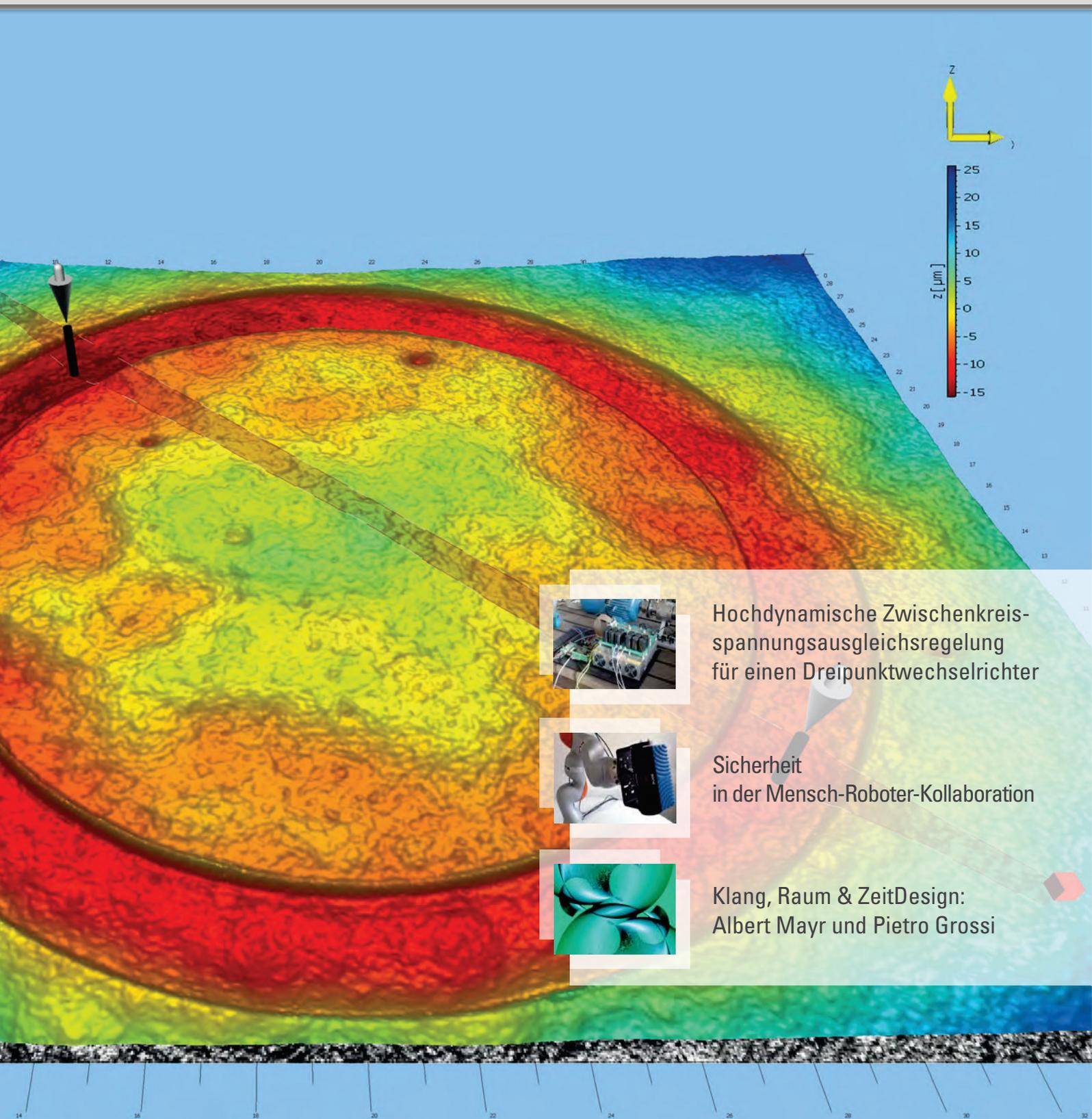


# forschung im fokus

Ausgabe Nr. 21 / 2018



Hochdynamische Zwischenkreis-  
spannungsausgleichsregelung  
für einen Dreipunktwechselrichter



Sicherheit  
in der Mensch-Roboter-Kollaboration



Klang, Raum & ZeitDesign:  
Albert Mayr und Pietro Grossi

# 3D-Simulation elektrischer Stimulationsfelder bei Herzschrittmachern

Edgar Benke B.Sc., Prof. Dr.-Ing. med. habil. Matthias Heinke, Johannes Hörth M.Sc.

Die Kombination von Herzrhythmusmodell mit Elektroden- und Schrittmachermodellen ermöglicht 3D-Simulationen elektrischer Felder im Rahmen der Diagnostik und Therapie von Herzrhythmusstörungen. Das Ziel der Studie bestand in der Modellierung eines kabellosen Herzschrittmachers, Integration in ein Herzrhythmus-Thorax-Modell und 3D-Simulation elektrischer Felder bei einer Schrittmacherstimulation.

*The combination of heart rhythm model with electrode and pacemaker models enables 3D simulations of electrical fields in the diagnostic and therapy of heart rhythm disturbance. The aim of the study was the modeling of a leadless pacemaker, integration in a heart rhythm model and 3D simulation of electrical fields during pacemaker stimulation.*

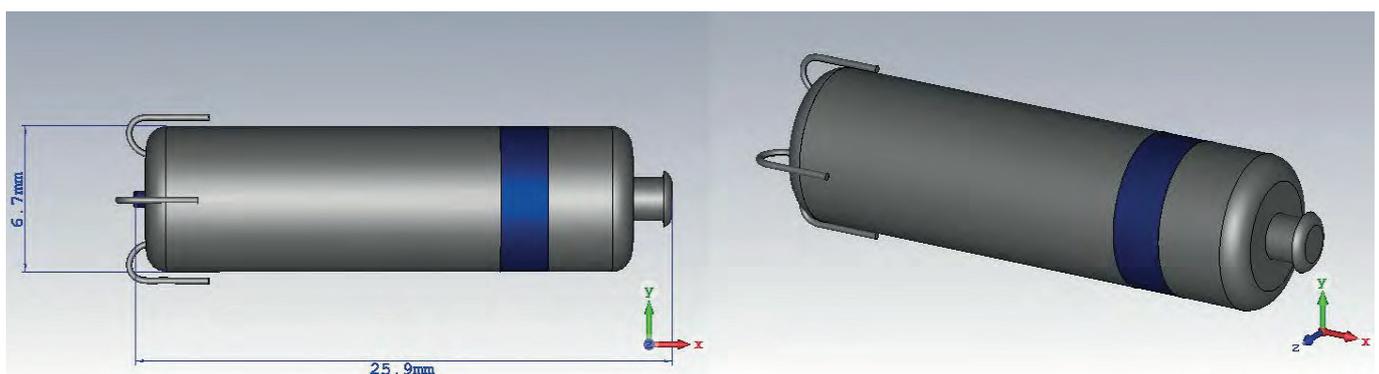
## Einleitung

Der gesunde Herzrhythmus kann durch eine pathologische Erregungsbildung- u/o Erregungsleitung, die an verschiedenen Stellen im Herzen auftreten können, bradykarde bzw. tachykarde Herzrhythmusstörungen entwickeln. Bei rhythmustherapeutischen Maßnahmen mit modernen implantierbaren Herzschrittmachern bzw. Kardioverter-Defibrillatoren ist das elektrische Feld (E-Feld) während der Herzschrittmacherstimulation maßgebend für den Erfolg der Therapie. Durch die 3D-Modellierung und -Simulation der Schrittmacherstimulation können tiefere Einblicke in die Herzrhythmustechnik erlangt werden. Das Ziel der Studie bestand in der Modellierung eines drahtlosen Einkammer-Herzschrittmachers und dessen Integration in ein 3D-Herz-Thoraxmodell zur statischen und dynamischen Simulation der Schrittmacherstimulation. Für die Methodik wurde die Simulationssoftware CST STUDIO SUITE® (CST Computer Simulation Technology AG, Darmstadt, Deutschland) verwendet.

## Methoden

Für die Modellierung des drahtlosen Einkammer-Herzschrittmachers Micra™ (Medtronic, Minneapolis, USA) wurden zunächst die technischen Maße und Materialeigenschaften aus den frei zugänglichen Handbüchern entnommen. Der Micra™ hat insgesamt eine Länge von 25,9 mm und einen Außendurchmesser von 6,7 mm (Abb.1). Damit ist er bisher der kleinste Herzschrittmacher der Welt. Für die Simulation der Herzschrittmacherstimulation im rechten Ventrikel (RV) in der Betriebsart VVI und VVIR, wurde der Micra™ zunächst in das vorhandene Offenburger-Herzrhythmusmodell [1-2] integriert.

Abb. 1:  
Modellierung des drahtlosen Herzschrittmachers Micra™ vom Hersteller Medtronic



Für das zu erstellende 3D-Herz-Thoraxmodell wurde das Visible Human Project der amerikanischen National Library of Medicine [3], bei dem ein verstorbener menschlicher Körper eingefroren und ein 3D-Datensatz aus insgesamt 5189 dünnen Schnittbildern erzeugt wurde, verwendet. Hierzu mussten die relevanten Abschnitte des 3D-Datensatzes in das Offenburger Herzrhythmusmodell importiert und modifiziert werden (Abb. 2).

## Ergebnisse

Für die Herzschrittmacherstimulation mit dem Micra™ wurde in der CST-Software ein Rechtecksignal mit einer Impulsdauer von 0,24 ms und einer Periodizität von 1000 ms generiert. Die rechtsventrikuläre VVI-Stimulation erfolgte bipolar zwischen distaler Spitzelektrode und proximaler Ringelektrode mit einer Stimulationsamplitude von 2 V. Für die Simulation wurde eine Simulationsschrittweite von 0.05 ms gewählt sowie eine Integrationsmethode höherer Ordnung. Die gemessene Spannung an der Kathode lag bei 2,00 V sowie davon abgehend in distaler Richtung bei 1 mm 0,54 V, 2 mm 0,29 V, 3 mm 0,21 V und 4 mm 0,16 V (Abb. 4).

## Schlussfolgerungen

In Kombination von virtuellen 3D-Herzschrittmachermodellen und 3D-Herzrhythmusmodellen sowie der Simulationen von elektrischen Feldern können statische und dynamische Vorhersagen getroffen werden. Mit den gewonnenen Daten können möglicherweise Interferenzen der Herzschrittmachersignale aufgezeigt und so ein fehlerhaftes Wahrnehmen der Herzschrittmachersignale vermieden werden. Des Weiteren können die Daten für eine personalisierte Herzrhythmustherapie in Betracht gezogen werden.

### Referenzen/References:

- [1] M. Schalk (2016). Rhythmologisches Herzmodell und Simulation mit CST, Offenburg
- [2] M. Krämer, M. Heinke, R. Echle, J. Hörth: Simulation of Electrical Fields in Cardiac Resynchronization Therapy and Temperature Spread in HF Ablation, Scholarena - SAJ Biotechnology 4:102, ISSN: 2375-6713, December 2017
- [3] VHP-Website, URL: [https://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible\\_human.html](https://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible_human.html), Zuletzt aufgerufen am: 23.01.2018

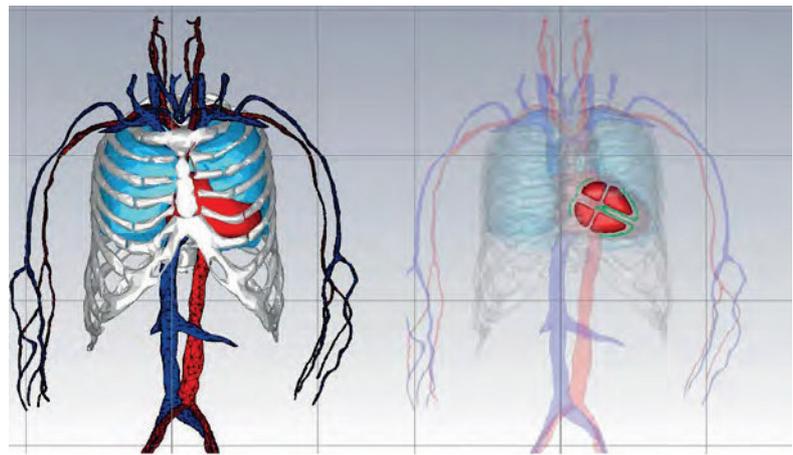


Abb. 2: Offenburger 3D-Herz-Thorax-Modell. Links: Gesamtansicht von außen, rechts: Ansicht auf das Offenburger-Herzrhythmusmodell

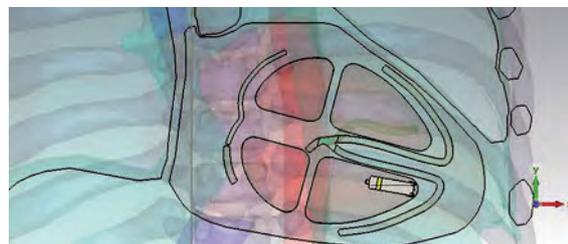


Abb. 3: Position des drahtlosen Herzschrittmachers Micra™ im rechten Ventrikel des Offenburger 3D-Herz-Thorax-Modells

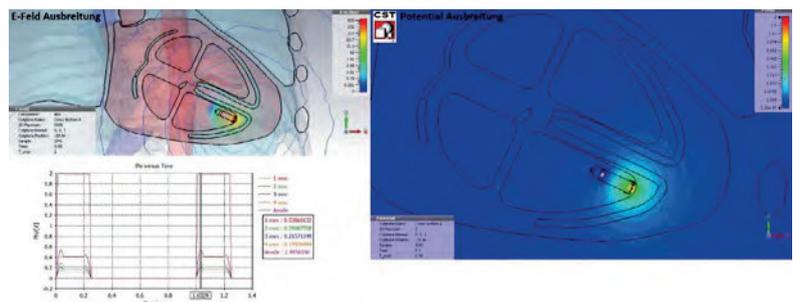


Abb. 4: 2D-Ansicht des E-Feldes (links) und Potenzialfeldausbreitung (rechts) bei rechtsventrikulärer bipolarer Stimulation mit dem drahtlosen Herzschrittmacher Micra™. Links unten: Spannungsmessung während der VVI-Stimulation an der Elektrodenspitze des Micra™ in 1 mm-Abständen in distaler Richtung

### AUTOREN



**Edgar Benke B.Sc.**  
Absolvent Medizintechnik Fakultät E+I  
edgar\_benke@outlook.de



**Prof. Dr.-Ing. med. habil. Matthias Heinke**  
Praktikantenamtsleiter Medizintechnik und Leiter Labor Kardiovaskuläre Gerätetechnik und Rhythmologie  
matthias.heinke@hs-offenburg.de



**Johannes Hörth, M.Sc.**  
Akad. Mitarbeiter Fakultät E+I,  
Laborassistent Labor Kardiovaskuläre Gerätetechnik und Rhythmologie  
johannes.hoerth@hs-offenburg.de

# Signalgemittelte Elektrokardiographie und spektrale Herzrhythmusanalyse

Jonas Tumamos M.Sc., Prof. Dr.-Ing. med. habil. Matthias Heinke, Johannes Hörth M.Sc.

Die Verwendung von komplexen fraktionierten atrialen Elektrogrammen, die durch automatisierte Computeralgorithmen während der Ablation von persistierendem Vorhofflimmern detektiert werden, hat zu widersprüchlichen Ergebnissen in elektrophysiologischen Studien geführt. Das Ziel der Studie bestand in der Evaluierung atrialer und ventrikulärer hochfrequenter fraktionierter Signale durch signalgemittelte Technik.

*The use of complex fractionated atrial electrograms (CFAEs), which are detected by automated computer algorithms during ablation of persistent atrial fibrillation, has led produced conflicting results in previous electrophysiological studies. The aim of the study was to evaluate atrial and ventricular high frequency fractionated electrical signals using signal averaging technique.*

## Einleitung

Die in diesem Forschungsbericht vorgestellten Methoden und Forschungsergebnisse zur hochaufgelösten, signalgemittelten atrialen und ventrikulären Elektrokardiographie wurden in einem Poster und Publikation auf der BMTMedPhys 2017 Annual Meeting of the German Society of Biomedical Engineering and Joint Conference in Medical Physics, 10. – 13. September 2017 in Dresden vorgestellt und sind Bestandteil dieses Forschungsberichts [1]. Die Erfassung komplexer fraktionierter atrialer Elektrokardiogramme (EKG), die durch automatisierte Computeralgorithmen während der Ablation von persistierendem Vorhofflimmern detektiert werden, hat zu widersprüchlichen Ergebnissen in elektrophysiologischen Studien geführt. Transösophageal fokussierte bipolare linksatriale und linksventrikuläre EKGs können zur Evaluierung von interatrialen, linksatrialen, interventrikulären, linksventrikulären und linksatrialen atrioventrikulären Leitungszeiten bei Patienten mit Herzinsuffizienz und Herzrhythmusstörungen eingesetzt werden [2-4]. Das Ziel der Studie bestand in der Evaluierung atrialer und ventrikulärer hochfrequenter, fraktionierter Signale mit signalgemittelter Technik.

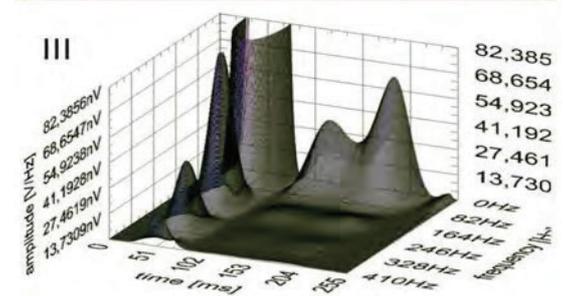
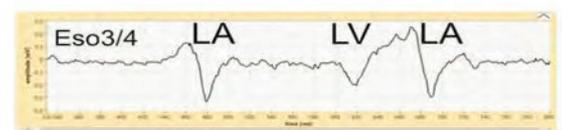
Abb. 1:

Transösophageales bipolares linksatriales und linksventrikuläres EKG Eso3/4 und spektro-temporales Mapping des Oberflächen-EKG III bei einem Patienten mit Vorhofflattern, atrioventrikulärer 2:1 Leitung und Überlagerung von atrialen und ventrikulären Signalen. LA - linksatriales Signal, LV - linksventrikuläres Signal, Eso3 / 4 - transösophageales bipolares EKG, III - Oberflächen-EKG.

## Methoden

Die signalgemittelte (Signal Averaging) Elektrokardiographie ist eine hochaufgelöste Elektrokardiographie, die im Mikrovoltbereich liegende Herzsignale durch Reduktion des Stör-signalabstands im EKG sichtbar machen kann. Die zeitliche signalgemittelte Technik wurde mit atrialer oder ventrikulärer automatisierter EKG Triggerung für transthorakale, transösophageale und intrakardiale atriale und ventrikuläre Signale mithilfe einer neuen Auswertesoftware auf der Grundlage von LabVIEW (National Instruments, Austin, Texas, USA) realisiert.

Neben der hochaufgelösten Biosignalanalyse der signalgemittelten EKGs im Zeitbereich erfolgte die hochaufgelöste Biosignalanalyse im Spektralbereich mithilfe von Fast Fourier-Transformation, spektro-temporalen Mapping und Wavelet-Transformation zur hochaufgelösten Biosignalanalyse hochfrequenter atrialer und ventrikulärer Signale (Abbildung 1).



### Referenzen/References:

- [1] Tumamos J, Heinke M, Hörth J: Spectral analysis of signal averaging electrocardiography in atrial and ventricular tachyarrhythmias. Abstracts - BMTMedPhys 2017 – Dresden, September 10–13 • DOI 10.1515/bmt-2017-5032, Biomed. Eng.-Biomed. Tech. 2017; 62(s1): P 257, S366
- [2] Heinke M, Ismer B, Kühnert H et al (2011): Transesophageal left ventricular electrogram-recording and temporary pacing to improve patient selection for cardiac resynchronization. Med Biol Eng Comput 49: 851-858
- [3] Heinke M, Surber R, Kühnert H et al (2007): Transesophageal left ventricular posterior wall potential in heart failure patients with biventricular pacing. Biomed. Techn. 52: 173-179
- [4] Heinke M, Kühnert H, Heinke T et al (2016): Left cardiac atrioventricular delay and interventricular delay in cardiac resynchronization therapy responder and non-responder. Current Directions in Biomedical Engineering. 2(1): 247-250

Das spektro-temporale Mapping und die Wavelet-Transformation des signalgemittelten EKGs ermöglichten die Evaluierung hochfrequenter, niederamplitudiger fraktionierter atrialer Signale bei Patienten mit Vorhofflimmern und hochfrequenter, niederamplitudiger ventrikulärer Signalen bei Patienten mit ventrikulärer Tachykardie.

Die Biosignalanalyse fraktionierter atrialer Signale erfolgte am Ende der P-Welle und die Biosignalanalyse fraktionierter ventrikulärer Signale erfolgte am Ende des QRS-Komplexes. Es wurde ein Vorhofflattern im Zeitbereich mit einer 2:1 atrioventrikulärer Überleitung mit  $212,0 \pm 4,1$  ms atriale Periodendauer,  $426,0 \pm 8,2$  ms ventrikuläre Periodendauer,  $58,2 \pm 1,8$  ms P-Wellendauer,  $119,6 \pm 6,4$  ms PQ-Dauer,  $103,0 \pm 2,4$  ms QRS-Dauer,  $296,4 \pm 6,8$  ms QT-Dauer,  $42,3 \pm 2,7$  ms linksatriale Verzögerung,  $9,1 \pm 3,6$  ms interatriale Verzögerung,  $61,0 \pm 3,8$  ms linksventrikuläre Verzögerung,  $12,4 \pm 4,7$  ms interventrikuläre Verzögerung und  $130,2 \pm 7,3$  ms linkskardiale atrioventrikuläre Verzögerung analysiert (Abb. 2).

Die Spektralanalyse hochfrequenter, fraktionierter Signale erfolgte bei Vorhofflattern mit 2:1 atrioventrikulärer Überleitung mit spektro-temporalem Mapping und Wavelet-Transformation (Abb. 3). Die Kombination von Biosignalanalyse im Zeit- und Spektralbereich ermöglichte die Auswertung von hochfrequenten, niederamplitudigen, fraktionierten Signalen während vorzeitiger ventrikulärer Extrasystolen (Abb. 4) und während vorzeitiger supraventrikulärer Extrasystolen (Abb. 5).

## Schlussfolgerungen

Die neue LabVIEW Auswertesoftware ermöglicht die hochaufgelöste signalgemittelte Elektrokardiographie im Zeit- und Spektralbereich zur Erkennung atrialer und ventrikulärer hochfrequenter Signale bei Patienten mit Vorhofflattern und ventrikulärer Tachykardie. Die genaue Erkennung komplexer fraktionierter atriale Elektrogramme könnte möglicherweise die Ablation von Vorhofflattern verbessern.

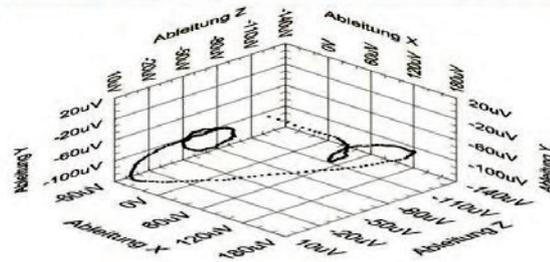


Abb. 2: Vorhofflattern mit 2:1 AV-Leitung, Oberflächen-EKG III, transösophageale bipolare linksatriale u. linksventrikuläre EKG-Ableitung Eso3/4, Vektorschleife des Vektor-EKG und Superposition von atrialen und ventrikulären Signalen. Eso3/4 - transösophageales bipolares EKG, III - Oberflächen-EKG

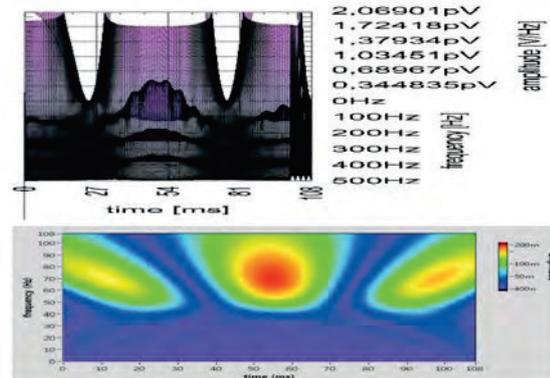


Abb. 3: Spektralanalyse von Vorhofflattern mit 2:1 atrioventrikulärer Leitung mit spektro-temporalem Mapping und Wavelet-Transformation

### AUTOREN



Jonas Tumamos M.Sc.  
Absolvent Medizintechnik Fakultät E+I  
jonas.tumamos@yahoo.de



Prof. Dr.-Ing. med. habil.  
Matthias Heinke  
Praktikantenamtsleiter Medizintechnik und  
Leiter Labor Kardiovaskuläre Gerätetechnik  
und Rhythmologie  
matthias.heinke@hs-offenburg.de



Johannes Hörth, M.Sc.  
Akad. Mitarbeiter Fakultät E+I,  
Laborassistent Labor Kardiovaskuläre  
Gerätetechnik und Rhythmologie  
johannes.hoerth@hs-offenburg.de

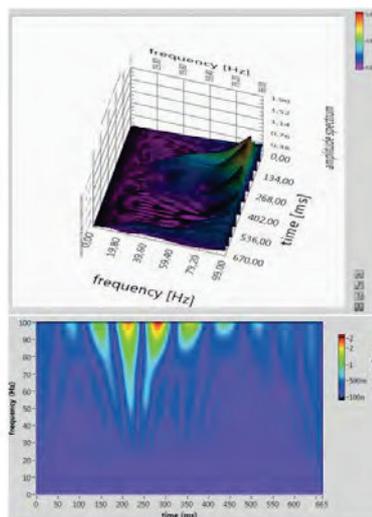


Abb. 4: Spektralanalyse einer vorzeitigen ventrikulären Extrasystole mit Wavelet-Transformation

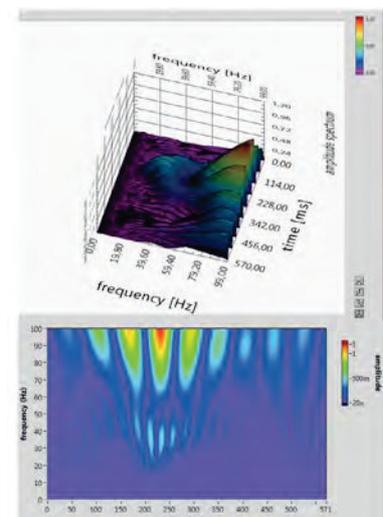


Abb. 5: Spektralanalyse einer vorzeitigen atrialen Extrasystolen mit Wavelet-Transformation