

4 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurde ein schuhintegriertes Wearable zur Überwachung und Analyse der Biomechanik des menschlichen Ganges entwickelt. Das Ziel der Arbeit war es, ein einfaches kostengünstiges System zu entwerfen, das mit einem Mikrocontroller (Arduino Nano ESP32) sowie piezoresistiven Kraftsensoren (FSR-Sensoren) Schritte zuverlässig erkennt, die während des Gehens auftretenden Kräfte erfasst und diese in einer Echtzeit-Heatmap visualisiert. Dabei kamen zwei große Sensoren im Bereich der Ferse und des Mittelfußes sowie drei kleinere Sensoren im Zehenbereich zum Einsatz.

Da die Kraftsensoren laut Datenblatt eine Nichtlinearität im Kraft-Widerstands-Verhalten aufweisen, wurden diese zunächst am Lehrstuhl „Polymere Werkstoffe“ mithilfe einer Hydraulikpresse genauer charakterisiert. Die Messungen bestätigten die Nichtlinearität, weshalb eine zweistufige Approximation implementiert wurde. Kleine Kräfte wurden durch eine gebrochen-rationale Funktion und große Kräfte durch eine lineare Funktion approximiert. Zudem wurde die Temperaturabhängigkeit der Sensoren in einer Klimakammer untersucht. Die Messungen zeigten nur einen kleinen Temperaturdrift im Bereich von ca. $0,045 \frac{\text{mV}}{^{\circ}\text{C}}$, sodass als Messschaltung ein Spannungsteiler gewählt wurde.

Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde eine Leiterplatte entworfen, die in einem 3D-gedruckten Gehäuse am Knöchel befestigt wird. Auf der Leiterplatte befinden sich ebenfalls der Mikrocontroller, eine SD-Karte zur Datenspeicherung und das Batteriemanagement. Damit das System mobil bleibt, ist in dem Gehäuse eine 2000 mAh Lithium-Polymer-Batterie zur Spannungsversorgung integriert. Um wiederholbare Messergebnisse sicherzustellen, wurden die Kraftsensoren auf einer flexiblen Platine (FPC) gelötet und über ein sechsadriges Flachbandkabel am ESP32 angeschlossen.

Zur automatisierten Schritterkennung wurde ein Algorithmus implementiert, der auf Basis der aktiven Sensoren und deren vorherigen Zustand erkennt, ob eine Person einen Schritt macht. Die Kraftwerte werden alle 2 ms erfasst und gespeichert. Ein Mittelwertfilter reduziert Rauschen sowie Spitzen in den Messdaten. Zusätzlich wurde eine Echtzeitvisualisierung der Kraftverteilung mit einer Heatmap implementiert.

Diese Arbeit bildet eine solide Grundlage für weiterführende Forschung am Lehrstuhl. Das Messsystem kann in verschiedenen Bereichen weiterentwickelt werden. Es sollte insbesondere die Zuverlässigkeit in der Schrittaufnahme verbessert werden, da bei einer höheren Gehgeschwindigkeit die Erkennungsrate von Schritten auf 63,2% sinkt.

Da sich die Löt pads der Sensorplatte beim An- und Ausziehen der Schuhe lösen konnten, sollte man die Befestigung des Sensoren an der Platine optimieren bzw. eine Platine entwerfen, auf der die Kraftsensoren direkt integriert sind.

Ein weiteres Verbesserungspotential bietet die Interpolation in der Heatmap-Darstellung. Die derzeitige Interpolation (IDW-Verfahren) erzeugt zwar eine optisch ansprechende Darstellung, spiegelt jedoch die tatsächliche Kraftverteilung nur begrenzt wider. Realistischere Modelle könnten die Wahre Fußgeometrie berücksichtigen oder biomechanische Druckverteilungen einbeziehen. Auch die Erweiterung auf ein dichteres Raster oder den Einsatz zusätzlicher Sensoren wäre denkbar (wobei hier auch eine andere Schaltung bzw. Mikrocontroller notwendig wäre).

Ein weiterer Ansatz für zukünftige Arbeiten besteht in der Auswertung der gemessenen Schritte mittels maschinellem Lernen. Damit könnten auch individuelle Merkmale eines Gangbildes analysiert werden. Dies eröffnet Anwendungen wie die Personenerkennung anhand des Gangs, die Klassifikation verschiedener Gangtypen (gesund vs. pathologisch) oder die Detektion von Auffälligkeiten, die auf Erkrankungen hinweisen könnten. Die gewonnenen Zeitreihen, die bereits in Form von Pandas-DataFrames vorliegen, bieten hierfür eine gute Datengrundlage.