

# Mensch-Roboter-Zusammenarbeit: aber sicher!



**Forum Produktion 2017**  
Univ.-Doz. DI Dr. Michael HOFBAUR

31.05.2017

# Klassische Industrierobotik

---

2

- Roboter wie wir sie bisher kannten
- verbannt in eigene Schutzräume
- präzise – schnell – kraftvoll
- 24 / 356 – zuverlässig und ausdauernd
- blind – dumm – gefühllos



Bildquelle: BMW

# Moderne Industrierobotik

- Robotik wie sie uns aktuell als „die Zukunft“ gezeigt wird
- operierend im gemeinsamen Mensch/Roboter Arbeitsraum
- präzise – konstant – entlastend
- zuverlässig und flexibel
- die Arbeitsumgebung erfassend – intelligent – sensitiv
  
- Technologischer Umbruch mit vielen Möglichkeiten und offenen Fragen!

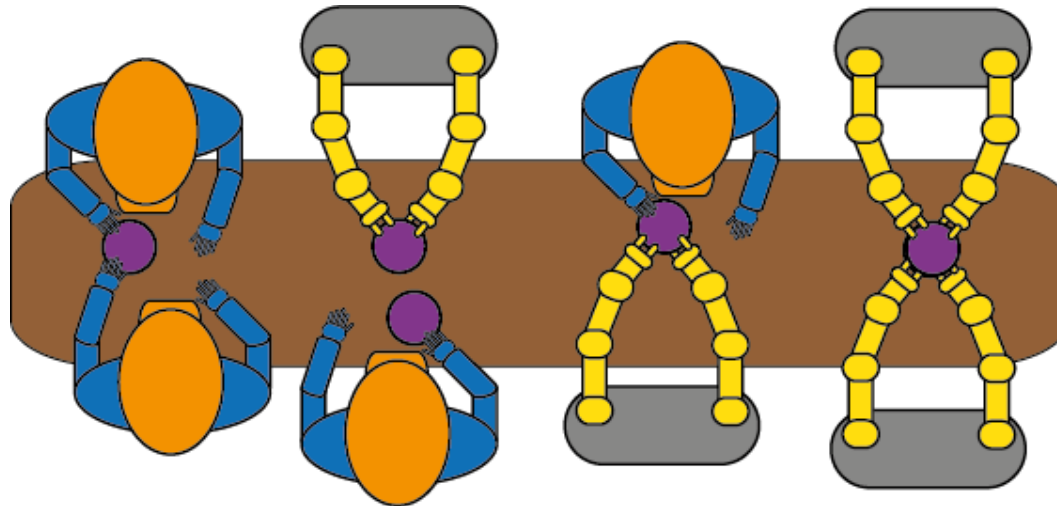


Bildquellen: Skoda, Bosch

# Einführung in die Thematik Kollaborative Roboter

4

Möglichkeiten der Mensch-Roboter Zusammenarbeit:

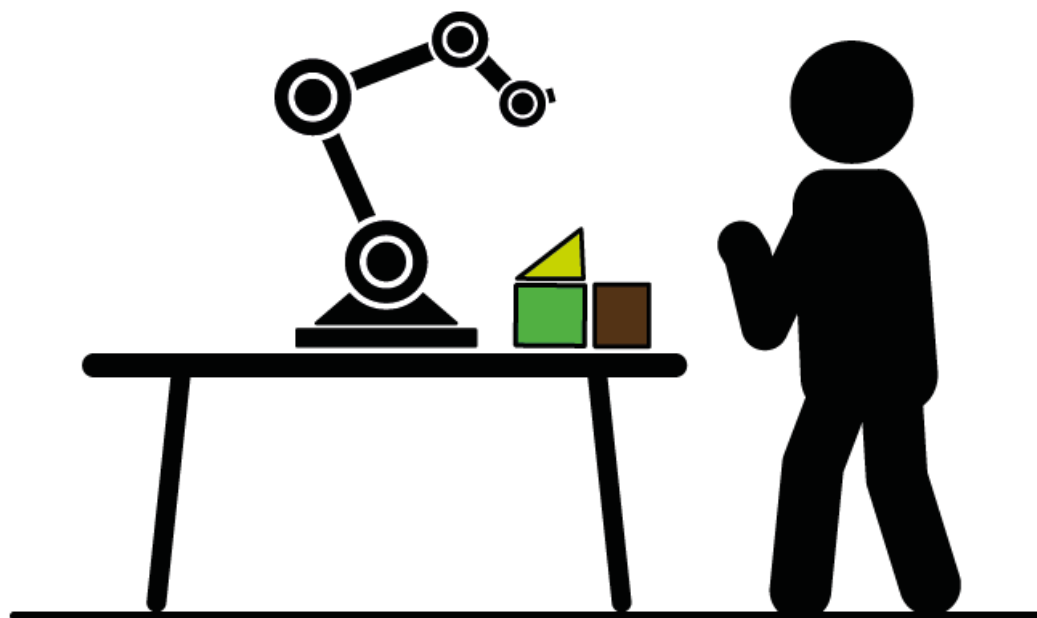


koexistierend – kooperierend – kollaborierend

# Bei kollaborativen Robotern ist zu beachten

5

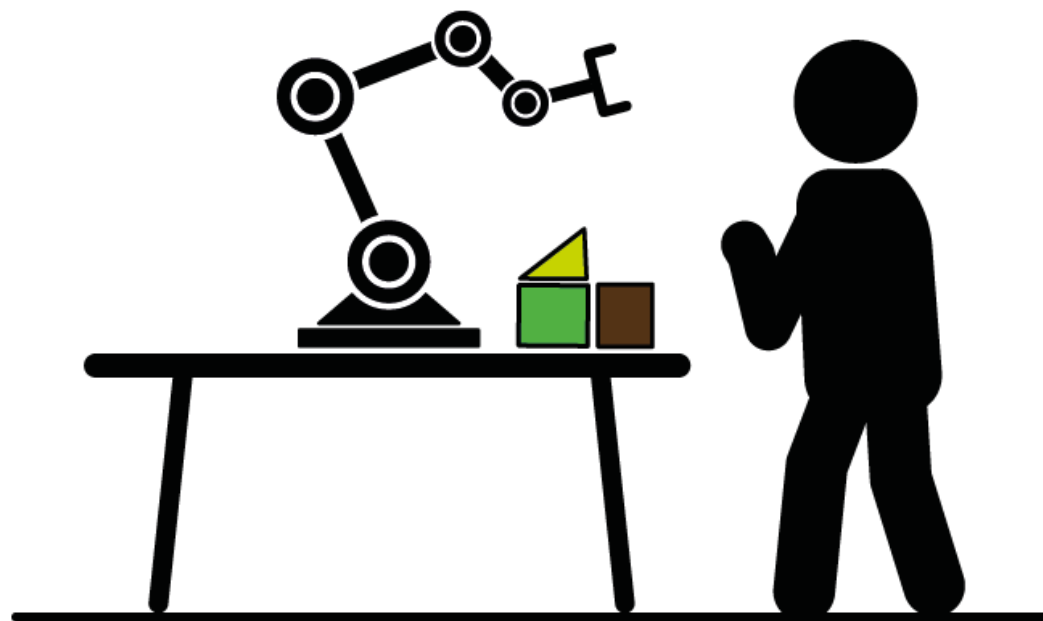
- sicherer (sensitiver) Roboter



# Bei kollaborativen Robotern ist zu beachten

6

- sicherer (sensitiver) Roboter
- sicherer (sensitiver) Greifer

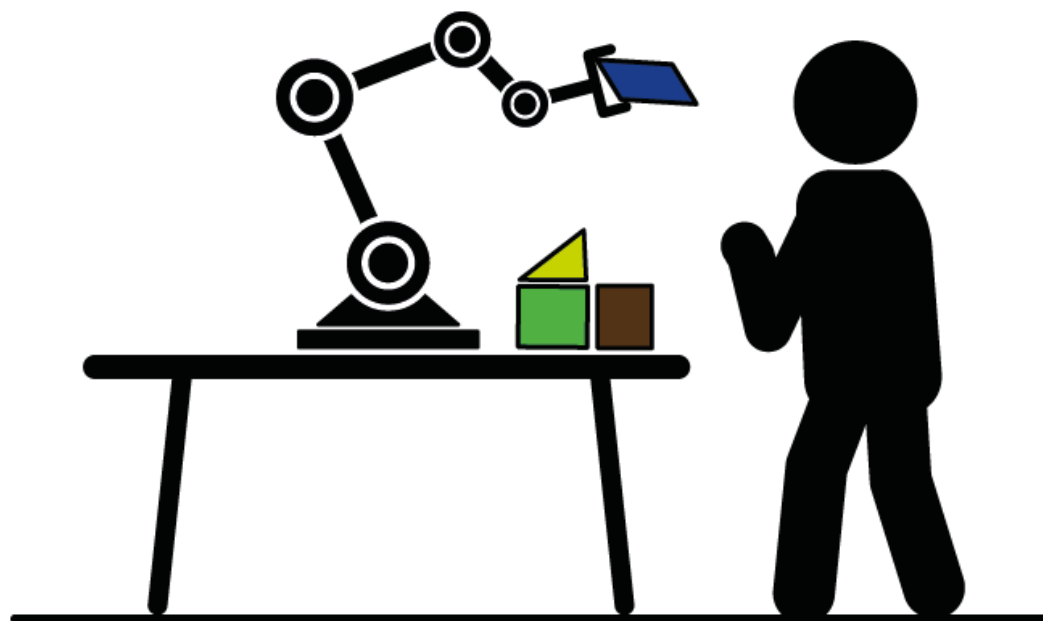




# Bei kollaborativen Robotern ist zu beachten

7

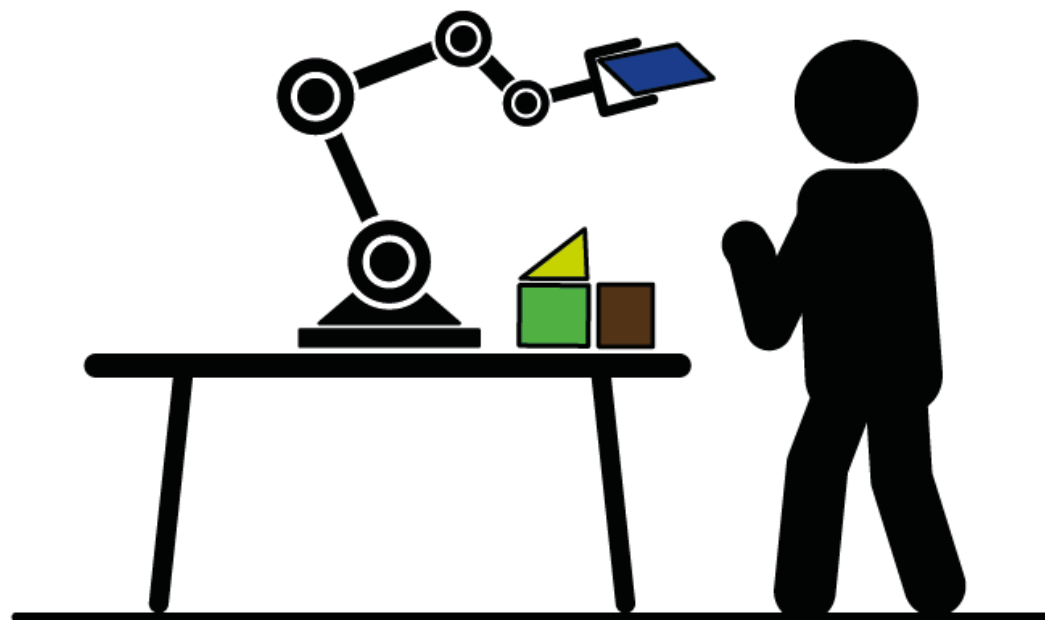
- sicherer (sensitiver) Roboter
- sicherer (sensitiver) Greifer
- das manipulierte Objekt



# Bei kollaborativen Robotern ist zu beachten

8

- sicherer (sensitiver) Roboter
- sicherer (sensitiver) Greifer
- das manipulierte Objekt
- sicherer Griff

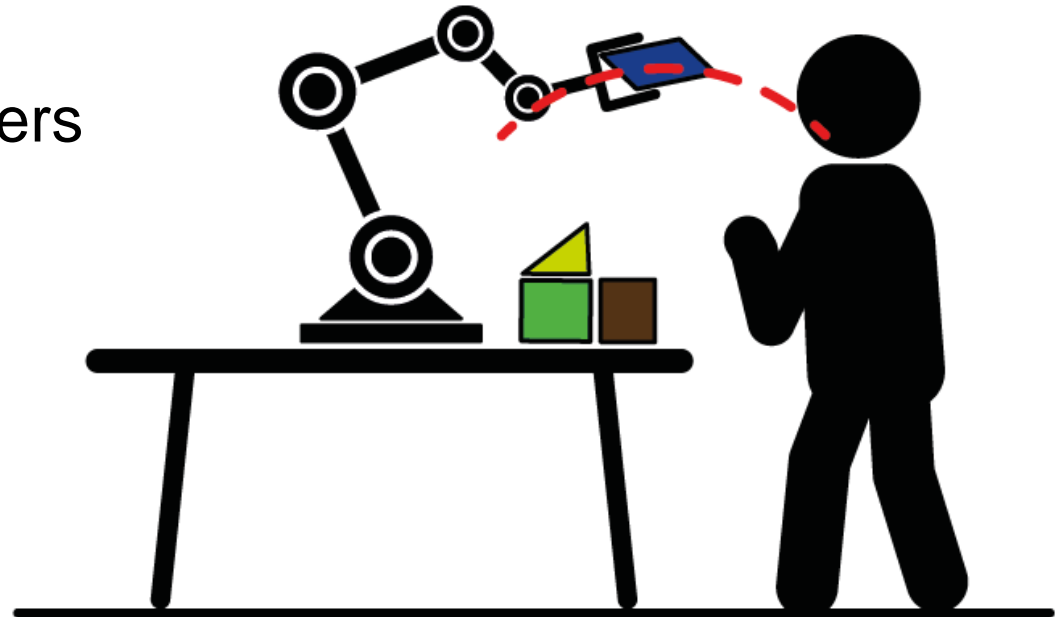




# Bei kollaborativen Robotern ist zu beachten

9

- sicherer (sensitiver) Roboter
- sicherer (sensitiver) Greifer
- das manipulierte Objekt
- sicherer Griff
- die Bahn des Roboters



# Bei kollaborativen Robotern ist zu beachten

10

Ein als “sicher” verkaufter Roboter ist nicht genug:

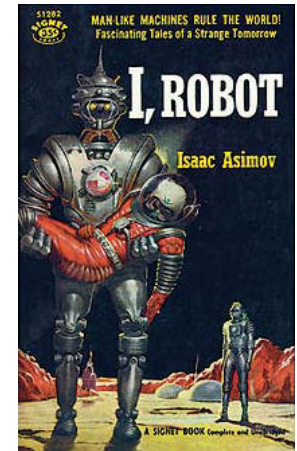
- eine gesamtheitliche Betrachtung ist unumgänglich!



# Mensch-Roboter Kollaboration ABER SICHER!

11

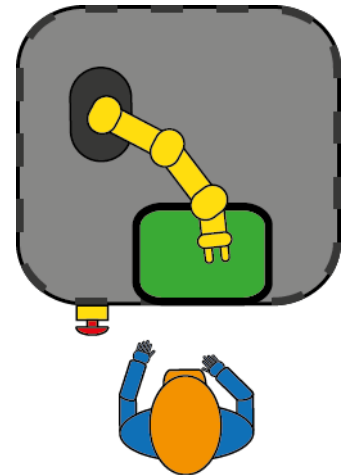
- 1. Asimov'sches Gesetz [Ich, der Roboter 1950]
  - “Ein Roboter darf kein menschliches Wesen verletzen oder durch Untätigkeit gestatten, dass einem menschlichen Wesen Schaden zugeführt wird.”*
- Normativer Rahmen (für Industrieroboter - Auszug)
  - ISO/TS 15066: Safety requirements for industrial robots
  - EN ISO 10218: Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen
  - EN ISO 13849 bzw. IEC 62061: Sicherheit von Maschinen
  - ISO 12100: Risikobeurteilung
  - IEC 61508: Funktionale Sicherheit
  - 2006/42/EC: Maschinenrichtlinie
  - ...



# Roboter Sicherheit bei Roboter-Mensch Interaktion

12

- **Kollaborierender Betrieb (ISO 10218-1/3.4)**  
*„Zustand, in dem hierfür konstruierte Roboter innerhalb eines festgelegten Arbeitsraumes direkt mit dem Menschen zusammenarbeiten“*
- *... hierfür konstruiert ...*  
Redundant ausgeführte Schutzeinrichtungen zur Überwachung des Roboter-Systems, des Betriebs- und insbesondere des festgelegten Kollaborationsraums
- *... mit Menschen zusammenarbeiten ...*  
Norm definiert 4 Interaktionsformen für *eine klar definierte, vorab festgelegte Aufgabe*

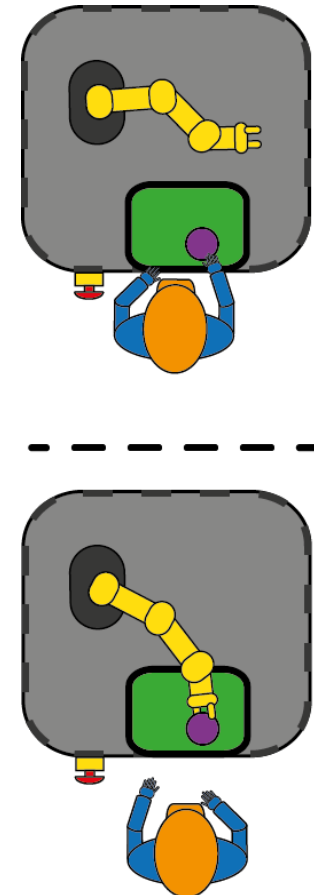


# Roboter Sicherheit bei kollaborierendem Betrieb

13

## ■ ISO 10218-1/5.10.2 Sicherheitsgerichteter überwachter Stopp

- Kollaborationsraum (KR) als Übergabebereich, z.B. manuelle Einlegestation
- Risikominderung durch Roboterstillstand, während Mensch im KR manipuliert
- Sicherheitsgerichteter Stopp gewährleistet bahntreues Anhalten, einen überwachten Stoppzustand und erlaubt einen definierten Wiederanlauf (sobald die Person den KR freigibt)

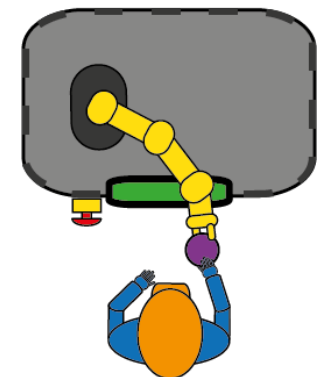
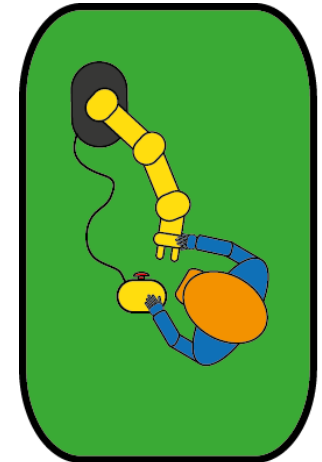


# Roboter Sicherheit bei kollaborierendem Betrieb

14

## ■ ISO 10218-1/5.10.3 Handgeführter Betrieb

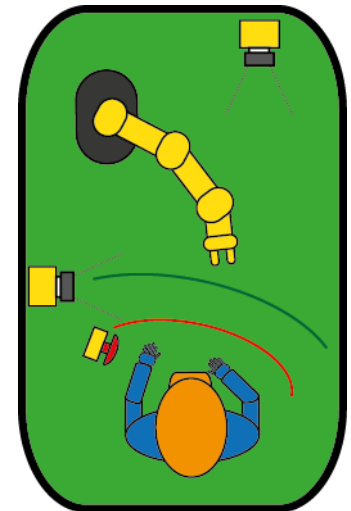
- Sicherheitsbewerteter überwachter Halt in Übergabeposition
- Durch Bedienperson mittels Führungseinrichtung manuell geführt
- Roboter bewegt sich nur bei direkter Befehlseingabe durch den Bediener
- Risikominderung durch Zustimmschalter und Not-Halt Taster



# Roboter Sicherheit bei kollaborierendem Betrieb

15

- ISO 10218-1/5.10.4  
Geschwindigkeits- & Positionsüberwachung
  - Risikominderung durch Gewährleistung eines hinreichenden Abstands zum Menschen
  - Statische Bereiche / dynamische Abstände
  - Grenzwerte durch Risikobeurteilung, diese betrachtet *Roboter, Werkzeug, Werkstück* und *Task*
  - Sicherheitshalt bei Grenzwertverletzung (Reaktions- & Nachlaufzeit !)
  - Erfordert *sicherheitsgerichtete Roboter-, Abstands- und Geschwindigkeitsüberwachung*



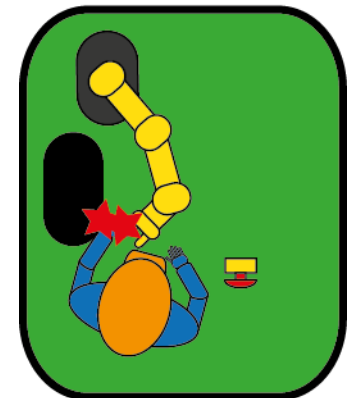
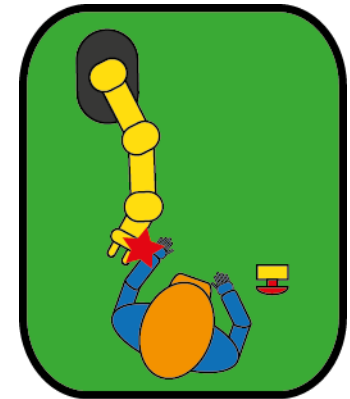


# Roboter Sicherheit bei kollaborierendem Betrieb

16

## ■ ISO 10218-1/5.10.5 & ISO/TS 15066 Leistungs- & Kraftbegrenzung

- Risikominderung durch *Begrenzung der mechanischen Einwirkung* bei Kollision
- Betrachtung Manipulator, Werkzeug, Werkstück und Task
- Umsetzung durch geringe Geschwindigkeiten, Massen bzw. Antriebsmomente, angepasste Geometrie und Material, sicherheitsgerichtete Regelungsfunktionen, inhärent sichere Bauform, ...
- *Berücksichtigung transienter und quasi-statischer Kontaktsituationen*



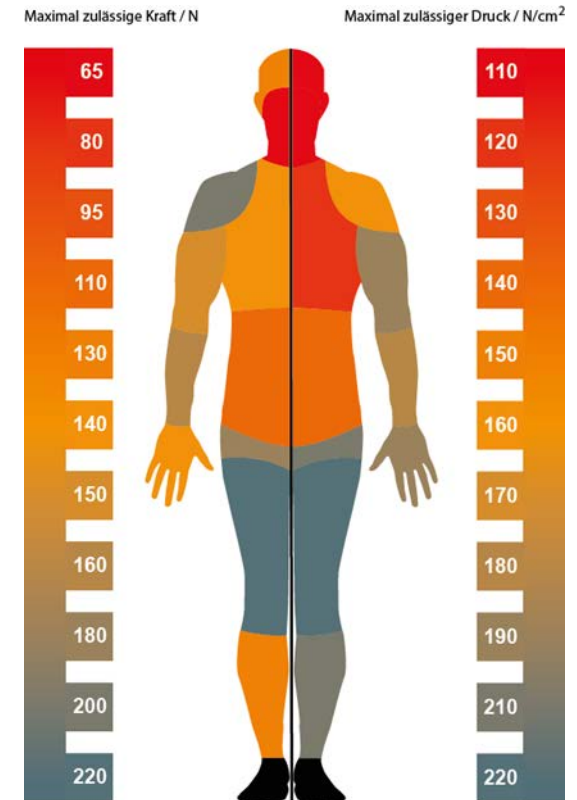
# Robot-Safety bei Roboter-Mensch Interaktion

## Leistungs- und Kraftbegrenzung (ISO 10218-1/5.10.5 & TS 15066/5.5.5)

17

*Vielseitigste Kollaborationsform, aber:*

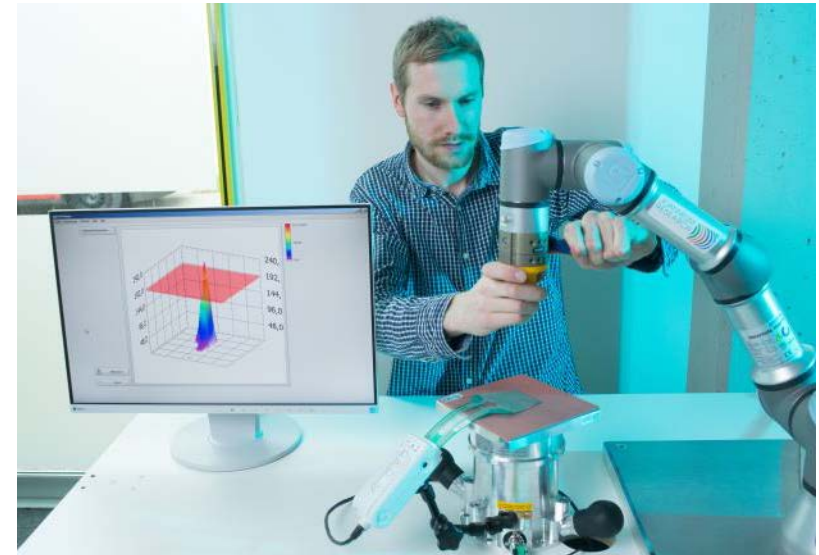
- Begrenzung beschränkt das Anwendungsspektrum
- Risikoanalyse erfordert eine Task-spezifische Beurteilung der möglichen transienten und quasi-statischen Kontaktsituationen
- *ISO/TS 15066 definiert Grenzwerte und Situationsbetrachtungen*
  - *Biomechanische Studien bezüglich Schmerzempfinden und Verletzung als Basis*
  - *Definition von 29 möglichen Kontaktpunkten und Spezifikation der Grenzwerte für Druck- & Krafteinwirkung (sowohl für transienten und quasi-statischen Kontakt)*
  - *D.h.: Erweiterung von Kraft & Geschwindigkeit auf Druck & Energie sowie dem temporären Profil*



# Messtechnische Validierung kollaborativer Roboteranwendungen durch JR ROBOTICS

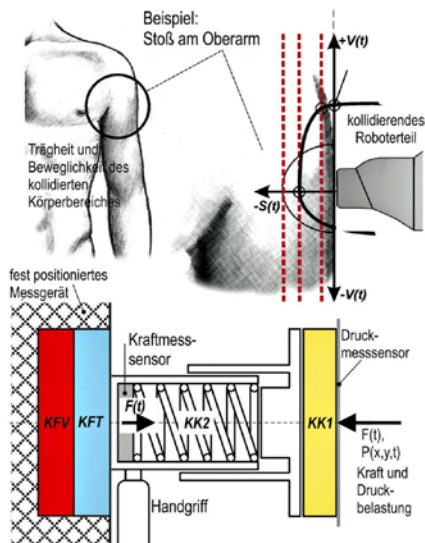
18

- Messtechnische Erfassung ungewollter Roboter-Mensch Kollision
- Überprüfung Roboter, Greifer und Task / Bewegungsablauf
- Überprüfung im JR-Messlabor und vor Ort
- Unterstützung bei Entwurf, Realisierung und der Inbetriebnahme kollaborativer Robotik
- Kooperation mit TÜV AUSTRIA



# Messtechnische Validierung lt. ISO/TS 15066

- Messmittel zur Systemverifikation
  - Kraft (mit variabler Kraft/Weg- und Dämpfungscharakteristik)
  - Druck (orts- und zeitaufgelöst)



Bildquelle: IFA



# Messtechnische Validierung lt. ISO/TS 15066

---

20

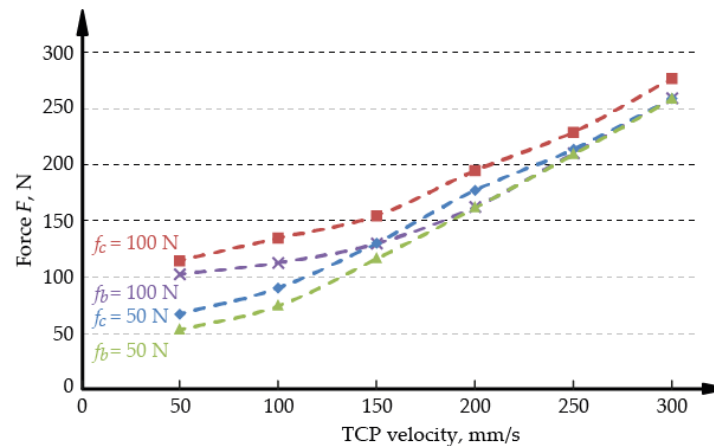
*Wozu aufwändige Messungen, wenn doch in Robotersteuerungen die Kontaktkräfte als Safety-Parameter definiert werden können?*

# Messtechnische Validierung lt. ISO/TS 15066

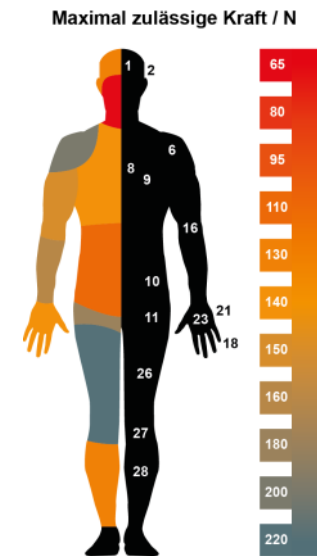
21

*Wozu aufwändige Messungen, wenn doch in Robotersteuerungen die Kontaktkräfte als Safety-Parameter definiert werden können?*

■ Abhängigkeit von Last und Geschwindigkeit!



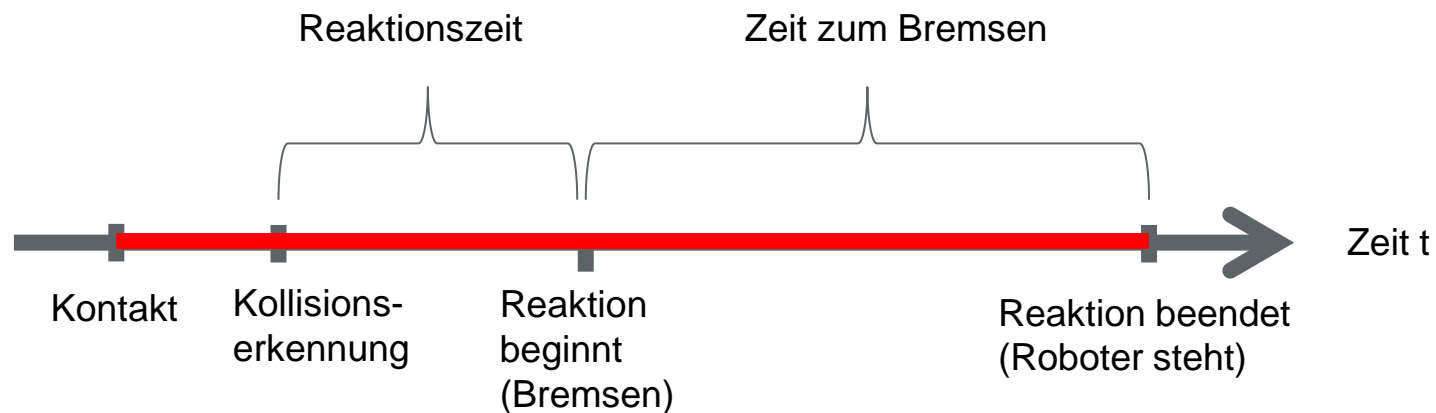
D. Kirschner et al.: *Validation of relevant parameters of sensitive manipulators for human-robot collaboration*, RAAD 2017



■ Messtechnische Validierung der Kontaktsituation ist unumgänglich!

# Kraft- und Leistungsbegrenzung Grundlagen

## ■ Zeitverlauf vom Kontakt zum Stillstand



$$F_{\text{collision}} = f(\text{Sensitivität, Bremsweg, Maße, Geschwindigkeit, ...})$$

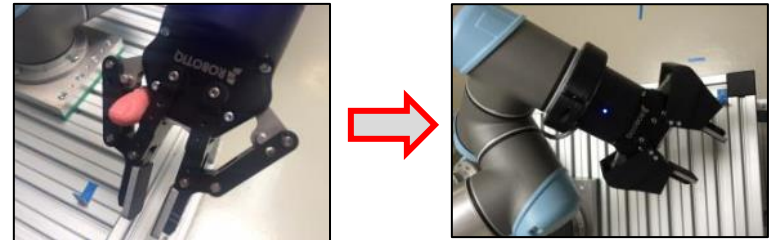


# Maßnahmen für eine sichere Roboterapplikation

23

## ■ Passive Sicherheitsvorkehrungen

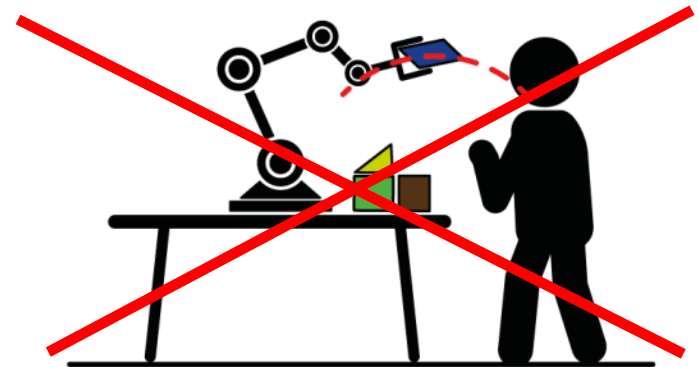
- Revision von Werkzeug und Werkstückhalterungen
- Umschließung scharfer Gegenstände



Quelle: Whitepaper - TÜV Austria / JR / Fraunhofer Austria

## ■ Adaption des Bewegungsablaufes

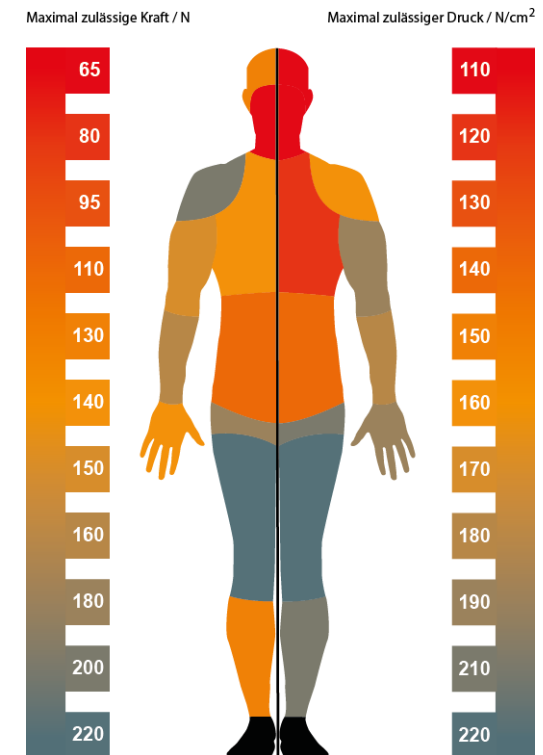
- Keine Gefährdung im Kopfbereich!
- Keine Möglichkeit für Quetschung!



# Iterative Optimierung auf Basis der messtechnischen Grenzwertkontrolle

24

- Abschließend bestimmen aber die Grenzwerte für Kraft und Druck die zulässige Taktzeit einer Roboterapplikation!
- *Eine detaillierte messtechnische Validierung ermöglicht aber eine Optimierung der Applikation bei gleichzeitiger Gewährleistung der Robotersicherheit!*



# Zu guter Letzt

---

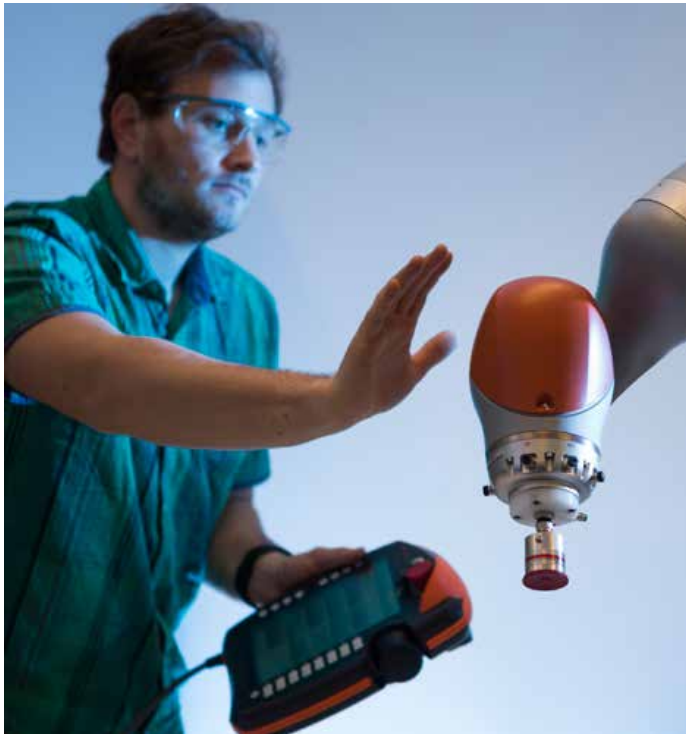
*Roboter-Safety ist größtenteils in Software realisiert.  
Ist diese gegen Cyber-Angriffe geschützt?*

# Zu guter Letzt

---

*Roboter-Safety ist großteils in Software realisiert.  
Ist diese gegen Cyber-Angriffe geschützt?*

**Roboter-Sicherheit = Safety + Security**



JOANNEUM RESEARCH  
Forschungsgesellschaft mbH

## **ROBOTICS – Institut für Robotik und Mechatronik**

Lakeside B08a, 9020 Klagenfurt

+43 316 876-2000

robotics-office@joanneum.at

[www.joanneum.at/robotics](http://www.joanneum.at/robotics)