

---

# INNOVATIVE ANSÄTZE ZUR BELASTUNGS- ANALYSE UND ABLEITUNG FUNKTIONELLER INTERVENTIONEN IN DER ERGONOMIE

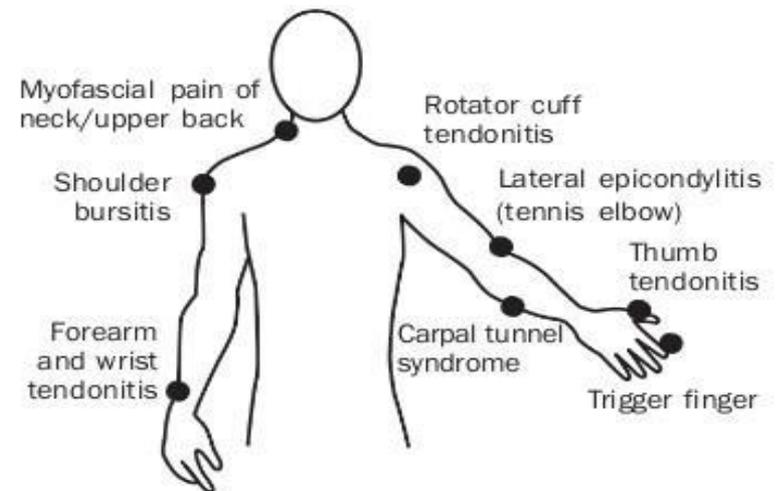
---

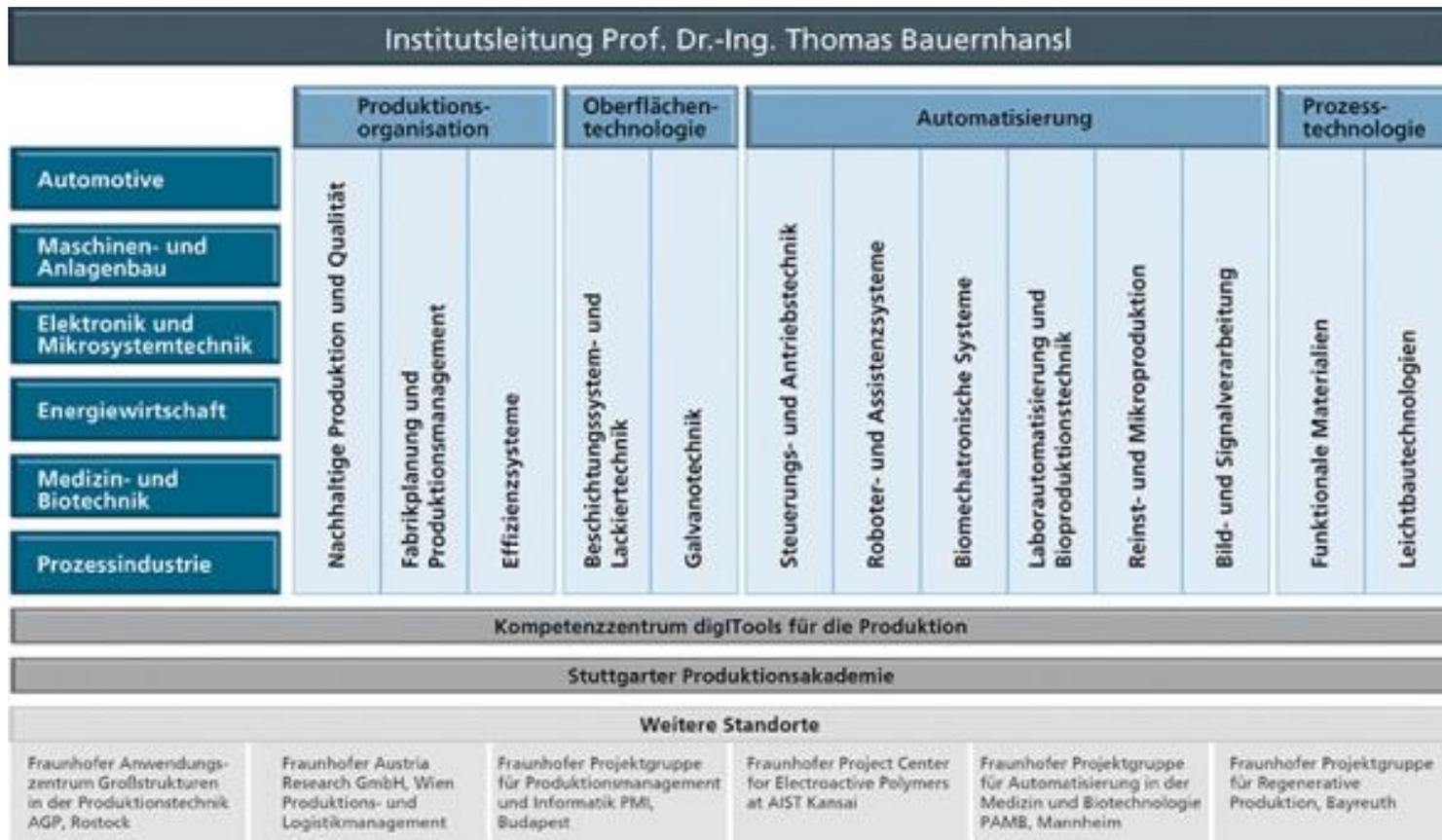


Urban Daub M.Sc. (Physiotherapie)  
Abteilung Biomechatronische Systeme

# Agenda

- Kurzvorstellung Fraunhofer IPA – Biomechatronische Systeme
- Einleitung
- Stellenwert der Ergonomie-Analyse
- Kritische Betrachtung verschiedener Belastungsanalyse-Formen
- Biomechanische Bewegungsanalyse am Fraunhofer IPA
- Das richtige Hilfsmittel
- Körpergetragene Assistenzsysteme
- Integration in die Arbeitsumgebung
- Beispiele und Ausblick





Stand: 01.2016

## Themenportfolio Biomechanische Systeme



# Einleitung

## Statistik

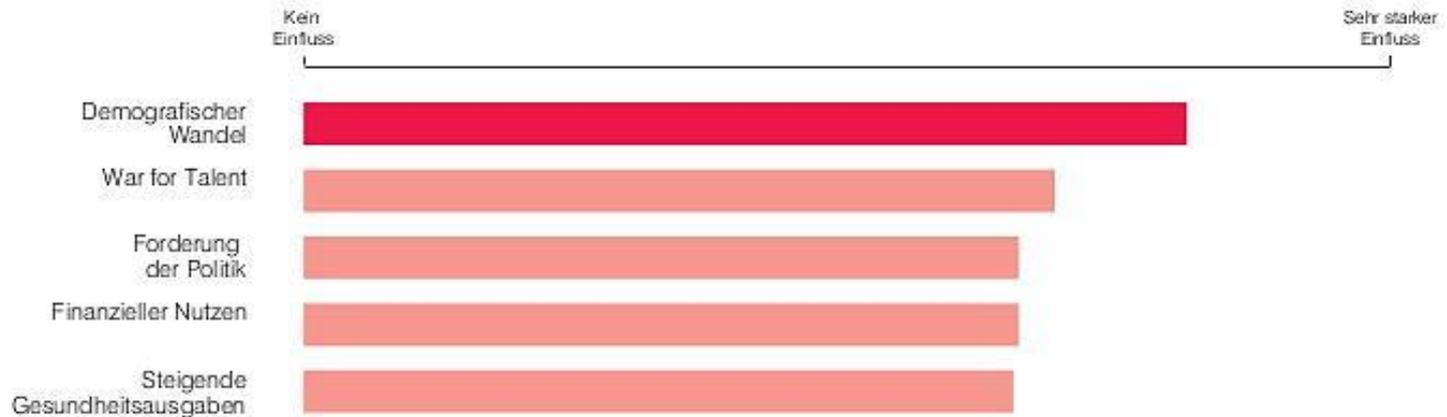
- Berufskrankheiten, die nicht unfallverursacht sind wird die Anzahl der Krankheitstage 1,6 bis 2,2 Mal höher eingeschätzt [European Comission]
- Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems sind die häufigste Krankheitsart für Arbeitsunfähigkeitstage in Deutschland [DAK Forschung 2014]
- 100 von 313 Arbeitsunfähigkeitstagen ist aufgrund von Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems [DAK Forschung 2014]
- Die häufigste Krankheitsart für Arbeitsunfähigkeit sind Muskel-Skelett-Erkrankungen [DAK Forschung 2014]
- Der volkswirtschaftliche Schaden: In Deutschland lassen sich aktuell ca. € 13,0 Mrd. Produktionsausfall und € 22,7 Mrd. Ausfall an Bruttowertschöpfung auf Krankheiten des Muskel-Skelett-Systems zurückführen [Schneider u. Irastorza, 2010]
- ...

- European Comission, Directorate-General for Employment, Social Affairs and Inclusion Unit B3 (2011): Socio-economic costs of accidents at work and work-related ill health. Luxemburg.  
- DAK Forschung (2014): DAK Gesundheitsreport 2014. Die Rushhour des Lebens. Gesundheit im Spannungsfeld von Job, Karriere und Familie  
- Schneider E.; Irastorza X.: Work-related musculoskeletal disorders in the EU – Facts and Figures, European Agency for Safety and Health at Work, 2010.

## Einleitung

# Größte Einflussfaktoren, welche die Bedeutung betrieblicher Vorsorge künftig weiter hervorheben werden.

Warum wird betriebliche Vorsorge künftig an Bedeutung gewinnen?

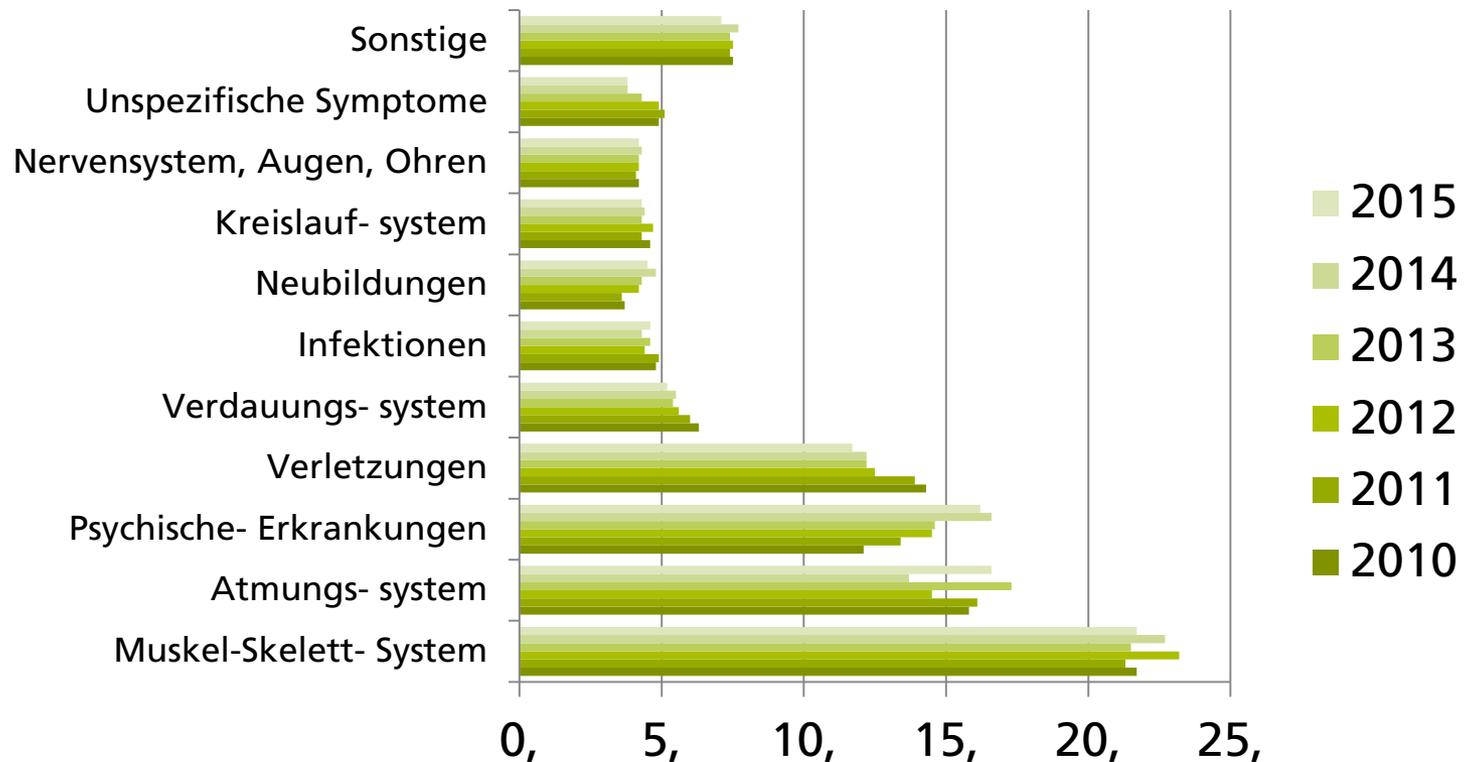


Grafik: Booz & Company, Aussagen von deutschen Unternehmen im Rahmen der Befragung zum Thema betriebliche Prävention, 2011

Booz & Company (2011): Vorteil Vorsorge. Die Rolle der betrieblichen Gesundheitsvorsorge für die Zukunftsfähigkeit des Wirtschaftsstandortes Deutschland. Unter Mitarbeit von Christa Maar, Rolf Fricker, Nicole Hildebrandt und Melanie Drechsler. Hg. v. Felix Burda Stiftung, zuletzt geprüft am 04.09.2015.

## Einleitung

# Anteil der zehn wichtigsten Krankheitsarten an den Arbeitsunfähigkeitstagen in Deutschland 2011 bis 2013



- Die Prädiktion und Prävention von körperlichen Schäden und die Gesunderhaltung am Arbeitsplatz werden zunehmend relevanter.

# Vorteile durch Ergonomie für das Unternehmen

- Steigerung von Motivation und Arbeitszufriedenheit
- Leistungs- und Effizienzsteigerung
- Langfristige Senkung des Krankenstandes
- Steigerung der Produkt- und Dienstleistungsqualität
- Imageaufwertung für das Unternehmen
- Sinkende Fehlerhäufigkeit
- Dynamischerer und effizienterer Arbeitsstil
- Entwicklung einer gesünderen Arbeitsphilosophie



**Nachteil:** direkte  
Kosten lassen sich  
nur schwer  
gegenrechnen  
(Return on Invest)

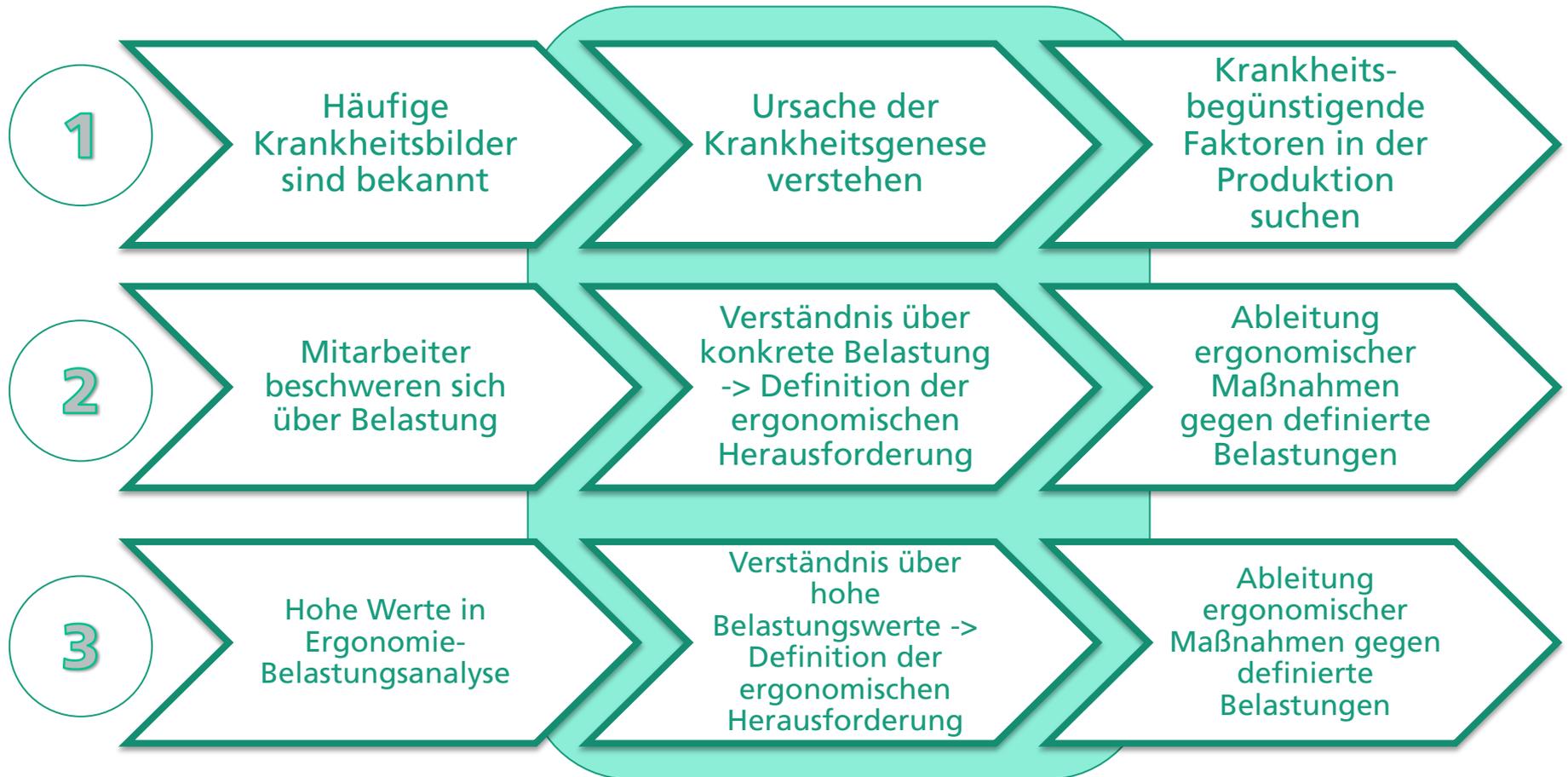
# Stellenwert der Ergonomie-Analyse

## Integrative Prozesskette



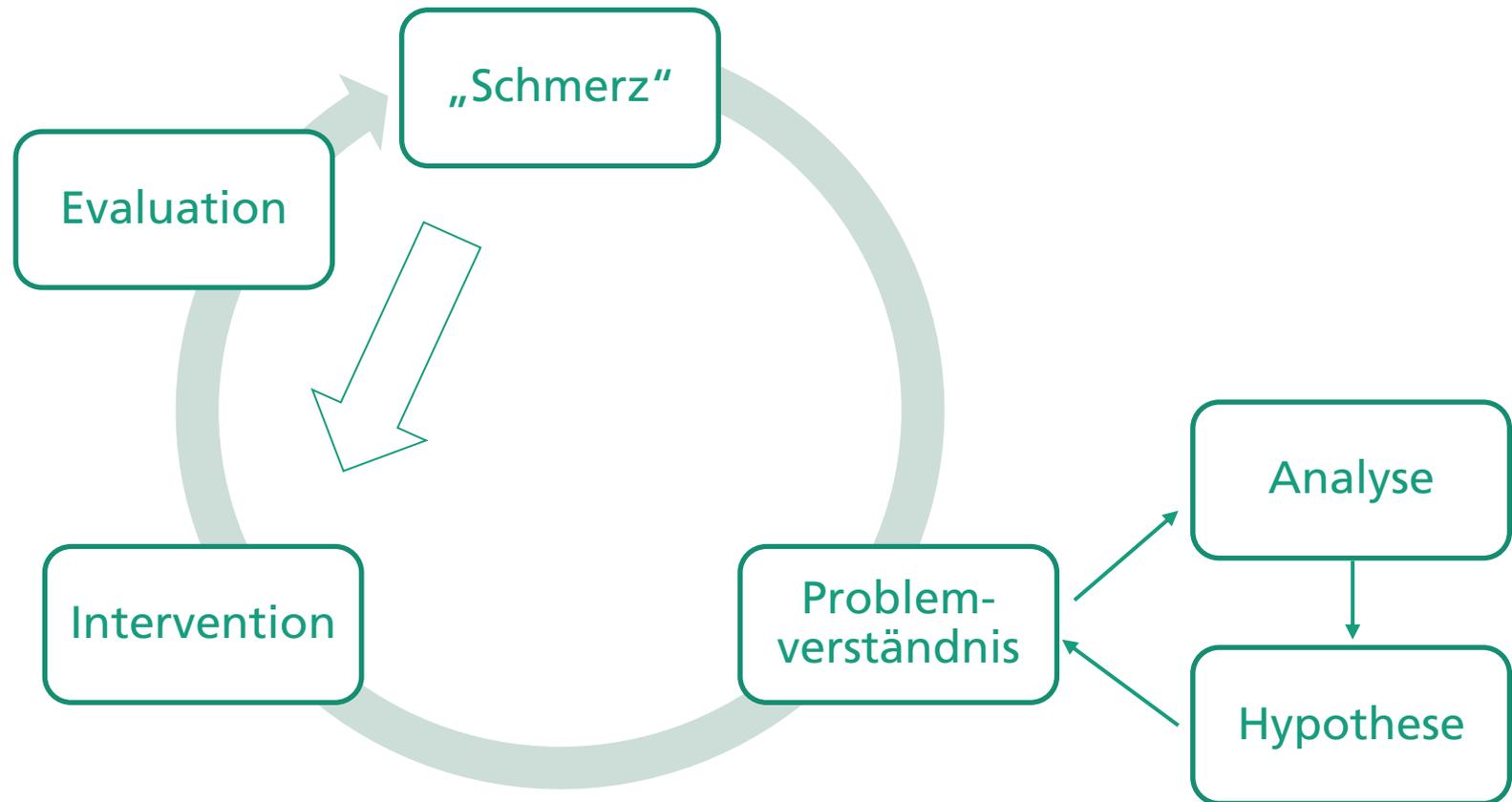
# Stellenwert der Ergonomie-Analyse

## Funktionelle ergonomische Anpassungen erfordern ein klares Verständnis der Belastung.



# Stellenwert der Ergonomie-Analyse

**Funktionelle ergonomische Anpassungen erfordern ein klares Verständnis der Belastung.**

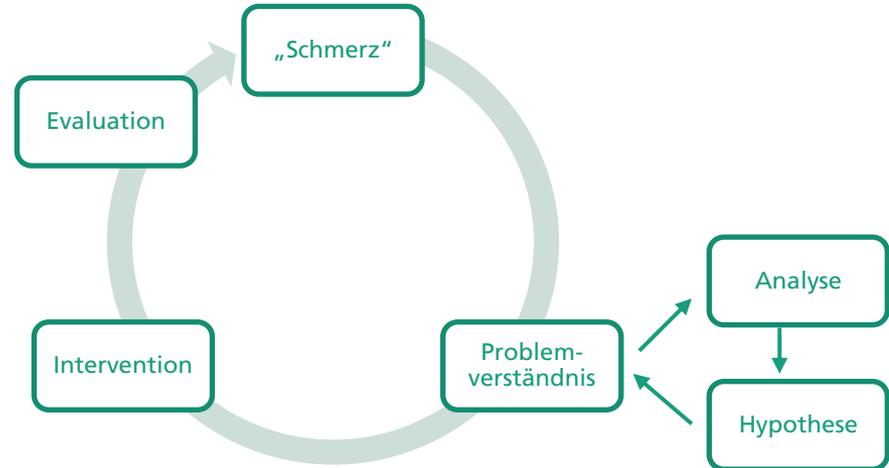


# Stellenwert der Ergonomie-Analyse

## Best Practice zur Ableitung ergonomischer Interventionen

Experten werden von Beginn an einbezogen. Diese Experten sind:

- Die Werker
- Vorarbeiter
- Betriebsrat
- Betriebsarzt
- Werksleiter
- Betriebsleiter
- Gesundheitsbeauftragte
- ...
- Ergonomie-Experten

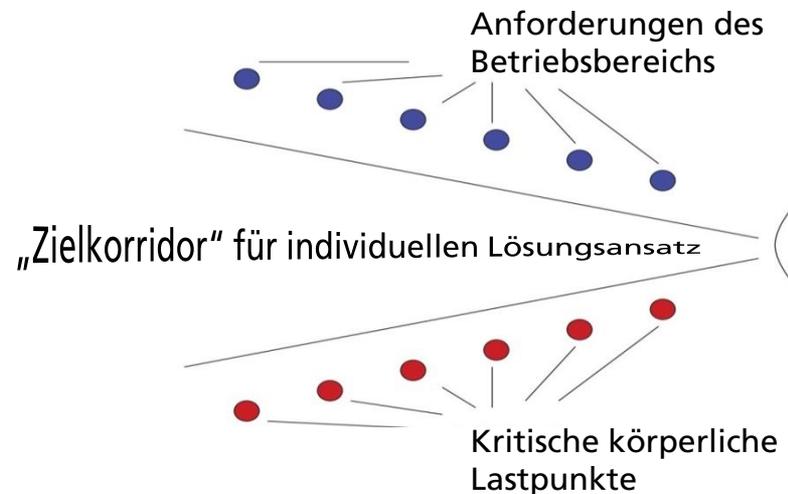


# Stellenwert der Ergonomie-Analyse

## Definition der ergonomischen Herausforderung

**Gemeinsames** Verständnis von Problemstellung, Zielsetzung und Anforderungen bedeutet:

- Kritische körperliche Belastungen in den Betriebsbereichen sind definiert
- Anforderungen an Lösungsansätze in den Betriebsbereichen sind definiert



→ Eine Hypothese sowie weitere Schritte zur Reduzierung von Belastung lassen sich hieraus ableiten

# Kritische Betrachtung verschiedener Belastungsanalyse-Formen

## Ergonomie-Bewertungsbögen

### Beispiele von Ergonomie-Bewertungsbögen:

- OWAS, EAWS, LMM, WISHA Lifting Calculator, NIOSH Lifting Equation, ...
- Vorteile dieser Methoden:
  - Leicht umsetzbar
  - Wenig zusätzliches Equipment wird benötigt
  - Können bereits in der Planung von Arbeitsplätzen eingesetzt werden - teilweise bereits in der Simulation
- Nachteile:
  - Fehleranfällig in der Einschätzung von Kräften (Denis et al. 2015)
  - Beobachtungs-Methode ist generell anfällig für Fehler (Spielholz et al. 2001; Jones und Kumar 2007)

Denis, Denys; Lortie, Monique; Rossignol, Michel (2015): Observation Procedures Characterizing Occupational Physical Activities. Critical Review. In: International Journal of Occupational Safety and Ergonomics 6 (4), S. 463–491.

Spielholz, P.; Silverstein, B.; Morgan, M.; Checkoway, H.; Kaufman, J. (2001): Comparison of self-report, video observation and direct measurement methods for upperextremity musculoskeletal disorder physical risk factors. In: Ergonomics 44 (6), S. 588–613.

Jones, Troy; Kumar, Troy (2007): Assessment of physical exposures and comparison of exposure definitions in a repetitive sawmill occupation: trim-saw operator. In: Work (Reading, Mass.) 28 (2), S. 183–196.

# Kritische Betrachtung verschiedener Belastungsanalyse-Formen

## Beispiel einer EAWS-Auswertung

Auflistung der Zeiten für die untersuchten Durchläufe inkl. Summe der Zeiten für das Umsetzen

	1	2	3	4	
	Teil aufnehmen	Drehen und zum Gestell gehen	Einsetzen in Gestell	Zurückgehen zum Automat	Summen der Zeiten für das Umsetzen (= 1+2+3)
Ablegen weit hinten	0,7 s	1,9 s	3,8 s	2,3 s	6,4 s
Ablegen mittlere Distanz	0,6 s	1,7 s	3,0 s	2,3 s	5,3 s
Ablegen nahe Distanz	0,5 s	1,3 s	3,0 s	2,3 s	4,8 s

# Kritische Betrachtung verschiedener Belastungsanalyse-Formen

## Beispiel einer EAWS-Auswertung

EAWS-Auswertung des Versuchs-Setups unter **real gemessenen Bedingungen** nach LMM (Leitmerkalmethode – Lasttyp Umsetzen)

Nr.	Sequenz	Detailanalyse Ist-Zustand	
		EAWS-Punkte	Ampelfarbe
1	Ablegen weit hinten	33,5	
2	Ablegen mittlere Distanz	31,5	
3	Ablegen nahe Distanz	51,0	
Gesamtbewertung Kurze Teile		39	

# Kritische Betrachtung verschiedener Belastungsanalyse-Formen

## Beispiel einer EAWS-Auswertung

EAWS-Auswertung des Versuchs-Setups unter **real gemessenen Bedingungen** nach LMM (Leitmerkalmethode – Lasttyp Halten)

Nr.	Sequenz	Detailanalyse Ist-Zustand	
		EAWS-Punkte	Ampelfarbe
1	Ablegen weit hinten	33,5	
2	Ablegen mittlere Distanz	31,5	
3	Ablegen nahe Distanz	28,0	
	Gesamtbewertung Kurze Teile	31	

# Kritische Betrachtung verschiedener Belastungsanalyse-Formen

## Biomechanische Messverfahren

### Stärken biomechanischer Messungen:

- Erfassung von Bewegung und Kräften (Kinematik und Kinetik)
- Berechnung von Gelenkmomenten und Gelenkkräften mit Menschmodellen
- Weiterverarbeitung der Messdaten für Simulationen
  
- Vorteil: Hochgenau und reliabel

→ Einsetzbar in der alltäglichen Ergonomie?

# Kritische Betrachtung verschiedener Belastungsanalyse-Formen

## Biomechanische Messverfahren

### Herausforderungen für den Einsatz biomechanischer Messverfahren für die Ergonomie

- Messung des Bewegungsablaufs im Labor – Nachstellung der realen Arbeitsumgebung
- Auswahl, Anpassung und Einsatz von High-Tech Messequipment für die Erfassung in der wirklichen Arbeitsumgebung
- ➔ Ein aufgabenspezifisch und ökonomisch sinnvolles Test-Setup muss erstellt werden
  - ➔ Aufnahme von hochpräzisen Bewegungs- und Kraftdaten
  - ➔ Auswertung der Daten unter ergonomisch relevanten Gesichtspunkten zur Ableitung funktioneller Lösungen
- ➔ Höherer zeitlicher Aufwand mit Mess-Equipment

# Biomechanische Belastungsanalyse am Fraunhofer IPA

## Ausstattung Bewegungslabor

- **Laborfläche 1:**  
Bewegungslabor mit 90 m<sup>2</sup> Modulbodenfläche, max. 11 m Länge, Treppen-/Rampensystem zur Integration von Kraftmessplatten
- **Laborfläche 2:**  
Lernfabrik-Labor mit 4x3 m Modulbodenfläche in der Lernfabrik des Fraunhofer IPA/IFF Uni Stuttgart (Fabrikhalle mit Rolltor-Zugang für Industrieaufbauten)
- Modulbodensystem: variable Positionierung von Kraftmessplatten
- Adaptive Testaufbauten mit Aluminium-Profilsystemen
- Alle Messsysteme sind mobil und für Messungen außerhalb des Labors einsetzbar (z.B. Feldmessung beim Kunden)



# Biomechanische Belastungsanalyse am Fraunhofer IPA

## Unsere Analyse-Möglichkeiten

- Erfassen von Bewegungen und Kräften
- Analyse von Gelenkkraft/-momenten
- Daten-Vorbereitung für Simulationen
- Unterstützung von Design und Konstruktion durch reale Bewegungsdaten

### Analyse-System und Software

Bewegungserfassung	Qualisys Track Manager
Inverse Dynamik des Menschen	C-Motion Visual 3D, AnyBody Simulation
Konstruktion	Solid Works Motion Simulation
Mensch-Technik-Interaktion	AnyBody Simulation mit Solidworks-To-AnyBody zur Modifikation von Körpermodellen
FE Simulation	Ansys Simulation
3D Scan-Verarbeitung	Geomagic Freeform plus & Geomagic Wrap
Datenauswertung	Mathworks MATLAB inkl. zahlreicher Toolboxes

# Biomechanische Belastungsanalyse am Fraunhofer IPA

## Genaue Erfassung von Bewegung und Kraftdaten

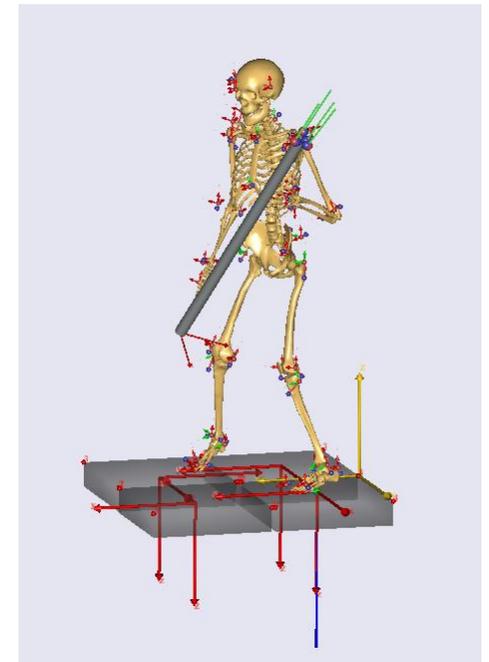
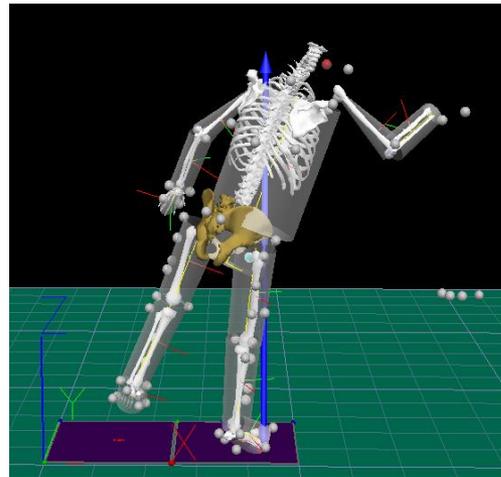
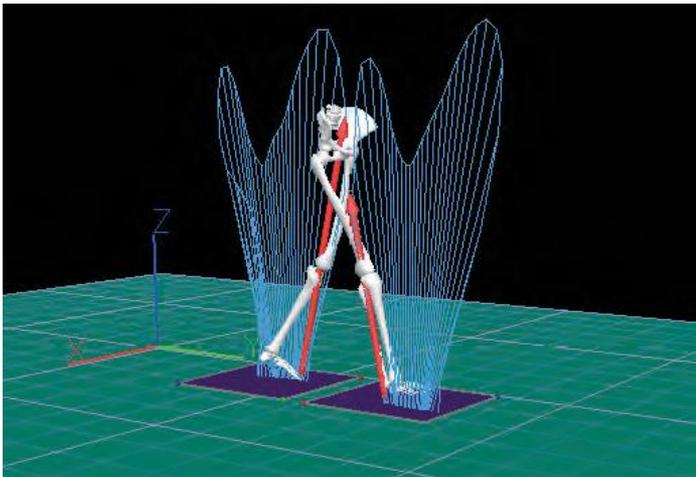
- Optisches Motion Capture System
- Bodenintegrierte Kraftmessplatten



# Biomechanische Belastungsanalyse am Fraunhofer IPA

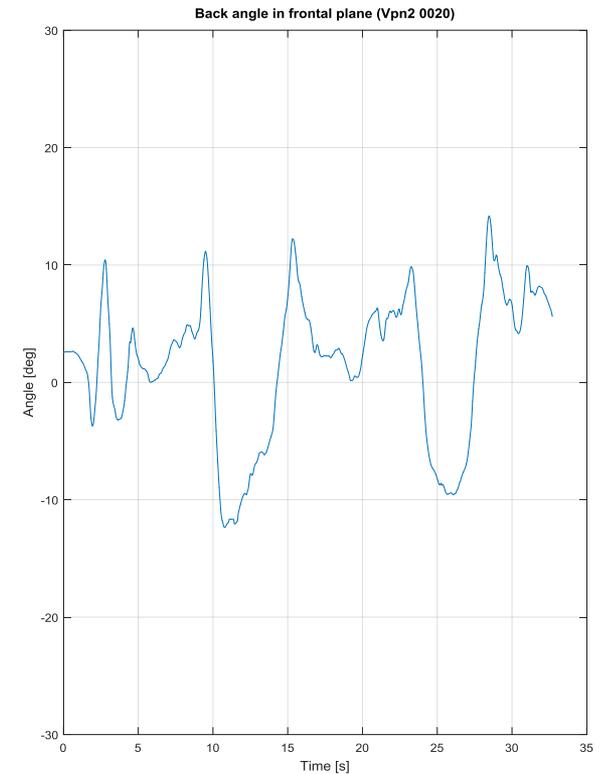
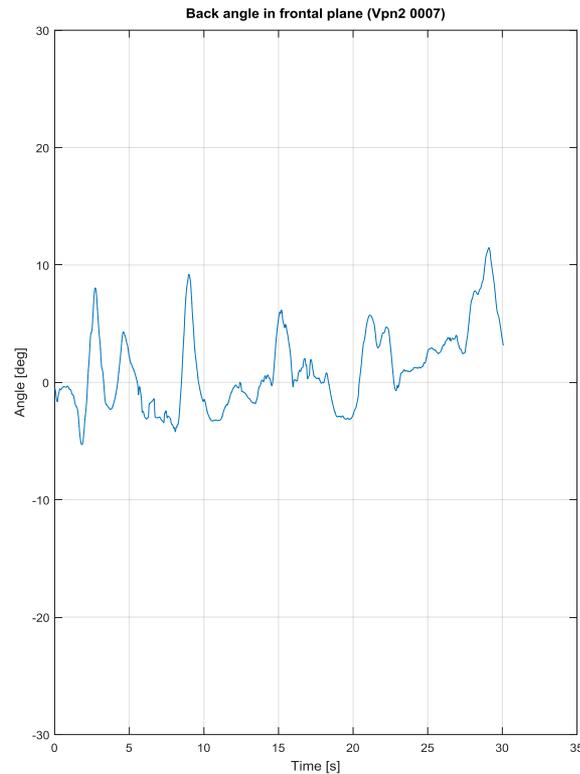
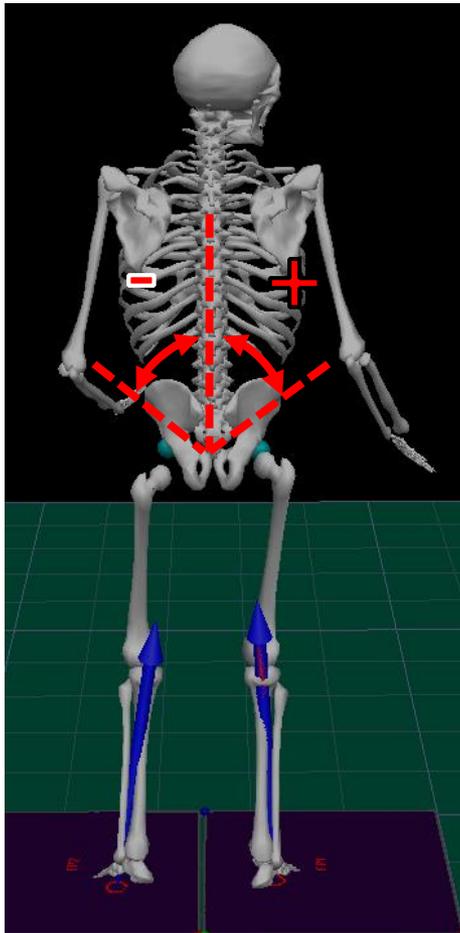
## Auswertung von Kraft- und Bewegungsdaten

- Analyse von Gelenkkraften/ -momenten
- Daten-Vorbereitung für Simulationen
- Unterstützung von Design und Konstruktion durch reale Bewegungsdaten
- Identifikation von Lastspitzen



# Biomechanische Belastungsanalyse am Fraunhofer IPA

## Sequenzierbare Ausgabe von Gelenkwinkeln für manuelle Ergonomiebewertung

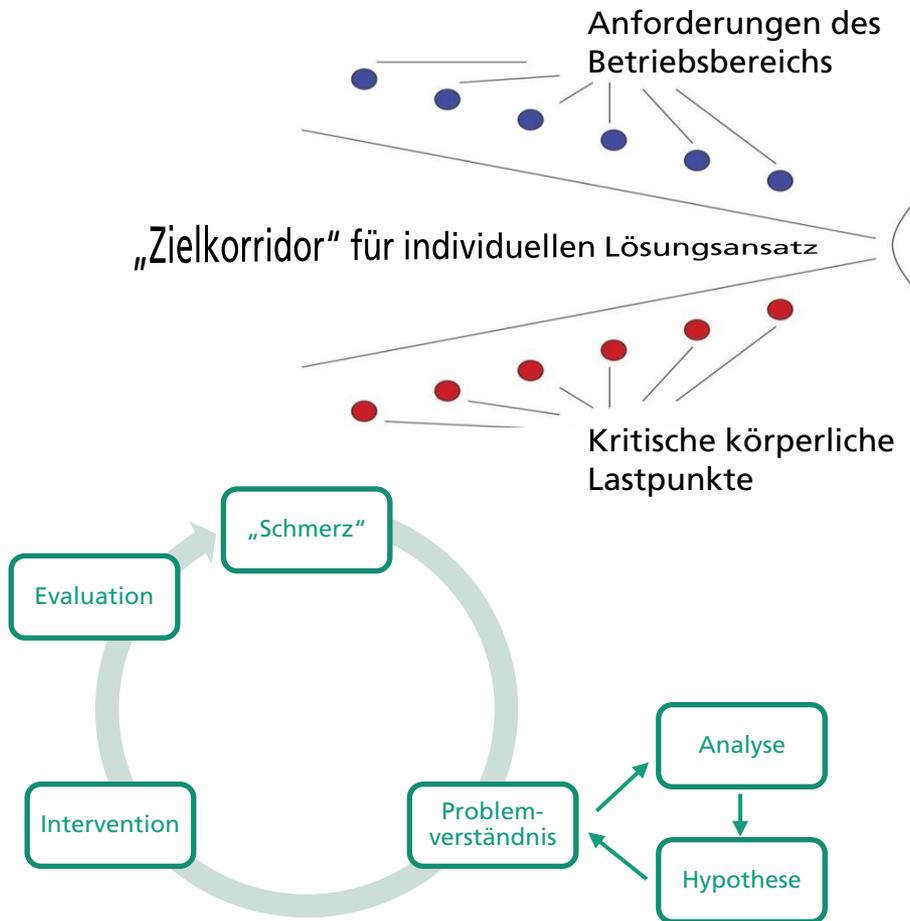


# Biomechanische Belastungsanalyse am Fraunhofer IPA

## Invers-dynamische Berechnung



# Das richtige Hilfsmittel Ergibt sich aus ...



Einschätzung der Experten:

- Die Werker
- Vorarbeiter
- Betriebsrat
- Betriebsarzt
- Werksleiter
- Betriebsleiter
- Gesundheitsbeauftragte
- Einkauf
- ...
- Ergonomie-Experten

# Das richtige Hilfsmittel

## Abhängig vom Belastungsmuster

### Am Band

- In der Regel kurze Taktzeiten
- Dadurch hohe Wiederholungsfrequenz
- Hoher Standardisierungsgrad der Arbeitsprozesse und Arbeitsabläufe
- Einseitige körperliche Belastungen
- Keine hohen Lasten aber hohe Repetition

### Peripher vom Band (z.B. Entwicklung, Manufaktur)

- Häufiger Wandel der Anforderungen
- Dadurch geringere Unterstützung durch Hilfsmittel
- Keine hohen Repetition aber höhere Lasten + ungünstige Haltungen



Bild: Fotolia

# Das richtige Hilfsmittel

## Tendenz von Beschwerden durch Belastungsmuster

### Am Band eher:

- **Wiederholungs**bedingte Beschwerden wie RSI's (repetitive strain injuries)
- **Haltungs**bedingte orthopädische Beschwerden, z.B. an:
  - Rücken
  - Schulter-Nacken-Bereich
  - Obere und Untere Extremitäten

### Peripher vom Band eher:

- **Last**bedingte orthopädische Beschwerden, z.B. an:
  - Rücken
  - Schulter-Nacken-Bereich
  - Obere und Untere Extremitäten

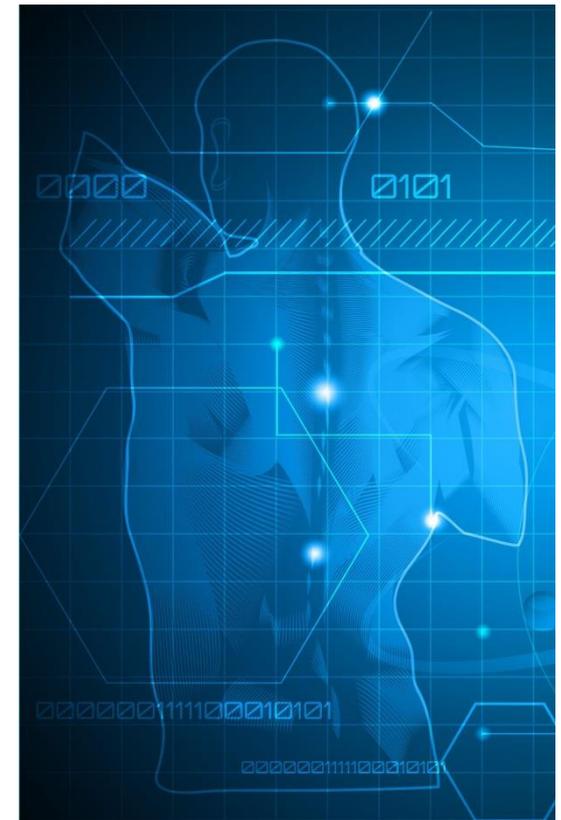


Bild: Fotolia

## Ableiten von Interventionen gegen Beschwerdebild

- **Wiederholungs**bedingte Beschwerden am Beispiel Tennisellenbogen
  - Auf maximal vorgedehnten Muskel, erfolgt eine Vielzahl von (minimal) überschwelligen Zugreizen
  - Folge:
    - minimale, sich ständig wiederholende Entzündungsreaktion des Körpers
    - Kann zu Chronifizierung führen
    - Durchschnittliche Krankheitsdauer aufgrund von Tennisellenbogenbeschwerden: 29 Tage <sup>1</sup>
  - Intervention:
    - Vordehnung des Muskels reduzieren
    - Zusätzlichen überschwelligen Reiz abschaffen/ reduzieren
    - Wiederholungszahl reduzieren
    - Ausgleichsbewegungen

29 <sup>1</sup> Quelle: Barmer GEK (Hg.) (2012): Heil- und Hilfsmittelreport 2012. Unter Mitarbeit von Claudia Kemper, Kristin Sauer und Gerd Glaeske. Barmer GEK.

# Das richtige Hilfsmittel

## Ableiten von Interventionen gegen Beschwerdebild

### ■ *Haltungs*bedingte Beschwerden – Belastung auf Muskulatur und Gelenke

#### Muskelbelastung

- Statische Muskelanspannung
  - Muskel muss kontinuierliche Haltearbeit leisten
  - Durch Kontraktion verengen sich die Gefäße
- Folge:
  - Latente Unterversorgung
  - Verspannungen und Schmerzen, häufig im LWS- oder Nackenbereich
- Intervention:
  - Häufigeren Haltungswechsel
  - Bewegung

#### Gelenkbelastung

- Kontinuierliche Gelenkbelastung
  - Verminderter Stoffaustausch im Knorpel
- Folge:
  - Verminderte Belastbarkeit und Regenerationsfähigkeit des Knorpels
  - Kann Arthrose begünstigen
- Intervention:
  - Häufigeren Haltungswechsel
  - Bewegung

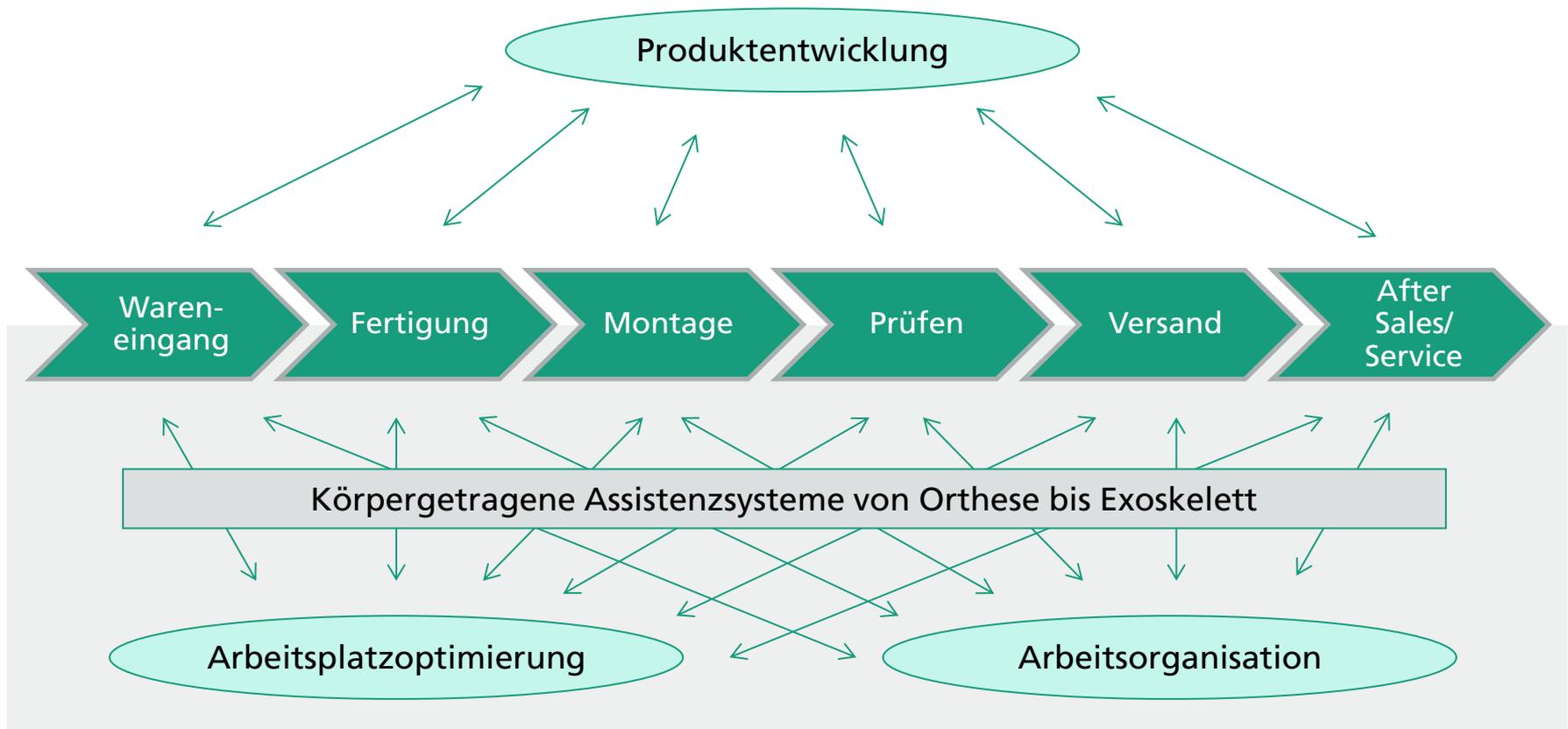
## Ableiten von Interventionen gegen Beschwerdebild

### ■ **Last**bedingte Beschwerden – Belastung auf Muskulatur und Gelenke

- Hohe Lastenhandhabung in **unregelmäßigen** Abständen
  - Folge:
    - Fehlender Trainingszustand von Muskulatur und Gelenke führt zu Überlastung
  - Intervention:
    - Reduktion von Belastung durch leichtere Teile
    - Systeme zur Lastaufnahme
- Hohe Lastenhandhabung in **regelmäßigen** Abständen
  - Folge:
    - Überbelastung von Muskulatur und Gelenke aufgrund fehlender Regenerationsmöglichkeiten

# Körpergetragene Assistenzsysteme

## Ein zusätzliches Instrument in der Ergonomie-Werkzeugkiste



# Körpergetragene Assistenzsysteme

## Von der passiven Orthese zum aktiven Exoskelett – ein weites Spektrum

- Orthesen sind medizinisches Hilfsmittel mit Ziel zu Stabilisieren, Entlasten, Ruhigstellen, Führen oder Korrigieren von Rumpf oder Gliedmaßen.



Elfenbogenorthese medi Epico ROM@s  
<https://www.medi.de>



3D-gedruckte Handorthese  
Fraunhofer IPA, Foto: Rainer Bez



Exoskelett „Hercule“ von rb3d  
<http://www.rb3d.com>



FORTIS Exoskeleton von Lockheed Martin  
<http://www.lockheedmartin.com>



Kawasaki Kraft Anzug 3  
<http://www.technikneuheiten.com>

# Das richtige Assistenzsystem

## Körpergetragene Interventions-Strategien gegen verschiedene Beschwerdebilder

### Wiederholungsbedingte Beschwerden

Passiv unterstützende Assistenzsysteme oder Smarte Textilien

- z.B. Tennisellenbogen-Handschuh



Bild: Schönherr,R et al.: Entwicklung eines Arbeitsschutzhandschuhs zur Epicondylitis-Prävention. Gestaltung der Arbeitswelt der Zukunft, 12. 2014, München.

### Haltungsbedingte Beschwerden

Smarte Textilien

- z.B. Erfassung und Feedback zu ungünstigen Haltungsmustern



Bild: Fraunhofer IZM, Flyer: „Textilintegrierte Elektronische Systeme“

### Lastbedingte Beschwerden

Aktive Assistenzsysteme

- z.B. Aktives Exoskelett



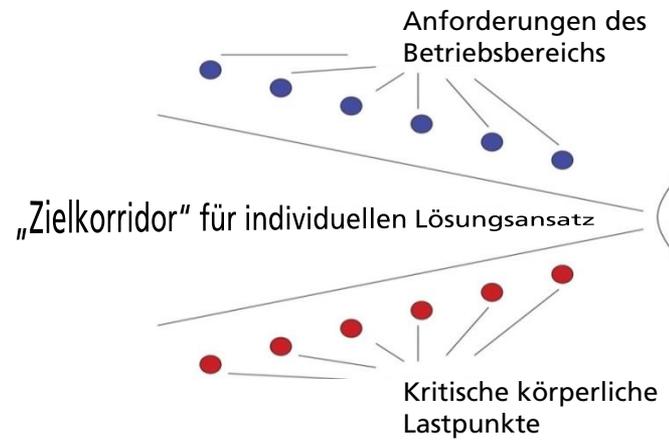
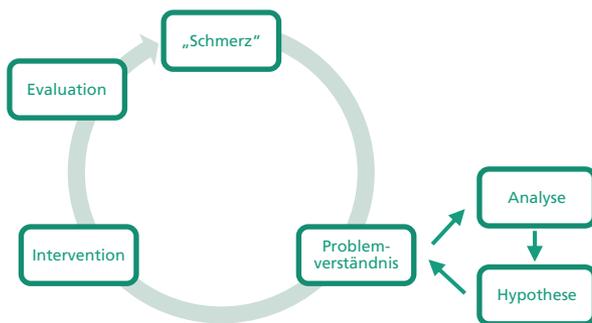
Bild: Fraunhofer IPA, Foto: Rainer Bez  
[http://www.ipa.fraunhofer.de/exoskelett\\_bewegungsfreiheit.html](http://www.ipa.fraunhofer.de/exoskelett_bewegungsfreiheit.html)

# Integration in die Arbeitsumgebung Ist abhängig von der Kommunikation



Einschätzung der Experten:

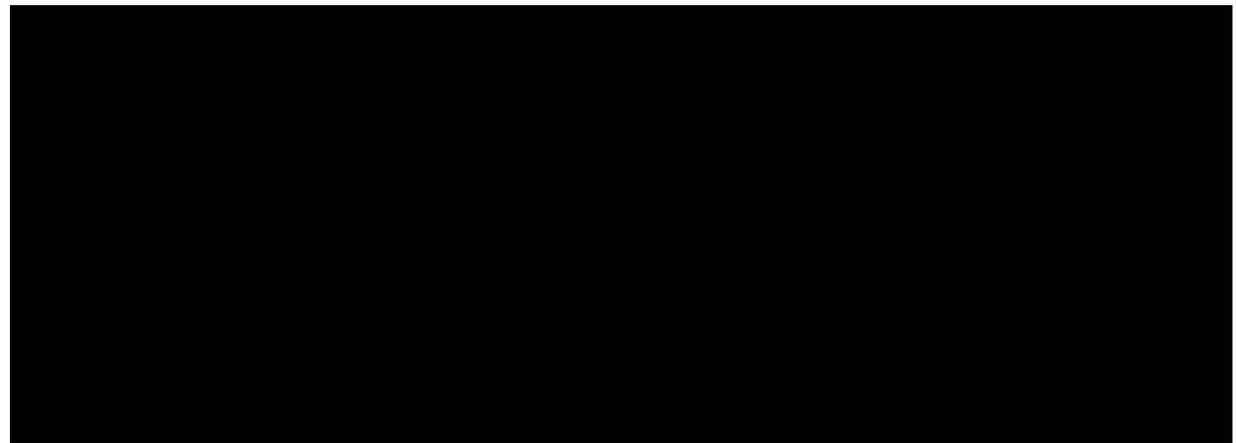
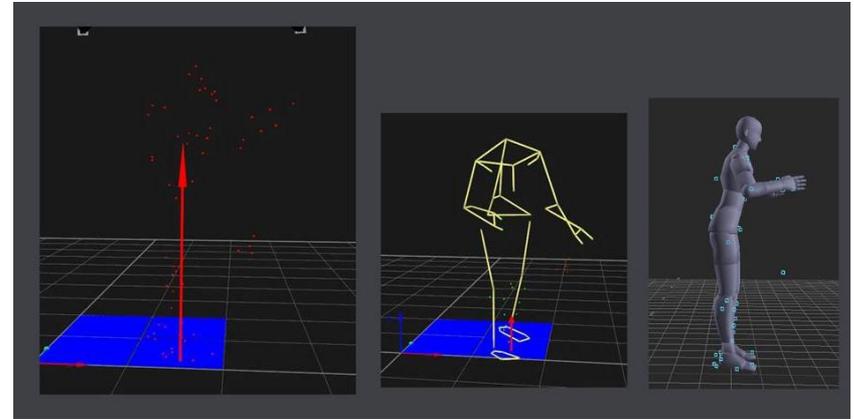
- Werker
- Vorarbeiter
- Betriebsrat
- Betriebsarzt
- Werksleiter
- Betriebsleiter
- Gesundheitsbeauftragte
- Einkauf
- ...
- Ergonomie-Experten



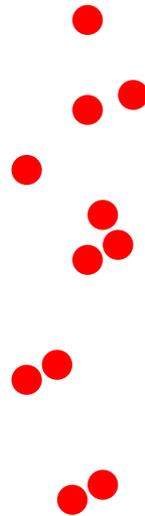
# Beispiele und Ausblick

## Feedback durch körpergetragene Assistenzsysteme

- Direktes Feedback an den Werker:
  - Optimierung des Bewegungsablaufes
  - Erinnerung Haltungsverwechsel
  - Spezifische Ausgleichsbewegungen
  - ...



## Erfassung der individuellen Anthropometrie



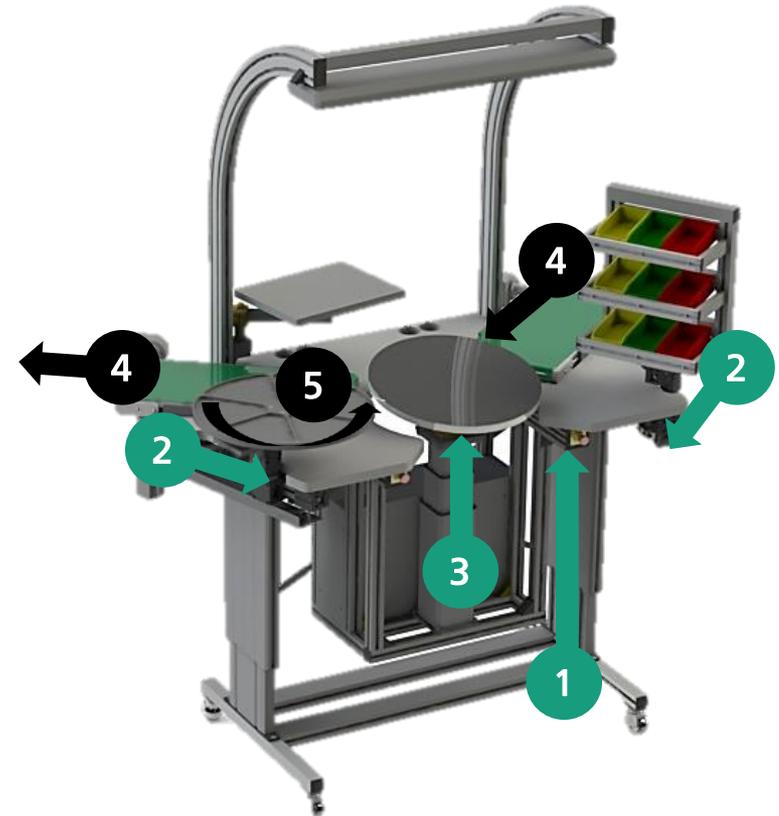
### ■ Unsere Kompetenzen:

- Kamerabasierte Erfassungssysteme
- Algorithmen zur Bilderfassung
- App-steuerung
- Algorithmen für Umrechnung in dynamische optimale Einstellungsparameter der Maschine
- Datenschutzaspekte

## Beispiele und Ausblick

# Automatisierte Ergonomie-optimierte Einstellungen an den Werker

- 1 Tischhöhe
- 2 Tischtiefe (asymmetrisch)
- 3 Arbeitsplattenhöhe
- 4 Materialan- & -abtransport
- 5 Werkzeuganreicherung



# Beispiele und Ausblick

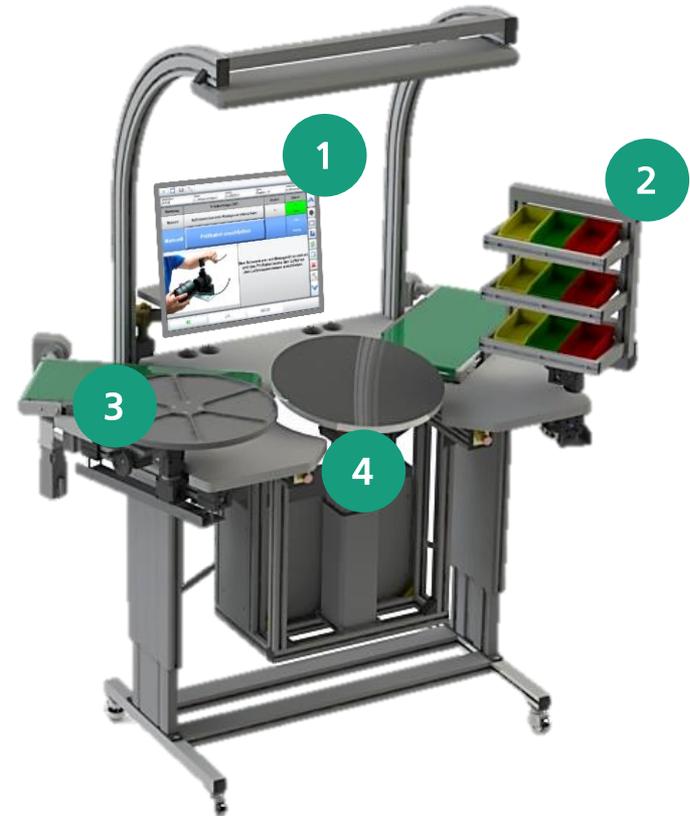
## Dynamische Montageassistentz

1 Touch Screen

2 Pick2Light

3 Move2Pick

4 Move2Assemble



# Beispiele und Ausblick

## Stuttgart Exo Jacket



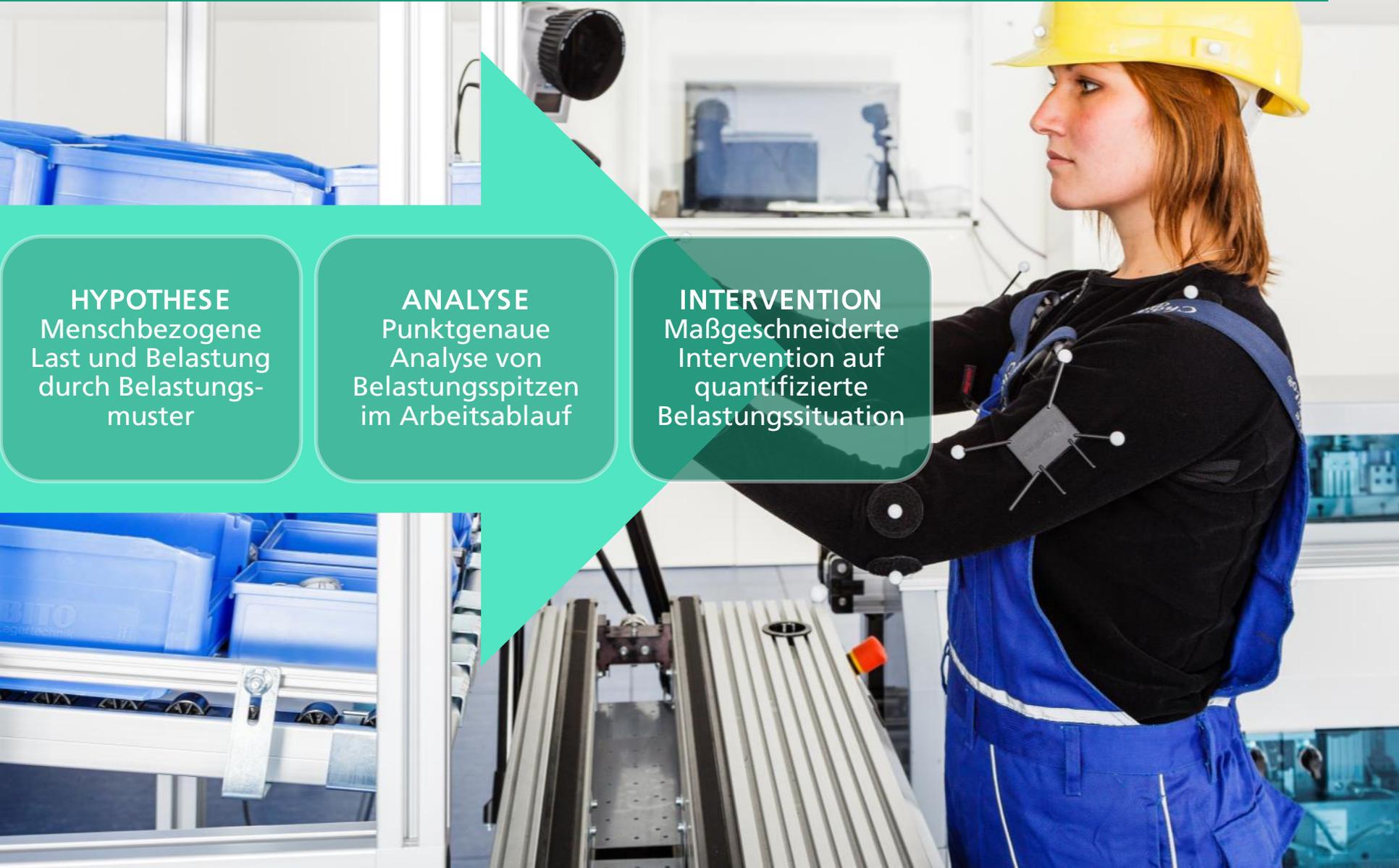
Stuttgart Exo-Jacket – erste Power Assist-Arbeitsjacke  
für Schwermontage und Logistik

# Ableitung ergonomischer Maßnahmen auf individuelle Fragestellung.

**HYPOTHESE**  
Menschbezogene  
Last und Belastung  
durch Belastungs-  
muster

**ANALYSE**  
Punktgenaue  
Analyse von  
Belastungsspitzen  
im Arbeitsablauf

**INTERVENTION**  
Maßgeschneiderte  
Intervention auf  
quantifizierte  
Belastungssituation

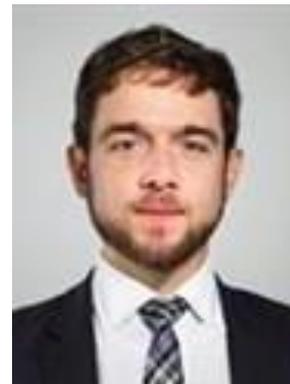


# Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.



■ Urban Daub M.Sc.  
Fraunhofer IPA  
Nobelstr. 12  
70569 Stuttgart

urban.daub@ipa.fraunhofer.de  
+49 (0)711 970 -3645



■ Dipl.-Ing. Felix Starker  
Fraunhofer IPA  
Nobelstr. 12  
70569 Stuttgart

felix.starker@ipa.fraunhofer.de  
+49 (0)711 970 -3644