

Gunther Reinhart / Alejandro Magaña Flores /
Carola Zwicker

INDUSTRIE- ROBOTER

PLANUNG · INTEGRATION ·
TRENDS

Ein Leitfaden für KMU



Ein Fachbuch von

**konstruktions
praxis**

**elektro
technik**

MM
MaschinenMarkt

Gunther Reinhart / Alejandro Magaña Flores / Carola Zwicker

Industrieroboter. Planung · Integration · Trends

Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart / Dipl.-Ing. Alejandro
Magaña Flores / Dipl.-Ing. Carola Zwicker

Industrieroboter

Planung · Integration · Trends

Ein Leitfaden für die KMU

Vogel Communications Group

Dipl.-Ing. ALEJANDRO ERICK MAGAÑA FLORES

Jahrgang 1987

2007–2013 Studium an der Technischen Universität Dresden

2014–2016 KUKA Roboter GmbH

Seit Anfang 2016 Technische Universität München, im Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften zuständig für Industrielle Robotik, Genauigkeitssteigerung von Robotersystemen, Bahnplanung

Prof. Dr.-Ing. GUNTHER REINHART

Jahrgang 1956

Studium Maschinenbau, Schwerpunkt Konstruktion & Entwicklung, Promotion am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb) der TU München

1988–1993 BMW AG, München und Dingolfing

1993–2002 und seit 2007 Lehrstuhl für Betriebswissenschaften und Montagetechnik am iwb

2002–2007 Vorstand für Technik und Markt bei der IWKA AG, Karlsruhe

Vorstandsvorsitzender des Bayerischen Clusters für Mechatronic und Automation e.V.

Seit 2009 Leiter der Fraunhofer IWU Projektgruppe für Ressourceneffiziente Mechatronische Verarbeitungsmaschinen (RMV) in Augsburg

Seit 2016 Geschäftsführender Institutsleiter der Fraunhofer IGCV

Dipl.-Ing. CAROLA ZWICKER

Jahrgang 1986

2006–2009 Hochschule Esslingen

2009–2011 Universität Stuttgart

Seit 2011 an der Technische Universität München, im Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften zuständig für Produktionsplanung und -steuerung

Weitere Informationen:

www.vogel-fachbuch.de



<http://twitter.com/vogelfachbuch>



www.facebook.com/vogel-fachbuch



www.vogel-fachbuch.de/rss/buch.rss_

ISBN 978-3-8343-3401-5

1. Auflage, 2018

Alle Rechte, auch der Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Hiervon sind die in §§ 53, 54 UrhG ausdrücklich genannten Ausnahmefälle nicht berührt.

Copyright 2018 by Vogel Communications Group GmbH & Co. KG, Würzburg

Vorwort

Müssen Sie Ihre Produktion rationalisieren, um dem steigenden Druck des Marktes gerecht zu werden? Verkürzen sich die Nutzungsdauern Ihrer Produkte? Ist Flexibilität ein wichtiges Thema für Ihre Produktion? Würden Sie gerne Ihre Produktion automatisieren und haben noch keine Erfahrung mit Industrierobotern?

Dieses Handbuch für kleine und mittlere Unternehmen bietet Tipps und Tricks zum Thema Robotereinsatz.

Es werden die wichtigsten Grundlagen der Robotertechnik vermittelt und erläutert, wie bewertet werden kann, ob sich ein Produkt oder Prozess automatisieren lässt. Hierbei werden nicht nur technische Merkmale, sondern auch sicherheitsrelevante Punkte und wirtschaftliche Aspekte betrachtet. Neben der Machbarkeit sind die Höhe und das Risiko einer Investition für KMUs wichtige Grundlagen für eine Entscheidung.

Wie kann der Roboter sinnvoll in die Produktion integriert werden? Was muss bei der Planung beachtet werden? Dieses Buch stellt die einzelnen Planungsschritte detailliert vor. Hierbei wird nicht nur auf Neuplanungen, sondern auch auf Umplanungen eingegangen. Die einzelnen Schritte werden anhand von Beispielen erläutert. Im Internet werden in unserem Onlineservice **InfoClick** passend zu den wichtigsten Schritten Checklisten und Vorlagen für die einzelnen Schritte bereitgestellt.

Wir möchten uns hiermit ganz herzlich bei den Kollegen Fabian Distel, Till Günther, Veit Hammerstingl und Anna Kollenda bedanken, die uns bei der Erstellung des Buches durch ihre wertvollen Kommentare und fachlichen Diskussionen unterstützt haben.

München

Alejandro Erick Magaña Flores
Carola Zwicker



Der **Onlineservice InfoClick** bietet unter <https://www.vbm-fachbuch.de/infoclick/> nach Codeeingabe zusätzliche Informationen und Aktualisierungen zu diesem Buch.

InfoClick

In 2 Schritten zum Onlineservice

1. Einfach <https://www.vbm-fachbuch.de/infoclick/> aufrufen.
2. Den unten stehenden Zugangscode in die Suchleiste eingeben und bestätigen.

Sofern Aktualisierungen oder Zusatzinformationen zu Ihrem Buch bereitstehen, werden diese anschließend unterhalb der Eingabemaske aufgeführt.

Ihr persönlicher Zugang
zum Onlineservice



340104990001

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Einleitung	11
2 Grundlagen der industriellen Robotik	15
2.1 Geschichtliche Entwicklung	15
2.2 Aufbau und Definition	17
2.3 Kinematiken	18
2.4 Kenngrößen	20
2.5 Einsatzgebiete	22
2.5.1 Handhaben	22
2.5.2 Schweißen	23
2.5.3 Montieren	24
2.5.4 Auftragen	26
2.5.5 Bearbeiten	26
2.6 Roboterperipherie	27
2.6.1 Endeffektoren und anwendungsbedingte Peripheriekomponenten	27
2.6.2 Messtechnik und Sensoren	30
2.6.3 Materialflusssysteme	30
2.6.4 Steuerung	33
2.6.5 Sicherheitstechnik	33
3 Technische Machbarkeit	37
3.1 Gründe für und gegen den Einsatz von Industrierobotern	37
3.2 Bewertungskriterien für Robotersysteme	39
3.3 Rechtliche und normative Rahmenbedingungen	41
3.3.1 Sicherheitsanforderungen in einzelnen Lebensphasen des Roboters	43
3.3.2 Gesetzliche Regelungen	45
3.3.3 Risikoanalyse	50
3.4 Automatisierungsgerechte Produktgestaltung	51
3.4.1 Handhabbarkeit	54
3.4.2 Greifbarkeit	57
3.4.3 Positionierbarkeit	59
3.4.4 Erkenn- und Sortierbarkeit	64
3.4.5 Wirtschaftlichkeit	64
3.5 Bewertung der Automatisierbarkeit	65
3.6 Vergleich von Robotersystemen	75
3.6.1 Bestimmung der Vorgabezeiten	77
3.6.2 Primär-Sekundär-Analyse	80
3.6.3 Nutzwertanalyse	83
4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	87
4.1 Begriffsdefinitionen	87
4.2 Investitions- und Kostenrechnungsverfahren	88

4.2.1	Statische und dynamische Amortisationszeit	91
4.2.2	Berechnung des Maschinenstundensatzes	93
4.2.3	Weitere dynamische Berechnungsverfahren	96
4.3	Wirtschaftlicher Automatisierungsgrad und Grenzstückzahl	97
4.4	Lebenszykluskostenrechnung	98
4.5	Kostenarten bei Robotern	101
4.5.1	Anschaffungskosten	101
4.5.2	Betriebskosten	104
4.5.3	Verwertungskosten	106
4.6	Kalkulation mit Unsicherheiten	107
4.7	Bewertung der Wirtschaftlichkeit an einem Beispiel	111
5	Konzeption und Planung	115
5.1	Konzeption	116
5.1.1	Lastenheft und Pflichtenheft	116
5.1.2	Zielkriterien	118
5.2	Ablaufplanung	120
5.2.1	Montagevorranggraph	120
5.2.2	Bestimmung der Vorgabezeiten am Beispiel	122
5.2.3	Bewertung der Automatisierbarkeit am Beispiel	122
5.3	Montagesystementwurf	123
5.3.1	Greiferauswahl	123
5.3.2	RoboterAuswahl	125
5.3.3	Erstellung von Layouts	128
5.3.4	Bewertung von Layoutvarianten	131
5.3.5	Feinlayout	132
5.3.6	Rechnergestützter Entwurf	133
6	Integration	137
6.1	Komponenten eines Industrierobotersystems	137
6.1.1	Robotersteuerung	138
6.1.2	Programmierhandgerät	138
6.1.3	Endeffektor und externe Peripherie	139
6.1.4	Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)	139
6.1.5	Integration des Roboters im Produktionsprozess	140
6.2	Roboterprogrammierung	142
6.2.1	Pose: Position plus Orientierung	143
6.2.2	Koordinatensysteme	144
6.2.3	Bewegungsarten	147
6.2.4	Bewegungssteuerung	148
6.2.5	Betriebsarten	149
6.3	Programmierverfahren	149
6.3.1	Online-Programmierung	149
6.3.2	Offline-Programmierung	150
6.4	Inbetriebnahme	152
6.4.1	Vorgehensmodelle zur modellgetriebenen Softwareentwicklung	154
6.4.2	Virtuelle Inbetriebnahme	157

7 Trends	161
7.1 Kooperierende Industrieroboter	161
7.2 Mensch-Roboter-Kooperation	162
7.3 Telepräsenzsysteme	164
7.4 Mobile Robotik	165
7.5 Beispiele neuer Anwendungsgebiete	166
7.5.1 Schwerlast-Industrieroboter	166
7.5.2 Roboterbasierte Messsysteme	167
7.6 Roboterprogrammierung	167
7.6.1 Augmented Reality	167
7.6.2 Herstellerunabhängige Steuerung und Programmierung von Robotersystemen	168
7.7 Forschungsprojekte	169
7.7.1 SMERobotics	170
7.7.2 ReApp	170
7.7.3 KUKoMo	170
7.8 Zukunft der Robotik	171
 Abkürzungen	 173
 Formelzeichen	 175
 Institutsprofil	 179
 Quellenverzeichnis	 183
 Stichwortverzeichnis	 189



SIEMENS

Ingenuity for life

SIMATIC IOT2020

Ihr Vorsprung in der Bildung

Mit dem IOT2020 bietet Siemens eine Lösung für Open-Source-Anwendungen für Lehrende und Lernende im Bildungssektor an. SIMATIC IOT2020 ermöglicht Auszubildenden und Studierenden praxisnahe Erfahrungen mit Hochsprachenprogrammierung bis hin zu anspruchsvollen Projekten zu sammeln.

SIEMENS

Global Industry
Partner of
WorldSkills
International

worldskills



[siemens.de/sce/iot2020](https://www.siemens.de/sce/iot2020)

1 Einleitung

Aktuelle Trends der Produktionstechnik wie verkürzte Produktlebenszyklen, kundenindividuelle Produkte, volatile Marktentwicklung und der steigende Rationalisierungsdruck führen zu einem wachsenden Bedarf an flexiblen und wandlungsfähigen Produktionsanlagen. Die notwendige Anpassungsfähigkeit erfordert ein großes Rekonfigurationsvermögen der Anlagen. Die Entwicklung anpassungsfähiger Anlagen zählt zu den größten Herausforderungen der zukünftigen Produktion. Industrieroboter haben sich aufgrund ihrer Flexibilität als eine Schlüsseltechnologie in verschiedensten Bereichen entlang der Produktionskette bewiesen. So werden Industrieroboter zum Beispiel für verschiedene Fertigungs-, Montage- und Logistikprozesse eingesetzt. Die aktuelle Entwicklung in der Produktion belegt, dass Industrieroboter immer mehr etablierte Technologien in vielen dieser Prozesse ersetzen können. Ein wesentlicher Grund hierfür besteht nicht nur in der inhärenten Flexibilität dieser Systeme, sondern in ihrer höheren Wirtschaftlichkeit. Nicht umsonst haben neben großen Unternehmen, z. B. Automobilherstellern, auch kleine und mittlere Unternehmen (KMU) angefangen, Industrieroboter in ihre Produktionsprozesse einzubeziehen. Dieser allgemeine Trend spiegelt sich auch in einer aktuellen Prognose des International Federation of Robotics (IFR) zum Robotereinsatz (Bild 1.1) wider, die einen weltweiten Produktionszuwachs von über 60 Prozent (bezogen auf das Jahr 2016) bis zum Jahr 2019 vorhersagt [1.1].

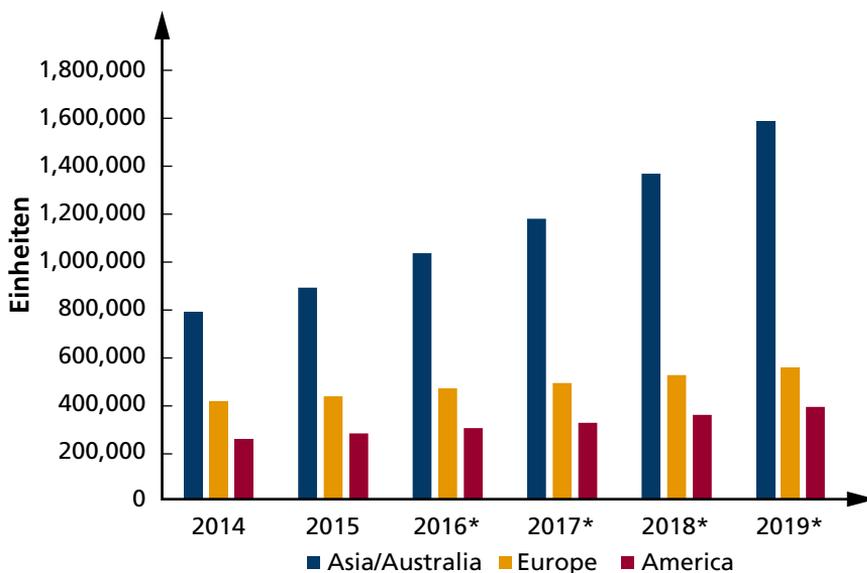


Bild 1.1 Weltweit eingesetzte Roboter (Prognose 2016 bis 2019) [1.1]

Im Zuge der schnellen Weiterentwicklung von Robotersystemen im letzten Jahrzehnt konnte auch die Automatisierbarkeit von vielen Fertigungsprozessen gesteigert werden. Besonders in der Automobilindustrie finden Robotersysteme aufgrund ihrer Schnelligkeit und Genauigkeit häufig Verwendung. Industrieroboter werden bei diversen Fertigungsprozessen entlang der Produktionskette eingesetzt, angefangen im Presswerk bei der Handhabung von Blechteilen über den Karosseriebau in Form von Schweißrobotern und der Montage zur Unterstützung von Verschraubungsaufgaben sowie der Lackiererei bis hin zur Qualitätssicherung durch roboterbasierte

Karosserievermessung. Diese Tendenz spiegelt sich auch in den Statistiken der Automobilindustrie wider: In Deutschland wurde im Jahr 2015 in der Produktion etwa zehn Roboter pro 100 Mitarbeiter eingesetzt. Genaue Zahlen für Deutschland und weitere europäische Länder können aus Bild 1.2 entnommen werden.

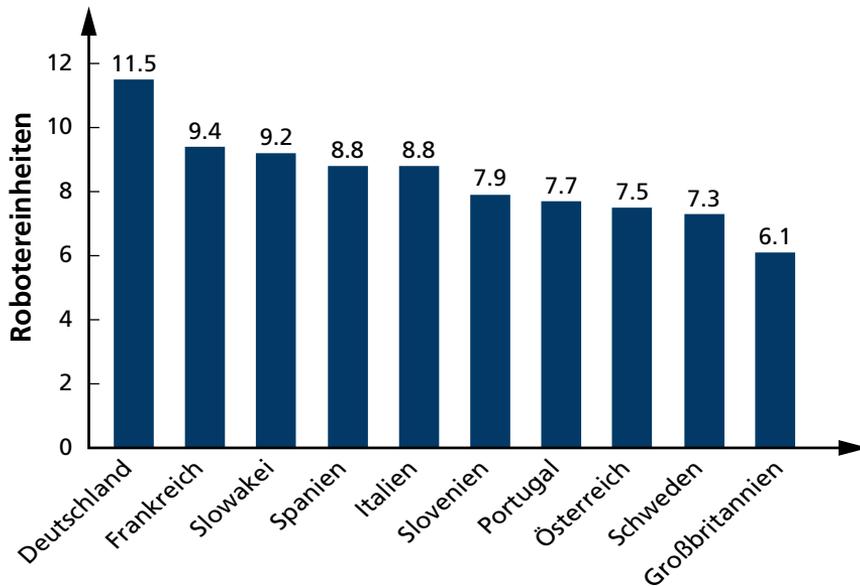


Bild 1.2 Einsatz von Robotern pro 100 Mitarbeiter in der automobilen Industrie [1.2]

Ihr breitgefächerter und häufiger Einsatz hat Robotersysteme zu einer gereiften Technologie entwickeln lassen. Jedoch werden sie heute i.d.R. in der Großserie zur Ausführung repetitiver Aufgaben eingesetzt. Industrieroboter haben aber aufgrund ihrer Flexibilität mehr zu bieten: Besonders bei der Fertigung von kundenindividuellen Produkten kann von dieser Eigenschaft der Industrieroboter profitiert werden, um auf Änderungen der Fertigungsaufgabe zu reagieren. Diese Marktnische sprechen besonders KMUs an, die sich häufig auf die Fertigung von Produkten mit kleinen Losgrößen bis hin zur Losgröße Eins spezialisieren. Auch bei sich ändernden Produktionsmengen weisen von Robotersystemen ausgeführte Produktionsprozesse eine große Skalierbarkeit auf, beispielsweise können Vorarbeiten zur Integration des ersten Robotersystems auf neue Robotersysteme mit überschaubarem Aufwand übertragen werden. Dies sehen viele Anwender als einen der großen Vorteile von Robotersystemen an.

Ein weiterer Vorteil von Robotersystemen liegt in den relativ geringeren Anschaffungskosten – verglichen zu anderen Fertigungssystemen. Die Senkung der Herstellungskosten für elektronische Komponenten führte in den letzten Jahren dazu, dass zum einen Robotersysteme kostengünstiger geworden sind, und zum anderen, dass diese mit zahlreichen Sensoren ausgestattet werden. Die Preisentwicklung von Robotersystemen wird in Bild 1.3 dargestellt [1.3]. Ebenso können alte Robotersysteme aufgerüstet werden, um so langfristig ihren Einsatz zu gewährleisten, ohne Investitionen in neue Robotersysteme zu tätigen. Zusätzlich hat die Senkung der Elektronikpreise dazu geführt, dass Robotersysteme mit neu entwickelten Fähigkeiten entstanden sind, wie z. B. optische Systeme zur Objekterkennung oder Vermessung von Bauteilen. [1.4]. Die daraus entstandenen Chancen haben bereits zahlreiche KMUs genutzt, um neue Fertigungsverfahren und Applikationen mittels Robotersystemen zu erproben.

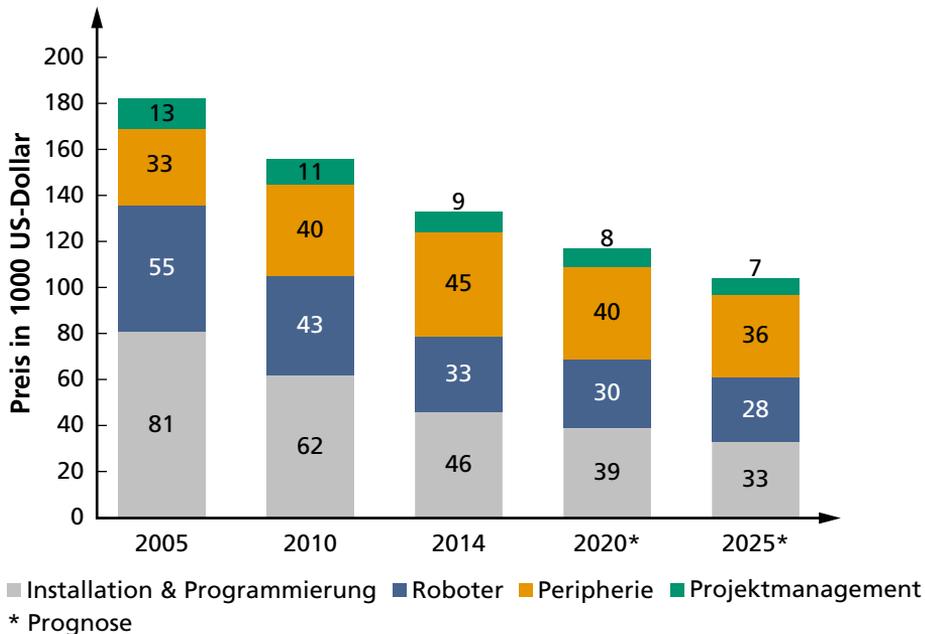


Bild 1.3 Preisentwicklung von Robotersystemen [1.3]

Motivation des Buches

Heutzutage stellen sich KMUs immer häufiger die Frage, ob sie ein Robotersystem in ihrer Produktion einsetzen sollten. In vielen Fällen wurden bereits Produktionsprozesse identifiziert, die potenziell durch einen Industrieroboter automatisiert werden könnten. Einen Roboter in die Produktion einzubinden ist jedoch eine komplexe Aufgabe und setzt nicht nur Kenntnisse über den Produktionsprozess und den Roboter voraus, sondern auch über alle Schritte, die für die Auslegung, Planung und Integration eines Robotersystems notwendig sind. Dieses Buch soll dem Leser die Grundlagen zum Verständnis eines Industrierobotersystems sowie einen Überblick über die Schritte von der Konzeption bis zur Integration vermitteln.

Buchaufbau

Industrieroboter gelten als komplexe mechatronische Systeme, die Kenntnisse aus einem breiten interdisziplinären Bereich erfordern. In Kapitel 2 werden der Aufbau, die Klassifizierung sowie die Komponenten eines Industrieroboters aufgeführt. Oft verwendete, mit Robotik assoziierte Begriffe werden hierin näher erläutert. Darüber hinaus wird auf die unterschiedlichen Anwendungen und Peripheriegeräte eingegangen.

In Kapitel 3 werden sicherheitsrelevante Themen im Umgang mit dem Roboter diskutiert. Des Weiteren werden die Schritte zur Ausführung einer technischen Machbarkeitsanalyse für Fertigungsprozesse mittels Industrieroboter dargelegt. Hierdurch ist der Leser in der Lage, eine Analyse in seinem konkreten Fall durchzuführen.

Vor der Entscheidung, einen Roboter einzusetzen, stellt sich für viele Anwender die Frage: Ist der Industrieroboter in meinem Fall überhaupt rentabel? Dieser Aspekt wird in Kapitel 4

beleuchtet. Die eingeführten Methoden sollen den Leser befähigen, eine Wirtschaftlichkeitsanalyse durchzuführen, um die Rentabilität eines Industrieroboters zu evaluieren.

Die Planungsschritte für die Automatisierung eines Fertigungsprozesse durch einen Industrieroboter werden in Kapitel 5 erklärt. Zusätzlich werden hier Methoden zur Roboterkomponenten- und Layoutauswahl erörtert.

Nach der Definition eines Layouts werden in Kapitel 6 die technischen Aspekte der Integration des Roboters bezüglich seiner Programmierung und Inbetriebnahme näher beleuchtet. Zum besseren Verständnis werden die Schritte anhand von Beispielen aus der Praxis illustriert.

Das Buch schließt mit Kapitel 7 über die aktuellen Trends der Robotik im industriellen Umfeld.

2 Grundlagen der industriellen Robotik

Der Industrieroboter (IR) ist aus der heutigen Produktion kaum noch wegzudenken. Die Eigenschaften der IR, deren Peripheriegeräte und Anwendungsbereiche sind vielfältig. Eine Klassifizierung der Robotertypen hilft bei der Auswahl eines geeigneten Roboters für eine Anwendung. Diese erfolgt hauptsächlich anhand des mechanischen Aufbaus des Roboters (Kinematik). Eine alternative Art der Klassifizierung ist die Einteilung der Roboter in Traglastklassen. Neben dem IR gibt es eine Vielzahl an Peripheriegeräten, die für die jeweilige Anwendung wichtig sind. Auch die benötigte Steuerungsarchitektur wird von der Art der Anwendung beeinflusst.

In den folgenden Abschnitten wird nach einer Übersicht über die Geschichte und das Wachstum der IR auf den mechanischen Aufbau des Roboters, dessen Eigenschaften, die unterschiedlichen Einsatzgebiete sowie die wichtigsten Peripheriegeräte eingegangen. Besondere Aufmerksamkeit gilt darüber hinaus der Definition der unterschiedlichen Begrifflichkeiten, die im Zusammenhang mit Robotersystemen verwendet werden.

2.1 Geschichtliche Entwicklung

DEFINITION

Der Begriff Roboter kommt aus der tschechischen, slowakischen und polnischen Sprache. Das Wort «Robota» bedeutet so viel wie «arbeiten» und ist abgeleitet von «Sklave» oder «Diener». Verwendet wurde der Begriff das erste Mal im Drama «Rossum's Universal-Robots» des tschechischen Schriftstellers KAREL ČAPEK im Jahr 1922. Das Drama handelt von einer Firma, die menschenähnliche Maschinen – Roboter – fertigt, um die Arbeit zu erleichtern. Diese «Roboter» versklaven im späteren Verlauf die Menschheit. [2.4]



1954 patentierte GEORGE DEVOL den ersten programmierbaren Roboter. Zusammen mit JOSEPH ENGELBERGER gründete er die erste Firma zur Herstellung von Robotern namens Unimation Inc. Der erste Unimate-Roboter wurde 1961 an General Motors verkauft, wo er zur Bedienung von Druckgussmaschinen verwendet wurde. In den 1970er-Jahren wurden neue Roboterkonzepte hinsichtlich Steuerung und Kinematik entwickelt, unter anderem der erste mikroprozessorgesteuerte, elektrisch angetriebene Roboter. Die ersten Roboter wurden hauptsächlich zur Materialhandhabung und zum Schweißen eingesetzt. Nach und nach kamen weitere Anwendungsgebiete hinzu. Die steigende Komplexität der Prozesse erforderte dabei stetige Weiterentwicklungen im Bereich der Steuerung und Programmierung, aber auch im mechanischen Aufbau der Roboter. [2.4]

Seit den späten 1980er-Jahren werden Daten zum Bestand und zu Verkaufszahlen von Robotern erhoben. Die «International Federation of Robotics» sammelt und veröffentlicht diese Daten jährlich. In der Statistik wird zwischen den Bereichen industrielle Robotik und Servicerobotik unterschieden. Im Rahmen dieses Kapitels soll vor allem auf die Entwicklung im ersten Bereich eingegangen werden; die Servicerobotik wird in diesem Buch nicht beleuchtet.

Bild 2.1 zeigt die Entwicklung der weltweit verkauften Roboter von 1995 bis 2014. Es ist zu erkennen, dass – bis auf kleinere Schwankungen, z. B. in der Wirtschaftskrise 2009 – die Zahl der Verkäufe jährlich steigt. Besonders auffallend ist dieser Trend in den letzten fünf Jahren. 2014 wurden weltweit fast doppelt so viele Roboter verkauft wie noch in 2010. Grund hierfür ist der anhaltende Trend zur Automatisierung und die fortschreitende technische Verbesserung der Roboter. [2.9]

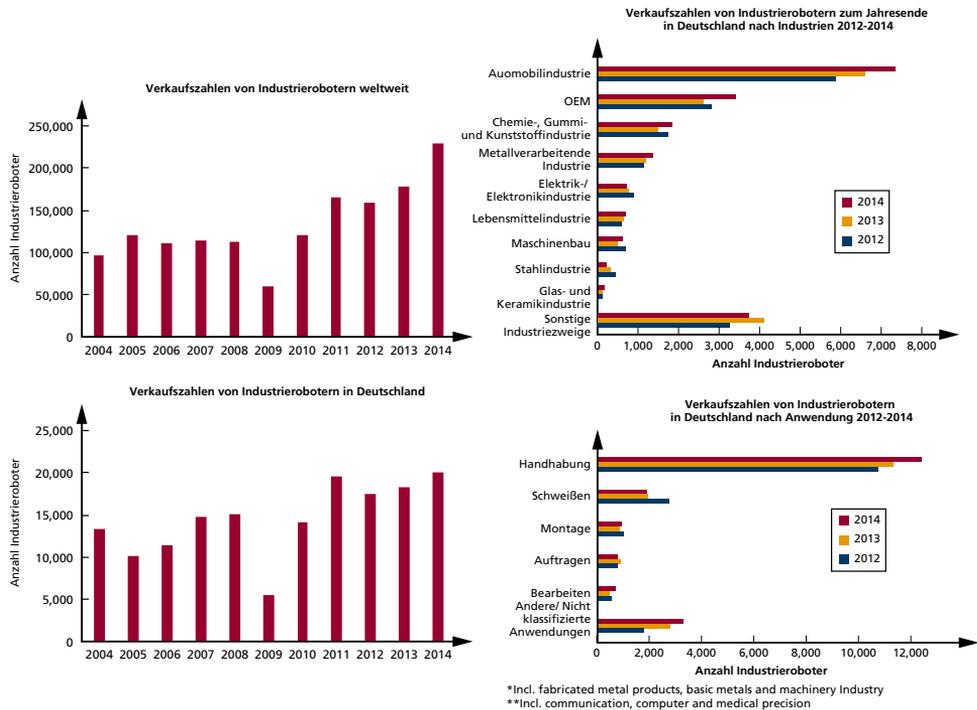


Bild 2.1 Verkaufszahlen von IR von 1995 bis 2014 weltweit (links oben), Verkaufszahlen von IR von 2002 bis 2014 in Deutschland (links unten), Verkaufszahlen von IR nach Industrien in Deutschland von 2012 bis 2014 (rechts oben), Verkaufszahlen von IR nach Industrien weltweit von 2012 bis 2014 (rechts unten) [2.9]

Deutschland ist nach China, Japan, den Vereinigten Staaten und Korea der fünftgrößte Robotermarkt weltweit. 2014 stiegen die Verkaufszahlen in Deutschland um ca. 10% auf 20 100 Roboter. Dies ist vor allem der Automobilindustrie zuzuschreiben. Hier wurden nicht nur neue Fertigungskapazitäten geschaffen, sondern auch ältere Anlagen modernisiert und automatisiert. Der Bereich der Batterieproduktion für Elektrofahrzeuge sticht 2014 besonders hervor. Ein weiterer wichtiger Bereich für das Wachstum ist die Elektronikindustrie. Weltweit wurden in 2014 ca. 48 400 Roboter in diesen Industriezweig verkauft, ca. 34% mehr als 2013. Zusammen umfassen sie ca. 64% der verkauften Roboter in 2014. [2.9]

Generell wird die Zahl der Roboter in den nächsten Jahren noch weiter steigen. Gründe hierfür sind gemäß der International Federation of Robotics:

- die Weiterentwicklung der Sicherheitstechnik für die **Mensch-Roboter-Kooperation** (MRK),
- die fortschreitende Vereinfachung der Bedienung von Robotersystemen,
- die aufgrund der Globalisierung notwendige Modernisierung der Produktionsstätten,
- wachsende Märkte, sowohl für neue Produkte als auch für den Roboter an sich, und
- die anhaltende Verkürzung der Produktlebenszyklen und der somit steigende Bedarf an Flexibilität [2.9].

Aufgrund der fortdauernden technologischen Weiterentwicklung im Bereich der Industrierobotertechnik werden sich auch neue Anwendungsbereiche eröffnen. Aktuell werden ca. 74%

aller IR für die Tätigkeiten Handhaben (u.a. Kommissionierung und Maschinenbestückung) und Schweißen eingesetzt. In der Montage werden aktuell ca. 11% aller IR verwendet. Der letztgenannte Bereich wird in Zukunft weiter wachsen. [2.9] Weitere Trends im Bereich der Robotik werden in Kapitel 7 vorgestellt.

2.2 Aufbau und Definition

Im Folgenden soll der IR genauer beschrieben werden. Darüber hinaus wird auf die unterschiedlichen Klassifizierungen von IR eingegangen. Schließlich werden die Kenngrößen, die bei der Wahl des richtigen Industrieroboters eine Rolle spielen, vorgestellt.

DEFINITION

Ein Industrieroboter ist gemäß DIN EN ISO 10 218-1 ein «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». [2.2]



Jeder Roboter hat eine gewisse Anzahl an Freiheitsgraden. Diese geben an, wie viele voneinander unabhängige, angetriebene Bewegungen ein Werkstück oder Werkzeug, das am Roboter angebracht ist, gegenüber einem festen Koordinatensystem ausführen kann. [2.12]

1. Hand
 2. Arm
 3. Schwinge
 4. Karussell
 5. Grundgestell
 6. Gewichtsausgleich
 7. Elemente der Kraftübertragung (nicht abgebildet)
- A1-A6 Roboterachsen

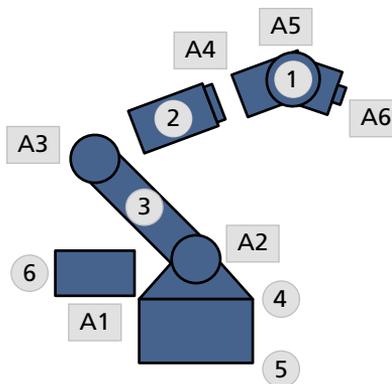


Bild 2.2 Aufbau eines IR

Bild 2.2 zeigt einen Sechssachs-Knickarmroboter und seine Bestandteile. Die Achsen, die hauptsächlich zur Positionierung des Roboterflansches dienen, d.h. zur Bewegung im Raum, werden als Hauptachsen bezeichnet (2, 3, 4). Die Achsen, die überwiegend zur Orientierung des Roboterflansches verwendet werden, d.h. zur Drehung im Raum, heißen Nebenachsen oder Handgelenksachsen (1). Das Ende des Roboterarms wird als Roboterflansch oder **Tool-Center-Point (TCP)** bezeichnet. An diesem Punkt wird das Werkzeug oder das Werkstück angebracht.

Neben dem Roboterarm an sich gehören zum gesamten Robotersystem noch weitere Komponenten, die teils anwendungsspezifisch sind. Wichtige Bestandteile in jedem System

sind die Steuerung sowie die Sicherheitstechnik. Beim Handhaben werden hauptsächlich Greifer und Zuführeinrichtungen als Peripheriegeräte benötigt. Beim Schweißen kommen neben der Schweißzange unter Umständen auch noch Reinigungsgeräte, Spannmechanismen und Transformatoren zum Einsatz. Auf die genauen Bestandteile eines Robotersystems und deren Eigenschaften wird in den Kapiteln 2.4 und 2.6 eingegangen.

Industrieroboter lassen sich einerseits nach ihrer Anwendung klassifizieren. So gibt es spezielle Roboter für die Montage, das Schweißen, das Palettieren und andere Aufgabenstellungen. Andererseits werden Roboter anhand ihrer Kinematik und den daraus resultierenden Kenngrößen klassifiziert. Da diese Daten für die Auswahl des Roboters ausschlaggebend sind, wird diese Art der Klassifizierung am häufigsten verwendet.

2.3 Kinematiken

Die Kinematik bestimmt den Arbeitsraum des Roboters. Dieser kann z. B. quaderförmig, zylindrisch oder (hohl-)kugelförmig sein. Die Hauptarten sind Portal-, SCARA-, Knickarm- sowie Parallelroboter (Bild 2.3). Die einzelnen Roboter-Kinematiken werden im Folgenden näher erläutert. Die Klassifizierung nach Kenngrößen wird im darauffolgenden Abschnitt näher erläutert.

Roboterkinematiken lassen sich anhand der Bewegungsform sowie der Anordnung und Anzahl der Achsen klassifizieren. Aus diesen drei Kriterien ergibt sich die Form des Arbeitsraumes.

Portalroboter bestehen aus drei translatorischen Achsen. Jede Achse ist für eine Koordinatenrichtung verantwortlich. Der Portalroboter kann als Linienportalroboter, bestehend aus drei aneinandergereihten Achsen, oder als Flächenportalroboter, wie in Bild 2.3 links dargestellt, ausgeführt werden. Der Flächenportalroboter hat den Vorteil, dass er etwas höhere Belastungen aufnehmen kann als der Linienportalroboter, da die Last auf mehreren, parallelen Achsen aufgeteilt wird. Dadurch wird er häufig zum Palettieren, Bestücken und Kommissionieren schwerer Bauteile, aber auch zur Montage größerer Baugruppen verwendet. [2.6]

Da der Roboter für jede Koordinatenrichtung eine definierte Achse besitzt, sind sowohl seine Kinematik als auch seine Steuerung und Bedienung relativ einfach. Eine Koordinatentransformation, d.h. eine Umrechnung der Achsstellungen in Raumkoordinaten, (siehe Kapitel 6) ist hier

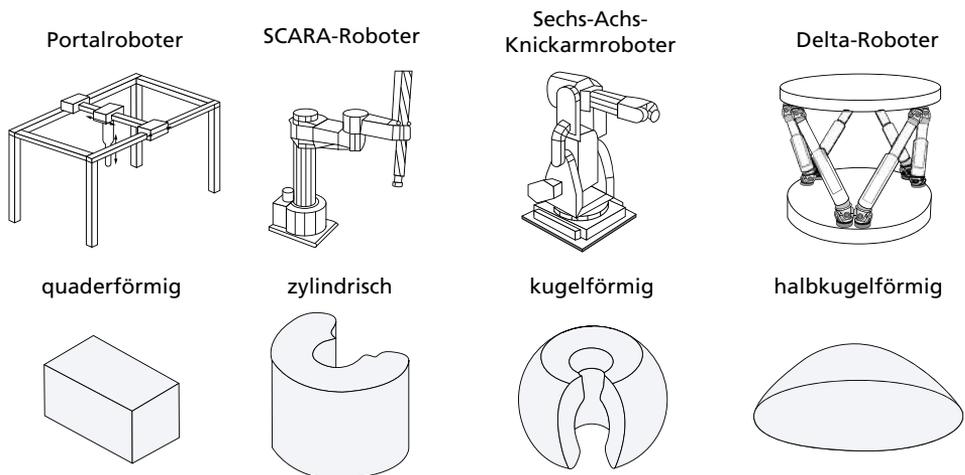


Bild 2.3 Roboterkinematiken und deren Arbeitsraum [2.8]

im Vergleich zu anderen Roboterarten nicht nötig. Für Portalroboter gilt, dass der Arbeitsraum quaderförmig ist und nicht über die Roboterabmessungen hinausgeht. Für die großen Arbeitsräume, die diese Roboter häufig abdecken, ist eine große Stellfläche nötig. Die hohen bewegten Massen der Achsen und Bauteile führen dazu, dass diese Roboter eine vergleichsweise niedrige Arbeitsgeschwindigkeit aufweisen.

Der SCARA-Roboter (*Selective Compliance Assembly Robot Arm*) besteht aus zwei parallelen Drehgelenken. An diese schließt eine translatorische Achse an. Durch diese drei Achsen wird ein zylindereförmiger Arbeitsraum beschrieben. Diese Art der Roboterkinematik wird vor allem zum Fügen, Einpressen, Bestücken und für Pick&Place-Anwendungen eingesetzt.

Die Masse des Roboters wirkt sich durch den Aufbau nicht belastend auf die Antriebe aus. Somit können kleinere Antriebe verwendet werden. Darüber hinaus sind relativ hohe Geschwindigkeiten möglich und das System verfügt über eine hohe Steifigkeit in vertikaler Richtung. Die Verwendung beschränkt sich jedoch auf geringe bewegte Massen und vier Freiheitsgrade. In horizontaler Richtung ist diese Robotervariante sehr nachgiebig. [2.6]

Der Knickarmroboter besteht im Gegensatz zum Portalroboter ausschließlich aus rotatorischen Achsen. Der heute am weitesten verbreitete Knickarmroboter hat sechs rotatorische Achsen (Sechssachs-Knickarmroboter). Der Arbeitsraum, der von diesem Roboter aufgespannt wird, ist hohlkugelförmig. Die Anwendungsgebiete sind vielfältig: Vom Schweißen über das Palettieren und das Montieren werden diese Roboter in vielen Anwendungen eingesetzt.

Diese Roboterart besitzt ein geringes Störvolumen, d.h. der Raum, der vom Roboter an sich eingenommen wird. Die benötigte Stellfläche ist im Vergleich zum vorhandenen Arbeitsraum sehr gering. Der Sechssachs-Knickarmroboter ist aufgrund seiner Eigenschaften und Bewegungsfreiheit universell einsetzbar und kann durch seinen Aufbau Hindernisse gut umfahren. Aufgrund der Aneinanderreihung der sechs Achsen sind die Antriebe durch die Masse der Roboterkomponenten hohen Belastungen ausgesetzt. Diese machen in manchen Fällen einen zusätzlichen Massenausgleich erforderlich. Des Weiteren wird hierdurch die Positioniergenauigkeit negativ beeinflusst, weshalb der Leichtbau bei Knickarmrobotern von großer Bedeutung ist. Da die einzelnen Achsen nicht direkt mit den Raumachsen übereinstimmen, ist eine aufwendige Koordinatentransformation (siehe Kapitel 6) erforderlich. [2.6]

Der Sechssachs-Knickarmroboter wird auch als Universalroboter bezeichnet. Für manche Aufgaben sind kleine Anpassungen notwendig, um für diese besser geeignet, aber dennoch für eine spätere Anwendung universell zu sein. So kann z. B. beim Palettier-Roboter eine Zwangskopplung, d.h. eine feste Verbindung, zwischen Achse 2 und 3 sowie zwischen Achse 3 und 5 als Versteifung eingesetzt werden. Diese erhöht auch die Genauigkeit und die Traglast des Roboters.

Als Letztes wird der Delta-Roboter vorgestellt. Die Eigenart dieses Robotertyps ist, dass alle, in der Regel drei bis sechs, Antriebe aus einer Richtung und parallel zueinander wirken. Deshalb spricht man auch von einer Parallelkinematik. Der Flansch für den Endeffektor sollte leicht ausgeführt sein, damit nur eine geringe Masse bewegt werden muss. Hierdurch sind hohe Beschleunigungen möglich. Verwendung finden diese Roboter für Füge- und Trennaufgaben in der Kleinteilmontage sowie in Pick&Place-Anwendungen.

Durch die Anbringung aller Antriebe auf einem Gestell ist der Roboter sehr steif. Die bewegten Massen sind sehr gering und es kommen viele Gleichteile zum Einsatz. Diese Roboterart arbeitet sehr genau, jedoch in einem sehr kleinen Arbeitsraum. Die Stellfläche im Vergleich zum Arbeitsraum ist sehr groß und es kann zu Kollisionen von Bauteilen mit den Roboterkomponenten kommen. Darüber hinaus gibt es zusätzliche Singularitäten im Arbeitsraum. Eine Singularität entsteht z. B. dann, wenn zwei Rotationsachsen in einer Linie verlaufen und dadurch beide Achsen zum Erreichen einer Position gleichmäßig bewegt werden können. [2.6]