

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



Technische Universität München

# FlexiStep

Die smarte Schuhsohle gegen  
Rückenprobleme



COSIMA '23



**FAULHABER**



**BOSCH**  
Technik fürs Leben



## Inhalt

1.	Das Team.....	3
2.	Die Innovation .....	4
3.	Produkt Anforderungen.....	5
4.	Realisierungskonzepte .....	6
4.1.	Kraftmessung.....	6
4.2.	Magnetfeldmessung .....	8
4.3.	Druckmessung .....	9
4.4.	Prototypen.....	10
4.5.	Beschleunigungsmessung.....	11
5.	Software.....	12
5.1.	Datenverarbeitung .....	12
5.2.	Benutzeroberfläche .....	13
6.	Finanzen .....	17

# 1. Das Team



Alexander Wölk studiert seit 2018 Elektrotechnik und Informationstechnik an der TU München. Mittlerweile ist er im 3. Semester des Masterstudiengangs angelangt, wobei er sich überwiegend mit digitalen und analogen Schaltungen beschäftigt. Aufgrund dessen, kümmerte er sich im Projekt um die nötige Hardwarebeschaffung und das Schaltungsdesign.



Dominik Materne studiert auch seit 2018 Elektrotechnik und Informatiaionstechnik an der TU München. Auch er befindet sich bereits im Masterstudiengang, wobei er sich hauptsächlich mit der Softwareentwicklung und Mustererkennung befasst. Im Projekt, war er Hauptverantwortlicher, für das Programmieren des Microcontrollers, sowie für die grafische Darstellung des User Interfaces.



Stephanie Vökl ist seit 2018 Jurastudentin an der LMU München. Sie beschäftigt sich viel mit dem öffentlichen Auftreten von Unternehmen, und wurde aufgrund ihrer Social Media Erfahrungen von uns in diesem Bereich eingesetzt. Deshalb war sie sowohl für das Aufsetzen einer repräsentativen Website, als auch für das Managen unserer Instagramseite verantwortlich.

## 2. Die Innovation

Rückenbeschwerden sind eines der am häufigsten vorkommenden Leiden, unserer modernen Gesellschaft. So zeigte bereits das Robert Koch Institut im Journal of Health Monitoring vom März 2021, dass bereits 61% der Befragten angaben, in den letzten 12 Monaten unter Rückenschmerzen gelitten zu haben, Tendenz steigend. Je nach Intensität der Beschwerden, können sich diese Schmerzen auf den Alltag eines Menschen und dessen Lebensqualität auswirken.

Für das Auftreten solcher Beschwerden gibt es viele Gründe. So kann es zum einen an mangelnder Bewegung, Übergewicht, psychischer Belastung oder einem Gendefekt liegen. Ein aber noch häufigerer auftretender Faktor ist jedoch, eine schlichte Fehlhaltung, beziehungsweise Fehlstellung bei der Fortbewegung im Alltag.

Eine Fehlhaltung kann, relativ einfach durch eine Einlegesohle für den Schuh ausgeglichen werden, jedoch wird eine Fehlstellung oft erst erkannt, wenn es bereits zu Problemen mit Rücken und Nackenpartien kommt.

Um dies zu verhindern, haben wir es uns zur Aufgabe gemacht eine Sohle zu entwickeln, welche die Belastung des Fußes aufzeichnet, und dem Benutzer aktiv und in Echtzeit Feedback gibt, um eine Fehlstellung und falsches Auftreten zu verhindern.

Auch kann ein falscher Gang zu Gewichtszunahme vor allem an den Beinen führen. Diese wiederum verstärkt den falschen Gang, wodurch ein undurchbrechbarer Kreislauf beginnen kann.

Wir hoffen mit unserem Projekt einen Mehrwert für die Menschheit zu schaffen, indem wir dieses ungelöste Problem in Angriff nehmen und damit den Gesundheitsmarkt mit unserer Idee zu revolutionieren.

# 3. Produkt Anforderungen

Als ersten Schritt wurden die Produkthanforderungen bestimmt, welche bei unseren Kunden\*innen zu einer Verbesserung ihrer Rückengesundheit führen würden.

- Detektion der Fußbelastung
- Messung von Beschleunigung und Ausrichtung der Füße
- Verarbeitung der Daten
- Graphische Darstellung und Feedback an den Kunden
- Einfache Installation

Für die Messung der Beschleunigung und räumlichen Orientierung der Füße, benutzen wir eine 6 Achsen IMU. Die MPU-6050 enthält ein 3 Achsen Gyroskop und einen 3 Achsen Beschleunigungssensor, welche uns ermöglichen sämtliche Messungen einfach und präzise durchzuführen.

Die Verarbeitung und Auswertung der Messdaten geschieht bei uns auf dem ESP32 S2 Mini. ESP32 Microcontroller sind günstige und dennoch leistungsstarke Prozessoren, welche über Schnittstellen wie WLAN oder Bluetooth verfügen und somit das drahtlose Senden von verarbeiteten Daten besonders leicht machen.

Da heutzutage fast jeder ein Smartphone besitzt, bietet es sich an das Handy zur Darstellung von Informationen zu nutzen. Der ESP32 kann als WLAN-Accesspoint genutzt werden, somit ist es einfach sich mit seinem Handy im geschützten Netzwerk einzuloggen und dann über den Browser auf das Userinterface zugreifen zu können. Hierdurch ist es nicht einmal nötig eine zusätzliche Applikation zu installieren und ermöglicht die Nutzung von fast allen WLAN fähigen Geräten.

Als graphische Darstellung dient der Webbrowser, in dem einfach und übersichtlich durch wenige Buttonklicke die Features verwendet werden können.

Für eine möglichst Nutzerfreundliche Anwendung zu erreichen, entschieden wir uns das System in einer Einlegesohle zu integrieren. Somit ist es nicht nötig spezielle Schuhe zu kaufen, um unser Produkt nutzen zu können.

## 4. Realisierungskonzepte

Für die Ausarbeitung des Projekts müssen verschiedene Faktoren in Betracht gezogen werden. Relevante Bereiche sind hierbei Ferse (2 Sensoren), Mittelfuß, Hallux und Vorderfuß, um ein möglichst genaues Gangprofil zu erstellen. Messgenauigkeit, Platzanforderung und Kosten sind dabei von besonderer Relevanz. Im Folgendem werden die drei verfolgten Ansätze, vorgestellt und in Bezug auf diese Faktoren untersucht.

### 4.1. Kraftmessung

Die erste Möglichkeit, welche wir in Betracht gezogen haben, um die Belastung auf die Fußsohlen aufzuzeigen, ist mittels Kraftmessung. Hierbei wird mithilfe von Widerständen, deren Wert sich bei Krafteinwirkung ändert, sogenannten Dehnungsmessstreifen, ein Spannungsunterschied gemessen. Diese werden in einer Wheatstone'schen Brückenschaltung verschaltet. Die Brücke besteht aus vier Brückenzweigen mit den zugehörigen Widerständen  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  und  $R_4$ . Die Spannung  $V_B$  speist die Brücke, wobei  $V_M$  als Messspannung dient. In Abbildung 1 ist diese Schaltung aufgezeigt.

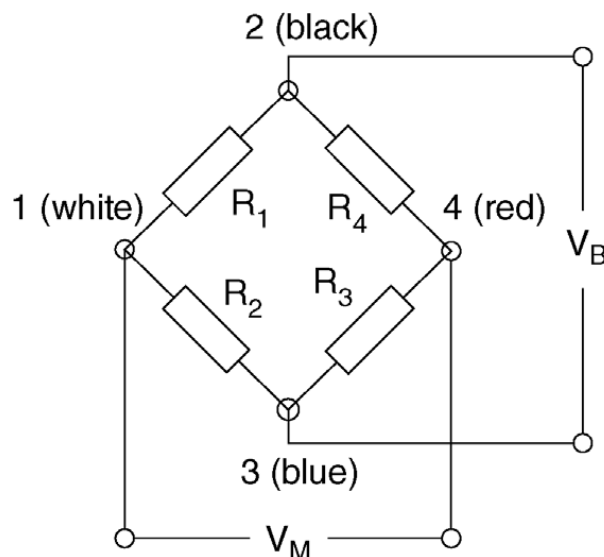


Abbildung 1: Ersatzschaltbild (ESB) einer Wheatstone'schen Brückenschaltung.

Eine solche Schaltung wird als abgeglichen bezeichnet, wenn  $U_M$  bei anliegender Speisespannung  $U_B$  gleich 0 ist. Durch die Anwendung

der Kirchhoff'schen Maschenregel stellt sich für  $U_M$  folgende Formel ein:

$$U_M = U_B \cdot \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right)$$

Um einen Brückenabgleich zu erzielen muss eine der folgenden Bedingungen erfüllt sein:

- $R_1=R_2=R_3=R_4=R_0$
- $R_1=R_2$  und  $R_3=R_4$
- $R_1/R_2 = R_3/R_4$

Wirkt nun eine externe Kraft auf die Dehnungsmessstreifen, so verändert sich der Widerstandswert. Die Brücke verlässt den Gleichgewichtszustand. Die daraus resultierende Spannung kann anschließend gemessen werden und daraus die Kraft abgeleitet.

Eine Vielzahl der Brücken kann auf der Sohle verteilt werden, um an relevanten Punkten die Krafteinwirkung aufzuzeigen.

Aufgrund der Tatsache, dass die meisten Dehnungsmessstreifen eine Höhe von unter einem Millimeter besitzen, ist ein großer Vorteil dieser Realisierung die geringe Platzanforderung. Ebenso ist diese Lösung kostengünstig.

Ein Nachteil dieses Konzepts ist jedoch die ungenaue Messung. Aufgrund der geringen Widerstandsänderung, fällt die Spannungsänderung auch gering aus. Damit ist das Konzept sehr anfällig für Schwankungen in der Versorgungsspannung, welche die Messergebnisse verfälschen können. Filterung und Messverstärker können hierbei Abhilfe schaffen, benötigen allerdings großen Platz. Da auch mit dem Multimeter Widerstandsänderungen und Spannungsänderungen kaum aufzuzeigen waren, überlegten wir uns zwei neue Ansätze.

## 4.2. Magnetfeldmessung

Eine weitere Idee, war es Hallsensoren zu nutzen. Hallsensoren beruhen auf dem sogenannten Halleffekt, hierbei kann die Stärke eines Magnetfelds durch eine proportionale Spannung der sog. Hallspannung, verursacht durch einen von der Lorentzkraft

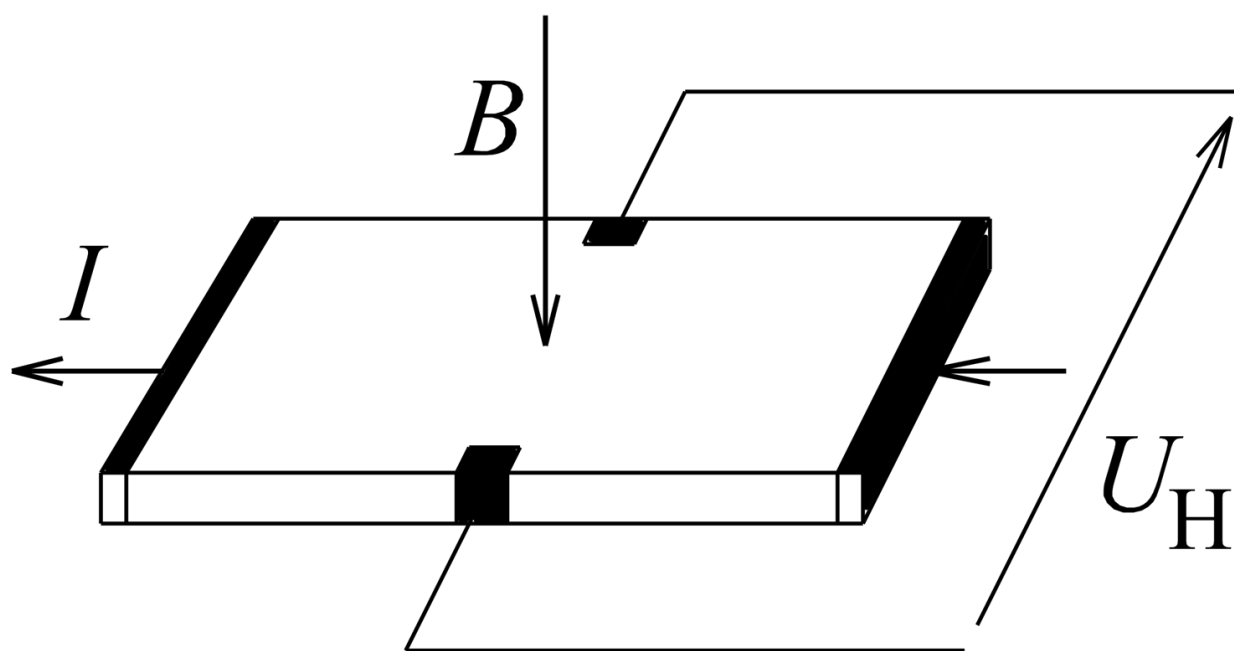


Abbildung 2: Aufgrund des Ladungsunterschieds hervorgerufen durch das Magnetfeld  $B$  kann die Hallspannung  $U_H$  gemessen werden.

hervorgerufenen Elektronenüberfluss gemessen werden. Die Idee war also, unter der Sohle Hall Sensoren zu platzieren und auf der Gegenüberliegenden Seite kleine Magnete zu integrieren. Durch die Stauchung der Sohle, sollte sich die Magnetfeldstärke verändern und somit eine Belastung detektiert werden.

Auch dieses Konzept ist kostengünstig. Um die Magnetfeldänderung sauber und präzise bestimmen zu können wird jedoch eine dickere weiche Sohle benötigt, um eine deutliche Magnetfeldänderung bei Belastung zu erhalten.



### 4.3. Druckmessung

Der dritte Ansatz, den wir getestet haben, war die Belastung barometrisch zu erfassen. Dafür hatten wir uns überlegt eine Sohle mit Luftkammern auszustatten, diese mit Barometrischen Sensoren zu versehen und über die Druckänderung in den Kammern eine Belastung zu messen.

Als Sensoren verwenden wir von Bosch BMP280. Diese Sensoren sind in der Lage, Druck sowie Temperaturwerte zu erfassen. Der Druck liefert Rückschlüsse auf die Belastung.

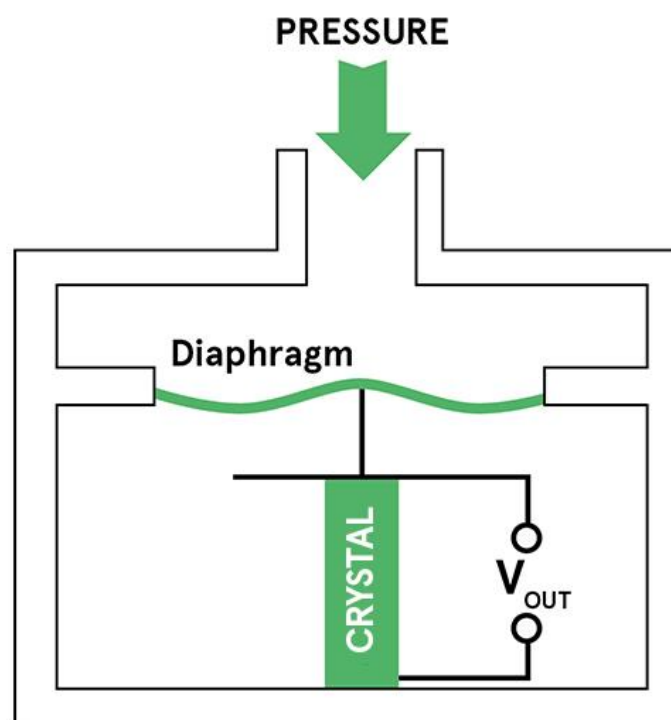


Abbildung 3: Durch Krafteinwirkung auf die Membran lässt sich eine Spannung an  $V_{OUT}$  messen.

Die Temperatur kann genutzt werden um Extremtemperaturwarnungen auszugeben, also Unterkühlung oder Überhitzung vorzubeugen.

Da wir für dieses Konzept eine extra flexible Sohle drucken mussten, ist hier auch die Platzanforderung etwas höher. Der Kostenfaktor ist allerdings sehr gering und die Messgenauigkeit sehr hoch. Für besonderen Tragekomfort und Stabilität haben wir uns eine spezielle Gitterstruktur für das Innenleben der Kammern anfertigen lassen.



Abbildung 4: Flexible Gitterstruktur.

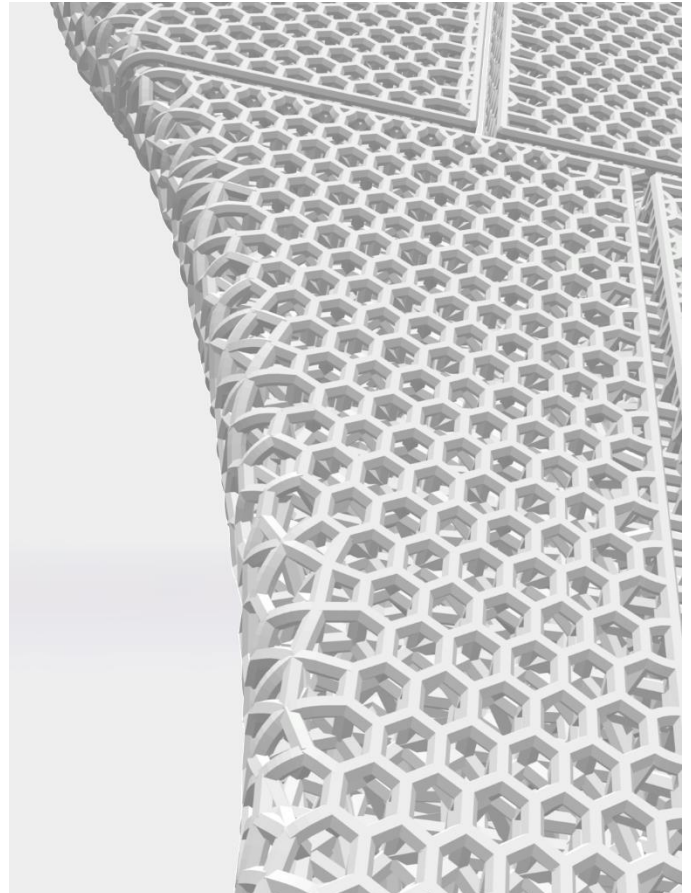


Abbildung 5: Nahaufnahme der Gitterstruktur.

#### 4.4. Prototypen

Aufgrund von Messgenauigkeit haben wir uns dazu entschieden, die Prototypen mit den Hallsensoren und den Barometern anzufertigen. Durch langzeit Tests und weitere Ausarbeitung wird sich ergeben, welches Konzept für welchen Einsatzbereich am besten geeignet ist. Dabei ist zu beachten, dass sich die Messwerte der Barometer über einen längeren Zeitraum ohne Druckveränderung wieder Null annähern und sich dieser Prototyp für eine Messung in Bewegung besser eignet.

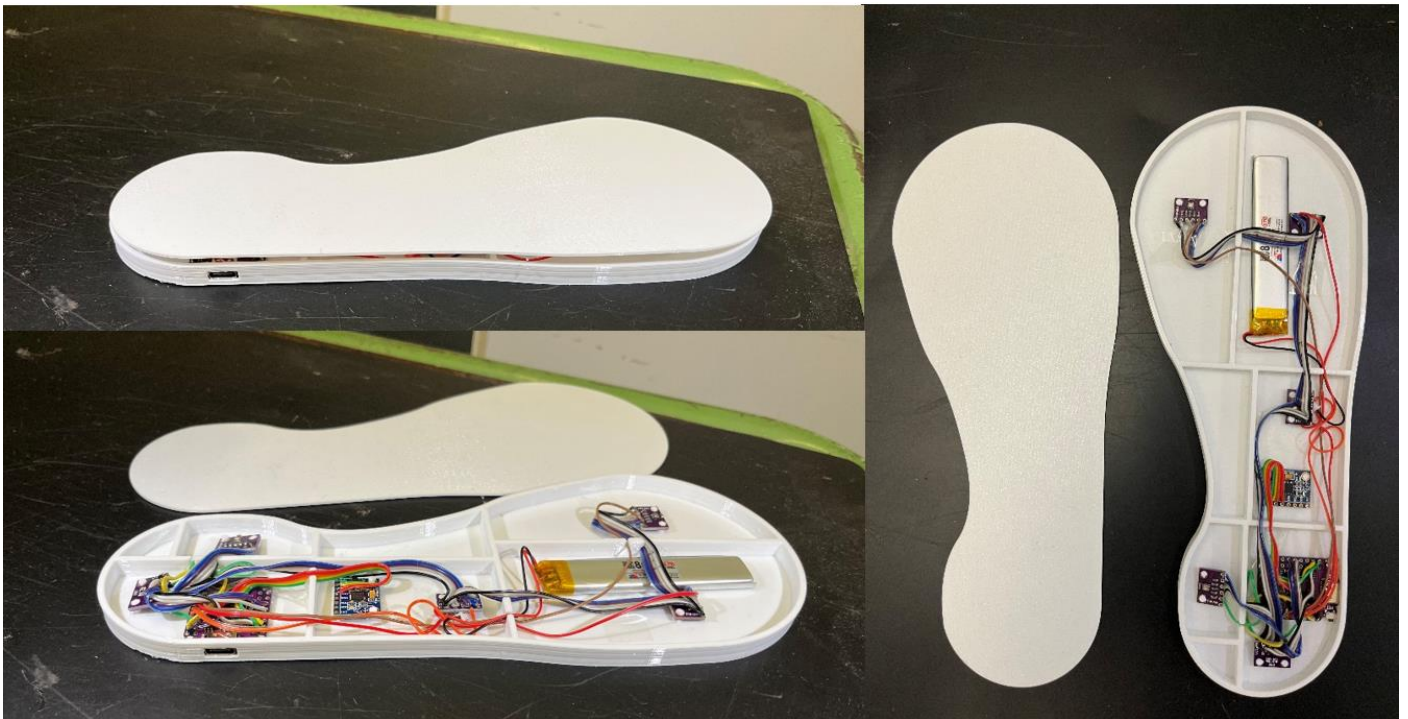
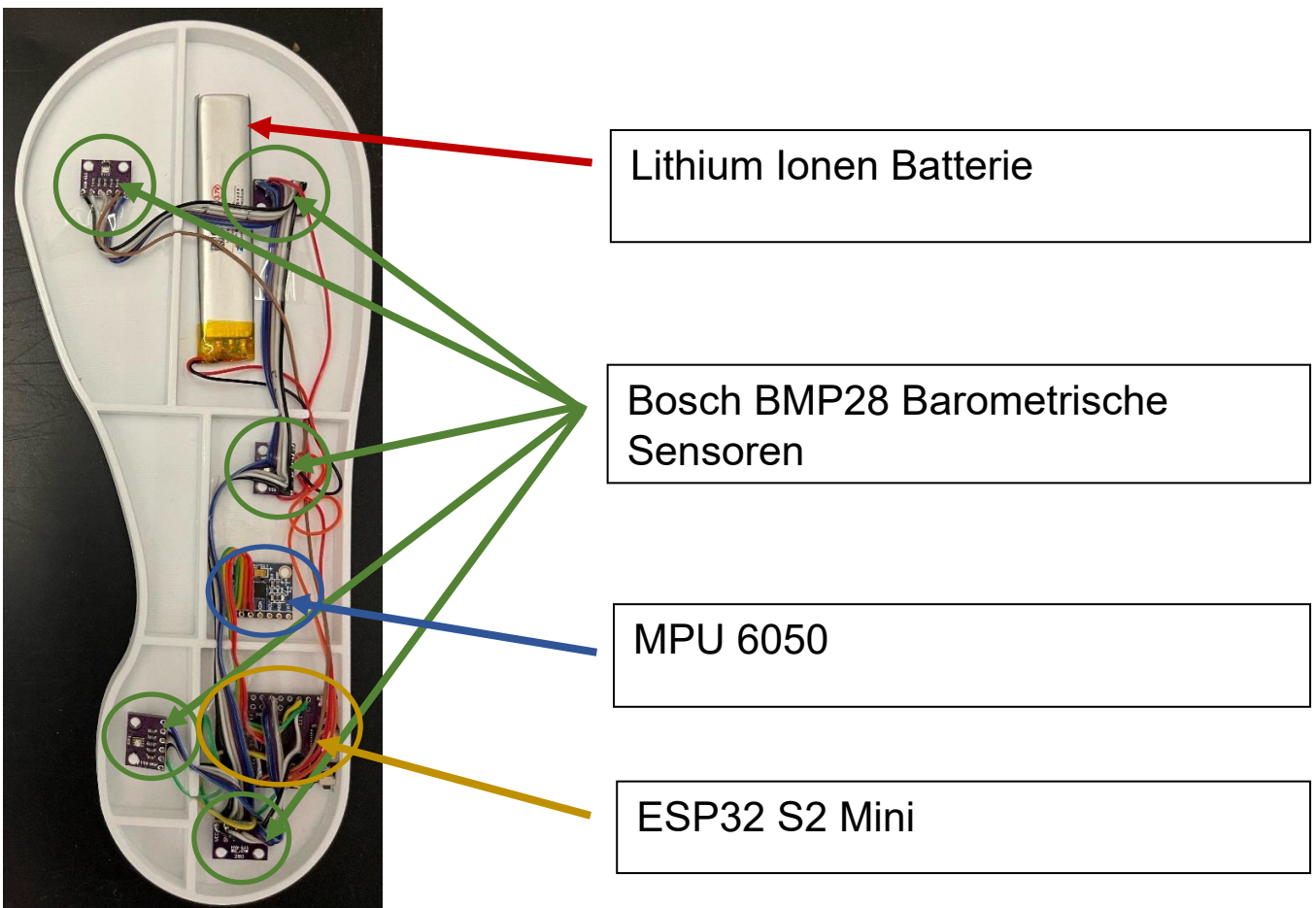


Abbildung 6: Prototyp für die barometrische Druckmessung in 3D-gedruckter Sohle

#### 4.5. Beschleunigungsmessung und Positionsmessung

Für das Projekt ist es wichtig, Rückschlüsse auf die Geschwindigkeit und Position der Füße zu ziehen. Hierfür verwenden wir eine MPU 6050. Diese dient als Beschleunigungssensor und 3-Achsen Gyroskop.



# 5. Software

Wie bei künstlicher Intelligenz lernt unsere Software anhand der gemessenen Daten. Ein Gangprofil der Benutzers wird erstellt. Dieses wird anschließend mit den Daten, welche sich mit unserer Web-Applikation auf einem Server befindet, verglichen. Daran können Probleme bei der Fußstellung erkannt werden.

## 5.1. Datenverarbeitung

Die Daten des Anwenders werden mit einem Gangprofil von gesunden Personen abgeglichen. Diese beruhen auf den von Inès A. Kramers-de Quervain, Edgar Stüssi und Alex Stacoff im Artikel „Ganganalyse beim Gehen und Laufen“ festgestellten Daten.

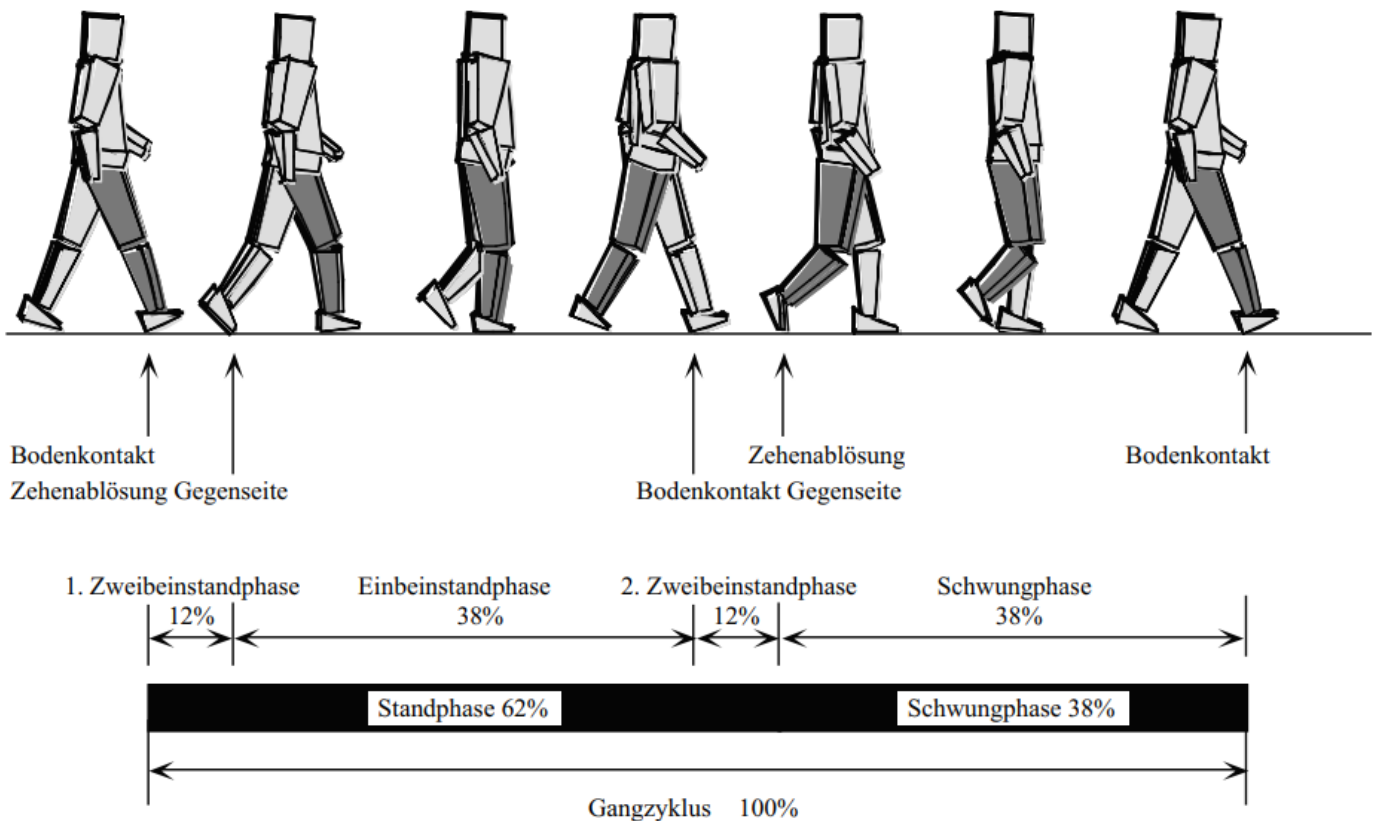


Abbildung 7: Normaler Gangzyklus einer gesunden Person

Die aquirierten Daten werden anschließend auf Werte wie Druckverteilung und Geschwindigkeit überprüft. Der Algorithmus erkennt Abweichungen vom üblichen Gangzyklus. Anschließend wird dem Anwender über das User Interface mitgeteilt, was für ein Problem vorliegt und welche Schritte zu unternehmen sind, um dieses zu beheben.



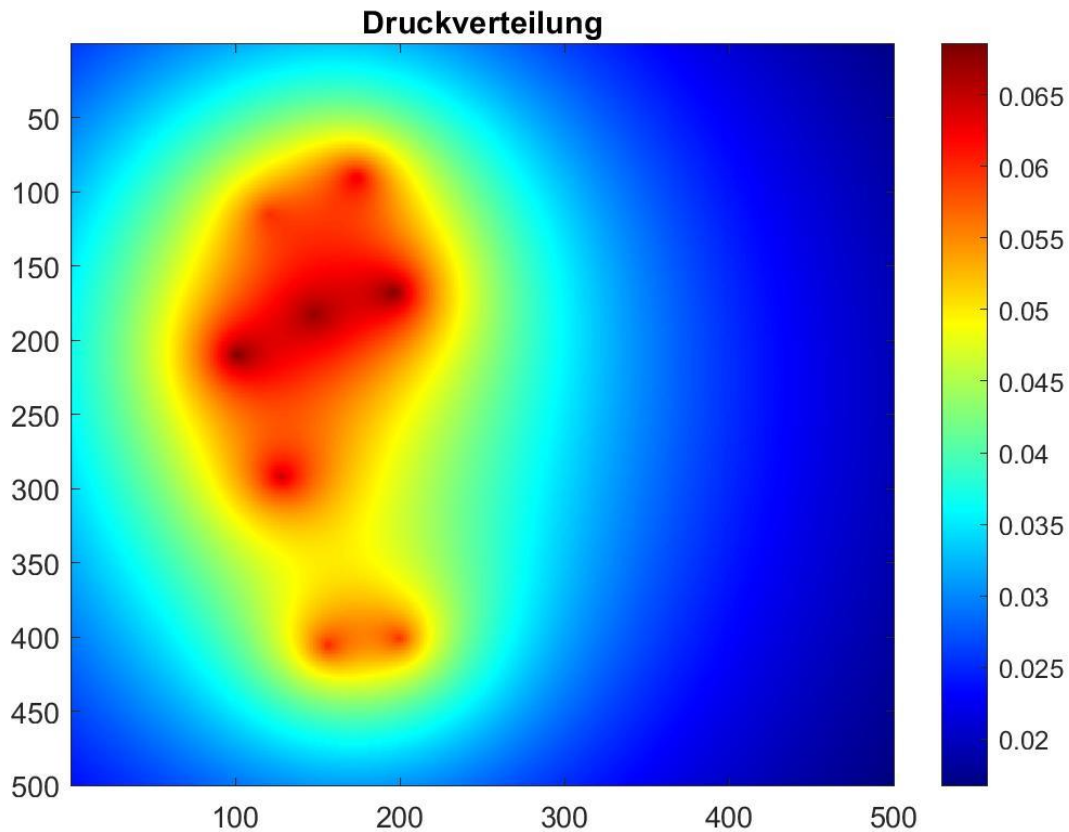


Abbildung 8: Visualisierung der gemessenen Daten für die Analyse des Gangprofils

## 5.2. Benutzeroberfläche

Eine übersichtliche und einfache Anwendung ist uns besonders wichtig. Dafür ist eine funktionierende und optisch ansprechende Benutzeroberfläche anzulegen. Kunden\*innen sollen dazu in der Lage sein, ein Profil anzulegen. Ebenso sollen Daten schnell einsichtlich sein. Der erste Prototyp der Benutzeroberfläche ist im Folgendem dargestellt:



Die Software besitzt vier Menüpunkte:

- Verbindung
- Start/Stopp
- Live Daten
- Auswertung

Ebenso zeigt sie den verbleibenden Ladezustand der Sohle an und hat ein Einstellungsmenü.

Im Menüpunkt Verbindung kann eine Verbindung mit FlexiStep aufgebaut werden. Nach dem Verbindungsaufbau wird der Ladezustand der Sohle ausgelesen. Ebenso ist es nun möglich die Messdatenaquirierung zu starten.





Im Start/Stop-Menü können die zu messenden Daten an- & abgewählt werden. Hier wird auch die Aufzeichnung beendet. Startzeitpunkt und Dauer werden hier angezeigt.

Unter Live Daten können die im Start/Stop-Menü angewählten Daten betrachtet werden. Hier kann auch ausgewählt werden, ob ein bestimmter Fuß oder beide eingeblendet sein soll. Auch hier werden Startzeitpunkt und Dauer angezeigt.





Im Menüpunkt Auswertung werden verschiedene Tipps gegeben, um den Gangzyklus zu optimieren.



# 6. Finanzen

## Gesamtkosten des Projekts

Komponente	Bezugsquelle	Preis
ESP32 S2 Mini	Würth Elektronik	10€
MPU6050	Würth Elektronik	5€
Breadboard	Universität	
Kabel	Universität	
3D gedruckte Sohle	Universität	
Lithium Ionen Akku	Universität	
Dehnmesswiderstände	Würth Elektronik	15€
Hall-Effekt Sensoren	Würth Elektronik	8€
Magnete	Haushalt	0€
Barometrische Sensoren	Eigenkauf	7€
Schaumstoff Sohle	Eigenkauf	1€
<b>Gesamtkosten:</b>		<b>46€</b>

## Hardwarekosten der finalen Prototypen

Hall-Effekt Prototyp:	
ESP32 S2 Mini	10€
MPU6050	5€
Hall-Effekt Sensoren	8€
Magnete	0€
Schaumstoff Sohle	1€
<b>Kosten:</b>	<b>24€</b>
Barometrischer Prototyp	
ESP32 S2 Mini	10€
MPU6050	5€
Barometrische Sensoren	7€
3D gedruckte Sohle	0€
<b>Kosten:</b>	<b>22€</b>

# 7. Marktanalyse

Die demografische Entwicklung in Deutschland, der medizinisch-technische Fortschritt und das wachsende Gesundheitsbewusstsein in der Bevölkerung führen zu einer zusätzlichen Nachfrage an herkömmlichen professionellen Dienstleistungen in den Bereichen Gesundheit, Pflege und Betreuung, aber auch an Produkten und Dienstleistungen des zweiten Gesundheitsmarktes. Die Gesundheitswirtschaft bietet somit jetzt und für die Zukunft vielfältige Chancen für Wachstum und Beschäftigung sowie für Innovationen.

Auch im Bereich Leistungssport ist FlexiStep anwendbar. Die gemessenen Daten bieten Athleten die Chance, noch mehr Leistung hervorzubringen. Vor allem bei der Geschwindigkeit und Sprunghöhe kann eine Analyse des Gangs auf Fehler hinweisen und schnell zu Fortschritt führen.

Ein weiteres Einsatzgebiet bietet der Rehasport. Mithilfe von FlexiStep können die Menschen nach einer Verletzung schneller zu ihrem alten Gangmuster und einer gesunden Körperhaltung zurückkehren.

# 8. Marketing

Um unser Produkt ordentlich zu repräsentieren, wurde eine Website unter [flexistep.eu](http://flexistep.eu), sowie eine Instagram Seite erstellt. Da heutzutage viel Marketing über soziale Plattformen betrieben wird, konzentrieren wir uns darauf, dort präsent zu sein und unsere Follower regelmäßig mit interessanten Beiträgen zu unterhalten. Dennoch ist unsere Website dort verlinkt, sodass sich potentielle Interessenten\*innen, dort nähere Informationen beschaffen können.

Zudem haben wir Flyer angefertigt, um sie zum Start der Uni zu verteilen und unsere Mitstudierenden auf die Gefahren von Fehlhaltungen hinzuweisen.