



# Internet of Things / Industrial Internet

## Robotik I



Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik  
Prozesse und Systeme

*Universität Potsdam*



Chair of Business Informatics  
Processes and Systems

*University of Potsdam*

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Norbert Gronau  
*Lehrstuhlinhaber | Chairholder*

*Mail* August-Bebel-Str. 89 | 14482 Potsdam | Germany  
*Visitors* Digitalvilla am Hedy-Lamarr-Platz, 14482 Potsdam  
*Tel* +49 331 977 3322

*E-Mail* [ngronau@lswi.de](mailto:ngronau@lswi.de)  
*Web* [lswi.de](http://lswi.de)

# Was können Roboter?

<https://www.youtube.com/watch?v=lv6op2HHluM>





Roboter

Industrieroboter

Kenngrößen

Beschreibungsmodelle

Steuerung

Programmierung

# Lernziele

---

- Mögliche Klassifizierungen für den Einsatz von Robotern kennen
- Definition für Industrieroboter kennen
- Verstehen, welche Generationen der Industrierobotik es gibt und was diese auszeichnet
- Wie beschreibt man die Bewegung eines Roboters?
- Freiheitsgrade eines Industrieroboters verstehen
- Gefahren und Schutzmaßnahmen für die Arbeit mit Robotern kennen
- Programmierverfahren für Roboter kennen



## **Roboter**

Industrieroboter

Kenngrößen

Beschreibungsmodelle

Steuerung

Programmierung

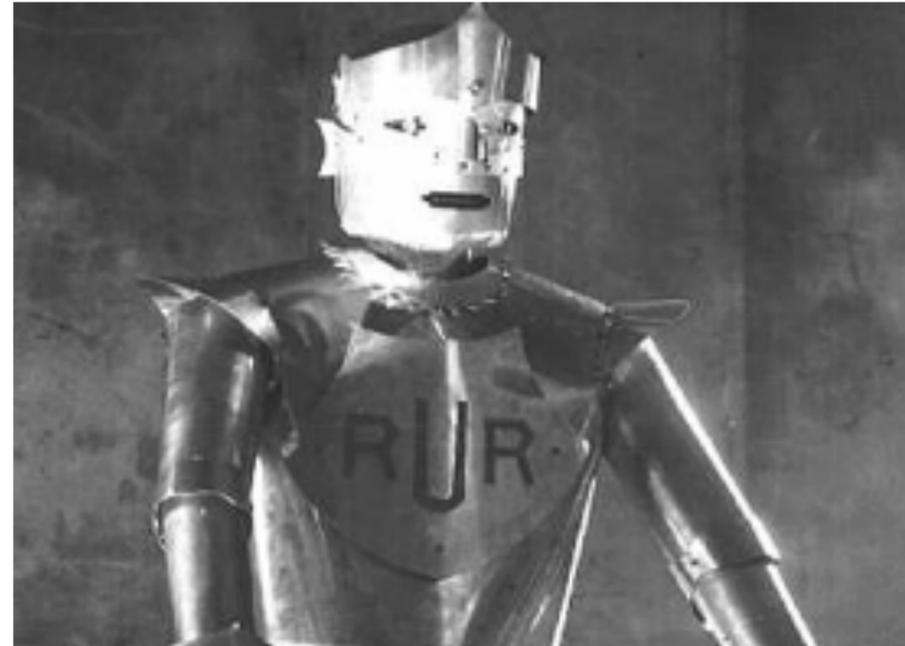
# Geschichte der Robotik

## Meilensteine



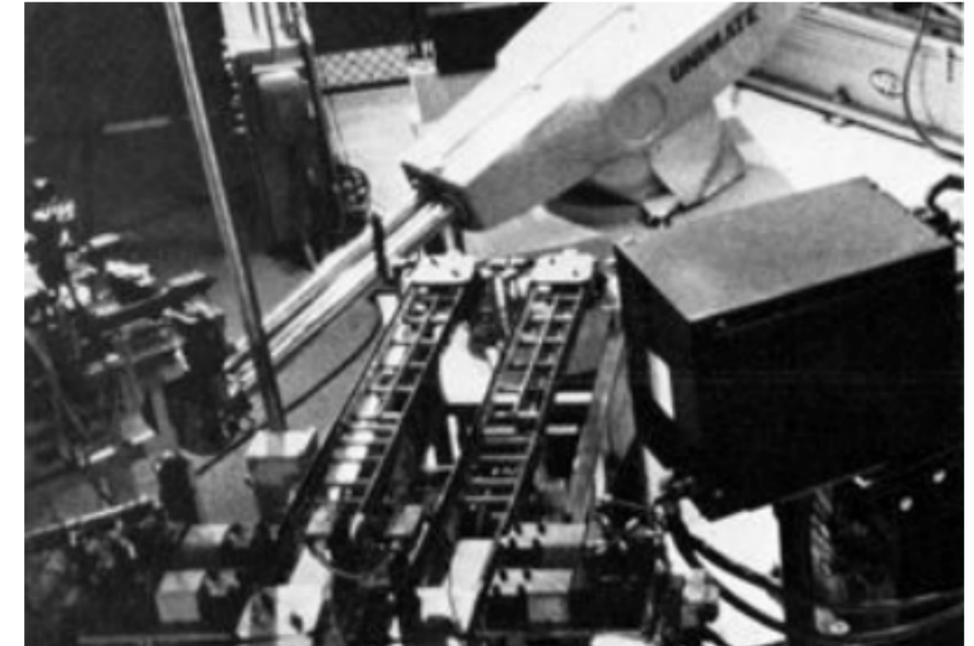
### Mechanische Automaten

- Droiden von Droz & Droz
- Menschenautomaten
- Museum der Schönen Künste, Neuchâtel (Schweiz)



### Roboter

- *robot* slawisch: (Zwangs-) Arbeit
- erstmals 1923 im Theaterstück R.U.R. (Rossum's Universal Robots) von Karel Capek



### Industrieroboter

- 1961 Unimate von Georg Devol und Joseph Engelberger
- Einsatz zum Schweißen von Druckgußteilen für Kfz-Karosserien

# Roboter

## Asimov's Law

---

Drei Gesetze der Robotik nach Isaac Asimov:

1. Ein Roboter darf keinen Menschen verletzen.
2. Ein Roboter muss den Anweisungen gehorchen, die ihm vom Menschen gegeben werden, außer wenn diese dem ersten Gesetz widersprechen.
3. Ein Roboter muss seine eigene Existenz solange zu sichern versuchen, wie dies nicht dem ersten oder zweiten Gesetz widerspricht.

**Sicherheit für die Menschen ist wichtigster Aspekt in der Robotik!**

# Roboter

## Mögliche Klassifizierungen

---



### Einsatzgebiete

- Industrie, Service und Medizin
- Militär
- Entertainment
- Forschung



### Entwicklungsfelder

- Industrierobotik
- Servicerobotik
- Geländerobotik
- Autonome Robotik



### Mobilität

- ortsveränderlich
- stationär montiert
- autonom/autark



### Handhabungsgeräte

- Industrieroboter
- Einlegegeräte
- Manipulatoren



Roboter

**Industrieroboter**

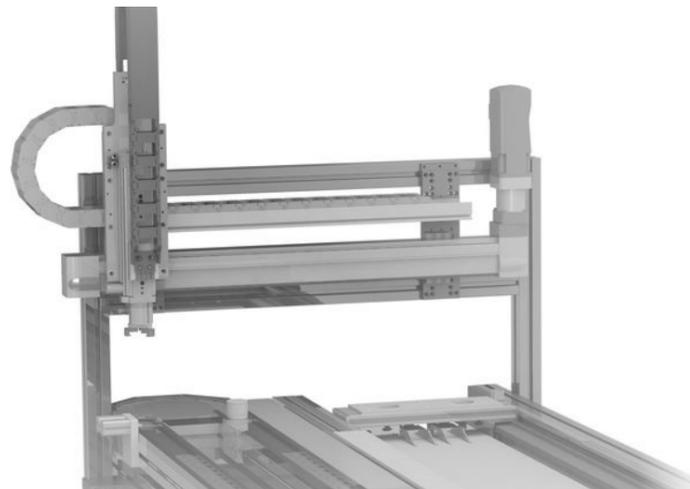
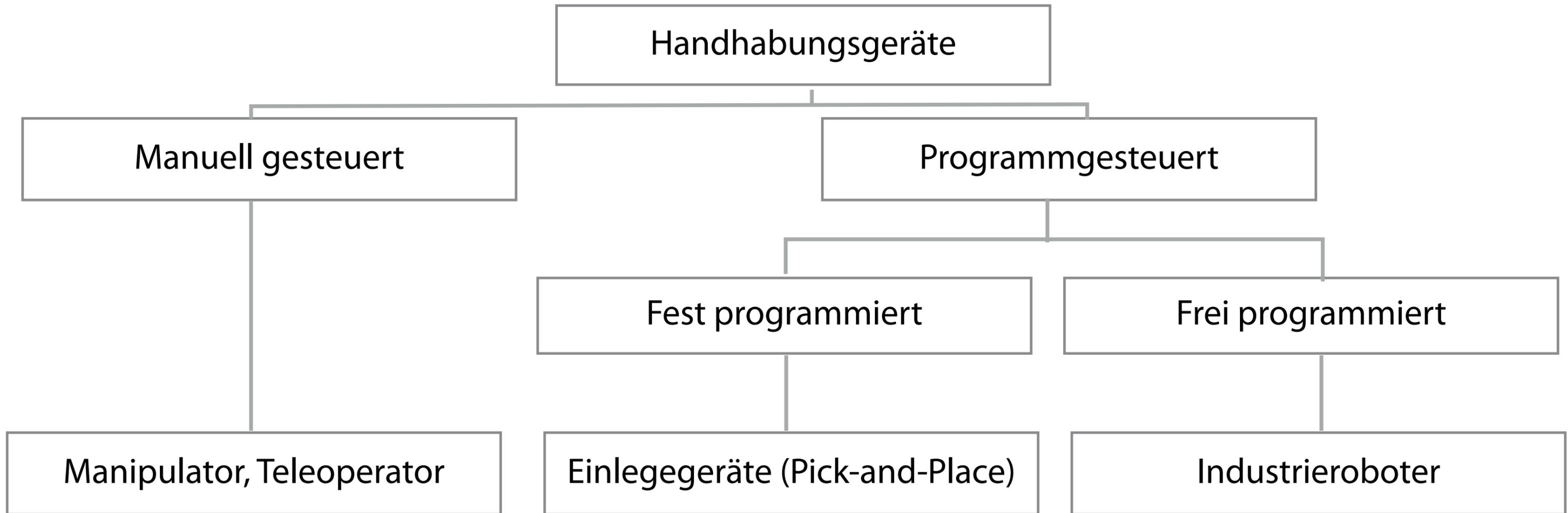
Kenngroßen

Beschreibungsmodelle

Steuerung

Programmierung

# Industrieroboter Einordnung und Abgrenzung



# Industrieroboter

## Definitionen

---

- "A robot is a **reprogrammable, multifunctional** manipulator designed to move material, parts, tools, or specialized devices through various programmed motions for the **performance of a variety of tasks.**" [Robot Institute of America, 1979]
- "Ein Roboter ist ein automatisch gesteuertes, **wiederprogrammierbares**, vielfach einsetzbares Handhabungsgerät mit **mehreren Freiheitsgraden**, das entweder **ortsfest** oder **beweglich** in automatisierten Fertigungssystemen eingesetzt wird." [Europäische Norm EN 775: Industrieroboter]
- "Industrieroboter sind **universell einsetzbare Bewegungsautomaten**, deren Bewegung hinsichtlich Bewegungsfolge und Wegen bzw. Winkeln frei - d.h. ohne mechanischen Eingriff - **programmierbar** und gegebenenfalls **sensorgeführt** sind. Sie sind mit Greifern, Werkzeugen oder anderen Fertigungsmitteln ausrüstbar und können **Handhabungs- und Fertigungsaufgaben** ausführen." [VDI-Richtlinie 2860]

Industrieroboter sind durch Programmierung vielfältig einsetzbare, flexible Bewegungsautomaten für Handhabungsaufgaben in der Fabrik.

# Industrieroboter

## Stationäre und mobile Roboter

---

### Mobiler Roboter

- nicht fest an einer bestimmten Stelle montiert
- mehr oder weniger freie Bewegung in einer bestimmten Umgebung

### Fahrerlose Transportsysteme (FTS)

- "... sind **innerbetriebliche, flurgebundene Fördersysteme** mit **automatisch gesteuerten Fahrzeugen**, deren primäre Aufgabe der **Materialtransport**, nicht aber der Personentransport ist. Sie werden innerhalb und außerhalb von Gebäuden eingesetzt ..." [VDI-Richtlinie 2510 „Fahrerlose Transportsysteme“]

### Autonomie

- Aufgabenverrichtung ohne externe Unterstützung in seiner Umgebung
- Selbständig Entscheiden unter unvollständiger Kenntnis der Umwelt



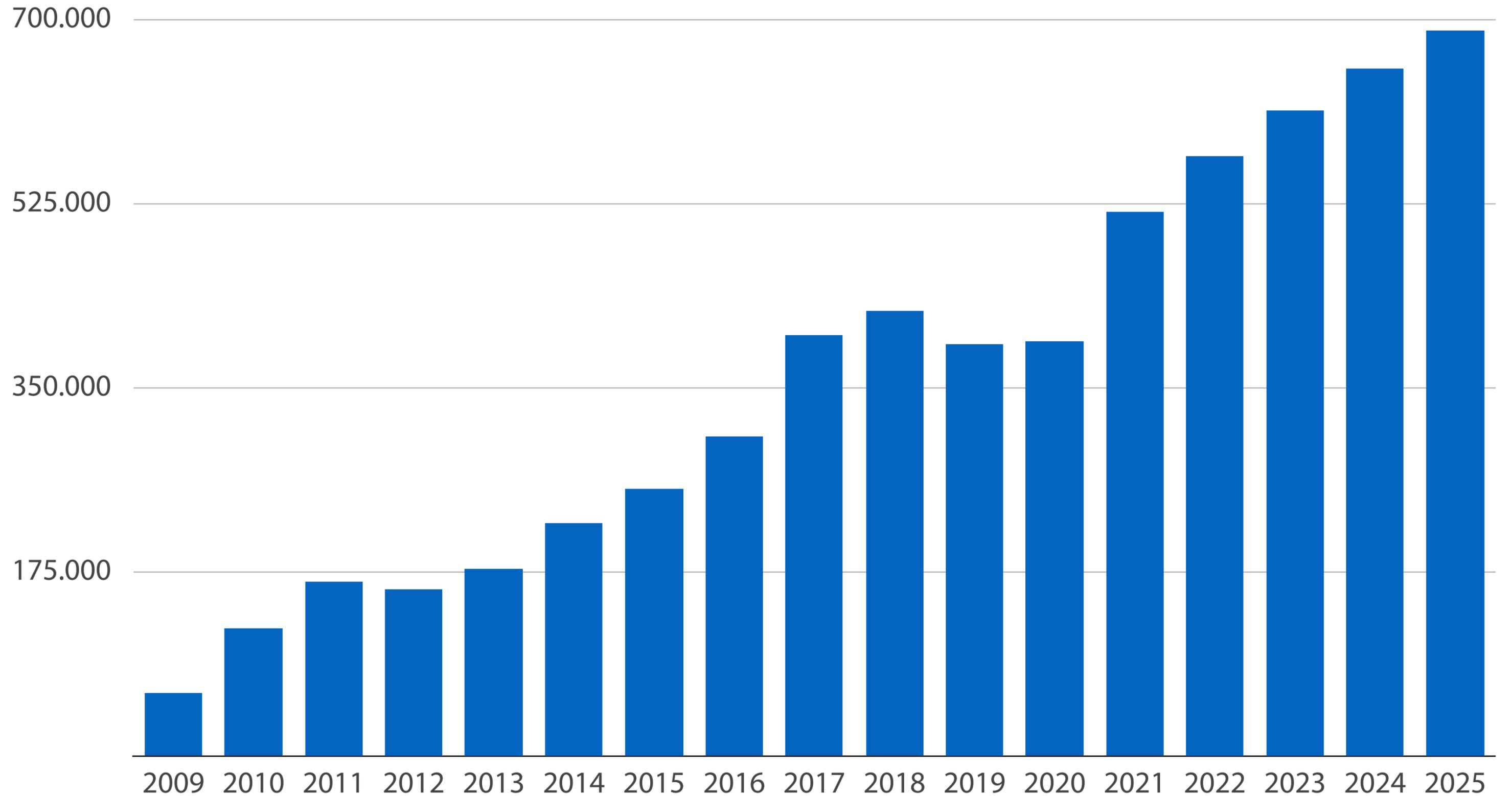
# Stufen der Automatisierung in der Automobilindustrie

## SAE J3016

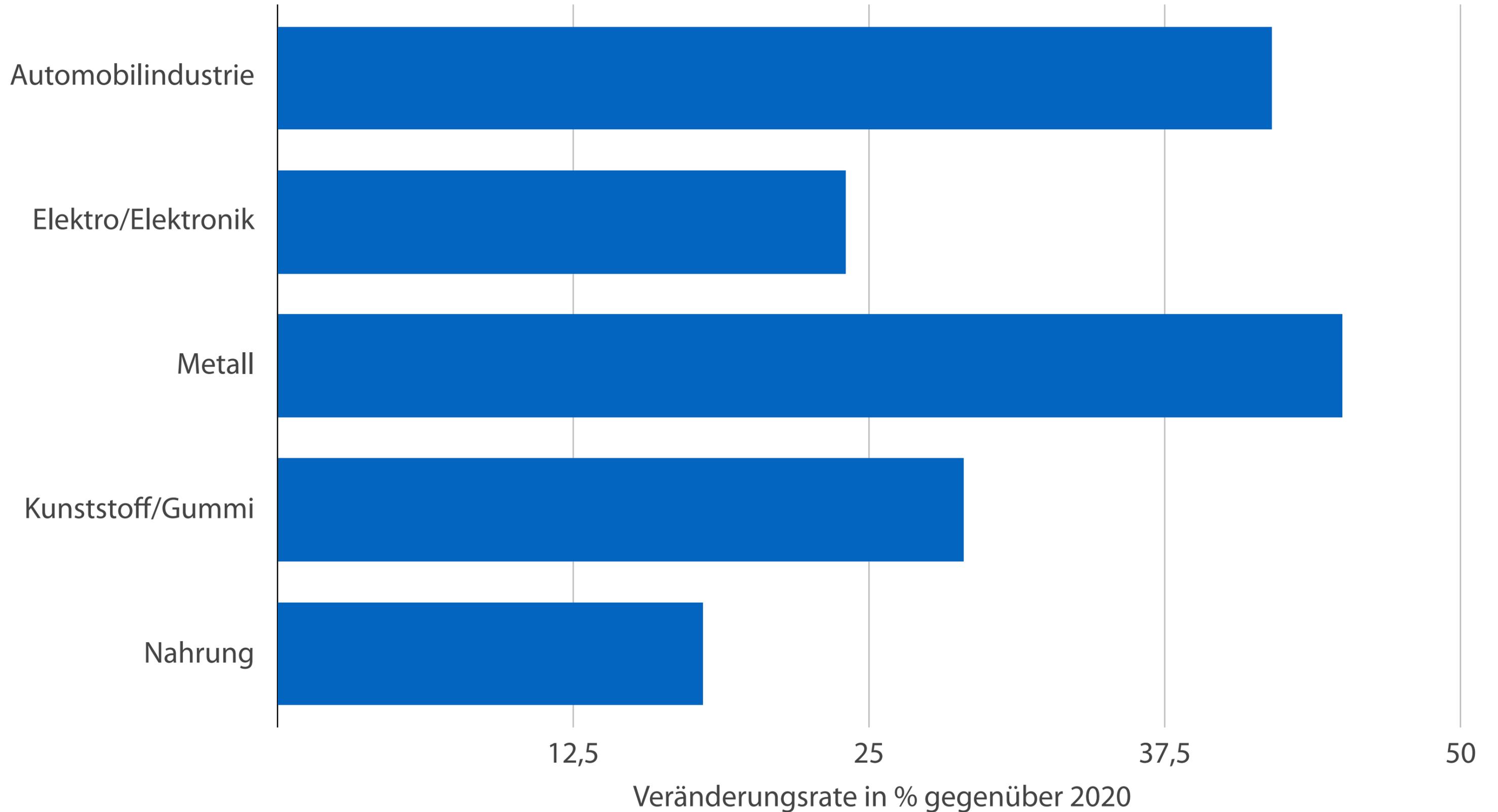
| SAE Stufe | Name   | Beschreibung  | Quer- und Längsführung | Umgebungsbeobachtung | Rückfallebene |
|-----------|--|---|------------------------|----------------------|---------------|
| 0         | No Automation<br>(Keine Automation)                  | Der Fahrer fährt eigenständig, auch wenn unterstützende Systeme   | Fahrer                 | Fahrer               | keine         |
| 1         | Driver Assistance<br>(Assistenzsysteme)              | Fahrerassistenzsysteme helfen bei der Fahrzeugbedienung bei Längs oder Querführung                                | Fahrer und System      | Fahrer               | Fahrer        |
| 2         | Partial Automation<br>(Teilautomatisierung)          | Ein oder mehrere Fahrerassistenzsysteme helfen bei der Fahrzeugbedienung bei Längs und gleichzeitiger Querführung | System                 | Fahrer               | Fahrer        |
| 3         | Conditional Automation<br>(Bedingte Automatisierung) | Autonomes Fahren mit der Erwartung, dass der Fahrer auf Anforderung zum Eingreifen reagieren muss                 | System                 | System               | Fahrer        |
| 4         | High Automation<br>(Hochautomatisierung)             | Automatisierte Führung des Fahrzeugs ohne die Erwartung, dass der Fahrer auf Anforderung zum Eingreifen reagiert  | System                 | System               | System        |
| 5         | Full Automation<br>(Vollautomatisierung)             | Vollständig autonomes Fahren  | System                 | System               | System        |

# Industrieroboter

## Absatzzahlen weltweit (Anzahl mit Prognose)

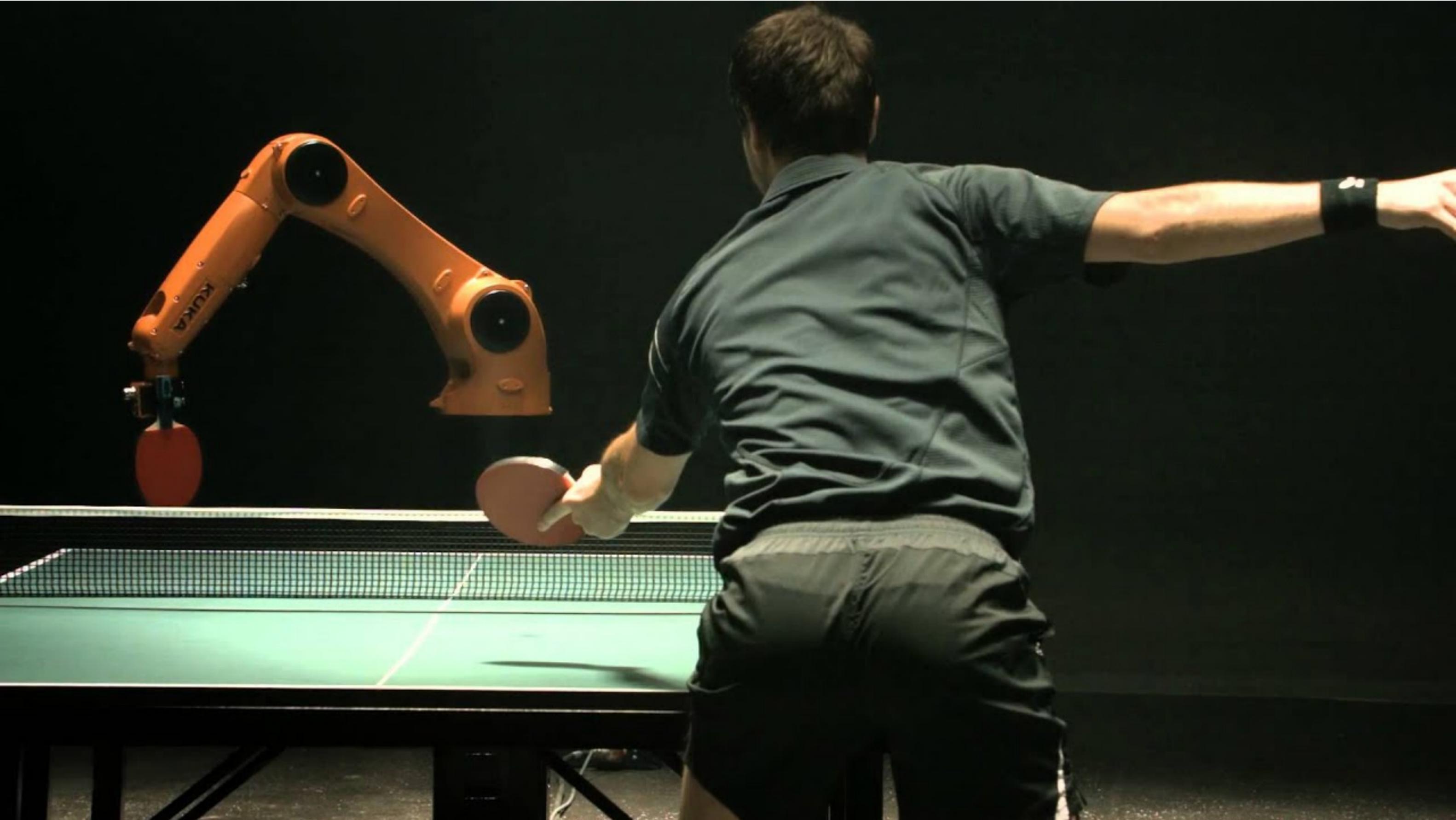


# Industrieroboter Absatzveränderung nach Branchen weltweit



# Robotik heute?

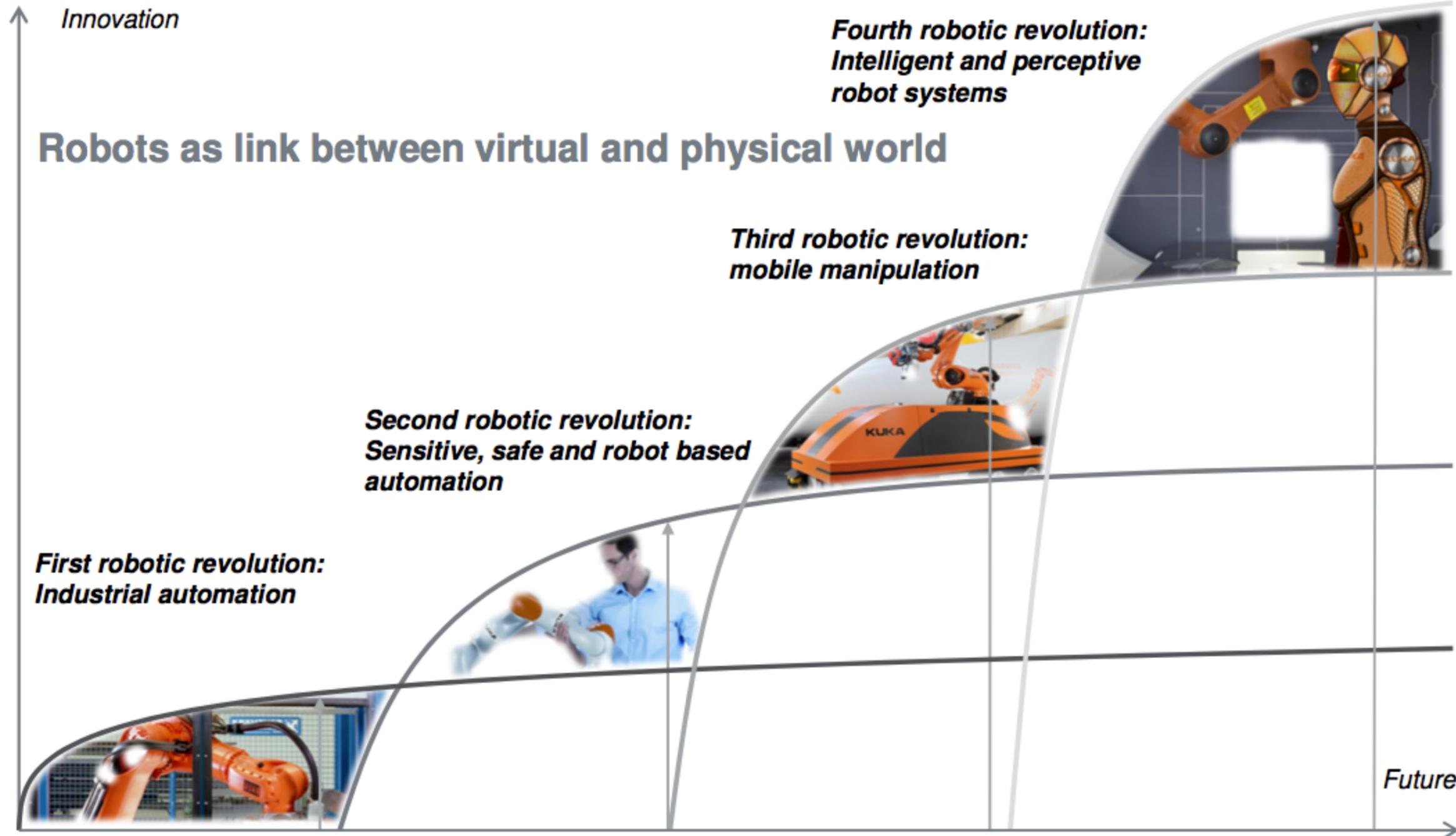
<https://www.youtube.com/watch?v=tIIJME8-au8>



# Generationen der Industrierobotik

## Zukunft

### From Robotic 1.0 to Robotic 4.0



# Industrieroboter Aufbau



**Roboter RV-2FB mit Teachbox R32TB**

Bild Mitsubishi

- Manipulator (z.B. Roboterarm) und Effektor (Werkzeug, Greifer etc.).
- Steuerung und Programmiergerät (Teach-Box)
- unterschiedlichen Ausführungen und von verschiedenen Herstellern
- in der Regel als standardisiertes Grundgerät
- typischer Einsatz für eindeutige und repetitive Arbeitsabläufe
- elektrische, hydraulisch oder pneumatische Antriebe

## Vertikaler Gelenkarm

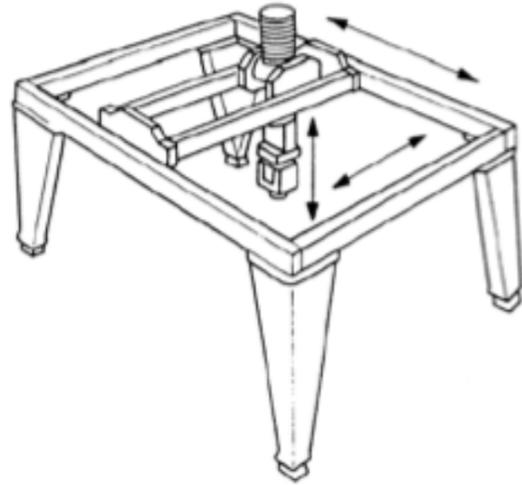
- fünf bis sechs rotatorische Achsen/Gelenke
- besonders hohe Beweglichkeit (6 Freiheitsgrade)
- Umgreifen von Hindernissen
- beschränkte Reichweite und Traglast
- sehr universell einsetzbar

**Anpassung an jeweilige Aufgabe erfolgt durch anwendungsspezifisches Werkzeug und Programmierung.**

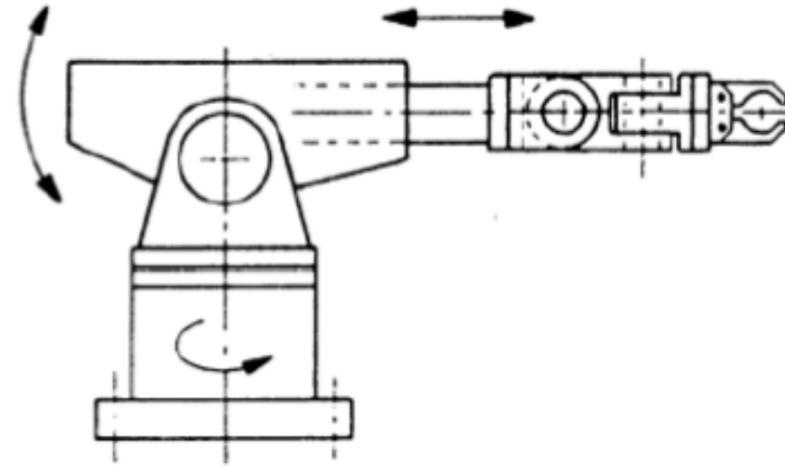
# Industrieroboter

## Bauformen/Grundtypen

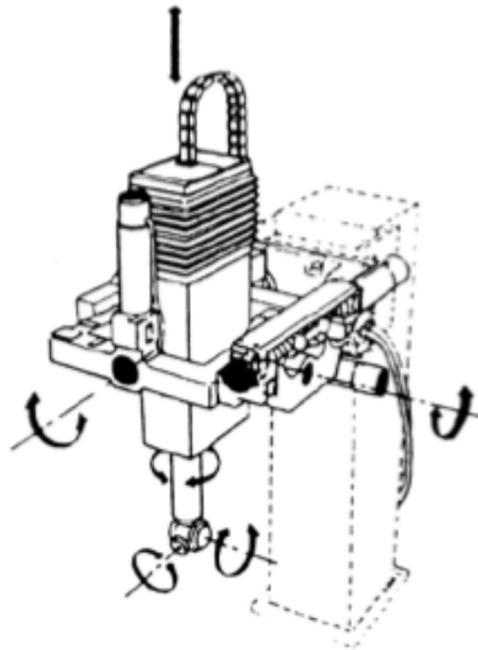
---



**Kartesischer Roboter: Portalroboter**

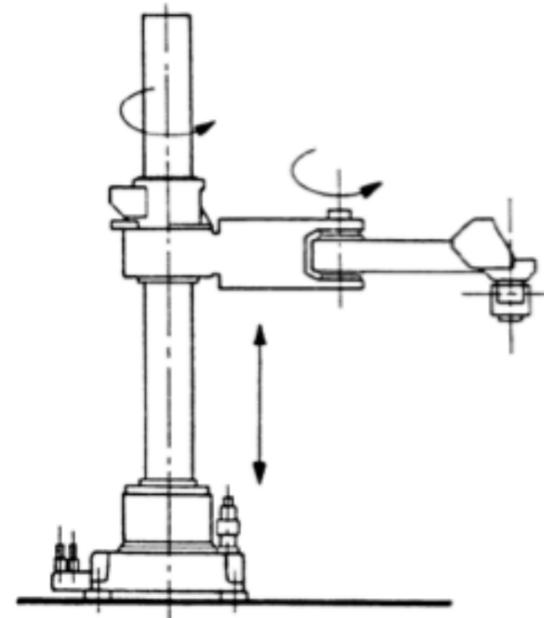


**Polarroboter**

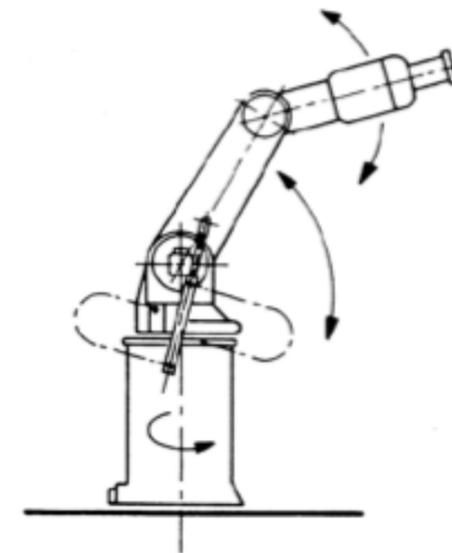


**Pendularroboter**

Nach DIN EN ISO 8373, 1996



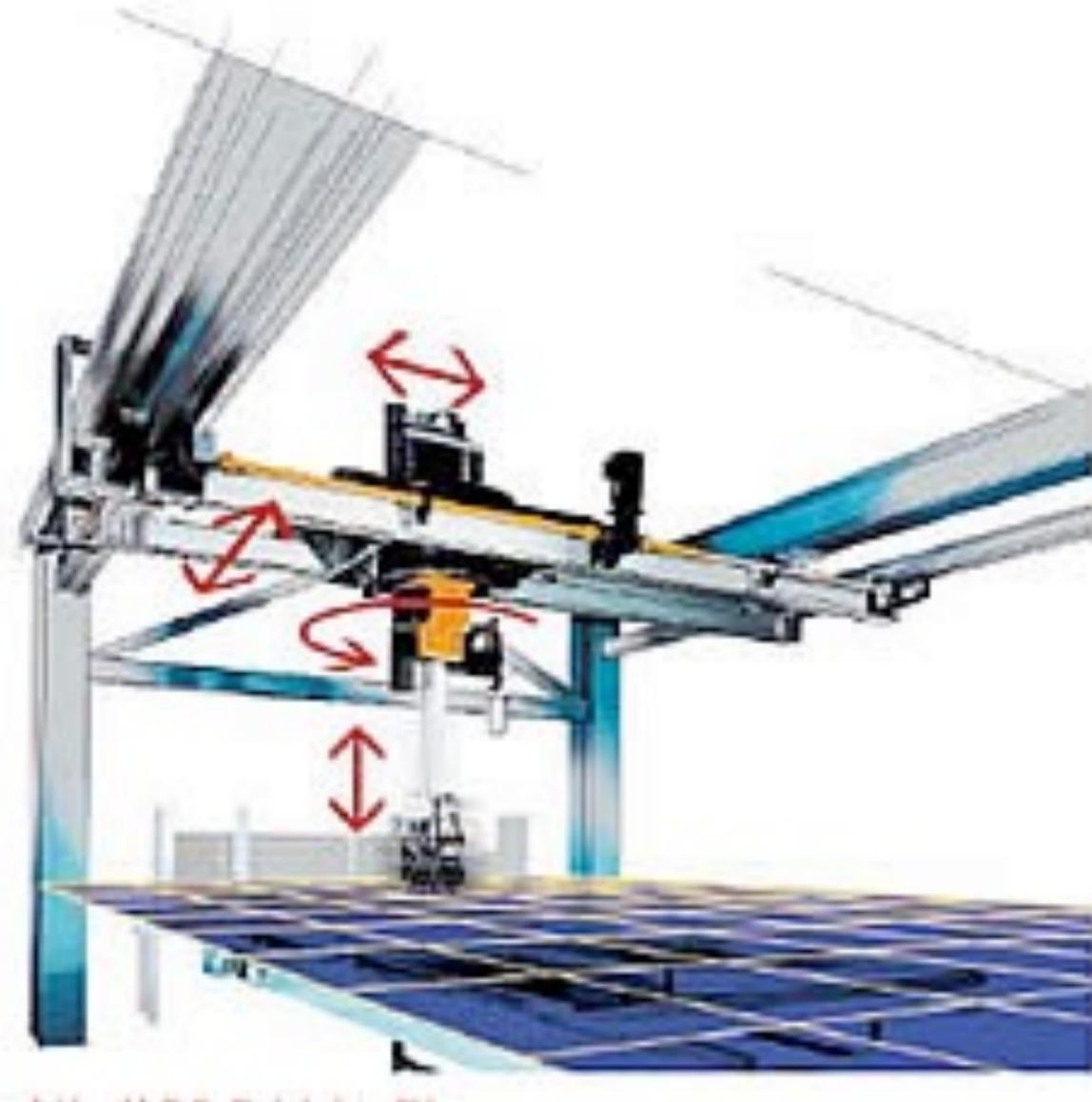
**Zylindrischer Roboter**  
(Horizontal-Knickarmroboter)



**Gelenkroboter**  
(Vertikal-Knickarmroboter)

# Industrieroboter Portale

---



- auch kartesischer Roboter oder Linearroboter
- Kombination von 2 bis 3 Linearachsen
- Linearportale mit 2 Achsen
- Auslegerportal
- Flächenportal
- Kombination Portal und Gelenkarmroboter
- gute Zugänglichkeit zur Maschine von oben
- einfaches kinematisches Modell

## **Raum-Portalroboter GR08**

Bild Parker Hannifin

**Einfach zu realisierende Lösung mit großen Arbeitsräumen für Transportaufgaben mit hoher Traglast.**

# Industrieroboter

## Horizontaler Gelenkarmroboter SCARA

---



**EPSON SCARA LS6-602S**

Bild: Epson

- Selective Compliance Assembly Robot Arm
- vier Achsen und vier Freiheitsgrade
- Montage- und Fügeaufgaben, sowie für Pick-and-Place-Anwendungen
- Bauelement von Platz X nach Platz Y
- typisch für Handhabungs- und vorbereitende Montagearbeiten
- Beschränkung der Anwendungsgebiete durch Form des Arbeitsraums

Bewegungen sind nur parallel zu der Arbeitsebene möglich.

# Industrieroboter

## Parallele Kinematik

---



- Tripod, Hexapod oder Deltaroboter
- 3 bis 6 parallel angeordnete Linearachsen oder Gelenkarme mit stationärem Antrieb
- hohe Geschwindigkeiten durch geringe bewegte Masse
- geschlossene kinematische Kette
- höhere Wiederholgenauigkeit und Steifigkeit
- stark begrenzter Arbeitsraum

**ABB Flexible Automation's IRB 340 FlexPicker**  
Bild ABB

Typisch für Pick and Place Anwendungen.



Roboter

Industrieroboter

**Kenngroßen**

Beschreibungsmodelle

Steuerung

Programmierung

# Einsatzspezifische Kenngrößen

## Überblick

---

### **Geometrie**

- Mechanische Systemgrößen
- Bewegungsraum, Arbeitsraum
- Kinematisches Modell und Gestaltungsform
- Freiheitsgrade

### **Kinematik**

- Geschwindigkeiten und Beschleunigungen
- Überschwingen
- Zykluszeiten

### **Belastung**

- Werkzeuglast und Nutzlast
- Maximallast und Nennmomente

### **Präzision**

- Wiederholgenauigkeit
- Auflösung

# Industrieroboter

## Traglast



Bild © KUKA

### KR 1000 TITAN

- Traglast 1000 kg
- max. Reichweite 3,20 m
- Anzahl der Achsen 6
- Wiederholgenauigkeit  $<\pm 0,1$  mm
- Eigengewicht 4950 kg

### Leistungsklassen

|       |           |            |             |               |
|-------|-----------|------------|-------------|---------------|
| < 5kg | 5 - 16 kg | 30 - 60 kg | 80 - 300 kg | 300 - 1300 kg |
|-------|-----------|------------|-------------|---------------|

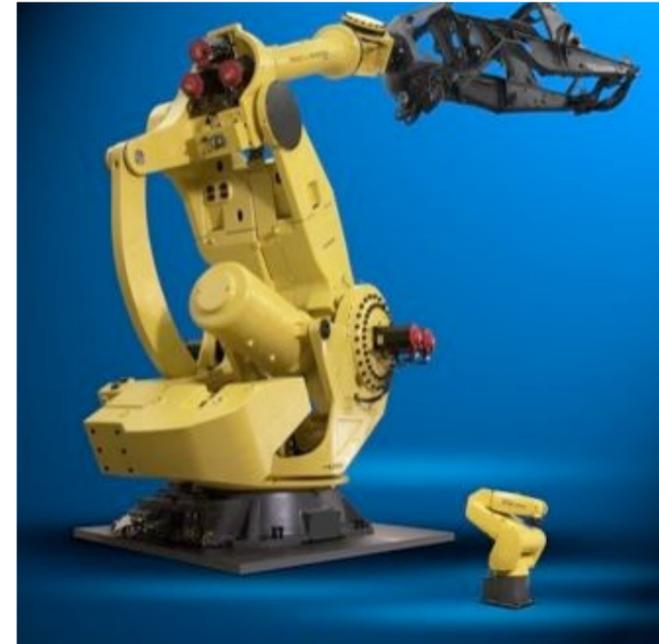


Bild © Fanuc Robotics

### M-2000iA/2300

- Traglast 2300 kg
- max. Reichweite 4,7 m
- Anzahl der Achsen 6
- Wiederholgenauigkeit  $<\pm 0,3$  mm
- Eigengewicht: 11000 kg

# Leistungsmerkmale

## Schnelligkeit und Präzision

---



KUKA KR 5 arc:

Traglast 5 kg

**Wiederholgenauigkeit  $<\pm 0,04$  mm**

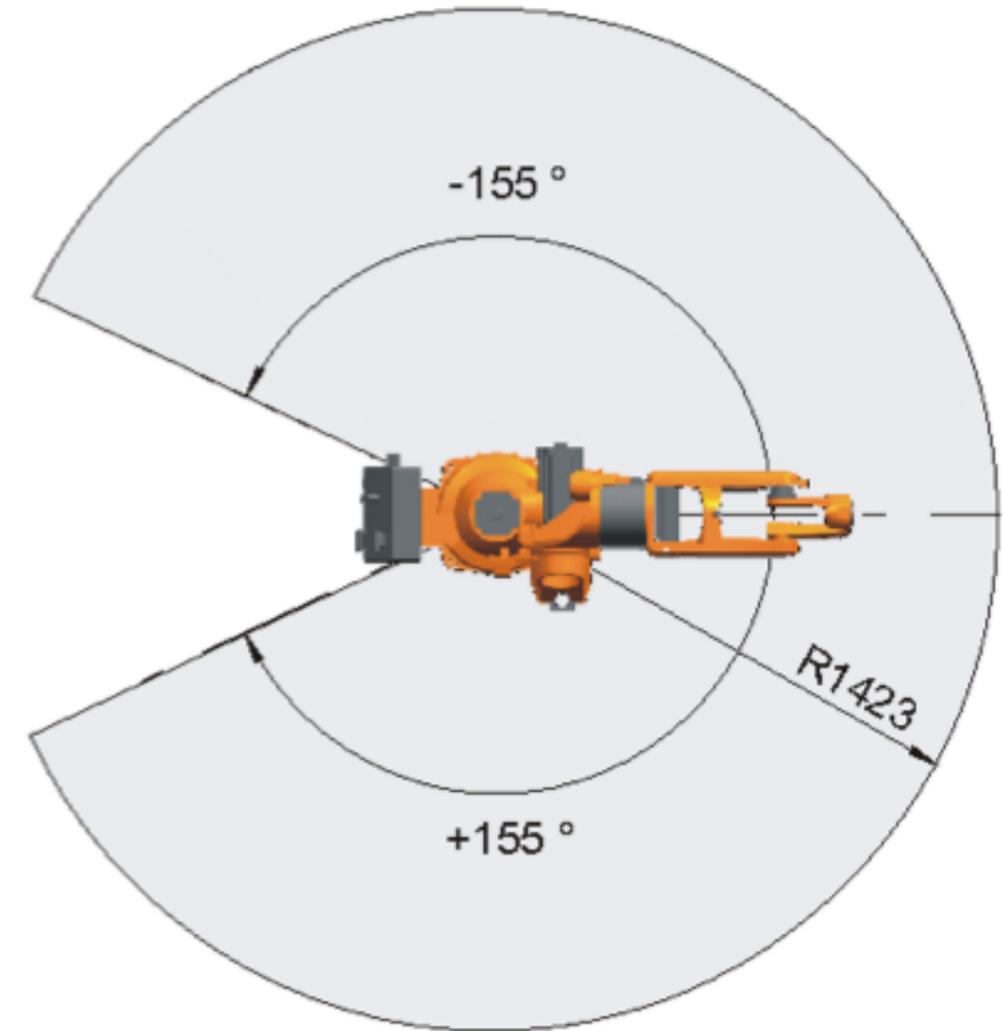
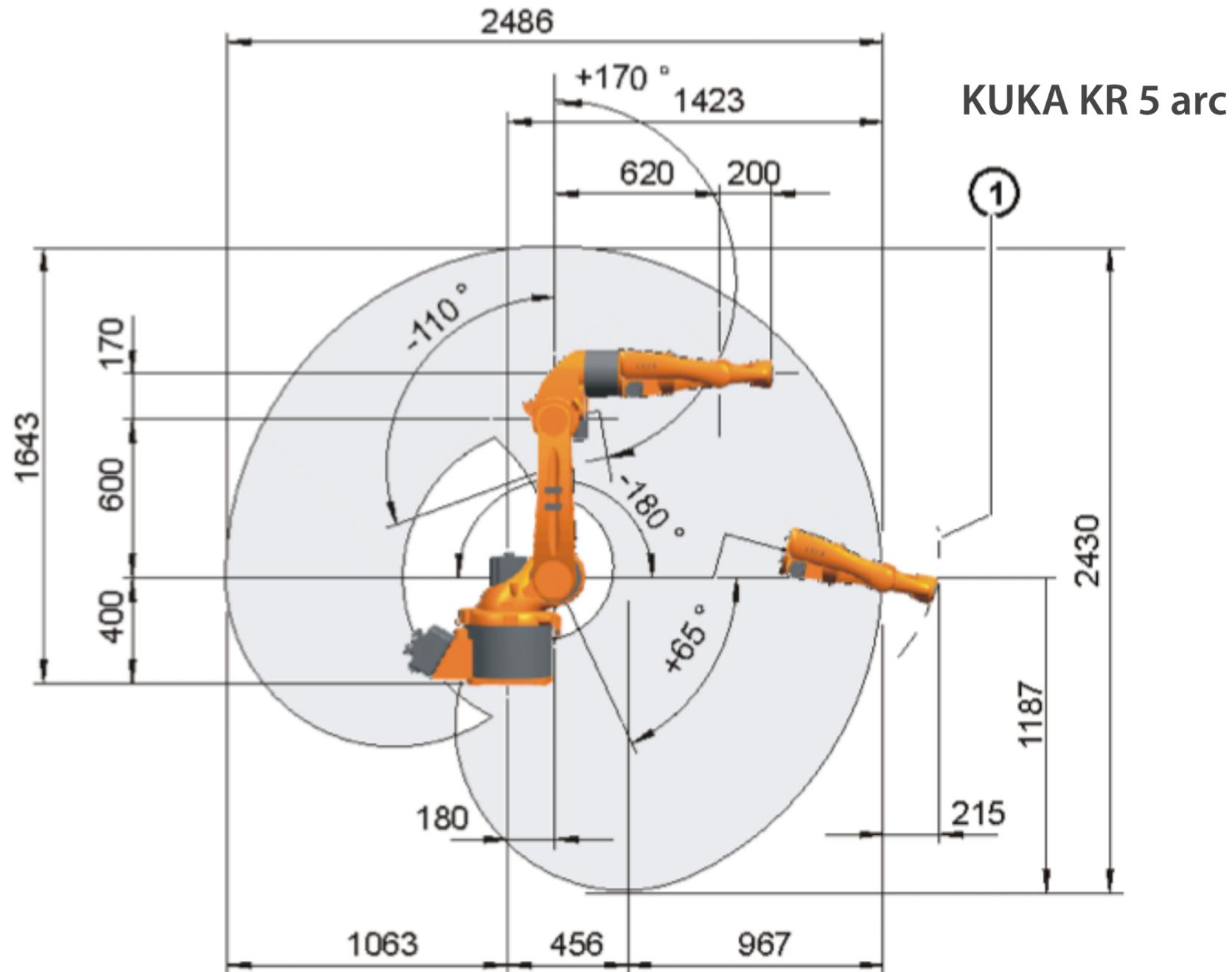
Gewicht 127 kg

max. Reichweite 1412 mm

Geschwindigkeit Roboter nach Achsen:

| Achse 1 | Achse 2 | Achse 3 | Achse 4 | Achse 5 | Achse 6 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 154°/s  | 154°/s  | 228°/s  | 343°/s  | 384°/s  | 721°/s  |

# Leistungsmerkmale Arbeitsraum



Der Arbeitsraum beschreibt die Menge der durch das Robotersystem erreichbaren Orte und leitet somit den Aktionsradius des Roboters ab.



Roboter

Industrieroboter

Kenngrößen

**Beschreibungsmodelle**

Steuerung

Programmierung

# Kinematik

---

## Lehre der Bewegung von Punkten und Körpern im Raum

- Beschreibung durch die Größen Position, Geschwindigkeit und Beschleunigung
- Geometrie und zeitabhängige Aspekte der Bewegung ohne Berücksichtigung von Kräften

## Kinematische Kette

- Verbindung der Gelenke zu einem System
- Maßgeblich für den Arbeitsraum und Komplexität des Roboters
- Serielle und parallele Kinematik

## Vorwärtskinematik

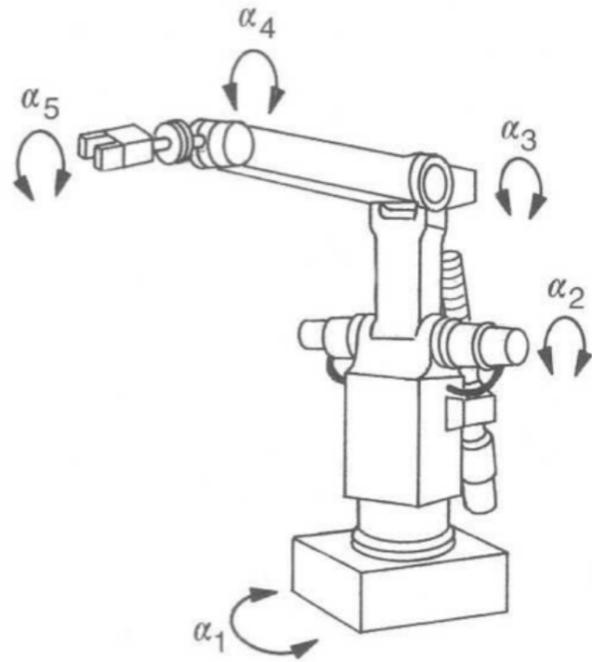
- Ausrechnen der Position des Endeffektors im Weltkoordinatensystem

## Inverse Kinematik

- Ausrechnen der Gelenkparameter für eine gegebene Position

# Kinematik:

## Wie beschreibt man die Bewegung eines Roboters?



Interne Repräsentation der Bewegung

### Vorwärtskinematik:

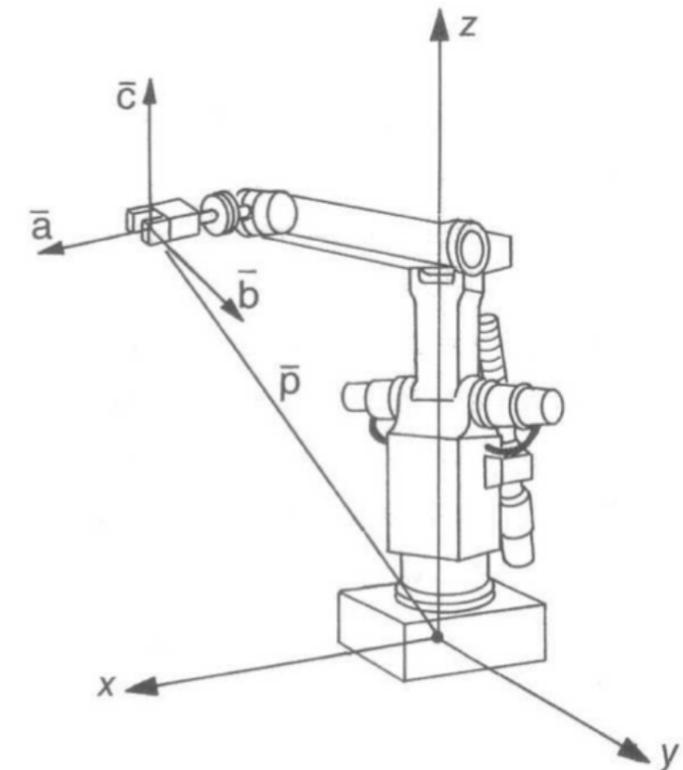
Welches Resultat folgt auf meine Handlung?



### Rückwärtskinematik:

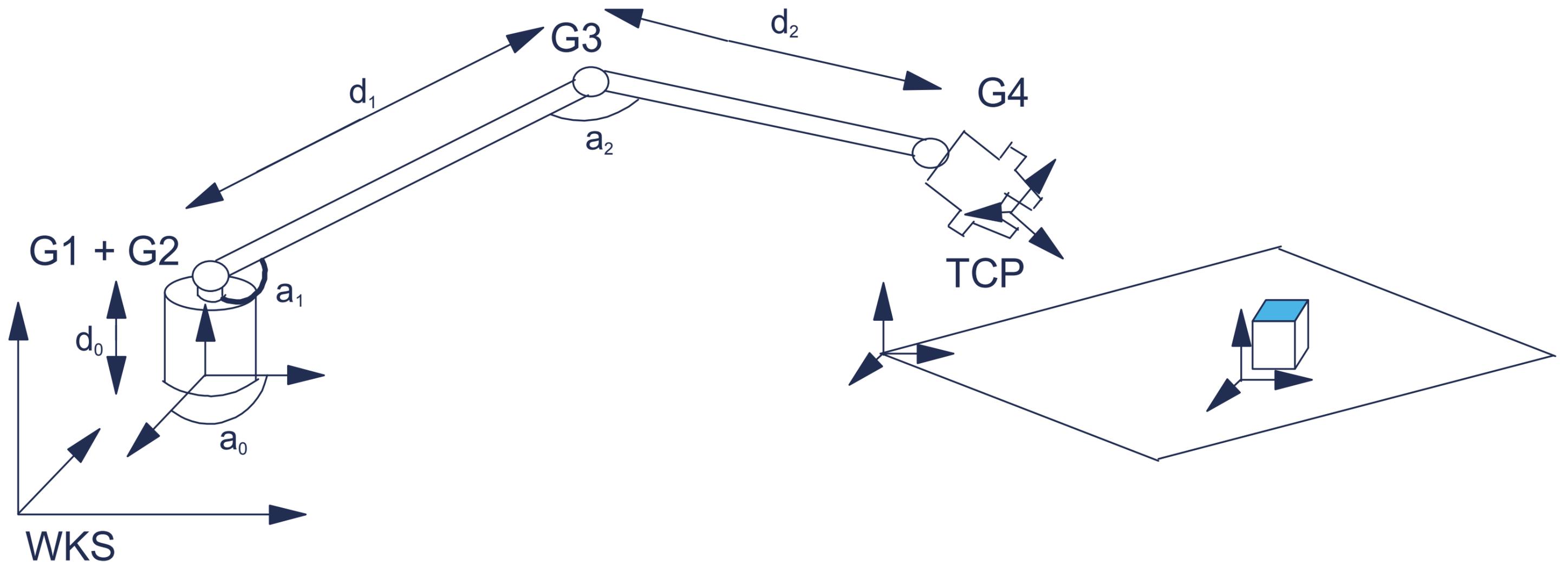
Was muss ich für ein zu erreichendes Ziel tun?

Externe Repräsentation der Bewegung



# Begriffe

- Tool Center Point (TCP) = Werkzeugmittelpunkt/Referenzpunkt des Endeffektors
- Weltkoordinatensystem (WKS) = Basiskoordinatensystem (BKS)
- Achsen und Gelenke
- Rotation und Translation
- Arbeitsraum



# Freiheitsgrade

---

- Zahl der voneinander unabhängigen (und in diesem Sinne „frei wählbaren“) Bewegungsmöglichkeiten eines Systems
- Lage eines Körpers in Raum durch 3 Raumkoordinaten + 3 Drehwinkel
- starrer Körper ohne Bindungen drei Translationsfreiheitsgrade und drei Rotationsfreiheitsgrade.
- Anzahl der Freiheitsgrade  $f = 6$
  
- Stellung = Position + Orientierung
- Positionsbeschreibung mittels Ortsvektor
- Lagebeschreibung mittels Lagevektor

**Die Freiheitsgrade eines Industrieroboters korrespondieren mit der Zahl seiner Achsen.**

# Kinematische Typenklassen

## Grundsätzliche Einteilung:

- Parallele Kinematik (Hexapod/Deltaroboter)
- Serielle Kinematik (Gelenkroboter mit Knickarm und SCARA; Portalroboter)
- Kombination von translatorischen Linearachsen (L) und rotatorischen Gelenken (R)

## Gelenkroboter RRR

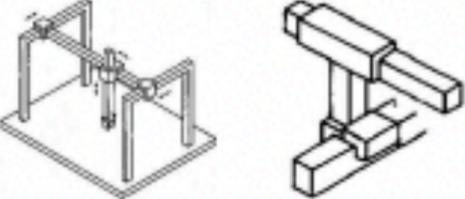
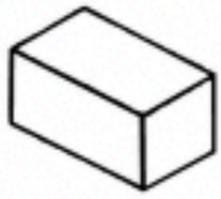
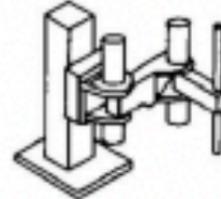
- hohe Flexibilität
- komplexes Kinematikmodell
- nachgiebige Struktur bei großen Reichweiten (Hebel)

## Kartesischer Roboter LLL

- einfaches Kinematikmodell
- steife Struktur für große Lasten

## Zylindrischer Roboter RLL oder sphärischer Roboter RRL

- komplexeres Kinematikmodell
- Auswahl nach Handlingerfordernissen

| Bezeichnung                | Anordnung   | Arbeitsraum   |
|----------------------------|---|---|
| Kartesisches Gerät         |    |    |
| Zylinderkoordinatengerät   |   |   |
| Kugelkoordinatengerät      |  |  |
| Horizontales Knickarmgerät |  |  |
| Vertikales Knickarmgerät   |  |  |



Roboter

Industrieroboter

Kenngrößen

Beschreibungsmodelle

**Steuerung**

Programmierung

# Steuerung



## Steuerung

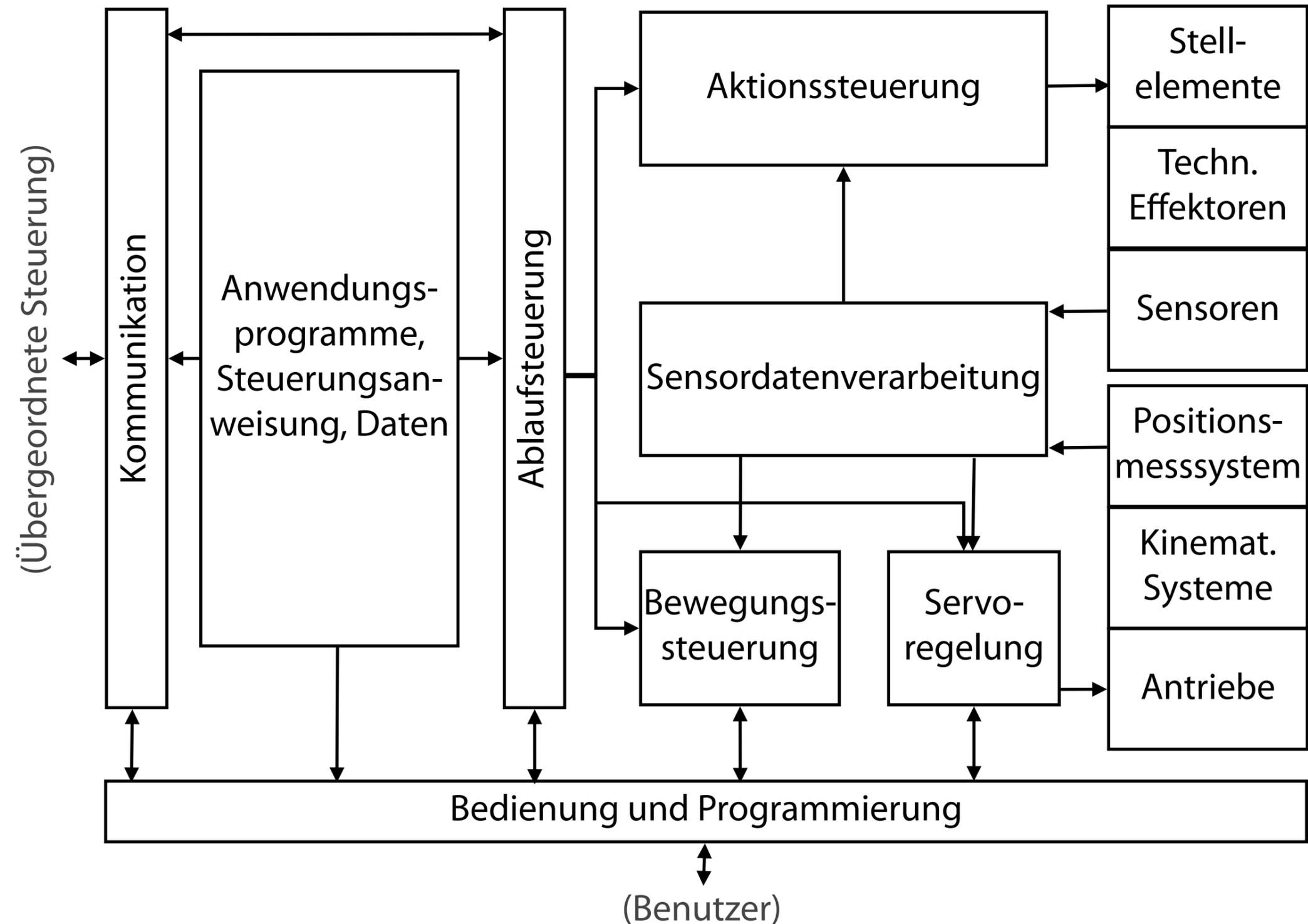
- Koordination und Ausführung der Gelenkbewegung
- Verarbeitung externer Signale aus dem Fertigungsprozess
- Funktionsüberwachung und Eigendiagnose einzelner Komponenten
- ggf. Vision-Systeme (zur Objekterkennung)

## Programmiergerät

- Kommunikation mit Anwender über Teach-Box
- Bedienelemente und Anzeigen
- Durchführung von Bewegung
- Online-Programmeingabe (Positionen einlernen, Bahnen definieren)

# Architektur der Steuerung

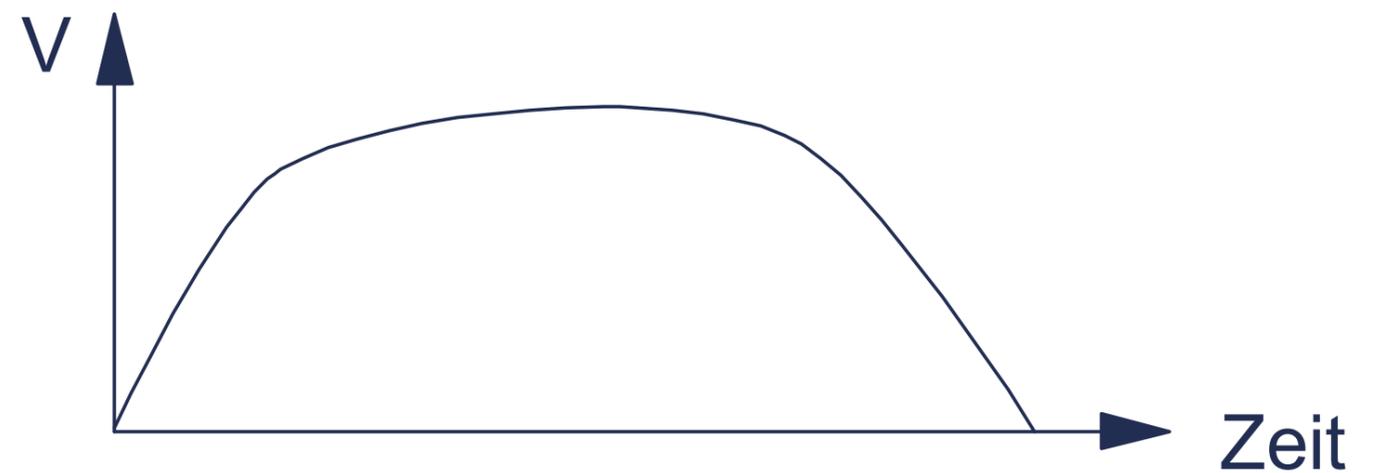
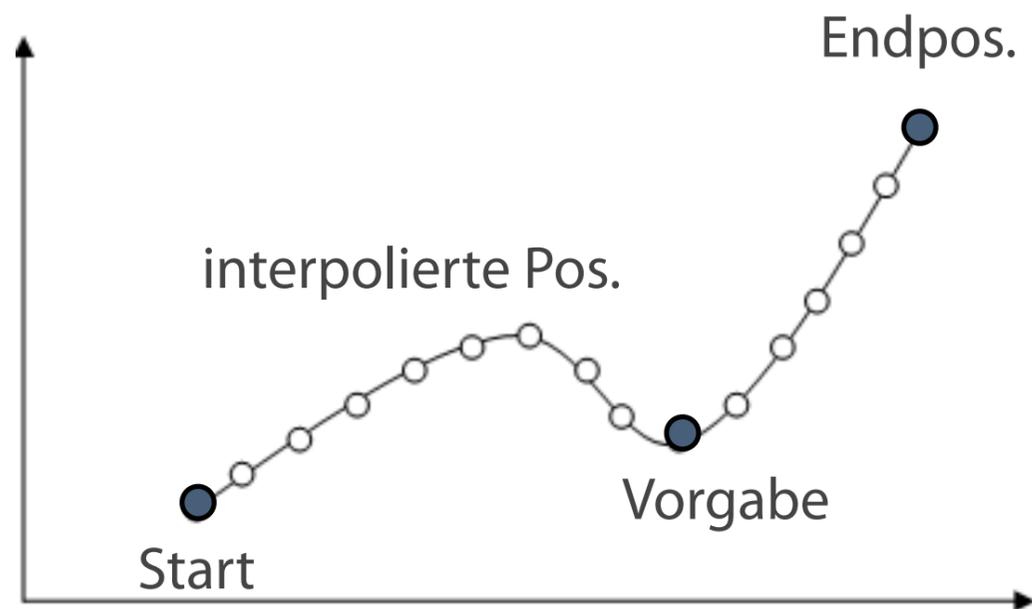
- Abarbeitung von Anwendungsprogrammen
- Ablaufsteuerung und Bewegungssteuerung
- Sensordatenverarbeitung
- Anpassung von Bewegungsfolgen
- Aktor- bzw Servoansteuerung
- Realisierung von Punktsteuerungen und Bahnsteuerungen
- Aktionssteuerung zur kombinatorischen Verknüpfung interner und externer Prozesssignale
- User-Interface und Programmierkomponente



# Aufgaben der Steuerung von Industrierobotern

## Bewegungskoordination

- Anfahren von Positionen
- Ablaufen bestimmter Bahnen
- Interpolation von Zwischenpositionen
- simultane Ansteuerung der Gelenke
- gelenksynchrone Ausführung
- Bewegung der Gelenkmotoren mittels Rampenfunktion

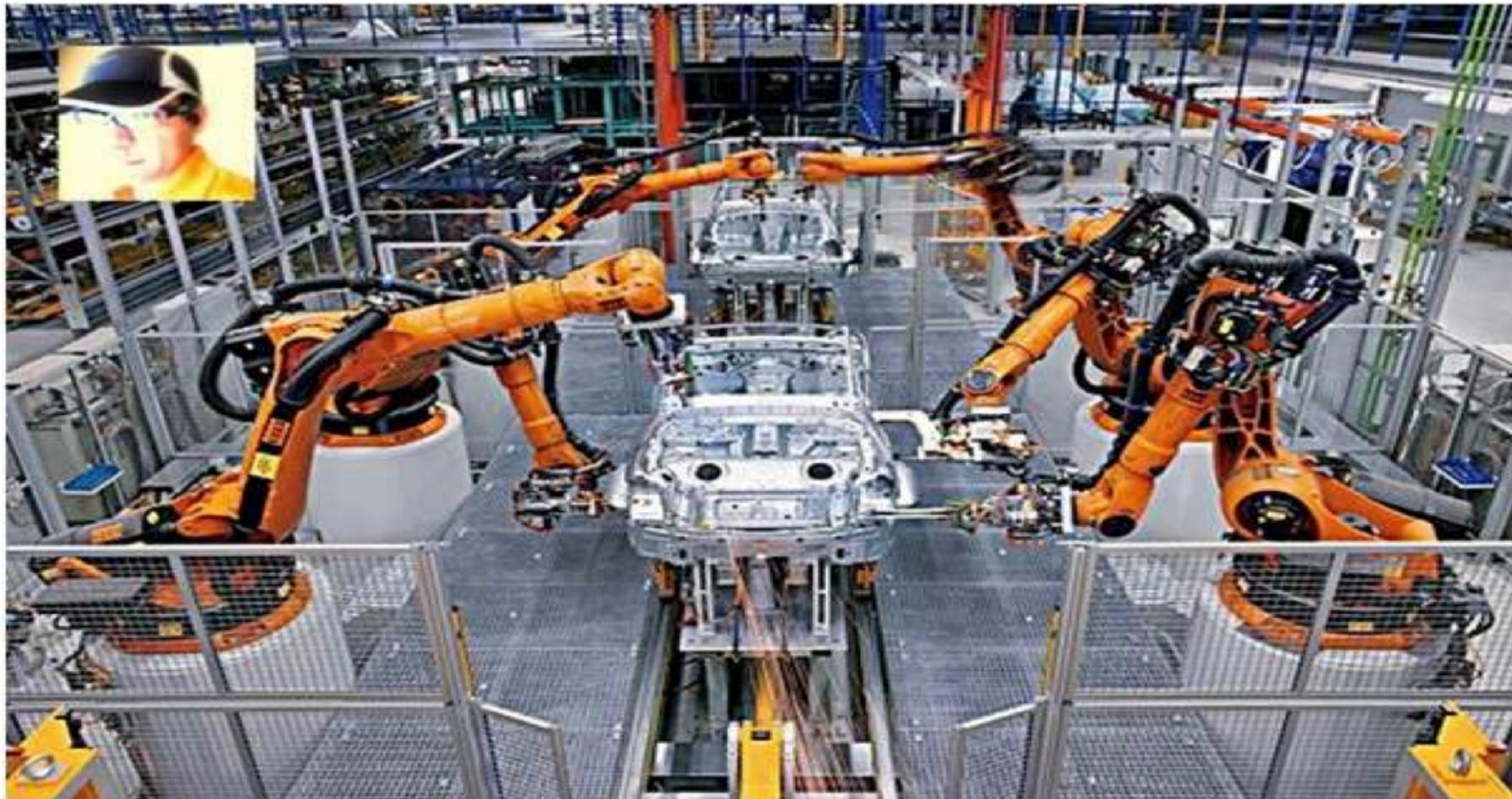


# Aufgaben der Steuerung von Industrierobotern

## Safety

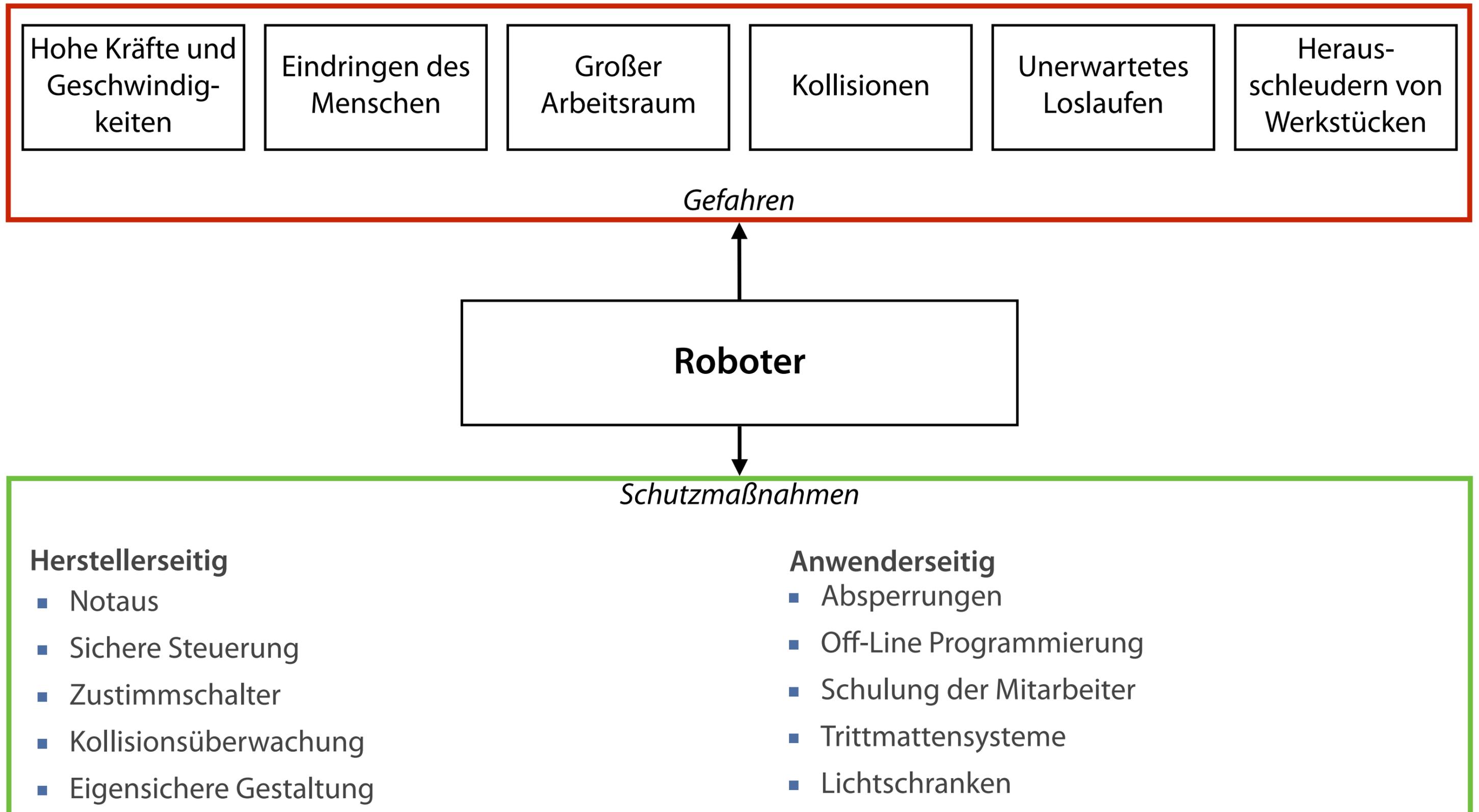
---

- Vermeidung von Schaden für Mensch (und Maschine)
- Verletzungspotenzial bereits in der 5kg-Klasse
- Einhausung des Arbeitsbereiches mit Käfig oder Lichtvorhang
- sofortiges Stoppen der Bewegung und Halten der Position



# Aufgaben der Steuerung von Industrierobotern

## Gefahren und Schutzmaßnahmen



# Leichtbauroboter (LBR) und Kollaborationsroboter (MRK)

---

## Grundsätzliche Einteilung

- Direkte Mensch Roboter Kollaboration ("Roboter als Kollege"?)
- Enge Zusammenarbeit von Mensch und Roboter ohne Schutzzäune
- Schnelle Integration in bestehende oder neue Fertigungseinrichtungen bei laufender Produktion
- Einfache Bedienung ohne Spezialisten-Wissen
- Einhaltung der Maschinenrichtlinien und Normen
- Gelenkmomentesensorik oder sensitive Oberfläche

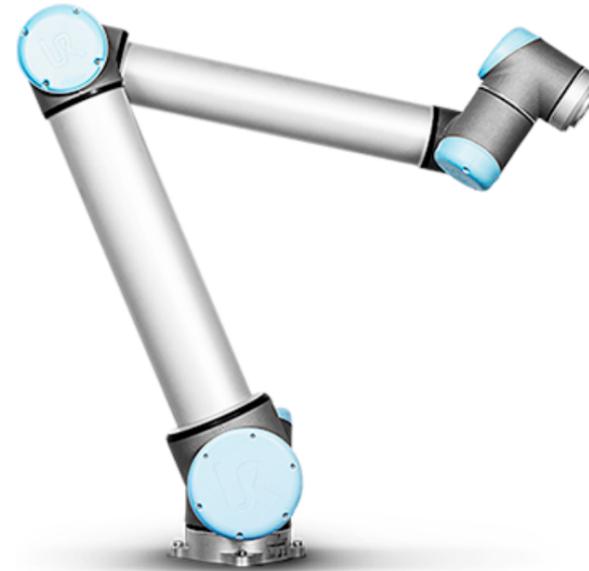
# Leichtbauroboter (LBR) und Kollaborationsroboter (MRK) Beispiele

---



## iiwa (KUKA)

- "intelligent industrial work assistant"
- kollaborativer und sensibler Roboter
- Traglasten von 7 und 14 kg.



## UR10 (Universal Robotics)

- Traglast von bis zu 10 kg mit Arbeitsradius von bis zu 1,3 m
- Anwendungen für Verpacken, Palettieren, Montage und Pick & Place



## KBR CR-35iA (FANUC)

- Traglast von 35 kg mit Reichweite von bis zu 1,8 m
- internationale Sicherheitszertifizierung
- integrierte Kraftsensoren und Soft-Cover-Gummioberfläche

**Leichtbau-Robotersysteme sind bereits am Markt verfügbar.**

## Iowa Beispiel



# Leichtbauroboter (LBR) und Kollaborationsroboter (MRK) Video

---



**Go Further**



Roboter

Industrieroboter

Kenngrößen

Beschreibungsmodelle

Steuerung

**Programmierung**

# Programmierung von Industrierobotern

## Grundsätzliche Systematisierung

---

### Programmierverfahren

- planmäßiges Vorgehen zur Erzeugung der Anwendungsprogramm
- Anwendungsprogramm als Sequenz von Anweisungen zur Erfüllung einer Fertigungsaufgabe
- grundsätzliche Einteilung der Programmierverfahren: direkt (online), indirekt (offline)
- hybride Verfahren
  - Programmablauf indirekt
  - Bewegungsanteil direkt

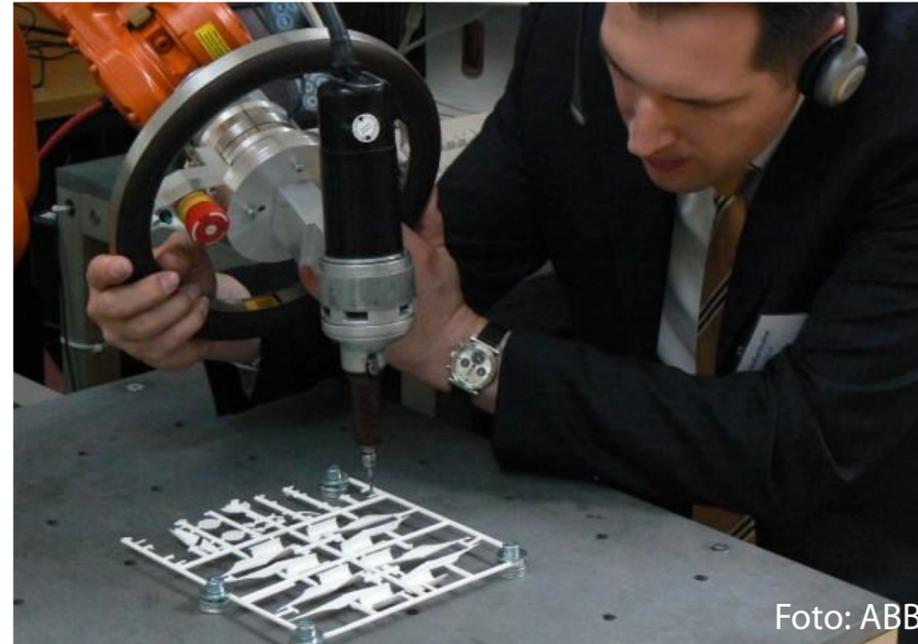


- Erstellung unter Verwendung des Robotersystems (Realanlage)

- Erstellung außerhalb der Anlage mittels Rechnermodellen des Robotersystems

# Programmierung von Industrierobotern

## Online-Verfahren



### Teach-in

- Anfahren gewünschter Raumpunkte mittels Programmierhandgerät (Teach-Box)
- Verknüpfung der Positionen und Bewegungsanweisung durch Tasteneingabe

### Play-back

- Manuelles Führen des Roboters entlang der gewünschten Raumkurve
- Aufnahme von Istwerten in bestimmten Intervallen
- ggf. Hilfsarm als Interaktionselement

### Sensorgestützt

- Automatische oder manuelle sensorkontrollierte Erstellung
- Vorgabe grober Bewegungsvorgaben und anschließendes Abtasten des Werkstücks
- Aktives Folgen des Bedieners (Roboter ist aktiv!)

# Programmierung von Industrierobotern

## Offline-Verfahren

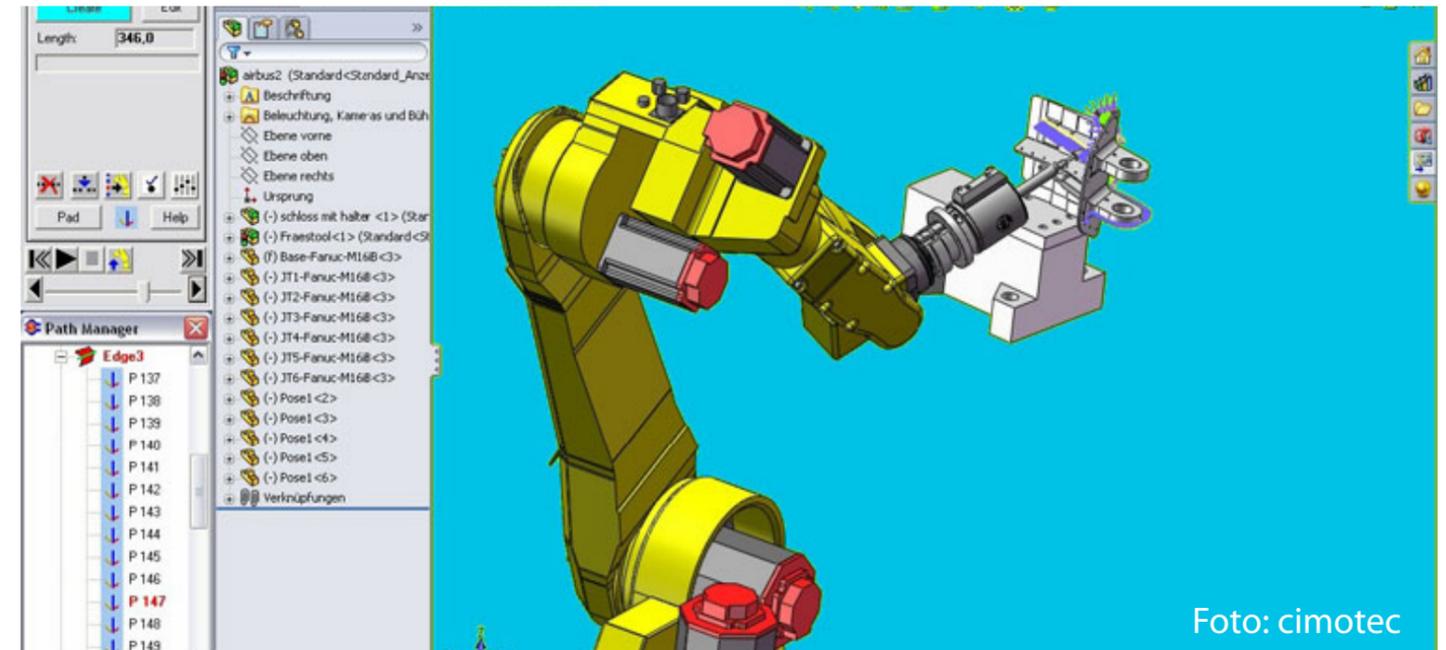
```
PERS tooldata actualtool := [TRUE, [[0,0,0],[1,0,0,0]], [0,[0,0,0],[1,0,0,0]]];
PERS wobjdata actualwobj := [FALSE, TRUE, "", [[0,0,0],[1,0,0,0]], [[0,0,0],[1,0,0,0]]];

CONST tooldata RAPIDtool := [TRUE, [[0.000,0.000,0.000],[1.000000,0.000000,0.000000,0.000000]], [0.000000,0.000000,0.000000,0.000000]];

CONST robtarget POS1 := [[1462.000,0.000,1855.000],[0.000000,0.000000,0.000000,0.000000]];
CONST robtarget POS2 := [[1127.495,732.864,1170.552],[0.000000,0.000000,0.000000,0.000000]];
CONST robtarget POS3 := [[1063.127,445.786,531.515],[0.000000,0.000000,0.000000,0.000000]];

PROC RAPIDProc()
  MoveL POS1, LinSpeed, actualzone, actualtool;
  MoveL POS2, LinSpeed, actualzone, actualtool;
  MoveL POS3, LinSpeed, actualzone, actualtool;
ENDPROC

PROC haupt()
  RAPIDProc();
ENDPROC
```



### Textuelles Verfahren

- Direkte Geometrieingabe per Tastatur
- Ähnlich NC-Programmierung
- Anweisung ähnlich den höheren Programmiersprachen
- Einfache Änderungen des Programmablaufs

### CAD-gestütztes Verfahren

- Mittels geometrischer Modelle der beteiligten Komponenten
- Datenübernahme aus dem CAD-System
- Interaktive Eingabe der Bewegungsbahnen am Bildschirm
- Grafische PC-übliche Bedienung

# Literatur

---

Wolfgang H. Müller, Ferdinand Ferber: Technische Mechanik für Ingenieure. Fachbuchverlag Leipzig im Carl-Hanser-Verlag, München u. a. 2008

Eberhard Brommundt, Gottfried Sachs, Delf Sachau: Technische Mechanik. Eine Einführung. 4., verbesserte und erweiterte Auflage. Oldenbourg. München u. a. 2007, ISBN 978-3-486-58111-9, S. 47 ff

Dubbel, Heinrich. Dubbel: Taschenbuch für den Maschinenbau. Eds. Wolfgang Beitz, and Karl-Heinz Küttner. Springer-Verlag, 2014

Snyder, Wesley E. "Computergesteuerte Industrieroboter." Robotik. Weinheim etc.: VCH, 1990.

Hesse, S.: Golems Enkel, Urania Verlag Leipzig/Jena/Berlin 1986

Asimov, Isaac, and Moray Powell. Isaac Asimov's book of facts. Grosset & Dunlap, 1979.

Daniel Ichbiah; Roboter, Geschichte, Technik, Entwicklung; München 2005, S. 11

Ktschinski, V.: Vorlesung Robotertechnik, 2008, Technische Universität Berlin

BMW. FORSCHUNG FÜR AUTONOMES FAHREN. 2020

Linnemann. Skript Robotik. Beuth Hochschule für Technik Berlin, 2015