

VITALDATEN- MESSUNG MIT SMARTER SENSOR- SCHUHEINLAGE FÜR DIE TELEMEDIZIN

Moritz Hubl | Thomas Weiland | Ha Duong Ngo

ABSTRACT

In dem Projekt MIME wird ein modulares Multisensorsystem mit drahtlosem Signalausgang entwickelt, welches Vitaldaten von Patienten erfasst und für telemedizinische Zwecke auswertet. Als Prototyp wurde eine Sensorplattform mit Mikrocontroller und Funkmodul entwickelt. Verkapselt in Silikon zu einer smarten Sensorschuheinlage, lässt sich die körperliche Aktivität messen. Eine Sturzdetektion und eine energieautarke Variante mit integriertem Energy Harvester und aufladbarer Mikrobatterie sind in Entwicklung.

1. MEDIZINISCHE WEARABLES FÜR DIE TELEMEDIZIN

Die Kombination von neuartigen und miniaturisierten Biosensoren, effizienten Mikroenergiegeneratoren und drahtloser Signalübertragung ermöglichen die energieautarke Messung, Auswertung, Übertragung und somit die Digitalisierung von Vitaldaten. Derartige tragbare Sensorsystemen, sogenannte Wearables, erlauben eine kontinuierliche Messung verschiedenster Prozesse und Aktivitäten des menschlichen Körpers, angefangen vom Schrittzähler bis hin zur Glukosemessung mit einer elektronischen Kontaktlinse. [1] Mithilfe der Funkübertragung

[1] Google Inc., „Introducing our smart contact lens project“, Online verfügbar: <https://googleblog.blogspot.de/2014/01/introducing-our-smart-contact-lens.html> (veröffentlicht am 16.01.2014).

[2] Bitkom e.V., „Telemedizin wird in zehn Jahren selbstverständlich sein“, Pressemitteilung, Online verfügbar: <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Telemedizin-wird-in-zehn-Jahren-selbstverstaendlich-sein.html> (veröffentlicht am 29.10.2015).

[3] Statistisches Bundesamt, „Neue Bevölkerungsvorberechnung für Deutschland bis 2060“, Pressemitteilung (veröffentlicht am 28.04.2015).

von Vitalparametern, als Teilgebiet der Telemedizin, lassen sich über weite Distanzen Diagnosen stellen und neue Therapien einsetzen, um eine durchgängige Gesundheitsversorgung von Patienten zu ermöglichen. Damit wird die Telemedizin ein wesentlicher Bestandteil unseres zukünftigen Gesundheitssystems werden. Laut einer Studie von Bitkom Research prognostizieren 97 von 100 Gesundheitsexperten, dass die telemedizinische Überwachung von vitalen Parametern eine große Rolle in der Gesundheitsversorgung innerhalb der nächsten 10 Jahre spielen wird. [2] Sie bietet darüber hinaus eine Lösung, die Herausforderungen des demografischen Wandels in Deutschland zu bewältigen. Das deutsche statistische Bundesamt sagt für das Jahr 2060 voraus, dass jeder dritte Deutsche älter als 65 Jahre sein wird und sogar jeder achte Einwohner 80 Jahre und mehr gelebt haben wird. [3] Mithilfe von smarten, energieau-

tarken, telemedizinischen Wearables können Ärzte und Pflegekräfte eine zuverlässige und effiziente Gesundheitsfürsorge ihrer Patienten bei tragbaren Kosten gewährleisten. Gleichzeitig haben vor allem chronisch kranke und alte Menschen zusätzliche Sicherheit, ihren eigenen Gesundheitszustand zu überwachen, und die Möglichkeit, ein unabhängiges Leben bis ins hohe Alter zu führen.

2. VORSTELLUNG VON MIME UND ANWENDUNG IM PFLEGEBEREICH

Das durch das Institut für angewandte Forschung (IFAF) geförderte Forschungsprojekt „MIME – Energieautarke drahtlose Mikrosysteme für telemedizinische Anwendung“ macht sich die neuesten technologischen Entwicklungen auf diesem Gebiet zunutze und bündelt die angewandte Forschungskompetenz seiner Projektpartner, der beiden größten Hochschulen in Berlin, der Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Berlin und der Beuth Hochschule für Technik, sowie des Fraunhofer Instituts für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM) und der ELDAT GmbH als Industriepartner für weltweite Funklösungen.

In dem Verbundprojekt wird ein energieautarkes und tragbares Sensorsystem mit drahtloser Signalübertragung entwickelt. Die zum Betrieb benötigte Energie wird per Energy Harvesting aus der Körper- und Umgebungsenergie gewonnen und in einer eigenentwickelten Mikrobatterie zwischengespeichert. Diese versorgt einen Mikrocontroller mit Energie, welcher Sensoren am Körper ausliest und die Vitaldaten des Anwenders drahtlos verschickt. Als Anwendungsfall soll in Pflegeheimen und in der Heimpflege die körperliche Aktivität des Anwenders gemessen werden. Durch automatisierte Analyse der Messdaten soll das System zudem einen Sturz detektieren und eigenständig Hilfe anfordern können.

3. KONZEPTIONIERUNG UND AUSLEGUNG ANHAND ENERGIEBILANZ

Unter Berücksichtigung der Aspekte Energiegewinnung am Körper, Energiespeicherung, low-power Elektronik, Funkreichweite, Sensorik und Systemintegration wurden an der HTW Berlin im Studiengang Mikrosystemtechnik mehrere Konzepte erstellt und anhand der berechneten Energiebilanz verglichen. [4] Die zugrundeliegende Systemarchitektur ist schematisch in **Abbildung 1** veranschaulicht.

Die Systemintegration in eine Schuheinlage bietet neben ausreichendem Platz für die elektronischen Komponenten die Möglichkeit der Energiegewinnung aus der Bewegungsenergie und eine einfache und unsichtbare Anbringung

[4] M. Hubl et al., „Energy-autarkic smart sensor insole for telemedical patient monitoring“, Proceedings Smart System Integration, München, Germany (2016).

[5] R. Hahn et al., „Integrated lithium micro batteries for highly miniaturized sensors“, Proceedings des 7. GMM-Workshop Energy self-sufficient Sensors, Magdeburg, Germany (2014).

[6] R. Hahn et al., „Variable capacitor energy harvesting based on polymer dielectric and composite electrode“, 4. International Symposium in Energy Challenges & Mechanics – working on small scales, Aberdeen, UK (2015).

[7] T. Weiland, „Realisierung und Charakterisierung eines drahtlosen Mikrosystems für telemedizinische (HOME-CARE) Anwendungen“, Master Thesis at HTW Berlin, Germany (2015).

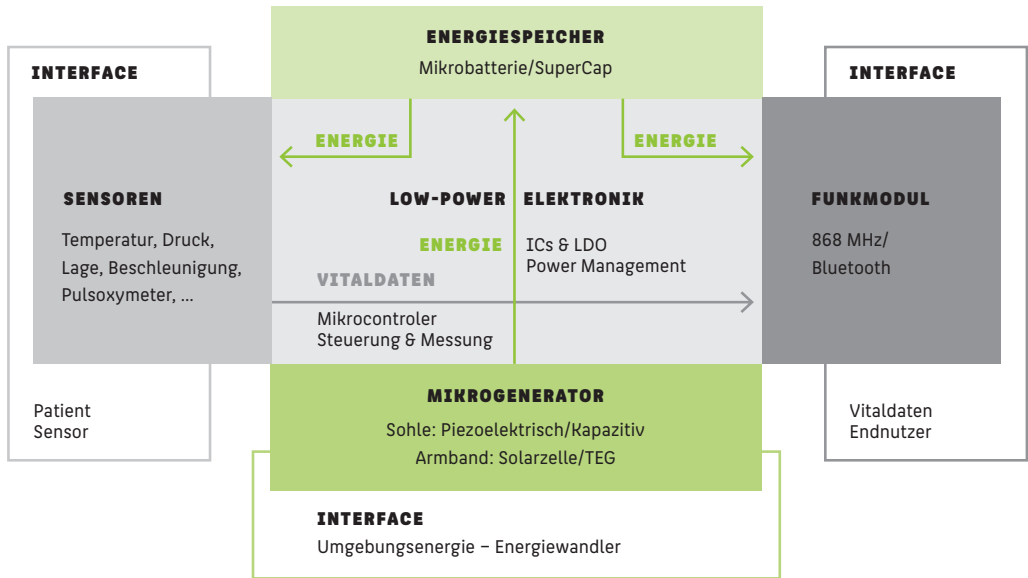


Abbildung 1: Systemarchitektur eines energieautarken Sensorsystems für die Vitaldatenmessung

am Körper. Basierend auf der Systemarchitektur wird an der Beuth Hochschule im Fachbereich Embedded Systems die Grundlage für eine modulare low-power Schaltungstechnik inklusivedrahtloser Übertragung mittels der Funklösungen der ELDAT GmbH erarbeitet. Als Energiespeicher wird eine neuartige Mikrobatterie auf Basis eines miniaturisierten Lithium-Titanat-Akkus am Fraunhofer IZM in der Abteilung Mikroenergiesysteme entwickelt. [5] Gleichzeitig werden dort innovative Mikrogeneratoren, wie kapazitive Energie-Harvester mit flexibler Elektrode, getestet. Diese lassen sich bezüglich Krafteintrag, Frequenz, Beschleunigung und Bewegungsablauf sehr gut an die Gegebenheiten am Körper tragbarer Elektronik anpassen. [6]

4. SYSTEMINTEGRATION ZU SMARTER SENSORSCHUHEINLAGE

Für die Prototypenherstellung wird das Layout der Platine digital konstruiert und als flexible Leiterplatte aus Polyimidfolie im Leiterplattenlabor an der HTW Berlin gefertigt. Im nächsten Schritt werden ein Druck- und Temperatursensor, ein Gyroskop mit internem Beschleunigungs- und Lagesensor, einem Batteriehalter und ein low-power Mikrocontroller RFD22302 von RF Digital mit integriertem Bluetooth-4.0-low-Energy-Modul auf die Leiterplatte gelötet. [7] Die gefertigte Leiterplatte mit den verlöteten Bauteilen, verbunden über Mäanderleiterbahnen, ist in **Abbildung 2** dargestellt.

Die Platine wird anschließend in einem flexiblen, transparenten und biokompatiblen Polydimethylsiloxan (PDMS) verkapselt, um die elektrischen Bauteile und Leiterbahnen vor externen Einflüssen wie Feuchtigkeit, Flüssigkeit und mechanischer Belastung zu schützen. Dafür wird die Elektronik in eine

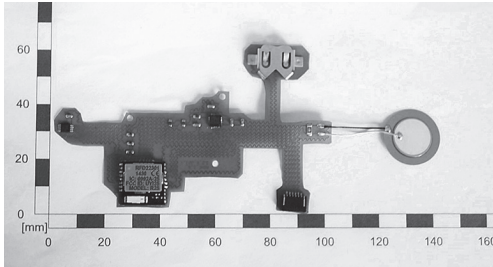


Abbildung 2: Bestückte flexible Leiterplatte mit Sensoren, Mikrocontroller und Batteriehalter

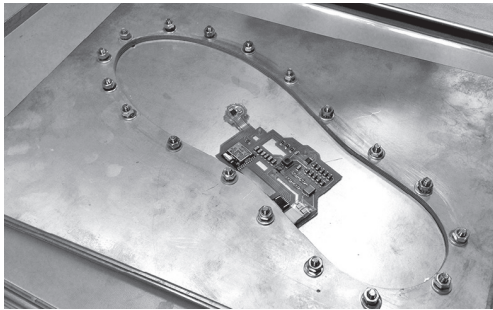


Abbildung 3: Verkapselung der Energy-Harvesting Schaltung mit Silikon in Gussform.

Gussform, bestehend aus mehreren Platten mit Aussparung in Schuhgröße 42, platziert und vergossen [siehe Abbildung 3]. [7]

Für eine dreidimensionale Formgebung wird die Schaltung des neuesten Prototyps in eine konventionelle Schuheinlage von pedag international integriert. Die flexible Platine wird dabei auf die ergonomisch geformte Fußstütze platziert und anschließend mit mehreren Lagen vorvernetzten Silikonschicht für Schicht eingebettet [siehe Abbildung 4]. Betrieben mit einer Knopfzelle vom Typ CR 1225 kann die Sensoreinlage in Schuhen getragen werden, um kontinuierlich Temperatur und Schrittzahl zu messen und die Messdaten an ein Endgerät, wie beispielsweise einen Laptop, zu funken. Mit entsprechender Programmierung des Mikrocontrollers und Algorithmen zur Analyse der Bewegungsdaten wird eine Sturzerkennung getestet. Diese soll anhand der Beschleunigungswerte bei einem Sturz mit anschließender Abfrage der Lageposition realisiert werden.

5. ENERGY HARVESTING AUS DER BEWEGUNGSENERGIE

Um langfristig unabhängig von der Batterieversorgung und einem einhergehenden Batteriewechsel zu sein, wurde das Sensorsystem mit einer Piezokeramik-Sohle von Smart Material GmbH als Energy Harvester kombiniert. Dabei wird Energie aus der Bewegungsenergie gewonnen und diese in Kondensatoren gespeichert. Sind die Kondensatoren ausreichend geladen, verschiebt eine Energy-Harvesting-Schaltung von Linear Technologie die Ladungen auf Ausgangskondensatoren, die den Mikrocontroller mit Spannung versorgen, woraufhin die Sensoren ausgelesen und die Daten verschickt werden [siehe Abbildung 3].

6. WIEDERAUFLADBARE MIKROBATTERIE FÜR ENERGIEAUTARKEN BETRIEB

Für einen energieautarken Betrieb ohne laufendes Energy Harvesting wird zukünftig als Energiespeicher die flexible und wiederaufladbare Mikrobatterie des Fraunhofer IZM mit intelligentem Leistungsmanagement implementiert. Für die miniaturisierte Sekundärbatterie werden die Elektroden schichtweise dispensiert, mit einem

[7] T. Weiland, „Realisierung und Charakterisierung eines drahtlosen Mikrosystems für telemedizinische (HOME-CARE) Anwendungen“, Master Thesis at HTW Berlin, Germany (2015).

[8] M. Ferch et al., „Segmented rechargeable micro battery for wearable applications based on printed separator and LTO/NMC electrodes“, Abstract EMRS 2016, Lille, France (2016).

Elektrolyten mikrofluidisch befüllt und unter Argonatmosphäre verkapselt. Aufgrund des variablen Fertigungsprozesses lassen sich Größe, Form und Kapazität entsprechend der Systemanforderung individuell konfigurieren. Mit acht parallel geschaltete Li-Ionen Mikrobatterien aus **Abbildung 5** mit einer Dicke von rund 1 mm und einer Dimension von jeweils 10 mm x 20 mm lassen sich rund 5,6 mAh an geharvesteter Energie im System zwischenspeichern. [8]

Die dazugehörige Batteriemangement-Schaltung besteht aus dem Laderegler SPV1050 von STMicroelectronics, der das Aufladen und die Leistungsanpassung steuert und eine Tiefenentladung der Mikrobatterie verhindert. Zusätzlich sorgt ein wechselseitiger DC/DC Konverter LTC3330v von Linear Technologies für die Spannungsversorgung des Sensornetzwerkes aus der Batterie oder dem Energy Harvester.

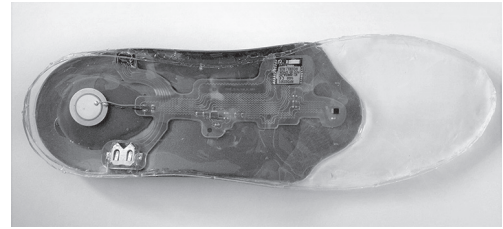


Abbildung 4: Integration von tragbarer Elektronik in konventionelle Einlagen zu einer smarten Sensorschuheinlage

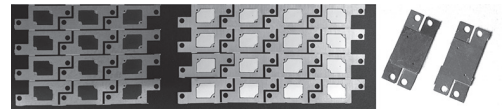


Abbildung 5: Batteriegehäuse mit befüllter Kathode bzw. Anode mit Separator (links) und zusammengebaute Mikrobatterie (rechts).

7. ZUSAMMENFASSUNG UND WEITERE ANWENDUNGSFELDER

Auf Basis der modularen Sensorplattform, der Integration von tragbarer Elektronik in eine Schuheinlage, der Ansteuerung über einen low-power Mikrocontroller und Übertragung der Körperdaten per Funk konnten erste Prototypen einer smarten Sensorschuheinlagen realisiert werden. Mit verbessertem Energiegenerator, integrierter Mikrobatterie und Algorithmen zur Aufbereitung der Messdaten wird das Multisensorsystem zukünftig in der Lage sein unabhängig Vitaldaten von Patienten und älteren Menschen für telemedizinische Zwecke zu überwachen und in Notfällen Hilfe anzufordern. Weitere forcierte Anwendungsfälle sehen eine hochauflösende Drucksensorschuheinlage zur Messung des Bewegungsablaufes in der medizinischen Rehabilitation und der Druckverteilung für die Diabetestherapie vor. Die Kombination von Körpersensoren, Energy-Harvestern und drahtloser Vitaldatenübertragung zu energieautarken, medizinischen Wearables wird in Zukunft ein wichtiges Assistenzsystem in der Heimpflege und dem Ambient Assisted Living unserer alternden Gesellschaft darstellen.

DANKSAGUNG

Gefördert durch das Institut für angewandte Forschung