
CHANCEN UND RISIKEN VON AKTIVEN EXOSKELETEN ZUR KÖRPERLICHEN ENTLASTUNG BEI DER ARBEIT

Tagung: Exoskelette im Betrieb - Forschung-Praxis-Regelsetzung

Institut für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Versorgungsforschung Tübingen, 09.05.2019



Urban Daub, M.Sc. (Physiotherapie)

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA

Abt. Biomechatronische Systeme - Angewandte Biomechanik

Bild: Fraunhofer IPA, Rainer Bez

 **Fraunhofer**
IPA

AGENDA

- Erklärung des Referenten zum Interessenskonflikt
- Kurzvorstellung Fraunhofer IPA, Abteilung Biomechatronische Systeme
- Hintergründe und aktuelle „Antreiber“ für den Einsatz von Exoskeletten
- Grundsätzliche Vor- und Nachteile von aktiven Exoskeletten
- Aktueller Entwicklungsstand
- Fazit
- Literatur

Erklärung des Referenten zum Thema „Interessenskonflikt“

- Ich bin Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, in der Abteilung Biomechatronische Systeme. Dort wird unter anderem das Stuttgart Exo Jacket (ein aktives Exoskelett für die oberen Extremitäten) entwickelt.
- In der Entwicklung der Gelenkanordnung des Stuttgart Exo Jacket war ich direkt beteiligt.
- Das Stuttgart Exo Jacket ist kein kaufbares System. Es dient als Forschungsplattform.
- Das Fraunhofer IPA bietet an, sobald die CE-Zertifizierung des Stuttgart Exo Jacket abgeschlossen ist, dass dieses Exoskelett in der Produktionsumgebung getestet werden kann.
- Fokus meiner Arbeit am Fraunhofer IPA liegt in der Identifizierung körperlicher Belastung bei schwerer Arbeit, um daraus Lösungen für die beauftragenden Firmen abzuleiten.
- Eine Kategorie von Lösungsansätzen sind exoskelettäre Systeme. Derzeit werden von uns lediglich passive, sensorische oder propriozeptive Exoskelette in Studien begleitet.
- Ein Interessenskonflikt besteht darin, dass wir Tests mit der Stuttgart Exo Jacket anbieten.

Urban Daub

Fraunhofer IPA

Technologieberater und Innovationstreiber seit 1959

- **Betriebshaushalt gesamt:** 63,0 Mio Euro
- **Investitionenhaushalt gesamt:** 4,0 Mio Euro
- **Wirtschaftserträge gesamt:** 24,1 Mio Euro
- **Mehr als 1.000 Mitarbeiter**



Neubau Technikum Gebäude D in Stuttgart



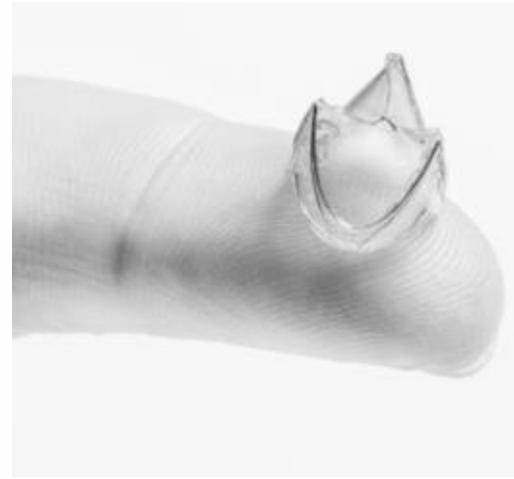
Fraunhofer-Institutszentrum Stuttgart

Abteilung Biomechatronische Systeme



Biomechanics & Simulation

Motion analysis
Human body loads
Ergonomics solutions
FE simulation

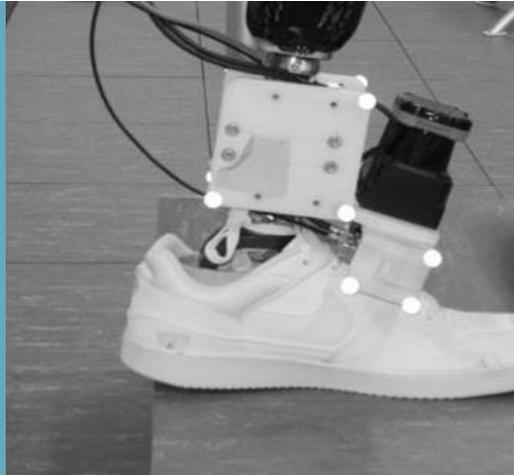


Test & Design

Medical devices
Mechanical testing
Prosthetics
Orthotics
Bionics engineering

Motion Sensors

Human movement detection
Radar sensors
Inertial sensors
Sensor fusion concepts



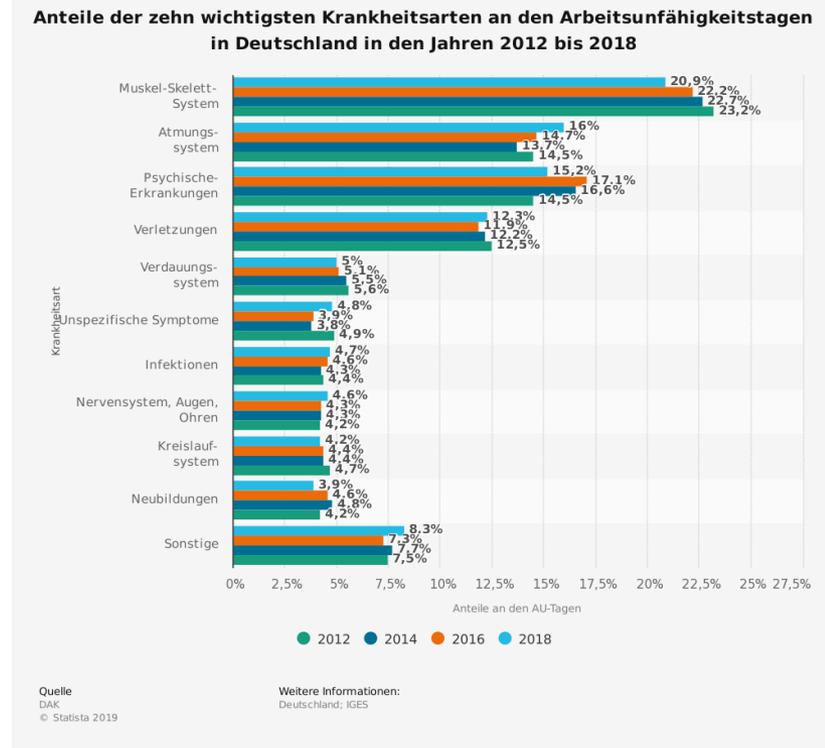
Drive Systems & Exoskeletons

Exoskeletons
Mechatronic assistive solutions
Electromechanical drive systems



„Antreiber“ für Ergonomie und entlastende Systeme Muskulo-Skelettale Erkrankungen (MSE)

- MSE für die meisten Arbeitsunfähigkeitstage in Deutschland verantwortlich [1,2]
- Insbesondere Schmerzen im Rücken, sowie Schulter-, Nacken- und Armbereich spielen eine wichtige Rolle [3,4]
- Die Entstehung ist multikausal – Reduktion arbeitsbedingter Ursachen sind elementare Bestandteile der Prävention [5,6]
- Bei Berufskrankheiten, die nicht unfallverursacht sind, wird die Anzahl der Krankheitstage 1,6 bis 2,2 mal höher eingeschätzt [7]



- [1] Strom, A. (Hrsg.). (2017). *Anteile der zehn wichtigsten Krankheitsarten an den Arbeitsunfähigkeitstagen in Deutschland in den Jahren 2010 bis 2015: Analyse der Arbeitsunfähigkeitsdaten*. [p. 19].
- [2] European Agency for Safety and Health at Work. (2017). *Estimating the cost of work-related accidents and ill-health: An analysis of European data sources*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. [p. 12].
- [3] Bundesamt für Statistik BFS. (2013). *Schweizerische Gesundheitsbefragung 2012: Übersicht*. Neuchâtel: Schweizerisches Gesundheitsobservatorium. [p. 14].
- [4] Liebers, F. & Caffier, G. (2009). *Berufsspezifische Arbeitsunfähigkeit durch Muskel-Skelett-Erkrankungen in Deutschland: Forschung Projekt F 1996*. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. [p. 108, 110].
- [5] Petrini, L. & Camenzind, P. (2015). *Gesundheit im Kanton Graubünden: Ergebnisse aus der Schweizerischen Gesundheitsbefragung 2012 und weiterer Datenbanken (Obsan Bericht 64)*. Neuchâtel: Schweizerisches Gesundheitsobservatorium. [p. 99].
- [6] European Commission, Directorate-General for Employment, Social Affairs and Inclusion (2011). *Socio-economic costs of accidents at work and work-related ill health*. Luxembourg.
- [7] European Commission, Directorate-General for Employment, Social Affairs and Inclusion Unit B3, *Socio-economic costs of accidents at work and work-related ill health*. Luxembourg, 2011.

Strategien ergonomischer Interventionen

Exoskelette als Personenbezogene Maßnahme

■ Verhältnisprävention (strukturelle Prävention)

Gemäß § 4 Arbeitsschutzgesetz müssen Gefahren immer direkt an der Quelle beseitigt oder entschärft werden. Wo dies allein nicht zum Ziel führt, müssen Sie ergänzende organisatorische und personenbezogene Maßnahmen durchführen – in dieser Reihenfolge:

- **T** echnische Maßnahme
- **O** rganisatorische Maßnahme
- **P** ersonenbezogene Maßnahme – z.B. Schutzkleidung oder Exoskelette

■ Verhaltensprävention des Einzelnen

- Individuelles Gesundheitsverhalten
- Risiken vermeiden
- gesundheitsförderliches Verhalten stärken

Aktuelle in der Industrie „eingesetzte“ Exoskelette

Ausschließlich passive Exoskelette



Laevo
<http://de.laevo.nl/>

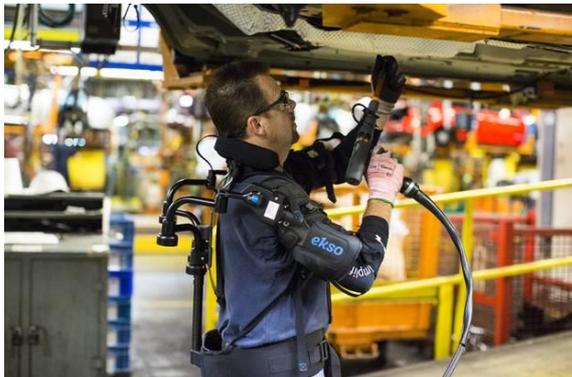
Levitate AIRFRAME™
<http://www.levitatetech.com/airframe>



noonee
<https://www.noonee.com/>



Paexo
<http://www.ottobock.com>



EksoVest
<https://revistaautosporte.globo.com>



Comau MATE
<https://www.comau.com/>



BMW Factory Workers Using Exoskeleton
Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=ARz9HikI6Pw>

Was ist ein „aktives Exoskelett“?

Welche Nachteile gehen automatisch einher?

Contra

- Ein aktives Exoskelett besteht aus einem oder mehreren Aktuatoren, die die menschliche Kraft erhöhen. Diese Aktuatoren können Elektromotoren, hydraulische Aktuatoren, pneumatische Muskeln oder andere Arten sein.
- Aktive Exoskelette benötigen Sensorik und eine Steuerung/ Regelung
- Aktive Skelette benötigen eine Energiezufuhr
- Mehr Bauteile bedeuten i.d.R.:
 - mehr Gewicht
 - höherer Anschaffungspreis und Wartungsaufwand
 - mehr Fehlerquellen (z.B. durch Fehler in der Steuerung)
 - weitere Gefahren (z.B. durch Akkus)

Warum also entwickeln?

Was ist ein „aktives Exoskelett“?

Welche Vorteile werden möglich?

Pro

- Aktive Exoskelette sind programmierbar → gegenüber passiven Exoskeletten ist das evtl. vergleichbar wie der Wandel von analog zu digital.
 - Das ermöglicht individuelle Abstimmungen, sowie KI-Aspekte und eine Optimierung der Unterstützung, angepasst an:
 - **Wechselndes handzuhabendes Last-Gewicht**
(3kg – Bauteil, 12kg – Bauteil, 5kg – Bauteil → gleiches Exo, wandelnde Steuerung)
 - **Wechselnde Hebelverhältnisse aufgrund veränderter Armhaltung**
(Bauteil muss mit ungünstigem Hebel körperfern verbaut werden → Muskelaktivierung des Werkers bleibt gleich)
 - **Art der Handhabung**
(12kg – Bauteil Lastenhandhabung, danach 1 Minute Überkopf-Verschrauben von Unterboden → gleiches Exo, wandelnde Steuerung)
 - **Wechsel der Arbeits-Haltung**
(z.B. von stehend zu auf dem Rücken liegend)
- Mehr Flexibilität in Bezug auf die Anwendung
- Dadurch eine Steigerung der Akzeptanz bei den Anwendern

Parameter von Exoskeletten, die einen Einfluss auf den Bewegungsapparat haben können.

Bei aktiven Systemen häufig mehr als bei passiven

- Gewicht der zu tragenden Konstruktion
- Kinematik: global und intraartikulär (Schub- und Scherkräfte vermeiden)
- Bewegungsverhalten: physiologische Bewegungsabläufe, die (segmental) Bewegung zulassen, ohne regelmäßige Beweglichkeitsmaxima zu provozieren
- Adaptierbarkeit des Exoskeletts: Optimale Anpassung auf den einzelnen Mitarbeiter (Je mehr Adaptionenmöglichkeit desto mehr Gewicht)
- Intuitive Steuerung: möglichst geringe Umstellung/ Training bei der Führung des Exoskeletts
- Physiologische Entlastung: Sowohl Über- als auch Unterbeanspruchungen vermeiden
- Komfort: Reibung, Schwitzen, Druckstellen vermeiden
- ...

Aktive Exos müssen so gut werden,
dass die Vorteile überwiegen!

Risiken kennen – Chancen Nutzen

Ganzheitliches Screening

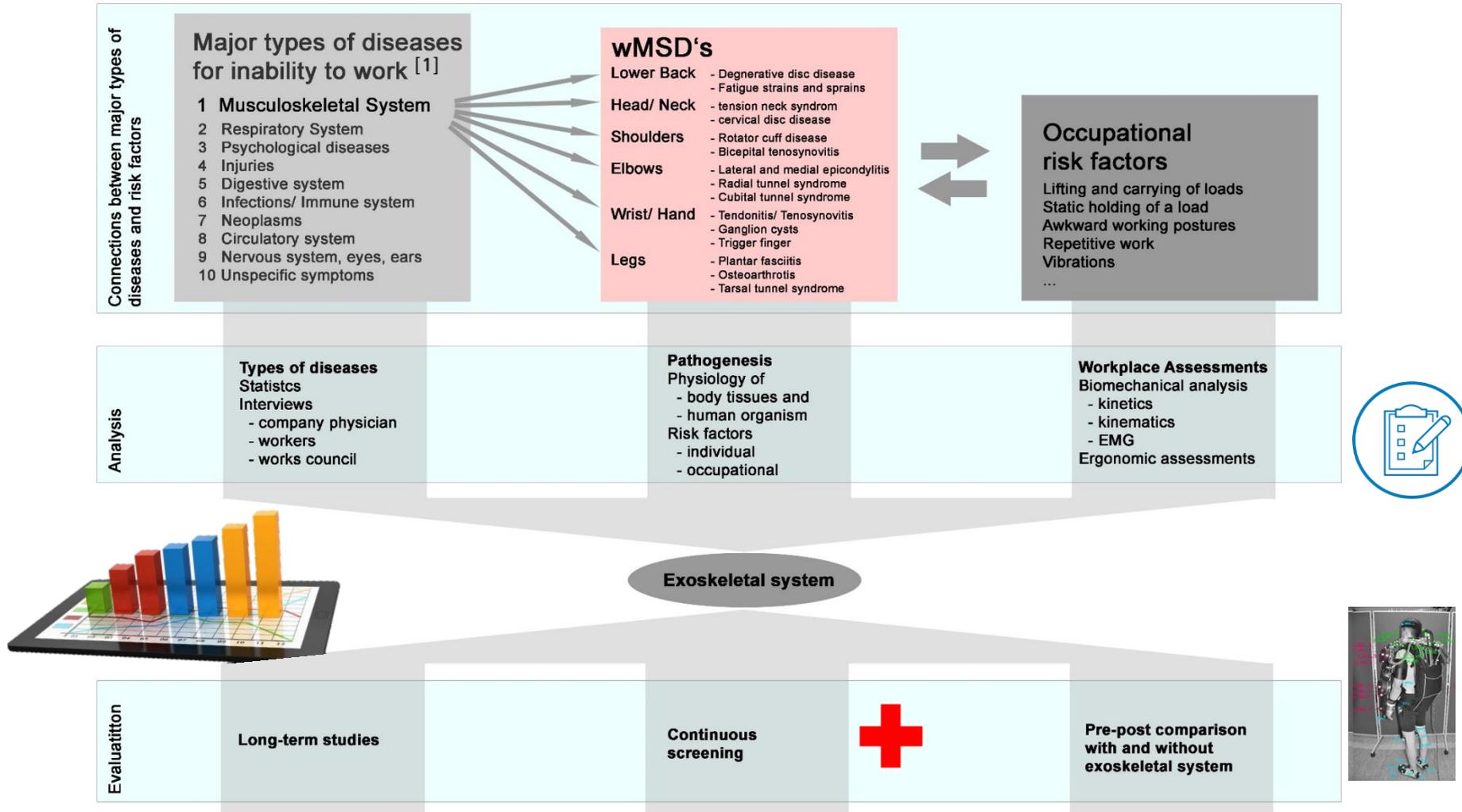


Bild: [8] Daub, Urban (2017): Evaluation aspects of potential influences on human beings by wearing exoskeletal systems. In: Michael Bargende, Hans Christian Reuss und Jochen Wiedemann (Hg.): 17. Internationales Stuttgarter Symposium. Documentation Volume 2. 2 Bände. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 493–506.

Aktueller Stand zu Exoskeletten

- Aktuelle aktive Exoskelette sind für den Praxiseinsatz in industriellen Anwendungen aktuell noch:
 - Zu schwer
 - Zu behäbig
 - Überhaupt nicht verfügbar!
(z.B. für die oberen Extremitäten)
- Erste Konzepte und Funktionsmuster bestehen
- Erste Tests können gemacht werden
- Die Vorteile und damit Chancen von aktiven Exoskeletten sind klar, aber weitere Entwicklungen werden benötigt.



© aus dem Film: Edge of tomorrow



© aus dem Film: Elysium

Fazit

- Es gibt einen **hohen Bedarf an neuartigen Konzepten** zur Entlastung von Werkern.
 - Exoskelette sind für viele aktuelle ergonomische Problemstellen ein **Hoffnungsträger**.
 - **Das Ideal** ist eine maximale Flexibilität und Entlastung bei minimaler Einschränkung und Zusatzbelastung durch das System (= **Technische Herausforderung**).
- Durch den aktuellen Einsatz von passiven Exoskeletten verstehen wir, wo die Entwicklung von aktive Exoskeletten hingehen muss - Welche Lücken bislang noch nicht gefüllt werden können.
- Bis zum flächendeckenden Einsatz von aktiven Exoskeletten müssen noch einige Entwicklungsschritte getan werden.
- **Ein kontinuierliches engmaschiges Screening, weitere Studien zur Untersuchung direkter Effekte und die Auswertung von Längsschnittstudien, werden letztlich die Frage nach dem Langzeiteinfluss beantworten können.**

Literatur

- [1] Strom, A. (Hrsg.). (2017). *Anteile der zehn wichtigsten Krankheitsarten an den Arbeitsunfähigkeitstagen in Deutschland in den Jahren 2010 bis 2015: Analyse der Arbeitsunfähigkeitsdaten*. [p. 19].
- [2] European Agency for Safety and Health at Work. (2017). *Estimating the cost of work-related accidents and ill-health: An analysis of European data sources*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. [p. 12].
- [3] Bundesamt für Statistik BFS. (2013). *Schweizerische Gesundheitsbefragung 2012: Übersicht*. Neuchâtel: Schweizerisches Gesundheitsobservatorium. [p. 14].
- [4] Liebers, F. & Caffier, G. (2009). *Berufsspezifische Arbeitsunfähigkeit durch Muskel-Skelett-Erkrankungen in Deutschland: Forschung Projekt F 1996*. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. [p. 108, 110].
- [5] Petrini, L. & Camenzind, P. (2015). *Gesundheit im Kanton Graubünden: Ergebnisse aus der Schweizerischen Gesundheitsbefragung 2012 und weiterer Datenbanken (Obsan Bericht 64)*. Neuchâtel: Schweizerisches Gesundheitsobservatorium. [p. 99].
- [6] European Commission, Directorate-General for Employment, Social Affairs and Inclusion (2011). *Socio-economic costs of accidents at work and work-related ill health*. Luxembourg.
- [7] European Commission, Directorate-General for Employment, Social Affairs and Inclusion Unit B3, *Socio-economic costs of accidents at work and work-related ill health*. Luxembourg, 2011
- [8] Daub, Urban (2017): Evaluation aspects of potential influences on human beings by wearing exoskeletal systems. In: Michael Bargende, Hans Christian Reuss und Jochen Wiedemann (Hg.): 17. Internationales Stuttgarter Symposium. Documentation Volume 2. 2 Bände. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 493–506.

Vielen Dank!

Urban Daub M.Sc. (Physiotherapie)
Projektleiter Ergonomie
Abteilung Biomechatronische Systeme

+49 711 970-3645
urban.daub@ipa.fraunhofer.de

Fraunhofer IPA
Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart

http://www.ipa.fraunhofer.de/angewandte_biomechanik.html
<http://www.ipa.fraunhofer.de/ergonomie.html>