

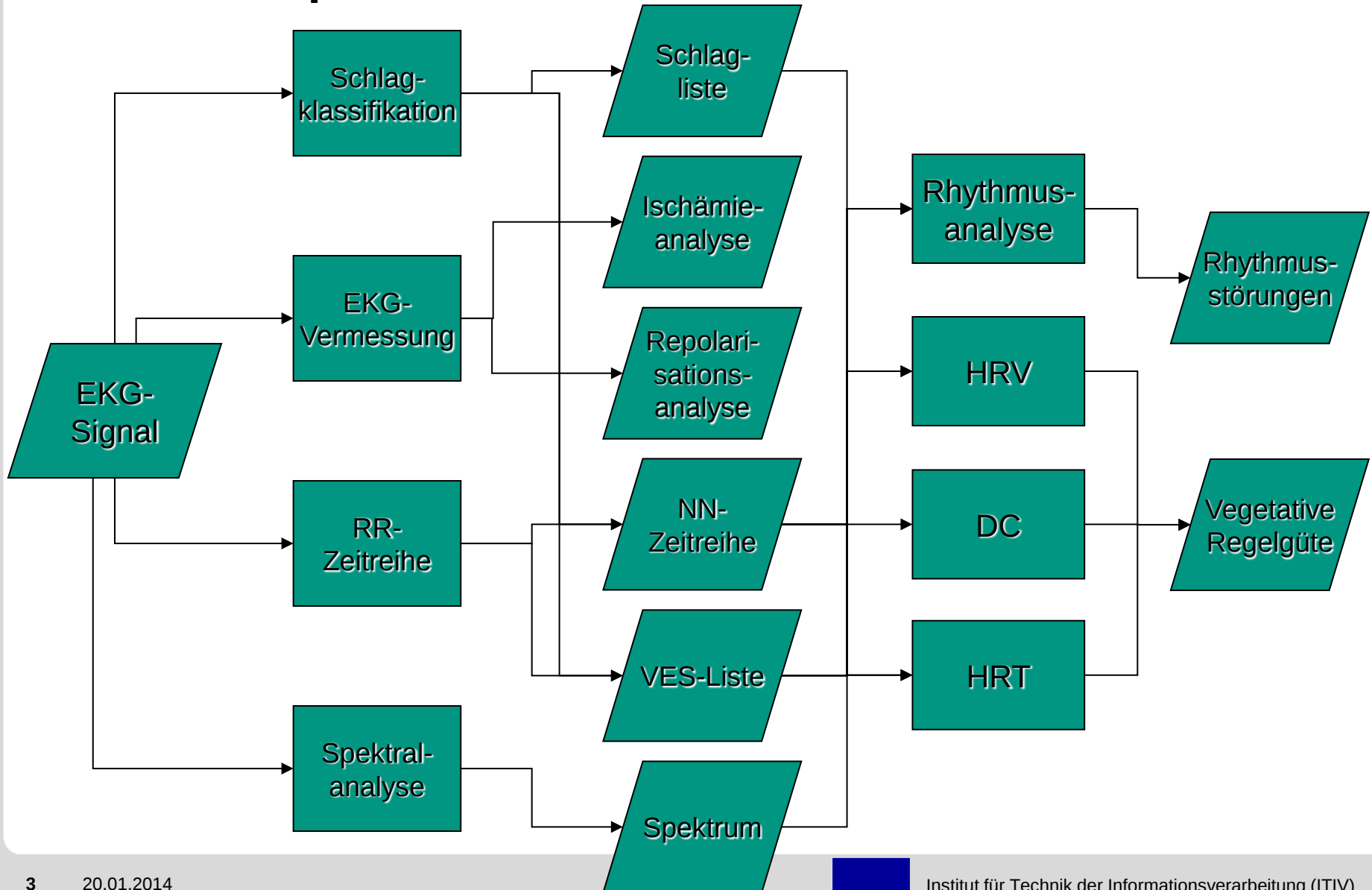
Biomedizinische Messtechnik I

Prof. Wilhelm Stork

Institut für Technik der Informationsverarbeitung (ITIV)

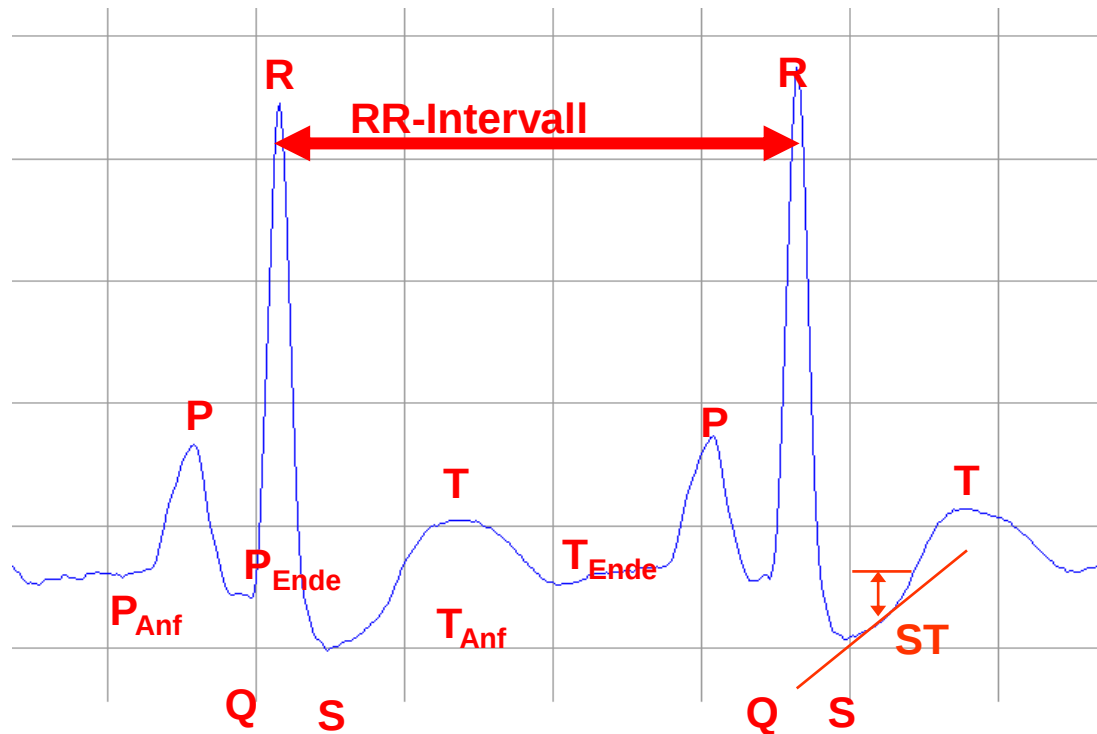


Extraktionsparameter im EKG



Extraktionsparameter im EKG

■ Parametervektor eines QRS-Komplexes



$$\vec{m}_{QRS} = (t_{P\text{-Anfang}}, t_{P\text{-Ende}}, t_Q, t_R, t_S, t_{T\text{-Anfang}}, t_{T\text{-Ende}}, t_{RR}, t_{PQ}, t_{QT}, \text{Slope}_{ST}, U_{J\text{-Point}}, U_P, U_R, U_T)$$

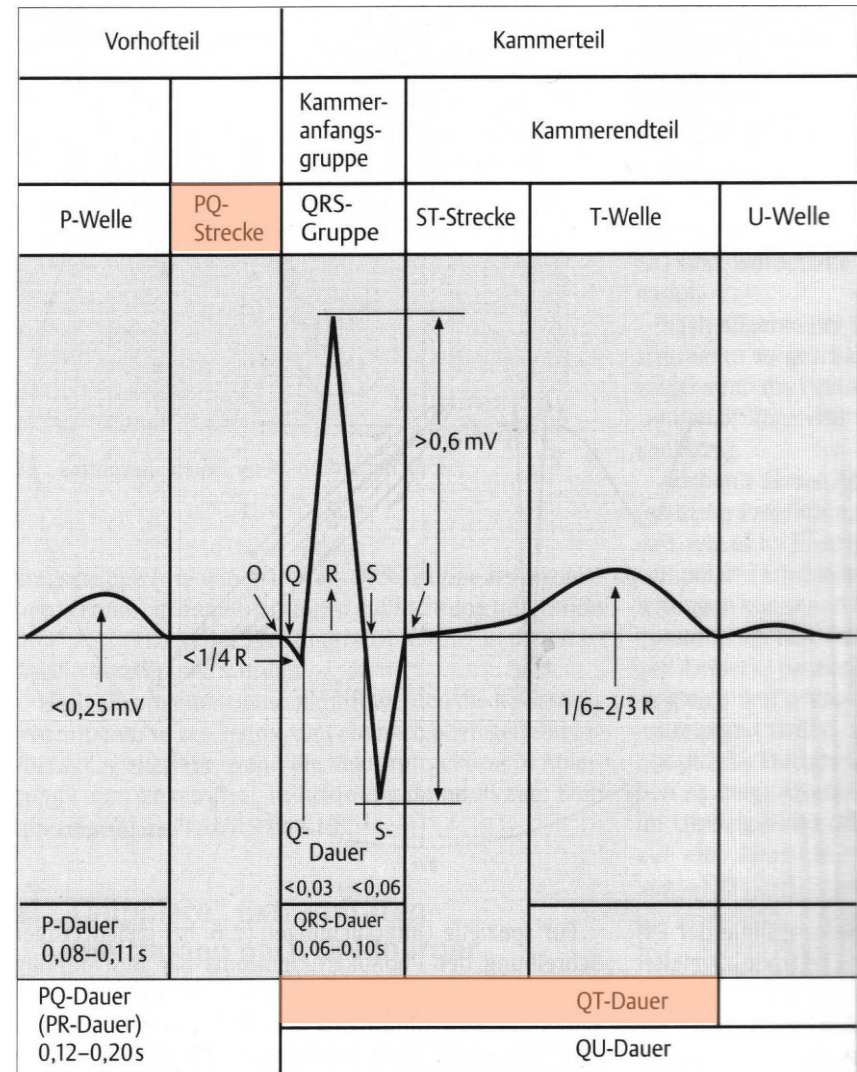
Extraktionsparameter im EKG

■ PQ-Strecke

- Hinweis auf Überleitungsstörungen im Bereich des AV-Knotens

■ QT-Dauer

- Hinweis auf Repolarisationsstörungen
→ Gefahr der Ausbildung kreisender Erregungen
- Herzfrequenzabhängige Korrektur nach der Formel von Bazett



Quelle: B.-D. Gonska, R.Heinecker: EKG in Klinik und Praxis, Stuttgart, New York, Thieme, 1999

Extraktionsparameter im EKG

- Für Schlagklassifikation
 - Differenzierung zwischen supraventrikulären und ventrikulären Schlägen
 - Erregungsleitungsstörungen im Ventrikel (Schenkelblöcke)
 - (Supra-)Ventrikuläre Extraschläge (Extrasystolen, Ectopic Beats)
 - (Supra-)Ventrikuläre Ersatzschläge (Escape Beats)
 - Schrittmacherinduzierte Schläge (SM-Spike-Erkennung meist per Hardware gelöst)

Extraktionsparameter im EKG

- Für RR-Zeitreihe
 - Histogramm der RR-Intervalle
 - Erkennen von Pausen
 - Erkennen von tachykarden/bradykarden Phasen

Medizinische Statistik:

Kenngrößen bei Klassifikationen

- Einteilung von Ereignissen in Klassen an Hand verschiedener Parameter
- Beispiel: Drei Klassen X, Y, Z, drei Ereignisse: x aus X, y aus Y, z aus Z
 - Richtige positive Klassifikation: True Positives (TP): $x \rightarrow X$; $y \rightarrow Y$; $z \rightarrow Z$
 - Richtig negative Klassifikation: True Negative (TN): $y, z \rightarrow \neg X$, $x, z \rightarrow \neg Y$, $x, y \rightarrow \neg Z$ ($\neg$ = “nicht”)
 - Falsche negative Klassifikation: False Negatives (FN): $x \rightarrow Y, Z$; $y \rightarrow X, Z$; $z \rightarrow X, Y$
 - Falsch positive Klassifikation: False Positives (FP): $y, z \rightarrow X$; $x, z \rightarrow Y$; $x, y \rightarrow Z$

Medizinische Statistik: Kenngrößen bei Klassifikationen

- Eintragen der Testergebnisse in Ergebnismatrix bei bekannter Referenz

Ref \ Test	X	Y	Z
x	$xX = TP(X)$	$xY = FP(X) = FN(Y)$	$xZ = FP(X) = FN(Z)$
y	$yX = FP(Y) = FN(X)$	$yY = TP(Y)$	$yZ = FP(Y) = FN(Z)$
z	$zX = FP(Z) = FN(X)$	$zY = FP(Z) = FN(Y)$	$zZ = TP(Z)$

Medizinische Statistik: Kenngrößen bei Klassifikationen

- Sensitivität (Sensitivity):
Empfindlichkeit des Verfahrens

$$Se = \frac{TP}{TP + FN}$$

- Spezifität (Specificity):
Trennungsfähigkeit eines Verfahrens

$$Sp = \frac{TN}{TN + FP}$$

- Positive Prädiktivität (Pos. Predictivity):
Zuverlässigkeit einer Klassifikation

$$+P = \frac{TP}{TP + FP}$$

- Negative Prädiktivität (Neg. Predictivity):
Zuverlässigkeit einer Nicht-Klassifikation

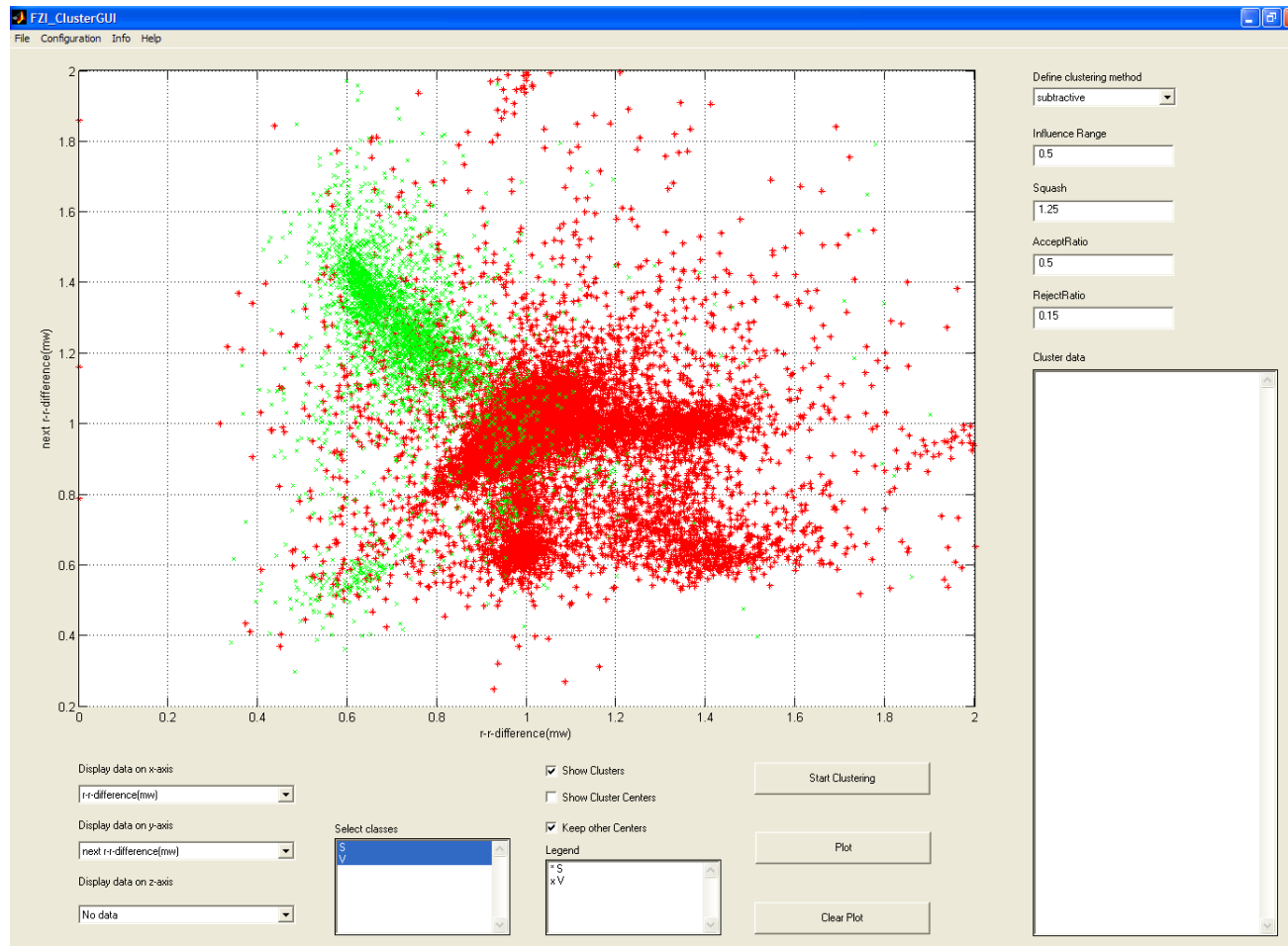
$$-P = \frac{TN}{TN + FN}$$

- Akkuratheit (Accuracy):
Maß für die Gesamtgüte

$$AC = \frac{\sum TP}{\sum TP + \sum FP} = \frac{\sum TP}{\sum TP + \sum FN}$$

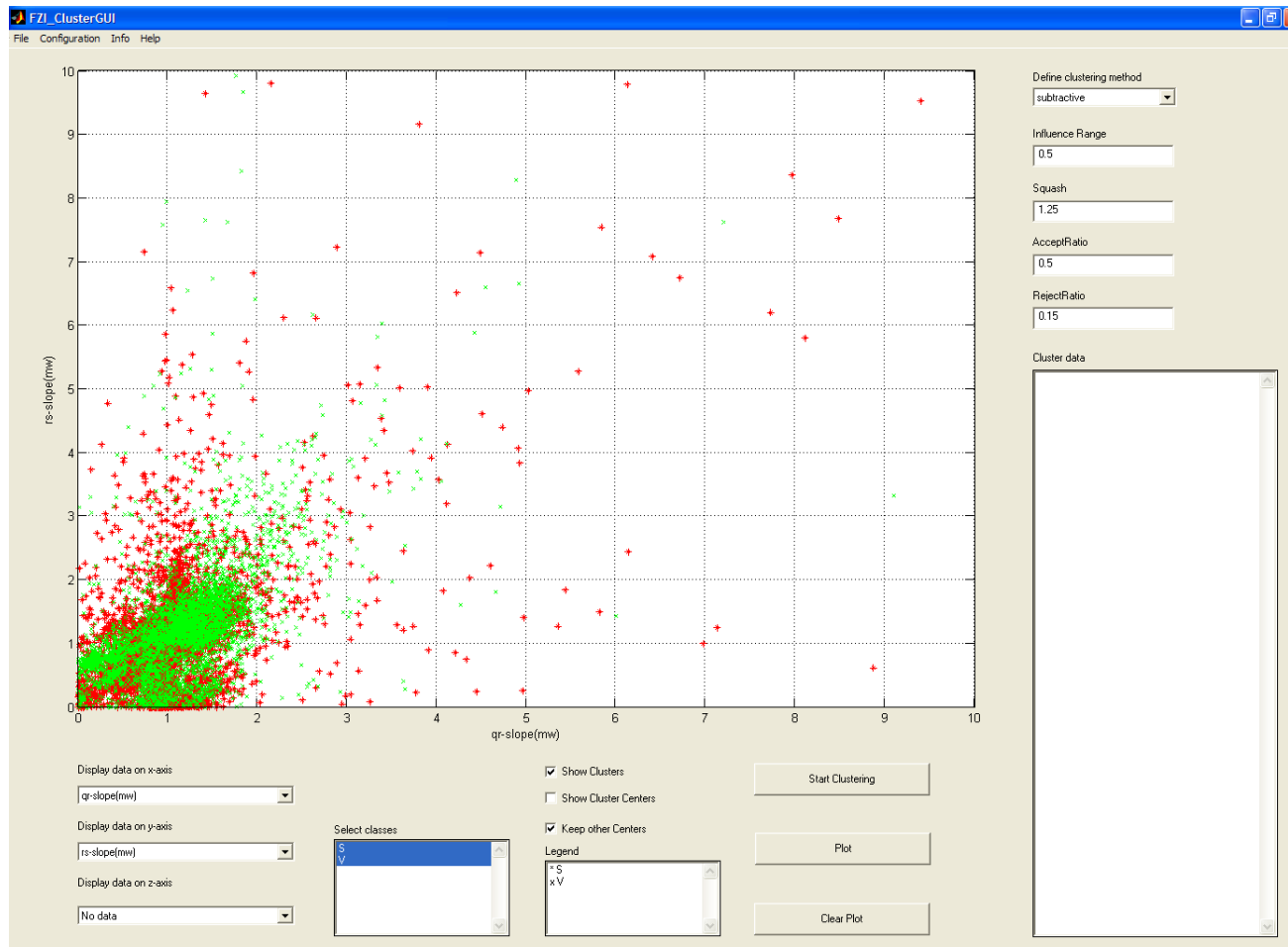
Parameterplots als Grundlage für Klassifikation

■ Aktuelles RR-Intervall vs. nächstes RR-Intervall



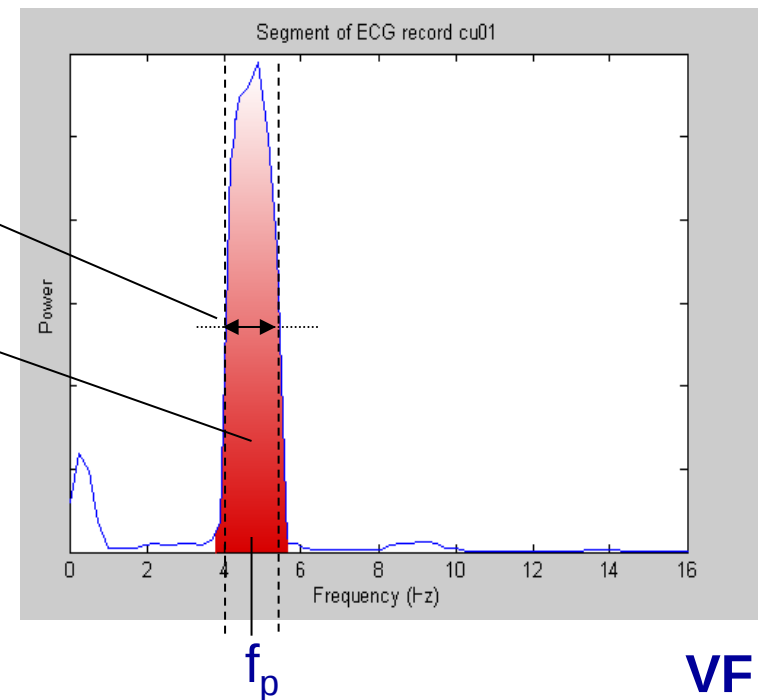
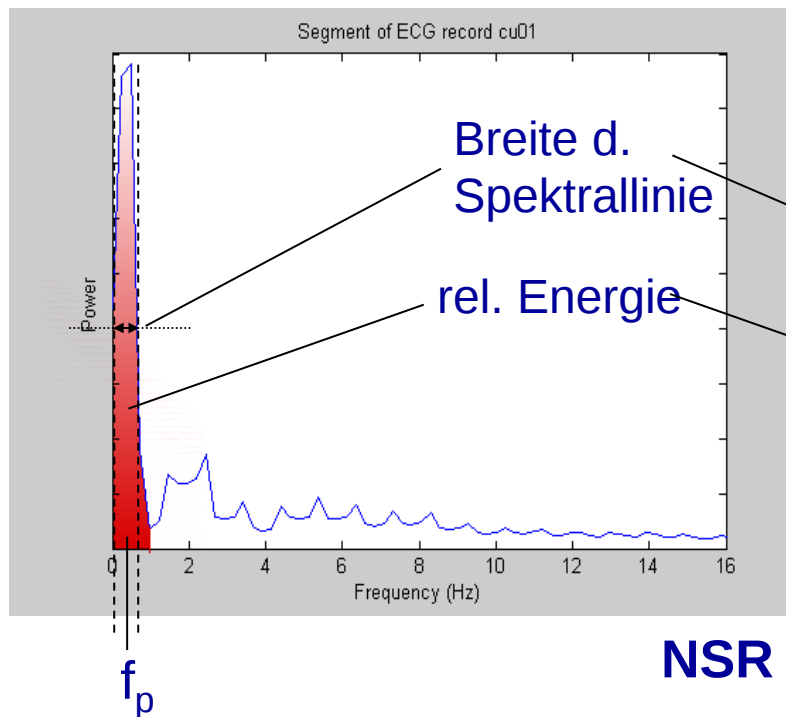
Parameterplots als Grundlage für Klassifikation

- QR-Slope vs. RS-Slope (keine Differenzierung möglich)



Extraktionsparameter im EKG

■ Für Spektralanalyse



Meta-Informationen des EKG

- Schlagliste
 - Liste der klassifizierten Schläge → Grundlage für Rhythmusanalyse
- Ischämie
 - Vermessungen der ST-Strecke
 - Abweichung von der Nulllinie am J-Punkt
 - Steigung der ST-Strecke
- Repolarisation
 - QT-Dauer
 - Spätpotentialanalyse
- NN-Zeitreihe
 - Ausgangspunkt für HRV oder DC
- VES-Liste
 - Beurteilung der Schwere koronarer Herzkrankheiten (KHK)
 - Einteilung in Lown-Klassen
- Spektrum
 - Parameter für Unterscheidung zwischen defibrillationspflichtigen (VT/VF) und nicht defibrillationspflichtigen Rhythmen

Meta-Informationen des EKG

■ Rhythmusanalyse

- Bezeichnung von EKG-Abschnitten auf Grundlage der detektierten Schlagklassen. Beispiel:
 - Extrasystolen, Coplets, Salven, ventrikuläre Tachykardien
 - Pausen, supraventrikuläre Tachykardien
 - Blockbilder (AV-Block, Schenkelblock)

■ HRV

- Statistische Parameter
- Geometrische Parameter
- Spektrale Parameter

■ HRT

- Turbulence Onset
- Turbulence Slope

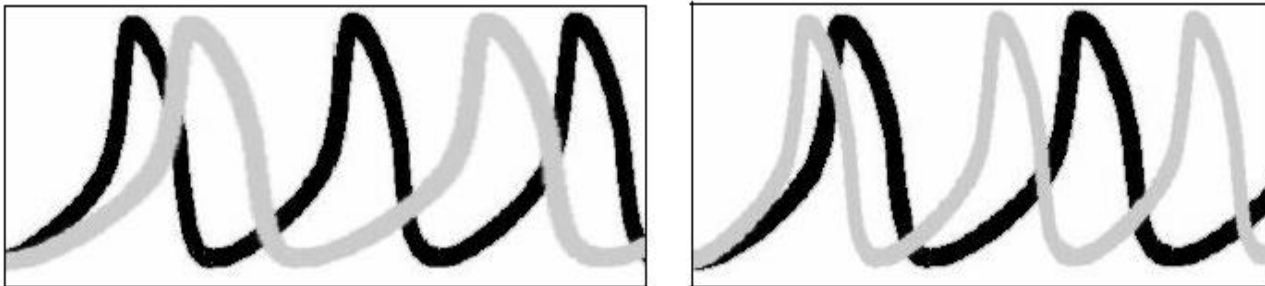
Lown-Klassen

- Beurteilung der Schwere einer KHK an Hand der Art des Auftretens von ventrikulären Erregungsbildungsstörungen

Grad	Beschreibung
Grad 0	Keine ventrikulären Extrasystolen (VES)
Grad I	VES < 30/h
Grad II	VES > 30/h
Grad IIIa	Polytope VES
Grad IIIb	Ventrikulärer Bigeminus
Grad IVa	Couplets
Grad IVb	Triplets
Grad V	Früh einfallende VES (R-on-T)

Herzratenvariabilität (HRV)

- Modulation der Herzfrequenz durch das vegetative Nervensystem
→ Schwankung aufeinander folgender RR-Intervalle
- Modulation greift auf spontane Depolarisation des Sinusknotens zu
→ nur Betrachtung von NN-Intervallen
- Modulationsfrequenzen sehr niedrig
→ lange Beobachtungszeiträume notwendig (Langzeit-EKG)
- Eingeschränkte HRV ist zuverlässiger Prädiktor für plötzlichen Herztod
(= spontanes Entwickeln einer VT/VF)
- Entwicklung vielfältiger Parameter



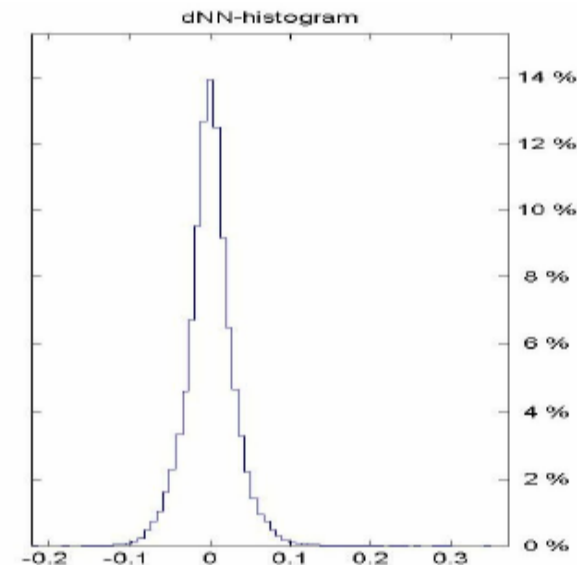
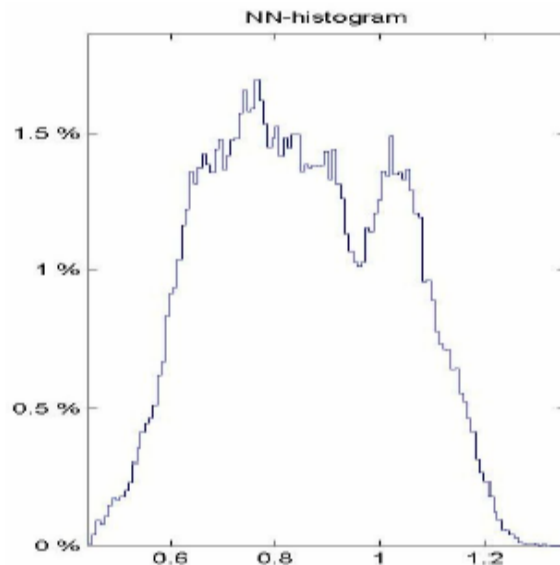
HRV: Statistische Parameter

- SDNN Standardabweichung aller NN-Intervalle
 - Spontanvariabilitäten von Schlag zu Schlag und über längere Zeiträume (Tag-Nacht-Zyklus). SDNN steigt mit der Länge des Aufnahmezeitraums.
- SDNNindex
 - Gemittelte Varianz der einzelnen Fünf-Minuten-Segmente. Kein Einfluss der Variabilitäten bei längerer Beobachtung
- RMSSD
 - Wurzel aus dem Mittelwert der quadrierten Differenzen zweier aufeinanderfolgender NN-Intervalle. Betrachtung von Spontanvariabilitäten.
- NN50
 - Anzahl von aufeinanderfolgenden NN-Intervalle, mit $dNN > 50\text{ms}$. Betrachtung von Spontanvariabilitäten.
- pNN50
 - NN50 geteilt durch die Anzahl aller NN-Intervalle
- SDSD
 - Standardabweichung der Differenzen aufeinanderfolgender NN-Intervalle
- SDANN
 - Standardabweichung der über Fünf-Minuten-Segmente gemittelten NNIntervalle

HRV: Geometrische Parameter

■ NN-Histogramm

- Auftragen der NN-Intervalle, sowie der Differenzen aufeinander folgender NN-Intervalle
- Gibt Auskünfte über das Auftreten von VES

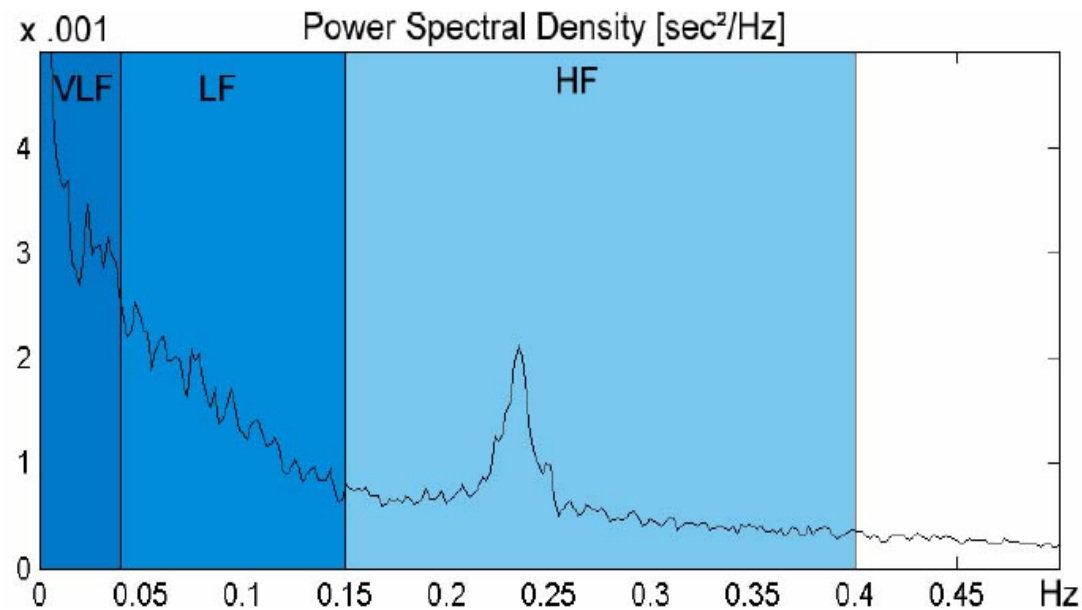


HRV: Geometrische Parameter

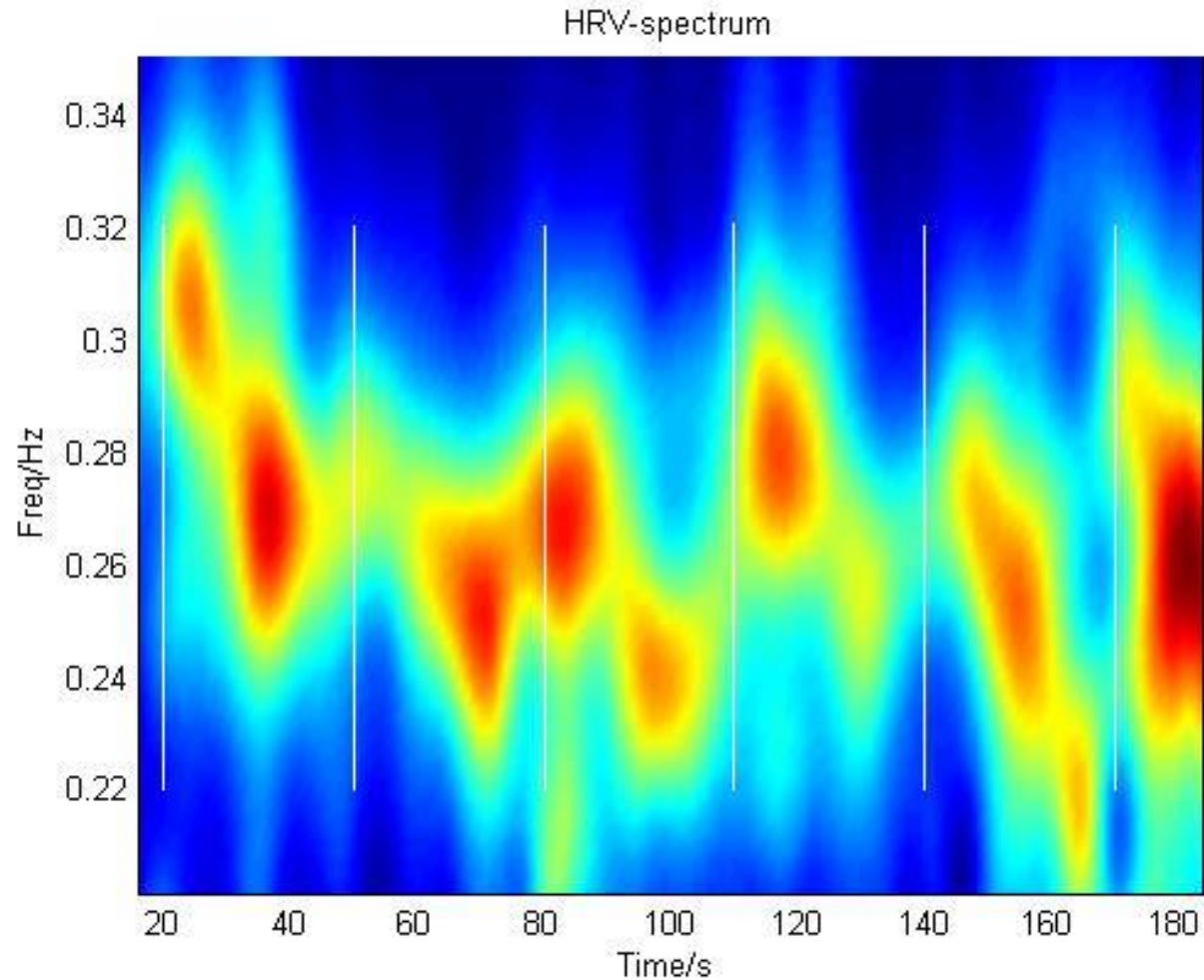
- Verteilungsbreite
 - Bestimmung der Breite, innerhalb derer das Histogramm einen Schwellwert überschreitet
- HRV triangular index
 - Gesamtanzahl der NN-Intervalle geteilt durch das Maximum des NN-Histogramms.
- TINN (Triangular interpolation of NN)
 - Approximation des NN-Histogramm durch ein Dreieck. TINN: Basislänge des Dreiecks an.
- Logarithmic index
 - Approximation des dNN-Histogramm eine e-Funktion. Je kleiner der ermittelte Exponent der e-Funktion, desto breiter die Verteilung.

HRV: Spektrale Parameter

- Einteilung in verschiedene Bänder: (ULF), LF, VLF, LF, HF
- Niedrige Frequenzen brauchen lange Beobachtungszeit → Kurzzeit-HRV: 5-Minuten-Segmente
→ Verwendung von 24-Stunden-EKG-Aufnahmen

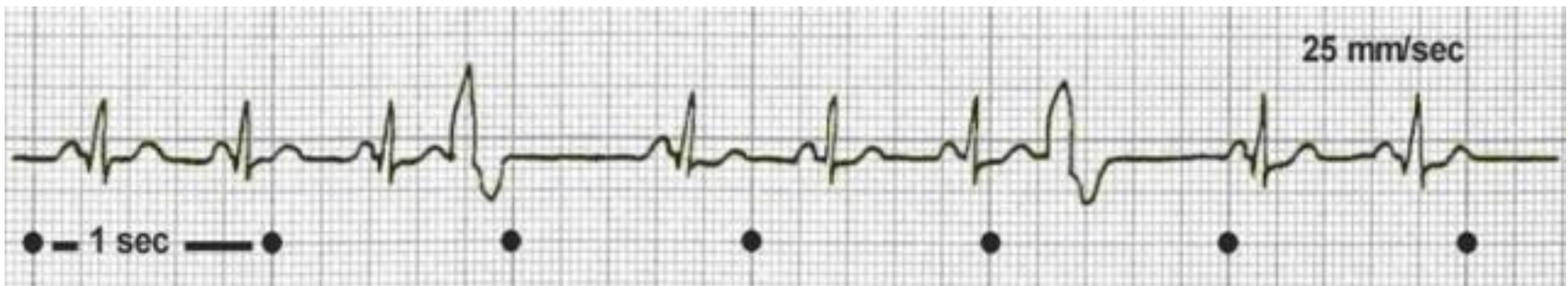


HRV: Spektrogramm



Heart Rate Turbulence (HRT)

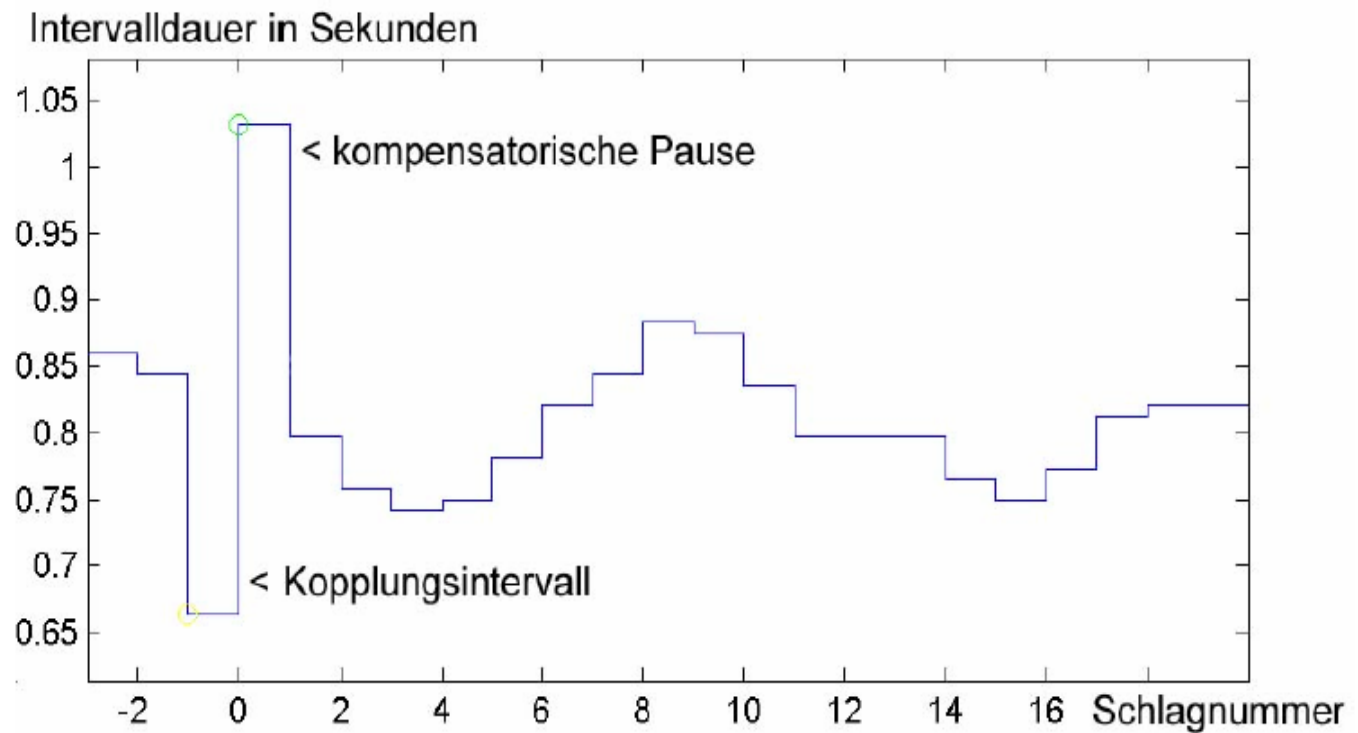
- Im Gegensatz zur HRV Untersuchung von singulären, kompensierten, ventrikulären Extrasystolen im EKG und den darauf folgenden Normalschlägen
- Parameter der HRT geben Auskunft darüber, wie gut der kardiale Regelmechanismus funktioniert → Stabilität des Systems
- Nach retrospektiven Studien: HRT ist stabiler multivariater Risikofaktor für plötzlichen Herztod nach Myokardinfarkt



Quelle: grundkurs-ekg.de

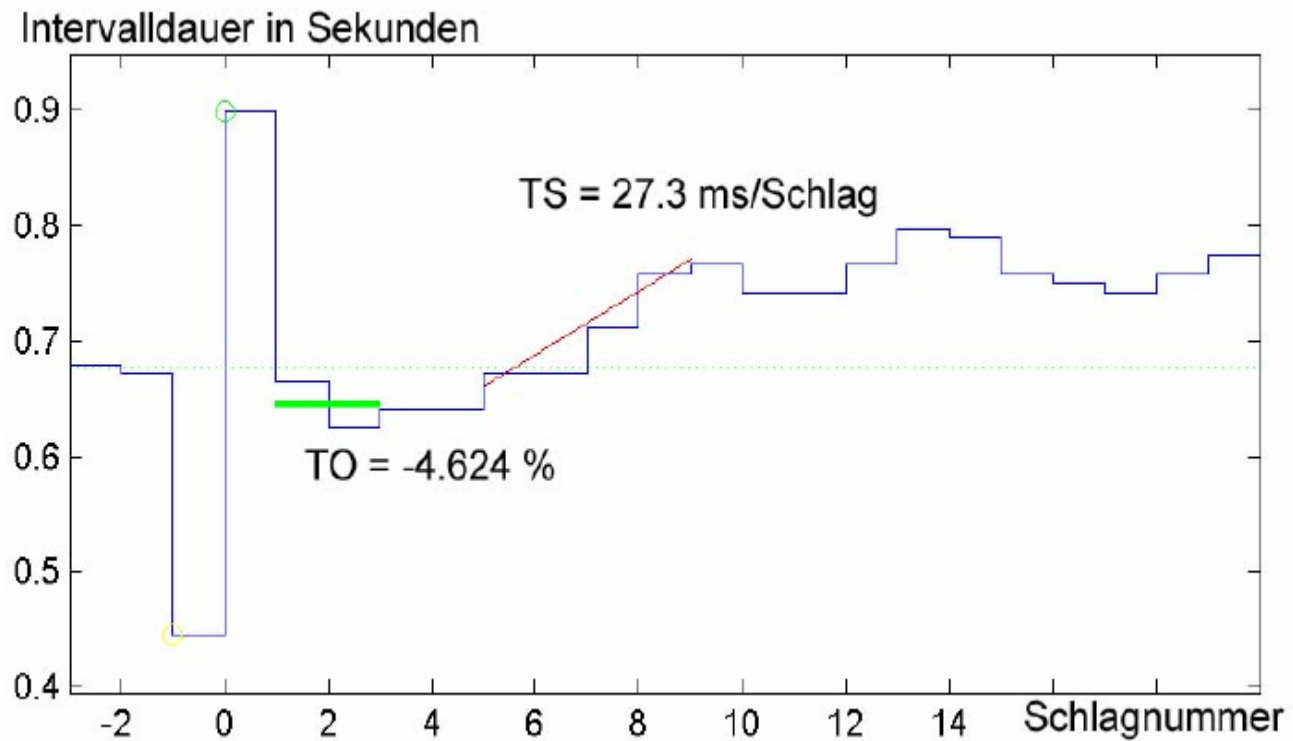
EKG-Parameter: HRT

- HRT-Parameter:
 - Turbulence Onset
 - Turbulence Slope



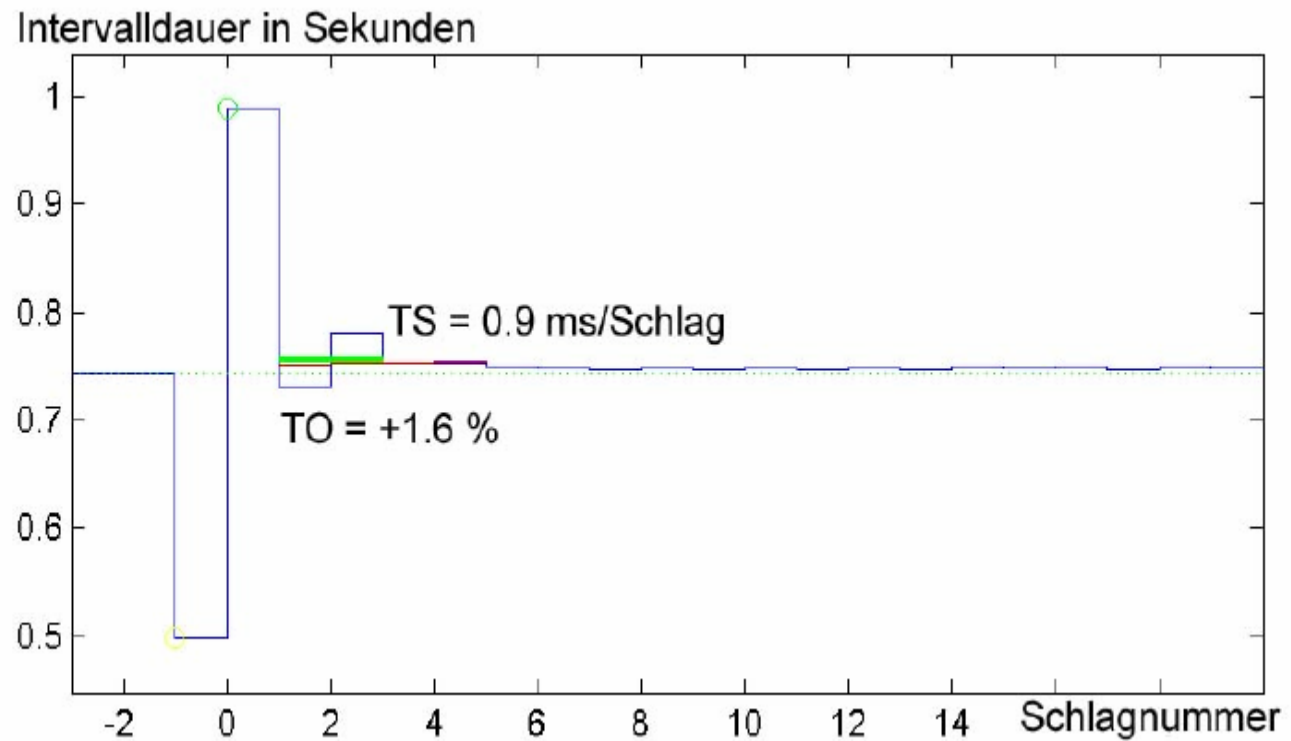
EKG-Parameter: HRT

- HRT-Parameter:
 - Turbulence Onset
 - Turbulence Slope



EKG-Parameter: HRT

- HRT-Parameter:
 - Turbulence Onset
 - Turbulence Slope



Dezellerationskapazität (DC)

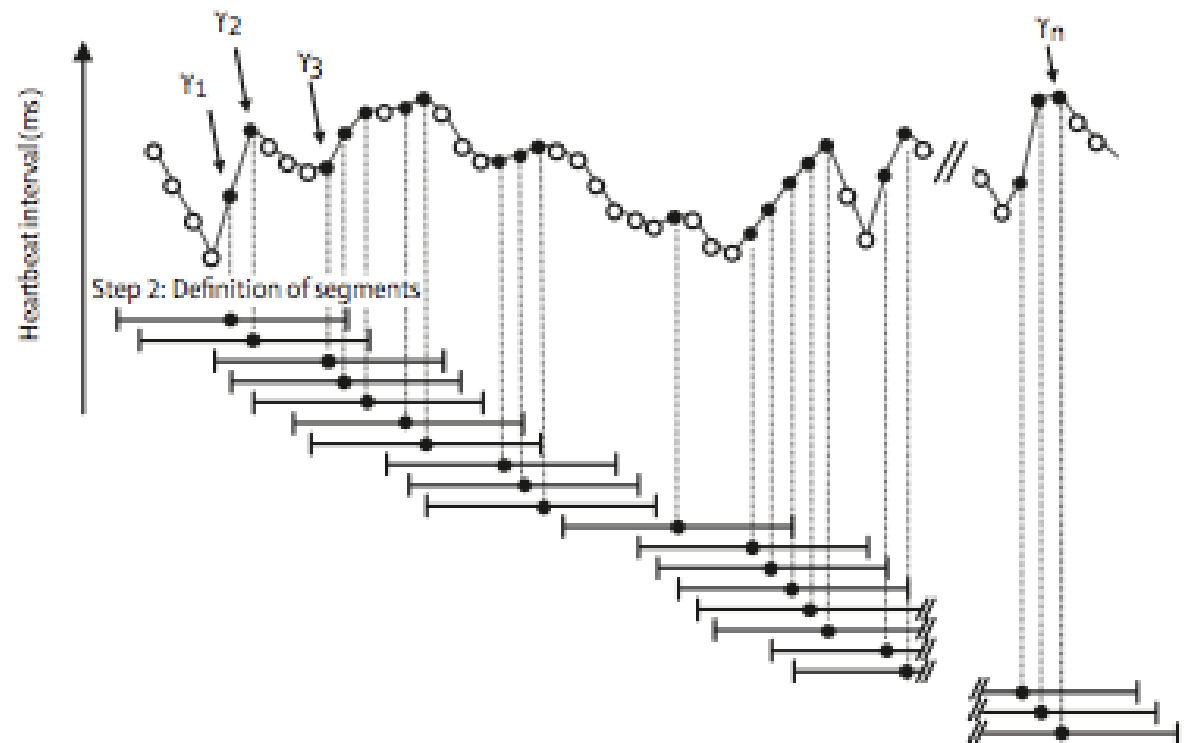
- Im Gegensatz zur HRT erfolgt die Berechnung auf allen Schlägen, die nicht verfrüht sind.
- Maß für die „Entschleunigung“ der Herzfrequenz
- Starker Prädiktor für plötzlichen Herztod

EKG-Parameter: DC

1. Ankerpunkte festlegen
2. Segmente definieren



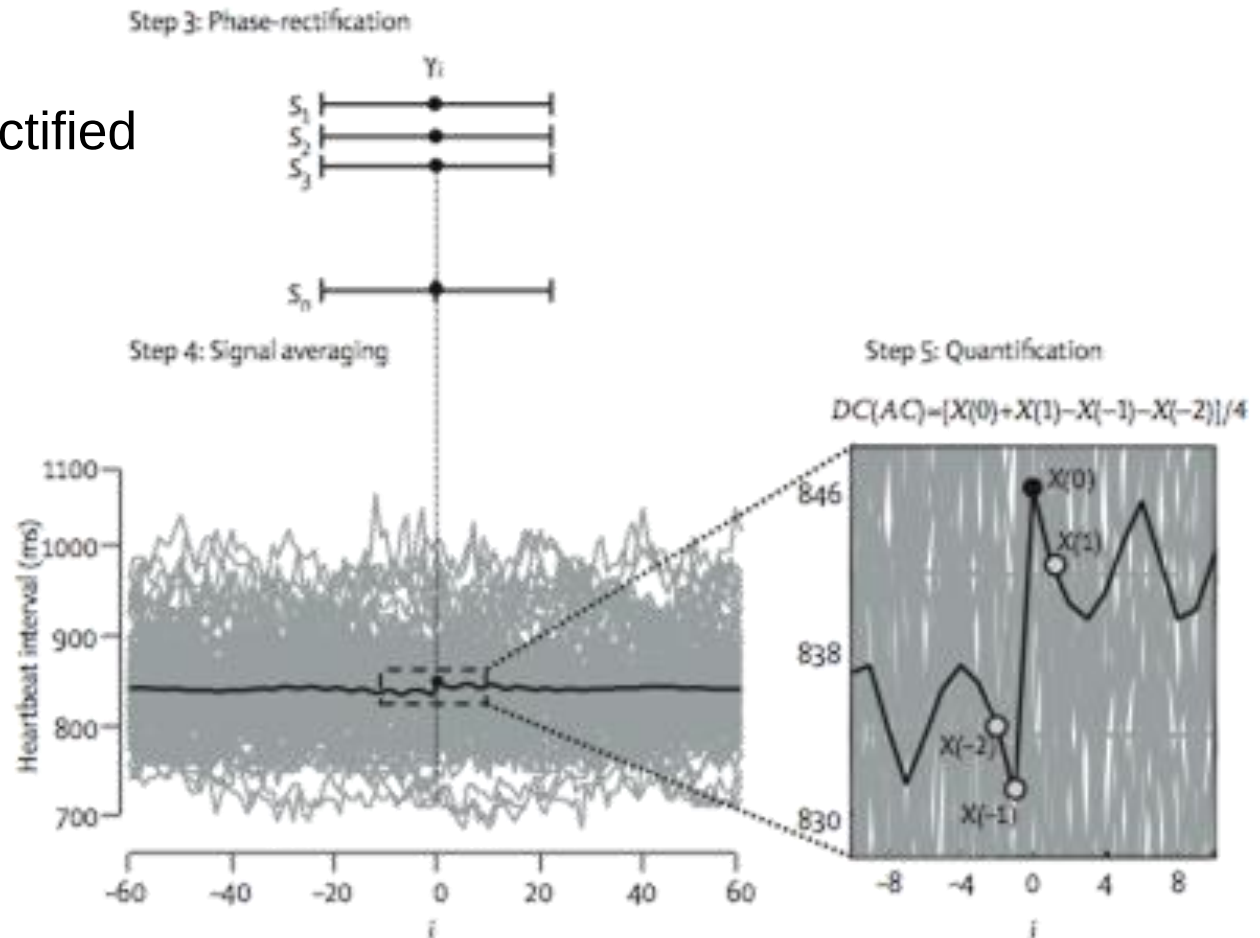
Step 1: Definition of anchors



EKG-Parameter: DC

3. Phasenausrichtung

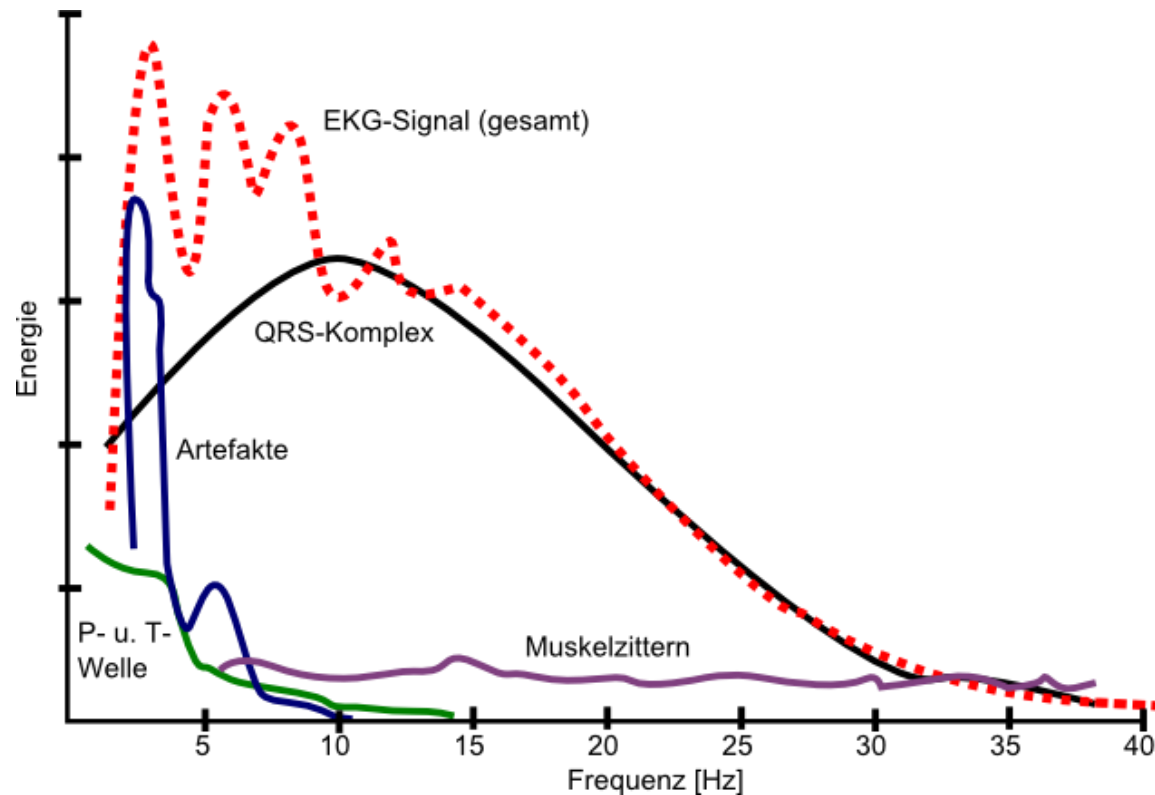
4. Mittelwertbildung (PRSA, Phase Rectified Signal Averaging)



Signalaufbereitung

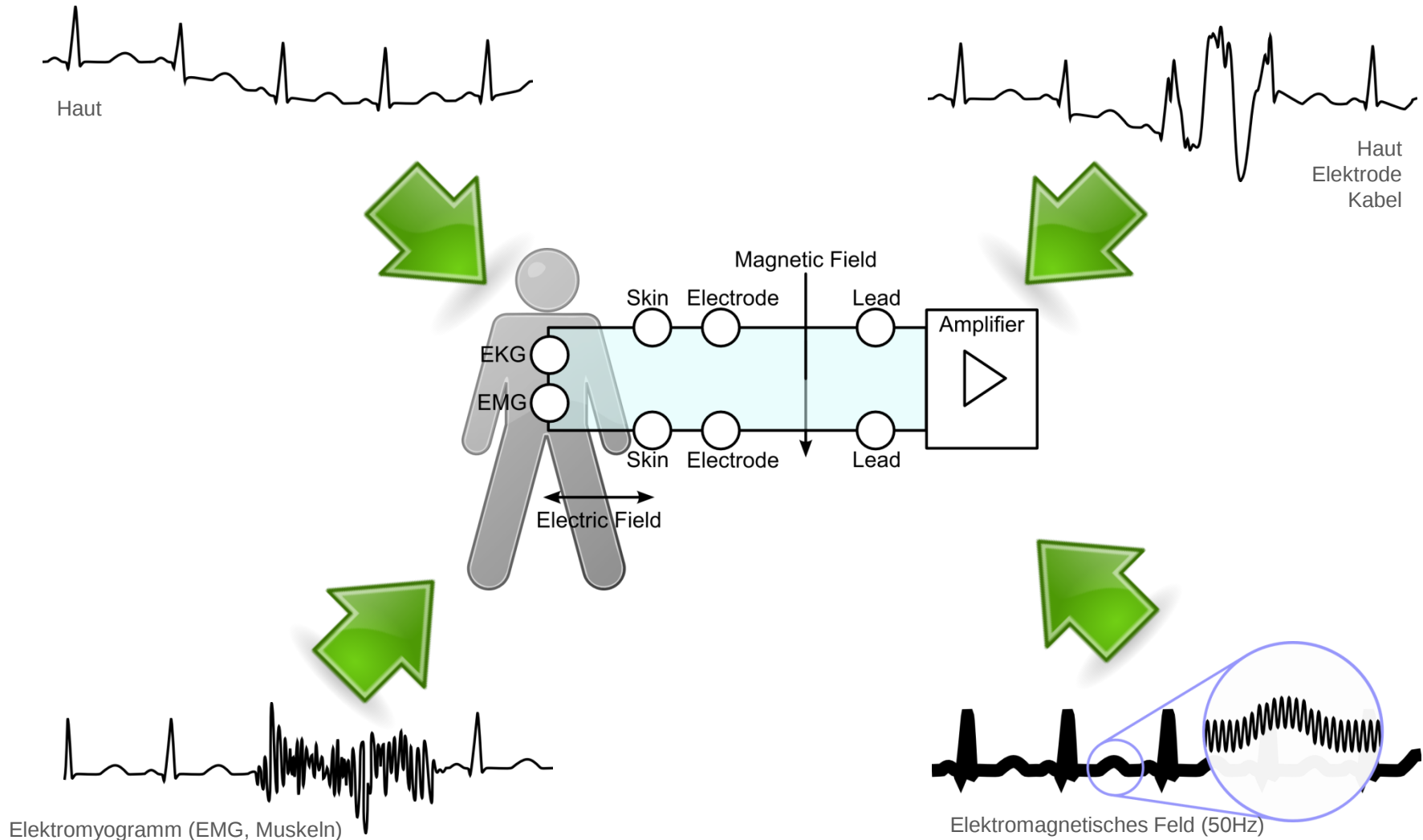
- Insbesondere bei der unüberwachten EKG-Aufzeichnung ist die Signalqualität oft unzureichend
- Das betrifft z.B.:
 - 24h-EKG (Holter-EKG)
 - Loop- und Event-Rekorder
 - Implantierbare Systeme
 - Telemedizinische Abwendungen
- Automatisierte Signalaufbereitung notwendig
 - Erkennen von Artefakten
 - Reduktion von Artefakten

Spektrum des gemessenen EKG



Quelle: Bahoura, M. ; Hassani, M. ; Hubin, M.: DSP implementation of a wavelet transform for real time ECG

Artefakte in der EKG-Messung



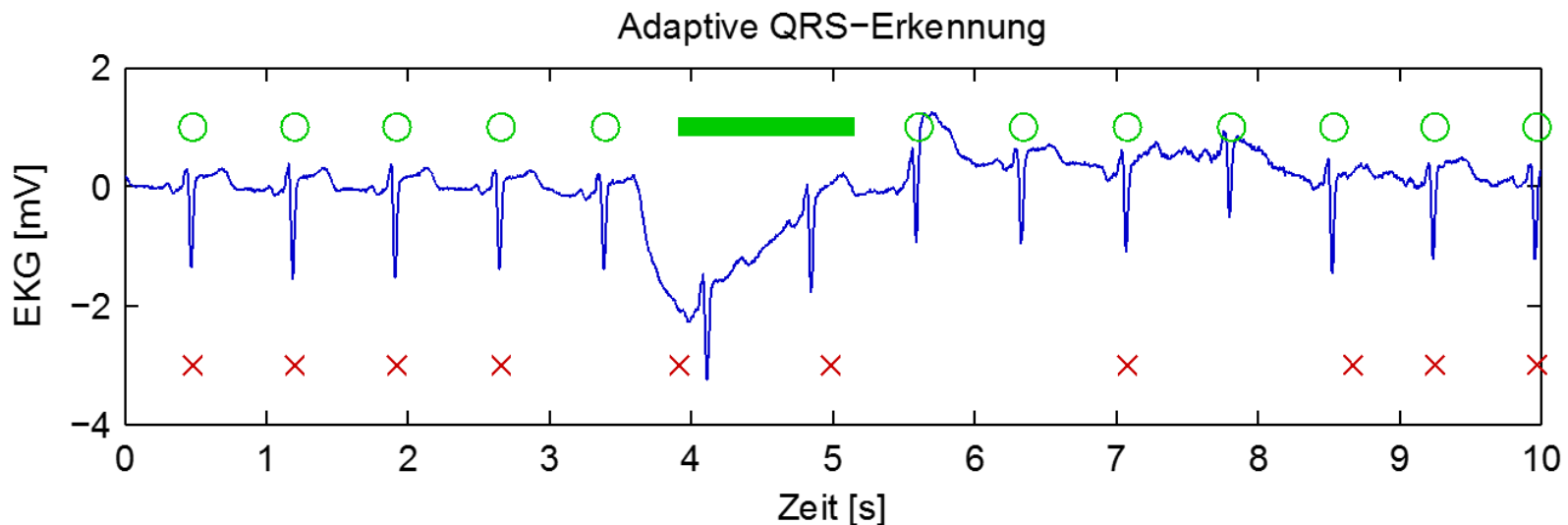
Artefakte verhindern

- Elektrodenauswahl
 - z.B. hochwertige Klebelektroden
- Elektrodenposition
 - Keine Muskeln
 - Kein Fett
- Hautvorbereitung
 - Trockene und saubere Haut
 - Keine Haare
- Elektrodenkabel
 - Hochwertige Kabel
 - Sauber verlegt (keine “hängenden” Elektrodenkabel)



Artefakterkennung

- Artefakterkennung über
 - Kontextsignale wie Beschleunigung oder Elektrode-Haut-Impedanz
 - EKG-Veränderungen
- bewusster Ausschluss nicht mehr analysierbarer EKG-Sequenzen
- Ausweichen auf ungestörte Kanäle
- Steigerung der Qualität der QRS-Erkennung



Artefaktunterdrückung

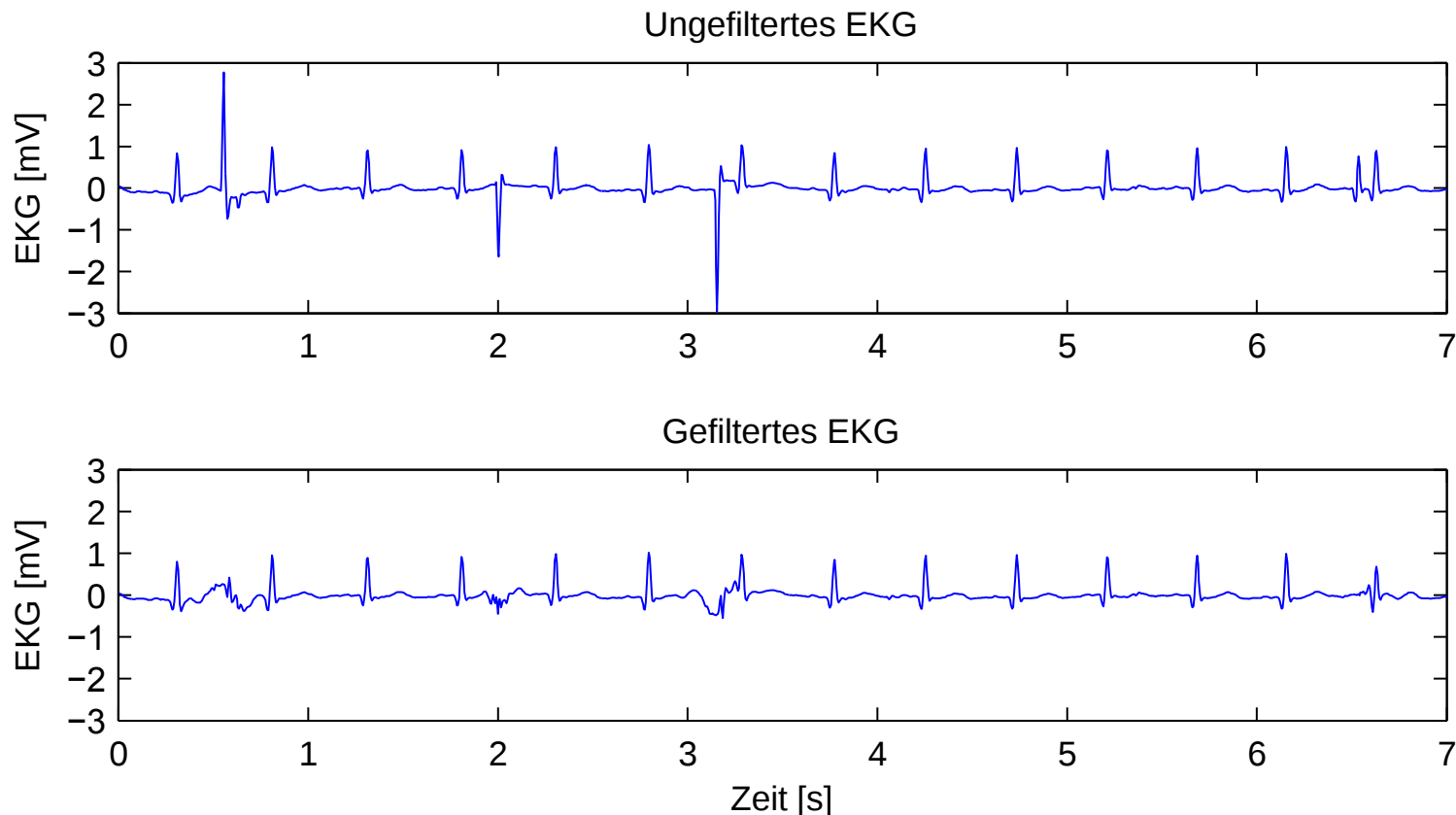
- adaptive Filter mit Second Channel zur Artefaktunterdrückung
 - Elektrodenbewegung (Beschleunigungssensor, Magnetfeldsensor)
 - Hautdehnung unter Elektroden (Dehnungssensor)



Quelle: See-Thru CPR (ZOLL)

Artefaktunterdrückung

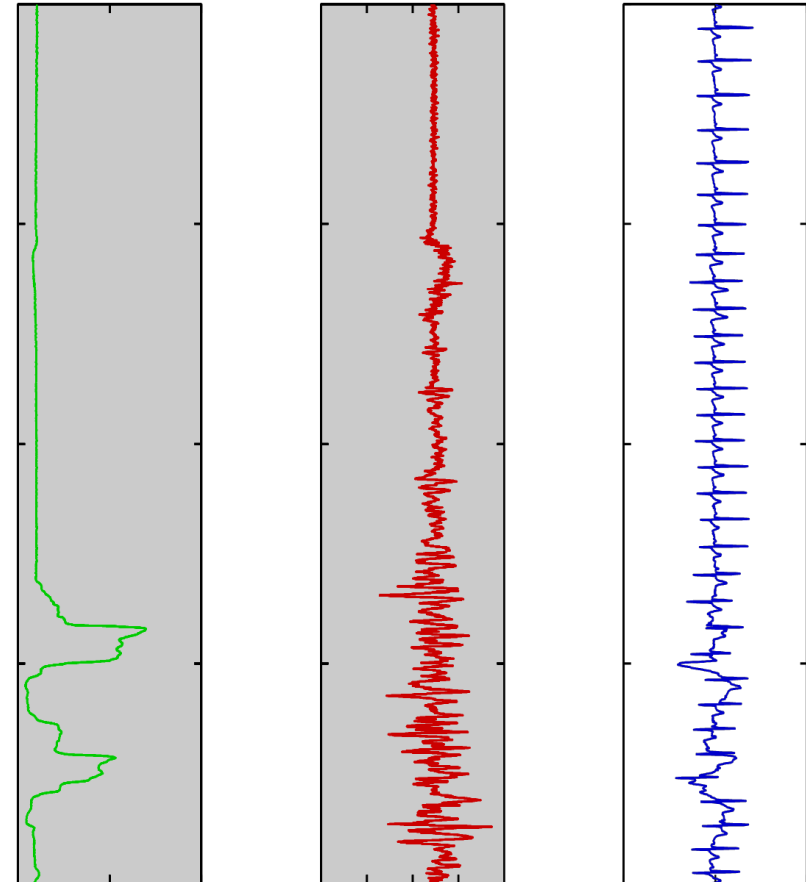
- Gezielte Unterdrückung artefaktbehafterter Sequenzen
 - 2nd channel zur Artefakterkennung (Elektrode-Haut-Impedanz)
 - Filterung mit Hilfe der Wavelet-Transformation



Kontextsignale für die EKG-Analyse nutzen

- Beschleunigungsdaten
 - Bewegungsinformationen
 - Erkennung von Bewegungsartefakten
 - EKG im Aktivitätskontext
 - Körperlage

- Elektrode-Haut-Impedanz
 - „Stör-Referenz“
 - Artefakterkennung
 - Artefaktunterdrückung

 Ω


EKG im Aktivitätskontext

Erkennung von
Ruhephasen (Schlafen)

keine Aktivität

Erkennung von
defibrillationspflichtigen
Rhythmen (VT/VF),
Adaption von
Bradykardie-Schwellen

geringe Aktivität

mittlere Aktivität

Erkennung von
belastungsinduzierten
Herzrhythmusstörungen,
Adaption von
Tachykardie-Schwellen

Betrachtung der
chronotropen Kompetenz

hohe Aktivität

EKG-Geräteklassen (nach Einsatzbereich)

■ Ruhe-EKG

- 6-12-Kanäle
- kurze Aufzeichnungs-dauer (wenige Minuten)
- Saugnapf- oder Klammer-elektroden
- Papierschrieb oder Computer-EKG

■ Monitoring-EKG

- 3 oder 6 Kanäle
- Aufzeichnungsdauer abhängig von Anwendung (Rettungsdiensteinsatz, Operation, Intensivstationsaufenthalt)
- Klebeelektroden
- Monitor / Display, ggf. Papiausdruck

■ Spezial-EKG

- Ösophageal-EKG
- Endo- / Epikardiales Mapping
- Body Surface Potential Map: Inverse Elektro-kardiographie
- Endokardiales EKG: His-Bündel

■ Langzeit-EKG

- 2-3 Kanäle (selten 5)
- Lange Aufzeichnungs-dauer (1 Tag, teilweise auch bis 7 Tage)
- Klebeelektroden
- Aufzeichnung auf Speicherkarten
- Computerunter-stützte Auswertung
- Event-Recording
- Klinik-Monitoring-Systeme

■ Belastungs-EKG

- 12-Kanäle
- Kurze/mittlere Aufzeichnungs-dauer (ca. 30 min)
- Saugnapf- oder Klebeelektroden
- Computer-überwachte Aufzeichnung
- Oft Kombination mit weiteren Parametern

EKG-Geräteklassen (nach Einsatzfeld)

■ Krankenhaus

- Ruhe-EKG
- Monitoring-EKG
- Belastungs-EKG
- Spezial-EKG
- Langzeit-EKG

■ Kardiologiepraxis

- Ruhe-EKG
- Belastungs-EKG
- Langzeit-EKG
- Selten: Spezial-EKG

■ Arztpraxis

- Ruhe-EKG
- Selten: Langzeit-EKG

■ Heimbereich

- Langzeit-EKG
- Event-Recorder
- Pulsmesser

■ Rettungsdienst

- Monitoring-EKG
- Ruhe-EKG

EKG-Systeme: Ruhe-EKG



Quelle: Hausarztpraxis Waidmannslust

EKG-Systeme: Ruhe-EKG



Quelle: GE Healthcare

EKG-Systeme: Monitoring-EKG



Quelle: Schiller Medizintechnik

EKG-Systeme: Monitoring-EKG



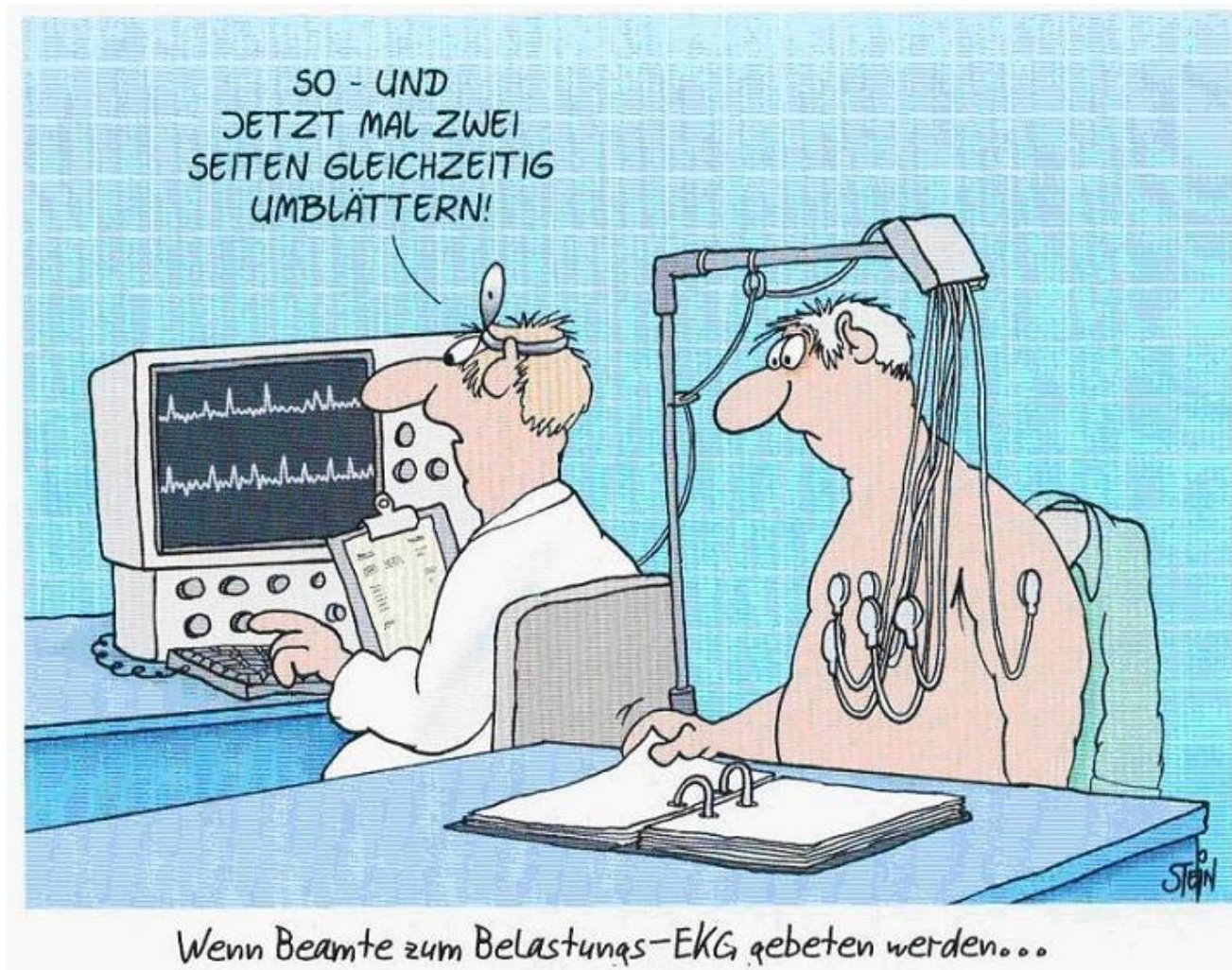
Quelle: iStockphoto

EKG-Systeme: Belastungs-EKG



Quelle: AOK-Mediendienst

EKG-Systeme: Belastungs-EKG



EKG-Systeme: Langzeit-EKG



Quelle: Medset Medizintechnik

EKG-Systeme: Implantierbare Loop-Rekorder



Quelle: Medtronic



Forschungs-Systeme: Gurtsysteme



Elektrodensystem für klinische Studien

- Optimierte Komponenten
 - EKG-Verstärkerschaltung
 - Elektrodenaufbau
 - Textile Integration
 - Elektrodenposition
- Teil-Normkonforme Umsetzung
 - EMV (EN 60601-1-2)
 - Biokompatibel (EN 10993)
 - Erstfehlersicher / Hilfsströme (EN 60601-1)
- Aufgezeichnete Parameter
 - 6-Kanal-EKG (256 Hz, 16 Bit)
 - Schrittmacher-Erkennung
 - Aktivität (51 Hz, 12 Bit)
- Systemlaufzeit > 10 Tage



Textile kapazitive Elektroden

■ Hybrider Aufbau

■ Mehrlagige textile Struktur

- Atmungsaktiver Träger
- Hochleitendes Silber-Polyamid-Gewebe
- Isolation durch PU-Laminat

■ Elektronikmodul

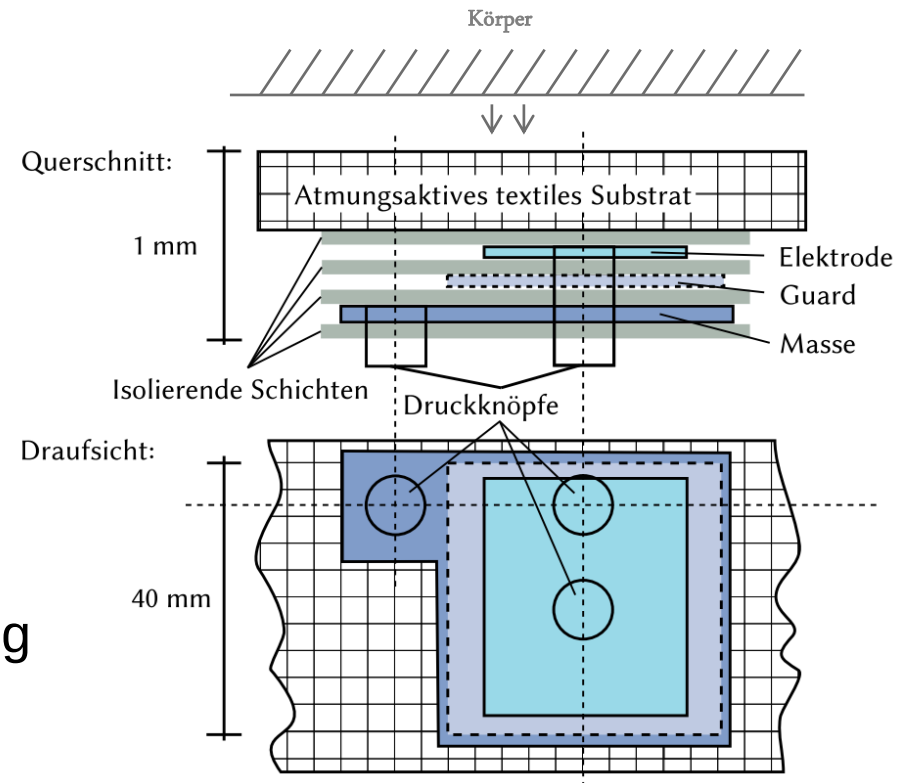
- Impedanzwandler
- Kontaktierung über Druckknöpfe

■ Anwendungsspezifische Anpassung

- Elektrodengröße
- Platzierung der Elektronik

► Flexible Anpassung an Körperkontur

► Integration in textile Umgebungen



Forschungs-Systeme: Ambiente EKG-Systeme mit kapazitivem Elektroden

Mobiles Monitoringsystem

- Umsetzung einer Designstudie
- Vollständige Textilintegration
 - Textile Sensorik
 - Daten- und Energietransport über textile Leiter
- Low-Power Bauelemente



EKG-Monitoring im Autositz

- Trennung von Sensorfläche und Elektronik
- Integration in Sitzüberzug
- Aktive Gleichtaktunterdrückung „Driven Seat“
- Erhöhung der Dynamik



Beispiel: Anwendungs-Software für Langzeit-EKG-Diagnostik

Informationen zum System

- Zur Auswertung von 24h-EKGs wird SW benötigt
- Beispiel: PADS_Y (PAtienten Diagnose SYstem)
der Firma Medset GmbH (Hamburg)
 - Entwicklung seit ca. 1995
 - Bis auf einige hardwarenahe / optimierte Komponenten komplett Java-basiert
 - Integration verschiedener diagnostischer Komponenten, u.a.
 - Belastungs-EKG
 - Ruhe-EKG
 - Langzeit-Blutdruck
 - Spirometrie

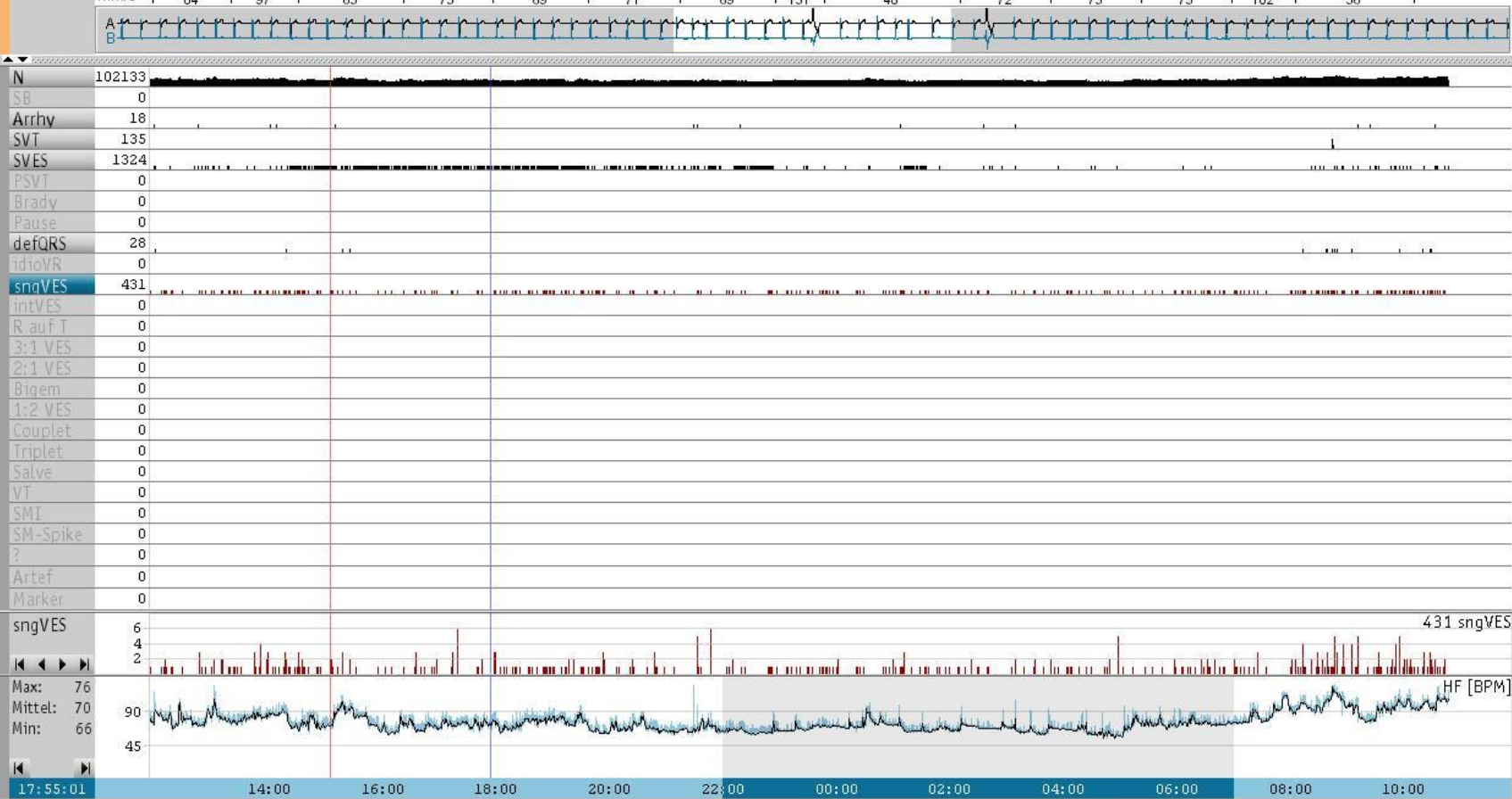
Navigationsbaum

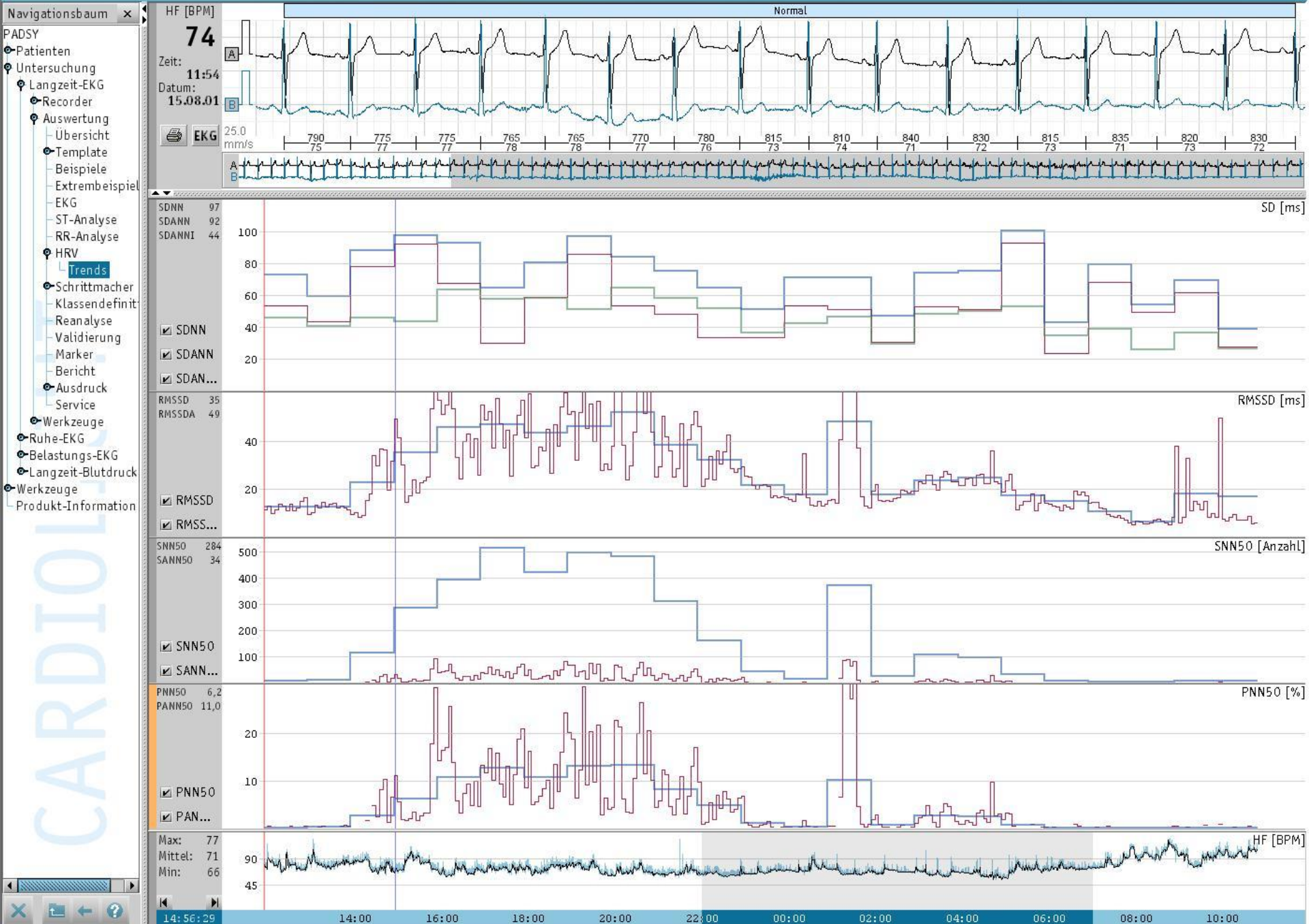
- PADSY
 - Patienten
 - Untersuchung
 - Langzeit-EKG
 - Recorder
 - Auswertung
 - Übersicht
 - Template
 - Beispiele
 - Extrembeispiel
 - EKG
 - ST-Analyse
 - RR-Analyse
 - HRV
 - Schrittmacher
 - Klassendefinit
 - Reanalyse
 - Validierung
 - Marker
 - Bericht
 - Ausdruck
 - Service
 - Werkzeuge
 - Ruhe-EKG
 - Belastungs-EKG
 - Langzeit-Blutdruck
- Werkzeuge
- Produkt-Information

sngVES

Zeit:
15:05
Datum:
15.08.01

EKG





Navigationsbaum x

- Patienten
- Untersuchung
- Langzeit-EKG
- Recorder
 - Auswertung
 - Übersicht
 - Template
 - Beispiele
 - Extrembeispiele
 - EKG
 - ST-Analyse
 - RR-Analyse
 - HRV
 - Trends
 - Schrittmacher
 - Analyse
 - Klassendefinition
 - Reanalyse
 - Klassendefinition
 - Reanalyse
 - Validierung
 - Marker
 - Bericht
 - Ausdruck
 - Service
- Werkzeuge
 - Lebende EKG
 - Dehnungs-EKG
 - Langzeit-Blutdruck
 - Werkzeuge
 - Dokumentation

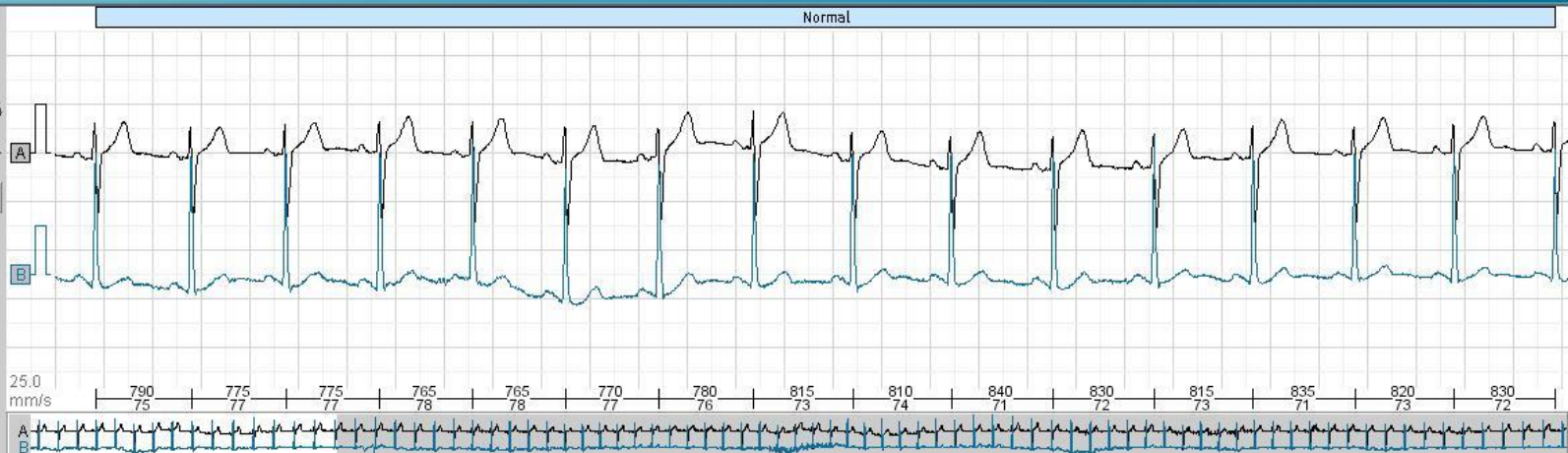
HF [BPM]

74

Zeit: 11:54

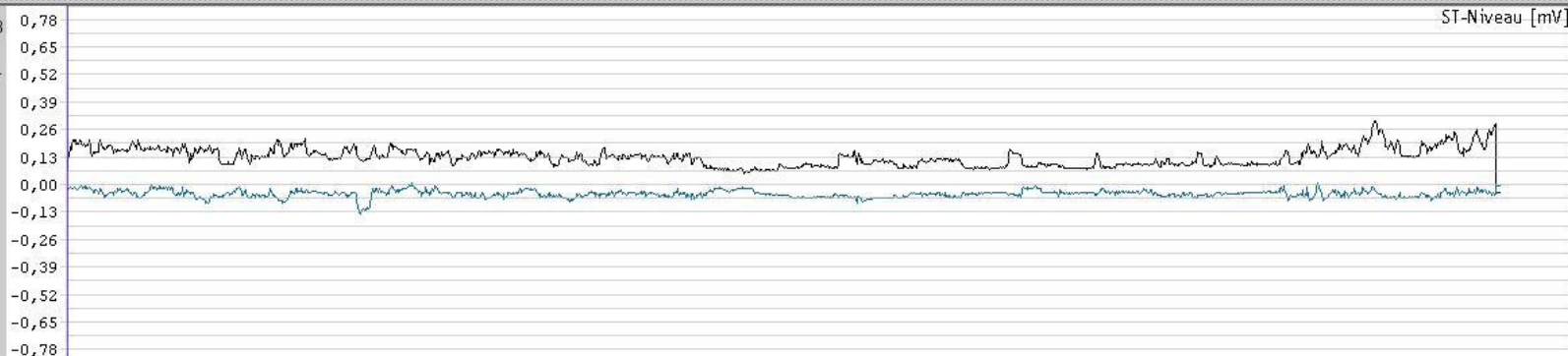
Datum: 15.08.01

EKG



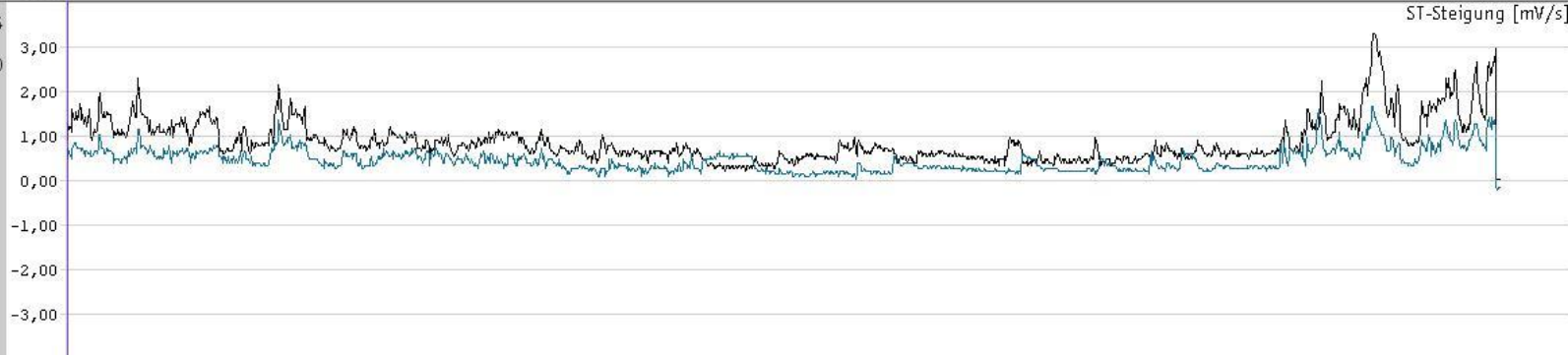
A: 0,08

B: -0,01

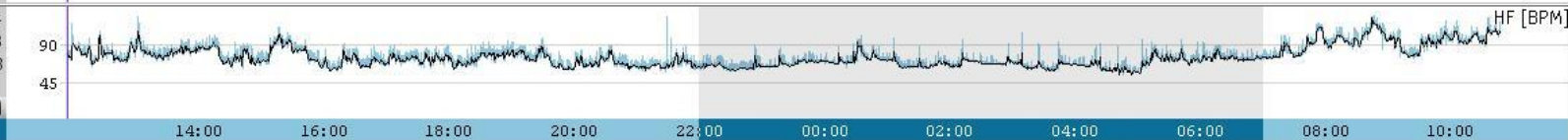


A: 0,94

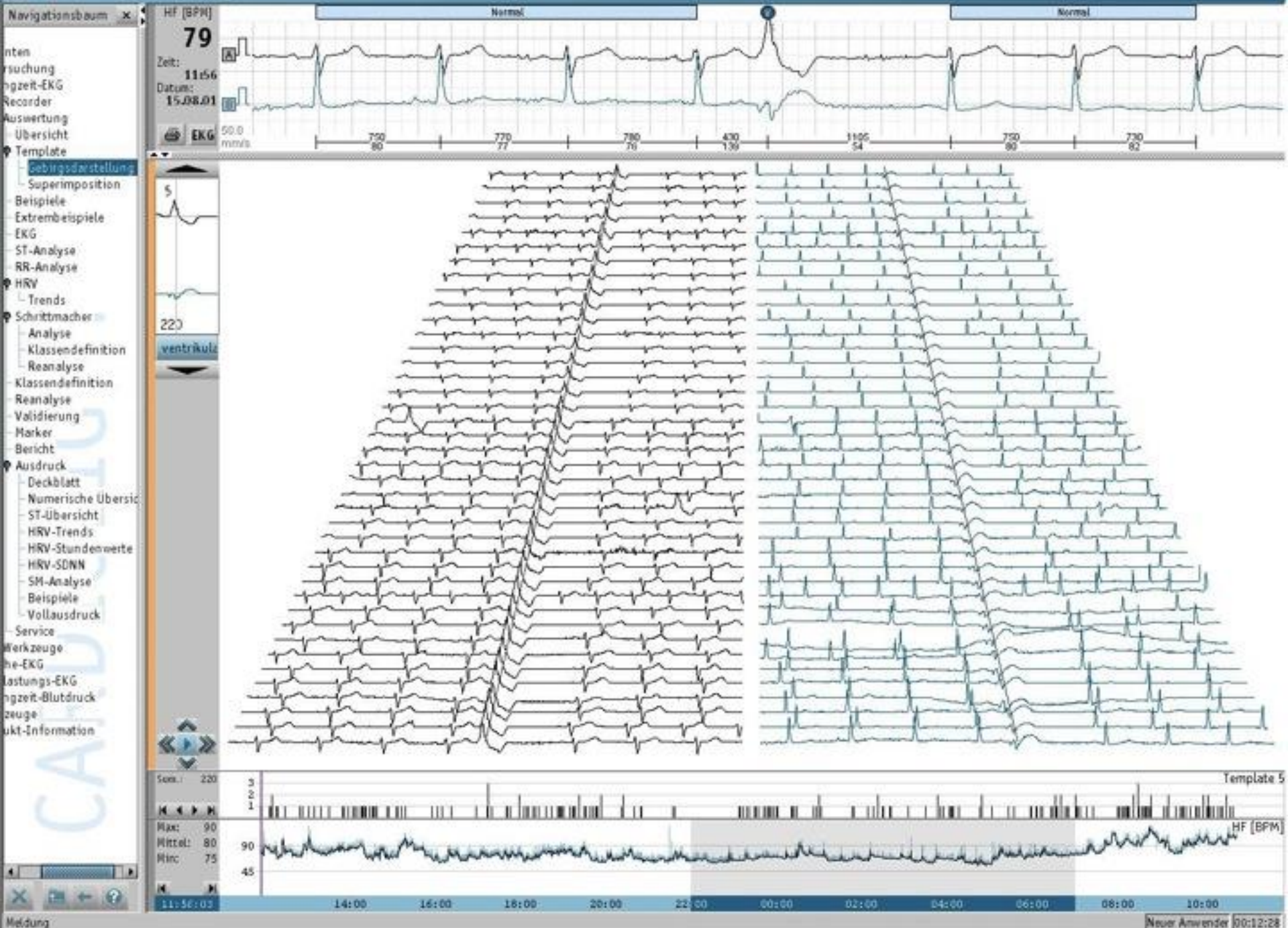
B: 0,50



Max: 84
Mittel: 78
Min: 73







CARDIOLIGHT PDSY V3.3f

Patient 010, Demo

Tabelle vom 15.08.2001 Druck vom 07.08.2001 09:35:11

Langzeit EKG

Seite 6

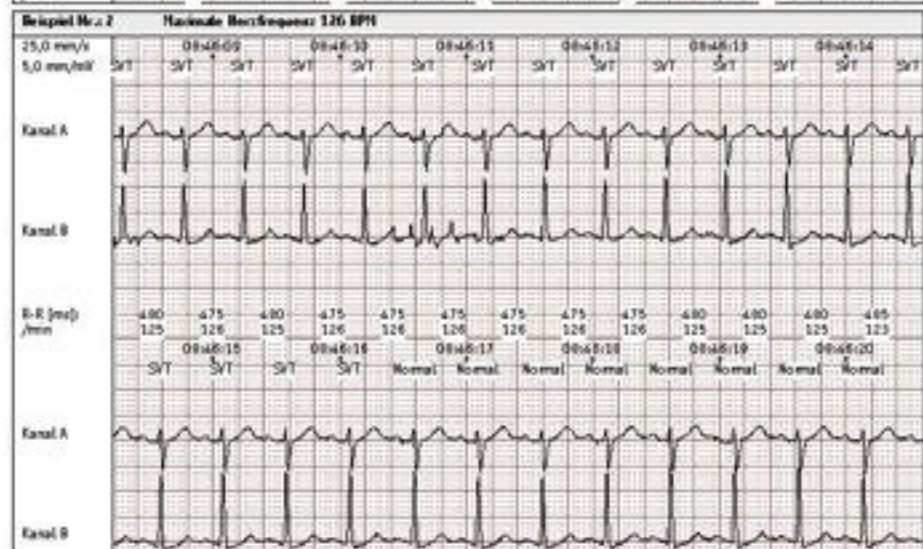
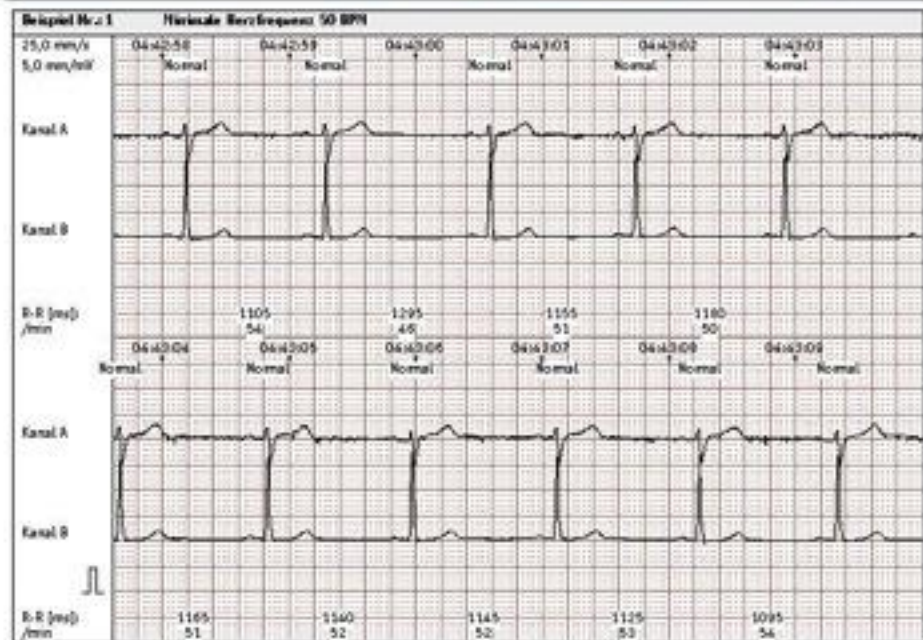


Tabelle aller Beispiele

Nr.	Uhrzeit	Kommentartext
1	16.08.2001 04:42:58	Minimale Herzfrequen...
2	16.08.2001 08:46:08	Maximale Herzfrequen...
3	15.08.2001 19:16:16	SVES
4	15.08.2001 21:33:32	VES

Beispiel löschen

Beispielkommentar

Anfangszeit

Übersichtsstreifen

Kanäle	Amplitude	Vorschub
☐ A	☐ 5 mm/10s	☐ 12,5 mm/s
☐ E	☐ 10 mm/10s	☐ 25 mm/s
	☐ 15 mm/10s	☐ 50 mm/s
	☐ 20 mm/10s	☐ 100 mm/s
	☐ 25 mm/10s	
	☐ 30 mm/10s	