

## **Evaluation eines Assistenzsystems zur Messung von Belastung und Beanspruchung am Arbeitsplatz mittels ausgewählter Wearables**

Katharina RÖNICK, Christopher STOCKINGER, Ilka ZÖLLER

*Institut für Arbeitswissenschaft, Technische Universität Darmstadt  
Otto-Berndt-Straße 2, D-64287 Darmstadt*

**Kurzfassung:** Der Wandel der Digitalisierung hat Einfluss auf die betriebliche Prävention. Digitale Assistenzsysteme bieten die Möglichkeit, bei der gesundheitsfördernden Arbeitsprozessgestaltung zu unterstützen. Im Rahmen eines Forschungsprojektes wurde ein Prototyp zur Messung und Wiedergabe von Belastungen und Beanspruchungen entwickelt. Die notwendigen Daten werden mithilfe ausgewählter Wearables erhoben. Der vorliegende Beitrag erläutert das Vorgehen zur Entwicklung und Evaluation des Assistenzsystems. Mittels verschiedener Methoden wurde die Eignung der Wearables zur Aufzeichnung der Belastungs- und Beanspruchungsdaten untersucht sowie die Benutzeroberfläche des Assistenzsystems evaluiert. Anhand der Untersuchung wurden Potenziale und Schwachstellen des entwickelten Prototyps identifiziert.

**Schlüsselwörter:** digitale Assistenz, betriebliche Prävention, Prototyp, Wearables, Evaluation

### **1. Einleitung**

Der digitale Wandel der Arbeitswelt verändert auch die Belastungen und Beanspruchungen der Mitarbeiter. Für Betriebe wird die betriebliche Prävention, also die sichere, nachhaltige und gesunderhaltende Arbeitsprozessgestaltung, daher immer wichtiger (Cernavin et al. 2018). Prinzipien der Prävention müssen sowohl menschliche, technische als auch organisatorische Faktoren berücksichtigen und könnten sich dahingehend ändern, dass der Mitarbeiter befähigt wird, seinen Arbeitsplatz eigenständig gesundheitsgerecht zu gestalten (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung 2016). Um dies zu erreichen, können digitale Assistenzsysteme zur Gesundheitsförderung eingesetzt werden. Im Falle der Verhaltens- und Verhältnisprävention könnten diese Systeme Belastungs- und Beanspruchungsdaten aufzeichnen, verarbeiten und Informationen zur Ableitung präventiver Maßnahmen liefern.

Zur Aufzeichnung solcher Daten bieten sich sogenannte Wearables an. Sie sind einfach anzulegen und stören während der Ausführung von Arbeitstätigkeiten nicht. Unter Wearables werden mobile Minicomputersysteme verstanden, die in alltägliche Kleidungsstücke oder Accessoires integriert sind. Wearable Systeme bestehen aus mehreren Wearables, die am Körper getragen werden. Sie unterstützen den Nutzer bei Aufgaben im Alltag, ohne dass der Anwender ihre Nutzung bewusst wahrnimmt (Dvorak 2008).

Im Rahmen eines Projektes wurde ein Prototyp für ein Assistenzsystem unter Verwendung von Wearables entwickelt. Ziel des Prototyps ist die Messung und Wiedergabe von Belastungen und Beanspruchungen während der Ausführung einer

Arbeitsaufgabe im produzierenden Bereich. Im Rahmen einer Studie mit 10 Probanden wurde anschließend eine Evaluation des Prototyps durchgeführt. Hierbei wurde die Nutzung der Wearables und die Gestaltung der Benutzeroberfläche untersucht.

## 2. Methodik der Entwicklung und Evaluation des Prototyps

Die Entwicklung des Prototyps erfolgte nach dem menschenzentrierten Gestaltungsprozess nach DIN EN ISO 9241-210. Zu Beginn der Entwicklung wurde eine Marktanalyse durchgeführt, um geeignete Wearables für eine ergonomische Arbeitsplatzanalyse zu ermitteln. Hierbei wurde auch darauf geachtet wie und in welchem Format die aufgezeichneten Daten zur Verfügung stehen, um eine Verarbeitung der Daten zu ermöglichen. Außerdem müssen die verwendeten Wearables für die Anwendung im Produktionsumfeld geeignet sein.

Als Nutzergruppe des Assistenzsystems wurden zum einen die Mitarbeiter am Arbeitsplatz, zum anderen Experten zur Bewertung und Ableitung von Präventionsmaßnahmen festgelegt. Der Mitarbeiter wird das System, also die Wearables, am Körper tragen und sieht auf einer Benutzeroberfläche eine für ihn ausgewählte Ansicht der erhobenen Daten als Übersicht über den Arbeitstag. Der Experte hingegen benötigt eine detailliertere Darstellung, welche alle Daten der Beanspruchungsmessung enthält. Die Datensätze kann der Experte auswerten und weiterverarbeiten bzw. Maßnahmen ableiten. Der Fokus dieser Untersuchung liegt auf dem Konzept des Assistenzsystems für den Mitarbeiter, die Benutzeroberfläche für den Experten wurde nicht betrachtet.

Allgemein soll das entwickelte Assistenzsystem für den Mitarbeiter die Belastung und Beanspruchung während der Arbeit in der Produktion überwachen und dabei die jeweilige Beanspruchung messen. Hierdurch kann beispielsweise bestimmt werden, ob die Arbeit körperlich zu anstrengend ist oder Hilfsmittel benötigt werden. Folgende Aufgaben soll das System explizit erfüllen:

- kontinuierliche Erfassung und Speicherung der Beanspruchungskenngrößen
- Datenanalyse und Datenverarbeitung
- Ausgabe der Daten, zumindest ausschnittsweise, in einer für den Nutzer verständlichen Form

Nach der Festlegung des Nutzungskontextes wurde eine Anforderungsliste für das Assistenzsystem erarbeitet. Hierbei wurden Anforderungen zu Nutzer, Funktionalität, Datenverarbeitung, Komfort, Flexibilität, Kompatibilität und Bedienbarkeit definiert. Auf Basis des Nutzungskontextes und der Anforderungen wurde anschließend ein Prototyp des Assistenzsystems entwickelt. Anschließend wurde eine Benutzeroberfläche entwickelt, die die aufgezeichneten Daten verarbeitet und anzeigt.

Ziel der Evaluierung war die Bewertung der Auswahl der Wearables sowie die Gestaltung der Benutzeroberfläche. Um eine detaillierte Einschätzung der Eignung der genutzten Wearables aus Sicht der Probanden zu erhalten wurde ein halbstrukturiertes Interview durchgeführt. Das Interview gliederte sich in drei Teile. Zuerst wurden Fragen zur Vorerfahrung der Probanden im Umgang mit Wearables gestellt. Im zweiten Teil sollten die Probanden Fragen zum Tragen der Wearables beantworten. Im dritten Teil des Interviews wurde die Gesamteinschätzung bzw. Akzeptanz gegenüber dem Prototyp erfasst. Zu Beginn des Interviews wurde eine anschauliche, mit Beispielen erläuterte Definition von Wearables eingeführt, um Missverständnisse zu

vermeiden und einen einheitlichen Wissensstand unter den Probanden zu schaffen. Um die Benutzeroberfläche zu evaluieren, wurde die Methode des Lauten Denkens nach Ericsson & Simon (1980) angewendet. Die Transkriptionen der Verbalisierungen wurden daraufhin auf Verbesserungspotentiale für das System untersucht. Zehn Probanden, drei weibliche und sieben männliche Personen, nahmen an der Evaluation teil. Das durchschnittliche Alter lag bei 25,5 Jahren. Die Probanden trugen die Wearables 40 Minuten und führten dabei eine simulierte Montage- sowie eine simulierte Logistikaktivität aus. Vor und nach den Tätigkeiten agierten sie mit der Benutzeroberfläche und testeten verschiedene Funktionen, wie An- und Abmeldevorgänge sowie das Abrufen der Auswertung der Messungen.

### 3. Der Prototyp des Assistenzsystems

Das Assistenzsystem ist sensorbasiert und misst die auftretenden Belastungen und Beanspruchungen während der Arbeitszeit. Die Bestandteile des Systems sind in Abbildung 1 dargestellt und werden im Folgenden näher erläutert.

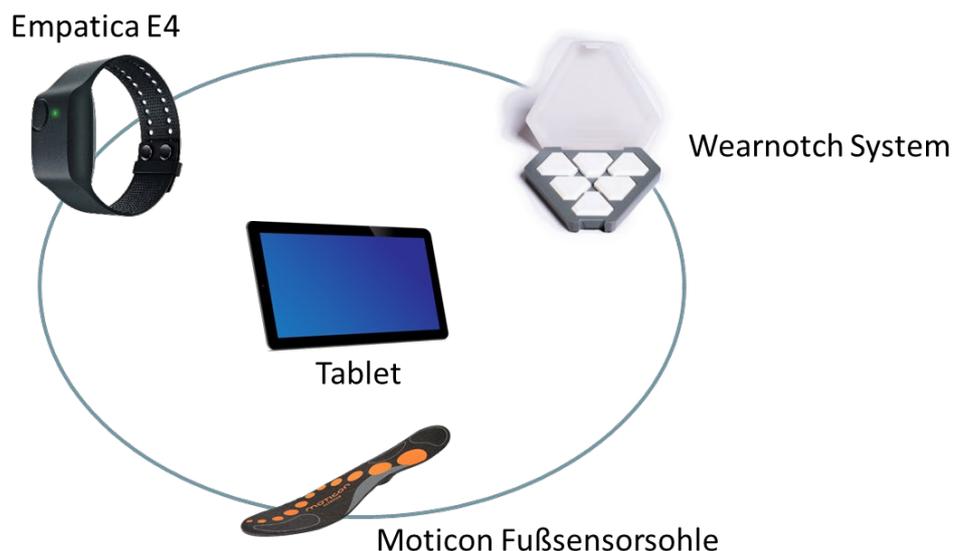


Abbildung 1: Komponenten des Assistenzsystems zur Messung von Belastung und Beanspruchung am Arbeitsplatz

Zur Aufnahme der Belastung werden ein Motion Capture System der Fa. Notch Interfaces Inc. sowie eine Fußsensorsohle der Fa. Moticon GmbH verwendet. Die Messung der Beanspruchung erfolgt mittels eines Wearable Armbandes der Fa. Empatica.

Das tragbare Motion Capture System nimmt Körperbewegungen auf und bildet sie in einer interaktiven 3D-Umgebung ab. Die einzelnen Sensoren sind im Vergleich zu anderen Motion Capture Systemen äußerst klein und leicht. Die Sensoren werden mittels größenverstellbaren Gurten an die zu messende Körperregion angebracht. Jeder Sensor besitzt eine eingebaute inertielle Messeinheit (IMU), die mehrere Inertialsensoren räumlich kombiniert. Diese bestehen aus einem Beschleunigungs-

sensor, einem Gyroskop und einem Magnetometer. Damit können Gelenkwinkel sowie Gelenkbeschleunigung und –geschwindigkeit gemessen werden.

Die Sensorsohle soll Druckverteilung, Kontaktkräfte und Dynamik des menschlichen Fußes erfassen und analysieren. Gleichzeitig werden auch die Schritte gezählt. Die Sohle wird in den Schuh gelegt und ist in verschiedenen Schuhgrößen verfügbar. Das System besteht aus einer intelligenten Schuhsohle, die die Belastungen des Fußes mittels Druck- und Beschleunigungssensoren aufnimmt. Neben den Drucksensoren ermittelt ein 3D-Beschleunigungssensor die Beschleunigung des Fußes und bildet diese in einem kartesischen Koordinatensystem ab.

Das Empatica E4 Armband ist ein tragbares, kabelloses Gerät für die kontinuierliche Aufnahme von Beanspruchungsdaten. Vier Sensoren zeichnen verschiedene physiologischen Daten auf. Mittels Photoplethysmographie wird der Blutvolumenpuls ermittelt. Daraus können Rückschlüsse auf die Herzfrequenz und die Herzfrequenzvariabilität gezogen werden. Edelmetallektroden messen den elektrischen Leitungswiderstand der Haut (elektrodermale Aktivität). Eine Infrarot Thermosäule misst die Hauttemperatur. Daraus können Rückschlüsse auf psychische Zusammenhänge abgeleitet werden (Bruns & Praun 2002). Das 3-Achsen-Accelerometer erfasst die Bewegungsaktivität des Handgelenks.

Die Wearables sind mit einem Tablet verbunden. Hier werden die aufgenommenen Daten gespeichert und dem Mitarbeiter als erste Auswertung über die aufgenommene Zeit dargestellt (vgl. Abbildung 2). Grenzwerte zeigen mögliche kritische Werte der einzelnen Messungen an. Durch Anlegen eines Accounts wird sichergestellt, dass keine andere Person Zugang zu den aufgezeichneten Daten erhält. Meldet sich ein Experte als Nutzer in das Assistenzsystem an, erhält er die aufgezeichneten Daten anonymisiert und auf den aufgezeichneten Arbeitsplatz bezogen. Diese kann er mit Unterstützung des Assistenzsystems konkret auswerten und Maßnahmen zum weiteren Vorgehen ableiten.

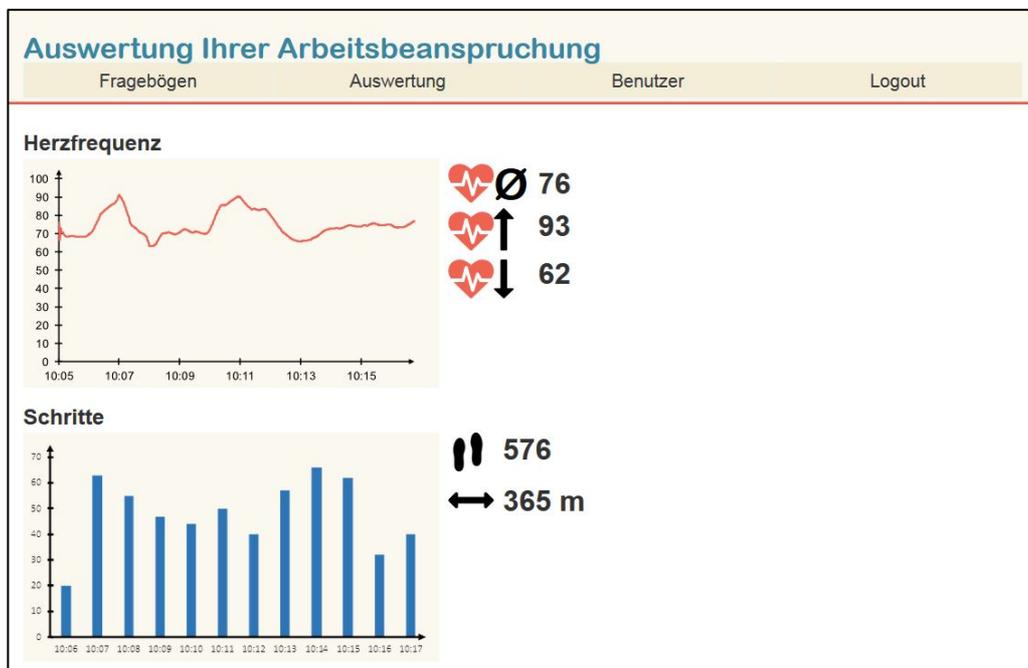


Abbildung 2: Darstellung der Benutzeroberfläche des Assistenzsystems am Beispiel der Auswertung

#### 4. Ergebnisse der Evaluation

Das halbstrukturierte Interview lieferte folgende Ergebnisse: Vier der zehn Probanden war der Begriff Wearables bereits vor den Versuchen bekannt, vier Probanden kannten Wearables vor dem Versuch noch nicht. Zwei Probanden hatten zwar eine grobe Vorstellung von dem Thema, kannten aber nicht zwangsweise den Begriff an sich. 80% der Probanden hat noch nie Wearables selbst getragen, auch nicht probeweise. Alle Vorerfahrungen mit Wearables beschränken sich auf die Verwendung von Fitnessarmbändern bzw. Brustgurten zur Pulsmessung. Bezogen auf das Tragen der Wearables gaben alle Probanden an, dass sie die Geräte bei der Ausführung der Arbeitsaufgaben nicht eingeschränkt haben. Trotzdem gaben drei Personen an, dass die Ausführung der Aufgabe ihnen ohne die Geräte zumindest teilweise leichter gefallen wäre. Bezüglich des Komforts beim Tragen empfanden 60% der Probanden die Geräte als auf Dauer unkomfortabel. Die häufigsten Gründe bei den negativen Einstufungen des Komforts waren das Drücken der Bänder von Notch und Empatica sowie das der eingelegten Sensorsohlen. Neun der zehn Probanden sahen ein Problem darin, die Geräte acht Stunden am Stück zu tragen. Bei der Gesamteinschätzung des Prototyps gaben vier Probanden an, das System gerne verwendet zu haben. Sechs Personen hat die Verwendung des Assistenzsystems Spaß gemacht. Als Begründung für die positive Wahrnehmung wird das Erleben einer neuen Erfahrung genannt, das System wird vom Großteil der positiv Reagierenden als interessant empfunden. Alle Probanden halten die Verwendung des Assistenzsystems prinzipiell für eine eher gute Idee. Allerdings empfanden 80% der Probanden das Assistenzsystem als nicht ausreichend ausgereift. Gründe hierfür waren der mangelnde Komfort der Wearables, fehlgeschlagene Messungen bzw. Verbindungsversuche mit den Geräten und die Benutzeroberfläche.

Die Evaluation der Benutzeroberfläche zeigte Probleme bei der Positionierung mehrerer Funktionen auf dem Display auf, da sie bei Verwendung der im Tablet eingeblendeten Tastatur teilweise verdeckt wurden. Bezogen auf die Auswertung der Daten konnten Schwachstellen in der Darstellung der Diagramme für die aufgezeichneten Werte identifiziert werden. Drei der zehn Probanden wünschten sich ein übergreifendes Feedback zu den gesamten Messergebnissen der durch die Wearables aufgezeichneten Daten. Diese Möglichkeit ist aktuell nur der Nutzergruppe des Experten vorbehalten.

#### 5. Fazit

Die Evaluation des Prototyps hat gezeigt, dass das entwickelte Assistenzsystem Potenzial für die Messung von Belastung und Beanspruchung am Arbeitsplatz aufweist. Es erfüllt die Aufgabe der Datenanalyse und Datenverarbeitung. Auch bei der Ausgabe der Daten hatten die Probanden keine Probleme, die angezeigte Auswertung zu interpretieren. Identifizierte Verbesserungspotentiale der Benutzeroberfläche bei der Darstellung der Diagramme können ohne großen Aufwand optimiert werden. Die Anforderungen an Funktionalität, Datenverarbeitung, Flexibilität, Kompatibilität und Bedienbarkeit wurden erfüllt.

Allerdings weist die Nutzung der Wearables Schwachstellen auf, was Tragekomfort und eine konstante Verbindung und Aufzeichnung der Daten angeht. Hier ist zu überlegen, ob Problematiken, wie das Drücken der Bänder, eigenständig optimiert oder alternative Wearabletechniken in Betracht gezogen werden müssen.

Noch nicht betrachtet wurde außerdem die Messgenauigkeit der Wearables gegenüber standardisierten und etablierten Verfahren der Messung von Belastung und Beanspruchung. Hierzu laufen aktuell Untersuchungen am Institut für Arbeitswissenschaft für den Bereich der Motion Capture Systeme.

## 6. Literatur

- Bruns T, Praun N (2002) Biofeedback: Ein Handbuch für die therapeutische Praxis. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen.
- Cernavin O, Schröter W, Stowasser S (Hrsg.) (2018) Prävention 4.0: Analysen und Handlungsempfehlungen für eine produktive und gesunde Arbeit 4.0. Springer, Wiesbaden.
- Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV) (2016) Neue Formen der Arbeit Neue Formen der Prävention: Arbeitswelt 4.0: Chancen und Herausforderungen, Berlin.
- Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN) (2011) Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme (ISO 9241-210:2010): Deutsche Fassung EN ISO 9241-210:2010 13.180; 35.180
- Dvorak JL (2008) Moving Wearables into the Mainstream: Taming the Borg. Springer Science + Business Media LLC, Boston, MA.
- Ericsson KA, Simon HA (1980) Verbal reports as data. Psychological Review 87: 215–251.
- Schulz JS (2012) Zur Bedeutung der Hals- und Nackenmuskulatur beim Tragen von Lasten. Univ. Münster: Institut für Sportwissenschaft, Arbeitsbereich Bewegungswissenschaft, Bachelorarbeit.

**Danksagung:** Ein ganz besonderer Dank gilt Herrn Simon Biffar, Herrn Robin Langer, Herrn Kevin Moritz sowie Frau Nathalie Volz für die konstruktive Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit.



Gesellschaft für  
Arbeitswissenschaft e.V.

## **Arbeit interdisziplinär analysieren – bewerten – gestalten**

65. Kongress der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Professur Arbeitswissenschaft  
Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme  
Technische Universität Dresden

Institut für Arbeit und Gesundheit  
Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung

27. Februar – 1. März 2019

---

## **GfA-Press**

---

**Bericht zum 65. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 27. Februar – 1. März 2019**

**Professur Arbeitswissenschaft, Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme,  
Technische Universität Dresden;  
Institut für Arbeit und Gesundheit, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Dresden**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.  
Dortmund: GfA-Press, 2019  
ISBN 978-3-936804-25-6

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**

**Schriftleitung: Matthias Jäger**

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Konferenzband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Konferenzband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

**Screen design und Umsetzung**

© 2019 fröse multimedia, Frank Fröse

[office@internetkundenservice.de](mailto:office@internetkundenservice.de) · [www.internetkundenservice.de](http://www.internetkundenservice.de)