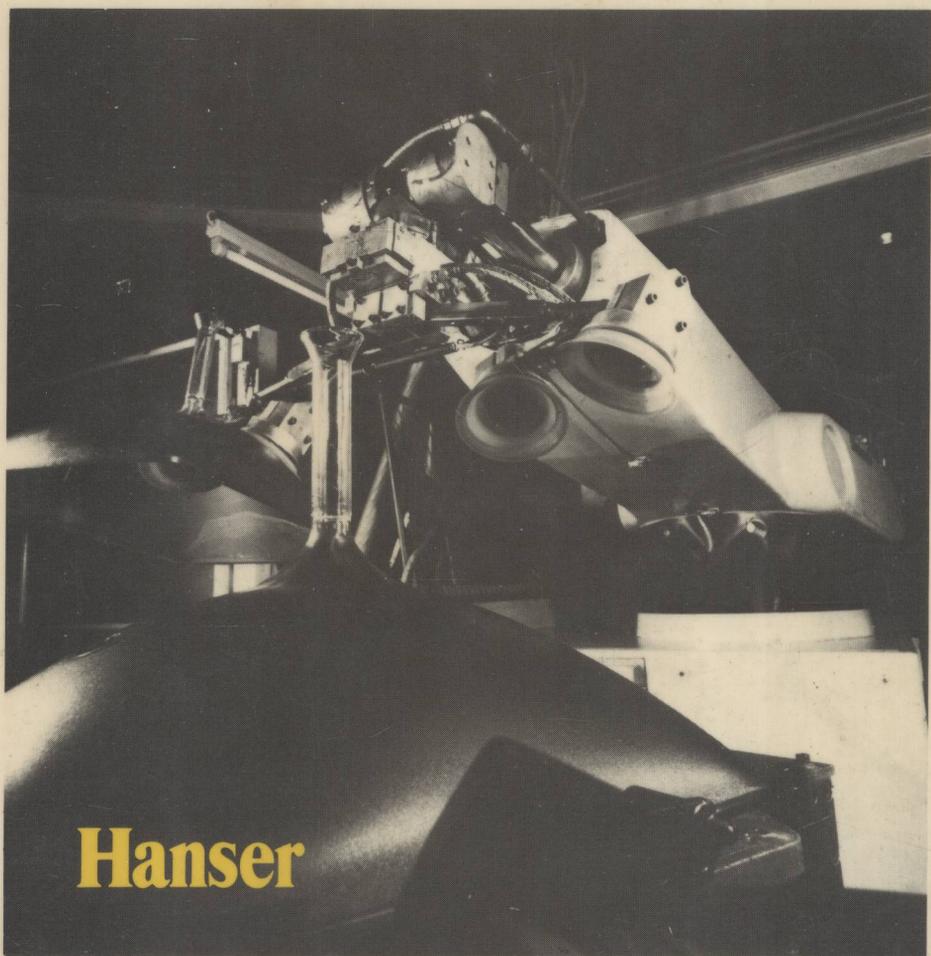


Joseph F. Engelberger

INDUSTRIEROBOTER

in der praktischen Anwendung



Engelberger

Industrieroboter in der praktischen Anwendung

8503012

TP242
E1

8263978

Joseph F. Engelberger

INDUSTRIEROBOTER

in der praktischen Anwendung

Unter Mitarbeit von Dennis Lock
und Kenneth Willis

Mit 108 Bildern und 10 Tabellen



E8263978



Carl Hanser Verlag München Wien

752

Titel der Originalausgabe:
ROBOTICS IN PRACTICE
Management and applications of industrial robots
Copyright © Joseph F. Engelberger 1980
Alle Rechte vorbehalten

Erste Veröffentlichung in Großbritannien 1980 bei Kogan Page Ltd., 120 Pentonville Road, London N1 9JN zusammen mit Avebury Publishing Company, Amersham
Übersetzung aus dem Englischen von J. Siegfried Spizig

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Engelberger, Joseph F.:
Industrieroboter in der praktischen Anwendung / Joseph F. Engelberger. Unter Mitarb. von Dennis Lock u. Kenneth Willis. [Übers. aus d. Engl. von J. Siegfried Spizig]. – München : Wien : Hanser, 1981. Einheitssacht.: Robotics in practice (dt.) ISBN 3-446-13413-1

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.
Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus vorbehalten.
Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© Carl Hanser Verlag München Wien 1981
Satz, Druck und buchbinderische Verarbeitung: Sellier Druck GmbH, Freising
Printed in Germany

Geleitwort

Der Autor des vorliegenden Buches ist Gründer und Präsident der amerikanischen Firma Unimation, Inc., dem weltweit bekannten Hersteller von Industrierobotern. Aufgrund seiner bedeutenden Leistungen auf dem Gebiet der Handhabetechnik und dem verantwortungsvollen Wirken in einflußreichen Gremien der amerikanischen Wirtschaft, kann man Joseph F. Engelberger als Pionier der Roboter-Entwicklung bezeichnen. Diese Tatsache wird unterstrichen durch die jährliche Verleihung der Engelberger Medaille des Robot Institute of America.

Industrieroboter werden für körperlich schwere, gefährliche oder monotone Arbeitsaufgaben eingesetzt. Sie befreien den Menschen von inhumanen Tätigkeiten und erhöhen die Arbeitssicherheit, Produktivität und Produktqualität. In den nächsten Jahren wird mit erheblichen Steigerungsraten gerechnet. Mit dieser Übersetzung seines neuen Buches wendet sich der Verfasser an industrielle Anwender wie auch an Studierende im deutschen Sprachraum. Der praxisorientierte Inhalt vermittelt die Grundzüge der Roboter-Technologie in leicht verständlicher Form. Es werden Fragen zum Aufbau und Einsatz von Industrierobotern ebenso behandelt wie solche zur Wartung, Verfügbarkeit und Wirtschaftlichkeit. Sicherheitstechnische Aspekte und periphere Einrichtungen werden dem Leser ebenfalls nahegebracht. Anhand von detaillierten Fallstudien aus den Bereichen Schmieden, Gießen, Farbspritzen, Punkt- und Bahnschweißen bis hin zur Glas- und Steinindustrie werden Planung, Organisation und Ablauf des Einsatzes von Industrierobotern beschrieben.

Der Verfasser widmet ein Kapitel des Buches den sozialen Auswirkungen des Robotereinsatzes und behandelt schließlich zukünftige Entwicklungen. Jedes Kapitel dieses Werkes ist als Einheit konzipiert, so daß es auch ohne den Gesamtzusammenhang gelesen und verstanden werden kann.

o. Professor Dr.-Ing. *Günter Spur*

Vorwort

Die reale Situation

Von Isaac Asimov

Um 1939, als Jugendlicher, begann ich eine Reihe von Geschichten über Roboter zu schreiben (und zu veröffentlichen). Darin waren sie, erstmalig in Zukunftsromanen, als Geschöpfe geschildert, die bewußt darauf hin konstruiert sind, ihre Arbeiten gefahrlos zu verrichten. Sie waren weder als knarrende Drohgestalten gedacht, noch als Ausfluß schnulzigen Gefühls. Sie waren ganz einfach wohlkonstruierte Maschinen.

Zu Anfang 1942 kristallisierte ich „Die drei Gesetze der Robotik“ heraus, und 1950 wurden neun meiner Erzählungen in einem Buch „Ich, der Roboter“ zusammengefaßt. Seinerzeit glaubte ich nicht im Ernst, daß ich noch wirkliche Roboter in Aktion und die Robotik – die Industrieroboter-Technik – als emporschießende Industrie erleben würde. Doch, soweit sind wir; noch besser, ich erlebe es.

Aber, warum sollten sie nicht unter uns sein? Roboter erfüllen eine wichtige Rolle in der Industrie. Sie erledigen einfache, sich ständig wiederholende Arbeiten ohne Murren, beharrlicher und zuverlässiger als es Menschengeschöpfe können – oder sollten.

Ersetzt der Roboter den Menschen? Gewiß, aber bei Arbeiten, die schon deswegen, weil sie ein Industrieroboter übernehmen kann, unter der Würde des Menschen sind, Arbeiten, die nur stumpfsinnige Plackerei sind. Für Menschengeschöpfe können – und sollten – bessere und humanere Arbeiten gefunden werden.

Natürlich sind die wirklichen Industrieroboter, wie sie in diesem Buch geschildert werden, nicht so kompliziert, vielseitig und intelligent wie die in meinem Buch „Ich, der Roboter“ erdachten. Doch, lassen wir den Ingenieuren Zeit. Die Industrieroboter-Technik entwickelt sich ständig weiter. Wie ich mir in meinen jungen Jahren vorgestellt hatte, übernehmen die maschinellen Helfer mehr und mehr von der Schinderei in der Arbeitswelt, so daß die Menschen Zeit gewinnen, sich schöpferischen und erfreulicheren Dingen zuzuwenden.

Vorwort des Verfassers

Als Pygmalion sich in sein hehres Kunstwerk Galatea verliebt hatte, erbarmte sich Venus seiner, hauchte der Marmorstatue Leben ein und beglückte so Pygmalion mit einem einzigartigen Robotweib. Es ist anzunehmen, daß er es nach den Flitterwochen zum Arbeiten eingespannt hat. Damit ist schon das Hauptanliegen dieses Buches angesprochen, nämlich Roboter zum Arbeiten zu bringen.

Andere haben über die Konstruktion von Industrierobotern geschrieben und werden sich noch darüber auslassen. Das Gebiet ist noch in Fluß und greift in andere Fächer über, so daß noch hochwertigere Systeme zu erwarten sind. Heute noch sind Industrieroboter schwierig zu begreifen, aber die Systematiker sind bemüht, hierzu Aufklärungsarbeit zu leisten. Wenn die Bewegungsautomaten nun auch noch Sehfähigkeit und Tastsinn erhalten, wird die Aufzählung der Anwendungen (Teil II) bald erheblicher Ergänzungen bedürfen. Aber bis dahin gibt es für sensorlose Industrieroboter noch genügend lohnende Aufgaben. Die Vorgehensweise, geeignete Arbeitsvorgänge dafür auszuwählen und die Arbeitsplatzgestaltung für einen wirtschaftlichen Erfolg mit Industrierobotern zu optimieren, haben sich ständig weiterentwickelt, seit 1961 der erste Industrieroboter Unimate an einer Druckgießmaschine installiert wurde.

Der Verfasser ist an der Mehrzahl gelungener (aber auch gescheiterter) Einsätze von Industrierobotern beteiligt gewesen, da die *Unimation Incorporated* mehr als 3000 Unimates geliefert hat und der führende Hersteller ist. Zu Anwendungsbereichen, in denen die *Unimation Inc.* weniger erfahren ist, haben andere Hersteller großzügig Erfahrungsberichte beigetragen.

Zunächst ist einige Dankesschuld abzutragen, ehe im einzelnen erörtert wird, wie Industrieroboter einzusetzen sind. Da war zu allererst *Isaac Asimov*, der seine fruchtbare Schriftstellerlaufbahn in zartem Alter mit Robotik als Thema begann. Dabei prägte er den Namen dieser Wissenschaft und wurde von ihr eingenommen, als er 1940 an der Columbia Universität Physik als Hauptfach studierte. Nicht zu vergessen ist *George C. Devol*, der 1956 gut gelaunt bei einer Cocktailparty aufkreuzte und sich damit großtat, er habe eine Erfindung über *Programmierte Übergabe von Artikeln* angemeldet. 1961 ist ihm dazu das U.S.-Patent 2988237 erteilt worden. Unser guter Freund George hielt sich dran und sammelte noch eine Reihe zusätzlicher Schutzrechte, letztendlich zum Nutzen der *Unimation Inc.*

Neuerungen setzen sich ohne finanzielle Unterstützung nicht durch. Ein vorausblickender Unternehmer, *Norman I. Schaflyer*, Gründer und noch geschäftsführender Vorsitzender der *Condec Corporation*, stellte zuerst Mittel bereit. Später schloß sich *Champ Carry*, der Aufsichtsratsvorsitzende der *Pullman Incorporated*, an. Nachdem 1961 der erste Industrieroboter installiert war, mußten wir uns noch mächtig bemühen. Da gab es nicht nur technische Schwierigkeiten, sondern auch eingefleischte Vorurteile zu überwinden. Für manche Fertigungsleiter blieben Roboter Hirngespinnste aus Zukunftsromanen. Bis 1975 erzielte die *Unimation Inc.* keine Erträge.

In den sechziger Jahren regten sich einige, meist wieder vorzeitig abgebrochene Versuche, auch in das Robotergeschäft einzusteigen. Keiner davon trug dazu bei, die Hemmschwelle von Vorurteilen abzutragen. Doch die Robotik war eine Idee, deren Zeit gekommen war. Anfangs der siebziger Jahre begannen sich akademische Kreise, die sich mit künstlicher Intelligenz befaßten, für die Industrieroboter-Technik zu interessieren. Mehrere Regierungen unterstützten diese Studien und stocken nunmehr die Zuwendungen auf. Die Japaner sprangen begeistert auf den abfahrenden Zug auf und gründeten 1971 die *Japan Industrial Robot Association (JIRA)*. Schon vorher, 1968, hatte *Kawasaki Heavy Industries* von der *Unimation Inc.* die Nachbaurechte erworben.

1973 schrieben *Warnecke* und *Schraft* ihr Buch „Industrie-Roboter“ [1], in dem sie unkritisch jedes Handhabegerät auflisteten, das irgendwo entwickelt worden und ausfindig zu machen war. Sie führten 71 Unternehmen als mit der Entwicklung befaßte auf. Bis 1978 hatten etwa 200 dazu Anlauf genommen, jedoch die meisten blieben auf der Strecke. Namen solcher, die sich behaupten, sind im Anhang genannt.

Die USA brachten nicht genug einschlägige Hersteller zusammen, um einen Fachverband zu bilden. Schließlich trat 1975 das *Robot Institute of America* zusammen. Bis 1978 sind zehn Hersteller von Industrierobotern, drei von Zubehör, 25 Betreiber und drei Forschungsorganisationen Mitglieder geworden. Noch jünger ist die *British Robot Association (BRA)*, die 1977 mit kräftiger Unterstützung aus akademischen Kreisen ihre Arbeit aufnahm. Dort gibt es erst wenige Industrieroboter-Hersteller, aber das Interesse an der Forschung dazu ist lebhaft. In der Bundesrepublik Deutschland werden die Gemeinschaftsarbeiten in der *VDI-Gesellschaft Produktionstechnik (ADB)* durch mehrere Ausschüsse betreut. Auf Tagungen von Ingenieuren ist die Robotik das gefragteste Thema in allen Industrieländern. Jährlich wird ein International Symposium on Industrial Robots in europäischen Ländern, Japan oder in den USA abgehalten.

Wie auf jedem neuen Gebiet geht die Entwicklung in vielerlei Richtungen. Einige haben versucht, hochentwickelte, rechnergesteuerte Bewegungsautomaten herauszubringen, andere auf einfache maschinelle Helfer gesetzt, die über Anschläge und Steckprogramme gesteuert werden. Industrieroboter sind in allen Größen und Formen auf dem Markt, die nur wenige Gramm oder bis zu 1000 kg handhaben. Die Arme können sich in Kugelkoordinaten, als Radialarme oder als Gelenkarme sowie in zylindrischen oder kartesischen Koordinaten bewegen. Sie werden hydraulisch, pneumatisch oder elektrisch angetrieben.

Dieses Buch behandelt sowohl den Arbeitsplatz von programmierbaren Handhabeautomaten in den Betrieben als auch ihre Bauarten und hebt ihre Wirtschaftlichkeit als Innovationsantrieb hervor. Außerdem wird versucht, die technische Weiterentwicklung und die gesellschaftlichen Auswirkungen in den beiden restlichen Jahrzehnten dieses Jahrhunderts vorzuschätzen. Zweifellos ist die Industrieroboter-Technik eine internationale Industrie geworden, mit all den Stolperdrähten (wie Erzeugniswahl, Industrieverbände,

Staatsbeihilfen, Forschungskreise) und den Aussichten für das Wachstum. Das Gedeihen des Industriezweigs der Industrieroboter hängt weitgehend davon ab, wie stark die Fertigungsindustrie mitzieht. Sie ist bekanntlich eine mißtrauische und konservative Kundschaft. Es ist zu hoffen, daß durch dieses Buch falschbegründete Hemmschwellen abgebaut werden und einiges von den Wehen nachläßt, die offenbar mit der Annahme von ungewohnten Konzepten einhergehen.

Joseph F. Engelberger
September 1980

8700000

8263978

Inhaltsverzeichnis



Geleitwort von <i>Günter Spur</i>	5
Vorwort: Die reale Situation von <i>Isaac Asimov</i>	6
Vorwort des Verfassers	7

Teil I: Grundlagen und Organisation

1 Einsatz von Industrierobotern in der Fertigung	17
Die allmähliche Entwicklung der Industrieroboter	17
Dem Industrieroboter technisch ähnliche Geräte	23
Kosten des Industrieroboters im Vergleich zu Lohnkosten	25
Druckgießen – ein früher Erfolgsnachweis für Industrieroboter	28
Industrieroboter im Vergleich mit werkstückgebundener Automatisierung	30
2 Aufbau der Industrieroboter	33
Einteilung der Industrieroboter	33
Bewegungsmöglichkeiten der Handhabeglieder	44
Antriebsarten	47
Dynamisches Verhalten und Genauigkeit	50
3 Wirkorgane: Greifer, Haftglieder, Werk- und Meßzeuge	56
Vorrichtungen zum Halten	56
Mechanische Greifer	57
Vakuumsysteme	62
Haftmagnete	65
Werkzeuge	68
4 Anpassen der Industrieroboter an den Arbeitsplatz	71
Bereitstellungsposition des Handhabe-Gegenstands	71
Verriegelungen und Folgesteuerung	72
Arbeitsplatzanordnung	79
5 Zuverlässigkeit, Instandhaltung und Sicherheit	87
Umfeldeinflüsse auf Handhabesysteme	87
Maßnahmen an Industrierobotern gegen Umfeldeinflüsse	90
Kenngrößen der Zuverlässigkeit	94
Schätzen der Zuverlässigkeit	95
Instandhaltung und Wirtschaftlichkeit	97
Sicherheit und Schutzvorkehrungen	101
6 Organisatorische Wegbereitung für Industrieroboter	104
Beispiele für die Ausbildung bei Industrieroboter-Herstellern	104
Konzertierte Aktion bei General Electric	106
Annahme der Industrieroboter bei der Belegschaft	110
7 Wirtschaftlichkeit von Industrierobotern	113
Prüfliste für die Wirtschaftlichkeit: Aufwand und Ertrag	113
Bewertung eines Vorhabens auf Grund der Kapitalrückflußfrist	116
Rentabilität	118
Grauzonen in der Kostenstruktur	120
8 Soziologische Auswirkungen der Industrieroboter	122

	Qualität des Arbeitslebens	122
	Einstellungen zu Industrierobotern	123
	Auswirkungen auf die Beschäftigungsstruktur	126
	Farbfotos	128
9	Zukünftige Möglichkeiten	129
	Zukünftige Merkmale der Industrieroboter	129
	Erläuterungen zu den künftigen Entwicklungen	132
	Vorrang der einzelnen Zusatzausrüstungen	137
	Fachübergreifende Zusammenarbeit	139
	Die menschenleere Fabrik	142
	Hierarchie von Steuerungen	143
	Zukünftige Anwendungen	144
	Teil II: Anwendungsbeispiele	
10	Anwendungen beim Druckgießen	153
	Ablauf des Druckgießvorgangs	153
	Industrieroboter beim Druckgießen	156
	Zusätzliche Erwägungen zu Industrierobotern für das Druckgießen	166
11	Anwendungen beim Punktschweißen	169
	Ablauf des Punktschweißvorgangs	169
	Punktschweißen mit Industrierobotern	172
	Planung einer Schweißstraße mit Industrierobotern	173
12	Anwendungen beim Lichtbogenschweißen	179
	Lichtbogen-Schweißverfahren	179
	Industrieroboter beim Lichtbogenschweißen	181
	Programmieren des Industrieroboters	183
	Wahl des Industrieroboters für das Lichtbogenschweißen	184
	Anwendungsbeispiel eines Schweißroboters	185
	Brennschneiden: dem Schweißen im Bewegungsablauf ähnlich	185
13	Anwendungen beim Feingießen	186
	Fertigung von Feingußstücken	186
	Herstellen der Feingießform mit Industrierobotern	188
	Programme zur Formenherstellung	190
	Anwendungsbeispiel bei Pratt & Whitney	192
14	Anwendungen beim Warmumformen	193
	Massivumformverfahren nach dem Erwärmen	193
	Umfeld beim Warmumformen	194
	Industrieroboter beim Schmieden	195
15	Anwendungen bei der Blechbearbeitung	199
	Schneiden und Umformen von Blechen	199
	Industrieroboter in Preßwerken	200
	Aussichten für das Handhaben von Blechteilen	204
16	Anwendungen beim Farbspritzen	206
	Der Beschichtungsvorgang	206
	Das Umfeld beim Farbspritzen	207

Automatisierung des Farbspritzens	207
Industrieroboter zum Farbspritzen	208
Ausblick für Farbspritzroboter bei der Automobilindustrie	209
Nutzenanalyse der Farbspritzroboter	211
17 Anwendungen bei der Kunststoffverarbeitung	213
Herstellen fester Kunststoffkörper	213
Einsatzmöglichkeiten für Industrieroboter	216
Erfolgsnachweise über Industrieroboter bei der Kunststoffverarbeitung	217
18 Anwendungen beim Sand- und Kokillengießen	220
Arbeitsvorgänge in Gießereien	220
Industrieroboter in Gießereien	221
Industrieroboter zum Gußputzen	222
19 Anwendungen bei spanenden Werkzeugmaschinen	224
Automatisierung des Spanens	224
Industrieroboter an Werkzeugmaschinen	226
Ausstattung von Industrierobotern zum Bedienen spanender Werkzeugmaschinen	233
20 Anwendungen beim Wärmebehandeln	236
Verfahren zur Wärmebehandlung	236
Industrieroboter handhaben erwärmte Werkstücke	237
21 Anwendungen beim Entgraten	240
Schwierigkeiten beim Entgraten	240
Anforderungen an Industrieroboter zum Entgraten	241
22 Füllen und Leeren von Paletten	244
Paletten mit dem Industrieroboter optimal füllen	244
Paletten mit dem Industrieroboter leeren	246
23 Anwendungen in der Baustoffindustrie	248
Herstellung von Ziegelsteinen	248
Einsatzfälle für Industrieroboter in der Baustoffindustrie	248
24 Anwendungen bei der Glasherstellung	252
Herstellung von Glas	252
Industrieroboter handhaben Flachglas	252
Industrieroboter handhaben zerbrechliche Glaserzeugnisse	254
Herstellerverzeichnis	257
Literatur	260
Sach- und Namensverzeichnis	265



Teil I

Grundlagen und Organisation

