

Entwicklung textilbasierter und planarer Sensoren zur kontinuierlichen nicht-invasiven Echtzeiterfassung des Lactatwertverlaufs für die Diagnostik gemäß klinischen, therapeutischen und sportmedizinisch-leistungsorientierten Anforderungen (LCSens)

Nocke, A.^{1,*}; Wendler, J.¹; Wöltje, M.¹; Aibibu, D.¹; Martin, T.²; Braun, A.²; Michel, S.²; Ibarlucea, B, I.³; Cuniberti, G³; Cherif, Ch.¹

- ¹ Technische Universität Dresden, Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik
- ² Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Fachgebiet Therapiewissenschaften (II)
- ³ Technische Universität Dresden, Institut für Werkstoffwissenschaft, Professur für Materialwissenschaft und Nanotechnik

* Korrespondenz: andreas.nocke@tu-dresden.de

Motivation

Der Lactatwert ist in der Sportmedizin sowie auch bei der Betreuung älterer oder gesundheitlich beeinträchtigter Personen der physiologisch wichtigste Parameter zur Einschätzung des Metabolismus. In der medizinischen Praxis wird dieser Parameter meist durch Entnahme von Blut ermittelt. Neben der Blutentnahme an sich, welche durch medizinisches Personal erfolgen muss, ist insbesondere der Analyseprozess zeitaufwändig und gibt daher kein aktuelles Bild des physiologischen Zustands der betreffenden Person wieder.

Neben dem Blut enthält auch der Körperschweiß hohe Anteile an Lactat und spiegelt daher eine Momentaufnahme des gesundheitlichen Zustands wider. Eine sensorische Erfassung des Lactatwerts kann hierbei nicht-invasiv erfolgen. In besonders vorteilhafter Ausführung können dabei textilbasierte Sensoren direkt in bspw. Schweißbänder, Orthesen oder körpernaher Kleidung integriert werden.

Ziel des Forschungsprojekts war die Entwicklung und Herstellung von tragbaren Sensoren für die Erfassung des Lactatwerts im Körperschweiß für die Medizintechnik. Die Sensorprinzipien wurden auf planarer Basis untersucht und dann textiltechnisch umgesetzt sowie auf textilen Trägerstrukturen fixiert.

Die Entwicklung von textilbasierten Sensoren für die nicht-invasive Erfassung des Lactatwerts im Körperschweiß ermöglicht sowohl in der Sport- als auch Präventivmedizin, im therapeutischen Bereich sowie auch im wachsenden Segment des Consumer-Self-

Monitorings eine wesentliche Verbesserung im Vergleich zu bisherigen Systemen. Neben dem damit erzielbaren geringen Zeit- und auch Kostenaufwand im Vergleich zur bisher genutzten Blutanalyse ist insbesondere der medizinische und therapeutische Nutzen immens. Im Vergleich zu konventionellen Geräten gewährleistet die textile Ausführung der Sensoren und des Netzwerks zudem einen wesentlich verbesserten Tragekomfort und somit eine erhöhte Patienten-Compliance.

Ergebnisse

Im Projekt wurde die Entwicklung und Erprobung enzymatisch-elektrochemischer Sensoren, die mittels einer amperometrischen Messung ausgewertet werden. Die Motivation hierzu lag primär in der aus dem Stand der Technik für vergleichbare, jedoch nicht textilbasierte Sensoren bekannten hohen Sensitivität und Selektivität sowie auch einer guten Wiederverwendbarkeit der einzelnen Sensorkomponenten. Der schematische Aufbau eines derartigen amperometrischen Sensors wird in Abb. 1 gezeigt.

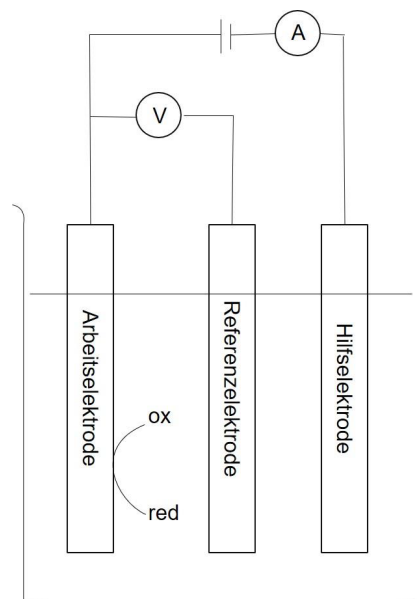


Abb. 1: Aufbau und elektrische Verschaltung eines amperometrischen Sensors mit Amperometer (A), Voltmeter (V) und Spannungsquelle

Dieses Prinzip wurde im Rahmen des Projektes parallel für eine planare und eine textilbasierte Konfiguration umgesetzt und vergleichend evaluiert. Abb. 2 zeigt den finalen planaren Laktatsensor mit spezifisch entwickelten Stabilisierungs- und Kontaktierungslösungen.

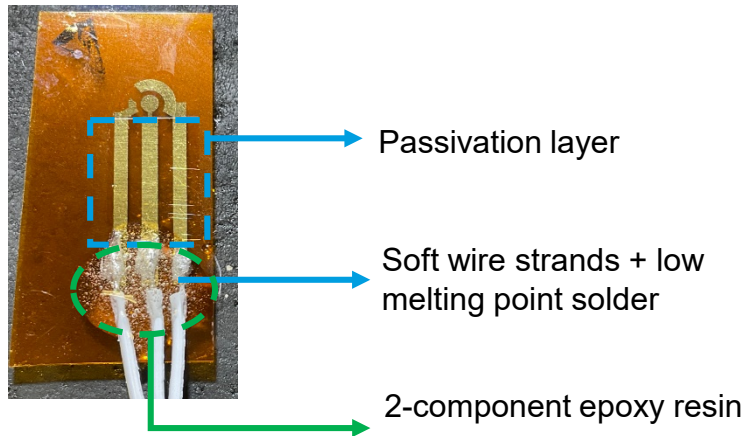


Abb. 2: Finale planare Sensorkonfiguration mit photolithografisch strukturierter Passivierungsschicht und einer mittels Epoxidharz-Beschichtung mechanisch/chemisch geschützten Kontaktierungslösung

Im Hinblick auf die textile Adaption dieses Sensoraufbaus wurde in der ermittelten Vorzugslösung eine Struktur umgesetzt, wie sie in Abb. 3 gezeigt ist. Hierbei erfolgte aus Gründen der Stabilität sowie der gleichmäßigen Prozessierbarkeit eine chemische Funktionalisierung der zentralen Chitosangarnoberfläche mit dem lactatsensitiven Enzym Lactatoxidase LOx.

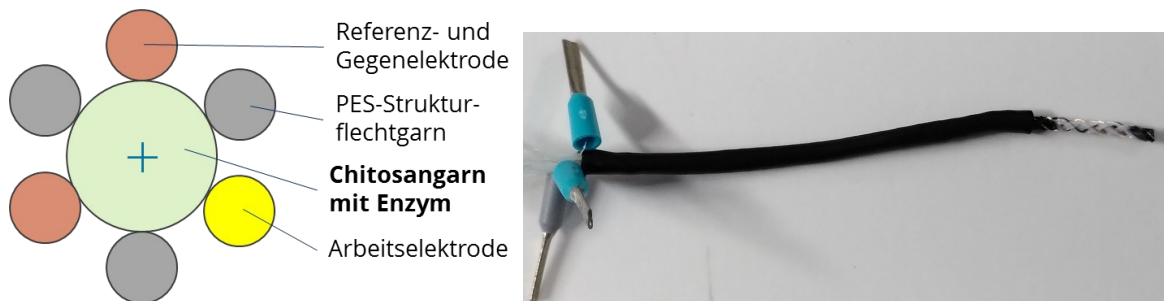


Abb. 3: Textiler Lactatsensor: Schematische Querschnittsdarstellung (links) und realisierte Sensorkonstruktion (rechts)

Im Rahmen von Labor- und anwendungsnahen Untersuchungen (siehe Abb. 4) erfolgte eine umfassende messtechnische Analyse der entwickelten Sensoren. Exemplarische Ergebnisse sind in Abb. 5 zu sehen, die eine sehr hohe Korrelation von Referenzmessungen bzw. definiert vorgegebenen Lactatkonzentrationen mit den Sensorsignalen aufzeigen.

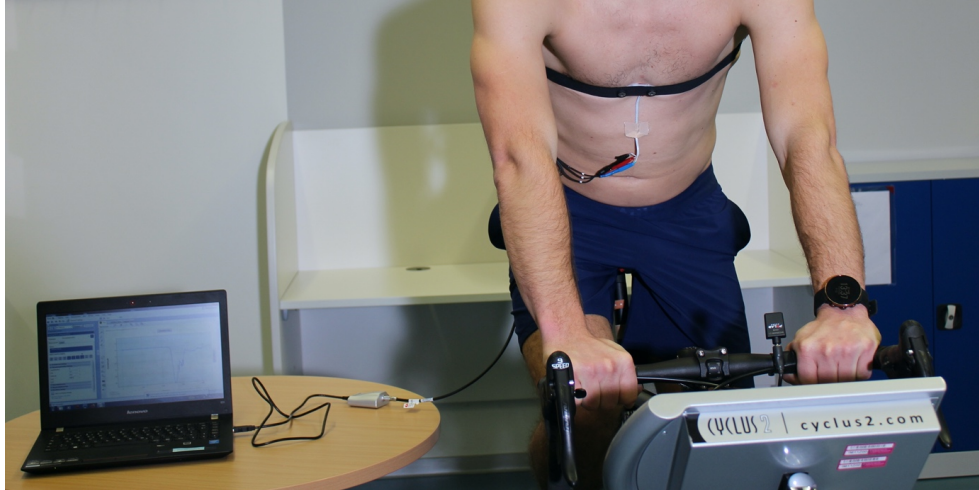


Abb. 4: Messsetup zur Analyse der Einsatztauglichkeit der entwickelten Sensoren unter anwendungsnahen Bedingungen

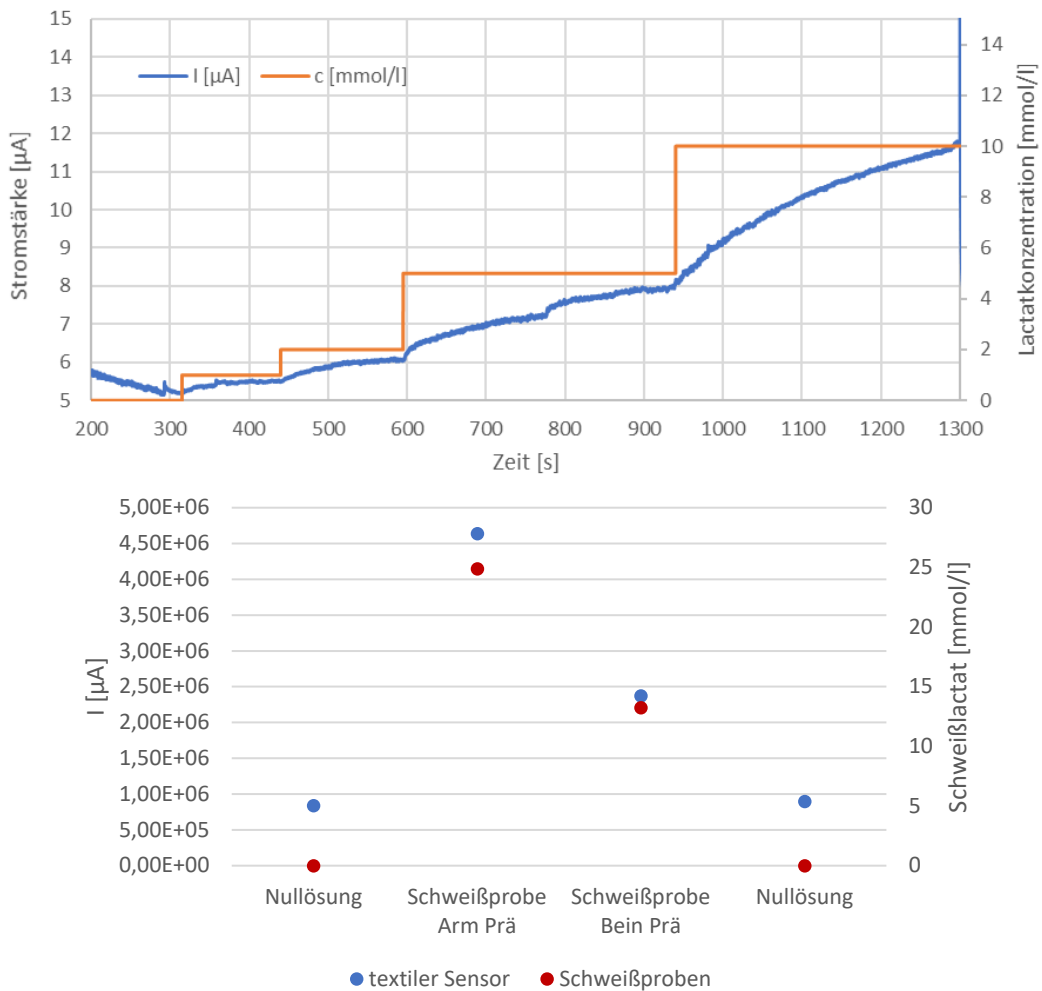


Abb. 5: Sensorqualifizierung (der textilen Konfiguration): Sensorsignal bei definiert vorgegebenen Lactatkonzentrationen unter Laborbedingungen (oben) und Abgleich mit Referenzmesssystem bei anwendungsnahen Versuchen (unten)

In Summe der Ergebnisse zeigt sich, dass die textilen Sensoren unterschiedliche Lactatkonzentrationen im Medium Schweiß mit hoher Präzision messen können. Ebenfalls wurde der Tragecomfort des textilen Sensors von der Testperson als gut empfunden wurde. Der Sensor war an der Applikationsstelle nicht spürbar und führte nicht zu Einschränkungen im Stufentest. Bezüglich der Sensorstabilität erfolgten umfassenden Stabilitätsuntersuchungen hinsichtlich anwendungsrelevanter Szenarien. Hierbei konnte die angestrebte Querbeeinflussung von $< 10\%$ in den primär als relevant identifizierten Lastfällen (Biege- und Druckbelastung) erfüllt werden.

Hinsichtlich der planaren Sensoren, konnte, wie auch bei den textilen Sensoren eine Messfähigkeit unter anwendungsnahen Bedingungen ermittelt werden. Der Tragecomfort des planaren Sensors wurde von der Testperson ebenfalls als gut angegeben. Zudem zeigten sich diese in der aktuellen Ausbaustufe als noch robuster bei mechanisch induzierten Störeinflüssen.

Im Resultat des Projektes wurde ein Funktionsdemonstrator mit dem entwickelten Lactatsensor, einer tragbaren Armmanschette sowie einem miniaturisierten Auswertesystem auf Basis eines Raspberry Pi Zero mit integrierter Bluetooth-Schnittstelle entwickelt (siehe Abb. 6)

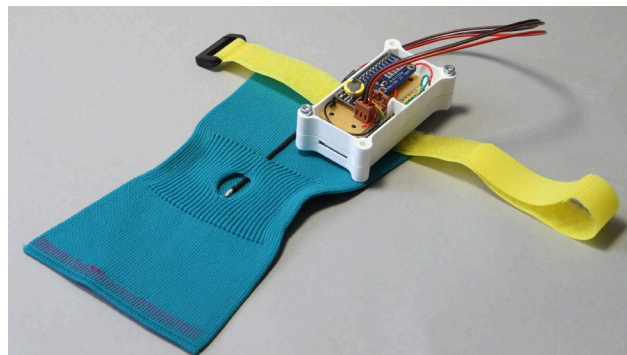


Abb. 6: Funktionsdemonstrator

Schlussfolgerung

Tragbare Sensoren für die kontinuierliche Messung des Lactatwerts im Körperschweiß für die Medizintechnik besitzen das Potential, durch die Erfassung von objektiven Messdaten maßgeschneiderte, effektivere Therapie- und Trainingsmethoden abzuleiten und ermöglichen eine Erweiterung des grundlegenden Verständnisses von der Muskelaktivität im menschlichen Körper.

Es konnte nachgewiesen werden, dass die textilen und planaren Sensoren über ausreichende Messauflösungen von 1 mmol/l (planar) sowie 5 mmol/l (textil) sowie Sensorstabilitäten bei mechanischen Querbeeinflussungen verfügen und somit anwendungsrelevante Anforderungen sogar übertreffen. Bei den prognostizierten Herstellungskosten der Sensoren liegen beide Varianten deutlich unter 20 € . Die hierfür vorgenommene Abschätzung beziehen sich dabei auf eine Kleinserie (bis ca. 1000 Stück). Größere Stückzahlen lassen weitere Kostenreduktionen erwarten.

Danksagung

Das IGF-Vorhaben 20324 BR der Forschungsvereinigung Forschungskuratorium Textil e.V., Reinhardtstr. 12-14, 10117 Berlin wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Der Abschlussbericht und weiterführende Informationen sind am Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstoff-technik der TU Dresden erhältlich.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages