

# IoT-Feedback-System zur Analyse und Optimierung von Bewegungsabläufen im Sport mittels E-Textiles und KI

*Björn Martin Keune<sup>1</sup>, Hubert Welp<sup>1</sup>, Alfred Niski<sup>1</sup>*  
<sup>1</sup>THGA, Herner Str. 45, 44787 Bochum, Deutschland

## Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wird der Entwicklungsstand eines IoT-Systems vorgestellt, das als Ökosystem zur automatisierten Weiterverarbeitung historischer, sportphysiologischer Leistungsparameter dienen soll. Die fortlaufend aufgezeichneten und aufbereiteten Daten können neben der Leistungsdiagnostik mittels Gamification zur Absolvierung regelmäßigerer Trainingseinheiten sowie höherer Leistung motivieren. Darüber hinaus sollen historische Daten perspektivisch für telemedizinische Anwendungen genutzt werden. Dies auch präventiv, indem Überbeanspruchungen frühzeitig durch gezielte Datenanalysen und Feedback vermieden werden können. Von besonderem, wissenschaftlichen Interesse kann auch die Analyse potentieller Leistungsfähigkeit unter virtuellen Bedingungen sein. Dies könnte durch eine automatisierte Generierung digitaler Zwillinge ermöglicht werden, wird in dieser Arbeit jedoch nicht näher betrachtet. Die laufenden praktischen Arbeiten konzentrieren sich zunächst darauf, eine nahtlose Wirkungskette des IoT-Systems zu realisieren und die dafür benötigten Teilsysteme aus Soft- und Hardware prototypisch aufzubauen. Dazu zählen ein nutzerfreundlicher Registrierungs- und routinefähiger Anmeldeprozess mittels NFC-Technologie und Prozessautomatisierung. Durch Edge-Computing, als dezentrale Vorverarbeitung aggregierter Messdaten, soll die zu übertragene Datenmenge aus Sensor- und Metadaten minimiert werden. Durch die Nutzung von 4G/LTE werden ausreichende Übertragungsgeschwindigkeiten vom dezentralen Edge-Gerät zur zentralen AWS Cloud-Plattform gewährleistet. Die finale Aufbereitung, Analyse und Weiterverwertung der gewonnenen Daten findet in der Cloud statt und bietet ein hohes Maß an Datenverfügbarkeit, unter anderem durch die mobile Zugriffsmöglichkeit.

Für den Machbarkeitsnachweis der Wirkungskette finden Kraftsensoren in elektronischen Textilien Anwendung. Als leistungsdiagnostisches Szenario dient das Fitnessboxen, bei dem in Form eines Cardio-Workouts Ausdauer, Kraft und Koordinationsfähigkeit trainiert werden. Hierbei werden durch ein Sensorarray im Sportgerät neben der ausgeübten Kraft und Geschwindigkeit auch Ausübungstechnik und angewandte Kombinationen erfasst. Eine automatisierte Datenanalyse ermöglicht ein zielgerichtetes Feedback zur Optimierung von Bewegungsabläufen.

**Keywords:** Cloud, Digitaler Zwilling, Drucksensor, E-Textiles, IoT, KI.

## Einführung

Laut öffentlich verfügbaren Studien, u.a. von der OECD, kann die Einhaltung der WHO-Empfehlungen für angemessene Bewegung im Alltag mit großer Wahrscheinlichkeit eine erhebliche Entlastung für die öffentlichen Gesundheitssysteme bedeuten [1].

Angesichts einer alternden Bevölkerung in Europa und heranwachsenden Generationen von sog. digital natives, werden kreative Ideen benötigt, um sportliche Aktivitäten in allen Altersgruppen zu fördern.

In vielen Disziplinen hat sich die Methode der Gamification bewährt, um mittels spieltypischer Elemente wie Erfahrungspunkten und Badges, Fortschrittsbalken oder Ranglisten, spielfremde Aktivitäten attraktiver zu gestalten. Durch

solche und weitere Mittel sollen Engagement und erwünschte Verhaltensweisen bei Ausübung der Aktivität gefördert werden. Im Kontext einer sportlichen Betätigung kann dies die regelmäßige Teilnahme und Bereitschaft zu intensiveren Trainingseinheiten bedeuten. Gleichzeitig gilt es, das Verletzungsrisiko zu minimieren, indem die korrekte Ausübung von Bewegungsabläufen belohnt wird. Tatsächlich sind viele Unfälle, die im Sport zu Verletzungen führen, auf falsches Verhalten und mangelnde technische Fähigkeiten zurückzuführen [2].

Digitale Lösungen zur Gamification können eine personalressourcenschonende Skalier- und Individualisierbarkeit bieten [3], indem neue spielerische Elemente von zentraler Stelle aus automatisiert ausgerollt, überwacht

und gesteuert werden. Ebenso lassen sich individuelle Daten vom User-Engagement automatisiert erfassen, verarbeiten, analysieren und darauf aufbauend Handlungsempfehlungen ableiten. Auf der gleichen Datengrundlage ließen sich auch angepasste Angebote neuer spieltypischer Elemente entwickeln. Auch ein soziales Vernetzungsangebot mit anderen Usern kann anhand individualisierbarer Kriterien automatisiert stattfinden. Beide Fälle bewirken einen selbstverstärkenden Effekt, indem User-Engagement zu passenderen Angeboten und somit wiederum zu einem zunehmenden Engagement motivieren kann.

Da Fitnessstraining zu einem der am häufigsten ausgeübten Sportaktivitäten gehört, trotz leistungsintensiver Phasen oftmals als monotone Aktivität wahrgenommen wird, im Vergleich eher nicht zu den kostenintensiven Aktivitäten zählt, selten besondere Vorkenntnisse zum Einstieg erfordert und in der Regel fremd spieltypischer Elemente ist, bietet es sich als Szenario für eine digitale Gamification-Lösung an. Um das betrachtete Szenario weiter einzugrenzen, dient Fitnessboxen als leistungsdiagnostisches Szenario. Fitnessboxen bietet als Cardio-Workout intensive Trainingsphasen zur Steigerung von Ausdauer, Kraft und Koordinationsfähigkeit, indem variierende Muskelgruppen und Bewegungsabläufe an einem Übungsgerät trainiert werden. Diese Betrachtung bietet den praktischen Vorteil, dass eine technische Lösung nicht als Wearable, also als getragene Anwendung am menschlichen Körper, sondern lediglich für eine Integration am Übungsgerät entwickelt werden muss. Dadurch lassen sich Anforderungen an eine zuverlässige elektrische Energieversorgung, geeignete Kommunikationsschnittstellen, Größe und Gewicht formulieren, die überwiegend mit auf dem Markt frei verfügbaren, günstigen Standardlösungen und somit geringerem Aufwand erfüllt werden können.

### Systemkonzept

Abb. 1 zeigt eine Skizze vom allgemeinen Systemkonzept aus [4] als IoT-Lösung ohne technische Spezifikationen und Anspruch auf Vollständigkeit. Darin ist die Wirkungskette in sieben wesentlichen Prozessschritten unterteilt:

1 Im ersten Prozessschritt muss sich der User am Übungsgerät anmelden. Dadurch wird sichergestellt, dass die beim Training aufgezeichneten Messdaten dem richtigen

User zugeordnet werden können. Hierbei wird vorausgesetzt, dass der User bereits registriert wurde und dementsprechend über ein Nutzerkonto mit begrenzten Zugriffsrechten auf Daten und Applikationen in der Cloud verfügt.

2 Im zweiten Prozessschritt erfolgt das Training am Übungsgerät. Dabei werden sportphysiologische Daten durch geeignete Sensoren oder Sensorarrays erfasst und an ein IoT-Edge-Gerät übertragen. Die Datenübertragung kann drahtlos oder drahtgebunden stattfinden.

3 Im dritten Prozessschritt werden die Messdaten in einer Datenbank auf dem IoT-Edge-Gerät strukturiert und vorübergehend gespeichert, einschließlich zugehöriger Metadaten wie Userkennung, Zeitstempel und geografischen Positionsdaten des Edge-Geräts. Dadurch lassen sich die Daten einem User eindeutig zuordnen. Hierbei kann auch eine Vorverarbeitung der Daten stattfinden, insbesondere um einem begrenzten Datenvolumen oder etwaigen Latenzzeiten Rechnung zu tragen.

4 Im vierten Prozessschritt werden die bereits erstmalig vorverarbeiteten Trainingsdaten vom Edge-Gerät an eine Cloud-Plattform mit den benötigten Diensten übertragen. Die M2M-Kommunikation erfolgt mit einem geeigneten Netzwerkprotokoll drahtlos oder drahtgebunden. Die Daten basieren auf den ursprünglich beim Training aufgezeichneten Mess- und Metadaten. Für eine sichere Verbindung und Datenübertragung werden verfügbare kryptographische Verfahren nach Stand der Technik genutzt. Dadurch wird gewährleistet, dass sich nur authentifizierte Edge-Geräte mit der Cloud-Plattform verbinden lassen und von dort Daten übertragen werden. Somit werden auch die IT-Schutzziele der Datenvertraulichkeit und -integrität unterstützt.

5 Im fünften Prozessschritt werden die Trainingsdaten vom Edge-Gerät in der Cloud empfangen und dort strukturiert abgelegt. Darüber hinaus wird an dieser Stelle eine Dashboard-Anwendung zur Visualisierung der historischen Daten angeboten, z.B. als Zeitliniendiagramm oder in Form von Statistiken. Spätestens an dieser Stelle sollen konkrete Aussagen hinsichtlich der Bewegungsabläufe, Ausführungstechniken usw. getroffen werden können. Dies beinhaltet u.a. Informationen darüber, mit welchem

Körperteil das Übungsgerät kontaktiert wurde und kann Methoden des maschinellen Lernens zwecks Objektdetektion o.ä. erfordern.

**6** Im sechsten Prozessschritt greift der User über ein mobiles Endgerät auf seine eigenen Trainingsdaten in der Cloud zu. Dies geschieht, indem er sich mit seinem Nutzerkonto verbindet und Dashboard-Anwendungen zwecks Visualisierung nutzt. Darüber hinaus kann er Daten seines Nutzerprofils ändern.

**7** Im siebten Prozessschritt kann der User seine eigenen, ausgewählten Trainingsdaten mit Dritten teilen. Bspw. um auf einer Rangliste mit anderen Usern gelistet zu werden, Badges sichtbar zu machen, Feedback von einem Sporttrainer oder Arzt einzuholen, oder sogar um die Daten für wissenschaftliche Zwecke zu veröffentlichen. Dabei muss gewährleistet sein, dass der User die Kontrolle über seine Daten behält, ausreichend informiert für fundierte Entscheidungen ist und auch die Freigabe von Daten widerrufen kann.

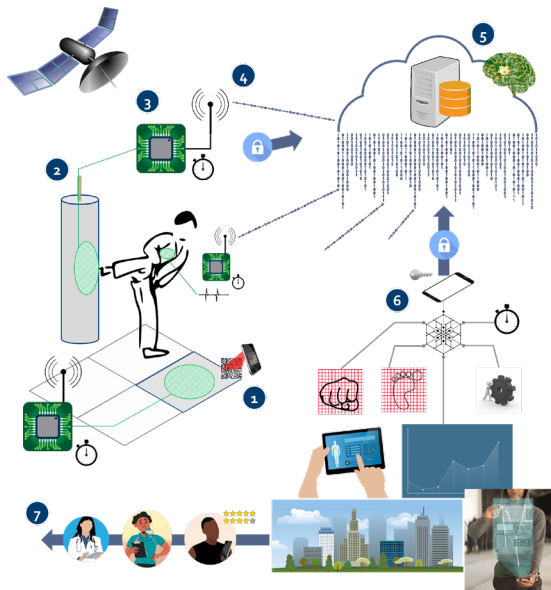


Abb. 1: Allgemeines Systemkonzept [4]

### Prototyp

Basierend auf dem Systemkonzept aus Abb. 1 wurden technische Lösungen für alle notwendigen Teilsysteme in Form von Hard- und Softwarekomponenten definiert und prototypisch umgesetzt. Nachfolgend sind die wesentlichen Komponenten beschrieben und teilweise grafisch dargestellt.

Abb. 2 zeigt das IoT-Edge-Gerät bestehend aus einem Einplatinencomputer Raspberry Pi 4 Model B, einem GPS-Empfänger mit Antenne,

Real-Time-Clock und E3372 LTE Modem mit SIM-Karte. Die einzelnen Komponenten vom Edge-Gerät sind in einem gemeinsamen Gehäuse miteinander verbunden. Das Gehäuse wurde mittels additiver Fertigung eines vorhandenen 3D-Druckers aus PLA-Filament gefertigt.



Abb. 2: Edge-Komponenten im Gehäuse [5]

Auf dem Raspberry Pi wird als Betriebssystem Raspberry Pi OS, basierend auf der Linux-Distribution Debian, verwendet. Es wurden im Laufe der Prototypentwicklung auch andere Betriebssysteme getestet und zukünftige Änderungen sind nicht ausgeschlossen.

Auf dem Raspberry Pi wird ein in Python programmierter Quellcode ausgeführt, u.a. um Sensor- inkl. Metadaten, darunter Userkennung, Zeitstempel und Geokoordinaten, in einer SQLite-Datenbank im JSON-Format zu strukturieren. Um zu gewährleisten, dass alle Daten über einen Zeitstempel verfügen, werden in absteigender Reihenfolge UTC-Zeitstempel per GPS-Empfänger u-blox NEO-6M, NTP-Server oder Real-Time-Clock – je nach Verfügbarkeit – erzeugt. Darüber hinaus werden drahtlose Verbindungen per Bluetooth Low Energy zu anderen Teilsystemen aufgebaut, um von dort die prozessrelevanten Daten abzufragen. Dazu zählt die Kennung des aktuell am Übungsgerät angemeldeten Users. Die User-Anmeldung erfolgt an einem dafür vorgesehenen Terminal per NFC-Reader. Abb. 3 zeigt das ebenfalls additiv gefertigte Gehäuse des Terminals. Darin befinden sich ein NFC-Reader vom Typ PN532 NFC RFID Wireless Module V3 sowie ein per SPI-Schnittstelle angebundener Mikrocontroller ESP32-WROOM-32. User melden sich durch Auflage eines NFC-Tags mit UUID zur eindeutigen Kennung an. Sobald sich ein User an- oder abmeldet, wird diese Information an das Edge-Gerät übertragen. Die verwendeten, transparenten 888-Bytes-NFC-Tags sind kreisrunde selbstklebende Sticker und haben einen Durchmesser von ca. 25 mm.

Eine LED im Terminal-Gehäuse signalisiert sichtbar den Anmeldestatus. Bei Untersuchungen in [5] und [6] wurde jeweils eine stabile Verbindung zwischen Terminal und Edge-Gerät für Entfernungen bis ca. 8 m empirisch nachgewiesen.

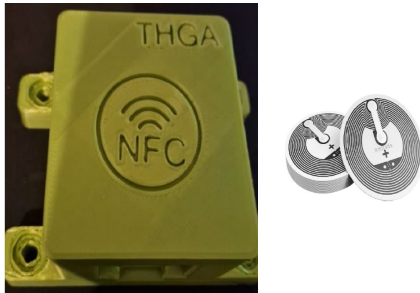


Abb. 3: NFC-Reader im Gehäuse u. Tags [5]

Neben dem Terminal zur Useranmeldung ist zum jetzigen Zeitpunkt noch der zugekaufte Demonstrator einer textilen Drucksensormatte der Fa. 3E Smart Solutions per BLE an das Edge-Gerät angebunden. Abb. 4 zeigt die Drucksensormatte sowie für verschiedene Belastungsszenarien der Matte im Edge-Gerät empfangene Messdaten. Die Sensormatte hat die Abmessungen 400 mm x 400 mm bei einer Sensorarrayfläche von 320 mm x 320 mm mit einer Sensorarrayfläche von 320 mm x 320 mm mit einer Sensormatrix von 16 x 16 Messpunkten. Die Matrix wird aus einer mit Kohlenstoff beschichteten, elektrisch leitfähigen Polyethylen-Folie mit dehnungsabhängigem elektrischem Widerstand zwischen 10 k $\Omega$  und 50 k $\Omega$  je m<sup>2</sup> und sich kreuzenden leitfähigen Garnen ober- und unterhalb des die Folie umhüllenden Textilgewebes gebildet.

Die räumliche Auflösung je Sensorfeld beträgt 20 mm x 20 mm. Jedes Feld kann mit 8 Bit jeweils 256 verschiedene Diskretisierungsstufen abbilden. Die Daten der Sensorfelder werden zeilenweise per BLE an das Edge-Gerät versendet. Dies erfordert je Zeile wenige Millisekunden.

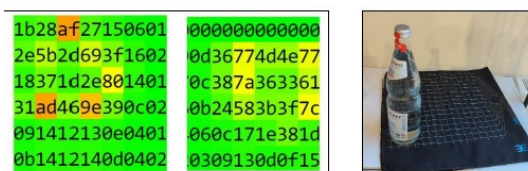


Abb. 4: Drucksensormatte im Betrieb [6]

Die im Edge-Gerät strukturierten und temporär in der SQLite-Datenbank gespeicherten Daten werden per 4G/LTE an den AWS IoT-Core, einem Cloud-Dienst, übertragen und von dort weiteren Diensten zur Datenaufbereitung zur Verfügung gestellt.

AWS wurde u.a. aufgrund seiner Marktführerschaft und benutzerfreundlichen Einstiegsmodellen statt alternativen Cloud-Plattformen wie Azure oder GCP ausgewählt. Eine umfassende Analyse der Vor- und Nachteile verfügbarer Cloud-Plattformen wurde nicht durchgeführt. Als IoT-Protokoll wird MQTT verwendet, das die in JSON strukturierten Mess- und Metadaten als Payload ohne Mehraufwand versenden kann. Als MQTT-Broker hat sich Mosquitto bewährt. Schlüsselpaare bzw. Geräte-Zertifikate für die sichere Datenverbindung konnten in AWS generiert werden.

Abb. 5 zeigt schematisch die wesentlichen Komponenten des IoT-Systems und ihre Verbindungen untereinander. Neben den beschriebenen Diensten in AWS wurde ebenfalls mit der Dynamo DB experimentiert, um erste praktische Erfahrungen zu sammeln.

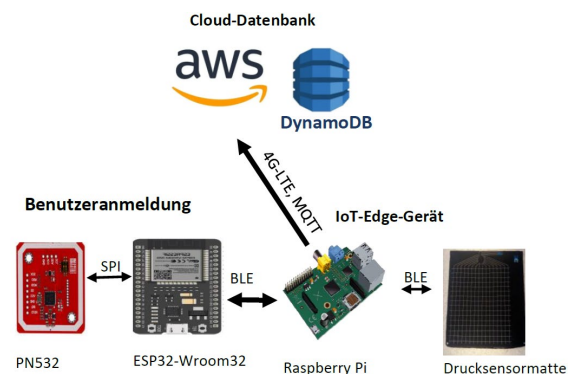


Abb. 5: Komponenten des IoT-Systems [5]

Darüber hinaus existieren neben den beschriebenen Hardware-Komponenten, mit ihren zentralen Funktionen, weitere Software-Bausteine, die noch nicht in der Wirkungskette des bestehenden IoT-Systems integriert wurden. So wurde u.a. bereits in der Entwicklungsumgebung MATLAB der Fa. Mathworks eine Lösung zur Klassifikation von Drucksensordaten entwickelt, um zwischen verschiedenen Objektklassen in Kontakt mit dem Sensorarray zu differenzieren. Dadurch lassen sich deutlich kleineren Payloads in MQTT-Nachrichten realisieren, indem nicht alle einzelnen Sensordaten, sondern stattdessen nur Metadaten aus Objektklasse und Bezugsordinate an die Cloud verschickt werden müssen. Auf dieser Basis lässt sich eine synthetische, näherungsweise Rekonstruktion von Sensormessdaten in der Cloud erreichen. Dadurch lassen sich voraussichtlich weit mehr als neunzig Prozent des aktuell benötigten Datenvolumens von ca. 0,4 GB/Tag je Sensorarray einsparen. Zwar entstehen dadurch in den Datenbankeinträgen der Cloud potentiell Fehler hinsichtlich

einzelner Sensordaten, tatsächlich sind für das betrachtete Szenario jedoch Einzelwerte im Array kaum relevant, sondern eher Mittelwerte. Eine zeitnahe Implementierung auf dem Edge-Gerät ist in Planung. Zur Veranschaulichung ist in Abb. 6 die aktuelle Datenstruktur für den JSON-Export dargestellt. Abb. 7 zeigt im Vergleich dazu das JSON-Schema für die sparsamere Datenstruktur.

```
#Zusammensetzen der daten für JSON-Export
data = {
  "Zeit": {
    "UNIX": datum_und_uhrzeit.timestamp(), #Timestamp in
(float)
    "Source": rtc_data.timestamp_source #Datenquelle
  },
  "GPS": {
    "Lon": gps[0], #Longitude (float)
    "Lat": gps[1], #Latitude (float)
    "Alt": gps[2], #Altitude (float)
    "num_sats": int(gps_data.num_sats), #Anzahl Satelieten
    "gps_qual": gps_data.gps_qual #Qualität des Signals
  },
  "User": {
    "Name": matte_daten.user, #User Name (string)
    "User_UUID": matte_daten.user_uuid #User UUID (string)
  },
  "Matte": {
    "BLE_Status": matte_daten.signal, #Status Signal: 1 =
Kein Signal (bool)
    "MAC": matte_daten.mac_address, #BLE MAC (string)
    "Service_UUID": str(matte_daten.service_uuid), #BLE Ser-
(string)
    "Characteristic_UUID": str(matte_daten.characteris-
#BLE Characteristic UUID (string)
    "SizeN": matte_daten.n, #Laenge Matte (int)
    "SizeM": matte_daten.m, #Breite Matte (int)
    "Daten": local_matrix #Dateninhalt (2D int array)
  }
}
```

Abb. 6: Datenstruktur für JSON-Export [6]

```
},
"foundobjects": [
  {
    "found_frame": "<required: integer>",
    "xpos": "<required: float>",
    "ypos": "<required: float>",
    "rotation": "<required: float>",
    "force": "<required: float>"
  }
],
"raw_data": [
  [
    "<optional: int>",
    "<optional: int>"
  ],
  [
    "<optional: int>",
    "<optional: int>"
  ]
]
```

Abb. 7: Neues JSON-Schema

Ein Versenden der Rohdaten vom Sensorarray ist noch immer optional möglich und kann bspw. für Inbetriebnahmen, Kalibrierungszwecke oder Fehleranalysen genutzt werden. Neu ist das erforderliche JSON-Element zur Abbildung detektierter Objekte im Sensorarray. Dieses beinhaltet neben der erkannten Objektklasse, wie bspw. vereinfacht Hand oder Fuß, Informationen zur

Bounding-Box mit Referenzkoordinaten im Sensorarray, Rotationswinkel und arithmetischen Mittelwert der ausgeübten Kraft von den relevanten Sensorfeldern im Array. Erste Untersuchungen haben gezeigt, dass sowohl eine Objektdetektion mittels Deep-Learning und einer YOLO-Netzwerkarchitektur als auch einfache Kantenfilter für die bisher betrachteten Klassen ausreichen. Allerdings werden erst tiefergehende empirische Untersuchungen eine belastbare Aussagekraft bieten, sodass hierzu noch keine abschließende Entscheidung gefallen ist.

### Fazit und Ausblick

Die Wirkungskette des IoT-Systems als geplantes Ökosystem für weiterführende Anwendungszwecke konnte bereits prototypisch umgesetzt und praktisch nachgewiesen werden, einschließlich NFC-basierter Benutzeranmeldung.

Das schon bei kleinen Sensorarrays anfallende, relativ hohe Datenvolumen erfordert technische Maßnahmen zur Datenaggregation für eine wirtschaftliche Skalierbarkeit des Systems. Erste Schritte dafür wurden unternommen.

Laufende praktische Arbeiten zielen darauf ab, den Reifegrad des Systems zu erhöhen, damit dieses anschließend ausgewählten Probanden zur Verfügung gestellt werden kann. Zu diesem Zweck wird u.a. eine neue Gehäuse-Generation entwickelt. Diese unterscheidet sich von den in Abb. 2 und 3 dargestellten Gehäusen darin, dass bislang verbliebene Öffnungen durch den Einsatz von transparentem Acrylglas geschlossen, 5V-LED-Streifen zur Signalisierung von unterschiedlichen Betriebszuständen sowie Miniatur-Buzzer als Signalgeber für ein audiovisuelles Feedback bei User-An- und Abmeldungen am NFC-Terminal ergänzt werden. Ebenso soll durch gezielte Anpassungen der Parameter bei der additiven Gehäusefertigung die haptische Qualität weiter verbessert werden.

Um die Zuverlässigkeit der GPS-Daten zu verbessern, können alternative Empfänger oder abgesetzte Antennen im Verbund getestet werden. Darüber hinaus werden ergänzend zu den Drucksensorarrays weitere Sensoren zur Messung von wirkenden Beschleunigungen und Umgebungstemperatur integriert, um etwaige Störeinflüsse softwaretechnisch kompensieren zu können. Weitere Systemupgrades können die Integration von bildgebenden Sensoren umfassen, um die Orientierung einzelner Gliedmaßen mit den Leistungsdaten zu verschneiden. Für ein effizientes, skalierbares

Soft- und Firmware-Managements des potentiell wachsenden Gerätepools, werden erste Ideen einer Container-Virtualisierung der Applikationen von Edge und Cloud mittels Docker und ihrer Orchestrierung mittels Kubernetes oder Docker Swarm formuliert. Und schließlich muss ein Prozess zur benutzerfreundlichen Registrierung und automatischen Versendung von NFC-Tags entwickelt und implementiert werden. In diesem Zusammenhang muss auch recherchiert werden, inwieweit die UUID zur Anmeldung am Übungsgerät per NFC-fähigem Mobiltelefon in dem Prozess abgebildet werden kann. Ein erster Konzeptentwurf bildet einen klassischen Registrierungsprozess ab. Dieser besteht im Wesentlichen aus der Eingabe von personenbezogenen Daten, wie E-Mail-Adresse, Mobiltelefonnummer, Wohnanschrift und Sicherheitsfrage zwecks Mehr-Faktor-Authentifizierung, automatisch generierten Bestätigungsabfragen per E-Mail und dem Postversand neuen Usern zugeordneter UUIDs bzw. NFC-Tags. Dabei gilt es selbstverständlich, allen Bestimmungen der DSGVO insbesondere im Umgang mit personenbezogenen Daten gerecht zu werden. Als Alternative zu dem bisher eingesetzten Sensorarray werden gestickte Druck- bzw. Kraftsensoren von den Deutschen Instituten für Textil- und Faserforschung (DITF) in Denkdorf betrachtet, vgl. Abb. 8.

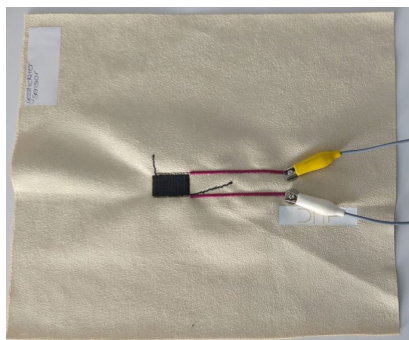


Abb. 8: DITF-Probe eines gestickten Sensors

Perspektivisch können die automatisierte Entwicklung digitaler Zwillinge anhand sportphysiologischer Leistungsparameter und ihre Analyse unter virtuellen Bedingungen von besonderem wissenschaftlichem Interesse sein. Dies gilt insbesondere, wenn der Mensch selbst als Quelle elektrischer Energie betrachtet wird, wie in [7]. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, inwieweit sich der Mensch in unterschiedlichsten Belastungssituationen dafür eignet, welche Wechselwirkungen existieren und welche Einflüsse besonders signifikant sind.

## Danksagung

Die Autoren bedanken sich ausdrücklich bei allen mitwirkenden Studierenden der THGA, die im Rahmen ihrer SHK-Tätigkeiten und studentischen Projekt- oder Abschlussarbeiten wertvolle Beiträge zur praktischen Umsetzung des allgemeinen Systemkonzepts geleistet haben und weiterhin mit großem Engagement leisten. Namentlich erwähnt seien hier insbesondere Hr. A. Taleb, Hr. M. Delle, Hr. A. Möller und Hr. F. Konopka.

## Literaturnachweis

- [1] OECD and World Health Organization, *Step Up! Tackling the Burden of Insufficient Physical Activity in Europe*, 17 Feb 2023, 86 pages, <https://doi.org/10.1787/500a9601-en>.
- [2] C. Klein, P. Luig, *Basis-Übungen zur Prävention von Sportverletzungen - Stabilisation, Mobilisation, Sensomotorik & Koordination*, 2013.
- [3] N. Koutsouris, et al., *InLife: a platform enabling the exploitation of IoT and gamification in healthcare*, 14th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), Limassol, Cyprus, 2018, pp. 224-230, doi: 10.1109/WiMOB.2018.8589153.
- [4] B.M. Keune, H. Welp, A. Niski, *IoT Feedback System for Analysis and Optimization of Human Motion Sequences*, WEC2023 – 7th World Engineers Convention, Prague, Czech Republic, 2023.
- [5] A. Taleb, *NFC-basierte Benutzerauthentifizierung für ein Multi-User- IoT-System zum Monitoring von menschlichen Bewegungsabläufen in Sport mit der AWS Cloud-Plattform*, Bachelorarbeit, THGA, Bochum, Deutschland, 2024.
- [6] F. Konopka, *Erfassung von Daten aus textilen Drucksensoren als Grundlage der prototypischen Entwicklung eines Messsystems für Monitoring und Analyse von Kräfteanwendungen im Sport*, Bachelorarbeit, THGA, Bochum, Deutschland, 2023.
- [7] Y. Zou, L. Bo, Z. Li, Recent progress in human body energy harvesting for smart bioelectronic system, *Fundamental Research*, vol. 1, issue 3, 2021, Pages 364-382, ISSN 2667-3258, <https://doi.org/10.1016/j.fmre.2021.05.002>.