LERNEN VON ERGONOMISCHEN BEWEGUNGEN DURCH AUDIO-VISUELLES FEEDBACK

Learntec Karlsruhe, 30.01.2018

Fraunhofer
IPA

Urban Daub, Michael Brück, Florian Blab

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA

Abt. Biomechatronische Systeme - Angewandte Biomechanik

AGENDA

- Vorstellung Fraunhofer IPA und Projekt „Future Work Lab“

- Konzept „Visualisierung von Ergonomie und Belastung“
- Grundlagen: Ergonomie, Lernen, Visualisiern

- Aktueller Stand und Umsetzung des Demonstrators
- Diskussion und Ausblick

© Fraunhofer IPA

Fraunhofer IPA

Technologieberater und Innovationstreiber seit 1959

- 70,8 Mio Euro Betriebshaushalt
- 25,8 Mio Euro Wirtschaftsertrag
- Mehr als 1.000 Mitarbeiter

Neubau Technikum Gebäude D in Stuttgart

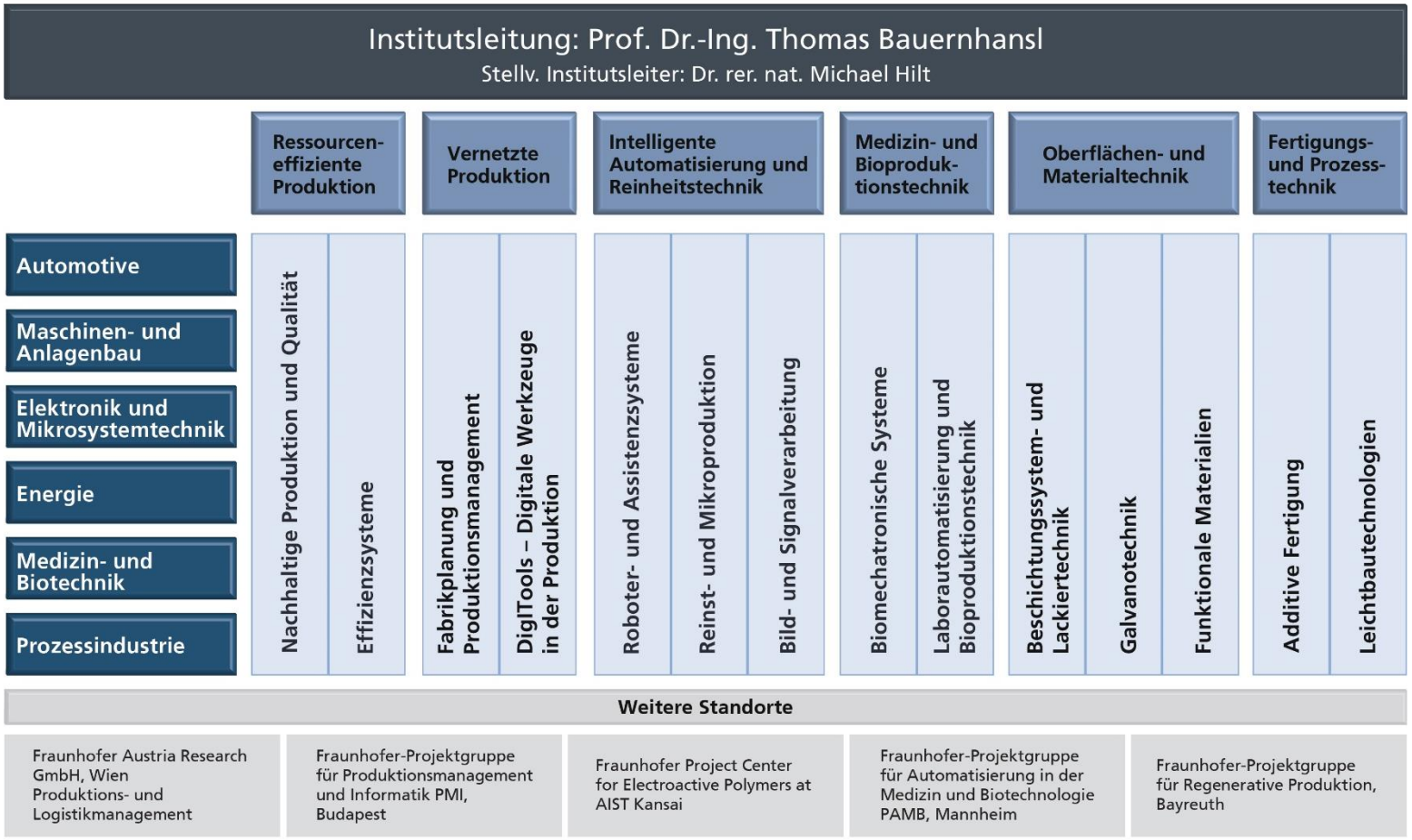
Fraunhofer-Institutszentrum Stuttgart

Hinweis: Zahlen beziehen sich auf das Gesamtjahr 2016; IPA Stuttgart inkl. der Standorte Rostock, Mannheim, Bayreuth, Wien

© Fraunhofer IPA

Fraunhofer IPA

Fraunhofer IPA
mit einer interdisziplinären Organisation



Stand: 01.2017

© Fraunhofer IPA

Fraunhofer IPA

Angewandte Biomechanik

Entwicklung von ergonomischen Lösungen

Fraunhofer IPA

Die ergonomische Prozesskette - Lösungen an der Schnittstelle von Automatisierung und manueller Handhabung

© Fraunhofer IPA

Projekt »FUTURE WORK LAB« (FWL)

Innovationslabor für Arbeit, Mensch und Technik am Standort Stuttgart

Anschubfinanzierung:

Bundesministerium für Bildung und Forschung

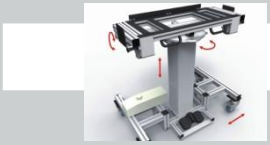
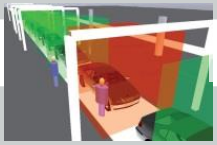
Mögliche Value-Partner:

- Unternehmen als Ausrüster und Nutzer
- Sozialpartner
- Verbände
- Kammern

»FUTURE WORK LAB«

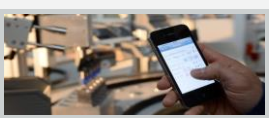
Fraunhofer IAO | Universität Stuttgart, Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT | Fraunhofer IPA | Universität Stuttgart, Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb IFF

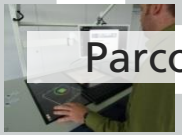
Demozentrum mit »Arbeitswelt der Zukunft-Parcours«

Parcours 2 »2025 Technik+«

Parcours 1 »Heute+«





Parcours 3 »2025 Mensch+«

Kompetenzentwicklungs- und Beratungszentrum »Fit für die Arbeit der Zukunft«

Modul 1	Modul 2	Modul 3	Modul 4	Modul 5	Modul X

Ideenzentrum für Arbeitsforschung »Work in Progress«

Think Tank und geschützter Raum für Forschung und Innovation rund um Arbeit und Mensch-Technik-Interaktion

Weitere Informationen: https://www.futureworklab.de

© Fraunhofer IPA

Visualisierung von Ergonomie und Belastung

KONZEPT

© Fraunhofer IPA

Demonstrator „Visualisierung von Ergonomie“
Ziele

- Neues Werkzeug zur ergonomischen Beurteilung des Bewegungsverhaltens
- Selbstständige Ergonomie-Analyse möglich
  – oder mit einem Ergonomie-Experten (auch per „Ferndiagnose“)
- Schulungskonzept mit Augmented-Reality Technologie direkt am Arbeitsplatz
- Ableiten physiologisch sinnvoller Ausgleichsbewegungen
- Aufzeigen unbewusster, nicht ergonomischer Bewegungsmuster, z.B.:
  - dauerhaft hochgezogene Schultern oder
  - permanent leicht vorgeneigter Oberkörper

© Fraunhofer IPA

Der Demonstrator „Visualisierung von Ergonomie“
Bewegungserfassung mit Xsens

- Xsens MVN Awinda
  - 3D Inertialsensor-System
  - 17 Sensoren („Streichholzschachtel“)
  - Erfassen von Gelenkwinkel und weitere Parameter der Bewegung
  - Schnelle Kalibration
  - Datenrate: 60 Hz

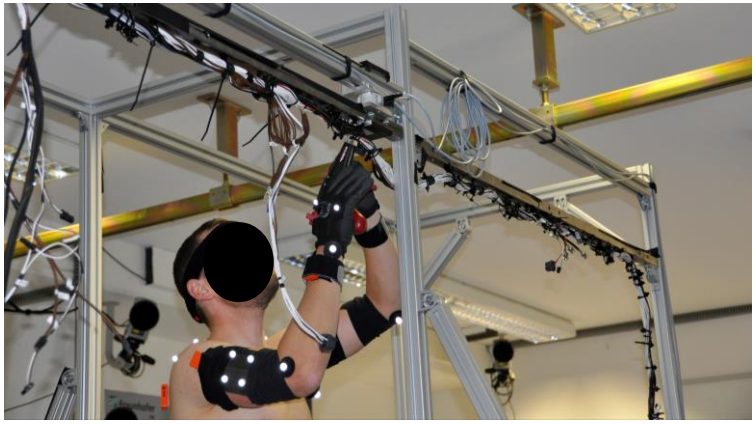
Grafik: © https://www.xsens.com/

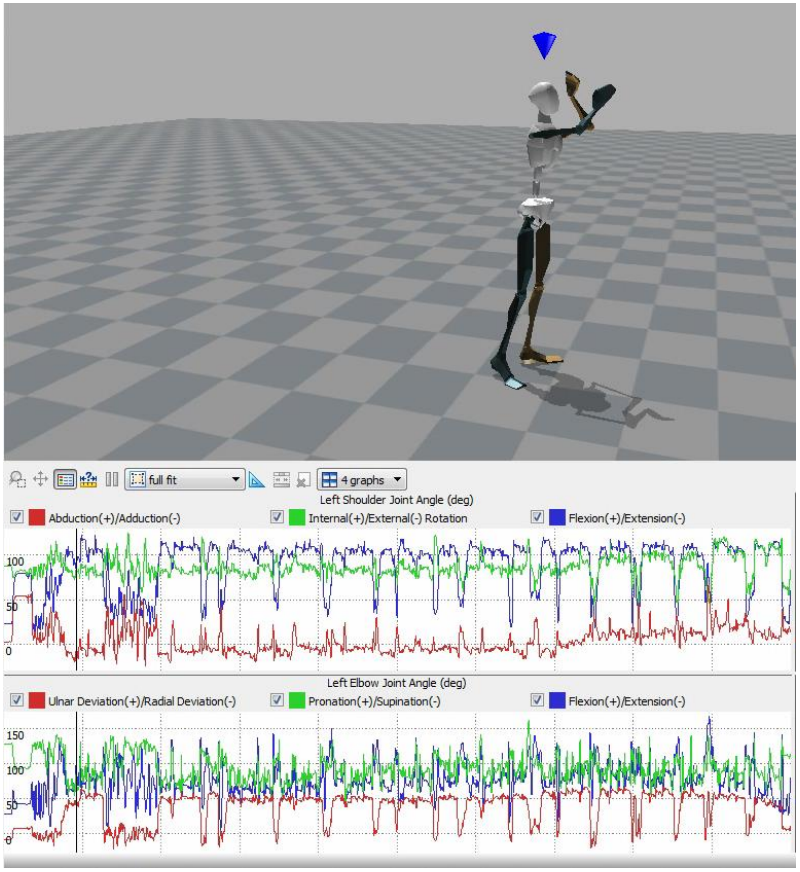
- Kaum Einfluss auf das natürliche Bewegungsverhalten durch die Sensoren
- Echtzeit-Übertragung der Bewegungsdaten ohne Verzögerung auf einen Avatar
- direkte Verknüpfung der eigenen Bewegungen mit einem (virtuellen) Avatar
- In Feldmessungen anwendbar (z.B. Ergonomie, Sport)

© Fraunhofer IPA

Biomechanische Bewegungsanalyse bei Überkopfarbeiten

Video: Analyse mit Xsens MVN





© Fraunhofer IPA

Fraunhofer IPA

Der Demonstrator „Visualisierung von Ergonomie“
Echtzeit-Auswertung der Bewegungsdaten

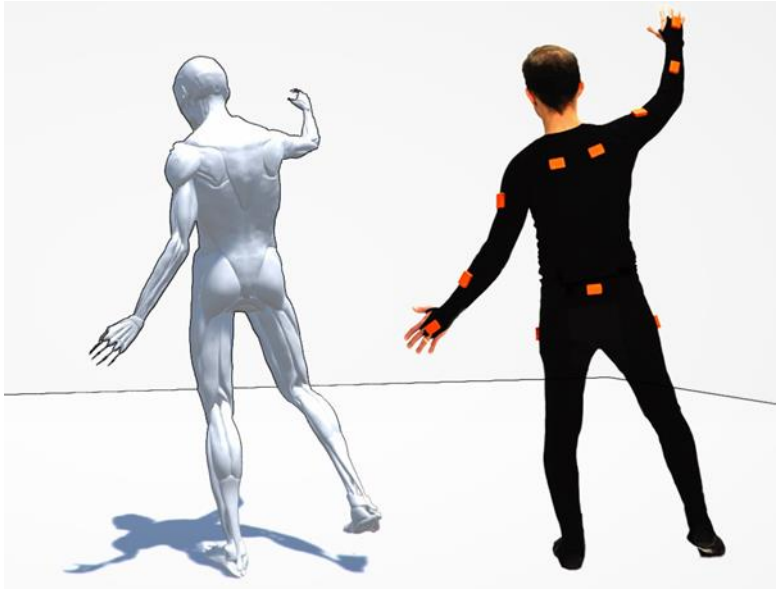
- Bewertung der Bewegungsdaten mit Prinzipien aus:
  - Sportphysiologie
  - Arbeitsmedizin
  - Trainingslehre
  - Normen
  - Empfehlungen von BGs und Krankenkassen

- Auswertung von:
  - Gelenkwinkel
  - Repetitionen
  - Statische Bewegungsmuster (auch segmental)

© Fraunhofer IPA

Der Demonstrator „Visualisierung von Ergonomie“
Feedback

- Direktes farbliches Overlay auf dem Avatar:
  - ungünstige Gelenkwinkel
  - Statische Haltung
  - Hohe Repetitionen
- Visuelle Darstellung:
  - Live-Darstellung auf einem Tablet
  - Augmented-Darstellung:
    in der Nachbesprechung mit einem Ergonomie-Experten bzw. in Schulungen
- Weitere Feedbackformen:
  - Akustisch
  - Vibrationsalarme



Future **Work** Lab

© Fraunhofer IPA

Der Demonstrator „Visualisierung von Ergonomie“
Video

© Fraunhofer IPA

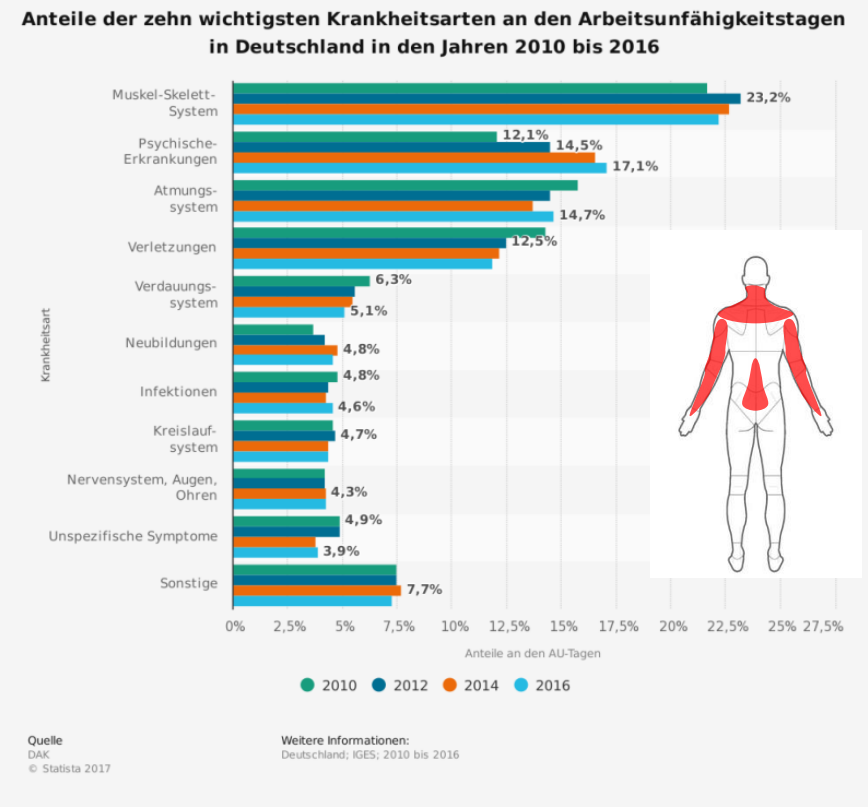
Ergonomie, Lernen, Visualisieren

GRUNDLAGEN

© Fraunhofer IPA

Grundlagen Ergonomie
Muskulo-skelettale Erkrankungen

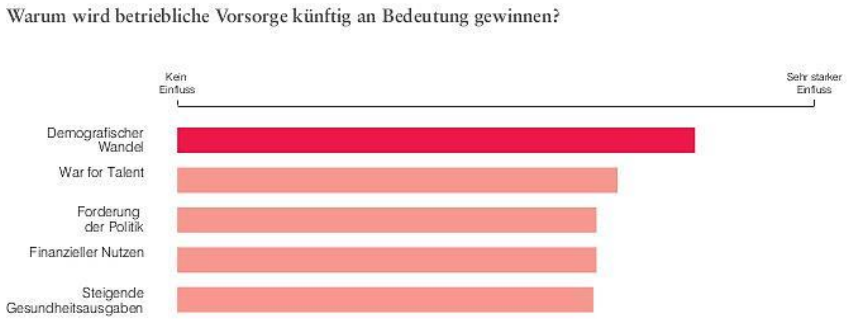
- MSE für die **meisten Arbeitsunfähigkeitstage** in Deutschland verantwortlich [1,2]
- Insbesondere Schmerzen im **Rücken**, sowie **Schulter-, Nacken-** und **Armbereich** spielen eine wichtige Rolle [3,4]
- Die Entstehung ist **multikausal** – Reduktion arbeitsbedingter Ursachen sind elementare Bestandteile der Prävention [5,6]



© Fraunhofer IPA

Grundlagen Ergonomie
Gründe für Ergonomie am Arbeitsplatz

- Die betriebliche Vorsorge wird zukünftig an Bedeutung gewinnen.
  Aus Sicht deutscher Unternehmen sind dafür die stärksten **Einflussfaktoren** [7]:
  - Demografischer Wandel
  - War for Talent
  - Forderung der Politik
  - Finanzieller Nutzen
  - Steigende Gesundheitsausgaben



- Berufskrankheiten, die **nicht unfallverursacht** sind wird die Anzahl der Krankheitstage **1,6 bis 2,2 mal** höher eingeschätzt [8]
- **Wissen** und **Erfahrungsschatz** muss beim Ausscheiden älterer Mitarbeiter kompensiert werden.

© Fraunhofer IPA

Grundlagen Ergonomie
Strategien ergonomischer Interventionen

- **Verhältnisprävention** (strukturelle Prävention)
  - Technische Maßnahme – z.B. Anpassungen der Maschine
  - Organisatorische Maßnahme – z.B. Job-Rotationen
  - Persönliche Maßnahme – z.B. Schutzkleidung oder Exoskelette

  Reihenfolge festgelegt durch §4 Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG)

- **Verhaltensprävention des Einzelnen**
  - Individuelles Gesundheitsverhalten
  - Risiken vermeiden
  - gesundheitsförderliches Verhalten stärken

© Fraunhofer IPA

Grundlagen Ergonomie
Herausforderungen bei der Verhaltensprävention

- **„das haben wir immer schon so gemacht“**
  - Veränderungen stoßen in stark eingespielten, automatisierten Bewegungsabläufen in der Regel auf Ablehnung.
  - Je länger die Situation bereits vorherrscht des eingespielter die Abläufe.
  - Veränderungen benötigen Kognition – diese benötigt Energie und somit Motivation [9]

- **„Am Anfang habe ich es noch gemacht, aber dann habe ich es vergessen“**
  - Gewohnheiten zu ändern ist grundsätzlich sehr schwer.
  - Automatismen übernehmen Funktionen im Alltag → Erinnern nötig um zu ändern

- **„ich habe für mich keinen Sinn darin gesehen – warum soll ich es ändern?“**
  - Ergonomische Maßnahmen haben insbesondere dann eine hohe Chance umgesetzt und auch akzeptiert zu werden, wenn die Beteiligten über den Grundlagen aufgeklärt sind und sich damit identifizieren können.

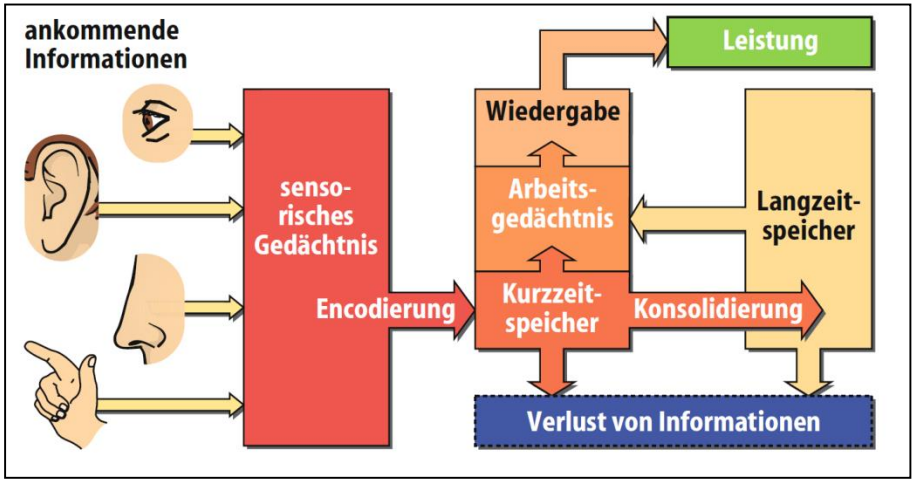
© Fraunhofer IPA

Grundlagen Lernen
Informationsfluss ins Kurz- und Langzeitgedächtnis [10]

- Informationsfluss:
  vom sensorischen über das primäre
  in das sekundäre Gedächtnis

- Primären Gedächtnis:
  Information wird gelernt (geübt)
  oder vergessen

- sekundären Gedächtnis:
  Langzeitspeicher



Quelle: Birbaumer & Schmidt (2007)

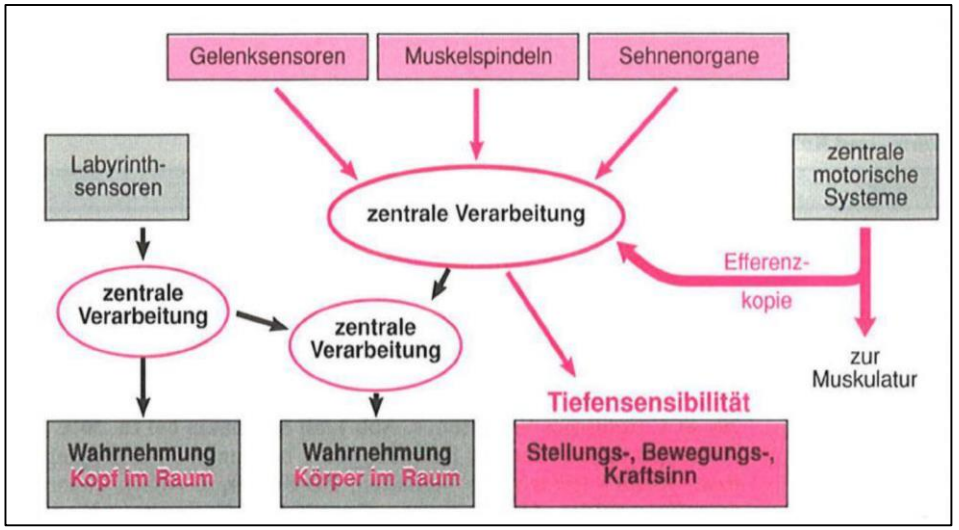
- Üben führt weder zu einer unabdingbaren noch zu einer garantierten Überführung in Langzeitgedächtnis

→ Verständnis, Qualität und Quantität sind entscheidend!

© Fraunhofer IPA

Grundlagen Lernen
Lernen und körpereigene Wahrnehmung

- Vor, während und nach der Durchführung von neuen Bewegungen [11] :
  - Evaluation des Bewegungsverhalten
  - Optimierung des Bewegungsverhaltens
  - ZNS kombiniert körpereigene mit externen Informationen aus der Umgebung.



Quelle: Schmidt (1992).

© Fraunhofer IPA

Grundlagen Lernen
Feedback-unterstütztes Lernen

- Abgleich der Motorik und des Gleichgewichts:
  visuelle Wahrnehmung der Umgebung spielt ein große Rolle.
- **Zusätzliches Feedback** kann die motorische Aufgabe unterstützen
  → sobald der Lernende die Beeinflussbarkeit verinnerlicht hat
- **Feedback** muss zeitlich unmittelbar mit der **Bewegung** zusammenhängen

- Formen des zusätzlichen Feedbacks:
  - Visuell
  - Akustisch
  - Haptisch
  - Multimodal

© Fraunhofer IPA

Visualisierung von Ergonomie und Belastung

AKTUELLER STAND UND UMSETZUNG

© Fraunhofer IPA

Demonstrator „Visualisierung von Ergonomie“
Adressierte Lern-Prinzipien motorischen Lernens

- Selbstständiges Lernen als **Motivationsfaktor „Autonomie“**:
  - Autonomie: positiven Einfluss auf das Lernen durch einen aktiveren Einbezug des Lerners in den Lernprozess [11]:
    - Besseres Einschätzung von Fehlern
    - Größere Motivation
    - Tiefere Verarbeitung relevanter Informationen
  - Autonomie: entscheidender Faktor beim motorischen Lernen [12, 13]

- Der Avatar als **„Externer Fokus“**[11]:
  - Schaffen einer automatisierten Form der Bewegungskontrolle
  - Stimulation von unbewussten, schnellen und reflexiven Kontrollprozessen

© Fraunhofer IPA

Demonstrator „Visualisierung von Ergonomie“
Gamification

- Verbesserung des Lerners können aufgezeigt werden (**Lob**)

- **Neuigkeiten** und **unerwartete Abweichungen** von einer Erwartung des Lernenden [11]:
  - z.B. bei interaktiven Videospielen
  - Auslöser für dopaminerger Antworten im zentralen Nervensystem
  - Dopamin beeinflusst Prozesse in der Bildung von Synapsen
    → die zu robusteren zellulären Verknüpfungen führen [14, 15, 16].

© Fraunhofer IPA

Demonstrator „Visualisierung von Ergonomie“
Erste Erfahrungen mit dem Prototypen

- Übertragung der Bewegungsdaten:
  Auswertung und Optische Darstellung auf funktioniert auf mehreren Endgeräten
- Schnelles Empfinden der Beeinflussbarkeit durch Reaktionen des Avatars in Echtzeit
- Lernende, die das System das erste Mal tragen, werden animiert neue Bewegungen auszuprobieren.
- Wissenschaftliche Erkenntnisse aus dem motorischen Lernen lassen vermuten:
  System kann ein optimiertes Bewegungsverhalten nachhaltig anlernen
- Algorithmen zur Auswertung:
  müssen in Abhängigkeit zur Tragedauer unterschiedlich abgestimmt*

© Fraunhofer IPA

Demonstrator „Visualisierung von Ergonomie“
Diskussion

- Bisher keine Berücksichtigung der Einwirkung von **Lasten**
- **Arbeitsplätze**, die primär aufgrund **hoher Lasten** unergonomisch sind, können mit diesem System nur bedingt unterstützt werden
- **Tatsächliche Veränderung** des Bewegungsverhaltens bislang noch nicht wissenschaftlich untersucht
- **Sensoren** müssen bei langer Betriebsdauer zwischendurch **kalibriert** werden
- Aktuelle Systeme noch recht teuer in der Anschaffung
  → **Reduktion** auf **ausgewählte Sensoren** für bestimmte Körper
- Mischung aus **Animation** und **realer Bewegung** möglich

© Fraunhofer IPA

Demonstrator „Visualisierung von Ergonomie“
Ausblick

- Weitere Entwicklung und Erprobung des Systems
- Zusätzliche Feedbackformen über akustische und haptische Reize
- Anwendung in verschiedenen Situationen (Schwerpunkt: manuelle Arbeit)
- Testen von neuen Technologien für visuelle Rückmeldung
  (Microsoft Hololens, Oculus Rift)

© Fraunhofer IPA

Literatur

[1] A. Strom, Ed., *Anteile der zehn wichtigsten Krankheitsarten an den Arbeitsunfähigkeitstagen in Deutschland in den Jahren 2010 bis 2015: Analyse der Arbeitsunfähigkeitsdaten*, 2017.

[2] S. van der Heuvel, L. van der Zwaan, L. van Dam, and C. Wilhelm, "Estimating the cost of work-related accidents and ill-health: An analysis of European data sources"

[3] Bundesamt für Statistik BFS, *Schweizerische Gesundheitsbefragung 2012: Übersicht*. Gesundheit. Neuchâtel, 2013.

[4] Liebers, F. & Caffier, G., *Berufsspezifische Arbeitsunfähigkeit durch Muskel-Skelett-Erkrankungen in Deutschland: Forschung Projekt F 1996*. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2009.

[5] Luca Petrini and Paul Camenzind, *Gesundheit im Kanton Graubünden: Ergebnisse aus der Schweizerischen Gesundheitsbefragung 2012 und weiterer Datenbanken*, 2015.

[6] European Comission, Directorate-General for Employment, Social Affairs and Inclusion Unit B3, *Socio-economic costs of accidents at work and work-related ill health*. Luxemburg, 2011.

[7] Booz & Company, *Vorteil Vorsorge: Die Rolle der betrieblichen Gesundheitsvorsorge für die Zukunftsfähigkeit des Wirtschaftsstandorts Deutschland.* (2015).

[8] European Comission, Directorate-General for Employment, Social Affairs and Inclusion Unit B3, *Socio-economic costs of accidents at work and work-related ill health*. Luxemburg, 2011

[9] D. Kahneman, *Schnelles Denken, langsames Denken,* 1st ed. München: Penguin Verlag, 2017.

[10] N. Birbaumer and R. F. Schmidt, "Lernen und Gedächtnis," in *Springer-Lehrbuch, Physiologie des Menschen:* 30th ed., Heidelberg: Springer, 2007, pp. 223–238.

© Fraunhofer IPA

Literatur

Grafik: © R.F. Schmidt. Memorix Spezial Physiologie. Weinheim: VCH, 1992

[11] G. Wulf and R. Lewthwaite, “Optimizing performance through intrinsic motivation and attention for learning: The OPTIMAL theory of motor learning,” (eng), *Psychonomic bulletin & review*, vol. 23, no. 5, pp. 1382–1414, 2016.

[12] Hooyman A, Wulf G, Lewthwaite R, Impacts of autonomy-supportive versus controlling instructional language on motor learning. Human movement science 2014; 36, 190–198.

[13] Reeve J, Tseng C-M, Cortisol reactivity to a teacher’s motivating style. The biology of being controlled versus supporting autonomy. Motivation and Emotion 2011; 35, 1, 63–74.

[14] Shohamy, Daphna; Adcock, R. Alison (2010): Dopamine and adaptive memory. In: Trends in cognitive sciences 14 (10), S. 464–472

[15] Wise, Roy A. (2004): Dopamine, learning and motivation. In: Nature reviews. Neuroscience 5 (6), S. 483–494

[16] Ashby, F. G.; Isen, A. M.; Turken, A. U. (1999): A neuropsychological theory of positive affect and its influence on cognition. In: Psychological review 106 (3), S. 529–550.

© Fraunhofer IPA

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

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

Florian Blab M.A. (Sportwissenschaft)
Gruppenleiter Angewandte Biomechanik
Abteilung Biomechatronische Systeme

+49 711 970-3661
florian.blab@ipa.fraunhofer.de

Fraunhofer IPA
Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart

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

© Fraunhofer IPA

Fraunhofer IPA