

Analyse und Modellrekonstruktion aus Zeitserien: Anwendung auf EKG Systeme

Bachelorarbeit, Franz Ludwig Kostelezky

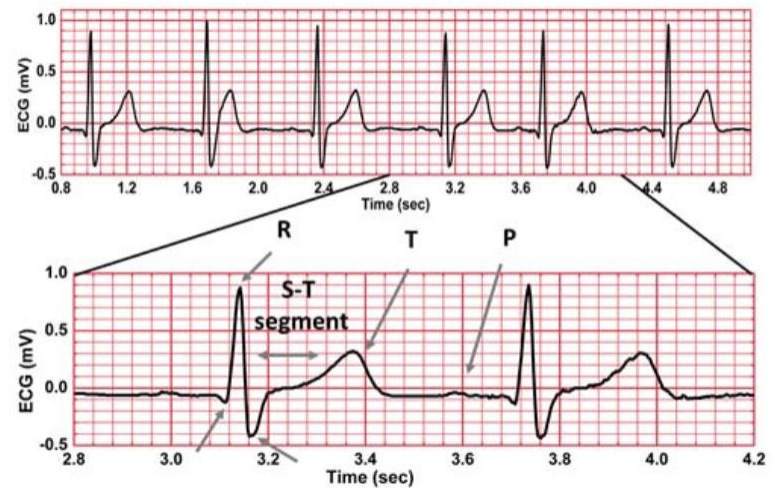
Motivation

- Abbildung eines EKG Systems in einem niederdimensionalem System aus Differentialgleichungen

→ Rekonstruktion

→ Kompakte Abbildung

→ Aussagen über Zustand des Herzens



Inhalt

Das Herz

Anatomie

Elektrophysiologie

Elektrokardiographie – EKG

EKG Dataset

Frequenz- und Korrelationsanalyse

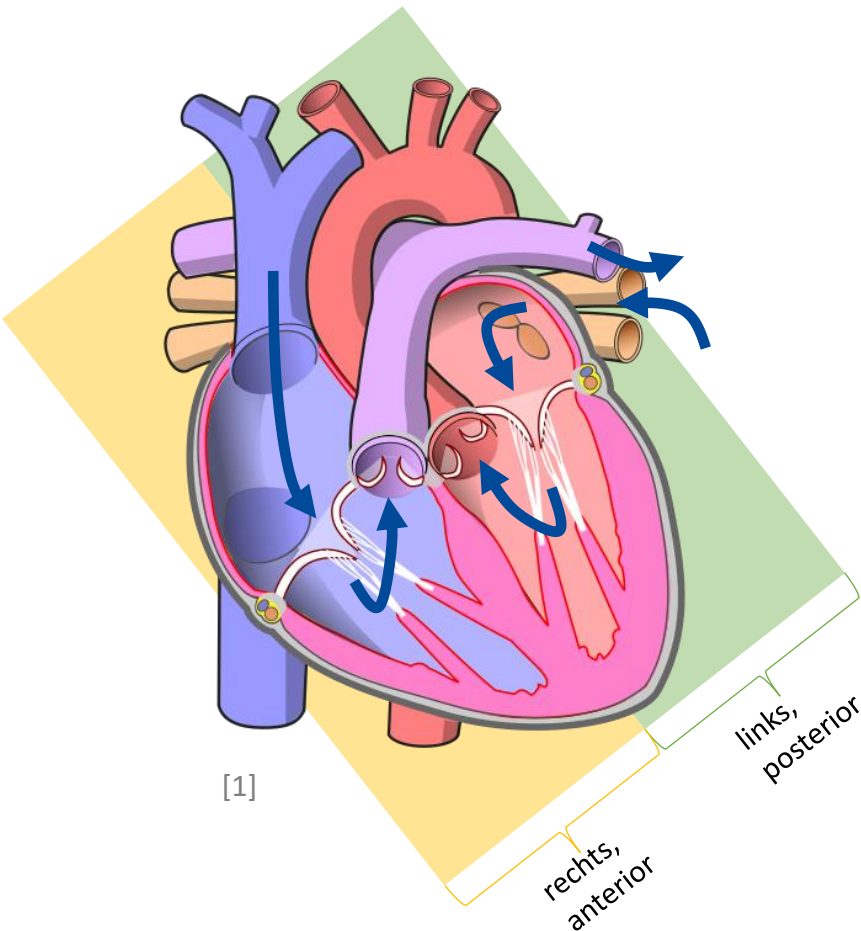
Rekonstruktion mit Differentialgleichungen

Der Trick mit den Intervallen

Diskussion

Verbesserungen

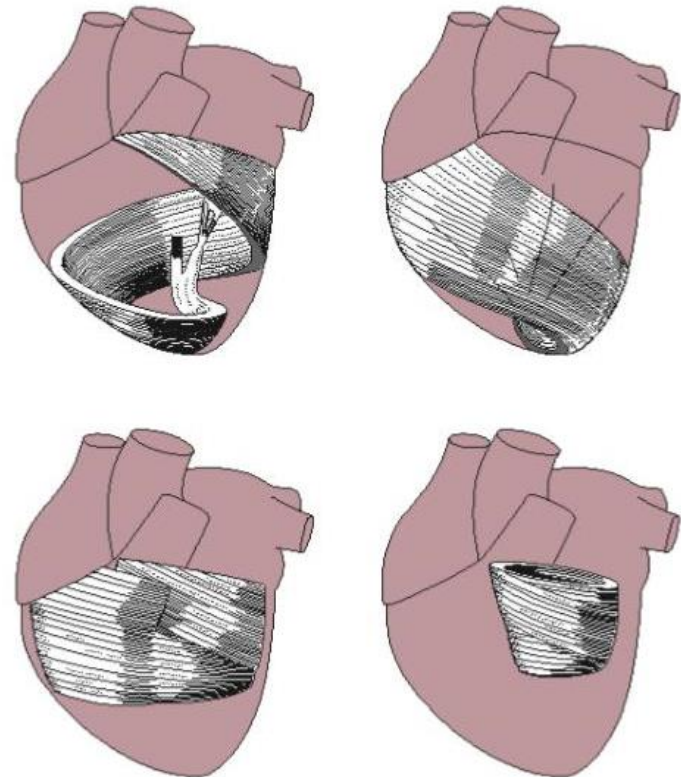
Das Herz



- Pumpt venöses Blut durch die Lunge
- 4 Kammern:
 - Rechter & linker Vorhof
 - Rechte & linke Herzkammer
- Periodische Kontraktion der Vorhöfe, und Herzkammern

Das Herz

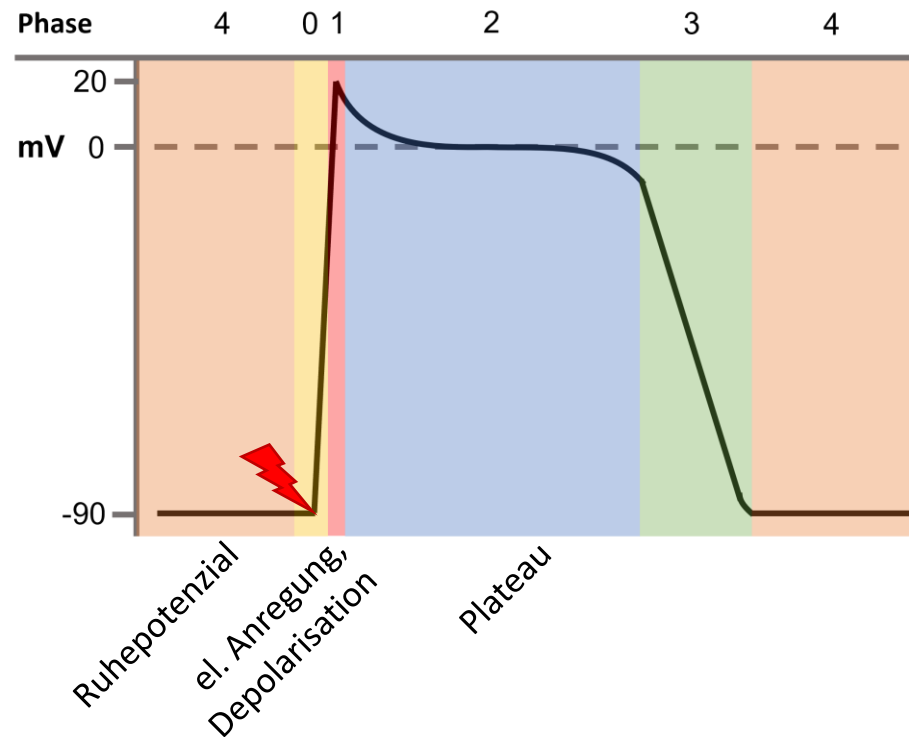
- Kontraktion in verschiedene Richtungen, um Blut effektiv zu pumpen
- Verschiedene Ausrichtungen der Herzmuskelfasern (Myokard)
- Gruppen werden zur Kontraktion elektrisch angeregt



Bildliche Darstellung der Muskelfaserausrichtungen der **Herzkammern**.

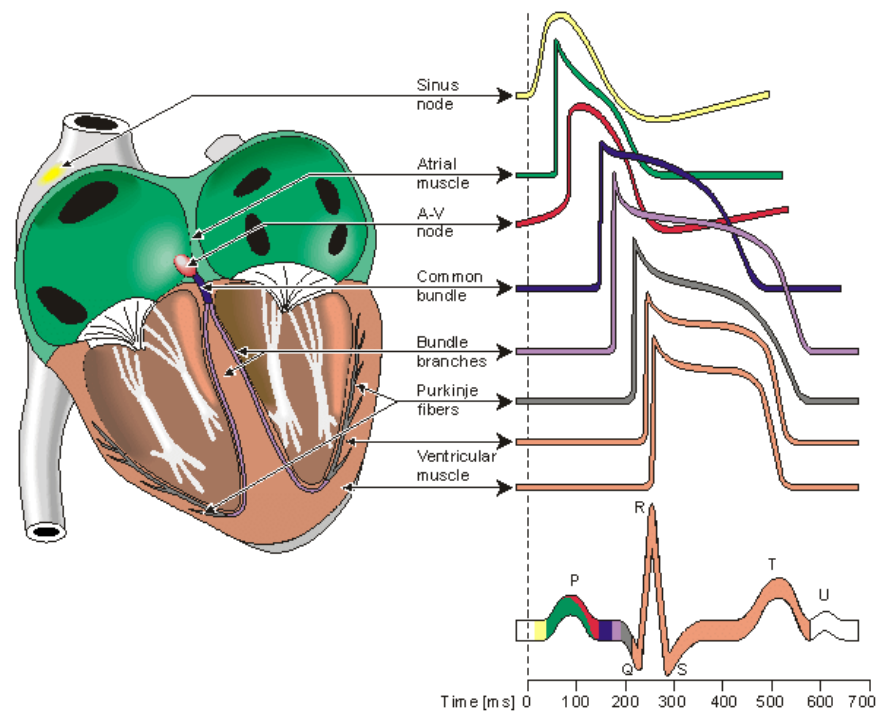
Das Herz – Aktionspotenzial

- Herzmuskelzellen sind elektrisch geladen durch Ionengradienten
- Sie können elektrisch angeregt werden
- Sie weisen nach Anregung ein charakteristisches Potenzial auf



Das Herz – Aktionspotenzial

- Unterschiedliche Aktionspotenziale für unterschiedliche Zellen
- Aktionspotenzial propagiert von Zelle zu Zelle
- Ausbreitung wie eine Wellenfront



Das Herz – Signalpropagation

● Sinusknoten

- Eigenständige Depolarisation
- Kontrolliert durch autonomes Nervensystem

● AV-Knoten

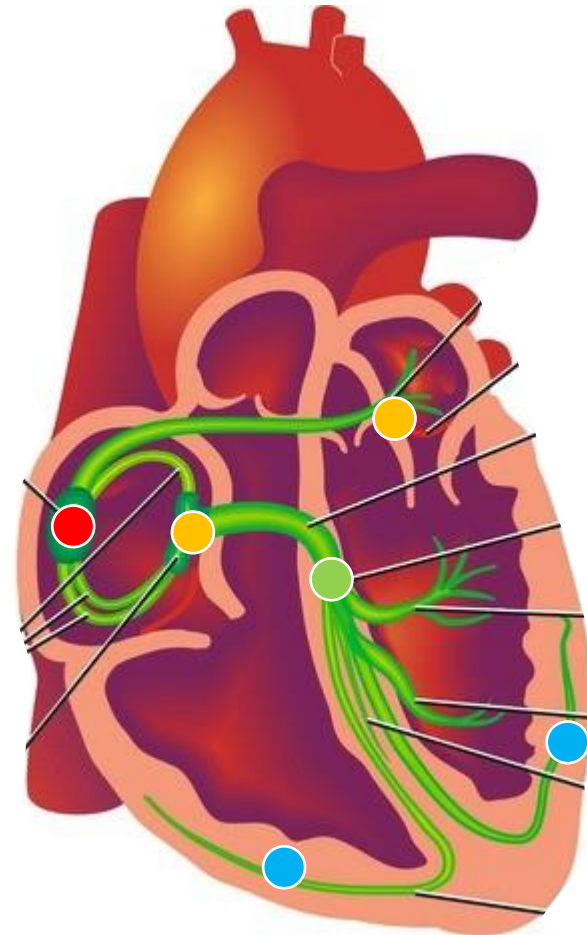
- Sammelt und verzögert Signalweiterleitung
- Kontraktion der Vorhöfe

● Weiterleitung über das **HIS-Bündel**

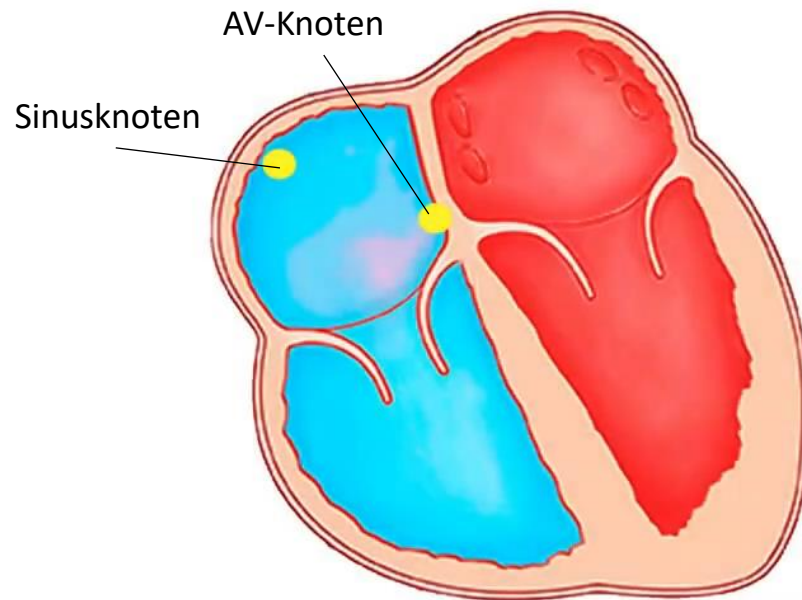
- Spezialisiert für elektrische Reizleitung

● Purkinje-Fasern

- Kontraktion der Kammern
- Periodische Fortsetzung durch Signalbildung im Sinusknoten

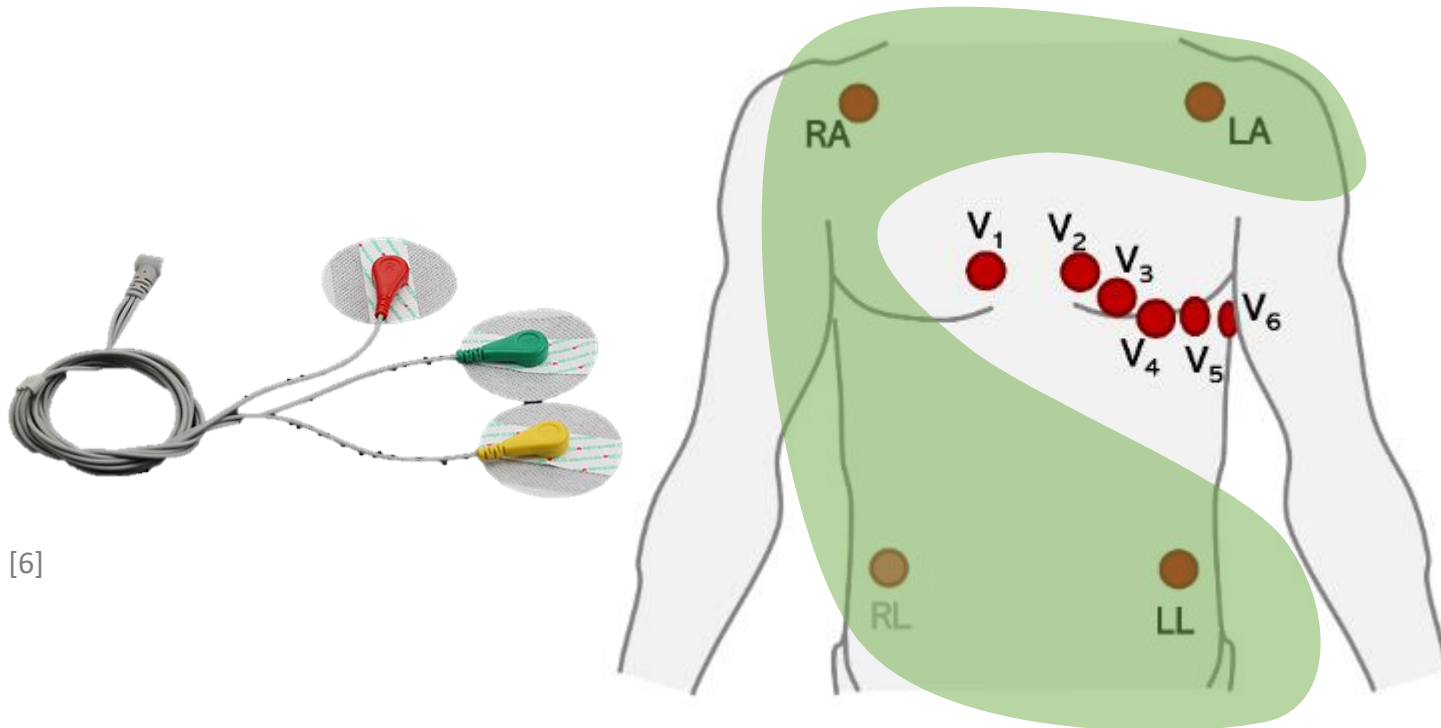


Das Herz – Signalpropagation



Elektrokardiografie

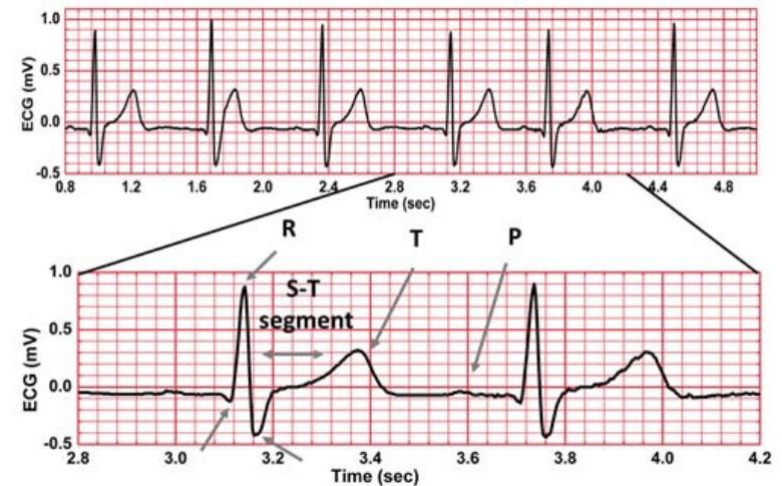
- Elektroden erfassen sich im Körper ausbreitende Aktionspotenziale auf der Haut



[6]

Elektrokardiografie

- Signal wird erfasst und verstärkt
- Unterschiedliche Signale werden kombiniert zu *Ableitungen*
- Charakteristika in EKG-Signal können Depolarisationen im Herzen zugeordnet werden



Eine Einthoven-Ableitung

[7]

Rekonstruktionen mit DGLs

- Ein System aus Differentialgleichungen
- Integration soll ursprüngliches Signal liefern
- Verschiedene Elemente aus \vec{y} sollen zu EKG Kanälen korrespondieren



Ursprüngliche Signale

Least Square Fit

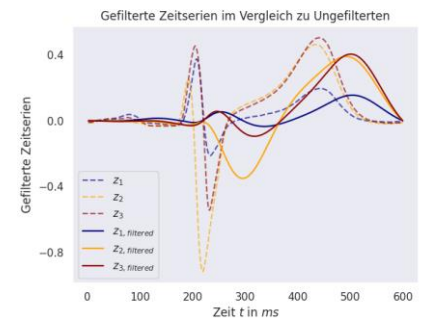
$$\dot{y}_1 = f_1(y_1, y_2, y_3; \vec{a})$$

$$\dot{y}_2 = f_2(y_1, y_2, y_3; \vec{b})$$

$$\dot{y}_3 = f_3(y_1, y_2, y_3; \vec{c})$$

System

Integration



Rekonstruktion

Rekonstruktionen mit DGLs

- **Koeffizienten** von Polynomen bestimmbar über einen Least-Square-Fit:

$$\dot{y}_1 = f_1(\vec{y}; \vec{a}) = a_0 y_1 + a_1 y_2 + a_2 y_3 + a_3 y_1^2 + a_4 y_1 y_2 + a_5 y_1 y_3 + a_6 y_2 y_3 + a_7 y_2^2 + a_8 y_3^2$$

$$\dot{y}_2 = f_2(\vec{y}; \vec{b}) = b_0 y_1 + b_1 y_2 + b_2 y_3 + b_3 y_1^2 + b_4 y_1 y_2 + b_5 y_1 y_3 + b_6 y_2 y_3 + b_7 y_2^2 + b_8 y_3^2$$

$$\dot{y}_3 = f_3(\vec{y}; \vec{c}) = c_0 y_1 + c_1 y_2 + c_2 y_3 + c_3 y_1^2 + c_4 y_1 y_2 + c_5 y_1 y_3 + c_6 y_2 y_3 + c_7 y_2^2 + c_8 y_3^2$$

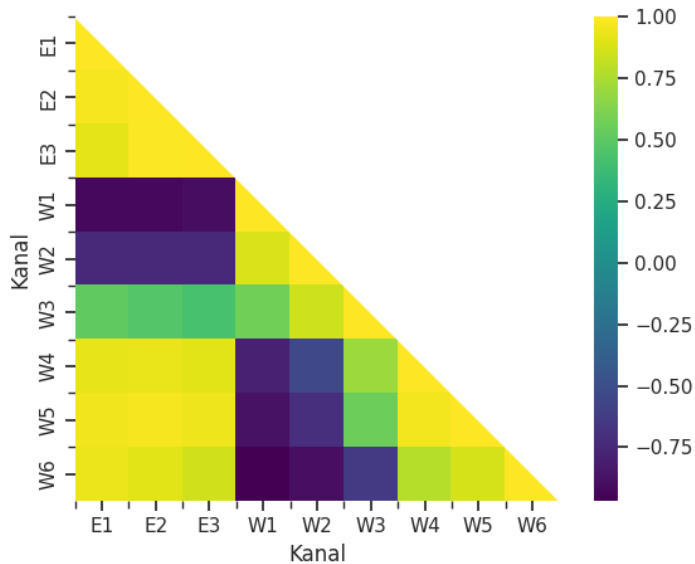
$$W = \langle (\dot{x}_i - f_i(x; \vec{p}))^2 \rangle$$

Welche Ableitungen verwenden?

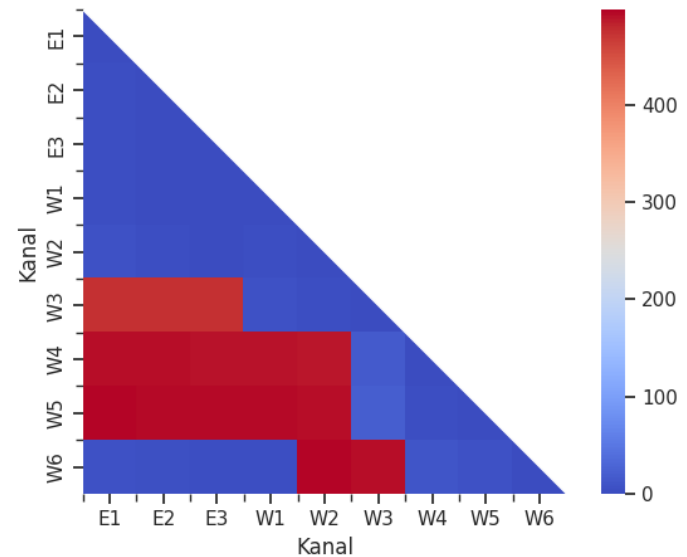
→ **Korrelationsanalyse** (Kreuzkorrelation): Maß für Ähnlichkeit und zeitliche Verschiebung zweier Signale

- Wir wollen hoch korrelierende Signale mit zeitlicher Verschiebung

Extrema der Kreuzkorrelation $|K(\tau)| = \text{Max.}$ für alle EK Kanäle



τ für $|K(\tau)| = \text{Max.}$ für alle EKG Kanäle

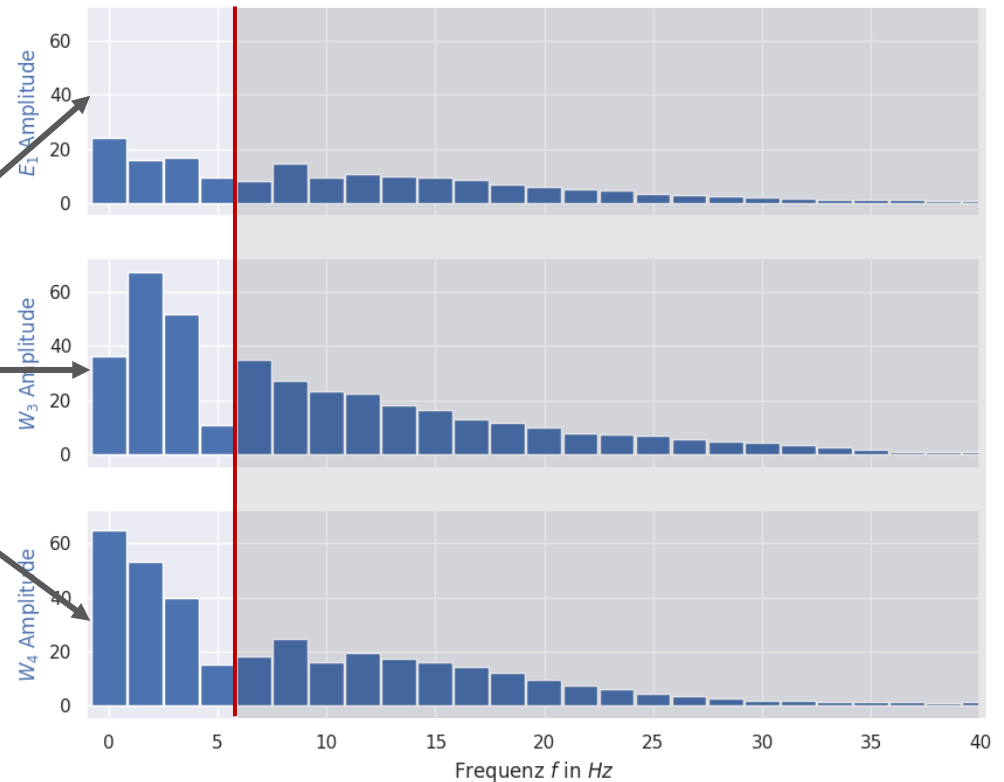
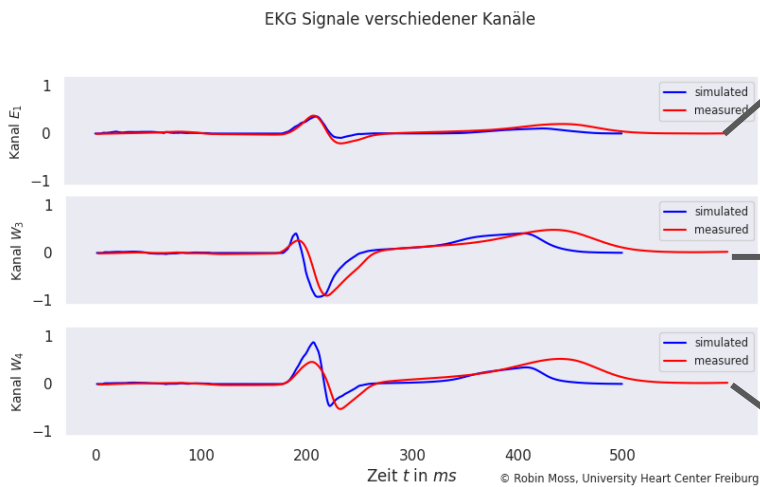


Filterung der Signale

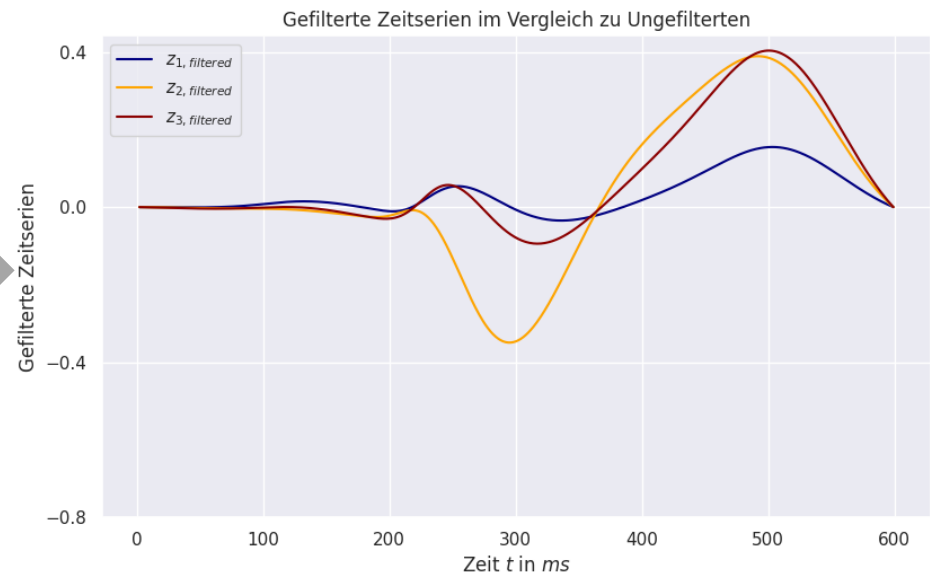
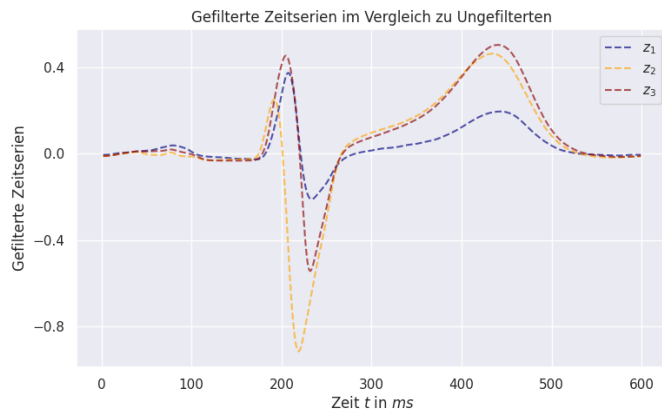
→ **Fourier-Analyse:** Frequenzspektrum des Signals

- Störfrequenzen herausfiltern
- Zeitserien „vereinfachen“

Fouriertransformation der EKG-Kanäle

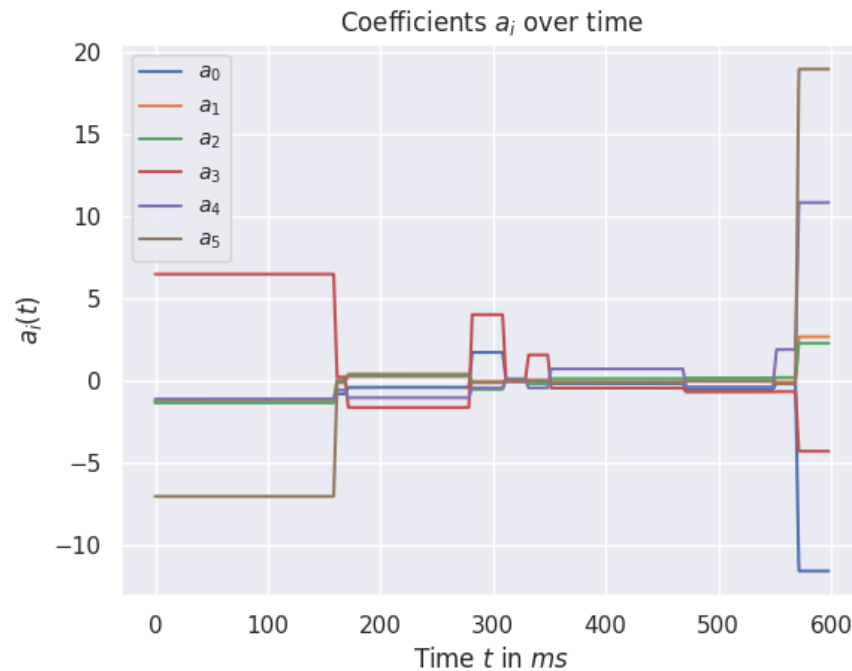


Filterung der Signale

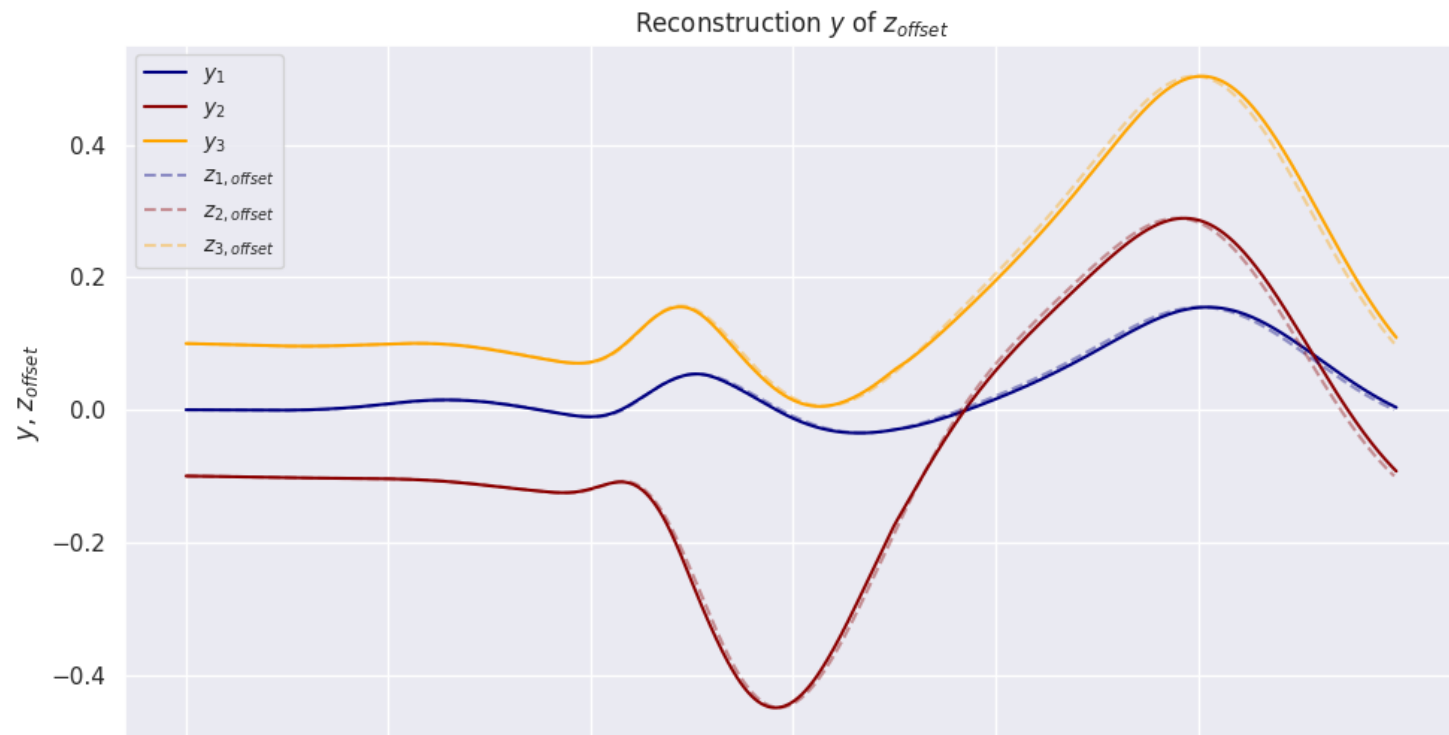


Der Trick mit den Intervallen

$$\begin{array}{l} \dot{y}_1 = f_1(y_1, y_2, y_3; \vec{a}) \\ \dot{y}_2 = f_2(y_1, y_2, y_3; \vec{b}) \\ \dot{y}_3 = f_3(y_1, y_2, y_3; \vec{c}) \end{array} \quad \longrightarrow \quad \begin{array}{l} \dot{y}_1 = f_1(\vec{y}; \vec{a}(t)) \\ \dot{y}_2 = f_2(\vec{y}; \vec{b}(t)) \\ \dot{y}_3 = f_3(\vec{y}; \vec{c}(t)) \end{array}$$



Die erfolgreiche Rekonstruktion



Diskussion

- Gute Abbildung der gefilterten Signale
- Viele notwendige Modifikationen der Signale
 - Zeitabhängige Koeffizienten: Was bedeutet das?
- Instabile Rekonstruktion
 - Polynomiale Basisfunktionen
 - Andere Basisfunktionen, bspw. Sinusoide
- Redundante Zeitserien
 - Mehrere korrelierende Zeitserien als Lösung
 - Zeitserien zur Atemfrequenz, HRV
- Information über das System unvollständig
 - Externer, nicht erfasster Einfluss auf das System

References

- (1) [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diagram_of_the_human_heart_\(cropped\)_de_V2.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diagram_of_the_human_heart_(cropped)_de_V2.svg)
- (2) https://www.researchgate.net/figure/Orientation-of-cardiac-muscle-fibers_fig2_321220619
- (3) Jaakko Malmivuo und Robert Plonsey. "Bioelectromagnetism. 6. The Heart" Jan. 1995
- (4) https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4471-4965-1_1
- (5) <https://www.youtube.com/watch?v=fht3kk3-tKs>
- (6) <https://www.netram.co.za/other/9175-disposable-ecg-electrodes-pack-12-pcs.html>
- (7) https://www.researchgate.net/figure/transmitted-ECG-signal-waveform_fig9_302631407