

Ergonomische Aspekte der Mensch Roboter Kooperation am Industriearbeitsplatz der Zukunft

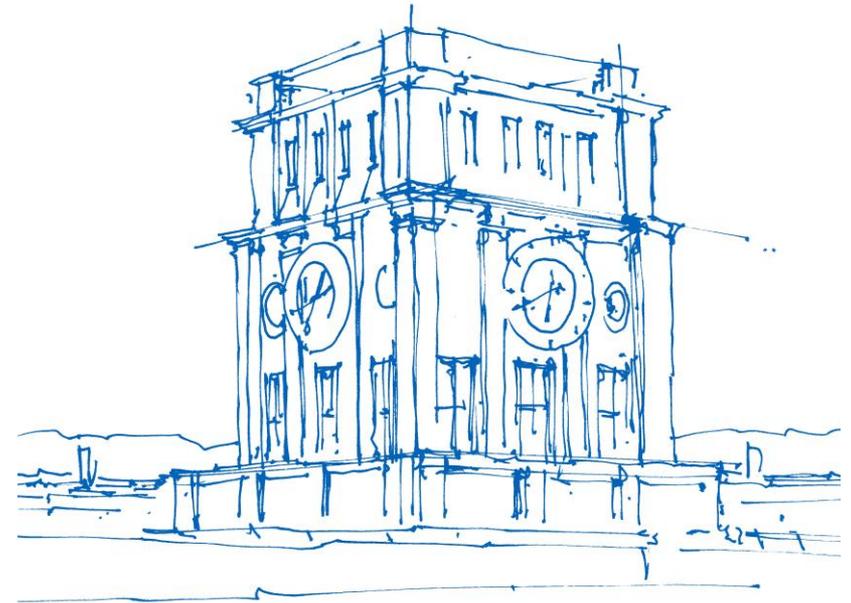
Prof. Dr. phil. Klaus Bengler

Dipl.-Ing. Jonas Schmidtler

Technische Universität München

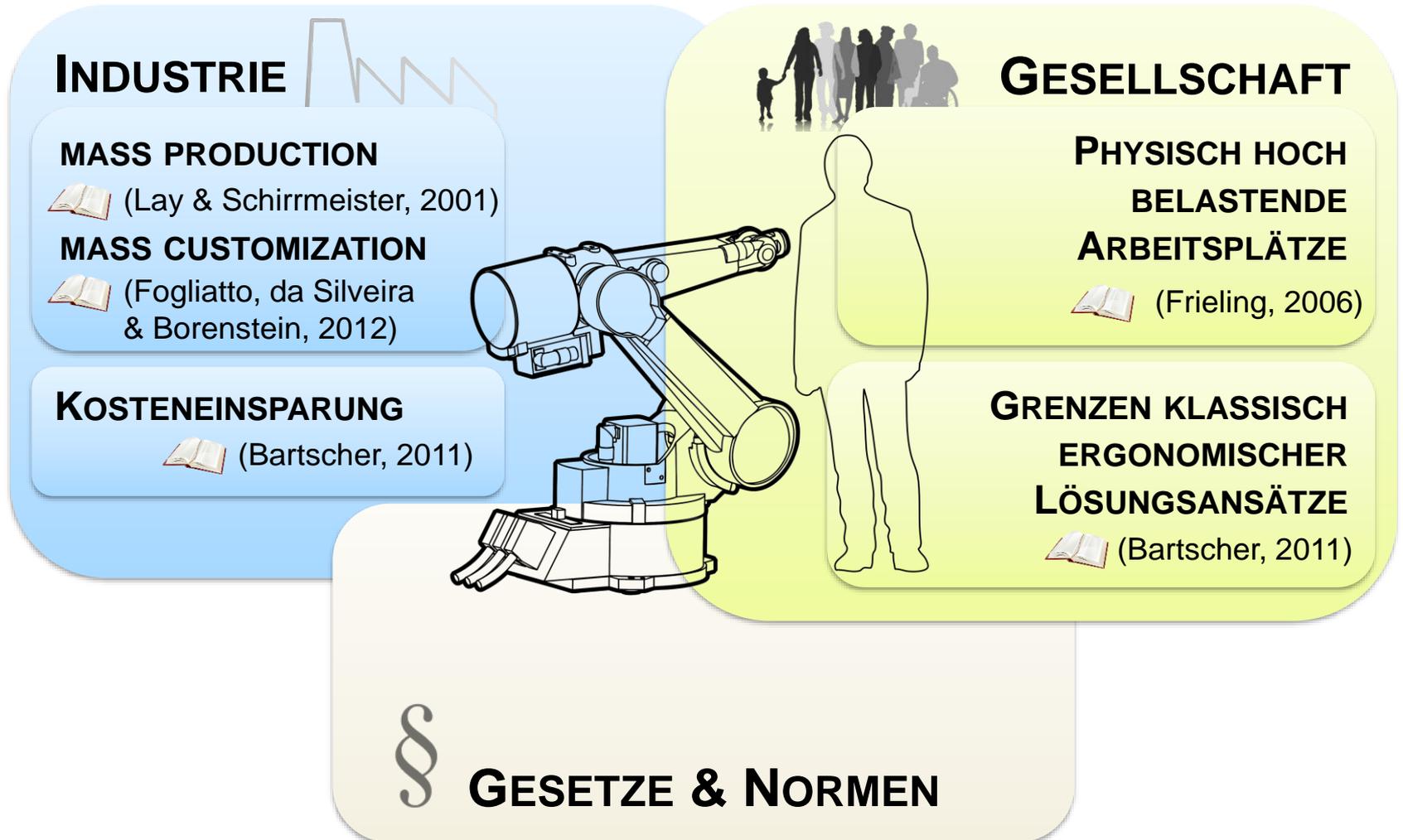
Fakultät für Maschinenwesen

Lehrstuhl für Ergonomie



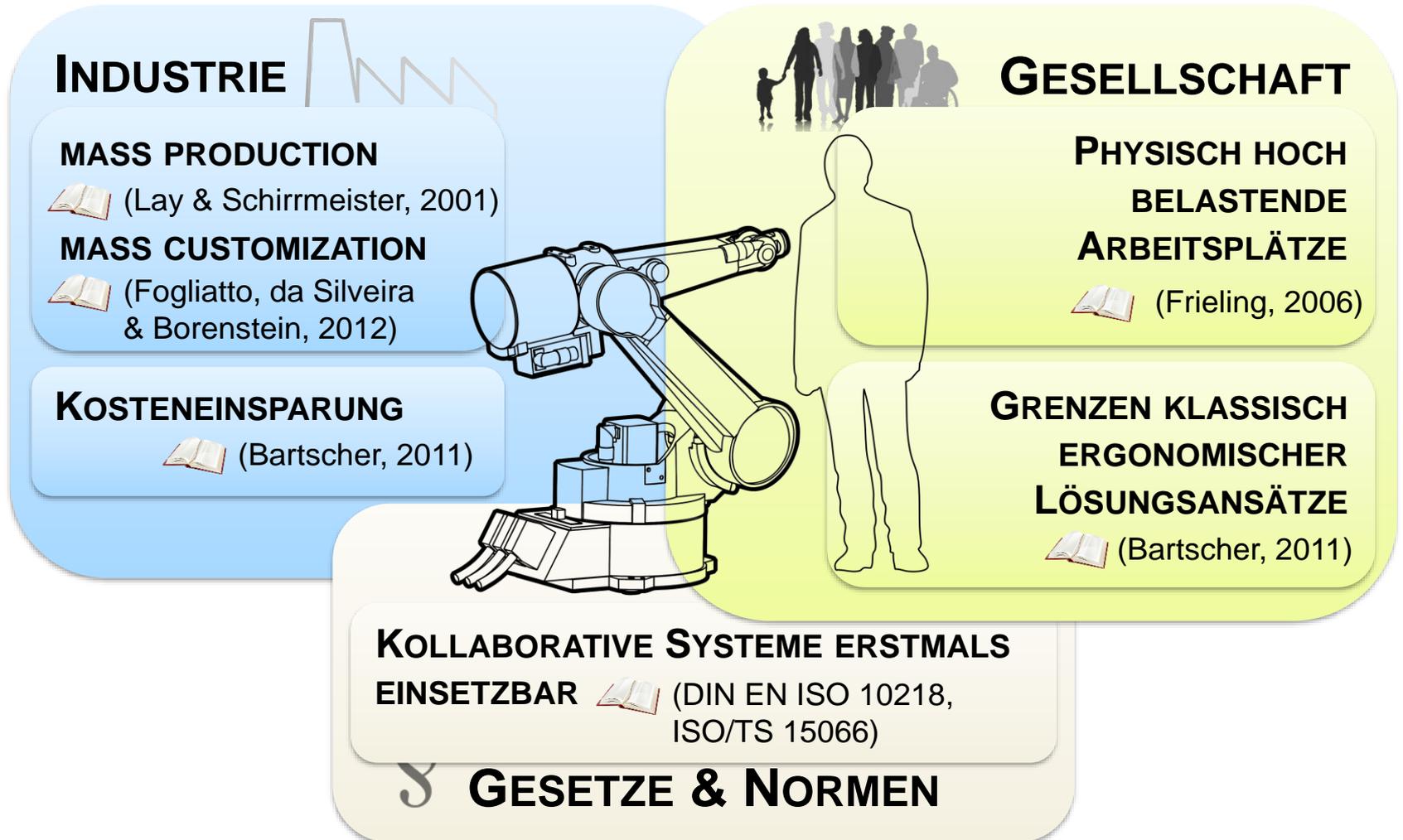
Uhrenturm der TUM

Innovationstreiber für Mensch-Roboter-Interaktion



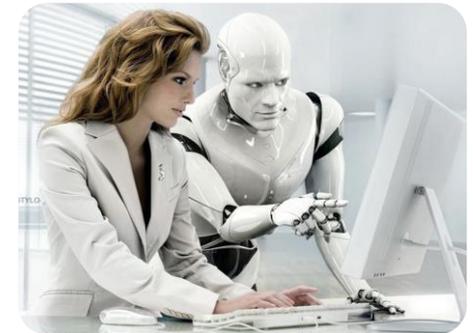


Innovationstreiber für Mensch-Roboter-Interaktion



Mensch-Roboter-Interaktion

Vom Werkzeug zum Team-Partner

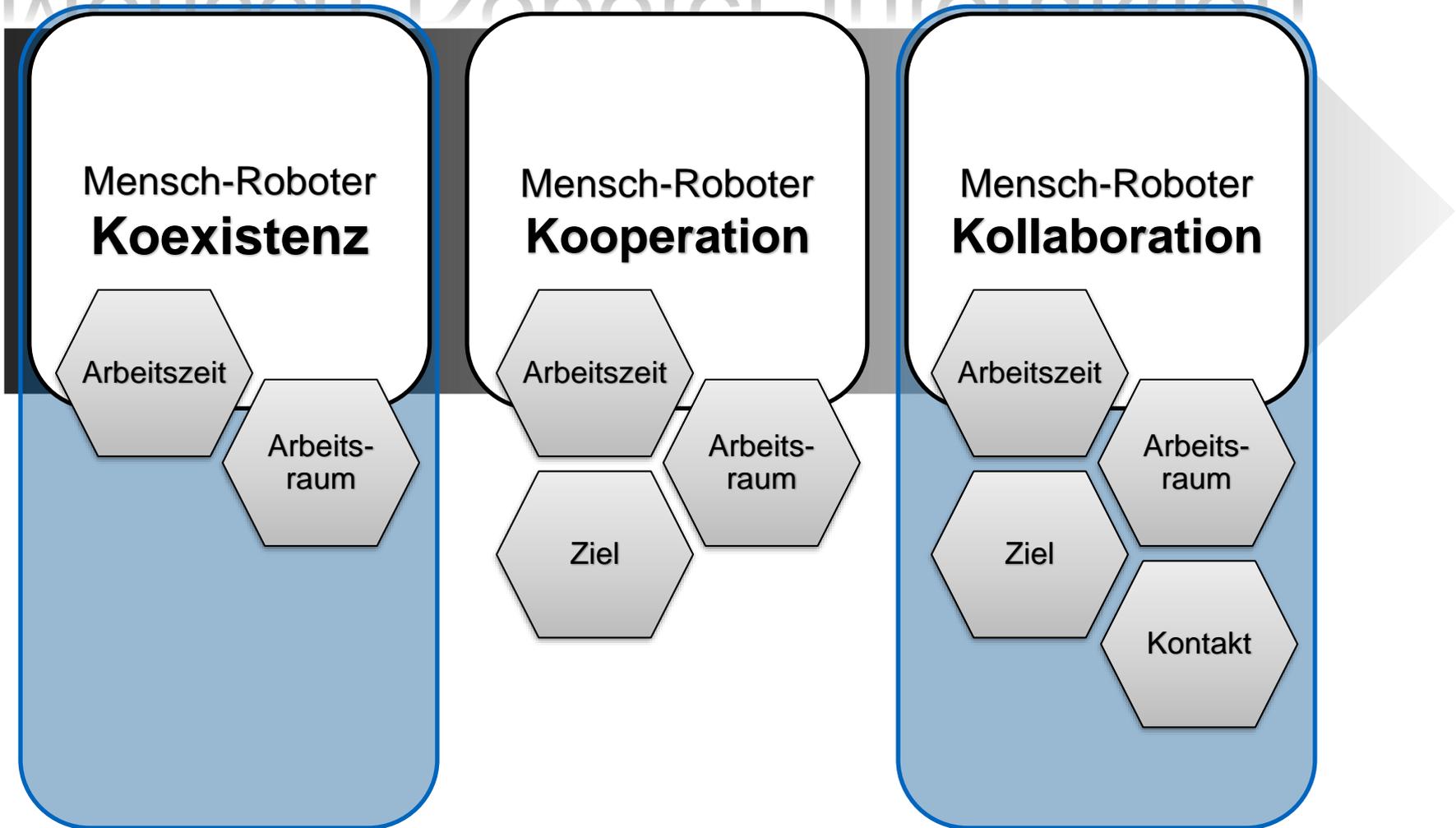


<http://pixshark.com/industrial-robots-at-work.htm>

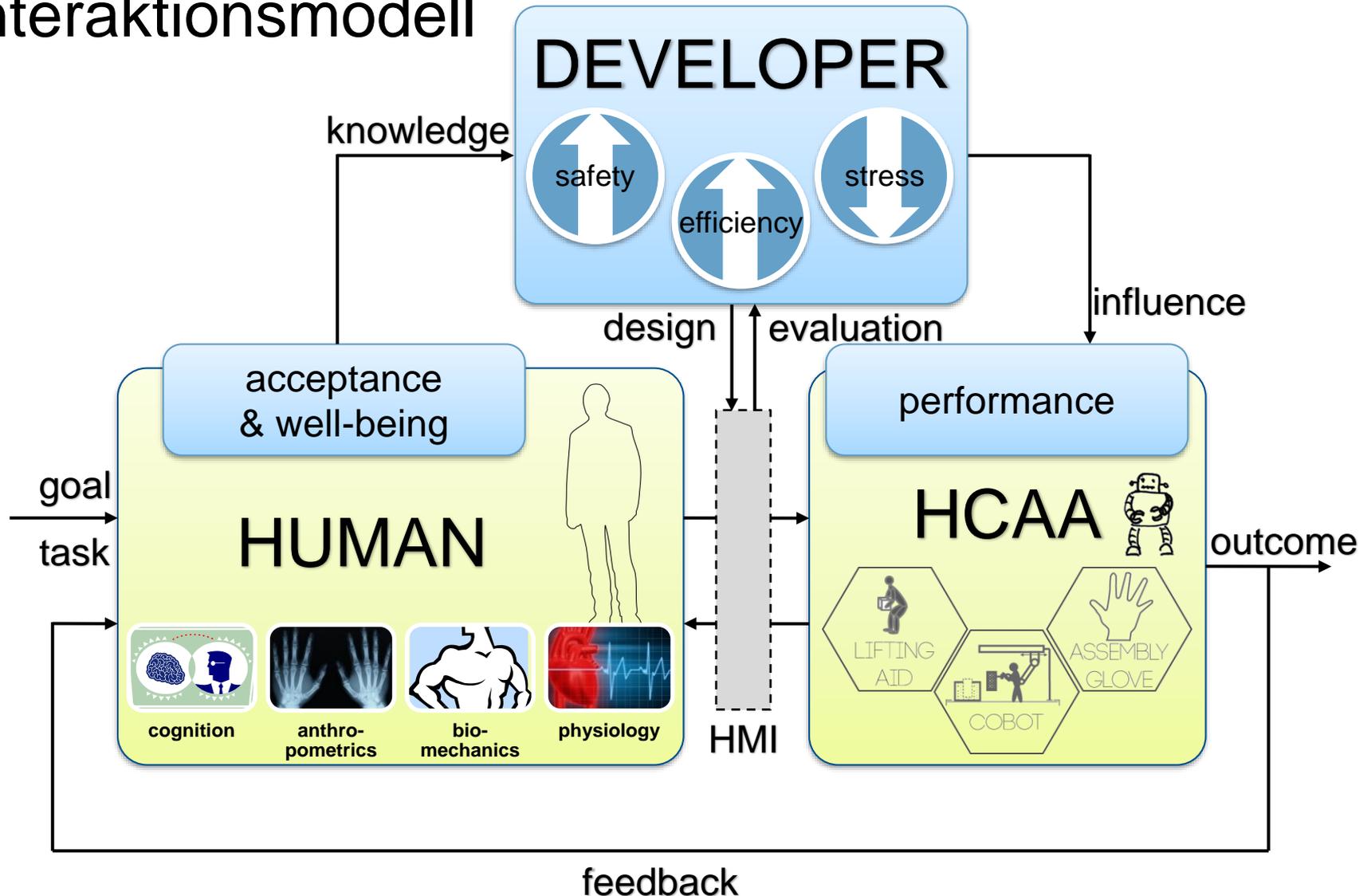
<http://cdn2.hubspot.net/hub/13401/file-2307090473-jpg/images/universal-robots-collaborative-robots.jpg>

<http://www.discountshop.com/blog/wp-content/uploads/2014/01/Robot-and-human-team.jpg>

Mensch-Roboter-Interaktion

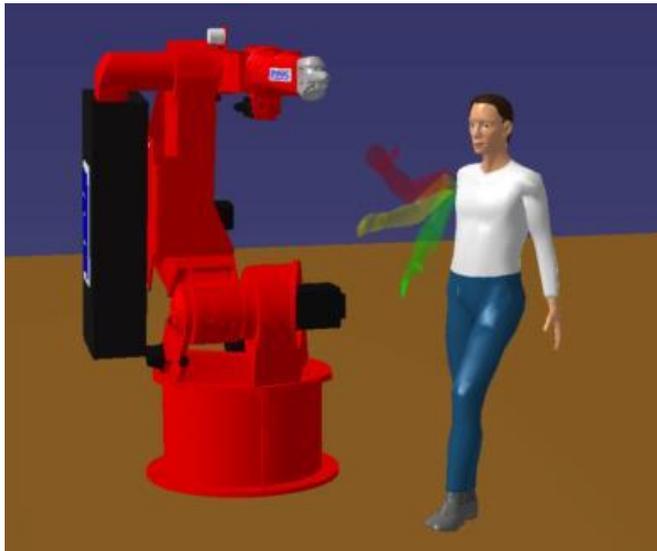
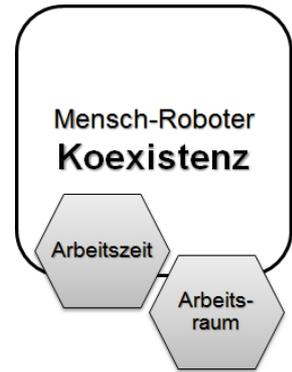


Interaktionsmodell



Aspekte der Mensch-Roboter-Koexistenz

Effiziente und sichere Interaktion von Menschen und intelligenten Produktionsanlagen

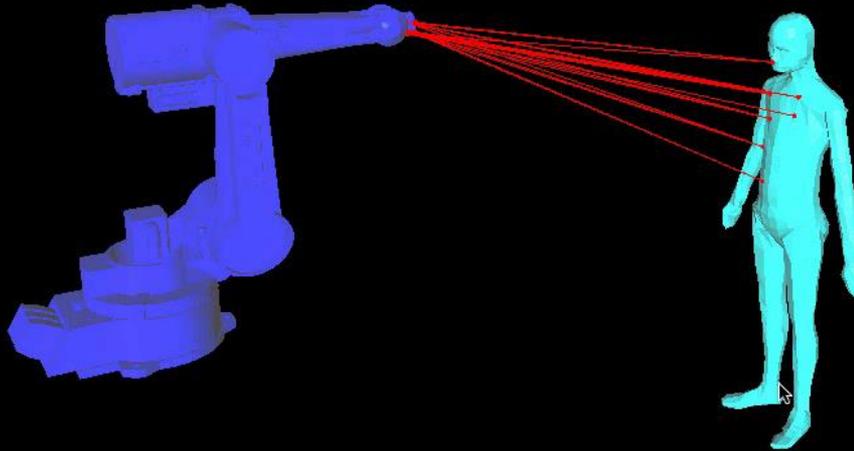


Bayerische
Forschungsstiftung

Gefördert durch die Bayerische Forschungsstiftung
<http://www.forschungsstiftung.de/index.php/Drucken/Projekt/152.html>

Ableiten von Maßnahmen

Abstandsberechnung zwischen Mensch und Roboter

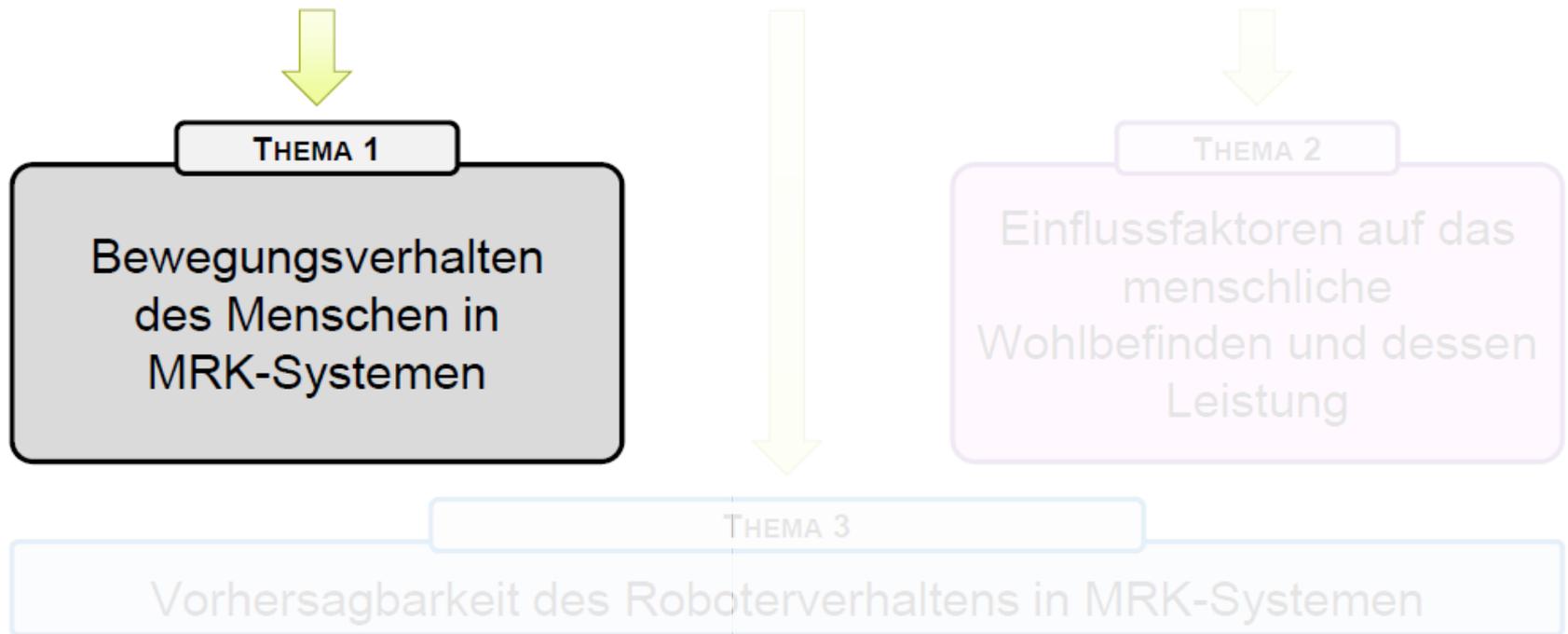


Einleiten einer der Situation angemessenen Reaktion

- Frühzeitige Vermeidung von potenziellen Kollisionen
- Einhalten eines ergonomisch begründeten Mindestabstands zwischen Mensch und Roboter
- Planung der Robotergeschwindigkeit auf Basis des aktuellen Abstands

Zentrale Fragestellungen in der Mensch-Roboter-Koexistenz (Bortot, 2014)

Wie sollte ein MRK-System gestaltet sein, damit sich der Mensch zu jeder Zeit **wohl fühlt** und das kooperative System somit höchstmöglich **effizient** arbeitet?

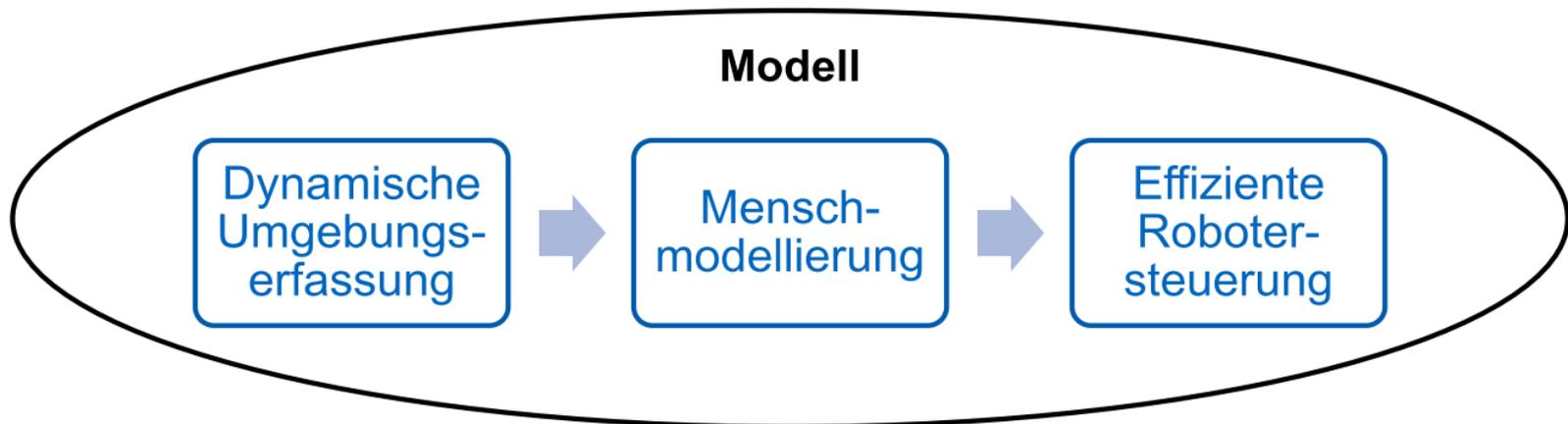


Bewegungsverhalten in der Mensch-Roboter-Koexistenz

Empirische Studie – Analyse des Bewegungsverhaltens bei M-R Begegnungen

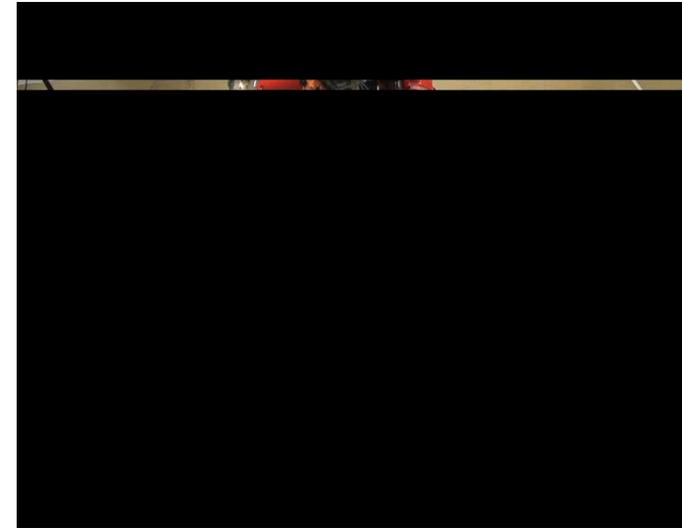
Forschungsfragen

1. Auf welchen Bahnen bewegt sich ein Mensch um einen aktiven Industrieroboter?
2. Wie groß sind Abstände und TTCs bei Begegnungen zwischen Mensch und Roboter?
3. Welche Rolle spielt dabei die Vorhersagbarkeit der Roboterbewegungen?

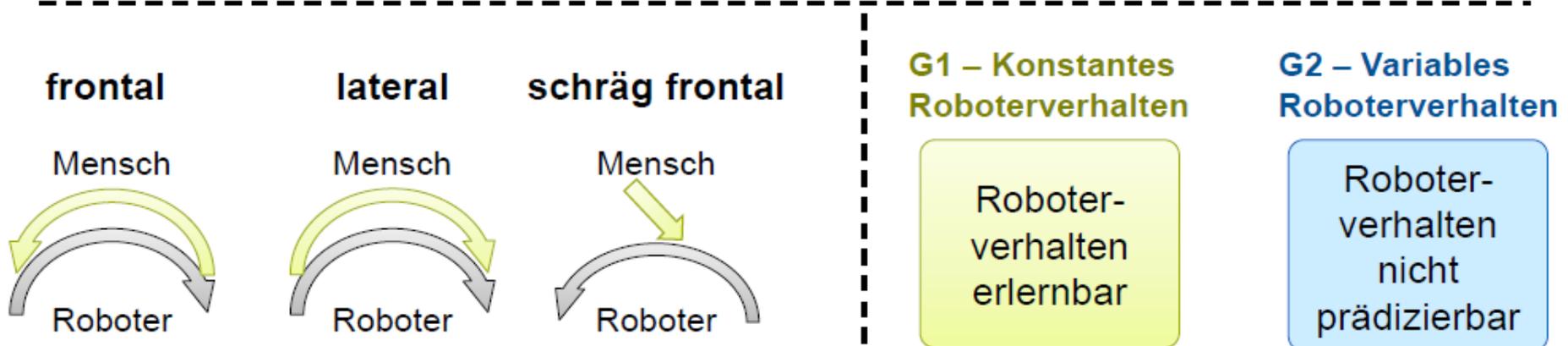


Versuchsdesign

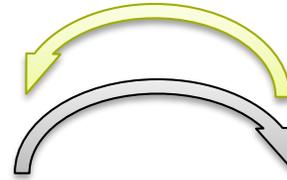
- An die Montage angelehnte Aufgaben
- Wechsel der Arbeitsposition nach Erledigung der Aufgaben
- Schutz der Probanden durch Schaumstoffatrappe



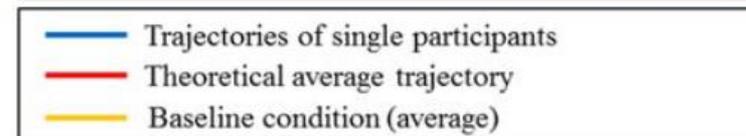
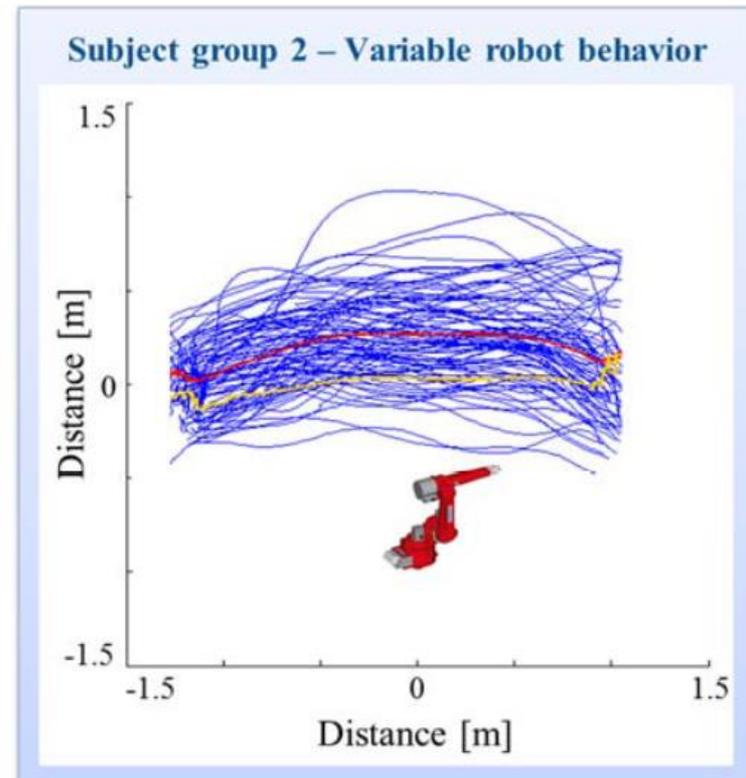
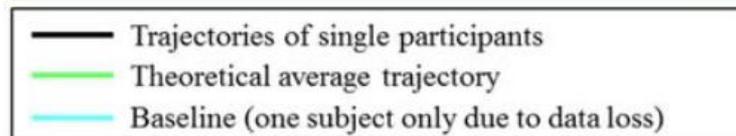
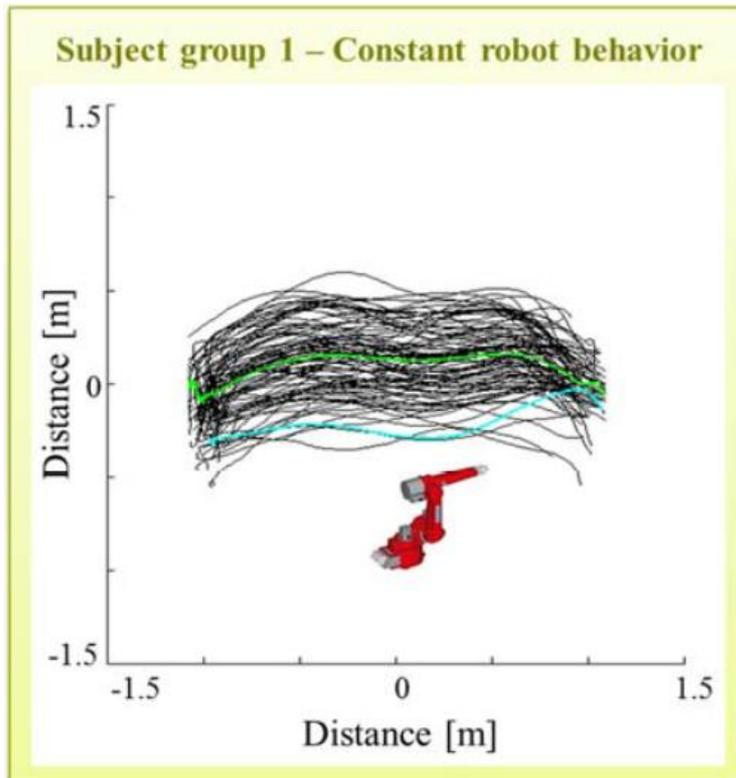
→ **Bewusst provozierte Begegnungen mit dem Roboter beim Durchschreiten des Arbeitsbereiches von einer Werkbank zur anderen**



Versuchsergebnisse

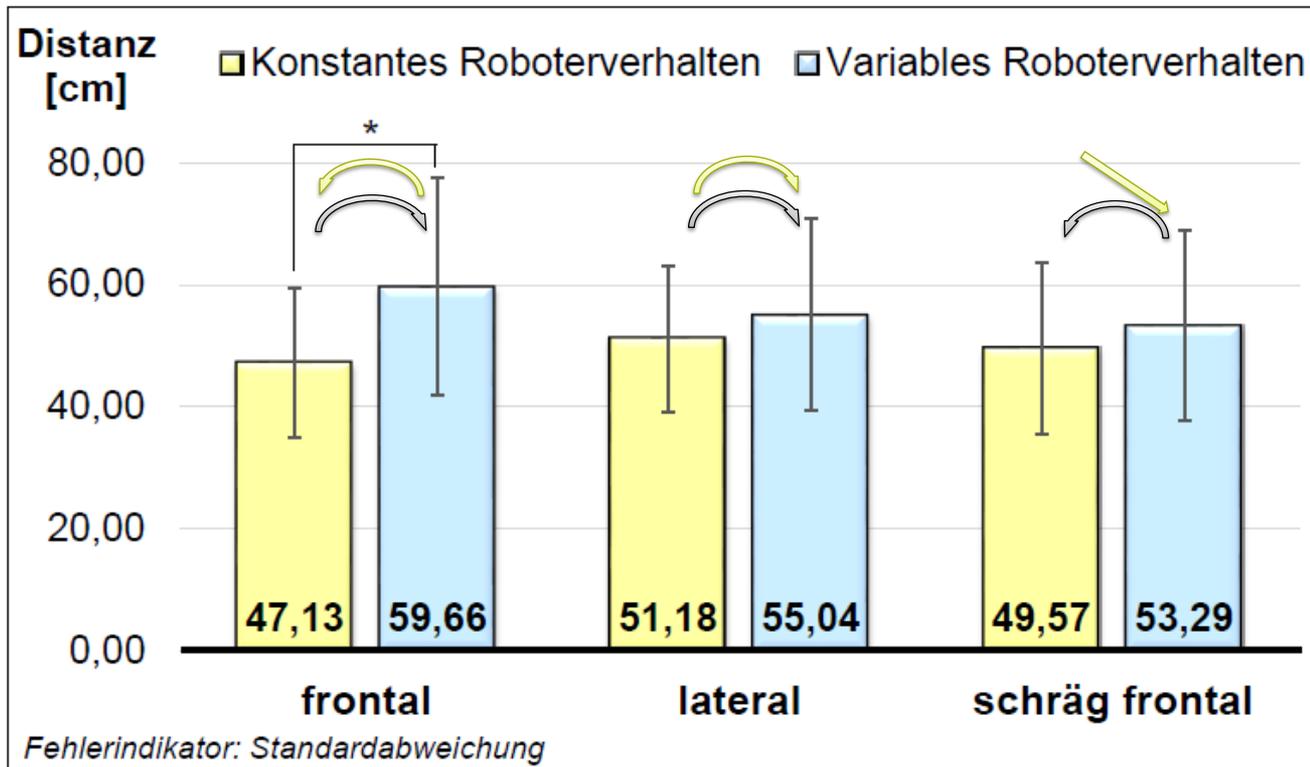


Trajektorien des Menschen in einer frontalen Begegnung



Versuchsergebnisse

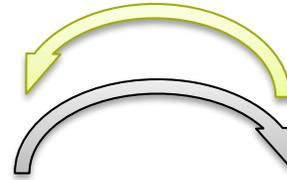
Minimale Abstände Mensch-TCP [cm] - während ihrer Begegnungen



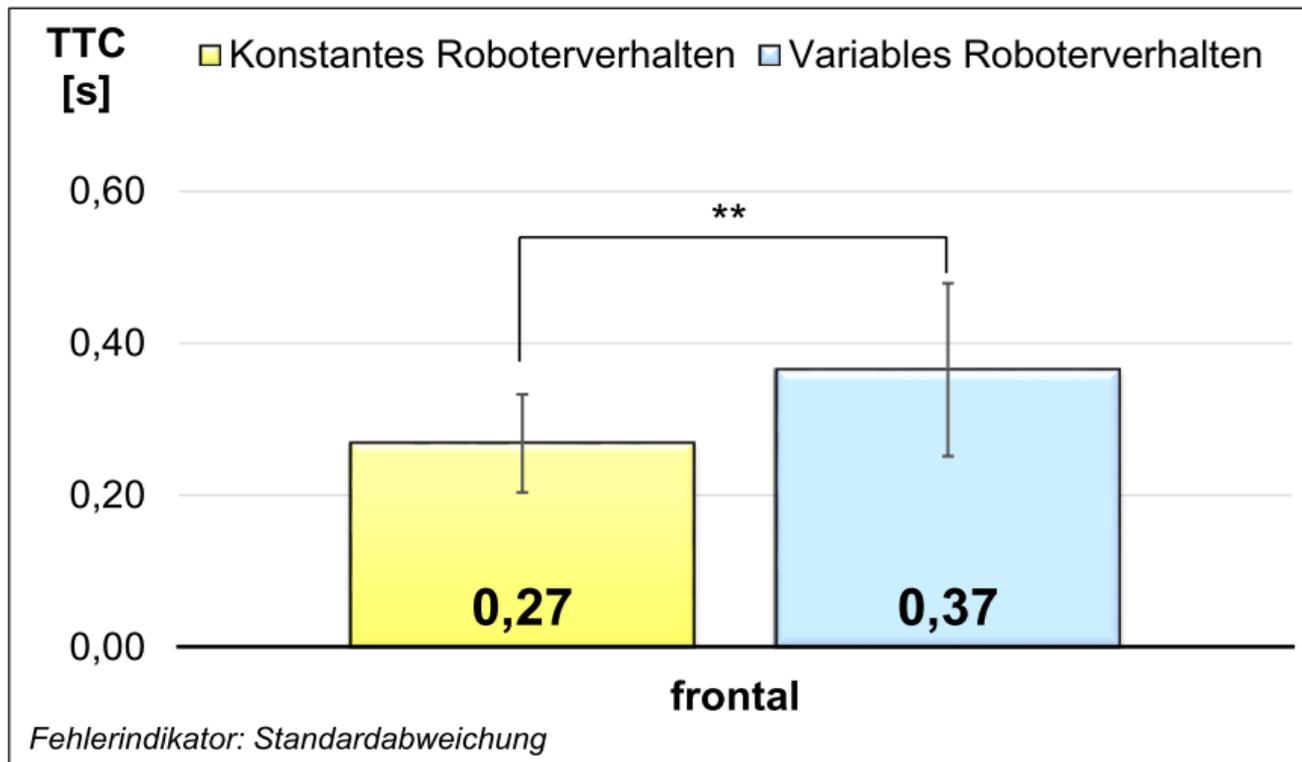
Statistik:
 T-Test
 (unabhängige
 Stichproben)

*T(28) = -2,241;
 p < 0,05;
 r = 0,39

Versuchsergebnisse



Time-to-collision (TTC) [s] – während der frontalen Begegnung



Statistik:

T-Test
(unabhängige
Stichproben)

**T(28) = 2,866;
p < 0,01;
r = 0,48

Take home messages...

Wie sollte ein MRK-System gestaltet sein, damit sich der Mensch zu jeder Zeit **wohl fühlt** und das kooperative System somit höchstmöglich **effizient** arbeitet?

BEWEGUNGSVERHALTEN

1. Hohe Variabilität im menschlichen Bewegungsverhalten
→ Berücksichtigung **individueller Eigenschaften/Verhaltensweisen**
2. Ausreichend Platz für **mittlere Abstände > 0,5m** und **TTCs > 0,37s**

EINFLUSSFAKTOREN



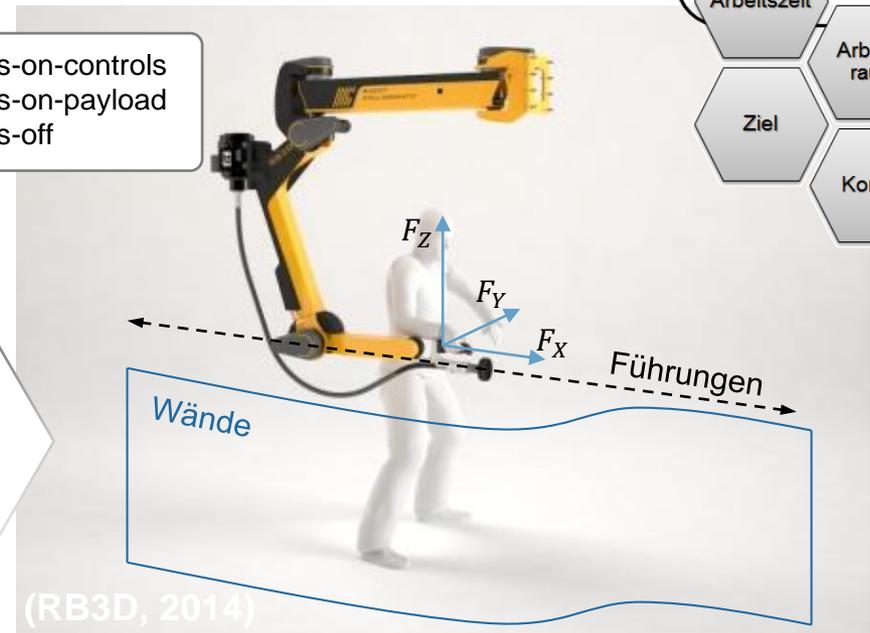
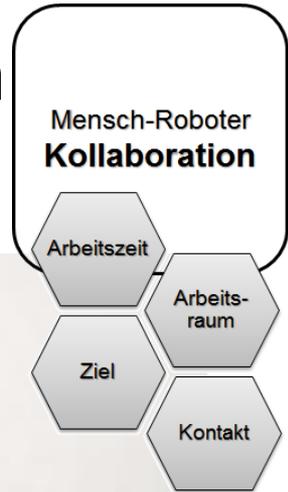
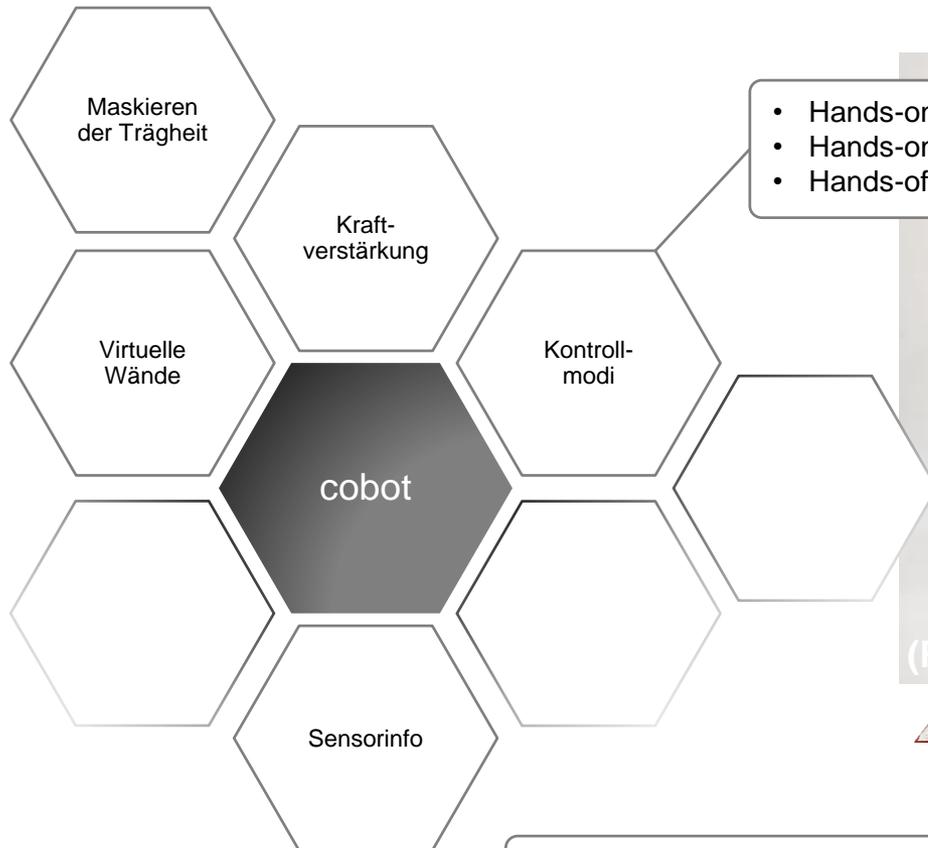
Bortot, 2014

VORHERSAGBARKEIT

1. **Prädizierbarkeit** des Roboters **erhöht** das **Vertrauen** der Menschen bei Einführung der Systeme
2. **Verringerung** der Sicherheitsgrößen **Abstand** und **TTC** bei **konstantem Roboterverhalten** (signifikanter Unterschied im Abstand und TTC bei frontaler Begegnung)

Jonas Schmidtler

Aspekte der Mensch-Roboter-Kollaboration



(Peshkin & Colgate, 1999), (Colgate, Peshkin, & Klostermeyer, 2003)

- Mensch – System (physiologische Daten)
- Cobot – System (Kräfte / Momente)
- Produktions – System (Bauteilgewicht → Qualität)



www.kobotaergo.de



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Zentrale Fragestellungen in der Mensch-Roboter-Kollaboration



Industrie 1.0 / 2.0

Größtenteils schwere körperliche Tätigkeiten



Industrie 3.0

neue überwachende Tätigkeiten werden eingeführt



Industrie 4.0

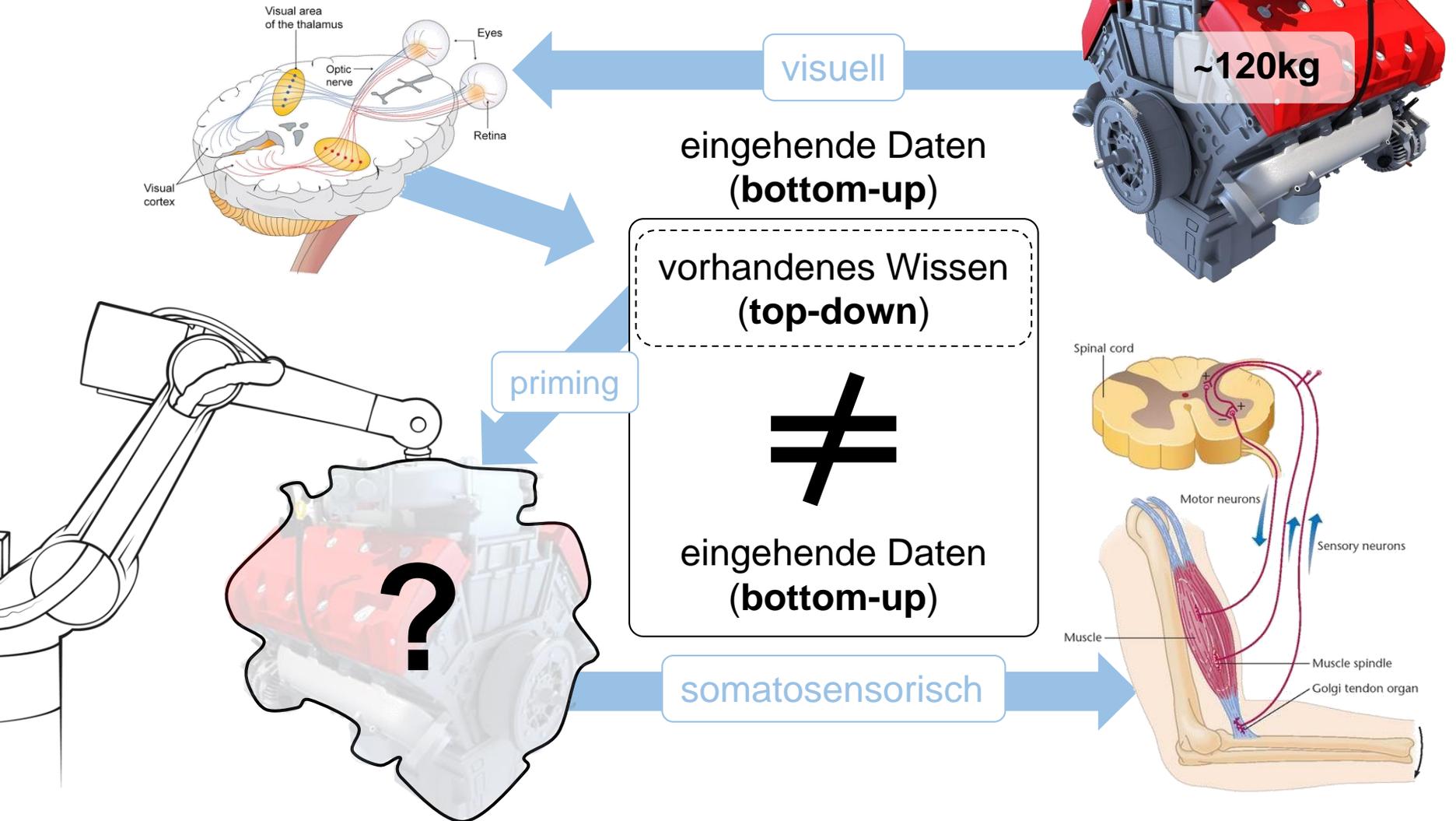
flexible hybride Systeme → Mensch-Roboter-Teams in **komplementärer Funktionsteilung**

Mechanisierung und Automatisierung vs. kundenindividuelle Massenproduktion

Wie sollte eine MRK gestaltet sein, damit das Flexibilitätspotenzial des Menschen zu jeder Zeit effektiv, effizient und zufriedenstellend eingesetzt werden kann?

- Einflussgrößen auf die Gebrauchstauglichkeit neuer haptischer MRK-Systeme
- Ausprägung der (Kraft-)Unterstützungsgrade
- Intentionserkennung des Menschen

Top-down vs. bottom-up (Goldstein, 2014)



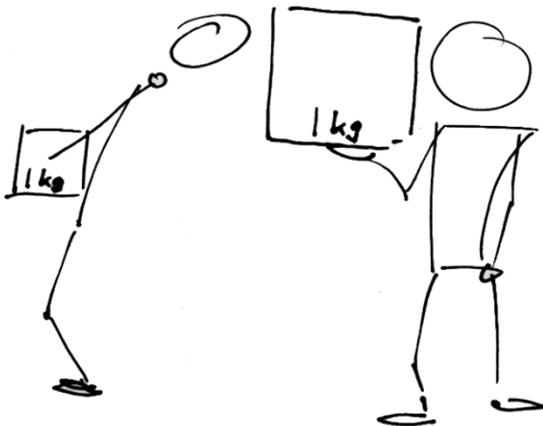
Zentrale Aspekte in der Mensch-Roboter-Kollaboration

- Mensch-Roboter-Kooperation/Kollaboration ist ein **hochgradig rückgekoppelter Prozess** wobei die menschliche Handlungsregulation stets auf **hochtrainierten Zusammenhängen** beruht
- **Fehlende Informationen** bereiten Probleme:
 - Kraftunterstützende Systeme können dem menschlichen Partner wichtige **Informationen vorenthalten** (bspw. das wahre Gewicht des zu handhabenden Bauteils)
 - **Missverständnisse** und falsche Annahmen auf beiden Seiten
 - Probleme der **Gebrauchstauglichkeit** (Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit) und **Akzeptanz** des robotischen Systems, sowie **Wohlempfinden** des Nutzers
- Zusätzlich werden **Umgebung** (bspw. hektisch oder vorsichtig), **Situation** (bspw. präzise oder unpräzise Tätigkeiten) und **Prozessparameter** (bspw. Bauteilgewicht und -größe) starken Einfluss auf die Interaktion nehmen

Size-Weight Illusion Effekt

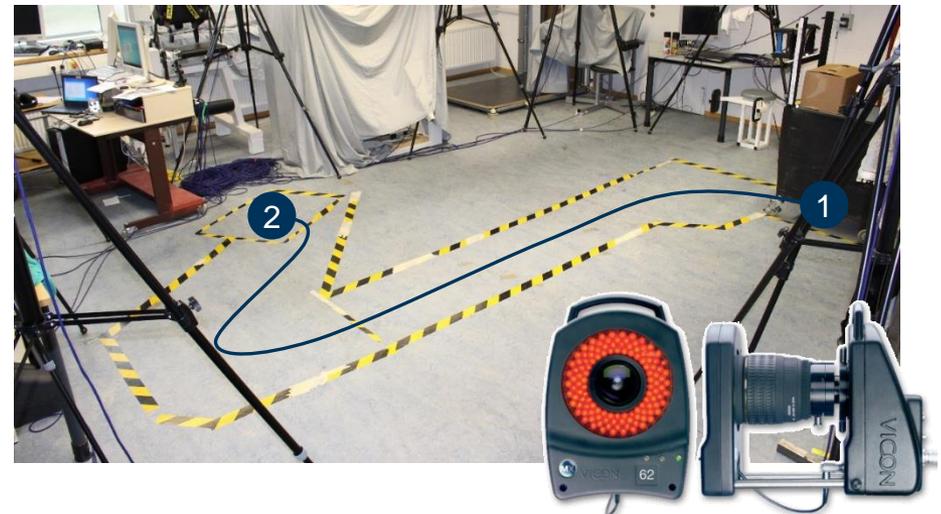
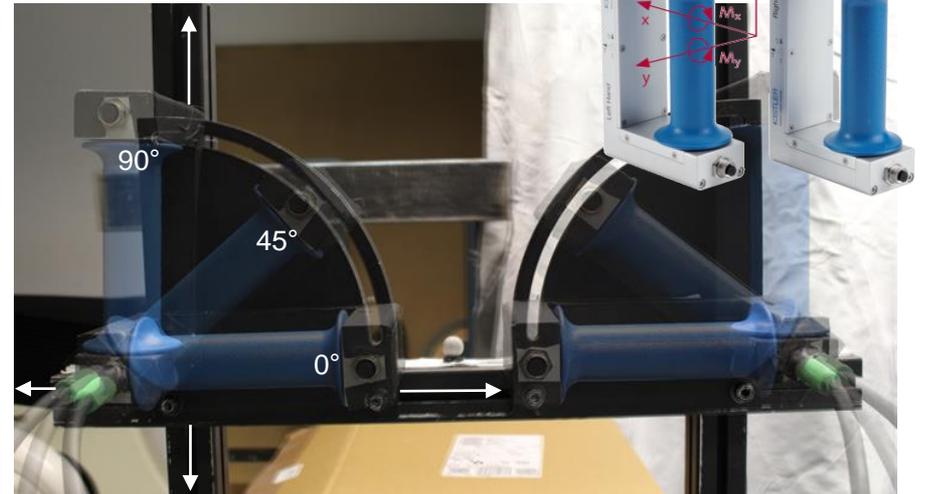
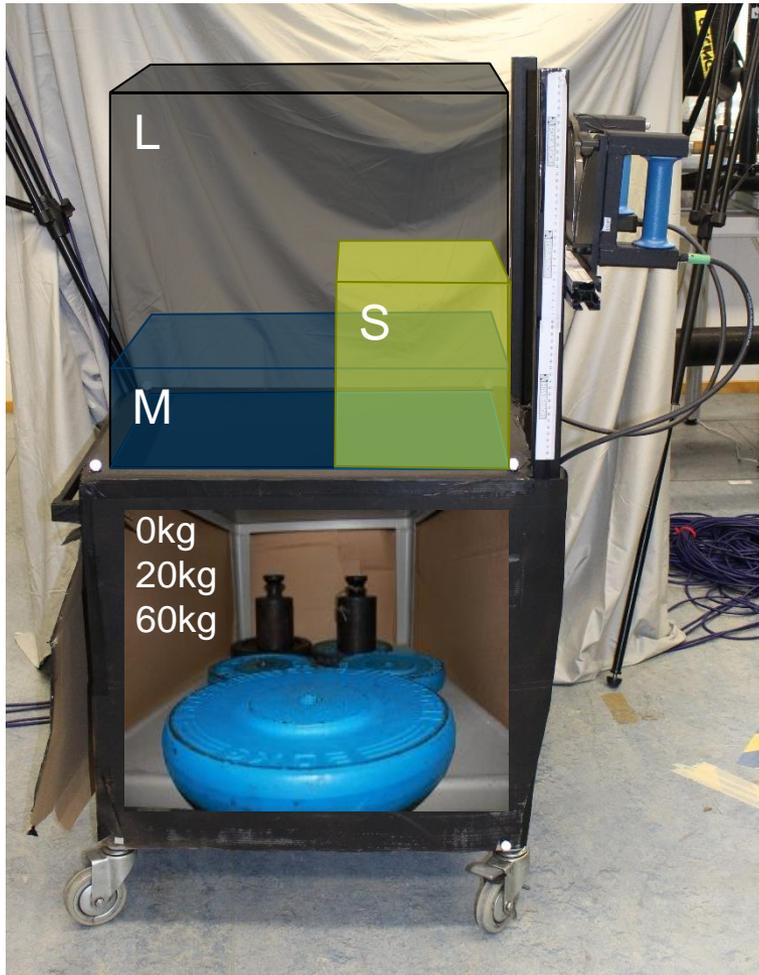
Werden **zwei Objekte gleichen Gewichts** ohne Vorwissen des Handelnden bewegt wird das **kleinere Objekt als schwerer** eingeschätzt  (Charpentier, 1891), (Murray et al., 1999)

Gewicht eines größeren Objekts wird unterschätzt → **force amplification?**



(Schmidtler, 2014)

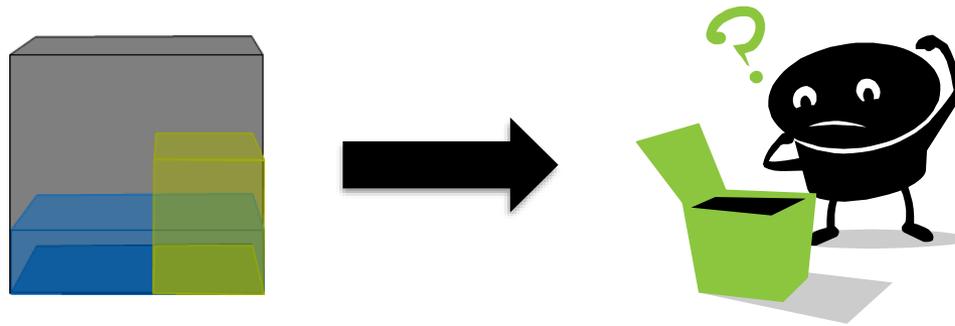
Size-Weight Illusion: Versuchsaufbau



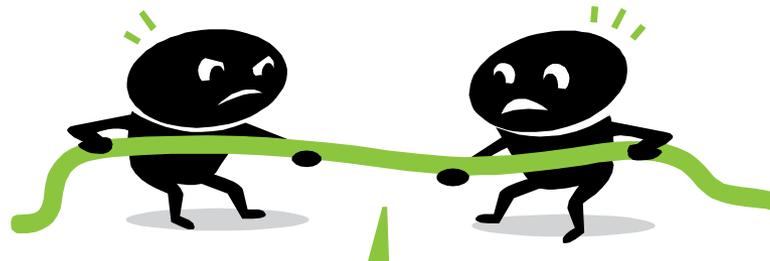
 (Schmidtler, 2014)

Hypothesen zum Size-Weight Illusion Effekt

H1: Es besteht ein **Zusammenhang zwischen Objektgröße (*size*)** und **erwartetem Gewicht (*weight*)** bei schiebenden / ziehenden Tätigkeiten



H2: Der **Size-Weight-Illusion Effekt** hat einen signifikanten Einfluss auf **Geschwindigkeit (*v*)**, **Beschleunigung (*a*)** und **Ruck (*j*)**

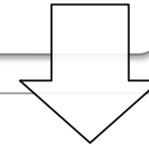


(Schmidtler, 2014)

Versuchsablauf

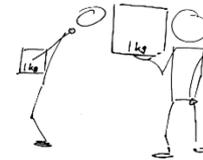
Vorbereitung

- demographische Daten
- Anthropometrische Vermessung
- allgemeine Befragung (Bild einer Panoramadachmontage → Einschätzen der subjektiven Beanspruchung)



Erwartungshaltung

- 3 Durchgänge
- 20kg / mittlere Kiste → 0kg / große Kiste bzw. 60kg / kleine Kiste → ...
- Subjektive Erwartungshaltung vor jedem Durchgang
- Subjektive Beanspruchung nach jedem Durchgang



	Gruppe 1			Gruppe 2		
	Winkel	Größe	Gewicht	Winkel	Größe	Gewicht
1.	90°	M	60kg	90°	M	20kg
2.	90°	L	40kg	90°	S	60kg
3.	90°	S	100kg	90°	L	0kg

Priming: Objekt / Gewicht

60kg_M_E → 60kg, medium, erwartet

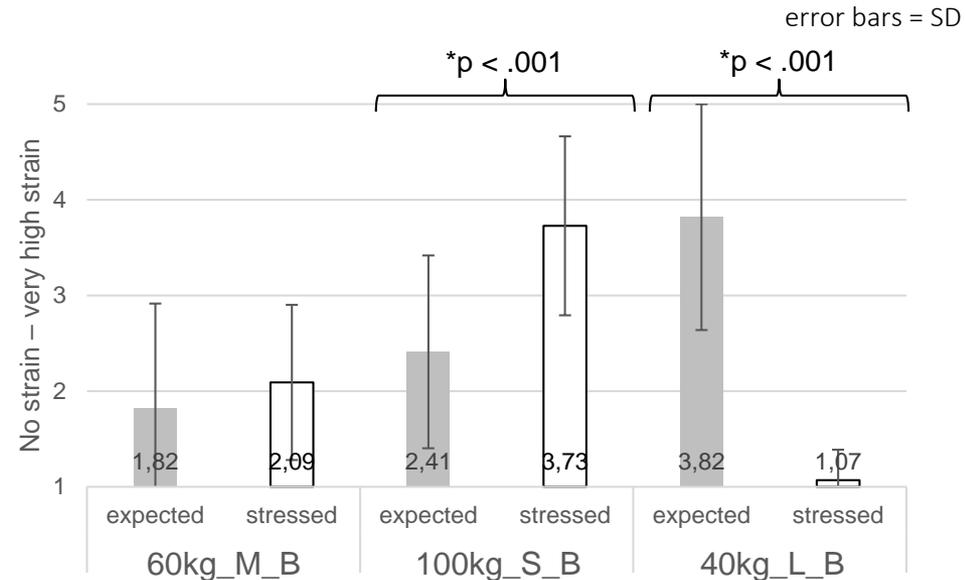
100kg_S_B → 100kg, small, belastet

(Schmidtler, 2014)

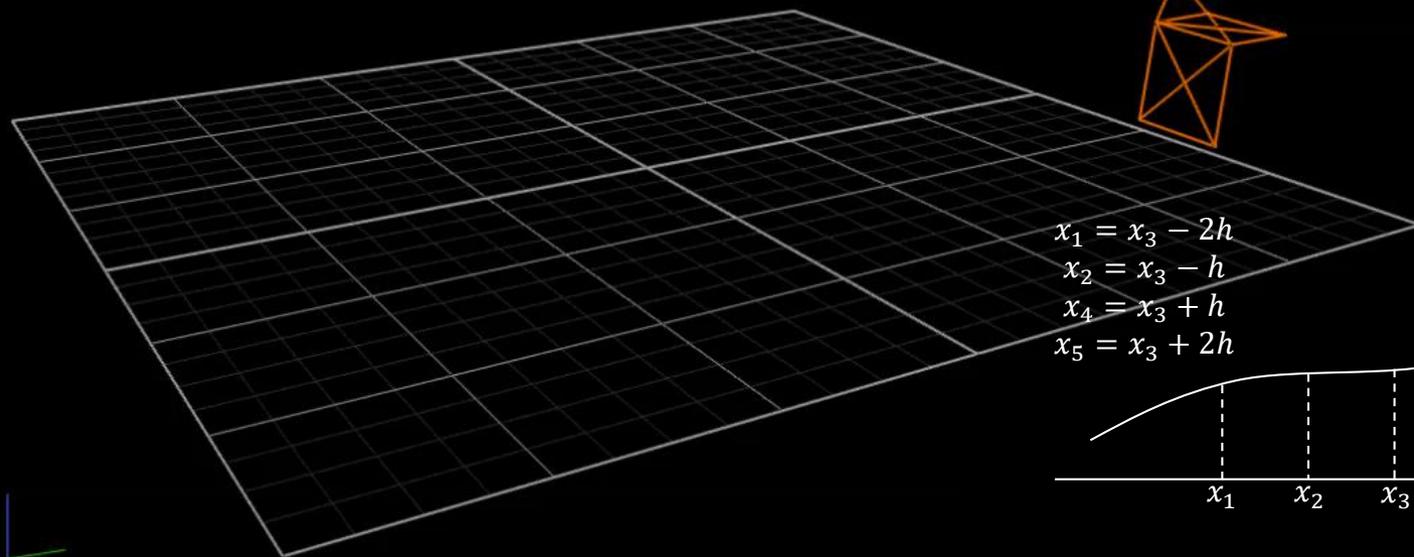
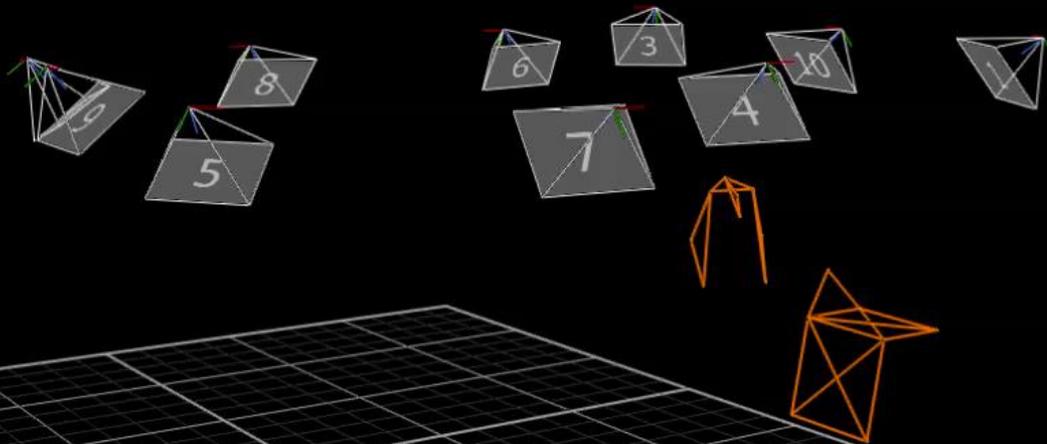
Erwartete & wiedergegebene Beanspruchung

erwartete (expected) vs. wiedergegebene (stressed) Beanspruchung

- 60kg_M: $t(21) = -1.19, p > .05$
- 100kg_S: $t(21) = -5.11, p < .001$
- 40kg_L: $t(21) = 10.16, p < .001$



→ Es besteht ein **Zusammenhang zwischen Objektgröße (size) und erwartetem Gewicht (weight)** bei schiebenden / ziehenden Tätigkeiten



$$\begin{aligned}x_1 &= x_3 - 2h \\x_2 &= x_3 - h \\x_4 &= x_3 + h \\x_5 &= x_3 + 2h\end{aligned}$$

$$f'(x) \approx \frac{-f(x + 2h) + 8f(x + h) - 8f(x - h) + f(x - 2h)}{12h}$$

$$\rightarrow x(t)''' = v(t)'' = a(t)' = j(t)$$

(Schmidtler, 2014)

Geschwindigkeit (v), Beschleunigung (a) und Ruck(j)

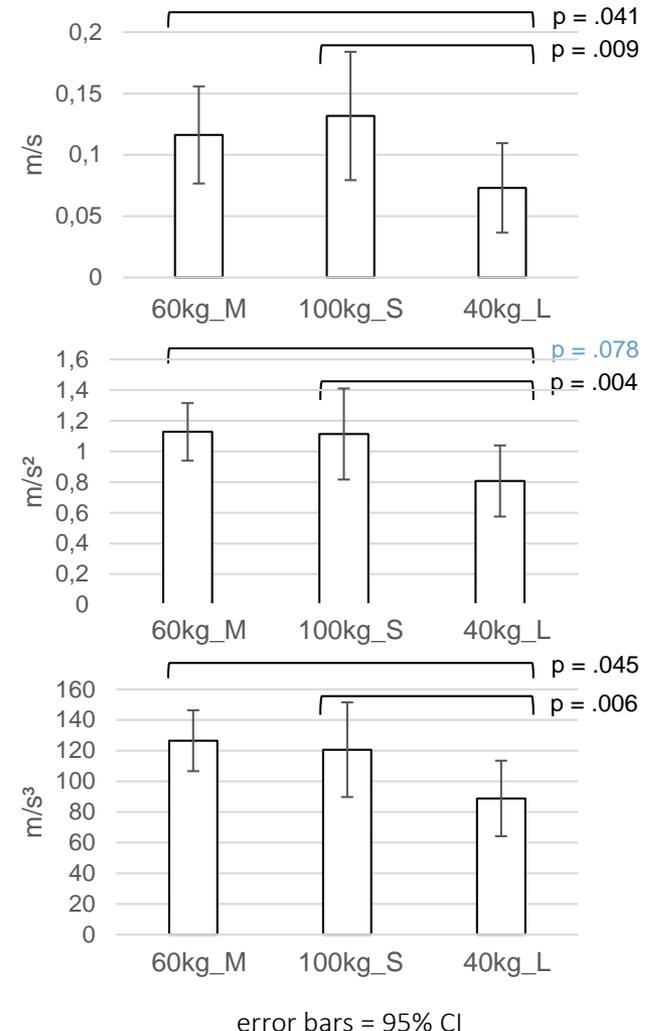
Signifikanter Einfluss des Size-Weight Illusion Effekts auf v, a und j:

- velocity - trolley:
 $F(1.386, 23.610) = 4.609$, $p = .031$, $\eta_p^2 = .213$
- acceleration - trolley:
 $F(1.386, 23.561) = 4.041$, $p = .044$, $\eta_p^2 = .192$
- jolt - trolley:
 $F(1.430, 24.310) = 4.516$, $p = .032$, $\eta_p^2 = .210$

Signifikant **niedrigeres v, a und j mit weniger Gewicht (40kg)** – (post-hoc Bonferroni)

kein signifikanter Unterschied zwischen **60kg** und **100kg** in v, a, and j ($p > .05$); $SD_{max} > 95\% CI$

- $SD(v_{100kg_S}) = 0.11 \text{ m/s} > 95\% CI = 0.05$
- $SD(a_{100kg_S}) = 0.64 \text{ m/s}^2 > 95\% CI = 0.30$
- $SD(j_{100kg_S}) = 66.86 \text{ m/s}^3 > 95\% CI = 30.89$



Zusammenfassung – Size-Weight Illusion

Objektgröße hat einen signifikanten Einfluss auf das erwartete Gewicht

Menschen tendieren dazu, ab einer gewissen Aktionskraft, in **vergleichbarer Weise zu beschleunigen** (60kg, 100kg Kondition)

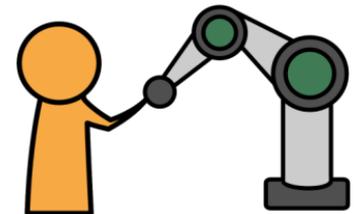
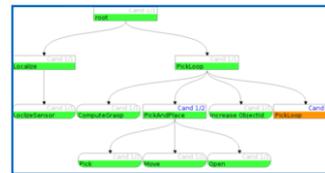
Menschen beschleunigen **schneller** (j), **höher** (a) und gelangen zu **höheren Geschwindigkeiten** (v), wenn eine gewisse Aktionskraft benötigt wird (60kg, 100kg Kondition)

Ausreichend und **angepasstes Feedback** ($>40\text{kg}$ respektive $>30\text{N}$) muss implementiert werden

Was wird uns in der Arbeitswelt 4.0 zusätzlich beschäftigen?

- **Interface-Gestaltung neuer robotischer Systeme:**
 - Bedienung, Programmierung und Überwachung werden in Zukunft nicht mehr nur von Robotikexperten übernommen werden
 - Es werden jedoch mehr und mehr komplexe Systeme entwickelt und in modernen Firmen eingesetzt werden → Bottleneck! Zu wenig ausgebildetes Personal

- **Untersuchung der Mensch-Roboter „Kommunikation“**
(Projekt vIEMA)



- **Akzeptanz und Wohlempfinden in Koexistenz mit mobilen Robotersystemen**



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Literaturangaben

- Bartscher, S. (2011). *Mensch-Roboter-Kooperation in der Montage*. Lecture 'Produktionsergonomie', Garching, Germany
- Bortot, D. (2014). *Ergonomic Human-robot Coexistence in the Branch of Production*. Verlag Dr. Hut.
- Colgate, J. Peshkin, M. & Klostermeyer, S. (2003). Intelligent assist devices in industrial applications: a review. *Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ Intl. Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2516–2521
- DIN EN ISO 10218-1 (2012). *Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots - Part 1: Robots*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN EN ISO 10218-2 (2012). *Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots - Part 2: Robot systems and integration*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- Fogliatto, F. S., da Silveira, G. J., & Borenstein, D. (2012). “The mass customization decade: An updated review of the literature”, *International Journal of Production Economics*, 138(1), 14-25.
- Frieling, E. (2006). *Alter(n)sgerechte Arbeitssystemgestaltung in der Automobilindustrie: Die demografische Herausforderung bewältigen* (1st ed.). s.l.: GRIN Verlag.
- ISO/TS 15066 (2016). Robots and robotic devices -- Collaborative robots
- Murray, D. J., Ellis, R. R., Bandomir, C. A., & Ross, H. E. (1999). Charpentier (1891) on the size—weight illusion. *Perception & Psychophysics*, 61(8), 1681-1685.
- Peshkin, M., & Colgate, J. E. (1999). Cobots. *Industrial Robot: An International Journal*, 26(5), 335-341.
- RB3D (2014). Cobot; Retrieved from <http://www.4erevolution.com/cobots-rb3d-airbus-a350/>; 06.06.2014
- Schmidtler, J., Harbauer, C., & Bengler, K. (2014). Investigation of human behaviour in pushing and pulling tasks for direct manipulation of a collaborative robot. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter*.
- Schmidtler, J., Knott, V., Hölzel, C., & Bengler, K. (2015). Human Centered Assistance Applications for the working environment of the future. *Occupational Ergonomics*, 12(3), 83-95.