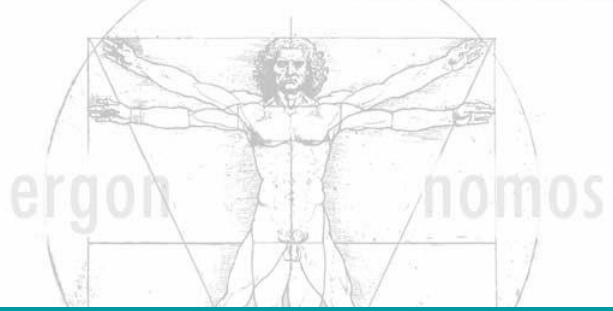
imk ERGONOMIE



ecn
Ergonomie Kompetenz Netzwerk

Prof. Dr. Lars Fritzsche

Ergonomie 4.0

Neue Chancen und Herausforderungen für die Fachdisziplin

Tage der Ergonomie 2020, 5.-6.3.2020, Friedrichshafen

Herausforderungen durch aktuelle Trends und Entwicklungen

Digitalisierung, „Industrie 4.0“, „Big Data“, „Cyberphysische Systeme“

Steigende Datenflut, Flexibilität und Komplexität in der Fertigung, Virtuelle Prototypen

Neue Systeme zur Datenerfassung

Motion Capturing, Sensorsysteme, Wearables, etc.

Neue Technologien und Assistenzsysteme

Mensch-Roboter Kollaboration (MRK), Exoskelette, etc.

Verschärfung der Demographischen Entwicklung

Zunahme der Alterung bis 2050, mehr „Leistungsgewandelte“ Mitarbeiter, steigende Diversität

1. Digitalisierung in I.E. und Planung

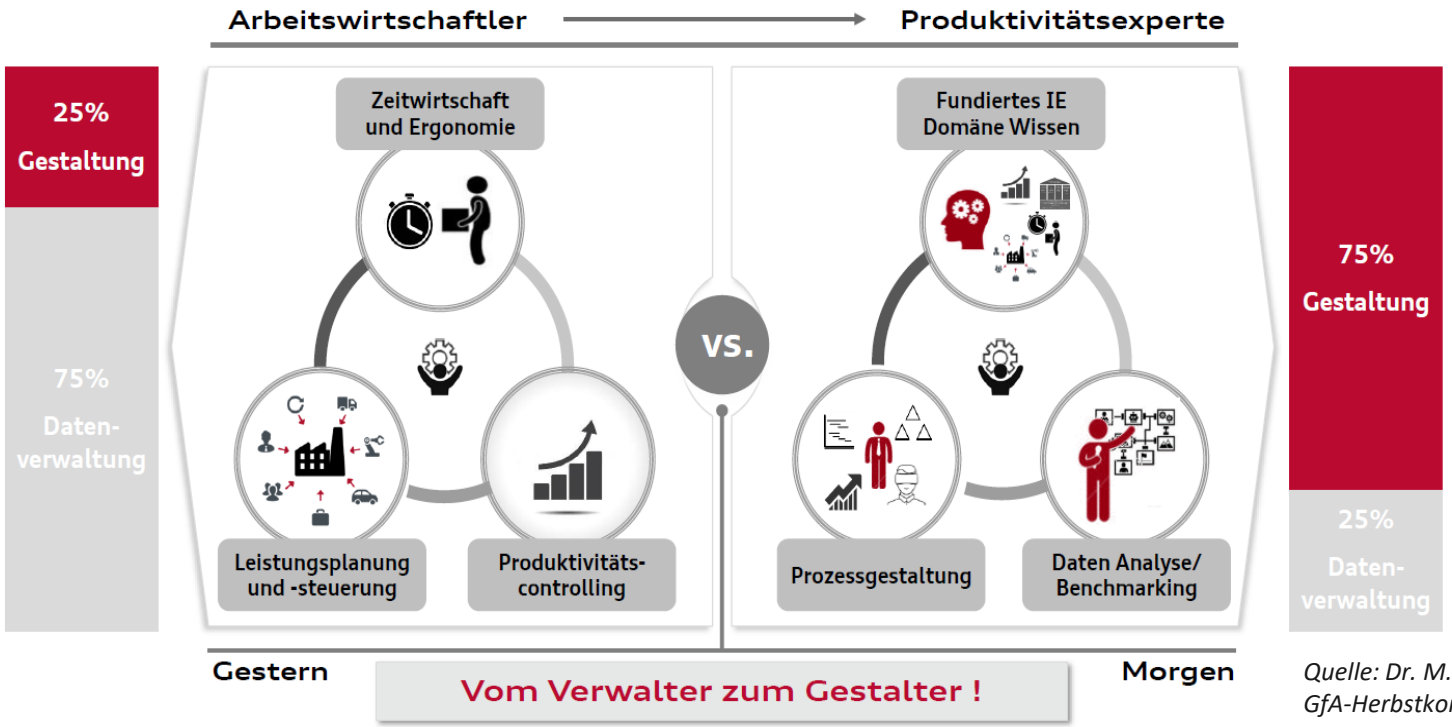
2. Biomechanische Analyse von Exoskeletten

3. Absicherung von Mensch-Roboter-Kollaboration

4. Fähigkeitsgerechte Arbeitsplatzgestaltung

5. Ausblick & Fazit

Die Rolle des Industrial Engineers wird sich vor dem Hintergrund der Digitalisierung in Zukunft stark wandeln.



Quelle: Dr. M. Keil, Audi AG, GfA-Herbstkongress 2019, 13.09.2019, Böblingen

Simulation liefert Datenstrom für automatisierte Zeit- und Ergonomieanalysen

MTM

ema imk

Simulation

MTM-HWD®

parametrisierter Datenstrom menschlicher Arbeit (pDmA)

Validierung in Arbeit

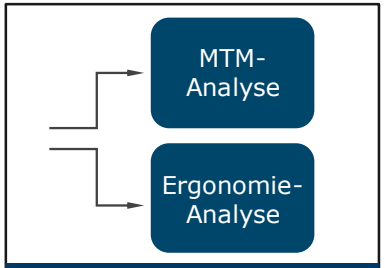
imk MTM

Simulationsanalyse

MTM-HWD®-Ablaufbeschreibung
Zeitbewertung (tg) in HWD, UAS, etc.
Ergonomiebewertung in EAWS, etc.

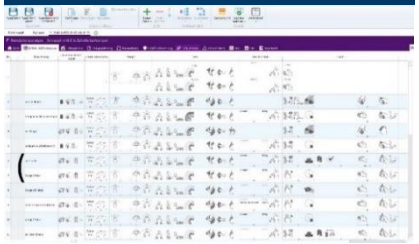
Approved by MTM

TiCon4

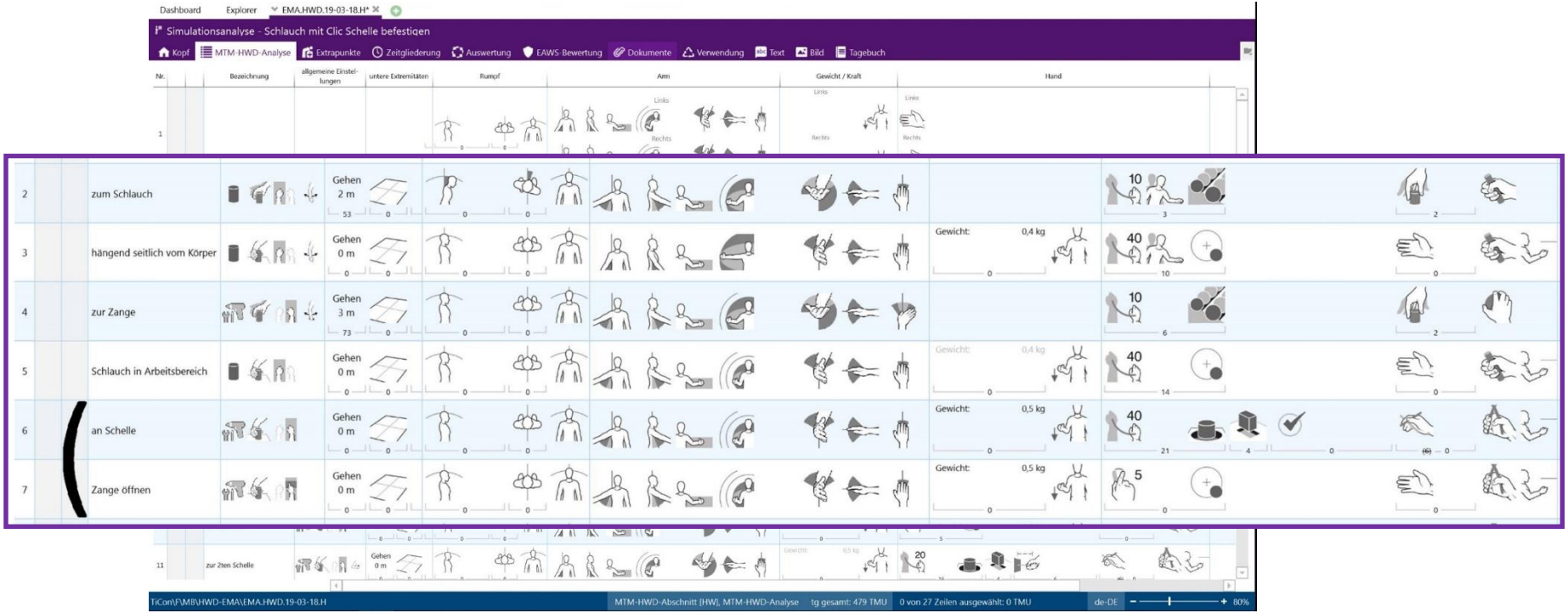


pDmA-HWD®-Prozessor

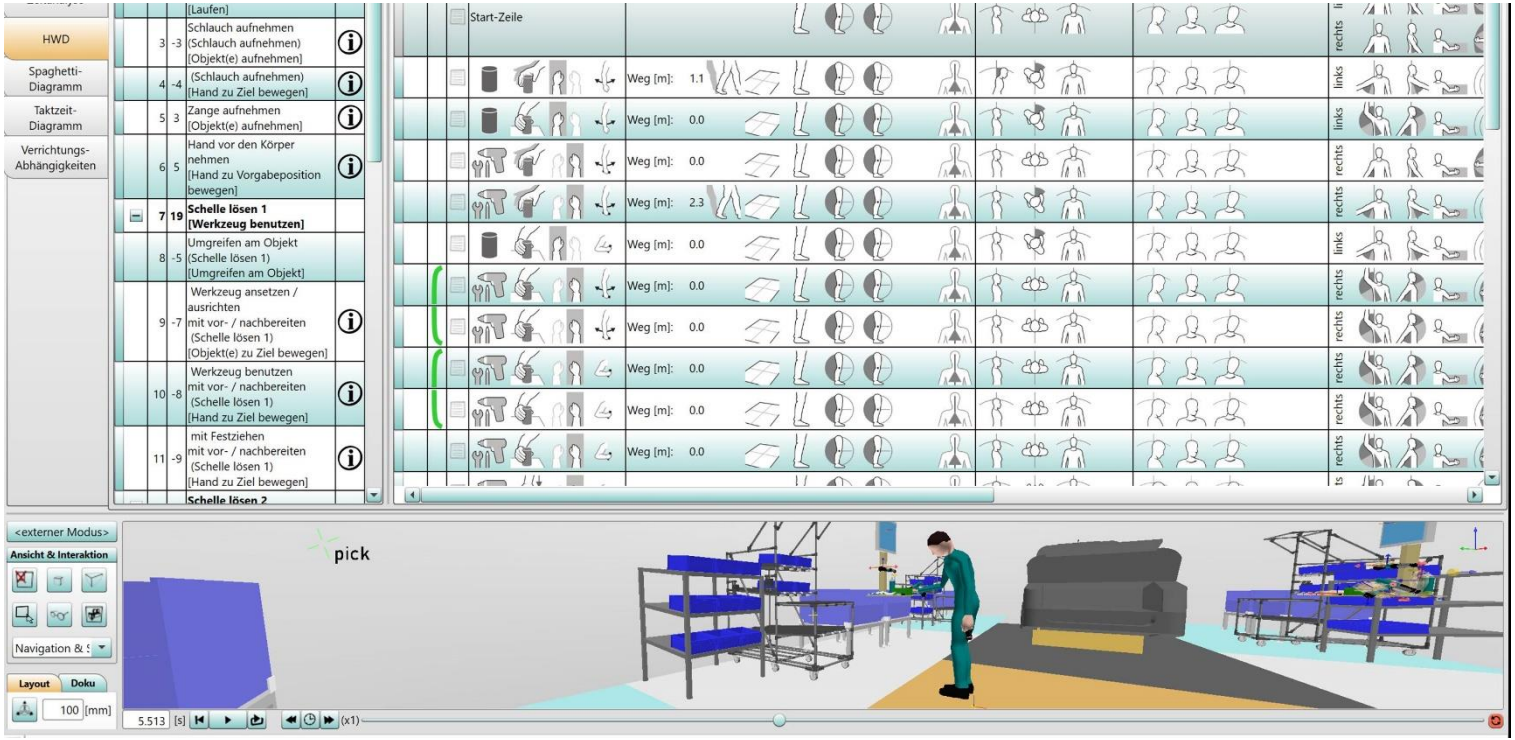
MTM-HWD®



Parametrisierter Datenstrom menschlicher Arbeit (pDmA) und MTM-HWD®



Parametrisierter Datenstrom menschlicher Arbeit (pDmA) und MTM-HWD®



Parametrisierter Datenstrom menschlicher Arbeit (pDmA) und MTM-HWD®

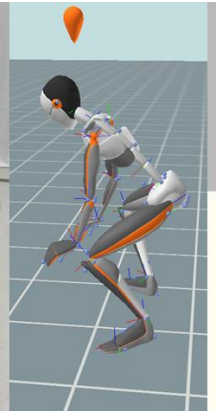
Validierung in Arbeit

Der pDmA ist Grundlage für…

- Effiziente Zusammenarbeit mit weiteren digitalen Systemen wie Motion Capturing, VR, etc.
- Automatisierte Übersetzung in weitere Systeme der Ergonomie- und MTM-Zeitbewertung
- (Teil-)autonomen Aufbau von Simulationen auf Basis von Vorranggraph und Stückliste oder bereits vorhandener Arbeitsplänen (z.B. von Vorgänger- oder Referenzfahrzeugen)

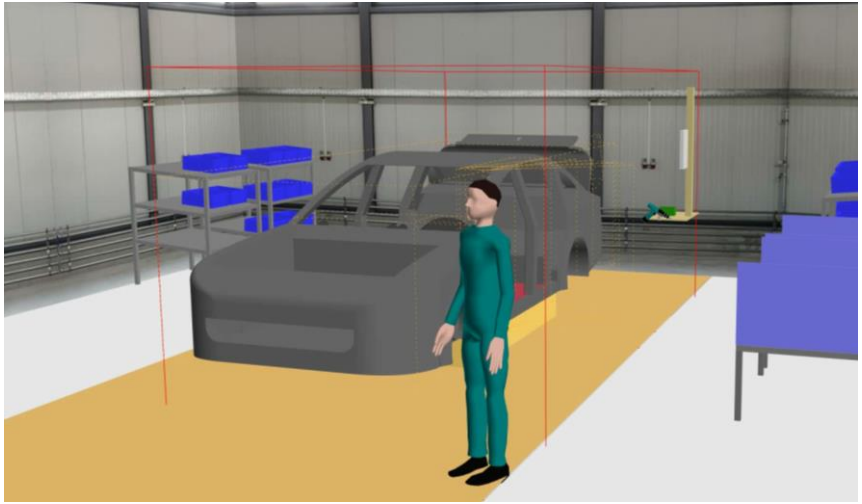
Integration von Motion Capturing – Beispielsimulation

Reale Bewegung mit MoCap Xsens MVN



Darstellung in Xsens

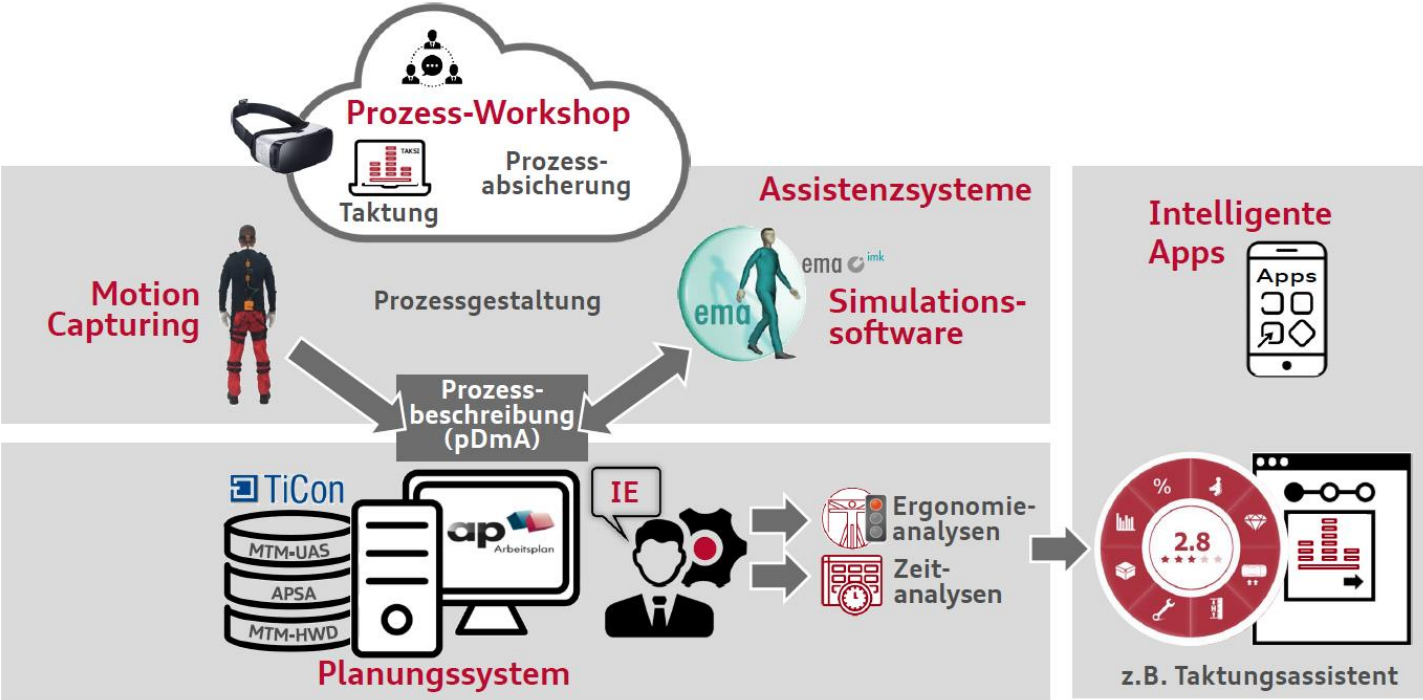
Übertragung in ema



Beispiel Motion-Capturing

- ➡ Import und Bearbeitung von MoCap-Aufnahmen in der ema Simulation möglich
- ➡ Ergänzung der virtuellen Arbeitsumgebung und ggf. weiterer Tätigkeiten durch Standardfunktionalitäten von ema
- ➡ Teilautomatische ergonomische Beurteilung der MoCap-Aufnahmen (manuelle Ergänzung von Kräften, Lasten, Extrapkt.)

Ziel: Virtuelle Planung ohne physische Prototypen

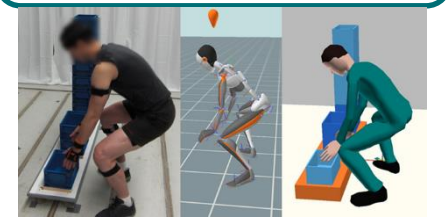


Quelle: Dr. M. Keil, Audi AG, GfA-Herbstkongress 2019, 13.09.2019, Böblingen

Beispiel-Workflow in Kombination mit anderen digitalen Werkzeugen

1 Motion Capturing

- für spezielle Tätigkeiten
- individuelle Bewegungsdaten

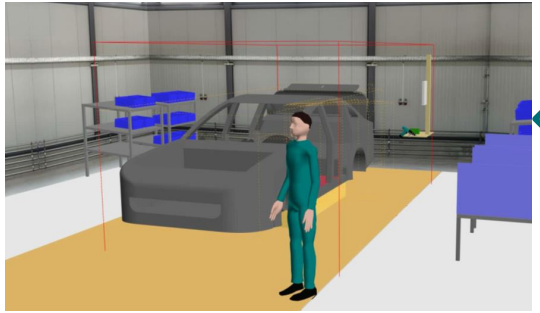


Import-Wizard für Arbeitspläne, Stücklisten, Layout, etc.

ema Templates für Standard-Tätigkeiten / Umgebungen

2 Aufbau Grundszenario in ema

- Abbildung des gesamten Prozesses
- Ergänzung von Verrichtungen und Arbeitsumgebung (Ressourcen)
- Objektivierung und Normierung individueller Motion Capturing Daten



3 Visualisierung in VR

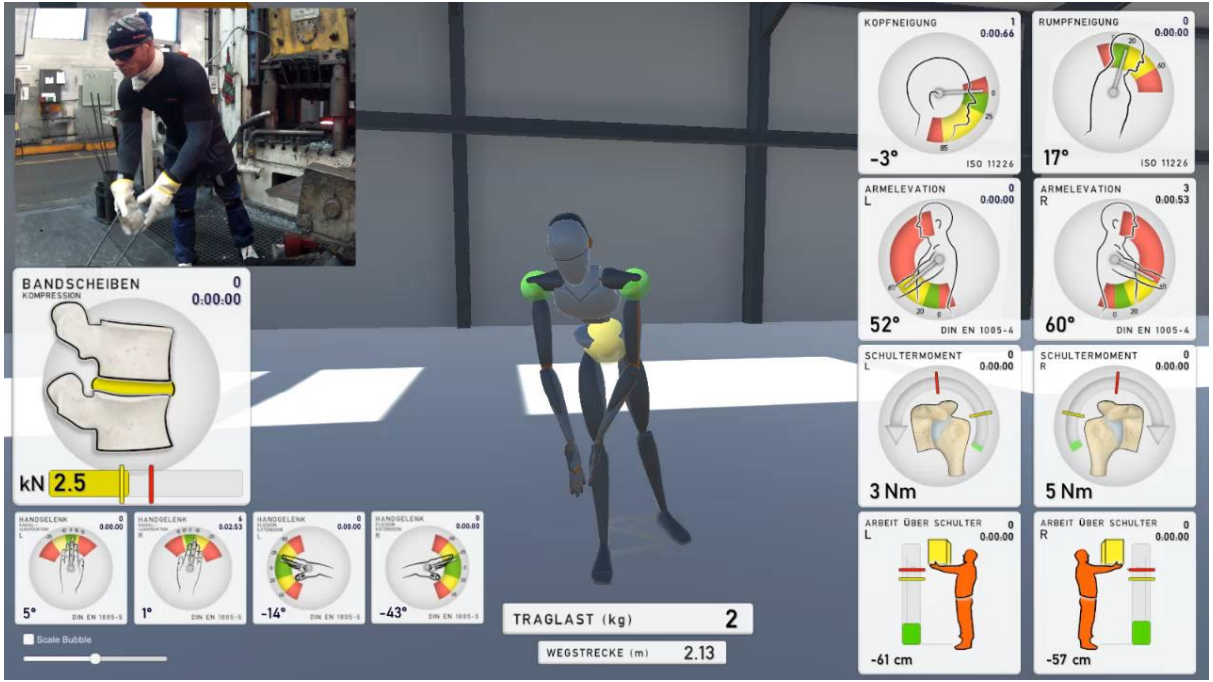
- Single User/ Multi User
- Kollaborative Besprechung
- Gestaltung & Optimierung

4 Dokumentation in ema

- Finale Planung & Bewertung
- Ablage & Dokumentation
- ggf. Weitergabe an externe Systeme (TiCon, Arbeitsplan)

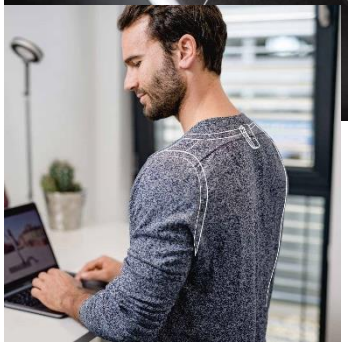
Ergonomiebewertung durch MotionCapturing

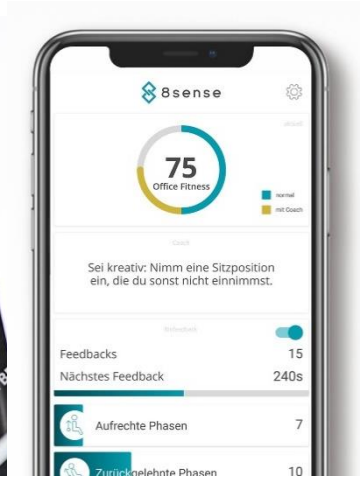
Beispiel:
„Industrial Athlete“
(MoCap mit XSENS MVN)



Erfassung von Gesundheitszustand mit tragbaren Sensoren

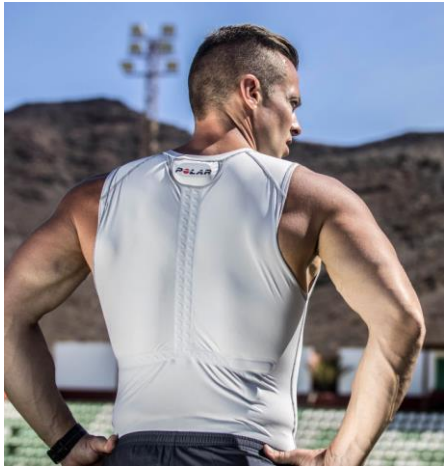
8-Sense Wearable Clip Sensor





(Quelle: www.8sense.com)

Polar Pro Wearable Tracking Shirt



(Quelle: www.polar.com)

Samsung Gear Fit 2

(Quelle: www.samsung.com)

…und viele mehr.

Chancen und Herausforderungen der digitalen Datenerfassung

Gemeinsames Ziel:

- Dynamische Zustandserkennung der körperlichen und/oder mentalen Belastung der Mitarbeiter
- Ergreifen von Präventionsmaßnahmen wenn das Risiko einer Überlastung droht

→ **Vielversprechender Ansatz als Ergänzung zur klassischen ergonomischen Arbeitsgestaltung**

Herausforderungen sind vielfältig:

- Schutz personenbezogener Daten i. S. DSGVO (u.a. Grundsatz: Datenaufnahme u. Speicherung minimieren)
- Valide Erfassung und Interpretation der Vitalparameter (z.B. entsprechend betriebl. Bewertungsverfahren)
- Ableitung passender betrieblicher Maßnahmen zur individuellen Prävention und allgemeinen Gestaltung

1. Digitalisierung in I.E. und Planung

2. Biomechanische Analyse von Exoskeletten

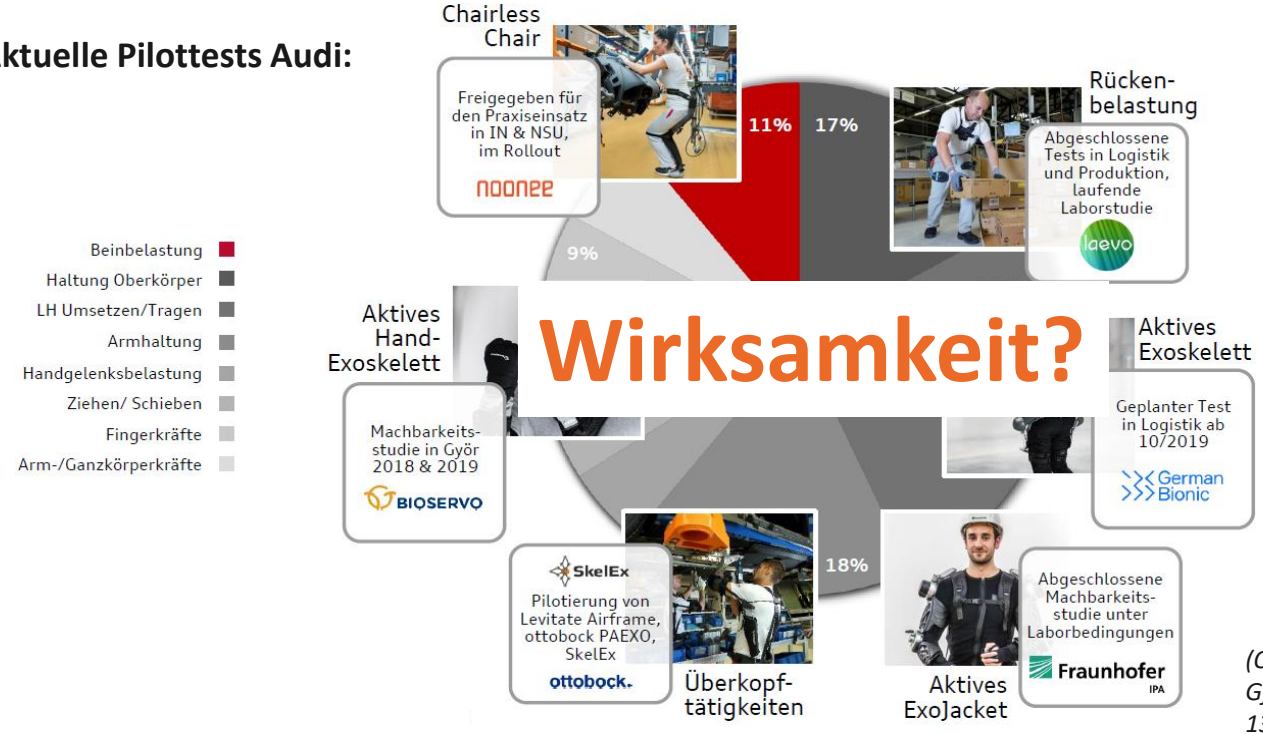
3. Absicherung von Mensch-Roboter-Kollaboration

4. Fähigkeitsgerechte Arbeitsplatzgestaltung

5. Ausblick & Fazit

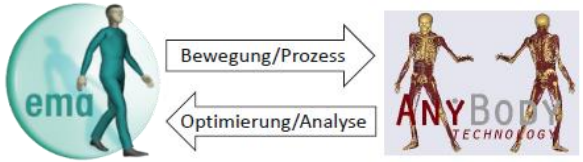
Potentielle Einsatzfelder von Exoskeletten in der Automobilproduktion

z.B. Aktuelle Pilottests Audi:



(Quelle: Dr. M. Keil, Audi AG, GfA-Herbstkongress 2019, 13.09.2019, Böblingen)

„ema2AnyBody“ – Kopplung von ema und AnyBody zur biomechanischen Bewegungsanalyse



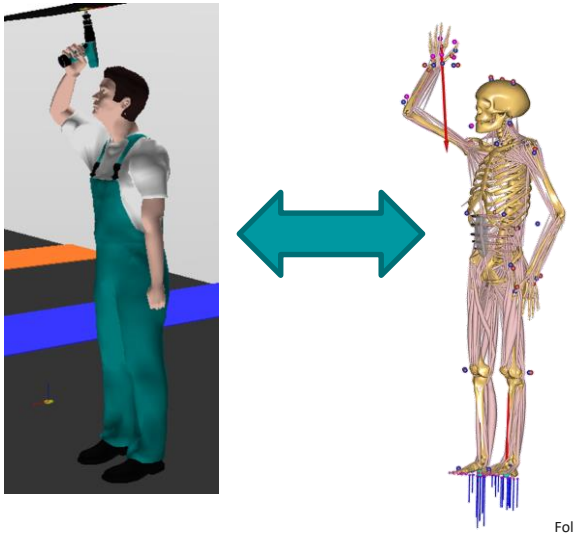
Projektpartner:

CADFEM GmbH, Grafing b. München

imk automotive GmbH, Chemnitz

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg,
Lehrstuhl für Konstruktionstechnik

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)

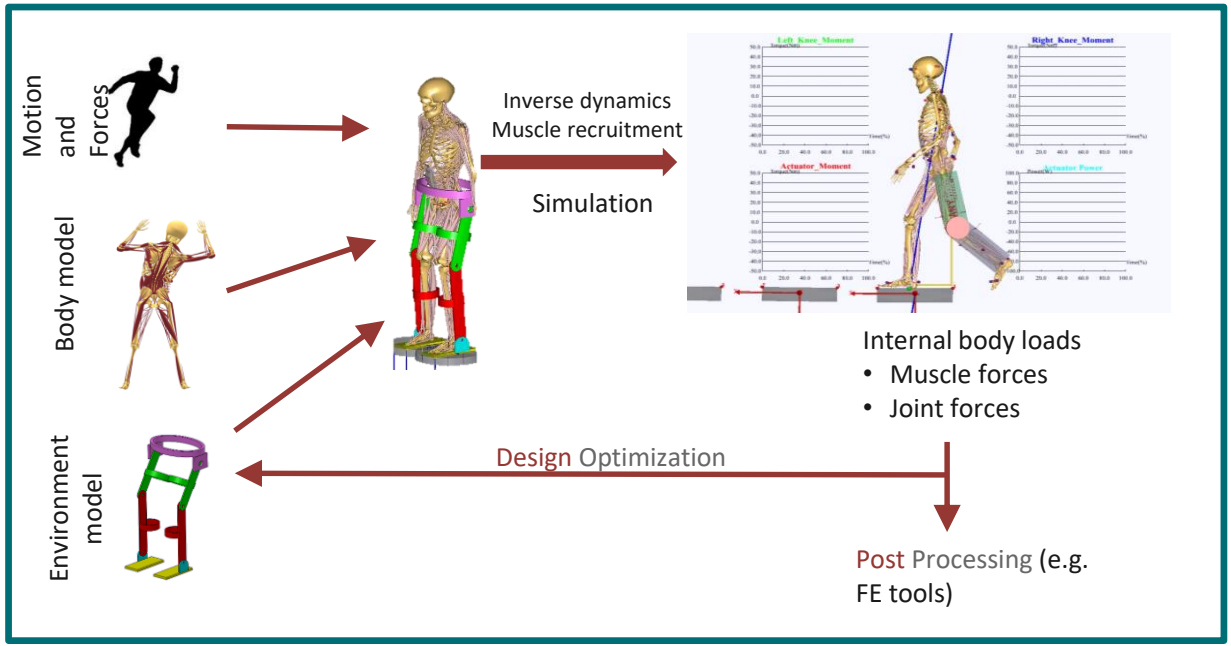


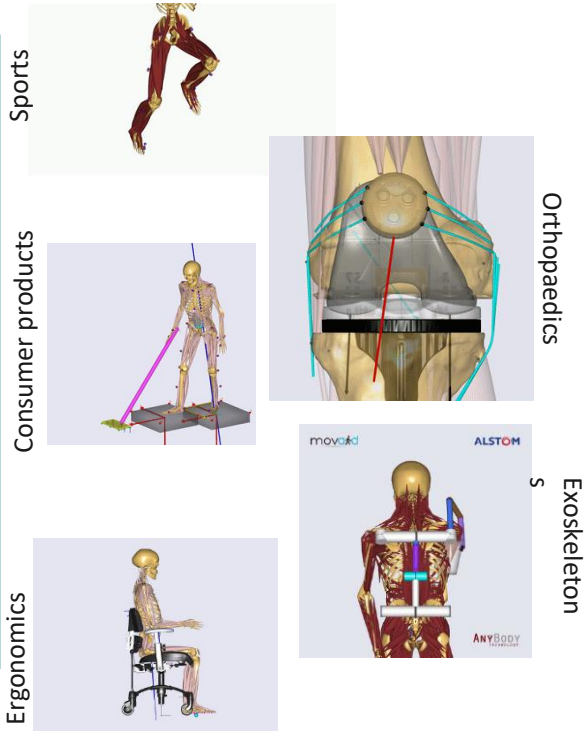
Ziel:

Übertragung artifizieller Bewegungen aus ema nach AnyBody zur biomechanischen Analyse und Optimierung

ZIM Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand
Supported by:
Federal Ministry for Economic Affairs and Energy
on the basis of a decision by the German Bundestag

AnyBody Modelling System





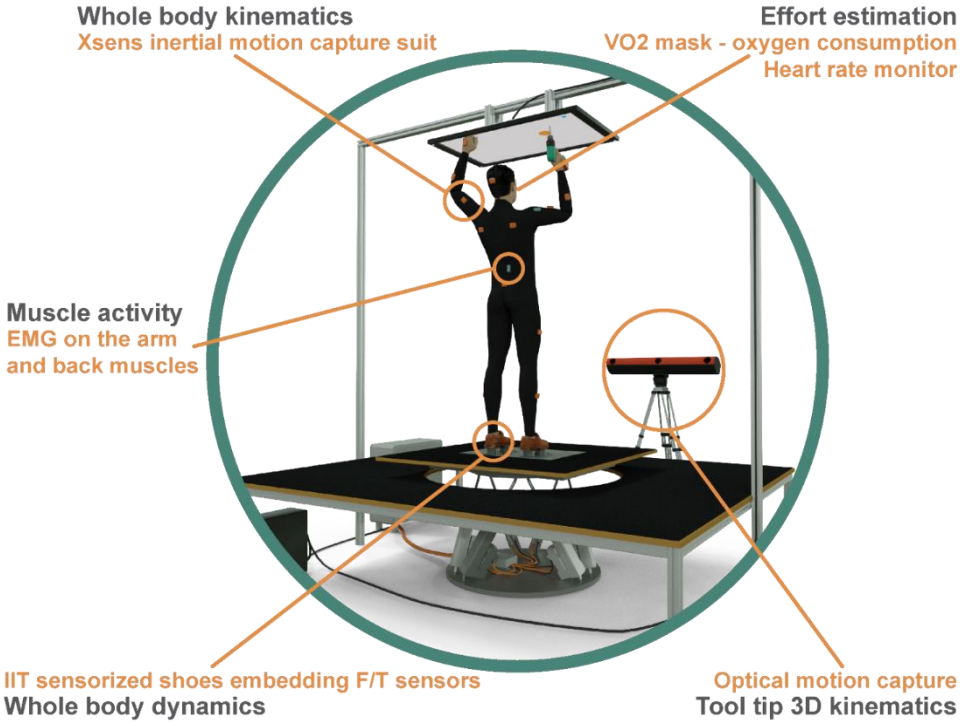
EU-Projekt AnDy – Laborstudie mit Exoskelett „PAEXO Shoulder“ (Versuchsaufbau)

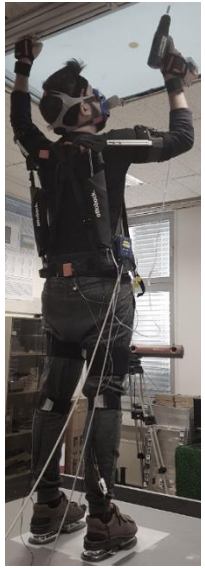
Durchgeführt von:

Institut "Jožef Stefan"
Ljubljana, Slowenien

Teilnehmer:

- 12 männl. Studenten
- Alter: 23.2 (+-1.3),
- Gewicht 72.6 kg (+-5.4),
- Größe 179.3 cm (+-5.9).





EU-Projekt AnDy – Laborstudie mit Exoskelett „PAEXO Shoulder“

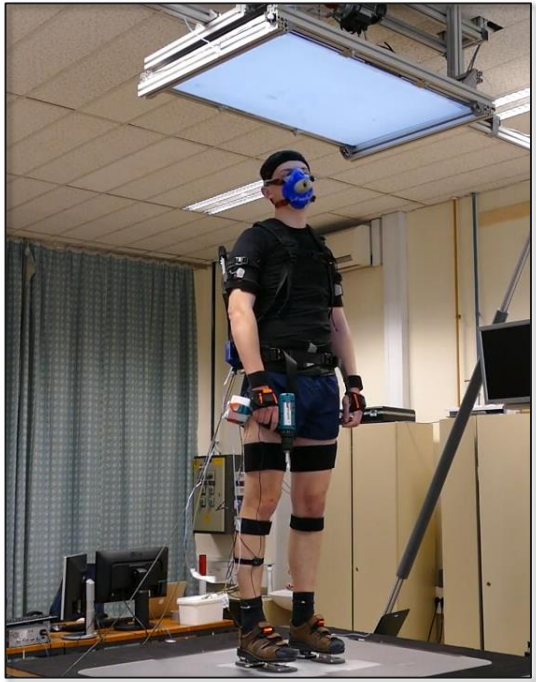
- **Physiologische Beanspruchung**
  - VO2 – Sauerstoffverbrauch: -33% ($p < .001$) mit PAEXO
  - Herzrate: -19% ($p < .001$) mit PAEXO

- **Elektromyographie (EMG):**
  - Schultermuskulatur (Deltoid): -54% ($p < .001$) mit PAEXO
  - Keine veränderte Aktivität in der Lendenwirbelsäule (L1-L5)

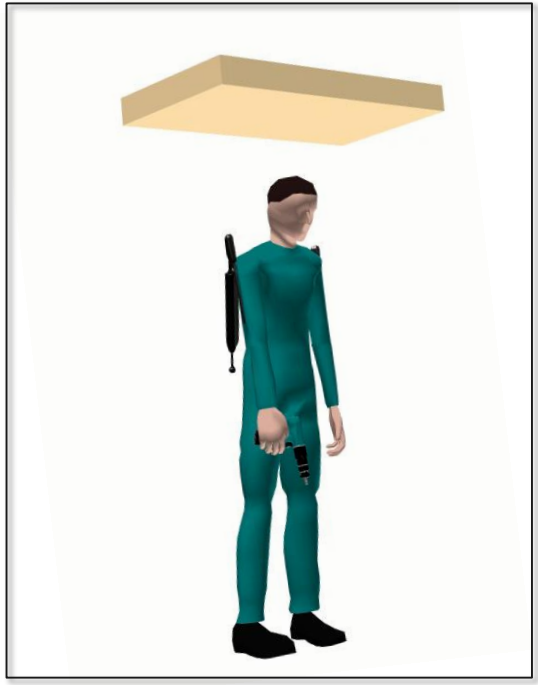
- **Subjektive Beanspruchung (NASA-TLX):**
  - Keine Zunahme der mentalen Belastung
  - Wahrgenommene Gesamtbelastung: -21% ($p < .001$) mit PAEXO

P. Maurice et al. (2019). Objective and Subjective Effects of a Passive Exoskeleton on Overhead Work. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering. Online ISSN: 1558-0210. DOI: 10.1109/TNSRE.2019.2945368

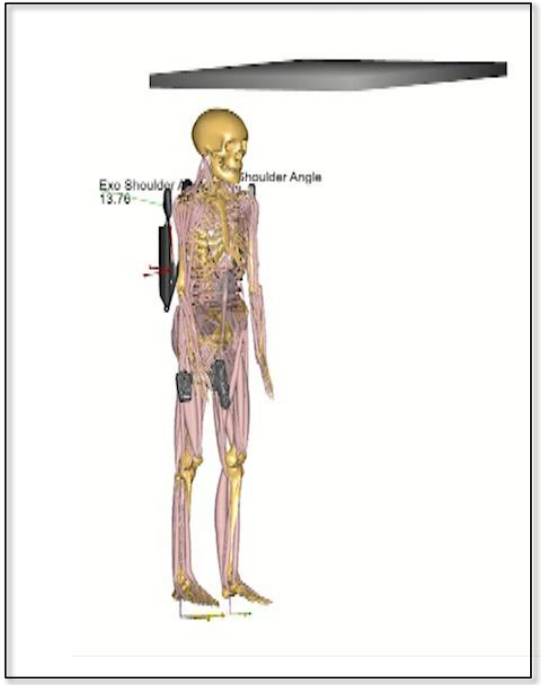
EU-Projekt AnDy – Simulation mit Exoskelett “PAEXO Shoulder”



Labor



ema



AnyBody

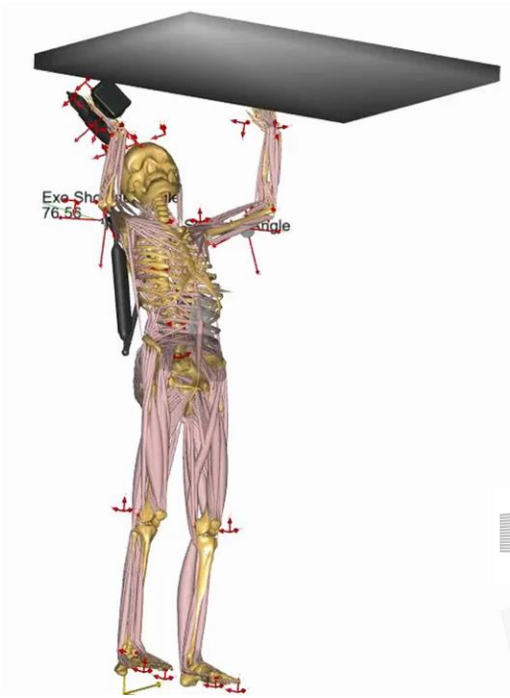
Benefits of using simulation studies for analysing exoskeletons

Simulation studies allow to:

- **Evaluate** exoskeleton prototypes and products regarding their **biomechanical and physiological effectiveness** (w.r.t. muscle activity, joint forces, energy expenditure)
- **Test design variants** and functional specifications without risk and with relatively low effort before building physical prototypes and conducting costly lab and field studies
- Eventually gain insights on how to optimize the design of exoskeletons to **better fit a specific use case and/or user population** with certain anthropometric requirements

→ Simulation studies should be used in the design phase of new exoskeletons and supplement lab and field studies that investigate use cases of existing exoskeletons

(For the PAEXO case study we are currently working on processing the data of all study participants (N = 12) and trials (5 with 24 single motions each) with/without exosekleton using a script-based approach for automated simulation/calculation and data analysis.)



1. Digitalisierung in I.E. und Planung

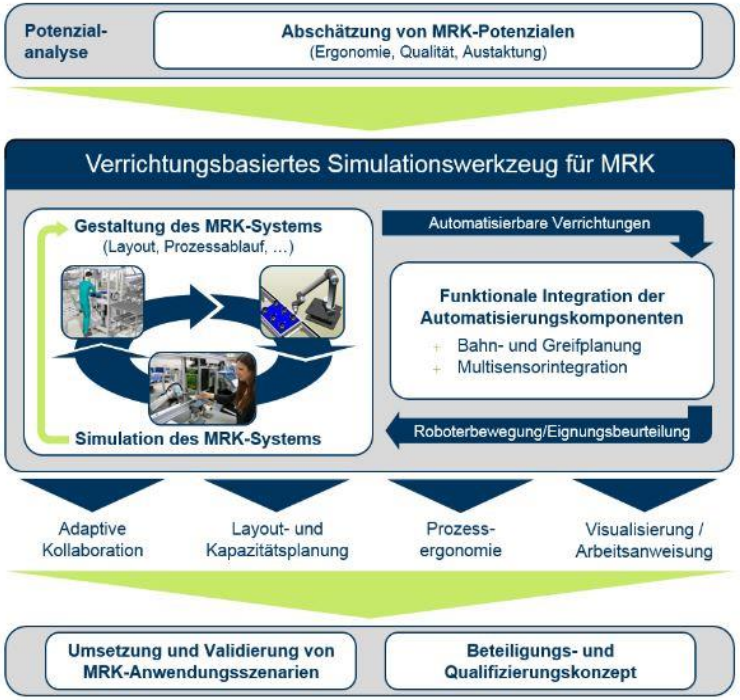
2. Biomechanische Analyse von Exoskeletten

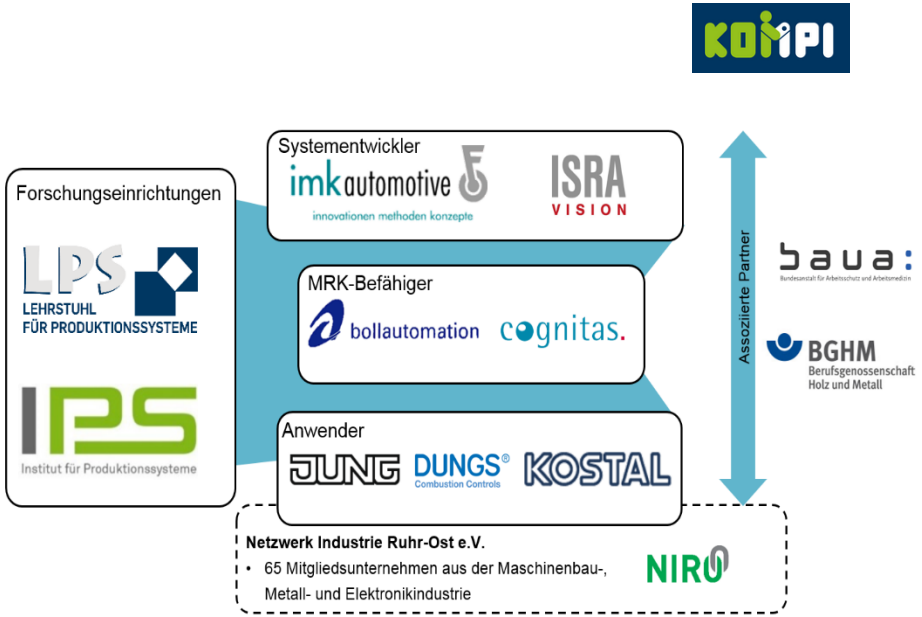
3. Absicherung von Mensch-Roboter-Kollaboration

4. Fähigkeitsgerechte Arbeitsplatzgestaltung

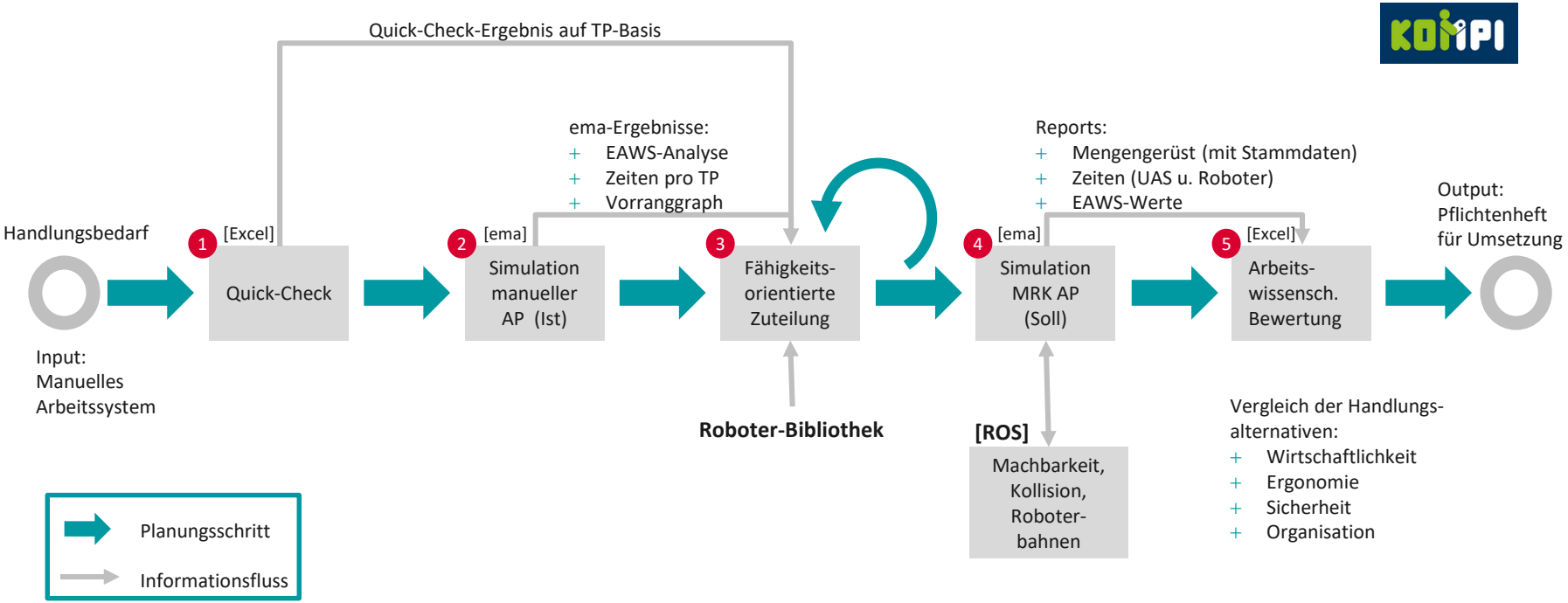
5. Ausblick & Fazit

Projekt KOMPI – Verrichtungsbasierte, digitale Planung kollaborativer Montagesysteme





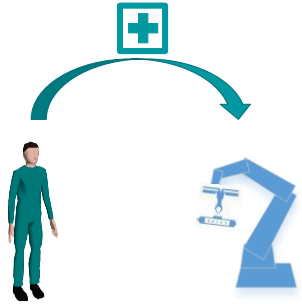
Workflow der MRK-Planung im KoMPI-Projekt



Ermittlung Ergo-Potenzial durch Rückschlüsse der Belastungen auf Verrichtungsebene

Menschmodell, 50. Perzentil, männlich, deutsch

- 43,32% Gehäuse Oberteil auf ZSB platzieren und verschrauben — 77.27%
  - Oberteil aufnehmen
  - Oberteil auf Unterteil platzieren
  - Oberteil 1x mit Akkuschrauber verschrauben
- 1,11% Ringschrauben auf Gehäuse Oberteil platzieren und händig verschrauben — 61.36%
  - Ringschrauben aufnehmen
  - Ringschrauben auf Obterteil platzieren
  - 1. Ringschraube per Hand verschrauben
  - 2. Ringschraube per Hand verschrauben
- 100,00% fertig montiertes Gehäuse auf Stapellift absetzen — 84.09%
  - Gehäuse aufnehmen
  - Gehäuse auf Stapellift platzieren
  - zum Start gehen



In Entwicklung:

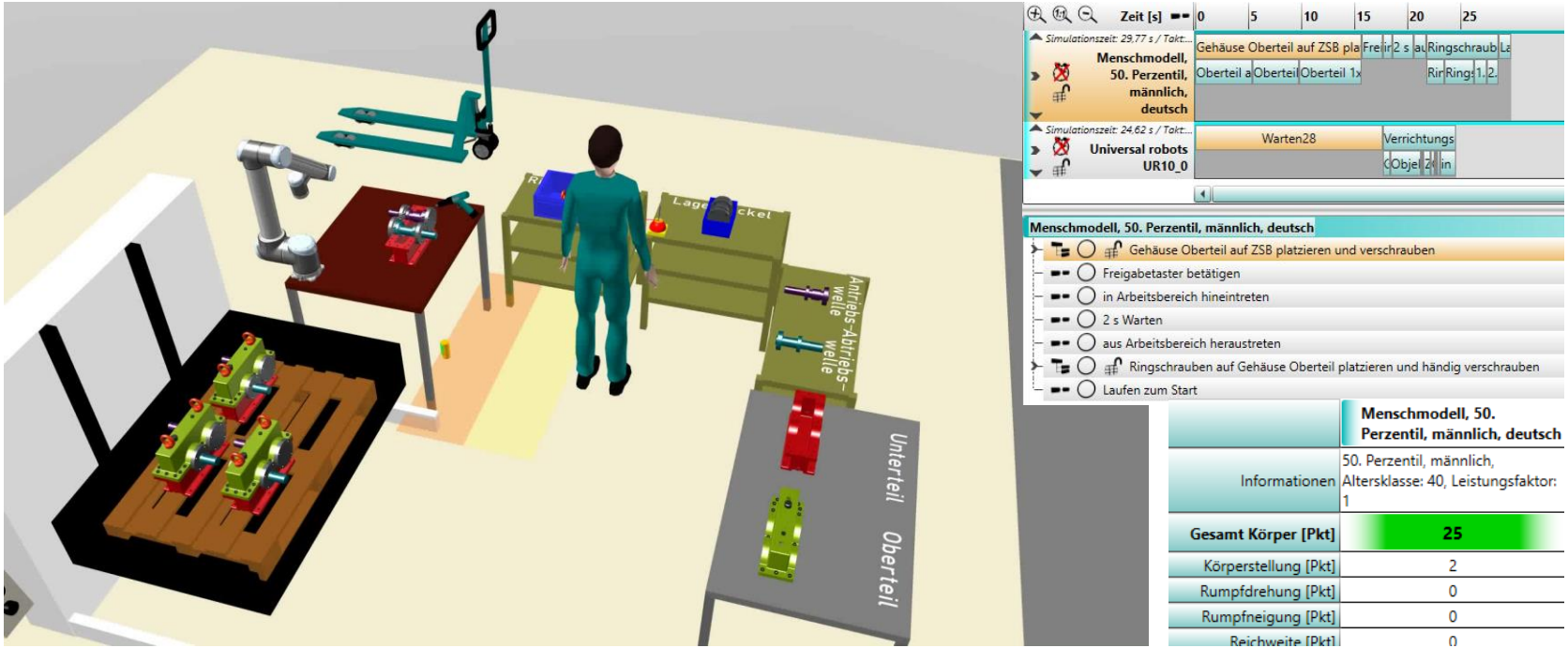
Menschmodell, 50. Perzentil, männlich, deutsch

- Gehäuse Oberteil auf ZSB platzieren und verschrauben
  - Oberteil aufnehmen
  - Oberteil auf Unterteil platzieren
  - Oberteil 1x mit Akkuschrauber verschrauben

Ergo-Potenzial 80 %

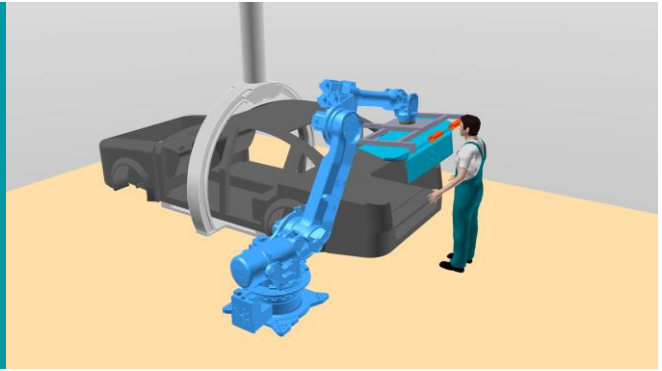
Automati-sierungs-potenzial 50 %

Beispiel: MRK-Synchronisierung mit sicherheitsbewertetem überwachtem Halt

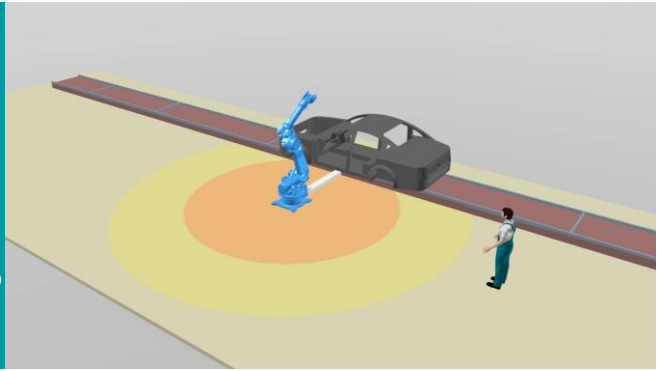


EN ISO 10218, ISO/TS 15066 Betriebsarten

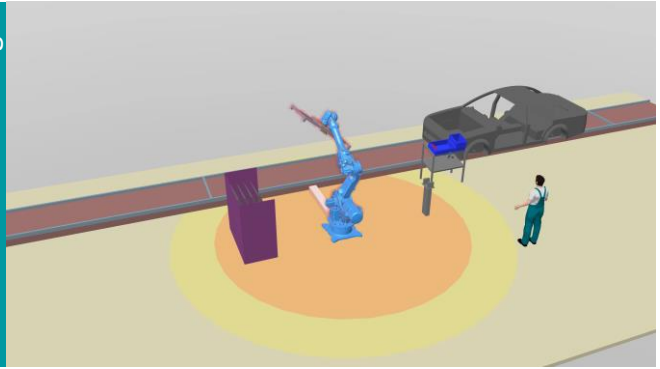
Handführung



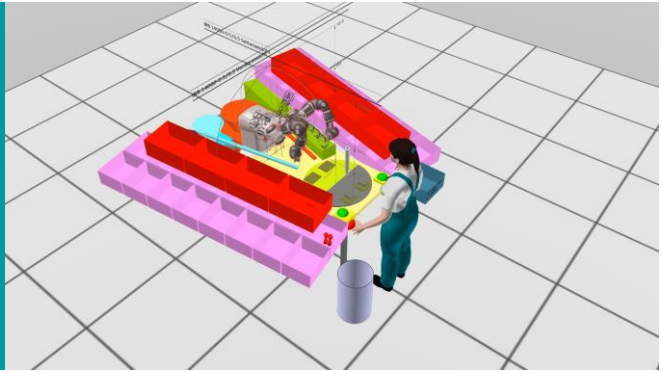
Sicherheits-gerichteter Halt



Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung

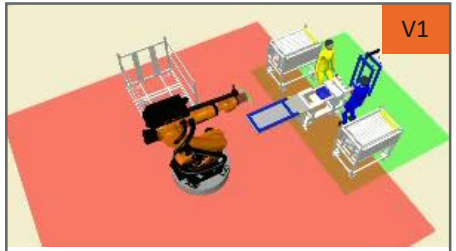


Kraft- und Leistungsbegrenzung



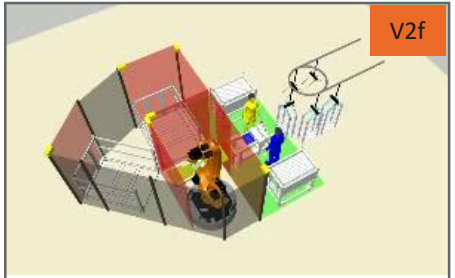
Mensch-Roboter-Kollaboration: Planung & Umsetzung

Planungsentwürfe und Workshopideen



erster Entwurf
- ein Ladungsträger, mittiger Roboter

alternativer Roboter
- Roboter KR 20-3 an Decke montiert



verbessertes Layout
- Lichtvorhänge, Ladungsträger Typ A

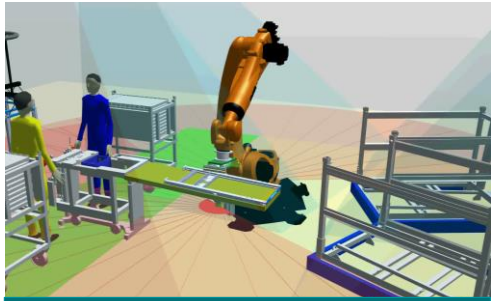
finales Layout
- KR 120 plus Sicherheitsausrüstung

Lead-Zeit
< 6 Monate

Taktzeit: -47%

Ergonomie: -33%

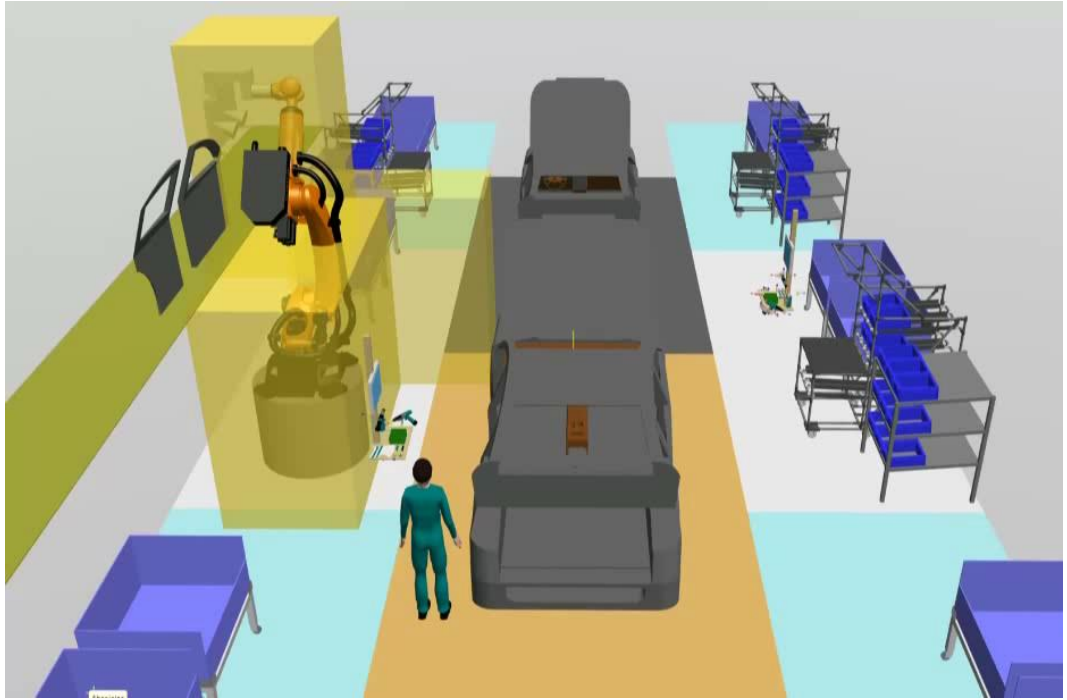
Finale Umsetzung



ema-Simulation (November 2016)

Normalbetrieb (August 2017)

Zusammenfassung: 3D-Planung und Absicherung von Mensch-Roboter-Kollaboration



Vorteile digitaler MRK-Planung:

- **valide Daten** für menschliche Arbeit (Fertigungszeit und Ergonomie)
- **valide Daten** für Roboter-Arbeit (Geschwindigkeit und Erreichbarkeit)
- **systematische Arbeitsteilung** und optimale Synchronisierung von Mensch und Roboter
- **integrierter Sicherheitscheck,** z.B. durch Berechnung und Bewertung von Kollisionen
- **virtuelle Machbarkeitsanalyse** ohne teure Laborversuche und Pilotaufbauten
- **Visualisierung** als gemeinsame Sprache für alle Beteiligten zur Lösungsfindung

➡ **Zeit- und Kostenersparnis durch schnelle und valide Ergebnisse**

1. Digitalisierung in I.E. und Planung

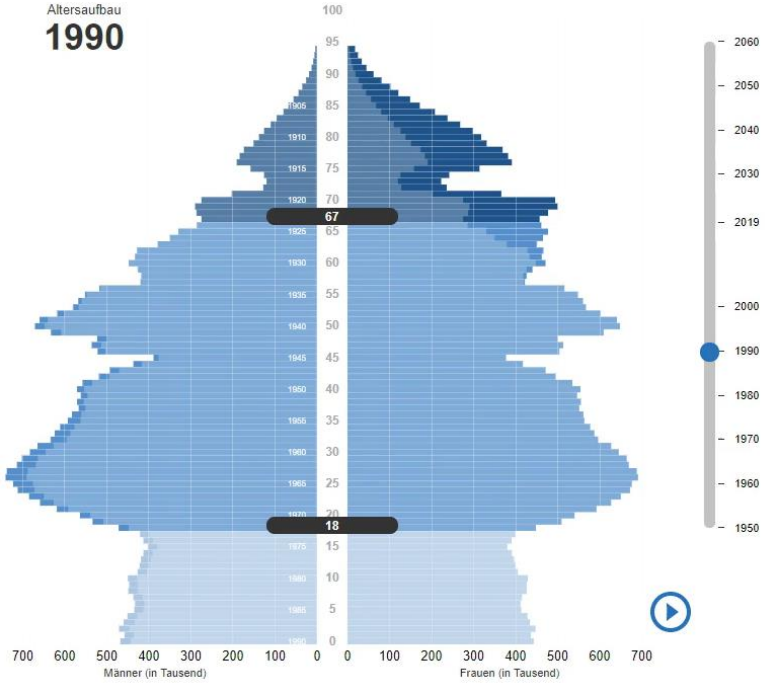
2. Biomechanische Analyse von Exoskeletten

3. Absicherung von Mensch-Roboter-Kollaboration

4. Fähigkeitsgerechte Arbeitsplatzgestaltung

5. Ausblick & Fazit

Demographische Entwicklung führt zu einer weiteren Alterung der Erwerbsbevölkerung



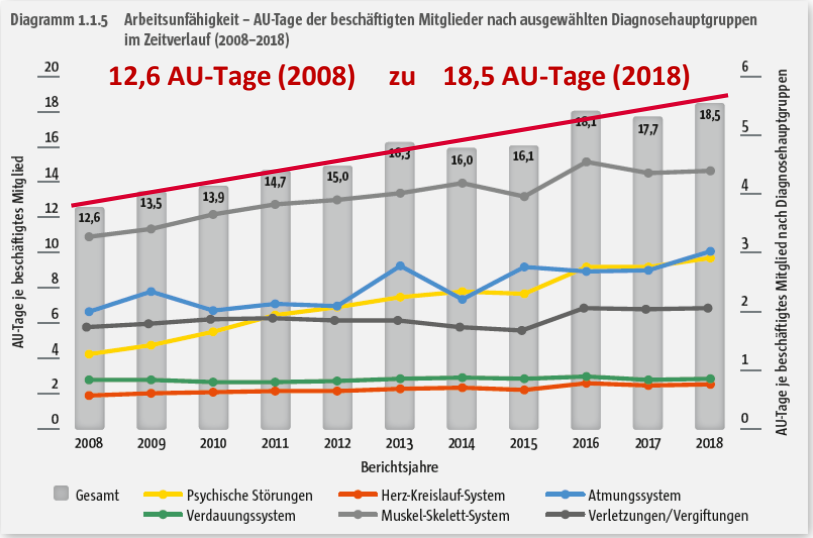
	2010	2020	2030
Anzahl Gesamtbevölkerung	81,5 Mio.	83,4 Mio.	83,0 Mio.
Anzahl / Anteil Erwerbstätige* (20-67 J.)	52,2 Mio. (64 %)	52,8 Mio. (63 %)	49,9 Mio. (60 %)
Altersdurchschnitt Gesamtbevölkerung	44,2 Jahre	45,1 Jahre	46,3 Jahre
Altersdurchschnitt Erwerbstätige* (20-67 J.)	43,8 Jahre	44,7 Jahre	45,1 Jahre

(Erwerbstätige meint Personen im erwerbstätigen Alter)*

© Statistisches Bundesamt (Destatis), 2019
14. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung für Deutschland
Variante 2: Moderate Entwicklung der Geburtenhäufigkeit, Lebenserwartung und Wanderung (G2L2W2)

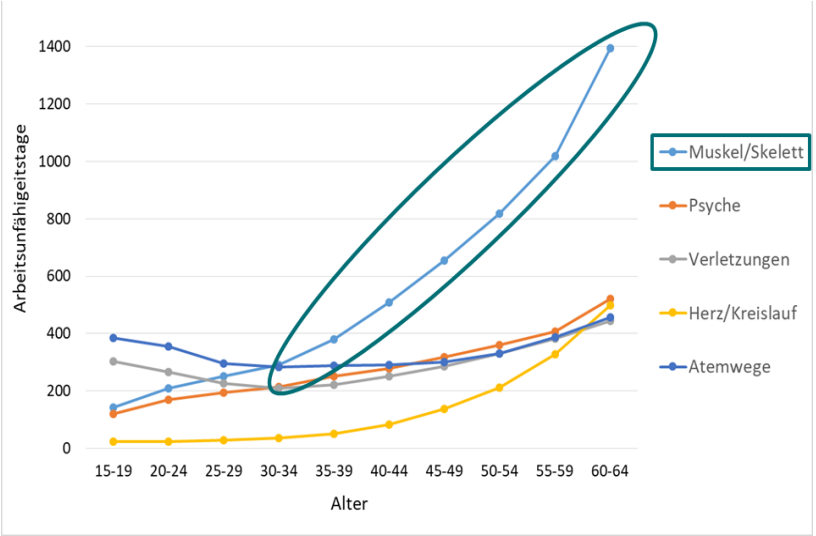
Arbeitsunfähigkeit Deutschland im Jahr 2018

Anstieg der Arbeitsunfähigkeit um 47 % in letzten 10 Jahren



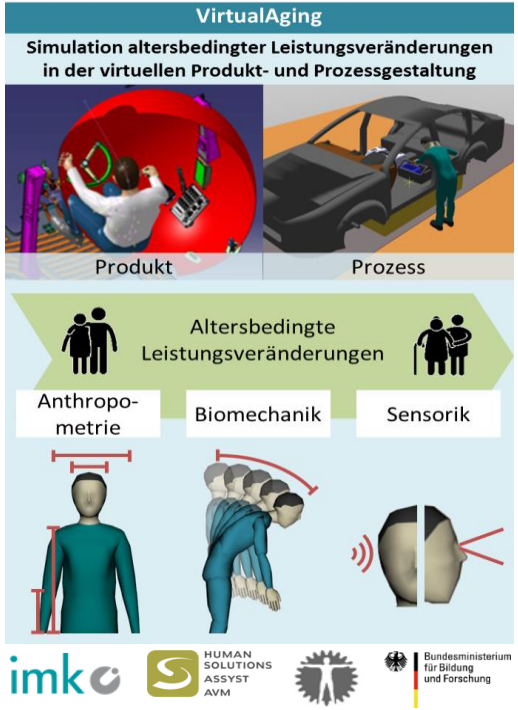
AU-Tage nach ausgewählten Diagnosegruppen (Quelle: BKK Report 2019)

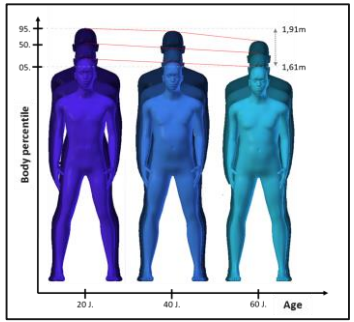
Mit zunehmenden Alter ansteigende Arbeitsunfähigkeit, vor allem verursacht durch Muskel-Skelett-Erkrankungen

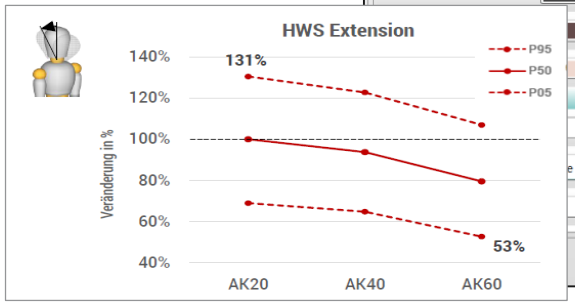


AU-Tage nach Altersgruppen / Diagnosegruppen (Quelle: AOK Report 2018)

Projekt „VirtualAging“ – Simulation altersbedingter Leistungsveränderungen





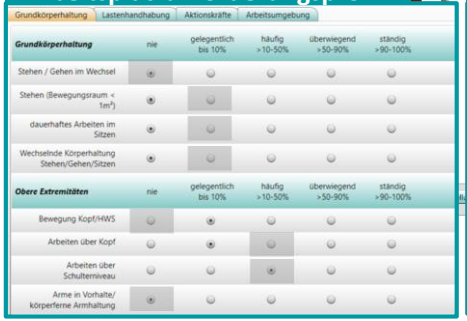


Fähigkeitsgerechte Arbeitsplatzgestaltung – Workflow zur Ein-/Ausgabe

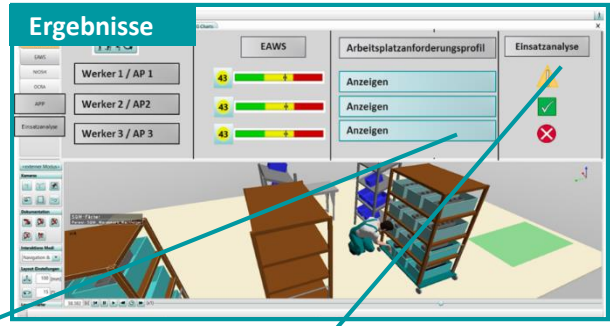
Eingabe Mitarbeiterprofil

(Video)

Ausgabe Arbeitsplatzanforderungsprofil



Ergebnisse



Ausgabe Einsatzanalyse

Flexibler Mitarbeiter-Einsatz & effiziente entlastungsorientierte Rotation

- Ziel: Reduzierung physischer und psychischer Belastungen durch Mix und ausgeglichene Verteilung von Belastungsarten
- Berücksichtigung von speziellen Fähigkeiten und Einschränkungen von älteren und leistungsgewandelten Mitarbeitern bzw. von allen Mitarbeitern
- Steigende Komplexität der Rotationsplanerstellung durch tagesaktuelle An-/Abwesenheiten, individuelle Fähigkeiten, vielfältigen Qualifikationsanforderungen und schwankendem Produktionsprogramm

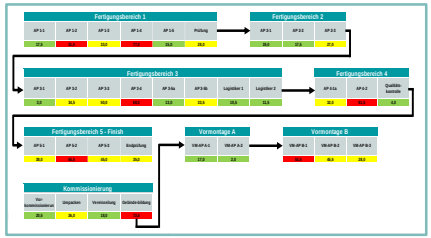
➡ **Excel-Tools sind nicht mehr ausreichend, sie werden meist nicht dauerhaft benutzt**

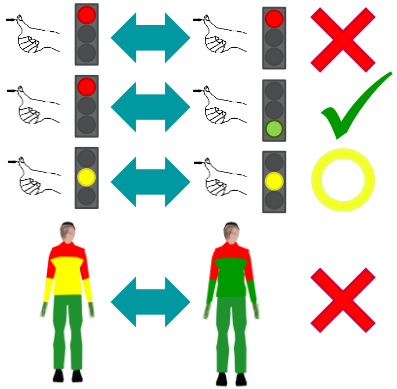
Flexibler Mitarbeiter-Einsatz & effiziente entlastungsorientierte Rotation

➡ **Kundenspezifische Software für Anwendung in Fertigung zur täglichen Nutzung**

(stets aktuell bzgl. Mitarbeiter u. Prod.Programm)

Ergonomie-Landkarte & Rotationsprofile → Rotationssystematik → Erstellung Rotationsplan





	Rotation auf Arbeitsplatz			
Mitarbeiter	**2h**	**4h**	**6h**	**8h**
MA 1	AP 5-2	AP 4-2	AP 4-1	AP 5-3
MA 2	AP 1-3	AP 2-1	AP 4-2	AP 4-1
MA 3	AP 1-4	AP 8	AP 1-3	AP 5-2

1. Digitalisierung in I.E. und Planung

2. Biomechanische Analyse von Exoskeletten

3. Absicherung von Mensch-Roboter-Kollaboration

4. Fähigkeitsgerechte Arbeitsplatzgestaltung

5. Ausblick & Fazit

Aktuelle Herausforderungen mit Innovationen meistern

Digitalisierung

Sensorsysteme

Exoskelette & Cobots

Demographie & Diversität

„Die reinste Form des Wahnsinns ist es, alles beim Alten zu lassen und gleichzeitig zu hoffen, dass sich etwas ändert.“

A. Einstein

imk ERGONOMIE

Eine Auswahl von Videos finden Sie unter: YouTube DE
https://www.youtube.com/user/imkautomotive/videos

Ergonomie

Kontakt
Prof. Dr. Lars Fritzsche
Fachbereichsleiter Ergonomie
Mobil: +49 (0)162 250 03 47
lars.fritzsche@imk-automotive.de
www.imk-automotive.de

Honorarprofessur
„Ergonomie und betriebliches Gesundheitsmanagement“
Prof. für Arbeits- und Organisationspsychologie
Technische Universität Dresden