

Prof. Dr.-Ing. Jörg Franke

Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung
und Produktionssystematik

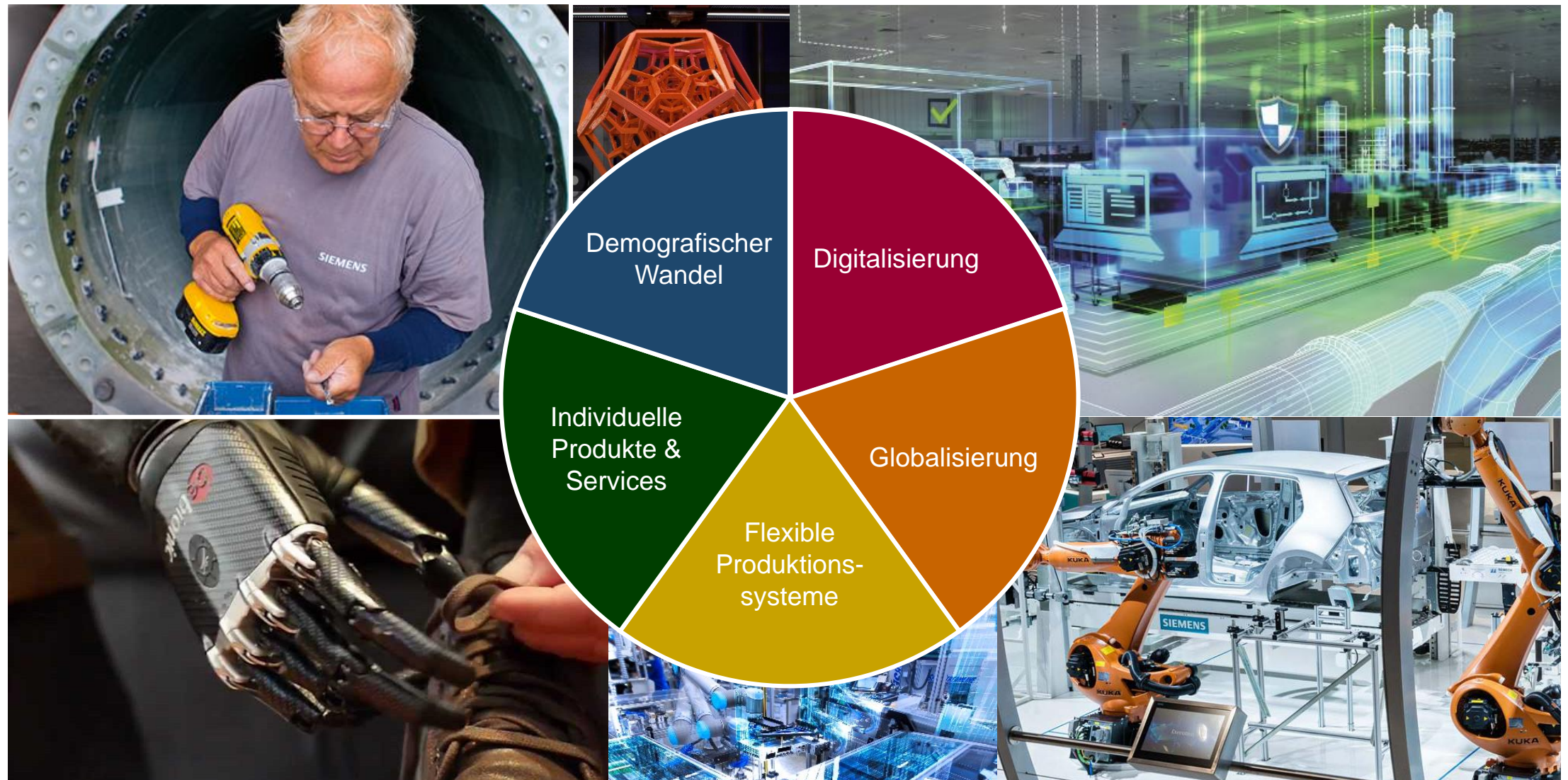
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg



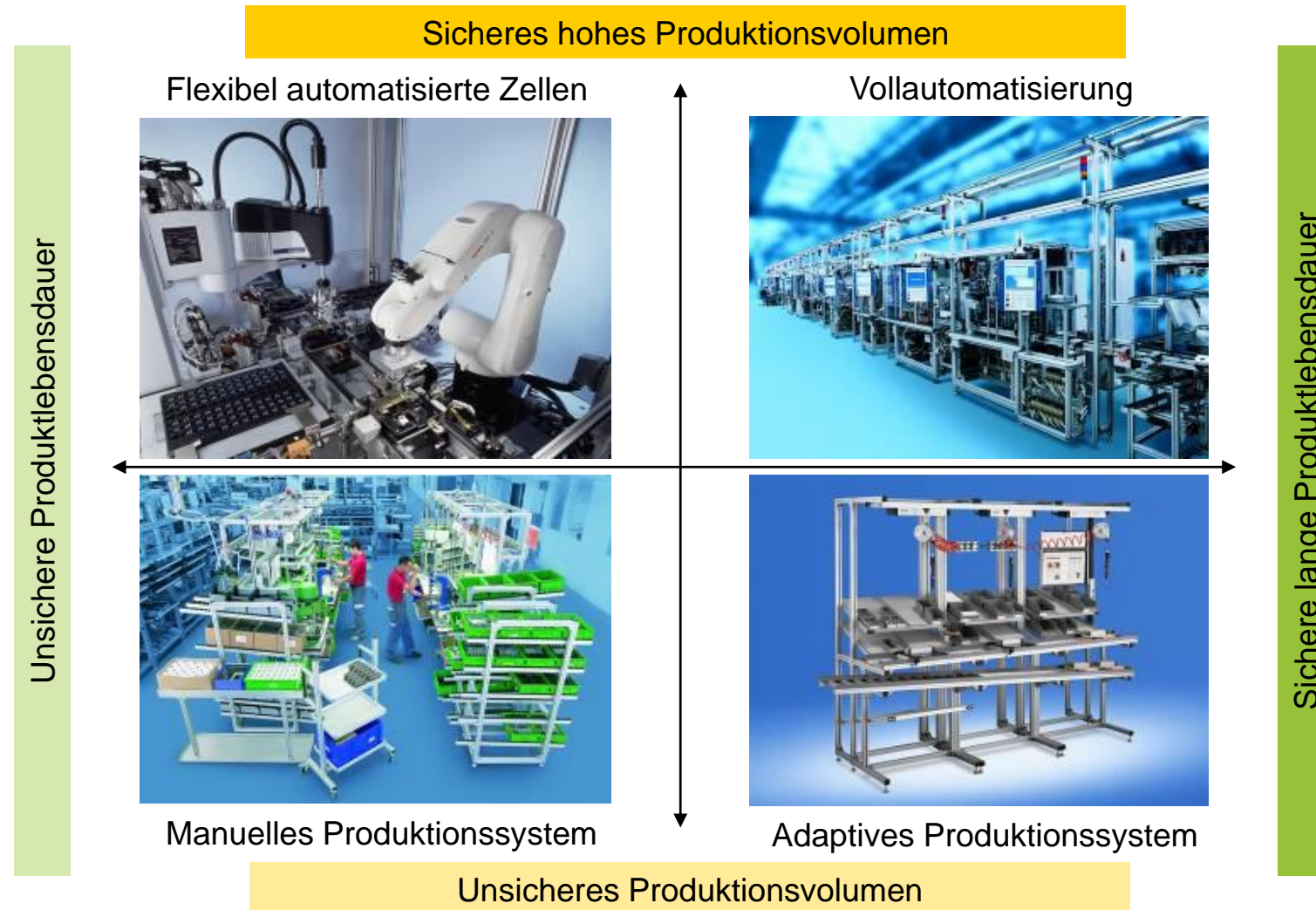
Kollaborierende Robotersysteme in der Fertigung

Erfahrungsaustausch Elektronikproduktion im Maschinenbau
Forschungsbereich Biomechatronik
M.Sc., M.Sc. Maximilian Metzner

Der Einsatz von Robotern ermöglicht es, den vielfältigen Herausforderungen der Produktion von Morgen zu begegnen.



Eine Vollautomatisierung ist oft nur für große Stückzahlen und lange Produktlebenszyklen sinnvoll.



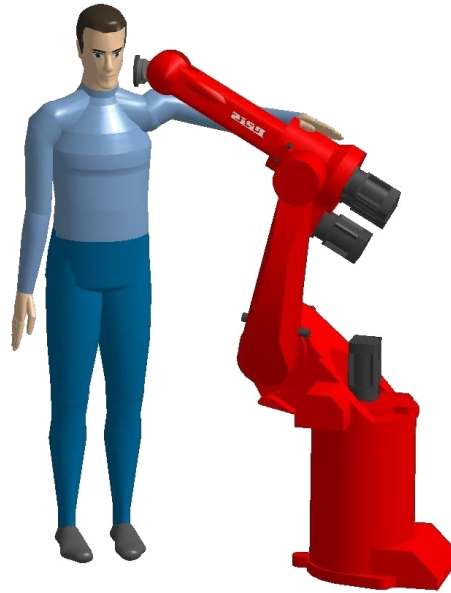
Durch die Kombination der spezifischen Fähigkeiten von Mensch und Roboter können neue Potentiale erschlossen werden.

Der Mensch...

- ist flexibel
- ist kreativ
- ist lernfähig
- trifft Entscheidungen
- besitzt Geschicklichkeit

Der Roboter...

- ist schnell
- ist ausdauernd
- ist genau
- ist stark

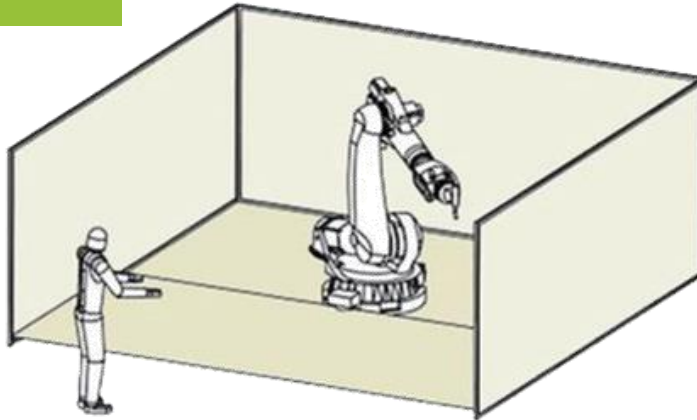


Assistenzsysteme...

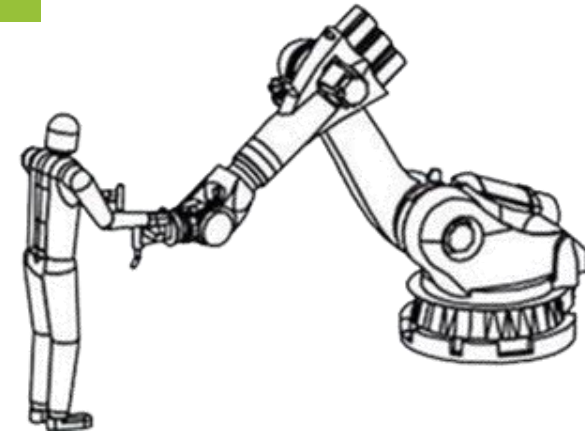
... kombinieren die Fähigkeiten von Mensch und Roboter zu einem ergonomischen und effizienten Gesamtsystem.

Laut DGUV können mehrere Arten der Mensch-Roboter-Kollaboration unterschieden werden.

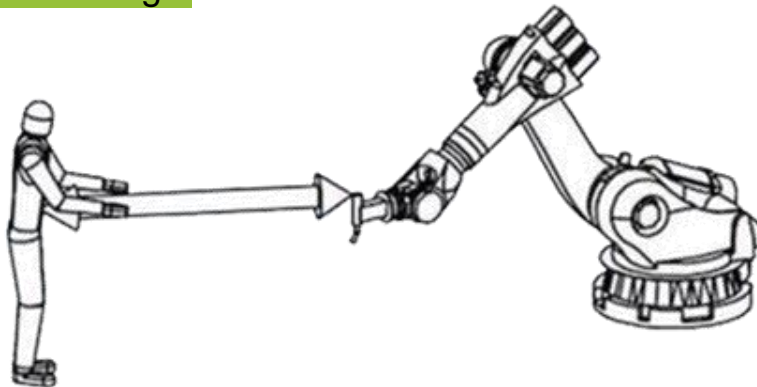
Überwachter Stillstand



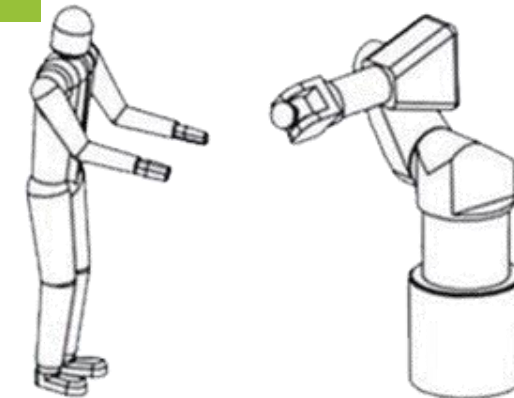
Handführung



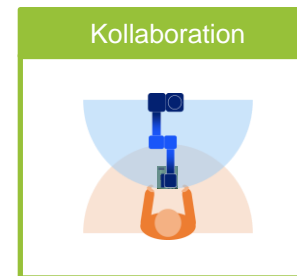
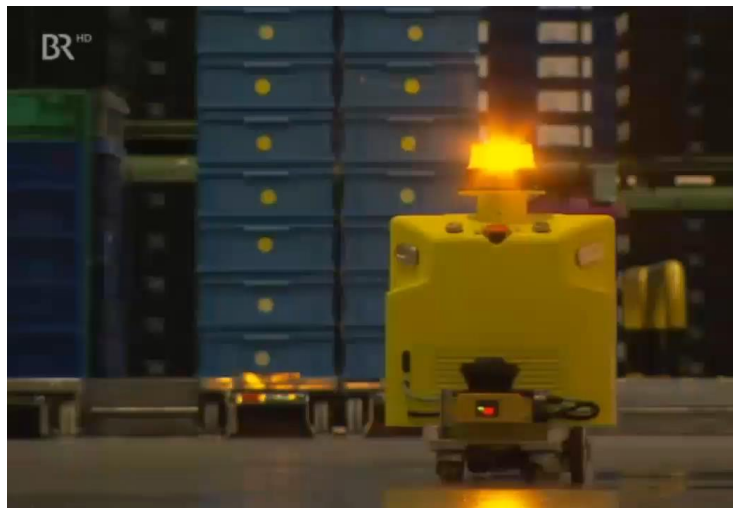
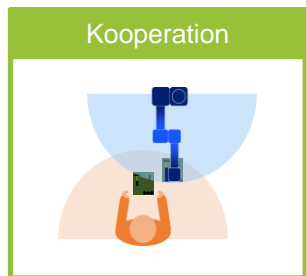
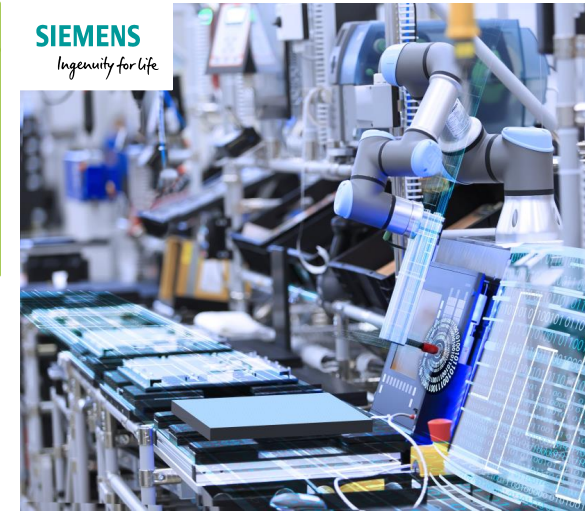
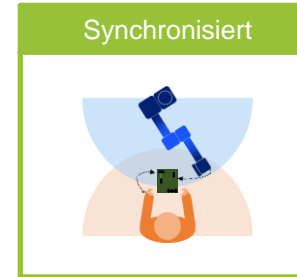
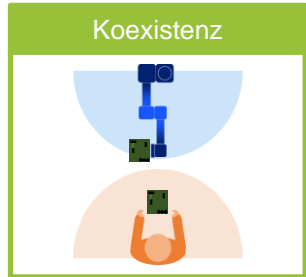
Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung



Leistungs- und Kraftbegrenzung

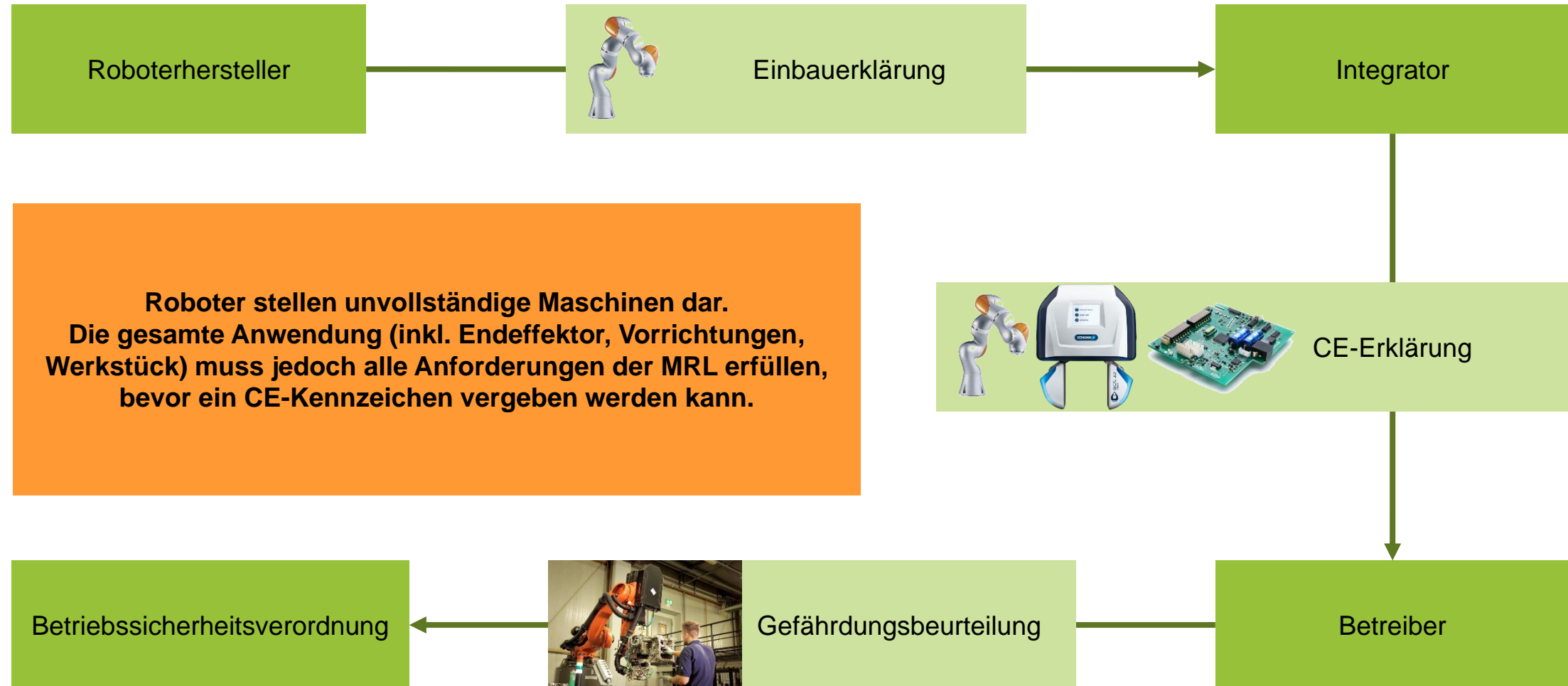


Die MRK kann auch anhand des Grads der Zusammenarbeit unterteilt werden.



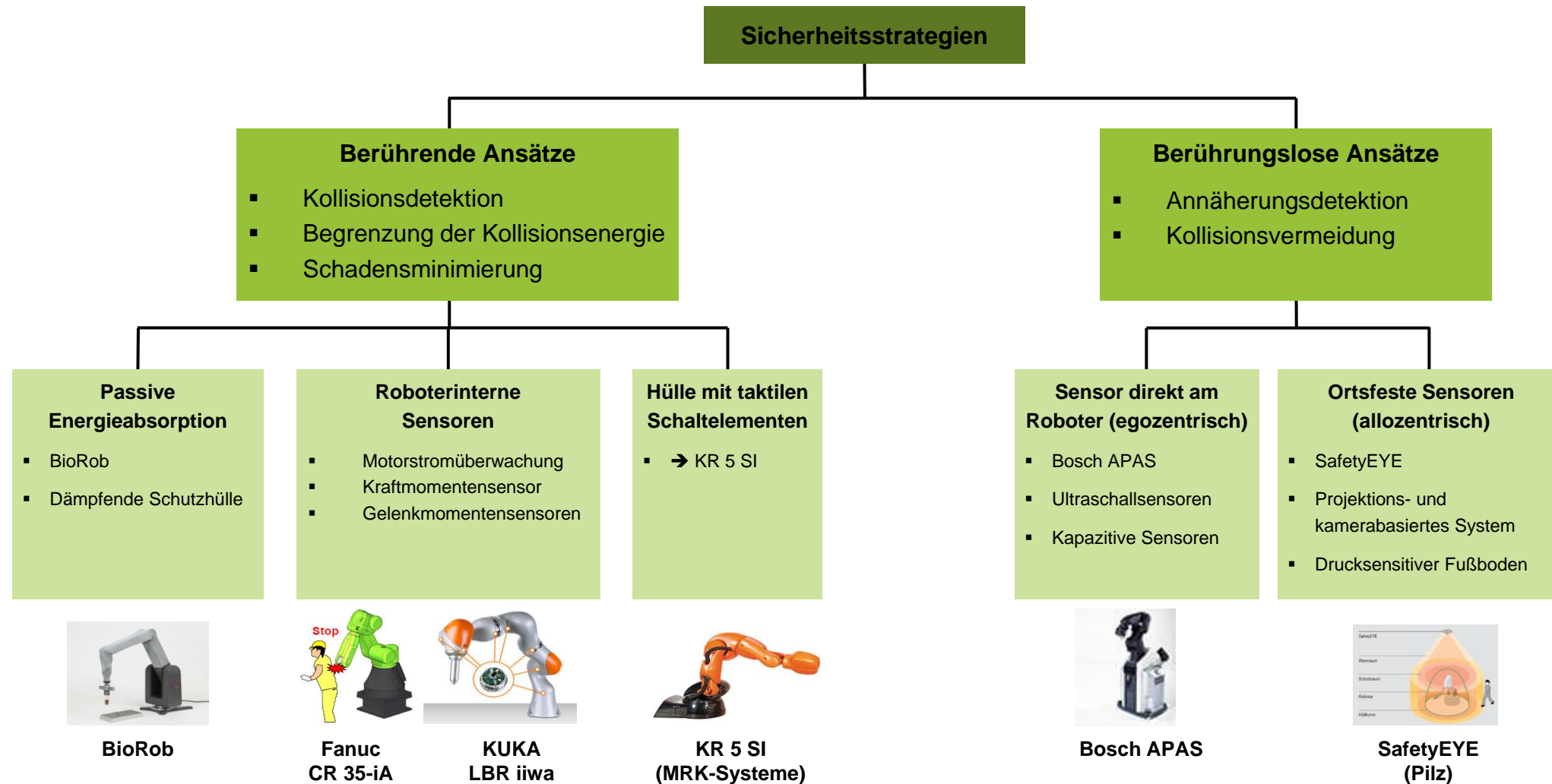
Quelle: Siemens, Bayerischer Rundfunk, FAPS

Die Sicherheitsvorgaben für MRK-Systeme orientieren sich an denen für klassische Roboter.



Quelle: KUKA, industrie.de, Schunk, Wennmacher Electronic

Berührungslose Systeme eignen sich aufgrund der höheren Systemakzeptanz besser für die Mensch-Roboter-Kollaboration.



Quelle: Tetra, Fanuc, KUKA, MRK-Systeme, Bosch, Pilz

Da eine Kollision in der MRK meist nicht ausgeschlossen werden kann, ist eine Bewertung der Auswirkungen dieser auf den Menschen nötig.

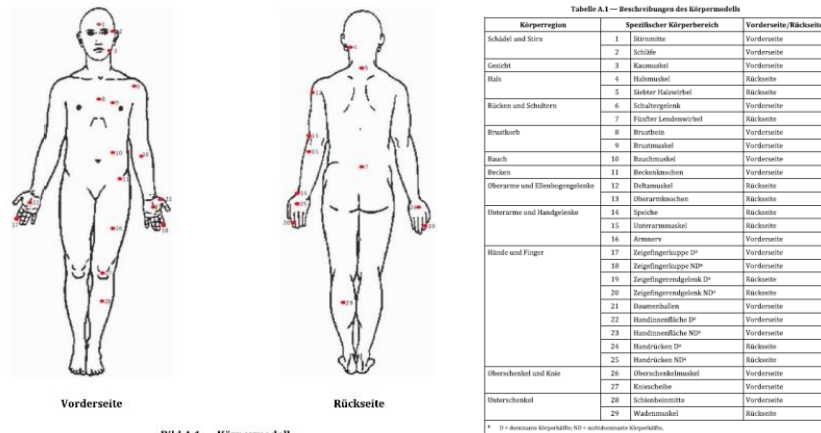


Bild A.1 — Körpermodell

Tabelle A.1 — Beschreibungen des Körpermodells

Körperregion	Spezifischer Körperbereich	Vorderseite/Rückseite
Schädel und Stirn	1 Stirnmitte	Vorderseite
	2 Schläfe	Vorderseite
Gesicht	3 Kaumuskel	Vorderseite
Hals	4 Halsmuskel	Rückseite
	5 Siebter Halswirbel	Rückseite
Rücken und Schultern	6 Schultergelenk	Vorderseite
	7 Fünfter Lendenwirbel	Rückseite
Brustkorb	8 Brustbein	Vorderseite
	9 Brustmuskel	Vorderseite
Bauch	10 Bauchmuskel	Vorderseite
	11 Beckenknochen	Vorderseite
Oberschenkel und Knie	12 Oberschenkel	Rückseite
	13 Unterschenkel	Rückseite
Unterarm und Handgelenk	14 Speiche	Rückseite
	15 Unterarmmuskel	Rückseite
Hande und Finger	16 Armerv	Vorderseite
	17 Zeigefingerkuppe DP	Vorderseite
Hande und Finger	18 Zeigefingerkuppe NP	Vorderseite
	19 Zeigefingerendgelenk DP	Rückseite
Hande und Finger	20 Zeigefingerendgelenk NP	Rückseite
	21 Daumenballen	Vorderseite
Hande und Finger	22 Handinnenfläche DP	Vorderseite
	23 Handinnenfläche NP	Vorderseite
Hande und Finger	24 Handrücken DP	Rückseite
	25 Handrücken NP	Rückseite
Hande und Finger	26 Oberschenkelmuskel	Vorderseite
	27 Kniekehle	Vorderseite
Unterschulter	28 Schienbeinmitte	Vorderseite
	29 Wadenmuskel	Rückseite

* DP = dominante Körperhälfte, NP = nichtdominante Körperhälfte.

Tabelle A.2 — Biomechanische Grenzwerte (1 von 2)

Körperregion	Spezifischer Körperbereich	Quasistatischer Kontakt		Transienter Kontakt	
		Maximal zulässiger Druck ^a p_s N/cm ²	Maximal zulässige Kraft ^b N	Faktor für den maximal zulässigen Druck ^c P_T	Faktor für die maximal zulässige Kraft ^c F_T
Schädel und Stirn ^d	1 Stirnmitte	130	130	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar
	2 Schläfe	110		Nicht anwendbar	
Gesicht ^d	3 Kaumuskel	110	65	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar
Hals	4 Halsmuskel	140	150	2	2
	5 Siebter Halswirbel	210		2	
Rücken und Schultern	6 Schultergelenk	160	210	2	2
	7 Fünfter Lendenwirbel	210		2	
Brustkorb	8 Brustbein	120	140	2	2
	9 Brustmuskel	170		2	

Kritisch

Risikobeurteilung

Bestimmungsgemäße Anwendung

- Grenzwerte einzuhalten
- Kollision mit Kopf & Hals vermeiden
- Einklemmen des Körpers vermeiden
- Einklemmen des Kopfes/Halses unbedingt vermeiden

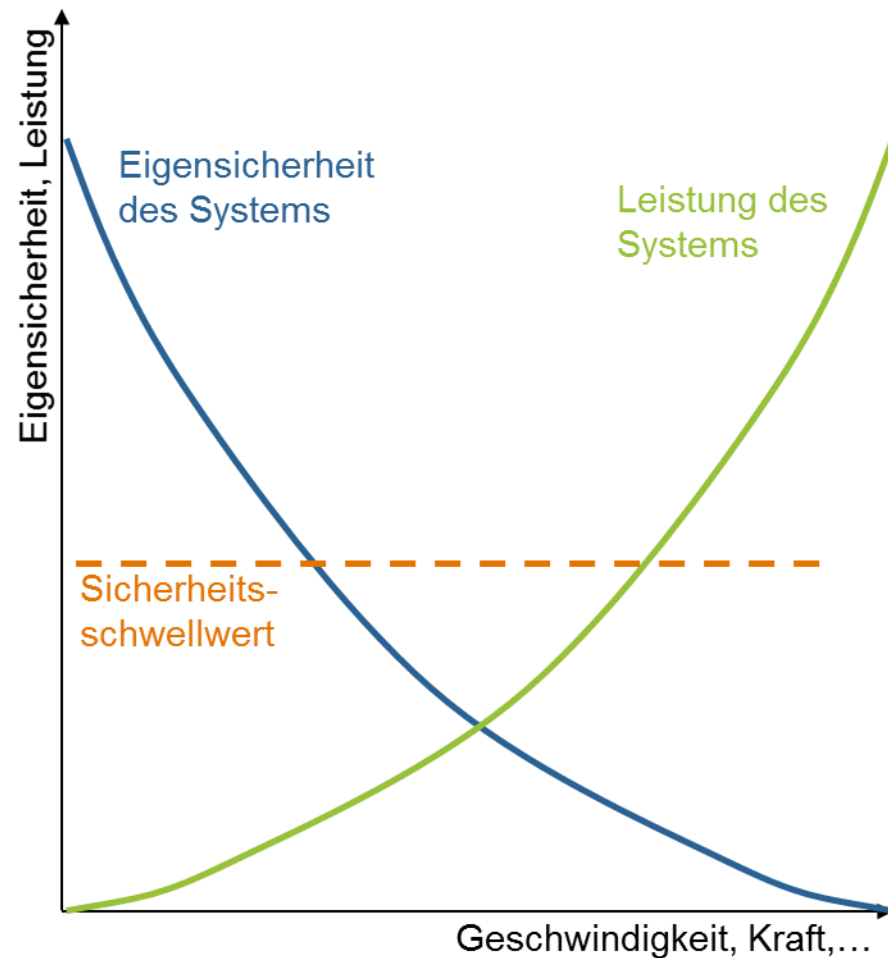
Vorhersehbare Fehlanwendung

- Kollision mit Kopf sollte vermieden werden
- Grenzwerte im Kopfbereich sind einzuhalten
- Kollision mit Hals unbedingt vermeiden
- Leichte Überschreitung der Grenzwerte für obere Gliedmaßen zulässig



Quelle: ISO/TS 15066, DGUV Holz & Metall

Die hohen Sicherheitsanforderungen der MRK bedingen gegenüber klassischer Automatisierung hohe Aufwände und eine geringere Systemleistung.



- Eingeschränkte Geschwindigkeit
- Risikobeurteilung aufwändig
- Neubewertung bei wesentlicher Änderung notwendig

MRK-Station erreicht nicht die Leistung einer Roboterzelle

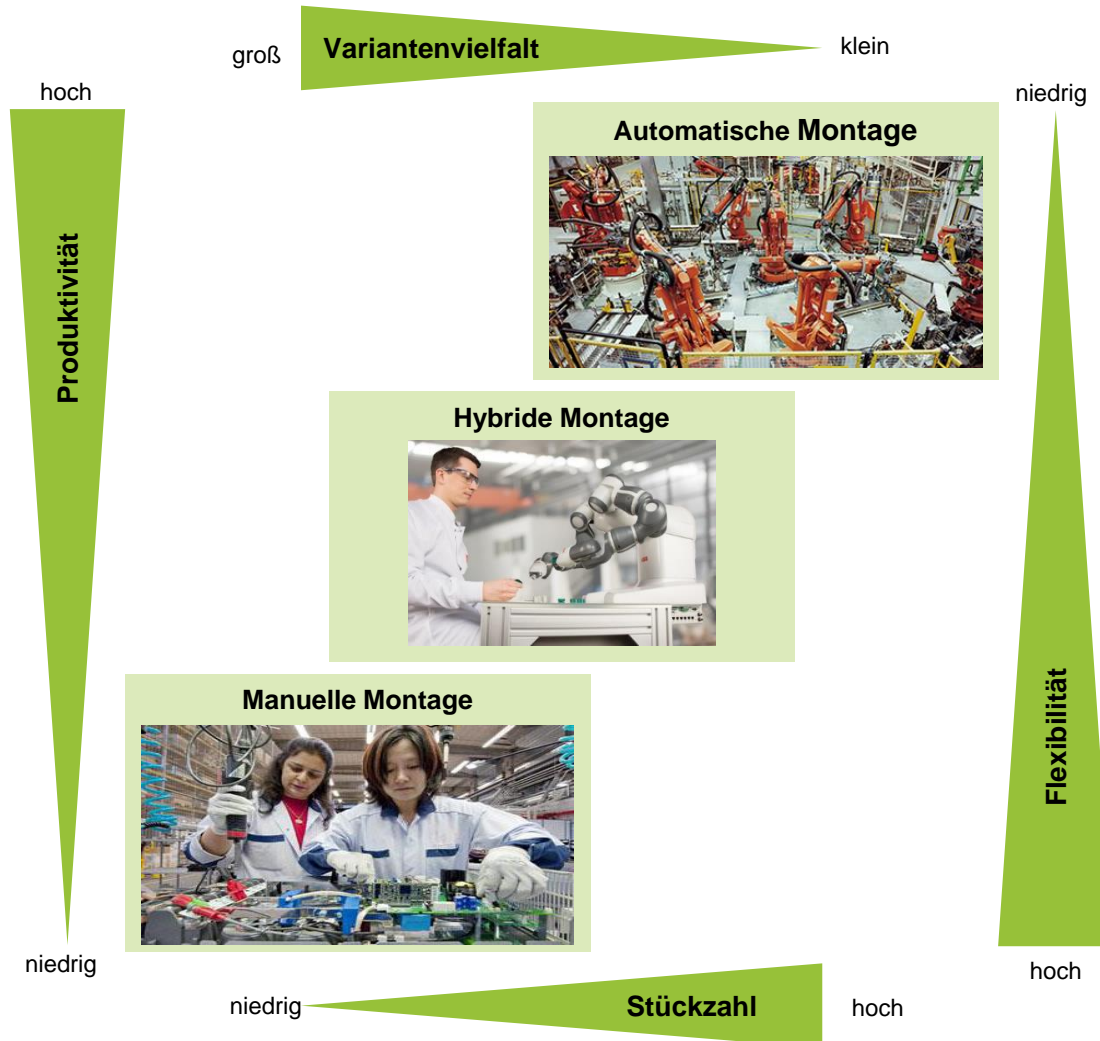
Höherer Engineering- und Freigabeaufwand

- Integration in bestehende manuelle Systeme möglich
- Verbesserungen im Prozess
 - Ergonomie (Heben schwerer Lasten, Monotonie)
 - Qualität
 - Produktivität

Prozessspezifische Unterstützung/Automatisierung

MRK-Einsatz dort, wo klassische Automatisierung nicht möglich

MRK bietet sich für Szenarien an, in denen sowohl eine Vollautomatisierung als auch eine manuelle Produktion eine suboptimale Lösung darstellen.



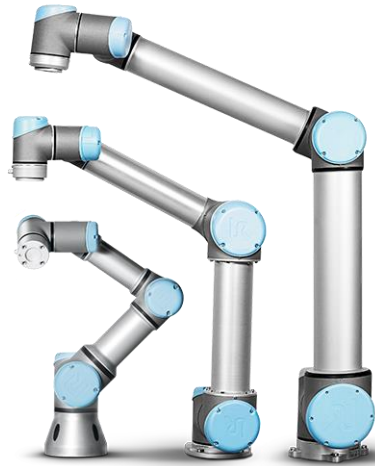
MRK ist geeignet für

- Produkte hoher Komplexität
- Niedrige/Mittlere Stückzahlen
- Unsichere Produktlebensdauern
- Unsicheres Produktionsvolumen
- Hohe Variantenvielfalt in einigen Prozessen

MRK ermöglicht

- Hybride Produktionssysteme
- Flexibilität
- Wandlungsfähigkeit

Für die MRK im Kontext der Elektronikproduktion kommen oftmals Leichtbauroboter zum Einsatz.



Vorteile

- Intuitives Einlernen
- Geringes Trägheitsmoment
- Moderate Investitionskosten
- Integrierte Kraft/Momentenüberwachung
- Teilweise weitere integrierte Sensorik







Nachteile

- Geringe Traglast
- Teilweise geringere Genauigkeit
- Geringere Geschwindigkeit
- Teurer als vergleichbare Industrieroboter



Quelle: Universal Robots, KUKA, Bosch, Rethink Robotics, ABB, Precise Automation

Heute sind viele MRK-fähige Leichtbauroboter auf dem Markt verfügbar.

		Maximale Traglast	Maximale Reichweite	Wiederholgenauigkeit	Preis*
	YuMi von ABB	0,5 kg pro Arm	559 mm	0,02 mm	40.000 €
	APAS von Bosch	4 kg	911 mm	± 0,03 mm	70.000 €
	UR3, UR5, UR10 von Universal Robots	3 kg 5 kg 10 kg	500 mm 850 mm 1300 mm	± 0,1 mm	20.000 € 24.000 € 30.000 €
	LBR iiwa von KUKA	7 kg 14 kg	800 mm 820 mm	± 0,1 mm ± 0,15 mm	70.000 € 80.000 €
	Sawyer von Rethink Robotics	4 kg	1260 mm	± 0,1 mm	30.000 €
	PF400 SCARA von Precise Automation	1 kg	576 mm (731 mm Version erhältlich)	± 0,09 mm	?

Quelle: Universal Robots, KUKA, Bosch, Rethink Robotics, ABB, Precise Automation

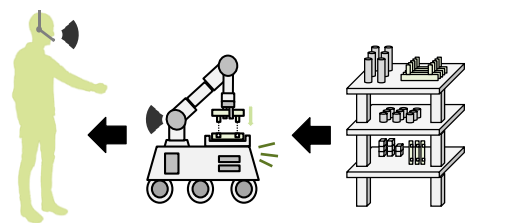
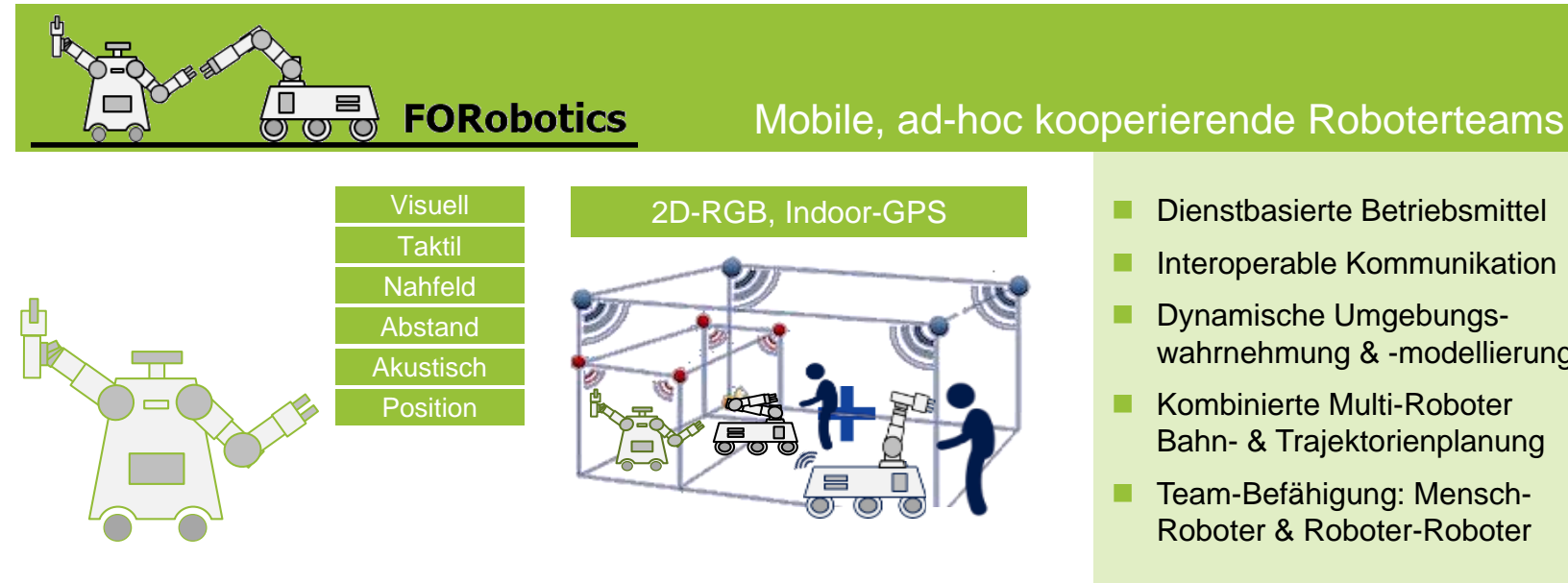
*Letzter bekannter Stand, können je nach Ausstattung abweichen 22.05.2017

In Kooperation mit dem Siemens Gerätewerk Erlangen (GWE) forscht der FAPS im Bereich flexible Automatisierung in der Elektronikproduktion.

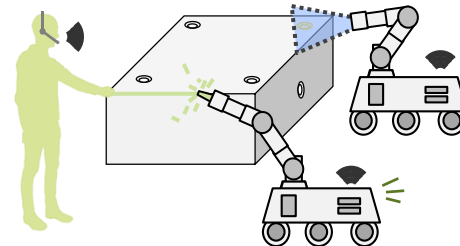


Quelle: Siemens

Das Potential funktional kooperierender Roboterteams für die Produktion und Fertigung sollen im Rahmen eines Forschungsverbundes untersucht werden.



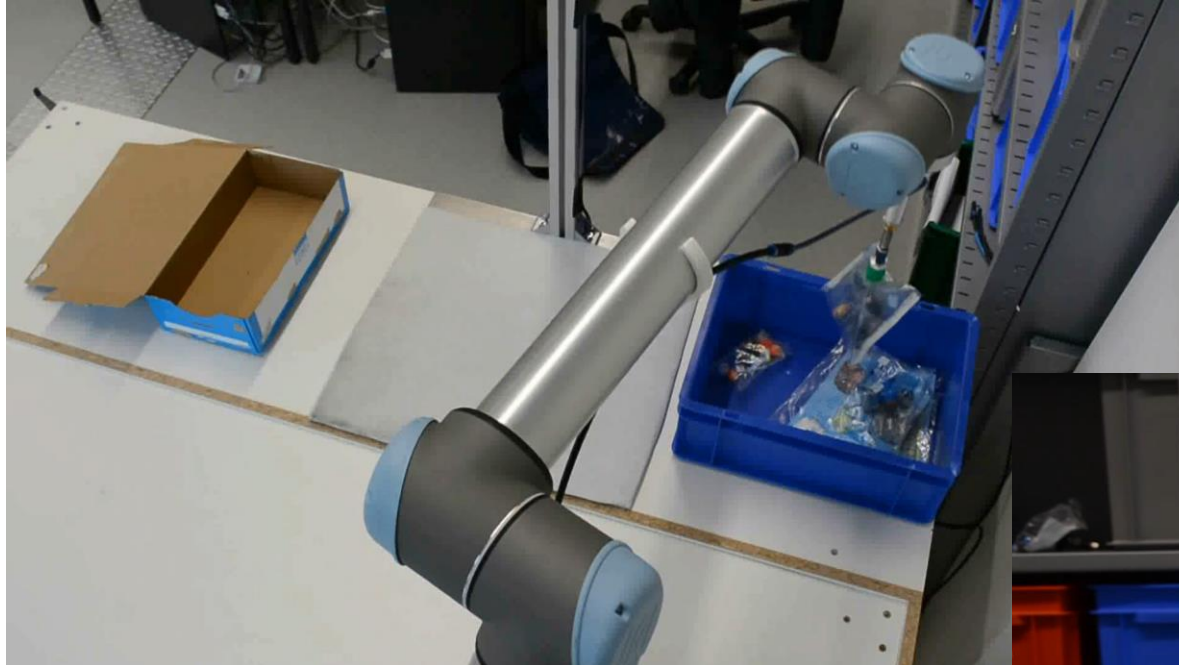
Kommissionierung und Vormontage



Teambearbeitung großer Werkstücke

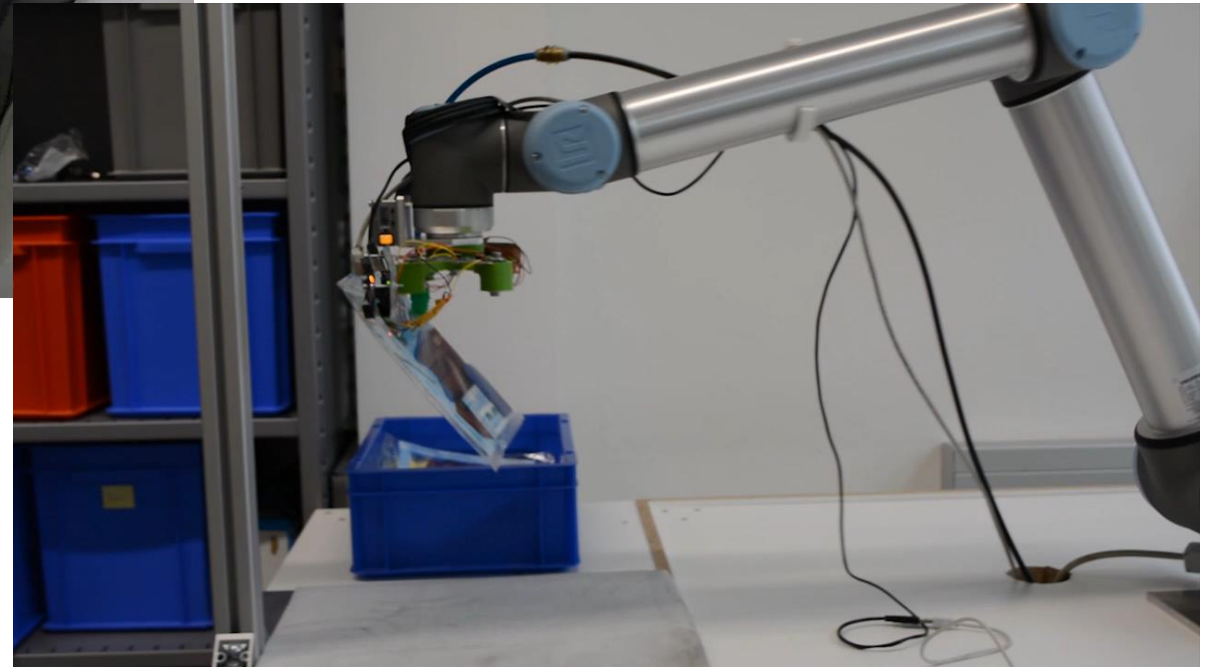


Für die Verpackungsautomatisierung in einer bestehenden Linie wird eine preisgünstige, MRK-fähige Bin Picking-Lösung entwickelt.



Herausforderungen:

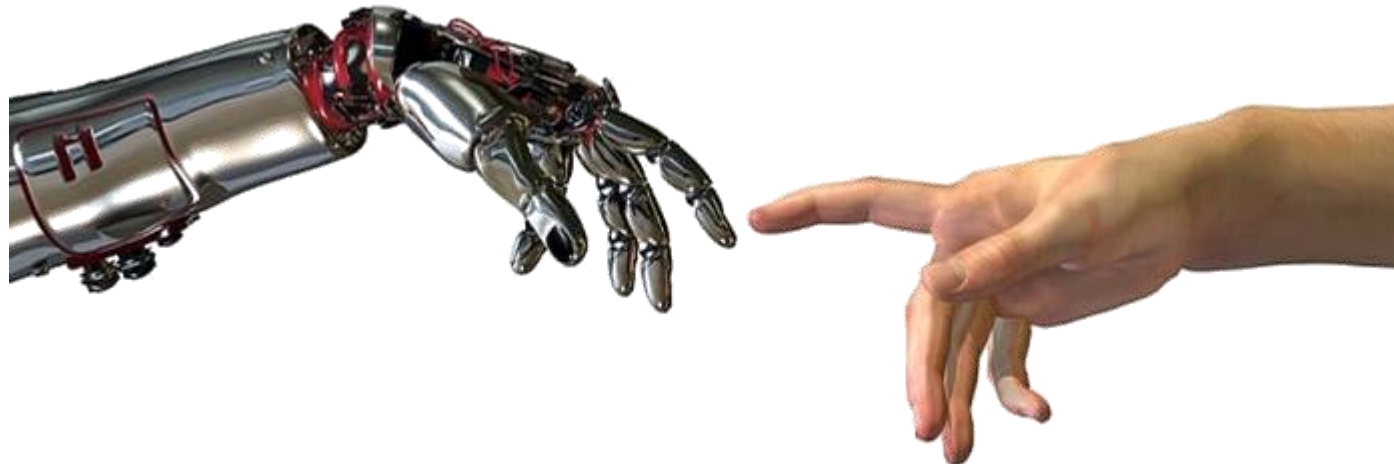
- Integration in bestehende (manuelle) Linie
- Geringe Taktzeit
- Transparente Teile
- Schlaffe Teile

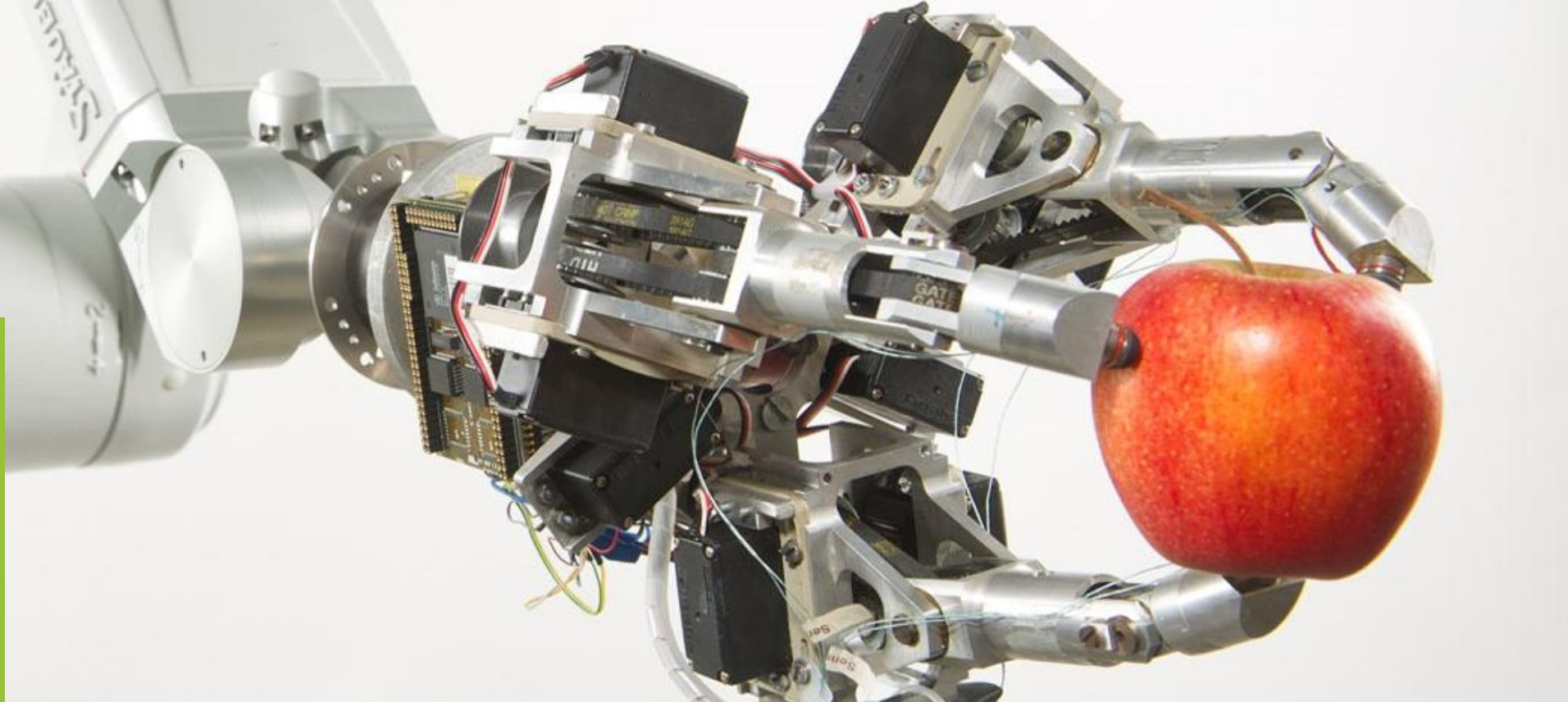


Trotz ungeklärter Problemstellungen besteht ein hohes Interesse und ein großes Potenzial für MRK-Anwendungen.

- Die Zusammenarbeit von Mensch und Roboter bietet große Potenziale in der industriellen Produktion.
- Sie ersetzt weder die Automatisierung, noch manuelle Prozesse, sondern schlägt eine Brücke zwischen den Bereichen.
- Sicherheitsbedenken und fehlende Erfahrungen stellen derzeit ein Hemmnis für eine weitere Verbreitung dar.

Zum Einstieg in die MRK sollte zunächst einfach, beispielsweise durch Koexistenz, begonnen und der Einsatz sukzessive ausgebaut werden.





Prof. Dr.-Ing. Jörg Franke

**Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung
und Produktionssystematik**

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg



DANKE