

## Auswertung einer Expertenurfrage

# Effektivität industrieller Exoskelette

M. Schalk, J. Siegert, U. Schneider, T. Bauernhansl

Exoskelette sind neue ergonomische Hilfen, die körperliche Beanspruchung bei schwerer körperlicher Arbeit senken. Mit der wachsenden Nachfrage nach Exoskeletten wächst auch der Bedarf an neuem Wissen zu Wirksamkeit und Effizienz dieser Systeme. Hierzu wurde eine Expertenbefragung durchgeführt.

## STICHWÖRTER

Mensch und Technik, Schnittstellen, Sensoren

## 1 Einleitung

Der industrielle Einsatz von Exoskeletten wächst seit geraumer Zeit [1]. Grund sind unter anderem die hohen Zahlen von Muskel-Skelett-Erkrankungen, die 2019 mit über 20 % für die meisten Arbeitsunfähigkeitstage in Deutschland verantwortlich waren [2], und dem daraus resultierenden Ausfall von Bruttowertschöpfung. Das wirtschaftliche und allgemeine Interesse an Prävention solcher Krankheitsverläufe ist daher hoch. Mit der wachsenden Nachfrage körpergetragener Assistenzsysteme wächst auch der Bedarf an neuem Wissen zu Wirksamkeit und Effizienz dieser Systeme [3, 4]. Um der Wirksamkeit von Exoskeletten hinsichtlich dieser Präventionsabsicht auf den Grund zu gehen, sind neben aktuellen biomechanischen Studien [5, 6] und subjektiven Befragungen am Arbeitsplatz [7] Forschungsansätze auf dem Gebiet der Leistungsphysiologie sinnvoll.

Der wissenschaftliche Nachweis der Effektivität von Exoskeletten für die körperliche Entlastung am Arbeitsplatz sowie die Bestimmung der individuellen Effizienz rücken somit in den thematischen Fokus. Gleichwohl existiert als weiteres Ziel seitens der Industrie die Steigerung von Produktivität. Daher stellt sich nicht nur die Frage des empirischen Nachweises einer solchen Steigerung, sondern auch die explizite Zuweisung der unter Produktivität verstandenen Parameter und der entsprechenden Effekte von Hilfssystemen. Als zunächst sinnvolle Vorgehensweise, um eine Einschätzung vorhandener Arbeiten von Kollegen in den Bereichen dieser beiden gegenübergestellten Anwendungszwecke in Form von Ansichten, Erfahrungen sowie Bedenken als auch Kritik zu erlangen, wurde eine Expertenurfrage durchgeführt.

## 2 Datenerhebung und Methodik

Auf der Exoskelett-Fachkonferenz „Wearracon Europe 2019“ in Stuttgart wurden mit dem Live-Voting-Werkzeug „VoxVote“

## Effectiveness of exoskeletons – analysis of an expert survey

Exoskeletons are novel ergonomic aids preventing physical overuse resulting from heavy physical labor. With the growing demand of exoskeletons there is a growing need in new knowledge about their effectiveness and efficiency. An expert survey was carried out.

mit insgesamt 50 Teilnehmer eine Expertenurfrage interaktiv durchgeführt. Die Teilnahme an der Umfrage erfolgte anonym und freiwillig und in digitaler Form. Die Fragen wurden durch den Conference Chair vorgetragen und in Echtzeit von den Teilnehmern interaktiv mit deren Endgeräten beantwortet. Somit wurden die Ergebnisse unmittelbar aufbereitet und visualisiert. Dies steigerte nicht nur die Teilnahme an der Umfrage, sondern bot zugleich die Möglichkeit der fachlichen Diskussion.

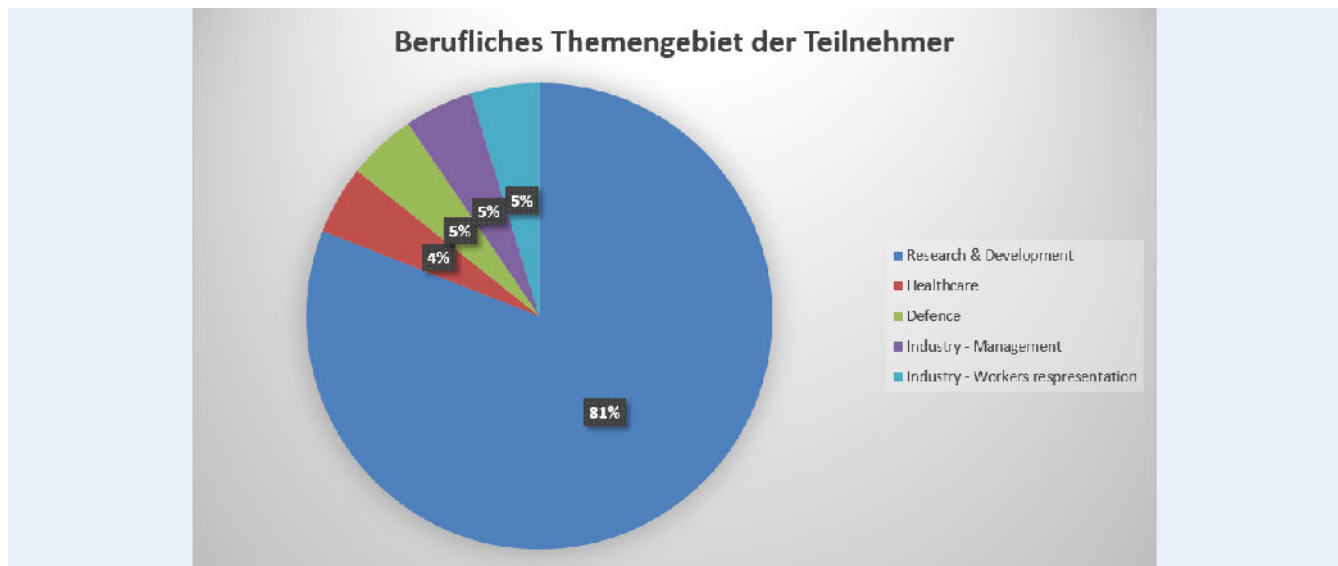
Die Umfrage wurde in zwei Blöcke unterteilt, welche an den beiden aufeinander folgenden Tagen der Konferenz abgehalten wurden.

## 3 Ergebnisse und Analyse

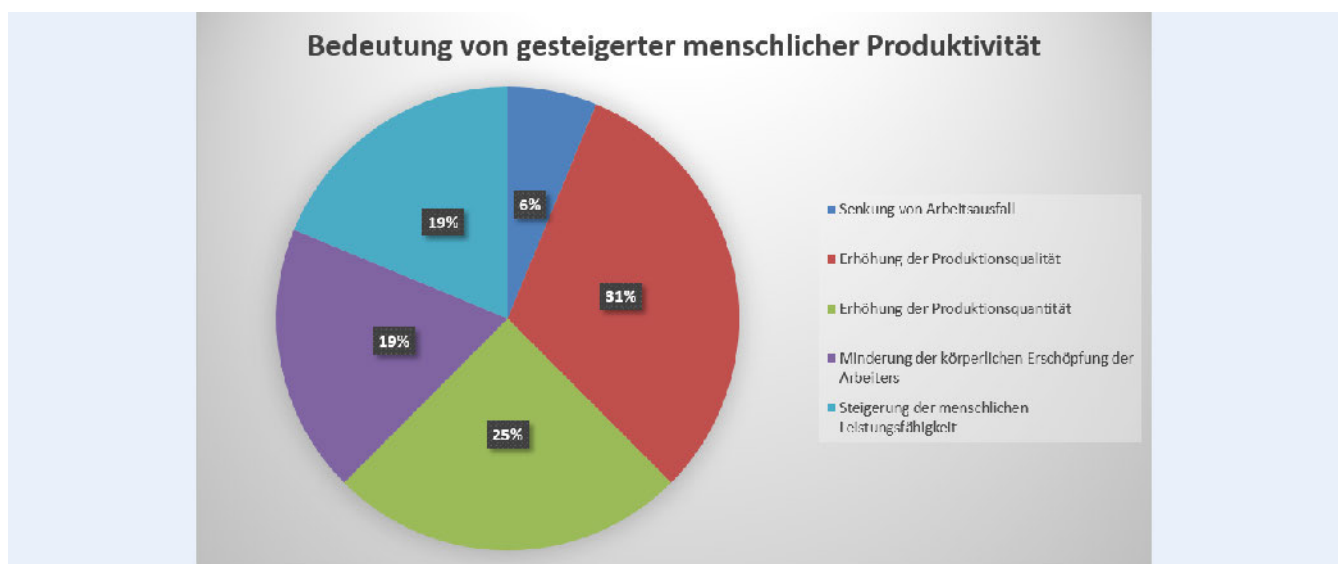
Um eine geeignete Plattform aus dem gewünschten Publikum von Exoskelettexperten zu bekommen, wurde der erste Teil des Live-Votings während der Konferenz-Session „Industrial Exoskeletons – Research“ durchgeführt. Die Teilnehmerzahl der ersten Umfrage lag bei  $n=28$ . Davon gaben 21 Teilnehmer das Themengebiet an, aus dem sie beruflich stammen. Der Großteil der zuordenbaren Teilnehmer stammt mit 81 % wie erwartet aus Forschung und Entwicklung (**Bild 1**).

Eine essenzielle Frage ist die Klärung der angestrebten Ziele, die durch den Einsatz von Exoskeletten in der Industrie erreicht werden sollen. Hier ist eine Gegenüberstellung ergonomischer Prävention und Steigerung der wirtschaftlichen Produktivität relevant. 96 % der Befragten sind davon überzeugt, dass die ergonomische Prävention das Hauptaugenmerk darstellt. Davon sind allerdings 59 % der Meinung, dass ebenso eine Steigerung der wirtschaftlichen Produktivität eine wichtige Rolle spielt. Lediglich 4 % der Befragten sind der Meinung, dass ausschließlich der Produktivitätsaspekt die Nutzung von Exoskeletten rechtfertigt.

Um eine wissenschaftlich stichhaltige Aussage über die Effizienz beziehungsweise generelle Effektivität des Einsatzes von



**Bild 1.** Beruflicher Hintergrund der befragten Teilnehmer, erster Kongresstag (n=21). Bild: Fraunhofer IPA / Universität Stuttgart IFF



**Bild 2.** Zusammensetzung der Faktoren von industrieller Produktivität unter Verwendung von Exoskeletten (n=16). Bild: Fraunhofer IPA / Universität Stuttgart IFF

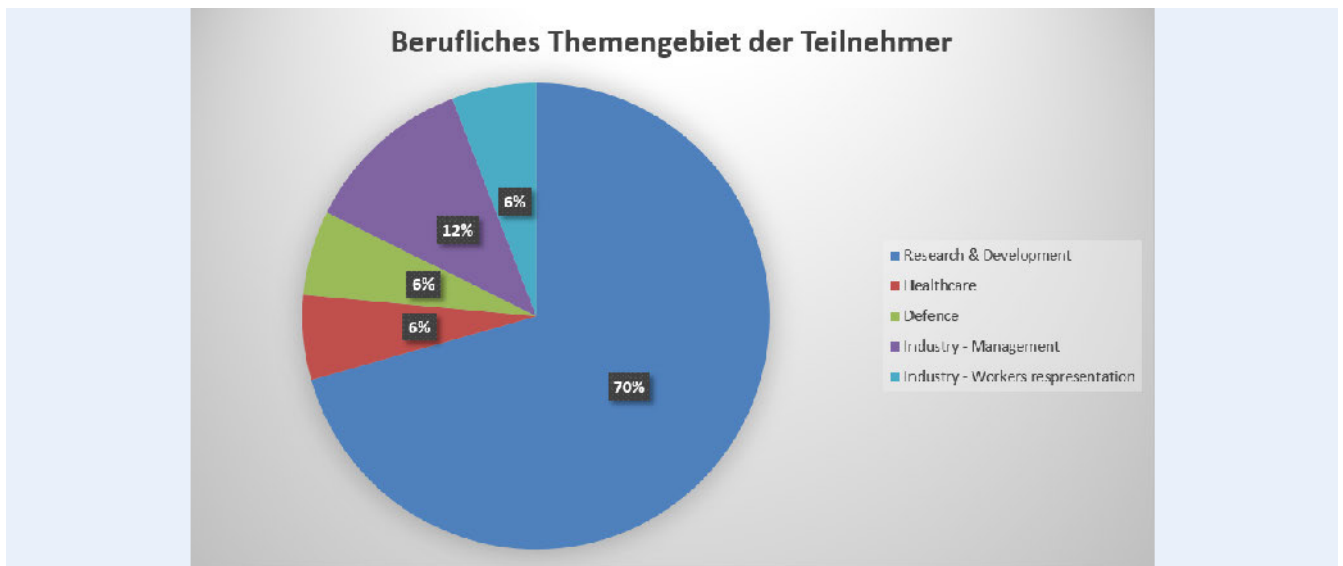
Exoskeletten treffen zu können, ist die Erhebung von physiologischen Parametern eine denkbare Möglichkeit. Auf die Frage, ob diese Erhebung von personenbezogenen, physiologischen Parametern, mit dem Ziel, Arbeitsplätze auf lange Sicht sicherer zu gestalten, vertretbar sei, antworteten 80 % der Befragten mit „ja“. Für nicht vertretbar halten es ausschließlich Experten aus dem Feld der Forschung und Entwicklung, die angaben, dass Exoskelette zur ergonomischen Prävention beitragen können. Hieraus lässt sich ableiten, dass bei 20 % der Befragten die Unversehrtheit von persönlichen Daten eine größere Rolle spielt als die potenzielle Prävention ergonomisch bedingter körperlicher Schäden. Auf welchen Punkten diese Bedenken genau fußen und was gegen eine solche Erhebung spricht, war Teil der zweiten Befragung.

Ein empirischer Nachweis, dass die wirtschaftliche Produktivität unter der Verwendung von Exoskeletten profitiert, würde die Attraktivität dieser Systeme aus Firmensicht erheblich steigern. Somit stellt sich die Frage, ob ein körpergetragenes Unterstützungssystem, welches primär dazu ausgelegt ist, den Träger vor

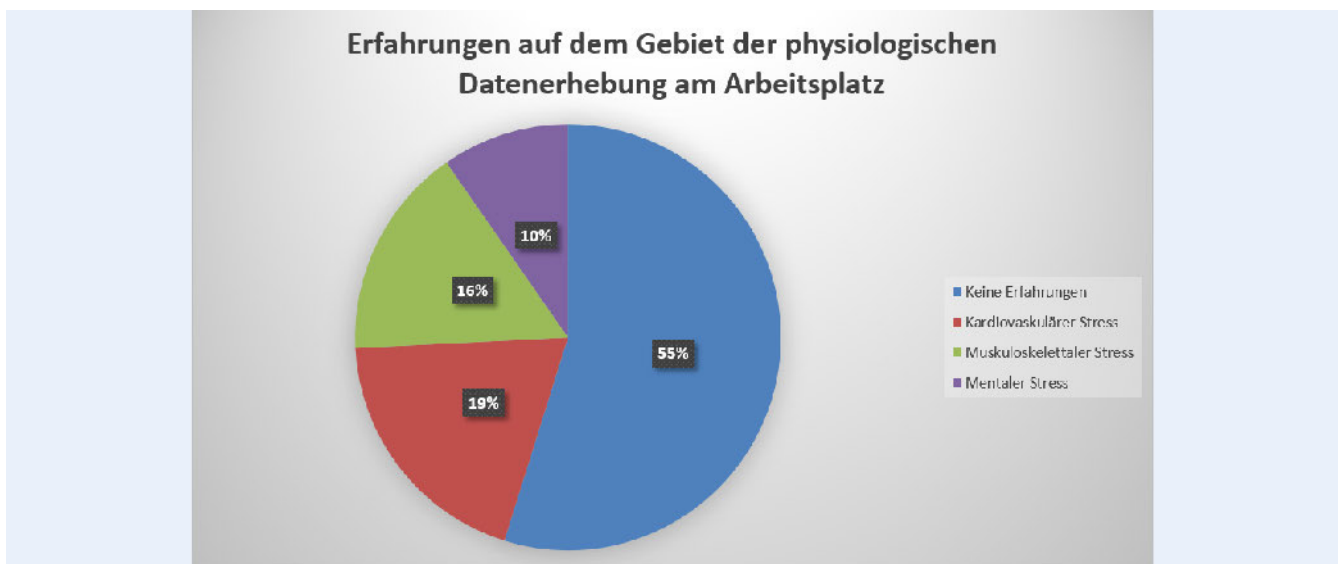
Spätfolgen einer berufsbedingten, sich wiederholenden Überbelastung zu schützen [8], überhaupt in der Lage ist, eine wirtschaftlich wertvolle produktive Steigerung zu generieren. 96 % der befragten Experten sind der Meinung, dass ein in der industriellen Produktion getragenes Exoskelette dazu in der Lage ist. Hier ist aber noch nicht ersichtlich, aus welchen Bestandteilen sich diese vermutete, gesteigerte Produktivität exakt zusammensetzt. Um die Faktoren konstruktiv nutzen zu können und die vermeintliche wirtschaftliche Bedeutung der Hilfssysteme weiterführend zu belegen, müssen diese klar benannt werden.

Aus Expertensicht sind zwei Felder im Fokus: zum einen die Verbesserung der Qualität des zu produzierenden Gutes mit 31 % und zum zweiten eine Erhöhung der produzierten Stückzahlen in dem gleichen Zeitraum mit 25 % (**Bild 2**).

Am zweiten Kongresstag fand die Befragung während der Session „Industrial Exoskeletons – Solution“ statt. Die Anzahl der teilnehmenden Experten lag bei n = 22. Davon gaben 17 Teilneh-



**Bild 3.** Beruflicher Hintergrund der befragten Teilnehmer, zweiter Kongresstag (n=21). Bild: Fraunhofer IPA / Universität Stuttgart IFF



**Bild 4.** Erfahrung führender Exoskelette-Experten auf dem Gebiet der leistungsphysiologischen Datenerhebung an Arbeitsplätzen (n=31). Bild: Fraunhofer IPA / Universität Stuttgart IFF

mer das Themengebiet an, aus dem sie beruflich stammen (**Bild 3**).

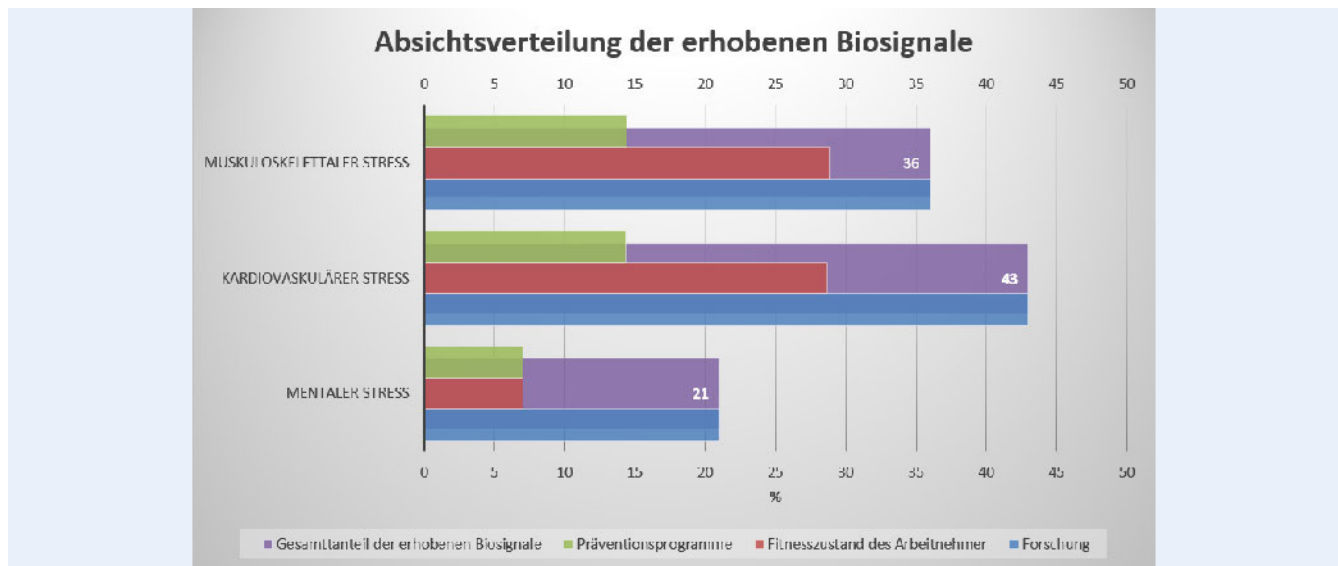
Erneut gehört der Großteil der zuordenbaren Teilnehmer mit 70%, zur Forschung und Entwicklung. Der Bereich industrielles Management ist mit 12% innerhalb des Live-Votings am zweiten Kongresstag etwas stärker vertreten.

Wie oben beschrieben, wird die Fragestellung der Erhebung von personenbezogenen, physiologischen Daten an dieser Stelle aufgegriffen. Aufbauend auf der mehrheitlichen Meinung, dass dies zur Verbesserung der Sicherheit am Arbeitsplatz vertretbar sei, interessiert die Autoren der Studie, welche Erfahrungen auf diesem Gebiet bereits bestehen. Die befragte Mehrheit mit 55% verfügt über keinerlei Erfahrungswerte oder Forschungsansätze auf diesem Gebiet.

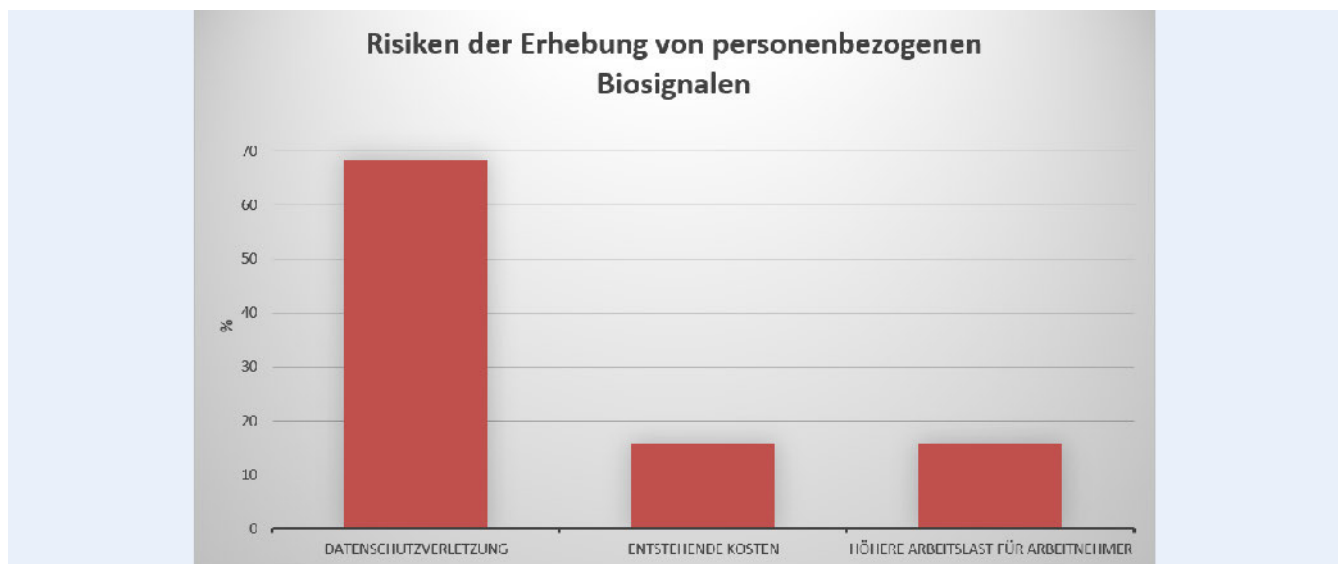
Darüber hinaus gaben 19% an, dass sie bereits Erkenntnisse im Bereich des kardiovaskulären Stresses haben. Soweit ersichtlich, beschränkt sich dies auf die Ableitung gewöhnlicher EKG

(Elektrokardiogramm)-Potenziale und konventioneller Blutdruckmessung. Weitere 16% haben oder hatten Berührungspunkte mit muskuloskeletalem Stress (**Bild 4**). In Verbindung mit Exoskeletten ist dies die Ableitung von EMG (Elektromyographie)-Potenzialen, die primär Versuchsreihen zur Ansteuerung von Hilfssystemen durch Abgreifen gezielter Muskelpotenziale dienen [9]. Auch wird die Bestimmung von EMG-Potenzialen für den Versuch herangezogen, die fokale Muskelbeanspruchung zu beurteilen [10].

Die unterschiedlichen Motivationen zum Erheben der genannten Biosignale lassen sich in mehrere Kategorien unterteilen. Alle Befragten gaben an, dass die Datenerhebung dem Zweck der Forschung dient. Durch multioptionale Antwortmöglichkeiten innerhalb der Befragung können diese Segmente allerdings entflochten und der „Erfassen des Fitnesszustandes“ sowie den „Präventionsprogrammen“ präziser zugeordnet werden.



**Bild 5.** Intention der Erhebung von leistungsphysiologischen Parametern an Arbeitsplätzen (n=15). Bild: Fraunhofer IPA / Universität Stuttgart IFF



**Bild 6.** Negative Aspekte und Risiken bei der Erhebung von personenbezogenen Biosignale an Arbeitsplätzen (n=17). Bild: Fraunhofer IPA / Universität Stuttgart IFF

Auch bei der Erfassung leistungsphysiologischer Parameter zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen gibt es negative Aspekte, die in Betracht gezogen werden müssen. Diese Risiken wurden bereits bei der Durchführung des ersten Fragenkatalogs angedeutet, als 20 % der Befragten diese Art der Datensammlung für nicht vertretbar hielten (**Bild 5**).

Das größte Risiko mit circa 68 % sehen die Befragten bei der Verletzung der Datenschutzrichtlinien. Dieser Punkt wird vor allem von forschender Seite als bedenklich eingestuft. Wenn auch nicht so stark ausgeprägt, werden dennoch die entstehenden Kosten durch eine solche Datenerhebung, welche sich negativ auf die wirtschaftliche Komponente der Industrie auswirken können, mit circa 16 % benannt. Ein ebenso nicht zu unterschätzendes Risiko, das die befragten Experten sehen, ist die Gefahr einer höheren physischen Arbeitslast für die Arbeitnehmer, die durch das Tragen von Exoskeletten eine höhere Leistungsfähigkeit generieren (**Bild 6**).

Der wesentliche Gesichtspunkt, in dem sich die Mehrheit der Anwesenden einig war, ist der personenbezogene Datenschutz. Ein vorhandenes Potenzial hin zum Missbrauch ist unbestreitbar, weshalb jegliche Ausprägung präventiv vermieden werden muss. Dies stößt einheitlich auf ein klares Einverständnis.

## 4 Ausblick

Zusammenfassend lassen sich aus dieser Studie zwei Schlussfolgerungen ziehen, die zugleich mögliche Ausgangspunkte für anknüpfende oder weiterführende Forschung bilden.

1. Die Mehrheit der Befragten sieht zusätzlich zum präventiven Nutzen ein Potenzial zur Steigerung der industriellen Produktivität durch die Nutzung von Exoskeletten. Das Steigerungspotenzial der Produktivität in genannter Form lässt allerdings auch Bedenken laut werden. Die Steigerung der Quantität des

industriellen Outputs könnte missverständlich in den Fokus rücken.

2. Um die Forschung auf dem Gebiet der Leistungsphysiologie zur Bewertung der körperlichen Beanspruchung, körperlichen Erschöpfung und körperlicher Reserven auszubauen, ist die Ableitung, Analyse und Archivierung personenbezogener Biosignale unabdingbar. Obwohl sich die befragten Experten zum Großteil einig sind, dass der Nutzen überwiegt, ist das Risiko des Missbrauchs dieser Daten nicht zu verleugnen. Ein grundlegendes Element, auf dem zu Beginn jeder derartigen Studie das Augenmerk liegen muss, ist die Sensibilität und der daraus resultierende essenzielle Schutz dieser Daten in jeglicher Form.

## Literatur

- [1] Exoskeleton Market Size, Analysis | Industry Growth Report, 2027. Stand: 21.01.2021. Internet: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/exoskeleton-market>. Zugriff am 21.01.2021
- [2] Marschall, J.; Hildebrandt, S.; Kleinlercher, K.-M. et al.: DAK Gesundheitsreport 2020. Stress in der modernen Arbeitswelt. Sonderanalyse: Digitalisierung und Homeoffice in der Corona-Krise. Heidelberg: medhochzwei Verlag 2020
- [3] Kim, S.; Nussbaum, M. A.; Mokhlespour Esfahani, M. I. et al.: Assessing the influence of a passive, upper extremity exoskeletal vest for tasks requiring arm elevation: Part II – „Unexpected“ effects on shoulder motion, balance, and spine loading. *Applied ergonomics* 70 (2018), pp. 323–330
- [4] Glitsch, U.; Bäuerle, I.; Hertrich, L. et al.: Biomechanische Beurteilung der Wirksamkeit von rumpfunterstützenden Exoskeletten für den industriellen Einsatz. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 74 (2020) 4, S. 294–305
- [5] Looze, M. P. de; Bosch, T.; Krause, F. et al.: Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. *Ergonomics* 59 (2016) 5, pp. 671–681
- [6] Singer, R.; Maufroy, C.; Schneider, U.: Automatic support control of an upper body exoskeleton – Method and validation using the Stuttgart Exo-Jacket. *Wearable Technologies* 1 (2020) e2. DOI: <https://doi.org/10.1017/wtc.2020.1>
- [7] Luger, T.; Cobb, T. J.; Seibt, R. et al.: Subjective Evaluation of a Passive Lower-Limb Industrial Exoskeleton Used During simulated Assembly. *IJSE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors* 4 (2019) 3, pp. 1–10
- [8] Theurel, J.; Desbrosses, K.: Occupational Exoskeletons: Overview of Their Benefits and Limitations in Preventing Work-Related Musculoskeletal Disorders. *IJSE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors* 7 (2019) 3–4, pp. 264–280
- [9] Treussart, B.; Geffard, F.; Vignais, N. et al.: Controlling an upper-limb exoskeleton by EMG signal while carrying unknown load. 2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Paris, France, 2020, pp. 9107–9113
- [10] Bosch, T.; van Eck, J.; Knitel, K. et al.: The effects of a passive exoskeleton on muscle activity, discomfort and endurance time in forward bending work. *Applied Ergonomics* 54 (2016), pp. 212–217



**Marco Schalk**, M.Sc.  
Bild: Rainer Bez

Prof. Onorific Dipl.-Ing. **Jörg Siegert**

Dr. med. **Urs Schneider**

Prof. Dr.-Ing. **Thomas Bauernhansl**

Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb IFF  
Universität Stuttgart  
Allmandring 35, 70569 Stuttgart  
Tel. +49 711 / 970-1577  
[marco.schalk@iff.uni-stuttgart.de](mailto:marco.schalk@iff.uni-stuttgart.de)  
[www.iff.uni-stuttgart.de](http://www.iff.uni-stuttgart.de)