

Einleitung - Was ist ein Roboter?

Unter die Bezeichnung Roboter fallen eine Vielzahl von Maschinen mit unterschiedlicher Ausprägung, Autonomie und Mobilität, was eine Definition des Begriffes Roboter schwierig gestaltet [1]. In dieser Arbeitshilfe wird die Betrachtung daher auf die für den Stahlbau relevante Industrierobotik beschränkt, weshalb der Begriff Roboter hier als Synonym für Industrieroboter Verwendung findet. Vereinfacht ist ein Industrieroboter eine universelle, programmierbare Maschine, welche die Handhabung, Montage und Bearbeitung von Werkstücken ermöglicht, also komplexe Aufgaben und Bewegungsabläufe ausführen kann [1]. Roboter sind unvollständige Maschinen, bestehend aus einer Steuerung und dem Manipulator, einem mehrachsigen, steuerbaren Arm zum Bewegen von Objekten. Der Industrieroboter kann bei Bedarf entsprechend seiner Aufgabe mit Werkzeugen und Sensorik flexibel ausgerüstet und erweitert werden, weshalb er eine Universalmaschine für die Bewegung von Arbeitswerkzeugen oder Materialien innerhalb eines frei konfigurierbaren Arbeitsraumes darstellt [2].

Definition

Industrieroboter werden unter anderem durch die ISO 8373: 2012-03 (zukünftig ISO 8373: 2020-03) definiert. Eine ähnliche Definition findet sich in der ISO 10218 [3, 4].

„Industrieroboter - automatisch gesteuerter, frei programmierbarer Mehrzweckmanipulator, der in drei oder mehr Achsen programmierbar ist und zur Verwendung in der Automatisierungstechnik entweder an einem festen Ort oder beweglich angeordnet sein kann.“

Roboter Typen

Wie in **Abbildung 1** dargestellt ist, lassen sich Industrieroboter in verschiedene Typen gliedern. Zumeist findet die Unterscheidung anhand der Kinematik des Manipulators statt, diese beschreibt die Abfolge rotatorischer und translatorischer Gelenke. Zunächst werden serielle Kinematik und parallele Kinematik unterschieden. Diese kann dann, bezogen auf die Art der Gelenke, unterschiedlich ausgeführt werden: rein rotatorisch, rein translatorisch oder als Hybrid aus rotatorischen und translatorischen Gelenken [1, 3].

Darüber hinaus bilden die Leichtbauroboter eine neue Gruppe von Industrierobotern, die eine kollaborative Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine ermöglichen sollen.

Robotik als offenes Anlagenkonzept

Der Einsatz von Industrierobotern in der Automatisierung unterscheidet sich signifikant von der Verwendung geschlossener Automatisierungssysteme. Den größten Unterschied stellen hierbei der frei definierbare Arbeitsraum und die flexible Werkstückhandhabung dar [5]. Insbesondere in Kombination mit der Erweiterung durch Sensorik und eine adaptive Bahnplanung können höchst anpassungsfähige Automatisierungskonzepte realisiert werden [5]. Der Preis für das deutlich höhere Maß an Flexibilität liegt in einer aufwendigeren und komplexeren Programmierung sowie in einer geringeren Robustheit und Berechenbarkeit des Systems [2, 5].

Zwischen offenen und geschlossenen Automatisierungskonzepten liegt die Abwägung zwischen Flexibilität und Anpassbarkeit auf der einen Seite und Komplexität in Programmierung, Berechnung und Steuerung auf der anderen Seite.

Normen Industrierobotik

Im folgenden werden die für die Industrierobotik wichtigsten Normen nach Themen gruppiert aufgeführt.

Begriffe

- Industrierobotik Wörterbuch - ISO 8373:2012-03
- Industrierobotik Wörterbuch - ISO/DIS 8373:2020-03
- Mobile Roboter Wörterbuch - ISO 19649:2017

Kenngößen

- Industrierobotik Kenngößen - ISO 9283
- Einsatzspezifische Kenngößen - VDI 2861- Blatt 2
- Prüfung der Kenngößen - VDI 2861- Blatt 3
- Darstellung der Kenngößen (Hersteller) - ISO 9946

Koordinatensystem und Kinematik

- Koordinatensystem - ISO 9787
- Kinematische Schemazeichnungen - ISO 3952-1
- Kinematische Schemazeichnungen - ISO 3952-1/A1

Endeffektor

- Mechanische Schnittstelle | Flansch - ISO 9409-1
- Mechanische Schnittstelle | Schaft - ISO 9409-2
- Automatisches Endeffektor-Wechselsystem - ISO 11593

Sicherheit und Gefahrenbeurteilung

- Sicherheit Industrierobotik - DIN EN ISO 10218-1
- Sicherheit Industrierobotik - DIN EN ISO 10218-2
- Maschinensicherheit | Körpermaße - DIN EN 547-1
- Maschinensicherheit | Sicherheitseinrichtung - DIN EN ISO 14120
- Maschinensicherheit | Positionierung - DIN EN ISO 13855
- Gefahrenbeurteilung - DIN ISO/TR 14121-2 | DIN SPEC 33885
- Grundlagen Digitale Fabrik - VDI 4499

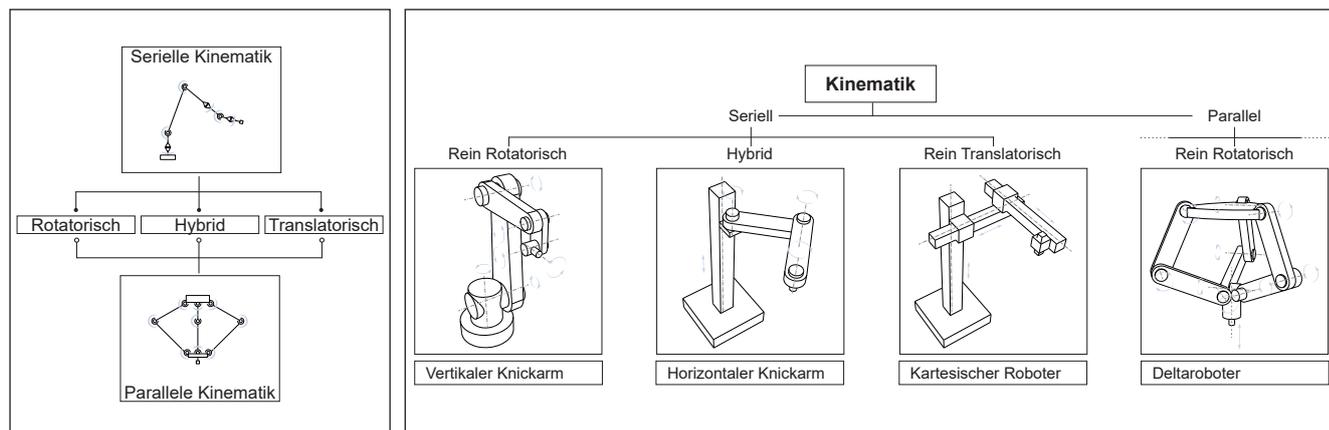


Abbildung 1 Typen von Industrierobotern nach kinematischer Systematik und Terminologie

Terminologie

Die schematische Darstellung in **Abbildung 2** zeigt den grundsätzlichen Aufbau eines Industrierobotersystems und veranschaulicht dessen Terminologie. Im folgenden werden die wichtigsten Begriffe nach ISO 8373 - 2012-03 definiert [3].

Manipulator - Maschine, deren Mechanismus aus einer Folge von Komponenten besteht, die durch Gelenke oder gegeneinander verschieblich verbunden sind, mit dem Zweck, Gegenstände (Werkstücke oder Werkzeuge) zu greifen und/oder zu bewegen, üblicherweise mit mehreren Freiheitsgraden. Sie kann manuell, von einer programmierbaren elektronischen Steuerung oder von einem logischen System (z. B. Nockensteuerung, verdrahtete Logik) gesteuert werden. Sie enthält keinen Endeffektor.

Steuerung - Satz von logischen Steuer- und Leistungsfunktionen, der eine Überwachung und Steuerung der mechanischen Struktur des Roboters sowie die Kommunikation mit weiteren Maschinen (Machine to Machine Interface - MMI) oder mit dem Nutzer (Human Machine Interface HMI) ermöglicht.

Programmierhandgerät - In der Hand gehaltenes Gerät, das mit der Steuerung verbunden ist und mit dem ein Roboter programmiert oder bewegt werden kann.

Endeffektor - Vorrichtung, die speziell zum Anbringen an die mechanische Schnittstelle (Flange) konstruiert ist und mit der der Roboter seine Aufgabe erfüllt. Beispiele sind: Greifer, Schrauber, Schweißbrenner, Spritzpistole.

Roboter - Betätigter Mechanismus, der in mehr als einer Achse mit einem bestimmten Grad an Autonomie programmierbar ist und der sich innerhalb seiner Umgebung bewegt, um vorgegebene Aufgaben auszuführen. Er umfasst die Steuerung und die Kommunikationsschnittstelle.

Industrieroboter - Automatisch gesteuerter, frei programmierbarer Mehrzweck-Manipulator, der in drei oder mehr Achsen programmierbar ist und, zur Verwendung in der Automatisierungstechnik, entweder an einem festen Ort oder beweglich angeordnet sein kann. Er enthält den Manipulator einschließlich dessen Antrieb, sowie die Steuerung einschließlich Programmierhandgerät und Kommunikationsschnittstelle (Hardware und Software). Das schließt alle zusätzlichen Achsen ein, die von der Robotersteuerung gesteuert werden.

Industrierobotersystem - System bestehend aus Industrieroboter(n), Endeffektor(en) aller Maschinen, Einrichtungen, Geräten, externen Hilfsachsen und/oder Sensoren, die den Roboter bei der Ausführung der Aufgabe unterstützen.

TCP / Werkzeugarbeitspunkt - Für eine vorgegebene Anwendung festgelegter Punkt mit Bezug auf das Koordinatensystem der mechanischen Schnittstelle.

Basis - Gestell, auf das der Beginn des ersten Gliedes des Manipulators aufgebaut ist.

Glied - starrer Körper, der eine festgelegte Anordnung zwischen den Gelenken beibehält.

Roboterarm / Arm / Hauptachsen - Baugruppe von miteinander verbundenen Gliedern (3.6) und angetriebenen Gelenken des Manipulators (2.1), die aus länglich gestalteten Gliedern besteht und das Handgelenk (3.3) positioniert.

Roboterhandgelenk / Handgelenk / Nebenachsen - Baugruppe von miteinander verbundenen Gliedern (3.6) und angetriebenen Gelenken des Manipulators (2.1) zwischen dem Arm (3.2) und dem Endeffektor (3.11), die den Endeffektor trägt, positioniert und ausrichtet.

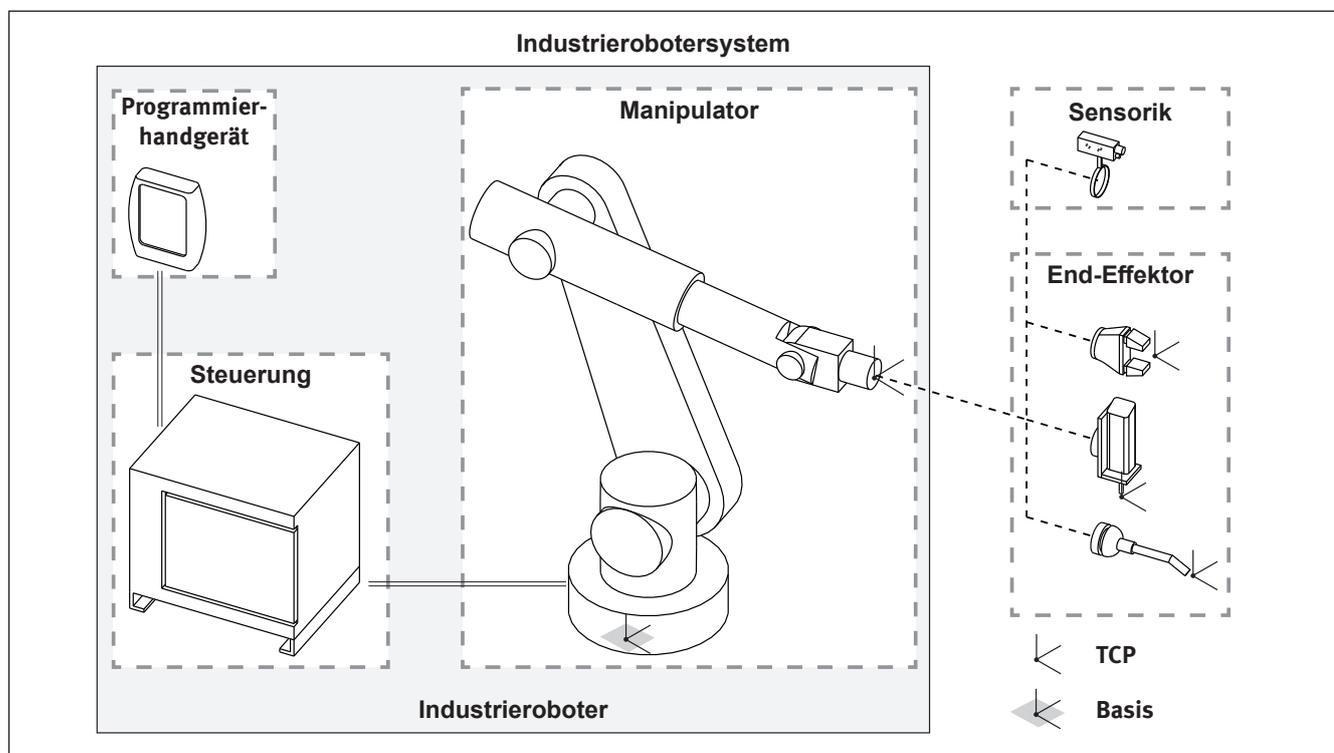


Abbildung 2 Systematik und Terminologie der Industrierobotik nach ISO 8373 - 2012-03

Aufbau und Steuerung des Manipulators

Der Manipulator ist die mechanische Umsetzung des Bewegungssystems Roboter [6]. Angesteuert bewegt und positioniert dieser den Endeffektor im Raum. Der Manipulator besteht aus einer Aneinanderreihung von starren Gliedern, die durch Gelenke oder Achsen verbunden sind [3]. Die Bewegungsmöglichkeiten des Manipulators hängen dabei im wesentlichen von der Konstruktion, d.h. den Abmessungen und den Verhältnissen der Glieder sowie den Typen und der Anordnung der Gelenke ab. **Abbildung 3** zeigt eine typische Benennung der Gelenke am Beispiel vertikaler Knickarmroboter. Die Gelenke werden i.d.R. vom Fuß des Roboters zur mechanischen Schnittstelle hin aufsteigend nummeriert.

Das Grundprinzip der Steuerung eines Roboters folgt einer einfachen Regelung [1]. Aus dem Anwenderprogramm werden Positionsvorgaben entnommen und basierend auf dem kinematischen Modell Achspositionen, bestehend aus Achskoordinaten für jede Achse, abgeleitet. Die abgeleiteten Achskoordinaten bilden den Soll-Wert der Regelung und stehen den aus der internen Sensorik des Roboters ermittelten Achskoordinaten als Ist-Wert gegenüber. Anhand der Differenz zwischen Soll- und Ist-Wert wird nun die Stellgröße für den jeweiligen Prozessschritt ermittelt.

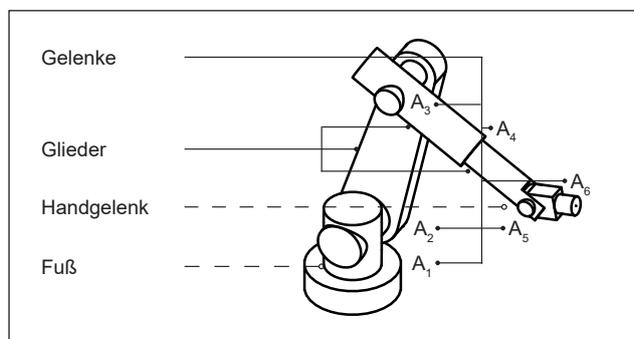


Abbildung 3 Benennung der Gelenke am Beispiel vertikaler Knickarmroboter

Roboterkinematik

Die Kinematik im Allgemeinen ist ein Teil der Mechanik und befasst sich mit der rein geometrischen Bewegung starrer Körper im Raum, sie berücksichtigt also weder Masse noch Kräfte. Die Roboterkinematik befasst sich insbesondere mit der Realisierung und Beschreibung des Roboters als kinematische Kette aus starren, mit Gelenken verbundenen Gliedern [6]. Diese erlauben die Transformation und damit die Übersetzung von Positionen aus verschiedenen Koordinatensystemen für Teile einer mechanischen Verbindung. Im Falle des Manipulators wird zumeist die Beziehung des Basis-Koordinatensystems zum Werkzeug-Koordinatensystem hergestellt [3]. Unterschieden werden Vorwärts- und inverse Kinematik.

Vorwärtskinematik - nach ISO 8373: Mathematische Ermittlung der Beziehung zwischen den Koordinatensystemen zweier Teile einer mechanischen Verbindung auf der Grundlage der Gelenkstellungen dieser Verbindung [3].

Inverse Kinematik - nach ISO 8373: Mathematische Ermittlung der Gelenk-Werte einer mechanischen Verbindung auf Grundlage der Beziehung der Koordinatensysteme zweier Teile dieser Verbindung [3].

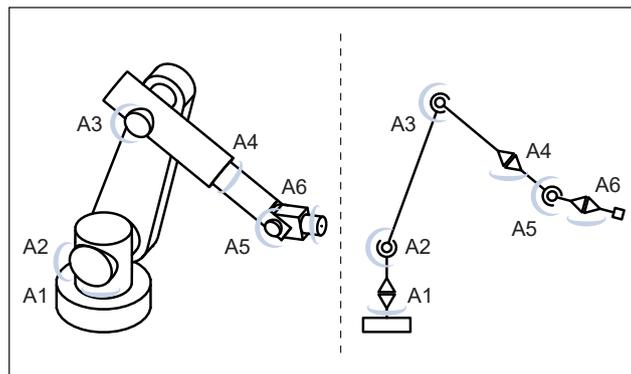


Abbildung 4 Vergleich: Manipulator und Modell der kinematischen Kette

Roboter Programmierung

Die Roboterkinematik bildet nicht nur die Grundlage für die Steuerung, sondern auch für die Programmierung von Industrierobotern. Industrieroboter können auf unterschiedliche Arten und Weisen programmiert werden, die sich jedoch alle in die zwei Übergruppen der Offline- und Online-Programmierung einordnen lassen [1, 5]. Die Online-Programmierung erfolgt hierbei unter Nutzung des Roboters selbst. Typische Vertreter sind Teach-In Verfahren, welche auf dem Abspeichern und Wiederholen manuell über die Steuerung eingegebener Punkte und Bewegungen basieren. Im Gegensatz dazu wird das Anwenderprogramm bei der Offline-Programmierung ohne Nutzung des Roboters mit Hilfe von externen Mitteln erstellt. Gängige Offline-Programmierverfahren sind neben der textuellen Programmierung vor allem CAD-basierte und 3D-Simulationsbasierte Verfahren.

Literatur

- [1] H. Maier, Grundlagen der Robotik, second., überarbeitete und erweiterte Auflage, VDE VERLAG GMBH, Berlin, 2019.
- [2] U. Kuhlmann, Stahlbau-Kalender 2019 - Schwerpunkt: Verbindungen, Digitales Planen und Bauen, Wilhelm Ernst & Sohn Verlag für Architektur und Technische, Newark, 2019.
- [3] Internationale Organisation für Normung, Robots and robotic devices — Vocabulary ICS 01.040.25; 25.040.30, 2012.
- [4] Internationale Organisation für Normung, Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen – Teil 1: Roboter ICS 25.040.30, 2011.
- [5] S.C. Stumm, Interconnecting design knowledge and construction by utilizing adaptability and configurability in robotics mediating digital information from architectural design to construction through parametric design intent based robot programming, 2019.
- [6] J. Mareczek, Grundlagen der Roboter-Manipulatoren – Band 1: Modellbildung von Kinematik und Dynamik, first ed. twentiethtwentieth, 2020.