



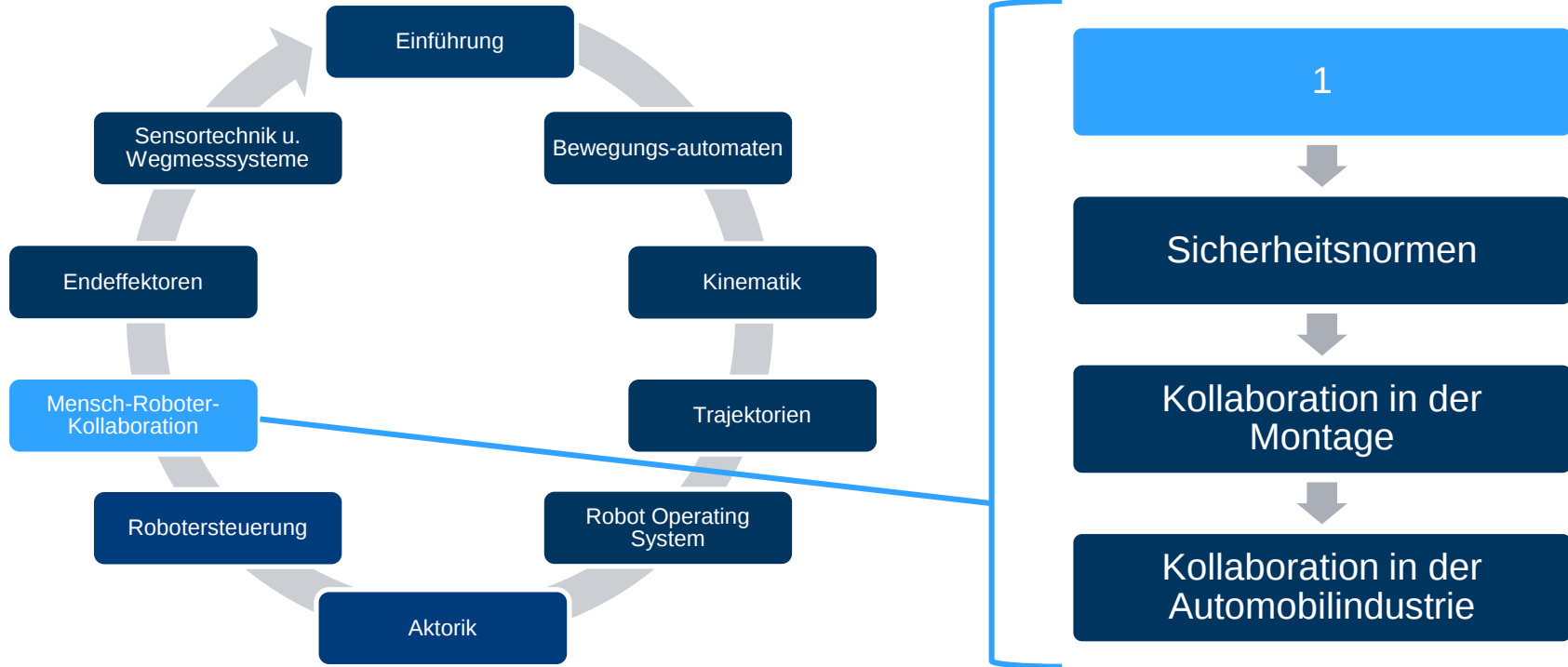
Technische Hochschule Georg Agricola

ROBOTIK

MENSCH-ROBOTER-KOLLABORATION

03.12.2025 Bochum

Dr.-Ing. Lars N. Josler



MOTIVATION FÜR MRK: TREND ZUR INDIVIDUALISIERUNG



■ Ausgangssituation

- Steigende Variantenvielfalt, geringere Losgrößen und zunehmend kürzer werdende Produktlebenszyklen
→ Trend in Richtung hybrider Montagesysteme und Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK)
- Durch den Einsatz von MRK werden die spezifischen, positiven Eigenschaften von Mensch (Flexibilität, Lernfähigkeit, Kreativität) und Roboter (Kraft, Ausdauer, Geschwindigkeit, Präzision) kombiniert.



BEISPIEL MKR: MONTAGE



Quelle: [Innovative Human-Robot Collaboration for BMW/MINI Crash Can Assembly](#)

MOTIVATION FÜR MRK: TREND ZUR INDIVIDUALISIERUNG



Vorteile von MRK:

- Höhere Systemflexibilität
- Fähigkeitsorientierte Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Roboter
- Humanisierung der Arbeit durch Verbesserung der Ergonomie
- Geringere Investitionskosten (im Vergleich zur Vollautomatisierung)
sowie geringere laufende Kosten (im Vergleich zur manuellen Produktion)

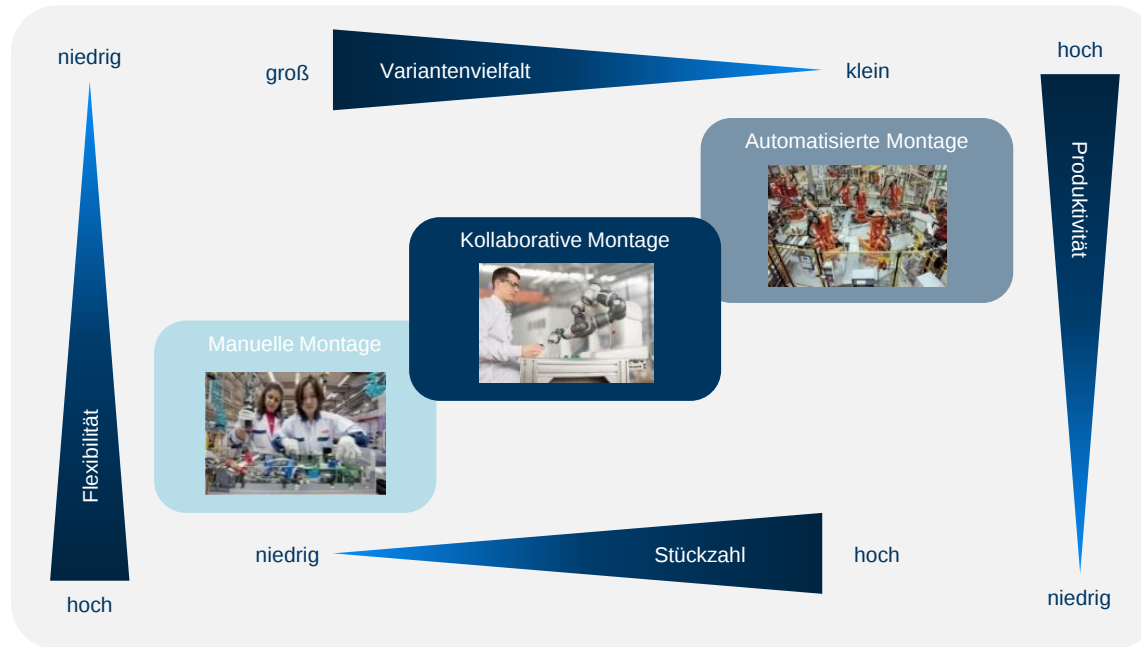
Problemlage

- **Hemmnis für den Einsatz von MRK in der Montage: Komplexität der Planung eines MRK-Systems aufgrund zahlreicher Kriterien wie Automatisierbarkeit, technische Eignung und wirtschaftliche Belastbarkeit, Ergonomie, Sicherheit etc.**

MOTIVATION FÜR MRK: TREND ZUR INDIVIDUALISIERUNG

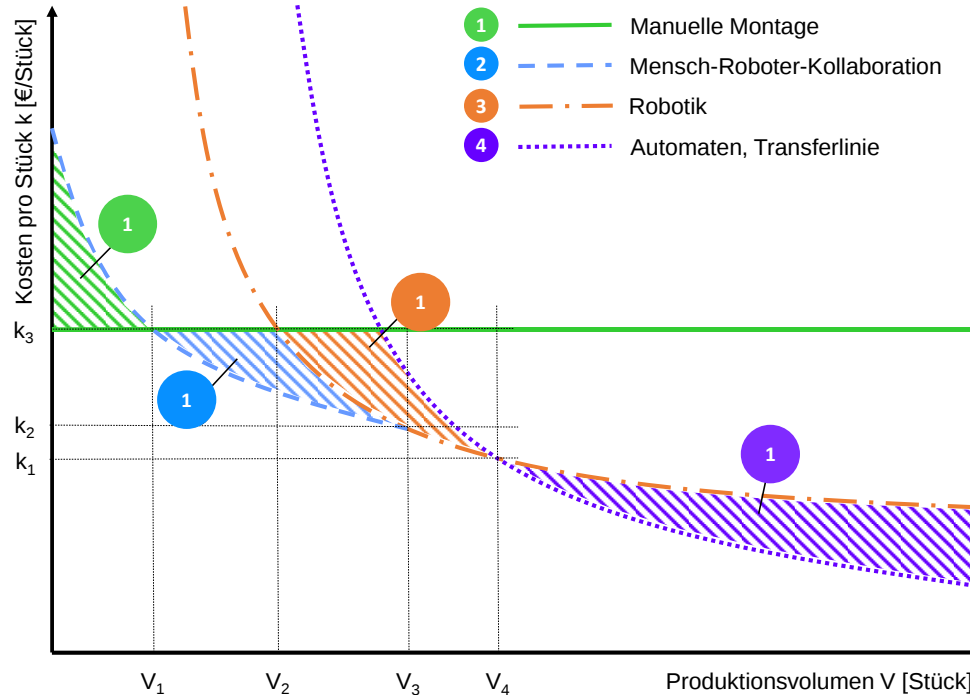


- Flexible Montagesysteme für Produkte mit kurzer Time-to-Market sind notwendig



Quelle: [Lotter / ABB]

MOTIVATION FÜR MRK: EINORDNUNG AUS WIRTSCHAFTLICHER SICHT

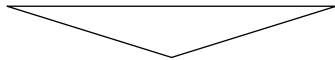


Quelle: [Cannella, F.; Fukuda, T.]

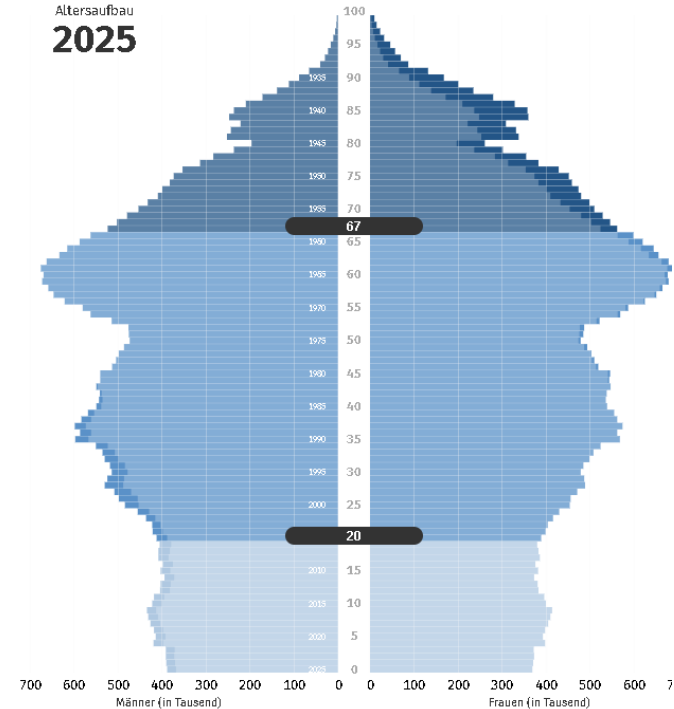


Einfluss der Bevölkerungsentwicklung auf Industrielle Produktion

- Personalmangel
- Physiologische Einschränkungen
- Verschärfung des internationalen Wettbewerbs
- Notwendigkeit zum Erhalt von Erfahrungswissen



- Unterstützungssysteme für Mitarbeiter zur Erhaltung der Produktivität und Qualität



Quelle: Bevölkerungspyramide: Altersstruktur Deutschlands von 1950 - 2070

MKR BEISPIEL: AUTOMOBILINDUSTRIE



Quelle: [AyTec Mensch Roboter Kollaboration Wandlerverschraubung](#)

MKR BEISPIEL: MONTAGE MIT INDUSTRIEROBOTERN



Quelle: [Mensch-Roboter-Kollaboration in der industriellen Anwendung bei thyssenkrupp System Engineering](#)

MKR BEISPIEL: KÜNSTLICHE HAUS



Quelle: [automatica - Mensch-Roboter-Kollaboration - YouTube](#)



Industrieroboter



- + Große Traglasten
- + Hohe Wiederholgenauigkeit
- + geringe Prozesszeiten
- Geringe Prozessvariabilität
- Vorprogrammierter Ablauf
- Hohe Sicherheitsanforderungen

Mensch-Roboter-Kollaboration



Kombination der Stärken
von Mensch und Roboter
+ Flexibilität
+ Ergonomie

Mensch

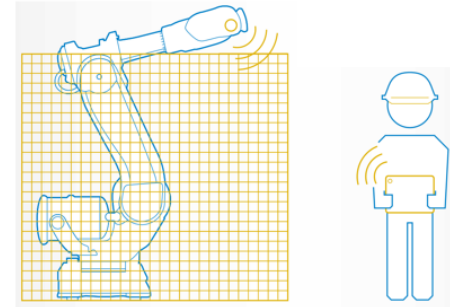


- + Wahrnehmung
- + Anpassung
- + Improvisation
- + Fingerfertigkeit
- + Mobilität und Vielfältigkeit
- Ermüdung
- Qualitätsvarianz



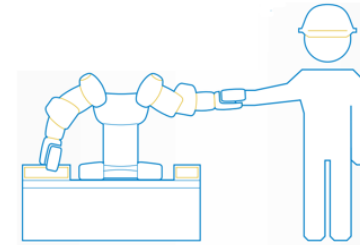
Traditionelle Automatisierung

- Getrennte Arbeitsräume
- Starrer Produktionsablauf
- Hohe Stückzahlen und Wiederholgenauigkeit



Mensch-Roboter-Kollaboration

- Mensch und Roboter arbeiten zusammen
- Sichere Erkennung des Menschen
- Überwachter Arbeitsraum
- Individuelle Produktionsabläufe
- Einfache Anpassbarkeit der Prozessabläufe



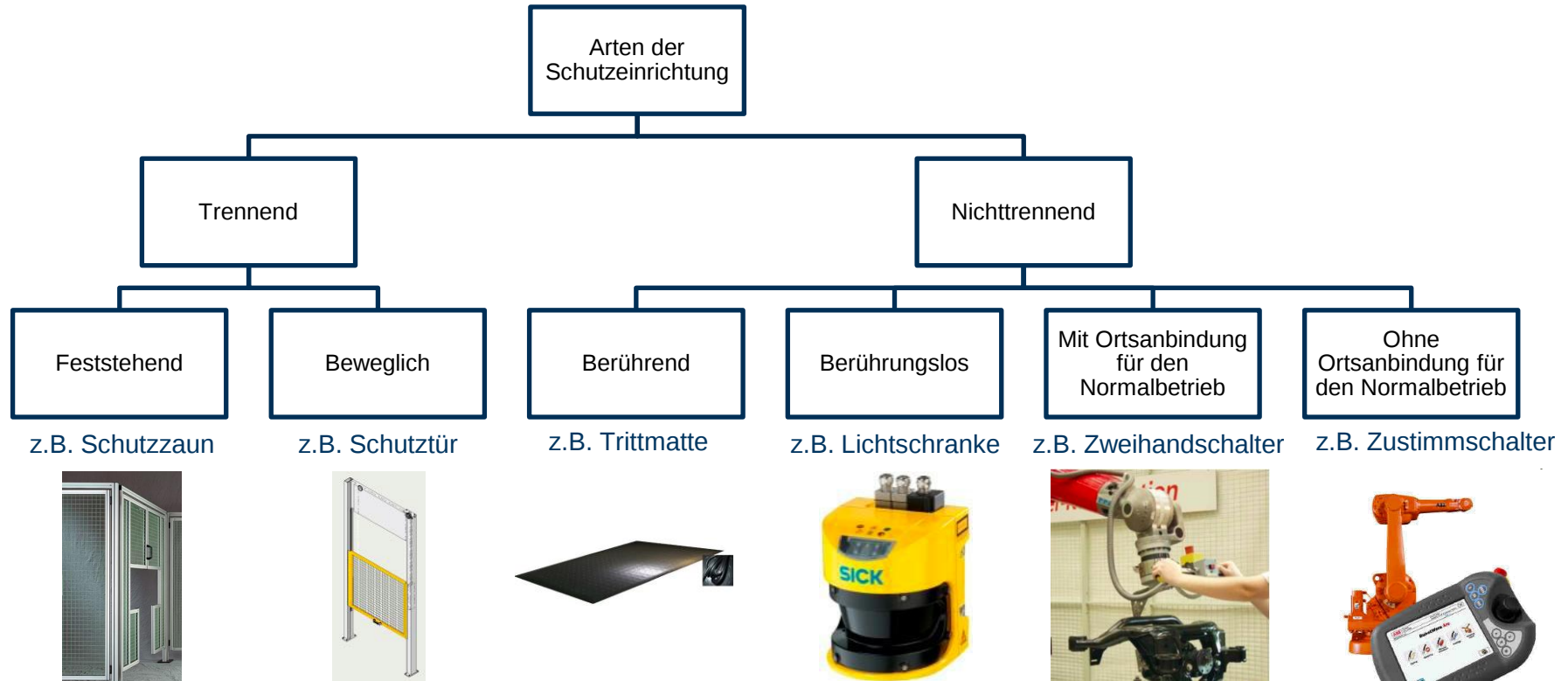


- Integration von sensorischer Erfassung, Wahrnehmung sowie Reaktion und Umgang mit den Variablen im Prozess
- Variable Ablaufplanung und Umsetzung des Prozesses (ohne erneute Programmierung)

Voraussetzungen

- Abgestimmtes Gesamtsystem aus Aktorik, Sensorik und intelligenter Software
- Integration leistungsfähiger Sensorik und Algorithmen zur Sensordatenauswertung

SCHUTZEINRICHTUNGEN



Quelle: arb-industriesysteme.de; sick.com; Assistor; directindustry.es, Scope-online.de



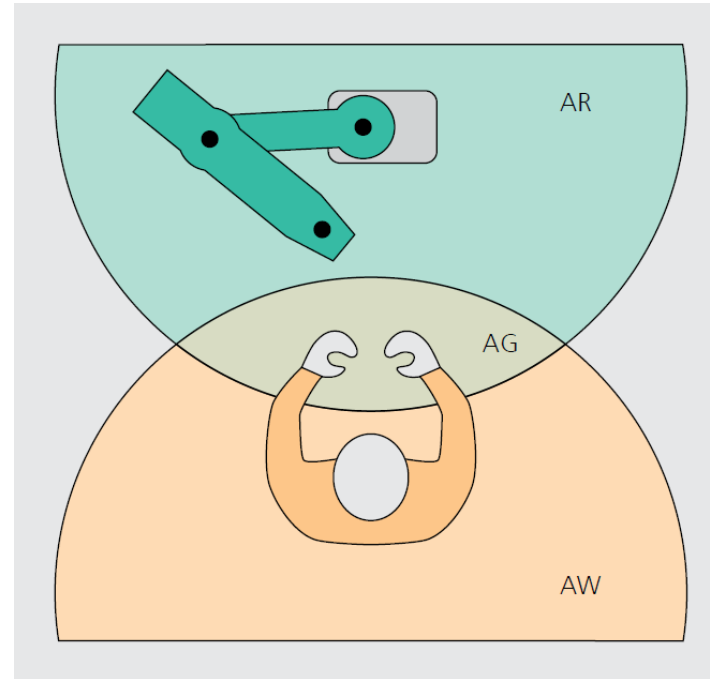
KUKA

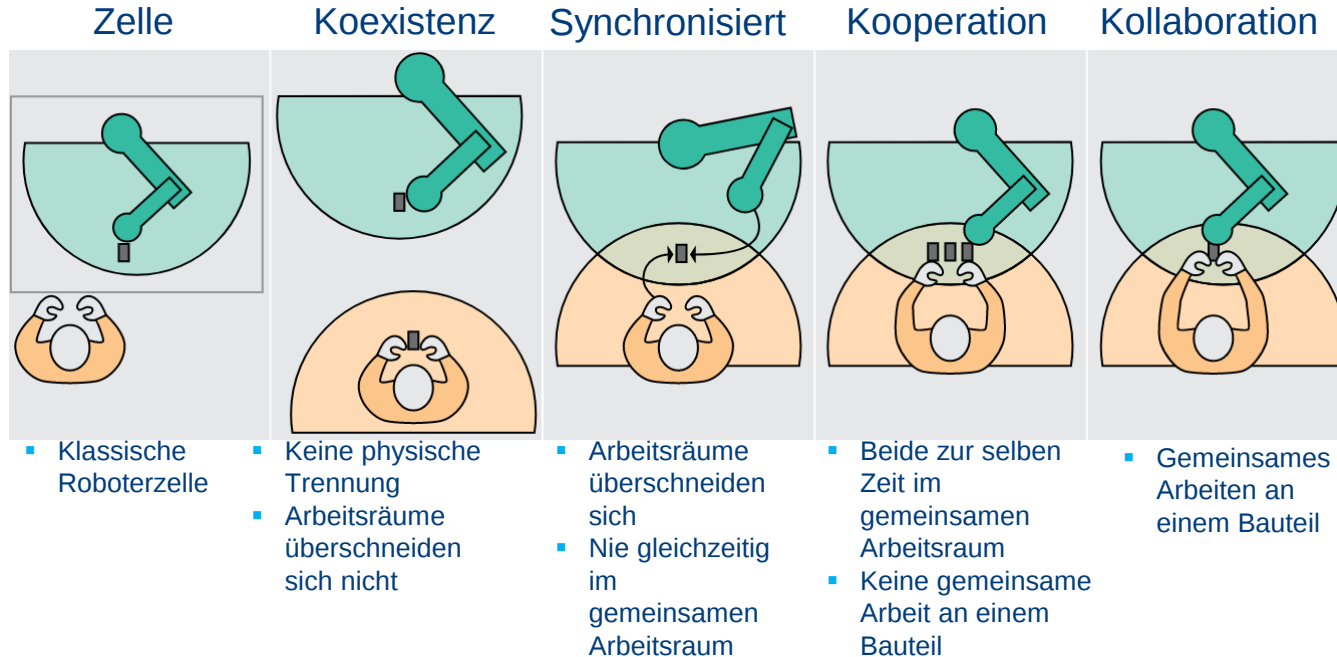
Quelle: KUKA

ARBEITSRÄUME IN DER MRK



- **AR** = Arbeitsraum Roboter
- **AW** = Arbeitsraum Werker
- **AG** = Gemeinsamer Arbeitsraum





Quelle: Fraunhofer



Rechtliche Grundlagen zur Zulassung von MRK-Systemen

- Norm ISO 10218
- Technische Spezifikation ISO/TS 15066
- Erste Integrationsansätze in Forschungs- und Industrieprojekten sowie **MRK-fähige Systeme** auf dem Markt
- Trotz der hohen wirtschaftlichen Potenziale und ergonomischen Verbesserungen sind MRK-Systeme noch nicht weit verbreitet.

Gestaltung und Simulation von MRK in der Montage

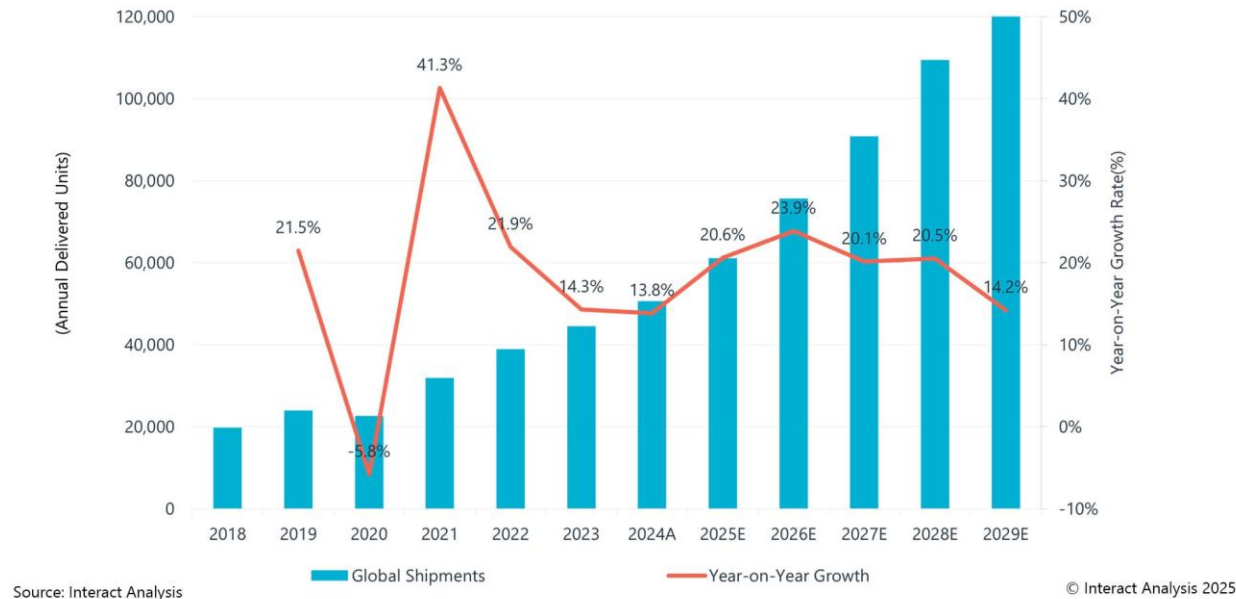
- Simulationswerkzeuge
- **Humansimulationssysteme**, z. B. *Editor menschlicher Arbeit (ema)*
- **Robotersimulationssysteme**, z. B. herstellereigenspezifische oder universell einsetzbare Systeme
- Neue, integrierte Systeme zur Planung von MRK-Szenarien notwendig



Quelle: [Imk-ema](#) / [Famous Robotic](#)



Forecast for the Global Collaborative Robot Market – Shipments



Quelle [Global collaborative robot shipment growth drops to new 13.8% low in 2024, with demand strengthening from 2025 - Interact Analysis](#)

MARKTFÄHIGE SYSTEME MRK



ABB YuMi



Kuka LBR iiwa



Fanuc CR-35iA



Universal Robots UR3



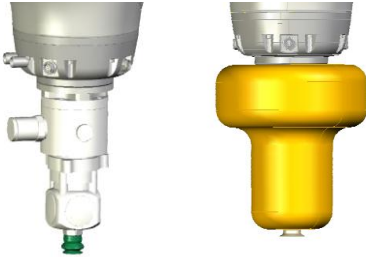
Rethink Robotics Sawyer



Franka Research 3



Inhärent sichere Konstruktion



Funktionale Sicherheit

Biomechanische Limits				
Körperregion	Spezifische Körperregion		Quasi-Statistischer Kontakt	Transienter Kontakt
			Spitzendruck p_s [N/cm ²]	Faktor Spitzendruck P_T
Lower arms and wrist joints	14	Radial bone	190	2
	15	Forearm muscle	180	2
	16	Arm nerve	180	2
Hands and fingers	17	Forefinger pad D	300	2
	18	Forefinger pad ND	270	2
	19	Forefinger end joint D	280	2
	20	Forefinger end joint ND	220	2
	21	Thenar eminence	200	2

Quelle: Dr. Roland Behrens- Biomechanische Grenzwerte für die sichere Mensch-Roboter-Kollaboration



- **MUSS** man Normen anwenden ?
- **Auszug MRL 2006/42/EG harmonisierte Normen (Artikel 7)**
- „Ist eine Maschine nach einer harmonisierten Norm hergestellt worden, deren Fundstellen im Amtsblatt der Europäischen Union veröffentlicht worden sind, so wird davon ausgegangen, dass sie den von dieser harmonisierten Norm erfassten grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen entspricht.“
- **Normen sind freiwillig!**
- Anwendung von (harmonisierten) Normen dient der Umkehr der Beweislast im Schadensfall
- Ohne Anwendung harmonisierter Normen:
 - **Der Maschinenbauer muss seine UNSCHULD beweisen!**
- Mit Anwendung harmonisierter Normen
 - **Dem Maschinenbauer muss die SCHULD nachgewiesen werden!**

Quelle: PILZ



Typ-C Normen

Maschinensicherheitsnormen behandeln konkrete Sicherheitsanforderungen für einzelne Maschinen

Typ-B Normen

Allgemeine Sicherheitsnormen

Typ-A Normen

Grundlegende Sicherheitsanforderungen



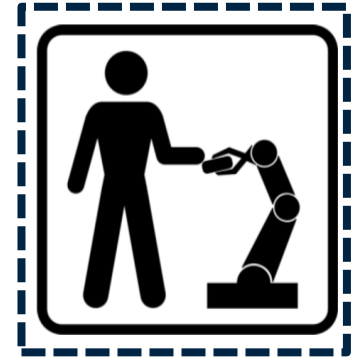
Quelle: PILZ

SICHERHEITSNORMEN - DIN EN ISO 10218



DIN EN ISO 10218

- Teil 1: Roboter
 - Besondere Gefährdung durch Industrieroboter und Industrierobotersysteme
 - Anforderungen an Roboter (Teil eines Robotersystems)
- Teil 2: Robotersysteme und Integration
 - Besondere Gefährdungen durch Robotersysteme bei Integration und Einbau in Zellen und Linien
 - Anleitung, wie die Sicherheit bei Integration und Einbau von Robotern sichergestellt werden kann





ISO/TS 15066 zur Auslegung von MRK-Systemen

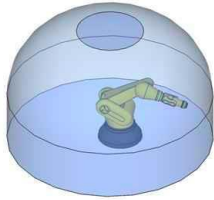
- Technische Spezifikation als Erweiterung der DIN EN ISO 10218 Teil 2
- Veröffentlichung Februar 2016

Konstruktion von kollaborierenden Robotersystemen

- Gestaltung kollaborierender Anwendungen
- Gefahrenidentifikation und Risikoanalyse

Anforderungen für Anwendungen mit kollaborierenden Robotersystemen

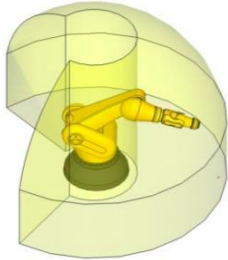
- Sicherheitsfunktionen
- Gestaltung kollaborierender Arbeitsplätze
- Einsatz und Betrieb kollaborierender Roboter



Definitionen der EN ISO 10218-2 / TS 15066

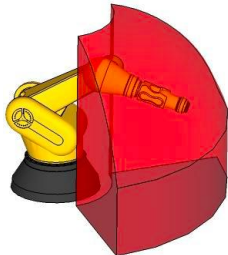
Maximaler Raum

- maximaler Aktionsradius inkl. Endeffektor, Werkstück und Zubehör
- ohne begrenzende Maßnahmen



Eingeschränkter Raum

- begrenzt durch
 - mechanische Endanschläge
 - mechanische Barriere (Zaun)
 - sicherheitsbewertete Software
 - Berücksichtigung vom Anhalteweg



Betriebsraum

- Raum, der vom Roboter bei der Ausführung seines
- Aufgabenprogramms genutzt wird

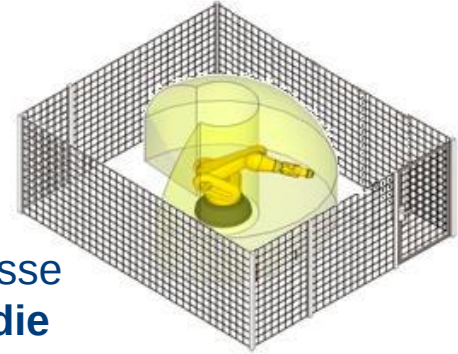
Quelle: Pilz



Definitionen der EN ISO 10218-2 / TS 15066

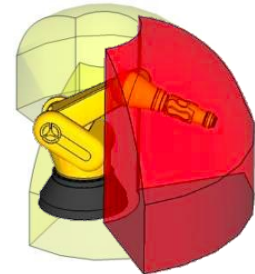
Geschützter Bereich

- Der durch äußere Schutzeinrichtungen definierte Bereich.
- Wenn die **äußere Schutzeinrichtung** als **Begrenzungseinrichtung** konstruiert ist, müssen die Ergebnisse der Risikobeurteilung zur Festlegung der **Anforderungen an die Gestaltung, die Festigkeit und die Verformung dieser trennenden Schutzeinrichtung** herangezogen werden.



Kollaborationsraum

- Arbeitsraum innerhalb des geschützten Bereichs, in dem der **Roboter und der Mensch während des Produktionsbetriebs gleichzeitig Aufgaben ausführen können.**



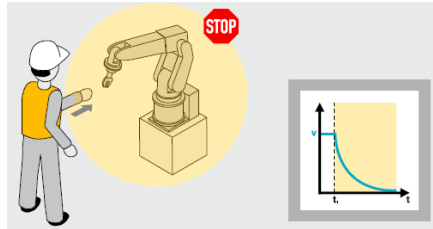
Quelle: Pilz



- Die **TS 15066** beschreibt **vier Methoden**, um das Zusammenwirken von Mensch und Roboter sicher zu gewährleisten:

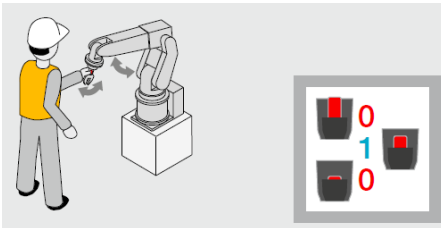
Methode 1:

Sicherheitsgerichteter Halt



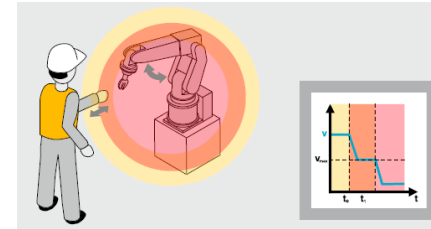
Methode 2:

Handführung



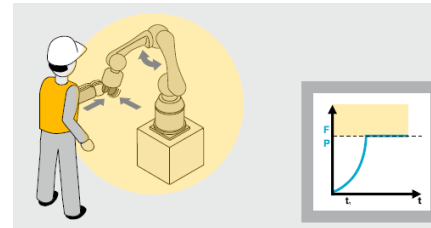
Methode 3:

Geschwindigkeits- und Abstandsregulierung



Methode 4:

Kraft- und Leistungsreduzierung

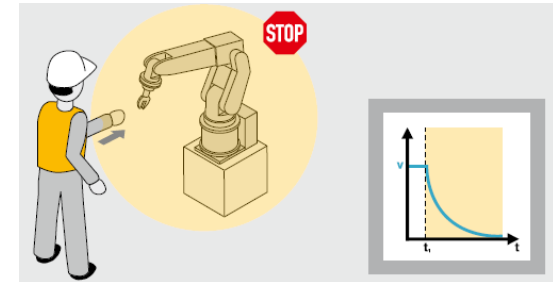


Quelle: Pilz

ISO/TS 15066 – METHODE 1



- **Methode 1: Sicherheitsgerichteter Halt**
- **Beschreibung**
 - bevor eine Person den Kollaborationsraum betritt, muss der Roboter im Sicheren Halt sein.
 - automatischer Wiederanlauf, wenn ein Hintertreten der Schutzeinrichtung nicht möglich ist
- **Anforderungen**
 - Performance Level d, Kat. 3 (EN ISO 10218-1 5.4.)
 - Kollaborationsraum Dimensionierung (EN ISO 13855)
 - Stoppkategorie 0 bis 2 möglich (EN ISO 10218-1 5.5)
- → **Mensch hat nur Zugang zum stillstehenden Roboter**
- → **keine Kollision möglich**



Quelle: PILZ



■ Bestimmung des erforderlichen Performance Levels

S - Schwere der Verletzung

S_1 = leichte Verletzung (normalerweise reversibel)

S_2 = schwere Verletzung einschließlich Tod (normalerweise irreversibel)

F - Häufigkeit und/oder Dauer der Gefährdungsexposition

F_1 = selten bis öfters und/oder lange Dauer

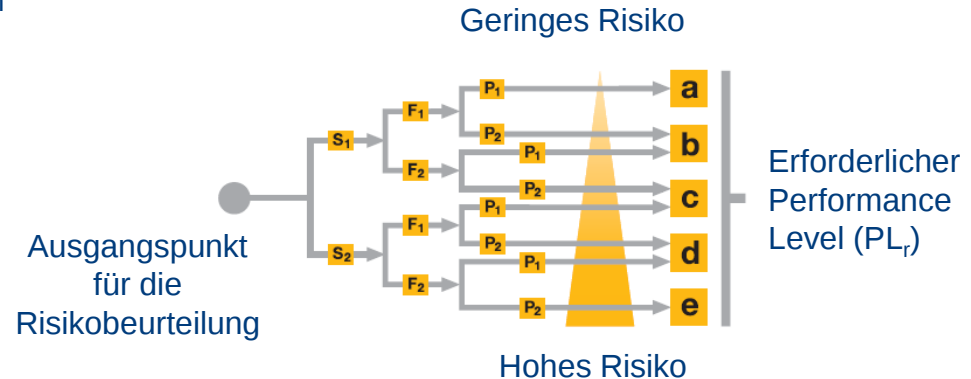
F_2 = häufig bis dauernd und/oder lange Dauer

P – Möglichkeiten zur Vermeidung der Gefährdung

P_1 = möglich unter bestimmten Bedingungen

P_2 = kaum möglich

Performance Level d





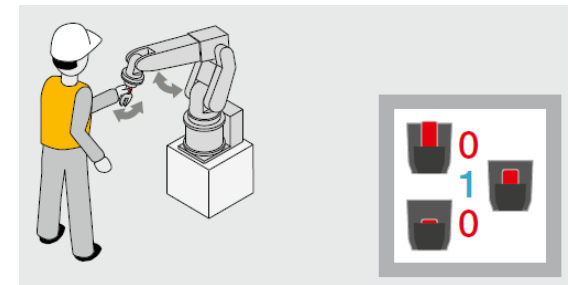
Stoppkategorien bei Maschinen

Stoppfunktion	Beschreibung	Eignung für Sicherheitsfunktionen
Stoppkategorie 0	Stillsetzen durch sofortiges Abschalten der Energie zu den Maschinen-Antriebselementen	ja
Stoppkategorie 1	Gesteuertes Stillsetzen, wobei die Energie zu den Maschinen-Antriebselementen beibehalten wird, um das Stillsetzen zu erzielen. Die Energie wird erst dann unterbrochen, wenn der Stillstand erreicht ist.	ja
Stoppkategorie 2	Gesteuertes Stillsetzen, wobei die Energie zu den Maschinen-Antriebselementen beibehalten wird	ja, jedoch mit zusätzlichen Maßnahmen

ISO/TS 15066 – METHODE 2



- **Methode 2: Handführung**
- **Beschreibung**
 - bevor eine Person den Kollaborationsraum betritt, muss der Roboter im Sicheren Halt sein.
 - Aktivierung der Handführung durch eine 3-stufige Zustimmeinrichtung nah am TCP
- **Anforderungen**
 - Siehe Methode 1
- **Roboter Sicherheitsfunktionen**
 - Sicher reduzierte Geschwindigkeit (EN ISO 10218-1 5.6.4.)
 - maximal 250 mm/s
- → **Mensch hat nur Zugang zum stillstehenden Roboter**
- → **Mensch führt Roboter manuell**
- → **keine Kollision möglich**

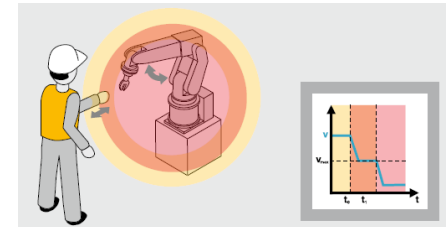


Quelle: PILZ, Trockeneisstrahlen MRK-Systeme

ISO/TS 15066 – METHODE 3



- **Methode 3: Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung**
- **Beschreibung**
 - Roboter und Mensch bewegen sich gleichzeitig im Kollaborationsraum
 - Der Abstand zwischen Mensch und Roboter wird sicherheitstechnisch überwacht
 - Die Geschwindigkeit des Roboters variiert in Abhängigkeit vom Abstand zwischen Roboter und Mensch
 - Kollision ist durch vorzeitigen Stillstand des Roboters ausgeschlossen
- **Anforderungen**
 - Performance Level d, Kat. 3 (EN ISO 10218-1 5.4.)
 - Stoppkategorie 0 bis 2 möglich (EN ISO 10218-1 5.5)
 - Variable Geschwindigkeits- und Abstandsanpassung (EN ISO 10218-2 5.2.2.)
 - Sicherheitsabstand (EN ISO 13855 / TS 15066)

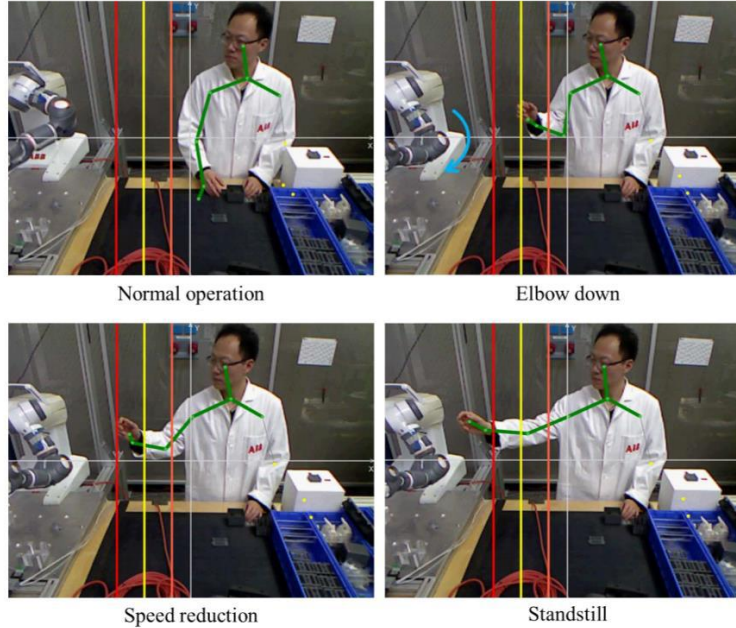


Quelle: PILZ, Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung

ISO/TS 15066 – METHODE 3

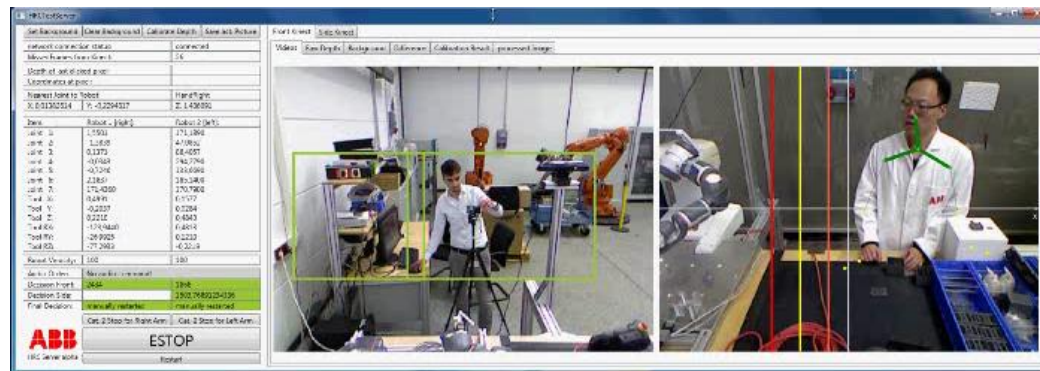


Beispiel ABB YuMi



Quelle: ABB

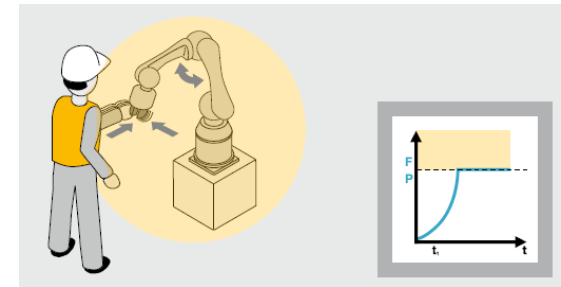
MENSCH UND ROBOTER IM GEMEINSAMEN ARBEITSBEREICH BEREICHSÜBERWACHUNG



Quelle: ABB



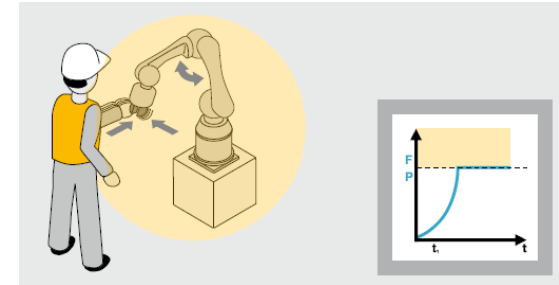
- **Methode 4: Kraft- und Leistungsreduzierung**
- **Beschreibung**
 - physischer Kontakt zwischen Mensch und Roboter ist möglich (beabsichtigt oder nicht beabsichtigt)
 - Risikominderung durch inhärent sichere Konstruktion (Roboter)
 - Risikominderung durch Roboter-Sicherheitsfunktionen
- **Anforderungen**
 - Performance Level d, Kat. 3 (EN ISO 10218-1 5.4.)
 - Stoppkategorie 0 bis 2 möglich (EN ISO 10218-1 5.5)
- **Roboter Sicherheitsfunktionen**
 - Sicherer Halt (Methode 1)
 - Sicher reduzierte Geschwindigkeit (EN ISO 10218-1 5.6.4.)
 - Sicher begrenzte Kraft und Leistung (sowie weitere...)



ISO/TS 15066 – METHODE 4



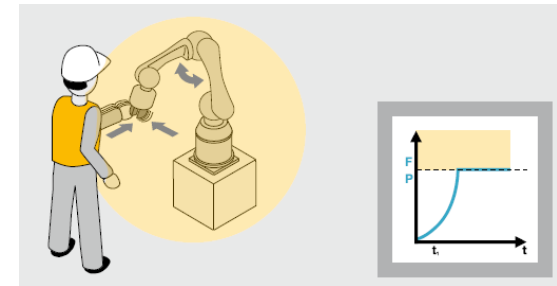
- **Methode 4: Kraft- und Leistungsreduzierung**
- **Risikominderung der Kollision**
 - bei keiner Kollision darf eine Verletzung auftreten
 - Person ohne weitere Schutzmaßnahmen betrachten
- → Passive Maßnahmen
 - Erhöhung der Kontaktfläche
 - Absorbieren der Energie (Nachgiebigkeit oder Schaumstoff)
- → Aktive Maßnahmen
 - Kraft-Leistungsbegrenzung
 - Geschwindigkeitsbegrenzung
 - Arbeitsraumbegrenzung



Quelle: PILZ



- **Methode 4: Kraft- und Leistungsreduzierung**
- Generell gilt
 - Wenn die real auftretenden Kollisionskräfte der TS 15066 überschritten werden, müssen zusätzliche Maßnahmen getroffen werden.
- → Mensch hat Zugang zum Kollaborationsraum
- → Kollision löst Sicheren Halt aus
- → Kollision möglich unter bestimmten Umständen



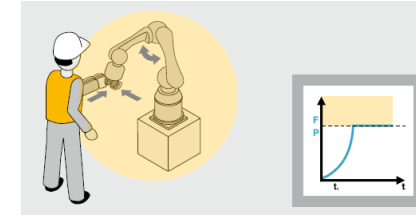
ISO/TS 15066 – METHODE 4



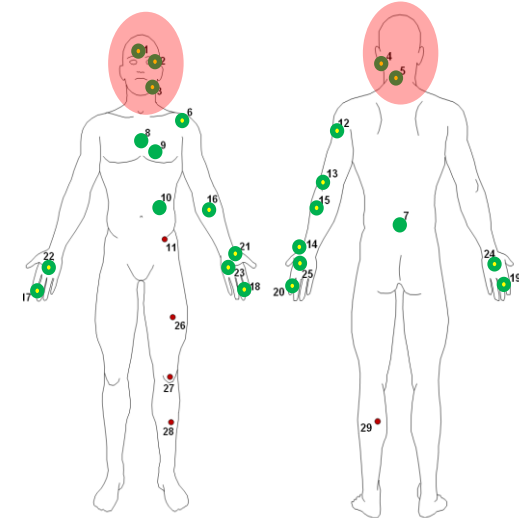
Methode 4: Kraft- und Leistungsreduzierung

Unter bestimmten Umständen

- Einhaltung der biomechanischen Grenzwerte gemäß ISO TS 15066 Anhang A



Körperregion	Spezifische Körperregion		Quasi-Statistischer Kontakt		Transienter Kontakt	
			Spitzendruck p_s [N/cm ²]	Kraft [N]	Faktor Spitzendruck P_T	Faktor Kraft F_T
Lower arms and wrist joints	14	Radial bone	190	160	2	2
	15	Forearm muscle	180		2	
	16	Arm nerve	180		2	
Hands and fingers	17	Forefinger pad D	300	140	2	2
	18	Forefinger pad ND	270		2	
	19	Forefinger end joint D	280		2	
	20	Forefinger end joint ND	220		2	
	21	Thenar eminence	200		2	
	22	Palm D	260		2	
	23	Palm ND	260		2	
	24	Back of the hand D	200		2	
	25	Back of the hand ND	190		2	
Thighs and knees	26	Thigh muscle	250	220	2	2
	27	Kneecap	220		2	



Quelle: PILZ

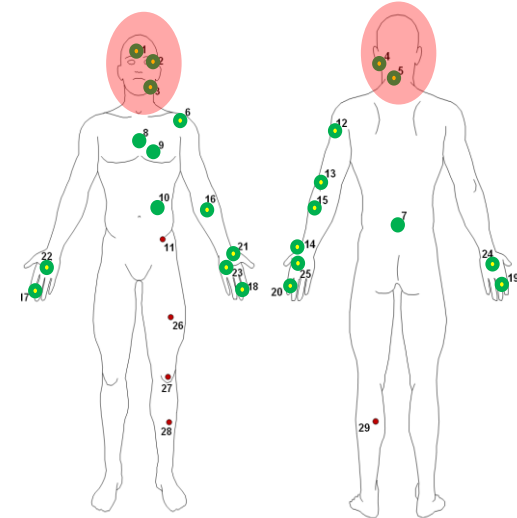
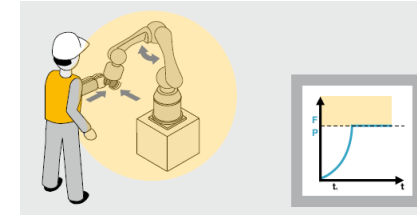
ISO/TS 15066 – METHODE 4



Methode 4: Kraft- und Leistungsreduzierung

Zusätzlich werden den Körperregionen jeweilige Federkonstanten gemäß ISO TS 15066 Anhang A zugewiesen

Körper Region	Effektive Federkonstante K (N/mm)
Schädel und Stirn	150
Gesicht	75
Hals	50
Rücken und Schultern	35
Brust	25
Bauch	10
Becken	25
Oberarme und Ellenbogengelenke	30
Unterarme und Handgelenke	40
Hände und Finger	75
Oberschenkel und Knie	50
Unterschenkel	60



Quelle: PILZ



Methode 4: Kraft- und Leistungsreduzierung

Umgang mit Stoßen/Quetschen

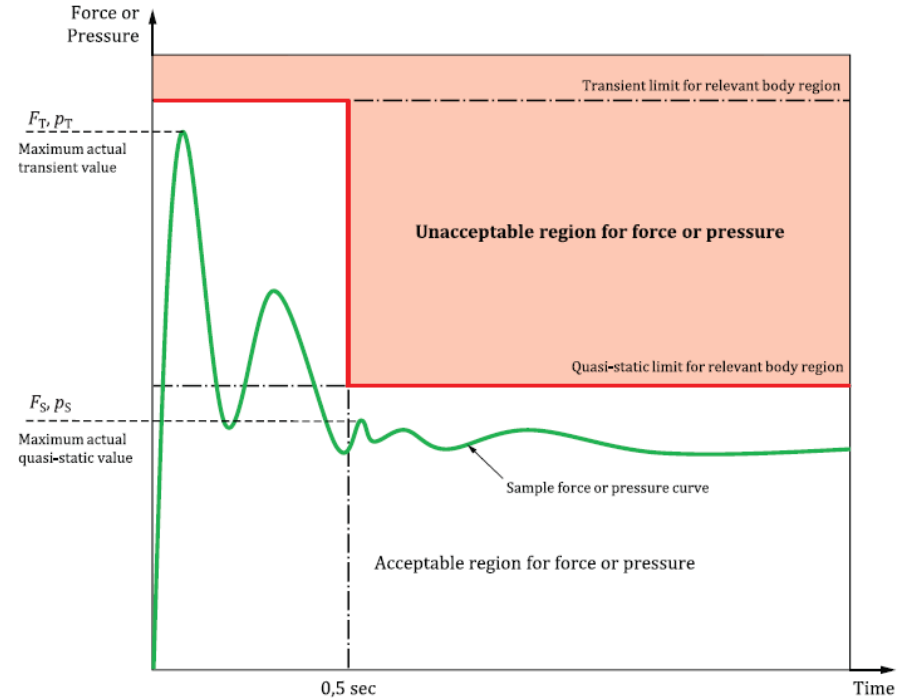
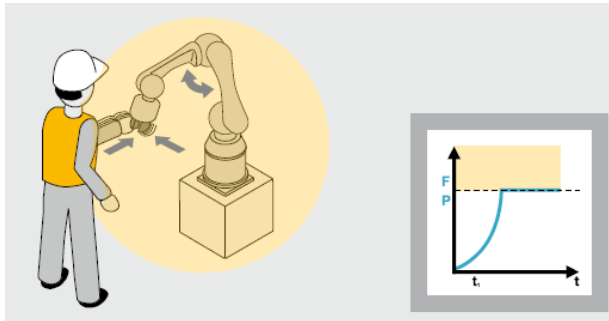


Figure 4 — Graphical representation of acceptable and unacceptable forces or pressures

Quelle: PILZ



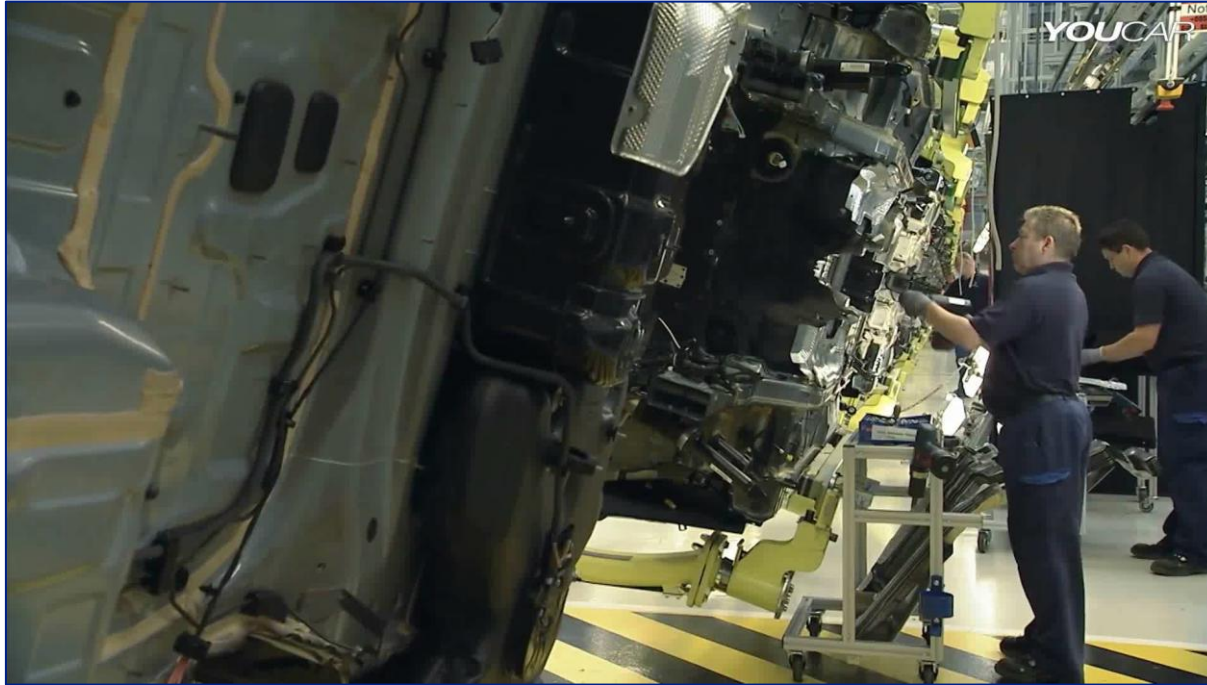
MENSCH-ROBOTER- KOLLABORATION

Mensch-Roboter Kollaboration in der Automobilindustrie

MONTAGE IM AUTOMOBILBEREICH



... hoher Anteil manueller Tätigkeiten



Quelle: Youtube

MONTAGE IM AUTOMOBILBEREICH

... Innenraummontage mit Robotern



Quelle: [Future production assembly technology at Daimler/Mercedes with Human-Robot Cooperation \(HRC\)](#)



MENSCH-ROBOTER- KOLLABORATION

**Mensch-Roboter Kollaboration beim Handling und in der
Montage**

HYBRIDE KONZEPTE IN DER MONTAGEAUTOMATION PRODUKTIONSANFORDERUNGEN



- Umgang mit ungewissen Losgrößen bestimmt durch Produktakzeptanz am Markt
- Oft Losgrößen von 100en bis 10.000en Stück
- Häufiger Varianten- und Modellwechsel in der Produktion
- Kurze Umrüstzeiten
- Flexible Produktion: „Lean Production“ (Zellen, Tische, wenig Fördertechnik)
- Montage fast komplett manuell
- Einsatz von Werkzeugen und Vorrichtungen
- Roboter nur in vor- oder nachgelagerten Prozessschritten



Quelle: ABB

HYBRIDE KONZEPTE IN DER MONTAGEAUTOMATION LÖSUNGSANSATZ



Hybride Montage

- Gemischte manuelle und roboterbasierte Montage
- Basierend auf manuellem Linienkonzept
- Versetzbarer, harmloser* Montageroboter

Multifunktionaler, adaptiver Greifer

- Taktile Sensorik, Vision

Effizientes Programmierkonzept

Wettbewerbsfähige Systemkosten

* harmlos = keine [unsichtbaren, versteckten] Gefahren in sich bergend, ungefährlich
(Quelle: Duden.de)

Quelle: ABB

ROBOTER- UND ANWENDUNGSBEISPIELE -YUMI



Quelle: ABB

KOLLABORIERENDER ROBOTER - ABB YUMI



- Gleiche Reichweite, die ein Mensch hat
 - Kompakter Aufbau
 - Für den Einsatz an manuellen Arbeitsplätzen konzipiert
-
- 2 Arme mit 7 Achsen ermöglichen Bewegungen im engen Umfeld
 - Ellenbogen kann sich unabhängig von Handgelenk bewegen.
 - Zuführungen auf unterschiedlich hohen Niveaus
 - Arbeitet über oder unter Ablagen

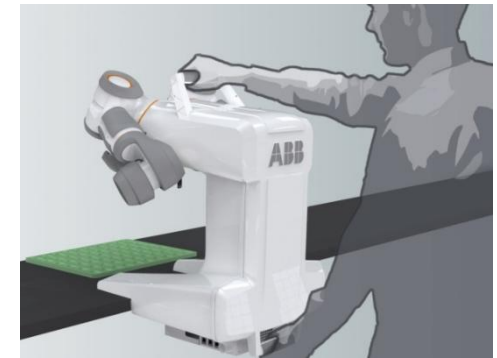


Quelle: ABB

KOLLABORIERENDER ROBOTER - ABB YUMI

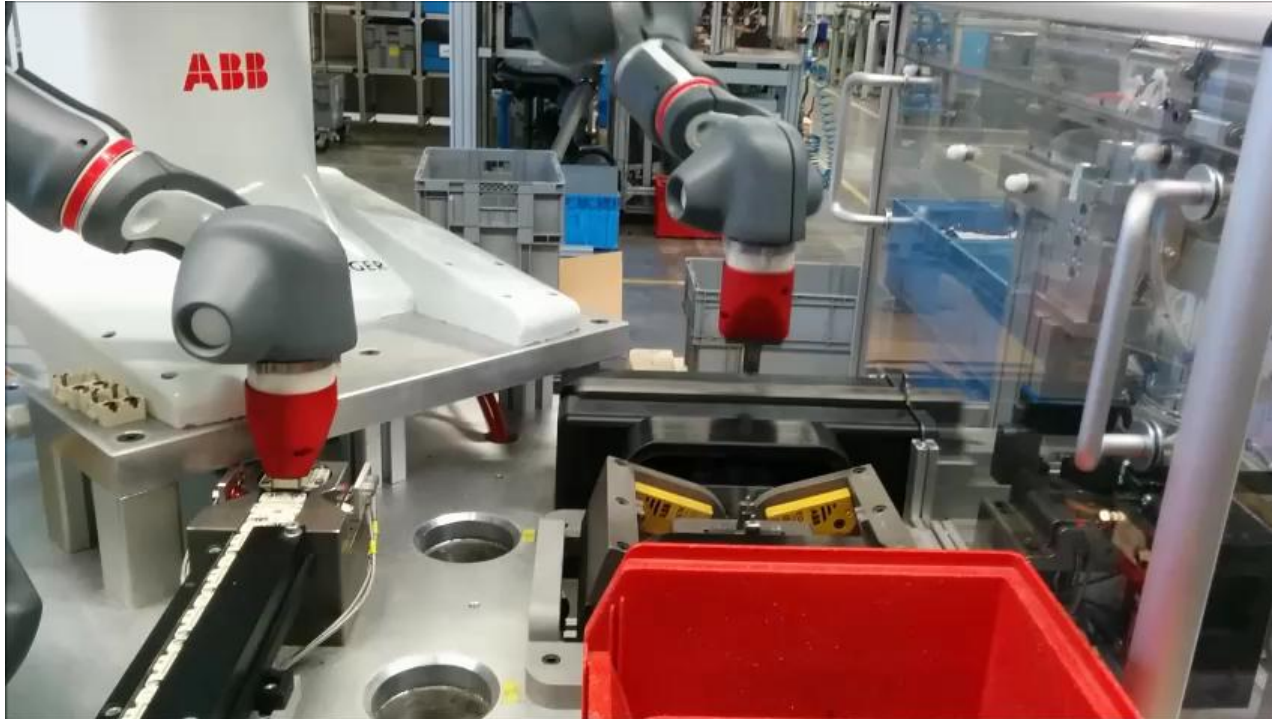


- Roboter-Arme können unabhängig oder synchronisiert arbeiten.
- Existierender Materialfluss kann erhalten werden.
- Roboter kann je nach Bedarf integriert oder versetzt werden.
- Geringes Gewicht
- Integrierte, vollwertige ABB IRC5 Steuerung
- Keine zusätzliche Sicherheitssteuerung erforderlich



Quelle: ABB

AUTOMATISIERTE MONTAGE - ABB YUMI

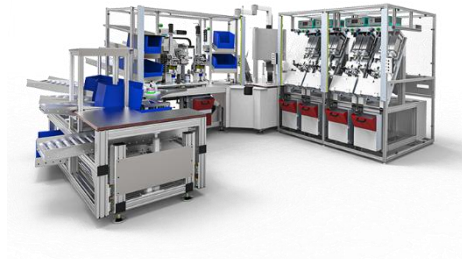


Quelle: ABB

ARBEITSTEILUNG MENSCH UND ROBOTER



Kriterium	Aufgabe für den Roboter	Aufgabe für den Menschen
Material	Starre, formstabile Teile	Biegeschlaiffe Teile (Kabel, Dichtungen)
Kraft	Hohe Kräfte, eintönige Belastung	Geringe Kräfte, wechselnde Belastung
Vibrationen	Hochfrequente Dauervibration (Schleifen, Polieren) – Schutz vor Gesundheitsschäden	Vibrationsfreie Prozesse
Präzision	Exakte Wiederholgenauigkeit	Anpassungsfähige Genauigkeit
Umgebung	Gefährlich, schmutzig, laut	Ergonomisch optimiert, sauber
Kognition	Definierte Logik, (KI-Modelle flexibler)	Problemlösung, Intuition, "Gespür"
Platz	Definierter Schwenkbereich nötig	Sehr enge, verwinkelte Bauräume
Bauteil-Gefahr	Stumpfe, runde Teile (geringes Verletzungsrisiko)	Scharfkantige, spitze Teile (Sicherheitsrisiko bei Kollision)
Prozess	Monoton, repetitiv → Kraft, Ausdauer, Geschwindigkeit, Präzision	Variantenreich, komplex → Flexibilität, Lernfähigkeit, Kreativität



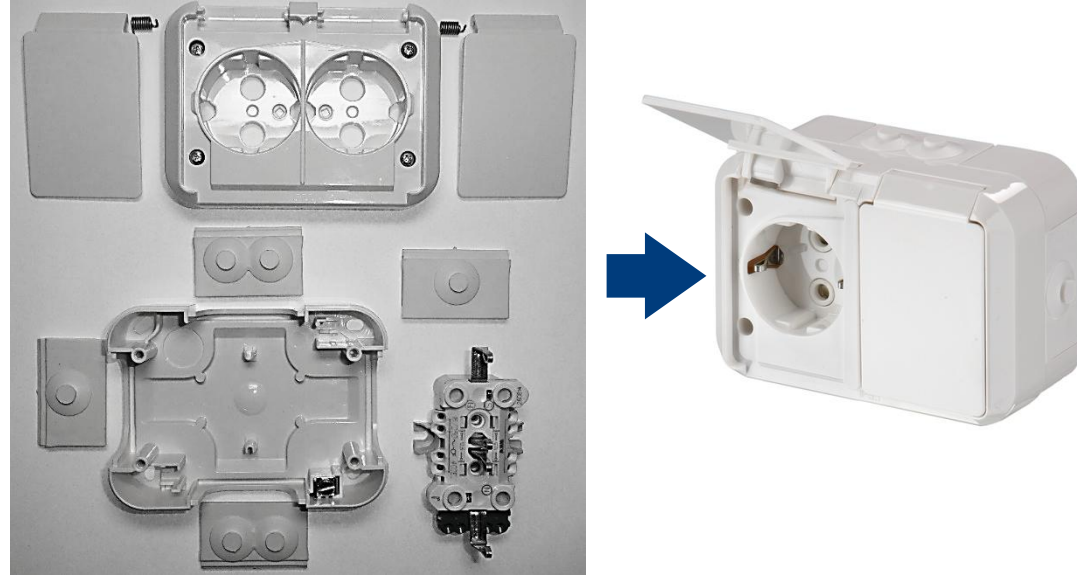
GREIFZONEN IN DER MONTAGE



1. **Arbeitszentrum (Beidhandzone):** im direkten Blickfeld können beide Hände optimal auf engstem Raum miteinander arbeiten
2. **Erweitertes Arbeitszentrum:** beide Hände erreichen alle benötigten Arbeitsmittel bei idealer Bewegungsmöglichkeit
3. **Einhandzone:** mit einer Hand können Werkzeuge und Materialien aufgenommen und abgelegt werden
4. **Erweiterte Einhandzone:** Äußerster Bereich der nutzbaren Greifzonen



ÜBUNGSAUFGABE: MANUELLE MONTAGE



Quelle: ABB

ÜBUNGSAUFGABE: MANUELLE MONTAGE



Quelle: ABB