

Das ITM, IFE und TITV entwickeln Sensorik für die Überwachung von physiologischen Faktoren

## Textilbasierte Sensoren für das kontinuierliche Monitoring chronischer Wunden

In Deutschland leiden rund 4 Millionen Menschen an chronischen Wunden, die Therapiekosten belaufen sich jährlich auf 8 Mrd Euro [1]. Das medizinische Personal kann derzeit nur mit einer Wundverbandöffnung eine Einschätzung über den Wundheilungsstatus treffen. Ein kontinuierliches, sensorisches Monitoring ermöglicht eine Infektionserkennung, längere Liegezeit des Wundverbandes und Überwachung des Wundheilungszustandes. Aufgrund der hohen Flexibilität und geringen Herstellungskosten sind textilbasierte Sensoren hierfür besonders geeignet.



Infektiöse oder entzündete Wunden werden durch komplexe, biologische Prozesse beschrieben, welche die physiologischen Eigenschaften und somit auch den Wundzustand abbilden. Die wichtigsten Faktoren sind pH-Wert, Lactat-Gehalt, Wundrandtemperatur und Anteil der reaktiven Sauerstoffspezies ( $H_2O_2$ ) im Blut. Zudem ist eine Immunantwort auf eine Wundinfektion u. a. eine erhöhte Konzentration der neutrophilen Abwehrzellen („neutrophil extracellular traps“ – sogenannte NETs [2]).

### Textilbasierte Sensoren zur Wundüberwachung

Diese Faktoren können mit textiltechnisch hergestellten Sensoren detektiert werden. Das kann auf unterschiedliche Weise passieren. Im Falle von pH- und NET-Sensoren reagiert eine, zwischen textilen Elektroden liegende, Funktionsschicht auf genannte Parameter und ändert entsprechend ihre elektrischen Eigenschaften (Ionenleitvermögen oder Permittivität). Diese werden messtechnisch anhand der Bestimmung des elektrischen Wechselstromwiderstandes (Impedanz) aufgezeichnet und ausgewertet. Bei den Lactat- und  $H_2O_2$ -Sensoren wird durch enzymatische bzw. katalytische Prozesse der Anteil an diesen Spezies in der Wundflüssigkeit mittels eines entsprechenden Stromflusses festgestellt. Die Temperaturmessung basiert auf dem Prinzip der Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstands.

Auf Basis dieser Grundprinzipien wurden in einem Kooperationsprojekt zwischen dem Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik (ITM) und dem Institut für Festkörperelektronik (IFE) der Technischen Universität Dresden sowie dem Textilforschungsinstitut Thüringen-Vogtland e.V. (TITV) diese Sensorgarne textiltechnisch entwickelt und umfassend charakterisiert. Abhängig vom Sensorprinzip wurden komplexe Mehrschichtgarne hergestellt, welche ein Monitoring der jeweiligen Parameter ermöglichen.

### Textilbasiertes Temperatursensorgarn

Beispielhaft ist in Abbildung 2 (links) das Temperatursensorgarn dargestellt, bei dem als temperaturfühlende Elektrode ein medizinischer Edelstahldraht (Durchmesser  $50\ \mu\text{m}$ ) mit einer biokompatiblen Isolationsschicht aus Parylen verwendet wurde. Am

ITM wurde dieser Edelstahldraht textiltechnisch in ein Garn integriert. Durch die Einarbeitung in ein Geflecht aus Viskosefäden wird der Edelstahldraht einerseits zugentlastet, wodurch auch bei mechanischer Beanspruchung eine hohe messtechnische Sensorstabilität ermöglicht wird. Andererseits erhöht sich durch diese helixartige Einarbeitung des Edelstahldrahts im Geflecht dessen Länge im Vergleich zu einem rein gestreckt vorliegenden Draht. Dadurch wird der Grundwiderstand des Temperatursensorgarns um den Faktor 2,2 erhöht, was wiederum eine zuverlässigere Temperaturbestimmung ermöglicht.

Die messtechnischen Untersuchungen des Temperatursensorgarns erfolgten am IFE. Die untersuchten Sensorgarne besaßen bei einer Länge von 20 cm einen Grundwiderstand von rund 145 Ohm. Bei den in Abbildung 2 (rechts) durchgeführten Untersuchungen wurde in einem Temperaturbereich von  $20\text{...}40\text{ }^\circ\text{C}$  eine Widerstandsänderung von ca.  $0,1\ \text{Ohm pro } 1\ \text{K}$  erzielt. In den Untersuchungen wurde eine Messgenauigkeit von  $0,028\ \text{K}$  erreicht. Die Temperatursensorgarne sind somit vergleichbar präzise wie die industriell verwendeten Sensoren vom Typ Pt100.

Neben dem Temperatursensorgarn wurden die weiteren, oben genannten textilbasierten Sensoren ebenfalls durch alle Partner untersucht. Hierbei stand neben dem Nachweis der messtechnischen Funktionalität und der mechanischen und chemischen Stabilität insbesondere die Biokompatibilität

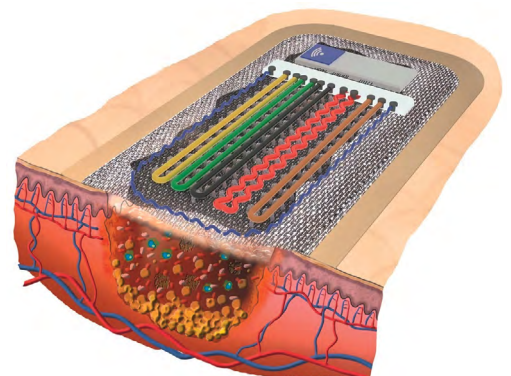


Abbildung 1: Wundverband mit textilbasierten Sensoren  
Abbildung: ITM

für den Einsatz der Sensoren in der Medizintechnik im Fokus der Untersuchungen. Zu diesem Zwecke wurden die Sensoren am Zentrum für Translationale Knochen-, Gelenk- und Weichgewebeforschung des Universitätsklinikums Carl Gustav Carus Dresden auf ihre zytotoxische Wirkung untersucht und als komplett biokompatibel befunden.

**Wundverband mit integriertem Sensornetzwerk**

Um eine entsprechende Einbindung der Einzelsensoren in einem Wundverband zu ermöglichen, wurden die Sensorgarne abschließend auf gewirkte Polyesterstrukturen sowie auf speziell geplottete Silikonnetze gestickt und zu Sensornetzwerken verschaltet. Durch ein an die entsprechenden Empfindlichkeiten der Sensoren angepasstes Layout des Sensornetzwerks wird eine einfache Skalierung an verschiedene Wundverbandgeometrien ermöglicht. Entsprechend medizinischer Anforderungen wurde beispielsweise das Temperatursensorgarn am Wundrand platziert, da dieser bei einer Wundheilungsstörung sehr spezifisch eine erhöhte Temperatur aufweist.

Die entwickelten in Wundverbandssysteme integrierten textilbasierten Sensornetzwerke besitzen das Potenzial, eine längere Verweilzeit der Verbände auf chronischen Wunden durch kontinuierliches Monitoring der physiologischen Parameter zu ermöglichen und Störungen im Heilungsprozess auf Basis objektiver Messdaten zeitnah zu erfassen. Das ermöglicht dem medizinischen Personal, frühzeitig eine Wundinfektion zu erkennen und entsprechende Maßnahmen einzuleiten. Überdies sollen die hier entwickelten Sensoren dabei helfen, ein besseres Verständnis der komplexen Zusammenhänge der relevanten Wundparameter für den Heilungsprozess von chronischen Wunden zu erlangen.

**Zusammenfassung und Danksagung**

Im Vergleich zu bisherigen textilbasierten Sensoren, die durch äußere Einwirkungen und einer daraus folgenden Änderung der Sensorgeometrie die mechanischen Parameter Zug, Druck oder daraus abgeleitet Biegung bestimmen können, erlauben die im Projekt entwickelten Sensoren die Aufzeichnung komplexer, physiologisch und chemisch

relevanter Faktoren. Das ermöglicht nicht nur ein in der modernen Wundbehandlung gefordertes kontinuierliches Monitoring, sondern auch eine Aufzeichnung von Vitalparametern im Freizeit- und Sportbereich oder eine Funktionsüberwachung von Implantaten. Besonders vorteilhaft hierbei ist der textilbasierte, flexible Aufbau der Sensoren, wodurch eine einfache, an den Anwendungsfall anpassbare Skalierung der Sensorgeometrie möglich ist.

Der Abschlussbericht für das Forschungsprojekt „Textilbasierte Wundmonitoringsensoren“ ist auf Anfrage an den genannten Forschungsstellen ITM, IFE und TITV verfügbar.

Das IGF-Vorhaben 17826 BR der Forschungsvereinigung Forschungskuratorium Textil e.V. in Kooperation mit der Forschungsgesellschaft für Messtechnik, Sensorik und Medizintechnik e.V. Dresden wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.



[1] Arbeitskreis „Krankenhaus- & Praxishygiene“ der AWMF Working Group ‚Hospital & Practice Hygiene‘ of AWMF. Leitlinien zur Hygiene in Klinik und Praxis. 029/042 S1-Leitlinie: Chronische und sekundär heilende Wunden – Hygieneanforderungen, 01/2014

[2] Brinkmann, V.; et al.: Neutrophil Extracellular Traps Kill Bacteria. Science 303.5663(2004) 1532-1535

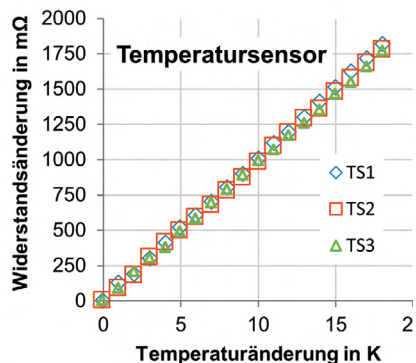
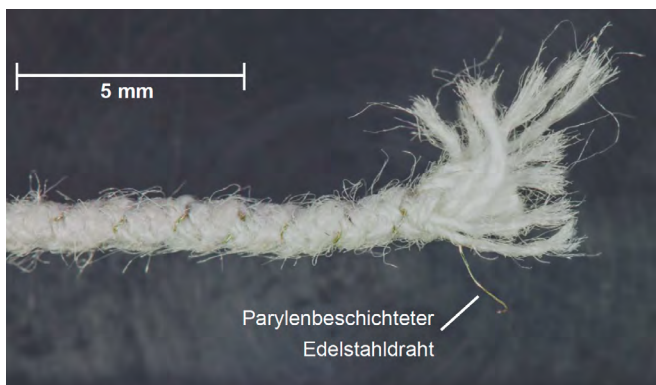


Abbildung 2: Textilbasierter Temperatursensor (links) und Widerstandsänderung des Sensors über die Temperatur (rechts) Abbildung: ITM

**Kontakt**

Technische Universität Dresden  
 Fakultät Maschinenwesen  
 Institut für Textilmaschinenbau und  
 Textile Hochleistungswerkstoff-  
 technik (ITM)  
 Johannes Wendler  
 Forschungsgruppe Mess- und  
 Sensortechnik  
 Hohe Straße 6  
 01069 Dresden  
 Tel.: +49 351 463-33766  
 Fax: +49 351 463-34026  
 johannes.wendler@tu-dresden.de  
[https://tu-dresden.de/die\\_tu\\_dresden/fakultaeten/fakultaet\\_maschinenwesen/itm](https://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_maschinenwesen/itm)