

Methode zur Bestimmung atembasierter Umfangsänderungen

B. Laufer¹, P. D. Docherty², S. Krüger-Ziolek¹, F. Höflinger³, L. Reindl³ und K. Möller¹

¹ Institut für Technische Medizin (ITeM), Hochschule Furtwangen, Villingen-Schwenningen, Deutschland

² University of Canterbury, Christchurch, Neuseeland

³ Institut für Mikrosystemtechnik (IMTEK), Universität Freiburg, Freiburg, Deutschland

Kontakt: b.laufer@hs-furtwangen.de

Kurzfassung: Verschiedene Messsysteme können verwendet werden, um atembasierte Umfangsänderungen am Oberkörper zu ermitteln. Einige davon zeigen jedoch Nachteile auf, weshalb in dieser Studie ein Gurt vorgestellt wird, welcher eine kostengünstige, tragbare und nicht invasive Messung dynamischer Umfangsänderungen erlaubt. Zu dessen Evaluierung wurden Umfangsänderungen mit dem Gurt und parallel dazu mit einem Motion Capture System (Referenz) gemessen. Die Ergebnisse beider Messsysteme zeigten eine hohe Übereinstimmung ($R^2 > 0.99$ und Wurzel der mittleren Fehlerquadratsumme $< 0.81 \text{ mm}^2$). Das vorgestellte System erlaubt eine genaue Messung verschiedener Atemparameter (z.B. Atemfrequenz) und kann für Überwachungsaufgaben im klinischen Umfeld, zu Hause oder während des Sports verwendet werden.

© 2020 Corresponding Author; licensee Infinite Science Publishing GmbH

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. Einleitung

Atembasierte Umfangsänderungen des menschlichen Thorax können mit verschiedenartigen Messsystemen erfasst werden [1]. Hochkomplexe Systeme wie die Magnetresonanztomographie MRT können eingesetzt werden, aber auch sehr einfache Systeme, wie das weitverbreitete Maßband. Der Einsatz jedes dieser Systeme ist jedoch mit Nachteilen verbunden – seien es die hohen Kosten, eine eventuelle Strahlenbelastung, einen eingeschränkten Messbereich oder die Handhabung bei der Bestimmung dynamischer Änderungen.

Die Grundidee einer Atemanalyse über die Bestimmung atembasierter Oberkörperbewegungen geht zurück in die 1960iger und einige spätere Studien verfolgten das gleiche Ziel [2, 3]. Jedoch erlauben erst heute neue sowie verbesserte Sensoren und Sensortechnologien die Entwicklung kostengünstiger und tragbarer Messsysteme, welche in die Kleidung integriert werden können und die Ermittlung einiger Atemparameter ermöglichen [4, 5].

In dieser Studie wird ein nicht invasives und tragbares System (Gurt) vorgestellt, welches dynamische Umfangsänderungen am Oberkörper präzise über optische Encoder erfassen kann. Die ermittelten Umfangsänderungen erlauben Rückschlüsse auf die zugrundeliegende Atemmechanik und können für Überwachungsaufgaben eingesetzt werden.

II. Methoden und Materialien

Zwei optische Encoder Module HEDS-9731-252 2 Kanal 300 CPR (Avago Technologies, San José, California, USA) wurden in den Gurt integriert. Beide Encoder wurden über ein Arduino Mega 2560 Board (ARDUINO.CC und Arduino IDE Version 1.8.8) ausgelesen und die Daten wurden in MATLAB (R2019a, The MathWorks, Natick,

USA) weiterverarbeitet. Die Encoder registrierten die Bewegungen von Taktlinealen (transparente Kunststoffstreifen mit Linienmuster) mit einer Auflösung von 150 lpi (lines per inch), wie in Abb. 1 (oben) zu sehen ist. Die verwendeten Encoder/Taktlineal-Kombination arbeitet hochgenau und wird vielfach in Tintenstrahldruckern zur Druckkopfpositionierung eingesetzt. Durch die verwendeten Taktlineale mit 150 lpi konnte in Bezug auf Umfangsänderungen eine Auflösung des Gurtes von 0.042 mm erreicht werden.

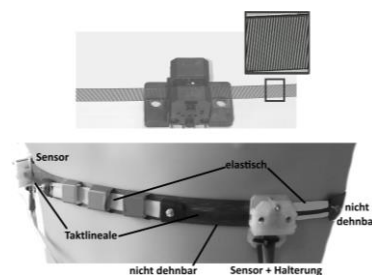


Abb. 1: Encoder mit Taktlineal (oben) und Gurt zur Bestimmung der Umfangsänderung (unten).

Neben den Taktlinealen, Encodern und deren Halterungen, bestand der Gurt aus 3 elastischen und 2 nicht dehnbaren Teilen (siehe Abb. 1). Durch eine spezielle Anordnung dieser Bestandteile wurde erreicht, dass eine atembasierte Umfangsänderung am Oberkörper nahezu vollständig in Bewegungen der Taktlineale durch die Encoder transferiert wurde.

Als Referenz wurde ein VICON Motion Capture System Mocap (Bonita, VICON, Denver, CO) verwendet, welches die Bestimmung der 3D-Koordinaten der 23 verwendeten reflektierenden Markern (Durchmesser 10 mm) erlaubt, welche am Gurt befestigt wurden. Die Bewegungen der

Marker wurden über 9 Infrarot-Kameras (VICON Bonita B10, Firmware Version 404) des Mocap Systems erfasst.

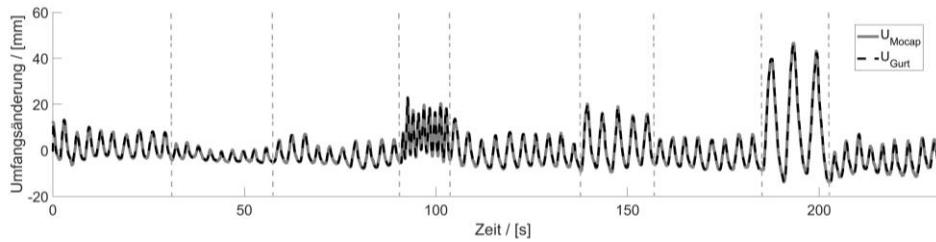


Abb. 2: Umfangsänderung des Gurtes und Umfangsänderung ermittelt über das Mocap, exemplarisch für Teilnehmer 1.

Zur Evaluierung des Gurtes wurden Messungen mit zwei Teilnehmern durchgeführt (Details zu den Teilnehmern sind Tabelle 1 zu entnehmen). Den Teilnehmern wurde der mit Motion Capture Markern versehene Gurt um den Brustkorb gelegt. Anschließend wurden die 3D Koordinaten der 23 Motion Capture Marker über eine Spline Funktion verbunden (*cscvn* Funktion von MATLAB). Die Länge dieser Spline Funktion ergab die Umfangsänderung ΔL_{Mocap} ermittelt durch das Mocap.

Da der Gurt um den Brustkorb gelegt wurde, wurden beide Teilnehmer angewiesen möglichst in Brustatmung Atemzüge mit verschiedenen Tidalvolumina zu atmen, da hierdurch unterschiedliche Umfangsänderungen des Brustkorbs erzeugt werden. Verschiedene Tidalvolumina bedeuten flache und normale Atemzüge, Atemzüge mit erhöhten Tidalvolumina und 3 maximale Atemzüge, jeweils für etwa 30 Sekunden (siehe auch Abb. 2).

Tabelle 1: Teilnehmer

Teilnehmer	Größe	Gewicht	Alter	Geschlecht
1	1.84 m	76 kg	28 Jahre	m
2	1.75 m	62 kg	19 Jahre	m

III. Ergebnisse und Diskussion

Die maximalen Umfangsänderungen des Gurtes $\Delta L_{Gurt,max}$ und $\Delta L_{Mocap,max}$, welche über das Mocap System ermittelt wurden, sind in Abb. 2 exemplarisch für Teilnehmer 1 dargestellt. Durch die Annahme, dass unterschiedliche Tidalvolumina mit den daraus resultierenden Umfangsänderungen korrelieren, sind die einzelnen Atemmanöver in Abb. 2 ersichtlich. Für die Evaluierung des Gurtes wurden die Wurzel der mittleren Fehlerquadratsumme RMSE und das Bestimmtheitsmaß R^2 über die gesamte Messperiode berechnet und in Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 2: Ergebnisse der Evaluierung

Teilnehmer	$\Delta L_{Mocap,max}$ [mm]	$\Delta L_{Gurt,max}$ [mm]	RMSE [mm]	R^2
1	74	78	0.48	0.997
2	57	56	0.81	0.993

Die Ergebnisse aus Tabelle 2 zeigen, dass der Gurt in der Lage ist, Umfangsänderungen am Oberkörper in einer hohen Genauigkeit zu messen. Ein R^2 von mehr als 0.99 und ein RMSE kleiner 0.81 mm über die gesamte Messung zeigten, dass der Gurt selbst kleinste Atembewegungen erfassen kann. Die Stärke der Rückstellkräfte der elastischen Bestandteile des Gurtes ist ein Kompromiss. Je größer die Rückstellkräfte, umso enger liegt der Gurt am Körper und umso höher ist die Genauigkeit der Messung.

Wird jedoch eine zu hohe Rückstellkraft gewählt, wirkt eine Kraft auf den Oberkörper, die als einengend empfunden wird und das Ergebnis der Messung verfälscht, da unbewusst die Atmung verändert wird. Somit muss eine Rückstellkraft in einem Bereich gewählt werden, dass der Gurt gut am Oberkörper anliegt, die Spannung jedoch nicht als unangenehm empfunden wird. Des Weiteren können Reibungskräfte unter dem Gurt eine Rolle spielen, Verschiebungen des Gurtes auf der Haut konnten jedoch nur bei maximalen Atemzügen beobachtet werden und können bei normaler Atmung vernachlässigt werden.

Weitere Messungen mit einer größeren Anzahl von Teilnehmern sollten durchgeführt werden und über Messungen mit mehreren Gurten am Oberkörper könnten mittels mathematischer Modelle Rückschlüsse über die geatmeten Tidalvolumina erhalten werden.

IV. Schlussfolgerung

Der vorgestellte Gurt ist in der Lage atembasierte Umfangsänderungen am Oberkörper zu messen und kann somit zur Bestimmung von Atemparametern, wie die Atemfrequenz, angewandt werden. Hierdurch kann der Gurt zu Überwachungs- und Monitoring-Zwecken im klinischen Umfeld, zu Hause oder im Leistungssport eingesetzt werden.

DANKSAGUNG UND Stellungnahme der Autoren

Diese Arbeit wurde unterstützt durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), „MOVE“ (Fördernummer 13FH628IX6) und das Landesförderprogramm kooperativer (Einzel-) Promotionen, HAW-Prom. Interessenkonflikt: Die Autoren bestätigen, dass kein Interessenskonflikt besteht. Einverständniserklärung: Von allen an dieser Studie beteiligten Personen wurde eine Einverständniserklärung eingeholt. Ethische Zulassung: Die Forschung in Bezug auf den menschlichen Gebrauch entspricht allen relevanten nationalen Vorschriften und institutionellen Richtlinien und wurde in Übereinstimmung mit den Grundsätzen der Helsinki-Erklärung durchgeführt.

REFERENZEN

1. Utkualp, N. and I. Ercan, *Anthropometric Measurements Usage in Medical Sciences*. BioMed Research International, 2015. **2015**: p. 404261.
2. Konno, K. and J. Mead, *Measurement of the separate volume changes of rib cage and abdomen during breathing*. J Appl Physiol, 1967. **22**(3): p. 407-22.
3. Weinberg, G.M. and J.G. Webster, *Measuring human ventilation for apnoea detection using an optical encoder*. Physiological measurement, 1998. **19**(3): p. 441-446.
4. Gaidhani, A., et al., *Extraction and Analysis of Respiratory Motion Using Wearable Inertial Sensor System during Trunk Motion*. Sensors (Basel, Switzerland), 2017. **17**(12): p. 2932.
5. Karacocuk, G., et al., *Inertial Sensor-Based Respiration Analysis*. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2019: p. 1-8.