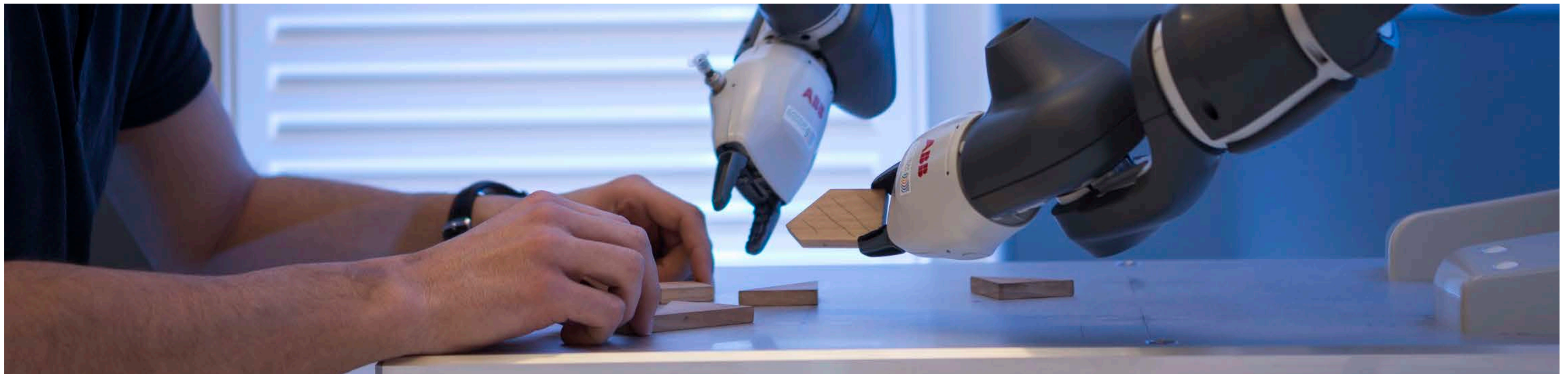


# ROBOT SAFETY: Sichere Roboter-Mensch Zusammenarbeit



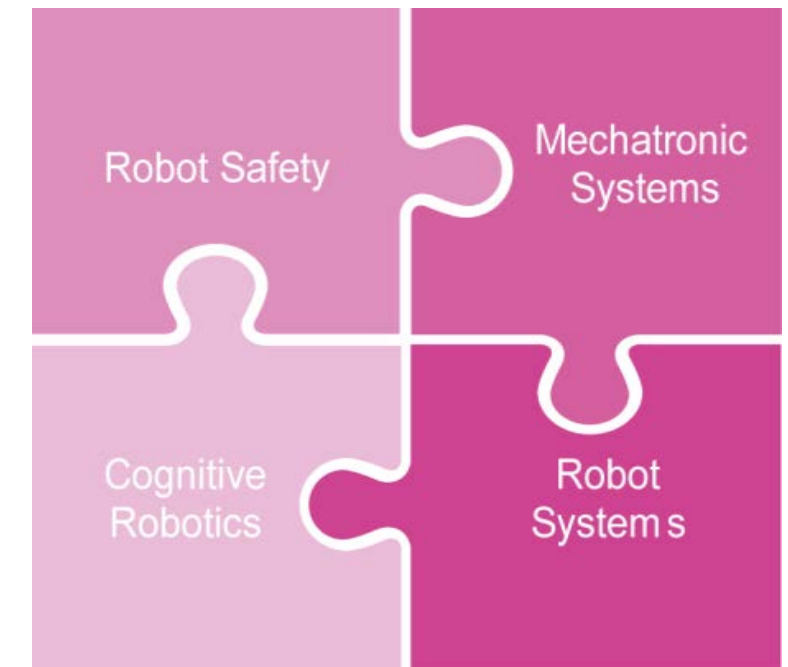
**Zukunftskonferenz 2016**

Univ.-Doz. DI Dr. Michael HOFBAUR

09.03.2016

Mit ROBOTICS greift die JOANNEUM RESEARCH den aktuellen Bedarf der Wirtschaft an anwendungsorientierter Forschung für Technologien an der Schnittstelle zwischen digitaler und realer Welt auf.

- F&E zu über die klassische Systemintegration hinausgehende Themen der industriellen Robotik und Mechatronik
- F&E und Consulting zum Thema Robot-Safety und funktionale Sicherheit
- Gesamtheitlich wissenschaftliche Bearbeitung der Themenstellungen:
  - Mensch-Roboter Kollaboration und Interaktion
  - Roboter Sicherheit - Safety & Security
  - Roboter Systeme
  - Regelungstheorie und Künstliche Intelligenz
  - und der Mechatronik im Allgemeinen



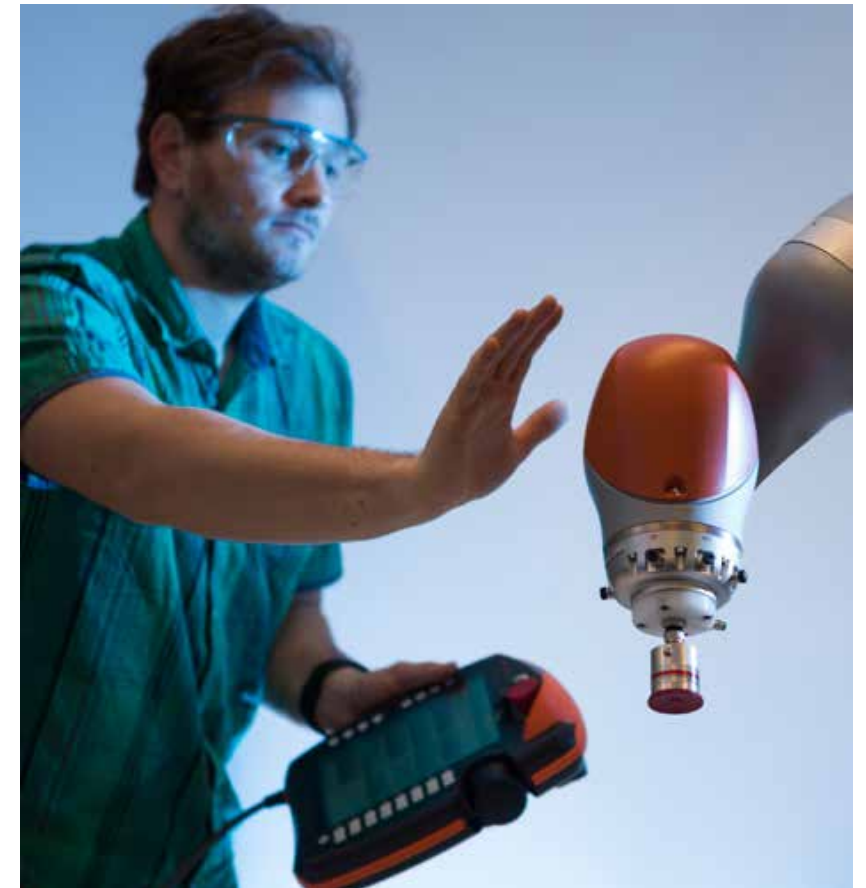
## Grundlagen für sichere Mensch-Roboter Interaktion

### ■ 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.”*

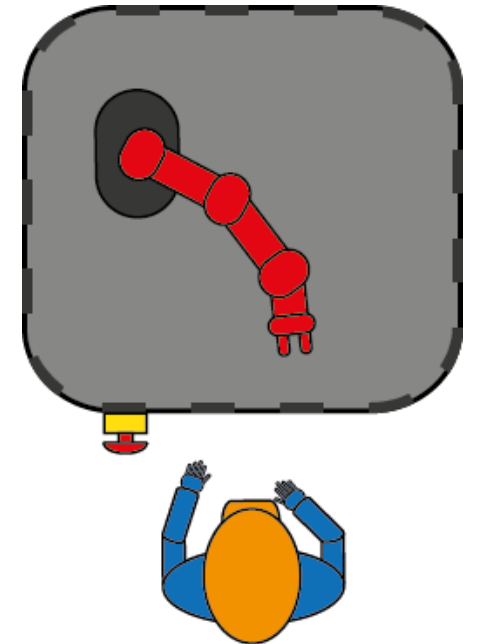
### ■ Normativer Rahmen (für Industrieroboter)

- 2006/42/EC: Maschinenrichtlinie
- IEC 61508: Funktionale Sicherheit
- ISO 12100: Risikobeurteilung
- EN ISO 13849 bzw. IEC 62061: Sicherheit von Maschinen
- EN ISO 13855: Schutzeinrichtungen & Sicherheitsabstände
- EN ISO 10218: Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen
- ISO/TS 15066: Safety requirements for industrial robots



## Klassisches Betriebszenario

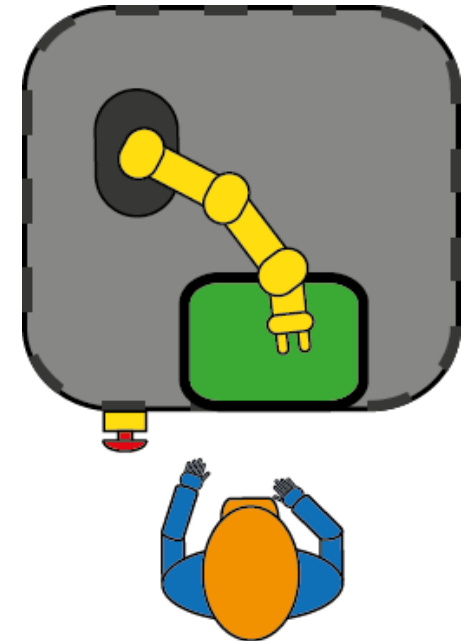
- Geschützter Bereich für den Betrieb des Roboters
  - Einhausung / Zaun / Lichtvorhang
  - Sicherheitsbewerteter überwachter Halt des Roboters
  - Not-Halt
  - Risikominderung durch Stillstand und Ausdehnung des geschützten Bereichs
- Eingeschränkter manueller Betrieb bei on-line Programmierung und zur Fehlerbehebung



## Kollaborierender Betrieb (ISO 10218-1/3.4 / TS 15066/3.1)

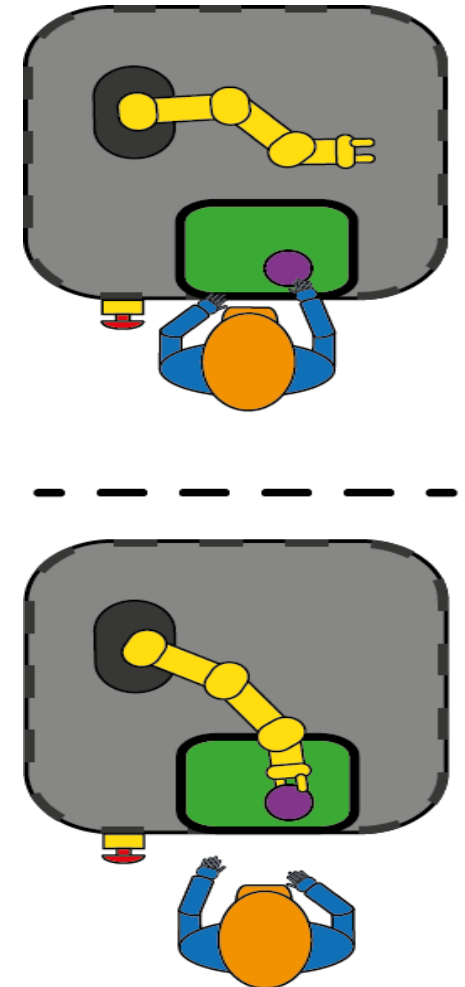
*„Zustand, in dem hierfür konstruierte Roboter innerhalb eines festgelegten Arbeitsraumes direkt mit dem Menschen zusammenarbeiten“*

- *... hierfür konstruiert ...*  
Redundant und entsprechend ausfallsicher ausgeführte Schutzeinrichtungen zur Überwachung des Roboter-Systems, des Betriebs- und insbesondere des festgelegten Kollaborations-Raums
  
- *... mit Menschen zusammenarbeiten ...*  
Norm spezifiziert 4 Interaktionsformen für *eine klar definierte, vorab festgelegte Aufgabe*
  - Sicherheitsgerichteter überwachter Stopp
  - Handführung
  - Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung
  - Leistungs- und Kraftbegrenzung durch inhärente Konstruktion oder Steuerung



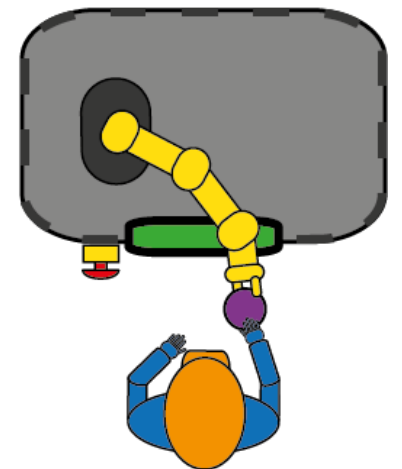
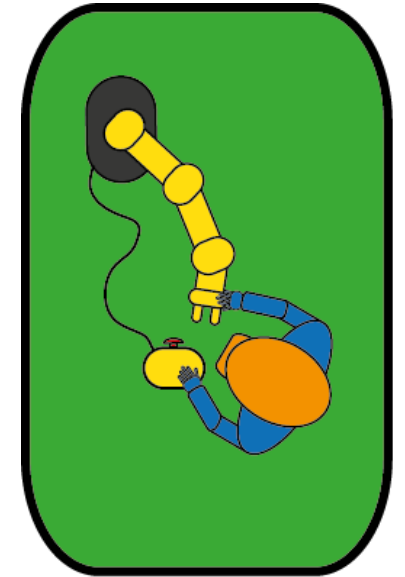
## Sicherheitsgerichteter überwachter Stopp (ISO 10218-1/5.10.2, TS 15066/5.5.2)

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



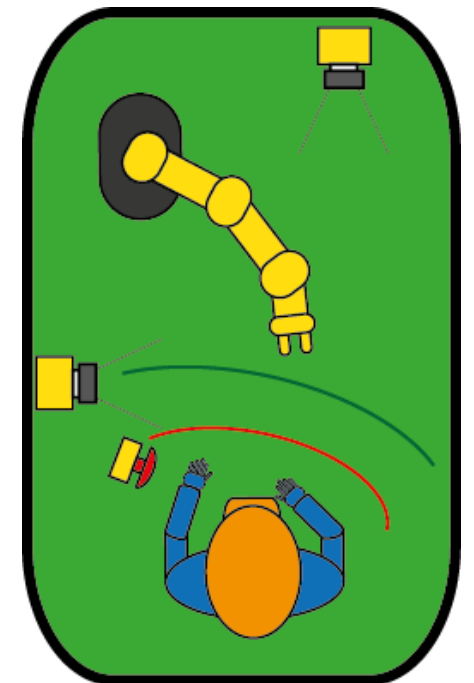
## Handgeführter Betrieb (ISO 10218-1/5.10.3, TS 15066/5.5.3)

- Sicherheitsbewerteter überwachter Halt in Übergabeposition
- Durch Bedienperson mittels Führungseinrichtung manuell geführt
- Roboter bewegt sich nur bei direkter Befehlseingabe durch den Bediener (Eingabegerät am Roboter, idealerweise nahe des Endeffektors)
- Risikominderung durch Zustimmschalter am Eingabegerät, sowie ein sicherheitsbewerteter überwachter Halt (Not-Halt) bei unbefugtem Betreten der Kollaborationszone



## Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung (ISO 10218-1/5.10.4, TS 15066/5.5.4)

- 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!)
- *Sicherheitsabstände lt. EN/ISO 13855 unter Umständen für eine klassische Industrieanwendung zu einschränkend*
- *Überwachung aller Personen im Kollaborationsraum des Roboters*
- *Erfordert sicherheitsgerichtete Roboter-, Abstands- und Geschwindigkeitsüberwachung (Performance Level d, Kat.3)*

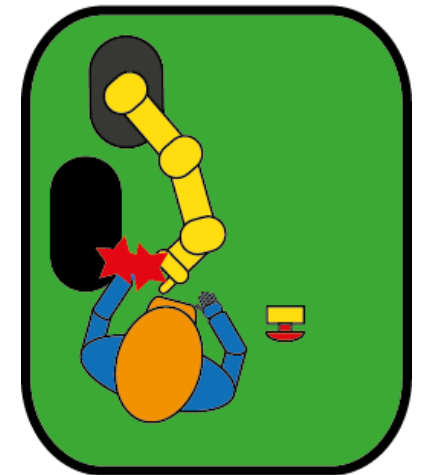
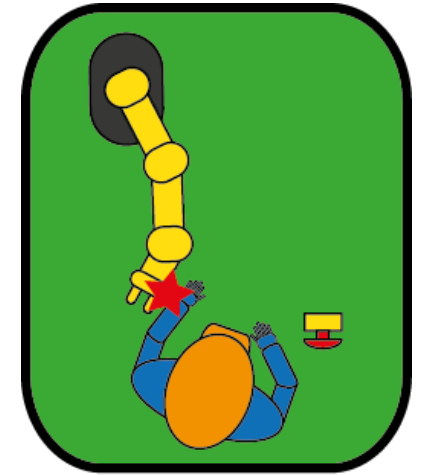


Anmerkung: PL-d: Durchschnittliche Wahrscheinlichkeit eines gefährlichen Ausfalls je Stunde kleiner  $10^{-6}$



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

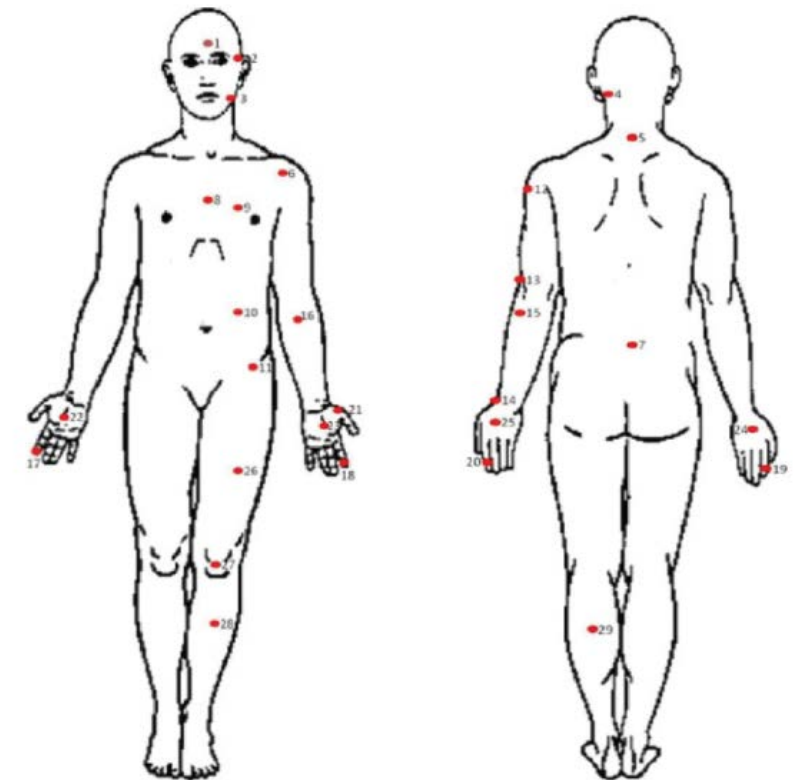
- Risikominderung durch *Begrenzung der mechanischen Einwirkung* bei Kollision
- Betrachtung Manipulator, Werkzeug, Werkstück und Task
- Umsetzung durch geringe Geschwindigkeiten, Massen bzw. Antriebsmomente, angepasste Geometrie und Material, sicherheitsgerichtete Regelungsfunktionen, inhärent sichere Bauform, ...
- „purposely designed robot“: sicherheitsgerichtete Sensoren & Maßnahmen zur Roboterüberwachung (Cat. 3, PL-d)
- *Berücksichtigung transienter und quasi-statischer Kontaktsituationen*
- *Alte Grenzwerte (80W / 150 N) nicht mehr gültig*



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

*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- und Kraft-Einwirkung (sowohl für transienten und quasi-statischen Kontakt)*
  - *D.h.: Erweiterung von Kraft & Geschwindigkeit auf Druck & Energie sowie dem temporären Profil*



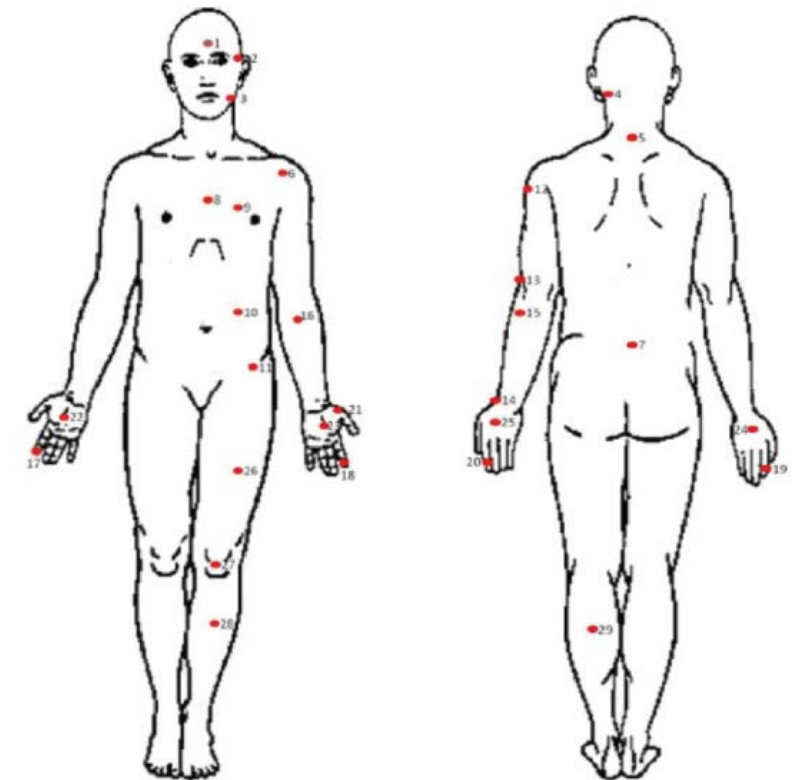
Kontaktpunkte lt. ISO/TS 15066

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

Beispielhafte Grenzwerte lt. ISO/TS 15066 (Tabelle A.2)

- Kopfbereich wird als **kritische Zone** eingestuft. Ein Roboter-Kopf Kontakt ist durch Gestaltung des Tasks/Arbeitsplatzes zu vermeiden!

Body Region	Specific Body Area		Quasi-Static Contact		Transient Contact	
			Max. perm. Pressure	Max. perm. Force	Max perm. Pressure multiplier	Max. perm. Force Multiplier
			N/cm <sup>2</sup>	N	P <sub>T</sub>	F <sub>T</sub>
Skull and Forehead	1	Middle of Forehead	130	130	n.a.	n.a.
	2	Temple	110	130	n.a.	n.a.
Face	3	Masticatory Muscle	110	65	n.a.	n.a.
Neck	4	Neck Muscle	140	150	2	2
	5	Seventh Neck Muscle	210	150	2	2
Back and Shoulders	6	Shoulder Joint	160	210	2	2
	7	Fifth Lumbar Vertebra	210	210	2	2
Chest	8	Sternum	120	140	2	2
	9	Pectoral Muscle	170	140	2	2
Abdomen	10	Abdominal Muscle	140	110	2	2
Pelvis	11	Pelvic Bone	210	180	2	2
Upper Arms and Elbow Joints	12	Deltoid Muscle	190	150	2	2
	13	Humerus	220	150	2	2



Kontaktpunkte lt. ISO/TS 15066

## Kognitive, kollaborative Roboter in teil-strukturierter Arbeitsumgebung

### ■ Herausforderung Sensorik:

- Sensorik erschöpfend in der Umgebungserfassung
- Sicherheitsgerichtet (Stichwort PL-d, Kat. 3)
- ...

### ■ Herausforderung Rechentechnik & Komplexität

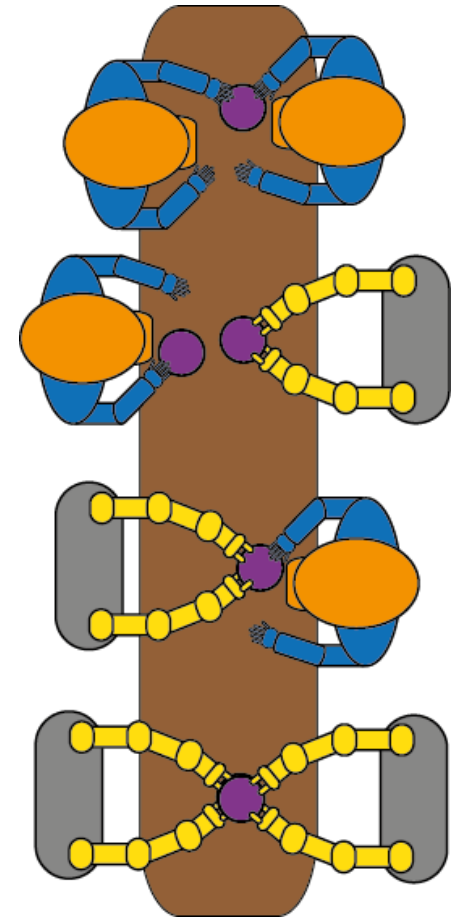
- Umgebungsverständnis (Perzeption)
- Semi-Autonomie in Taskplanung & Taskdurchführung (Kognition)
- Funktional sicher!
- ...

### ■ Herausforderung Werkzeug, Werkstück & Task

- Sicherheitsbetrachtung umfasst das Roboter System in seiner Gesamtheit
- Z.B. Hantieren mit scharfen, spitzen/scharfkantigen Werkzeugen / Werkstücken?
- ...

### ■ Herausforderung Validierung der Robotersicherheit

- *Hierbei unterstützt sie JR ROBOTICS gerne als kompetenter Partner!*



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

---



JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH  
**ROBOTICS – Institut für Robotik und Mechatronik**

Lakeside B08a, EG, 9020 Klagenfurt an Wörthersee

[robotics@joanneum.at](mailto:robotics@joanneum.at)

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