



Hochschule für Technik,
Wirtschaft und Kultur Leipzig

FAKULTÄT INGENIEURWISSENSCHAFTEN

E176 PROJEKT MEDIZINISCHE ELEKTRONIK

Projektbeleg – Visualisierung der Oberflächenpotentialverteilung

<i>Autoren</i>	Luis Klaus	<i>Matr.Nr.</i> 78281
	Julius Zeng	<i>Matr.Nr.</i> 77955
	Joris Bakker	<i>Matr.Nr.</i> 77923
<i>Betreuer</i>	Prof. Dr.-Ing. Matthias Laukner	
	Dipl. Ing. Michael Wallenta	

24. Januar 2024

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	i
1 Motivation	1
1.1 Einführung	1
2 Theoretischer Hintergrund	2
3 Elektronische Umsetzung	4
3.1 LED-Matrix	4
3.2 Mikrocontroller	4
3.3 Stromversorgung	5
4 Programmierung	6
5 Torso	7
5.1 Gussform	7
5.2 Halterung	8
6 Stückliste	9
7 Ausblick	9
8 Selbstständigkeitserklärung	10
Quellen	11

Abbildungsverzeichnis

1	Modell des Endergebnisses	1
2	Elektrisches Feld der Herzerregung	2
3	Herleitung der Formel	3
4	LED-Matrix	4
5	Schaltplan	5
6	Torso Modell	7
7	Schnitt von Gussform	7
8	Torso in Kombination mit LED-Matrix	8
9	Modell der Halterung	8
10	Stückliste	9

1 Motivation

Die Disziplin der Medizintechnik nimmt innerhalb des Bereichs der Elektrotechnik eine bedeutende Rolle ein, indem sie dazu beiträgt, ein umfassenderes Verständnis des menschlichen Körpers zu erlangen und dadurch die menschliche Gesundheit zu verbessern. Angesichts des aktuellen Mangels an qualifizierten Ingenieuren und Ingenieurinnen ist es von entscheidender Bedeutung, junge Talente für dieses Fachgebiet zu begeistern und ihnen die Potenziale dieser Teildisziplin aufzuzeigen.

Das vorgestellte Projekt strebt genau dieses Ziel an. Es befasst sich mit der anschaulichen Visualisierung der zeitlich veränderlichen Oberflächenpotentialverteilung, also eines dynamischen elektrischen Feldes, das auf einem Torso dargestellt wird. Diese Darstellungsform ermöglicht es, komplexe elektrische Phänomene im Kontext der Medizintechnik zu veranschaulichen und fördert somit das Verständnis und Interesse der Nachwuchsgeneration für diese faszinierende Teildisziplin der Elektrotechnik.

1.1 Einführung

Der verwendete Torso, auf dem das Oberflächenpotential visualisiert wird, zeichnet sich durch seine Transparenz aus, um eine Lichtdurchlässigkeit zu gewährleisten. Auf der rückseitigen Fläche des Torso befindet sich eine Matrix aus LEDs, die das Licht durch den Torso hindurch scheinen lässt. Durch eine gezielte Diffusion wird somit die Oberflächenpotentialverteilung auf der Vorderseite des Torso sichtbar gemacht. Diese durchdachte Gestaltung ermöglicht eine präzise und klare Darstellung der elektrischen Phänomene der Herzerregung.

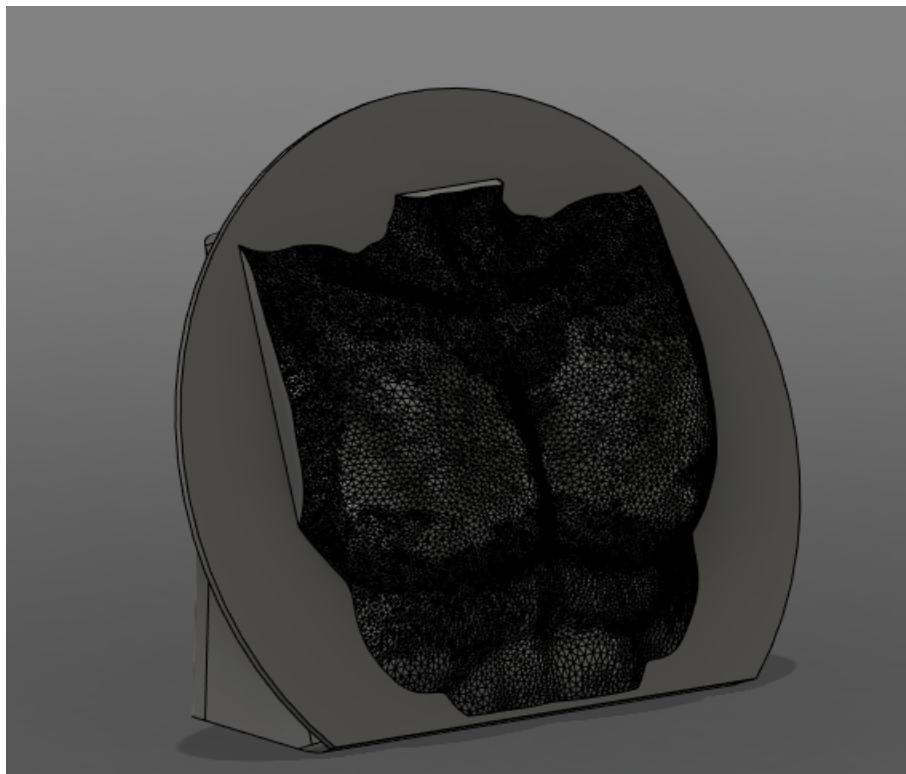


Abbildung 1: Modell des Endergebnisses

2 Theoretischer Hintergrund

Die Funktion des menschlichen Körpers beruht darauf, dass das Herz kontinuierlich Blut durch den gesamten Organismus pumpt, wodurch sämtliche Organe mit lebenswichtigem Sauerstoff versorgt werden. Um diesen Pumpvorgang zu ermöglichen, bedarf es der Kontraktion des Herzmuskels, die wiederum durch das Herzerregungssystem initiiert wird. Ein Signal, das vom Sinusknoten ausgeht, wird verarbeitet und führt letztendlich zur Kontraktion des Herzmuskels. Diese Signalwege formen ein elektrisches Feld, das mithilfe von Elektroden an der Körperoberfläche messbar ist. Dieses elektrische Feld ist nicht nur räumlich und zeitlich variabel, sondern weist auch eine periodische Natur auf.

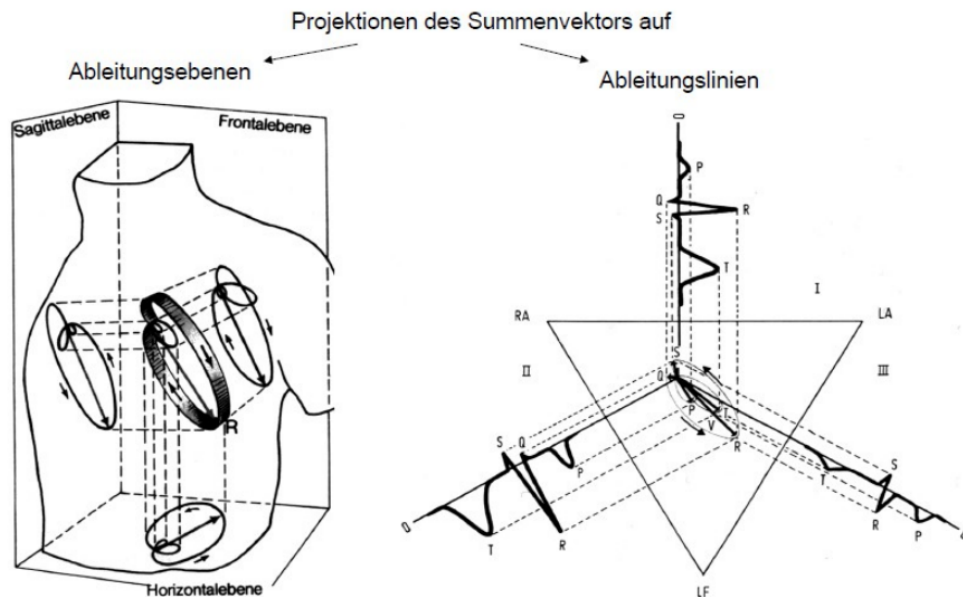


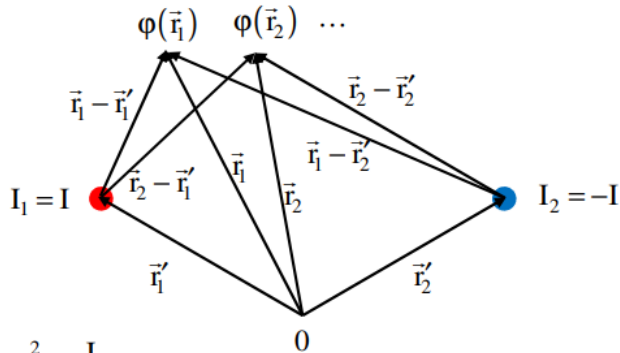
Abbildung 2: Elektrisches Feld der Herzerregung

Quelle: [6] [1]

Dieses Elektrische Feld, welches durch die räumlich und zeitlich veränderlichen Eigenschaften, relativ komplex ist, kann auch einfacher in einer Ebene dargestellt werden. In diesem Projekt ist genau die 2-Dimensionale Darstellung von Bedeutung, welche durch den Torso scheinen soll.

Die Verteilung des Feldes lässt sich durch einen Rotierenden elektrischen Dipol Beschreiben und Berechnen. Dafür benötigt man Betrag und Phase eines EKG, welches im Vorhinein aufgezeichnet wurde. Diese Werte des Herzschlages ergeben durch folgende Berechnungen die 2-Dimensionale Potentialverteilung des Dipols.

Die Potentiale an M Messpunkten ($m = 1 \dots M$) in einer Messebene erhält man also entsprechend:



$$\varphi(\vec{r}_m) = \varphi_m = \sum_{n=1}^2 \varphi_{mn} = \frac{1}{\kappa 4\pi} \sum_{n=1}^2 \frac{I_n}{|\vec{r}_m - \vec{r}_n'|}$$

$$= \underline{\underline{L_{m1}I_1 + L_{m2}I_2}}$$

mit

$$L_{mn} = \frac{1}{\kappa 4\pi |\vec{r}_m - \vec{r}_n'|}$$

L_{mn} : Koeffizient der Lead-Field-Matrix
(Koeffizient, der den Einfluss des n-ten Quellenstroms auf das Potential des m-ten Messpunktes beschreibt)

Abbildung 3: Herleitung der Formel

Quelle: Laukner, Visualisierung: BSP

Die Phase verändert die Position des Dipols und lässt daher deren Koordinaten (X_n, Y_n) berechnen. Somit erhält man den Koeffizienten der Lead-Field-Matrix. Der Betrag verändert den Quellstrom I_1 und I_2 . Mit Angabe der Koordinaten des zu Berechnenden Led-Pixels (X_m, Y_m), lässt sich dort das Potential mit folgenden Formeln im Code berechnen.

Potential Wert von LED-Nummer m

Potential = $(L(m,1) * I_1 + L(m,2) * I_2)$

Koeffizient der Lead-Field-Matrix von LED-Nummer m & Quellstrom n

$L(m,n) = 1 / (\kappa * 4 * \pi * \sqrt{(\text{sq}(X_m(m) - X_n(n)) + \text{sq}(Y_m(m) - Y_n(n))))}$

3 Elektronische Umsetzung

3.1 LED-Matrix

Die Oberflächenpotentialverteilung wird mithilfe einer LED-Matrix dargestellt. Die LED-Matrix besitzt 16x16 LED's (256), und ist 16x16 cm groß. Der Vorteil dieser LED-Matrix ist:

- Die einzelnen LED's sind einfach zu adressieren
- die LED Matrix ist flexibel und kann gut in den Torso eingebaut werden
- Preiswert
- Es ist keine weitere Elektronik nötig um die Matrix in Betrieb zu nehmen

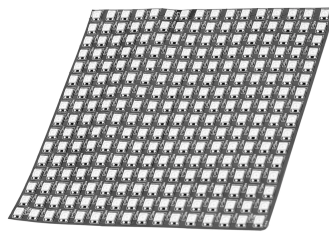


Abbildung 4: LED-Matrix

Quelle: <https://www.az-delivery.de>

Durch eigene Belastungstests konnte die Leistung erfasst werden, welche für die Benutzung der LED-Matrix benötigt wird. Da in diesem Projekt nicht die maximale Helligkeit der LED-Matrix benutzt wird, muss die Stromversorgung nicht den angegebenen Werten aus dem Datenblatt entsprechen

Tabelle 1: Belastungstest der LED Matrix

Helligkeit	Strom	Leistung
50/255	0,46 A	2,29 W
150/255	1,40 A	6,95 W
200/255	4,95 A	23,7 W
255/255	7,50 A	36,3 W

3.2 Mikrocontroller

Für die Ansteuerung der LED Pixel der Matrix sowie für die Berechnung und Visualisierung wird ein Arduino R4 Minima Mikrocontroller verwendet. Dieser ist über Pin 5 mit den 256 WS2812B Leds der Matrix verbunden. Über diese JST-SM-3Pol Steckverbindung bezieht der Arduino außerdem seine Spannungsversorgung, da die Matrix mit 5V versorgt wird. An Pin 2 befindet sich ein Taster für einen User-input, welcher verwendet wird um einen Manuellen Moduswechsel zu erzwingen. Der Input des Tasters wird über einen im Arduino verbauten internen PullUp-Widerstand auf 'high' und mit betätigung auf 'gnd' gezogen.

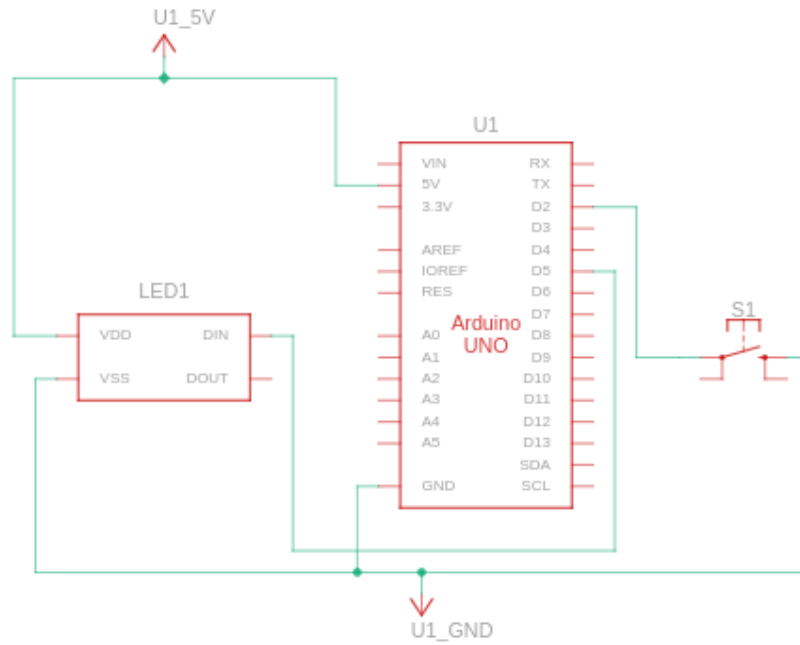


Abbildung 5: Schaltplan

3.3 Stromversorgung

Die Led's der Matrix werden direkt mit einem 5V 10A Netzteil mit Spannung versorgt. Darüber bezieht auch der Arduino Mikrocontroller die benötigte Betriebsspannung. Für diese Anwendung ist das Netzteil überdimensioniert, da maximal 10 Watt gebraucht werden.

4 Programmierung

Zum Programmieren und Flashen des Mikrocontrollers wird die Arduino IDE, mit installierter FastLED Bibliothek, verwendet.

In der Main Schleife wird zuerst Unterschieden welcher Modi aktuell aktiv ist. Innerhalb des Aktuellen Modus wird gemessen wie lang dieser schon aktiv ist (um ggf. nach einer gewissen Zeit automatisch eine Modusänderung durchzuführen), sowie erkannt wie lang der aktuelle Frame schon angezeigt wird. Ist der Frame schon die gesetzte Zeit Angezeigt worden, wird nun eine Aktualisierungsflag gesetzt, der nächste (schon berechnete) Frame angezeigt und mit der Berechnung des nächsten Frames begonnen. Es gibt auch die Möglichkeit, durch die Betätigung eines Tasters, einen manuellen Moduswechsel zu erzwingen. Dafür wird der Taster an Pin 2 verwendet.

Erstellung eines Frames der Biopotentialverteilung

Die Funktion `ShowPotential()` liest den Betrag und Winkel des gespeicherten EKG Vektors und berechnet daraus alle grundlegenden Variablen zur weiteren Berechnung der Potentialverteilung des Frames. Dazu gehört die Position des Dipols sowie die entstehenden Ströme. Danach wird für jeden einzelnen Pixel das Potential berechnet (siehe Theoretischer Hintergrund). Dies erfolgt über die Funktion `Potential()`, welche mithilfe der Konvertierungs-Funktionen `Xm()` und `Ym()` aus der ausgewählten LED-Nummer die passenden Koordinaten erzeugt. Somit gelangt man über die LED, zur Position und damit zum Wert des Potential. Dieses resultierende Potential wird mit `Value2Hue()` und `Value2HSVValue()` normiert und in die passenden Werte für die Ausgabe im HSV Farbraum konvertiert. Mit diesen Werten wird das Array `leds[x]` gefüllt, bis ein gesamter Frame berechnet wurde. Daraufhin wird das Array durch die FastLED Library [3] über die Matrix ausgegeben und die Berechnung des nächsten Frames beginnt.

Nachdem alle Gespeicherten EKG Werte angezeigt wurden, beginnt der Code wieder von vorne

Hier befindet sich Optimierungspotential da für jeden Durchgang alle Werte neu berechnet werden müssen, jedoch ermöglicht das die evtl. spätere Implementierung live EKG Daten für die Biopotential Visualisierung zu nutzen.

Erstellung eines Frames der Vektor-Visualisierung

Neben der einfachen Vektor-Visualisierung, wurde auch ein optionaler Tracer des Vektorendes implementiert.

Die `ShowVector()` Funktion liest den Betrag und Winkel des Gespeicherten EKG und gibt diese weiter an die Funktion `vectorrad()`. Jedoch gibt es vorher die Möglichkeit die Tracer-Funktion zu Aktivieren. Mit dieser wird die LED-Nummer des aktuellen Vektorendes in einem Array Ringspeicher abgelegt und mit den vergangenen Vektorenden mit abnehmender LED-Intensität angezeigt. In der Funktion `vectorrad()` werden aus dem Betrag und Winkel die Koordinaten des Vektorende berechnet sowie die Startkoordinaten gewählt. Dies ist nötig da die genutzte 16*16 Matrix keinen mittleren Pixel (0,0) anzeigen kann. Daher wird vorher erkannt in welchem Quadrant der Vektor endet und so beispielsweise bei dem ersten Quadrant, die Startkoordinaten (1,1) gewählt. Nachdem Start und Ende des Vektors feststehen wird über die Funktion `plotLine()` eine Linie auf der Matrix erzeugt. Die `plotLine()` Funktion erstellt eine Approximation einer idealen Linie auf das Raster der Matrix. Dies wird erzeugt über das Abgleichen von Verhältnissen gegenüber der idealen Linie. Wird beispielsweise bei der X-Erweiterung der Linie das Verhältnis der aktuellen Linie schlechter als bei der Y-Erweiterung, so wird die Linie um einen Pixel in Y-Richtung erweitert. Dieser Vorgang wird so lange wiederholt bis die Linie am Endpunkt angelangt ist. Um zu gewährleisten das nur der aktuelle Vektor angezeigt wird muss zuvor der Inhalt des Arrays `leds[x]` gelöscht werden.

5 Torso

Der Torso ist aus transparentem Epoxidharz gefertigt. Epoxidharz ist ein Kunstharz, das durch die Vermischung mit einem Härtungsmittel in eine Gussform gegossen und nach einer bestimmten Zeit aushärtet [2]. Dieses Material zeichnet sich durch seine hohe Stabilität aus und ist zugleich einfach zu verarbeiten. Die Entscheidung für Epoxidharz als Material für den Torso beruht somit auf der Kombination seiner Stabilität und der leicht handhabbaren Verarbeitungseigenschaften.

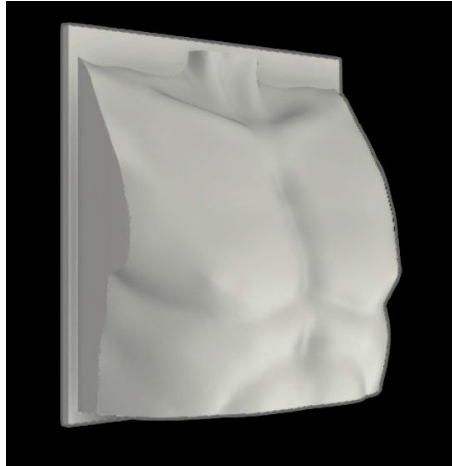


Abbildung 6: Torso Modell

5.1 Gussform

Das vorliegende Torso-Modell wurde als vorgefertigtes Modell aus dem Internet bezogen. Zur Anfertigung einer Gussform wurde das 3D-Modellierungs-Programm Blender eingesetzt. Die Gussform besteht aus vier leicht zu verbindenden Teilen, wodurch eine problemlose Entfernung der Gussform nach dem Modellieren ermöglicht wird. Der 3D-Drucker an unserer Hochschule wurde genutzt, um die Gussform zu produzieren. Abschließend erfolgte das Schleifen der Gussform, um eine glatte Oberfläche zu gewährleisten.

Die dazugehörige Abbildung veranschaulicht das erstellte Modell der Gussform.

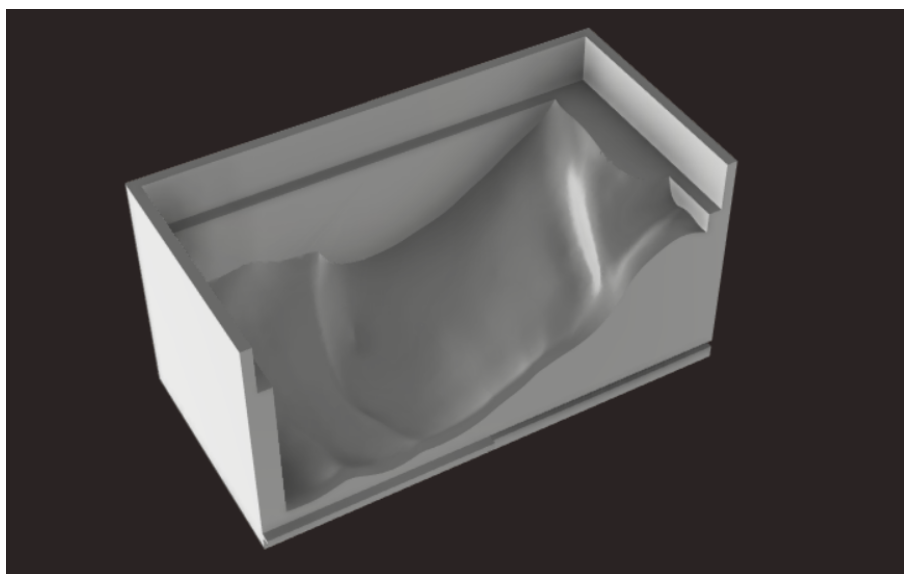


Abbildung 7: Schnitt von Gussform

In diese vorbereitete Form wird nun ein Trennmittel-Spray appliziert, um das Epoxidharz nach dem Aushärten leicht von der Gussform lösen zu können. Anschließend erfolgt die Mischung des Epoxidharzes mit dem Härter, und das Material wird in die Gussform gegossen. Um ein unkontrolliertes Austreten des Epoxidharzes zu verhindern, wird die Gussform sorgfältig abgeklebt und mit Klemmen fixiert. Zudem wurde darauf geachtet, das Epoxidharz bei niedriger Temperatur zu lagern, um den Härtingsprozess zu verlangsamen. Dies ermöglicht eine langsame Aufsteigung und Auflösung von Luftblasen.

Die Gussform wurde in einem Winkel fixiert, um eine geringere Gussdicke zu erreichen. Dies war notwendig, um das Risiko einer zu starken Diffusion des Lichts durch den Torso zu minimieren, sodass die LED-Matrix nicht mehr klar erkennbar ist. Eine theoretische Berechnung dieser Herausforderung könnte mithilfe des Snelliusschen Brechungsgesetzes [5] durchgeführt werden. Jedoch gestaltet sich die praktische Umsetzung mit einer 16x16 LED-Matrix, einem inhomogenen Medium und einer nicht parallelen Oberfläche als zu komplex.

Im folgenden Foto wird die Diffusion des Torsos erkennbar

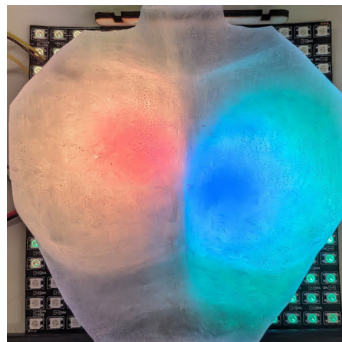


Abbildung 8: Torso in Kombination mit LED-Matrix

5.2 Halterung

Damit der Torso richtig montiert werden kann, wurde zusätzlich eine Halterung mit einem 3D-Drucker erstellt. Diese Modell ist in der folgenden Abbildung zu sehen

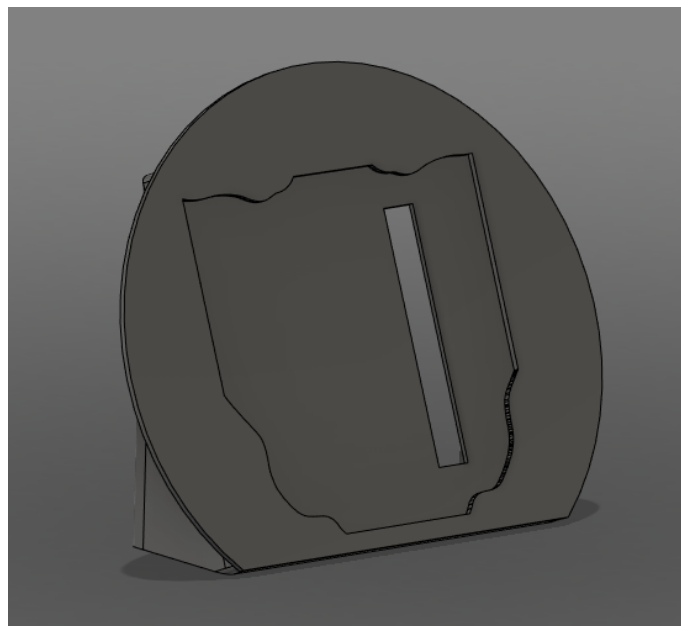


Abbildung 9: Modell der Halterung

6 Stückliste

Bezeichnung	Stückzahl/Menge	Preis	Link
Arduino Uno R4	1	26,50 €	Reichelt
RGB LED Panel WS2812B 16x16	1	21,99 €	Webseite
Epoxidharz und Härter	500g/250g	17,99 €	Epodex.com
5V/10A Netzteil	1		
Acrylplatte	1	26,99 €	Amazon.com
Filament	626g	17,95 €	reichelt

Abbildung 10: Stückliste

Die Stückliste Befindet sich als .pdf Datei im Github Repository [4]

7 Ausblick

Es gibt einige Möglichkeiten das Projekt zu verbessern, die für die weiterführung des Projektes interessant wären:

Funktionen : Es wäre für die Zuschauer sinnvoll, wenn das Ausstellungsstück einen Interaktiven Modus hat. Zum Beispiel, wenn die Zuschauer Elektroden anschließen und ihr eigenes Signal des Herzens angezeigt wird.

LED-Display : Eine 16x16 LED-Matrix bietet nicht genug Pixel um die Herz-Vektorschleife gut darzustellen. Eine Größere Pixeldichte würde dafür sorgen, dass die Funktion der Herz-Vektorschleife, welche implementiert ist, auch gut aussieht.

Torso : Durch die Transparenten Eigenschaften ist die Form des Torsos nicht von jedem Winkel gut zu erkennen. Es wäre Möglich eine höhere Lichtreflektion hervor zu rufen, damit die Form besser erkennbar ist.

8 Selbstständigkeitserklärung

Erklärung

Ich versichere, die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen benutzt zu haben.

Unterschrift

Leipzig, 24.01.2024

Quellen

- [1] Joseph Eichmeier. *Medizinische Elektronik*. Springer, 1997.
- [2] *Epoxidharz*. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Epoxidharz> (besucht am 21. Jan. 2024).
- [3] *FastLED*. URL: <https://github.com/FastLED/FastLED/tree/0398b9a99901d00044de821ed86e8537995f561b> (besucht am 21. Jan. 2024).
- [4] JorisBakker. *EIB-PVS*. URL: <https://github.com/joris-bakker/EIB-PVS> (besucht am 21. Jan. 2024).
- [5] M. Scheffler. *Snellius - Grundlagen der Optik*. URL: <https://tu-dresden.de/mn/physik/ressourcen/dateien/studium/lehveranstaltungen/praktika/pdf/SN.pdf?lang=de> (besucht am 21. Jan. 2024).
- [6] Stefan Silbernagl. *Taschenatlas der Physiologie*. Thieme, 1991.