

**Fachhochschule Aachen**  
**Campus Jülich**

Fachbereich 9  
Medizintechnik und Technomathematik

---

# **Beurteilung der Signalqualität von ballistokardiographischen Signalen mittels maschinellen Lernens**

---

**Bachelorarbeit**  
im Studiengang Scientific Programming

von

**Cay Jakob Rahn**  
Matr.-Nr.: 3145495

9. September 2020

1. Prüfer: Prof. Dr. rer. nat. Alexander Voß  
2. Prüfer: Dr.-Ing. Christoph Hoog Antink



# Erklärung

Diese Arbeit ist von mir selbständig angefertigt und verfasst. Es sind keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt worden.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift



# **Abstract**



# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>ix</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>xi</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation . . . . .	1
1.2 Ziel der Arbeit . . . . .	2
1.3 Gliederung . . . . .	2
<b>2 Grundlagen</b>	<b>3</b>
2.1 Ballistokardiographie . . . . .	3
2.1.1 Medizinische Grundlagen . . . . .	3
2.1.2 Medizinischer und technischer Hintergrund . . . . .	4
2.1.3 Einsatzgebiet . . . . .	4
2.1.4 Signaleigenschaften . . . . .	4
2.1.5 Signalverarbeitung . . . . .	4
2.2 Maschinelles Lernen . . . . .	4
<b>3 Messdaten</b>	<b>7</b>
3.1 Erfassung der Messdaten . . . . .	7
3.2 Vorliegende Form . . . . .	7
3.3 Verarbeitung . . . . .	7
3.4 Annotation der Daten . . . . .	7
3.4.1 Möglichkeit 1 . . . . .	7
3.4.2 Anhand der geschätzten Herzraten von Elektrokardiogramm und Ballistokardiogramm . . . . .	7
<b>4 Existierende Verfahren zur Beurteilung der Signalqualität</b>	<b>9</b>
4.1 Maschinelles Lernen mittels statistischer Merkmale . . . . .	9
4.1.1 Vorgehen . . . . .	9
4.1.2 Ergebnisse im Vergleich . . . . .	9
4.1.3 Evaluation . . . . .	9
<b>5 Ergebnisse und Ausblick</b>	<b>11</b>
5.1 Ergebnisse . . . . .	11

5.2 Ausblick . . . . .	11
<b>Literatur</b>	<b>13</b>



# Abkürzungsverzeichnis

**BKG** Ballistokardiographie

**EKG** Elektrokardiographie



# Abbildungsverzeichnis

2.1	Beispiel eines typischen Ballistokardiographie (BKG)-Signals mit Nomenklatur . . . . .	5
-----	--	---



# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

Der derzeitige demographische Wandel stellt das Gesundheitssystem vor eine große Herausforderung: Immer mehr Patient\*innen müssen im Alter überwacht und versorgt werden. Eine kontinuierliche autonome Überwachung von Vitalparametern im Krankenhaus oder auch Zuhause erlaubt es, Erkrankungen frühzeitig zu erkennen oder zu beobachten, ohne dass große Personalkapazitäten von Nöten sind.

Für diesen Anwendungszweck eignen sich vor allem Messmethoden, die die Patient\*innen im Alltag nicht einschränken und wenig invasiv sind. Im Englischen wird dies mit dem Begriff *unobtrusive* bezeichnet. Da es keine zufriedenstellende deutsche Entsprechung gibt, wird dieser im Folgenden nicht übersetzt verwendet werden. Solche *unobtrusive* Messmethoden beinhalten meist keine Notwendigkeit für direkten Körper- oder Hautkontakt, liefern aber Information über Atmung und Herzschlag. Die Herausforderung bei so ermitteltem Signal besteht in der Signalverarbeitung, da Messungenauigkeiten und Alltagsbewegungen zu Störungen im Signal führen. Nicht informatives, also nicht für die Verarbeitung geeignetes Signal muss aber zwingend identifiziert werden, da die Ergebnisse stark verfälscht werden.

Eine solche *unobtrusive* Messmethode ist die Ballistokardiographie (BKG). Sensoren lassen sich beispielsweise in Betten und Stühlen implementieren. Aufgezeichnet werden Aktivitäten des Herzens und der Atmung. Die Signalmorphologie variiert jedoch sowohl zwischen den Patient\*innen als auch innerhalb einer Person sehr stark, wodurch die automatische Beurteilung der Signalqualität erschwert wird. Um eine aussagekräftige Signalverarbeitung zu ermöglichen, ist dies jedoch essentiell. Besonders bei in Betten aufgenommenem Signal ist die Variation des Signals in Kombination mit Artefakten durch Körperbewegungen oder ähnliches problematisch.

## 1.2 Ziel der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist es, Möglichkeiten der Beurteilung der Signalqualität von BKG-Signalen mittels maschinellen Lernens zu untersuchen. Im besonderen Fokus liegen dabei Langzeitaufnahmen von bettlägerigen Patient\*innen, da diese sich in der Vergangenheit als besonders anfällig für geringe Signalqualität gezeigt haben.

Dafür werden zunächst existierende Verfahren der Artefakterkennung für die vorliegenden Daten getestet und bewertet. Anschließend wird auf Basis von Domainenexpertise Merkmalskonstruktion betrieben und verschiedene Verfahren und Eingabeparameter verglichen. Auch wird der Einfluss der Vorverarbeitung des Signals untersucht.

Langfristig soll ermöglicht werden, Ballistokardiographie (BKG) im medizinischen Alltag anzuwenden.

## 1.3 Gliederung

## **2 Grundlagen**

### **2.1 Ballistokardiographie**

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Beurteilung der Signalqualität in ballistokardiographischen Signalen. Zum Verständnis der gemessenen Vorgänge und der Problematik in Bezug auf die Signalqualität und dessen Beurteilung ist grundlegendes medizinisches Wissen und messtechnisches Verständnis nötig. Aufgrund dessen wird hier eine kurze Übersicht über die medizinischen Grundlagen gegeben und die Ballistokardiographie eingeführt.

#### **2.1.1 Medizinische Grundlagen**

- **Kardiorespiratorisches System**
  - Kardiorespiratorisches System besteht aus 2 Teilsystem: kardiovaskulär und respiratorisches System
  - kardiovaskulär: Herz, Arterien (sauerstoffreiches Blut), Venen (sauerstoffarmes Blut zur Anreicherung mit Sauerstoff zur Lunge)
  - von Lungen in linke Herzkammer und durch Arterien zu Organen (Sauerstoff löst sich vom Blut)
  - durch Venen zurück in rechte Herzkammer
  - Zyklus beendet
  - Vitalparameter: Herzfrequenz
  - Herzschlag besteht aus 2 Phasen: füllende und auswerfende Phase
  - Diastole (Erschlaffungs- und Bluteinströmungsphase: Herzkammern füllen sich mit Blut)
  - Diastole endet durch Schließen der Herzklappen

- anschließend Systole (Anspannungs- und Blutausströmungsphase): durch Kontraktion des Herzmuskels öffnen sich Herzklappen -> Blut kann ausströmen
  - respiratorisches System: Lunge und Lungenkreislauf
  - Atemzyklus: durch gezielte Muskelbewegungen Luft aus Umgebung einatmen -> mit eingeatmetem Sauerstoff sauerstoffarmes Blut anreichern -> sauerstoffarme Luft ausatmen
- Übersicht Messtechniken
    - BKG oft mit anderen Messmethoden als Referenz
    - EKG: Aufzeichnung elektrischer Aktivitäten des Herzmuskels (Spannungsänderung mit mehreren Elektroden) -> Herzfrequenz
    - PPG: optisch, misst Menge des von Haut reflektierten/transmittierten Lichtes -> Änderung des Blutvolumens (Lichtmenge nimmt bei Durchlaufen einer Pulsmenge ab) -> Rückschluss auf Atmung und Herzschlag
    - SKG: Vibrationen der Wand des Brustkorbs durch Herzschlag (oft mit BKG gemeinsam betrachtet)

### 2.1.2 Medizinischer und technischer Hintergrund

### 2.1.3 Einsatzgebiet

### 2.1.4 Signaleigenschaften

### 2.1.5 Signalverarbeitung

## 2.2 Maschinelles Lernen

$$y = +1, \text{ falls } \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i > b$$
$$y = -1, \text{ falls } \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i < b$$



$$qSQI = \begin{cases} \text{excellent (E)} & \text{wenn alle 4 } SQI_i \geq 0,9 \\ \text{acceptable (A)} & \begin{cases} \text{wenn 3 der 4 } SQI_i \geq 0,9 \text{ oder} \\ \text{wenn alle 4 } SQI_i \geq 0,7 \text{ oder} \\ \text{wenn } \text{median}(SQI_1, SQI_2, SQI_3) \geq 0,8 \\ \text{und } SQI_1 \geq 0,5 \text{ und } SQI_4 \geq 0,7 \end{cases} \\ \text{untrustworthy (U)} & \text{sonst} \end{cases}$$

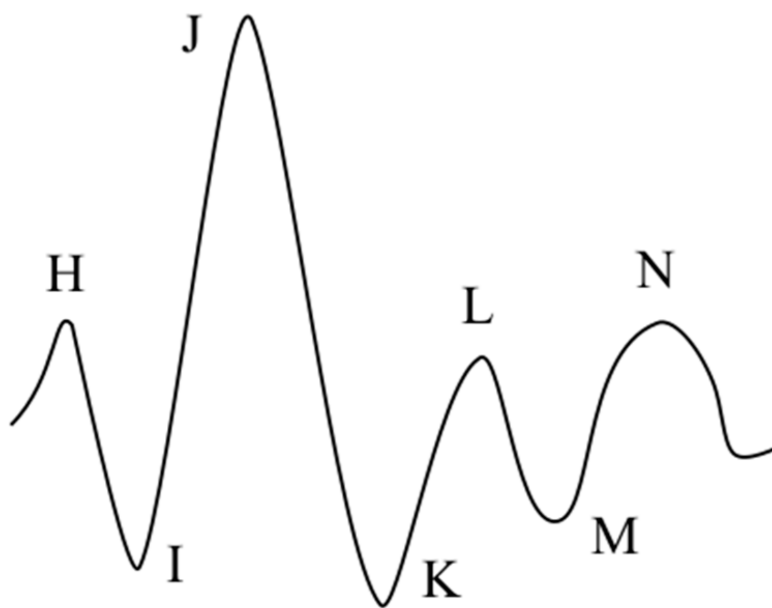


Abbildung 2.1: Beispiel eines typischen BKG-Signals mit Nomenklatur<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Entnommen aus Albukhari et al. 2019 nach Starr et al. 1939.



## **3 Messdaten**

### **3.1 Erfassung der Messdaten**

### **3.2 Vorliegende Form**

### **3.3 Verarbeitung**

### **3.4 Annotation der Daten**

Die vorliegenden Daten sind nicht annotiert. Es ist im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich, die Annotation durch Expert\*innen durchführen zu lassen, weshalb auf das parallel aufgenommene Elektrokardiographie (EKG) zurückgegriffen wird.

#### **3.4.1 Möglichkeit 1**

#### **3.4.2 Anhand der geschätzten Herzraten von Elektrokardiogramm und Ballistokardiogramm**



## **4 Existierende Verfahren zur Beurteilung der Signalqualität**

- gibt einige Verfahren
- Vermutung, dass nicht hinreichend für unsere Daten aus Gründen

### **4.1 Maschinelles Lernen mittels statistischer Merkmale**

Ein Algorithmus zur Beurteilung der Signalqualität mittels maschinellen Lernens wird von Sadek et al. im Paper „Sensor data quality processing for vital signs with opportunistic ambient sensing“ beschrieben. Betrachtet werden BKG-Signale, die in einem Massagesessel aufgenommen werden.

#### **4.1.1 Vorgehen**

#### **4.1.2 Ergebnisse im Vergleich**

#### **4.1.3 Evaluation**



## **5 Ergebnisse und Ausblick**

### **5.1 Ergebnisse**

### **5.2 Ausblick**





# Literatur

- Albukhari, Almothana, Frederico Lima und Ulrich Mescheder (2019). „Bed-embedded heart and respiration rates detection by longitudinal ballistocardiography and pattern recognition“. In: *Sensors (Switzerland)* 19.6.
- Sadek, Ibrahim et al. (2016). „Sensor data quality processing for vital signs with opportunistic ambient sensing“. In: *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS*. Bd. 2016-October. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., S. 2484–2487.
- Starr, Isaac et al. (1939). „Studies on the Estimation of Cardiac Output in Man, and of Abnormalities in Cardiac Function, From the Heart's Recoil and the Blood's Impacts; the Ballistocardiogram“. In: *American Journal of Physiology-Legacy Content* 127.1, S. 1–28.