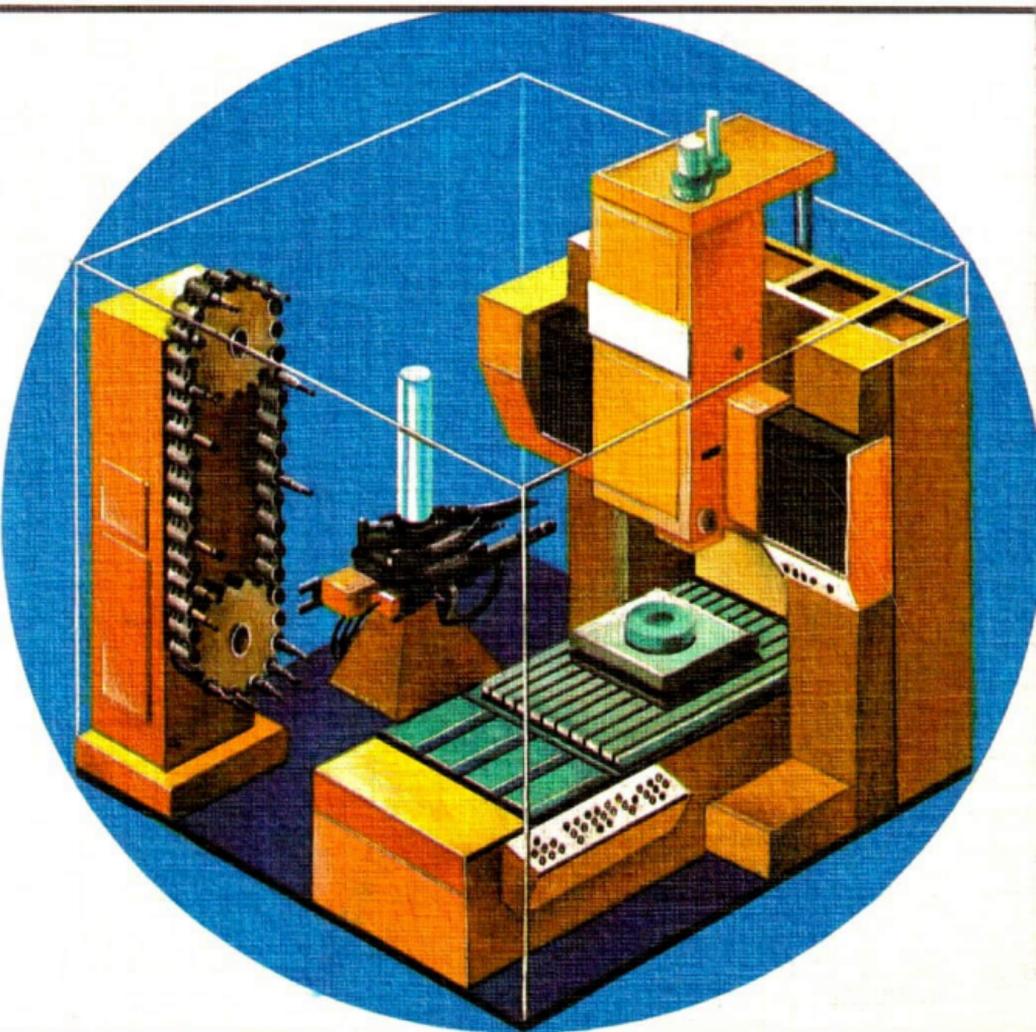


akzent

Göttner/Seydewitz

Roboter heute und morgen



Jahrhundertealt ist der Traum des Menschen, ein »Wesen« zu schaffen, das ihm ähnlich ist, das Arme und Hände hat, das auf kräftigen Beinen steht und »selbständig« handeln kann. Im 16. Jahrhundert erschuf der Rabbi Löw in Prag – so lautet die Sage – eine überlebensgroße Figur aus Lehm, den Golem. Der weise Rabbi verhalf ihm durch einen in den Mund gelegten Pergamentstreifen zum Leben – ein Koloß, ein Ungetüm.

Der Begriff »Roboter« für derartige menschenähnliche Automaten begegnet uns zum ersten Male in dem Schauspiel »RUR« (Rosums Universal Robots), das der tschechische Schriftsteller Karel Čapek im Jahre 1920 schrieb. Jahrzehntelang war der Roboter dann Gegenstand vornehmlich utopischer Schriften. Doch heute gehören Maschinen, die menschliche Fähigkeiten »kopieren« und »vervielfältigen«, bereits zum Alltag.

Reinhard Göttner / Nina Seydewitz

**Roboter heute
und morgen**

Urania-Verlag Leipzig · Jena · Berlin

Autoren: Dr. Nina Seydewitz, Dresden
Prof. Dr. habil. Reinhard Göttner, Dresden
Illustrationen: Wolfgang Parschau, Berlin

1. Auflage 1985

1.-20. Tausend. Alle Rechte vorbehalten

© *Urania-Verlag Leipzig/Jena/Berlin*

Verlag für populärwissenschaftliche Literatur, Leipzig 1985

VLN 212-475/75/85 LSV 351 9

Lektor: Ewald Oetzel

Einbandreihenentwurf: Helmut Selle

Typographie: Marion Kraher

Fotos: ADN/Zentralbild (48, 52, 62, 80, 92); DEWAG Leipzig (112);

VEB Werkzeugmaschinenfabrik Auerbach (88, 117)

Printed in the German Democratic Republic

Reproduktion, Satz und buchbinderische Verarbeitung:

INTERDRUCK Graphischer Großbetrieb Leipzig,

Betrieb der ausgezeichneten Qualitätsarbeit, III/18/97

Druck: Druckhaus Karl-Marx-Stadt III/6/15

Betrieb der ausgezeichneten Qualitätsarbeit,

Träger des Ordens „Banner der Arbeit“

Bestell-Nr.: 6539984

00450

Inhalt

Industrierobotertechnik heute 7

Robotergenerationen 9

Roboterbaugruppen 15

Auf die Beweglichkeit kommt es an! 16

Ein Roboter muß zupacken können 20

Ohne Antrieb geht es nicht 23

Robotersteuerungen 24

Wege, Koordinaten, Punkte und Bahnen 31

Roboter »lernen« 34

Flexibilität sehr gefragt 37

Sensoren 39

Industrieroboter aus dem Baukasten 45

Mikroelektronik: Voraussetzung und Stimulator der
Robotertechnik 48

Auf dem Wege zur automatisierten Fabrik 54

Vor dem Start 55

Vervielfacher Nutzen 57

Maschinen bedienen Maschinen 59

Vielseitige Helfer in technologischen Prozessen 61

Zukunftsträchtige Montageroboter 67

Flexible Automatisierung 73

Fertigungszellen 78

Montagezellen 81

Fabriken fast menschenleer? 84

Wem nützt Robotertechnik? 89

Was kommt unter dem Strich heraus? 90

Nur mehr Freizeit? 94

Partnerschaft 99

Ein Blick in kapitalistische Länder 105

Roboter als »Jobkiller«? 108

Entwicklungstendenzen 114

**Geht ein Traum des Menschen
in Erfüllung? 123**

Industrieroboter heute

Längst spricht niemand mehr von den Robotern, die Karel Čapek vor sechseinhalb Jahrzehnten in dem Schauspiel »RUR« auf der Bühne agieren ließ. Menschenähnliche Figuren aus viel Blech, Nieten, mit Glühlampenaugen und einer Stimme aus dem (Hohl-)Körper, ja vielleicht sogar einem »Herz« sind nur ein Objekt für Bastler oder Zeichner. Ein Spielzeugroboter aus Metall und Plaste, der nach dem Aufziehen einige Schritte »läuft« und vielleicht im Licht bunt schillert, lockt heute schon manchem Kind nur ein mitleidiges Lächeln ab, vielleicht mit der Bemerkung: »Der ist ja doof, der läuft bloß!« Dabei ist es technisch schwierig, eine einfache Lösung für das Balanceproblem zu finden, also dafür, daß sich der schreitende Roboterkörper im Gleichgewicht hält und nicht umkippt.

Roboter, die menschenähnliche Gestalt haben, sind in der Industrie nicht erforderlich. Die Entwicklung und der Bau von Robotern verlangen Lösungen, bei denen technische, technologische, arbeitswissenschaftliche, ökonomische, ästhetische und andere Aspekte im Vordergrund stehen. Dabei können bestimmte Details oder auch wesentliche Merkmale technischer Systeme mit den aus der Biologie bekannten Systemen und Elementen Ähnlichkeit haben. Die Bionik, eine wissenschaftliche Disziplin zwischen Biologie und Technik, entlehnt von der Natur in biologischen Wesen realisierte konstruktive Lösungen oder Prinzipien für die Technik. Das muß sich jedoch nicht auf das Äußere eines Roboters erstrecken. Zu den Wissenschaften, die sich mit der Konstruktion und dem Bau der Roboter befassen, gehören vor allem Disziplinen

aus den Bereichen der Physik, des Maschinenbaus, der Elektronik und der Arbeitswissenschaften.

In den letzten 15 Jahren begannen Roboter industriell eine Rolle zu spielen. Während dieser Zeit wurden beachtliche Fortschritte erreicht. Trotzdem steht die Menschheit erst am Anfang der Nutzung dieser bedeutenden Errungenschaften der wissenschaftlich-technischen Revolution. Die Robotertechnik wird in den nächsten Jahrzehnten noch mehr als bisher zum Kern der Umgestaltung technologischer Prozesse, zu einem bedeutenden Instrument der Automatisierung von Produktionsprozessen werden. Fachleute sind der Meinung, daß in der zweiten Hälfte der 80er Jahre und in den 90er Jahren die Industrierobotertechnik auf der Grundlage der Mikroelektronik hinsichtlich der zu erwartenden Produktivitätsgewinne und der Freisetzung von Arbeitskräften die absolute Spitzenstellung einnehmen wird. Diese Technik birgt wahrhaft *revolutionäre* Möglichkeiten in sich. Sie wird aufgrund der Breite und Vielfalt der Anwendungsmöglichkeiten von Robotern, ihrer Wirkungen im Produktionsprozeß – vor allem im Hinblick auf dessen weitere komplexe Automatisierung und die damit verbundene Erhöhung des technologischen Niveaus – zu grundlegenden Veränderungen der Produktion führen. Industrieroboter fördern im Zuge der Entwicklung der Produktivkräfte die Dynamik dieses Prozesses sowie die immer stärkere internationale Verflechtung der Produktivkräfte besonders innerhalb der sozialistischen Gemeinschaft.

Ebenfalls eröffnet die Industrierobotertechnik die Möglichkeit, zumindest teilweise in solchen Bereichen zu automatisieren, die bisher der Automatisierung nicht oder nur mit großem Aufwand zugänglich waren, z. B. in der Mittel- und Kleinserienfertigung. Aber auch die Industrieroboter selbst werden vervollkommen. Der Nutzen ihres Einsatzes wird durch Mehrmaschinenbedienung, durch Ausstattung mit mehreren Armen und Greifern, durch Beschleunigung des Arbeitstempos, durch zunehmende Flexibilität und Anpassungsfähigkeit sowie durch die Automatisierung ihrer eigenen Informationsverarbeitung erhöht.

Die Industrierobotertechnik führt aber auch zur Verbesserung, zur qualitativen Höherentwicklung bereits bekannter technologischer Verfahren und Produktionsprozesse. Damit löst sie wiederum *evolutionäre* Veränderungen aus.

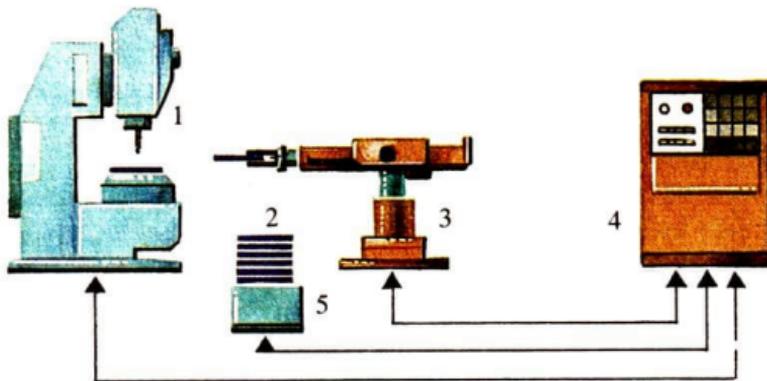
In der bestmöglichen Kombination solcher revolutionärer und evolutionärer Veränderungen in Technik und Produktion – bezogen auf die gesamte Volkswirtschaft oder große volkswirtschaftliche Bereiche – liegt mit die Grundlage für ein hohes und stetiges Entwicklungstempo des volkswirtschaftlichen Effektivitätszuwachses. Der Weg dahin führt über die umfassende Intensivierung der Produktion und die sozialistische Rationalisierung, die in unmittelbarer Verbindung mit der grundlegenden Erhöhung des technologischen Niveaus und dem schrittweisen Übergang zur Automatisierung ganzer Fertigungsabschnitte verstärkt darauf gerichtet wird, in wesentlich größeren Dimensionen als bisher Arbeitszeit und Arbeitsplätze einzusparen.

Die freigesetzten Arbeitskräfte werden dringend zur noch besseren Auslastung wertvoller Grundmittel sowie zur Lösung anderer wichtiger volkswirtschaftlicher Aufgaben benötigt. Oft verstärken sie auch den Rationalisierungsmittelbau unter dem Aspekt, die Industrierobotertechnik noch komplexer zu nutzen.

Robotergenerationen

Ein Industrieroboter dient der selbständigen Handhabung von Werkstücken, Werkzeugen oder (und) Materialien zur Automatisierung von Haupt- und Hilfsprozessen der Produktion. Er ist in einer oder mehreren Bewegungsachsen hinsichtlich Positionierung (vgl. S. 32) und Bewegungsablauf festprogrammiert oder freiprogrammierbar. Sein Hauptziel ist die Freisetzung von menschlicher Arbeitskraft.

Für den Begriff »Industrieroboter« gibt es aber auch enger gefaßte bzw. speziellere Definitionen. So hat eine Expertengruppe der »UNO-Wirtschaftskommission für Europa« folgende Begriffsbestimmung erarbeitet: »Der

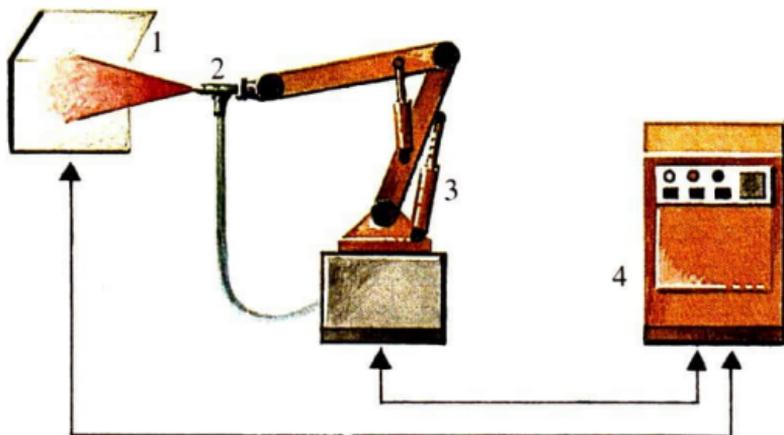


Werkstückhandhabung durch Industrieroboter. 1 – Werkzeugmaschine; 2 – Werkstück; 3 – maschinenbautechnischer Teil des Roboters; 4 – Robotersteuerung mit Bedien- und Programmierfeld; 5 – Magazin

Industrieroboter ist ein automatischer, positionssteuerbarer, programmierbarer, flexibler Multifunktionsmanipulator mit verschiedenen Achsen, der in der Lage ist, Materialien, Teile, Werkzeuge und Spezialinstrumente durch variabel programmierte Operationen zur Erledigung einer Vielzahl von Aufgaben zu bewegen. Er tritt häufig in Form eines oder mehrerer Arme auf, die in einem Gelenk enden. Seine Steuereinheit benutzt einen Speicher. Mitunter werden Sensoren und Zusatzeinrichtungen genutzt, die auf die Umgebung und äußere Einflüsse reagieren. Diese multifunktionalen Maschinen sind im allgemeinen dazu vorgesehen, sich wiederholende Funktionen auszuführen. Sie können an andere Funktionen ohne ständige Veränderung der Ausrüstung angepaßt werden.«

Man unterscheidet zwischen *prozeßspezifischen* und *prozeßflexiblen* Industrierobotern.

Prozeßspezifische Industrieroboter sind mit der technologischen Ausrüstung bzw. Maschine fest verknüpft oder (und) an den jeweiligen Prozeß gebunden. Sie werden z. B. als Beschickungsroboter (u. a. zum Einlegen und Entnehmen von Werkstücken) und als Roboter zum automatischen Wechsel von Werkzeugen und Werkstücken verwendet.



Werkzeughandhabung durch Industrieroboter. 1 – Werkstück; 2 – Werkzeug; 3 – maschinenbautechnischer Teil des Roboters; 4 – Robotersteuerung

Prozeßflexible Industrieroboter können von einer Arbeitsaufgabe für eine andere umgerüstet und umprogrammiert werden. Meist sind es *punkt-, bahn- oder sensorge-*steuerte Roboter (vgl. S. 33 u. S. 39). Diese umprogrammierbaren Roboter sind auch in der Klein- und Mittelserienanfertigung ökonomisch vorteilhaft einsetzbar. Sie werden vorwiegend für das Beschicken von Maschinen, für Transport- und Magazinierprozesse, zum Stapeln sowie Entstapeln und zum Führen von Werkzeugen in bestimmten technologischen Prozessen, z. B. zum Schweißen, Schmieden, Farbspritzen, Entfetten, Entgraten u. ä., verwendet.

Besonders bedeutsam hinsichtlich ihres technologischen Einsatzes und ihres ökonomischen Nutzens sind jene prozeßflexiblen Industrieroboter, die in mehreren Achsen freiprogrammierbar und mit zweckdienlichen Greifern zum Handhaben von Werkzeugen ausgerüstet sind. Aufgrund der hohen Flexibilität sind sie teilweise universell einsetzbar.

In Abhängigkeit vom Grad der Informationsaufnahme und -verarbeitung durch den Industrieroboter unterscheidet man drei Generationen.

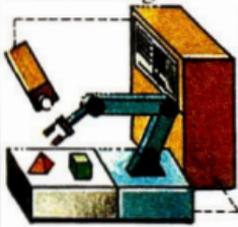
Zu den Robotern der ersten Generation gehören jene,

bei denen die Handhabungs- und Bewegungsabläufe programmtechnisch vorgegeben sind. Der Funktionsinhalt der auszuführenden Handhabung befindet sich in Form eines vorgegebenen Programms in einem Speicher. Von dort kann der Vorgang beliebig oft abgerufen und wiederholt werden. Diese Industrieroboter sind nicht in der Lage, Informationen über das zu handhabende Objekt zu erlangen und aufzunehmen. Sie sind an relativ feststehende Prozeßbedingungen gebunden und können auf ihre Umgebung nicht reagieren. Das Programm wird unabhängig vom jeweiligen Zustand der Umwelt abgearbeitet. Auch künftig werden Roboter der ersten Generation neben solchen der zweiten und dritten genutzt.

Industrieroboter mit sensorischen Systemen, d. h. taktile (Fühl-) oder (und) visuellen (Seh-)Systemen, werden zur zweiten Generation gezählt. Derartige sensorische Systeme ermöglichen die sogenannte Auge-Hand-Koordinierung. Sie sind in der Lage, innerhalb der Grenzen des ihnen vorgegebenen Programms sich gewissen Veränderungen der Prozeßbedingungen anzupassen. Auf der Grundlage von Informationen über physikalische Merkmale des zu handhabenden Werkstückes (Form, Abmessung, Lage usw.) und eventuell über bestimmte Gegebenheiten in der Umwelt werden der Arm des Roboters und sein Greifer entsprechend gesteuert.

Sensoren ermöglichen also in Verbindung mit einer Industrierobotersteuerung eine in engen Grenzen gehaltene Reaktionsfähigkeit der Roboter auf ihre Umwelt und damit eine *qualitative* Verbesserung ihrer Arbeitsweise, eine beträchtliche Erweiterung ihrer Einsatzmöglichkeiten sowie in bestimmten Fällen auch günstigere Parameter der technologischen Prozesse.

Der sogenannten dritten Generation werden Industrieroboter mit automatisierter Informationsverarbeitung und der Möglichkeit, Prozesse bzw. Zustände zu modellieren, zugeordnet. Sie werden auch als Roboter mit »künstlicher Intelligenz« oder als Roboter mit *adaptiven Steuerungen* bezeichnet. Als technische Systeme verfügen sie über eine Automatenstruktur höherer Ordnung. In ihnen laufen höher automatisierte Informationsprozesse ab. Das ermöglicht es ihnen, den Handhabungsprozeß so-

Flexibilität		
gering	mittel bis hoch	sehr hoch
konstante Bewegung zwei Raumpunkte feste Vorgabe der Bewegungen 	variable Bewegung mehrere Raumpunkte variable Vorgabe der Bewegungen 	variable Bewegung mehrere Raumpunkte selbsttätiges Festlegen der Bewegung automatisierte Informations- verarbeitung 
z. B. Einlegegeräte	z. B. Punktschweiß-roboter	z. B. Industrieroboter mit optischen Sensoren
nicht programmierbar	programmierbar ohne Logikfunktionen	frei programmierbar mit Logikfunktionen

Flexibilität von Maschinen bei der Ausübung von Handhabungsfunktionen (nach Schminke)

wie Teile ihrer Umwelt in ihrem »Inneren« abzubilden oder – anders ausgedrückt – zu modellieren und während ihres Betriebs diese Teile ihrer Umwelt und den ablaufenden Prozeß in bestimmten Grenzen »wiederzuerkennen«, zu identifizieren. Die Bewegungsabläufe dieser Industrieroboter werden auf der Grundlage eines Vergleiches zwischen den mit Hilfe ihrer Sensoren gewonnenen Informationen und jenen des Modells gesteuert. Die Roboter können mindestens eine ihrer Steuerfunktionen selbständig verändern, Funktionsabläufe korrigieren und sich mit dem Ziel der Parameteroptimierung an eine gegebene Situation anpassen. Für einige ihrer Operationen benötigen sie kein vorgegebenes Programm. Sie entwickeln sich selbst das Programm für ihren Bewegungsablauf

auf der Grundlage »erlerner« Vorgänge, genauer gesagt: der gespeicherten Informationen.

Die so konstruierten Industrieroboter können für eine umfangreiche Palette von Aufgaben eingesetzt werden. Das wird vor allem in der zweiten Hälfte der 80er Jahre und danach geschehen. Sie werden den volkswirtschaftlichen Effekt des Industrierobotereinsatzes wesentlich erhöhen.

Während die festprogrammierten Industrieroboter der ersten Generation – wie geschätzt wurde – für etwa zwei Prozent aller Arbeitsplätze in der Industrie verwendet werden können bzw. diese »einnehmen«, sind die Industrieroboter der zweiten Generation etwa an jedem vierten bzw. auch an jedem dritten Arbeitsplatz einsetzbar. Die der dritten Generation führen dazu, daß – verglichen mit der gegenwärtig vorhandenen Anzahl an Produktionsarbeitern – vielleicht ein weiteres Drittel dieser Arbeiter freigesetzt werden kann.

Mit der dritten Generation von Industrierobotern beginnt somit eine weitreichende und gesellschaftlich besonders bedeutungsvolle Entwicklung. Aber auch hier werden die Wechselbeziehungen zwischen dem Menschen und dem Roboter zum Nutzen des Menschen, zur Bereicherung seines Lebens, zur weiteren Ausprägung seiner Persönlichkeit gestaltet. Nach wie vor – auch wenn sich die Anzahl der eingesetzten Roboter vervielfacht – ist und bleibt der Mensch die Hauptproduktivkraft. Karl Marx, der die Rolle der Wissenschaft immer wieder hervorhob, wies darauf hin, daß Maschinen und jedes andere Produktionsinstrument »von der menschlichen Hand geschaffne Organe des menschlichen Hirns; vergegenständlichte Wissenskraft«¹ sind. Das gilt auch für die Industrieroboter. In Zukunft wird die wissenschaftlich-technische Arbeit der Hauptproduktivkraft Mensch generell und besonders auf dem Gebiet der Industrierobotertechnik qualitativ und quantitativ noch weiter verstärkt. Ihr ökonomischer Wirkungsgrad wird sich zum Vorteil der Menschen vervielfachen.

¹ Marx, Karl: Grundrisse der Kritik der politischen Ökonomie. In: MEW, Bd. 42, Berlin 1983, S. 602

Roboterbaugruppen

Soll ein Industrieroboter konstruiert werden, geht man davon aus, welche Anforderungen er zu erfüllen hat. In allen Fällen spielen dabei z. B. die physikalischen Eigenschaften der Werkstücke oder anderer zu handhabender Gegenstände eine Rolle. Die Handhabungsobjekte können aus Metall, Glas, Stein, Plast oder anderen Werkstoffen hergestellt, quader-, scheiben-, walzen- oder kugelförmig, fest oder elastisch, schwer oder leicht sein, eine niedrige oder eine sehr hohe Temperatur und andere Eigenschaften aufweisen. Darüber hinaus wirken sich die zu handhabenden Werkzeuge, die Anordnung der Maschinen, die Transporteinrichtungen, die Speicher, die Ausmaße des Arbeitsraumes, die Gewährleistung der Betriebssicherheit und des Unfallschutzes, die Erfordernisse der Wartung und Instandhaltung sowie sonstige Umweltbedingungen auf die Gestaltung der Industrieroboter aus. Diesen unterschiedlichen Anforderungen entsprechen verschiedene konstruktive Auslegungen. Sie lassen sich durch Baugruppen realisieren.

Die wesentlichen Baugruppen eines Industrieroboters sowie deren hauptsächliche Funktionen sind folgende:

– Gestell

Halterung der Greiferführung

– Greiferführung und Greifer

Herstellen der räumlichen Zuordnung von Werkzeug und Werkstück (bzw. innerhalb der Fertigungseinrichtung)

Ergreifen des Werkstücks; Sicherung der Lage des Werkstücks beim Verfahren

– Antrieb

Umwandeln und Übertragen der notwendigen Energie zu allen Bewegungsachsen

– Steuerung

Steuern der Bewegungen des Industrieroboters und Überwachen des Programmablaufs; Aufnahme und Verwertung von Informationen; Speichern von Informationen und Programmen

Herstellen der Verbindung zu Fertigungs- und Ordnungseinrichtungen; Auslösen von Reaktionen auf bestimmte Ereignisse

– Wegmeßsystem

Messen von Lage, Weg und Geschwindigkeit der einzelnen Bewegungsachsen

– Sensoren

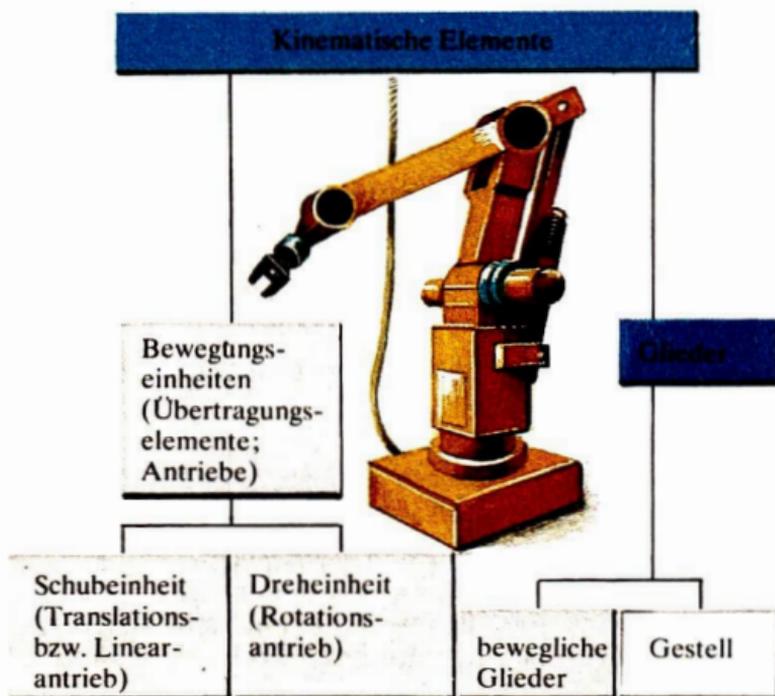
Erfassen von Umwelteinflüssen; Messen physikalischer Größen; Muster- und Lageerkennung.

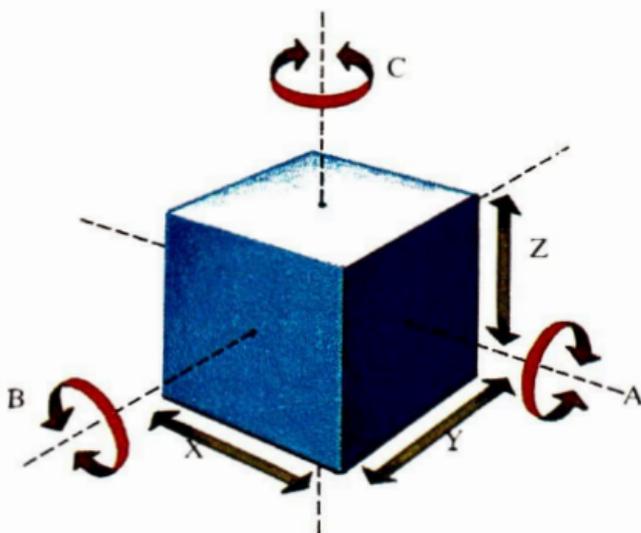
Die Roboter können – je nach den Anforderungen, die an sie gestellt werden –, auf einem Gestell oder auf einem Tisch stehend, an der Wand oder an einem Portal hängend, fest oder beweglich angebracht sein. In besonderen Fällen können sie aber auch mit einem Fahrwerk versehen sein.

Auf die Beweglichkeit kommt es an!

Für den Einsatz der Industrieroboter ist neben der Steuerung das Bewegungssystem, das *kinematische System*, von

(nach Otto)





Würfel mit den Richtungen der Schubbewegungen (X, Y und Z) und der Drehbewegungen (A, B, C)

fundamentaler Bedeutung. Seine grundsätzliche Aufgabe besteht darin, daß der Industrieroboter ein Objekt – das Werkstück oder das Werkzeug – von einem Punkt zu einem anderen Punkt, also in eine beliebige Lage innerhalb seines Arbeitsraumes bringen kann.

Zu diesem Zweck ist das Greiferführungsgetriebe mit Dreheinheiten¹ bzw. Schubeinheiten² versehen. Die Schubeinheiten dienen zur Ausführung geradliniger Bewegungen. Die Verbindung dieser Schubeinheiten untereinander kann über Dreheinheiten erfolgen. Diese verschaffen dem Roboter durch ihre Antriebe entsprechende Möglichkeiten zu Dreh- und Schwenkbewegungen. Indem man diese Baugruppen miteinander kombiniert, legt man den *Arbeitsraum* des Industrieroboters fest. Die Veränderung der räumlichen Lage eines Objektes kann also innerhalb dieses Arbeitsraumes durch die Kombination von Dreh- und Schubbewegungen der entsprechenden Einheiten erreicht werden.

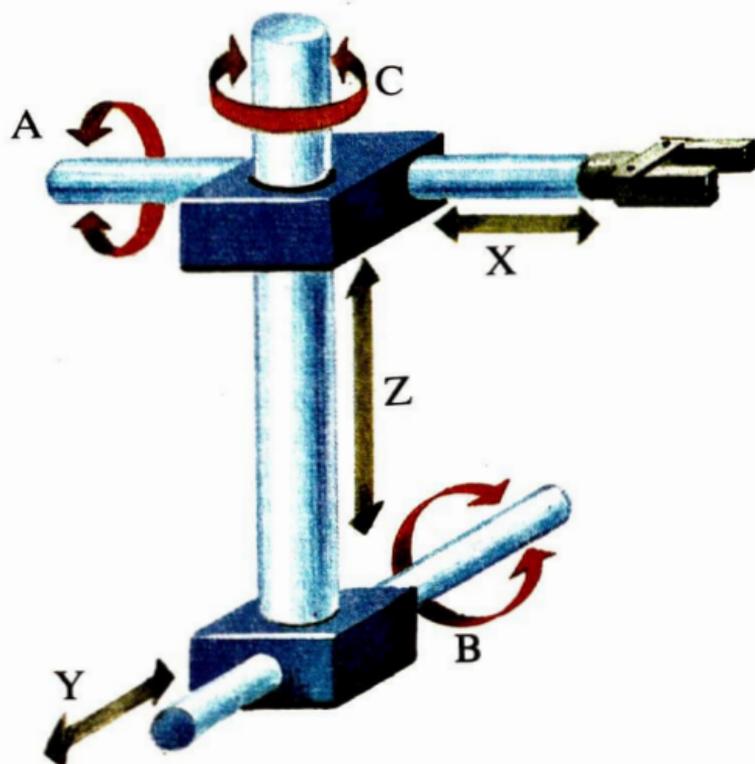
¹ auch Rotationseinheiten genannt

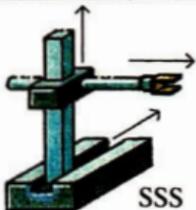
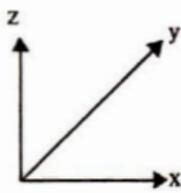
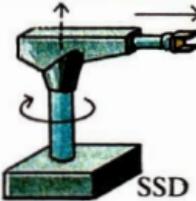
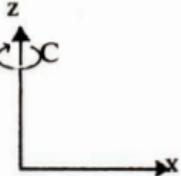
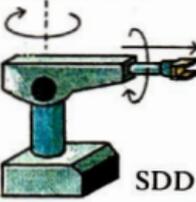
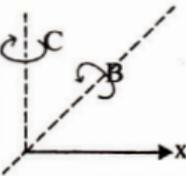
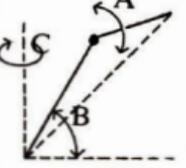
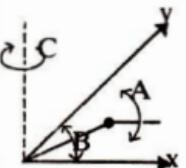
² auch Linear- oder Translationseinheiten genannt

Betrachten wir das an einem Beispiel: Ein Körper, z. B. ein Würfel, ist im Raum frei beweglich und hat den Freiheitsgrad sechs, d. h., er kann durch drei Dreh- und drei Schubbewegungen in eine beliebige andere Lage gebracht werden. Bei den Industrierobotern entspricht dies der kombinierten Bewegung um Dreh- und auf Schubachsen. Die einzelnen Achskombinationen können variieren. Gerade in der Möglichkeit, mehrere Achsen zu kombinieren, besteht die Basis für die vielseitigen Bewegungsmöglichkeiten eines Industrieroboters.

Für diese Vorgänge wird zunächst ein kartesisches Koordinatensystem mit den üblichen Koordinatenachsen X, Y, Z für die Schubachsen und damit für die geradlinigen Bewegungen (Schubbewegungen in Richtung der Koordi-

Greiferführungstriebwerke eines Industrieroboters mit sechs Achsen bzw. Bewegungsmöglichkeiten (Freiheitsgrad sechs); X, Y und Z: Schubbewegungen; A, B, C.: Drehbewegungen



Achskombination	Variation der Gelenke	Koordinaten	Achsen
3 Schubeinheiten	 SSS	kartesische Koordinaten	
2 Schubeinheiten 1 Dreheinheit	 SSD	Zylinderkoordinaten	
1 Schubeinheit 2 Dreheinheiten	 SDD	Kugelkoordinaten	
3 Dreheinheiten	 DDD	Gelenkkoordinaten	
m Schubeinheiten n Dreheinheiten		z. B. kartesische und Gelenkkoordinaten	

Verschiedenartige Achskombinationen und ihre Koordinaten. Je größer die Beweglichkeit, desto größer ist der Steuerungsaufwand. S: Schieben; D: Drehen

natenachsen) zugrunde gelegt. Die Achsen für die Drehbewegungen werden mit den Buchstaben A, B, C bezeichnet. In den Bewegungsmöglichkeiten des Greiferführungsgetriebes und des Greifers kommt der *Freiheitsgrad* des Roboters (auch Getriebefreiheitsgrad genannt) zum Ausdruck. In Anlehnung an das zum Würfel Gesagte hat dieser den Freiheitsgrad sechs.

Die Bewegungsmöglichkeiten werden beim Industrieroboter somit durch ein Zusammenspiel verschiedener mit Gliedern verbundener Gelenke geschaffen. Um z. B. den Mittelpunkt eines Greifers an einen beliebigen Punkt des Arbeitsbereiches zu bringen, sind drei Bewegungen erforderlich; um ihn von dieser Position aus beliebig auszurichten, sind nochmals drei andere Bewegungen notwendig. Oft verteilen sich drei Bewegungsachsen auf den Arm und drei Bewegungsachsen auf den Greifer.

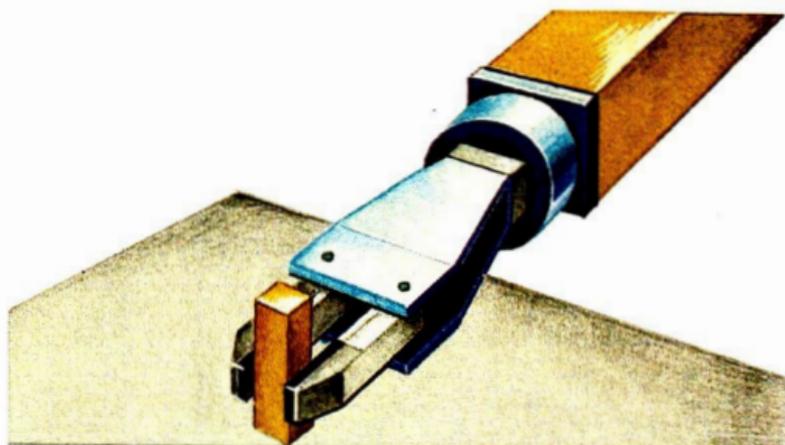
Die konkrete Auswahl des jeweils erforderlichen Freiheitsgrades eines Roboters ist natürlich von der ihm gestellten Aufgabe abhängig. Ein Beschickungsroboter, der verhältnismäßig einfache Bewegungen auszuführen hat, braucht einen geringeren Freiheitsgrad als z. B. ein zum Reinigen von Autokarosserien benutzter Roboter.

Aus dem Gesagten wird ersichtlich, daß neben den kartesischen Koordinaten auch noch andere, wie Zylinder-, Kugel- und Gelenkkordinaten, eine Rolle spielen.

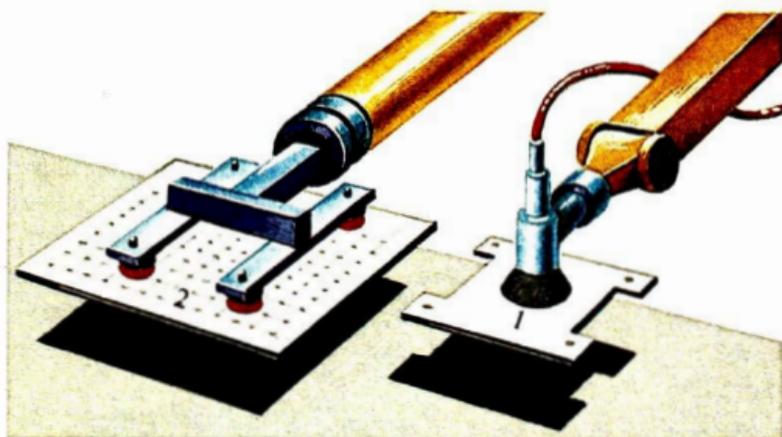
Ein Roboter muß zupacken können!

Ein Industrieroboter befindet sich in erster Linie über seinen Greifer in Wechselwirkung mit seiner Umgebung, da dieser in unmittelbarer Verbindung mit dem zu führenden Gegenstand steht. Die Gestaltung der Greifer ist deshalb von vielen Einflußfaktoren abhängig, z. B. von der Kraftübertragung, der Anzahl der Gelenke, der Art des Antriebs, den zurückzulegenden Wegen, der Objekt-oberfläche, der Größe und Masse sowie stofflichen Zusammensetzung des Objekts usw.

Der Greifer befindet sich am Greiferarm und dient dazu, das Werkzeug oder das Werkstück zu halten. Mit Hilfe des Greiferführungsgetriebes werden der Greifer



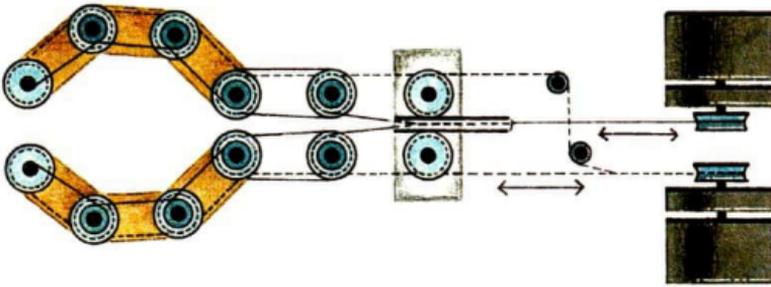
Greiferausführung mit Klemmung



Greiferausführung mit Haftung. 1 – Saugkraft; 2 – Magnetkraft

und damit das Werkstück oder das Werkzeug in jene Position geführt, die die betreffende Arbeitsverrichtung vorsieht.

Die Greifer sind oft mit zusätzlichen Einrichtungen, z. B. Magneten, Sensoren u. ä., ausgerüstet. Sie werden nach den drei grundsätzlich verschiedenen Arten ihres Angreifens am Objekt unterschieden. Sie dienen entweder der Klemmung, der Umfassung oder der Haftung der entsprechenden Werkstücke.



Greiferausführung mit Umfassung (anpassungsfähiger Greifer)

Für Industrieroboter werden Standardgreifer hergestellt, bei denen man die Elemente austauschen kann. Trotzdem müssen oft spezielle Greifer für bestimmte Arbeitsaufgaben konstruiert werden.

Eine Lösungsvariante zu diesem Problem zeigt folgendes Beispiel: Ein Roboter soll in die Lage versetzt werden, mit seinem Greifer feste, weiche und zerbrechliche Gegenstände zu handhaben. Dies ist durch einen flexiblen Greifer möglich, der sich dem Objekt anpassen kann, der also behutsam oder fest zugreift und das Objekt mit gleichmäßigem Druck festhält. Dieser Vorgang wird technisch durch einen aus mehreren Kettengliedern sowie einer Reihe von Rollen bestehenden und durch Drähte angetriebenen und gesteuerten Mechanismus ermöglicht.

In diesem Zusammenhang sind die mit mehreren Greiferarmen zur gleichzeitigen Ausführung verschiedener Arbeitsverrichtungen ausgerüsteten Roboter zu erwähnen. Jeder Arm hat einen oder zwei Greifer zur Verfügung. Ein Beispiel hierfür sind Beschickungsroboter bzw. Ladeeinrichtungen für Drehautomaten. Sie werden zur maximalen Auslastung dieser hochproduktiven Automaten mit bis zu drei Armen und jeweils ein bis zwei Greifern ausgerüstet.

Wenn der Roboter nicht greifen, sondern andere Arbeiten verrichten soll, kann der Greiferarm mit Werkzeugen bestückt werden. Damit ist er für spezielle technologische Abläufe wie Schweißen, Bohren, Montieren, Farbspritzen usw. einsetzbar.

Ohne Antrieb geht es nicht

Die Antriebe der Industrieroboter haben die Aufgabe, die einzelnen Glieder des Roboters zu bewegen. Jeder Industrieroboter ist mit mehreren voneinander unabhängigen Antrieben ausgerüstet, da seine Achsen – wie schon gesagt – in unterschiedlichen Dreh- und Schubeinheiten bewegt werden müssen, um eine Aufgabe zu lösen. Die Parameter Masse, Weg, Winkel, Geschwindigkeit, Zeit usw. sind beliebig – unter Erreichung vorgegebener Werte für einzelne Parameter – kombinierbar.

Die Antriebsart richtet sich nach dem Einsatz der Industrieroboter. So ist bei großer Masse des zu handhabenden Werkzeugs ein anderer Antrieb erforderlich als beispielsweise beim Handhaben von elektronischen Bauelementen. Für die Gestaltung des Antriebs ist es mit entscheidend, ob sich Teile des Roboters drehen, ob sie Kurven im Raum beschreiben oder in horizontaler bzw. vertikaler Richtung gelenkt werden sollen. Aber auch besonders schwierige äußere Bedingungen wie Schmutz, aggressive chemische Lösungen oder extrem hohe Temperaturen müssen beim Bau der Antriebe berücksichtigt werden.

Die Industrieroboter werden mit Hilfe von hydraulischen, elektrischen und pneumatischen Antrieben bewegt. Damit kann sowohl den verschiedenen von den Industrierobotern zu erfüllenden Aufgaben als auch den Belangen der Wirtschaftlichkeit Rechnung getragen werden. Immerhin betragen die Kosten der Antriebe je nach ihrer Ausführung 5 bis 20 Prozent der Gesamtkosten eines Industrieroboters.

Die Antriebe wirken über mechanische Getriebe auf den Greiferarm.

Die *hydraulischen* Antriebe zeichnen sich dadurch aus, daß sie gut einstellbar und robust sind sowie eine große Energiedichte aufweisen. Sie können auf verschiedene Punkte mit der erwünschten hohen Positioniergenauigkeit (siehe S. 32) eingestellt werden. Dabei entwickeln sie z. B. eine Geschwindigkeit bis 1 000 mm/s beim Bewältigen von Massen bis zu 50 kg. Das macht sie für die Beschickungsroboter besonders geeignet.

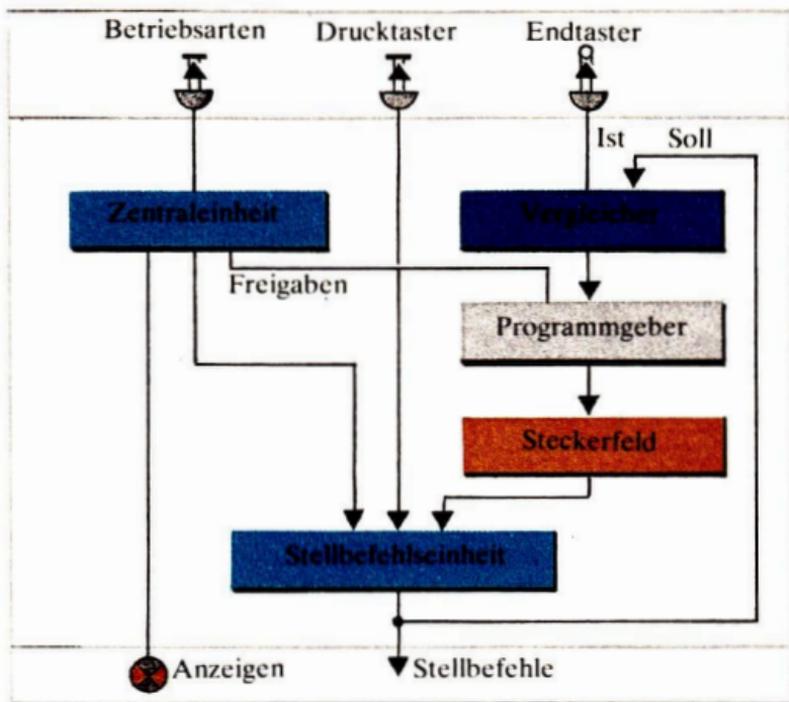
Elektrische Antriebe, die aber verhältnismäßig teuer sind, haben den Vorteil, daß die Energiebereitstellung relativ unkompliziert ist. Außerdem lassen sie sich leicht einstellen. Mit ihrer Hilfe ist eine besonders hohe Positioniergenauigkeit erreichbar. Aus diesem Grunde werden sie in erster Linie jenen Robotern zugeordnet, die spezielle technologische Aufgaben wahrnehmen.

Schließlich werden die Industrierobotererelemente noch mit Hilfe von *pneumatischen* Antrieben in Bewegung gesetzt. Hier fällt der geringe Aufwand auf. Jedoch eignen sie sich nicht dazu, große Kräfte zu erzeugen. Deshalb werden sie vorwiegend dort verwendet, wo es gilt, eine geringe Masse rasch zu bewegen. Das ist besonders bei der Greiferbetätigung und bei Kleinmanipulatoren der Fall.

Es gibt auch Roboter, bei denen die oben beschriebenen Antriebsarten kombiniert eingesetzt werden, was u. U. die Wirkung der Antriebe steigert. Weil jeweils der geeignetste Antrieb vorgesehen wird, können die Roboter besser positioniert werden und z. B. Fügevorgänge beim Montieren ausführen. So wurden beispielsweise auf der Grundlage des elektropneumatischen Antriebs Servoantriebe (vgl. S. 30) hergestellt, mit deren Hilfe Geschwindigkeit und Position pneumatischer Antriebselemente für Elektromagnet-Bremsen elektronisch geregelt werden.

Robotersteuerungen

Auch bei einem Industrieroboter müssen die Bauteile mit Hilfe ihrer Antriebe zielgerichtet und koordiniert bewegt werden. In der Industrierobotertechnik wird deshalb unter *Steuern* ein Vorgang verstanden, der bewirkt, daß sich die entsprechenden Elemente des Roboters nach den vorgegebenen Programmen bewegen und Signale zur Koordinierung des Verhaltens der peripheren Einrichtungen – z. B. Transporteinrichtungen oder Magazine – abgeben werden können. Die Steuerung ihrerseits kann Informationen von Sensoren, vom Wegmeßsystem oder von der Peripherie des Industrieroboters erhalten. Diese Informationen werden gemäß dem vorgegebenen Programm von der Steuerung verwertet. Eine oder mehrere Eingangsgrö-



Schema einer pneumatischen Steuerung (nach Greger und Mittag)

Ben sind dabei für die Steuerung die Grundlage zur Beeinflussung der Ausgangsgrößen.

Ausgehend von der sich aus dem technologischen Prozeß ergebenden Handhabeaufgabe, soll eine moderne Industrierobotersteuerung

- die erforderlichen Bewegungen des Industrieroboters sowie den Ablauf seiner Aktionen gemäß dem eingegebenen Programm steuern, überwachen und koordinieren
- Informationen über die Umwelt und die Anpassung der Bewegungs- und Aktionsabläufe des Industrieroboters erfassen, speichern und verarbeiten
- die Kommunikation zwischen dem Industrieroboter und einem übergeordneten Steuerungssystem bzw. dem Menschen, dem Bediener und dem Programmierer gewährleisten
- weitere Anforderungen erfüllen, die sich aus den Betriebsarten, der Programmierung, dem Bedienkomfort,

der Betriebs- und Gefahrensicherheit, der Fehlererkennung u. ä. ergeben.¹

Nicht jede Industrierobotersteuerung entspricht diesen Anforderungen. In der Praxis braucht auch nicht jede Steuerung allen Punkten dieses umfangreichen Anforderungskataloges gerecht zu werden.

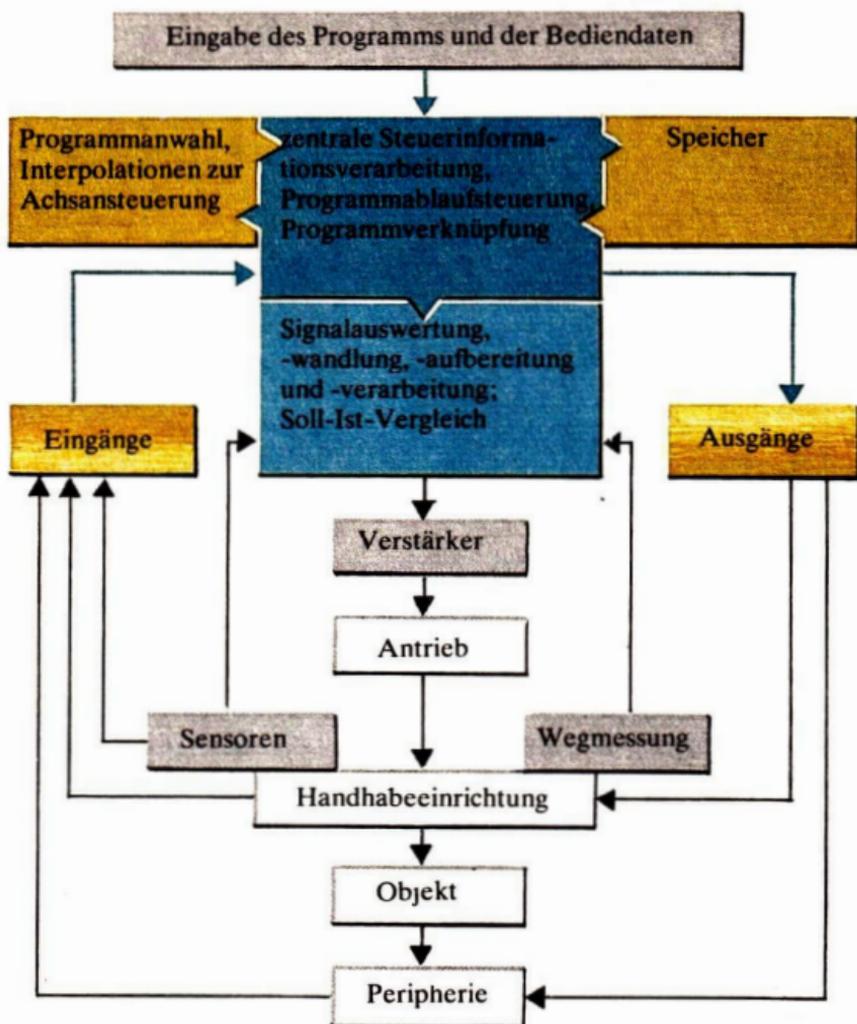
Unter dem Blickwinkel der verwendeten Steuerungsenergie trifft man bei Industrierobotern vor allem elektronische und pneumatische Steuerungen an.

Pneumatische Steuerungen werden bei einer größeren Anzahl von Industrierobotern der ersten Generation verwendet. Sie haben sich dort bewährt. Ihre Vorteile gegenüber den elektronischen liegen vor allem darin, daß sie niedrige Kosten je Steuerfunktion aufweisen, eine gute Überschaubarkeit für den Anwender gewährleisten, sehr geringe Störempfindlichkeit besitzen und einen niedrigen Aufwand für die Störbeseitigung erfordern. Sie werden deshalb auch künftig bei einfachen Handhabegeräten anzutreffen sein.

Elektronische Steuerungen haben eine Reihe hervorragender Eigenschaften, so daß sie bei zahlreichen Industrierobotern angewendet werden. Ihre Vorzüge sind vor allem eine sehr hohe Zuverlässigkeit und verschleißfreies Arbeiten, hoher Bedien-, Programmier- und Anzeigekomfort, eine sehr leistungsfähige Speichertechnik, eine erreichbare Informationsverarbeitungsfrequenz von einigen 100 MHz, eine Signalübertragung über große Entfernungen bei minimaler Verzögerung sowie eine hohe Komplexität der Steuerfunktionen und große Funktionsdichte.

Moderne Industrieroboter werden mit einem oder mehreren Mikrorechnern ausgerüstet. Die Mehrrechnersteuerung befriedigt vor allem sehr zeit- und rechenintensive Anforderungen. Die Mikrorechner werten Informationen aus und verarbeiten diese zu neuen Anweisungen, z. B. zu Steuerbefehlen für die Achsen. Sie »verwalten« den Spei-

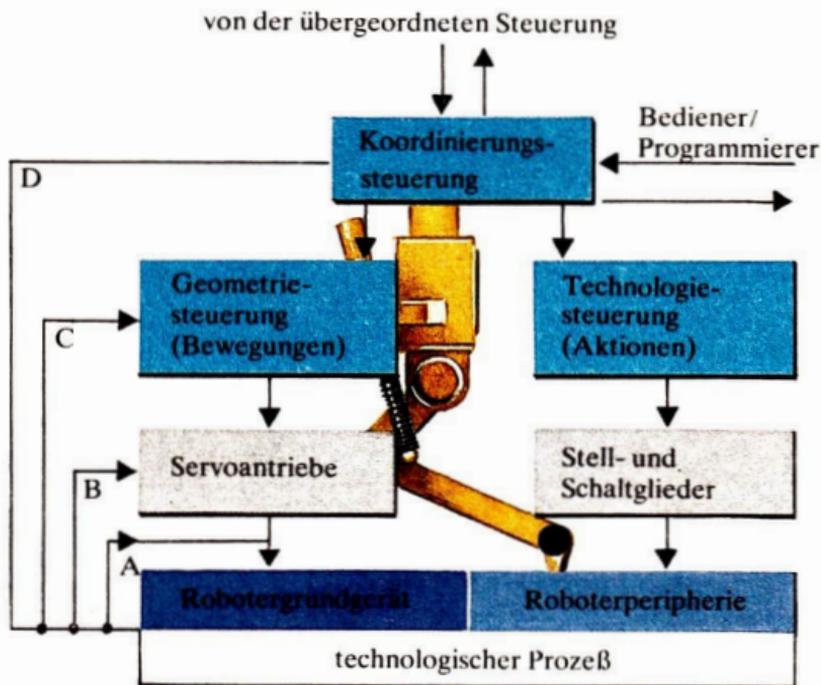
¹ Vgl. Haferkorn, P., und W. Schwarz: Strukturen von Industrierobotersteuerungen mit Mikrorechner. In: Feingerätetechnik 8/1982, S. 339, und Volmer, J., u. a.: Industrieroboter. Berlin 1981, S. 113



Prinzipieller Aufbau einer elektronischen Robotersteuerung (nach Spur und Sinning)

cher für das Roboterprogramm, übernehmen die Organisation des Steuerablaufs und werden auch noch für weitere Aufgaben herangezogen.

Industrierobotersteuerungen mit Mikrorechnern sind hierarchisch (einer Rangordnung entsprechend) aufgebaut, wobei ein zentraler Koordinierungsblock zwei Wirkungslinien steuert: den Geometrieblock, der die Bewegungen der Robotergrundeinheit festlegt und über die



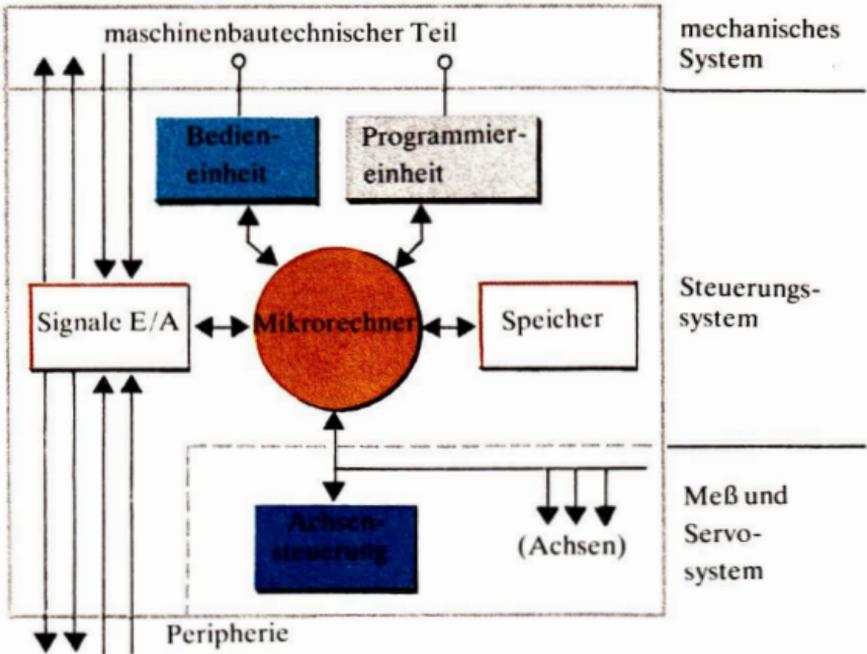
Hierarchische Strukturierung (Gliederung in einer bestimmten Stufenfolge) einer Industrierobotersteuerung. Informationsrückführungen unterschiedlichen Niveaus sind für die verschiedenen Hierarchie-Ebenen charakteristisch. Sie finden ihren Ausdruck in der Fähigkeit der Steuerung, auf Situationsveränderungen zu reagieren.

Rückführungen des Typs A (ohne Verarbeitung in der Steuerung) erfolgen durch geeignete mechanische Konstruktionselemente, z. B. bei Handhabeeinrichtungen.

Die Hierarchie-Ebenen B (Rückführung auf der Ebene der Servoantriebe) und C (Geometriesteuerung) sind bei Robotern der zweiten Generation üblich. Sie gestatten quantitative Bahnkorrekturen (Typ B) in Abhängigkeit von Sensorsignalen bzw. qualitative Bahnänderungen, z. B. beim Umfahren von Hindernissen (C).

Die Rückführung auf der Ebene der Koordinierungssteuerung (Typ D) gestattet eine selbständige Bewegungs- und Aktionsplanung auf der Basis einer komplexen Erfassung des technologischen Prozesses (dritte Generation) (nach Haferkorn und Schwarz).

Servoantriebe der Achsen steuert, und den Technologieblock, der die technologischen Aktionen des Roboters und seiner Peripherie über Stell- und Schaltglieder auslöst.



Schematische Darstellung des Zusammenwirkens des Steuerungssystems mit anderen Systemen eines Industrieroboters (nach Schniese)

Das Zusammenwirken des Steuerungssystems, dessen Kernstück der Mikrorechner ist, mit anderen Systemen eines Industrieroboters geht aus dem in der vorstehenden Abbildung enthaltenen Schema hervor. In diesem Schema wird angedeutet, daß über die Programmier- und Bedieneinheiten Einfluß auf das Steuerungssystem und damit auf den Industrieroboter genommen wird. Bei einem für technologische Aufgaben eingesetzten Gelenkroboter z. B. koordiniert der Mikrorechner das Zusammenwirken zwischen dem Steuerungssystem, dem Meßsystem und dem mechanischen System.¹ Er verarbeitet die prozeßbezogenen oder die Peripherie betreffenden Signale bzw. veranlaßt die Auslösung von Signalen. Die für den Mikrorechner erforderlichen Grundprogramme zur

¹ Vgl. Schniese, J.: Roboter für technologische Prozesse. In: Technische Gemeinschaft 12/1981, S. 28 f.

Gewährleistung der Funktionen des Industrieroboters sind in den Speichern enthalten. Die unterschiedlichen Arbeitsprogramme, die die geplanten verschiedenartigen Bewegungen des Industrieroboters zum Inhalt haben, werden entsprechend dem vorgesehenen Arbeitszyklus ausgearbeitet und je nach den differenzierten Einsatzaufgaben des Industrieroboters verändert oder ausgetauscht.

Das in der Skizze erwähnte Servosystem betrifft vor allem die vorhandenen Servoverstärker. Diese setzen kleinste elektrische Steuerleistungen schnell und genau in große mechanische Stelleistungen um und wirken so bei der Ausführung von Befehlen innerhalb eines Regelkreises mit. Ein Servoantrieb kann einen Industrieroboter oder eines seiner Elemente über einen Regelkreis bewegen. Der *Servomotor* (Stellmotor) ist dabei eine Hilfskraftmaschine zur Verstärkung von Steuer-, Regel- und (oder) Bremskräften. Entsprechend der verwendeten Antriebsenergie werden pneumatische, hydraulische und elektrische Servomotoren unterschieden.

Elektronische Industrierobotersteuerungen werden häufig als kombinierte Zeitplan- und Ablaufsteuerungen ausgelegt. Die *Zeitplansteuerung* beeinflusst die Steuerstrecke auf der Grundlage eines Zeitplanes, wie das z. B. bei manchem Montageroboter notwendig ist. Dieser Zeitplan wird mit Hilfe von Lochstreifen, Magnetbändern oder ähnlichen Informationsträgern gespeichert. Bei der *Ablaufsteuerung* sind die einzelnen Schritte im Steuerprogramm vom funktionellen Ablauf des technologischen Prozesses abhängig. Dieser kann an bestimmten Stellen eine Entscheidung vom Mikrorechner verlangen. Aufgrund logischer Entscheidungen im Steuerwerk werden die einzelnen Prozeßschritte abgerufen. Hier ist kein Zeitgeber vorhanden.

Eine Industrierobotersteuerung kann nun so gestaltet sein, daß eine Zeitplansteuerung durch eine Ablaufsteuerung ergänzt wird. Für einzelne, eine Rückkopplung (z. B. über die Temperatur oder die Qualität des Werkstücks) erfordernde Abschnitte des Prozesses wird die Ablaufsteuerung genutzt, während der gesamte Prozeß auf der Grundlage der Zeitplansteuerung vonstatten geht. Je nach den praktischen Erfordernissen müssen auch Regel-

kreise zur Durchführung von Einzelfunktionen innerhalb des Steuerungssystems eingesetzt werden.

Entsprechend den Aufgaben der Roboter werden unterschiedliche Steuerungen auf mikroelektronischer Basis verwendet. Für Roboter in speziellen technologischen Prozessen wurde in der DDR die Industrierobotersteuerung IRS 650 entwickelt. Sie ist für all jene Industrieroboter bevorzugt anwendbar, bei denen koordinierte, gleichzeitige Bewegungen mehrerer Achsen charakteristisch sind, z. B. bei Robotern in Gelenkbauweise. Diese Steuerung ist flexibel und an den jeweiligen technologischen Prozeß gut anpaßbar. Die über Kabel angeschlossene Befehlstafel ermöglicht, daß der Roboter vom technologisch günstigsten Standpunkt aus bedient und programmiert werden kann. Die Programmierung erfolgt im indirekten Teach-in-Verfahren (vgl. S. 36) wobei auch die Eingabe textuell erstellter Programme (vgl. S. 37) über das eingebaute Kassettenmagnetbandgerät möglich ist. Während des Betriebes der Steuerung werden alle wichtigen Funktionen überwacht. Für Inbetriebnahme und Servicezwecke steht dem Anwender ein komplettes Programmpaket zur Verfügung. Diese Programme sind auf Magnetbandkassette gespeichert. Wenn sie genutzt werden, wird ein Bildschirmgerät an die Steuerung angeschlossen, mit dem das Inbetriebnahme- bzw. auch das Reparaturpersonal den Dialog mit der Steuerung führt.

Wege, Koordinaten, Punkte und Bahnen

Um den erforderlichen Ablauf der Bewegungen des Roboters zu erreichen, sind die von seinen Bewegungsachsen zurückgelegten Wege und Winkel zu messen sowie die sich daraus ergebenden Informationen zu signalisieren. Hierzu dienen *Wegmeßsysteme*. Sie bestehen aus einem Meßwertgeber und elektronischen Schaltungen zur Signalformung sowie -verstärkung. Soweit notwendig, schließt sich ein Signalwandler an, so daß das Signal danach zur weiteren Nutzung aufbereitet werden kann.

Bei der Programmierung des Industrieroboters am Einsatzort stellt das Wegmeßsystem Signale über Wege bzw.

Winkel der Achsbewegungen bereit. Bei der Betriebsart »Automatik«, also der Programmwiedergabe, werden die ihnen entsprechenden Angaben von der Steuerung als Sollwerte vorgegeben. Gleichzeitig werden aktuelle Weg- und Winkelpositionen ermittelt und signalisiert. Die sich hierbei ergebenden Informationen sind mit den Sollpositionen zu vergleichen, dann auszuwerten und von der Steuerung weiter zu verarbeiten, so daß aus ihnen neue Steuerbefehle abgeleitet werden können.

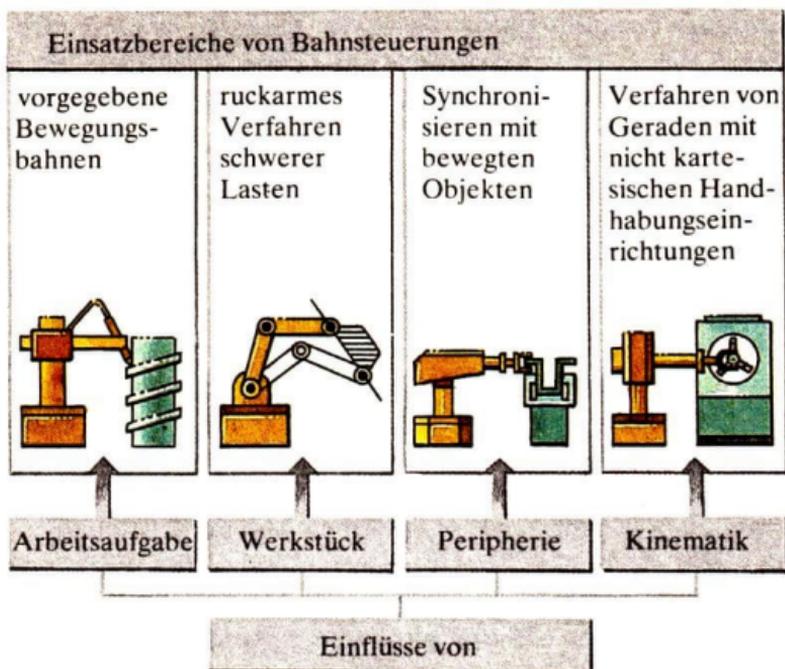
Steuerprogramme für Industrieroboter enthalten auch die Koordinatenwerte zur Bestimmung von Punkten im Arbeitsraum des Roboters. Diese Werte dienen zur Steuerung der Achsen.

Nach einer im Programm vorgegebenen Reihenfolge werden die Koordinatenwerte (Soll-Lagewerte) entsprechend den Signalen des Zeitgebers oder der Prozeßunterbrechung abgerufen. Der Speicherinhalt wird hierbei Schritt für Schritt gelesen. Das Programm wird somit in der vorgegebenen Reihenfolge abgearbeitet. Es berücksichtigt auch die erforderlichen technologischen Werte wie Arbeitsgeschwindigkeit, Druck usw.

Bei den Bewegungen des Industrieroboters bezeichnet man den Grad der Übereinstimmung zwischen einer vorgegebenen Soll- und der erreichten Istposition als *Positioniergenauigkeit*. Sie ist z.B. bei Präzisionsarbeiten, Montagearbeiten mit sehr kleinen Teilen u. ä. sehr wichtig. Neben anderen Baueinheiten hängt es mit von der Steuerung ab, ob die erforderliche Positioniergenauigkeit erreicht wird. Sie kann deshalb oft entscheidend dafür sein, ob bestimmte Handhabeaufgaben mit dem betreffenden Robotertyp ausgeführt werden können.

Ebenso wichtig wie die Positioniergenauigkeit ist die *Wiederholgenauigkeit*, das Maß der Übereinstimmung zwischen den bei gleichen Steuerbefehlen zu unterschiedlichen Zeiten erreichten Positionen.

Für die Industrierobotersteuerungen werden je nach der zu lösenden Aufgabe unterschiedliche *Speicher* zur Aufbewahrung von Informationen verwendet. Sie unterscheiden sich untereinander vor allem durch die Art und Dauer des Zugriffs zum Speicher, die Speicherkapazität sowie dadurch, daß der Speicherinhalt gelöscht werden



kann oder nicht. Zunehmende Bedeutung gewinnen hierbei die digitalen Speicher.

Die von den Industrierobotern zu erfüllenden Aufgaben sind auch entscheidend dafür, ob sie mit *Punkt-* oder *Bahnsteuerungen* ausgerüstet werden.

Punktsteuerungen ermöglichen einen Bewegungsablauf, bei dem die programmierten Positionen im Arbeitsraum auf beliebigen Bahnen erreicht werden. Es besteht also längs des Fahrweges kein definierter Funktionszusammenhang im Hinblick auf die einzelnen Bahnachsen. Derartige Steuerungen sind z. B. bei bestimmten Werkstückhandhabungen, bei der Beschickung von Maschinen, in der Montage und bei ähnlichen Abläufen zu finden.

Eine Bahnsteuerung dient dazu, die Bewegungsabläufe mehrerer Verfahrsachsen des Industrieroboters nach vorgegebenen funktionalen Zusammenhängen zu steuern. Hier ist der Bewegungsablauf entlang einer aus einer dichten Punktfolge bestehenden Bahn vorgegeben und muß eingehalten werden. Beispiele hierfür sind das Farbspritzen, Emaillieren, Ausschäumen, Beschichten und

ähnliche technologische Prozesse. Künftig werden sich die Anzahl der bahngesteuerten Industrieroboter und auch deren relativer Anteil an der Gesamtzahl der eingesetzten Industrieroboter erhöhen.

Roboter »lernen«

Im Unterschied zur Programmierung von Bearbeitungsvorgängen an numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen – hier müssen im wesentlichen nur Weg- und Schaltinformationen programmiert werden – ist die Programmierung von Industrierobotern erheblich vielseitiger. Unter einem *Programm* wird dabei eine geordnete Menge von Befehlen zum Abarbeiten eines Algorithmus verstanden. Mit Hilfe von Steuerungsprogrammen für Industrieroboter sind die Bewegungsgeometrie, die Ablauffolge, Maßnahmen zur Überwachung und Kommunikation u. a. in einzelnen Programmschritten zu beschreiben. Es werden z. B. – ausgehend von den in den Arbeitsunterlagen für den technologischen Ablauf enthaltenen Angaben – die Anweisungen für die einzelnen Verrichtungen, die der Industrieroboter ausführen soll, seiner Steuerung in kodierter Form zur Verfügung gestellt. Diese über Eingabegeräte eingegebenen und abgespeicherten Informationen werden zum Teil auch durch das Verknüpfen von Programmen realisiert, wobei die Steuerung diese Informationen direkt oder indirekt interpretieren muß. Danach wird die entsprechende Achse angesteuert.

Die Art der Steuerung ist ausschlaggebend für das Programmierverfahren, das zugrundezulegende Programmprinzip sowie auch den Ort, an dem programmiert wird. Die Erarbeitung eines Programms für die Steuerung eines Industrieroboters bezeichnet man als *Programmieren*. Bei externer Programmierung wird das Arbeitsprogramm (auch Bewegungsprogramm genannt) für den Industrieroboter in einer Programmierstelle erarbeitet und in seine Steuerung eingegeben. Im Unterschied hierzu entsteht ein solches Programm bei der internen Programmierung unmittelbar »vor Ort«, indem der Industrieroboter angefahren und der Ablauf seiner Bewegungen, also die ein-

zelen hierbei erreichten Positionswerte, gespeichert werden. Auch das Abfahren einer Bahn bei manueller Führung des Industrieroboters (direkte Teach-in-Programmierung; vgl. S. 36) ist eine Form der internen Programmierung.

Das auf diese unterschiedliche Weise entstandene Arbeitsprogramm enthält die Gesamtheit von Anweisungen zur Ausführung einer Operationskette, in der nicht nur jeder einzelne Schritt eindeutig vorgeschrieben, sondern ebenso festgelegt ist, unter welchen Bedingungen die Operationen abzubrechen oder selbsttätig zu verändern sind. Diese Arbeitsprogramme enthalten Anweisungen für die Operationen des Bewegungszyklus, zur informellen und steuerungsmäßigen Kopplung mit peripheren Einrichtungen sowie solchen der technologischen Grundausrüstung, aber auch für jene Operationen, die sich aus der technologischen, organisatorischen und sicherheitstechnischen Prozeßführung ergeben.

Zur Programmierung von Industrierobotern werden Programmiersprachen verwendet. Jede dieser Sprachen besteht aus einer Menge von Zeichenfolgen zur Darstellung von Datenverarbeitungsprozessen. Es gibt z. B. elementare Programmiersprachen und auch problemorientierte, die aber größere Anforderungen stellen. Bei jenen Industrierobotern, für die umfangreiche Daten über die zu handhabenden oder zu montierenden Teile, den technologischen Prozeß, den Roboter und seine Peripherie die Grundlage der Steuerung von Handhabeoperationen bilden, zeigt sich deutlich eine Tendenz zur Entwicklung höherer robotertypischer Programmiersprachen.

Die traditionelle Art der Programmierung ist die *manuelle Programmierung*. Hierbei werden die für den Bewegungsablauf des Roboters erforderlichen Angaben in einem für die Steuerung geeigneten Code von einem Bedienfeld bzw. einem speziellen Programmierfeld aus oder mittels eines zusätzlichen Handbedien- und Programmiergerätes von der Größe eines Taschenrechners manuell in den Programmspeicher eingegeben. Zu diesem Zweck sind die Handbedien- und Programmiergeräte über einen digitalen Eingabekanal mit dem Zentralprozessor des Rechners verbunden. Sie verfügen neben der

Eingabetastatur über jeweils mehrere Funktions- und Achsverfahrtasten sowie einen Notschalter. In der Regel sind sie nur für die Betriebsarten Programmierung (z. B. zur Eingabe von Sollwerten, Positionen und anderen Zahlenwerten in den Steuerungsdatenspeicher des Rechners) und Handverfahren (z. B. zur Übermittlung von Geschwindigkeits- und Lagesollwerten, Schaltfunktionen u. ä.) ausgelegt.

Bei der *Teach-in-Programmierung* geht es darum, daß der Mensch den Industrieroboter etwas »lehrt«. Dies erfolgt z. B. auf direkte Art beim Programmieren eines Farbspritzroboters.

Zunächst wird aus den Erfahrungen der besten Arbeiter das vorteilhafteste Vorgehen beim Spritzen eines Teiles ermittelt. Danach führt ein Arbeiter den Roboterarm mit der Spritzpistole entsprechend dieser besten Arbeitsweise, wobei die Abläufe als Programm eingespeichert werden. So »lernt« der Industrieroboter, die Spritzpistole zweckmäßig zu führen und die Farbe rationell aufzutragen. Dazu werden aus dem Speicher die Positionswerte immer wieder abgelesen und an die Achsregelkreise weitergeleitet. Hierbei kommt es auf die Wiedergabegenauigkeit an, die die Übereinstimmung zwischen der manuell geführten und maschinell wiedergegebenen Position charakterisiert. Bei dieser direkten Teach-in-Programmierung kann der Bewegungsablauf beim Programmiervorgang auch mit geraffter oder gedehnter Zeitskala eingegeben werden.

Diese Art des Programmierens wird ebenfalls bei anderen Beschichtungsvorgängen, beim Lichtbogenschweißen und in ähnlichen technologischen Fällen angewendet.

Neben der direkten gibt es die indirekte Teach-in-Programmierung. Hierbei werden ausgewählte Raumpositionen des Bewegungsablaufs im Handbetrieb abgefahren und die entsprechenden Lagewerte eingespeichert. Andere Teile des Programms – z. B. die Eingabe von Zeit- oder Geschwindigkeitsangaben oder Aktions- und Programmablaufbefehlen – werden vom Bedienfeld aus oder über ein mit der Steuerung verbundenes tragbares Bedien- und Programmiergerät eingegeben und gespeichert. Diese gemischte Form des Programmierens wird u. a.

beim Lichtbogenschweißen, bei anspruchsvollen Programmen zur Maschinenbedienung, beim Gußputzen oder Entgraten eingesetzt.

Eine dritte Art der Programmierung ist die *maschinelle*. Bei ihr wird der in einem Programmablaufplan fixierte Inhalt des Arbeitsprogramms vom Programmierer in eine maschinell lesbare Form gebracht. Gegebenenfalls wird mit Hilfe eines Programms für die Übersetzung von Programmen, eines Compilers, das ursprüngliche Programm durch den Rechner verarbeitet und das für den betreffenden Roboter erforderliche Arbeitsprogramm hergestellt. Größere Befehle können durch die Nutzung von Unterprogrammen in einzelne detaillierte Roboteranweisungen aufgelöst werden. Es ist möglich – eventuell auch mit Hilfe von Unterprogrammen –, spezifische Roboter-, Werkzeug- und (oder) Werkstückdaten, Anweisungen über die Reihenfolge u. ä. zu ergänzen.

Sehr zukunftssträchtig ist die *textuelle Programmierung*. Das Programm wird hierbei entweder in einer problemorientierten Programmiersprache geschrieben und verschlüsselt oder in natürlicher Sprache unverschlüsselt in einen Programmspeicher übertragen. Diese Programmierung wird z. B. bei komplexen Bearbeitungsaufgaben – wie der Montage von Funktionseinheiten – angewendet.

Flexibilität sehr gefragt

Da in der Produktion bei Klein- und Mittelserienfertigung eine relativ häufige Veränderung des Bewegungsprogramms der Industrieroboter erforderlich ist, können bei den für solche Aufgaben verwendeten Robotern nur programmierbare Steuerungen eingesetzt werden.

Industrierobotersteuerungen sind programmierbar, wenn der Programmablauf verändert werden kann. Der durch das Bewegungs- (oder Arbeits-) programm festgelegte Ablauf muß gespeichert werden können. Je besser eine Industrierobotersteuerung sich an die gestellten Handhabeaufgaben, den technologischen Prozeß und an eventuell übergeordnete Steuerungssysteme anpassen läßt und je geringer der Arbeitsaufwand für die Umstellung

von einer Arbeitsaufgabe auf die andere bzw. für die damit verbundene Programmänderung ist, um so flexibler ist die Steuerung und um so flexibler ist damit der Roboter einsetzbar. Bei elektronischen Programmspeichern ist dieser Aufwand für die Umstellung im Vergleich zu dem bei mechanischen Programmspeichern relativ niedrig.

Flexible Industrierobotersteuerungen müssen zahlreichen Parametern entsprechen und ein großes Informationsvolumen verarbeiten. Hierbei ergeben sich an die Steuerungen Anforderungen u. a. aus

- den Wegmessungen und Wegbedingungen, wobei Suchfunktionen und die dreidimensionale Musterverarbeitung eine Rolle spielen können;
- dem Bewegungsverhalten und den Bewegungsbedingungen, wobei ein ruckarmes Anfahren und Abbremsen durch die entsprechende Geschwindigkeitsvorgabe für die Geschwindigkeitsregelkreise gewährleistet werden soll;
- den logischen Bedingungen, z. B. bei verschiedenen Betriebsarten des Industrieroboters oder dem sofortigen Anhalten des Roboterarmes mit Hilfe eines Notprogrammes.

Im Prozeß des Reagierens auf Ereignisse, die sich in der Umgebung des Industrieroboters abspielen und ihn beeinflussen, muß die Industrierobotersteuerung auch logische Entscheidungen fällen. Ein anschauliches Beispiel dafür ist die Steuerung bei der Mehrmaschinenbedienung, wenn jede Maschine in beliebiger Reihenfolge bedient werden kann, also ein sogenannter freier Arbeitsablauf durch den Industrieroboter zu bewältigen ist. In diesem Falle muß jede Maschine ein eigenes Steuerprogramm haben, das durch ein zentrales Überwachungsprogramm aufgerufen wird.

Für den flexiblen Robotereinsatz erlangt die *Software*¹,

¹ Unter »Software« versteht man in der Rechentechnik bzw. im Zusammenhang mit Rechnersteuerungen die Gesamtheit der Systemunterlagen, Dokumentationen und andere anwendungsbezogene Programme, z. B. die Steuerungs-, Programmierarbeits-, Bedienungs-, Überwachungs- und Diagnosesoftware. Mit dem Begriff »Hardware« wird die technische Ausstattung von Rechnern bzw. Rechnersteuerungen zusammengefaßt.

Während Anfang der 60er Jahre der Anteil der Hardware etwa

d. h. die Sammlung von Programmen und Dokumentationen, zunehmende Bedeutung, weil die modernen komplizierten Roboter für immer vielseitigere technologische Prozesse genutzt und entsprechend schwierige und aufwendige Arbeitsprogramme für unterschiedlichste Einsatzfälle erforderlich werden.

In manchen Fällen müssen mehrere, auch verschiedenartige Industrieroboter in automatisierten Fertigungssystemen eingesetzt werden. Deshalb sind hierarchisch aufgebaute Rechnersysteme mit einem umfangreichen Softwarekomplex erforderlich. Auch die Kopplung mehrerer Fertigungszellen (siehe S. 79/80) bedingt solche Rechnersysteme mit ihrer Software. Als Folge dieser Entwicklung ist der absolute und relative Anteil der Aufwendungen für die Entwicklung und Pflege der robotertypischen Software im Steigen begriffen. Diese Kosten sind jedoch gerechtfertigt, da die Software künftig dazu beitragen wird, die Möglichkeiten der Mikroelektronik zur Effektivitätssteigerung im Zuge der flexiblen Automatisierung voll zu nutzen.

Sensoren

Da ein Roboter nicht über Sinne zum Fühlen und Sehen verfügt, muß ihm ein System, mit dem er Gegenstände erkennen kann, bereitgestellt werden. Derartige Erkennungssysteme können bereits nutzbringend sein, wenn sie darüber informieren, ob ein Gegenstand vorhanden ist oder nicht. Als Teile des Erkennungssystems eines Industrieroboters nehmen die Sensoren Zustände oder ganze Bilder mit Szenen wahr und signalisieren die entspre-

80 Prozent und der der Software etwa 20 Prozent am Gesamtaufwand für eine Rechenanlage betrug, hat sich infolge ihrer vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten bis zum Beginn der 80er Jahre dieses Verhältnis umgekehrt. Auch für die Industrierobotersteuerungen erhöhte sich der Anteil der Software an den Beschaffungs- und Betriebskosten in den letzten Jahren bedeutend, was insbesondere auf die Notwendigkeit der ständigen Pflege und Weiterentwicklung der Software zurückzuführen ist.

chenden physikalischen Größen an das zugehörige Auswertesystem.

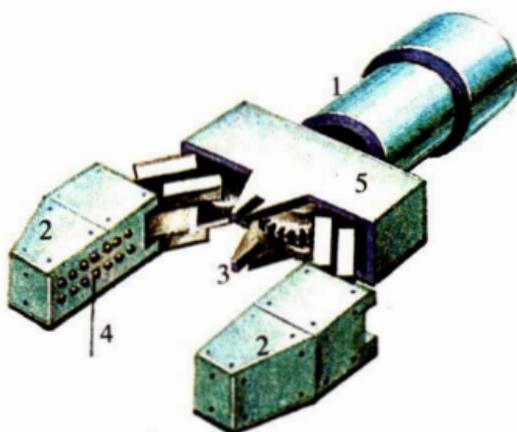
Ausgehend von der Aufgabenstellung der verschiedenartigen für die Industrierobotertechnik benötigten Sensoren, kann man – von speziellen Anwendungsfällen abgesehen – etwa folgende Gruppen bilden:

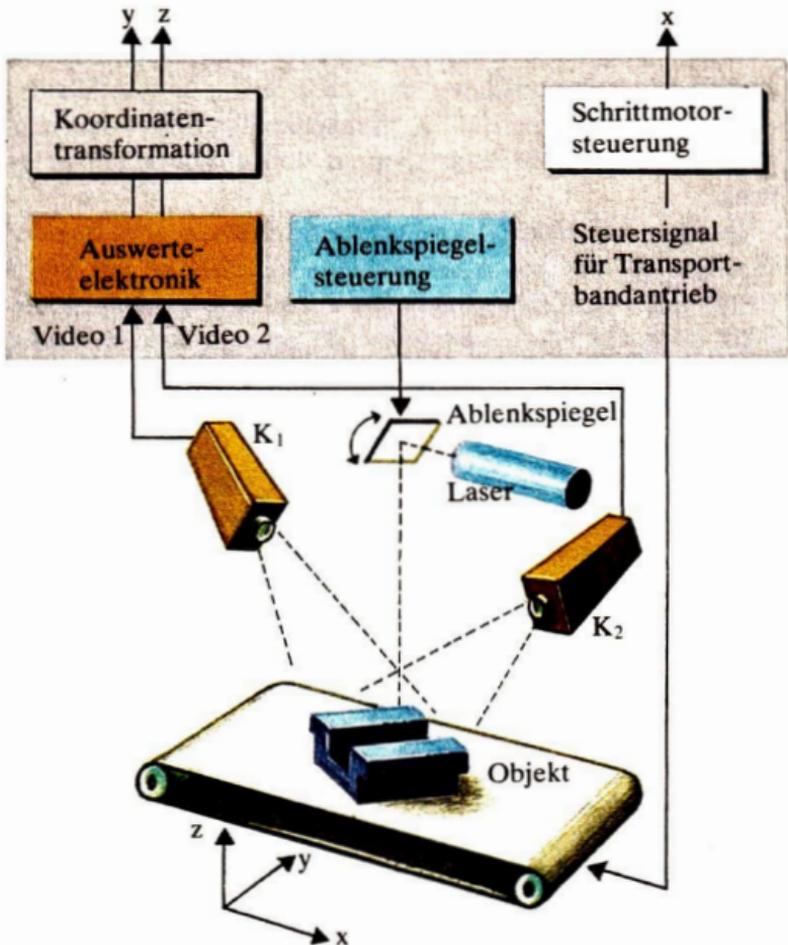
- Lage-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungssensoren zur dynamischen Steuerung eines Industrierobotersystems
- Kraftsensoren zum Erfassen äußerer Kräfte und Momente
- Greifkraftsensoren
- Sensoren zum Erkennen von äußeren Berührungen
- Sensorfelder zum Erkennen von Werkstückprofilen oder Werkstückverschiebungen, zur Identifizierung von Werkstücken sowie ihrer Lage
- visuelle Sensoren zur Szenenerkennung sowie zur Inspektion und Analyse des Industrieroboterbereiches
- bahnüberwachende Sensoren zur Vermeidung von Kollisionen und andere Sicherheitssensoren.

Wir wollen einige ausgewählte Sensoren etwas näher betrachten.

Taktile Sensoren können die Annäherung an einen Ge-

Greifer mit taktilen Sensoren. 1 – Gelenksensor; 2 – extreme Berührungssensoren; 3 – Werkzeughalter; 4 – Greifersensoren; 5 – Gehäuse für Greiferantrieb und Potentiometer





Dreidimensionale Abtastung (nach Wolf)

genstand oder dessen Berührung sowie physikalische Größen signalisieren, die vorwiegend äußere, auf den Industrieroboter einwirkende Einflüsse wie Temperaturen, Abmessungen, Masse u. ä. widerspiegeln. Gleichzeitig braucht der Industrieroboter aber für seine eigenen Bewegungen, für die innere Verarbeitung Informationen über Kräfte, Winkel, Wege usw. Die Sensoren nehmen also Meßgrößen aus der Umgebung bzw. am Industrieroboter selbst auf. Nach entsprechender Umwandlung der der Wahrnehmung des Sensors adäquaten Signale werden

diese über den Istzustand gemeldeten Informationen mit den im Speicher befindlichen Sollwerten verglichen und daraus die erforderlichen Steuerbefehle zur Ausführung von Handhabungen oder Korrekturen abgeleitet und ausgelöst. Man spricht hierbei auch von einer Sensorsteuerung.

Beispiele für das Wirken taktiler Sensoren sind das vorsichtige und sichere Annähern des Greifers an ein Werkstück, das behutsame Ergreifen eines zerbrechlichen Objekts oder das Einführen eines Bolzens in eine Bohrung.

Die *optischen Sensoren* reichen von einfachen optischen Erkennungseinheiten, die z. B. bewegte Werkstücke durch ihre Form wahrnehmen können, über Fotodiodenarrays¹ und Kameras bis zu hochentwickelten Objekterkennungssystemen. Mit industriellen Fernsehkameras ausgerüstete Sensorsysteme werden als visuelle Erkennungssysteme bezeichnet.

In hochentwickelten Erkennungssystemen werden Bilder ausgewertet. Dazu gehören neben den Aufnahmekameras Bildwandlersysteme in Kombination mit Bildverarbeitungssystemen. Aus den dreidimensionalen Objekten werden signifikante Merkmale herausgelöst, wobei es sich z. B. handeln kann um das

- Identifizieren von Werkstücken und Montageteilen
- Bestimmen der Lage von zu handhabenden Gegenständen und der Orientierung im Verhältnis zu vorgegebenen Koordinatenachsen
- Erkennen und Auffinden von Werkstückmerkmalen
- Überwachen von Prozessen und Sichern der Qualität.

Ein hochentwickeltes Objekterkennungssystem arbeitet etwa folgendermaßen: Eine Fernsehkamera überblickt eine ganze Szene, analysiert diese und erkennt darin Objekte. Der Roboter kann hier die Aufgabe haben, ein ungeordnet neben anderen liegendes Werkstück nach Form, Ort und Lage zu erkennen und zu handhaben. Das stellt an die Bilderkennung und -verarbeitung höchste Anforderungen.

Bei der Lösung dieser komplizierten Aufgabe – der Entwicklung eines derartig hohen Ansprüchen genügen-

¹ flächenhafte Anordnung von Fotodiodenzeilen

den Erkennungssystemen – stützen sich die Wissenschaftler vor allem auf das Wissen über das visuelle System des Menschen, auf Informationen über das voraussichtlich zu analysierende Bildmaterial, auf Forschungsergebnisse aus der Physik, Informatik und Mathematik.

Ein Beispiel für ein derartiges automatisch arbeitendes System für Industrieroboter ist das von der Technischen Hochschule Ilmenau entwickelte und im VEB Röhrenwerk Neuhaus a. R. bei der automatisierten Transistorherstellung – zum automatisierten Anbinden von Drähten auf Chips – eingesetzte Objekterkennungssystem. Es dient zusammen mit dem mikrorechnergesteuerten Mehrkoordinaten-Positioniersystem zur Steuerung von Industrierobotern. Die hauptsächlichen Baueinheiten dieses Objekterkennungssystems sind der Mikrorechner, eine Kamera und ein Koordinatentisch.

Mehr und mehr werden auch visuelle Roboterüberwachungseinrichtungen entwickelt und gebaut. Solche Einrichtungen können u. a. auf der Grundlage von Systemen zur automatisierten Bildverarbeitung die maschinelle Inspektion eines Roboterkomplexes vornehmen oder Werkstücke kontrollieren. Diese Robotersysteme stellen mit ihren Kameras die mangelhaften oder fehlenden Teile fest und sind somit zur Qualitätsüberwachung ausgezeichnet geeignet.

Das visuelle Überwachen und Überprüfen im Verlaufe des Produktionsprozesses ist eine die Nerven belastende und eintönige Arbeit. Die Wahrnehmung solcher Aufgaben erfordert gegenwärtig noch Tausende von Arbeitskräften in unserer Volkswirtschaft. Der ökonomische Einsatz der Industrierobotertechnik ist in vielen Produktionsprozessen unmittelbar von der Automatisierung dieser visuellen Überwachung und Überprüfung abhängig, denn »blinde« Industrieroboter bringen nur einen Teil des möglichen ökonomischen Nutzens.

Solche Überwachungs- und Kontrollsysteme arbeiten in der Regel mit einer Spezialekamera, einem Mikrorechner, einem Eingabegerät mit Tastatur ähnlich einer Schreibmaschine, einem Bildschirm zum Sichtbarmachen von Informationen für den Bediener und einem Kassettentonbandgerät zum Übergeben von Informationen

an den Mikrorechner bzw. zur Aufnahme von Informationen.

Zwei bis drei Arbeitskräfte werden z. B. durch das »MAVIS«, ein modular aufgebautes visuelles System ersetzt, das von der Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse, entwickelt und erprobt wurde. Die Moduln dieses Systems sind unterschiedliche Mikrorechnerprogramme, die je nach der Aufgabe gestaltet bzw. ausgewählt werden.

Dieses visuelle System ist u. a. dort von Vorteil, wo es um die Lageerkennung und Flächenvermessung von Werkstücken bzw. das Sortieren von Werkstücken und ähnlichen Teilen geht, die dann einem anderen Roboterplatz zur weiteren Bearbeitung zugeführt werden. Je nach dem Schwierigkeitsgrad beim Erkennen der Teile braucht das MAVIS 200 Millisekunden bis 2,5 Sekunden für jedes zu erkennende Objekt.

Zunächst werden die Silhouetten der auszuwählenden Teile aufgenommen und gespeichert. Das System vergleicht die Werte eines vorgeführten Teiles mit den im Speicher vorhandenen Werten. Bei Übereinstimmung werden die erforderlichen Befehle an den Roboter gegeben, damit er dieses ausgewählte richtige Teil den Erfordernissen des Produktionsprozesses gemäß handhabt. Auf diese Weise werden beispielsweise jene Teile zum Spritzen aus vorgeführten verschiedenartigen Teilen für den Roboter ausgesucht, die gerade dem in der Steuerung des Spritzroboters eingespeicherten Programm entsprechen. Die Maßgenauigkeit von Bohrungen, die Schneidhaltigkeit von Drehmeißeln oder Bohrern, die Oberflächen von Gußteilen, die Beschaffenheit von Rohren usw. können ebenfalls geprüft werden. Durch die Verwendung von Erkennungssystemen ergeben sich auch Vorteile in roboterisierten Montageprozessen (siehe Abb. auf S. 72).

Diese wenigen Einsatzfälle zeigen bereits die Vielseitigkeit der Verwendungsmöglichkeiten des MAVIS.

Da es in der DDR verschiedene visuelle Erkennungssysteme gibt, wird ein nächster Schritt darin bestehen, diese Systeme aufeinander abzustimmen, um der Volkswirtschaft vielseitig einsetzbare Systemlösungen zum Erkennen von Objekten zur Verfügung zu stellen.

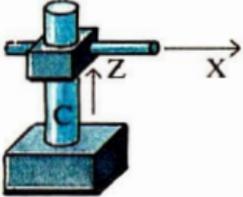
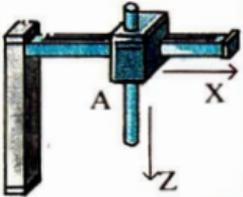
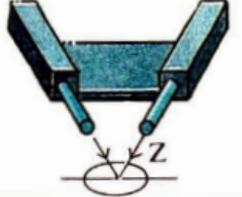
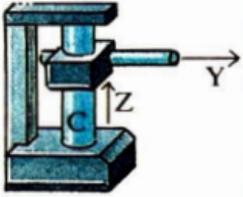
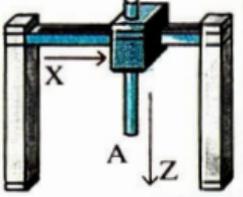
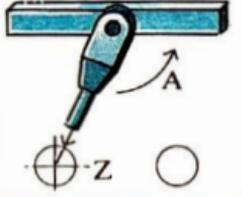
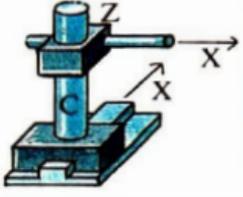
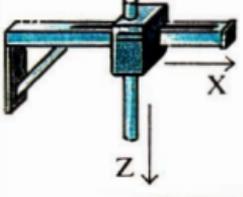
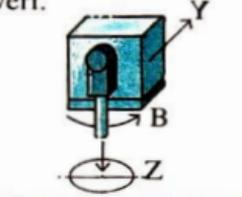
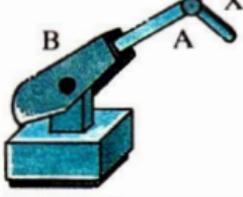
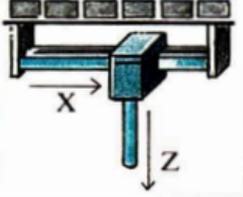
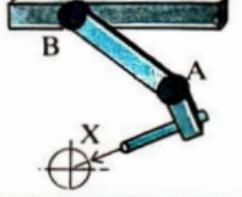
Industrieroboter aus dem Baukasten

Bei der Konstruktion und dem Bau von Industrierobotern – insbesondere von Beschickungs- und Schweißrobotern – ergeben sich durch die Verwendung von Baukastenelementen große Vorteile. Das Baukastenprinzip ermöglicht den Aufbau von Robotern in begrenzter Sortimentsbreite aus Funktionselementen, d. h. aus Grundelementen wie standardisierten Schub- bzw. Dreheinheiten, sowie Baugruppen, die wiederum zu Baueinheiten zusammengefaßt werden. Diese realisieren jeweils Grundfunktionen, die zu bestimmten Baukomplexen bzw. zur Gesamtfunktion eines Roboters führen.

Im Baukastensystem für Beschickungsroboter erwiesen sich die gewählten Baugrößen 1 (Handhabemasse kleiner als 10 kg), 2 (10 bis 40 kg) sowie 3 (40 bis 100 kg) als ebenso sinnvoll wie die Bauformen IR/S (geschlossene oder offene Variante der Ständerbauweise), IR/S mobil (mit Bodenverfahreinheit), IR/P (Portalvariante) und IR/SO (Sonderbauform »Huckepack«) als Integrations-einheiten. Diese Baukastenkonzeption schließt unterschiedliche Antriebe und Steuerungsvarianten, Sensorintegration sowie gegenseitige Austauschbarkeit einzelner Baugruppen ein.

Da die Einsatzfälle vielfach spezifische Anforderungen an den jeweiligen Industrieroboter stellen, ist in den Kombinat- und Betrieben – teilweise unter Verwendung von Baugruppen der Baukastensysteme – der Eigenbau von Industrierobotern verstärkt worden – eine auch international übliche rationelle Methode, da mit ihr den betrieblichen Bedingungen optimal angepaßte Lösungen erzielt werden können. Auf diese Weise lassen sich auch periphere Anlagen für Industrieroboter rationeller herstellen. Dazu gehören Sicherheitseinrichtungen für den Arbeitsschutz, Speicher für Werkstücke, Werkzeuge und Greifer, Anlagen zur Werkstück- oder (und) Werkzeugreinigung, Spann- und Positioniereinrichtungen für Werkstücke, Meß- und Prüfgeräte zur Qualitätsüberwachung, Lage- und Objekterkennungssysteme sowie Transporteinrichtungen.

Allerdings werden nicht immer alle diese peripheren

Ständer	Portal	Integrations- einheiten	
offen 	Ausleger 	V-Förmig 	40–100 kg
C-Form 	Zweiständer 	Pendel 	10–40 kg
offen, verfahrbar 	Wand 	Linear-Beschickungs- verf. 	10–40 kg
offen-Gelenk 	Decke 	Gelenkbeschickung 	1–10 kg

Baukastenkonzept von Industrierobotern für die Beschickung von technologischen Einrichtungen. X, Y, Z: Bewegungsrichtungen; A, B, C: Drehachsen (nach Päßler)

Anlagen benötigt. Jeder Einsatz von Industrierobotern setzt aber zumindest die Sicherheitseinrichtungen zur Gewährleistung des Arbeitsschutzes sowie die Werkstückspeicher voraus.

In der Zukunft werden die in die technologische Ein-

heit und die Handhabungsaufgabe einbezogenen Einrichtungen zur Qualitätsüberwachung und im Zusammenhang damit zur Werkstückreinigung immer größere Bedeutung erlangen, da eine hohe Quote der Freisetzung von Arbeitskräften beim Industrierobotereinsatz maßgeblich mit von der Bereitstellung automatisierter Einrichtungen zur Qualitätsüberwachung abhängt. Wenn z. B. die Meßaufgaben oft wechseln, einen großen Zeitanteil in Anspruch nehmen und hohe Genauigkeitsanforderungen bestehen, ist auch der relativ umfangreiche Aufwand für flexible Meßeinrichtungen gerechtfertigt. Sie werden bei der flexiblen Automatisierung neben den Spann- und Positioniereinrichtungen benötigt. Auch Lage-, Objekterkennungs- sowie Transporteinrichtungen werden in zunehmendem Maße eingesetzt.

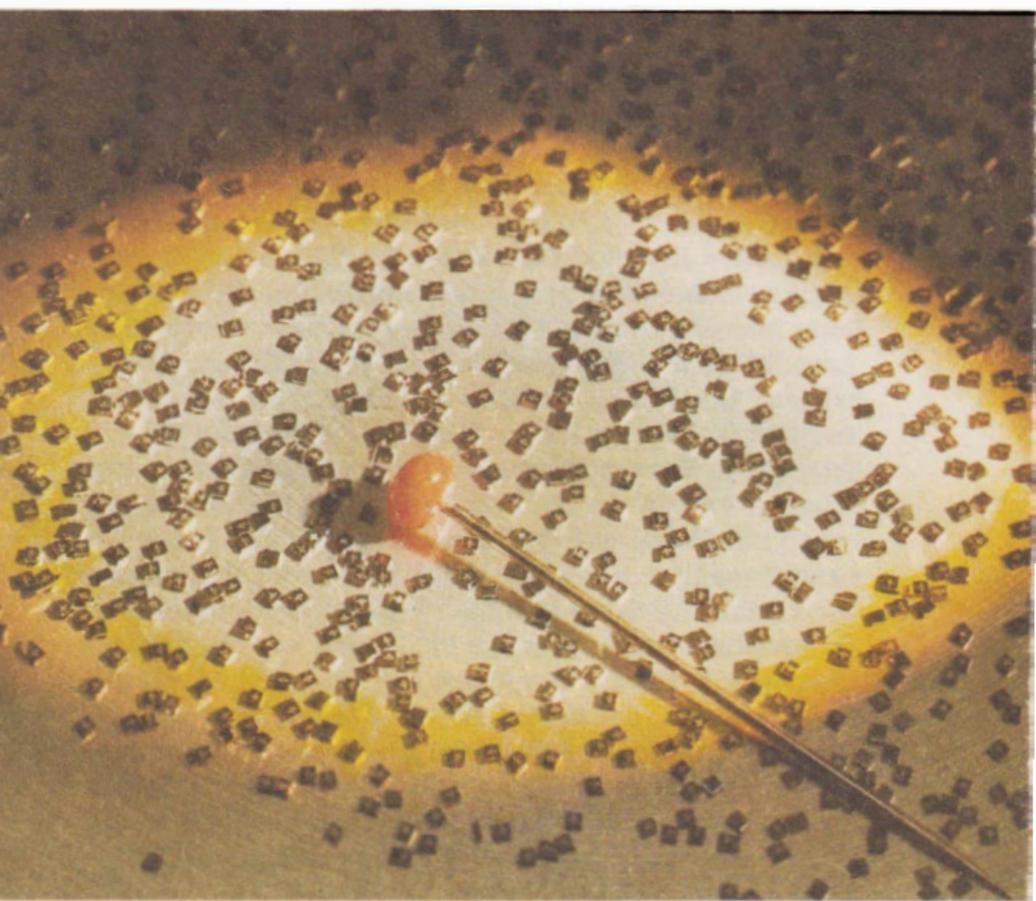
Bei der Entscheidung über die peripheren Einrichtungen eines Industrieroboters spielen die stark differierenden Kosten eine große Rolle. Sie können z. B. bei einem Montageroboter zwei Drittel und in anderen Fällen sogar bis zum Mehrfachen der Kosten für den Industrieroboter selbst betragen. Je höher aber das technische Niveau der Industrieroboter ist, um so niedriger sind die prozentualen Kosten für seine Peripherie. Ein für einen bestimmten Anwendungsfall gut durchkonstruierter Industrieroboter übernimmt alle in seiner unmittelbaren Umgebung auszuführenden Bewegungen von Werkstücken, Werkzeugen, Greif- und anderen Hilfseinrichtungen selbst, wodurch die Kosten für die Peripherie und damit für das betreffende Rationalisierungsvorhaben insgesamt niedrig gehalten werden. In die Peripherie verlegte Bewegungen haben zur Folge, daß ihre Realisierung in der Regel kostenaufwendiger ist als ihre Ausführung vom Industrieroboter selbst. Auch die zentrale Fertigung bestimmter häufig benötigter peripherer Einrichtungen wie Werkstückspeicher u. a. auf der Grundlage von Typenlösungen kann dazu beitragen, die Kosten für die Peripherie zu vermindern. Dem gleichen Ziele dient die Entwicklung anwenderspezifischer mikroelektronischer Funktionseinheiten für Industrieroboter einschließlich ihrer Peripherie aus Bauelementen, die in großen Stückzahlen hergestellt werden.

Mikroelektronik: Voraussetzung und Stimulator der Robotertechnik

Die Erhöhung der Leistungsfähigkeit und die Erweiterung des Einsatzfeldes der Industrieroboter wurde von der Entwicklung der Mikroelektronik unmittelbar beeinflusst bzw. durch sie überhaupt erst ermöglicht.

Die Ära der Mikroelektronik begann etwa um 1960 mit der Herstellung integrierter Schaltkreise zur Verarbeitung von Signalen. Durch Aufbringen der erforderlichen Strukturen auf Plättchen aus Silizium oder anderen Werkstoffen mit nur wenigen Millimetern Kantenlänge –

Siliziumchips im Größenvergleich mit einer Stecknadel



den sogenannten Chips – entsteht ein solcher Schaltkreis, der noch mit Kontakten und einer Schutzkappe versehen wird. Er vereinigt in sich eine Vielzahl von elektronischen Funktionseinheiten.

Auf dem Gebiet der Mikroelektronik schreitet die wissenschaftlich-technische Entwicklung mit Riesenschritten voran. Deutlich sichtbar ist das am Integrationsgrad, d.h. an der Anzahl der Funktionselemente, die auf einem Chip realisiert werden. Diese stürmische Entwicklung verlief von der Kleinintegration mit 10 bis 100 Funktionselementen je Chip über die Mittelintegration mit 10^2 bis 10^3 , die Hochintegration mit 10^3 bis 10^4 , die Höchstintegration mit 10^4 bis 10^6 Funktionselementen je Chip bis zur Funktionselektronik, der funktionsorientierten Realisierung mit mehr als einer Million Funktionselementen je Chip. Zu den hochintegrierten Schaltkreisen gehören z. B. Mikroprozessoren und Arbeitsspeicher. Aus ihrer Zusammenschaltung mit Ein- und Ausgabeeinheiten sowie anderen Schaltkreisen entstehen die Mikrorechner.

Aber nicht nur die Anzahl der auf einem Chip untergebrachten Funktionselemente, sondern auch die Zuverlässigkeit der elektronischen Bauelemente ist mit der Entwicklung der Mikroelektronik bedeutend erhöht worden. Die Ausfallraten der Chips sind wesentlich niedriger als die der früheren Bauelemente wie Elektronenröhren oder herkömmliche Transistoren.

Diese wenigen Fakten deuten schon an, daß die Mikroelektronik revolutionäre Veränderungen der Produktionsmittel, Technologien und Erzeugnisse mit sich bringt. Von ihr gehen entscheidende Impulse für neue Rationalisierungseffekte in bedeutenden Größenordnungen in allen Bereichen der Volkswirtschaft aus. Voraussetzung für deren Realisierung ist jedoch die Herstellung bzw. Einfuhr mikroelektronischer Bauelemente in der erforderlichen Stückzahl. Während im Jahre 1976 in der DDR nur eine geringe Anzahl von Typen mikroelektronischer Bauelemente im Werte von einigen Millionen Mark hergestellt worden ist, konnte diese Produktion bis zum Jahre 1980 schon auf rund eine Milliarde Mark gesteigert werden. Sie erhöhte sich seitdem kontinuierlich mit jährlichen Wachstumsraten von 20 bis über 40 Prozent.

Mit Hilfe der Mikroelektronik erreicht die Erzeugnisentwicklung in der Industrie, insbesondere auch der Konsumgüterindustrie, ein qualitativ höheres Niveau. Die weitere Durchsetzung der Automatisierung und der bedienungsarmen Fertigung – nicht zuletzt unter Einsatz Tausender von Industrierobotern – sowie die Rationalisierung in den produktionsvorbereitenden Bereichen und auf dem Gebiete der Dienstleistungen werden ebenfalls durch den verstärkten Einsatz der Mikroelektronik vorangetrieben.

Erst die Fortschritte der Mikroelektronik gestatteten es, freiprogrammierbare Industrieroboter zu entwickeln und herzustellen. Mit Hilfe mikroelektronischer Bauelemente – z. B. hoch- und höchstintegrierter digitaler Schaltkreise als Grundbausteine für elektronische Steuerungen – wird das Entwicklungstempo der Industrierobotertechnik weiter forciert.

Aber auch andere Auswirkungen und Anwendungen der Mikroelektronik kommen dem Einsatz der Industrierobotertechnik und damit der weiteren Automatisierung der Produktion zugute. Beispiele hierfür sind die rechnergestützte Fertigung (CAM = Computer-Aided Manufacturing) und die rechnergestützte Konstruktion (CAD = Computer-Aided Design). Damit werden ebenfalls produktionsvorbereitende Prozesse rationalisiert. Die durchgängige Automatisierung von der Konstruktion bis zur Fertigung ist somit erreichbar.

Der Arbeitsplatz für Konstrukteure und Technologen dient der effektiven Kommunikation zwischen Mensch und Rechner. Die einzelnen Schritte des Prozesses der Konstruktion oder der technologischen Produktionsvorbereitung werden mit Hilfe eines Rechners ausgeführt und die diese Prozesse betreffenden Datenstrukturen aufgebaut. Die im Rechner für Zwecke der Konstruktion gespeicherten Daten und Zeichnungen bzw. Modelle können in vielfältiger Weise kombiniert und verarbeitet werden. Deshalb sind diese hochproduktiven Einrichtungen für Konstrukteure und Technologen vielseitig einsetzbar. Im Werkzeugmaschinenbau, in der Automobilindustrie, der Elektrotechnik/Elektronik, im Anlagenbau, in der Textil- und Schuhindustrie sowie anderen Berei-

chen wurden damit in der DDR bereits weitreichende Rationalisierungsvorteile erschlossen. Die Entwicklungszeiten konnten bis zu 80 Prozent und die Entwicklungskosten bis zu 50 Prozent gegenüber den herkömmlichen Methoden gesenkt werden. Bei den Technologen betrug die Arbeitszeiteinsparung sogar bis zu 90 Prozent.

Dem Nutzer eines rechnergestützten Konstruktionsarbeitsplatzes stehen an Stelle der bisher üblichen Schreib- und Zeichengeräte z. B. zur Verfügung:

- Schwarz-weiß-Bildschirm mit alphanumerischer Anzeige, hochauflösende Bildschirmsysteme zur Abbildung von Zeichnungsdetails, Grafiken usw.
- Lichtgriffel, mit dem der Konstrukteur direkt auf dem Bildschirm »zeichnen« kann
- Einrichtungen zur Fixierung von Positionen auf dem Bildschirm
- Geräte zur Eingabe von Text und Zeichnungen oder Skizzen
- Drucker und automatische Zeichengeräte, sogenannte Plotter, für die Ausgabe von Informationen und Zeichnungen auf Papier.

Der aus mikroelektronischen Elementen gestaltete Rechner ist das hauptsächliche Arbeitsmittel dieses Arbeitsplatzes. In der Datenbasis des Rechners sind für eine Gruppe von Erzeugnissen Teilmodelle für vielseitig verwendbare Formelemente von Werkstücken eingespeichert. Der überwiegende Teil der herzustellenden Konstruktionszeichnung kann daraus auf Anforderung des Konstrukteurs innerhalb weniger Minuten vom Rechner zusammengestellt und – sofern gewünscht – ausgegeben werden. Die Ausführung elementarer Operationen – z. B. das Ziehen von Linien mit dem Lichtgriffel auf dem Bildschirm – ermöglicht es danach dem Konstrukteur, jene spezifischen Besonderheiten des zu konstruierenden Werkstücks hinzuzufügen, für die in der Datenbasis keine Angaben vorhanden sind. Der Rechner ermittelt nach Eingabe von fertigungstechnischen Daten wie Angaben zum vorgesehenen Material u. ä. automatisch die notwendigen Größen, z. B. die Masse, das Volumen und das Trägheitsmoment. Ebenfalls berechnet er die für die Fertigung dieses Werkstücks auf einer numerisch gesteu-



ten Maschine erforderlichen Angaben. Die in einem flexiblen Fertigungssystem auftretenden komplexen Probleme der Arbeitsorganisation können mit Hilfe solcher automatisierter Arbeitsplätze vom Technologen zu einem erheblichen Teil ebenfalls gelöst werden. Die vom Rechner hierfür ermittelten Lösungen schaffen die Voraussetzungen für das effektive Zusammenwirken der Elemente des flexiblen Fertigungssystems – Werkzeugmaschinen, Industrieroboter, Magazine, Transportsysteme, Einrichtungen für den Zugriff zum (Zwischen-)Lager u. a. –, die ihrerseits wiederum teilweise durch eigene Rechner gesteuert werden. Somit entsteht innerhalb des flexiblen Fertigungssystems ein hierarchisches System der digitalen Informationsverarbeitung. In diesem System ermitteln Rechner die Entscheidungen darüber, wo und wann was gefertigt wird.

Ob es sich um verschiedenartige Industrieroboter, rechner- und bildschirmgestützte Arbeitsplätze für die Konstruktion, Projektierung, Technologie und Fertigung, um flexibel einsetzbare automatisierte Fertigungs- oder Montagezellen, Platzreservierungssysteme und Fahrkartenautomaten im Transportwesen oder um moderne Schaltergeräte in Sparkassen und Banken handelt – all diese Geräte und Systeme sind ohne Mikroelektronik, Informationstechnik und Informationsverarbeitung nicht denkbar. In allen Bereichen des gesellschaftlichen Lebens, nicht nur in der Industrie, nimmt die Anwendungsbreite der Mikroelektronik ständig zu, und gegenwärtig sind hierbei noch keine Grenzen abzusehen. Bis zum Jahre 2000 werden sich – so schätzen Experten – die Einsatzfälle der Mikroelektronik, vom gegenwärtigen Stand ausgehend, mindestens verdreifachen. Der Maßstab für das industrielle Niveau eines Landes war vor Jahren noch der Stahlverbrauch pro Kopf der Bevölkerung. Heute ist es der Verbrauch an Mikroelektronik.

Wie von Geisterhand gelenkt, befördert das Chargiergerät in der neuen Schmiede des VEB Schwermaschinenbau Lauchhammer die glühenden Schmiedestücke zur Presse. Mikrorechner steuern den gesamten Produktionsablauf. Die Arbeitsproduktivität ist gegenüber der Arbeitsweise in der alten Produktionsstätte verdoppelt.

Auf dem Wege zur automatisierten Fabrik

Industrieroboter sind Funktionselemente der industriellen Produktion, die aufgrund der immer besseren Beherrschung der Naturgesetze vom Menschen konstruiert und gebaut wurden.

Für den Einsatz von Industrierobotern haben sich drei Hauptrichtungen herausgebildet: Erstens werden Beschickungsroboter zur Handhabung von Werkstücken, zum Stapeln und Magazinieren sowie für Transport- und Verpackungsvorgänge eingesetzt. Eine zweite Richtung ergibt sich aus der verstärkten Anwendung werkzeugführender Industrieroboter, z. B. von Robotern zum Schweißen, Beschichten, Sandstrahlen, Entfetten, Montieren, Nähen und für ähnliche technologische Prozesse. Darüber hinaus werden drittens in den verschiedensten Industriezweigen in zunehmendem Maße mit Sensoren ausgerüstete Montageroboter genutzt, um Gegenstände zu sortieren und Teile maßgenau zusammenzufügen.

Durch den Einsatz der Industrierobotertechnik erfolgt eine kontinuierliche Weiterentwicklung der Mechanisierung und Automatisierung von Produktionsprozessen auf höherem Niveau. Je mehr und je bessere Automatisierungsmittel in die Produktion integriert werden, desto höher wird die Qualität der Produktionsmaschinerie sein. Dabei ist zu entscheiden, ob die Industrierobotertechnik in vorhandene Maschinensysteme eingeordnet werden kann oder Neuentwicklungen für ganze Produktionsabschnitte oder Betriebsteile erforderlich sind. Oft erweist es sich, daß eine Ankopplung der Industrierobotertechnik an vorhandene Technik nicht genügend effektiv ist, so daß sich eine völlig neue Lösung empfiehlt.

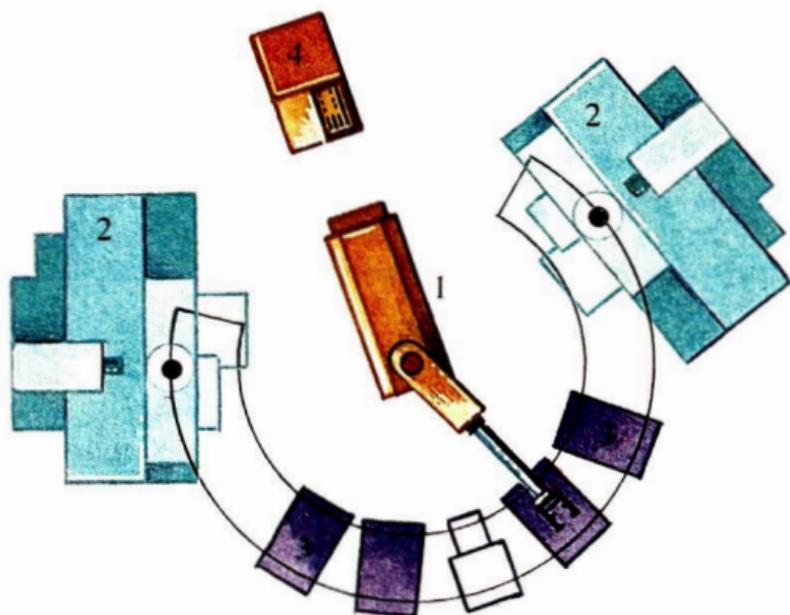
Vor dem Start

Für den Nutzen der Industrierobotertechnik ist die Qualität der Einsatzvorbereitung ausschlaggebend. Überall dort, wo technologische Einrichtungen von Menschen beschickt oder energiebetriebene mechanische Werkzeuge von ihnen geführt werden, muß man sich darüber Gedanken machen, ob diese Aufgaben Industrierobotern übertragen werden können.

Einsatzschwerpunkte sind gegenwärtig z. B. in der metallverarbeitenden Industrie technologische Einheiten und Fertigungssysteme. Die folgende Abbildung zeigt den Einsatz eines Industrieroboters in einer *technologischen Einheit*. Es handelt sich hierbei um eine Prinziplösung mit Kreisstruktur und zwei durch den Industrieroboter von vorn bediente waagerechte Fräszentren. Das Verdeck jeder Maschine wird – koordiniert mit den Roboterbewegungen – automatisch geöffnet und geschlossen. Äußere und innere Schutzvorrichtungen gewährleisten, daß dieser automatisierte Komplex nicht von Unbefugten betreten oder die Anlage außer Betrieb gesetzt wird sowie daß jeweils eine Maschine umgerüstet werden kann, während die andere weiterläuft. Jede dieser Maschinen ist mit zwei Werkstückspeichern ausgerüstet, die vom Industrieroboter bedient werden. Dadurch können unterschiedliche Werkstücke mit verschiedenen langen Bearbeitungszeiten gefräst werden. Insgesamt wird hierbei die Variabilität des Maschineneinsatzes erhöht. Gleichzeitig nimmt die Flexibilität für diesen Produktionsbereich zu.

Bei der Einsatzvorbereitung wird von folgenden technologischen Grundsätzen ausgegangen:

- Optimierung des technologischen Bearbeitungsprozesses (z. B. des Bearbeitungsablaufes, der Werkzeug-, Schneidzeug- und Schnittwerte, Komplexbearbeitung, Mehrstückspannung, Anwendung der Gruppentechnologie)
- Einsatz von Industrierobotern an vorhandenen automatisierten bzw. teilautomatisierten Maschinen
- Mehrmaschinenbeschickung und kollektive Mehrstellenarbeit



Technologische Einheit, bestehend aus einem Industrieroboter (1), zwei Fräszentren (2) und Stapelpalettenspeichern (3); 4 – Industrierobotersteuerung

- gegenseitige Anpassung der Industrieroboterplätze und der Bedingungen des Transport-, Umschlag- und Lagerprozesses
- Schaffung von arbeitsplatzsparenden Lösungen.

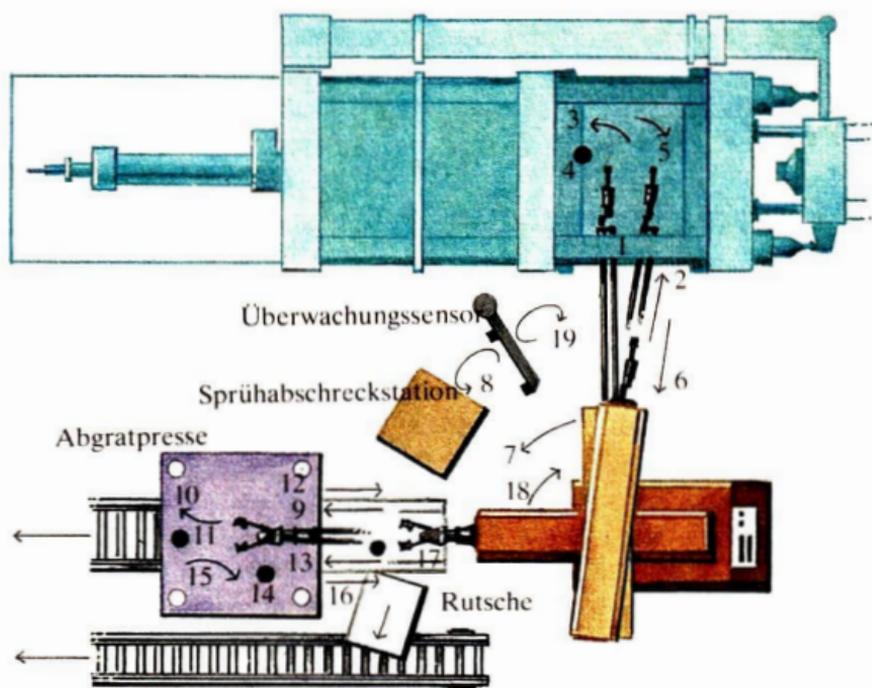
Um die Industrierobotertechnik zielgerichtet und ökonomisch so wirkungsvoll wie möglich einzusetzen, ist eine immense geistige Vorarbeit erforderlich. In den Betrieben werden mit Hilfe gründlicher Prozeß-, Gegenstands- und Arbeitsplatzanalysen die Einsatzgebiete der Industrierobotertechnik langfristig konzipiert, wobei auf ein optimales Verhältnis zwischen Aufwand und Nutzen orientiert wird. Der Fertigungsablauf und der damit im Zusammenhang stehende Informationsfluß werden untersucht und geplant. Selbstverständlich müssen periphere Einheiten und Hilfsprozesse in diese Betrachtungen mit einbezogen werden.

Das Ergebnis der Prozeßanalyse ist in der Regel eine grundlegende technologische Neugestaltung des Haupt-

prozesses sowie der vor- und nachgelagerten Prozesse. Davon ausgehend ergeben sich entsprechende Aufgabenstellungen zur durchgängigen Rationalisierung.

Vervielfachter Nutzen

Zur wissenschaftlich-technischen Unterstützung der Kombinate und Betriebe, die die Industrierobotertechnik anwenden, wurden in der DDR Leit- und Koordinierungszentren für Beschickungsroboter, prozeßspezifische Roboter der Elektrotechnik und Elektronik, technologische Gelenkroboter, Roboter für Schmiede- und Gießereiprozesse sowie für Schweißroboter gebildet. Insbesondere fördern sie die Entwicklung von Robotergrundtypen und den dazu erforderlichen wissenschaftlichen Vorlauf – auch durch die Gestaltung von Typenlösungen für die flexible Automatisierung. Sie dienen der Koordinierung der Zusammenarbeit innerhalb der DDR, mit der UdSSR und anderen RGW-Ländern bei der Entwicklung, bei der Herstellung sowie beim Einsatz von Robotergrundtypen. Sie nehmen auf die Konstruktion entsprechender Baugruppen und auf die notwendigen Zulieferungen sowie auf die robotergerechte Konstruktion neuer Maschinen und Anlagen Einfluß. Diese Zentren fördern den Eigenbau und die effektive Anwendung der Industrierobotertechnik in den Kombinat und Betrieben durch die Erfassung und Bereitstellung technischer und technologischer Unterlagen von bereits entwickelten und hergestellten Industrierobotern. Sie sorgen für die Verallgemeinerung der besten Erfahrungen zur breitesten Nachnutzung, insbesondere durch die Aufbereitung der sich hieraus ergebenden Daten für die zentrale Datenbank, die für die Industrierobotertechnik beim Forschungszentrum des Werkzeugmaschinenbaus Karl-Marx-Stadt eingerichtet wurde, um Entwicklungslösungen und Anwendungserfahrungen auf bestmögliche Weise nachnutzen zu können. In dieser Datenbank sind nationale und internationale Informationen zur Entwicklung, Produktion und Anwendung von Industrierobotern gespeichert. Sie können bedarfsgerecht abgefragt und so-



Beschicken einer Gießmaschine: Lösung eines komplizierten Beschickungsproblems, und zwar von 18 Arbeitsgängen, die bei der Herstellung eines Druckgusses ausgeführt werden. Die Gießmaschine wird geöffnet (1), der Roboterarm ausgestreckt (2) und nach links gerückt (3), um das Gußstück zu ergreifen (4). Danach schwenkt der Arm nach rechts (5), wird zurückgezogen (6), um wiederum nach links zu schwenken (7), wonach der Überwachungssensor arbeitet und die Gießmaschine geschlossen wird. Das Gußstück wird zur Sprühabschreckstation gebracht (8), der Roboterarm ausgestreckt (9) und nach unten bewegt (10), um das Gußstück abzulegen (11). Hat der Roboter den Arm zurückgezogen (12), kann der Abgratvorgang durchgeführt werden. Danach streckt der Roboter den Arm wieder aus (13), ergreift das fertige Gußstück (14), bewegt den Arm nach oben (15), zieht ihn zurück (16) und legt schließlich das Gußstück auf eine Teilefördereinrichtung ab (17). Hat der Überwachungssensor »Ausschuß« angezeigt, erfolgte bereits vorher das Ablegen auf der Rutsche für Schrott. Schließlich schwenkt der Roboter den Arm nach rechts (18), und der oben beschriebene Vorgang beginnt erneut (19) (nach Brenner).

mit kurzfristig sowie aussagekräftig für einen Nutzer bereitgestellt werden.

Diese Datenbank verfügt über aktuelle Informationen

zum Stand der Industrierobotertechnik in der UdSSR, in den anderen sozialistischen Staaten und in fortgeschrittenen kapitalistischen Ländern sowie über Informationen zur Entwicklung, Produktion und Anwendung der Robotertechnik in der DDR, konzentriert auf Fakten zur konstruktiven Lösung, zur technologischen Aufgabe, zur eingesetzten Peripherie und zu ökonomischen Kennwerten.

Wesentliche Vorteile dieser Datenbank bestehen in der zentralen Erfassung vieler aktueller technisch-ökonomischer Informationen, in einer vielfältigen, gezielten und rationellen Mehrfachnutzung schon einmal erarbeiteter technischer, technologischer und anderer Lösungen sowie von Ergebnissen der Forschung. Doppel- oder Fehlentwicklungen sowohl auf dem Gebiet der Konstruktion als auch der technologischen Projektierung lassen sich auf diese Weise vermeiden.

Maschinen bedienen Maschinen

Um Werkstücke bearbeiten zu können, müssen die entsprechenden Rohlinge oder Werkstoffe einer Maschine zugeführt werden. Das trifft für Werkzeugmaschinen ebenso zu wie für Pressen, Schmieden, Gießanlagen, Maschinen in der Textil- oder Glas- und Keramikindustrie. Nach der jeweiligen Bearbeitung sind die Teile zum nächsten Bearbeitungsgang oder auch zu einem Speicher weiterzubefördern. Diese Aufgaben wurden bis zur Einführung der Robotertechnik in der Klein- und Mittelserienfertigung vorwiegend manuell erledigt. Nunmehr können sie den sich gut für solche Beschickungs- und Beförderungsaufgaben eignenden Industrierobotern übertragen werden.

Sehen wir uns ein Beispiel für einen derartigen Robotereinsatzfall an: In einem Werkstückspeicher befinden sich Rohteile, in unserem Falle Stangenabschnitte, auf die Gewinde gedreht werden sollen. Diesen Arbeitsgang erledigt eine numerisch gesteuerte Drehmaschine. Der in den technologischen Prozeß integrierte Roboter entnimmt dem Speicher je einen Rohling, bewegt ihn zielgerichtet entsprechend seiner Programmierung durch den

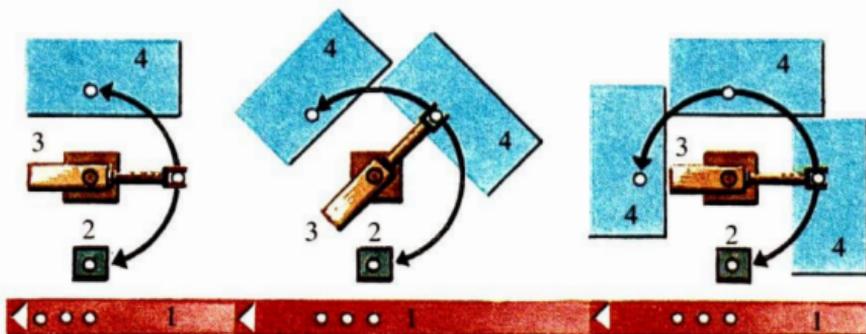
Raum und positioniert ihn in der Spanneinrichtung der Drehmaschine. Nun kann der Drehvorgang beginnen. Nach Stillstand der Maschine holt der Roboter das fertige Teil wieder heraus und legt es in einem Magazin ab. Dieser Vorgang kann sich beliebig oft wiederholen.

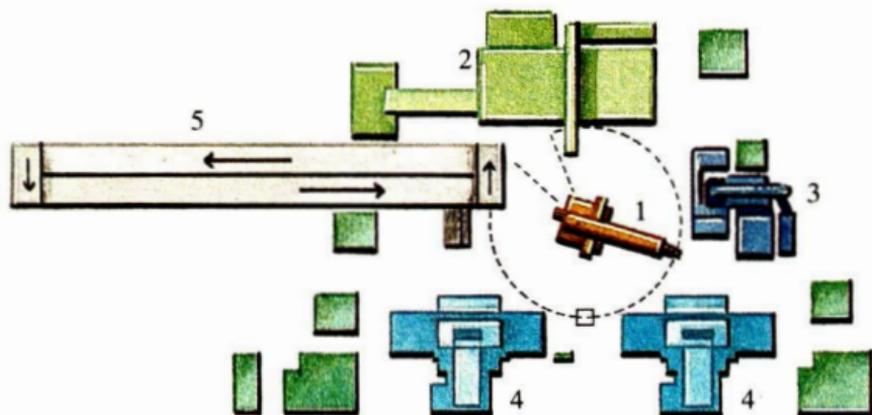
Was macht aber der Roboter, während die Drehmaschine arbeitet? Er braucht ja keine Ruhepause!

Mit dem Ziel, die Produktivität zu steigern, ist man dazu übergegangen, mehrere Maschinen von einem Roboter bedienen zu lassen. Während die eine Maschine das Werkstück bearbeitet, beschickt der Roboter die nächste. Danach nimmt er das Teil aus der ersten und magaziniert es. Dieser Vorgang wiederholt sich in einer genau geplanten und berechneten Folge. Eine Voraussetzung hierfür ist, daß – möglichst auch durch den Roboter – die Paletten mit Rohlingen und fertigen Werkstücken ausgewechselt werden. Die Erfahrungen besagen, daß notwendige, aber nicht vom Industrieroboter ausgeführte, sondern in die Peripherie verlegte Bewegungen die Flexibilität einengen und einen höheren Aufwand verursachen.

Industrieroboter zum Beschicken oder Bedienen technischer Einrichtungen sind sehr vielseitig nutzbare Maschinen. Sie werden z. B. außer in den hier erwähnten

Technologische Grundstrukturen für den Einsatz eines Beschickungsroboters für eine, zwei bzw. drei Bearbeitungsstationen. 1 – Transportweg; 2 – Palettenplatz; 3 – Industrieroboter; 4 – Bearbeitungsstation für die Verfahren Drehen, Innenschleifen, Bohren, Fräsen, Verzahnen, Messen, Waschen u. a.





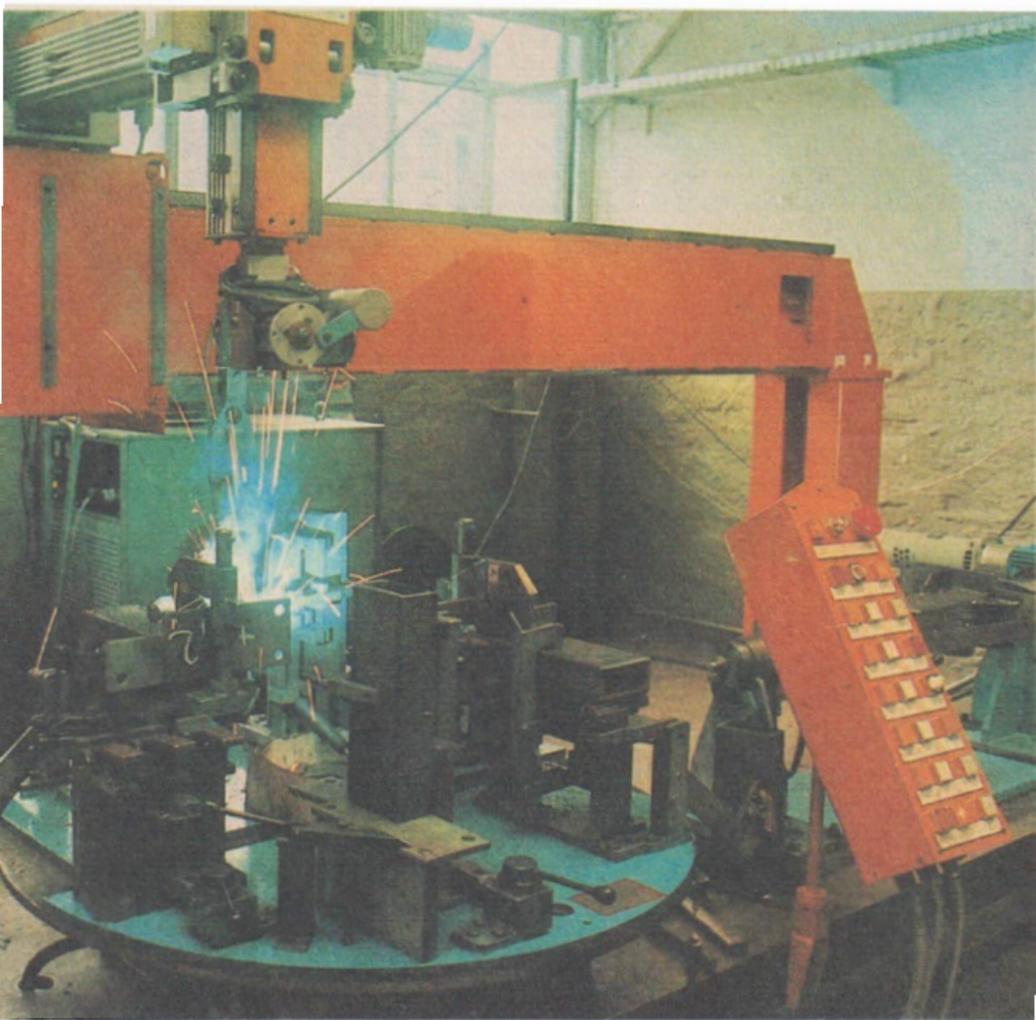
Von einem Roboter (1) bediente Maschinengruppe. 2 – Drehzentrum; 3 – Schleifmaschine; 4 – Bohrmaschinen; 5 – Förderband (nach Holmes)

Einsatzfällen auch zum Bedienen verschiedenartiger Pressen, Schmelzöfen, Werkzeug- sowie anderer Bearbeitungs- und Verarbeitungsmaschinen, von Transporteinrichtungen bzw. Fahrzeugen, Magazinen, Verpackungsanlagen usw. verwendet.

Vielseitige Helfer in technologischen Prozessen

Das Schweißen – sei es Punkt- oder Lichtbogenschweißen – stellt in zahlreichen Produktionsprozessen eine aufwendige und komplizierte Arbeit dar. Die Bedeutung solcher Schweißarbeiten zeigen einige Beispiele aus dem Schiffbau bzw. der Automobilindustrie. Ein Zehntausendtonnenschiff enthält z. B. 150 km Kehlnähte, und bei einer Autokarosserie aus Metall werden mehr als 600 gepreßte oder gestanzte Teile durch Punkt- bzw. Lichtbogenschweißen zusammengefügt, wobei bis zu 6 000 Punktschweißungen und 20 m Lichtbogenschweißnähte auszuführen sind. Es bietet sich also an, diese aufwendigen und komplizierten Vorgänge durch Roboter ausführen zu lassen.

Während Schweißautomaten relativ lange Nähte



»Schweißroboternest«, das elf Teile für Baugruppen eines Bodenbearbeitungsgerätes fertigt

schweißen, eignen sich für die zahlreichen kurzen Keh- und Stumpfnähte, die gegenwärtig noch vorwiegend manuell geschweißt werden, die Roboter. Ihr Einsatz ist hierbei vor allem auch deshalb rationell, weil bei kurzen Schweißnähten und manueller Bearbeitung die Rüstzeiten oft länger dauern als der Schweißvorgang.

Der Nutzen eines Schweißroboters hängt insbesondere von seinem richtigen technologischen Einsatz ab. Wäh-

rend gegenwärtig noch oft Schweißroboter in vorhandene technologische Abläufe eingefügt werden, liegt der Schwerpunkt in den kommenden Jahren auf ihrem Einsatz in ganzen Fertigungsabschnitten. Dabei müssen sich auch neue Konstruktionen von Schweißrobotern bewähren. Sie werden jeweils zu mehreren in Fertigungslinien oder Fertigungsnestern eingesetzt, wobei die Fertigungsabschnitte technologisch neu zu gestalten sind. Im Rahmen der technologischen Fertigungsvorbereitung entscheiden Schweißingenieure darüber, welches im gegebenen Fall das günstigste Schweißverfahren und welche die optimale Fugenform beim Schweißen ist. Zum Zwecke der Rationalisierung und Automatisierung wurden Rechenprogramme erarbeitet, die dem Schweißingenieur die Entscheidungen erleichtern.

Vom Zentralinstitut für Schweißtechnik der DDR in Halle wurden im Rahmen eines Baukastensystems Baueinheiten für Schweißroboter entwickelt, aus denen der jeweils benötigte Roboter genau für den betreffenden Einsatzfall »passend« zusammengestellt werden kann.

An Schweißroboter werden bezüglich der Genauigkeit, Beweglichkeit und Geschwindigkeit hohe Anforderungen gestellt. Sie müssen die Schweißbrenner, -zangen und -teile selbständig bewegen können. In den meisten Fällen reichen hierfür Roboter mit dem Freiheitsgrad sechs aus. Je nach Schweißaufgabe kann ein derartiger Roboter eine Geschwindigkeit von 300 bis 500 mm/s entfalten. Seine Wiederholgenauigkeit beträgt $\pm 0,5$ bis 1,0 mm. Der Roboterarm hat eine je nach Bedarf eingerichtete Tragfähigkeit, die vom Schweißbrenner und vom Werkstück abhängig ist.

Wer einmal in einer noch vorwiegend mit Handarbeit betriebenen Schmiede gestanden hat, ist fasziniert vom glühenden Stahl, vom sicheren Bewegungsablauf der Schmiede und ihrer Hämmer, vom Anblick der dampfenden fertigen Schmiedeteile. Aber der aufmerksame Betrachter sieht nicht nur, daß der Schmied »fühlt«, wie der Stahl geformt wird. Er sieht auch die Schwere der Arbeit, die erforderliche große Muskelkraft, er hört den Lärm und bemerkt die Hitze, die den hier Arbeitenden zu schaffen macht. Die Ablösung des Schmiedes durch den

Roboter bringt deshalb eine sehr große Arbeitserleichterung mit sich.

In einem Induktionsofen werden die Schmiedeteile auf die Umformtemperatur von 1 000 bis 1 200 °C erwärmt. Danach entnimmt sie der Roboter dem Ofen, um sie zur Schmiedeform zu führen, wo der erste Preßgang erfolgt. Von dort ergreift der Roboter das Werkstück erneut und positioniert es in der nächsten Schmiedeform. Dieser Vorgang läßt sich, solange das Schmiedeteil noch formbar ist, mehrmals mit Hilfe des Roboters wiederholen. Nach dem Schmieden werden die Werkstücke von einem anderen Roboter zum Glühentspannen weitergeleitet. Das fertig geschmiedete Werkstück wird dann – ebenfalls vom Roboter – in einen Container abgelegt.

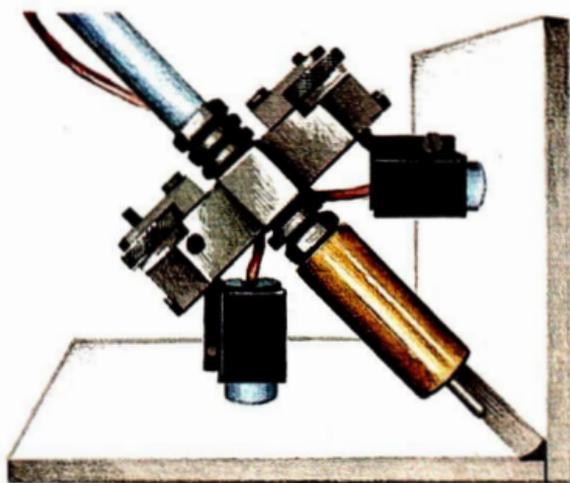
Das Entgraten von Werkstücken aus unterschiedlichen Materialien wie Gußeisen, Aluminium, Plast usw. stellt in der Industrie eine aufwendige, körperlich schwere und schmutzige Arbeit dar. Deshalb wird hierfür ein mit rotierenden bzw. hin- und hergehenden Feilen und Schleifstiften ausgerüsteter Roboter eingesetzt, wobei dieser unmittelbar nach dem Gießen das Werkstück zur weiteren Bearbeitung übernimmt.

Sehen wir uns die Arbeit einiger Roboter für technologische Prozesse in der Automobilindustrie an: Durch eine fast menschenleere Halle werden Karossen auf Rollen langsam vorwärts geschoben. Sie bleiben jeweils an einer bestimmten Stelle stehen. Hier ist über den Karossen ein Gelenkroboter zum Entfetten und Abwischen angebracht. Er hat an seinem Arm einen großen, mit Lösungsmittel getränkten Schwamm oder Lappenbausch. Der Arm senkt sich, bewegt sich nach verschiedenen Seiten und wischt nach und nach die ganze Karosse ab, um sie vor dem Farbspritzen zu reinigen. Nun kann der Farbspritzroboter seine Arbeit beginnen. Dieser weitere Gelenkroboter besitzt den Freiheitsgrad sechs. Mit Hilfe eines Informationsspeichers, einer Magnetplatte, die 3,2 Millionen Informationen speichern kann, ist er in der Lage, die für die Karosserielackierung erforderlichen Bewegungen auszuführen. Nebenbei bemerkt: Er verbraucht dabei im Durchschnitt etwa 20 bis 30 Prozent weniger Farbe als bei der vorher üblichen Methode.

Sowohl der Roboter zum Reinigen als auch der zum Aufspritzen der Farbe sind freiprogrammierbar. Sie werden mittels der direkten Teach-in-Programmierung (vgl. S. 36) auf die von ihnen auszuführenden Arbeitsverrichtungen programmiert, die sie danach so oft wie nötig wiederholen können. In der gleichen Weise wie die Farbe kann auch der Unterbodenschutz auf den Boden eines Autos gespritzt werden. In einem anderen Betrieb werden Bleche verschiedenen Ausmaßes für Schaltschränke, Pulte oder Warten hergestellt und lackiert. Der Vorgang läuft etwa wie folgt ab:

Die Bleche sind an einem Kettenkreisförderer aufgehängt. Da die Teile unterschiedlich groß sind – es handelt sich um Böden, Deckel und Türen von Schaltschränken u. a. –, werden sie vorher in Gruppen geordnet. So kann der Roboter effektiver eingesetzt und der Transportraum besser ausgenutzt werden. Das Ordnen geschieht auf fotoelektrischem Wege. Danach werden die Bleche zum Farbspritzroboter transportiert. Dieser versieht sie – nach dem Teach-in-Verfahren programmiert – mit der gewünschten Farbschicht. Die gleichmäßig gespritzten Bleche werden nun weiter zur Trocknung gebracht, wonach wieder ein Roboter eingreift, der sie abnimmt und in Transportpaletten ablegt. Damit die frisch gespritzten Blechteile nicht zerkratzt werden, bestehen die Greifflä-

*Schweißbrenner
mit Sensoren*



chen des Roboters aus einer Anordnung von über 50 Elektromagneten, die mit Schaumstoff beschichtet sind. Außerdem sind die Transportpaletten mit Glasfibrstäben versehen, damit die fertigen Bleche weich aufgesetzt werden können.

In allen Industriezweigen ist der Einsatz von Robotern möglich, auch in der Leichtindustrie. Werden Kleidungsstücke nicht oft genug noch vorwiegend in Handarbeit gefertigt? Sicherlich wird der Anteil der Handarbeit bei bestimmten individuell hergestellten modischen Kleidungsstücken auch in Jahrzehnten noch relativ hoch sein. Sie tragen das Prädikat »Handarbeit« auf dem Etikett und sind entsprechend teuer. Aber bei den meisten Kleidungsstücken und anderen zu nährenden Gegenständen muß es nicht unbedingt Handarbeit sein. Im Gegenteil: Je rationeller solche genähten Erzeugnisse hergestellt werden können, um so vorteilhafter ist es für unsere Volkswirtschaft und für jeden einzelnen. Deshalb ist es ein wichtiger Schritt, Nähroboter in der Konfektionsindustrie einzusetzen. Dort entfallen bislang etwa 75 Prozent der Fertigungszeit auf manuelle Arbeit, die vorwiegend von Frauen ausgeübt wird. Der Einsatz von Nährobotern in der Konfektionsindustrie ermöglicht es, die bedienarme, teilautomatisierte Produktion einzuführen. Damit entsteht eine bedeutende Arbeitserleichterung für die Näherinnen, die nun zum Teil auch für andere, qualifiziertere Aufgaben frei werden.

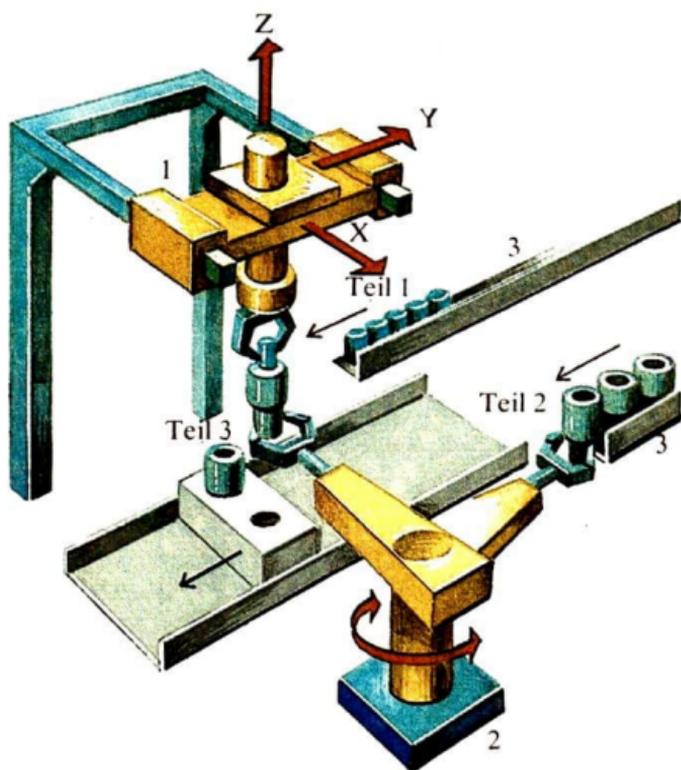
In manchen Industriebetrieben werden zur Einsparung von Arbeitszeit und zur Erleichterung der Arbeit nicht nur Industrieroboter im hier beschriebenen Sinne eingesetzt, sondern auch handgeführte Manipulatoren. Das können z. B. ferngesteuerte Manipulatoren zur Handhabung giftiger bzw. anderer gesundheitsgefährdender Stoffe sein oder sogenannte Balancer, kraftentlastende Hebezeuge, wie direkt vom Menschen gesteuerte Synchronmanipulatoren zum Bewegen von Lasten innerhalb des Arbeitsraumes bei Lastenausgleich. Sie werden beispielsweise in Schmieden und Gießereien für schwere Be- und Entladearbeiten eingesetzt, aber ebenso im Gesundheitswesen für das Heben und Bewegen von Tragen mit Patienten.

Auch in der Forschung werden Roboter verwendet. Wenn gegenwärtig die Effektivität der Forschung in entscheidendem Umfang mit von hochproduktiven, automatisierten Laborausrüstungen und -geräten bestimmt wird, dann liegen die Fragen nahe: Wird die Entwicklung und Herstellung solcher automatisierter Laborausrüstungen nicht gerade durch die Industrierobotertechnik unterstützt? Können nicht mit Hilfe von Robotern auch hochproduktive Forschungsanlagen zeitweise unbemannt dreischichtig betrieben werden? Selbstverständlich ist das möglich!

Ein anderes Beispiel: Wissenschaftler beschäftigen sich ernsthaft mit der Herstellung eines »Blindhundes«. Es ist ein Gefährt, das ein mit Gleichstrom angetriebenes Laufwerk hat. Auf diesem sind Sensoren und ein Mikrorechner aufgebaut. Mit Hilfe dieser technischen Einrichtungen wird die Umgebung des Roboters über Ultraschall und Lichteinwirkung »abgetastet«. Ein Sehender kann dem »Blindhund«-Roboter den zurückzulegenden Weg im Teach-in-Verfahren einprogrammieren. Der Roboter ist danach in der Lage, diesen Weg anhand von Fahrbahnmerkmalen wiederzufinden. Hier zeigt sich, wie vielfältig der Robotereinsatz ist. Ganz gewiß ist aber für einen solchen »Blindhund« die Bezeichnung Industrieroboter nicht mehr gerechtfertigt.

Zukunftsträchtige Montageroboter

In zahlreichen Industriezweigen ist der für die Montage erforderliche Zeitanteil verhältnismäßig hoch. Er beträgt z. B. im Maschinen- und Fahrzeugbau der DDR 33 Prozent und in der Elektrotechnik/Elektronik sowie im Gerätebau über 40 Prozent des gesamten Fertigungszeitaufwandes. Hiervon entfallen wiederum rund 60 Prozent auf Handhabeoperationen. Von den Montagearbeiten sind etwa 30 Prozent mechanisiert, etwa 10 Prozent teilweise automatisiert und 2 bis 3 Prozent voll automatisiert. Internationalen Einschätzungen zufolge kann die manuelle Tätigkeit für rund 70 Prozent der gegenwärtig in der Montage Beschäftigten durch Industrieroboter ersetzt oder er-



Montagerobotersystem, bestehend aus einem Hauptroboter (1) und einem Hilfsroboter (2). 3 – Werkstückzuführung. X, Y, Z: Bewegungsrichtungen

heblich vermindert werden. Berechnungen ergaben, daß die Nutzung von Montagerobotern zu einer Produktivitätssteigerung bis etwa 30 Prozent – verglichen mit der manuellen Montage – führen kann. Gleichzeitig werden in größerem Umfang Arbeitskräfte freigesetzt.

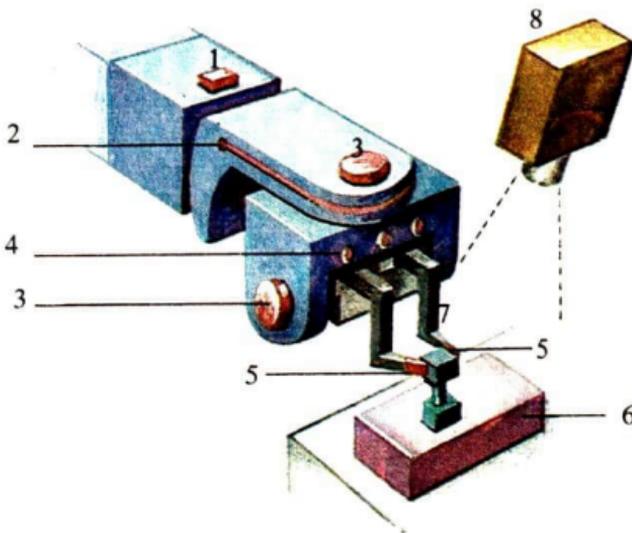
Allerdings haben die Industrieroboter bisher noch nicht in breitem Maße in die Montagebereiche der Betriebe Einzug gehalten. Das ist darin begründet, daß die Montage von Baugruppen oder Produkten ein der Mechanisierung bzw. Automatisierung schwer zugängliches Gebiet ist. Hier werden sehr hohe Anforderungen an die Handhabetechnik gestellt. Häufig scheiterte ihr Einsatz, weil effektive wissenschaftlich-technische Lösungen fehlten, die erforderliche Zuverlässigkeit aller Baugruppen

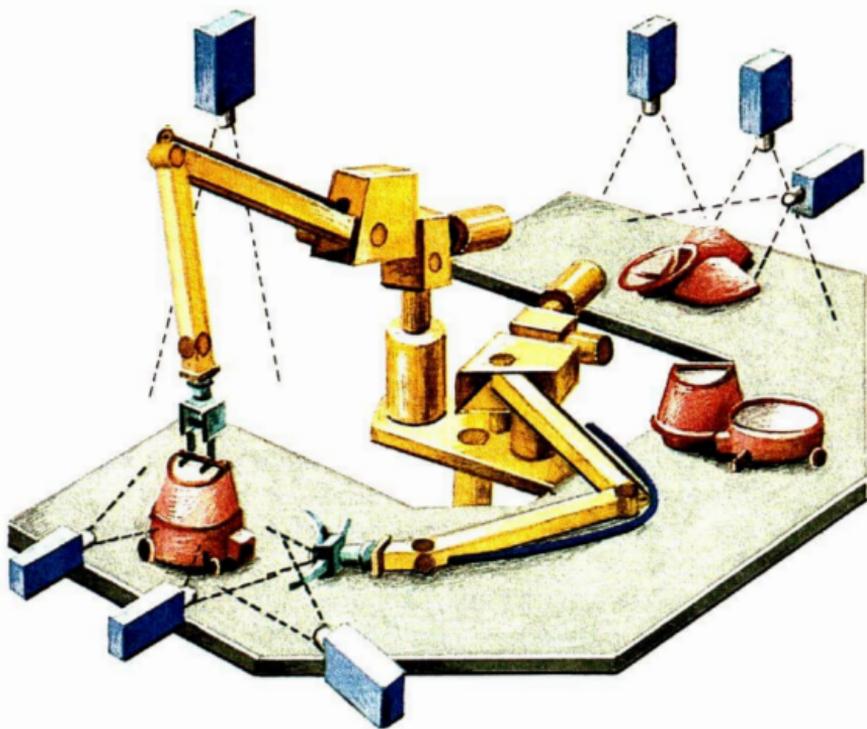
der Montageroboter sowie die notwendige Reaktionsfähigkeit der Robotermontagesysteme auf Störungen nicht gewährleistet war. Die erwähnten relativ niedrigen prozentualen Anteile für die automatisierte Montage sind also nicht verwunderlich.

In allen Industrieländern wird an der Lösung dieser Aufgabe intensiv gearbeitet. Nachdem in zunehmendem Maße Probleme der Sensortechnik einschließlich der Verknüpfung unterschiedlicher sensorischer Informationen, der Erkennung von Teilen, aber auch von Störgrößen im technologischen Prozeß, der Minimierung des Einflusses dieser Größen gelöst worden sind und sich auch schon verschiedene Musterlösungen experimentell in einzelnen Betrieben bewährt haben, beginnt nunmehr die schrittweise Einführung sensorgesteuerter Industrieroboter für die automatisierte Montage.

Die Greifer der Montageroboter sind mit Sensoren ausgerüstet, die es ihnen ermöglichen, Gegenstände zu erkennen, zu ergreifen und zu montieren. Auf diese Weise

Prinzip eines sensorgeführten Montagesystems. 1 – akustischer Sicherheitssensor; 2 – Sicherheitssensor (Drahtschaltung); 3 – Sensoren für die Lage, Geschwindigkeit und Beschleunigung; 4 – Sucher im Ultraschallbereich; 5 – Bereich des taktilen Sensors; 6 – Kraftsensor; 7 – Spannkraftsensor; 8 – optischer Sensor (Fernsehkamera)

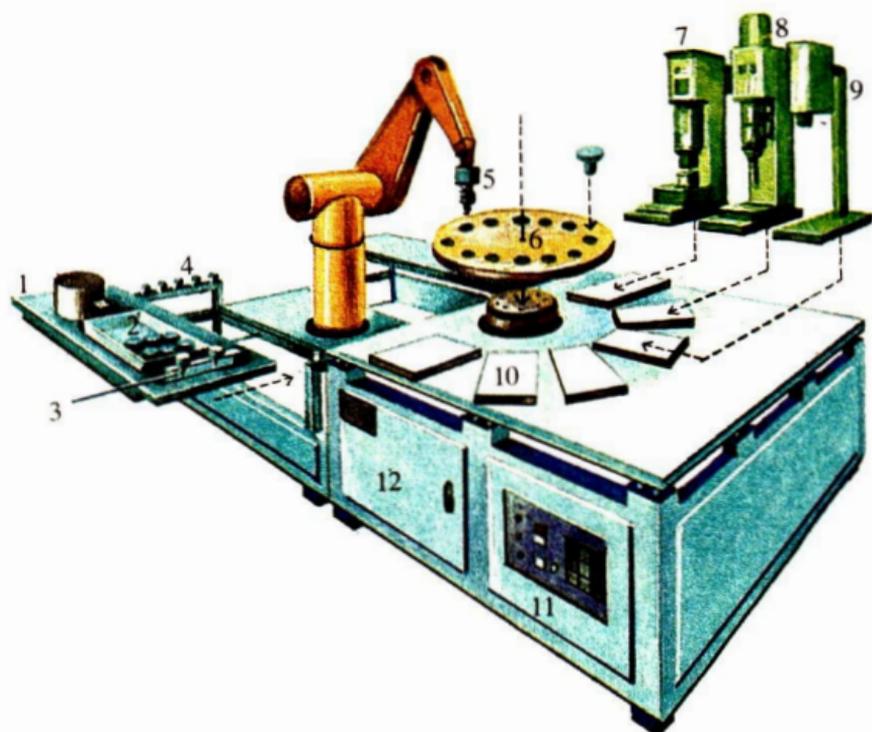




Flexibles Montagerobotersystem mit zwei Armen und optischen Sensoren

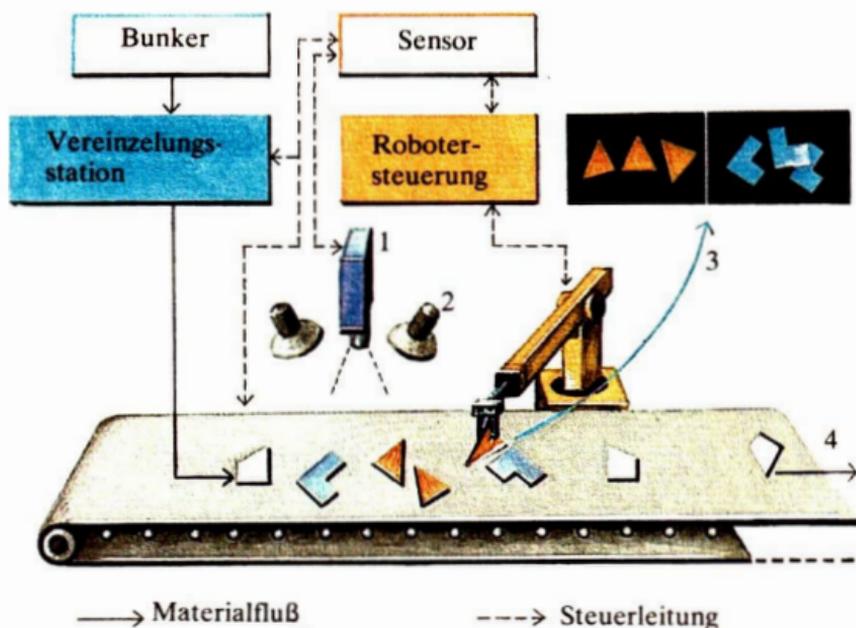
führt z. B. ein mit einem adaptiven (anpassungsfähigen) Greiferkopf ausgerüsteter Montageroboter einen Bolzen in eine Bohrung ein. Unterschiedliche Suchmuster können es diesem Industrieroboter ermöglichen, mit dem Bolzen die Bohrung zu finden. Ebenfalls wurden Montagehilfsvorrichtungen zum mechanischen Ausgleich von Lageabweichungen anstelle taktiler Sensoren verwendet.

Es gibt auch zwei- bzw. dreiarmlige Roboter, die ihre Arme gleichzeitig betätigen können. An diesen Armen befinden sich verschiedenartig ausgerüstete Greifer mit taktilen oder anderen Sensoren. Ein solcher Roboter kann mit einem Arm ein Werkstück vor der Montage ergreifen und in eine Prüfvorrichtung setzen, der andere Arm nimmt es dort heraus und legt es – bei gleichzeitiger Sortierung nach Größe und Qualität – ab, während der erste Arm bereits wieder ein neues Werkstück der Prüfeinrichtung zuführt.



Programmierbares Montagesystem, bei dem auswechselbare Montagestationen mit einem Industrieroboter, der wiederum mit auswechselbaren Greifern ausgerüstet ist, verkettet werden. 1 – auswechselbare Platte; 2 – Teilebereitstellung; 3 – Greifermagazin; 4 – Tragluftelemente zur Lagerung der Platte; 5 – modulares taktiles Greifer-Sensor-System; 6 – Werkstückträger; 7 – Tischpresse; 8 – Schrauber; 9 – TV-Kamera; 10 – auswechselbare Grundplatten für Montagestationen; 11 – Robotersteuerung; 12 – Schrank mit Magnetventilen, Wartungseinheit

Die zu montierenden Teile und die Verbindungselemente müssen »roboterfreundlich« gestaltet sein. Die einfachste und wahrscheinlich auch beste Lösung sind hierbei die Stapelkonstruktionen, bei denen alle zu montierenden Teile in einer Richtung montierbar sind. Solche Lösungen erfordern jedoch – ganz abgesehen davon, daß sie nicht bei jedem herzustellendem Produkt angewendet werden können –, ausgetretene Konstruktionspfade zu verlassen und Standardbauteile und Verbindungselemente zu schaffen, die den Bedingungen der



Sortieren mit Hilfe eines Industrieroboters. 1 - Fernsehkamera; 2 - Beleuchtung; 3 - Magazine; 4 - geordnete Weiterverarbeitung

automatisierten Montage mit Industrierobotern entsprechen.

Das richtige Reagieren des Montageroboters auf Störungen stellt ebenfalls sehr hohe Anforderungen an ihre Entwickler. Diese Störungen sind sehr vielseitig und zahlreich. Sie beginnen bei der Prüfung, ob die zu montierenden Teile vorhanden sind, setzen sich über die vielen Störmöglichkeiten beim Positionieren der Teile sowie in anderen Abschnitten des Montageprozesses fort und sind auch noch bei der abschließenden automatischen Gütekontrolle der durch den Roboter montierten Baugruppen nicht auszuschließen. Schon bei relativ einfachen Montageprozessen müssen durch die Robotersteuerung über 100 verschiedene Entscheidungen getroffen werden.

Im Rahmen der Forschung werden immer wieder neue Wege ausfindig gemacht, um es den Montagerobotern mit Hilfe ihrer Sensoren und Mikrorechner zu ermöglichen, auf jede unterschiedliche Störung mit einer richti-

gen, den Montageprozeß nicht unterbrechenden Reaktion zu antworten.

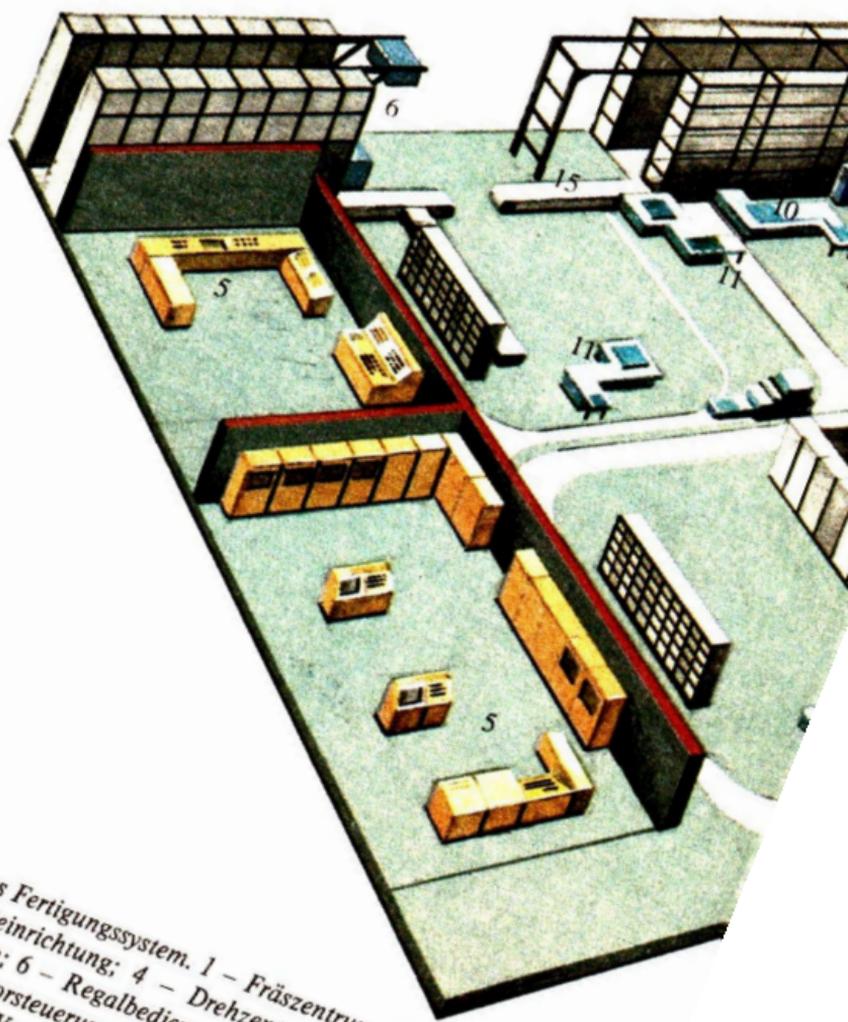
Im Zusammenhang mit dem Montieren ist es oft erforderlich, Werkstücke verschiedenen Ausmaßes nach Größe, Form, Farbe, Masse oder anderen Merkmalen zu sortieren. Ein mit einem optischen Sensor ausgerüsteter Sortierroboter kann diese Aufgabe erfüllen.

In einem Bunker befinden sich Werkstücke, die unsortiert sind. Zunächst müssen sie eine Vereinzlungsstation durchlaufen, denn der optische Sensor kann nur einzeln liegende Teile erfassen. Von dieser Station gelangen die Werkstücke auf ein Fließband und werden zur besseren Erkennung beleuchtet. Bestimmte Merkmale wie Größe und Form dieser vereinzelter Werkstücke werden vom Sensor optisch erkannt. Die Erkennungszeit beträgt etwa 500 ms. Eine selbstabtastende Fotomatrix – rasterartig aufgebaute lichtempfindliche Zellen – wandelt die optischen Bildinformationen in die zugehörigen elektrischen Signale um. Auf der Grundlage der Informationen des Sensors wird über die Robotersteuerung der Roboter mit einem Greiferarm in die Lage versetzt, die Werkstücke zu ordnen und in diesem geordneten Zustand der Magazinierung oder der Weiterverarbeitung zuzuführen.

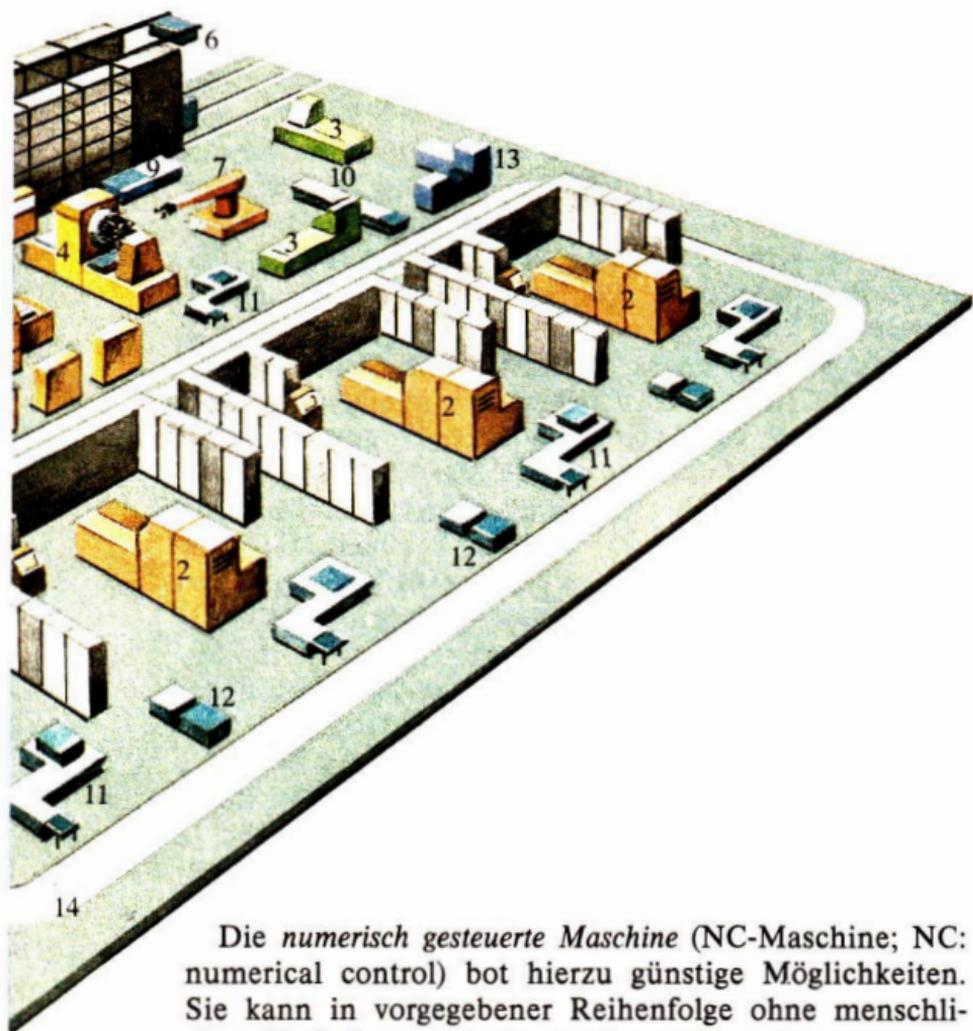
Flexible Automatisierung

In Bereichen, in denen Produktionsprozesse kontinuierlich ablaufen – wie in der chemischen Industrie –, ist bereits ein relativ hoher Automatisierungsgrad der Anlagen erreicht. Auch in der Massen- und Großserienfertigung der metallverarbeitenden Industrie ist das der Fall. Die Klein- und Mittelserienfertigung konnte jedoch noch nicht durchgängig automatisiert werden. Hier war es erforderlich, Systeme zu entwickeln, die, den unterschiedlichsten Produktionsbedingungen und -aufgaben entsprechend, flexibel einsetzbar sind.

Die ersten Lösungen dieser Art waren durch die Werkstückbearbeitung unter Einbeziehung weiterer Arbeitsgänge wie Reinigen, Färben, Rostschutzbehandlung u. ä. gekennzeichnet.



1 - Fräszentrum; 2 - Fertigungszellen; 3 - Meßeinrichtung; 4 - Drehzentrum; 5 - Steuerzentrale mit Rechnern; 6 - Regalbediengerät; 7 - Industrierobotereinrichtung für Werkstückpaletten; 8 - Mikroprozessorsteuerung für Flurförderzeuge; 9 - Palettenwechsler; 10 - Werkstückpaletten-Pufferspeicher; 11 - Wendestation; 12 - Werkstückpaletten; 13 - Bahn der Flurförderzeuge; 14 - Rollenförderstation; 15 - Rollenförderstation.



Die *numerisch gesteuerte Maschine* (NC-Maschine; NC: numerical control) bot hierzu günstige Möglichkeiten. Sie kann in vorgegebener Reihenfolge ohne menschlichen Einfluß numerische (zahlenmäßige) Informationen über zurückzulegende Wege und auszuführende Schaltungen verarbeiten. Die auf Datenträgern (Lochband oder Magnetband) gespeicherten Informationen geben innerhalb eines Koordinatensystems die Position an, die das Werkzeug gegenüber dem Werkstück einnehmen soll. Sie beschreiben somit einzelne Punkte oder Bahnen.

Für die nächsten flexiblen Automatisierungslösungen war die Integrierung eines Rechners typisch. Dieser Rechner koordinierte und optimierte das Zusammenwirken von Bearbeitungsmaschine und Roboter.

Bei der *rechnergesteuerten Maschine* (CNC-Maschine; CNC: computerized numerical control) übernimmt ein

freiprogrammierbarer Rechner bzw. Mikroprozessor wesentliche Aufgaben der konventionellen Steuereinheit, so daß diese auf den Positioniervorgang (Meßwertabfrage, Soll-Ist-Vergleich, Steuerwertausgabe) reduziert werden kann. Der Rechner versorgt die Maschine mit NC-Programmen und übernimmt Teilfunktionen bei deren Bearbeitung, wie die Ermittlung von Koordinatenwerten für die gesteuerten Achsen, die Berechnung der Werkzeugkorrektur u. ä.

NC-Maschinen wurden schließlich mit einem Prozeßrechner zu einem Maschinensystem kombiniert. Man spricht hierbei auch von einer Rechnerdirektsteuerung bzw. von DNC-Maschinen (DNC: direct numerical control), wobei die NC-Maschinen über direkte Kabelverbindungen mit einem übergeordneten Rechner gekoppelt werden, so daß eine Mehrmaschinen- oder Gruppensteuerung entsteht. Der Prozeßrechner versorgt die NC-Maschinen mit Werkstückprogrammen. Die Daten hierfür werden den numerischen Steuerungen der Maschinen mit elektrischen oder optoelektronischen Übertragungseinrichtungen zugeführt. Der traditionelle Lochstreifen entfällt als Datenträger. Der Rechner dient zugleich als Pufferspeicher und Verteiler.

Dieses Verfahren gestattet auch, Programmkorrekturen vorzunehmen. Die Maschinenzustände können erfaßt werden, die hierzu vorliegenden Informationen ermöglichen dem Rechner z. B. Dispositionen zur Steuerung des Werkstücktransports.

Eine hohe Stufe der flexiblen Automatisierung wird erreicht, wenn im DNC-Betrieb ein Rechner Bearbeitungsmaschinen, Lager- und Transporteinrichtungen nach einem abschnittsweise optimierten Produktionsplan steuert.

Die CNC- bzw. DNC-Maschinen finden aufgrund ihrer günstigen Einsatzmöglichkeiten sowie dank ihrer ökonomischen Effekte eine rasche Verbreitung. Zum Beispiel lag vor der Einführung dieser Maschinen bei einer technologisch möglichen Auslastung von 95 Prozent die tatsächliche Auslastung traditioneller Produktionssysteme oft bei nur 50 Prozent. Demgegenüber kann bei einer Integration dieser Maschinen in die flexible Fertigung die

technologisch mögliche Auslastung fast erreicht werden. Sie gewährleisten ein größeres Bearbeitungsspektrum; mehrere Bearbeitungsgänge entfallen oder lassen sich zusammenfassen; Rüstvorgänge werden vereinfacht oder fallen ganz weg, Werkzeug- und Werkstückwechsel erfolgen automatisch.

Weitere Vorteile sind die höhere Maschinenleistung, eine intensivere Auslastung, größere Flexibilität, ein beschleunigter Durchlauf der Werkstücke, die Einsparung an Material und Produktionsraum, eine beträchtliche Qualitätsverbesserung sowie geringere Kosten für die Steuerungstechnik.¹

Industrieroboter, Be- oder Verarbeitungsmaschinen, Montagehilfen, Speicher-, Transport-, Steuerungs- und andere Einrichtungen werden in verschiedenartigen Kombinationen zu größeren Einheiten der flexiblen Automatisierung zusammengefaßt. Hierbei kristallisieren sich die Fertigungs- und Montagezellen immer mehr als grundsätzliche Elemente flexibler automatischer Produktionssysteme heraus.

Neben diesen Zellen haben sich im Rahmen von Rationalisierungslösungen aber auch NC-Bearbeitungszentren (siehe Abb. auf S. 80) und integrierte gegenstandsspezialisierte Fertigungsabschnitte (IGFA) bewährt.

Unter einem *NC-Bearbeitungszentrum* versteht man eine numerisch gesteuerte Be- oder Verarbeitungsmaschine, die die Funktionen mehrerer Bearbeitungsstationen in sich vereint und die nahezu komplette Bearbeitung von komplizierten Werkstücken in einer Aufspannung ermöglicht. Das Bearbeitungszentrum schließt den automatischen Werkzeugwechsel, teilweise auch den automatischen Werkstückwechsel ein. Es entspricht einer Fertigungszelle, wenn die automatische bedienarme Fertigung durch weitere Systembestandteile die Prozeßüberwachung (z. B. Werkzeugüberwachung, Maschinendiagnose, Prüfen von Rohteilen, Werkstücken und Paletten) ge-

¹ Vgl. Haustein, H. und H. Maier: Flexible Automatisierung – Kernprozeß der revolutionären Veränderungen der Produktivkräfte in den 80er und 90er Jahren. In: Wirtschaftswissenschaft 5/1982, S. 677

währleistet sowie alle Komponenten der Automatisierung systemgerecht aufeinander abgestimmt werden.¹

Unter einem *integrierten Fertigungsabschnitt* versteht man eine gegenstandsspezialisierte Fertigung für technologisch ähnliche Teilegruppen mit mechanisierten oder automatisierten Bearbeitungs-, Transport-, Lager-, Umschlag- sowie Fertigungssteuerungsprozessen. Die am Prozeß beteiligten Fertigungseinrichtungen sind nicht direkt verkettet. Der Werkstückfluß endet vor der Maschine.

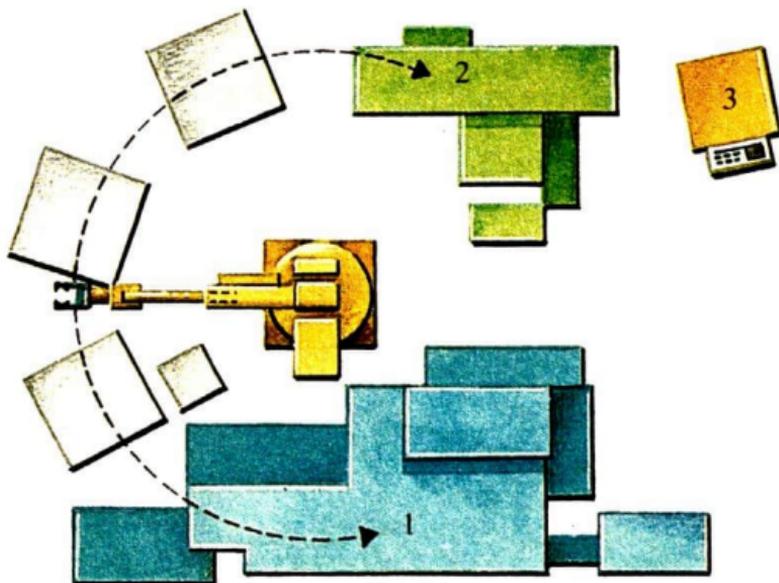
Das *automatisierte Fertigungssystem* ist schließlich ein flexibel arbeitender Komplex von lose bzw. flexibel miteinander verketteten, numerisch gesteuerten Be- und Verarbeitungsmaschinen, Transport-, Speicher- und Lagereinrichtungen, die durch einen Prozeßrechner gesteuert werden. Arbeitskräfte sind hierbei oft nur noch zur Kontrolle, Wartung und Reparatur erforderlich.

Die Roboter und die NC-Maschinen solcher Systeme können zumindest teilweise automatisch überprüft und die Ergebnisse der Diagnosen dem Wartungsingenieur signalisiert werden. Dieser Vorgang kann ebenfalls in Form von Ferndiagnosen mit Hilfe entsprechender Telekommunikationssysteme über große Entfernungen erfolgen.

Fertigungszellen

In vielen Industrieländern arbeiten Forscher und Entwickler an der Lösung der zahlreichen Probleme, die mit der technischen und technologischen Projektierung automatisierter Fertigungs- und Montageabteilungen und automatisierter Fabriken verbunden sind. Bis Neuentwicklungen ausgereift sind, vergehen jedoch einige Jahre. Die wissenschaftliche Durchdringung aller Prozesse der Vorbereitung, Steuerung und Durchführung der Produktion, die Nutzung der Mittel der elektronischen Datenverarbei-

¹ Vgl. Kochan, D. und R. Zweininger: Prozeßkonzeption für den Einsatz von Fertigungszellen. In: Maschinenbautechnik 5/1983, S.216

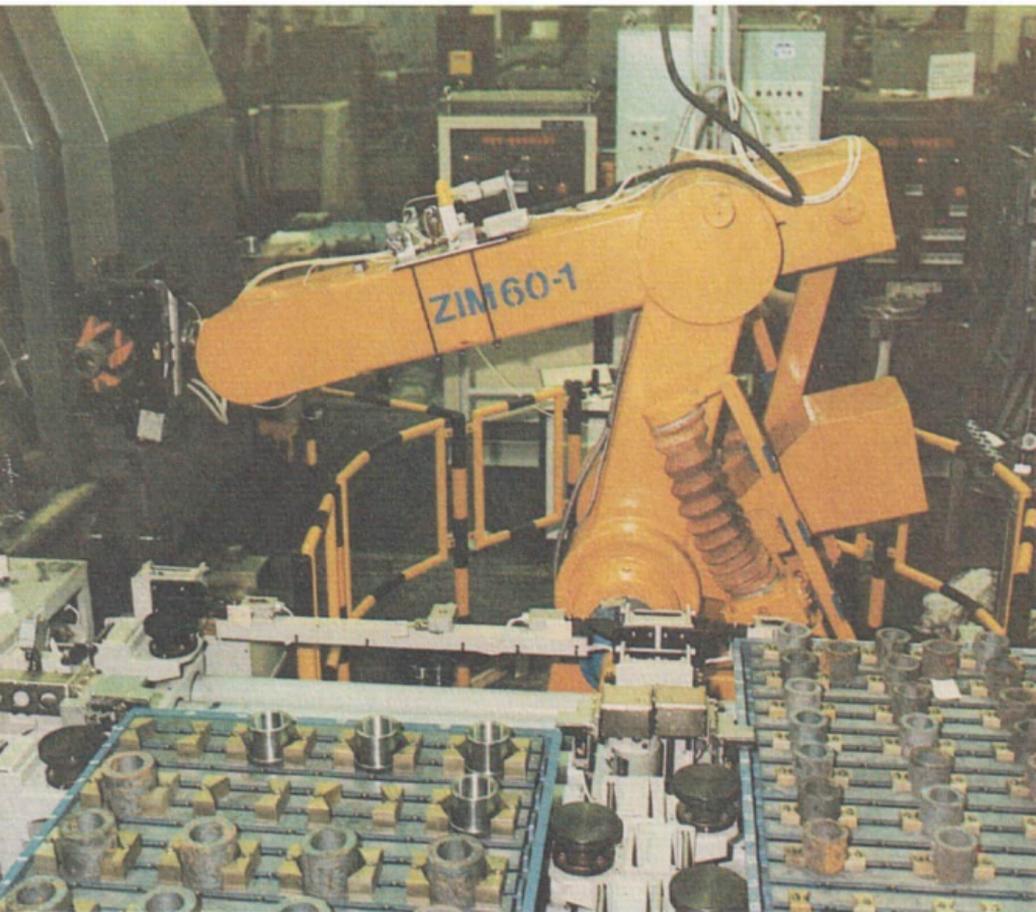


Schema einer mit einer Dreh (1)- und einer Fräsmaschine (2) ausgestatteten Fertigungszelle. Sie führt an vorbereiteten Rohlingen verschiedenartige Drehoperationen und eine Fräsbearbeitung aus. Der im direkten Teach-in-Verfahren programmierte Industrieroboter ist an die Stelle eines Bedieners getreten. Die Mikrorechnersteuerung (3) reagiert auf die Produktionsbedingungen, d. h. auch auf Störungen.

tung, der Meß-, Steuerungs- und Regelungstechnik sowie von Prozeßoptimierungsverfahren sind eine unabdingbare Voraussetzung einer komplexen Automatisierung.

Die Basiseinheiten für eine automatisierte Fabrik sind flexible Fertigungs- bzw. Montagezellen.

Eine *Fertigungszelle* als technologisch selbständig arbeitende Einrichtung umfaßt alle Komponenten, die zur Herstellung einer vorgegebenen Anzahl von Produkten (z. B. Einzelteilen) auf einer Produktionseinheit (z. B. eine oder zwei Maschinen) notwendig sind. Außer dem Werkzeugfluß werden der Werkstückfluß, die Werkstückkontrolle, die Funktionsüberwachung von Maschinen, Werkzeugen und des Industrieroboters sowie die Prozeßüberwachung und – auf höherer Ebene – auch die Regelung des Gesamtprozesses mit in die Automatisierung einbezogen. Auf diese Weise können bedienfreie Zeitabschnitte (z. B. nachts) gewährleistet werden.



NC-Technik wurde hier mit einem Industrieroboter kombiniert, so daß eine Fertigungszelle entstand.

Die Fertigungszellen können – wie schon angedeutet – als Modul zusammen mit anderen Fertigungszellen und Hilfsstationen über flexible Transport- und Steuerungseinrichtungen kombinierbare Einheiten flexibler Fertigungssysteme sein. Diese Fertigungssysteme können über Transportsysteme mit automatisierten Lagersystemen und mit Montagesystemen zu automatisierten Produktionsstätten vereinigt werden, die ihrerseits wiederum Teilkomponenten einer flexiblen Gesamtfertigung, einer automatisierten Fabrik, sind. Hierbei dienen hierarchisch gekoppelte Prozeßrechner zur Führung

der automatisierten Produktionsprozesse, der Material-, Werkzeug- und Informationsflüsse.

In einer flexiblen Fertigungszelle arbeiten die Werkzeugmaschinen und der Industrieroboter rechnergesteuert. Der Roboter ist dabei das Verbindungsglied zwischen der Werkzeugmaschine und den Speichern. Das Handhabungssystem einer Fertigungszelle hat das Erzeugen, Verändern und Aufrechterhalten von Position und Orientierung der Werkstücke, Werk-, Meß-, Spann- und Hilfszeuge sowie das Ordnen, Drehen, Schwenken, Schieben, Spannen und Magazinieren zu gewährleisten.

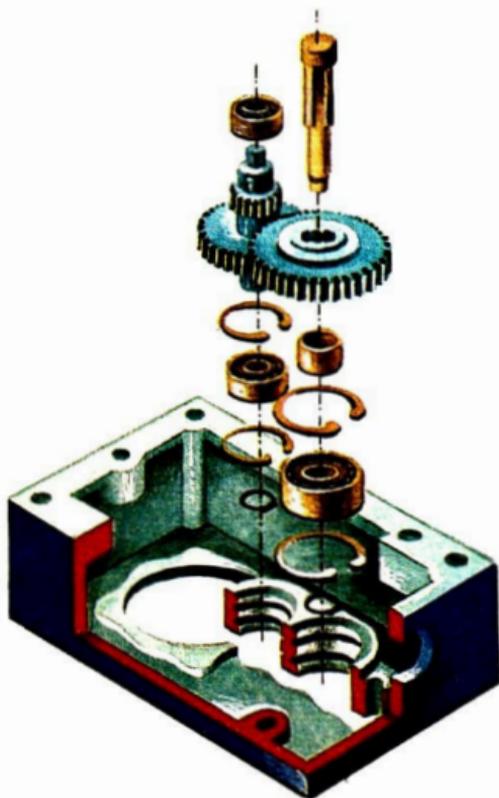
Fertigungszellen werden für das Urformen, Umformen, Trennen, Fügen, Beschichten, das Verändern von Stoffeigenschaften und ähnliche Verfahren benötigt.

Montagezellen

Aus der Massen- und Großserienfertigung sind Montageautomaten bekannt. Ihr ökonomischer Einsatz erfordert jedoch, daß ein Produkt in großen Stückzahlen und über einen langen Zeitabschnitt hergestellt wird. Aber auch bei mittleren, teilweise auch bei kleinen Serien sind Montagen mit Hilfe von Industrierobotern möglich. Bei sich ändernden Produktionsaufgaben gewährleisten sie eine Anpassung des Montagesystems an die vom Produktionsprogramm ausgehenden dynamischen und zufälligen Einflüsse. Die ausrüstungstechnische Struktur bleibt dabei unverändert. Allerdings setzt das u. a. voraus, daß die zu montierenden Erzeugnisse automatisierungsgerecht konstruiert bzw. entwickelt wurden.

Der Industrieroboter, der Teile oder Baugruppen sowie Werkzeuge, Vorrichtungen und Prüfmittel zum Zwecke der Montage zu handhaben hat, ist mit einem Montagekopf ausgerüstet.

Mit Hilfe eines freiprogrammierbaren Mikrorechners werden sowohl die Bewegungsabläufe der Grundeinheit Industrieroboter und seines Montagekopfes (einschließlich dessen Sensoreinheit) als auch das Wechselsystem für Montagegreifer und -werkzeuge, die Peripherie des Industrieroboters und das Zusammenwirken dieser auch als



Montageeinheit: Zweistufiges Schaltgetriebe einer Werkzeugmaschine in Explosivdarstellung (nach Hess, Simon, Volmer und Weise)

Montagezelle bezeichneten Einrichtung mit anderen Einrichtungen gesteuert. Ist ein anderes ähnliches Erzeugnis zu montieren, so kann der Industrieroboter auf der Grundlage eines neuen Ablaufprogramms ohne grundsätzliche Umstellung der Ausrüstung auch dieses zusammenbauen und danach ein drittes usw. Gerade hierin kommt die Flexibilität der Montagezelle, ihre Anpassungsfähigkeit an ein variierendes Produktionsprogramm, zum Ausdruck.

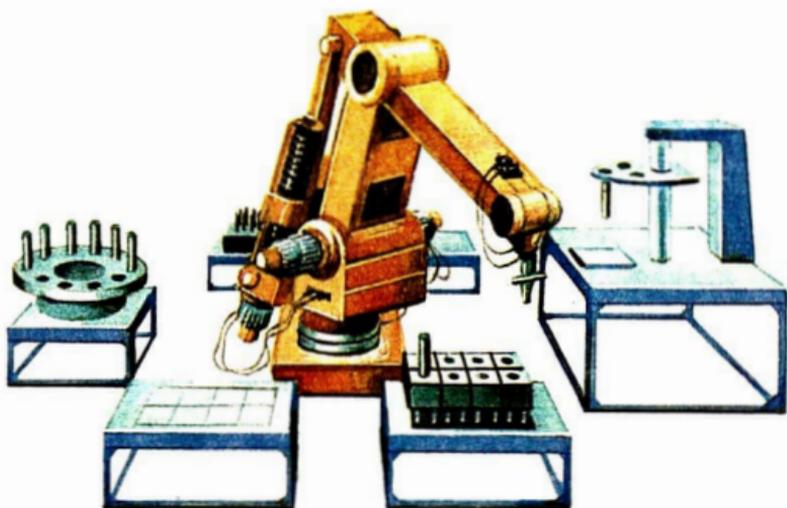
Obwohl sich die ausrüstungstechnische Struktur hierbei nicht verändert, können für das Montieren verschiedener Produkte unterschiedliche Greifer bzw. Montagewerkzeuge erforderlich sein. Deshalb ist ein Montagekopf vorhanden, der aus dem Wechselgetriebe für die Monta-

greifer und -werkzeuge sowie Ausgleichs- und Sensoreinheiten besteht. Er ist mit Fügemechanismen zum verklebungsfreien Fügen und zum Ausgleichen der Fehler beim Positionieren ausgerüstet. Soweit erforderlich, hat ein Montagekopf auch andere Bewegungseinheiten mit spezieller Mikrorechnersteuerung. Unterschiedliche Greifer können vom Industrieroboter aus einem Magazin entnommen und nach Gebrauch dort wieder abgelegt werden.

In der Montagezelle dient darüber hinaus eine Werkstückaufnahme zum Halten des Werkstücks, während der Industrieroboter mit seinem Greifer das Einfügen des jeweils zu montierenden Teiles übernimmt. Zum schnellen Umrüsten von der Montage eines Produktes zur Montage eines anderen werden flexible Spannelemente benutzt.

Die zu montierenden Teile sowie die erforderlichen Montagegreifer und -werkzeuge, Fügevorrichtungen usw. stehen innerhalb des Arbeitsraumes der Montagezelle in Magazinen und Speichern bereit, die auf Paletten angeordnet sind. Da die Speicher vom Industrieroboter automatisch bedient werden, entfallen somit auch der Zwischentransport und die Zwischenlagerung. Der Paletten-

Flexible automatische Montagezelle (nach Hess, Simon, Volmer und Weise)



wechsel wird ebenfalls mit Hilfe des Roboters vollzogen.

Eine Montagezelle muß mit ihren Steuer-, Sensor- und Signalsystemen in der Lage sein, den Ablauf der programmierten Operationen des Montagezyklus zu kontrollieren sowie auftretende Störungen zu erkennen und zu berücksichtigen.

In mehreren hintereinander angeordneten Montagezellen können somit aus den Einzelteilen die verschiedenen Baugruppen eines Erzeugnisses montiert und diese danach zum Finalerzeugnis zusammengefügt werden. Um die erforderliche Zuverlässigkeit und Stabilität des gesamten, oft komplizierten Montageprozesses zu gewährleisten, sind Zwischenspeicher, die bei Störungen ausgleichend wirken, der automatische Transport zwischen den Montagezellen sowie weitere spezielle Maßnahmen notwendig.

Fabriken fast menschenleer?

Die vorwiegend aus standardisierten Einheiten aufgebauten Fertigungszellen können zu einem Fertigungssystem verbunden werden. Ein Beispiel dafür soll folgende Abbildung demonstrieren. Sie stellt ein Fertigungssystem dar, das aus 25 Fertigungszellen besteht, die jeweils mit wenigstens einer CNC-Werkzeugmaschine, einem Monitor, einem Industrieroboter und einer Palettenwechseleinrichtung ausgestattet sind. Die Zellen können miteinander gekoppelt werden. Nur tagsüber sind einige Werkkräfte zu ihrer Betreuung eingesetzt. Sie haben die Maschinen und Roboter einzurichten sowie die erforderlichen Wartungs- und Kontrollarbeiten auszuführen. Während der Nacht funktioniert diese Produktionsstätte bedienungslos, da die Fertigungszellen mit einer Werkstückpaletten- und einer Werkzeug-Wechseleinrichtung ausgerüstet sind.

Das zentrale Steuerungssystem für zwei automatisierte Speicher- und Abrufsysteme für Werkstoffe und für die Teile und Baugruppen sowie das zentrale Überwachungssystem werden von einem Rechner gesteuert, der wiederum mit einem Leitrechner verbunden ist. Darüber

hinaus ist es für das automatische Transportsystem kompetent.

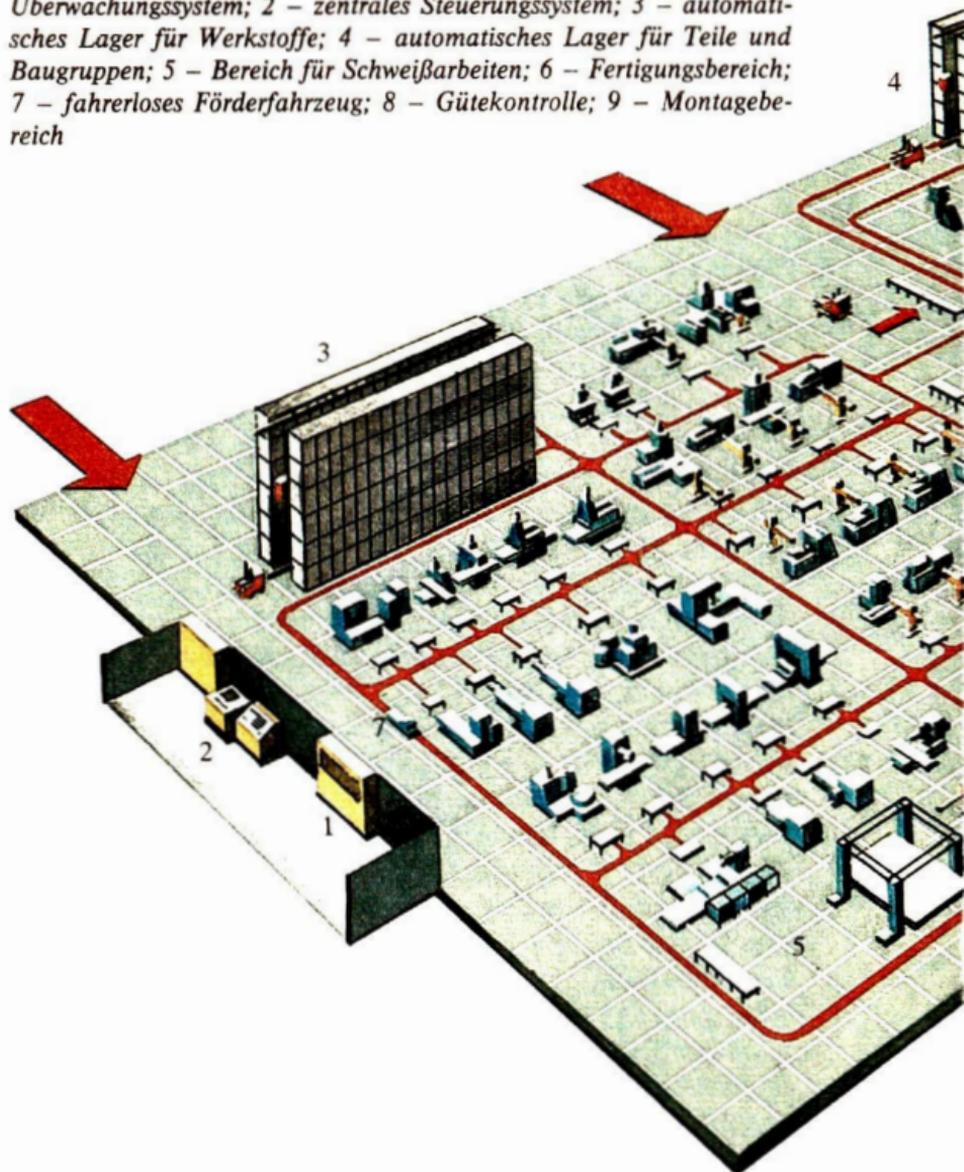
Zur Versorgung der Maschinen dienen elektrisch angetriebene fahrerlose Roboter-Schleppfahrzeuge, die mittels Induktion durch in den Fußboden der Werkhalle verlegte Drähte gelenkt werden. An der Beladestation übernehmen sie Paletten mit den benötigten Materialien, die im automatisierten Speicher- und Abrufsystem bereitgestellt wurden.

Es gibt bereits in mehreren Ländern eine Reihe flexibler automatisierter Betriebe.

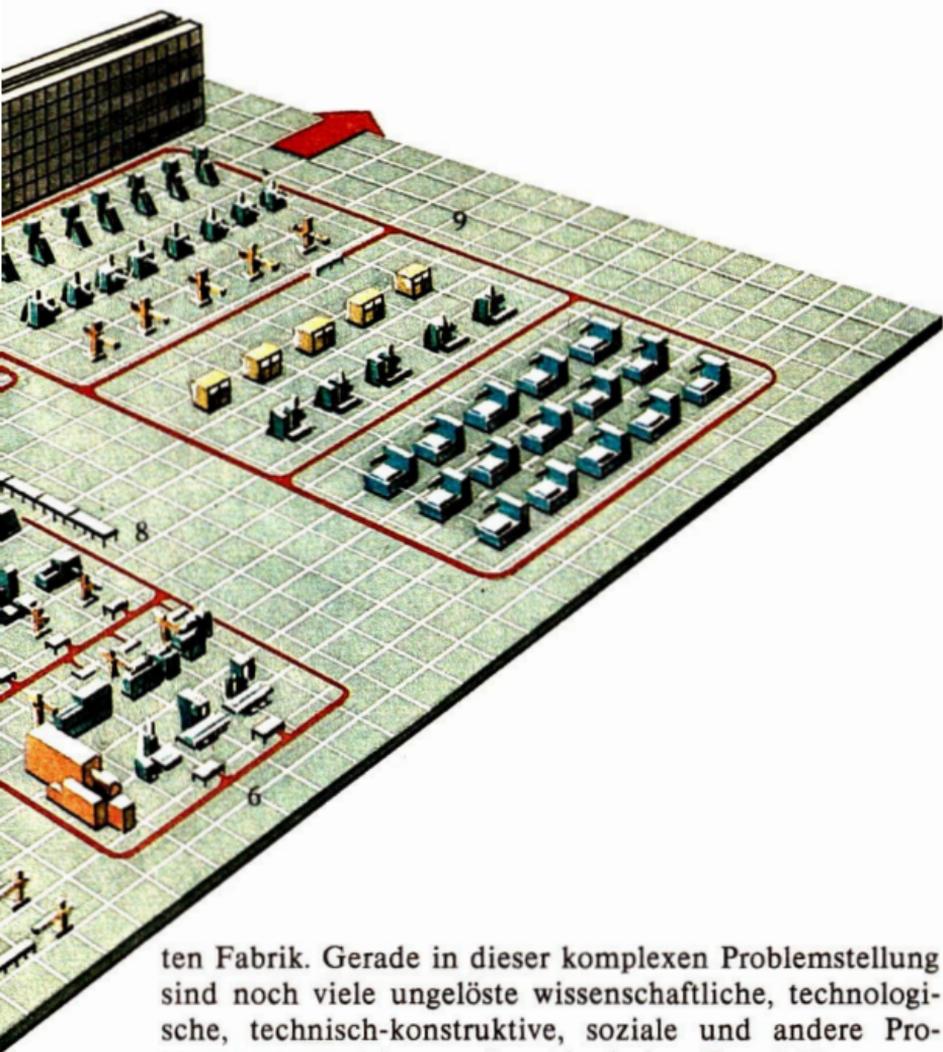
Die realisierten Projekte beweisen einmal mehr: Die Industrierobotertechnik wird künftig in den Fertigungsabteilungen eine erstrangige Rolle spielen. Auf dem Wege zur Industrie von morgen ist der Einsatz von Industrierobotern in komplex automatisierten Produktionsabteilungen eine notwendige, nicht überspringbare Stufe.

Es sei jedoch besonders hervorgehoben: Die flexible Automatisierung führt ebenso wie die starre Automatisierung mit Hilfe der Mikroelektronik und der Industrierobotertechnik zu strukturellen Veränderungen in der Produktion, aber nicht dazu, daß diese vom Menschen unabhängig wird. Die Automatisierung fordert vom Menschen, daß er sie beherrscht. Hierzu gehört vor allem das Beherrschen der Material- und Informationsflüsse als integrierende, grundlegende Bestandteile einer automatisierten Produktion. Der Materialfluß insbesondere in jenen Prozessen, die unmittelbar mit der automatisierten Fertigung und Weiterverarbeitung der Teile verbunden sind, muß die erforderliche Flexibilität mit fördern und gewährleisten helfen. Die Teilprozesse dieses materiellen Funktionsablaufs sind durch den der Fertigungsplanung entsprechenden Informationsfluß nach vorgegebenem Programm örtlich und zeitlich zuzuordnen. Das bedeutet, daß die automatisierte Fabrik nicht nur geeignete Produktionssysteme, sondern ebenso geeignete Informationssysteme sowie die automatisierte Informationsversorgung der Produktionstechnik – nach vorgegebenen Programmen innerhalb der integrierten Datenverarbeitung – voraussetzt. Die Nutzung der Mikroelektronik (wie der Mikrorechner), der Aufbau von hierarchischen Rechnersy-

Beispiel eines hochautomatisierten Fertigungsbetriebes. 1 – zentrales Überwachungssystem; 2 – zentrales Steuerungssystem; 3 – automatisches Lager für Werkstoffe; 4 – automatisches Lager für Teile und Baugruppen; 5 – Bereich für Schweißarbeiten; 6 – Fertigungsbereich; 7 – fahrerloses Förderfahrzeug; 8 – Gütekontrolle; 9 – Montagebereich

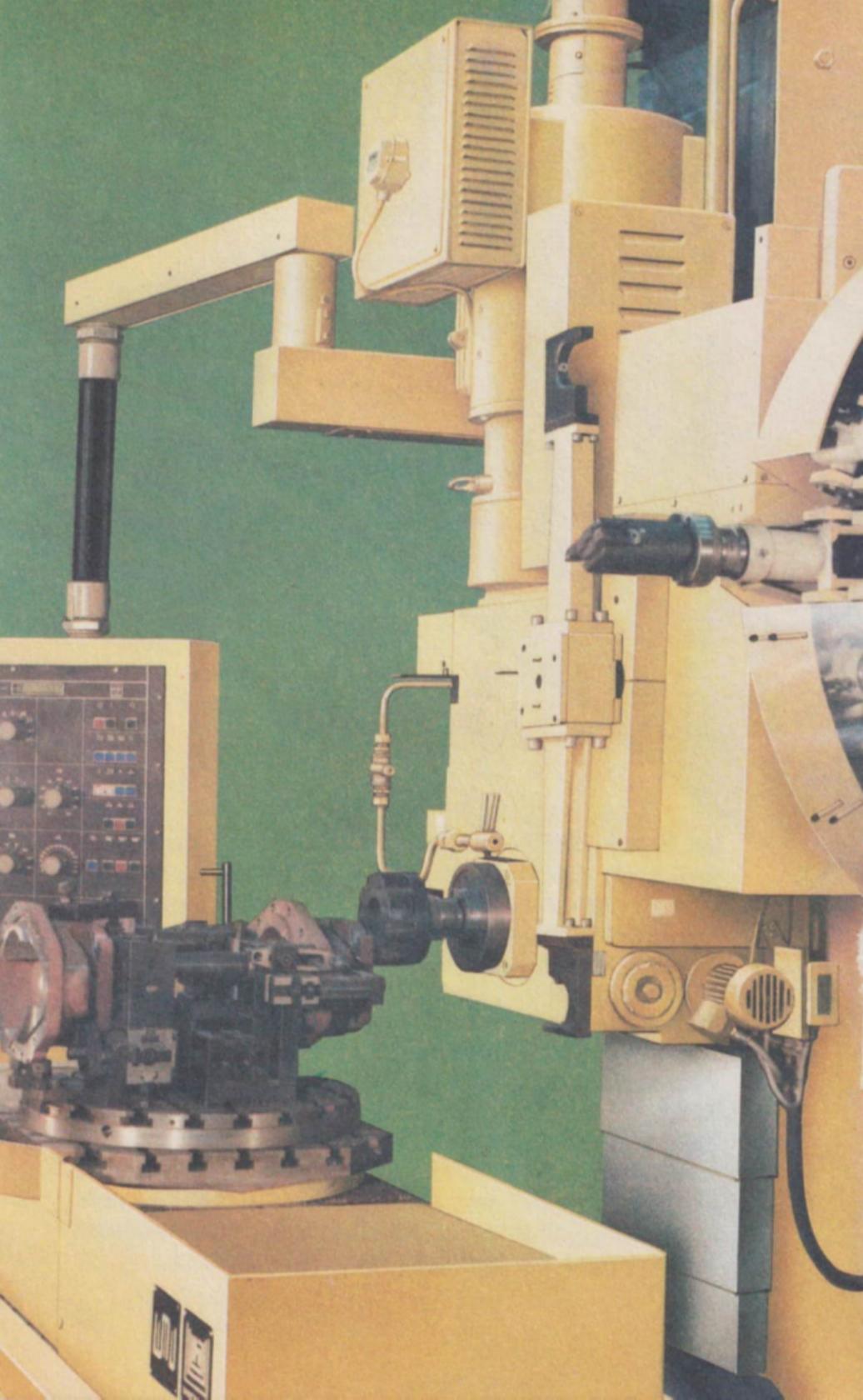


stemmen zur Produktionssteuerung und die Entwicklung der hierfür notwendigen Software sind – einschließlich der Lösung aller damit verbundenen Probleme bis hin zur weitgehend automatisierten Datenerfassung – äußerst komplizierte Aufgaben. Zugleich sind das aber entscheidende Kettenglieder für den Ablauf in einer automatisier-



ten Fabrik. Gerade in dieser komplexen Problemstellung sind noch viele ungelöste wissenschaftliche, technologische, technisch-konstruktive, soziale und andere Probleme eingeschlossen. Im Abschnitt »Entwicklungstendenzen« werden einige dieser Probleme angedeutet.

Wissenschaft und Technik tragen zur permanenten Rationalisierung der industriellen Produktion bei. Trotzdem erfordert die bis zur allgemeinen Einführung der automatisierten Fabrik zurückzulegende Wegstrecke der Forschung, Entwicklung, Projektierung und Erprobung ihre Zeit, denn gleichzeitig mit der Anwendung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse müssen unbedingt praktische Erfahrungen gesammelt werden, wie die notwendige technologische Stabilität und Flexibilität in einer automatisierten Fabrik voll gewährleistet werden können.



Wem nützt Robotertechnik?

Mit den Industrierobotern werden Produktionsmittel geschaffen und eingesetzt, die – gemeinsam mit anderen technisch-wissenschaftlichen Errungenschaften – die Produktivkräfte revolutionieren und weiter vorantreiben. Sie sollen dem Menschen bei seiner Arbeit helfen und sie ihm erleichtern. Sie nehmen als ausschlaggebender Faktor auf dem Wege zur Automatisierung an bestimmten Punkten des Produktionsprozesses aber auch seinen Platz ein und erfüllen Aufgaben, die bisher ihm vorbehalten waren.

Werden mit dem Einsatz der Roboter aber immer und überall Lösungen getroffen, die nicht nur ökonomisch vorteilhaft sind, sondern auch den sozialen Belangen der Werktätigen Rechnung tragen? Wie können die sozialen Auswirkungen dieser Rationalisierung im Sinne einer dem einzelnen und der gesamten Gesellschaft dienenden Wirtschafts- und Sozialpolitik beeinflußt werden?

Bearbeitungszentren optimieren die Bearbeitung von Werkstücken in der Klein- und Mittelserienfertigung. Das Konstruktionsprinzip erlaubt vielfältige Variationsmöglichkeiten für die Anwendung verschiedener Werkstückträger zur Komplexbearbeitung der Werkstücke. Durch die Ausrüstung mit leistungsfähigen CNC-Steuerungen sind alle nur erdenklichen Bearbeitungen möglich. Von einfachen Bearbeitungsaufgaben über die Rundum-Komplexbearbeitung gehäuseförmiger Teile bis zu extrem schwierigen Bearbeitungen, wie sie bei der Herstellung geometrischer Umfangsprofile oder dreidimensionaler Formteile auftreten, reicht das bearbeitbare Teilespektrum.

Was kommt unter dem Strich heraus?

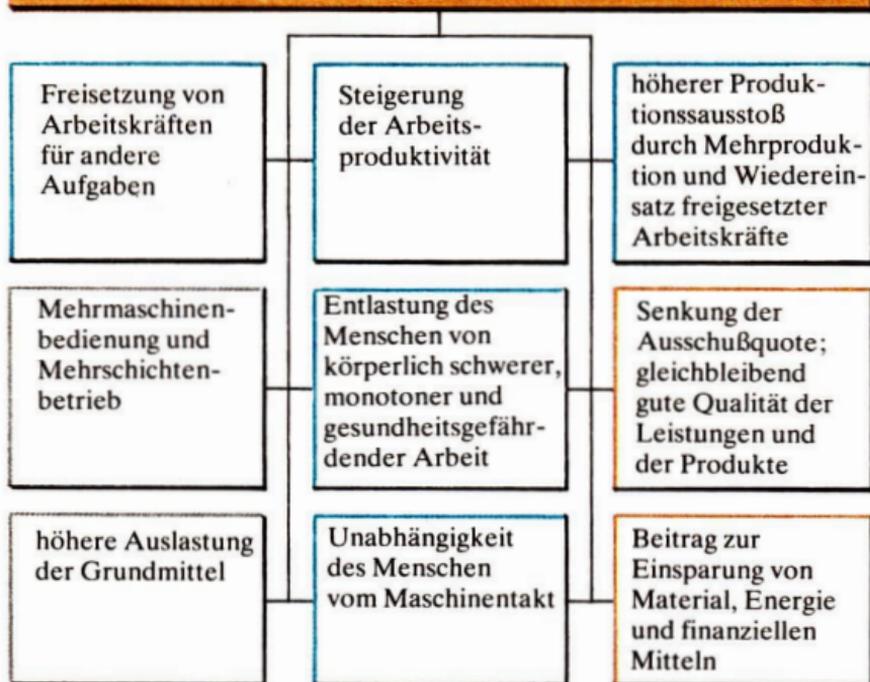
Ist der konzentrierte und komplexe Einsatz von Industrierobotern ökonomisch vorteilhaft? Wie lange dauert es, bis die für diese Roboter investierten Mittel wieder zurückgeflossen sind? Wie hoch ist die Anzahl der absolut freigesetzten Arbeitskräfte, und wie groß ist die Steigerung der Arbeitsproduktivität?

Der komplexe Einsatz von Industrierobotern hat sich besonders in automatisierten Fertigungsabteilungen als ökonomisch wirkungsvoll erwiesen. Er erfordert in der Regel die Umstellung der Technologie, »roboterfreundliche« Maschinen, eine entsprechende Adaption der Roboter und aus diesen Gründen verständlicherweise auch entsprechende wissenschaftlich-technische Vorleistungen. In vielen Fällen entstehen dabei relativ hohe Kosten. Da sich jedoch das Niveau des gesamten technologischen Prozesses erhöht und die neuartigen komplexen Lösungen einen erheblichen Nutzen mit sich bringen, ist dieser Aufwand gerechtfertigt.

Der Einsatz von Industrierobotern führt in zahlreichen Bereichen der materiellen Produktion zu einem höheren Tempo bei der Steigerung der Arbeitsproduktivität – auch verglichen mit der Produktionsentwicklung – sowie zur absoluten Freisetzung von gesellschaftlichem Arbeitsvermögen. Nehmen wir an, daß in einem unserer Kombinate im Laufe eines Fünfjahrplans 500 Arbeitskräfte durch den Einsatz von Robotern für andere Arbeitsaufgaben frei werden. Gleichzeitig sind zur Entwicklung und zum Eigenbau von Industrierobotern etwa 150 Arbeitskräfte notwendig. Somit werden effektiv 350 Arbeitskräfte eingespart und anderweitig eingesetzt. Sie erarbeiten innerhalb von 5 Jahren eine zusätzliche industrielle Warenproduktion von rund 100 Millionen Mark. Die Arbeitsproduktivität wird im Kombinat insgesamt im Durchschnitt um mehr als 30 Prozent und bei ausschließlicher Betrachtung des Robotereinsatzes um einen wesentlich höheren Anteil (zwischen 50 und 300 Prozent) gesteigert.

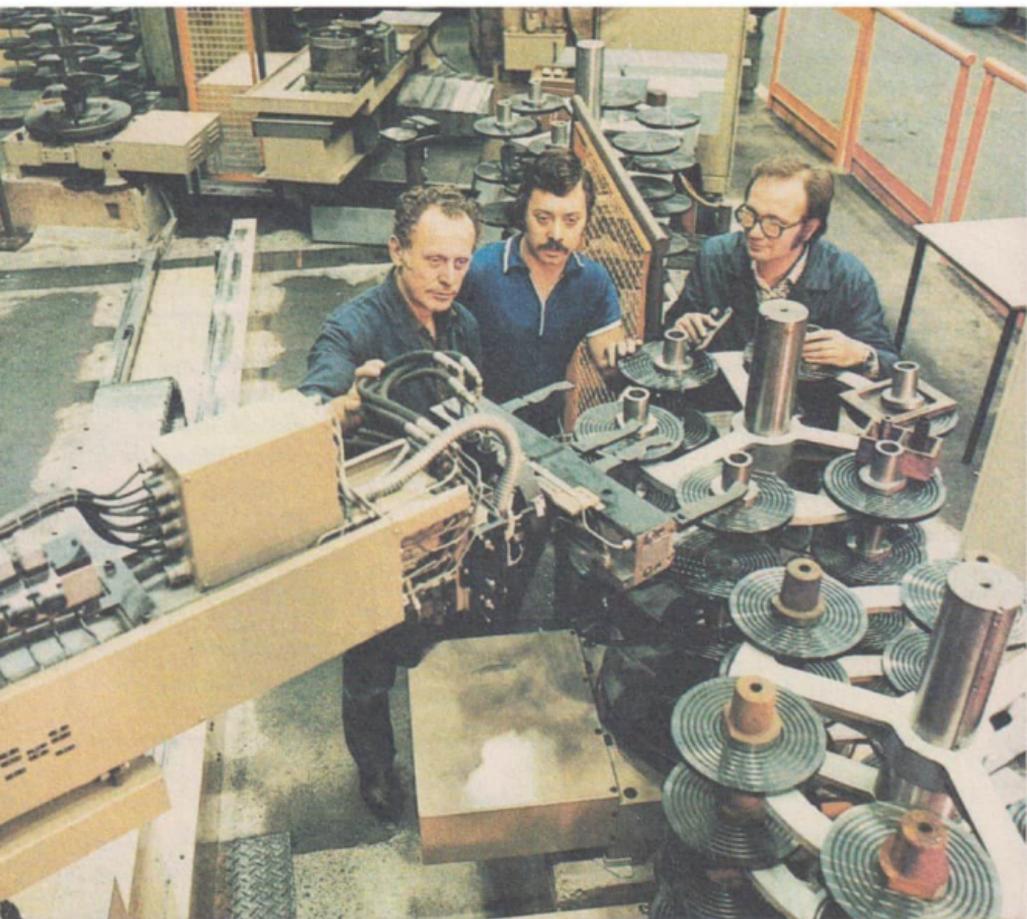
Mit dem Einsatz von Industrierobotern sind darüber hinaus weitere ökonomische Vorteile verbunden. Arbeitsmittel werden freigesetzt, Umlaufmittel eingespart, und

Nutzen aus dem Einsatz von Industrierobotern



aus der Mehrproduktion bzw. dem Wiedereinsatz freige-wordener Arbeitskräfte wird ein Reineinkommenszu-wachs erzielt. Durch gleichbleibend gute Leistungen der Industrieroboter können die Ausschußquoten gesenkt, Material, Energie sowie finanzielle Mittel eingespart werden. Wenn es z. B. gelingt, die Kosten für Ausschuß, Nacharbeit und Garantieleistungen in der volkseigenen Industrie der DDR je 1 000 Mark Warenproduktion nur um 1 Mark zu vermindern, so könnte mit den dadurch eingesparten materiellen Fonds und den freiwerdenden Kapazitäten an Maschinen, Arbeitskräften u. a. eine zu-sätzliche Warenproduktion im Wert von rund 320 Millio-nen Mark geschaffen werden. Ferner kann mit dem Ein-satz von Industrierobotertechnik der Anteil der Grund-zeit an der verfügbaren Arbeitszeit durch die Verminde-rung der Hilfszeiten erhöht werden, wodurch der Auslastungsgrad der Grundmittel ansteigt.

Vor jedem Einsatz von Industrierobotern werden in der



Ein mobiler Roboter, aus Baugruppen entstanden, übernimmt hier die Aufgabe, drei numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen zu beschicken sowie die zu bearbeitenden Werkstücke zu transportieren und zu speichern.

Regel für das gesamte geplante Rationalisierungsvorhaben mit Hilfe von Aufwand-Nutzen-Kennziffern die sich aus den technischen, technologischen und arbeitsorganisatorischen Veränderungen ergebenden Auswirkungen ermittelt. Teilweise werden solche Berechnungsergebnisse auch noch bewertet, mit Beurteilungskriterien verglichen, so daß exakte Unterlagen für die Entscheidung über den Robotereinsatz bzw. das Rationalisierungsvorhaben geschaffen werden.

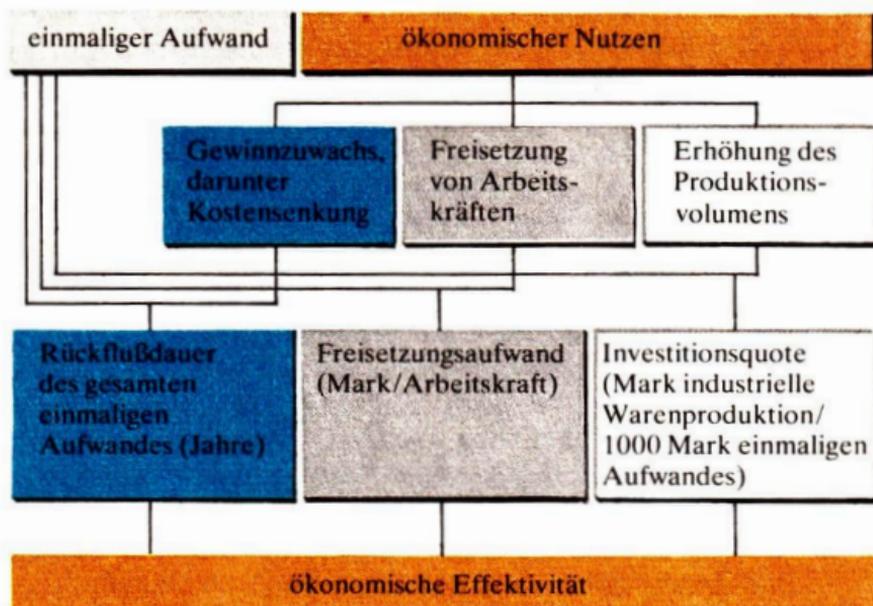
Die ökonomische Effektivität wird in der Form einer Gegenüberstellung des einmaligen Aufwands (z. B. für Investitionen, Forschung und Entwicklung, Anpassung der technologischen Prozesse, Einsatzvorbereitung, Qualifizierung der Mitarbeiter u. ä.) und des ökonomischen Nutzens (z. B. durch Kostensenkung, Gewinnzuwachs, Arbeitskräftefreisetzung, Erhöhung des Produktionsvolumens u. a.) ermittelt.

Der Investitionsaufwand für Industrieroboter ist infolge der unterschiedlichen Einsatzbedingungen, der erforderlichen peripheren Geräte, der Gestaltung der Roboter selbst und anderer Faktoren sehr differenziert. International hat sich gezeigt, daß er bei etwa 300 000 Mark je eingesetztem Roboter liegt. Er kann aber auch bis zu 600 000 Mark betragen. Die durchschnittliche Rückflußfrist für die aufgewendeten Investitionen beträgt drei Jahre. Aber auch bei einer längeren Rückflußfrist kann der Einsatz von Industrierobotern aus volkswirtschaftlichen Erwägungen heraus vertretbar sein.

Die mit dem komplexen Einsatz von Industrierobotern verbundene Erhöhung der Flexibilität, d. h. das schnellere Reagieren auf veränderte Anforderungen, Bedingungen und Ziele, ist ökonomisch von Vorteil. Sie wirkt sich als Gewinnzuwachs oder als Kostensenkung aus, die wiederum zur Gewinnerhöhung führt. Beispielsweise wird sich unsere exportorientierte Industrie schneller auf die Wünsche der Erzeugnisanwender einstellen können. In ähnlicher Weise bringt eine mit dem Industrierobotereinsatz verknüpfte Verkürzung der Prozeßdauer einen erheblichen ökonomischen Nutzen mit sich.

Insgesamt sind, um einen hohen ökonomischen Nutzen des komplexen Einsatzes der Industrierobotertechnik unter Einbeziehung vor- und nachgelagerter Prozesse zu gewährleisten, folgende Voraussetzungen besonders bedeutsam:

- dreischichtige Ausnutzung dieser hochmodernen Technik bei gleichzeitiger kontinuierlicher Stabilität der technologischen Prozesse
- relativ niedrige einmalige Aufwendungen durch den Einsatz verfahrens- und kostengünstiger Roboter
- niedrige laufende Kosten



Kriterien für die ökonomische Effektivität des Industrierobotereinsatzes (nach Pleschak und Krejčík)

– die vielfache Nachnutzung qualitativ hochwertiger technisch-technologischer Lösungen einschließlich der erarbeiteten Software.

Nur mehr Freizeit?

Mit der industriellen Revolution im letzten Drittel des 18. und vor allem im 19. Jahrhundert wurde die Handarbeit durch den Einsatz von Maschinen verdrängt und der Handwerker zum Bediener der Maschine. Gegenwärtig erschließt der Einsatz von Industrierobotern die Möglichkeit, den Arbeiter von der Bedienung der Maschine und dem damit oft verbundenen monotonen Zwangsrhythmus zu befreien. Er wird aus dem strengen technologischen Regime im Produktionsprozeß herausgelöst, um diesen Prozeß in veränderter Form mit seinen freigesetzten schöpferischen Kräften noch besser zu beherrschen und weiterzuentwickeln. Gerade in der Möglichkeit, den schöpferischen Charakter der Arbeit weiter auszuprägen

und immer bessere Bedingungen für die allseitige Entfaltung sozialistischer Persönlichkeiten schaffen zu helfen, besteht ein bedeutender sozialer Effekt des Einsatzes der Industrieroboter. Er erweist sich – wie überhaupt alle sozialen Auswirkungen des Robotereinsatzes in der sozialistischen Gesellschaft – als Komponente des wissenschaftlich-technischen Fortschritts und wird deshalb als unmittelbarer Bestandteil der Effektivität betrachtet – ein Grundsatz, der nur im Sozialismus zu verwirklichen ist.

Aus den veränderten Mensch-Maschine-Beziehungen ergeben sich zwangsläufig tiefgreifende Veränderungen in der qualitativen Beschaffenheit der Arbeit. Mit Hilfe der Industrieroboter werden sowohl einfache Handhabeoperationen automatisiert als auch kompliziertere Arbeiten mit großer Präzision und Geschwindigkeit ausgeführt. Damit werden die Auswirkungen der subjektiven Begrenzungen des menschlichen Arbeitsvermögens im Hinblick auf diese beiden Komponenten – Geschwindigkeit und Präzision der Arbeit – erheblich vermindert oder völlig eliminiert.

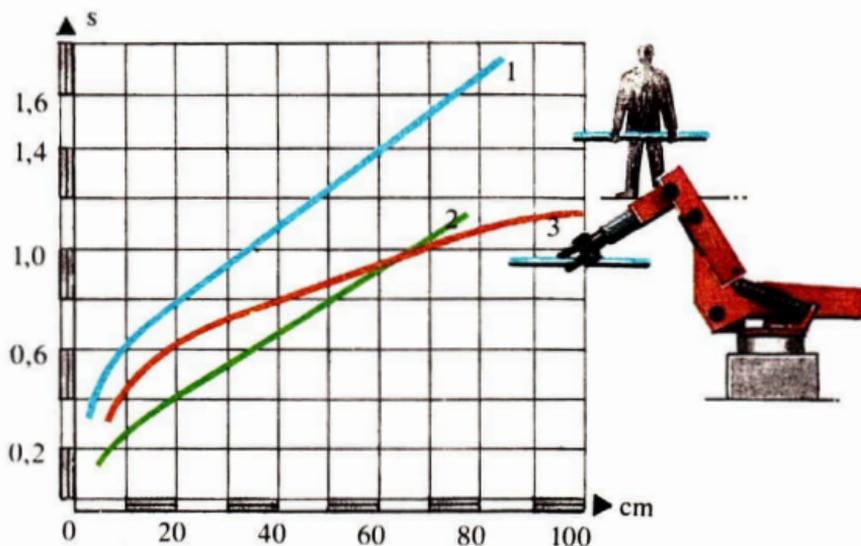
Für einen bestimmten Arbeitsweg benötigt der Industrieroboter meist weniger Zeit als ein Arbeiter. Der Mensch ermüdet schon nach relativ kurzer Dauerbelastung und braucht Pausen. Im Verlaufe des dreischichtigen Arbeitstages unterliegt er Schwankungen seiner physiologischen Leistungsfähigkeit bis zu 30 Prozent der Normvorgabe. Die Leistungsfähigkeit des Roboters hingegen nimmt kaum ab. Um diejenigen Arbeitsplätze, an denen der Mensch stark belastet ist und deren Ausrüstung mit Industrierobotern deshalb auch vorrangig betrieben wird, zu ermitteln, werden entsprechende Analysen durchgeführt. Bei der Entscheidung wird besonders die Schwere der psychischen Belastung (durch Lärm, Monotonie u. ä.) und der physischen Belastung (durch schwere körperliche Arbeit usw.) berücksichtigt.

Die örtliche und zeitliche Bindung des Werktätigen an den Arbeitsplatz wird durch die über den Industrierobotereinsatz geförderte Automatisierung vermindert, so daß günstige Voraussetzungen für einen mobilen Einsatz der Arbeitskräfte entstehen.

Arbeitsteilung und Arbeitsorganisation werfen neue Probleme auf. Die Anzahl der unmittelbar an Maschinen tätigen Arbeitskräfte geht zurück. Dafür nimmt die Zahl der in der Produktionsvorbereitung, -überwachung sowie in der Instandhaltung erforderlichen Arbeitskräfte zu. Für den einzelnen ergeben sich eine ganze Reihe von Veränderungen. Oft müssen liebgewordene Arbeitsgewohnheiten aufgegeben werden. Der »eingeschliffene« Arbeitsrhythmus bei der Beherrschung gewohnter Arbeitsgänge wird nicht mehr gebraucht. Es treten qualitativ und quantitativ neue Arbeitsplatzmerkmale in den Vordergrund, die eine Veränderung des bisherigen Arbeitsverhaltens und neue spezielle Kenntnisse erfordern.

Ein Beispiel für solche Veränderungen in der Industrie ist die sich abzeichnende Tendenz, daß die Tätigkeiten eines Bedieners von Maschinen künftig – in unterschiedlichem Umfang und den jeweiligen Produktionsbedingungen entsprechend – durch die Übertragung anspruchsvollerer komplexer Arbeitsaufgaben ergänzt werden. Das geschieht unter Einbeziehung des Einrichtens, Programmierens, der technischen Überwachung, der Regelung, des Wartens und Instandhaltens von Industrierobotertechnik und anderer Automatisierungseinrichtungen sowie verschiedenartiger Aufgaben, die im Zusammenhang mit der Qualitätskontrolle stehen. In bestimmten Fällen müssen diese Arbeiter künftig mit elektronischen Datenein- und Datenausgabegeräten, mit Bedientafeln für Industrieroboter, Meßgeräten und Programmspeichern sowie Fehlersuchprogrammen umgehen können.

Die mit der verstärkten Einführung von Industrierobotern sich verändernden Bedingungen führen dazu, daß von bestimmten Facharbeitern eine höhere Konzentration, Aufmerksamkeit und Willensbeanspruchung während der Arbeitszeit sowie ein höheres, umfassenderes theoretisches Wissen über den gesamten technologischen Prozeß und über hochwertige elektronische Geräte verlangt wird. Adaptive Fähigkeiten, wie allgemeine geistige Beweglichkeit, gedankliches Kombinieren und vorausschauendes Denken, sowie die Bereitschaft zum schnellen Umlernen werden vom Facharbeiter der Zukunft in höherem Maße gefordert. Auf erworbenem grundlegen-



Verhältnis des Arbeitsvermögens Mensch – Industrieroboter. 1 – menschliches Arbeitsvermögen nach Methoden der Zeitmessung für eine zu handhabende Masse von 10 kg; 2 – menschliches Arbeitsvermögen nach Methoden der Zeitmessung für eine zu handhabende Masse < 1,13 kg; 3 – Arbeitsvermögen eines Industrieroboters, ausgelegt für zu handhabende Massen von maximal 10 kg (nach Otto)

dem Wissen und entsprechenden Fertigkeiten aufbauend, muß er sich mehr, als gegenwärtig üblich, in die neue Technik hineindenken. Die im Zusammenhang mit der Automatisierung auf der Grundlage der Industrierobotertechnik auf einem höheren Niveau zusammengeführte manuelle und geistige Arbeit soll vor allem persönlichkeits- und leistungsfördernd wirken.

Der Einsatz von Industrierobotern führt somit zur Herausbildung verbesserter oder neuer Arbeitsinhalte und teilweise zur Veränderung des Charakters der Arbeit. Diese Tatsache wird u. a. sichtbar an der Verringerung der Unterschiede zwischen körperlicher und geistiger Arbeit, an der Veränderung der Tätigkeits- und Berufsstruktur der Werk tätigen bis hin zur Entstehung neuer Berufe, z. B. der des Programmierers für Roboterbereiche und flexible Fertigungszellen.

Der komplexe Einsatz von Industrierobotern bringt also in der Regel höhere Anforderungen an die geistige

Leistungsfähigkeit und damit an die Qualifikation der Werktätigen mit sich. Die Qualifizierungsbereitschaft, der Mut zum vertretbaren Risiko, die Bereitschaft, ein anderes Aufgabengebiet zu übernehmen, und die Teilnahme am Wettbewerb werden durch den Einsatz von Industrierobotern gefördert. Die Folge davon ist eine höhere soziale Aktivität der Werktätigen.

Werden durch den Industrierobotereinsatz in der DDR Arbeitskräfte frei, die nicht wieder im gleichen Betrieb und entsprechend ihrer Qualifikation eingesetzt werden können, so werden sie nicht – wie häufig in den kapitalistischen Industriestaaten – arbeitslos, sondern planmäßig in einen anderen Betrieb bzw. eine andere Tätigkeit übergeleitet und, wenn dazu eine andere Ausbildung erforderlich ist, dafür entsprechend qualifiziert, wobei die Kosten dieser Maßnahmen der Betrieb trägt.

Als Konsequenz einer derartigen Entwicklung sind mit der Einführung der Industrierobotertechnik ebenfalls neue Aspekte der Leistungsbewertung und materiellen sowie moralischen Stimulierung der Werktätigen verbunden.

Der Einsatz von Industrierobotern kann für die Werktätigen in der Produktion auch zu Veränderungen in den Kollektivstrukturen führen. Ebenso werden höhere Anforderungen an die Qualität der Leitungstätigkeit gestellt. Die schöpferische Zusammenarbeit zwischen Produktionsarbeitern und Angehörigen der wissenschaftlich-technischen Intelligenz nimmt zu. Die Lebensweise wird sich verändern.

Durch den Einsatz der Industrierobotertechnik verbessern sich auch die Arbeits- und Lebensbedingungen der beteiligten Werktätigen. So z. B. führt er zur Reduzierung von körperlich schweren, schmutzigen, gesundheitsgefährdenden und monotonen Arbeiten, oft zum völligen Herauslösen des Menschen aus Teilen des Produktionsprozesses. Der Mensch braucht dort, wo Roboter eingesetzt sind, nicht mehr schwer zu heben, unter dem Einfluß hoher Temperaturen zu arbeiten oder gesundheitschädigende Stoffe einzuatmen. Allerdings ist eine volle, also mehrschichtige Auslastung dieser relativ teuren Technik eine unabdingbare Voraussetzung für deren Ef-

ektivität. Nur auf diese Weise können im Laufe der Zeit auch die Voraussetzungen dafür geschaffen werden, die Arbeitszeit schrittweise weiter zu reduzieren.

Die breite Nutzung von Industrierobotertechnik trägt weiterhin dazu bei, Unfallgefahren zu vermindern bzw. ganz auszuschalten, die arbeitshygienischen Voraussetzungen zu verbessern, bestimmte Berufskrankheiten zurückzudrängen und damit die Anzahl der aus diesen Gründen vorzeitig invalidisierten Werktätigen zu reduzieren.

Der Industrierobotereinsatz führt jedoch nicht von vornherein – sozusagen naturgemäß – zu besseren Arbeitsbedingungen. Den Veränderungen des Niveaus der Arbeitsbedingungen wird daher besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Dieses Niveau wird maßgeblich durch die Gesamtheit aller Produktionsbedingungen beeinflusst. Sie müssen im Zuge der komplexen Rationalisierungslösungen bewußt – entsprechend dem Grundsatz, daß im Sozialismus im Mittelpunkt aller Bestrebungen der Mensch steht – geschaffen werden und sollen Arbeitsfreude, Einsatzbereitschaft und Schöpfertum fördern.

Diese und noch weitere ökonomische und soziale Effekte des Einsatzes der Industrierobotertechnik sind durch vielfältige Fäden miteinander verknüpft und beeinflussen sich gegenseitig.

Partnerschaft

Eine der Hauptrichtungen der wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit der RGW-Länder, die die Intensivierung ihrer Volkswirtschaften vor allem im Zusammenhang mit der sozialistischen Rationalisierung maßgeblich begünstigen, ist die Industrierobotertechnik.

In den sozialistischen Ländern wurden bis Anfang der 80er Jahre etwa 160 verschiedene Industrierobotertypen konstruiert und in die Serienproduktion übergeführt. Nicht jeder entwickelte Roboter wird jedoch in Serie hergestellt. In der UdSSR wurde z. B. von 200 Industrierobotertypen nur etwa jeder fünfte serienmäßig produziert.

Die Abstimmung zwischen den RGW-Ländern zur

Konzentration und Koordinierung der Forschung und Entwicklung sowie der Produktion bietet gute Voraussetzungen auch für ein rasches Wachstum der Industrierobotertechnik und eine weitgehende Spezialisierung und Kooperation gerade auf diesem Gebiet.

Die Vorzüge der internationalen sozialistischen Arbeitsteilung und Kooperation nutzend, wurde im Jahre 1980 ein RGW-Abkommen über die mehrseitige wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit zur Entwicklung moderner Industrieroboter für die Bedienung von Werkzeugmaschinen, Schmiedeanlagen, Pressen und Gießereiausrüstungen unterzeichnet. Auf der Grundlage dieses Abkommens wurden technische Normativunterlagen für den Einsatz von Industrierobotern im Rahmen des RGW ausgearbeitet und vorhandene Konstruktionen von Industrierobotern sowie deren Kopplungsmöglichkeiten mit verschiedenen technologischen Ausrüstungen geprüft. Anhand der Ergebnisse dieser Analysen sind Serien vorteilhafter Industrieroboter entstanden. Gleichzeitig wurde auf vereinheitlichte Baugruppen und Elemente als Basis der Entwicklung von Industrierobotern Wert gelegt. Dieses mehrseitige RGW-Abkommen zur Industrierobotertechnik führte inzwischen zu einem beachtlichen Zeitgewinn in der Forschung und Entwicklung, zu internationalen Spitzenleistungen und zur Steigerung der gegenseitigen Lieferungen von Ausrüstungen. In den kommenden Jahren wird sich die Kooperation auf dem Gebiet der Industrierobotertechnik nicht nur fortsetzen, sondern beschleunigen, wobei vor allem das zwischen der DDR und der UdSSR unterzeichnete Abkommen zur Vertiefung der wissenschaftlich-technischen und ökonomischen Zusammenarbeit bis zum Jahr 2000 dafür neue bedeutende Möglichkeiten eröffnet.

Zur Realisierung der Festlegungen und Empfehlungen für die zwei- und mehrseitige Zusammenarbeit von RGW-Ländern entstanden komplexe Programme für die Kooperation auf dem Gebiet der Industrierobotertechnik u. a. zwischen der UdSSR und der VR Bulgariens sowie zwischen der UdSSR und der ČSSR. Ebenso hat die DDR zweiseitige Vereinbarungen mit der Sowjetunion sowie mit anderen sozialistischen Staaten getroffen. Sie haben

die Kooperation bei der Entwicklung von Industrierobotern und bei deren Überleitung in die Produktion sowie die gegenseitige Lieferung solcher Industrieroboter zum Inhalt.

Zur Realisierung der RGW-Vereinbarungen auf dem Gebiet der Industrierobotertechnik arbeiten insbesondere die Forschungsinstitute des Werkzeugmaschinenbaus der sozialistischen Länder untereinander sehr eng zusammen. Neben gemeinsamen Entwicklungsarbeiten zur Lösung konstruktiver Probleme stehen auch Untersuchungen zu weiteren Einsatzmöglichkeiten für Industrieroboter im Vordergrund. Die Zusammenarbeit mit der UdSSR zur gemeinsamen Rationalisierung und Intensivierung der Produktion mit Hilfe von Industrierobotern – zugleich im Sinne der gegenseitigen Arbeitsteilung – fördert die stabile ökonomische Entwicklung aller RGW-Mitgliedsländer. Für jedes dieser Länder ist die Sowjetunion auch auf diesem Gebiet der Hauptpartner der wissenschaftlich-technischen und ökonomischen Zusammenarbeit.

Umfangreiche Entwicklungsarbeiten für Industrieroboter bzw. programmgesteuerte Manipulatoren – wie die Industrieroboter in der UdSSR genannt werden – begannen in der Sowjetunion bereits Ende der 60er Jahre. Die ersten Roboter verschiedenartiger Ausführung, vorwiegend zum Beschicken von Werkzeugmaschinen, wurden Anfang der 70er Jahre erprobt und in die Produktion übergeführt. Auf der Grundlage mikroelektronischer Funktionseinheiten und Steuerungen entstanden Ende der 70er Jahre neue Prototypen sowjetischer Industrieroboter. Durch den Einsatz von 350 000 bis 400 000 Industrierobotern sollen in der UdSSR bis 1990 mehr als eine Million Arbeitskräfte und über drei Milliarden Rubel jährlich eingespart werden.

Die Zuwachsraten auf dem Gebiet der Industrierobotertechnik liegen in der UdSSR sehr hoch; z. B. wurden im ersten Halbjahr 1982 etwa doppelt so viele Industrieroboter hergestellt wie im ersten Halbjahr 1981. Im Jahre 1982 waren in sowjetischen Werken 6 000 Industrieroboter eingesetzt, zwei Jahre später bereits mehr als 30 000. Diese Industrieroboter arbeiten u. a. in der Schwarz- und

Buntmetallurgie, im Maschinenbau, im Kohle- und Erzbau, in der Landwirtschaft, im Bauwesen, in der Leicht- und Nahrungsgüterindustrie sowie im Transportwesen.

Auf dem Gebiet der Forschung, Entwicklung und Erprobung von Industrierobotern sind das Moskauer Forschungsinstitut für Metallbearbeitungsmaschinen (ENIMS) und dessen Versuchswerk »Stanko Konstruzija« besonders aktiv. Beide Einrichtungen wirken auch tatkräftig an der Verwirklichung des Roboterprogramms der RGW-Länder mit. So wurde von sowjetischen Fachleuten des ENIMS zusammen mit Experten des Forschungsinstituts der Metallindustrie in Prešov (ČSSR) der Universalmanipulator UM 160 konstruiert. Er versorgt mehrere Maschinen zur Herstellung von Rotationsteilen wie Wellen u. ä. mit Werkstücken bis zu einer Masse von 160 kg. Damit er die ihm übertragenen Aufgaben sicher erfüllen kann, verfügt er über »Infrarotaugen«. Nur *ein* Werkstätiger ist erforderlich, um diese Prozesse zu überwachen. Der gut vorbereitete Einsatz dieser Industrieroboter führt jeweils zu einem ökonomischen Nutzen von jährlich 300 000 Rubel und zur Freisetzung von vier Arbeitskräften für andere Produktionsaufgaben. Inzwischen wurden Roboter dieses Typs auch von anderen sozialistischen Ländern eingesetzt.

Im Zusammenhang mit der Erprobung neukonstruierter Industrieroboter der zweiten und zum Teil der dritten Generation bemüht man sich in der Sowjetunion, die Zuverlässigkeit und Betriebssicherheit der Industrieroboter zu erhöhen sowie die Zeit für die Überleitung dieser Neuentwicklungen in die Produktion beträchtlich zu verkürzen. Es handelt sich dabei um Industrieroboter, die mit Sensoren, Mikrorechnern u. ä. Baugruppen ausgestattet sind. Damit erfolgt zugleich eine Konzentration auf Industrieroboter der zweiten und der dritten Generation, die einen wesentlich höheren Nutzen bringen als jene der ersten.

Das Forschungsinstitut für Metallindustrie in Prešov hat unter der Bezeichnung »PRAM« rund ein Dutzend Grundtypenreihen für den Robotereinsatz, z. B. zum Umformen, Schweißen, zur Oberflächenbearbeitung, Mon-

tage u. a., entwickelt. Mit diesen Grundtypenreihen wurde auch das für den Werkzeugmaschinenbau bedeutsame Spektrum an Handhabetechnik entwickelt. Da Roboter in automatischen Fertigungsabschnitten nur bei Einbeziehung der Lager- und Transportprozesse sowie ähnlicher peripherer Gebiete des eigentlichen Roboterplatzes effektiv eingesetzt werden können, befaßt sich das Prešover Institut mit der Entwicklung weiterer peripherer Ausrüstungen sowie der Komplettierung dieser Grundtypenreihen.

Seit dem Jahre 1978 bestehen auf dem Gebiet der Industrierobotertechnik enge Beziehungen zwischen dem Forschungsinstitut der metallverarbeitenden Industrie Prešov und dem Forschungszentrum des Werkzeugmaschinenbaus in Karl-Marx-Stadt. Insbesondere werden Studien und gemeinsame Forschungen zu weiteren Einsatzmöglichkeiten für Industrieroboter betrieben, wobei sich vor allem für den Bereich des Verarbeitungsmaschinenbaus eine enge Zusammenarbeit bei der Robotereinsatzvorbereitung ergibt.

In der Volksrepublik Bulgarien wurden verschiedenartige Roboter entwickelt sowie produziert. Sie werden in einer Baukastenserie als fest- bzw. freiprogrammierbare Maschinen hergestellt. Es gibt auch hier zahlreiche Typen, u. a. zum Handhaben von großen Massen, zum Beschichten, zum Beschicken von Maschinen, zur Auslese von Erntegut usw.

Da das Sortieren von geernteten Tabakblättern in der VR Bulgarien jährlich viele Arbeitsstunden von Fachkräften erfordert, wurde für diese Arbeit ein Industrieroboter entwickelt. Mit einer elektronischen Einrichtung wird das von den Blättern reflektierte Licht gemessen. Die Meßergebnisse ermöglichen es, die Blätter nach Farbe und Qualität zu unterscheiden. Der Roboter teilt die von ihm bewerteten Tabakblätter in mehrere Güteklassen ein und verteilt sie mit Hilfe von Luftgebläsen auf verschiedene Förderbänder. In einem Erntejahr kann ein solcher Industrieroboter allein 6 000 Tonnen Tabakblätter sortieren und bewerten. Das hierbei verwendete Robotersystem soll nach einer entsprechenden Anpassung und Programmierung auch für andere Aufgaben der Qualitätskontrolle eingesetzt werden, wie für das Prüfen von Geweben, Ta-

peten, Wandfliesen u. ä. Sogar die Qualität von Mehl kann diese Anlage anhand der Farbe ermitteln.

Im Rahmen des RGW hat sich die VR Bulgarien auf bestimmte Typen von Industrierobotern spezialisiert und auf diese Aufgabe mehr als 1 000 Spezialisten konzentriert. Damit leistet die VR Bulgarien in Kooperation mit der UdSSR und anderen sozialistischen Staaten einen beachtlichen Beitrag zur Erfüllung des langfristigen Abkommens zur mehrseitigen wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Industrierobotertechnik sowie zur Arbeit der ständigen Kommission Maschinenbau des RGW.

Hier konnten nur einige Beispiele für die Zusammenarbeit der sozialistischen Länder auf dem Gebiet der Industrierobotertechnik erwähnt werden. Darin erschöpft sich jedoch diese Kooperation nicht. Weitere wissenschaftlich-technische Institute und Betriebe in der VR Ungarn, der VR Polen, der Sozialistischen Republik Rumänien und anderen sozialistischen Staaten kooperieren ebenso auf zwei- und mehrseitiger Basis mit ähnlichen Partnerrichtungen sozialistischer Länder.

Bei der allseitig intensiven Form der erweiterten Reproduktion, die für die entwickelte sozialistische Gesellschaft der RGW-Länder typisch ist, werden die qualitativen Wachstumsfaktoren für die Erhöhung der gesellschaftlichen Arbeitsproduktivität und Effektivität immer ausschlaggebender. Die auf der Grundlage von RGW-Abkommen gestaltete Industrierobotertechnik trägt wesentlich zur Beschleunigung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts, zur Erhöhung des Tempos und des Ausmaßes der sozialistischen ökonomischen Integration sowie zur weiteren Verflechtung der Volkswirtschaften der sozialistischen Länder bei.

Da der wissenschaftlich-technische Fortschritt der Hauptfaktor bei der Intensivierung in den Volkswirtschaften der RGW-Länder ist, der die Lösung aller anderen Aufgaben entscheidend beeinflußt, hat die wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit im Prozeß der sozialistischen ökonomischen Integration eine immense Bedeutung.

Ein Blick in kapitalistische Länder

Insbesondere seit Ende der 70er Jahre und Anfang der 80er Jahre wurde in den kapitalistischen Industrieländern vor allem in bestimmten Industriezweigen – z.B. der Automobilindustrie – das Tempo des Robotereinsatzes beschleunigt. Im Jahre 1983 waren in Japan rund 100 000 Industrieroboter – von zahlreichen einfachen Handhabegeräten bis zu mehreren tausend prozeßflexiblen freiprogrammierbaren – in Betrieb. Etwa jeder zweite der in kapitalistischen Industrieländern eingesetzten Industrieroboter steht in einer japanischen Fabrik. Ein Viertel der Industrieroboter befindet sich in den USA und rund ein weiteres Viertel in Westeuropa, wovon die BRD einen Anteil von etwa 9 Prozent, Schweden von 6,5 Prozent und Großbritannien sowie Italien von je 2 Prozent haben.

Obwohl in den kapitalistischen Industrieländern für die Volkswirtschaften entweder überhaupt kein Wachstum oder nur relativ geringe Wachstumsraten festzustellen sind, betragen die jährlichen Zuwachsraten auf dem zukunftssträchtigen Gebiet der Industrierobotertechnik international zwischen 20 und 50 Prozent. In Japan sind das jährlich etwa 22 000 bis 25 000 neue Industrieroboter. Wertmäßig betrachtet stieg die japanische Roboterproduktion innerhalb von 2 Jahren um fast das 2,5fache. Für die zweite Hälfte der 80er Jahre liegen die Zuwachsraten auf dem Gebiet der Industrierobotertechnik in den kapitalistischen Industriestaaten schätzungsweise jährlich bei 20 bis 30 Prozent und damit wesentlich höher als die Zuwachsraten bei numerisch gesteuerten Maschinen.

Die Fiat-Automobilwerke in Italien betreiben mit Robotern ausgestattete bedienungs- und überwachungsarme Produktionsabteilungen zur Herstellung von Rohkarosserien. Mit diesem Fertigungssystem werden von 10 Arbeitskräften zum Spannen der Karosserieteile, 10 Instandhaltungsmechanikern und 5 Ingenieuren zur technisch-technologischen Überwachung des Systems täglich 1 600 Rohkarosserien gefertigt. Vorher waren für diesen Produktionsausstoß 160 Arbeitskräfte notwendig. Dieser Automobilkonzern beabsichtigt, bis Ende der 80er Jahre

etwa 90 Prozent der Fließbandarbeiter durch Industrieroboter zu ersetzen.

Japan nimmt nicht nur hinsichtlich der Anzahl der in Betrieb befindlichen Industrieroboter, sondern ebenso bezüglich der Vielfalt der Anwendungsbereiche eine Spitzenstellung ein. Über 150 verschiedene Typen von Robotern werden in Japan produziert. Wie auch in anderen Ländern ist ebenfalls in Japan die Automobilindustrie derjenige Zweig, in dem die meisten Industrieroboter eingesetzt werden, und zwar rund ein Drittel der insgesamt vorhandenen Roboter. Nach der Automobilindustrie folgt hier mit einem Viertel des Gesamtbestandes an Robotern die Elektroindustrie. Viele prozeßspezifische Roboter werden in der plastverarbeitenden Industrie verwendet.

In der japanischen Industrie sind etwa ein Sechstel der verwendeten Roboter mit dem Beschicken und Entladen von Werkzeugmaschinen, Pressen und ähnlichen Einrichtungen, also mit der Handhabung von Werkstücken betraut. Zahlreiche Industrieroboter dienen der mechanischen Handhabung von Werkzeugen. Wiederum etwa ein Sechstel der eingesetzten Roboter sind mikroprozessorgesteuerte Montageroboter zum Zusammenfügen von Einzelteilen zu Halb- oder Fertigfabrikaten. Danach folgen zahlenmäßig die Schweiß- und Lackierroboter sowie Roboter für spezielle technologische Prozesse.

International wurde eingeschätzt, daß die Leistungsfähigkeit der japanischen Roboterproduzenten vor allem darin zum Ausdruck kommt, daß sie auf breiter Front Verbesserungen in der Industrierobotertechnik vorgenommen bzw. eingeführt haben. Es handelt sich hierbei insbesondere um

- Erhöhung der Präzision der Bewegungsabläufe
- Vereinfachung der Steuerungen
- Steigerung der zu hebenden Nutzlast
- Verbesserungen an einzelnen Bauelementen der Industrieroboter
- Verlängerung der Fristen zwischen den Wartungsarbeiten
- Senkung der Kosten
- Schaffung von Voraussetzungen, um ganze Roboterlinien untereinander koordinieren zu können.

Durch diese Maßnahmen gelang es der japanischen Roboterindustrie, sich international eine gewisse Vorrangstellung in bezug auf die Effektivität und die Preise der Industrieroboter zu erobern. Inzwischen sind die japanischen Konzerne auch auf dem Gebiet der Industrierobotertechnik zu einer gewaltigen Exportoffensive übergegangen – eine Tatsache, die von ihren Konkurrenten in den USA und in Westeuropa mit Unbehagen registriert wurde.

Anfang der 80er Jahre gab es in Japan bereits etwa 50 flexible Fertigungsabteilungen, sogenannte Werksabteilungen ohne Arbeiter. Hierbei handelt es sich u. a. um komplette Fertigungsanlagen, die Rohbauteile zu Fertigprodukten verarbeiten.

Mitte 1982 nahm bei FUJITSU FANUC ein komplex automatisierter Betrieb die Produktion von monatlich 10 000 Gleichstrommotoren und 3 000 Wechselstromhauptantrieben in großer Typenvielfalt auf. Sie werden von der Bearbeitung der Teile bis zur Montage in Fertigungs- und Montagesystemen ohne Bedienkräfte hergestellt. In einem anderen japanischen Betrieb findet die automatische Produktion von Rahmen für Nähmaschinen statt, wobei nur noch 8 Prozent der vor der Automatisierung eingesetzten Arbeitskräfte erforderlich sind. In einer weiteren Produktionsstätte für superfeste Legierungen konnte durch Automatisierung eine Arbeitsproduktivitätssteigerung auf das Fünffache erreicht werden.

Nach einer Schätzung aus Japan sollen auf diese Weise bei umfassendem Einsatz von Industrierobotern der zweiten und der dritten Generation zwei Drittel bis drei Viertel der Arbeitsplätze der gegenwärtigen Produktionsarbeiter eingespart werden.

Die herrschenden Kreise in Japan sind der Auffassung, daß ihr Vorsprung, den sie beim Einsatz der Robotertechnik und auf einigen anderen wissenschaftlich-technischen Gebieten gegenüber den USA und den westeuropäischen kapitalistischen Industrieländern erreicht haben, vor allem auf die Motivation vieler Werkstätiger zurückzuführen ist. Unter Ausnutzung historischer Traditionen sei es ihnen gelungen, bei vielen Werkträgern, insbesondere bei der technischen Intelligenz, die Bereitschaft zu erzeu-

gen, kompromißlos um internationale Spitzenpositionen zu kämpfen und die Konkurrenz zu schlagen. Diese aus kapitalistischer Sicht durchaus bemerkenswerte Einschätzung negiert jedoch die Tatsache, daß auch diese Motivation immer stärker in Widerspruch zu den negativen Ergebnissen und Folgen der wissenschaftlich-technischen Revolution unter kapitalistischen Produktionsverhältnissen gerät.

Die kapitalistischen Konzerne sehen einen wichtigen Vorteil beim Einsatz von Industrierobotern in ihrem Beitrag zur Gewährleistung einer verhältnismäßig großen Flexibilität bei der Gestaltung ihrer Erzeugnispalette. Kurze Reaktionszeiten auf veränderte Marktsituationen sollen gewährleistet werden, um sich im unerbittlichen kapitalistischen Konkurrenzkampf zu behaupten.

Roboter als »Jobkiller«?

Zu wessen Nutzen werden Industrieroboter eingesetzt, welches Ziel wird damit verfolgt? Bei der Beantwortung dieser Frage unter dem Gesichtspunkt kapitalistischer Produktionsverhältnisse wird der Zusammenhang von wissenschaftlich-technischem und sozialem Fortschritt deutlich als ein Teilgebiet des Klassenkampfes sichtbar.

Der Einsatz von Industrierobotern, der in kapitalistischen Ländern oft der Anlaß für die Entlassung von Arbeitern ist, bringt es mit sich, daß die Roboter als »Jobkiller« bezeichnet werden. Sie erscheinen vielen Arbeitern als die Ursache für den Verlust ihrer Existenzgrundlagen. Von diesem Erscheinungsbild ausgehend, wird in westlichen Massenmedien über die Roboter als »Jobkiller« gesprochen und geschrieben. Mit einem Blick auf das Arbeitslosenheer »verteufelt« man sie, indem von der »Furie Technik« oder dem »Risiko des technischen Fortschritts« gesprochen wird. Die soziale Misere vieler Millionen Werktätiger wird dem wissenschaftlich-technischen Fortschritt angelastet, als ginge es um einen Tribut, den die Menschen ihm bzw. den Industrierobotern schuldig wären. Man deutet die Verschärfung der ökonomischen und sozialen Widersprüche in den kapitalistischen

Industrielländern in angeblich objektive, technisch oder technologisch bedingte »Sachzwänge« um, die mit dem wissenschaftlich-technischen Fortschritt verbunden seien. Damit wird der Industrierobotertechnik bzw. dem wissenschaftlich-technischen Fortschritt eine Eigenständigkeit zugeschrieben, die gar nicht vorhanden ist. Die tatsächlichen gesellschaftlichen Ursachen der negativen sozialen Auswirkungen im Kapitalismus werden verhüllt und verschwiegen.

Industrieroboter sind nur eines der Elemente der kapitalistischen Rationalisierung. Auf der Grundlage des wissenschaftlich-technischen Fortschritts ist sie darüber hinaus gekennzeichnet durch die Anwendung der Mikroelektronik, elektronischer Meß-, Steuerungs- und Regelungstechnik, informationsverarbeitender Technologien, von Automaten und Maschinensystemen, die mit Mikrorechnern oder anderen Computern ausgerüstet sind. Mit Hilfe dieser Ergebnisse der wissenschaftlich-technischen Revolution, ihrer Nutzung in der Produktion wird die menschliche Arbeit produktiver. Allerdings beeinflussen – wie alle Errungenschaften des wissenschaftlich-technischen Fortschritts – auch Industrierobotertechnik, Mikroelektronik usw. die soziale Entwicklung immer über die Produktionsverhältnisse; die sozialen Auswirkungen dieser wissenschaftlich-technischen Richtungen hängen von den herrschenden Macht- und Eigentumsverhältnissen ab. Dabei ist unter kapitalistischen Produktionsbedingungen nach zwei Seiten zu differenzieren.

Erstens: Unter den gesellschaftlichen Bedingungen des Privateigentums an den Produktionsmitteln und der privatkapitalistischen Aneignung der Resultate der Produktion kommt der Effekt dieser Produktivitätssteigerung nicht der Masse der Werktätigen, sondern zum überwiegenden Teil den Besitzern der Produktionsmittel, insbesondere den Monopolen, zugute. Sie nutzen die höhere Arbeitsproduktivität nicht nur zur Erreichung vorteilhafter Positionen im nationalen und internationalen Konkurrenzkampf, sondern um einen immer höheren Extraprofit einzustreichen. Die Anwendung neuer wissenschaftlich-technischer Errungenschaften wird im Imperialismus, entsprechend den ihm immanenten Gesetzmäßig-

keiten, solchen Zielen untergeordnet wie der Sicherung des Maximalprofits und der Gewinnung bzw. Erweiterung ökonomischer sowie politischer Einflusssphären. Die Prioritäten und Maßstäbe für die Anwendung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts werden von den Interessen der herrschenden Klasse, hier der Kapitalisten, bestimmt.

Zweitens: Gleichzeitig verwandeln sich damit die neuen produktiven Kräfte in destruktive. Die großartigen Möglichkeiten des wissenschaftlich-technischen Fortschritts werden zu Mitteln, um den Ausbeutungsgrad zu erhöhen und das Arbeitsvermögen von Menschen zu entwerten. So dienen auch die unter kapitalistischen Bedingungen angewandten Industrieroboter – wie alle Arbeitsmittel – als Instrumente zur weiteren Erhöhung der Ausbeutung der Werktätigen. Unter gesellschaftlichen Verhältnissen, für die Arbeitslosigkeit typisch ist, trägt die Industrierobotertechnik dazu bei, die Arbeitslosigkeit zu vergrößern.

Die Ursachen für Ausbeutung und Arbeitslosigkeit sind nicht die Industrieroboter, sondern sie liegen im kapitalistischen System selbst. Die zwangsläufige Unterordnung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts unter das Privateigentum an Produktionsmitteln, unter die prinzipielle ökonomische Zielstellung der kapitalistischen Gesellschaftsordnung, aus dem gesellschaftlich erzeugten Mehrprodukt durch privatkapitalistische Aneignung maximalen Profit herauszuschlagen, bestimmt auch die sozialen Auswirkungen des Einsatzes der Industrierobotertechnik. Unter kapitalistischen Produktionsverhältnissen führt die Rationalisierung mit Hilfe der Industrierobotertechnik und anderer Ergebnisse des wissenschaftlich-technischen Fortschritts zur Vergeudung gewaltiger gesellschaftlicher Ressourcen, zur Entlassung von Arbeitern mit all ihren weitreichenden negativen sozialen Folgen für die Betroffenen, zur sozialen Unsicherheit von Millionen.

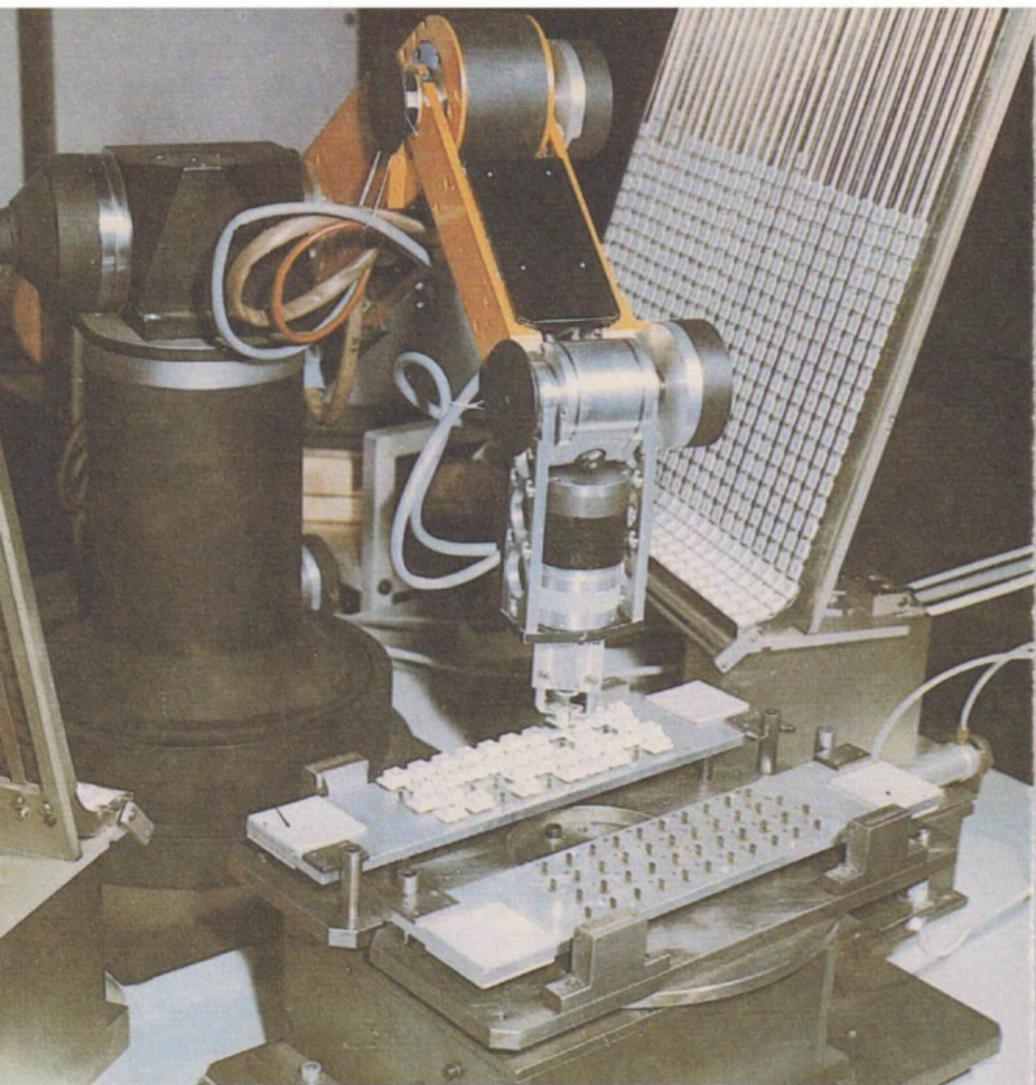
Das kapitalistische Wirtschaftssystem ist unfähig, die ihm immanenten Widersprüche zu beseitigen und die sich daraus ergebenden sozialen Probleme zu lösen. Im Gegenteil: Die zunehmende Massenarbeitslosigkeit und

die Angst um den Arbeitsplatz werden ausgenutzt, um aus den Arbeitern noch höhere Leistungen herauszupressen. Die Arbeitsintensität, die Arbeitshetze werden gesteigert. Jene Werktätigen, die nicht Schritt halten können, wie ältere, kranke oder behinderte Arbeiter, werden als sogenannte Leistungsgeminderte »ausgesondert«. Die gewaltigen Potenzen der Industrierobotertechnik, überhaupt des wissenschaftlich-technischen Fortschritts für den ökonomischen und sozialen Fortschritt werden in ihr Gegenteil, in einen Rückschritt für die Werktätigen, umgewandelt.

Prognosen besagen, daß mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit die Anzahl der von der kapitalistischen Rationalisierung Betroffenen, die Zahl der Arbeitslosen und Kurzarbeiter in den kommenden Jahren in den Ländern des Kapitals nicht zurückgehen werden. In einer für die 80er Jahre in der BRD im Auftrage des Bundesministeriums für Forschung und Technologie ausgearbeiteten Prognose wurde festgestellt, daß infolge der Nutzung der Mikroelektronik und der Industrierobotertechnik allein mindestens 2,4 Millionen Arbeitsplätze verschwinden, ohne daß an anderen Stellen neue geschaffen werden.

Das, was man einerseits an menschlicher Arbeitskraft mit Hilfe der Industrierobotertechnik einspart, wird andererseits durch Arbeitslosigkeit, Kurzarbeit und andere negative soziale Auswirkungen zum Schaden von Millionen Menschen wieder vergeudet. Dabei steht fest: Der Industrieroboter ist kein »Jobkiller«, kein Konkurrent des Menschen, der ihm seine Arbeit, seine Existenzgrundlage wegnimmt. Er ist ein Helfer des Menschen, der ihm seine Arbeit erleichtert, sie produktiver werden läßt. »Jobkiller«, das sind die bestehenden kapitalistischen Produktionsverhältnisse.

Was hat der wissenschaftlich-technische Fortschritt für einen Sinn, wenn nicht zugleich sozialer Fortschritt mit ihm einhergeht? Auch wenn bei der Einführung der Industrierobotertechnik und bei der Automatisierung ganzer Produktionsabschnitte in kapitalistischen Betrieben bedeutende wissenschaftlich-technische Leistungen vollbracht werden, die von großer technischer und ökonomi-



*Freiprogrammierbarer Gelenkroboter PHM 4 des VEB Kombinat
ROBOTRON*

scher Potenz zeugen, so geht gesellschaftlich aus ihnen immer wieder nur dasselbe hervor: die Impotenz des Imperialismus, die mit dem wissenschaftlich-technischen Fortschritt verknüpften sozialen Probleme zu lösen, die dem Kapitalismus immanenten Widersprüche zu überwinden. Die kapitalistische Produktionsweise ist für sol-

che Produktivkräfte wie die Industrierobotertechnik, die Mikroelektronik u. ä. zu eng geworden, und gerade daran wird deutlich sichtbar, daß sie durch eine neue, die sozialistische Produktionsweise ersetzt werden muß. Immer offensichtlicher wurde das, seit der Sozialismus das imperialistische Monopol auf dem Gebiet von Wissenschaft und Technik gebrochen hat.

In den sozialistischen Staaten gewährleisten die politische Macht der Arbeiter und Bauern sowie das gesellschaftliche Eigentum an den Produktionsmitteln, daß die Industrierobotertechnik ausschließlich im Interesse der Werktätigen genutzt wird. Nur unter sozialistischen Produktionsverhältnissen wird die dauerhafte Übereinstimmung zwischen den Erfordernissen und Ergebnissen des wissenschaftlich-technischen Fortschritts und den Lebensinteressen der Werktätigen gesichert. Entsprechend dem ökonomischen Grundgesetz des Sozialismus wird die Industrierobotertechnik, werden alle Errungenschaften des wissenschaftlich-technischen Fortschritts zur immer besseren Befriedigung der materiellen und geistig-kulturellen Bedürfnisse, zur allseitigen Entwicklung der Mitglieder der sozialistischen Gesellschaft eingesetzt.

Der Kampf um die ökonomische und soziale Nutzung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts, der mehr und mehr zum ausschlaggebenden Feld des Wettstreits zwischen dem Sozialismus und dem Imperialismus geworden ist, wird zugunsten jener Gesellschaftsordnung ausgehen, in der die Produktivkräfte nicht im Widerspruch zu den Produktionsverhältnissen und den Lebensbedürfnissen der Menschen stehen, in der der wissenschaftlich-technische Fortschritt zugleich dem sozialen und kulturellen Fortschritt der Menschen dient.

Entwicklungstendenzen

Da die Entwicklung, Herstellung sowie der Einsatz von Industrierobotern rasch und dynamisch fortschreiten, ist es kompliziert, aus internationalen bzw. nationalen Forschungsergebnissen und Erfahrungen Verallgemeinerungen für die Zukunft abzuleiten. Die Dynamik dieser Prozesse kann – wie die Vergangenheit bestätigte – schnell dazu führen, daß heute als richtig erkannte Tendenzen morgen schon realisiert sind oder als überholt angesehen werden müssen. Trotzdem soll hier versucht werden, einige für die künftige Entwicklung, die Herstellung und den Einsatz von Industrierobotertechnik sich abzeichnende Tendenzen zusammenzufassen. Um die Übersicht zu erleichtern, unterscheiden wir zwischen grundsätzlichen, die gesamte Entwicklung der Produktionsmaschinerie und damit die Produktivkräfte beeinflussenden Tendenzen und solchen, die vorwiegend technisch-technologische Aspekte der Gestaltung und Herstellung oder des Einsatzes der Industrieroboter betreffen.

Einige grundsätzliche mit der Industrierobotertechnik verbundene Entwicklungstendenzen

Die Industrierobotertechnik wird mit der immer breiteren Verwendung mikroelektronischer Funktionseinheiten zu einem Teil jener Mittel und Verfahren einer neuen Produktionstechnik und -maschinerie, die zu *qualitativen Veränderungen innerhalb der Produktivkräfte* führen werden. Die Industrieroboter sind und bleiben dabei materiell-stoffliches Element der Produktivkräfte und der Mensch die Hauptproduktivkraft.

Diese neue Produktionstechnik wird ebenso durch eine strenge Ordnung im Werkstück- und Werkzeugfluß wie durch Programmierbarkeit der Maschinen und Industrieroboter gekennzeichnet sein. Die Basiseinheiten dieser Produktionstechnik sind Fertigungs- und Montagezellen. Sie sind mit Industrierobotern, Werkstückspeichern, Lade- und Entladegeräten sowie den entsprechenden numerischen Bearbeitungsmaschinen und Verkettungseinrichtungen ausgerüstet, lassen sich vorteilhaft an variable Produktionsstrukturen anpassen und dienen zum Aufbau flexibler automatisierter Fertigungs- und Montagesysteme, die den vollautomatischen, teilweise auch unbeaufsichtigten Betrieb in mehreren Schichten ermöglichen. Diese flexiblen Fertigungs- und Montagesysteme werden ihrerseits Bestandteile einer bedienarmen Gesamtproduktion, also flexibel automatisierter Produktionsstätten und damit der automatisierten Fabrik sein.

Als Folge dieser Entwicklung treten die bereits erwähnten, unter kapitalistischen und sozialistischen Produktionsverhältnissen diametral entgegengesetzten ökonomischen und sozialen Auswirkungen ein.

Auf dem Wege zur automatisierten Fabrik werden die Breite und die Flexibilität bei der Anwendung der Industrierobotertechnik – im Zuge der flexiblen Automatisierung in Verbindung mit numerischen Werkzeugmaschinen sowie anderen rechnergesteuerten Bearbeitungsmaschinen bei konzentriertem Einsatz von Industrierobotern als Kern komplexer Rationalisierungslösungen – unter Einbeziehung der Produktionshilfsprozesse zunehmen. Zur Automatisierung ganzer technologischer Komplexe wird eine breitere Palette von Industrierobotern als gegenwärtig zur Anwendung kommen, angefangen von einfachen prozeßgebundenen Robotern, die zur Ausführung nur einiger weniger Funktionen bestimmt sind, über komplizierte prozeßspezifische Roboter bis hin zu »lernenden« und den Ablauf bestimmter eigener Funktionen optimierenden prozeßflexiblen Robotern für schwierige Fertigungs- oder Montageprozesse und Universalrobotern. Der Anteil der flexiblen Roboter wird sich vor allem von der zweiten Hälfte der 80er Jahre an schnell erhöhen. Die Industrieroboter werden immer mehr zu einem der

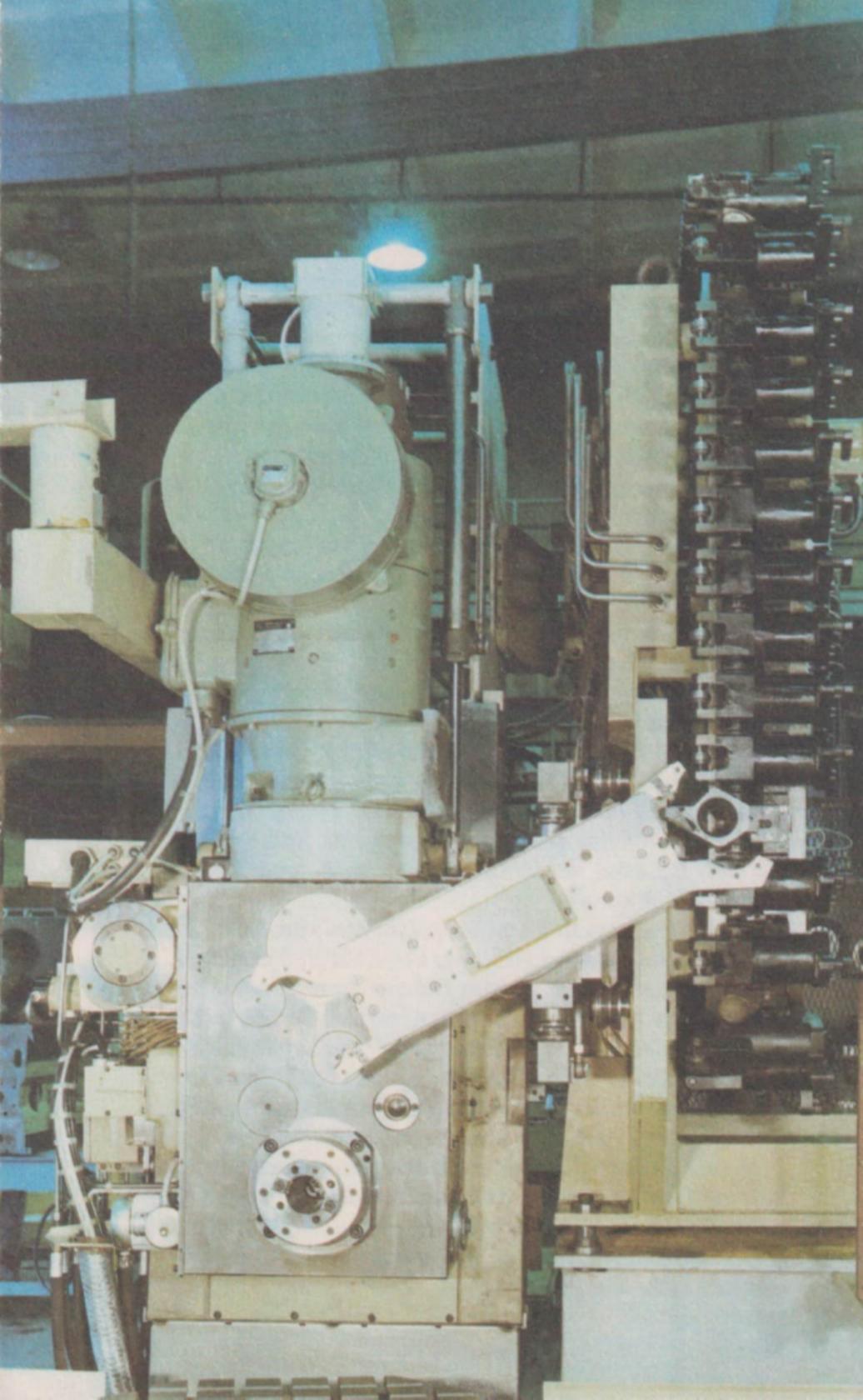
Faktoren, die das künftige Effektivitätsniveau der Produktion bestimmen.

Die Suche nach einfachen, zuverlässigen und preiswerten Roboterkonstruktionen steht bei gleichzeitiger Verbesserung des Preis-Leistungs-Verhältnisses sowie zahlreicher Leistungsparameter im Vordergrund. Der Trend zur Serienproduktion der Roboter wird sich als Tendenz zur Verminderung der Herstellungskosten auswirken. Jedoch wird auch in den nächsten Jahren ein gewisser Anteil des Eigenbaus von Industrierobotern sowie der erforderlichen Peripherie durch die Anwender unter Nutzung zentral gefertigter Baugruppen typisch sein, wobei insgesamt die Typisierung von Industrierobotern und die Standardisierung von Baugruppen sowie -elementen fortschreiten werden.

Die im Rahmen der flexiblen Automatisierung gemeinsam mit den Industrierobotern eingesetzten numerischen und rechnergekoppelten Werkzeugmaschinen neuer Qualität entsprechen für die gesamte Verfahrensbreite der spanenden, umformenden und abtragenden Metallbearbeitung höchsten Anforderungen an die Automatisierung. Sie führen zu sinkendem Arbeitszeitaufwand, Material- und Energieeinsatz und ermöglichen den flexiblen Einsatz, hohe Produktivität und Zuverlässigkeit sowie die bedienungs- und überwachungsarme Fertigung. Werkzeug- und andere Maschinen sind serienmäßig mit Automatisierungsbaugruppen für die Werkstückhandhabung (maschinenintegrierte Roboter) zur Sicherung des automatischen Werkstückdurchlaufs auszurüsten.

Die Verfügbarkeit einer technologischen Einheit wie einer Fertigungs- oder Montagezelle ergibt sich aus der Verfügbarkeit der einzelnen Teilsysteme, die u. a. von der Fehlererkennungszeit abhängt. Um eine hohe Verfügbarkeit des Gesamtsystems zu gewährleisten, widmet man der Verminderung der Störanfälligkeit und der Erhöhung

Für den automatischen Werkzeugwechsel steht bei diesem Bearbeitungszentrum ein Werkzeugspeicher für 20 Werkzeuge oder 40 Werkzeuge in Sonderausführung zur Verfügung. Der Werkzeugwechsel dauert 6 Sekunden.



der Zuverlässigkeit der Industrieroboter, Maschinen und peripheren Einrichtungen große Aufmerksamkeit. Immer häufiger wendet man automatische Diagnoseeinrichtungen – vor allem zur Selbstdiagnostizierung von Störungen am Roboter bzw. in der Fertigungs- und Montagezelle – an. Dadurch und mit Hilfe anderer Maßnahmen wird die permanente Überwachung des Werkzeugzustandes, der Werkstückzu- und abführungen sowie des gesamten Maschinenzustandes gesichert.

Industrieroboter werden in zunehmendem Maße auch für Gebiete, die bisher dieser Technik nur eingeschränkt oder noch gar nicht zugänglich waren, verwendet, wie

- für Prüfprozesse und Qualitätskontrollen
- für Reinigungsarbeiten, u. a. an Fenstern und Wänden hoher Gebäude
- zur Wartung und für Reparaturen vor allem an den technischen Anlagen, die für den Menschen gefährliche Strahlen, Hitze, Gase usw. abgeben
- zum Schweißen bzw. für geologische Arbeiten unter Wasser bis 300 m Tiefe
- als Sekretariatsroboter für Routineschreib- und Rechenarbeiten
- im Gesundheitswesen zum Anheben von Patienten u. ä.
- für die Landwirtschaft, z. B. als Roboter, die mit einem Pflug gerade Furchen ziehen, oder zum Sortieren von Tabak, Obst, Gemüse usw., zum Rupfen von Geflügel, Scheren von Schafen sowie für andere land- und forstwirtschaftliche Prozesse.

Die gemeinsamen Forschungsarbeiten von RGW-Ländern auf zwei- und mehrseitiger Grundlage, deren Spezialisierung, die Produktion von Industrierobotern sowie der Handel mit ihnen zwischen den sozialistischen Staaten werden zunehmen. Der Lizenzaustausch für Industrieroboter und deren Baugruppen wird sich verstärken. Die rasche zeit- sowie kostensparende Eigenfertigung bewährter Robotertypen wird auf diese Weise ermöglicht.

In den nächsten Jahrzehnten ersetzen roboterbestückte automatisch betriebene technische Systeme einen erheblichen Teil der gegenwärtig charakteristischen Tätigkeiten von Produktionsarbeitern. Im Verlaufe dieses Prozesses werden sich die spezifischen ideologischen, ökonomi-

schen, organisatorischen und sozialen Aufgaben – insbesondere auch im Hinblick auf die Wiedereingliederung der freigesetzten Arbeitskräfte in andere Prozesse – vervielfachen.

Vorwiegend technisch-technologische Entwicklungstendenzen der Gestaltung, Herstellung und des Einsatzes von Industrierobotern

Die Baukastensysteme zum Aufbau bestimmter Typen von Industrierobotern und peripherer Einrichtungen werden bei gleichzeitiger weitgehender Vereinheitlichung komplettiert bzw. neu entwickelt. Das Ziel ist dabei, für den jeweiligen Einsatzfall die technisch-ökonomisch günstigste Lösungsvariante mit Hilfe verschiedener mechanischer und steuerungstechnischer Baugruppen zu erarbeiten sowie im Sinne einer einsatzorientierten Konstruktion die bestmögliche Anpassung der Industrieroboter an die technologische Aufgabe, an das jeweilige Fertigungskonzept zu erreichen. Das geschieht auch durch die Entwicklung einiger relativ roboterunabhängiger Baugruppen, wie Montageköpfe oder Greifer bei gleichzeitiger Einbeziehung der Greifermechanismen.

Der Bewegungsapparat der Industrieroboter wird tiefer wissenschaftlich-technisch durchdrungen, wodurch optimale konstruktive Lösungen herbeigeführt und z. B. die Reibungsverluste verringert sowie energie günstige Anlauf- und Bremsphasen gestaltet, aber auch Verbesserungen der Gelenkbauweise u. a. angestrebt werden. Der Freiheitsgrad und die Spannweite der kinematisch optimal gestalteten Bewegungsabläufe und damit der Zugriffsbereich des Industrieroboters nehmen zu. Die Roboter werden insgesamt beweglicher und schneller, wozu die Vervollkommnung der Fahr- und Schreiteinheiten ebenfalls beitragen wird. Roboter der Zukunft sind auch durch höhere Belastbarkeit, größere Präzision ihrer Bewegungsabläufe und die Verbesserung der Positioniergenauigkeit gekennzeichnet.

Elektronische Logikbausteine und elektrische Antriebe werden bei gleichzeitiger Beibehaltung bestimmter hy-

draulischer und pneumatischer Funktionseinheiten für spezielle Aufgaben bevorzugt verwendet. Mikroprozessoren, Mikrorechner und andere mikroelektronische Funktionseinheiten bleiben für Industrieroboter typisch.

Es werden zahlreiche Sensoren und Sensorsysteme genutzt, u. a. auch videooptische, Infrarot- und Lasersensoren, wobei der Einsatz wirtschaftlicher sowie zuverlässiger taktiler und visueller Sensorsysteme zur Werkstück- und Positionserkennung insbesondere im Hinblick auf die Lösung von damit zusammenhängenden Steuerungs- und Regelungsaufgaben durch die Mikroprozessortechnik wesentlich begünstigt wird. Ebenso werden die sich bietenden Möglichkeiten der Faseroptik, von Informationsübertragungseinrichtungen auf der Grundlage der Lichtleitertechnik und von Objekterkennungssystemen zur automatischen Bildverarbeitung bei hoher Bildauflösung, hoher Datenerfassungs- und Auswertegeschwindigkeit genutzt.

Die Robotersteuerungen werden bei gleichzeitigem Einsatz von Sensorsystemen so komplettiert, daß sie leistungsfähiger sind, über größere Speicherkapazitäten verfügen und ein schnelles Umprogrammieren zur Bearbeitung kleiner Losgrößen und somit ein kostengünstiges Anpassen an die jeweilige Arbeitsaufgabe ermöglichen. Effektive Programmier- und Dialogsysteme »Mensch-Industrieroboter« einschließlich adaptiver Steuerungssysteme für Industrieroboter werden entwickelt.

Im Interesse der weiteren Senkung der Bearbeitungszeiten und der Erhöhung der Effektivität der eingesetzten Maschinen muß die Gestaltung der Industrieroboter automatische Meßoperationen, die automatische Überwachung der Bearbeitungsprozesse, Maschinen und Industrieroboter und deren schnelleres Umrüsten gestatten. Ein hohes Serviceniveau ist dazu erforderlich.

Bei der Entwicklung von modernen Werkzeugmaschinen und Industrierobotern sowie deren Kombination erlangen die Umweltbeeinflussung und die Anpassung der Arbeitsbedingungen an den Menschen eine immer größere Bedeutung. Geräuscharmheit und mehr Sauberkeit durch gekapselte Ausführung, Erhöhung der Arbeitssicherheit (u. a. durch elektronische Schutzsysteme) und ergonomische Arbeitsplatzgestaltung sind Bestandteile der

Konzeptionen für Maschinen und Roboter. Das MasseLeistungs-Verhältnis wird verbessert und die Arbeitgeschwindigkeit erhöht.

Zur weiteren Steigerung der Leistungsfähigkeit flexibel automatisierter industrieller Prozesse werden in der Fertigung Operationen (z. B. Heften, Schweißen, Transportieren und Lagern) zusammengefaßt. Es wird angestrebt, mehrere Werkzeuge an einem Roboter zur gleichen Zeit zu nutzen.

Der Einsatz flexibler Montagesysteme nimmt zu. Hierbei werden einerseits hochflexible, für ein breites Aufgabenfeld nutzbare Konzeptionen mit freiprogrammierbaren Steuerungen und andererseits einfache Systeme, die hinsichtlich Kinematik und Steuerung nach dem Baukastenprinzip an die jeweilige Aufgabe anpaßbar sind, verwendet. Für extrem hohe Genauigkeiten bei der Bearbeitung kleinster Teile (z. B. zur Uhrenmontage) stellt man Kleinstroboter her. Die zu montierenden Erzeugnisteile und -baugruppen müssen handhabegerecht für Industrieroboter konstruiert sein.

Die Realisierung komplexer technologischer Systemlösungen unter Industrierobotereinsatz im Zuge der Durchsetzung der flexiblen Automatisierung und zur zunehmend bedienungsarmen sowie zeitweise bedienungsfreien Produktion führt dazu, die Durchlaufzeiten der Werkstücke erheblich zu vermindern, die technologische Disziplin und die Kontinuität der Produktionsdurchführung, die Arbeitsproduktivität, die Auslastung der Grundfonds, die Energie- und Materialökonomie sowie die Erzeugnisqualität zu erhöhen.

Zur Auswahl technischer Lösungen und zur technisch-ökonomischen Bewertung alternativer Robotersysteme werden Entscheidungshilfen geschaffen. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit zur Beschleunigung des Industrierobotereinsatzes wird sich verstärken.

Die Software erfordert künftig höhere Arbeitszeit- und Kostenanteile bei der Einsatzvorbereitung, der Pflege und Weiterentwicklung. Die Unterprogrammtechnik wird erweitert und die Programmdauer beim Einsatz von Industrierobotern für spezielle technologische Prozesse verlängert. Die rationellere Gestaltung, Anfertigung und

weitgehende Nachnutzung der Software, die Schaffung von Erleichterungen für das Programmieren (u. a. durch das Lösen von Problemen der Programmiersprachen) vermehren die ökonomischen Vorteile auf diesem Gebiet. Algorithmen, Dateien sowie zentrale Datenbanken und ähnliche Einrichtungen sind zur weiteren Rationalisierung des Industrierobotereinsatzes und zur Vermeidung von Doppelarbeiten stärker zu nutzen.

Es sind vielseitig einsetzbare periphere Einrichtungen, z. B. vereinheitlichte programmierbare Be- und Entlade-, Transport- sowie Orientierungseinrichtungen für automatisierte Bearbeitungsstellen, andere Anlagen für die Automatisierung der Meß- und Prüfvorgänge, der Speicher- und Lagerprozesse und teilweise für Lösungen zur Mehrmaschinenbedienung bereitzustellen.

Nicht alle Entwicklungstendenzen konnten hier aufgeführt werden. Die erwähnten deuten aber schon auf umfangreiche qualitative Veränderungen in der industriellen Produktion hin, deren Mittelpunkt die Industrierobotertechnik im Zusammenhang mit der weiteren Automatisierung industrieller Prozesse sein wird.

¹ XXVI. Parteitag der KPdSU. Rechenschaftsbericht des Zentralkomitees der Kommunistischen Partei der Sowjetunion und die nächsten Aufgaben der Partei in der Innen- und Außenpolitik. Berichterstatter: L. I. Breschnjew. Berlin 1981, S. 60

Geht ein Traum des Menschen in Erfüllung?

Es ist ein alter Traum des Menschen, etwas in Bewegung zu setzen, ohne dabei selbst Kraft anwenden zu müssen. Dieser Traum des Menschen, technische Einrichtungen zu schaffen, Maschinen zu konstruieren und zu bauen, die selbsttätig arbeiten, um auf diese Weise über »Heinzelmännchen« zu verfügen, die für ihn arbeiten oder zumindest ihm bei der Arbeit helfen, geht mit der Industrierobotertechnik durch die eigene Schöpferkraft des Menschen teilweise in Erfüllung.

In den nächsten Jahrzehnten werden die Roboter weiter verbessert und vervollkommnet werden. Sie werden vielseitiger und noch effektiver eingesetzt. Die Arbeitsproduktivität wird in beträchtlichem Maße gesteigert. Damit wird ein noch größerer Nutzen für unsere sozialistische Gesellschaft und für jeden einzelnen von uns entstehen. Auch auf diese Weise wird die Industrierobotertechnik beitragen zu dem großen Schritt, den wir zur Verbindung der Vorzüge des Sozialismus mit den Errungenschaften der wissenschaftlich-technischen Revolution gehen, ja immer schneller gehen müssen.

Wenn wir in diesem Bändchen an einigen Stellen versuchten, ein oder zwei Jahrzehnte vorzuschauen, dann auch deshalb, weil gerade in diesen Jahren der Grundstein für jene volkswirtschaftliche Struktur gelegt wird, mit der unser Land, mit der die Staaten der sozialistischen Gemeinschaft in das 21. Jahrhundert treten werden. Sie wird »avantgardistisch den Fortschritt, die Integration von Wissenschaft und Produktion sowie das unerschütterliche Bündnis des schöpferischen Geistes und der schöpferischen Arbeit verkörpern«.¹

Beim Übergang ins neue Jahrtausend erlangt die durch menschliche Arbeit geschaffene materiell-technische Basis der Gesellschaft als Ressource wirtschaftlichen Wachstums nicht zuletzt deshalb immer größere Bedeutung, weil sie die beiden ursprünglichen Ressourcen für das wirtschaftliche Wachstum, die Arbeit und die Natur, miteinander verbindet. Diese beiden Quellen materiellen Reichtums unterliegen relativ engen Begrenzungen. Reserven bzw. Zuwachs an Arbeitskräften sind kaum vorhanden. In den 90er Jahren wird die Zahl der arbeitsfähigen Bevölkerung der DDR sogar zeitweilig abnehmen. Die Erschließung von Naturressourcen wird komplizierter und damit immer kostspieliger. Der Beschaffungsaufwand für Rohstoffe und Energie ist in den letzten 10 bis 15 Jahren beträchtlich gestiegen. Bei den Importen drückte sich das besonders in den erhöhten Preisen aus. Aber auch die im Land selbst gewonnenen Rohstoffe und Energieträger verursachen oft einen erheblich höheren Aufwand. So muß z. B. in den Braunkohlentagebauen der DDR für jede zu fördernde Tonne Rohbraunkohle eine immer größere Menge Abraum abtransportiert werden. Das führt zwangsläufig zum Anstieg der Kosten für die Kohle. Unter diesen Bedingungen muß das stabile Wachstum der Volkswirtschaft der DDR besonders auch über die Nutzung der Ergiebigkeit der erwähnten dritten Ressourcenart, der materiell-technischen Basis, sowie deren zielgerichteter Vervollkommnung und Erweiterung gesichert werden.

Diese Ressourcenart hebt sich von den anderen beiden dadurch vorteilhaft ab, daß sie einerseits durch Investitionen quantitativ und qualitativ vergrößert bzw. verbessert, andererseits durch den wissenschaftlich-technischen Fortschritt außerordentlich stark, vielleicht sogar unendlich qualitativ verändert werden kann. Gerade hierzu trägt – wie die vorangegangenen Ausführungen zeigten – die Industrierobotertechnik auf der Grundlage der Nutzung der Mikroelektronik bei.

Mikroelektronik, Mikrorechentchnik, automatische Steuerungen und – auf ihrer Grundlage – die Industrierobotertechnik schaffen wesentliche Voraussetzungen für die erwähnten bedienungsarmen bzw. bedienungslosen

Fertigungs- und Montageabteilungen und damit für die automatischen Fabriken. Sie sind die Schlüssel für den Einsatz neuer Technologien und für die zukünftige Produktionstechnik. Darüber hinaus ist die gesamte Entwicklung auf der Strecke der komplexen Mechanisierung, Teilautomatisierung und Vollautomatisierung von Produktionsprozessen und umfangreichen Produktionsanlagen unmittelbar mit der beschleunigten Anwendung der Optoelektronik und Lichtwellenleitertechnik, der Laser-, Meß- und Sensortechnik, der Datenverarbeitung und der Informationstechnik verknüpft. Besonders groß ist dabei der Einfluß von neuen Erkenntnissen innerhalb dieser Wissenschaftsgebiete auf technische Anlagen und Einrichtungen für die flexible Automatisierung von Fertigungen.

Gleichzeitig erweitert der wissenschaftlich-technische Fortschritt den Wirkungsgrad der lebendigen Arbeit sowie der Naturressourcen. Der ökonomische Effekt des wissenschaftlich-technischen Fortschritts wird wiederum entscheidend von der Entwicklung und Nutzung des geistigen Potentials der Gesellschaft und der Schöpferkraft der Werktätigen beeinflusst. Im Prozeß der Schaffung der materiell-technischen Basis für das 21. Jahrhundert sind die Leistungen, die Fähigkeiten, das Engagement unserer Arbeiter, Wissenschaftler, Techniker und Neuerer eine Quelle unseres Reichtums, die nie versiegen wird. Damit sie stark und kraftvoll sprudelt, ist die schöpferische Arbeit jedes einzelnen gefragt.

»akzent« – die Taschenbuchreihe mit vielseitiger Thematik: Mensch und Gesellschaft, Leben und Umwelt, Naturwissenschaft und Technik. – Lebendiges Wissen für jedermann, anregend und aktuell, konkret und bildhaft.

Was ist Robotertechnik? Wie wird sie sich in den nächsten Jahren und Jahrzehnten in die Fertigungs- und Montageprozesse einordnen? Welche Rolle wird sie bei der weiteren Entwicklung der Produktivkräfte spielen? Welche ökonomischen und sozialen Auswirkungen ergeben sich bei ihrem Einsatz? Die unmittelbare Praxis und unsere Zukunft erfordern, daß wir diese Fragen zu beantworten wissen.
