

# IFAF-Abschlussbericht 2019

---

remo<sup>2</sup>hbo – Projekt

gefördert vom IFAF Berlin

koordiniert vom  
Kompetenzzentrum Angewandte Informatik (HTW)

Projektlaufzeit:  
01.04.2017 bis 31.08.2019

Projektleitung:

Prof. Dr. Dagmar Krefting

Prof. Dr. Ingeborg Beckers



Beteiligte Projektpartner:

CADUS e.V.  
Holzmarkstraße 25  
10243 Berlin

BigBoxBerlin 15qm GmbH  
Thaerstr. 18  
10249 Berlin

# 1 Ausgangslage und Zielsetzung

Im remo<sup>2</sup>hbo-Projekt entwickelt die Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) zusammen mit der Beuth Hochschule für Technik (BHS), der Hilfsorganisation CADUS e.v., sowie der BigBoxBerlin 15qm GmbH quelloffene Geräte für das Vitalparametermonitoring sowie ein Konzept für ein mobiles Krankenhaus 2.0 basierend auf einem 20'-Container.

Moderne Medizintechnik ist typischerweise auf die Bedingungen eines Einsatzes im klimatisierten Krankenhaus ausgelegt. Eine Reparatur ist meist nur mit proprietären Ersatzteilen, die oft größere funktionelle Module umfassen, und nur durch spezialisiertes Fachpersonal möglich. Dies ist beim Einsatz in infrastrukturschwachen Gebieten schlicht nicht oder nur mit hohem finanziellen und logistischen Aufwand möglich.

Mit einem robusten und kostengünstig reparierbaren mobilen Vitalparametermonitoring können wichtige Verfahren der Diagnose und Überwachung auch langfristig in Krisen- und Kriegsgebieten, in denen eine lokale stationäre Gesundheitsversorgung nicht mehr gewährleistet werden kann, bereitgestellt werden. Mit der Verwendung von weit verbreiteten Standardbauteilen und auf Reparierbarkeit ausgelegter Open-Source Hard- und Software, soll eine bessere Wartbarkeit sowie ein kostengünstiger und nachhaltiger Einsatz der Systeme erreicht werden. Dabei stellt der Einsatz im mobilen Krankenhaus im Hinblick auf Hitze, Staub und Feuchtigkeit besondere Anforderungen an die Robustheit der Geräte.

Die Struktur des mobilen Krankenhauses entsteht um einen 20'-Hochseecontainer, der sowohl als Transportmittel als auch als Teil der Zeltstruktur dient. Der Operationssaal wird von den geöffneten Seitentüren des Containers umschlossen und von einer mit dem Container verbundenen Zeltstruktur überspannt. Alle weiteren Einheiten wie Intensivstation, Patientenbetten, Triage, Küche, und Crewbereich sind in aufblasbaren Zelten um den Container angeordnet. Ziel ist es mit diesem innovativen Konzept die WHO-Standards eines Emergency Medical Teams 2 (EMT2) zu erreichen und dynamisch auf sich ändernde Bedingungen in Kriegs- und Krisengebieten reagieren zu können. Medizinische Nothilfe soll so an den Orten gewährleistet werden, wo sie am dringendsten benötigt wird.

## 2 Durchführung

Im Jahr 2017 lag der Schwerpunkt der Arbeiten im Projekt auf der Klärung und Ausarbeitung der Anforderungen an die Systeme des Vitalparametermonitorings und des Containers. In enger Kooperation zwischen HTW, Beuth Hochschule und CADUS e.v. ist es gelungen die Vorstellungen und Ideen in Anforderungen zu formulieren. In 2018 wurde maßgeblich die Messtechnik für das Vitaldatenmonitoring an der BHS und die zugehörige Software an der HTW entwickelt. Auch die Stresstests und Evaluation herkömmlicher Monitoringsysteme konnte in diesem Jahr abgeschlossen werden. Die kostenneutrale Verlängerung des Projekts bis September 2019 wurde für die Dokumentation der Arbeiten, die Erstellung einer Bauanleitung und den Aufbau einer Open-Source Community sowie die Vorstellung des remo<sup>2</sup>hbo-Projektes auf Konferenzen genutzt.

Über die Projektlaufzeit wurden in regelmäßigen Treffen, die Arbeiten an BHS und HTW sowie mit den Projektpartnern abgesprochen und koordiniert. Zur Vernetzung untereinander und zum Monitoring der Aufgaben wurde die Plattformen GitLab und ownCloud des Centrum für Biomedizinische Bild- und Informationsverarbeitung (CBMI) der HTW genutzt.

Einen Überblick und Zeitplan der Aufgaben bietet der Projektplan in Abbildung 1. Darin sind bereits abgeschlossene Arbeitspakete mit Haken (✓) markiert. Begonnene und andauernde Aufgaben wurden kenntlich gemacht.

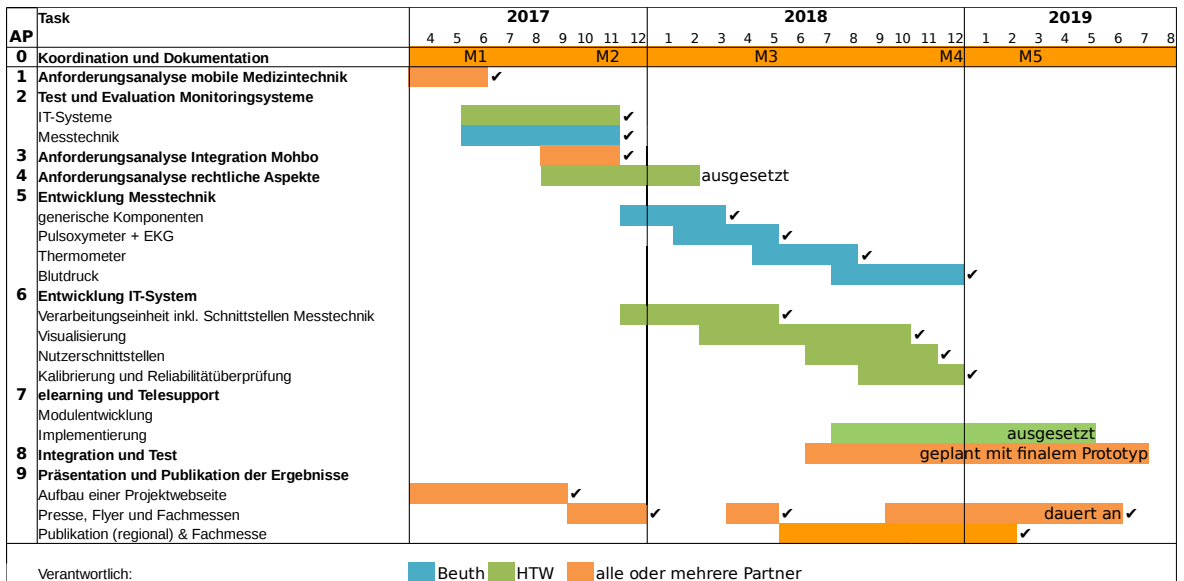


Abbildung 1: Ablaufplan der Projektarbeiten

Für Juli 2019 ist die Fertigstellung eines zweiten Prototypen geplant. Parallel dazu soll eine Dokumentation und Bauanleitung für den Nachbau des Gerätes entstehen. Die Arbeiten zur Integration und Test des Gerätes ist im Anschluss daran geplant.

## 3 Kooperation

### 3.1 Aufgabenverteilung zwischen den Partnern

Die HTW-Berlin hat im remo<sup>2</sup>hbo-Projekt die Aufgaben zum Einen die Softwareentwicklung für die Vitalparameter-Monitoringgeräte und zum Anderen die konstruktive Planung der Containerumbauten durchzuführen. Im November 2017 wurde darüber hinaus die Vorbereitung und Durchführung von Stresstests herkömmlicher Patientenmonitore von der Beuth Hochschule übernommen.

Die Beuth Hochschule für Technik hat im Projekt die Hardwareentwicklung für die Blutdruckmessung, EKG, Sauerstoffsättigung des Blutes, Herzrate und Temperaturmessung sowie die Dokumentation und Bauanleitung der Hardwarekomponenten übernommen.

Die Hilfsorganisation CADUS fungierte im remo<sup>2</sup>hbo-Projekt als Ideengeber und Anwender. Aus der in humanitären Hilfseinsätzen im Irak gewonnenen Erfahrungen mit einer ersten Version des mobilen Krankenhauses, flossen Anforderungen und Anregungen in das Projekt ein.

Gegen Ende des Projekts sollen die Umbaumaßnahmen am Container im Crisis Response Makerspace (CRM) von CADUS mit der Tatkräftigen Unterstützung ihrer Mitglieder und freiwilligen Helfer\_innen ausgeführt werden.

Die Aufgabe des Kooperationspartners BigBoxBerlin war es, CADUS und die HTW bei der Entwicklung eines Containerkonzeptes für das mobile Krankenhaus zu unterstützen. Die Expertise der Containerspezialisten ist zu Beginn des Projektes in die Ausarbeitung einer Anforderungsanalyse eingeflossen.

### 3.2 Effekte der Kooperation

In enger Kooperation zwischen Beuth Hochschule und HTW wurde die Entwicklung der Hard- und Software für das Vitalparametermonitoring vorangetrieben. Beide Bereiche hatten starke Überschneidungen und erforderten eine enge Zusammenarbeit, die Entwicklungsphasen liefen weitgehend parallel. Dabei konnten Synergieeffekte zwischen den Partnern genutzt

werden. Einzelne Arbeitsschritte, wie zum Beispiel das Erstellen einer Anforderungsanalyse, konnten gemeinsam erarbeitet und für beide Hochschulen genutzt werden. Aus den an der HTW durchgeführten Stresstest herkömmlicher Patientenmonitore, konnten Rückschlüsse für das Gehäuse, ein passives Kühlkonzept und ein ressourcenschonendes Design und die Verwendung wärmearmer Bauteile bei der Hardware gezogen werden.

Die Erfahrung der Hilfsorganisation CADUS aus ihren Auslandseinsätzen war für die Definition der Anforderungen medizinischer Geräte für den Einsatz in Krisengebieten extrem wertvoll. Mit ihrer Felderfahrung konnten die Anforderungen an Robustheit und Reparierbarkeit festgelegt und entsprechende Stresstests geplant werden. Diese Erfahrungen sind direkt in den Entwicklungsprozess eingeflossen.

Über das Projekt hinaus, ist aus der Kooperation mit CADUS heraus, ist im Sommersemester 2018 das AWE – „Innovative Lösungen für die humanitäre Katastrophenhilfe“ an der HTW entstanden. In der Lehrveranstaltung wurden konkrete Fragestellungen aus der Praxis von CADUS von Studierenden mittels der Design Thinking Methode bearbeitet. Das Modul wurde im Wintersemester 2018/2019 im Rahmen von Lehraufträgen durch Projektmitarbeiter\_innen erneut durchgeführt und wird im Sommersemester 2019 von einer CADUS-Mitarbeiterin weitergeführt. Bislang wurden Lösungskonzepte für ein modulares Kompostklo, eine App zur Erfassung von WHO-Patientenbögen und eine Gasesse zur Verbrennung medizinischen Mülls erarbeitet. Diese Konzepte werden zur Zeit im Crisis Response Makerspace von CADUS umgesetzt.

Die Aufgabe des Kooperationspartners BigBoxBerlin war es, CADUS und die HTW bei der Entwicklung eines Containerkonzeptes für das mobile Krankenhaus zu unterstützen. Mit der Entscheidung von CADUS zunächst eine Zertifizierung als Emergency Medical Team 1 (EMT1) anzustreben und dabei auf ein lowtech Konzept zu setzen, das einfach und mit geringeren Investitionskosten durch andere Organisationen nachgebaut werden kann, wurden die Planungen für den Containerumbau zurückgestellt. Die Kooperation mit BigBoxBerlin kam in der zweiten Hälfte des Projektes weitgehend zum Erliegen. Bei der Erweiterung des Konzeptes auf EMT2-Standard, kann jedoch auf die erarbeiteten Konzepte aufgebaut werden.

## 4 Ergebnisse

In der Laufzeit des Projektes konnte ein Prototyp eines Open-Source Vitalparametermonitoring (Patientenmonitor) für die Messung von EKG, Herzrate, Sauerstoffsättigung und Temperatur entwickelt werden. Das Gerät basiert auf einem Raspberry Pi Microcomputer, an den eigens entwickelte Messplatinen angeschlossen werden. Über Standardschnittstellen werden die Sensoren mit der Hardware verbunden. Die Messwerte werden durch die Oktopus Software verarbeitet und können durch eine App sowohl am Display dargestellt, als auch auf mobile Endgeräte wie Tablets oder Smartphones übertragen werden.

Die einzelnen Entwicklungsschritte und die erreichten Ergebnisse werden im Folgenden anhand von Meilensteinen ausführlich erläutert.

### 4.1 Anforderungen an die mobile Medizintechnik

Der Meilenstein M1 "Anforderungsanalyse mobile Medizintechnik" (AP1 ) konnte im Dezember 2017 weitgehend abgeschlossen werden. Diese Aufgabe wurde von HTW und Beuth-Hochschule im Austausch mit CADUS erfüllt. Dabei wurden die Anforderungen an Umweltbedingungen und Messgenauigkeit für die Vitalparameter als auch an die Datenübertragung/-Speicherung und die Verfügbarkeit der Daten festgelegt.

Das Monitoringsystem soll die fünf grundlegenden Vitalparameter Temperatur (Temp), Sauerstoffsättigung im Blut (SpO2) und Herzrate (HR), Blutdruck (BP), und Elektrokardiogramm/Herzspannungskurve (EKG) umfassen. Ihre Messgenauigkeit und Samplingraten wurden definiert. Eine Visualisierung der Daten soll direkt am Patientenbett erfolgen, wo auch eine akustische und optische Alarmmeldung bei kritischen Zuständen ausgelöst wird. Die Alarmgrenzwerte der einzelnen Parameter müssen über das Display eingestellt und auf Standardwerte zurückgesetzt werden können. Darüber hinaus sollen die Vitaldaten und Alarmmeldungen auf mobilen Geräten angezeigt werden, die das medizinische Personal mit sich trägt. Dabei sollen aufgrund der Verfügbarkeit dieser Geräte mobile Telefone oder Tablets verwendet werden, die über Applikationen eine Anzeige und Auswahl der Vitalparameter aller Patienten und Patientinnen ermöglichen. Für die Datenübertragung wurde ein Radius von 50 m vereinbart. Aus den Umweltbedingungen des Einsatzszenarios ergeben sich die Anforderungen, dass die dauer-

hafte Funktion des Geräts bei einer Temperatur von -5° bis +50°C, einer Luftfeuchtigkeit von 100%, und unter Einwirkung von Spritzwasser, Staub und Stößen gewährleistet ist. Die Geräte des Vitalparametermonitorings sollen so weit als möglich die Anforderungen des Medizinproduktegesetzes erfüllen auch wenn eine Zulassung als Medizinprodukt nicht angestrebt wird.

Auch für das Gehäuse wurden in Absprache mit CADUS weitere Anforderungen definiert. Die Ein- und Ausgänge für Sensoren und Kabel sollen sich seitlich am Gerät befinden, so dass der Patientenmonitor sowohl im Stehen am Patientenbett, als auch im Liegen während des Patiententransports genutzt werden kann. Eine Seite (Rückseite) des Gerätes soll aus Metall/Kühlgerippe bestehen, über das die entstehende Wärme abgeführt wird.

## 4.2 Test und Evaluation der Monitoringsysteme

Die Bearbeitung des Arbeitspaketes "Test und Evaluation Monitoringsysteme" (AP2) wurde von Februar bis Mai 2018 an der HTW durchgeführt. In der Doppelklimakammer im „Labor für Tragwerke II: Stahl- und Massivbau“, wurden verschiedene Patientenmonitore auf ihre Resistenz gegenüber Hitze-, Staub- und Feuchtigkeit geprüft.

Die Einsatzszenarien im mobilen Krankenhaus umfassen den Betrieb der Patientenmonitore in Zelten, leerstehenden Häusern, im Auto und vorübergehend auch im Freien. Die zu erwartenden klimatischen Bedingungen umfassen Temperaturen im Bereich von -10°C bis 70°C, Luftfeuchtigkeiten bis 100% und die zusätzliche Verstaubung der Geräte durch sehr feinen Wüstenstaub.

Für die Tests standen folgende Patientenmonitore zu Verfügung:

- Utech VS2000 (aktuelles Gerät, chinesischer Hersteller)
  - Temperaturbereich im Betrieb 0-50°C
  - Temperaturbereich bei Lagerung -40-75°C
  - Luftfeuchtigkeit im Betrieb 15-95%
  - Luftfeuchtigkeit bei Lagerung 10-95%
- EDAN-i8 (aktuelles Gerät, deutscher Hersteller)
  - Temperaturbereich im Betrieb 10-55°C
  - Temperaturbereich bei Lagerung -40-70°C
  - Luftfeuchtigkeit im Betrieb 10-95%
  - Luftfeuchtigkeit bei Lagerung 5-100%
- HELLIGE SMK211(gebrauchtes Altgerät mit Bildröhre)
  - keine weiteren Angaben verfügbar

Mit dem Versuchsaufbau konnten aus den Hitzetests bis 70°C und den Feuchtigkeitstests bis 96% Luftfeuchtigkeit keine eindeutigen Auswirkungen der Umgebungsbedingungen auf die Messwerte nachgewiesen werden. Über kurze Messzeiträume konnten die Patientenmonitore diesen Bedingungen stand halten. Für gesicherte Erkenntnisse soll der Zusammenhang aber in



Langzeittests über mehrere Stunden genauer untersucht werden. Nach Fertigstellung des Prototypen, soll dieser gemeinsam mit den untersuchten herkömmlichen Patientenmonitoren erneut in Langzeittests geprüft werden.

Die Verstaubung der Patientenmonitore in einer Staubkammer mit Prüfstaub der Norm EN 60068-2-68 sowie esqua DOR15, zeigte deutliche Schwachstellen der untersuchten Geräte. Der VS2000 und der EDAN i8 Patientenmonitor sind auf der Unter- Rückseite mit Lüftungsschlitzen versehen, durch die der sehr feine Staub bis tief in das Gerät eindringen konnte. Die Abbildungen 2 und 3 zeigen die beiden verstaubten Patientenmonitore und die Staubablagerungen auf den Bauteilen.

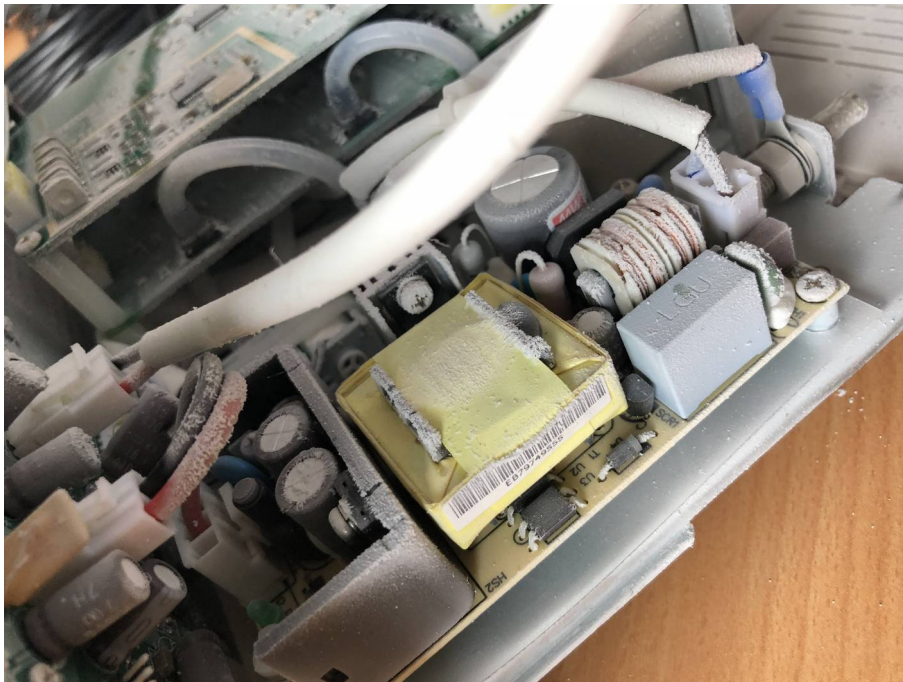


Abbildung 2: Staubablagerungen am Netzteil des VS2000

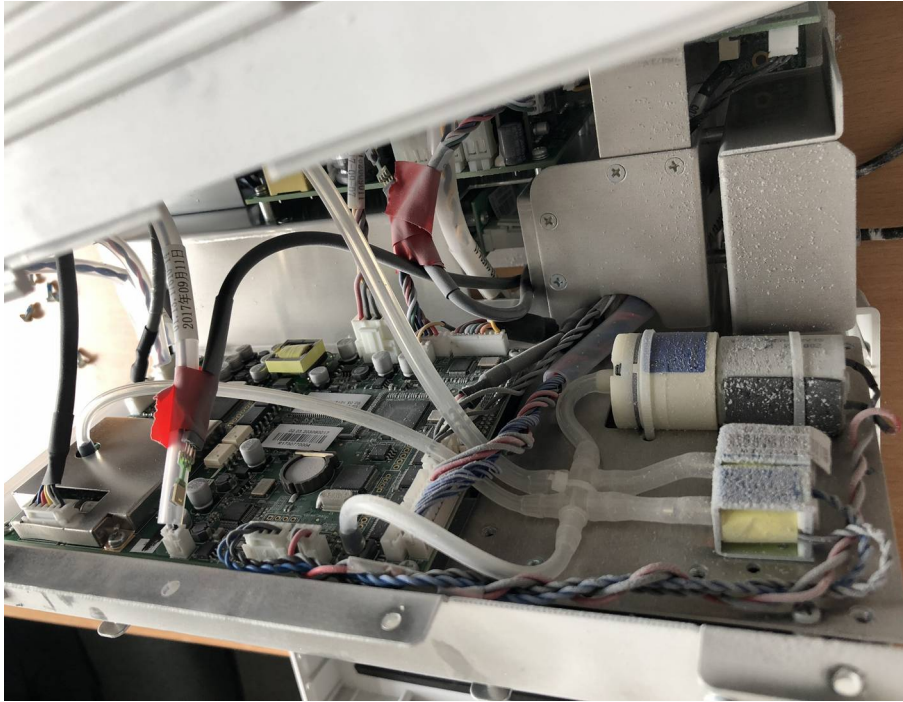


Abbildung 3: Staubablagerungen auf Platine und Blutdruckpumpe im EDAN i8

Öffnungen, die im Normalbetrieb durch Stecker belegt sind, wurden vor der Bestäubung abgeklebt, zusätzliche Steckerbuchsen wie z.B. für einen zweiten Temperatursensors, wurden dagegen offen gelassen um möglichst reale Bedingungen herzustellen.

Die Staubablagerungen führen aufgrund ihrer isolierenden Wirkung zu Temperaturerhöhung an den untersuchten Bauteilen, vor allem am Netzteil.

Das Gehäuse des HELLIGE-Patientenmonitor ist an Stelle von Lüftungsschlitzen mit einem Kühlgerippe ausgestattet und gegenüber der Umgebung abgeschlossen. Nach der Verstaubung konnte im Inneren des Gerätes kein Feinstaub nachgewiesen werden. Abbildung 4 zeigt den staubfreien Innenraum des verstaubten Gerätes.

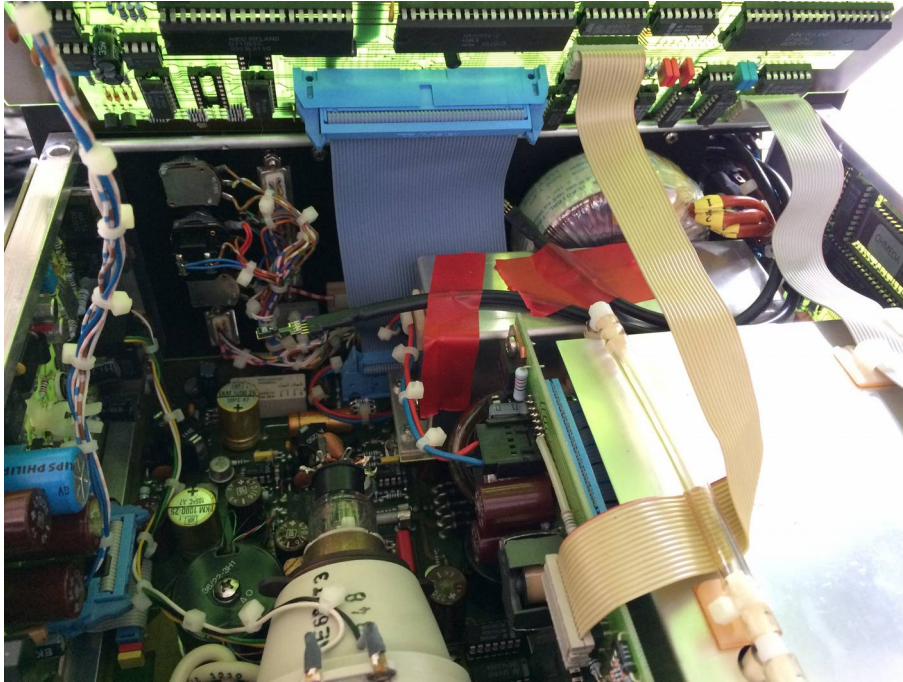


Abbildung 4: Staubfreier Innenraum des HELLIGE Patientenmonitor

Die Luftansaugung und der Luftauslass für die Blutdruckmanschette erfolgt an den auf Abbildung 3 zu sehenden Ventilen an der rechten unteren Bildecke. Über diese Ventile kann feiner Staub in die Druckluftschläuche eindringen und mit der Zeit die Druckmessung beeinflussen.

Als Hauptergebnis wurde aus den Test die Anforderung an ein Staubdichtes Gehäuse gewonnen. Der Ein- und Auslas von Luft am Gehäuse sollte durch einen Luftfilter erfolgen und die Wärme von Netzteil und Prozessor über einen Kühlkörper abgeführt werden.

Die Entwicklung eines entsprechenden Gehäuses, ist nach der Fertigstellung eines zweiten Prototypen mit den eigenen Platinen für 2019 geplant. Sie soll mit Hilfe der remo<sup>2</sup>hbo-Community weiter erarbeitet werden.

### 4.3 Integration in mobile hospital Boxes

Als zweiter Meilenstein M2: "Anforderungsanalyse Integration Mohbo" wurde eine Anforderungsanalyse für die Modifikation des 20'-Containers erarbeitet. Diese wurde in enger Zusammenarbeit mit und aufbauend auf die Einsatzerfahrung von CADUS erstellt. Ziel ist dabei die Zeit für den Auf- und Abbau des mobilen Krankenhauses so gering wie möglich zu halten, um einen flexiblen Einsatz in dynamischen Szenarien wie Naturkatastrophen und kriegerischen Konflikten zu ermöglichen. Um das zu erreichen, soll nur die Ausrüstung aus dem Container geladen werden, die für den Betrieb notwendig ist. Weiteres Material verbleibt im Container, der somit auch die Funktion eines Lagers erfüllen soll. Das mobile Krankenhaus soll darüber hinaus als modulares Konzept möglichst flexibel an den jeweiligen Einsatz vor Ort anpassbar sein. In kurzfristigen Einsätzen bei unsicherer Lage soll der Container auf dem Anhänger oder LKW bleiben, für längere Einsätze aber auch mittels Nivellierstützen auf dem Boden abgesetzt

werden können. Versorgungseinheiten wie der Dieselgenerator, die Wasseraufbereitungsanlage, die Stromverteilung sollen möglichst in der Peripherie des mobilen Krankenhauses, eventuell in einem gesonderten Versorgungscontainer untergebracht sein, um die Lärm- und Abgasbelastung im mobilen Krankenhaus gering zu halten. Einzelne Anforderungen wie sie sich beispielsweise aus der Verbindung des Containers mit der Zeltstruktur ergeben, konnten noch nicht abschließend definiert werden. Diese Frage war Inhalt einer Abschlussarbeit im Studiengang für Industriedesign an der HTW, in der ein Konzept für die Zeltstruktur und deren Verbindung mit dem Container erarbeitet wurde.

In 2018 wurde das Konzept für die Stromversorgung mittels Dieselgeneratoren weiter entwickelt. In einer Masterarbeit in Zusammenarbeit mit dem Studiengang Regenerative Energien, wurden technische und wirtschaftliche Machbarkeit eines Diesel-Hybridsystems untersucht. Dieser Ansatz, die notwendigen Dieselgeneratoren mit Photovoltaik Modulen, Kleinwindanlagen und einem Batteriespeicher zu ergänzen, wurde aufgrund der hohen technischen Komplexität und der hohen Investitionskosten zunächst verworfen. CADUS hat sich bei der Energieversorgung vorerst für den einfachen Aufbau mit mehreren redundanten Dieselgeneratoren entschieden. Diese Generatoren sind bei CADUS bereits vorhanden und das System kommt dem Anspruch der Reproduzierbarkeit entgegen. Damit entfielen auch größere Umbauten am Container, wie die geplante Abtrennung eines separaten Containerbereichs für die Energie- und Wasserversorgung mit Öffnung zur Umgebungsluft. Statt dessen wurde sich für den Transport der nötigen Komponenten in kleineren Modulen (Boxen) entschieden, die am Einsatzort aus dem Container gerollt und verteilt werden können.

Die Schwerpunkte der Kooperation mit CADUS haben sich daher weg vom Containerumbau hin zur Erarbeitung einer Konzeption für das mobile Krankenhaus und seiner Einheiten verschoben. Mitte des Jahres 2018 hat CADUS entschieden, sich zunächst auf den Zertifizierungsprozess für ein Emergency Medical Team 1 (EMT1) zu konzentrieren und diesen Standard im Anschluss auf ein EMT2 zu erweitern.

#### 4.4 Anforderungsanalyse rechtliche Aspekte

Abweichungen gegenüber dem Projektplan ergaben sich im Hinblick auf die rechtlichen Aspekte von Medizintechnik. Da der Erwerb der nötigen Normen und Richtlinien Kosten von mehreren hundert Euro verursacht hätte, wurde dieser Punkt ausgesetzt. Ohne eine Zulassung als Medizinprodukt unterliegt der Einsatz der Geräte der Verantwortung der Ärzte\_innen. Für die Entwicklung der Open-Source Hard- und Software dienen diese Normen nur zur Orientierung, eine Zulassung und Vermarktung des Gerätes als Medizinprodukt ist nicht angestrebt. Vielmehr soll das Gerät anhand einer Dokumentation und Bauanleitung leicht von Menschen in strukturschwachen Regionen nachgebaut werden können und so die gegenwärtige Versorgungslücke in der medizinischen Grundversorgung schließen.

## 4.5 Entwicklung Messtechnik

Die Erfassung der grundlegenden Biosignale für das Vitalparametermonitoring erfolgt über verschiedene Sensoren, deren analoge Signale messtechnisch aufbereitet und in digitale Signale umgewandelt werden. Mit einem Raspberry Pi 3 Einplatinencomputer werden die Vitaldaten verarbeitet und auf einem Display angezeigt, sowie über Bluetooth an mobile Endgeräte übertragen.

Beim Standardmonitoring von PatientInnen werden in der Regel die fünf Vitalparameter: Temperatur, Sauerstoffsättigung des Blutes (SpO<sub>2</sub>), Herzrate (HR), Blutdruck (BP), und Elektrokardiogramm (EKG) erfasst. Die Messtechnik für diese Vitalsignale wurde zunächst auf Steckplatinen realisiert und später auf eigene Platinenlayouts übertragen. Mit der Verwendung von Standardbauteilen lag das Augenmerk auf einer einfachen Reproduzierbarkeit und der Reparierbarkeit. Durch den modularen Aufbau aus einzelnen farblich gekennzeichneten Platinen wird der leichte Austausch einzelner Komponenten ermöglicht.

### Elektrokardiogramm

Das Elektrokardiogramm (EKG) wird über drei Elektroden am Körper aufgenommen, deren Signal auf getrennten baugleichen Platinen verstärkt und gefiltert werden. Abbildung 5 zeigt exemplarisch eine der EKG-Platinen.

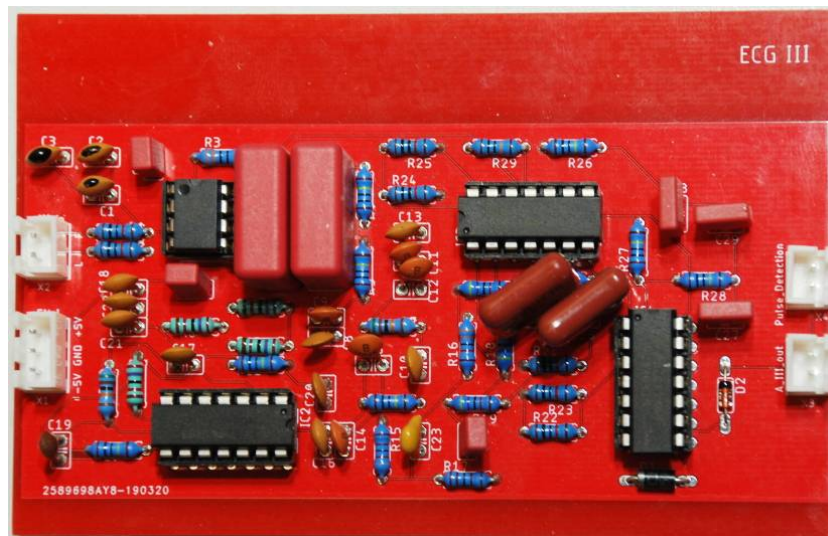


Abbildung 5: EKG-Platinenlayout der 1.- 3. Ableitungen

Da bei der Erfassung des EKG sehr geringe Potentialunterschiede zwischen den Elektroden gemessen werden (Ableitungen), ist dieser Parameter anfällig für Störungen durch elektromagnetische Felder und bedarf der Abschirmung sowie der Filterung von Netzschwingungen (50Hz-Rauschen). Daher ist der Messtechnische Aufbau recht komplex, wie in Abbildung 5 zu sehen ist. Die gemessene Erregung des Herzmuskels muss sowohl im positiven als auch im

negativen Spannungsbereich verstärkt werden. Dafür ist eine positive und eine negative Spannung notwendig, die wie in Abbildung 6 gezeigt, von zwei separaten Netzteilen bereitgestellt werden.

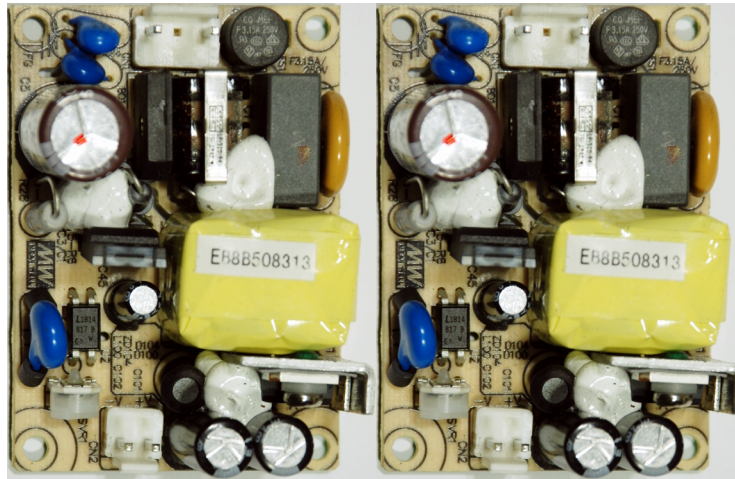


Abbildung 6: Netzteile für positive und negative Spannungsversorgung

Die drei EKG-Ableitungen werden auf der OctoBrain-Platine (Abbildung 7) zusammengeführt und in digitale Signale gewandelt.

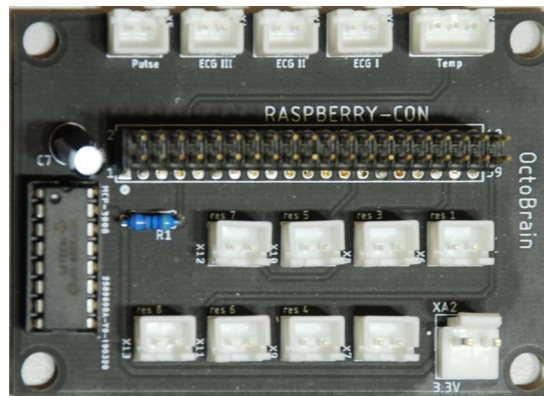


Abbildung 7: Octobrain-Platine für die EKG, Temperatur und Puls Übertragung

Über ein IDE 40-Pin Kabel werden die Signale anschließend an den Raspberry Pi (Abbildung 8) übertragen, der für die Darstellung auf dem Display sorgt und somit eine Analyse der Herzkurve ermöglicht, die für die Diagnostik von Herzrhythmusstörungen und Herzinfarkten ein wichtiges klinisches Verfahren bietet.

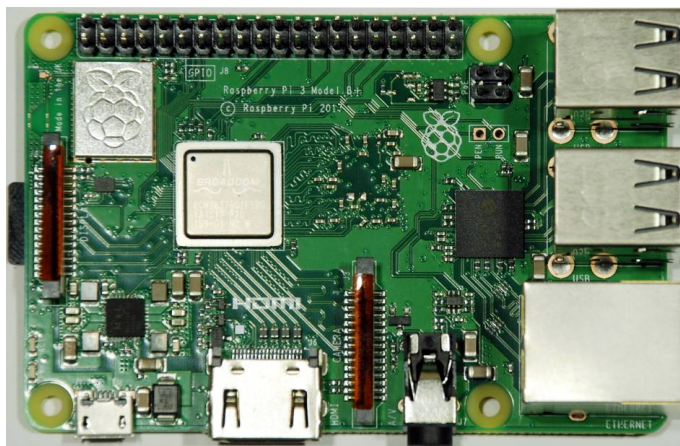


Abbildung 8: Raspberry Pi 3 Einplatinencomputer

## Herzfrequenz

Neben der Kurve der Herzmuskelerregung kann aus den EKG-Signalen die Herzfrequenz (Heart Rate) und der Herzrhythmus/Puls bestimmt werden. Für diesen Zweck wurde die Heart-Rate-Platine in Abbildung 9 entwickelt, auf der auch eine Analog-Digitalumwandlung erfolgt.

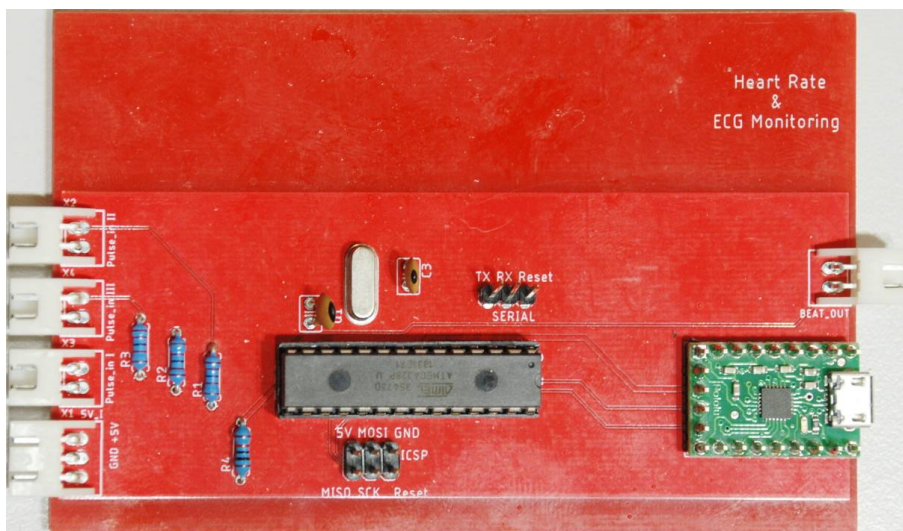


Abbildung 9: Heart-Rate-Platine

Über einen USB-Ausgang werden die digitalen Werte direkt an den Raspberry Pi übertragen.

## Sauerstoffsättigung

Der Sauerstoffgehalt im Blut wird mittels eines nichtinvasiven Verfahrens über einen Fingerclip gemessen, der mit einer Rotlicht- und einer Infrarot-LED die Haut durchleuchtet und mittels einer lichtempfindlichen Fotodiode die Lichtabsorption im Blut misst. Für die Auswertung

des Signals wurde die Pulseoxy-Platine entwickelt. Über die Messelektronik wird die partielle Sauerstoffsättigung ( $SpO_2$ ) aus dem Verhältnis von gemessenem Rot- und Infrarotlicht bestimmt, also wie viel Prozent des Hämoglobins im Blut mit Sauerstoff beladen ist.

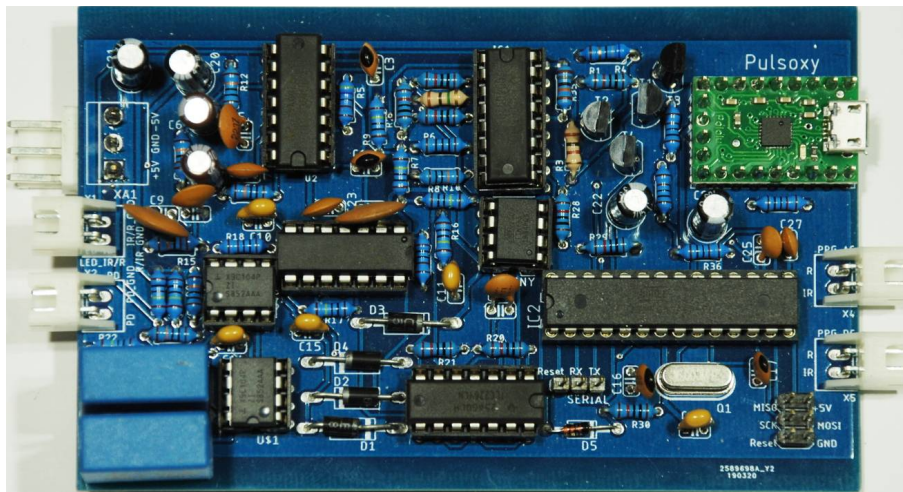


Abbildung 10: Pulseoxy-Platine ( $SpO_2$ )

## Nichtinvasive Blutdruckmessung mittels Armmanschette (NIBP)

Die Messung des Blutdrucks erfolgt nichtinvasiv durch eine oszillometrische Druckmessung an der Armmanschette. Diese ist über einen Druckschlauch mit dem Drucksensor auf der Blood-Pressure-Platine (Abbildung 11) verbunden, der den anliegenden Druck und die Schwankungen durch das Pulsieren des Herzens misst. Druckaufbau und das anschließende sukzessive Ablassen wird über die Steuerung einer Luftdruckpumpe und zweier elektronischer Ablassventile von der Platine übernommen. Mittels der sogenannten auskultatorischen Messung, wird bei anfänglichem hohen Druck in der Manschette der Druck gemessen bei dem der arterielle Druck erstmals größer als der Manschettendruck ist (Korotkow-Geräusch). Dies ist der erste, der systolische arterielle Druckwert. Langsam wird der Manschettendruck weiter abgelassen. Unterschreitet der Manschettendruck dann den minimalen arteriellen Druck, wird der Wert für den diastolischen Druck gemessen. Beide Werte geben den Blutdruck wieder und werden üblicherweise in Millimeter-Quecksilbersäule (mmHg) angegeben.



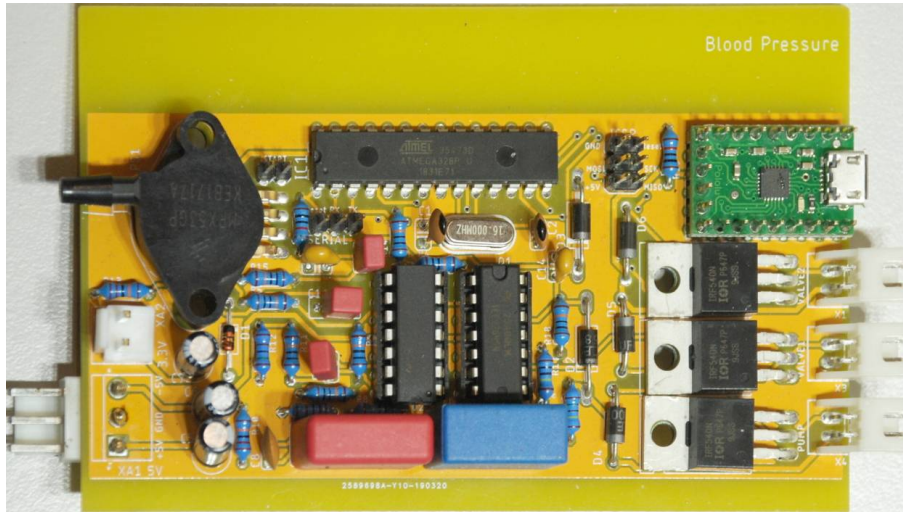


Abbildung 11: Blutdruck-Platine (NIBP)

Systolischer und diastolischer Druck, werden als digitale Werte über eine USB-Schnittstelle von der Platine an den Raspberry Pi übertragen.

### Nichtinvasive Blutdruckmessung mittels Pulstransitzeit (PTT)

Neben der klassischen Methode steht mit der Pulstransitzeit (PTT) ein Verfahren zur kontinuierlichen nichtinvasiven Blutdruckmessung zur Verfügung. Die Messung erfolgt über die Bestimmung der Pulswellenlaufzeit, deren Beginn am Herzen über den größten Ausschlag im EKG Signal (R-Zacke), und ihrem Ankommen am Finger mittels des Pulsoximeters ermittelt wird. Die Ergebnisse hängen stark von physiologischen Parametern, wie der Flexibilität der Gefäße ab, so dass die Messung notwendig mit einer zweiten Methode individuell kalibriert werden muss. Diese Kalibrierung kann zu Beginn der kontinuierlich Messung mittels der zuvor beschriebenen oszillometrischen Methode realisiert werden.

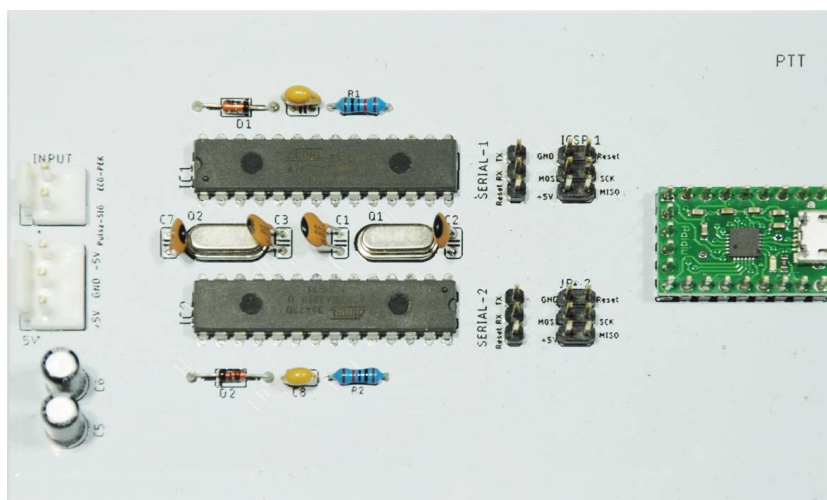


Abbildung 12: PTT-Platine (NIBP)

Auch diese Platine wird über ein USB-Kabel mit dem Raspberry Pi verbunden, auf dem die digitalen Signale für die Ausgabe am Display verarbeitet werden.

## Temperaturmessung

Für die Temperaturmessung wird ein Temperatursensor genutzt, der ohne weitere Messtechnik, über die Octobrain-Platine (Abbildung 7) digitalisiert und mit dem Raspberry Pi verbunden werden kann.

## Darstellung der Vitalparameter

Die Visualisierung der Vitalparameter erfolgt über ein an den Raspberry Pi angeschlossenes Display. Über das Display sollen auch Grenzwerte für Alarmmeldungen gesetzt, auf gespeicherte Daten zugegriffen und weitere Einstellungen möglich sein. Diese Funktionen wurde auf Grund der länger anhaltenden Hardwareentwicklung noch nicht implementiert.

## Gehäuse

Die Entwicklung eines Gehäuses für das Gerät ist im Projektplan nicht vorgesehen, um die Anforderungen in Krisengebieten zu erfüllen ist aber auch hierfür ein angepasstes Design notwendig. Es wurde ein Grundkonzept entwickelt das den Anforderungen durch Hitze, Staub und Feuchtigkeit gerecht wird. Ein geschlossenes Gehäuse soll das Innere gegenüber Staub und Feuchtigkeit schützen. Die entstehende Wärme soll über einen Kühlkörper an der Rückseite passiv nach außen geführt werden. Für die Pumpe der Blutdruckmanschette ist jedoch das Ein- und Ausströmen von Luft in und aus dem Gehäuse erforderlich. Für diesen Fall soll eine kleine Öffnung mit einem Luftfilter und Labyrinthgängen ausgestattet werden, die vor dem Eindringen von Staub schützen. Ein detailliertes Design des Gehäuses soll auf Basis eines zweiten Prototyps im August 2019 entwickelt werden. Mit dem neuen Platinenlayout und allen Komponenten, stehen dann alle Parameter und Abmessungen zur Verfügung.

An einem Proof of Concept der Hardware und Platinen wird aktuell noch gearbeitet, jedoch sind alle Schaltpläne und deren Umsetzung in entsprechende Platinenlayouts bereits als GitHub-Repository zugänglich unter: <https://github.com/cadus/remo2hbo-wiki/wiki>

Die Dokumentation und Bauanleitung für den Nachbau der einzelnen Platinen und des gesamten Gerätes entsteht begleitend zum zweiten Prototypen, diese wird in nächster Zeit ebenfalls bei GitHub veröffentlicht.

## 4.6 Entwicklung IT-System

Die Entwicklung des IT-Systems kann in zwei Teile aufgeteilt werden, die Backend- und die Frontendentwicklung.

## Backendentwicklung

Als Backend wird der Teil der Software bezeichnet, der im Hintergrund die Prozesse steuert und direkt mit der Daten- und Signalverarbeitung verbunden ist. Bei der Entwicklung wurden mittels des so genannte Skriptings, der Aufbau eines Betriebssystems für den Raspberry Pi aus einzelnen Programmkomponenten programmiert. Dabei werden Schnittstellen und Variablen definiert, der Bootprozess und die Konvertierung von Datenformaten festgelegt. Die Entwicklung des Backends erfolgte 2018 im Rahmen eines Werkvertrages durch einen externen Mitarbeiter und wird aktuell auf freiwilliger Basis weitergeführt. Einige weitere Aufgaben, wie die Implementierung der Datenspeicherung und die Definition von Alarmgrenzen, sollen als Community-Entwicklung mit Hilfe der GitHub-Plattform umgesetzt werden.

## Frontendentwicklung

Die Entwicklung der Frontend Software, also der graphischen Oberfläche, die Nutzer\_innen sehen und zur Steuerung des Gerätes nutzen, wurde 2018 im Rahmen einer Abschlussarbeit im Studiengang Informatik von einer Studentin übernommen.

Mit der prototypischen Entwicklung einer Web-Anwendung, wurde die Darstellung und Analyse der Vitaldaten Herzrhythmus, Herzfrequenz, Herzkurve, Blutdruck, Sauerstoffsättigung des Blutes und Körpertemperatur auf mobilen Endgeräten ermöglicht. Die browserbasierte Darstellung basiert auf der Java-Skript Framework React und erfolgt unabhängig vom Betriebssystem. Sie erlaubt die Verwendung unterschiedlicher Anzeigegeräte wie Tablet, Smartphone oder Laptop. Dabei wird die Bluetooth Schnittstelle des Raspberry Pi als lokaler Web-Server für mehrere Client-Anwendungen genutzt. In nahezu Echtzeit werden optische und akustische Alarmmeldungen ausgelöst, wenn Grenzwerte unterschritten werden. Eine Einstellung der Grenzwerte erfolgt nach medizinischen Vorgaben jedoch ausschließlich nach Begutachtung des/der Patienten\_in durch medizinisches Fachpersonal.

Die Visualisierung der Patientendaten auf mobilen Endgeräten ist in Abbildung 13 exemplarisch dargestellt.

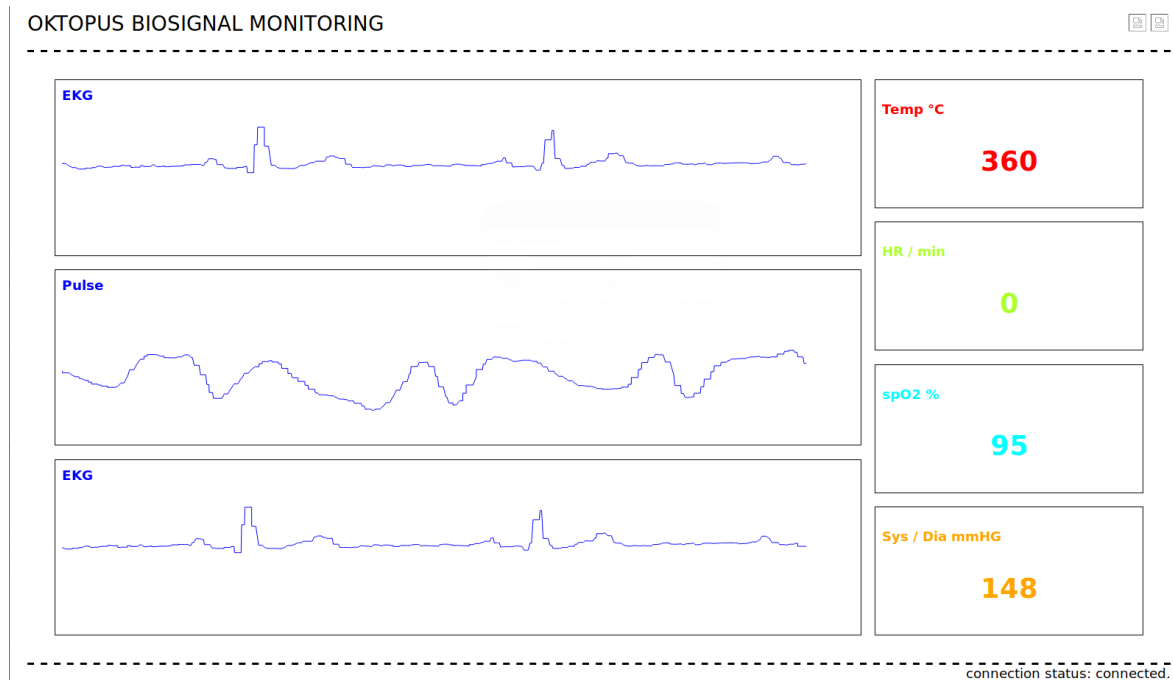


Abbildung 13: Darstellung der Vitaldaten im Browser

Die entwickelte Frontend-Software ist unter: <https://github.com/cadus/remo2hbo-wiki/wiki> bei GitHub zugänglich. Über die Plattform werden auch die weiteren Entwicklungsschritte vorangetrieben. Diese sind: Die Programmierung eines energiesparenden dunklen Displaylayouts, die Implementierung von Einstellungen für Alarmgrenzen und die Darstellung von Zeitverläufen gespeicherter Daten.

## 4.7 E-Learning und Telesupport

Der „E-Learning und Telesupport“ (AP7) dient dem Nachbau und der Reparatur des Patientenmonitors. Zur Zeit wird der Bau eines zweiten Prototypen mit einer Video- und Bilddokumentation von einer Studentin der Beuth Hochschule begleitet. Das Schulungsmaterial wird anschließend online veröffentlicht und ergänzt den Open-Source Ansatz des Projektes.

## 4.8 Integration und Test

Mit der Fertigstellung des zweiten Prototypen und der Bestätigung des Platinenlayouts sind umfassende Tests der Hard- und Software geplant. Die gemessenen Vitaldaten müssen mittels Vergleichsmessungen mit anderen Geräten validiert werden. Darüber hinaus muss die Hardware auf die Anforderungen im Mobilen Hospital, wie Hitze und Staub getestet werden. Hierzu sind weitere Langzeittests unter Realbedingungen (Hitze und Feuchtigkeit) vorgesehen. Auch die Software muss weiteren Tests unterzogen und in ihrer Funktionalität erweitert werden. Hierfür ist die Unterstützung der Community und die Vervielfältigung des Gerätes notwendig.

Geplant ist die Elektronik im Rahmen von Workshops beim CCC-Camp 2019 zu vervielfältigen. Durch das Nachvollziehen und Reproduzieren unsere Arbeit durch Dritte, hoffen wir auf weitere Anregung und Verbesserungen sowie die Offenlegung von Fehlern.

## 4.9 Abschlussarbeiten

Im Rahmen des remo<sup>2</sup>hbo-Projekts wurden an der HTW und der BHS mehrere Abschlussarbeiten durchgeführt.

Abschlussarbeiten an der Beuth Hochschule für Technik:

- Klimt, M. (2017): Konzeption und Entwicklung eines robusten Blutdruckmessgerätes für den Einsatz in mobilen Krankenhäusern. Masterarbeit, Physikalische Technik / Medizinphysik, Fachbereich II Mathematik Physik Chemie, Beuth Hochschule

Abschlussarbeiten an der HTW Berlin:

- Staschik, L. (2019): Temporäre Bauten in Krisengebieten – Designtheoretische Studie. Bachelorarbeit, Industriedesign, HTW Berlin
- Kreichgauer, A. (2019): Konzeption und Entwicklung einer Web-Anwendung zur Darstellung und Analyse des Vitalparametermonitorings im Rahmen des Projekts remo<sup>2</sup>hbo. Bachelorarbeit im Studiengang Angewandte Informatik, Fachbereich 4, HTW-Berlin
- Anyangbe, F. (2018): Auslegung eines modularen Diesel-Hybridsystems für das mobile Krankenhaus 2.0. Masterarbeit, Regenerative Energien, HTW-Berlin
- Kehr, V. (2018): Transportsystem für humanitäre Einsätze. Bachelorarbeit, Industriedesign, HTW Berlin

## 5 Aktivitäten der Öffentlichkeitsarbeit

### 5.1 Aufbau einer Projektwebseite

Der "Aufbau einer Projektwebseite" (AP9) wurde mit der Unterstützung der Kolleg\_innen aus dem CBMI der HTW wie geplant abgeschlossen. Seit 2017 ist die Webseite unter: <http://www.remo2hbo.f4.htw-berlin.de/> zu erreichen und wurde laufend ergänzt und überarbeitet. Auf der Webseite finden sich Links zu den GitHub-Repositories, der verwendeten Software, der Dokumentation, den verwendeten Teilen und der Bauanleitung.

### 5.2 Präsentation und Publikation der Ergebnisse

Im Projektzeitraum wurde das remo<sup>2</sup>hbo-Projekt auf verschiedenen Kongressen und Veranstaltungen vorgestellt.

- Olbrich, S., Kietzmann, K. (2017): Industrie von morgen. Symposium der HTW-Berlin, 9. November 2017, Postersession.
- Jünemann, S. (2017): 34. Chaos Computer Congress. Jahreskongress, Leipzig. Vertreten durch CADUS
- Klimt, M., Kauer, J., Liublin, W., Beckers, I. (2018): Research Day 2018. Beuth Hochschule.
- Krefting, D., Jünemann, S. (2018): remo2hbo – robustes und reparierbares Vitalparametermonitoring. Kongressvortrag, 35C3, Leipzig. Abrufbar unter: [https://media.ccc.de/v/35c3-9765-remo2hbo\\_robustes\\_und\\_reparierbares\\_vitalparametermonitoring](https://media.ccc.de/v/35c3-9765-remo2hbo_robustes_und_reparierbares_vitalparametermonitoring)
- Olbrich, S., Mollenhauer, S., Krefting, D. (2019): re:publica. Berlin.
- Krefting, D., Beckers, I., Jünemann, S. (2019): Parlamentarischer Lunch des IFAF. Berlin.
- Olbrich, S., Mollenhauer, S., Schäfer, C., Beckers, I. (2019): Maiker Fair Berlin. Berlin.

- Olbrich, S., Mollenhauer, S., Krefting, D. (2019): Lange Nacht der Wissenschaften. Hochschule für Technik und Wirtschaft, Berlin.
- Kauer, J., Liublin, W., Beckers, I. (2019): Lange Nacht der Wissenschaften. Beuth Hochschule für Technik, Berlin.

Im Rahmen de remo<sup>2</sup>hbo-Projekts wurden folgende wissenschaftlichen Vorträge und Artikel pupliziert:

- Krefting, D., Olbrich, S., Kietzmann, K. (2018): Von der Hochschule in den Makerspace: Studierenden-Projekte für Innovationen in der Humanitären Katastrophenhilfe. In: Kreativität + X = Innovation, Beiträge und Positionen der HTW Berlin, S.240-245, Berlin, Band 8, ISBN (Print) 978-3-8305-3844-8
- Krefting, D., Olbrich, S. (2018): Von der Hochschule in den Makerspace: Studierendenprojekte in der humanitären Katastrophenhilfe. Vortrag, HTW Symposium 2018, Kreativität + X = Innovation.
- Klimt, M., Kauer, J., Liublin, W., Olbrich, S., Krefting, D., Beckers, I. (2018): Entwicklung eines reparierbaren und quelloffenen Systems für das Vitalparametermonitoring in mobilen Krankenhäusern. Tagungsband – Research Day 2018 (Presented at Research Day - 2018), Beuth Hochschule.
- Trüpschuch, D., (2018): Medizinische Versorgung in Kriegsgebieten sichern. Artikel in BEUTH. Das Magazin, Ausgabe 2/2018. Abrufbar unter: [http://www.beuth-hochschule.de/fileadmin/oe/pressestelle/beuth-magazin/2018-2\\_beuth-magazin.pdf](http://www.beuth-hochschule.de/fileadmin/oe/pressestelle/beuth-magazin/2018-2_beuth-magazin.pdf)
- Kauer, J., Liublin, W., Jünemann, S., Klimt, M., Krefting, D., Olbrich, S., Beckers, I. (2019): Reliability of vital parameter sensors in harsh environments. Proceedings SPIE 10869, Optics and Biophotonics in Low-Resource Settings V, 1086918 (Presented at SPIE BiOS: February 04, 2019; Published: 26 February 2019); <https://doi.org/10.1117/12.2510517>.

## 6 Ausblick

### 6.1 Open-Source Community

Vor allem durch den Kongressvortrag und die Präsentation des ersten Prototyps im Rahmen des Chaos Communication Congress (35C3) im Dezember 2018, hat das Projekt viel überregionale Aufmerksamkeit und Zuspruch erhalten. Um Ansatzpunkte für die zahlreichen Unterstützungsangebote zu schaffen, wurde im Februar 2019 mit dem Aufbau einer Open-Source Community begonnen. Mit der kostenneutralen Verlängerung des Projekts bis zum 31.08.2019 soll diese weiter ausgebaut und die Dokumentation und Bauanleitung zum Nachbau des Patientenmonitors angefertigt werden.

Die Weiterentwicklung des Vitaldatenmonitors hin zu einem einsatzfähigen Gerät, soll mit Hilfe der Community erfolgen. Schwerpunkte werden dabei das Testen des bisherigen Hard- und Software auf technische Funktion und die Einsatzanforderungen, die Entwicklung eines staubdichten Gehäuses, die Speicherung der Daten auf einem zentralen Server und die Einstellung von Grenzwerten für Alarmmeldungen sein.

Das remo<sup>2</sup>hbo-Wiki und die Software ist unter den folgenden Repositorien bei GitHub einsehbar:

- <https://github.com/cadus/remo2hbo-wiki/wiki>
- [https://github.com/cadus/remo2hbo\\_oktopus\\_boot](https://github.com/cadus/remo2hbo_oktopus_boot)
- [https://github.com/cadus/remo2hbo\\_oktopus\\_frontend](https://github.com/cadus/remo2hbo_oktopus_frontend)

Seit der Veröffentlichung hat die remo<sup>2</sup>hbo-Community an Mitgliedern gewonnen und besteht aktuell aus 21 Personen aus verschiedenen Ländern. Das Wiki wird in Englisch geführt, um eine internationale Kooperation zu ermöglichen. Das Community-Management und die langfristige Begleitung der Entwicklung, soll in Zukunft bei dem Projektpartner CADUS liegen. Durch die Zusammenarbeit mit dem Global Innovation Gathering (GIG) wollen wir verstärkt Makerspaces im globalen Süden ansprechen und die Vernetzung mit dieser Zielgruppe ausbauen.



## 6.2 Forschungsperspektive

Bei der medizinischen Notversorgung in Krisengebieten sind meist keine spezialisierten Fachärzte\_innen verfügbar. Über die Integration des Vitaldatenmonitorings in die Telemedizin, können Fachärzte\_innen in die Behandlung vor Ort eingebunden und somit die Versorgung vor Ort verbessert werden. Mit Hilfe einer zu entwickelnden App kann eine Gruppe von Ärzten\_innen aufgebaut werden, die bereit sind über eine Datenverbindung die Behandlung vor Ort zu unterstützen. Mit der App soll es möglich sein Suchanfragen zu schicken und so geeignete Mediziner\_innen für das jeweilige Krankheitsbild zu finden. Diese können je nach zeitlicher Kapazität und Kompetenz eine telemedizinische Behandlung mit Hilfe der App annehmen oder ablehnen. Durch die direkte Bild- und/oder Tonverbindungen sowie die Übertragung der Patienten\_innendaten, können nicht nur fachliche Lücken geschlossen, sondern auch sprachliche Barrieren überwunden werden.

## 7 Kurzzusammenfassung des Projekts und seiner Ergebnisse

Mit einem Open-Source Vitalparametermonitoring kann Gesundheitsversorgung auch in abgelegenen und infrastrukturschwachen Gebieten ermöglicht werden. Dabei stellt der Einsatz im mobilen Krankenhaus besondere Anforderungen an die Robustheit und Wartbarkeit medizinischer Geräte. Moderne Medizintechnik kann typischerweise nur von spezialisiertem Fachpersonal mit proprietären Ersatzteilen, die oft größere funktionelle Module umfassen, repariert werden. Dies ist beim Einsatz in infrastrukturschwachen Gebieten schlicht nicht oder nur mit hohem finanziellen und logistischen Aufwand möglich.

Im remo<sup>2</sup>hbo-Projekt wurde die Hard- und Software für ein quelloffenes Vitalparametermonitoring entwickelt. Mit dem Prototypen können Herzfrequenz, EKG-Kurve, Sauerstoffsättigung des Blutes, Temperatur und Blutdruck gemessen werden. Mit diesen Parametern können wichtige Verfahren der Diagnose und Therapiekontrolle in Krisengebieten, in denen lokale stationäre Gesundheitsversorgung nicht mehr gewährleistet werden kann, eingesetzt werden. Die Verwendung von weit verbreiteten Standardbauteilen und auf Reparierbarkeit ausgelegter Hard- und Software, soll eine bessere Wartbarkeit sowie einen kostengünstigen und nachhaltigen Einsatz der Systeme gewährleisten.

Die Hardware der Messtechnik wurde im Rahmen des Projektes an der Beuth Hochschule entwickelt. Die dazugehörige Software und die Anzeige der Vitaldaten auf mobilen Endgeräten entstand an der HTW-Berlin. Das Projekt soll mit dem Aufbau einer Open-Source Community und mit der Unterstützung und Kompetenz von Freiwilligen weiterentwickelt werden. Hierzu wurden ein GitHub-Repository angelegt, in dem Dokumentationen, Baupläne, Platinenlayouts, und Softwarecode einsehbar sind.