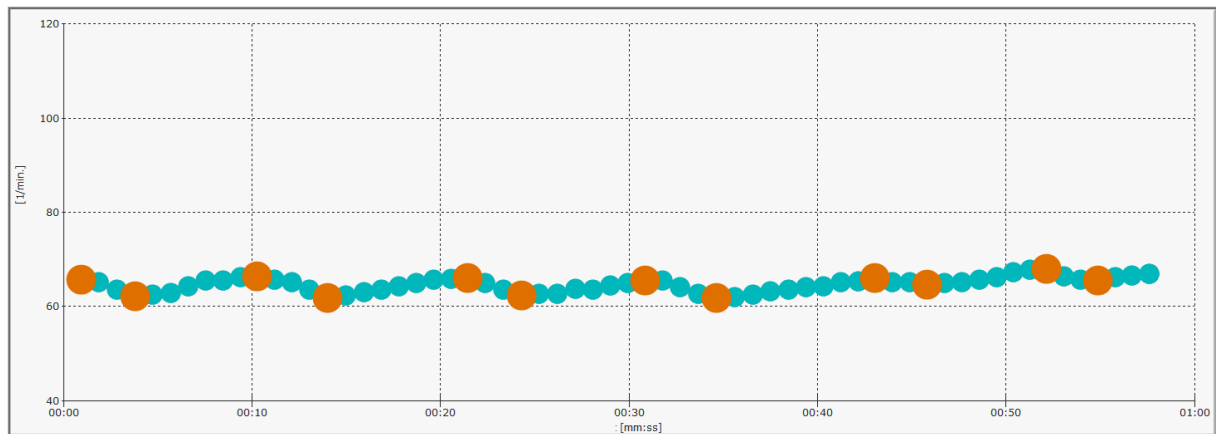
Markieren Sie dazu die durchgeführte RSA-Messung im Fenster „Messen und Auswerten“ mit der Maus und drücken Sie „Auswerten“ oder Doppelklicken Sie auf das Messungssymbol.

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

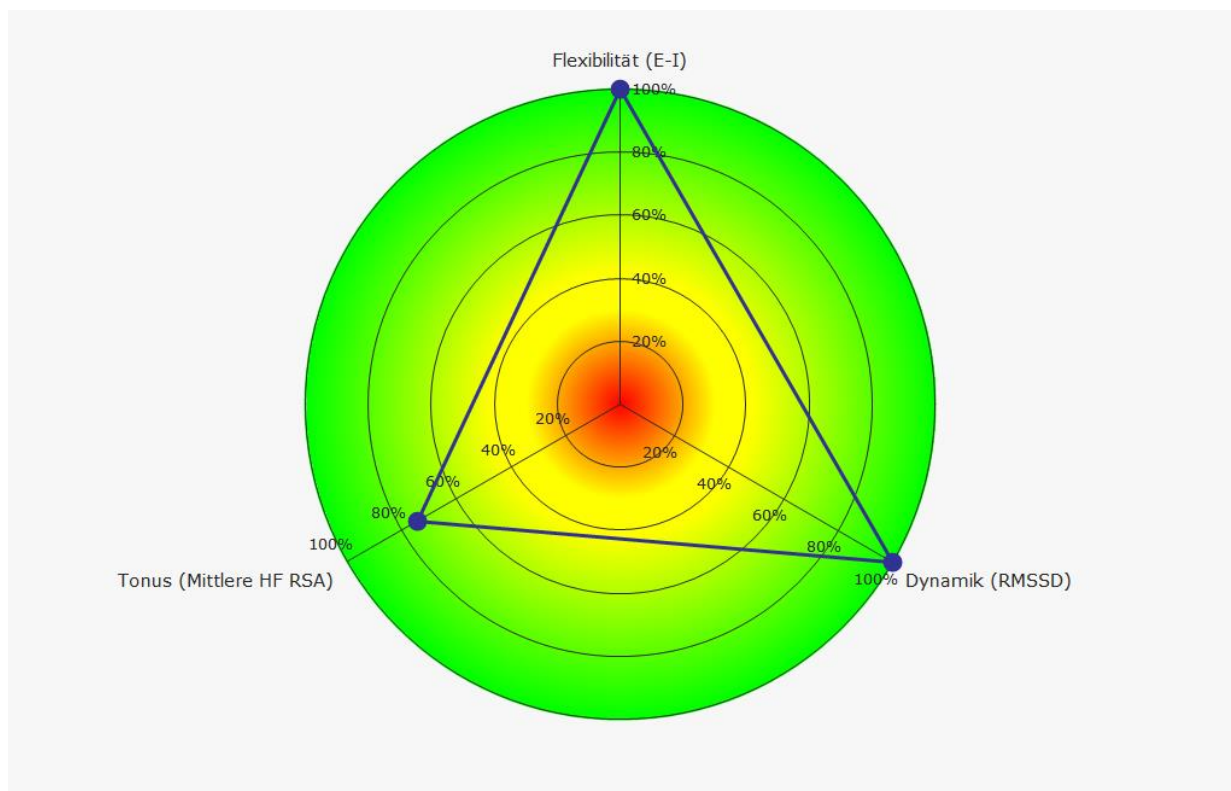
Das untere Bild zeigt einen typischen Verlauf der Herzfrequenz während einer RSA- Messung eines gesunden Probanden.

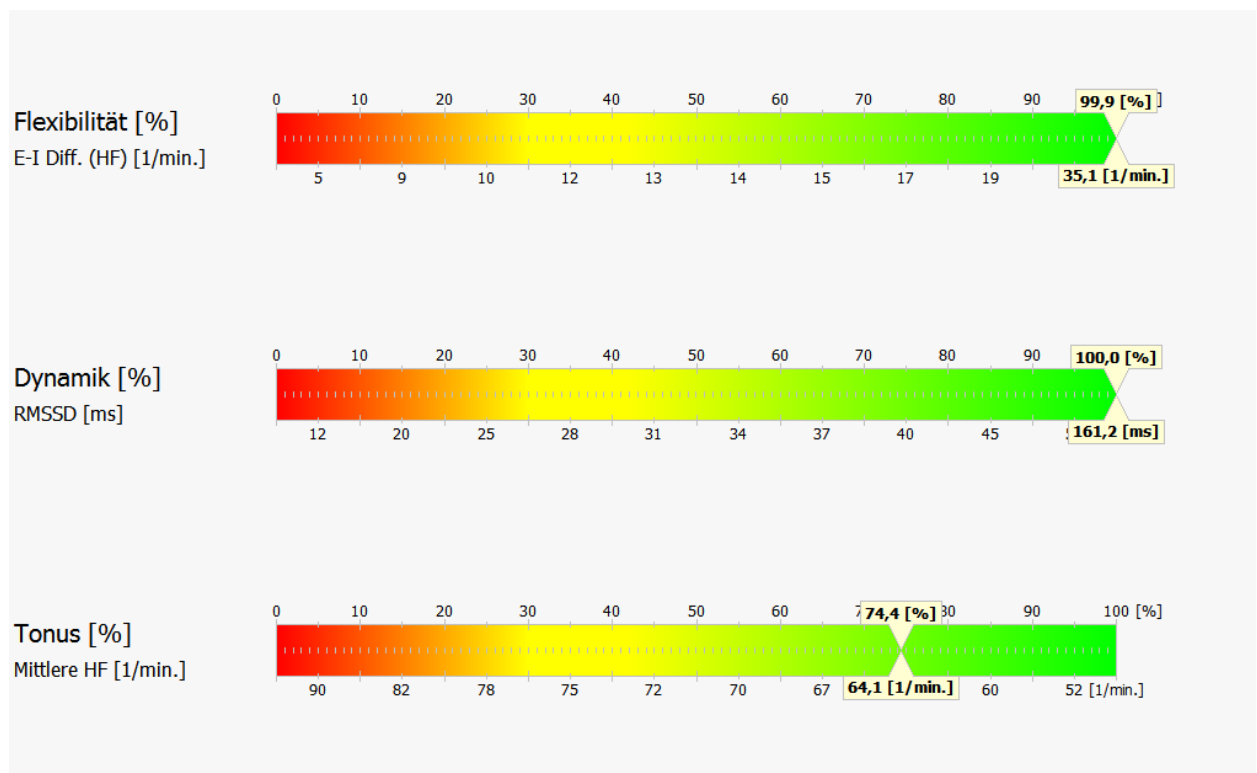


Das untere Bild zeigt einen typischen Verlauf der Herzfrequenz während einer RSA-Messung eines Probanden mit deutlich eingeschränkter Herzratenvariabilität.

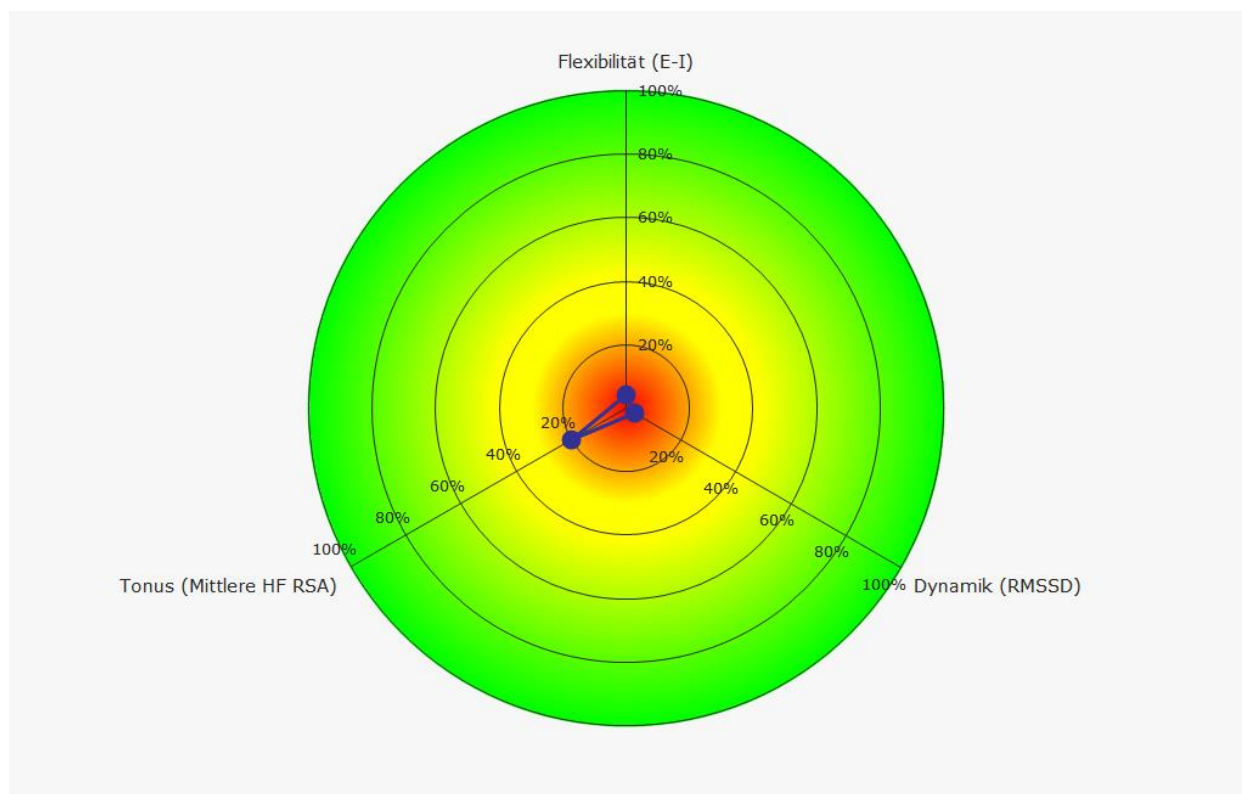


Ein typisches Ergebnis eines gesunden Probanden könnte wie folgt aussehen (Spiderweb- und Balkendiagramm):

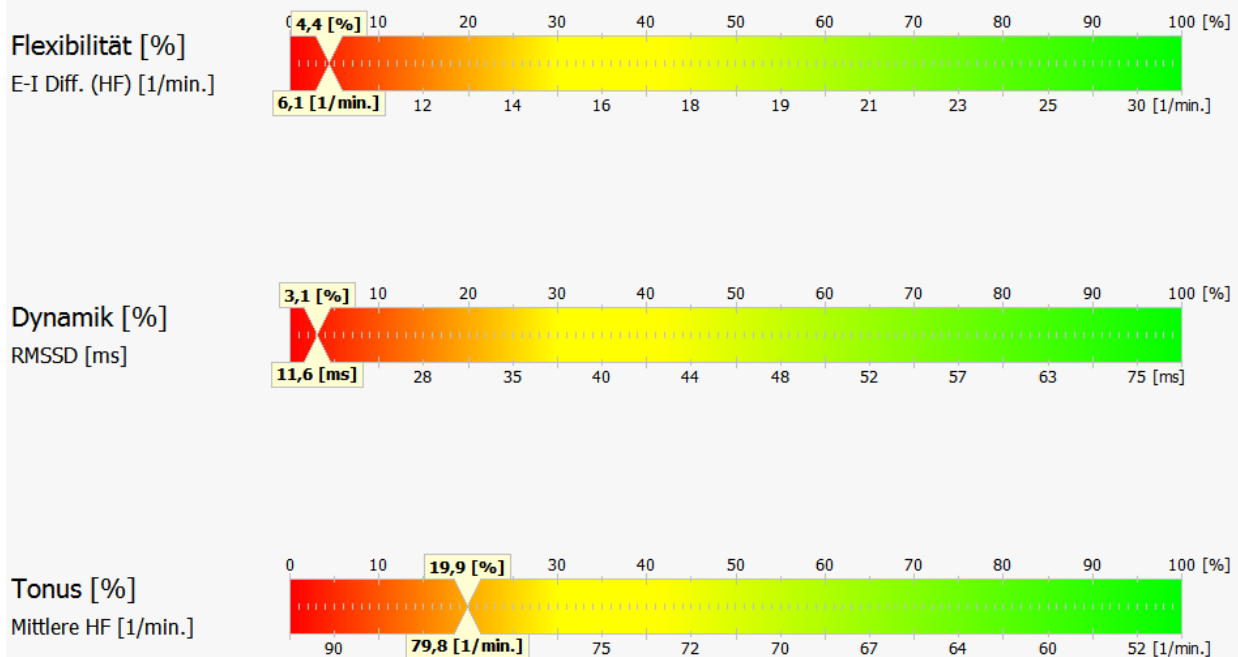




Die folgenden Bilder zeigen ein Ergebnis eines Probanden mit eingeschränkter Regulationsfähigkeit (Spiderweb- und Balkendiagramm).



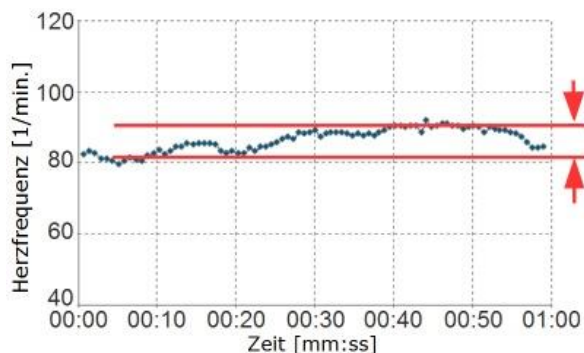




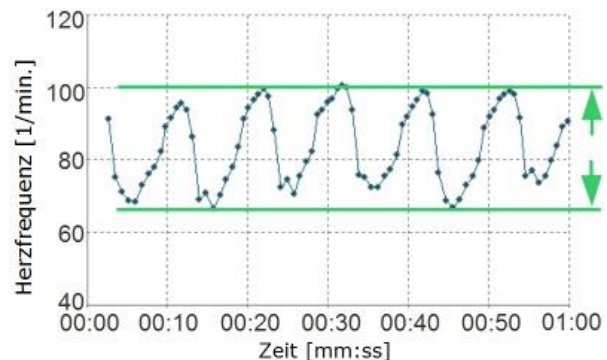
## Zielparameter im Rang-Diagramm der RSA-Messung

### 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)



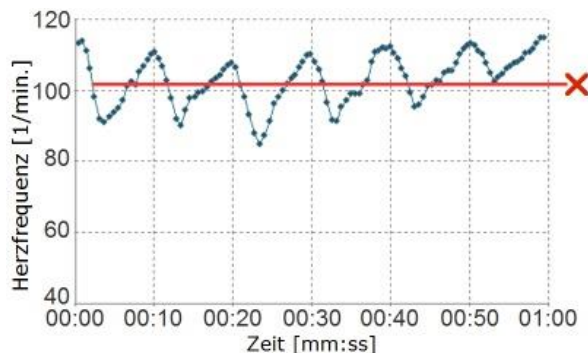
Beispiel einer hohen Flexibilität (große Amplitude der Herzfrequenzschwingung)

\*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.

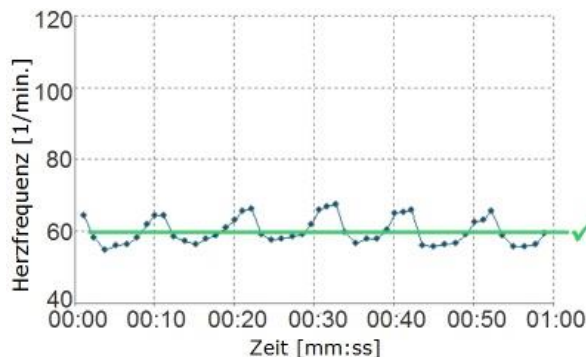
## Tonus

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)

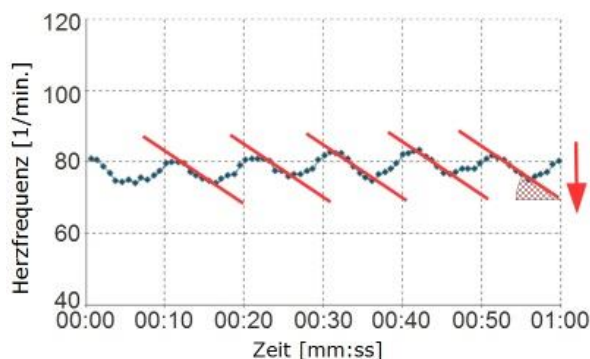


Beispiel eines hohen parasympathischen Tonus (niedrige mittlere Herzfrequenz)

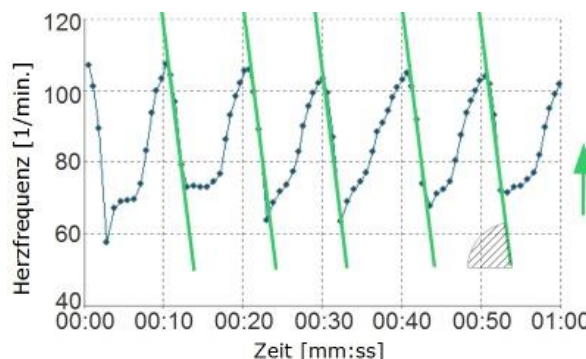
\*HABIB, G.B. 1999. Reappraisal of heart rate as a risk factor in the general population. Eur. Heart J. Suppl. 1: H2-H10.

## 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?

<b>Kurzzeit</b>	<b>RSA</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Aktuelle HRV</b>	<b>Reserve</b>
<b>+</b>	<b>+</b>	<b>Gutes Ergebnis in Kurzzeit- und RSA-Messung</b> 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.	<b>+</b>	<b>+</b>
<b>-</b>	<b>-</b>	<b>Schlechtes Ergebnis in Kurzzeit- und RSA-Messung</b> 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,...)	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>-</b>	<b>+</b>	<b>Schlechtes Ergebnis in Kurzzeit-Messung, aber gutes Ergebnis in der RSA-Messung</b> 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.	<b>-</b>	<b>+</b>

## 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, Acridiniumbromid
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

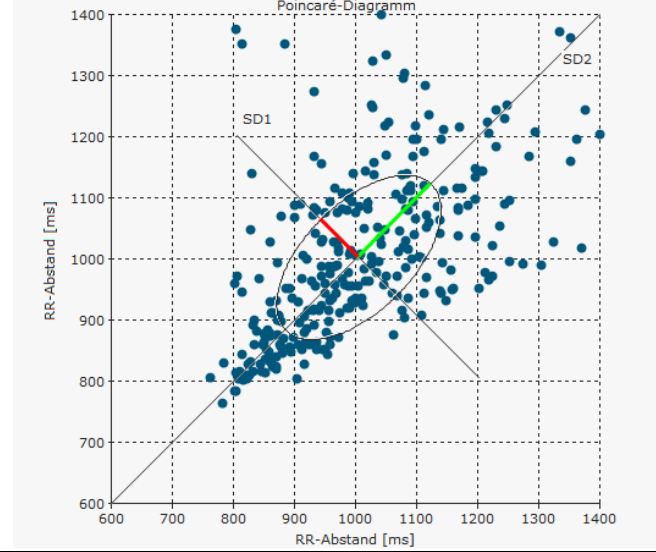
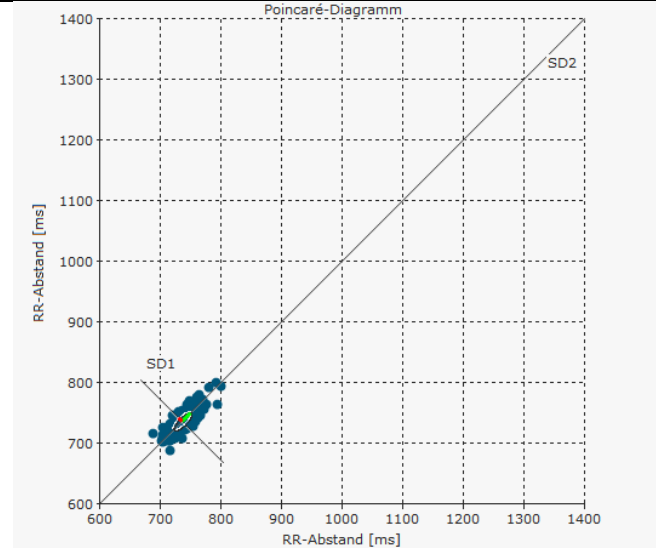
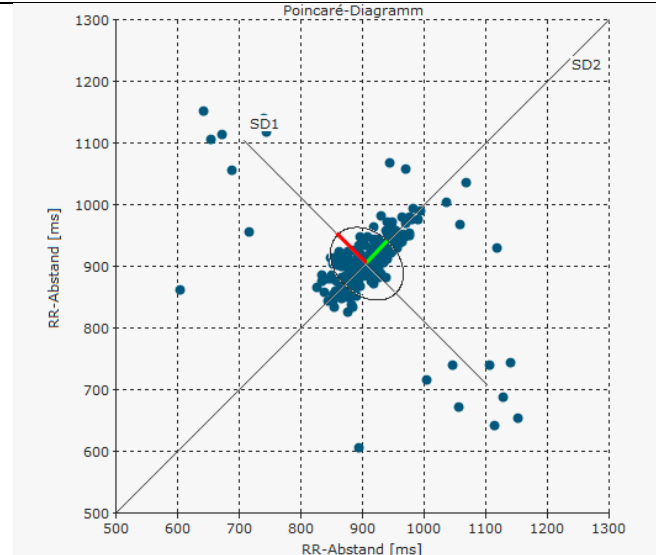
Akuter und chronischer Stress hat eine oftmals deutlichen negativen Einfluß auf die individuelle HRV. Das Ausmaß hängt ab von:

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

## Weitere Diagramme in der Auswertung

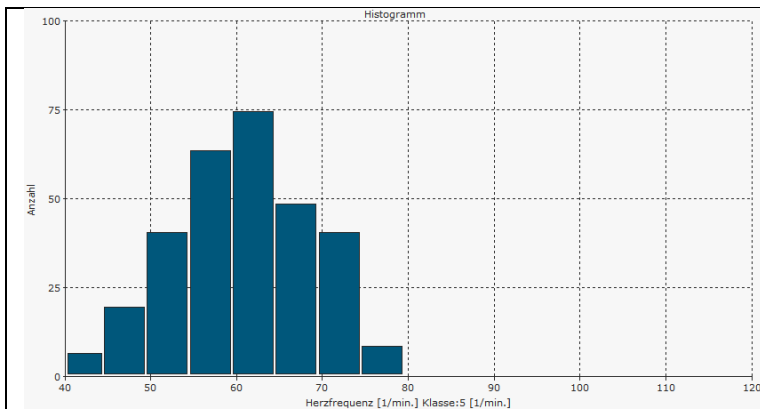
### Poincaré Diagramm

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.

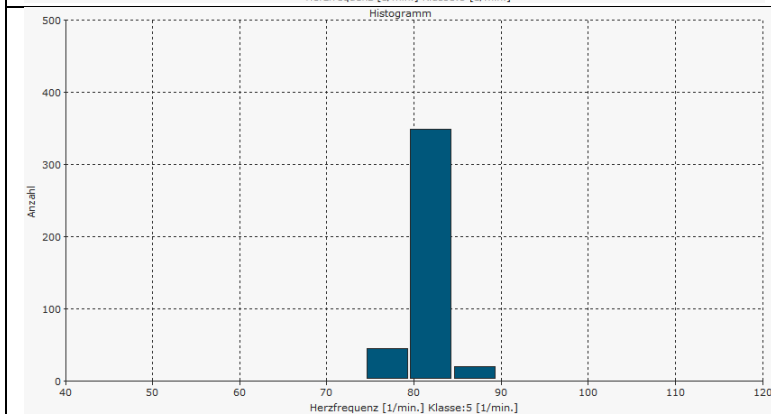
	<p>Bei der HRV entsteht bei guter Variabilität und Periodizität typischerweise eine Punktwolke in Form einer Ellipse auf der Winkelhalbierenden.</p>
	<p>Eine eingeschränkte Herzratenvariabilität führt zu einer Konzentration der Punktwolke</p>
	<p>Rhythmusstörungen und Artefakte bilden sich typischerweise außerhalb der elliptischen Punktwolke. Deshalb verwenden wir das Diagramm auch in Form eines grafischen Filters zur Artefakt-Bereinigung.</p>

## 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.



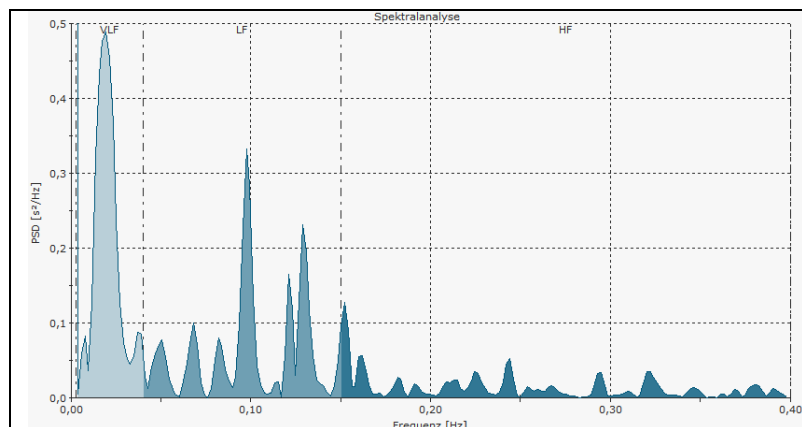
Histogramm eines Probanden mit guter Herzratenvariabilität. Das Diagramm erscheint breit und eher niedrig (Skalierung der Y-Achse = Anzahl beachten!)



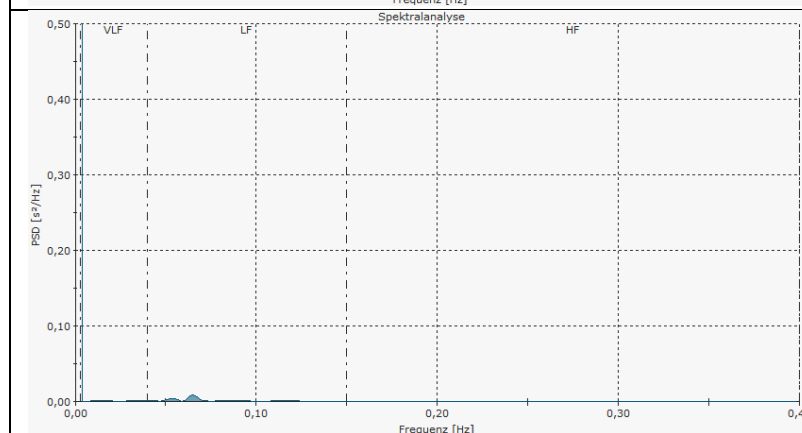
Histogramm eines Probanden mit eingeschränkter HRV. Das Diagramm erscheint hoch und eher schmal (Skalierung der Y-Achse = Anzahl beachten!)

## Spektralanalyse

Die 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.



Beispiel einer Spektralanalyse einer Kurzzeit-HRV-Messung bei guter Herzratenvariabilität. Die im HF Bereich (rechts) auftretenden Powerspitzen können dem Parasympathikus zugeordnet werden. Die Powerspitzen im LF Bereich sind eher durch eine RSA (respiratorische Sinusarrhythmie) bedingt und müssen deshalb trotz Lage im LF Bereich auch dem Parasympathikus, statt dem Sympathikus zugeordnet werden.



Beispiel einer Spektralanalyse einer Kurzzeit-HRV-Messung bei deutlich eingeschränkter Herzratenvariabilität. Es sind annähernd keine Powerspitzen mehr zu sehen.

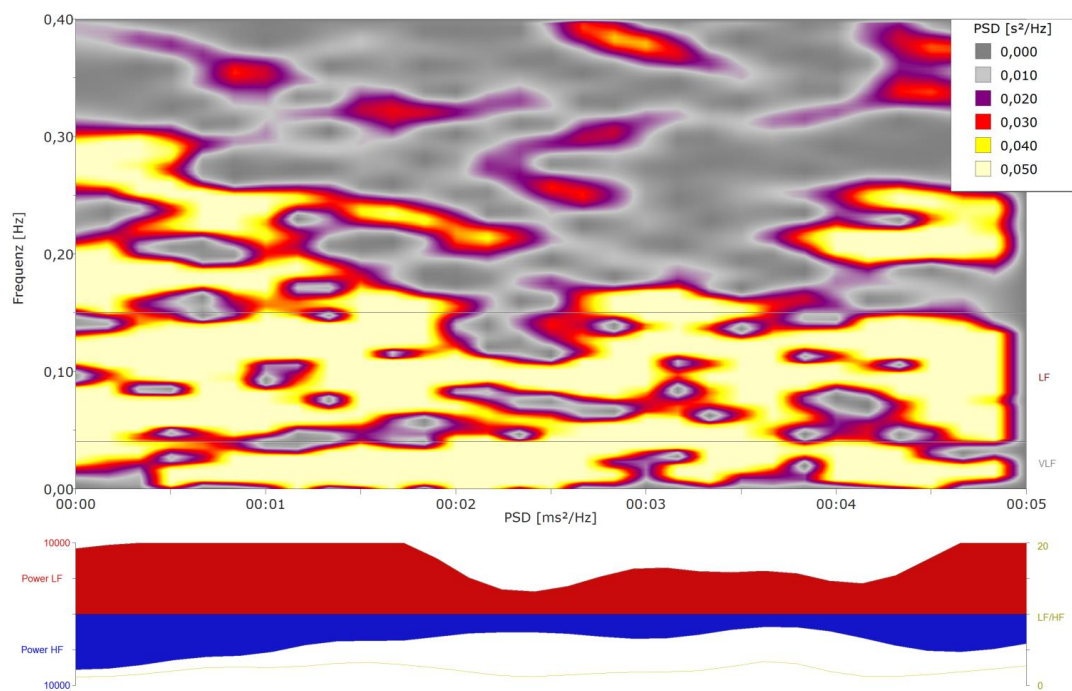
## Farb-FFT

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 ( $> 0,15 \text{ Hz}$ ) 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.

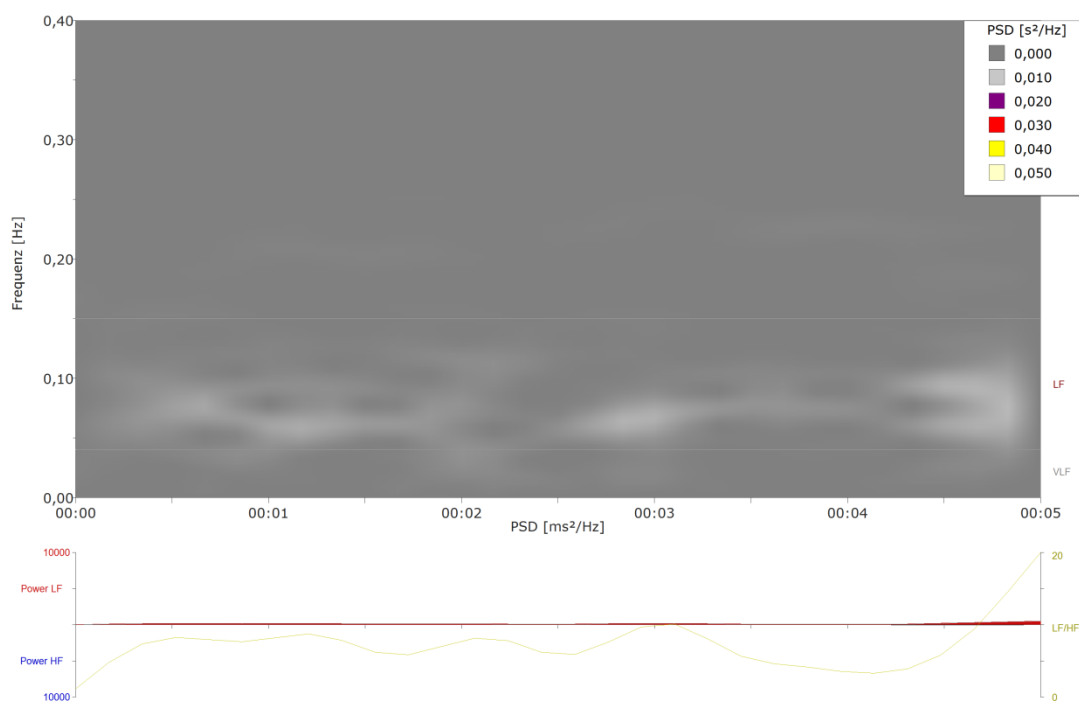
Zwei Diagramme visualisieren die Veränderungen der Spektralanalyse während der Messung anschaulich, das Farb-FFT und das 3D-FFT-Diagramm. Im Farb-FFT-Diagramm ist die Aktivität in einem bestimmten Frequenzband zu einem bestimmten Zeitpunkt durch die Farbe kodiert.

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.

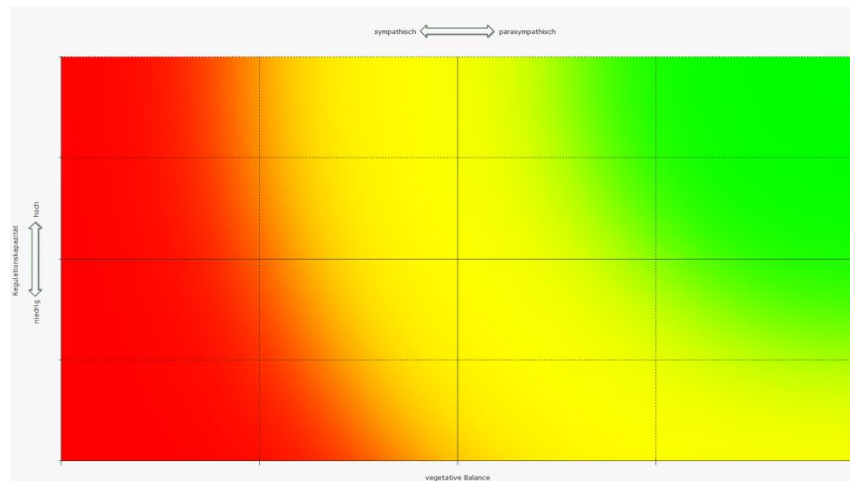


Beispiel eines Farb-FFTs aus einer Kurzzeit-HRV Messung mit eingeschränkter HRV. Hier ist ein komplettes Fehlen von Aktivität im HF-Bereich als Zeichen einer deutlichen Parasympathikus-Schwäche zu sehen. Im LF Bereich sind nur sehr diskrete Bänder zu sehen, was auch für eine eingeschränkte Regulation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

HRV-Messungen ermöglichen die objektive Beurteilung des Erfolgs von Therapien, Coaching oder Training. Gerade der Vergleich mit Vormessungen kann die Entwicklung der neurovegetativen Regulation gut darstellen. Deshalb werden in vielen Berichten der Verlauf der Vormessungen, bzw. die Veränderung der Zielparameter im Vergleich zu den Vormessungen angegeben.

Verlaufsdarstellungen sind verfügbar für RSA-Messung, Kurzzeit-HRV, Valsalva-Manöver, Liegen/Stehen HRV und für die Biofeedbackarten (3D-Biofeedback, Online-Spektrum, Rhythmisierung und Qiu). Bei Messungstypen mit Normwerten kann die Veränderung in den einzelnen Zielparametern dargestellt werden:

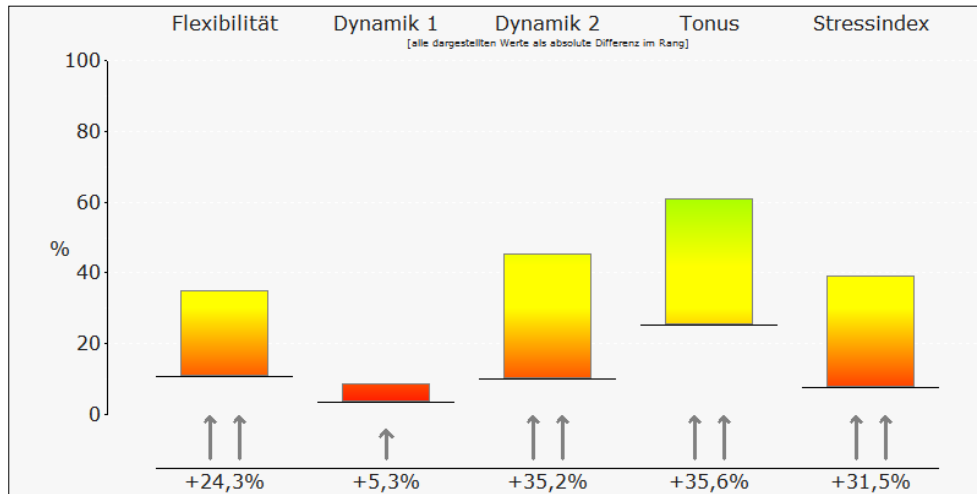


Abb. Veränderung der Zielparameter der Kurzzeit-HRV im Vergleich zum Median aus den letzten 25 Vormessungen

Teilweise wird wie hier beim Biofeedback ein Zielparameter (im Beispiel absoluter Rhythmisierungsgrad) verwendet. Z.B. für die Kurzzeit-HRV ist der dargestellte Zielparameter in den Systemeinstellungen auswählbar.



Abb. Verlauf der Biofeedback-Vormessungen mit Zielparameter "absoluter Rhythmisierungsgrad". Der Median aus den 8 Vormessungen wird als gestrichelte Linie dargestellt.

Wie kann nun festgelegt werden welche Vormessungen in einem solchem Verlauf berücksichtigt werden? Dazu gibt drei Auswahlmöglichkeiten:

- Anzahl der letzten zu berücksichtigenden Vormessungen ( n Messungen vor der jeweils aktuell ausgewerteten Messung )  
(HRV-Scanner lite und HRV-Scanner standard)
- Zeitraum der zu berücksichtigenden Vormessungen ( n Tage vor der jeweils aktuell ausgewerteten Messung )  
(nur HRV-Scanner standard)



- Individuelle Auswahl der zu berücksichtigenden Vormessungen (nur HRV-Scanner standard)

Generell gilt, dass nur Vormessungen im Verlauf berücksichtigt werden können, die zuvor ausgewertet und gespeichert wurden

### Anzahl der Vormessungen im HRV-Scanner lite

Im HRV-Scanner lite finden Sie die Einstellung der Anzahl der zu berücksichtigenden Vormessungen in der Auswertung unter dem Tab "Verlauf":

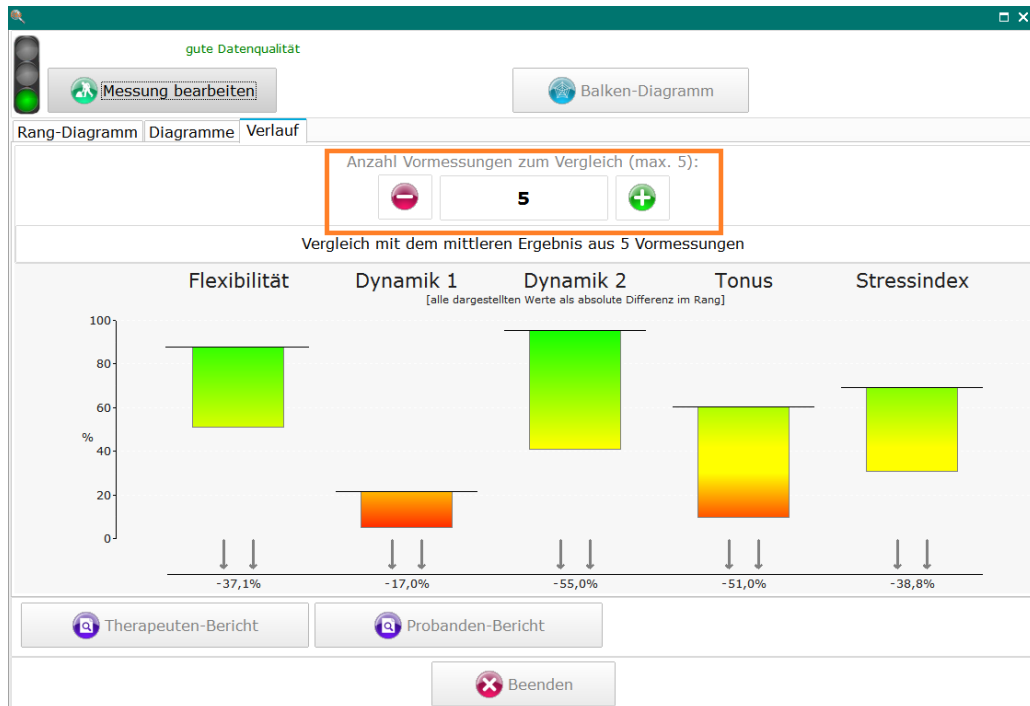


Abb. Verlauf in der Auswertung des HRV-Scanner lite

### Vormessungen im HRV-Scanner standard

Im HRV-Scanner standard können noch umfassendere Einstellungen für die Vormessungen im Tab "Parameterverlauf" vorgenommen werden.

#### Rang-Diagramm

Im Tab "Vormessungen" sehen Sie für Messungen mit hinterlegten Normwerten ein Rang-Diagramm, in das die aktuell ausgewertete Messung und die Vormessungen eingezeichnet werden.

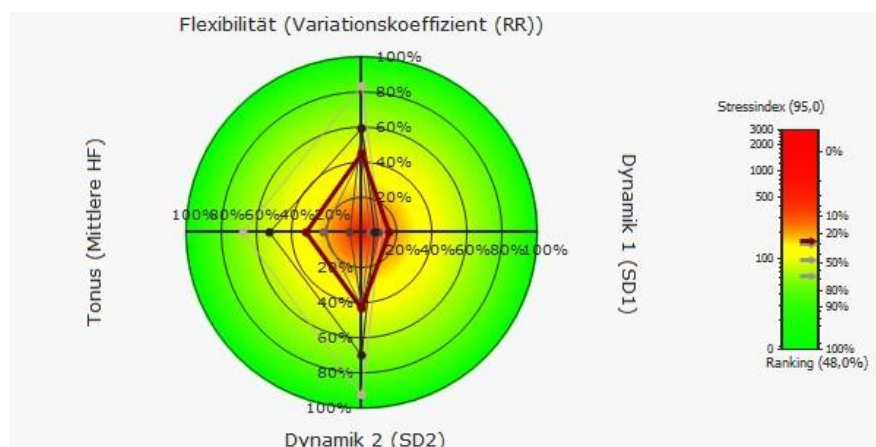


Abb. Rang-Diagramm mit der aktuell ausgewerteter Messung und den Vormessungen

## Biofeedback-Verlauf

Für Biofeedback-Messungen wird statt dem Rang-Diagramm ein Verlauf angezeigt:

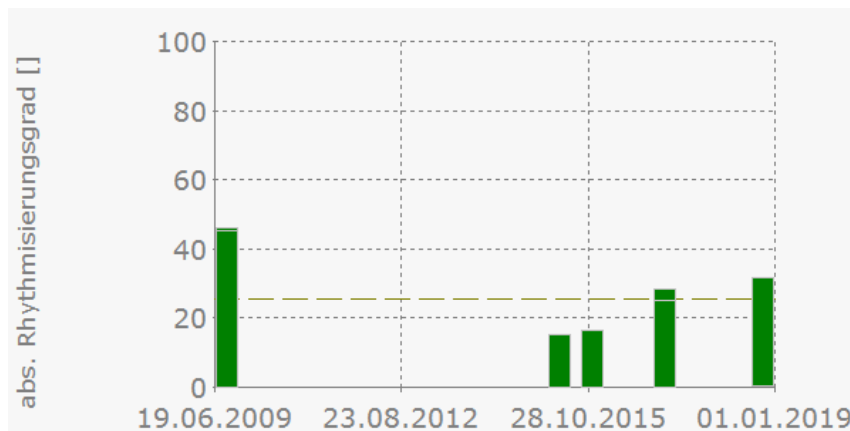


Abb. Verlauf der Biofeedback-Messungen

In der rechten Liste "Referenzmessungen" können Messungen einzeln für die Anzeige im Rang-Diagramm, bzw. Verlauf aktiviert oder deaktiviert werden.

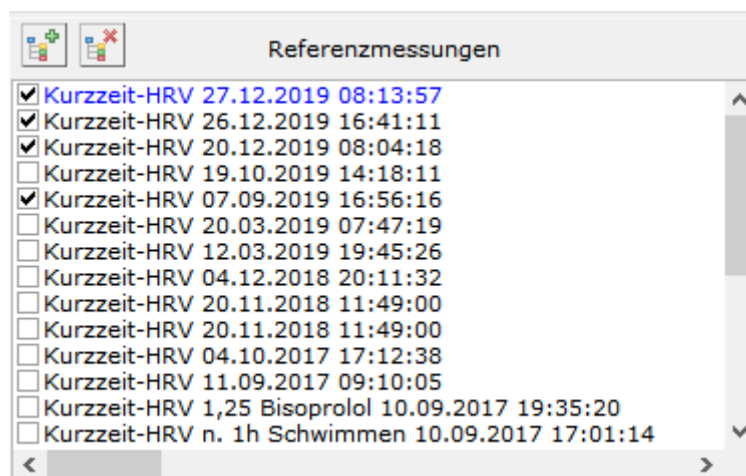


Abb. Individuelle Auswahl der Vormessungen

Messungen, die in diesem Fenster angehakt sind, werden auch im Verlaufsdiagramm und in den Berichten als Vormessungen berücksichtigt. Mit den beiden Buttons oben können alle Messungen ausgewählt oder deaktiviert werden.

Um festzulegen, welche Messungen im Fenster "Referenzmessungen" angezeigt werden, nutzen Sie bitte die Filtereinstellungen im Fensterteil links unten:

Anzahl (x Messungen in die Vergangenheit) Anzahl Vormessungen 25		Alle Messungen (Anzahl: 113 davon nicht ausgewertet: 2)		
Bezeichnung	Datum	zuletzt ausgewer...		
Kurzzzeit-HRV 27.12.2019 08:13:57	27.12.2019 08:13	01.01.2020 17:51		
Kurzzzeit-HRV 26.12.2019 16:41:11	26.12.2019 16:41	26.12.2019 16:47		
Kurzzzeit-HRV 20.12.2019 08:04:18	20.12.2019 08:04	24.12.2019 09:17		
Kurzzzeit-HRV 19.10.2019 14:18:11	19.10.2019 14:18	24.11.2019 17:43		
Kurzzzeit-HRV 07.09.2019 16:56:16	07.09.2019 16:56	19.10.2019 14:25		
Kurzzzeit-HRV 20.03.2019 07:47:19	20.03.2019 07:47	20.12.2019 08:12		
Kurzzzeit-HRV 19.03.2019 18:55:19	19.03.2019 18:55	---		
Kurzzzeit-HRV 19.03.2019 14:33:59 1h n...	19.03.2019 14:33	---		
Kurzzzeit-HRV 12.03.2019 19:45:26	12.03.2019 19:45	12.03.2019 19:51		
Kurzzzeit-HRV 04.12.2018 20:11:32	04.12.2018 20:11	20.12.2019 08:14		
Kurzzzeit-HRV 20.11.2018 11:49:00	20.11.2018 11:49	11.12.2018 08:51		
Kurzzzeit-HRV 20.11.2018 11:49:00	20.11.2018 11:49	27.02.2019 13:40		

Abb. Filtereinstellungen für Vormessungen und Liste aller Messungen

Im Filter können Sie wählen, ob Sie alle Vormessungen anzeigen möchten, nur eine bestimmte Anzahl Vormessungen oder nur Vormessung aus einem bestimmten Zeitraum.

## Veränderung

Bei Messungen mit hinterlegten Normwerten sehen Sie zusätzlich das Diagramm "Veränderungen". Hier werden die Änderungen in den Zielparameter als absolute Differenz der aktuellen Messung zu den Medianen aus den Vormessungen angezeigt:

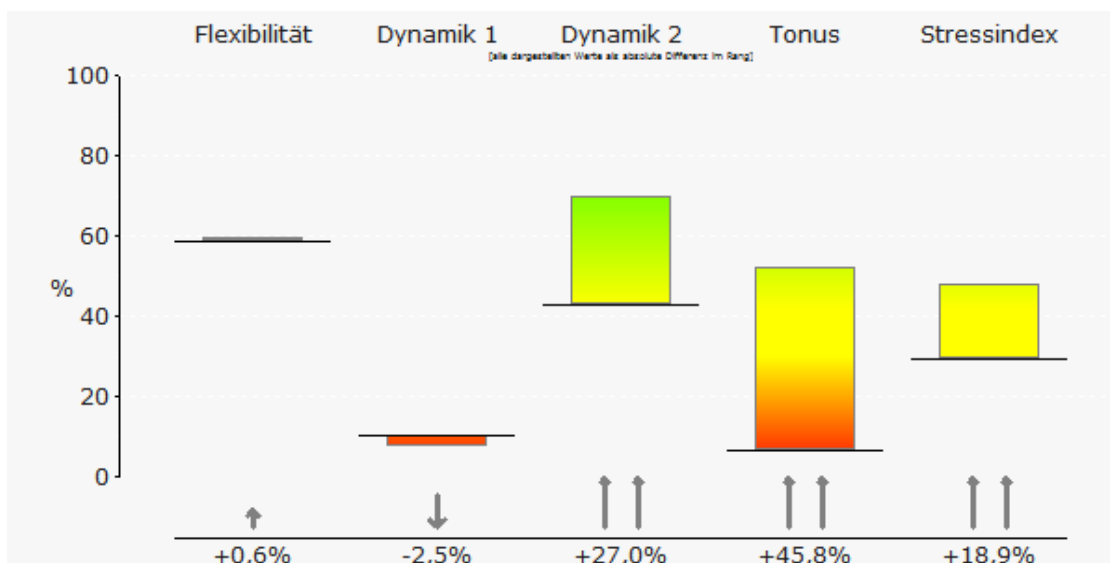


Abb. Veränderungen der Zielparameter

## Parameter

Hier können Sie einzelne Parameter im Verlauf darstellen. Die Auswahl der zu zeigenden Messungen wird unten links über den Filter eingestellt. Es können ein oder zwei Diagramme angezeigt werden. Die Auswahl der Parameter kann jeweils pro Diagramm gewählt werden.

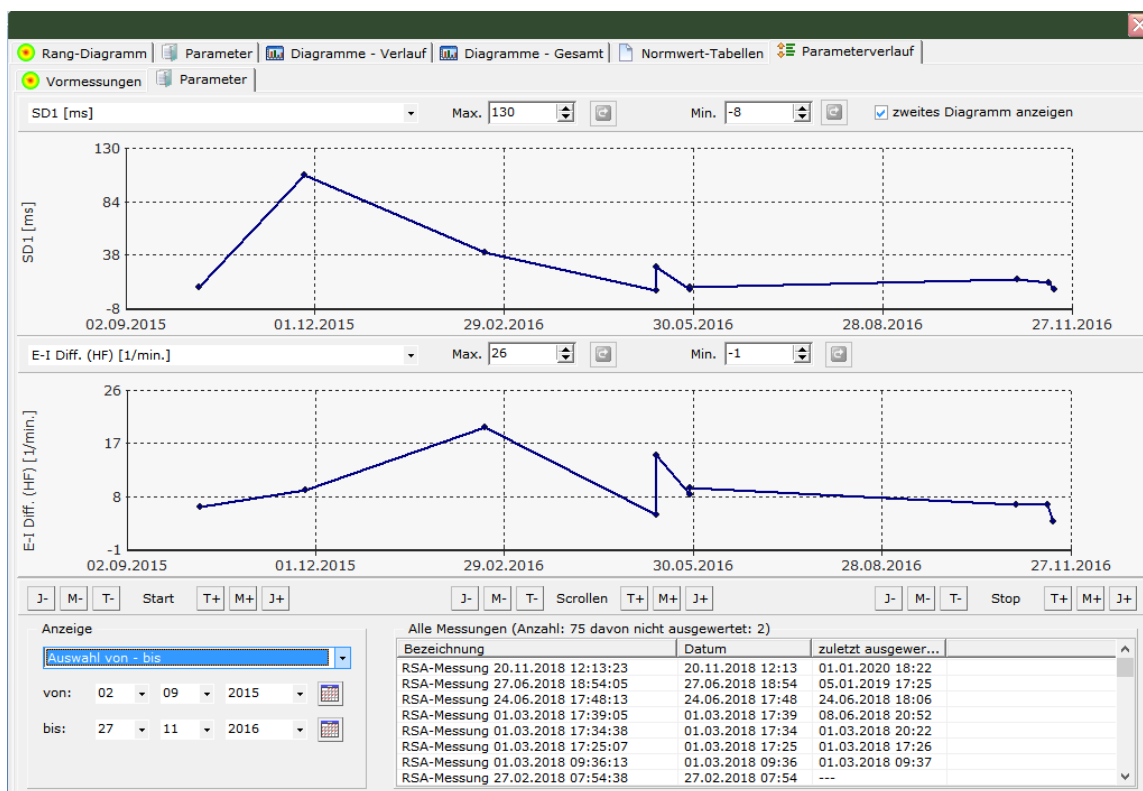


Abb. Parameterverlauf einzelner Parameter basierend auf einer Auswahl von Messungen

## 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-Compliance [%]**

(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

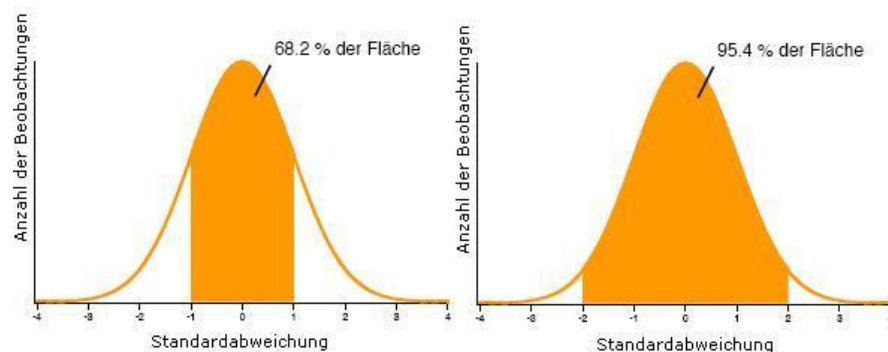
## Mittlere HF [1/min.]

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).

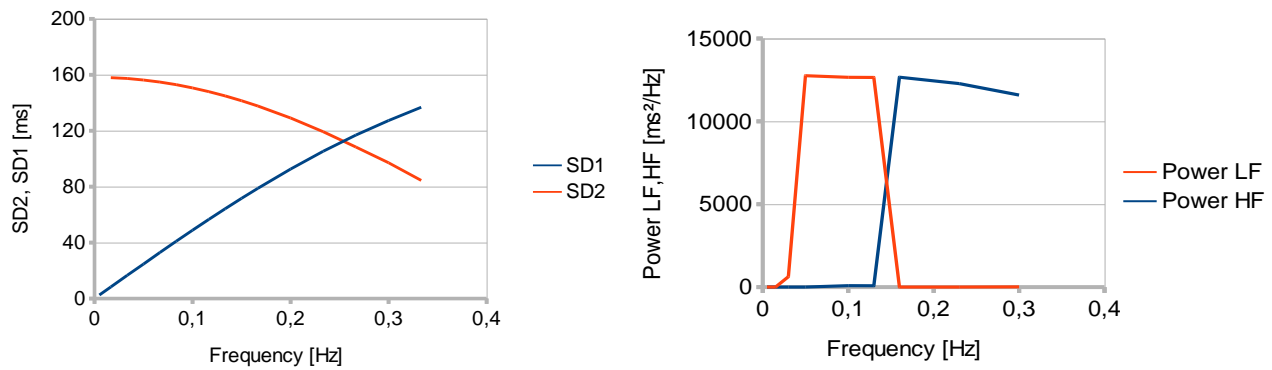


Bild 1

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.

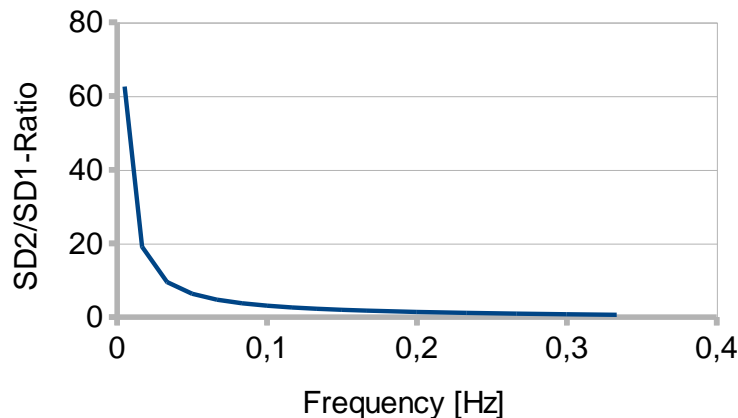


Bild 2 Verlauf des SD2/SD1-Quotienten für die entsprechenden SD-Werte von Bild 1.

### Normalisierter SD2/SD1-Quotient [ $\sigma$ ]

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.

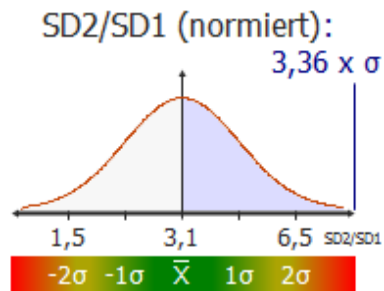


Bild 3

Gauß-Verteilung der SD2/SD1-Quotienten der beiden Studien ( $n = 843$ ). Ein normierter SD2/SD1-Wert von beispielsweise  $2\sigma$  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 <sup>1</sup>.

Es gibt eine Reihe von Studien, die belegen, dass ein reduzierter alpha1-DFA mit einem erhöhten Mortalitäts-Risiko verbunden ist <sup>2,3,4,5,6</sup>. In einer Studie hatte der SD1/SD2-Quotient, also der Kehrwert unseres SD2/SD1-Quotienten, sogar die stärkste Assoziation mit der Mortalität nach Herzinfarkt <sup>2</sup>. 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 <sup>7</sup>. Je höher der SD2/SD1-Quotient, desto stärker war die Schädigung der Koronararterien.

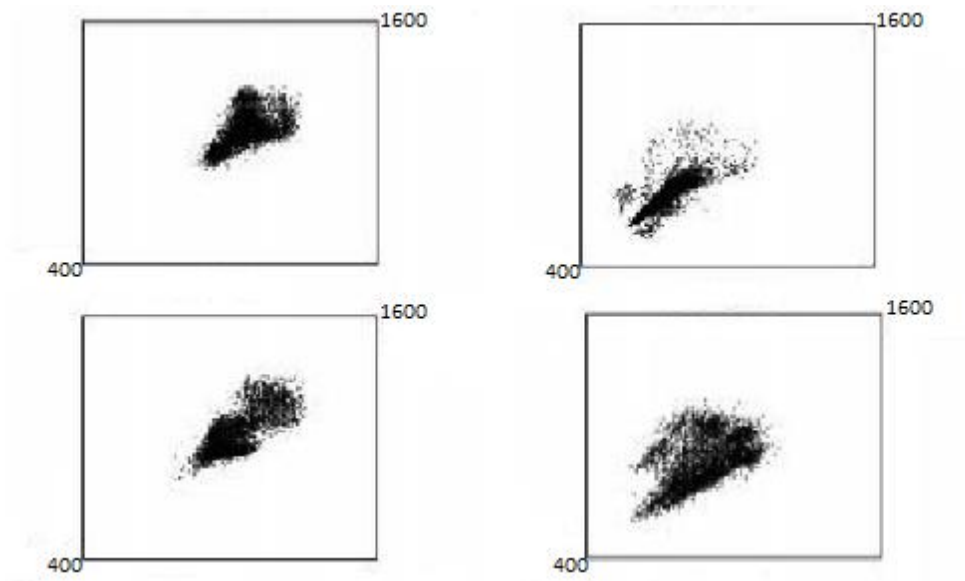
Diese scheinbar widersprüchliche Studienergebnisse lassen sich über die zugrunde liegende Physiologie erklären:

#### 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 <sup>6</sup>.





**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 $\sigma$	<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 $\sigma$ bis 1 $\sigma$	Normalbefund
> 1 $\sigma$	<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 []**

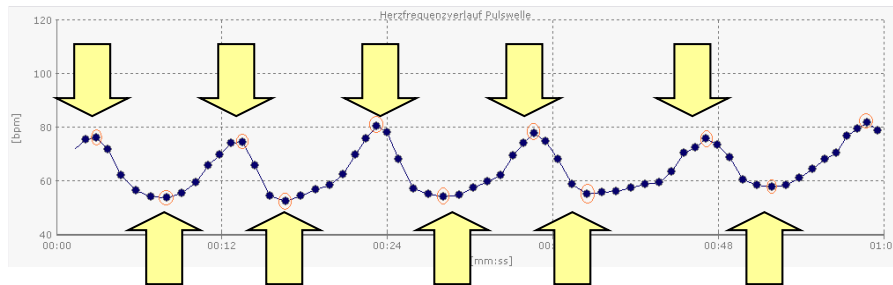
Der Rhythmisierungsgrad quantifiziert "Qualität" und "Quantität" der respiratorischen Sinusarrhythmie. "Quantität" meint dabei die Größe (Amplitude) der resp. Sinusarrhythmie, "Qualität" drückt aus, ob neben der resp. Sinusarrhythmie noch weitere Regelprozesse in der Herzfrequenz sichtbar sind. Insbesondere 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.

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

$\lambda$  = 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  $\alpha$ . Wird die Steigung über kurze Abschnittsgrößen  $n$  berechnet (z.B. 4-16 Herzschläge pro Abschnitt), drückt der resultierende Skalenexponent  $\alpha$  kurzzeitige Korrelationen aus ( $\alpha_1$  bzw. DFA1). Die Steigung über größere Abschnittsgrößen (z.B.  $n$ : 16-64) entspricht Korrelationen über einen längeren Zeitraum ( $\alpha_2$  bzw. DFA2). Ein  $\alpha_1$  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  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  im 24-EKG zeigen, z.B. nach Herzinfarkt ( $\alpha_1$ ) oder Mortalität bei Älteren ( $\alpha_2$ ).

#### **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  $\alpha_1$  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. Eine 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.

## Guzik-Index

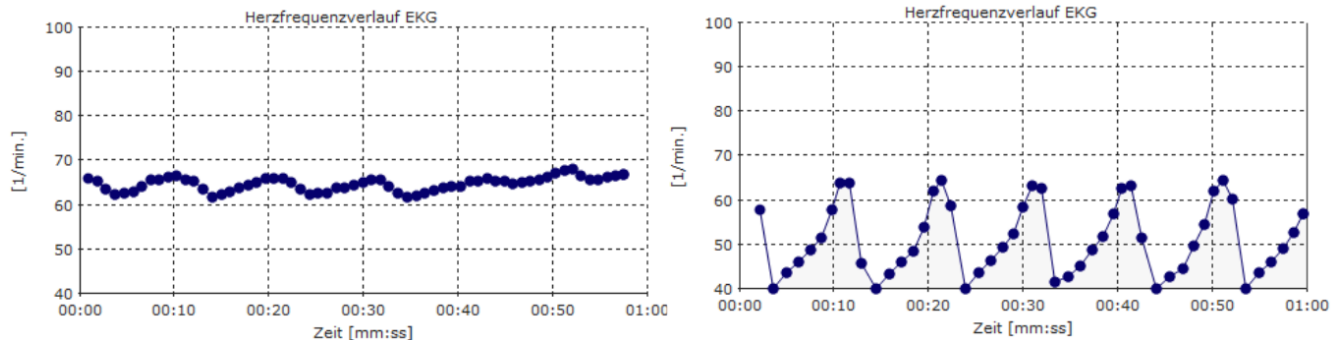
Die Bestimmung der respiratorischen Sinusarrhythmie mittels Taktatmung ist der wichtigste Test der Vagusfunktionsprüfung. Mit dem BioSign-Konzept von Flexibilität, Tonus und Dynamik lassen sich die einzelnen Aspekte der Vagusregulation differenziert erfassen und bewerten: Ein gut funktionierender Vagus sollte einen ausreichenden Grundtonus sicherstellen (niedrige Herzfrequenz), sich über einen weiten Regelbereich anpassen können (große Oszillationen der Herzfrequenz = hohe Flexibilität) und ausreichend schnell regeln (schneller Abfall der Herzfrequenz = hohe Dynamik).

Mittlerweile gibt es Hinweise, dass insbesondere der Abfall der Herzfrequenz beim Ausatmen von besonderer Bedeutung ist. So erwies sich in einer 2016 publizierten Studie an 941 Herzinfarktpatienten die durch Ausatmen bedingte Sinusarrhythmie als starker prognostischer Marker bezgl. der Überlebensrate (Hazard-Ratio: 3,4).

Expiration-Triggered Sinus Arrhythmia Predicts Outcome in Survivors of Acute Myocardial Infarction. Sinnecker D, Dommasch M, Steger A, Berkefeld A, Hoppmann P, Müller A, Gebhardt J, Barthel P, Hnatkova K, Huster KM, Laugwitz KL, Malik M, Schmidt G. J Am Coll Cardiol. 2016 May 17;67(19):2213-2220

Allerdings war es nicht erst die moderne computergestützte Medizin, die den Zusammenhang zwischen Ausatmung, HRV und Bedeutung für die Gesundheit herzustellen konnte. Tatsächlich findet sich die erste bekannte Beschreibung des Zusammenhangs von Herzfrequenzabfall beim Ausatmen und Gesundheit bereits im „Gelben Kaiser“ dem Standardwerk der Traditionellen Chinesischen Medizin: "Zählt man pro Ausatmung vier oder mehr Pulsschläge, dann ist dies ein Zeichen des Todes."

In den letzten 20 Jahren haben wir bei der BioSign unzählige RSA-Messung gesichtet. Unsere Beobachtungen stützen die Annahme, dass die Herzregulation beim Ausatmen ein besonders gutes Kennzeichen der vagalen Funktion darstellt: Je besser der körperliche Trainingszustand, desto schneller ist in der Regel der Herzfrequenzabfall beim Ausatmen.

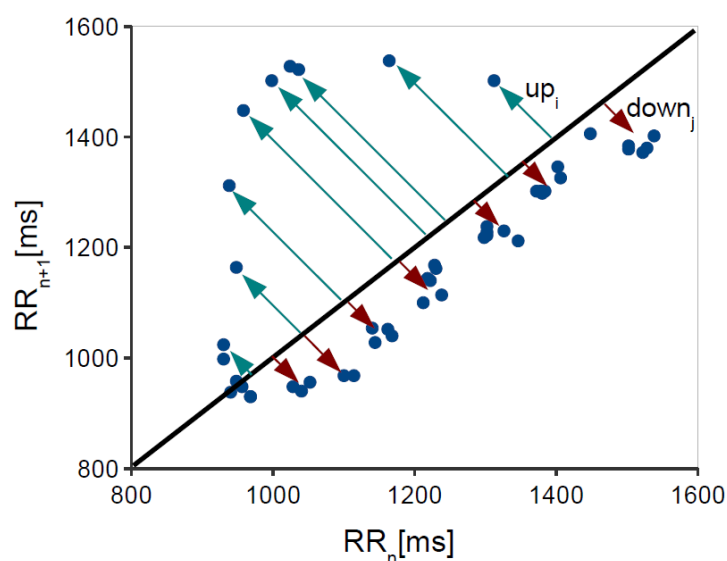


Grund genug also, der Herzfrequenzregulation beim Ausatmen in der neuesten HRV-Scanner Version mehr Aufmerksamkeit zu widmen, zumal mit den Publikationen von Guzik und Piskorski zur „Heart Rate Asymmetry“ ein geeignetes Framework und vor allem verständliche und anschauliche Parameter zur Verfügung stehen.

Heart rate asymmetry by Poincaré plots of RR intervals. Guzik P, Piskorski J, Krauze T, Wykretowicz A, Wysocki H. Biomed Tech (Berl). 2006 Oct;51(4):272-5.

### Parameter Guzik-Index

Beim Einatmen erhöht sich die Herzfrequenz, beim Ausatmen fällt sie ab. Die RR-Intervalle verhalten sich invers: Wenn die Herzfrequenz abfällt verlängern sich die RR-Intervalle. Im Poincare-Diagramm lassen sich deshalb Ein- und Ausatmung unterscheiden: Alle Punkte oberhalb der Winkelhalbierenden entsprechen einer Verlangsamung der Herzfrequenz (Zunahme der RR-Intervalle) und lassen sich der Ausatmung zuordnen, alle Punkte unterhalb der Winkelhalbierenden drücken eine Beschleunigung der Herzfrequenz aus und fallen in die Einatemphase.



Poincare-Diagramm einer RSA-Messung einer Leistungssportlerin.  $up(i)$  kennzeichnet den Abstand des Herzschlags ( $i$ ) von der Winkelhalbierenden beim Ausatmen,  $down(j)$  den Abstand des Herzschlags ( $j$ ) von der Winkelhalbierenden beim Einatmen.




Der durchschnittliche Abstand aller Punkte von der Winkelhalbierenden ist der allseits bekannte SD1. Nach Guzik lässt der SD1 als Summe der SD1-Werte oberhalb (Ausatmen) und unterhalb (Einatmen) der Winkelhalbierenden darstellen:

$$\begin{aligned} SD1^2 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n_{up}} u_j^2 + \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n_{down}} d_k^2 \\ &= SD1_{up}^2 + SD1_{down}^2, \end{aligned}$$

Setzt man nun die beiden Beträge oberhalb und unterhalb der Winkelhalbierenden ins Verhältnis, so erhält man den Guzik-Index:

$$\text{Guzik-Index} = \frac{SD1_{up}^2}{SD1_{down}^2}$$

Der Guzik-Index ist umso höher, je stärker und schneller die Herzfrequenz beim Ausatmen abfällt und stellt aus unserer Sicht eine sinnvolle Ergänzung zum generalisierten Parameter SD1 dar. Mit Hilfe des Guzik-Index kann die Dynamik-Komponente der vagalen Regulation differenziert betrachtet werden. Der Guzik-Index ist auch hilfreich in der Beurteilung, ob eine „gesunde“ Dynamik vorliegt: Bei Rhythmusstörungen oder eher als ungesund zu wertendem „erratischen“ Sinusrhythmus (Heart Rate Fragmentation) verändern sich SD1 und Guzik-Index gegenläufig, siehe Tabelle.

Beschreibung	Parameter	Ranking (%)	Rank-Chart
Leistungssportler	SD1: 134,58 ms Guzik-Index: 3,98	99,5 94,82	
Vorhofflimmern	SD1: 149,95 ms Guzik-Index: 1,05	99,8 7,2	
erratischer Sinusrhythmus	SD1: 94,45 ms Guzik-Index: 0,99	99,2 5,3	

Wir haben für den Guzik-Index ca. 800 RSA-Messungen aus unserem Pool analysiert und alterskorrigierte Referenzwerte hinterlegt, so dass man auf einem Blick erkennen kann, ob es in der Verteilung der Dynamik zwischen Ein- und Ausatmung Auffälligkeiten gibt.

In die Analyse der Qiu-Messungen haben wir den Parameter auch implementiert. Es ist für den einen oder anderen Anwender vermutlich interessant zu sehen, ob und wie stark sich die Dynamik beim Ausatmen trainieren lässt. Im nachfolgenden Beispiel ist der Verlauf des Guzik-Index über 12 Monate abgebildet. Die Verbesserung ist signifikant.

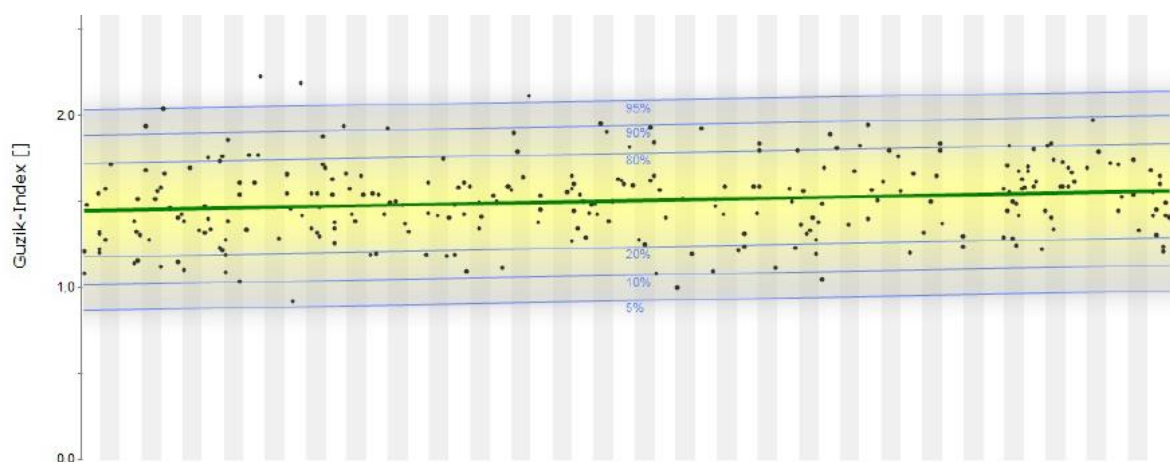


Bild signifikant positiver Verlauf des Guzik-Index über 12 Monate Qiu-Training ( $p < 0,01$ )

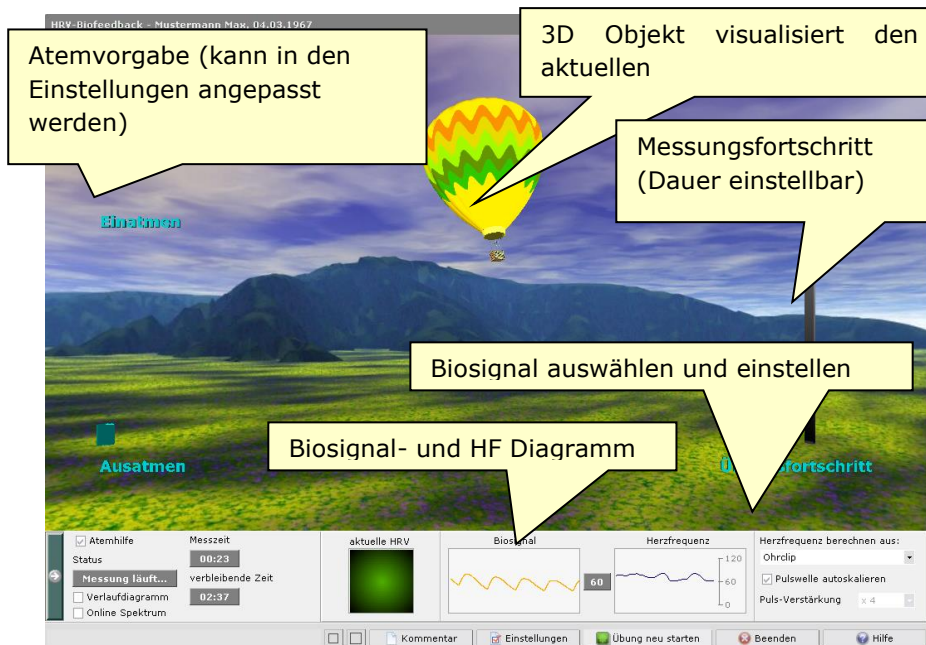


## HRV-Biofeedback

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

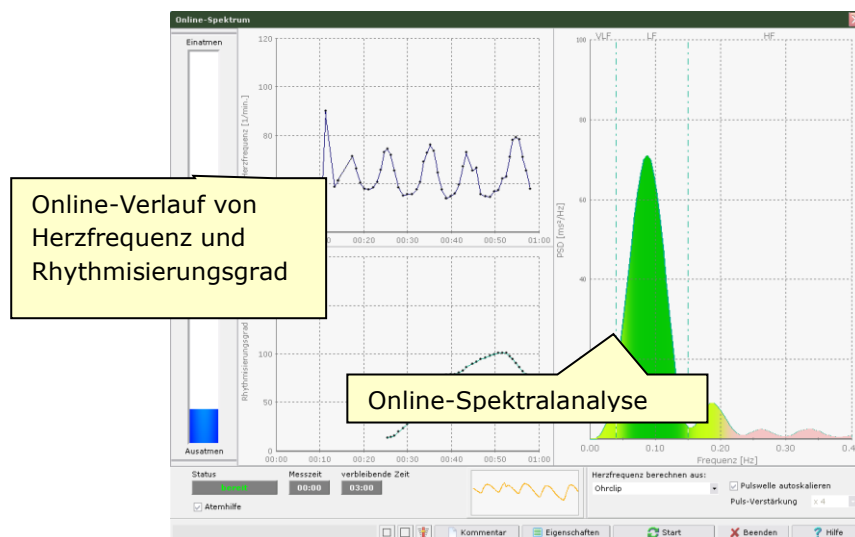
Im linken Teil des Biofeedbackfensters befindet sich der Atembalken, der den Rhythmus der Atmung vorgibt. Der Atemrhythmus können Sie in den Einstellungen individuell anpassen oder ganz ausblenden. Der Balken rechts stellt den Fortschritt der Biofeedbackübung dar (die Dauer der Übung kann ebenfalls in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

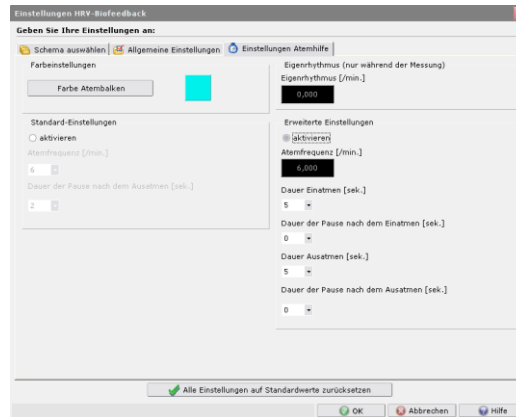
Wie schon gesagt ist Kohärenz der Gleichklang von Atmung und Herzschlag. Die richtige Atmung ist deshalb der zentrale Bestandteil eines jeden erfolgreichen HRV-Biofeedbacks. Um bei der richtigen Atmung zu unterstützen, verfügt der HRV-Scanner über eine Atem-Hilfe:

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:

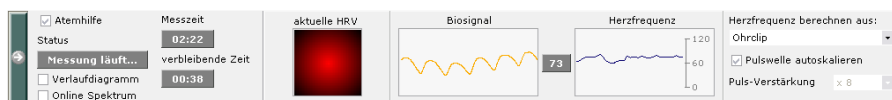


## Wie Sie erfahren, ob Atmung und Herzschlag im Takt (rhythmisiert) sind

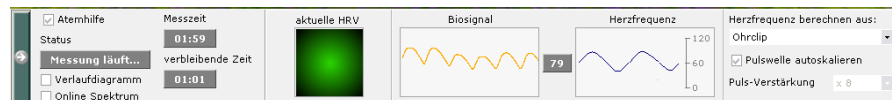
Richten Sie Ihre Aufmerksamkeit auf die Farbtafel links unten:



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

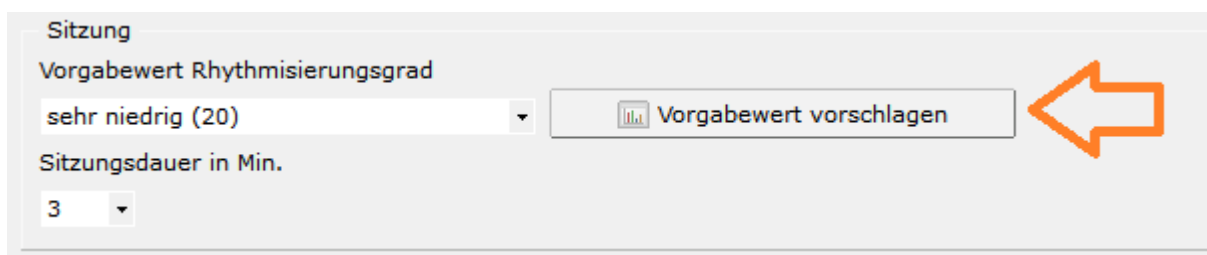
Für den Anfang empfehlen wir 3-5 Minuten. Am besten 2 oder 3 Mal täglich. Mit der Zeit kann die Dauer erhöht werden (evtl. auch unter Absenkung der täglichen Übungshäufigkeit).

### Vorgabewert Rhythmisierungsgrad (Schwierigkeitsgrad der Übung)

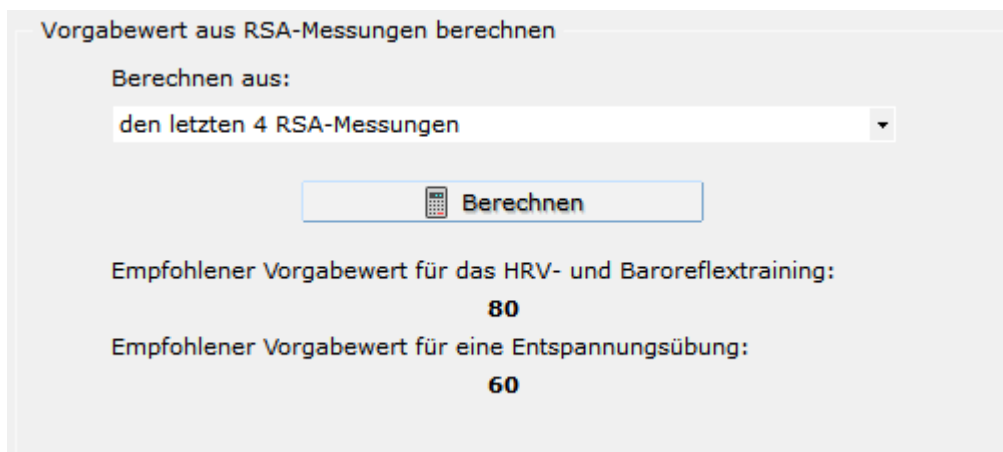
Wichtig ist das HRV-Biofeedback so für den Übenden einzustellen, dass eine gute Dynamik in der Wiedergabe der aktuellen Kohärenz (Farbtafel, Ballon steigt und fällt, Qiu leuchtet grün und rot,...) vorhanden ist. Es nutzt dem Übenden wenig, wenn z.B. die Farbtafel ständig rot ist, egal wie sehr er sich 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](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](mailto: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.

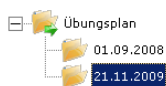
## Ohrclip als Alternative

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 Ohrkläppchen 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



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".

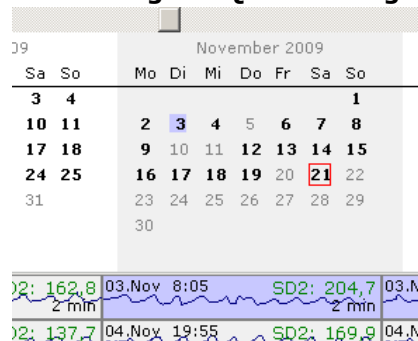
Für jeden Probanden kann ein Übungsplan mit den Übungs-Sollzeiten erstellt werden.

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.

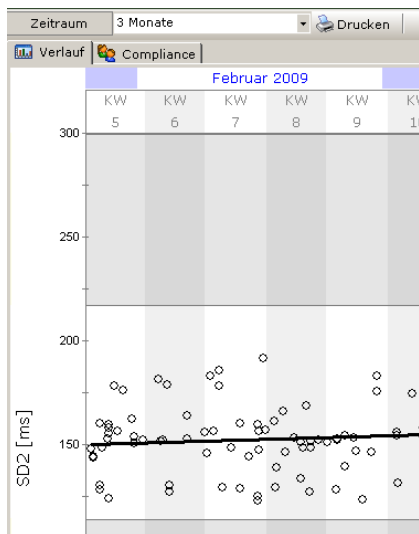
Wenn Sie mit der Maus auf einen einzelnen Tag klicken, werden in der Messungsübersicht darunter alle Messungen dieses Tages blau markiert.

## 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)

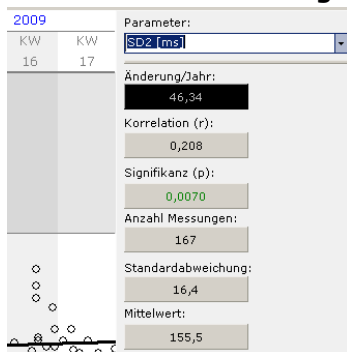
## Übersicht über den Übungserfolg mit statistischer Auswertung



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").

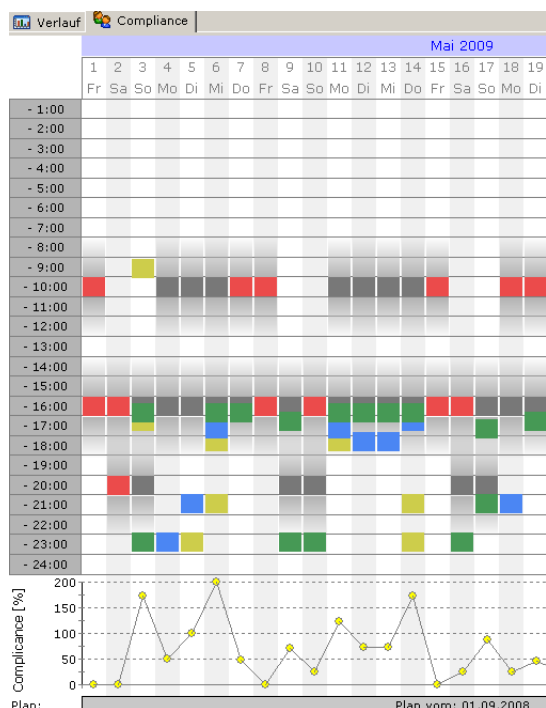
Hinweis: Es gibt einen systematischen, negativen Trend der HRV, der alle untersuchten Personen gleichermaßen trifft, nämlich die altersbedingte Abnahme der HRV. Mit jedem Lebensjahr geht ca. 1-2% der HRV verloren (bezogen auf den Ausgangswert eines 20 Jährigen). Ein negativer Trend in dieser Größe ist 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

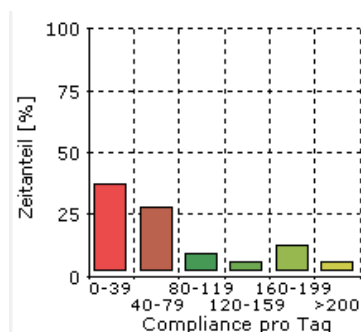


Die Compliance-Übersicht macht transparent, wie gut sich Ihr Proband an den vorgegebenen Übungsplan hält. Dazu werden die Zeitpunkte der Qiu-Messungen mit dem Übungsplan verglichen und grafisch dargestellt



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.

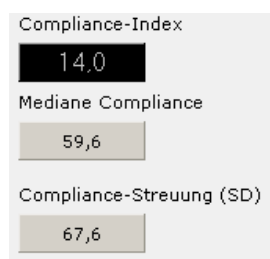
Entsprechend bedeutet eine kleinere Compliance als 100% ein zu geringes Üben des Probanden.



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 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 machte?**

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 einmal rot auf?**

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?**

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?**



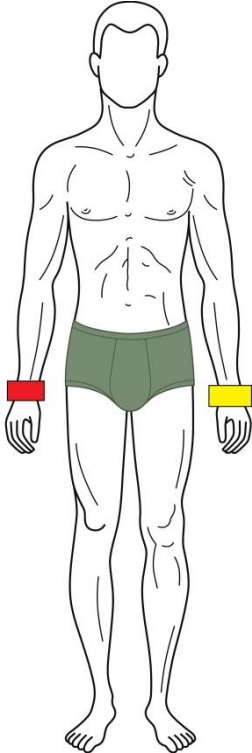
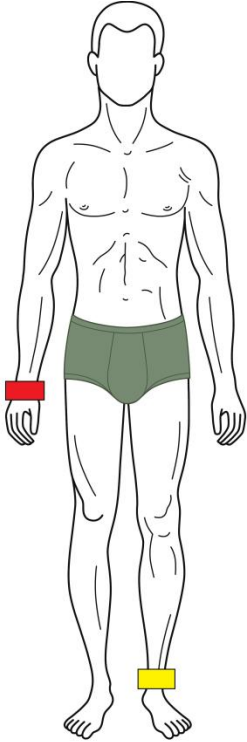
Zum Öffnen des Qiu kann die transparente Oberschale durch kurze Drehung gegen den Uhrzeigersinn entriegelt und abgehoben werden. Das Batteriefach kann dann geöffnet und die Batterien entnommen werden. nach Einsetzen der Batterien, Verschließen des Batteriefachs und Aufsetzen der Oberschale wird letztere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

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

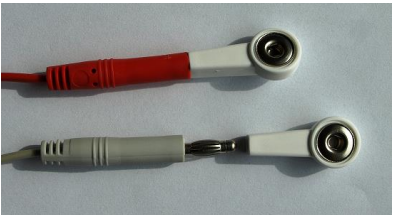
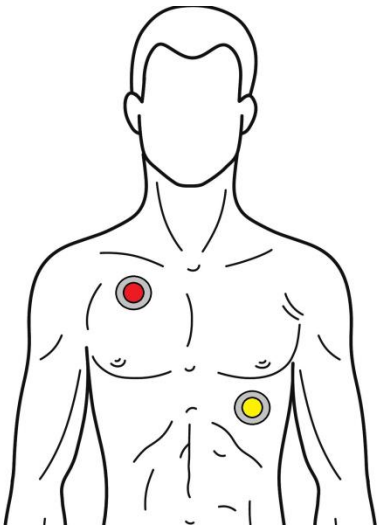
## Möglichkeiten der EKG-Ableitung

### Ableitung eines 1-Kanal EKG mit Klammern

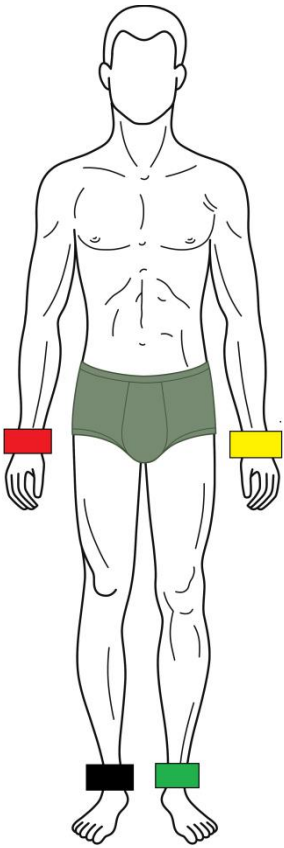
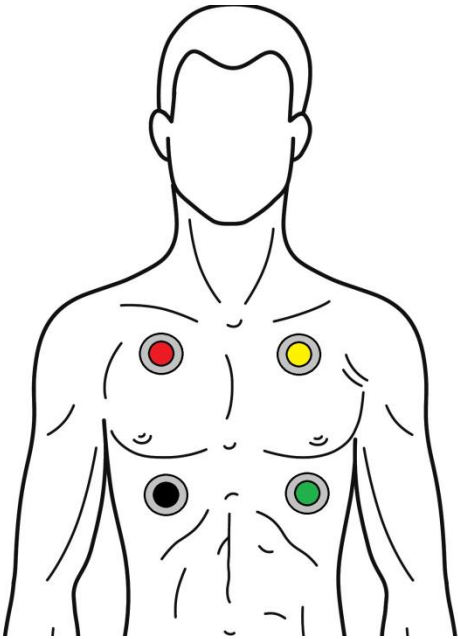
**Vorbereitung:** Verbinden Sie 2 EKG-Klammern mit dem EKG-Kabel

Hardware standard (2-adriges EKG-Kabel, Bananenstecker)	Hardware plus (4-adriges EKG-Kabel, Elektroden-Clip)
	
<p>1) Ableitung rechter Arm gegen linker Arm</p> 	<p>2) Ableitung rechter Arm gegen linken Fuß</p> 
<p>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.</p>	<p>Alternative Ableitung</p>

## 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 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 ( $\geq 32$  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.