

**Zentralinstitut für Berufsbildung
der Deutschen Demokratischen Republik**

UNTERRICHTSHILFE

Industrieroboter

**Studienanleitung
für Lehrkräfte der Berufsbildung**

**STAATSV E R L A G
D E R D E U T S C H E N D E M O K R A T I S C H E N R E P U B L I K**

Zentralinstitut für Berufsbildung der
Deutschen Demokratischen Republik

Unterrichtshilfe

I n d u s t r i e r o b o t e r

Studienanleitung für Lehrkräfte der Berufsbildung

Staatsverlag der Deutschen Demokratischen Republik

Berlin 1982

1.	Roboter im Dienste des gesellschaftlichen Fortschritts	6
1.1.	Rationalisierung durch den Einsatz von Industrierobotern	6
1.2.	Ökonomische, soziale und technische Aspekte des Einsatzes von Industrierobotern	6
1.3.	Bildungskonsequenzen und Schlußfolgerungen für den Unterricht	9
2.	Technologische Aspekte der Entwicklung und des Einsatzes der Industrieroboter	10
2.1.	Zur Entwicklung der Robotertechnik	10
2.2.	Technologische Erfordernisse des Industrierobotereinsatzes	11
2.3.	Stand und Entwicklungstendenzen des Industrierobotereinsatzes	14
3.	Allgemeine Grundlagen der Industrierobotertechnik	16
3.1.	Definition und Klassifizierung	16
3.2.	Kenngrößen des Industrieroboters	17
3.3.	Bewegungsabläufe und Achsenbezeichnungen	18
4.	Einsatzbeispiele für Industrieroboter	21
4.0.	Vorbemerkungen	21
4.1.	Beschickungsroboter	22
4.2.	Technologische Industrieroboter	30
4.3.	Der Industrierobotereinsatz im Rahmen Technologischer Einheiten (TE)	37
5.	Aufbau von Industrierobotern	41
5.1.	Hauptbaugruppen eines Industrieroboters	41
5.2.	Greiferführungsgetriebe	42
5.3.	Greifer	45
5.4.	Antriebe	48
5.5.	Steuerungen	50
5.5.1.	Aufgaben und Klassifizierung	50
5.5.2.	Prinzipielle Wirkungsweise ausgewählter Steuerungen	52
5.5.3.	Industrierobotersteuerungen der DDR	53
5.5.4.	Prinzipieller Aufbau einer Industrierobotersteuerung	54
5.5.5.	Möglichkeiten der Programmierung	56
5.6.	Wegmeßsysteme	58
5.6.1.	Aufgaben und Notwendigkeit der Wegmeßsysteme	58
5.6.2.	Klassifizierung und Begriffe	58
5.6.3.	Aufbau von Wegmeßsystemen	59
5.6.3.1.	Prinzipieller Aufbau ausgewählter Wegmeßsysteme	59
5.6.3.2.	Beispiele digitaler Wegmeßsysteme	61
5.6.4.	Verbindung der Wegmeßsysteme mit den Linear- und Drehachsen	62
5.7.	Erkennungssysteme - Sensoren	64
6.	Periphere Einrichtungen	69
7.	Einsatzvorbereitung von Industrierobotern (IR)	72
8.	Zur Einbeziehung der Industrierobotertechnik in den Unterricht der technischen Grundlagenfächer	76
	Literaturverzeichnis	83

Vorwort

Mikroelektronik und Roboterbau gehören zu den zukunftsbestimmenden Techniken, die aus unserer modernen Industrie nicht mehr wegzudenken sind. Sie schaffen entscheidende Voraussetzungen für die umfassende sozialistische Rationalisierung und die rasche Steigerung der Arbeitsproduktivität.

Auf dem X. Parteitag der Sozialistischen Einheitspartei Deutschlands wurde deshalb beschlossen, zur durchgreifenden Erhöhung des technischen und technologischen Niveaus der gesamten Produktion die Entwicklung und den Einsatz von Industrierobotern zur schrittweisen Automatisierung von Fertigungsprozessen, zur Arbeitskräftefreisetzung und zur Einschränkung monotoner, gesundheitsgefährdender und körperlich schwerer Arbeit wesentlich zu beschleunigen.

Aus dieser Entwicklung ergeben sich auch für die Berufsbildung weitreichende Konsequenzen. Bisherige Erfahrungen zeigen, daß die sozialistische Gemeinschaftsarbeit von Ingenieuren und Facharbeitern bei der Projektierung, Produktion und dem Einsatz von Industrierobotern eine wichtige Voraussetzung für gute technische und ökonomische Lösungen ist.

Bereits im Unterricht der Berufsausbildung ist es deshalb erforderlich, konkrete Beiträge zur Vorbereitung der künftigen Facharbeiter auf die mit dem Einsatz von Industrierobotern verbundenen Anforderungen zu leisten. Grundlage dafür sind die verbindlichen Lehrpläne und die entsprechenden Festlegungen in der "Direktive zur Auswertung des X. Parteitages der SED im Unterricht der Berufsbildung".

Anliegen der vorliegenden Studienanleitung "Industrieroboter" ist es, den Lehrkräften der Berufsbildung die erforderliche fachwissenschaftliche und methodische Unterstützung zur zielgerichteten Einbeziehung von Fragen der Robotertechnik in ihren Unterricht zu geben. Damit stellt die Studienanleitung zugleich eine wichtige Grundlage für die Weiterbildung im Prozeß der Arbeit dar.

Da Fragen der Industrierobotertechnik für viele Lehrkräfte noch neu sind, wurde besonderer Wert auf relativ tiefgründige fachwissenschaftliche Erläuterungen gelegt, um die persönliche fachliche Qualifizierung zu erleichtern. Zur Unterstützung der Vorbereitung des Unterrichts wurden zahlreiche Abbildungen so gestaltet, daß eine Übernahme als Unterrichtsmittel (Folie) möglich ist.

Für die Lehrkräfte der technischen Grundlagenfächer wird methodische Hinweise für die immanente Einbeziehung der Robotertechnik in den Unterricht sowie ein Vorschlag zur methodischen Gestaltung des Themas "Aufbau und prinzipielle Wirkungsweise eines Industrieroboters" enthalten. Sie stehen im engen Zusammenhang mit dem fachwissenschaftlichen Teil der Studienanleitung. Damit wird der mit der Studienanleitung "Mikroelektronik" begonnene Prozeß der zielgerichteten fachwissenschaftlichen und methodischen Hilfe für die Lehrkräfte der technischen Grundlagenfächer kontinuierlich fortgeführt.

Das Staatssekretariat für Berufsbildung dankt den Autoren für die geleistete Arbeit bei der Entwicklung der Studienanleitung und wünscht allen Lehrkräften Erfolg beim Studium sowie bei der weiteren Erhöhung der Qualität ihres Unterrichts.


Staatssekretär für Berufsbildung
Bodo Weidemann

Berlin, Mai 1982

1. Roboter im Dienste des gesellschaftlichen Fortschritts

1.1. Rationalisierung durch den Einsatz von Industrierobotern

Die Lösung der auf dem X. Parteitag festgelegten Aufgaben zur Entwicklung und zum Einsatz von Industrierobotern ist eine wesentliche Voraussetzung bei der erfolgreichen Weiterführung der Hauptaufgabe in ihrer Einheit von Wirtschafts- und Sozialpolitik. Auf den nach dem X. Parteitag durchgeführten Tagungen des Zentralkomitees der SED, insbesondere auf der 3. Tagung des ZK, wurden weitere Aufgaben umrissen, die sich auf die beschleunigte Entwicklung und den breiten Einsatz von Industrierobotern konzentrieren. Beispielsweise wurde der Roboterbau gemeinsam mit der Mikroelektronik als zukunftsbestimmende Technik gekennzeichnet, die aus der Struktur unserer modernen Industrie heute schon nicht mehr wegzudenken ist /vgl. 1, S. 32/.

Die beschleunigte Entwicklung und breite Anwendung von Industrierobotern sowie die erforderliche Erschließung der entsprechenden Einsatzgebiete gehörten mit zu dem neuen - in der Bedeutung wichtigsten - Feld sozialistischer Rationalisierung, das sehr anspruchsvolle Aufgaben für die Forschung, Entwicklung und Neuerertätigkeit einschließt /vgl. 2, S. 990/.

Auf dem X. Parteitag sind die Aufgaben der sozialistischen Rationalisierung herausgearbeitet worden. Es kommt insgesamt darauf an, den schrittweisen Übergang zur Automatisierung ganzer Fertigungskomplexe vorzubereiten. Zur Lösung der umfangreichen Aufgaben wurde auf dem Parteitag durch die ökonomische Strategie zur Entwicklung der Volkswirtschaft eine klare Orientierung gegeben.

Über die sozialistische Rationalisierung, dabei insbesondere auch über die Robotertechnik, hält die Wissenschaft verstärkt Einzug in die sozialistische Produktion. Um das technische und technologische Niveau durchgreifend zu verändern, sind die Entwicklung, Produktion und Anwendung von Industrierobotern wesentlich zu beschleunigen. Im Zeitraum 1981 bis 1985 sind daher 40 000 bis 45 000 Industrieroboter zu produzieren und einzusetzen /vgl. 3, S. 41/. Diese Zielstellung führt zu der Notwendigkeit, den gesamten technologischen Prozeß neu zu durchdenken und wissenschaftlich zu begründen. Das führt zu einer großen Herausforderung an das Können und die Fähigkeiten unserer hochqualifizierten Facharbeiter, insbesondere auch an unsere Jugend /vgl. 4, S. 56/.

Durch diese Entwicklung beginnt eine neue Stufe der Industrieproduktion, "... an deren Horizont schließlich der automatische Betrieb, die weitere Veränderung der Stellung der Menschen im Arbeitsprozeß, wesentliche Veränderungen im Inhalt der Arbeit stehen" /5, S. 26/.

Die künftigen Aufgaben werden darin bestehen, die wissenschaftliche Tätigkeit und die Organisation der Produktion so zu gestalten, daß "... faktisch eine lückenlose Kette der Automatisierungstechnik, von der technologischen Projektierung, der automatischen Fertigung durch numerisch gesteuerte Maschinen und Anlagen bis zur Automatisierung der Montage und anderer Hilfsprozesse unter Verwendung der Industrieroboter entsteht" /6, S. 41/.

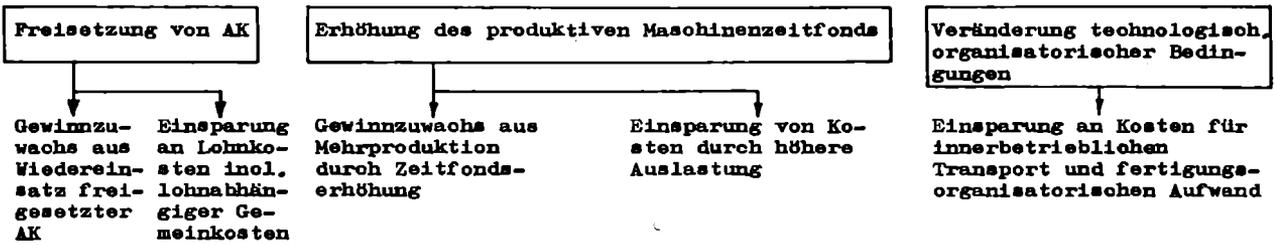
Die seit Jahren konsequente Verwirklichung der Einheit von Wirtschafts- und Sozialpolitik auch unter erschwerten Bedingungen weiterzuführen, erfordert einen weit über das übliche Maß hinausgehenden Anstieg der Arbeitsproduktivität zu sichern. Dafür ist der Einsatz von Industrierobotern in den beschlossenen Größenordnungen eine wesentliche Voraussetzung /vgl. 7, S. 860/!

1.2. Ökonomische, soziale und technische Aspekte des Einsatzes von Industrierobotern

Durch den Einsatz von Industrierobotern werden nicht nur ökonomische Ergebnisse, sondern auch sozial vorteilhafte Lösungen erreicht. Beide Aspekte sind die entscheidendsten Kriterien für die Einführung der erforderlichen Technik und der damit verbundenen Veränderung der Technologie und Arbeitsorganisation. Wo immer diese Veränderungen vorgenommen werden, sind hohe ökonomische Effekte zu erreichen, gehört "die Verbesserung der Arbeits- und Lebensbedingungen der Werktätigen zu den erstrangigen Anliegen" /1, S. 33/.

Das gesellschaftliche Erfordernis und Bedürfnis zur Einführung von Industrierobotern entspringt ökonomischen, sozialen und technischen Gründen. Durch den planmäßigen und richtigen Einsatz wird erreicht, daß zahlreiche manuelle Prozesse vom Menschen zur entsprechenden Technik verlagert werden. Dadurch können Arbeitskräfte eingespart und somit Arbeitskräfte zur Lösung anderer

volkswirtschaftlich bedeutender Aufgaben gewonnen werden. Es werden gleichzeitig weitere Möglichkeiten für die Durchsetzung der Mehrmaschinenbedienung sowie ihrer mehrschichtigen Auslastung geschaffen und somit der Automatisierungsgrad hochproduktiver Maschinen und Anlagen erhöht. Wesentliche Effekte und deren Wirkungen werden zusammenfassend in der folgenden Übersicht gezeigt.



Weiterhin werden, unabhängig von der Art der Handhabetechnik, eine gleichbleibend hohe Qualität der Erzeugnisse gesichert und der Ausschuß verringert. Damit sinken die Kosten für Ausschuß, Qualitätsminderung und Nacharbeit.

Ein besonders wichtiges gesellschaftliches Anliegen der Einführung der Handhabetechnik liegt in der ständigen Verbesserung der Arbeits- und Lebensbedingungen. In erster Linie geht es dabei um die immer weitere Befreiung des Menschen von gesundheitschädigender, monotoner und körperlich schwerer Arbeit, geht es um die Anreicherung der Arbeitsinhalte und um mehr Raum für befriedigende qualifizierte schöpferische Tätigkeit /vgl. 3, S. 33/.

Wesentliche Voraussetzungen für die Realisierung dieser Zielstellungen sind der quantitative und qualitative Umfang der sich im Einsatz befindlichen und geplanten Industrierobotertechnik. Dieser Umfang ist auch entscheidend für die weitere Beseitigung des Widerspruchs zwischen automatischer Bearbeitung und manueller Handhabung. Dieser Widerspruch kommt besonders deutlich durch das ständig steigende Qualifikationsniveau der Werkstätigen und das gleichbleibend bzw. sinkende Anforderungsniveau der meisten Handhabeoperationen zum Ausdruck.

Bei der Betrachtung sozialer Aspekte sind insbesondere auch Tätigkeiten interessant, bei denen auf Grund der Entwicklung der Technik eine ständig steigende Belastung des Menschen vorhanden ist und damit Grenzen für Verfahren und Prozesse durch die Arbeitskraft bestimmt werden. Sie ergeben sich vor allem durch die Handhabefertigkeit sowie die physische Leistungsfähigkeit des Menschen, besonders bedingt durch die Arbeitsgeschwindigkeit, Tragfähigkeit, Arbeitsdauer, Gleichmäßigkeit und Arbeitsgenauigkeit /vgl. 8, S. 63/.

Die Überwindung derartiger Grenzen und damit die Erhöhung der Arbeitsproduktivität ist in Abhängigkeit von den konkreten Bedingungen (z. B. Stückzahl) nur durch den Einsatz von Industrierobotern bzw. Sondermaschinen möglich. Für drei willkürlich gewählte Kriterien wird die Leistungsfähigkeit - Mensch-Industrieroboter-Sondermaschine - vereinfacht in der Abb. 1 dargestellt.

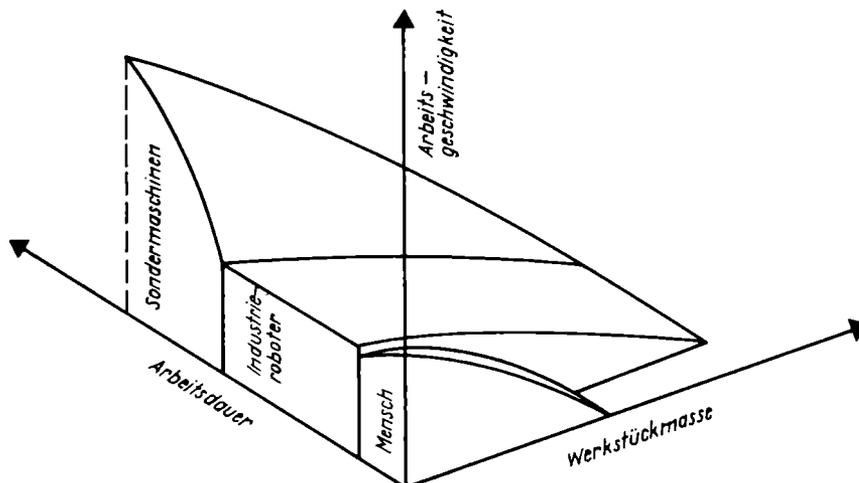


Abb. 1: Leistungsgrenzen Mensch-Industrieroboter-Sondermaschine

Als Beispiel hierfür sei das Arbeiten an Warmformpressen genannt, an denen, durch die "Grenzen" der Arbeitskraft beim Einlegen und Entnehmen der Werkstücke bedingt, die Pressengeschwindigkeit nicht erhöht werden kann.

Obwohl mit der durchgängigen Einführung von Industrierobotern erst begonnen wird, obwohl sich Industrieroboter der 2. und 3. Generation noch im Versuchsstadium befinden, beweisen zahlreiche Beispiele aus den unterschiedlichsten Anwendungsbereichen der Volkswirtschaft, welche gewaltigen technischen, ökonomischen und sozialen Potenzen erschlossen werden können. Bis Ende November 1981 arbeiteten bereits 9260 Industrieroboter in der Praxis /vgl. 1, S. 32/. Insgesamt wurden 1981 auf Grund zahlreicher Initiativen insbesondere der vom XI. Parlament ausgelösten FDJ-Initiative "Industrieroboter", mehr Roboter hergestellt als geplant /vgl. 9, S. 3/. Diese Entwicklung führte dazu, daß zahlreiche Arbeitskräfte neue Arbeitsaufgaben übernahmen. Aufgaben, die sich aus der direkten Anwendung von Industrierobotern (Bedienen, Warten, Instandsetzen, ...) bzw. aus der Umsetzung an andere Arbeitsplätze ergaben. Dieser Prozeß wird sich entsprechend der Aufgabenstellung des X. Parteitages mit steigender Zahl der zur Anwendung kommenden Industrieroboter proportional fortsetzen.

Mit dem ständig steigenden Einsatz von Industrierobotern ergeben sich auch eine Reihe von Problemen, die jedoch nicht im antagonistischen Widerspruch zu den Interessen der Werktätigen stehen. Zu diesen Problemen gehören beispielsweise die aus der Freisetzung von Arbeitskräften resultierenden Folgeerscheinungen. Bekanntlich ist mit dem Freisetzen von Arbeitskräften logischerweise ihr Wiedereinsatz verbunden. Beim gegenwärtig punktuellen Einsatz von Industrierobotern verbleiben diese Arbeitskräfte in der Regel noch im gleichen Betrieb und üben hier eine andere Tätigkeit aus.

Mit dem bis 1985 geplanten Einsatz von 40 000 - 45 000 Industrierobotern wird die Freisetzung jedoch einen nicht gekannten Umfang erreichen, da ein Roboter mehrere Arbeitskräfte ersetzt und oft die Automatisierung ganzer Fertigungsabschnitte ermöglicht. Die erforderliche Freisetzung wird dann überbetriebliche Umsetzungen nicht vermeiden lassen /vgl. 10, S. 275/. Eng damit verbunden sind Fragen des Umlernens und der Weiterqualifizierung.

Beim heutigen Stand der Industrierobotertechnik und den noch vorhandenen "Automatisierungslücken" im Fertigungsprozeß sind auch weiterhin monotone und körperlich schwere Arbeiten wie Beschiokung, Sortieren, Palettieren und Transportieren erforderlich. So entlastet beispielsweise ein Schweißroboter die Arbeitskraft von Blendwirkungen und anderen gesundheitsschädigenden Einflüssen, aber auch von qualifizierter Arbeit. Für die Beschiokung dieser Roboter sind gegenwärtig noch Arbeitskräfte erforderlich, die entsprechende monotone und oft körperlich schwere Arbeiten verrichten müssen. Es zeigt sich, und das trifft nicht nur für Schweißroboter zu, daß Roboter häufig weitere Roboter nach sich ziehen.

Es gilt alle mit dem Einsatz von Industrierobotern auftretenden Probleme zu erkennen und entsprechend den konkreten Bedingungen zu lösen. Niemand braucht dabei weder vor den gegenwärtigen noch vor den künftigen Begleiterscheinungen des Robotereinsatzes Angst zu haben, wird doch im Sozialismus die Technik im Interesse und zum Wohle aller Menschen eingesetzt.

Bewußte Manipulationen stellen in kapitalistischen Ländern den Industrieroboter als Technik dar, die den Interessen der Werktätigen entgegen wirkt. In Science-Fiction Darstellungen und zahlreichen Veröffentlichungen wird er sogar als Feind und Konkurrent abgestempelt, der seine Umwelt bedroht. Häufig wird von einer besonderen Klasse von Werktätigen gesprochen. Und tatsächlich führt auch der Einsatz von Industrierobotern zu weiterer Arbeitslosigkeit und verstärkter Ausbeutung. Es wird aber dabei verschwiegen, daß Arbeitslosigkeit ihre Ursachen nicht im Einsatz dieser Technik, sondern in der kapitalistischen Gesellschaftsordnung hat. Nicht die Industrieroboter sind an steigender Arbeitslosigkeit Schuld, sondern ihre kapitalistische Anwendung. Entscheidend ist stets, unter welchen gesellschaftlichen Verhältnissen sie angewendet werden.

So wie die gesellschaftlichen Verhältnisse weichen auch die Zukunftsbilder gerade über die Entwicklung und Einsatzmöglichkeiten der Industrierobotertechnik ab. Derartige Zukunftsbilder lassen oft die Frage entstehen nach der Überlegenheit des Menschen gegenüber den von ihm geschaffenen Mitteln. Bei der Antwort wäre es falsch, den Industrieroboter mit dem Menschen zu vergleichen. Selbst Industrieroboter der dritten Generation (mit dem nicht wissenschaftlich exakten Begriff "künstliche Intelligenz"), und mögen sie noch so vollkommen sein, werden stets nichts anderes sein, als vom Menschen geschaffene Maschinen, die nur so viel können, auch "geistig" (re-

ohen- und steuerungstechnisch), wie der Mensch ihnen programmierungstechnisch ermöglicht. Dabei kann ein Roboter durchaus "klüger" sein, als es sein Konstrukteur sich vorgestellt hat, doch das wäre besser als umgekehrt. Auch kann ein Roboter versagen und viel Unheil anrichten, aber das kann jede andere Maschine auch /vgl. 11, S. 5-9/.

1.3. Bildungskonsequenzen und Schlußfolgerungen für den Unterricht

Eine wichtige Aufgabe zur beschleunigten und breiten Einführung der Industrierobotertechnik besteht gegenwärtig in der Qualifizierung der Werkstätigen in allen Stufen des Bildungssystems. Dabei bildet das vorhandene Bildungspotential der Facharbeiter eine ausgezeichnete Grundlage /vgl. 12, S. 911-917/. Dieses Potential gilt es effektiv zu nutzen sowie planmäßig und zielgerichtet zu erweitern.

Industrieroboter können nicht einfach angeschafft und eingesetzt werden, sie erfordern eine gründliche Einsatzvorbereitung (vgl. 7), aus der sich u. a. auch konkrete Bildungskonsequenzen für die Facharbeiter ableiten lassen. Er wird nicht mehr die direkte Bedienung einzelner Maschinen ausführen, sondern technologische Einheiten bzw. komplette Fertigungsabschnitte überwachen. Ihm werden insbesondere die Funktionen der Programmierung, des Einrichtens, der Überwachung, der Wartung und Instandhaltung übertragen. Daraus erwachsen hohe und veränderte Anforderungen sowohl an die Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten als auch an das Bewußtsein und die Verhaltenseigenschaften wie beispielsweise Risikobereitschaft, Ausdauer, Konzentrationsvermögen, Gewissenhaftigkeit, Diszipliniertheit und Bereitschaft zur Um- und Weiterqualifizierung.

Unter den Bedingungen des breiten Einsatzes von Industrierobotern erwachsen für die gesamte Berufsausbildung eine Reihe verantwortungsvoller Aufgaben. Dazu gehört u. a. die Beantwortung folgender Fragen: /vgl. 13, S. 9-11/

- Welche neuen Anforderungen werden an die einzelnen Berufe gestellt?
- In welchem Umfang sind Kenntnisse über die komplexen Zusammenhänge des jeweiligen Gesamtprozesses erforderlich?
- Bis zu welchem Grad sind die künftigen Facharbeiter zu befähigen sich selbständig einen tiefgehenden Überblick über Gesamtprozesse zu erarbeiten?
- Wie weit ist bereits in der Berufsausbildung die Fähigkeit zur Kooperation mit anderen Berufen und Berufsgruppen zu entwickeln und welche Konsequenzen ergeben sich daraus für die Präzisierung der Ziele und Inhalte?
- Über welches anwendungsbereite Faktenwissen muß jeder einzelne Facharbeiter und jeder in der entsprechenden Berufsgruppe verfügen?

Im Unterricht kommt es darauf an, einen konkreten Beitrag zu leisten, bei der Vorbereitung der künftigen Facharbeiter zur Bewältigung der mit dem Einsatz von Industrierobotern in Verbindung stehenden Aufgaben und Probleme. Dafür ist es erforderlich, die in den Lehrplänen enthaltenen Potenzen zur Einbeziehung von Schwerpunkten der Industrierobotertechnik zu erschließen und die vielfältigen Möglichkeiten, die die Lehrpläne bieten, optimal zu nutzen. Diese Möglichkeiten reichen von der Einbeziehung konkreter Hinweise über soziale, ökonomische und technische Konsequenzen der Industrierobotertechnik in den Unterricht über Anwendungsbeispiele aus dem Berufsgebiet der Lehrlinge bis zur ausführlichen Behandlung ausgewählter Industrieroboter und deren Einsatz in der Produktion /vgl. 14, S. 51/. Im Zusammenhang damit kommt es vor allem darauf an, solche Methoden im Unterricht anzuwenden, die geeignet sind, bei den Lehrlingen die Liebe zur Wissenschaft, Technik und Arbeit auszuprägen, sowie die Freude am Entdecken und Knobeln zu stimulieren. Damit werden zugleich wichtige Motivationen zur aktiven Mitarbeit bei der Lösung technischer Probleme im Rahmen der MMM- und Neuererbewegung geschaffen /vgl. 15, S. 9/. Die Lösung dieser sicher oft komplizierten Aufgaben werden viel Engagement der Lehrkräfte bei der Planung, Vorbereitung und Durchführung des Unterrichts erfordern sowie die Bereitschaft zur weiteren fachlichen Qualifizierung verlangen.

2. Technologische Aspekte der Entwicklung und des Einsatzes der Industrierobotertechnik

2.1. Zur Entwicklung der Robotertechnik

Der Begriff Roboter läßt sich von dem slavischen Wort "rabota" (arbeiten) ableiten und wird erstmalig 1921 im Sinne von "künstlicher Helfer des Menschen" in dem Theaterstück "RUR" (Rossums Universal Roboter) von dem tschechischen Schriftsteller Karel Capek verwendet. Dieser und weitere in der folgenden Zeit entstandene Roboter hatten keine praktische Bedeutung. Mit den heute in der Industrie zum Einsatz kommenden Robotern sind keinerlei sinnvolle Vergleiche möglich. Geblieben sind lediglich der Name und zahlreiche Science-Fiction-Versionen, die sich in kapitalistischen Ländern, besonders in Filmen, zu einer technisch unrealen und ideologisch unverantwortlichen Darstellungsweise entwickelt haben.

Die Industrieroboter ordnen sich ein in den Gesamtkomplex der Handhabetechnik, die eng mit der Entwicklung der Mechanisierung und Automatisierung verbunden ist. Ein erster Aufschwung der Handhabetechnik wurde Ende der 40er Jahre erreicht.

Im Zusammenhang mit der friedlichen Nutzung der Atomenergie wurden erste Manipulatoren mit mechanischer Kraftübertragung entwickelt, die ein Hantieren mit radioaktiven Stoffen ermöglichten. Es begann die Entwicklung von Manipulatoren, die es dem Menschen gestatteten, in gefährlicher, gesundheitsschädigender und auch schwer zugänglicher Umgebung zu arbeiten.

Bereits 1954 entstand der erste Master-Slave-Manipulator mit elektrisch betriebenen "Ober"- und "Unterarm" für horizontale bzw. vertikale Bewegungen. Bei derartigen Handhabeeinrichtungen betätigt der Mensch den eigentlichen Manipulator (Slave) über einen Steuermanipulator. Die Bewegungen werden direkt und synchron übertragen.

Beispiele hoher Perfektion stellen zahlreiche Geräte und Apparaturen zur Erforschung der Mondoberfläche und des Mondgesteins dar. Ferngesteuert wurden nicht nur Fahrzeuge sicher durch unwegsames Gelände bewegt, sondern auch die Aufnahme von Mondgestein durch spezielle Greifeinrichtungen und Geräte exakt bewältigt.

Bild 2 zeigt das am 15.1.73. auf dem Mond abgesetzte Mondmobil Lunochod 2. Dieses selbstfahrende Mondmobil hat sich als "ein wertvolles Forschungsinstrument entwickelt" /vgl. 16/. Neben Komplexuntersuchungen zur Messung der physikalisch-mechanischen Eigenschaften und der chemischen Zusammensetzung der Mondoberfläche wurde u. a. der Magnetisierungsgrad des Gesteins in Kratergebieten gemessen.

Durch die Rückkehrkapsel der automatischen Station "Luna 24" konnten sogar Gesteinsproben vom Mond zur Erde befördert werden. Spezialvorrichtungen dieser Kapsel hatten die Mondbodenproben zuvor aufgenommen.

Die Beschriftung der Abbildung 2 lautet übersetzt:

- | | |
|---|---|
| 1 scharf bündelnde Antenne | 7 Fotoempfänger |
| 2 vorgelagerte Fernsehkamera | 8 Sonnenbatterie |
| 3 Magnetometer | 9 Telefotometer |
| 4 Leserreflektor | 10 Gerät zur Einschätzung der Manoverierfähigkeit |
| 5 Astrofotometer (Empfänger für Sternlicht) | 11 vorgelagerter Block der Apparatur "RIFMA" |
| 6 Fernsehkamera | |

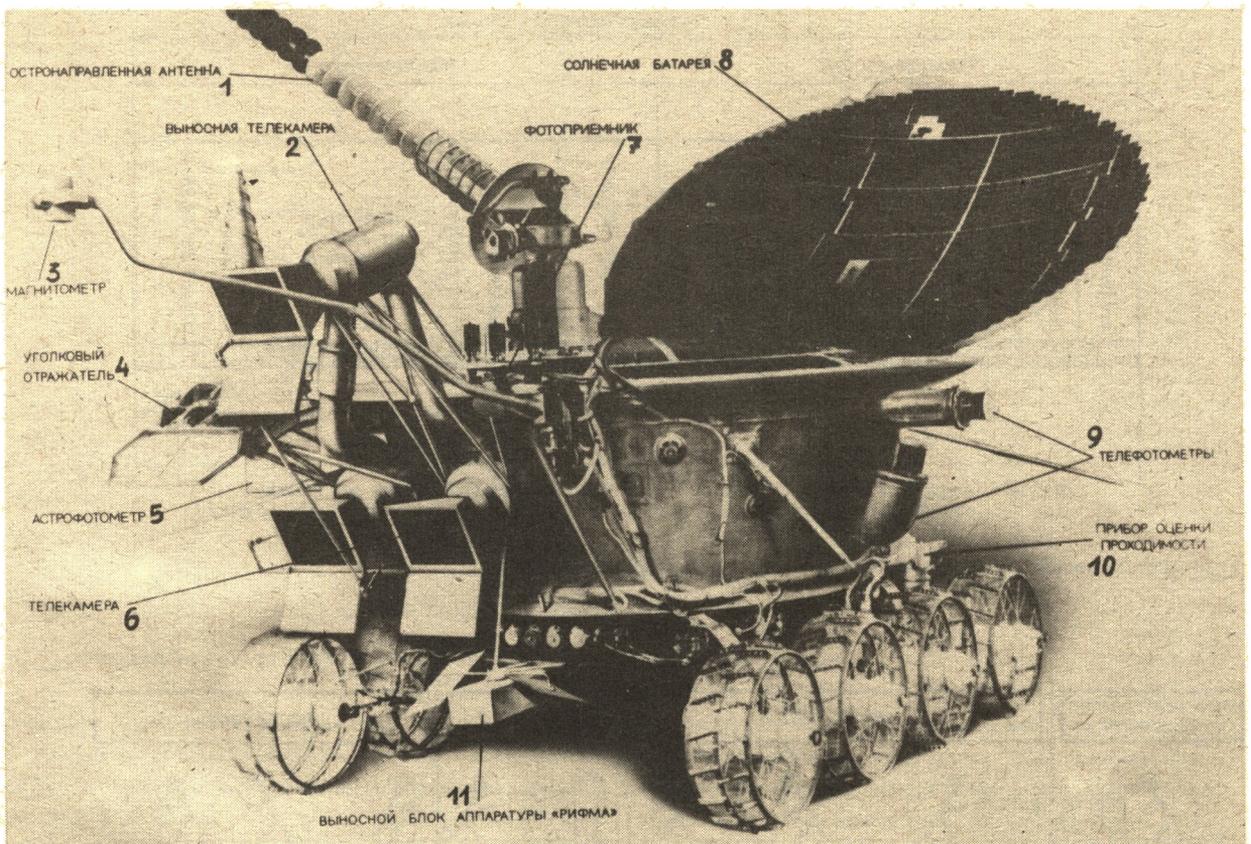


Abb. 2: Sowjetisches Mondmobil "Lunochod 2" /vgl. 17/

Die ersten selbständigen Roboter, die für die Anwendung in der Industrie entwickelt wurden, entstanden in den 60er Jahren. Die Entwicklung vollzog sich in den Folgejahren zunächst nur für spezifische Anwendungsfälle. Die objektiven Erfordernisse der weiteren Steigerung der Arbeitsproduktivität und die in der Mittel- und Kleinserienfertigung vorhandenen Bedingungen führten, durch die rasche Entwicklung der Technik, insbesondere der Mikroelektronik und der automatischen Steuerungstechnik bedingt, zu Industrierobotern, die den unterschiedlichsten Aufgaben angepaßt werden können, d. h. zu prozeßflexiblen Industrierobotern. Die Serienproduktion dieser Industrieroboter konnte 1981 aufgenommen werden /vgl. 9, S. 4/.

2.2. Technologische Erfordernisse des Industrierobotersinsatzes

Betrachtet man den gegenwärtigen Stand der industriellen Produktion, so ist festzustellen, daß noch starke Unterschiede im Grad der Mechanisierung und Automatisierung in den einzelnen Bereichen der Volkswirtschaft bestehen. Im Bereich der Verfahrenstechnik, in dem die einzelnen Prozesse in der Regel kontinuierlich ablaufen, ist der gesamte Prozeß automatisiert bzw. teilautomatisiert. Hier haben insbesondere analoge und binäre Steuerungen einen hohen Grad der Perfektion erreicht.

In der Fertigungstechnik sind dagegen diskontinuierliche Prozesse vorherrschend. In diesem Bereich sind oft nur die Hauptprozesse bzw. Teile davon automatisiert. Hilfsprozesse werden überwiegend manuell ausgeführt.

Am Beispiel spanabhebender Werkzeugmaschinen sind in der Abbildung 3 mögliche manuelle Handhabungsoperationen dargestellt sowie einige Größen aufgeführt, die einen direkten Einfluß auf die Handhabungszeit und Maschinenzeit haben.

Die größten Reserven zur Verkürzung der zur Herstellung eines Werkstückes erforderlichen Arbeitszeit liegen in der Beeinflussung der Handhabezeiten. Die Abbildung 4 gibt einen anschaulichen Überblick über die im Bereich der Fertigungstechnik besonders häufig auftretenden, dem Bearbeitungsprozeß vor- und nachgelagerten, Handhabeoperationen. Den einzelnen Operationen wurden die entsprechenden Symbole nach TGL 28 482 "Werkstückfluß, Aufgaben, Begriffe, Definitionen, Sinnbilder" zugeordnet.

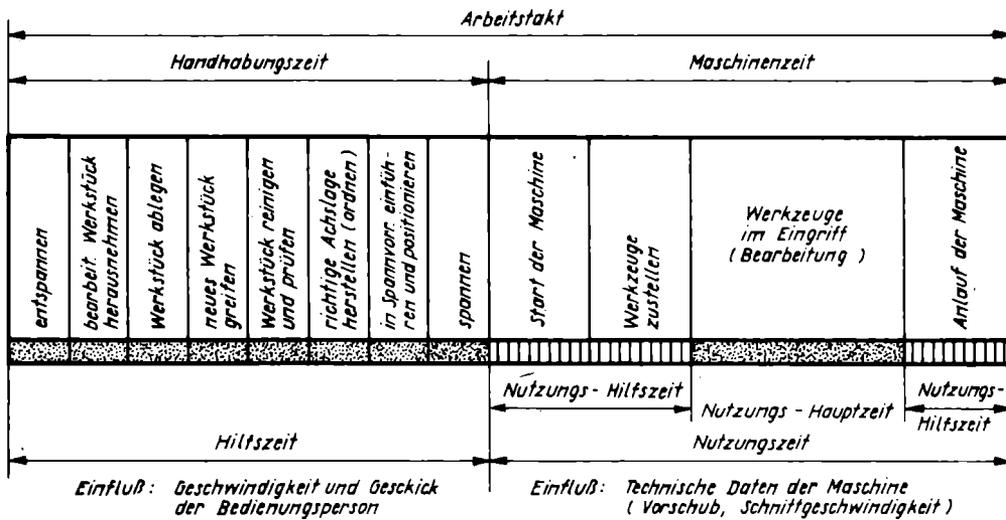


Abb. 3: Handhabungsoperationen an spanenden Werkzeugmaschinen

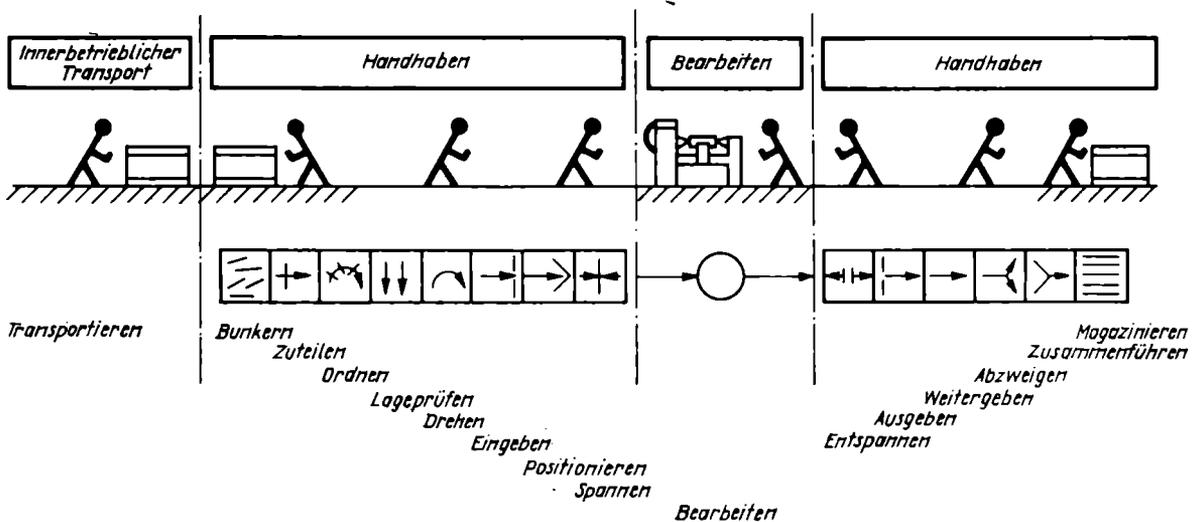


Abb. 4: Mögliche Handhabeoperationen bei der Werkstückfertigung

Im Produktionsprozeß des Maschinenbaus der DDR werden gegenwärtig 70 Prozent der lebendigen Arbeit für den Fertigungsprozeß eingesetzt, während 22 Prozent für die Leitung und 8 Prozent für die technologische Vorbereitung des Fertigungsprozesses verbleiben. Dabei nimmt die Formgebung den Hauptanteil ein. Bezieht man in die Formgebung die für die Teilefertigung notwendigen Anteile der Montage und der Behandlung mit ein, so werden annähernd 50 Prozent der lebendigen Arbeit direkt zur Herstellung von Werkstücken benötigt (Bild 5). Es ist daher erklärlich, den Aufwand an lebendiger Arbeit zu reduzieren.

Die Notwendigkeit zur Steigerung der Arbeitsproduktivität führte zunächst bei der Fertigung großer Stückzahlen zur Entwicklung von Sondermaschinen und zu einer Zusammenfassung dieser Maschinen zu Fertigungslinien. Dadurch wurde es möglich den Automatisierungsgrad zu erhöhen, indem zahlreiche Einzeloperationen wie Spannen, Messen, Werkzeugwechsel durch die Maschine selbst ausgeführt wurden. So konnten beispielsweise um die Jahrhundertwende kurvengesteuerte Automaten gebaut werden, die nicht nur den Hauptprozeß in hoher Perfektion beherrschten, sondern auch zahlreiche Hilfsprozesse. Es blieben aber trotzdem noch zahlreiche manuelle Tätigkeiten (Handhabeoperationen) erhalten, wie beispielsweise das Zu- und Abführen der Werkstücke, die von der Arbeitskraft ausgeführt werden mußten.

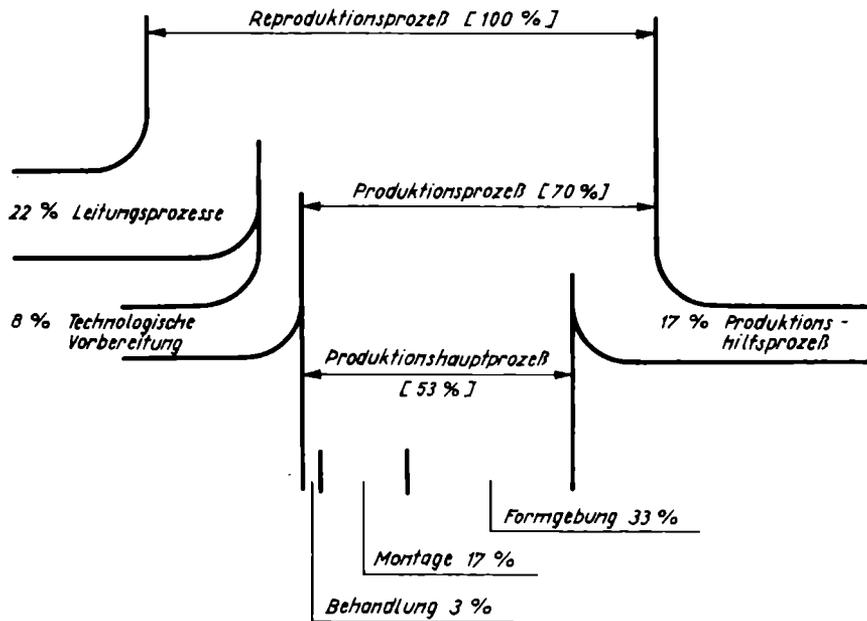


Abb. 5: Prozentualer Anteil lebendiger Arbeit am Reproduktionsprozess

Besonders hoch und vielschichtig ist der Anteil der manuellen Handhabeoperationen bei der Mittel- und Kleinserienfertigung. Dazu gehören neben der Werkstückhandhabung (spannen, zu- und abführen ...) auch die Werkzeughandhabung (halten und führen von Farbspritzpistolen, Schleifwerkzeugen, Schweißzangen ...) sowie Montageoperationen (sortieren, zusammenfügen, verschrauben ...). Mit der Einführung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen und ihrer Weiterentwicklung zu Bearbeitungszentren wurden in der Mittel- und Kleinserienfertigung beträchtliche Produktionssteigerungen möglich. Immer mehr Handhabeoperationen werden von der Maschine übernommen. Dieser Trend setzt sich kontinuierlich durch, insbesondere durch den Einsatz von NC, CNC und DNC-Steuerungen.¹⁾

In der jüngsten Vergangenheit wurden Wege beschritten, möglichst alle Handhabeoperationen zu automatisieren. Weltweit wurde seit 1966 begonnen, für die zahlreichen und äußerst vielgestaltigen Handhabeoperationen Industrieroboter einzusetzen. Über 100 000 sind heute bereits in der Produktion tätig. Ihr Einsatz konzentriert sich auf die in der Tabelle 1 aufgeführten Einsatzgebiete.

Tabelle 1: Mögliche Anwendungsgebiete für den Einsatz von Industrierobotern

Anwendungsgebiet	Handhabeaufgabe des IR
Spanabhebende Werkzeugmaschinen	Einlegen und Entnehmen von Teilen, Verkettung mehrerer Maschinen
Umformen	Einlegen und Entnehmen von Teilen, Weitergabe der Teile
Urformen	Entnahme und Ablage von Teilen aus Gießanlagen bzw. -maschinen
Wärmebehandlung	Zuführen und Entnahme von Teilen in bzw. aus Öfen und Bäder
Schweißen, Farbspritzen, Sandstrahlen, Nähen	Führen des Werkzeuges
Montage	Durchführung von Montageprozessen (Führen des Werkzeuges und Werkstückes)

¹⁾ NC = Numerical Control
 CNC = Computer insed Numerical Control
 DNC = Direct Numerical Control

2.3. Stand und Entwicklungstendenzen des Industrierobotersinsatzes

Gegenwärtig werden Industrieroboter in erster Linie für Beschickungsaufgaben an Werkzeug- und Verarbeitungsmaschinen eingesetzt. Der Hauptanteil liegt dabei in der DDR zu 75 Prozent in der Klein- und Mittelserienfertigung. In der Großserien- und Massenfertigung finden vor allem Farbspritz- und Schweißroboter ihre Anwendung. Ende 1980 wurden 224 Einsatzfälle mit prozeßflexiblen Industrierobotern analysiert, die sich auf die folgenden Einsatzgebiete verteilten: Farbspritzen/Emaillieraufträgen (13 %), Schweißen (3 %), Montage (1 %), Beschickung (77 %).

Für die untersuchten Einzelfälle ergaben sich erhebliche ökonomische Nutzenswirkungen, die durch die Nutzelemente

- Steigerung der Arbeitsproduktivität
- Freisetzung von Arbeitskräften und
- Rückflußdauer

nachgewiesen wurden. So konnten beispielsweise pro Industrieroboter durchschnittlich 2,1 Arbeitskräfte freigesetzt werden; davon beim Farbspritzen/Emaillieraufträgen 3,0; Beschicken 2,0; Schweißen 1,9 und Montage 1,5.

1985 werden in der DDR ca. 83 Prozent aller Industrieroboter für Beschickungsaufgaben und 17 Prozent für technologische Operationen (Schweißen, Farbspritzen, Montage u. a.) eingesetzt. Die internationale Entwicklung wird so eingeschätzt, daß sich der Anteil technologischer Industrieroboter ständig erhöhen und nach 1985 ca. 60 Prozent des Gesamtumfanges betragen wird /vgl. 18/.

Die folgende Übersicht enthält eine Zusammenstellung über die quantitative Entwicklung der Industrieroboter in ausgewählten Ländern.

Land	1974	1978	1980	1985
Japan	1500	12000	67400	115000
USA	1500	3000	6500	60000
UdSSR	250	800	3000	45000
DDR	5	30	220	40000-45000
BRD	120	520	1000	8000
Schweden	164	800	1200	5000

Aus Prozeßanalysen zum Industrierobotersinsatz in der DDR läßt sich ableiten, daß der Einsatz von Industrierobotern in erster Linie auf die produktionsdurchführenden sowie die Produktionshilfsbereiche der Betriebe richtet ist, in denen 60 Prozent aller Arbeitskräfte tätig sind. Dabei kommt dem Einsatz für die Werkstückhandhabung an Werkzeugmaschinen die größte Bedeutung zu. Hier bilden wiederum die Dreh-Bohr-Frä-

und Schleifmaschinen mit etwa 85 Prozent für den Industrierobotersinsatz den Schwerpunkt (vgl. Abb. 6). Eindeutig dominiert der Einsatz an Drehmaschinen. Die Ursachen sind u. a. darin zu suchen, daß die Werkstückhandhabung an Drehmaschinen technisch wesentlich leichter beherrschbar ist als an Fräsmaschinen. Dies betrifft insbesondere auf solche Operationen zu wie beispielsweise

- Greifen
- Einlegen in Vorrichtung oder Spannmittel
- Reinigen der Vorrichtung oder des Spannmittels
- Speichern.

Ausgehend davon, daß die Industrieroboter den technologisch erforderlichen zyklischen Bewegungsablauf nach einem in die IR-Steuerung einprogrammierten Sollwertprogramm vollziehen, sind die Anwendungen für bestimmte Einsatzfälle technisch begrenzt.

Solche Grenzen sind z. B. objektiv vorhanden in der Werkzeughandhabung, beim Entgrate- oder Gußputzprozeß im Maschinenbau, wo eine ständige "Konturenregistrierung" erfolgen muß.

relative Häufigkeit in %

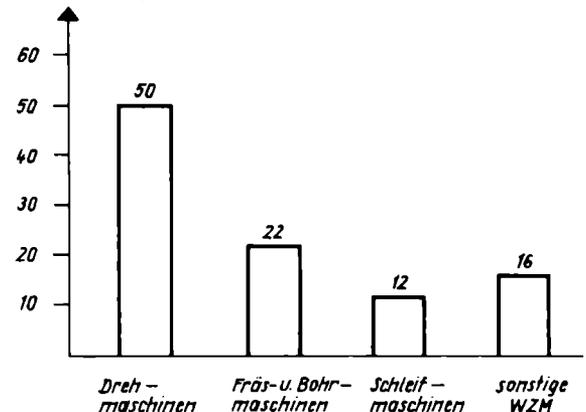


Abb. 6: Verteilung der zum Einsatz von Industrierobotern vorgesehenen Maschinenarten

1) Eine Gegenüberstellung der einzelnen Länder ist nur bedingt möglich, da nicht immer einheitliche Definitionen bei der Erfassung angewendet werden

Die Erweiterung der Anwendungsgrenze dieser speicherprogrammierten Industrieroboter erfordert die Einbeziehung unterschiedlicher Sensoren. Diese sind auch für die Weiterentwicklung der Industrierobotertechnik, bis hin zu Industrierobotern mit "künstlicher Intelligenz", eine unabdingbare Voraussetzung.

Die Industrieroboter werden zur Kennzeichnung des technischen Entwicklungsniveaus entsprechenden Generationen zugeordnet. Der Entwicklungstrend wird in der Abb. 7 dargestellt. Dabei geben die Jahreszahlen den internationalen Einsatzbeginn an.

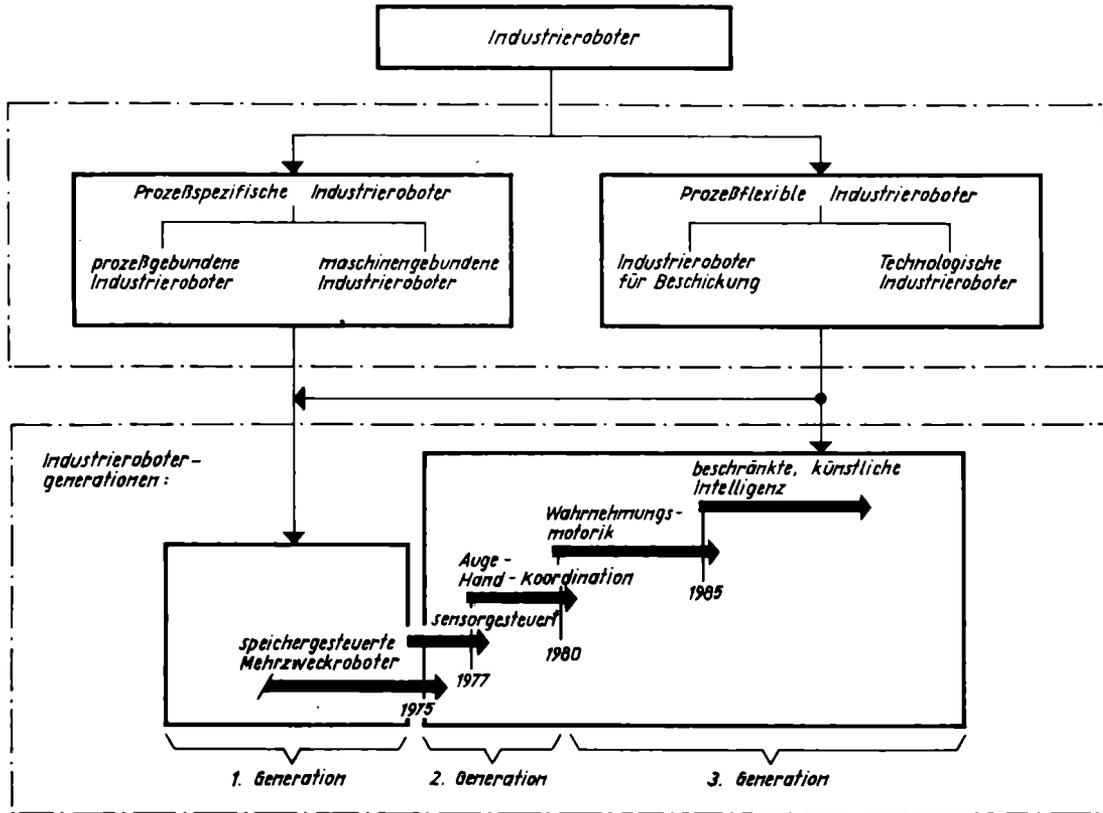


Abb. 7: Entwicklungstrend (-international)

- Das Spektrum der bisher zum Einsatz gebrachten Industrieroboter hat
- unterschiedliche Bauformen (maschinen- bzw. anlagenintegrierte Lösungen, Ständer- bzw. Portal-ausführungen)
 - unterschiedliche Baugrößen (für Handhabmassen ab 0,05 kg) sowie
 - unterschiedliche Automatisierungsvarianten (von nicht numerisch gesteuerten Bewegungsachsen bis zu 8 NC-gesteuerten Achsen).

Mit dem weltweiten Einsatz der Industrieroboter haben sich drei Einsatzvarianten herausgebildet:

1. der Industrieroboter als einfacher Beschicker,
2. der Industrieroboter als automatische Verfahreseinheit,
3. der Industrieroboter als komplexer Realisator von Transport- und Beschickungsvorgängen, integriert in Fertigungsabschnitte bzw. Maschinensysteme.

3. Allgemeine Grundlagen der Industrierobotertechnik

3.1. Definition und Klassifizierung

In der vorhandenen Literatur wird der Begriff Industrieroboter nicht einheitlich gebraucht und oft wird einer Definition aus dem Wege gegangen. Der Begriff Industrieroboter wird häufig auch synonym für die Begriffe Handhabegerät bzw. Manipulator verwendet.

Mit der breiten Einführung einer "speziellen Technik" für die Durchführung unterschiedlicher Handhabeprozesse in der Volkswirtschaft unserer Republik wurde eine einheitliche Sprache notwendig. In Anlehnung an die international verwendeten Definitionen zur Industrierobotertechnik wurden Begriffsbestimmungen durch den Ministerrat der DDR festgelegt und damit für die gesamte Volkswirtschaft eine einheitliche Basis für die Charakterisierung und Klassifizierung der in der Praxis eingesetzten Grundmittel geschaffen /vgl. 19/, /vgl. auch 20, S. 82; 21, S. 44; 22, S. 21; 23, S. 61/. In /19-23/ wird stets der Begriff "Industrierobotertechnik" verwendet, zu der neben dem eigentlichen Industrieroboter auch die entsprechende Peripherie gehört /vgl. 24, S. 334/.

Für die folgenden Ausführungen wird der Begriff Industrieroboter in Anlehnung an die Definition Industrierobotertechnik wie folgt gefaßt:

Industrieroboter sind Grundmittel, die der selbständigen Handhabung von Werkstücken, Werkzeugen und Materialien zur Automatisierung von Haupt- und Hilfsprozessen mit dem Hauptziel der Freisetzung von Arbeitskräften dienen und in einer oder mehreren Bewegungsachsen hinsichtlich Positionierung und Arbeitsablauf fest- oder freiprogrammierbar sind.

Nach der Vielfältigkeit der Einsatzmöglichkeiten unterscheiden wir prozeßflexible und prozeßspezifische Industrieroboter.

Die prozeßflexiblen Industrieroboter umfassen punkt-, bahn- oder sensorgesteuerte Geräte mit einer hohen Flexibilität des Einsatzes bis zur universellen Einsetzbarkeit. Der Bewegungsablauf dieser Geräte in einer oder in mehreren Achsen und Bahnbewegungen kann frei programmiert werden. Die Industrieroboter besitzen daher für die freiprogrammierbaren Linear- und/oder Drehachsen Wegmeßsysteme zur permanenten Erfassung des Istwertes für die entsprechenden Weg- und/oder Winkelgrößen.

Das wesentlichste technisch-ökonomische Kriterium der prozeßflexiblen Geräte ist die zeitlich kurzfristige Umprogrammierbarkeit und damit die Voraussetzung für den Einsatz in sich oft ändernde Handabeoperationen (Klein- und Mittelaerienfertigung). Die prozeßspezifischen Industrieroboter umfassen Geräte und Einrichtungen für die Rationalisierung und Automatisierung von Ausrüstungen und Prozessen aller Art. Sie sind entweder maschinen- bzw. ausrüstungsgebunden oder aber prozeßgebunden.

Maschinen- bzw. ausrüstungsgebundene Industrieroboter sind ein fester Bestandteil technologischer Ausrüstungen und dienen der Erhöhung des Automatisierungsgrades. Sie sind mechanisch mit der technologischen Ausrüstung verbunden und werden über diese fest gesteuert. Diese Industrieroboter stehen in der Regel nicht selbständig zur Verfügung sondern nur in Verbindung mit der Gesamtausrüstung.

Die prozeßgebundenen Industrieroboter dienen der Rationalisierung und Automatisierung der unterschiedlichsten zweigspezifischen technologischen Aufgaben in den Wirtschaftseinheiten als selbständig existierende Handhabetechnik, die insbesondere im Rationalisierungsmittel eigenbau der Wirtschaftseinheiten produziert wird.

Entsprechend den zu lösenden Aufgaben unterscheiden wir technologische Roboter sowie Beschickungsroboter. In der Tabelle 2 wird zusammenfassend die in der Praxis übliche Klassifizierung mit charakteristischen Einsatzschwerpunkten dargestellt.

Tabelle 2: Klassifizierung und Einsatzschwerpunkte von Industrierobotern

Prozefflexible Industrieroboter	Prozeßspezifische Industrieroboter
<u>Industrieroboter für Beschickung</u> z. B. für <ul style="list-style-type: none"> . Beschickung von Werkzeugmaschinen und analoge technische Einsatzfälle . Transportprozesse . Stapelung und Entstapelung 	<u>Maschinen- bzw. ausrüstungsgebundene Industrieroboter</u> (fester Bestandteil technologischer Ausrüstungen) z. B. für <ul style="list-style-type: none"> . Einlegearbeiten . Entnahmearbeiten . Magazinieren . Positionieren . Automatische Behebung von Störungen
<u>Technologische Industrieroboter</u> z. B. für <ul style="list-style-type: none"> . Montage . Farbgebung . Schweißen . Schmieden . Führung von Werkzeugen und Arbeitsgegenständen . Textiltechnische Prozesse 	<u>Prozeßgebundene Industrieroboter</u> (selbständige Industrieroboter zur Durchführung von Beschickungs- und technologischen Prozessen) z. B. für <ul style="list-style-type: none"> . Beschickung . technologische Aufgaben

3.2. Kenngrößen des Industrieroboters

Als Kenngrößen des Industrieroboters werden die Hauptparameter betrachtet, die zur Entscheidung für den Einsatz in der Praxis erforderlich sind. Hierzu gehören:

- Tragfähigkeit bzw. maximal handhabbare Masse
- Anzahl der Freiheitsgrade
- Struktur des Greiferführungsgetriebes
- Arbeitsraum
- Verfahrswege und Drehwinkel der Bewegungsachsen
- Verfahrs- und Drehgeschwindigkeiten
- Steuerungssystem
- Programmschrittzahl
- Positionier- und Wiederholgenauigkeit

Die Tragfähigkeit eines Industrieroboters gibt an, welche größte zu handhabende Masse bei den angegebenen Verfahrgeschwindigkeiten bewegt werden kann. Bei verringerten Geschwindigkeiten ist eine Erhöhung der zu handhabenden Masse möglich.

Die Anzahl der Freiheitsgrade entspricht der Summe der Bewegungsmöglichkeiten des Greiferführungsgetriebes und des Greifers. Sie ist im allgemeinen identisch mit der Anzahl der selbständigen, voneinander unabhängigen Antriebe. Der Freiheitsgrad ist ein charakteristisches Merkmal für die Beweglichkeit des Roboters. Er bedeutet Bewegung eines Körpers (Werkstück) im Arbeitsraum z. B. durch Drehung oder Schiebung um eine bzw. längs einer Achse.

Die Struktur des Greiferführungsgetriebes entspricht dem kinematischen Grundaufbau des Industrieroboters. Sie ermöglicht die Beweglichkeit des Greifers im Arbeitsraum. Die unterschiedlichen Strukturvarianten ergeben sich aus der Kombination von Drehachsen "D" und Schubachsen "S". Der Arbeitsraum des Industrieroboters ist der Raum, in dem sich der Greifer mit dem Werkstück oder dem Werkzeug bewegen kann. Er wird begrenzt durch die Bewegungsbereiche der einzelnen Glieder des Greiferführungsgetriebes. Seine Form wird bestimmt durch die Struktur des Greiferführungsgetriebes. Der Arbeitsraum kann die Form eines Quaders, Kreisringes bzw. Kreissegments haben oder tomenförmig sein.

Durch entsprechende Verfahrswege und Drehwinkel werden die erforderlichen Bewegungsabläufe erreicht. Die die Wege und Winkel kennzeichnenden Achsen werden im Abschnitt 3.3. dargestellt.

Als Verfahrens- und Drehgeschwindigkeit wird die maximal mögliche Geschwindigkeit der Greiferhand in den jeweiligen Achsen angegeben. Sie wird jedoch nur erreicht, wenn größere Wege und Winkel zurückgelegt werden, da im Anfahr- und Bremsbereich geringere Geschwindigkeiten vorliegen.

Das Steuerungssystem beeinflusst wesentlich die Einsatzmöglichkeiten des Industrieroboters und den Umfang der Bewegungsschritte. Es sichert entsprechend der Aufgabenstellung die erforderlichen Bewegungen. Zur Anwendung gelangen festprogrammierbare und flexibelprogrammierbare Steuerungen. Bei

der letzten Art werden Punkt- und Bahnsteuerungen unterschieden (vgl. auch 5.5.).

Die Programmierschrittzahl ist ein Maß für den Programmumfang, der entscheidend die Leistungsfähigkeit einer Steuerung beeinflusst.

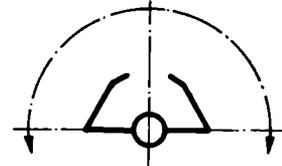
Die Positionier- und Wiederholgenauigkeit gibt an, wie groß die Genauigkeit der Positionierung bei mehrmaliger Wiederholung des Bewegungssystems ist. Sie wird am Greifer in jeder Koordinate gemessen.

3.3. Bewegungsabläufe und Achsenbezeichnungen

Entsprechend ihren Einsatzbedingungen haben Industrieroboter eine zweckmäßige Gestaltung erfahren. Alle beteiligten Funktionsgruppen dienen der Handhabung. Die Konstrukteure hatten dabei den Menschen als Vorbild.

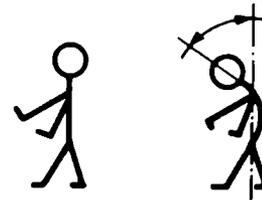
Wenn wir uns beobachten, dann können wir unsere Bewegungen bei entsprechenden Tätigkeiten auf einige wesentliche "Grundbewegungen" des Körpers sowie der Arme und Hände zurückführen. Dazu gehören hauptsächlich:

- Wir stehen aufrecht am Arbeitsplatz und drehen uns um unsere Körperlängsachse, um z. B. Teile von einem Platz zu einem anderen Platz zu bewegen.



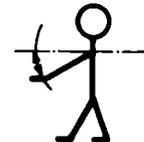
① Drehung um die Körperlängsachse

- Wir bewegen uns vor und zurück, um unseren Arbeitsraum zu erweitern.



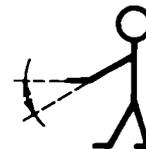
② Neigung um die Körperlängsachse

- Wir heben und senken unsere Arme.



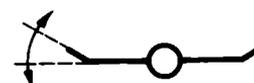
③ Heben und Senken des Armes

- Wir neigen unsere Hände um die Armachse.



④ Neigung der Hand um die Armachse

- Wir bewegen unsere Hände aus der Armachse heraus



⑤ Bewegen der Hand aus der Armachse

- Charakterisierung des neuen Arbeitsplatzes

Mit dem Einsatz eines Beschickungsroboters wird die Arbeitsverrichtung "Beschicken" automatisiert. Der Industrieroboter entnimmt die Rohteile einem Speicher (die Teile sind geordnet), gibt die Teile in die Werkzeugmaschine und entnimmt die Teile nach der Bearbeitung aus der Maschine und legt sie wieder auf dem Speicher ab.

Mit dem Einsatz des Beschickungsroboters wird ein Teil der monotonen Tätigkeit und die hohe Verletzungsgefahr der Arbeitskraft abgebaut. Der Arbeitsplatz wird aber damit nicht vollständig automatisiert, da die Werkstückkontrolle und Überwachung des Bearbeitungsprozesses nach wie vor manuell erfolgt.

Der Roboter arbeitet jedoch kontinuierlicher über den ganzen Arbeitstag und kann auch bei entsprechender Arbeitsorganisation über die Pausen hinweg arbeiten.

Der Einsatz des Roboters beeinflusst nicht nur den unmittelbaren Arbeitsplatz, sondern den gesamten Fertigungsprozeß, die technologische Vorbereitung und die Fertigungsorganisation.

Der Einsatz derartiger Beschickungsroboter erfolgt häufig zur Beschickung mehrerer Maschinen, so beispielsweise zur Beschickung von zwei Drehmaschinen (Abb. 18).

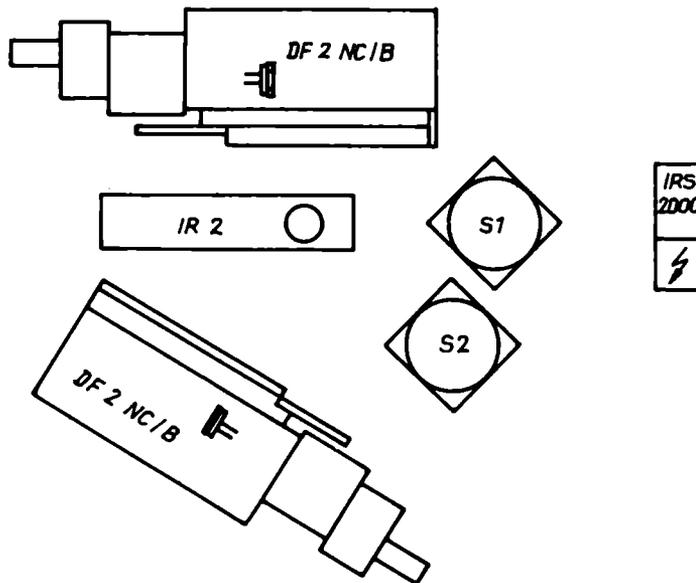


Abb. 18: Technologische Einheit /vgl. 26, S. 81/

In der Abbildung 18 wird eine im Maschinenbau häufig angewendete Variante gezeigt. Derartige Kombinationen von Maschine-Industrieroboter und Peripherie werden auch als technologische Einheiten (TE) bezeichnet. Im vorliegenden Fall besteht sie aus 2 Futterteildrehmaschinen DF 2 NC/B, dem Industrieroboter IR 2/S II und 2 Werkstückspeicher, die auf Palettentakteinrichtungen montiert sind.

In dieser TE ist es möglich, die Komplettbearbeitung eines Werkstückes sowie die Bearbeitung verschiedener Lose vorzunehmen. Die elektrische Verknüpfung der einzelnen Elemente sorgt für den notwendigen Signalaustausch.

Mit der in der Abbildung 18 dargestellten technologischen Einheit können kurze rotationsymmetrische Teile im Durchmesserbereich von 60 bis 220 mm bearbeitet werden. Bei der Wahl der Losgrößen ist darauf zu achten, daß mehr als 50 Teile vorhanden sind und daß die Bearbeitungszeit bei beiden Maschinen etwa gleich ist (nicht größer als 1 Minute), um größere Stillstandszeiten zu vermeiden.

Die komplette Bearbeitung in dieser TE hat für ein Werkstück folgenden Ablauf (IR mit Doppeltgreifer):

- . Entnahme eines Rohteiles aus dem Speicher 1
- . Schwenken des Roboters zur 1. Werkzeugmaschine
- . Entnehmen des angearbeiteten Werkstückes aus der Werkzeugmaschine
- . Einlegen des Rohteiles in die Werkzeugmaschine
- . Schwenken des Roboters zur 2. Werkzeugmaschine
- . Entnehmen des fertigbearbeiteten Werkstückes aus der Werkzeugmaschine
- . Einlegen des angearbeiteten Werkstückes in die Werkzeugmaschine
- . Schwenken des Roboters zu Speicher 1
- . Ablegen des fertigbearbeiteten Werkstückes in Speicher 2

Die Werkstückspeicher sind in 6 Ebenen eingeteilt. Pro Ebene können 6 bzw. 12 Werkstücke untergebracht werden. Durch eine Takteinrichtung wird das entsprechende Werkstück in Abnahmeposition zum Roboter gebracht. Die verschiedenen Ebenen werden durch den Roboter angefahren.

- Erreichte Effekte

In 7 verschiedenen Industriekombinaten der DDR wurden 13 IR 2/S II - Typeneinsatzfälle nach einer einheitlichen Methode ökonomisch bewertet.

Ökonomische Effekte:

- Steigerung der Arbeitsproduktivität um 20 ... 50 %
- Freisetzung von Arbeitskräften (1,0 ... 3,0 Arbeitskräfte/Industrieroboter)
- Erhöhung der Maschinenauslastung um 20 %
- Erhöhung der kollektiven Mehrmaschinenbedienung

soziale Effekte:

- Verringerung von monotonen Arbeitsverrichtungen
- Beseitigung von Quellen für Verletzungsgefahren der Arbeitskraft
- weiteres Herauslösen der Arbeitskraft aus den Arbeitsrhythmus der Maschinen

Im Abschnitt 3 sind in der Tabelle 2 auch maschinenintegrierte Industrieroboter aufgeführt. An dieser Stelle soll auf diese recht häufig angewendete Technik nur hingewiesen werden. Abb. 19 zeigt einen prozessspezifischen Industrieroboter der maschinenintegriert ist. Der mit der Drehmaschine integrierte Roboter führt lediglich Schwenkbewegungen zwischen Werkstückspeicher und Spannfutter der Maschine aus.

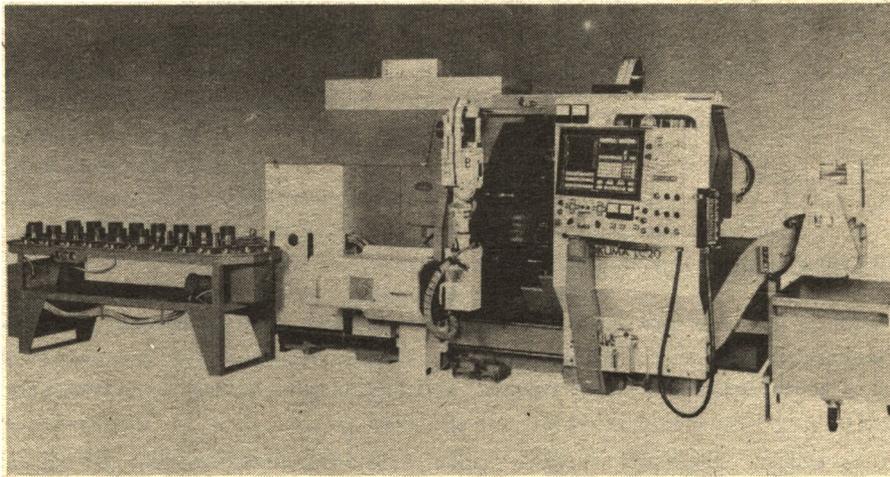


Abb. 19: Maschinenintegrierter Industrieroboter

4.2. Technologische Industrieroboter

Industrieroboter dieser Gruppe werden eingesetzt zur Durchführung technologischer Grundarbeitsgänge wie Schweißen, Farbspritzen, Strahlen, Entgraten, Ausschneiden, Prüfen und Montageoperationen. Das Ziel des Einsatzes besteht hierbei in der Beseitigung sehr einseitiger Tätigkeiten, aber auch in der automatischen Realisierung vorwiegend gesundheitschädigender und gefährlicher Arbeitsverrichtungen.

Bei der Durchführung der entsprechenden Arbeitsoperation wird das jeweilige Arbeitsorgan (Farbspritzpistole, Schweißzange ...) am Greiferkopf angeflanscht. Bereits aus einer oberflächlichen Betrachtung ist erkennbar, daß eine Führung der Werkzeuge häufig aus recht komplizierten Bahnen erforderlich ist und daß hohe Anforderungen an die Positionier- und Wiederholgenauigkeit gestellt werden. Darin eingeschlossen ist auch das Aufnehmen und Ablegen sowie das Führen verschiedener Werkzeuge.

Einige Beispiele mögen das verdeutlichen.

1. Beispiel: Farbspritzen durch Industrieroboter

Vor der Einführung automatisierter Verfahren der Farbgebung (elektrostatisches Spritzen, Tauchlackieren u. a.) hatte der Mensch die Aufgabe, den Spritzvorgang mittels Spritzpistole in einer Kabine vorzunehmen. Aber auch nach der Einführung der genannten Verfahren blieben ihm derartige Aufgaben, denn die Geometrie bestimmter Teile ergab oft ungenügende Spritzergebnisse, so daß entweder der Mensch nachbessern mußte oder von vornherein diese Aufgabe übernahm. Neben der Monotonie einer solchen Arbeit speziell in der Massenfertigung konnte die Gesundheitsgefährdung trotz Schutzmaßnahmen (Maske, Belüftung, Änderung der Druckverhältnisse in der Kabine) nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Mit dem Einsatz von Industrierobotern für diese Tätigkeiten konnte der Mensch endlich entlastet werden.

Wie sieht nun diese Aufgabe für den Industrieroboter aus? Zunächst sei nur für eine Ebene der Verlauf einer möglichen Führbewegung der Spritzpistole dargestellt (Abb. 20).

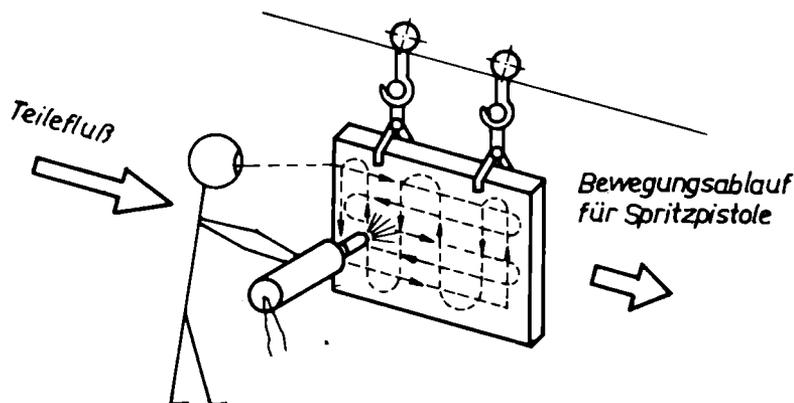


Abb. 20: Führbewegung beim Farbspritzen

Man erkennt in der Abbildung 20 eine zusammengesetzte Bewegung mit nichtlinearem Charakter. Bedenkt man noch, daß das Heranführen der Spritzpistole an das Werkstück sowie das "Abstandhalten" dazukommen, so kommt eine komplizierte Steuerbewegung und damit eine hohe Anforderung an die Steuerung zustande.

Das ist jedoch noch nicht alles. Schon die Vorgabe eines zu spritzenden Werkstückes mit Durchbrüchen und Hohlräumen, Seiten-, Boden- und Deckenflächen, evtl. noch unter verschiedenen Winkeln abgelenkt, kompliziert die Aufgabe erheblich. Würde man auf einem nachleuchtenden Bildschirm den hierzu notwendigen Bewegungsablauf verfolgen, so würden ineinander verschlungene Linienzüge entstehen, die sich nur mühsam einer exakten Deutung und damit einer steuerungstechnischen Aufbereitung zuordnen ließen.

Man stand also vor der Frage, wie ein solcher Roboter aufzurüsten sei? Zunächst mußte ein Greiferführungsgetriebe eingesetzt werden, das weitgehend die Beweglichkeit der menschlichen Hand imitierte. Dann war zu klären, ob es wirklich sinnvoll sei, den erwähnten in sich verschlungenen Li-

nienzug so zu zerlegen, daß eine punktweise Koordinatenänderung in 3 Ebenen aufgelistet und in die Steuerung einprogrammiert wird. Man fand einen anderen Weg, es wurde die "teach-in-Programmierung" weiterentwickelt und angewendet. Besonders geeignet ist das "direkte Teach-in". Es ermöglicht die Speicherung der einzelnen Bewegungsabläufe im playback-Verfahren. Bei diesem Verfahren führt der Mensch den Greifer entsprechend dem Handhabungsprogramm (Sollwertprogramm). Dabei werden die Wegpositionen (Sollwerte) durch die in den Linearachsen (Schiebeachsen) und Drehgelenken (Drehachsen) eingebauten Wegmeßsysteme erfaßt. Die von ihnen gebildeten Signale werden abgespeichert. Das Programm liegt somit im Speicher fest, die Sollwertbildung ist erfolgt.

Im "Automatik-Betrieb" übermittelt nunmehr der Steuerrechner laufend den Achsantrieben die Achssollwerte (Führungsgrößen). Das hat zur Folge, daß der gesamte Bewegungsablauf genau so durchgeführt wird, wie ihn zuvor der Mensch vorgegeben hat.

Voraussetzung dafür ist jedoch wiederum die Rückkopplung, die durch Wegmeßsysteme ermöglicht wird. Die erfaßten Werte (Istwerte) werden ständig mit den abgespeicherten Sollwerten verglichen. Entsprechend den errechneten Abweichungen erfolgt über die entsprechenden Antriebe eine Korrektur der Greiferbewegung. Nun ist der gesamte Ablauf natürlich nicht beendet, denn wir müssen bedenken, daß eine Bewegung "längs einer Bahn" mit unendlich vielen Raumpunkten ständige Veränderungen im Soll-Istwert-Vergleich erzeugt, so daß der Beobachter die Achsantriebe ständig arbeiten sieht und den Eindruck eines kontinuierlichen Bewegungsablaufes gewinnt.

Es ist leicht zu erkennen, daß man zum Ablegen derartig vieler Raumpunkte im Speicher eine sehr hohe Anzahl von Speicherplätzen benötigt und daß die hohen Anforderungen an die Steuerung künftig nur durch moderne Mikrorechner realisiert werden können. So besitzt der Informationsspeicher eines im VEB Sachsenring Automobilwerke Zwickau im Einsatz befindlichen Farbspritzroboters mit 6 Freiheitsgraden ein Speichervolumen von 3,2 Millionen Informationen pro Magnetplatte. Für eine einwandfreie "Qualitätsarbeit" dieses Industrieroboters ist es beispielsweise erforderlich, daß alle 6 Bewegungsachsen pro Sekunde 40mal "abgefragt" und für jede dieser Informationen 20 Bit gespeichert werden /vgl. 27, S. 30/.

Zur Realisierung in der Praxis

Farbspritzroboter "TRAFFLA"

Der Industrieroboter wurde für das Spritzgrundieren der PKW-Trabant Karosserie im VEB Sachsenring Automobilwerke Zwickau eingesetzt.

- Charakterisierung des alten Arbeitsplatzes

Die PKW-Trabant-Karosserie wurde in einer Taktstraße von 6 Arbeitskräften im Wechsel farbgrundiert (ca. 17 m² Oberfläche). Das manuelle Spritzen garantierte keine gleichmäßige Oberflächenqualität. Ursachen dafür waren:

- Konzentrationschwächen durch schlechte Arbeitsbedingungen (besonders gegen Ende einer Schicht und in der Nachtschicht)
- Schadstoffbelastung
- Tragen der Atemschutzmaske
- ungleiches Führen der Farbspritzpistole

Auswirkungen dieser schlechten Arbeits- und Lebensbedingungen waren:

- über den Durchschnitt des Betriebes liegender Krankenstand dieses Arbeitsbereiches (Arbeitskräfte erkrankten häufig an Luftwegen und Atmungsorganen)
- Berufskrankheiten
- große Arbeitskräftefluktuation trotz vieler sozialer Vergünstigungen (wie arbeitsbedingte Zusatzpausen, Zusatzurlaub, Mehrleistungslohn u. a.).

Dieser Arbeitsplatz war über viele Jahre hinweg "Schwerpunktplatz" des Betriebes. Häufig entstanden hier auch Störungen im Fertigungsablauf der Trabantherstellung.

- Charakterisierung des neuen Arbeitsplatzes

Das Spritzgrundieren wird am neuen Arbeitsplatz mit zwei Farbspritzroboter TRAFFLA mit mikroelektronischen, (teach-in), programmierbaren Bahnsteuerungen realisiert. Die Roboter spritzen 16 m² der Oberfläche (außen und innen) an der Trabantkarosserie, 1 m² muß noch manuell gespritzt werden (Motor- und Kofferraum). Die Roboter schaffen die Tagesleistung für die Trabantproduktion in 2 Schichten bei gleichmäßig guter Oberflächenqualität. Der Einsatz der 2 TRAFFLA-Roboter führte einerseits zu einem erhöhten Farbstoffverbrauch (gleichmäßig dicke Farbschicht), was andererseits aber zu einer Erhöhung der Gebrauchseigenschaften führte.

5. Aufbau von Industrierobotern

5.1. Hauptbaugruppen des Industrieroboters

Der Aufbau von Industrierobotern wird durch eine Reihe technischer, technologischer und ökonomischer Kriterien bestimmt. Sie werden in erster Linie abgeleitet aus den Einsatzbedingungen und den zu erfüllenden Aufgaben. Zu den entscheidenden Einflußfaktoren gehören sowohl für den Gesamtaufbau, als auch für die Auswahl der einzelnen Hauptbaugruppen eines Industrieroboters

- die konkreten Arbeitsoperationen, wie beispielsweise Beschicken, Farbspritzen, Schweißen und Montagearbeiten (vgl. 4.1. - 4.2.) sowie
- die Masse, Form und Abmessungen der zu handhabenden Teile, ihr physikalischer Zustand, die erforderliche Arbeitsgeschwindigkeit und die Genauigkeit der Bewegungen
- Arbeitsgeschwindigkeit des Greifers
- Genauigkeit der Bewegungen.

Zu den Hauptbaugruppen eines Industrieroboters können gehören das Greiferführungsgetriebe, der Greifer, das Wegmeßsystem, das Erkennungssystem, die Steuerung und die Antriebe.

Der Leistungs- und Informationsfluß beim Zusammenwirken dieser Hauptbaugruppen läßt sich anschaulich durch ein Blockbild (Abb. 30) darstellen /vgl. 31, S. 25/.

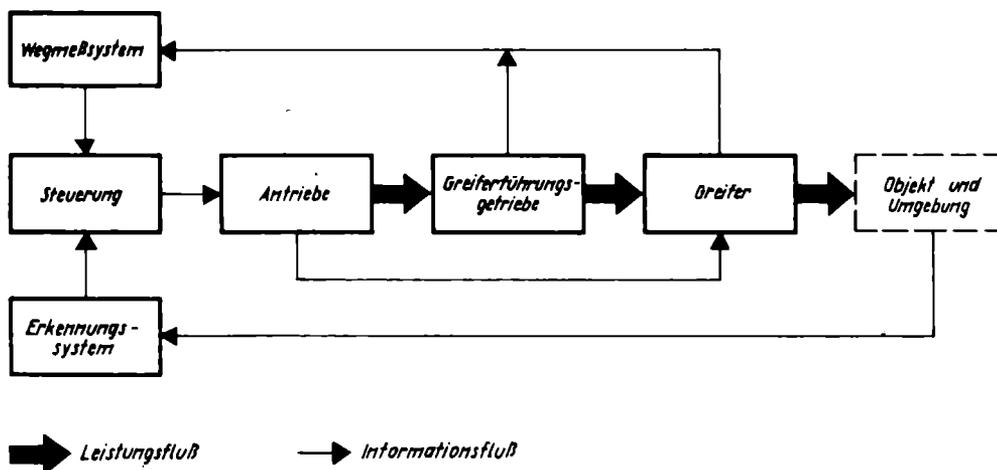


Abb. 30: Zusammenwirken der Hauptbaugruppen eines Industrieroboters

Aus technologischen Forderungen der Anwender und ökonomischen Aspekten der Herstellung von Industrierobotern ergeben sich zwei Tendenzen

- die Entwicklung eines Industrieroboters in Kompaktbauweise und
- die Entwicklung eines Bausteinsystems für Industrieroboter.

Beide Varianten grenzen sich in erster Linie durch die unterschiedliche Gestaltung der Greiferführungsgetriebe der Industrieroboter ab. Ein sogenanntes Bausteinsystem hat sich teilweise, wenn auch nicht so deutlich erkennbar, ebenfalls für andere Hauptbaugruppen entwickelt (z. B. austauschbare Greifer).

Der technisch-ökonomische Einsatz der Industrieroboter-Variante in Kompaktbauweise ist nur dann effektiv, wenn eine optimale Anpassung des zu realisierenden Handhabungsprozesses an die Kompaktstruktur vorgenommen werden kann bzw. wenn alle installierten weiteren Hauptbaugruppen (Wegmeßsysteme, Antriebe ...) und deren Parameter (Positioniergenauigkeit, Arbeitsraum, Arbeitsgeschwindigkeit ...) in vollem Umfang genutzt werden können. Zum Beispiel ist eine optimal ausgelegte Kompaktbauweise für den Einsatz zum Farbspritzen technisch-ökonomisch von Bedeutung. Hingegen ist für den Einsatz der Industrieroboter in der Werkstückhandhabung besonders bei der Bedienung von spanenden und umformenden Werkzeugmaschinen, Plastspritzgießmaschinen und Stapelprozessen im Maschinenbau sowie für die Durchführung von Handhabungen in Montageprozessen die Anwendung eines modularen Bausteinsystems technisch-ökonomisch begründet. Mit dem Bausteinsystem

lassen sich dann unterschiedliche Ausführungsvarianten einschließlich der maschinenintegrierten Industrieroboter für eine optimale Einordnung in technologische Prozesse realisieren /vgl. 32, S. 202/.

Forderungen, Erfahrungen und Ergebnisse der Arbeit bei der Entwicklung eines Bausteinsystems am Beispiel der Schweißroboter werden in /33/ "Roboter aus dem Baukasten" und in /34/ "Schweißroboter aus dem Baukasten" ausführlich dargestellt.

5.2. Greiferführungsgetriebe

Zum Greiferführungsgetriebe eines Industrieroboters gehören alle mechanischen Baugruppen, die eine Bewegung des Greifers ermöglichen. Zu ihnen gehören

- das Gestell
- die Lineareinheiten (Schiebeachse S) und
- die Dreheinheiten (Drehachsen D).

Alle nicht in der Maschine integrierten Industrieroboter stellen eine selbständige Einheit dar und benötigen daher ein Gestell zur Aufnahme weiterer Baugruppen. Das Gestell kann feststehend bzw. verfahrbar sein. Für die Anordnung der Gestelle haben sich in Abhängigkeit von den konkreten Einsatzbedingungen des Industrieroboters folgende Anordnungsmöglichkeiten herausgebildet:

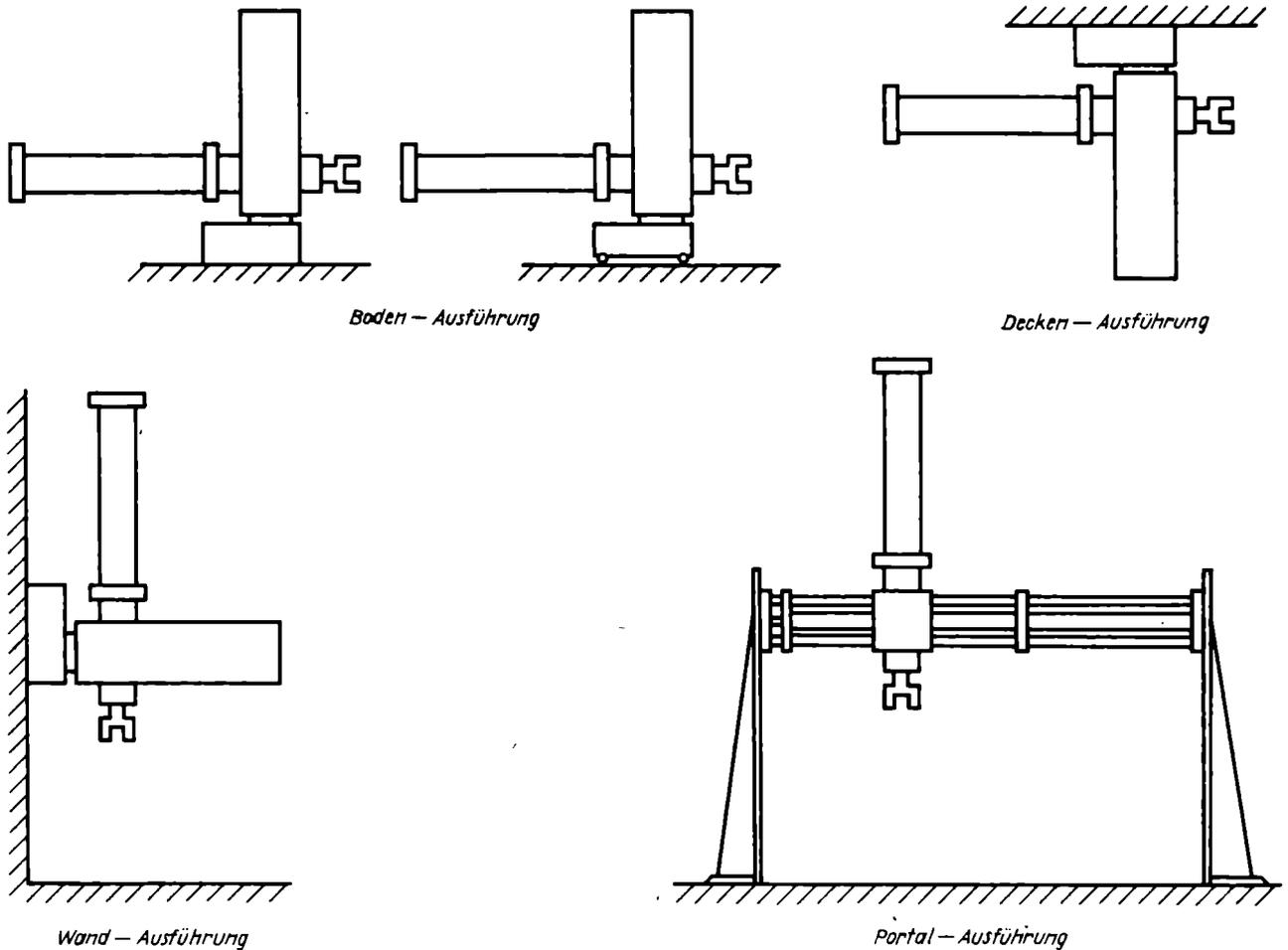


Abb. 31: Möglichkeiten der Anordnung von Industrierobotern

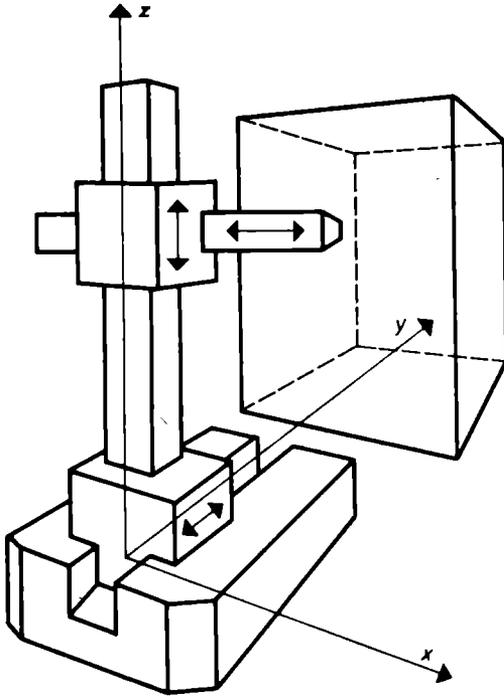
Durch die Linear- und Dreheinheiten werden die einzelnen Translations- und Rotationsbewegungen erzeugt. Aus der Kombination dieser Einheiten entstehen dann die unterschiedlichsten Arbeitsräume.

Eine ausführliche Darstellung unterschiedlicher Arbeitsräume durch die Kombination mehrerer Schiebeachsen (S) und Drehachsen (D) sowie Gestaltungsvarianten von Greiferführungsgetrieben erfolgt in /vgl. 31, S. 26-49/. Ein zusammenfassender Überblick wird durch die Darstellung der Kombinationsmöglichkeiten (Strukturvarianten) gegeben /vgl. 32, S. 202/.

Schiebeachsen S	3	2	1	0
Drehachsen D	0	1	2	3
Strukturvarianten	S S S	S S D	S D D	D D D
Koordinaten Arbeitsraum	 <i>Kartesische Koordinaten</i>	 <i>Zylinder- koordinaten</i>	 <i>Kugel- koordinaten</i>	 <i>Winkel- koordinaten</i>

Abb.32 Kombinationsmöglichkeiten von Schiebe- und Drehachsen

- Strukturvariante Schieben-Schieben-Schieben/SSS/



Industrieroboter dieses Typs finden vorzugsweise für einfache Beschickungsaufgaben Verwendung. Der Greifer führt Translationsbewegungen in x-, y- und z-Richtung durch. Der dadurch erzeugte Arbeitsraum hat kartesische Koordinaten.

Abb. 33: Struktur SSS

- Strukturvariante Schieben-Schieben-Drehen /SSD/

Derartig gestaltete Roboter beherrschen nicht nur den Platz vor der Werkzeugmaschine, sondern können durch die Drehung auch Bereitstellplätze bedienen, die hinter ihnen liegen. Die Flexibilität ist gestiegen. Der Greifer führt Translationsbewegungen in z- und x-Richtung aus sowie Rotationsbewegungen um die Z-Achse. Der dadurch erzeugte Arbeitsraum hat Zylinderkoordinaten.

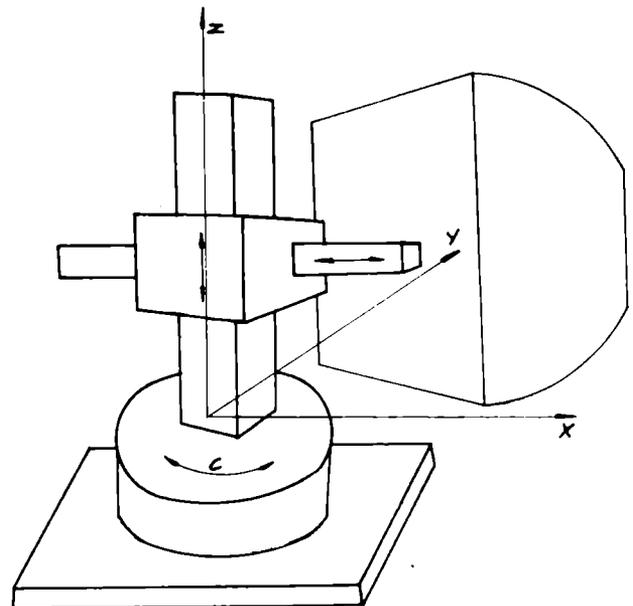


Abb. 34: Struktur SSD

- Strukturvariante Schieben-Drehen-Drehen
/SDD/

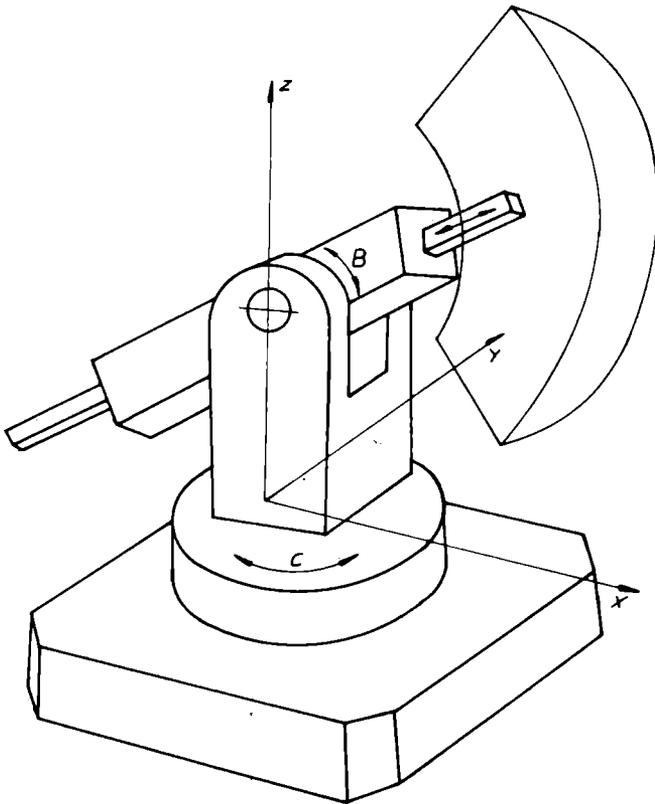


Abb. 35: Struktur SDD

- Strukturvariante Drehen-Drehen-Drehen
/DDD/

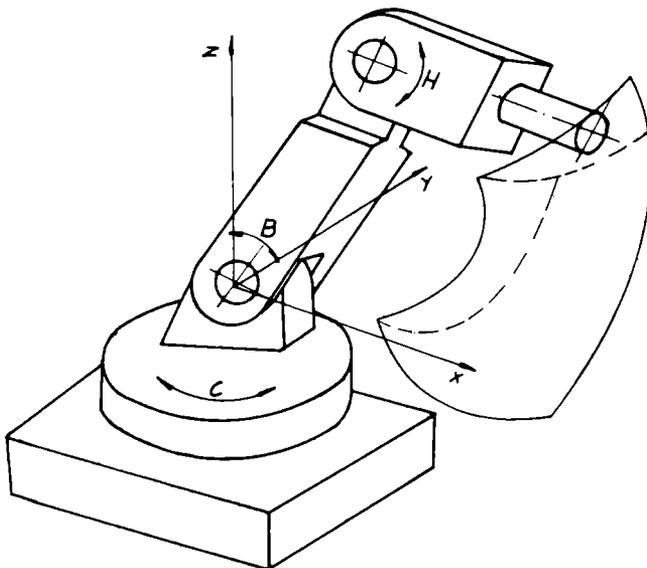


Abb. 36: Struktur DDD

Das Zuordnen einer weiteren Drehung erhöht die Flexibilität deutlich. Ein derartiger Roboter könnte bereits als technologischer Roboter Einsatz finden. Der Greifer führt eine Translationsbewegung in x-Richtung und Rotationsbewegungen um die Y- und Z-Achse durch. Der dadurch erzeugte Arbeitsraum wird aus Kugelkoordinaten gebildet.

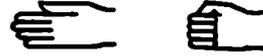
Durch Hinzunahme einer weiteren Drehung ist höchste Flexibilität erreicht. Roboter dieses Type sind in der Lage, sowohl komplizierteste Beschichtungsaufgaben als auch technologische Handhabungsaufgaben durchzuführen. Der Greifer führt Rotationsbewegungen um die Y-, Z- und Q-Achse durch, also B-, C- und H-Drehung. Der dadurch erzeugte Arbeitsraum wird aus Winkelkoordinaten gebildet.

- Wir drehen unsere Hände im Gelenk um die
Armachse



⑥ Drehen der Hand um die Armachse

- Wir öffnen und schließen unsere Hände



⑦ Öffnen und Schließen der Hand

Die Übertragung dieser Bewegungen durch entsprechende Drehgelenke auf den Industrieroboter würde ihm eine sehr hohe Bewegungsfreiheit ermöglichen. Im Bild 8 sind entsprechende Beziehungen erkennbar. Die Buchstaben bedeuten definierte Drehungen um die jeweiligen Achsen.

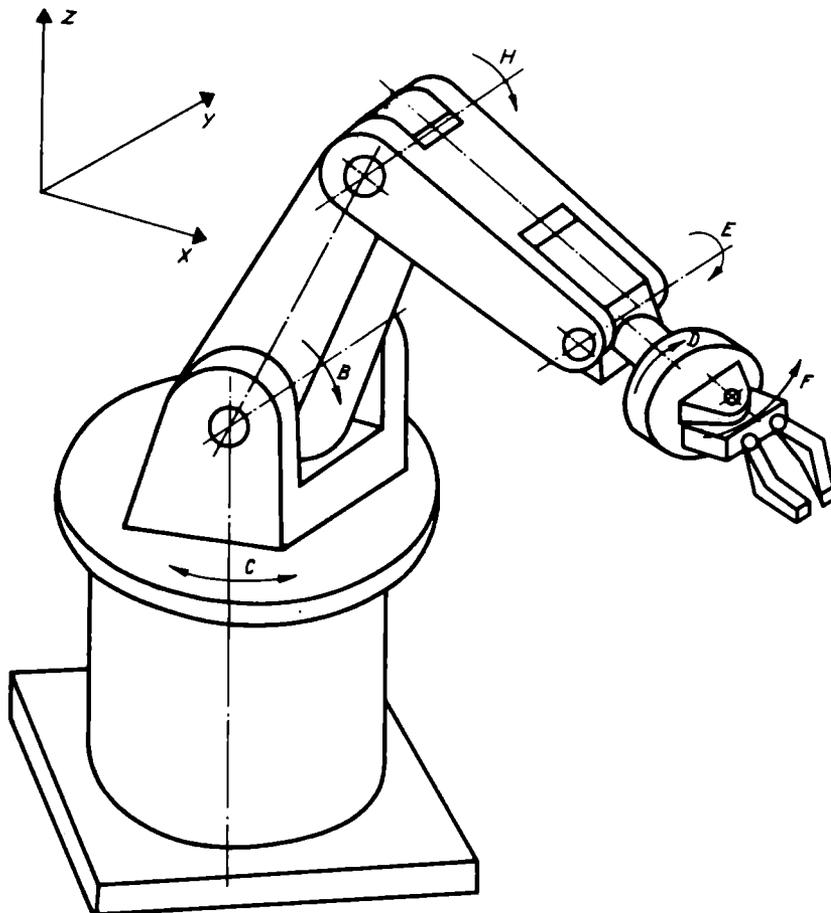


Abb. 8: Kennzeichnung von Drehbewegungen

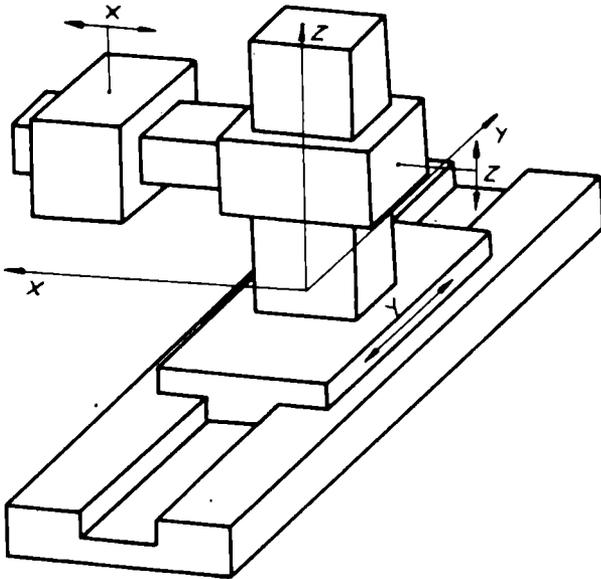


Abb. 9: Kennzeichnung von geradlinigen Bewegungen

Bezeichnung der Achsen (Bewegungen und Achsen werden mit großen Buchstaben bezeichnet)

Die Achsen der Grundeinrichtung (Greiferführungsgetriebe) werden mit den Buchstaben X, Y und Z bezeichnet. Dabei sind folgende Bedingungen zu beachten:

- die X-Achse liegt immer horizontal in der Ebene des Greifarmes, wenn dieser in Mittelstellung steht,
- die Y-Achse liegt horizontal - im rechten Winkel zur X-Achse,
- die Z-Achse ist immer vertikal und steht senkrecht auf der X- und Y-Achse.

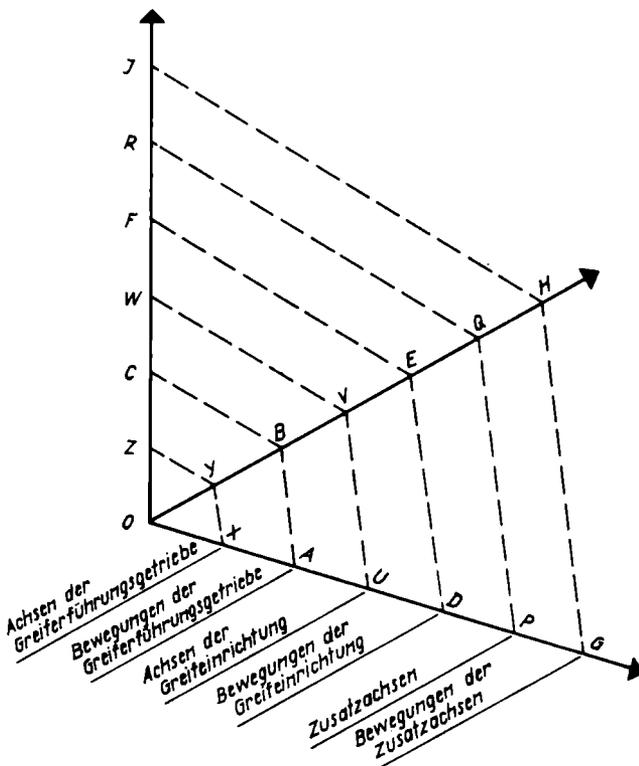


Abb. 10: Zusammenstellungen der Achsen und Bewegungen am Industrieroboter

Eine Sonderstellung nehmen die geradlinigen Bewegungen ein, denn viele Industrieroboter mit geringer Flexibilität führen fast ausschließlich Translativbewegungen aus (Abb. 9). Hier haben wir nur eine schwache Übereinstimmung mit den menschlichen Bewegungsabläufen, denn es ist erstens sehr selten, daß wir unsere Extremitäten nur translativ bewegen und zweitens verleihen uns unsere Gelenke, Bänder und Muskeln jene Beweglichkeit die die Eleganz unserer Bewegungsabläufe ausmachen und die es ermöglichen, jeden beliebigen Raumpunkt in unserer Reichweite optimal "anzufahren".

Die Achsen sowie die translatorischen und rotatorischen Bewegungsmöglichkeiten des Industrieroboters werden in Anlehnung an die TGL 24 319 Werkzeugmaschinenkoordinatenachsen und Bewegungsrichtungen gekennzeichnet. Grundlage bildet dabei das rechtwinklige kartesische Koordinatensystem /vgl. 25, Anlage 3/.

Analog erfolgt auch die Bezeichnung der Achsen der Greifeinrichtung. Sie liegen parallel zu den Achsen der Grundeinrichtung und werden wie folgt definiert:

- U-Achse parallel zur X-Achse
- V-Achse parallel zur Y-Achse
- W-Achse parallel zur Z-Achse

Sind noch weitere Achsen (Zusatzachsen) vorhanden, werden die Buchstaben P, Q und R verwendet. Diese Achsen liegen auch parallel zu den Achsen der Grundeinrichtung.

Bezeichnung der Drehbewegungen

Die Drehbewegungen um die entsprechenden Achsen werden ebenfalls mit Buchstaben gekennzeichnet. Dabei bedeutet bei der Grundeinrichtung

- Rotation um die X-Achse = A (Drehen)
- Rotation um die Y-Achse = B (Neigen)
- Rotation um die Z-Achse = C (Schwenken).

Die Drehbewegungen der Greifeinrichtung um die Achsen U, V und W werden wie folgt bezeichnet:

- Rotation um die U-Achse = D (Drehen)
- Rotation um die V-Achse = E (Neigen)
- Rotation um die W-Achse = F (Schwenken)

Für die Drehbewegungen um die entsprechenden Zusatzachsen werden die Buchstaben G, H und J verwendet.

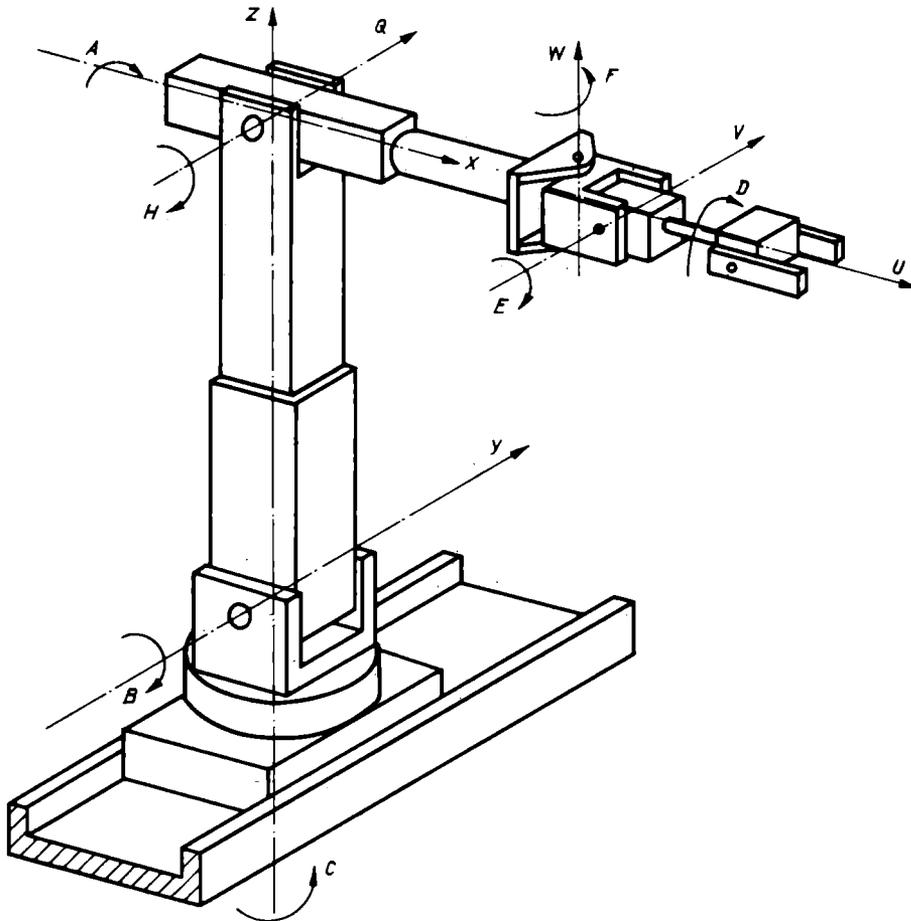


Abb. 11: Translatorische und rotatorische Bewegungen am Industrieroboter

Die Lage der einzelnen Achsen eines Industrieroboters zueinander sowie die Zuordnung der entsprechenden Drehbewegungen lässt sich durch die Zusammenstellung (S. 20) sowie die Abbildungen 10 und 11 anschaulich darstellen.

4. Einsatzbeispiele für Industrieroboter

4.0. Vorbemerkungen

Entsprechend 3.1. lassen sich Industrieroboter nach der Art der zu lösenden Aufgaben in zwei Hauptgruppen einordnen. Industrieroboter zur Realisierung von Beschickungsaufgaben (Beschickungsroboter) und Industrieroboter zur Lösung technologischer Arbeitsgänge (technologische Roboter).

An den folgenden Beispielen soll nicht nur der Unterschied beider Robotertypen gezeigt, sondern auch der Zusammenhang von Roboter und Peripherie bei der Lösung unterschiedlichster Aufgaben deutlich gemacht werden. Dabei wird auch auf die Abhängigkeit der Flexibilität und der Kosten eines Industrieroboters von der jeweiligen Peripherie hingewiesen. An ausgewählten Beispielen aus der Praxis wird der Einsatz in der Produktion kurz skizziert.

In einem selbständigen Abschnitt wird auf unterschiedliche Varianten des Industrierobotereinsatzes hingewiesen. Im Mittelpunkt steht dabei der Einsatz in der Kombination Maschine-Industrieroboter-Peripherie innerhalb einer Technologischen Einheit, deren Entwicklungstendenzen und entsprechende Hinweise zur Anwendung in der Praxis.

Die Roboter arbeiteten während des vierjährigen Betriebseinsatzes absolut zuverlässig (Verfügbarkeit 95 Prozent). Diese hohe Verfügbarkeit ist damit zu begründen, daß die 3. Schicht ausschließlich für die Wartung und Instandhaltung genutzt wird.

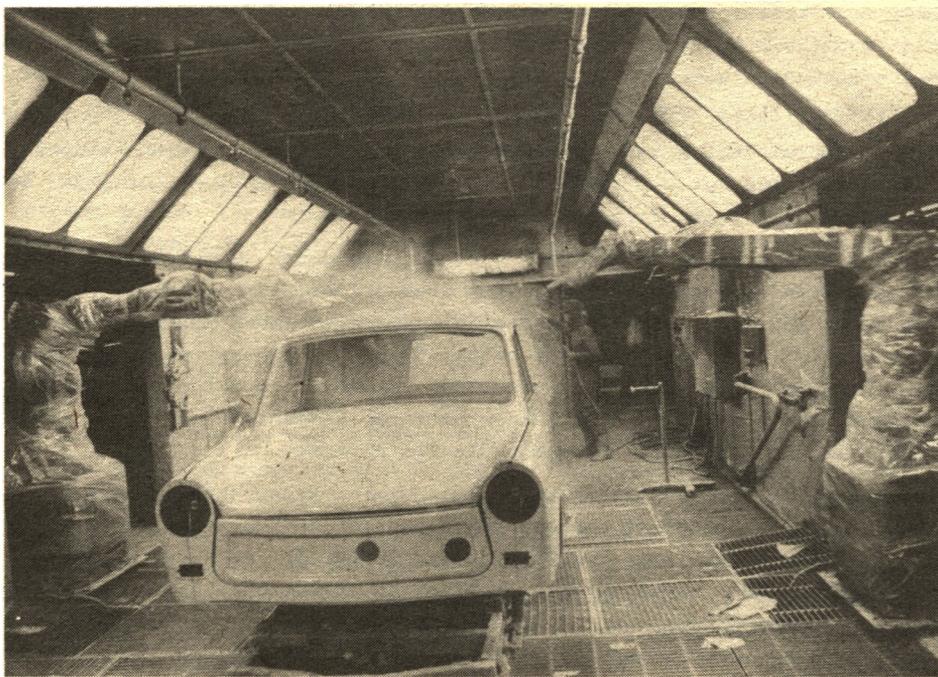


Abb. 21: Industrieroboter beim Farbspritzen

- Erreichte Effekte

Ökonomische Effekte:

- Steigerung der Arbeitsproduktivität um 100 Prozent
- Freisetzung von 5 Arbeitskräften (wurden im Rationalisierungsbau eingesetzt)
- Verringerung der Nacharbeit durch Verringerung von Reklamationen
- Erhöhung der Gebrauchseigenschaften (Verlängerung des Zeitraumes für Zweitspritzung)
- Einsparung von Kosten für Erschweriszusohläge

soziale Effekte:

- Beseitigung der Schadstoffbelastigung (für die Mehrzahl der Arbeitskräfte)
- Beseitigung monotoner Arbeit
- Verbesserung der Arbeitsbedingungen der Werkstätigen

2. Beispiel

Punktschweißen durch Industrieroboter

Beim Punktschweißen sind entlang einer Bahn Schweißpunkte zu setzen. Es kommt in erster Linie darauf an, daß die vorgegebenen Positionswerte genau und schnell erreicht werden (Abb. 22). Im Gegensatz zu kontinuierlichen Bewegungsabläufen wie beispielsweise beim Farbspritzen und Lichtbogenschweißen, bei denen die direkte-teach-in-Programmierung angewendet wird, kommt hier das "indirekte-teach-in" zum Einsatz. Bei diesem Verfahren der Programmierung werden diskrete Punkte der Bahnbewegung in den Arbeitsspeicher gegeben. Das Werkzeug des Roboters wird in die entsprechende Position gefahren und die erreichten Koordinaten durch Betätigung eines Bedienpanels in den Speicher übernommen. Die Werte der Koordinaten werden auch hier von den sich an den Roboteraachsen befindlichen Weggebern bereitgestellt.

Zur Realisierung in der Praxis

Punktschweißroboter "ZIS 986"

Der Industrieroboter wurde für das Punktschweißen der Verbindung zwischen der hinteren Radschale und der Stoßdämpferabstützung beim PKW Trabant im VEB Sachsenring Automobilwerke Zwickau eingesetzt.

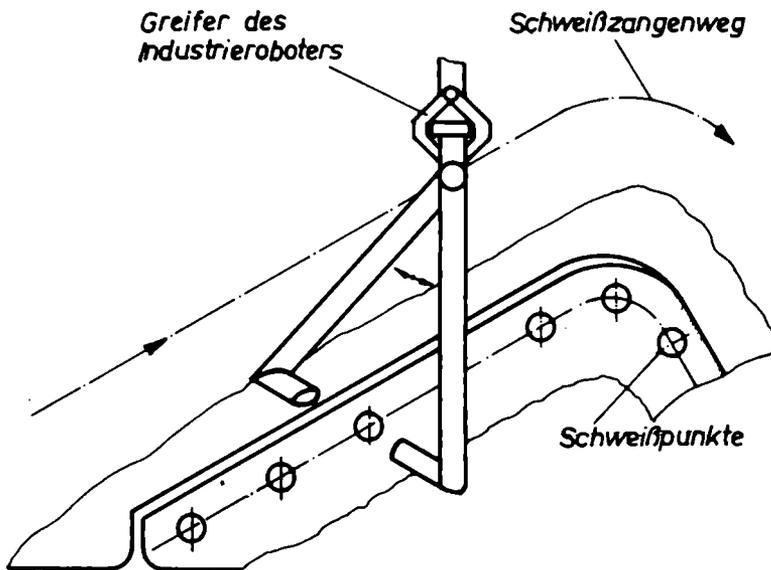


Abb. 22: Anfahren der Bahnpunkte beim Punktschweißen

- Charakterisierung des alten Arbeitsplatzes

Die hinteren Radschalen wurden manuell durch eine Arbeitskraft geschweißt. Durch den strengen Arbeitstakt bei der Trabant-Karosseriefertigung mußten in 50 Sekunden ca. 60 Schweißpunkte gesetzt werden.

Zu den Arbeitsverrichtungen gehörte neben dem Schweißen auch das Entnehmen und Ablegen der Teile aus einer Palette. Dieser Platz stellte extreme Forderungen an den Werk tätigen (maximale Belastung, einseitige Körperbelastung und Toxizität). Hier waren die Arbeitsbedingungen der Ausgangspunkt für den ständigen Wechsel der Arbeitskräfte an diesem Arbeitsplatz. Der Arbeitsplatz wurde von der Mehrzahl der Arbeitskräfte abgelehnt. Nur durch materielle und soziale Vergünstigungen konnten Arbeitskräfte gewonnen werden.

- Charakteristik des neuen Arbeitsplatzes

Das Punktschweißen am neuen Arbeitsplatz wird von einem Industrieroboter übernommen. Das Einlegen der Teile in einen Rundschalttisch erfolgt manuell. Das Ablegen der Teile in eine Palette erfolgt automatisch.

Der Punktschweißroboter ZIS 986 besitzt 2 parallel geführte Punktschweißzangen mit einer Arbeitsgeschwindigkeit von 60 Punkten in 50 s. Seine Wiederholungsgenauigkeit beträgt ± 1 mm. Der Roboter arbeitet in Verbindung mit einem 2-Stationen-Rundschalttisch. Er schafft die Tagesleistung (Doppelzange) in 2,5 Schichten. Die restliche Arbeitszeit kann somit für eine planmäßige vorbeugende Instandhaltung und Wartung genutzt werden.

- Erreichte Effekte

ökonomische Effekte

- Steigerung der Arbeitsproduktivität auf 129 Prozent
- Erhöhung der Gebrauchseigenschaften durch Verbesserung der Qualität
- Störungsfreier Produktionsprozeß
- Senkung der Herstellungskosten um ca. 18 Prozent

soziale Effekte:

- Beseitigung von körperlich anstrengender Arbeit
- Beseitigung von monotoner Arbeit durch Wegfall des strengen Arbeitstaktes
- Wegfall des Arbeitskräfteproblems
- Verbesserung der Arbeits- und Lebensbedingungen für insgesamt 4 Arbeitskräfte

3. Beispiel

Einsatz von Industrierobotern für Montageprozesse

Bei Montageprozessen wird in der Regel mit Werkstücken und Werkzeugen hantiert. Die Anforderungen an den Industrieroboter werden in erster Linie durch die Anzahl und Form der zu fügenden Teile sowie die vorhandenen Passungen bestimmt. Letzteres Kriterium ist auch entscheidend, ob eine Montage ohne Erkennungssystem überhaupt noch möglich ist, da dem Industrieroboter ohne Sensoren technisch bedingte Grenzen gesetzt sind. Hier wird die Ausrüstung mit taktilen und optischen Sensoren Voraussetzung für den Einsatz, da die mangelnde Positioniergenauigkeit der Industrieroboter (durchschnittlich $\pm 0,5$ bis max. $\pm 0,2$ mm) für die automatische Durchführung von Fügevorgängen nicht ausreichend ist.

Montageroboter müssen, durch die Technologie und Gestalt der Teile bedingt, häufig Grob- und Feinbewegungen ausführen. Teilweise erfolgt bereits der Einsatz von "Hilfsrobotern", die das Positionieren der Teile in der eigentlichen Montageebene übernehmen.

Zur Veranschaulichung einiger wesentlicher Probleme und Schwierigkeiten bei Montageprozessen durch Industrieroboter soll der folgende Fall aufgegriffen werden. Es sind zwei Flanschstücke zu montieren. Dabei müge zur besseren Zentrierung der eine Flansch einen Ansatz und der andere eine entsprechende Eindrehung haben (vgl. Abb. 23).

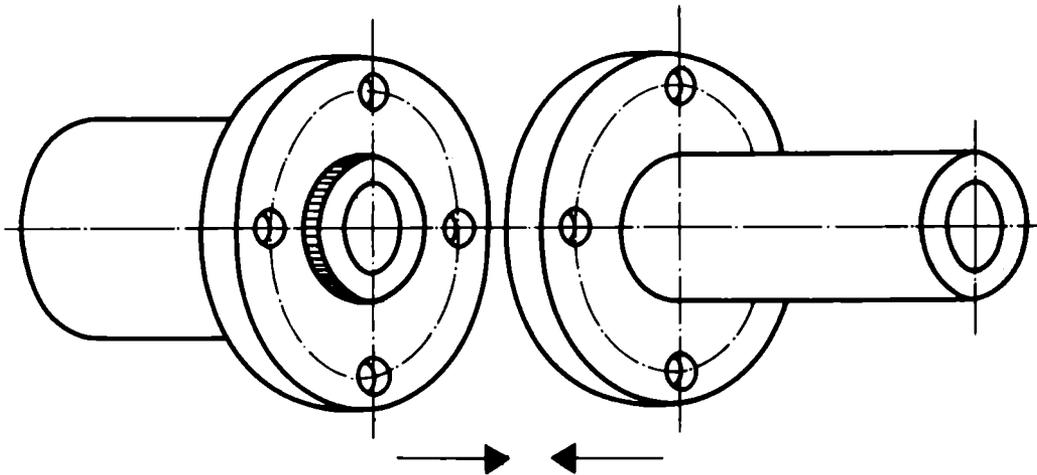


Abb. 23: Flanschteile für Montageprozeß

Wie würde der Mensch vorgehen?

Er würde

- beide Flanschteile auf dem Montageplatz zusammensetzen
- auf vier Sechskantschrauben vier Unterlegscheiben aufsetzen und
- die Schrauben in die Bohrungen der Flanschteile einziehen. Als nächstes würde er wiederum
- vier Unterlegscheiben aufsetzen und
- vier Sechskantmuttern mit einer leichten Drehung aufsetzen
- mit Hilfe eines Elektro- oder Pneumatikschraubers oder aber herkömmlich mit Schraubenschlüssel die vier Muttern anziehen und
- die montierten Flanschstücke ablegen.

Jeder hat schon einmal ähnliche Teile montiert und weiß daher, daß einige Schwierigkeiten auftreten können. So genügt beim Ansatz und Eindrehung der Flanschstücke schon ein leichtes Verkanten, um sie nicht ineinander zu bekommen. Hat man beide Teile zusammengefügt und langt nunmehr nach Schraube, Mutter und Unterlegscheiben, so braucht man beide Hände, um die erforderlichen Handgriffe auszuführen. Hat man endlich die Muttern aufgesetzt, um dem Ganzen einen ersten Zusammenhalt zu geben, kommt der Elektro- bzw. Pneumatikschrauber häufig auch der Schraubenschlüssel zum Einsatz. Wieder wird die zweite Hand benötigt. Ist die Haftreibung zwischen Schraubenschlüssel und Unterlegscheibe nicht ausreichend, so muß man mit einem zweiten Schraubenschlüssel hantieren. Auch hier ist wiederum die zweite Hand erforderlich.

Der Antrieb der Linear- und Dreheinheiten kann hydraulisch, pneumatisch oder elektrisch erfolgen. Für eine hydraulische Lineareinheit soll exemplarisch der Aufbau (Abb. 37) gezeigt werden. Es handelt sich dabei um eine standardisierte Lineareinheit (TGL 38 196 /01) die vorzugsweise als X-Achse eingesetzt wird.

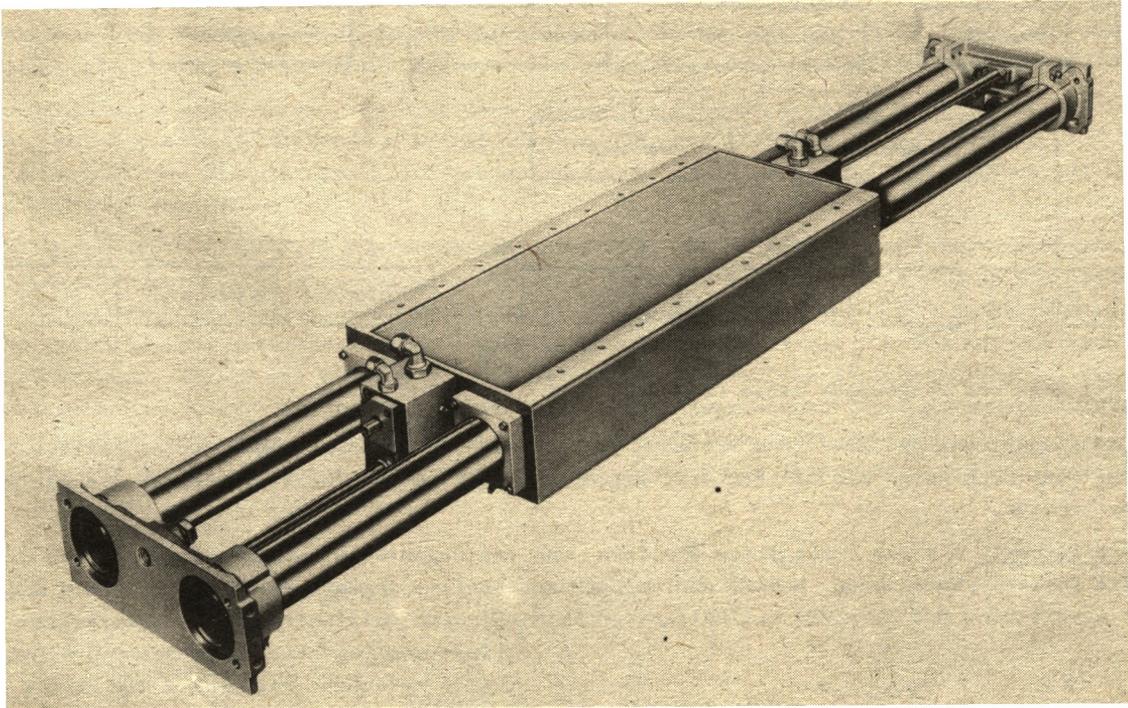


Abb. 37: Hydraulische Lineareinheit A 16-630

5.3. Greifer

Eine wesentliche Baugruppe des Industrieroboters ist der Greifer. Er ist die Baugruppe, durch die der unmittelbare Kontakt mit dem Objekt sowie bei Technologischen Einheiten zwischen Maschine und Peripherie hergestellt wird.

Aus der Sicht der Vielfältigkeit der zu handhabenden Objekte würde ein Greifer, der in Form und Funktionsweise der menschlichen Hand entsprechen könnte, die idealste Lösung darstellen. Das betrifft nicht nur die Griffsicherheit und Beweglichkeit, sondern auch die Vielzahl taktile Sensoren für Druck- und Temperatursignale. Grenzen müssen jedoch durch die Ökonomie gesetzt werden. Konstrukteure standen daher vor der Aufgabe, sinnvolle Varianten für die konkreten Einsatzfälle zu entwickeln. Dafür mußten die Eigenschaften der Objekte sowie der Parameter der Handhabeoperationen erfaßt und berücksichtigt werden.

Zu den Haupteinflußgrößen gehören neben den Größen der Handhabeoperationen vor allem Form, Abmessungen, Masse, Oberfläche, Werkstoff und Zustand der Werkstücke bzw. Werkzeuge sowie Schutzmaßnahmen und Randbedingungen wie Energiezuführung und Stoffzuführung (z. B. Farbe für Spritzpistolen).

Greifer sollten möglichst folgende wesentlichen Forderungen gerecht werden:

- flexible Greifer, um eine Anpassung an unterschiedliche Handhabeaufgaben zu sichern (in der höchsten Form die Greiferwechseleinheit)
- genaues und sicheres Erfassen der Objekte
- hohe Zuverlässigkeit bei einfacher Wartung
- Sicherheit bei Überlastung (trotz Überlastungsschutz)
- einfacher und schneller Austausch von Verschleißteilen.

Die möglichen Baugruppen eines Greifers werden in der Abbildung 38 dargestellt und anschließend kurz beschrieben.

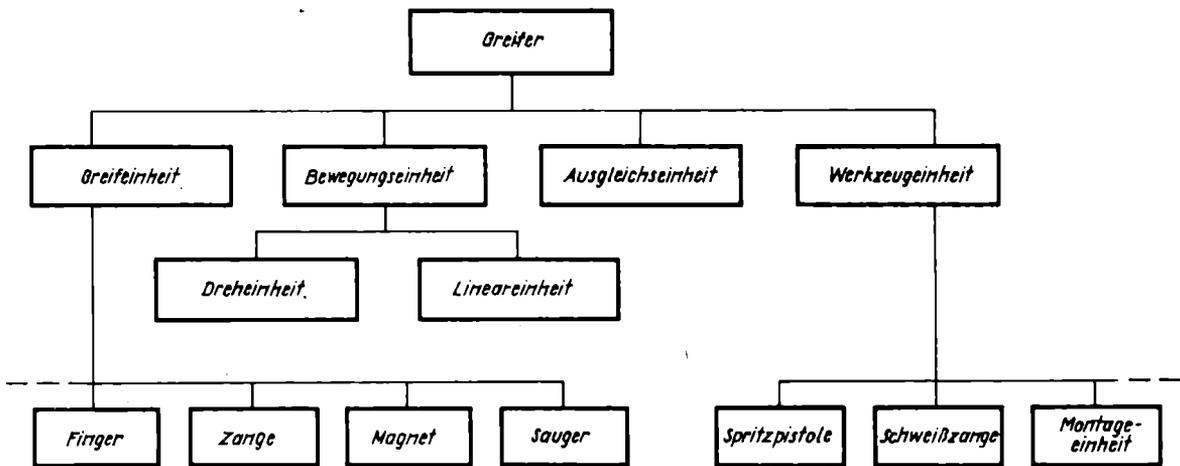
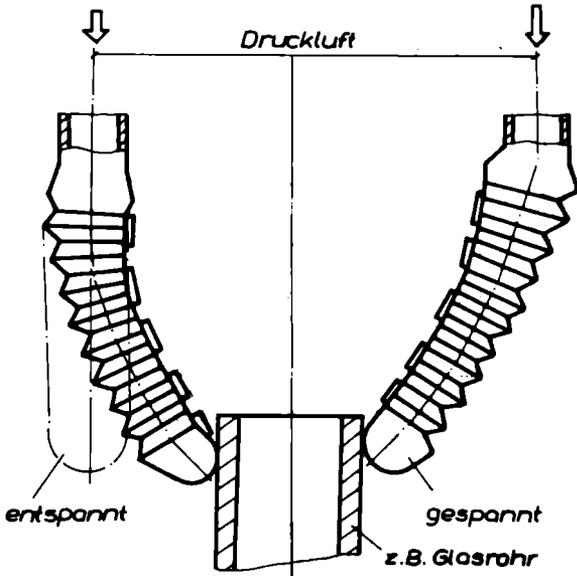


Abb. 38: Mögliche Baugruppen eines Greifers

Die Bewegungseinheiten dienen zum Erzeugen von Linear- und Drehbewegungen, wobei letztere überwiegen. Gemeinsam geben sie mit dem Greiferführungsgetriebe dem Industrieroboter die notwendigen Freiheitsgrade.

Die Greifeinheit als das Element des Greifers, das die Objekte zu fassen und zu bewegen hat, muß auf die Formen, Abmessungen, Massen und Körpereigenschaften abgestimmt sein. Es kommt daher nicht ausbleiben, daß hier die vielfältigsten Entwicklungen entstanden, so beispielsweise



- Fingergreifeinheit. Bei dieser Greifeinheit wurde versucht, weitgehend die Finger der menschlichen Hand nachzubilden. Eine originelle Lösung zeigt Abb. 39. Es wurde mit Hilfe von elastischen Schläuchen, die an biegsamen aber nicht dehnbaren Streifen befestigt sind, durch Druckluft eine Biegebewegung erreicht. Die Finger legen sich dadurch an ein Objekt, im Extremfall sogar um dieses Objekt herum. Je nach Gestaltung der Finger können die einzelnen Objekte außen bzw. innen gegriffen werden. Durch eine entsprechende Auslegung der Kraft können auch leicht zerbrechliche Teile erfaßt werden.

Abb. 39: Fingergreifeinheit (pneumatisch)

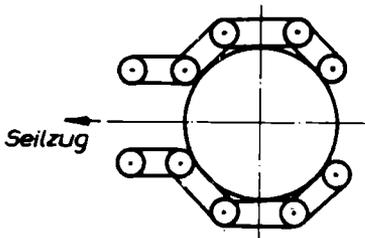


Abb. 40: Softgreifer

Eine spezielle Form der Fingergreifer sind die Softgreifer /vgl. 31, S. 76/. Sie bestehen aus mehreren Gliedern, die durch Rollen und Seile so bewegt werden können, daß sich die gesamte Greifeinrichtung um das Objekt legen kann (Abb. 40).

- Zangengreifereinheit. Sie ist die gegenwärtig am häufigsten verwendete Greifeinheit. Die Palette der vorhandenen Zangengreifereinheiten ist sehr groß, trotzdem folgen alle dem gleichen Prinzip. Zwei Greiforgane werden aufeinander zu bewegt, um so das Objekt zu ergreifen.
- Magnetgreifeinheit. Diese Greifeinheit nutzt die magnetische Kraft zur Herstellung der Verbindung zwischen Greifer und Objekt. Es werden Permanent- oder Elektromagnete verwendet. Bei Permanentmagneten sind zusätzlich Abdrückmechanismen erforderlich. Die Anwendung dieser Greifer ist jedoch begrenzt, da die Handhabeobjekte aus ferromagnetischen Werkstoffen sein müssen.
- Saugergreifereinheit. Durch Unterdruck wird eine Saughaftverbindung erzeugt. Diese Greifeinheiten werden benutzt beim Handhaben von zerbrechlichen und großflächigen Teilen (Fernsehbildröhren, Glasscheiben, Blechtafeln ...). Voraussetzung für den Einsatz von Sauggreifern ist eine glatte Oberfläche der Teile.

Die Ausgleichseinheiten dienen zum Ausgleich von Lagefehlern sowie Abweichungen und Ungenauigkeiten beim Positionieren. Ein Beispiel soll das verdeutlichen. Wenn mit Hilfe eines Greifers ein Werkstück in das Backenfutter einer Drehmaschine eingeführt werden soll, so ist entweder ein hochgenaues Positionieren erforderlich, oder eine Ausgleichseinheit sorgt für das Kompensieren von Schrägstellungen. Wie in der Abbildung 41 zu erkennen ist, wird die Schrägstellung des Werkstückes dadurch kompensiert, daß die elastischen Glieder der Ausgleichseinheit zusammengedrückt bzw. gedehnt werden. Eine präzise Positionieren ist also nicht mehr erforderlich. Dieser Effekt kann ebenfalls bei Montageprozessen genutzt werden, bei denen Teile ineinander einzupassen sind.

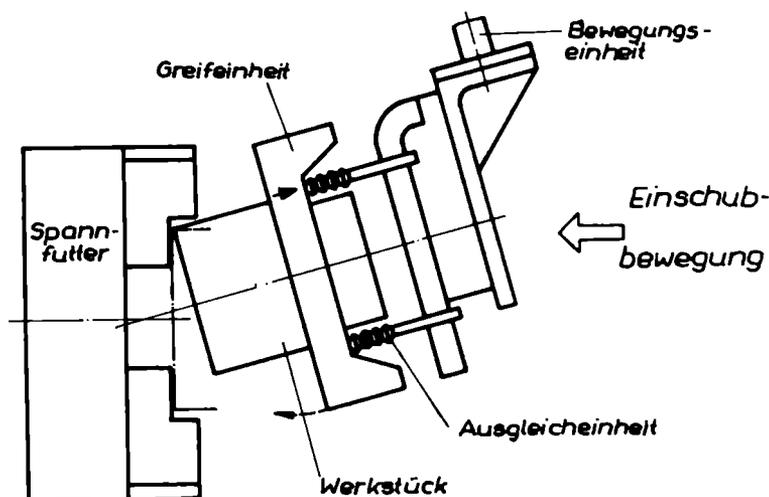
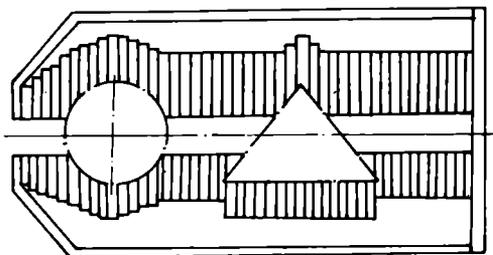


Abb. 41: Ausgleichseinheit /vgl. 31, S. 90/

Die Werkzeugeinheiten bestehen aus Werkzeugen und Bauteilen zum Ausführen technologischer Operationen wie Schweißen, Farbspritzen, Schleifen, Montieren usw.

Unterschiedliche Formen und Abmessungen erfordern, insbesondere bei kleinen Stückzahlen, zur Aufrechterhaltung der Flexibilität des Greifers eine spezielle Gestaltung der Greifeinheit. Eine Lösung liegt in der Anwendung von Greifern mit großem Verstellbereich. Eine weitere Lösung besteht in der Entwicklung von Greifern mit selbstanpassenden Greifeinheiten.



Am Beispiel einer Zangengreifereinheit, die mit Lamellen ausgestattet ist, wird deutlich die Möglichkeit der Anpassung an die Form und Größe der Objekte gezeigt.

Abb. 42: Lamellen zur Erhöhung der Flexibilität der Greifeinrichtung /vgl. 31, S. 95/

- IRS 2000: Die IRS 2000 wurde aus der speicherprogrammierbaren Steuerung PS 2000 durch Erweiterung um 1 bis 2 numerisch gesteuerte und lagegeregelte Achsen sowie entsprechende Bediengeräte geschaffen. Der Programmablauf ist dem Prozeß angepaßt und wird im Halbleiterspeicher (U 552) abgelegt. Über das Programmiergerät können bis zu 12 verschiedene Programme eingegeben und vom Programmwahlschalter abgefordert werden. Weiterhin können bis zu 30 Positionswerte von Hand eingestellt werden. Die Steuerung wählt diese Werte an und löst den Bewegungsablauf des Industrieroboters anhand des Soll-Ist-Wertvergleichs aus. Neben beiden NC-Achsen können gleichzeitig weitere endlagenbegrenzte Achsen beaufschlagt werden. Dabei sind alle Bewegungen gleichzeitig möglich. Die Steuerung besitzt 156 Ein/Ausgänge zum Roboter und weitere 144 Ein/Ausgänge zur Peripherie. Da EPROM-Speicher verwendet werden, ist diese Steuerung nicht für eine teach-in-Programmierung geeignet.
- IRS 600: Die IRS 600 ist eine Rechnersteuerung. Zur Anwendung gelangt der Mikrorechner K 1520 mit RAM-Speicher (4 K Byte) und EPROM-Speicher (16 K Byte). Die Bedienung erfolgt über ein flexibel angeschlossenes teach-in-Tableau. Eine weitere Eingabe von Programmen, ist über einen getrennten Anschluß für Leser möglich. Die Programmierung wird durch den Anwender selbst vorgenommen. Es können Roboterprogramme zur Beschickung von 1 bis zu 7 Maschinen in den Eingabeverfahren Handeingabe, teach-in sowie Lesegeräteeingabe aufgestellt werden. Insgesamt sind 99 Programme adressierbar (vgl. 5.5.4.).
- IRS 650: Die IRS 650 ist eine numerische Steuerung auf Mikrorechnerbasis. Sie beherrscht bis zu sechs lagebegrenzte Achsen und ist für technologische Industrieroboter mit vorwiegend Gelenkbauweise gedacht. Die Programmierung erfolgt über ein tragbares teach-in-Tableau. Es ist ein Speichervolumen von 10 K Byte vorgesehen. Die sich noch in der Entwicklung befindliche Steuerung wird aus Baugruppen der bisherigen Steuerung IRS 600 abgeleitet.

Da Steuerungen häufig mehr als 30 Prozent bis 50 Prozent der Gesamtkosten eines Industrieroboters betragen können /vgl. 31, S. 113/, soll abschließend ein wesentlicher Aspekt, der bei der Konzipierung und Auswahl sehr bedeutend ist, hervorgehoben werden.

Im Abschnitt 2 und 3 wurde von einer mehr oder weniger hohen Flexibilität der einzelnen Industrieroboter ausgegangen und gezeigt, mit welchen Mitteln die Flexibilität verändert werden kann. Die Steuerung kann keinem anderen Konzept folgen. Steuerungen sind kein Selbstzweck, sondern sie stehen in Kommunikation mit Automaten, hier mit Industrierobotern, also "Handhabeautomaten", Infolgedessen müssen sie ebenso auf- und abrüstbar sein, wie der Industrieroboter selbst, um unterschiedliche Flexibilität zu erreichen. Es konnte daher nicht ausbleiben, daß zahlreiche Varianten entstanden sind und noch entstehen werden. Wesentlich ist immer die Aufgabe, die in ihrer Einheit technisch-technologisch und ökonomisch zu lösen ist. Auch bei den Industrierobotern gilt die alte Technikerweisheit: "Nicht so viel wie möglich, sondern soviel wie nötig".

5.5.4. Prinzipieller Aufbau einer Industrierobotersteuerung

Am Beispiel der frei programmierbaren Industrierobotersteuerung IRS 600 soll der prinzipielle Aufbau einer numerischen Punktsteuerung dargestellt werden. In der Abbildung 48 wird der Versuch unternommen, die wichtigsten Baugruppen dieser Steuerung zu einem Blockbild zusammenzufügen. Um den funktionellen Zusammenhang sowie die technische Realisierung zwischen Steuerrechner K 1520 und den einzelnen Baugruppen zu erkennen, ist die Darstellung der Steuerung in einem Bus-System erforderlich. Die Abbildung 49 zeigt, daß die Steuerung IRS 600 aus einem 2-Bus-System besteht und zwar mit den Systemen Rechnerbus und dem getrennten PC-Bus der digitalen Ein/Ausgabesteuerung.¹⁾

Der Steuerrechner wird in Verbindung mit den Speichermodulen K 3820 (EPROM) und K 3521 (CMOS-RAM)²⁾ verwendet. Als weitere Baugruppen sind an dem Rechnerbus angeschlossen:

- 1) Bus = adressierbare Verbindungseinrichtung
- PC-Bus = interner Bus der programmierbaren Ein- und Ausgabesteuerung
- 2) EPROM = elektrisch programmierbarer Lesespeicher, lösbar
- CMOS-RAM = Lese- und Schreibspeicher in CMOS-Technik

- die Anschlußsteuerung für den Leser und Stanzer, um entweder Datenträger der Steuerung einzugeben bzw. um die in der Steuerung vorhandenen Programme für eine Archivierung auszustanzten,
- die Serviceeinheit, um eine Rechnerkorrespondenz durchzuführen sowie zur Realisierung einer gezielten Fehlerdiagnose durch entsprechende Diagnoseprogramme,
- das Meßsystem, bestehend aus den Wegmeßsystemen Inductosyn und Resolver (vgl. 5.6.3.1.),
- der Digital-Analog-Wandler für die digitale rechnergeführte Lageregelung von NC-Achsen,
- die Anschlußsteuerung für den PC-Bus, um eine Kopplung an den Rechnerbus zu ermöglichen.

Der interne Bus der Ein- und Aufgabesteuerung koppelt die Ein- und Ausgangsmodule sowie das Teach-in-Tableau.

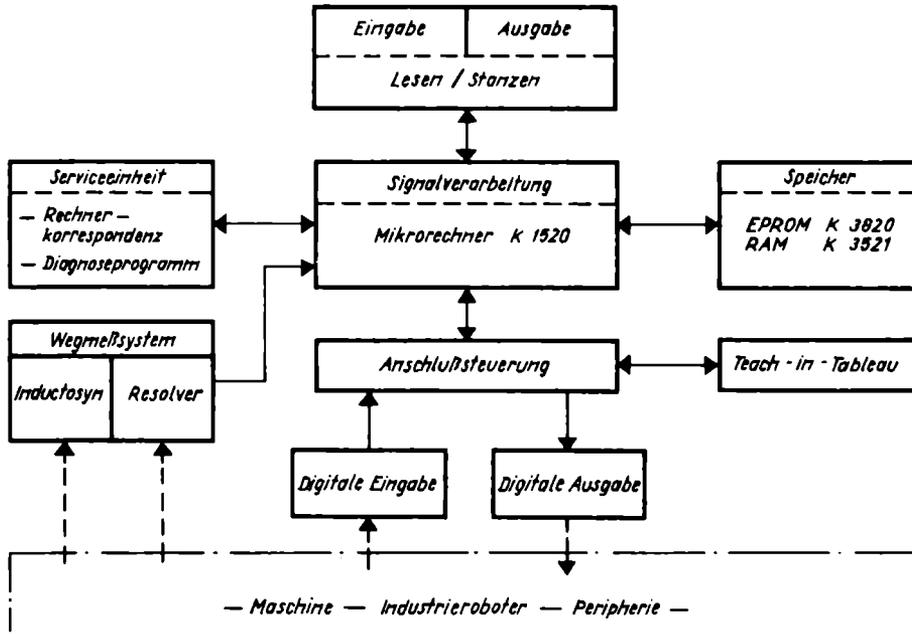


Abb. 48: Prinzipieller Aufbau der IRS 600 als Blockbild

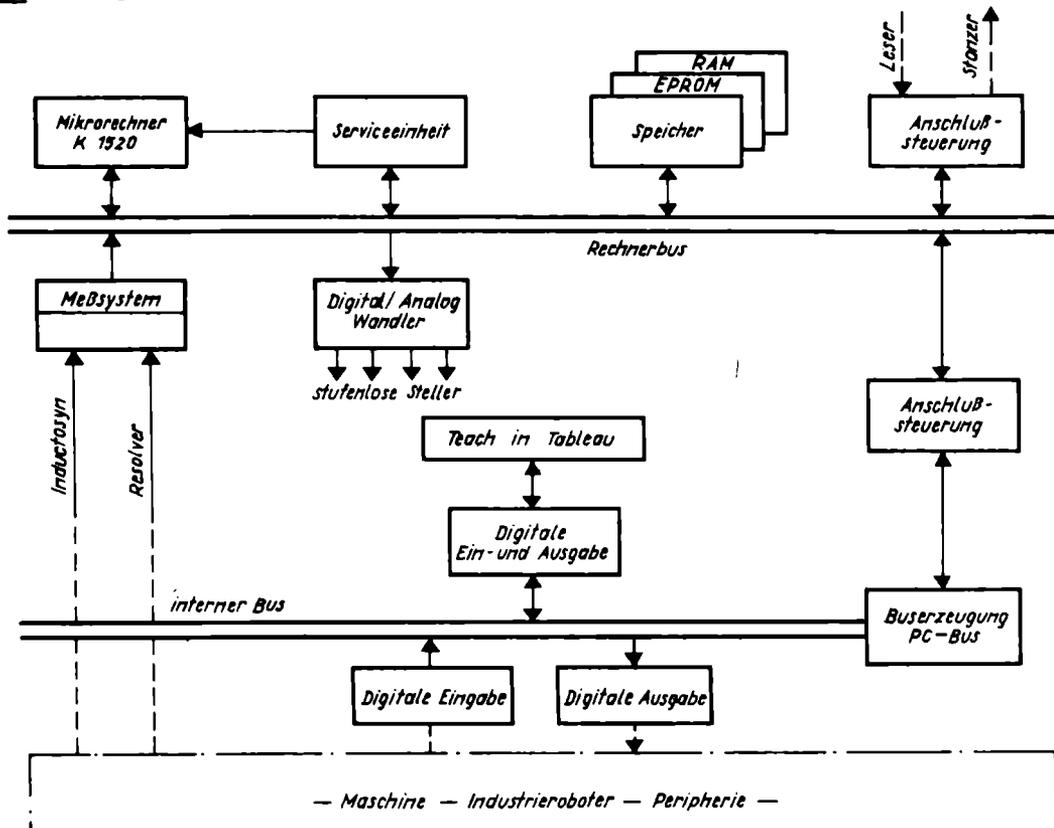


Abb. 49: Prinzipieller Aufbau der IRS 600 als Bus-Darstellung

5.5.5. Möglichkeiten der Programmierung

In Abhängigkeit von der Steuerungsart sowie den verwendeten Speichern haben sich unterschiedliche Verfahren zur Programmierung herausgebildet und gelangen in der Praxis zur Anwendung. Dabei kann der Industrieroboter entweder direkt am Einsatzort programmiert werden oder aber ein bereits vorhandenes Programm (externe Programmierung) wird auf einem Datenträger über ein Lesegerät der Steuerung eingegeben und im Speicher abgelegt. Bei anspruchsvollen Steuerungen kommen beide Möglichkeiten der Programmierung zur Anwendung.

Die externe Programmierung erfordert umfangreiche Arbeiten in der Phase der Arbeitsvorbereitung. In der Regel sind entsprechende technologische Unterlagen zu erarbeiten, die Programme zu schreiben, auf einen Datenträger zu übertragen und zu testen.

Wenn es die Steuerung ermöglicht und die Handhabungsaufgabe zulässt, ist der Programmierung am Einsatzort des Roboters der Vorzug zu geben. Je nach Steuerungsart erfolgt hier die Programmierung durch Teach-in-Verfahren (z. B. IRS 600) bzw. durch ansteckbare Programmiergeräte und/bzw. durch verstellbare Positionsgeber für die Verfahrenswege (z. B. PS 2000/1).

Bei Industrierobotern mit hoher Flexibilität werden Steuerungen eingesetzt, die auch die Teach-in-Programmierung ermöglichen. Dabei kommt sowohl das direkte Teach-in- als auch das indirekte Teach-in-Verfahren zur Anwendung.

- Im direkten Teach-in wird das Handhabungsprogramm von der Arbeitskraft durch das Führen des Greifers (z. B. Farbspritzpistole) abgespeichert. Dieses gespeicherte Programm ist das "Sollwertprogramm". Die erforderlichen Sollwerte werden von den in den Linear- und Drehachsen eingebauten Wegmeßsystemen beim erstmaligen Abfahren der Bahn geliefert. Bei der Wiederholung des gespeicherten Handhabungsprogramms wird in der Steuerung laufend ein Vergleich zwischen den gespeicherten Sollwerten und den ständig von den Wegmeßsystemen gelieferten Istwerten durchgeführt.
- Im indirekten Teach-in wird der Greifer (z. B. Punktschweißzange) des Roboters auf Position gefahren und diese als Sollwert durch die Arbeitskraft in den Speicher eingegeben. Bei dieser Programmierung werden diskrete Punkte der Bewegungsbahn über ein entsprechendes Tableau (Schalter und Taster) einer Bedienblende bzw. eines Handbedienpaneels eingegeben.

Um einen Eindruck vom prinzipiellen Aufbau eines Teach-in-Tableaus zu geben sowie um Analogien zu vergleichbaren "Programmeingabegeräten" anzudeuten (u. a. auch das Bedienfeld eines Taschenrechners, der elektronischen Schreibmaschine S 6001, eines Textautomaten, einer CNC-Maschine ...), wird in der Abbildung 50 ein Teach-in-Tableau dargestellt.

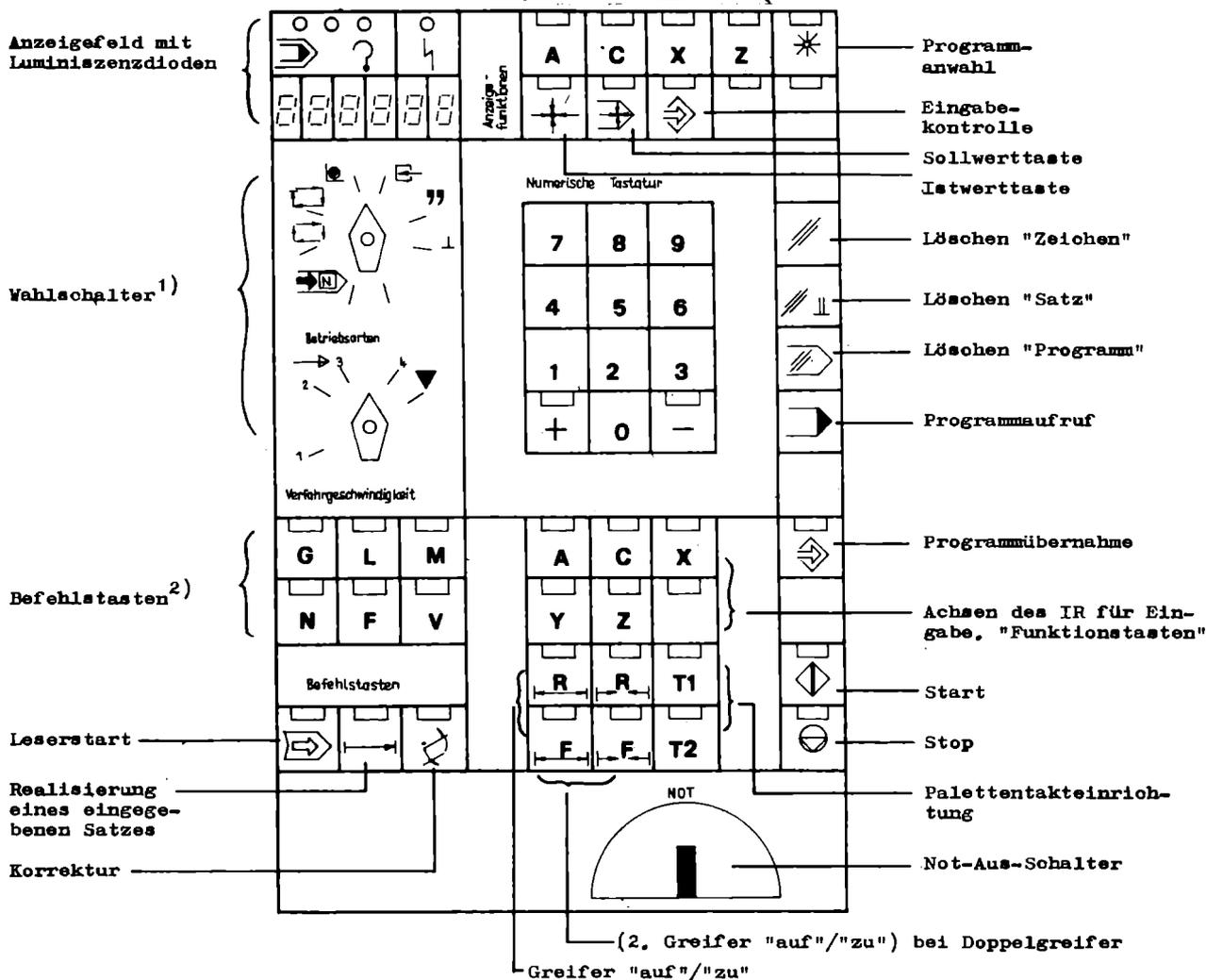
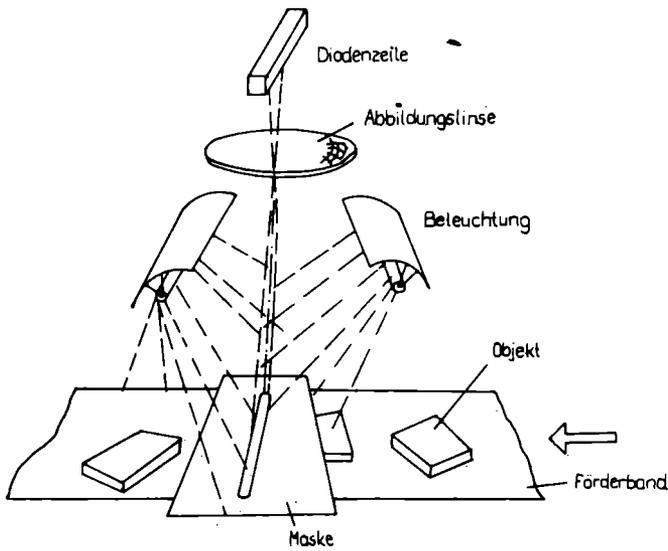
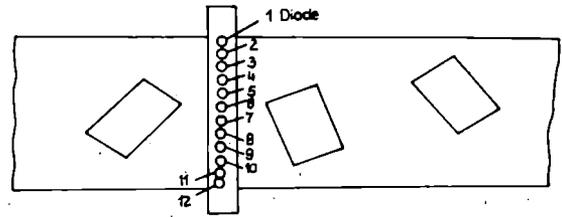


Abb. 50: Teach-in-Tableau der Industrierobotersteuerung IRS 600

- 1) - Betriebsarten:
 Im Uhrzeigersinn von links unten beginnend: Satzsuchlauf, Automatik, Schrittautomatik, Handbetrieb, Teach-in-Eingabe, Diagnosesystem, Generierung, Leerfeld
 - Verfahrgeschwindigkeiten:
 Geschwindigkeiten 1, 2, 3, 4, 0-Ausgabe
- 2) Befehlstasten:
 G = Verfahrbefehle, Zeitbefehle, maschineninterne Ansprechbefehle; L = Unterprogramme; M = Hilfsbefehle; N = Satznummer (Ablaufprogramm); F = Geschwindigkeiten; V = Variablenzuordnung
- 3) Die Tasten dienen der Kontrolle, z. B. IR-Achse plus Sollwerttaste gibt den vorgegebenen Wert an, IR-Achse plus Istwerttaste gibt den tatsächlichen verfahrenen Wert an.



Prinzipkizze



Abtastfolge

Abb. 63: Einsatz einer Diodenzelle

Die vom Objekt reflektierten Lichtstrahlen werden durch eine Optik gebündelt und einer Fotodiodenzelle zugeleitet. Je nach Lage des Teiles werden entsprechende Dioden angesprochen.

Eine wissenschaftlich-technische Spitzenleistung auf dem Gebiet der Sensortechnik wurde in der DDR durch die Entwicklung der hochintegrierten OCD-Sensorzelle erreicht (CCD = charge coupled semiconductor devices). Auf einer Fläche von nur $6,375 \text{ mm}^2$ ($4,25 \times 1,5$) befinden sich 256 Sensoren, die alle miteinander verbunden sind. Die CCD-Sensorzelle ist in der Lage 1 Million Messungen pro Sekunde zu realisieren (als Vergleich für die enorme Leistung sei das menschliche Auge angeführt, das in der Lage ist pro Sekunde nur bis zu 25 Bewegungsabläufe einzeln wahrzunehmen). Die neue Sensorzelle, seit dem 27.11.1981 in Serienproduktion, bedeutet auch volkswirtschaftlich einen enormen Gewinn, denn es ist ein Ergebnis auf höchster Stufe der Materialveredlung. Mit einem Materialaufwand von nur 4 Pfennigen wird ein Erlös von 10 Mark erreicht.

Das Prinzip der Punktabtastung mit Hilfe einer Kathodenstrahlröhre wird in der Abbildung 64 gezeigt. Ein Leuchtfleck tastet einen Gegenstand zeilenweise ab. Dabei wird vom Objekt eine Refle-

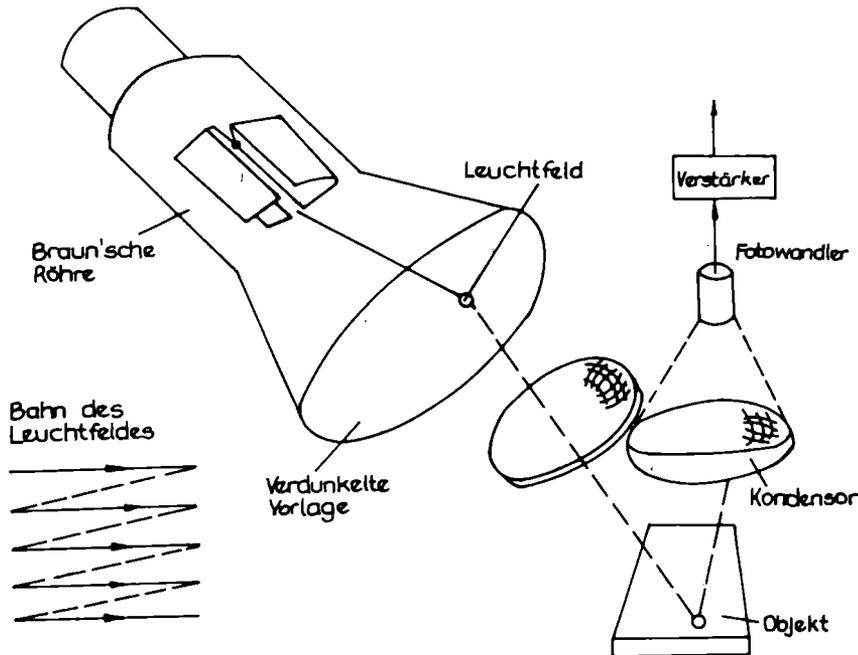


Abb. 64: Punktabtastung mit Kathodenstrahlröhre

tion ausgelöst. Der vom Kondensator gesammelte Lichtstrahl wird einem Fotowandler und Verstärker zugeführt. Die so gewonnenen Signale können zu einem Rasterbild vereinigt werden und mit einem in die Steuerung abgelegten Referenzbild verglichen werden.

Zur Lage und Objekterkennung kommen immer häufiger Kameras als Sensoren, gekoppelt mit rechnergesteuerter Bildauswertung zum Einsatz. In /vgl. 45, S. 23/ wird über einen "sehenden" Roboter berichtet. Durch die Kombination "Kamera - Auge", "Handhabungsmechanismus" und Computer wird das Sortieren unterschiedlicher Teile an einem Fließband ermöglicht. Das Objektiv projiziert für den Computer konzentrische Kreise auf eine Bildfläche, deren Schnittpunkte mit den Konturen des Werkstücks eingespeicherte Merkmale darstellen. Die vor der Kamera liegende Teile können dann mit dem gespeicherten "Sollbild" verglichen werden. Wird der Gegenstand erkannt, setzt ein entsprechender Befehl den Greifmechanismus in Tätigkeit um den Gegenstand beispielsweise vom Band zu heben.

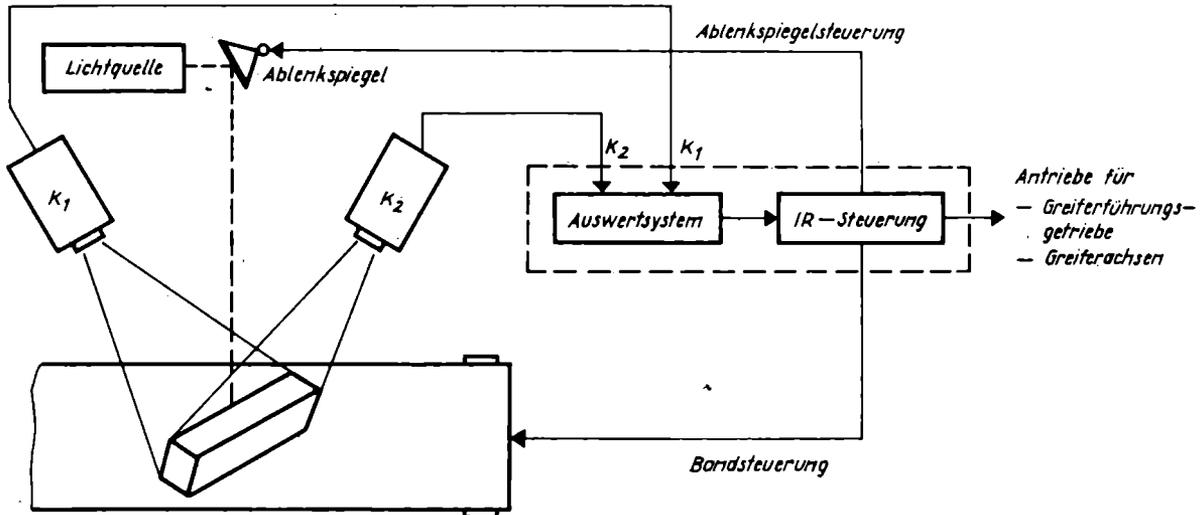


Abb. 65: Darstellung eines Erkennungssystems

Das Prinzip ^{zum Ordnen} von Teilen durch Anwendung eines Fernsehbildes als Sensor und des Mikroprozessorsystems Intel 8080 wird in /vgl. 31, S. 161/ kurz beschrieben. Durch mechanische Hilfseinrichtungen (z. B. Anschläge ...) werden ungeordnete Teile vereinzelt und in der Anzahl ihrer möglichen Positionen beschränkt. Von dem Gegenstand wird ein nur aus zwei Grauwerten bestehendes Fernsehbild gewonnen (dem Grauwert 1 entspricht der Untergrund, dem Grauwert 2 der Gegenstand). Von dem gewonnenen Bild werden dann entsprechende Zeilen ausgewertet.

Abschließend sei auf die Bedeutung der Arbeit mit lediglich zwei Graustufen hingewiesen. Eine Industriefernsehkamera tastet mit einer Geschwindigkeit von 20 ms bei 64 Grauwertstufen $5 \cdot 10^5$ Bildpunkte ab. Die enorme Informationsmenge würde eine kostspielige Auswertung erfordern. Der Einsatz zur Lageerkennung wird, falls technisch nicht anders erforderlich, sich aus ökonomischen Gründen künftig auf Binärbildern mit zwei Grauwertstufen beschränken.

6. Periphere Einrichtungen

Die peripheren Einrichtungen stellen eine wesentliche Voraussetzung für die Realisierung unterschiedlicher Handhabungsaufgaben dar. Sie charakterisieren entscheidend mit die Arbeiten bei der Einsatzvorbereitung von Industrierobotern. Die Notwendigkeit einer exakten Planung und Gestaltung ergibt sich bereits aus der Tatsache, daß die Kosten peripherer Einrichtungen bis zu 300 % über denen der Industrieroboter liegen können /vgl. 46, S. 40/.

Die periphere Technik stellt neben dem Industrieroboter eine bedeutsame Komponente in Technologischen Einheiten (TE) dar. Zwischen beiden Komponenten gibt es einen direkten Zusammenhang, der wesentliche Auswirkungen auf die Flexibilität des Industrieroboters (vgl. Abschnitt 4.1.; 1. und 2. Beispiel) ausübt.

Der Peripherie eines Industrieroboters können folgende Einrichtungen zugeordnet werden:

- Speicher für Werkstücke
- Einrichtungen für die Qualitätsüberwachung
- Einrichtungen für die Werkstückreinigung
- Sicherheitseinrichtungen (äußere und innere)
- Speicher für Werkzeuge und Greifer.

Für jede dieser Gruppe peripherer Einrichtungen gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Lösungsmöglichkeiten. Die für den konkreten Einzelfall zutreffende Technik ist von zahlreichen Faktoren und Bedingungen abhängig und nach entsprechenden Kriterien auszuführen.

Die Werkstückspeicher nehmen quantitativ den größten Umfang der zu den peripheren Einrichtungen gehörenden Technik ein und können als die bestimmenden Elemente der Peripherie bei der komplexen Automatisierung von Arbeitsplätzen betrachtet werden. Werkstückspeicher sind in der Regel, im Gegensatz zu den anderen peripheren Einrichtungen, bei jedem Industrieroboter anzutreffen. Ausnahmen bilden einige technologische Roboter, bei denen dafür Werkzeugspeicher bzw. Speicher für unterschiedliche Greifsysteme zur Anwendung kommen.

Beim Einsatz von Industrierobotern sind auch Sicherheitseinrichtungen zu konzipieren, die einen absoluten Schutz der Arbeitskraft bei der Bedienung, Kontrolle und Überwachung garantieren. Insbesondere muß das Betreten des aktiven Wirkungsbereiches des Roboters unterbunden werden. Die angewendeten Sicherheitseinrichtungen unterscheiden sich kaum von den bisher üblichen Einrichtungen an Werkzeugmaschinen.

Die Integration der Qualitätskontrolle in den Arbeitsablauf eines komplex automatisierten Arbeitsplatzes ist eine notwendige Voraussetzung zur Erhöhung des Automatisierungsgrades und zur weiteren Senkung der manuellen Tätigkeiten. Faktoren die die automatische Qualitätskontrolle aus technologischer Sicht beeinflussen, sind beispielsweise

- herzustellende Bearbeitungsqualitäten
- Umfang der Qualitätskontrolle (total oder Stichprobe)
- angewendete Meßverfahren.

Die zu realisierenden Meßaufgaben beinhalten in der Regel die Qualitätsüberwachung von einem oder mehreren Außen- oder Innendurchmessern sowie von Werkstücklängen.

Verbunden mit der automatischen Werkstückkontrolle ist eine automatische Säuberung der Werkstücke von Spänen, Schmutz u. a.

Dafür bieten sich zwei Lösungen an:

1. Reinigen innerhalb der Werkzeugmaschine durch Ablassen oder Abspülen
2. externe Reinigung.

Aufgrund der Forderung nach Minimierung der Arbeitsplatzfläche sind bei der externen Reinigung platzsparende Lösungen notwendig, wie Anbau unmittelbar an die Werkzeugmaschine bzw. Kopplung mit der externen Einrichtung für die Qualitätssicherung. Auch bei diesen peripheren Einrichtungen gibt es außer einigen steuerungsbedingten Besonderheiten keine Unterschiede zu analogen Einrichtungen an herkömmlichen Maschinen.

Auf Grund der bereits genannten Gründe werden Werkstückspeicher nachfolgend ausführlicher dargestellt.

Werkstückspeicher

Hinsichtlich des Werkstückflusses ist der Werkstückspeicher eines automatisierten Arbeitsplatzes die Schnittstelle zwischen dem innerbetrieblichen Transport im Fertigungsabschnitt und dem Beschickungs- und Arbeitsraum der Werkzeugmaschinen.

Die eigentliche Aufgabe des Speichers besteht darin, die Werkstücke in einer für den Industrieroboter und die Aufnahmevorrichtung der Maschine günstigen Lage (Lageorientierung, Positionierung) aufzunehmen.

Die Beschickung der Speicher mit Werkstücken wird, zumindest bei kleinen und mittleren Losgrößen, gegenwärtig manuell ausgeführt. Besondere Bedeutung kommt dem Zusammenwirken zwischen Industrieroboter und Werkstückspeicher zu. Die Werkstücke haben entsprechend ihrer Geometrie ganz bestimmte Vorzugslagen, in denen sie sicher und mit wenig technischem Aufwand lagerichtig positioniert werden können. Danach bestimmen sich im wesentlichen die Ausführungsart und die Lage der Greiferelemente am Industrieroboter. Zur Gewährleistung des automatischen Fertigungsablaufes über einen längeren Zeitraum ist es erforderlich, die Speicherkapazität so auszulegen, daß sie mit der Fertigungslosgröße korrespondiert.

Je nach Automatisierungsgrad des Fertigungsablaufes ganzer Produktionsabschnitte werden ortsfeste bzw. transportable Werkstückspeicher eingesetzt.

Keine oder eine geringe Kopplung liegt dann vor, wenn in einem Fertigungsabschnitt für ein bestimmtes Teilesortiment nur eine oder wenige Technologische Einheiten vorhanden sind. Der Werkstückdurchlauf durch den Fertigungsabschnitt kann dabei in konventionellen Transportbehältern oder -paletten erfolgen. Die Speicher können ortsfest angeordnet sein und am Arbeitsplatz bestückt werden.

Bei einem hohen Kopplungsgrad sind in einem Fertigungsabschnitt Technologische Einheiten in erhöhter Zahl vorhanden und im Fertigungsablauf untereinander direkt oder indirekt im Rahmen einer integrierten Fertigung miteinander verbunden.

Dabei müssen zwangsläufig manuelle Werkstückhandhabungen (Bestücken der Speicher) an IR weitestgehend vermieden werden, was durch den Einsatz transportabler Speicher erreicht werden kann, in denen die Werkstücke den gesamten Fertigungsabschnitt lageorientiert und positioniert durchlaufen können.

Gegenwärtig kommen überwiegend stationäre Werkstückspeicher zum Einsatz. Diese stationären Speicher sind auf die vorhandenen Bedingungen ausgerichtet und auf dem Grundprinzip der Mehretagen-Rundtischspeicher aufgebaut. Der prinzipielle Aufbau eines derartigen Speichers wird in der Abbildung 66 dargestellt.

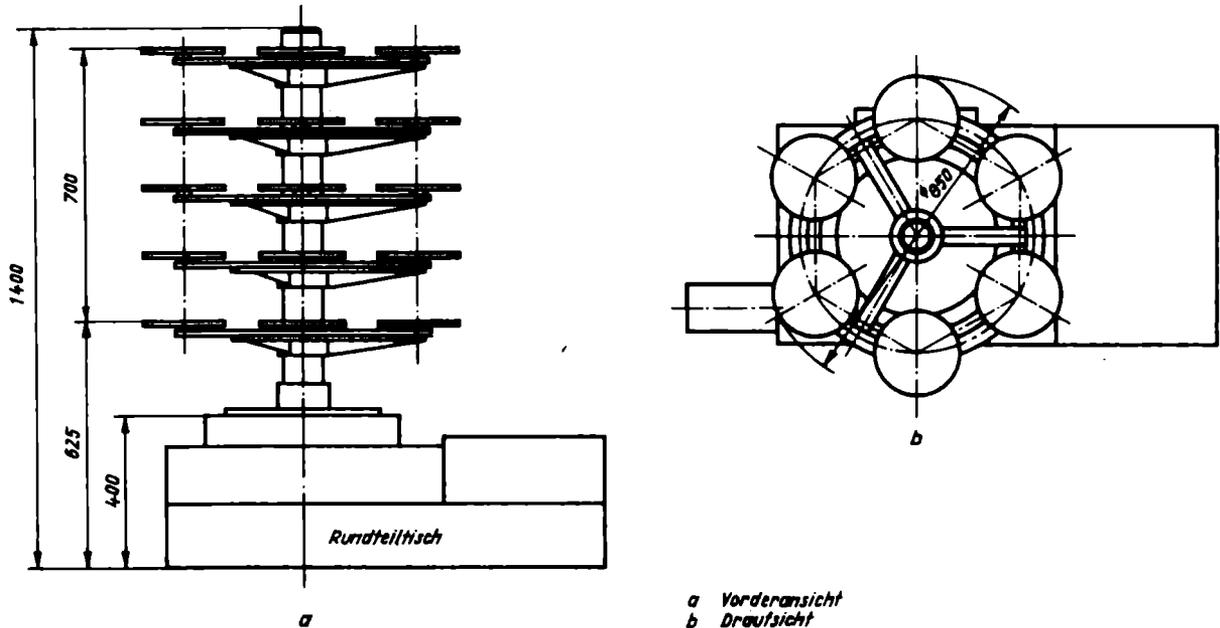


Abb. 66: Prinzipieller Aufbau eines Mehretagen-Rundtischspeichers für kurze Teile

5.6. Wegmeßsysteme

5.6.1. Aufgaben und Notwendigkeit der Wegmeßsysteme

Die Wegmeßsysteme haben die von den Linear- und Drehachsen zurückgelegten Wege bzw. Winkel zu erfassen und als Signal bzw. Signalfolge der Steuerung zur weiteren Verarbeitung bereitzustellen. Sie bestehen aus dem eigentlichen Meßwertgeber ("Meßfühler") und weiteren Baugruppen zur Umformung, Umsetzung und Verstärkung der gewonnenen Signale.

Im Gegensatz zu den Positionsgebern (Anschläge, Lichtschranken ...), die lediglich das Erreichen einer definierten Position anzeigen, liefern Weggeber während des gesamten Bewegungsvorganges Signale. Wegmeßsysteme dienen der Erhöhung der Flexibilität des Industrieroboters. Ihre Aufgaben leiten sich in erster Linie aus den durch die Steuerung zu realisierenden Forderungen ab. Um beispielsweise Positionen genau einzufahren bzw. exakte Werkzeugführungen zu sichern, muß die Steuerung u. a. Soll-Ist-Wertvergleiche durchführen. Das Wegmeßsystem muß daher einen genauen Istwert liefern können. Vorhandene Ungenauigkeiten der Meßwerte resultieren häufig aus zu großen Toleranzen der Verbindungselemente zwischen Antrieb und Greifer, da die Messung stets an geeigneten Stellen der Linear- bzw. Drehachsen erfolgt.

Folgende wesentlichen Aufgaben und Forderungen an die Wegmeßsysteme der Industrieroboter lassen sich über die allgemeinen Hinweise des Wissensspeicher "Technische Grundlagenfächer" /vgl. 39, S. 54-55/ über Weg- und Winkelmeßverfahren hinaus angeben:

- Das Meßsystem muß unter allen Einsatzbedingungen des Industrieroboters sicher und genau arbeiten.
- Das Ausgangssignal des Wegmeßsystems muß für die nachfolgende Verarbeitung, Speicherung und Anzeige geeignet sein.
- Sicherung einer hohen Genauigkeit, da sich ungenaue Weg- und Winkelwerte direkt beim Positionieren und in der Wiederholungsgenauigkeit bemerkbar machen.
- Wie bei allen anderen Industrierobotergruppen sind wichtige Parameter zu beachten (Kompatibilität, kleine Abmessungen, geringe Masse, schnelle Austauschbarkeit).
- Das Wegmeßsystem hat Weg- und Winkelsignale zu liefern, die bei Teach-in-Programmierung als Sollwerte in die Steuerung eingegeben werden können.
- Das Wegmeßsystem hat aktuelle Istwerte während des Handhabevorganges an die Steuerung zu liefern.

5.6.2. Klassifizierung und Begriffe

In der Literatur werden häufig die Weg- und Winkelmeßsysteme der Industrieroboter zu dem Oberbegriff "Wegmeßsysteme" zusammengefaßt /vgl. 31, S. 25 und 142/. Um die Übereinstimmung mit dem Blockbild eines Industrieroboters zu sichern (vgl. Abb. 30, S. 41), soll diese definitorische "Unkorrektheit" beibehalten werden.

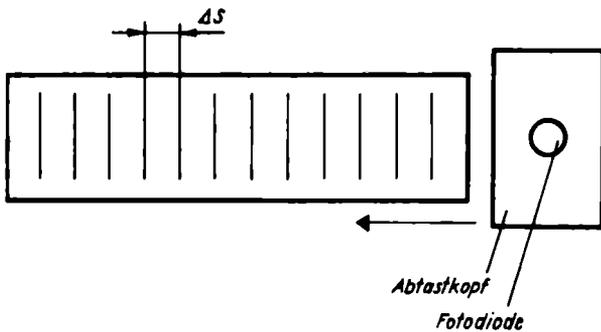
Die wichtigsten Klassifizierungsaspekte für Wegmeßsysteme (Weg- und Winkelmeßsysteme) der Industrieroboter sind die Art der Meßwertabnahme sowie die Art der Meßwernerfassung und des Meßwertverfahrens.

Nach der Art der Meßwertabnahme werden translatorische und rotatorische Wegmeßsysteme unterteilt. Für die Unterscheidung nach der Art der Meßwernerfassung sind die erfaßten Signalarten entscheidend. Es werden danach analoge und digitale Wegmeßsysteme in der Praxis angewendet. Beide Systeme lassen sich noch nach der Art des Meßwertverfahrens in absolute und inkrementale Wegmeßsysteme unterscheiden.

Von analogen Wegmeßsystemen wird gesprochen, wenn der zu erfassende Weg bzw. Winkel in eine analoge physikalische Größe (bei Industrierobotern elektrische Spannung) gewandelt und durch die Steuerung weiterverarbeitet wird.

Bei digitalen Wegmeßsystemen werden kleine Weg- und Winkelabschnitte mit Hilfe des dualen Zahlensystems gekennzeichnet. Der abgetastete Wert besteht aus Kombinationen der binären Zeichen "0" und "1".

Bei absoluten Wegmeßsystemen werden absolute Werte (eindeutige Werte gegenüber einem definierten Bezugspunkt, z. B. Nullpunkt), die direkt erfaßt werden, bereitgestellt.



Dagegen ergeben sich bei inkrementalen Wegmeßsystemen die Werte aus der Addition der vom Ausgangspunkt der Bewegung zurückgelegten Teilschritte. Bei inkrementalen Messungen wird die zu erfassende Größe in konstante Teile-Inkrementen zerlegt.

Abb. 51: Prinzip inkrementaler Wegmeßsysteme

Die Gewinnung der Meßgröße erfolgt durch Zählung der verfahrenen Teile mit anschließender Multiplikation mit der absoluten Größe eines Inkrementes. Es wird häufig von Zuwachsmessverfahren gesprochen.

Die folgende Übersicht zeigt ausgewählte Wegmeßsysteme /vgl. 31, S. 146/.

Tabelle 4: Ausgewählte Wegmeßsysteme

Bezeichnung	Meßwertfassung Meßwertverfahren	Einsatz	Vorteile	Nachteile
Potentiometer	analog absolut	relativ selten bei Dreh- und Lin- nearantrieb	einfacher Aufbau billig, kleine Ab- messungen	berührende Meßwertabnahme, hoher Verschleiß, Tempera- turempfindlich
Resolver (Drehmel- der)	analog absolut - induktiv	häufig, besonders bei Industrierob- tern mit der Struk- tur DDD	einfach, robust, billig, klein, wenig störanfällig	ein Meßwert erfordert eine volle Rotorumdrehung. Hoher Aufwand für an- schließende Digitalisie- rung und Weiterverarbei- tung des Meßwertes
Inductosyne	analog absolut - induktiv	häufig, besonders bei Industrierob- tern mit der Struktur SSS	robust, wenig stör- anfällig, sehr hohes Auflösungsvermögen, direkte Ankopplung möglich	wie beim Resolver; Meßsystem relativ teuer
absolute Digital- geber	digital absolut - fotoelektrisch	bei Dreh- und Lin- nearantrieben	eindeutige Abb. des Istwertes, unabhäng. von Verfahrensopera- tion und Umweltein- flüssen	begrenzt, Meßbereich; große Verfahrenswege bei ho- her Wegauflösung erford. große und teure Wegegeber
inkrementa- le Digital- geber rota- torisch (IGR)	digital inkremental - fotoelektrisch	bei Dreh- und Lin- nearantrieben	einfacher Aufbau, kleine Abmessungen, unbegrenztes Meß- bereich	Verschleppung von Fehler- inkrementen Störpulsunterdrückung erforderlich

5.6.3. Aufbau von Wegmeßsystemen

5.6.3.1. Prinzipieller Aufbau ausgewählter Wegmeßsysteme

Wesentliche Parameter des Industrieroboters wie beispielsweise die Positionier- und Wiederholgenauigkeit sind im starken Maße von den Wegmeßsystemen abhängig. Sie bestimmen auch mit den Aufwand für die Steuerung, insbesondere für den Soll-Ist-Wertvergleich. Die meisten Wegmeßsysteme werden technisch auf induktiven bzw. fotoelektrischem Prinzip realisiert.

Das generelle Prinzip induktiver Geber wird im Wissensspeicher /vgl. 39, S. 55/ dargestellt. Nach diesem Prinzip arbeiten die meisten analogen Wegmeßsysteme, wie beispielsweise auch Resolver und Inductosyne. Um die durch diese Systeme gewonnenen Informationen numerisch verarbeiten und speichern zu können, muß der analoge Meßwert durch einen Umsetzer in ein digitales Signal gewandelt werden. Diese Forderung trifft auch für das Potentiometer-Wegmeßsystem zu.

Digitale Geber arbeiten in der Regel auf dem Prinzip der fotoelektrischen Abtastung.

In den folgenden Ausführungen werden digitale Geber gegenüber analogen relativ ausführlich dargestellt, da sie zu den Inhalten der technischen Grundlagenfächer einen direkteren Bezug haben und wesentliche Grundlagen im Unterricht bereits behandelt wurden.

Potentiometer

Potentiometer kommen als Linear- bzw. Drehpotentiometer zur Anwendung. Zur Weg- und Winkelerfassung werden sie bei Industrierobotern jedoch relativ selten eingesetzt. Dem einfachen Aufbau und den geringen Kosten stehen eine hohe Störanfälligkeit und Temperaturempfindlichkeit gegenüber. Potentiometer liefern ein analoges elektrisches Ausgangssignal, das einen linearen Funktionszusammenhang zwischen Weg bzw. Winkel und Spannung widerspiegelt. Das Grundprinzip der Meßwertgewinnung besteht darin, daß eine Spannung an einem veränderbaren Widerstand (z. B. Schiebewiderstand) abgenommen wird.

Resolver (Vektorzerleger)

Der Resolver ist eine spezielle Drehmelderbauart und zwar mit zweiphasiger Stator- und einphasiger Rotorwicklung. Die Rotorwelle wird durch die entsprechenden Achsen bewegt. Zwischen Achsenbewegung und Rotorstellung (φ) gibt es eine direkte Abhängigkeit.

Die versetzt angeordneten Statorwicklungen werden mit zwei Wechselspannungen als Sollsannung gespeist. Im Rotor wird eine Spannung U_R induziert, deren Amplitude von der Stellung des Rotors und damit von der jeweiligen Achsenstellung abhängt.

Die Rotorstellung (Rotorwinkel φ) entspricht der Phasenverschiebung zwischen U_R und einer Statorspannung. Diese Phasenverschiebung wird als Weginformation durch den Resolver bereitgestellt /vgl. 40, S. 323/. Bei Drehung des Resolvers wird bei einer bestimmten Winkelstellung die Rotorspannung Null. Bei Überschreiten der Nullstellung wiederholt sich der Wert φ mit jeder vollen Rotordrehung. Um eindeutige Wegpositionen zu erreichen, können mehrere Resolver hintereinander geschaltet werden. Beispielsweise kann das Zählen der Nulldurchgänge als Grobmessung, die Werte zwischen den Nulldurchgängen als Feinmessung betrachtet werden /vgl. 31, S. 147/.

Inductosyne

Inductosyne arbeiten nach dem gleichen Prinzip wie Resolver. Dabei wird die Wicklung des Stators auf einen Linearmaßstab und die des Rotors auf einen Abtastkopf (Gleiter) aufgebracht (Abb. 52).

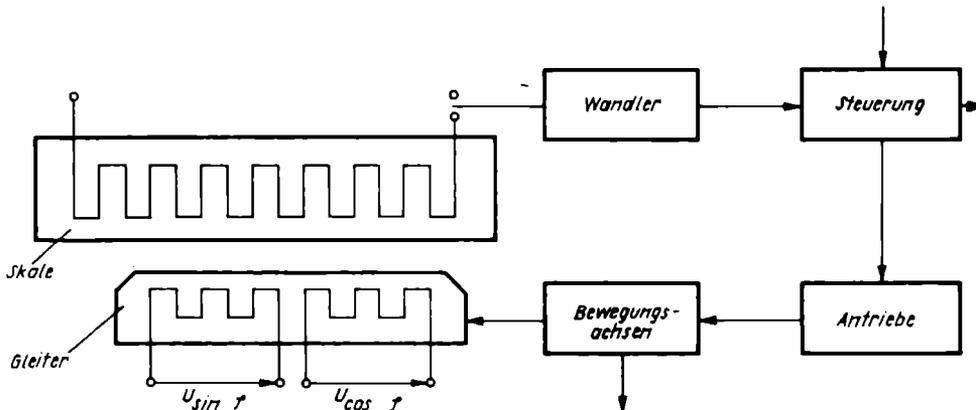


Abb. 52: Inductosyn

In dem mäanderförmigen Leitungssystem wird bei Querbewegung des Läufers eine sinusförmige Spannungsänderung erzeugt, die eine sehr genaue, absolute Lagebestimmung zuläßt. Die höchste Auflösung ist jedoch nur wieder über Grob-, Mittel- und Feinsysteme möglich.

Digitale Geber (digital-absolute Wegmeßsysteme)

Das Grundprinzip digitaler Geber besteht darin, daß die zu erfassenden Wege bzw. Winkel in kleine Schritte Δs und $\Delta \varphi$ zerlegt werden. Die Ausgangssignale dieser Geber sind digital und brauchen in der Signalform vor der Weiterverarbeitung nicht mehr gewandelt werden. Als Wegmeßsysteme bei Industrierobotern werden sowohl digital-absolute als auch digital-inkrementale Geber verwendet. Die technische Ausführung des Abtastens der auf entsprechenden Schienen (Linealen) bzw. Scheiben dargestellten digitalen Weg- und Winkelschritte erfolgt fotoelektrisch. Dabei wird entsprechend dem Material der Kodeschienen bzw. -scheiben das Durchlicht- bzw. Auflichtverfahren angewendet.

Transportable Speicher auf der Basis von Flachpaletten (Systempaletten) gewinnen in zweierlei Hinsicht für die Zukunft an Bedeutung, da

- durch ihren relativ einfachen konstruktiven Aufbau mit wesentlich niedrigeren Herstellungskosten als bei den Rundtankspeichern zu rechnen ist,
- sie durch ihre Koppelbarkeit mit den technischen Elementen des TUL-Prozesses eine gute Voraussetzung zum Einsatz in integrierten Fertigungen bieten und die Teileortimente umschlagsarm von Bearbeitungsstation zu Bearbeitungsstation über einen zentralen Werkstückspeicher transportiert werden können.

Nach der Bauform können Werkstückspeicher sehr vielgestaltig ausgelegt werden. So kommen beispielsweise Trommel-, Ketten- und Bandspeicher sowie Paletten- und Regalspeicher zum Einsatz /vgl. 47/.

In der folgenden Zusammenstellung (Abb. 67) werden einige Lösungsprinzipien dargestellt.

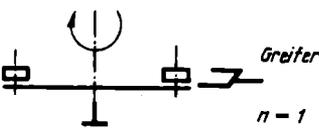
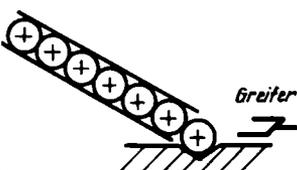
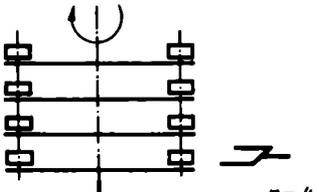
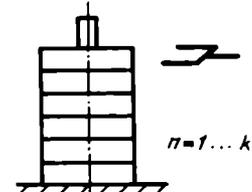
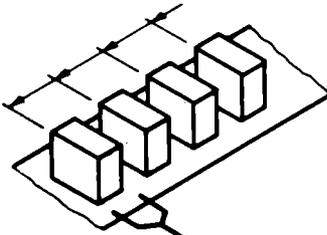
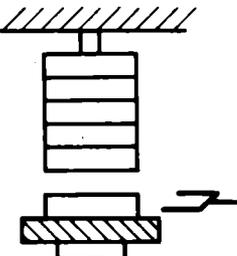
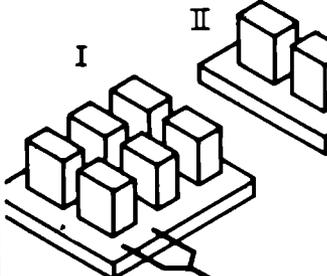
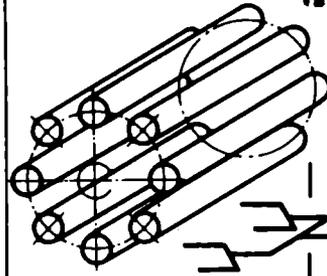
Werkstückspeicher	Forderung an Industrieroboter und Werkstücke	Werkstückspeicher	Forderung an Industrieroboter und Werkstücke
<p>Rundscharfisch mit einer Speicherebene</p> 	<p>Abgriff von einem Fixpunkt, Ablage im selben Punkt, für rotationsymmetrische Werkstücke mit Mittelbohrung</p>	<p>Zuführinne</p> 	<p>Abgriff in einem Fixpunkt, Ablage in einem anderen Fixpunkt im Schwenkbereich des Industrieroboters</p>
<p>Rundscharfisch mit n Speicherebenen</p> 	<p>Abgriff von 4 Ebenen, rotationsymmetrische Werkstücke mit Mittelbohrung</p>	<p>Stapeldorn</p> 	<p>Abgriff von n...k Ebenen, Ablage auf zweitem Stapeldorn für stapelbare Werkstücke, Werkstückbreiten müssen eng toleriert sein</p>
<p>Gefaltetes Fließband</p> 	<p>Abgriff und Ablage in einem Fixpunkt, für lageorientierte rotationsymmetrische oder prismatische Werkstücke</p>	<p>Hängende Stapeldorne</p> 	<p>Abgriff in einem Fixpunkt, Ablage in einem zweiten Fixpunkt für stapelbare Werkstücke, Hubtisch zum Werkstückvereinzeln</p>
<p>Zwei Kreuzschiebetische</p> 	<p>Abgriff vom Kreuzschiebetisch in mehreren Punkten entlang der x-Koordinate, Ablage auf zweitem Kreuzschiebetisch in mehreren Punkten entlang der x-Koordinate für lageorientierte rotationsymmetrische oder prismatische Werkstücke</p>	<p>Trommelspeicher</p> 	<p>Abgriff und Ablage in einem Fixpunkt, Handhabung lagefixierter langer rotationsymmetrischer Werkstücke</p>

Abb. 67: Prinzipielle Lösungsmöglichkeiten von Werkstückspeichern

Für die Auswahl der Speicher lassen sich folgende Auswahlkriterien angeben /vgl. 26, S. 422/:

- Charakteristik der einzusetzenden Industrieroboter (Anzahl der Freiheitsgrade, freie Programmierbarkeit der Achsen, Arbeitsbereich und Arbeitsrichtung der Werkstückgreifelemente, Ausstattung mit Erkennungssystemen u. a.)
- Spezifik des Teilesortiments (geometrische Grundform, Teileabmessungen, Fertigungslosgröße, Masse der Werkstücke u. a.)
- Platzbedarf für die Grundeinrichtung der Werkzeugspeicher
- Grad der Kopplung der Technologischen Einheiten untereinander in einem Fertigungsabschnitt bzw. zu einem kombinierten Lager- und Transportsystem bei integrierten Fertigungen.

Die ersten drei Kriterien bestimmen im wesentlichen die Bauform eines Werkstückspeichers. Das letzte Kriterium bedingt vorzugsweise die Ortsveränderlichkeit eines Speichers.

7. Einsatzvorbereitung von Industrierobotern (IR)

Die effektive Anwendung der Industrierobotertechnik zur arbeitsplatzbezogenen Mechanisierung und Automatisierung erfordert ein hohes Maß an technologischer Vorbereitung. Nur in wenigen Fällen sind die technischen und organisatorischen Bedingungen für den wirtschaftlichen Einsatz von Industrierobotern von Beginn an gegeben. In der Regel müssen die Voraussetzungen für die effektive Anwendung der Robotertechnik sowie für die komplette Gestaltung und für die Inbetriebnahme von roboterbeschickten Technologischen Einheiten durch den Anwender erst geschaffen werden.

Aus diesem Grunde und den Aufgabenstellungen des X. Parteitagcs zur Einführung der Robotertechnik in den kommenden Jahren gewinnt die Einsatzvorbereitung immer größere Bedeutung. Die Vielzahl der zu beherrschenden Einflußgrößen erfordert ein systematisches Vorgehen bei der IR-Einsatzvorbereitung. Durch die Ermittlung und Beschreibung solcher Einflußgrößen wie Handhabungsobjekte, Arbeitsabläufe und Arbeitsbedingungen werden Voraussetzungen geschaffen um die Industrieroboter bzw. die kompletten Technologischen Einheiten entsprechend den Anwenderbedürfnissen zu planen, zu gestalten, zu erproben und reibungslos in den Produktionsprozeß einzugliedern. Fehler und Irrtümer die bei der Auswahl und dem Einsatz von Industrierobotern, insbesondere auch der Peripherie, gemacht werden sind meistens auf Unzulänglichkeiten in der technologischen Einsatzvorbereitung zurückzuführen.

Für die unterschiedlichen Anwendungsbereiche wurden spezielle Richtlinien zur Einsatzvorbereitung von Industrierobotern erarbeitet und eingesetzt, so beispielweise Richtlinien zur Einsatzvorbereitung von Industrierobotern zur Werkstückhandhabung /vgl. 25/ und zum Farbspritzen /vgl. 48/. Unabhängig von den jeweiligen Anwendungsbereichen können folgende Etappen der Einsatzvorbereitung angegeben werden:

1. Planung
2. Projektierung
3. Realisierung.

Prinzipiell kann man bei der technologischen Einsatzvorbereitung zwei verschiedene Wege gehen. Sie unterscheiden sich grundsätzlich in ihrer Ausgangsbasis.

Technologische Einsatzvorbereitung	
1. Weg	2. Weg
Ermittlung der Handhabungsaufgabe	Ermittlung des Standes der verfügbaren Industrierobotertechnik
Auswahl eines geeigneten Industrieroboters	Ermittlung der Handhabungsaufgabe, die mit der verfügbaren Industrierobotertechnik gelöst werden kann

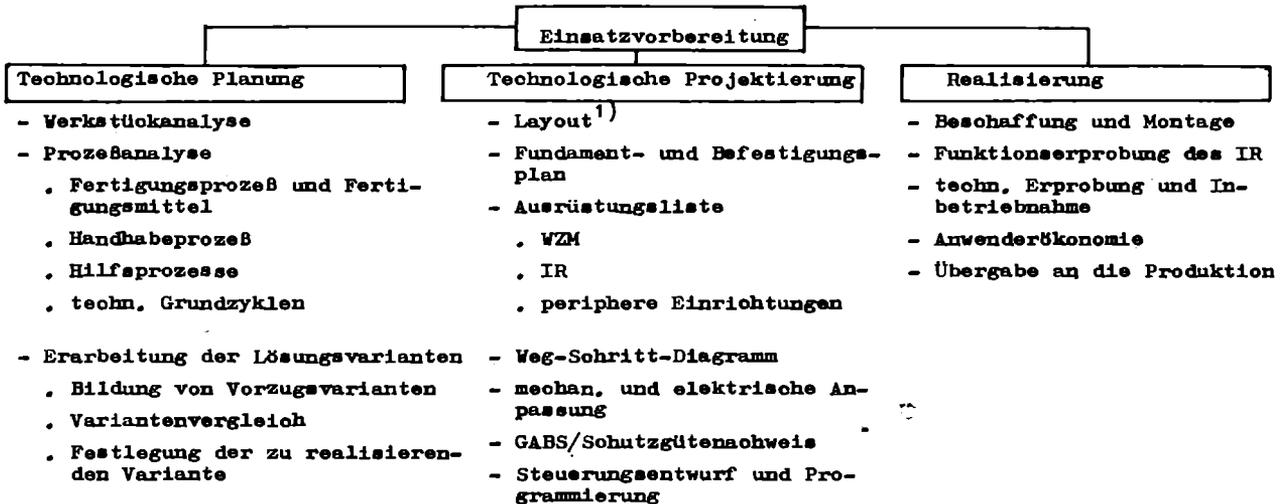
Geht man von der Ermittlung von Handhabeaufgaben aus (1. Weg), so werden im Betrieb durch Analyse des gesamten Fertigungsprozesses einschließlich Teilesortiment solche Arbeitsplätze ermittelt, die für den Einsatz von Industrierobotern geeignet sind. Auf der Basis der Erfassungsergebnisse erfolgt die Auswahl der geeigneten Industrieroboter. Diese Art der Einsatzvorbereitung wird dann zur Anwendung kommen, wenn eine breite Palette von Industrierobotern bzw. ein Industrieroboterbaukasten zur Verfügung steht.

Der 2. Weg der Einsatzvorbereitung geht von der technischen Charakterisierung der vorhandenen Industrierobotertechnik aus. Darauf aufbauend werden solche Teilesortimente und Fertigungsprozesse

ermittelt, deren Parameter den Industrierobotern zuordenbar sind. Auf Grund der Tatsache, daß gegenwärtig bei uns noch nicht ausreichend Industrieroboter zur Verfügung stehen, wird von den Betrieben vorrangig diese Art der Einsatzvorbereitung angewendet.

In den nachfolgenden Ausführungen wird deshalb ausschließlich auf der 2. Art der Einsatzvorbereitung aufgebaut.

Die wichtigsten Aufgaben der drei Etappen der technologischen Einsatzvorbereitung werden in der folgenden Übersicht aufgeführt.



Zur IR-Einsatzplanung

In der Etappe der Einsatzplanung müssen u. a. folgende Fragen beantwortet und die daraus resultierenden Entscheidungen gefällt werden /vgl. 49, S. 727/.

- Wie erfolgt ausgehend von der perspektivischen Leistungsentwicklung des Betriebes die weitere Erhöhung des technologischen Niveaus?
- Welche Anforderungen ergeben sich hieraus an die Intensivierung, an die Automatisierung und an die Integration von Fertigungsprozessen, Fertigungssteuerungsprozessen und TUL-Prozessen?
- Welche Arbeitsplätze sind zu mechanisieren und zu automatisieren?
- Mit welcher Bearbeitungstechnik, Handhabetechnik und peripherer Technik sind die Mechanisierung und Automatisierung der Arbeitsplätze durchzuführen?
- Unter welchen Bedingungen ist die entsprechende Technik - speziell die Robotertechnik - effektiv einsetzbar?
- Welchen Nutzen bringt die Robotertechnik für den Betrieb?

Diese Fragen zeigen, daß der Robotereinsatz stets aus der Sicht der technischen und der technologischen Gesamtentwicklung des Betriebes geplant werden muß. Werden die genannten Zusammenhänge nicht beachtet, so können sich die Roboterplätze bzw. komplette Technologische Einheiten zu isolierten Fertigungseineln entwickeln, die eine weitere durchgängige Automatisierung der Produktion hemmen.

Zusammenfassend lassen sich folgende Aufgaben in der Etappe der IR-Einsatzplanung darstellen.

¹⁾ Layout = Entwurf für Text- und Bildgestaltung, z. B. Werkstatt- oder Betriebslayout - durch technologische, bautechnische, organisatorische ... Angaben ergänzte Anordnung von Anlagen auf einer Fläche.

4.1. Beschickungsroboter

Mit einer der Aufgabenstellung angepaßten Peripherie wie z. B. Paletten, Hubtische, Mehrstundenmagazine, Förderbänder "ersetzt" der Industrieroboter an Werkzeugmaschinen, Umformmaschinen, Kunststoffspritzmaschinen, Schmiedehämmern, Pressen, Webstühlen, Prüfstationen usw. den "Bediener". Das heißt, der Industrieroboter kommt zum Einsatz für die Verrichtung stark monotoner, ermüdender und schwerer Handhabungsoperationen sowie gleichzeitig zur Verfahrensintensivierung (Erhöhung der Maschinenleistung, da ein vom Mensch unabhängiger zyklischer Handhabebelauf entsteht).

1. Beispiel: Der Industrieroboter als einfacher Beschicker - aber mit hochorganisierter Peripherie (Bild 12)

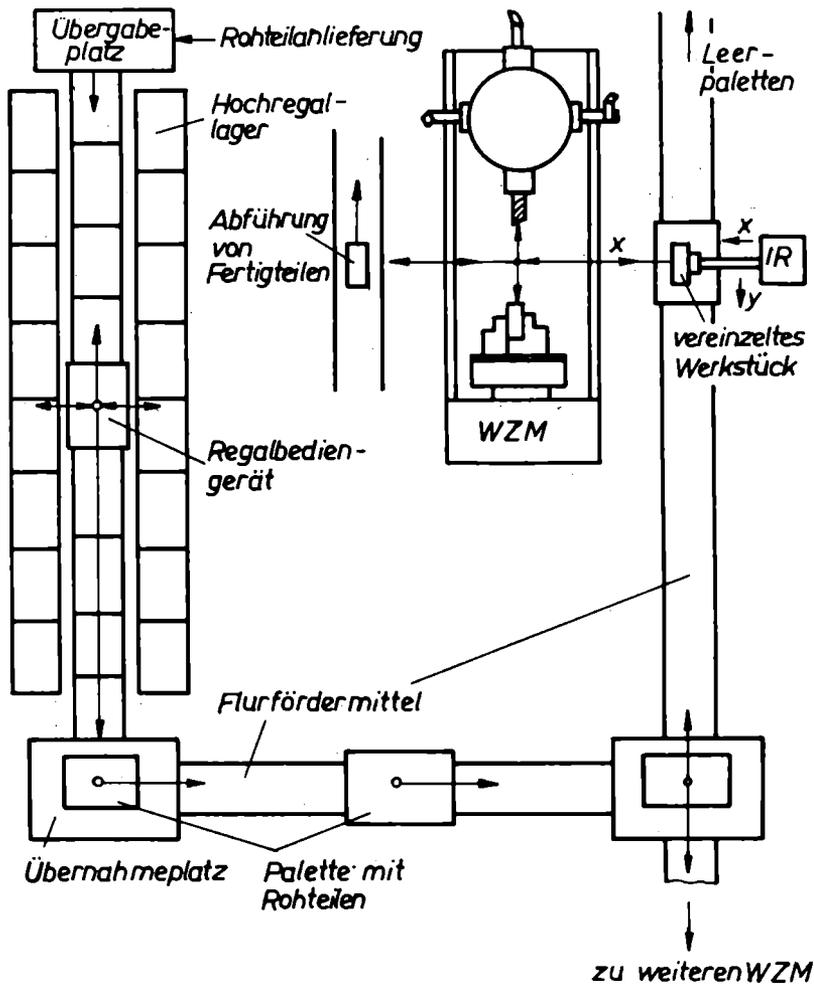


Abb. 12: Industrieroboter in Zusammenarbeit mit hochorganisierter Peripherie

Nehmen wir an, daß eine hochorganisierte Peripherie mit Hochregallager sowie mit automatischen Lagerbediengeräten, Übergabeeinrichtungen vom Lager zu Flurfördermitteln (Förderbänder, induktiv gesteuerte Transportwagen), Übergabeeinrichtungen vom Flurfördermittel an einen Ablageplatz dafür sorgt, daß das jeweils zu bearbeitende Werkstück auf einem definierten Bereitstellplatz exakt abgelegt wird, so kann die Handhabeaufgabe für den Industrieroboter im einfachsten Falle lauten:

- 1 — Werkstück translativ in x-Richtung bis zum Spannfutter bewegen
- 2 — Werkstück translativ in y-Richtung in das Spannfutter schieben
- 3 — Greifer durch Rückwärtsbewegung in y- und x-Richtung in
- 4 — Warteposition außerhalb der Maschine bringen
- 5 — Greifer nach beendeter Werkstückbearbeitung wieder auf das
- 6 — Werkstück bewegen (Richtung x und y)
- 7 — Werkstück übernehmen und translativ in Richtung y und x
- 8 — bis zur Werkstückabfuereinrichtung bewegen
- 9 — Greifer translativ in x-Richtung bis zum Werkstückbereitstellplatz zurückführen.

Es ist zu erkennen, daß der Industrieroboter nur zwei Translationsbewegungen zu realisieren braucht und zwar in Richtung x und y. Er besitzt also nur zwei Freiheitsgrade.

Die Anforderungen an die Steuerung sind gering. Es genügt durchaus, eine kontaktelktrische Lösung herbeizuführen. Endlagenschalter im Zusammenwirken mit Nocken könnten das Signalisieren der jeweiligen Wegposition übernehmen. Das Ablegen der Weginformationen kann in einfachen Relais-Speichern vorgenommen werden.

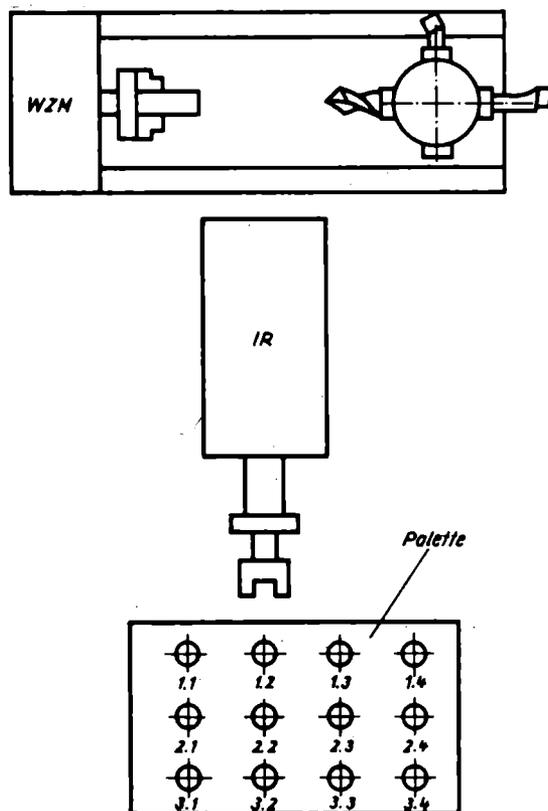
Die notwendigen Schaltinformationen wie: Bewegung in Richtung x und y, Start, Stop, Zwischenhalt sind ebenfalls in derartigen Speichern ablegbar. Mit Hilfe konjunktiver Verknüpfungen (UND) kann der n+1-te Steuerschritt nach Vollzug des n-ten Steuerschritts vollzogen werden.

Der einfache Aufbau der Grundeinrichtung sowie der Steuerung sind der Grund dafür, daß die Anschaffungskosten derartiger Industrieroboter niedrig sind.

Das Ganze, und das darf nicht vergessen werden, ist aber auf eine hochorganisierte Peripherie zurückzuführen. Dies jedoch ist kostenintensiv und bedarf ihrerseits eigener Steuereinrichtungen, an die wesentlich höhere Anforderungen gestellt werden; beispielsweise an die Steuerung des Regalbediengerätes.

2. Beispiel: Industrieroboter mit einfacher Peripherie

Das erste Beispiel soll in seinen Bedingungen verändert werden. Die Peripherie wird anders gestaltet. Dadurch verändern sich sofort Anforderungen an den Industrieroboter.



Nehmen wir an, daß eine Situation nach Abbildung 13 gegeben ist.

Das Werkstück wird entsprechend Abb. 13 auf einer Palette dem Industrieroboter bereitgestellt. Dieser hat das Werkstück von den entsprechenden Palettenplätzen zu nehmen, der Werkzeugmaschine zu übergeben und nach der Bearbeitung wieder am gleichen Platz abzulegen. Die Palette ist feststehend.

Bei dem ersten Beispiel war der prinzipielle Aufbau des Industrieroboters aus der Skizze erkennbar sowie auch aus der Aufgabenstellung ableitbar. Bei dem vorliegenden Beispiel ist der Ablauf der einzelnen Handhabeoperationen sehr stark vom Grundaufbau des zu verwendenden Industrieroboters abhängig. Es sind zwei generelle Lösungen möglich;

- I. Die Grundeinrichtung des Roboters realisiert die Translationsbewegungen X, Y und Z sowie die Rotation um die Achse Z (Drehung C).
- II. Die Grundeinrichtung des Roboters ist feststehend und kann die Translationsbewegung Y nicht realisieren. Es bleiben also Translation in Richtung x und z sowie Rotation um die Achse Z. Bei dieser Variante muß der Greiferarm wesentlich länger sein als bei der Variante I.

Abb. 13: Industrieroboter mit Palettenbereitstellungsplatz

Von der Lage der Werkstücke auf der Palette ist abhängig ob der Greifer eine Rotationsbewegung ausführen muß. Stehende Werkstücke müssen beispielsweise vor der Einführung in das Spannfutter erst in die Lage der Maschinenachse gebracht werden.

Neue Bedingungen würden durch steuerbare Paletten entstehen, die jeweils nach der Abarbeitung aller in x-Richtung stehenden Werkstücke weitertransportiert wird. Hier könnte beispielsweise bei Variante I ein Industrieroboter gewählt werden, der die Translationsbewegung Y nicht zu realisieren braucht.

Aus einer möglichen Handhabefolge soll ein kurzer Auszug gegeben werden. Dabei wird davon ausgegangen, daß Variante I verwendet wird, die Werkstücke senkrecht stehen und demzufolge der Greifer die Teile von oben erfaßt und eine Rotationsbewegung um die Greiferachse U (Parallele bzw. Verlängerung der Achse X) ausführen muß.

Das Werkstück des Palettenplatzes 1.1. wurde nach erfolgter Bearbeitung abgesetzt und der Greifer in z-Richtung nach oben verschoben. Der neue Zyklus beginnt mit

- 1 Greifer translativ in x-Richtung bis über das Werkstück des Palettenplatzes 2.1. bewegen
- 2 Greifer translativ in z-Richtung bis zum Werkstück bewegen
- 3 Werkstück in z-Richtung von der Palette abheben
- 4 Werkstückachse parallel zur Maschinenachse drehen (Rotation des Greifers um die U-Achse)
- 5 Werkstück zur Maschine führen (Rotation um die Z-Achse - 180°)
- 6 Werkstück translativ in x-Richtung bis über die Maschinenachse bewegen
- 7 Werkstück translativ in z-Richtung bis zur Maschinenachse absenken
- 8 Werkstück translativ in y-Richtung bis zum Spannfutter bewegen
- 9 10 11 Greifer in Warteposition bringen (Translation in Richtung y und z, Rotation um die Achse Z (Drehung C)).

Bei der Aufstellung der Reihenfolge der Handhabeoperationen wurde vorausgesetzt, daß die Palette eine optimale Lage zur Maschine hat um möglichst wenig Handhabeoperationen zu erhalten. Ein kurzer Auszug der Handhabefolge bei Einsatz der Variante II soll zeigen, daß diese Variante zunächst günstiger erscheint, da die Grundeinrichtung des Industrieroboters keine Translationsbewegung in y-Richtung zu realisieren braucht. Die veränderten Anforderungen an die Steuerung sollen vernachlässigt werden.

- 1 Greifer über das Werkstück des Palettenplatzes 2.1. bewegen (in Abhängigkeit von der Art der Steuerung z. B. Rotation um z und Translation bis über das Werkstück)
- 2 3 4 bleibt wie bei der Variante I
- 5 Werkstück über die Maschinenachse bewegen (Rotation um z und Translation)
- 6 Werkstück translativ in z-Richtung bis zur Maschinenachse absenken
- 7 Werkstück in das Spannfutter einführen (die Realisierung dieser Operation erfolgt durch Rotation um Z bei gleichzeitiger Translation und Greiferdrehung um die Greiferachse W)
- 8 Greifer in Warteposition bringen.

Bei beiden Varianten ist zu erkennen, daß gegenüber Beispiel 1 die Anforderungen an den Industrieroboter in Richtung Flexibilität erheblich gestiegen sind. Neben Translation und Rotation in unterschiedlichen Achsen kommt noch das Aufsuchen der Palettenplätze mit den unterschiedlichen x- und y-Koordinaten sowie das Einnehmen beliebiger Positionen in einzelnen Achsen hinzu.

Die kurzen Ausführungen zum Beispiel 1 lassen unschwer erkennen, daß die Anforderungen an die Steuerung ebenfalls erheblich gestiegen sind. Diese Anforderungen können beispielsweise noch durch zusätzliche Bedingungen wesentlich erweitert werden, die dann mit die Art der Steuerung entscheiden. Zu diesen Bedingungen gehören u. a.:

- . Höhere Einfahr- und Wiederholgenauigkeiten;
- . Eigendiagnose der Steuerung und Monitoranzeige der Störgrößen;
- . Greiferüberwachung auf Bruch und Klemmung;
- . Palettenplatzbeobachtung;
- . Kommunikation zur Peripheriesteuerung;
- . Kleine Losgrößen und damit verbunden schnelle Umrüstbarkeit der Steuerung auf andere Randbedingungen (wechselnde Werkstückgeometrie, wechselnde Palettenplätze);
- . Mehrmaschinenbedienung usw.

Bei der Auswahl eines geeigneten Industrieroboters spielen jedoch noch weitere Aspekte eine wesentliche Rolle, auf die an anderer Stelle eingegangen wird, da sie von genereller Bedeutung für die Wahl der entsprechenden Robotertechnik sind.

3. Beispiel: Industrieroboter vor ungeordneten Teilen

Bisher wurde immer vorausgesetzt, daß der Industrieroboter geordnete Werkstücke vorfindet. Wird diese Voraussetzung aufgegeben, so entsteht schlagartig eine äußerst komplizierte Situation. Abbildung 14 möge dies verdeutlichen.

Will man den ganzen Vorgang einem Montageroboter übertragen, so muß man zunächst davon ausgehen, daß er nur eine Hand hat. Um seine Schwierigkeiten zu verstehen, wäre es gut sich vorzustellen, daß man auch nur eine Hand hätte. Was nun? Die Aufgabe scheint kaum lösbar, zumindest nicht in ökonomisch vertretbaren Grenzen.

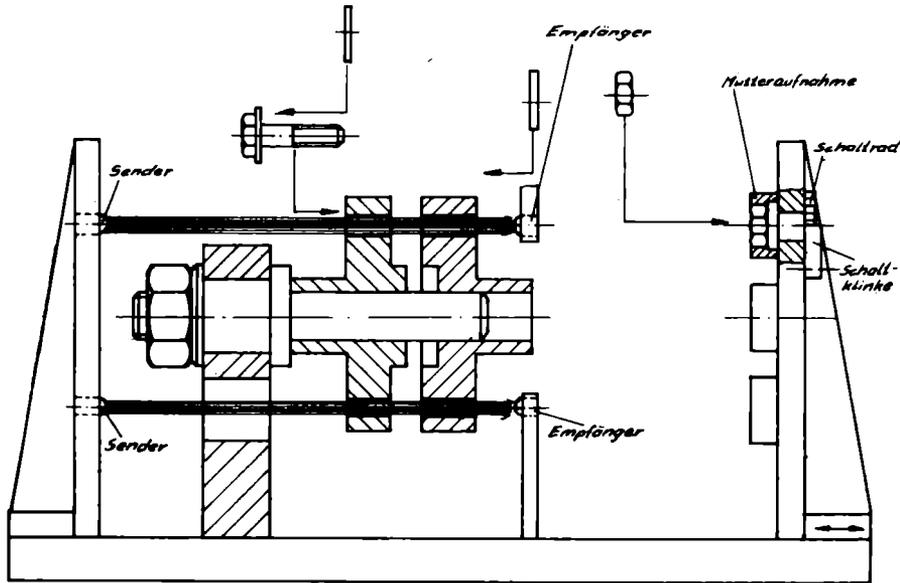


Abb. 24: Vorrichtung für Montageprozeß durch Industrieroboter

Eine Lösungsmöglichkeit wird in der Abbildung 24 angedeutet. Wie man sieht, benötigt der Industrieroboter zur Realisierung der Aufgabe eine entsprechende Peripherie, hier in Form einer Aufnahmevorrichtung. Sie besitzt einen Aufnahmedorn, zwei optische Achsen mit Lichtquellen und ein-schwenkbaren Empfängern, eine verschiebbare Konsole mit entsprechender Halterung für die Muttern. Die Mutterhalterung nimmt die Muttern auf und sichert sie gleichzeitig gegen Verdrehung.

Wir wollen untersuchen, ob der Industrieroboter und die vorhandene Peripherie in der Lage sind, unser Problem zu lösen. Dazu verfolgen wir die erforderlichen Montageschritte.

Nr.	Arbeitsstufe	Ausführung der Arbeit durch	
		IR	Vorrichtung
1	2	3	4
1	Aufsetzen des 1. Flanschstückes auf den Aufnahmedorn	X	
2	Einschwenken der optischen Empfänger		X
3	Ausrichten des Flanschstückes auf Lichtdurchlaß	X	
4	Ausschwenken der optischen Empfänger		X
5	Aufsetzen des 2. Flanschstückes	X	
6-8	wie 2-4		
9	Ineinanderschieben der beiden Flanschstücke	X	
10	Aufnahme einer Sechskantschraube und Aufstellen in Aufnahmehalterung	X	
11	Aufnehmen einer Unterlegscheibe und Aufsetzen auf die Schraube	X	
12	Aufnehmen der Schraube und Einführen in die 1. Bohrung	X	
13-21	wie 10-12 für 2. - 4. Schraube		
22	Aufnehmen einer Unterlegscheibe und Aufsetzen auf die 1. Schraube	X	
23-25	wie 22 für 2. - 4. Schraube		
26	Aufnehmen einer Mutter und Einsetzen in die Halterung 1	X	
27-29	wie 26, jedoch in Halterung 2-4	X	
30	Gegenfahren der Muttern gegen die Schraubenenden		X
31	Schraubenkopf 1 mit Elektroschrauber festschrauben	X	
32-34	wie 31 jedoch für Schraubenkopf 2-4		
35	Zurückfahren der Konsole		X
36	Flanschstücke aus der Vorrichtung nehmen und ablegen	X	

Die hier beschriebene Montagefolge ist eine denkbare Lösungsvariante. Es sind jedoch eine Reihe weiterer Varianten möglich, die u. U. weniger weitreichend sind. Wie die Prozesse zu zerlegen sind, ist letztlich eine Frage der Ökonomie, nicht der "technischen Machbarkeit". So wäre beispielsweise denkbar, die Schrauben und Unterlegscheiben vorzumontieren, die Zuführung zu automatisieren, ohne den IR zu bemühen.

Man erkennt hier Analogien zum Abschnitt 4.1. Je höher die Peripherie aufgerüstet wird, desto mehr kann der Industrieroboter abgerüstet werden. Allerdings stellt eine hoch aufgerüstete Peripherie immer eine starre Variante dar. Die Prozeßflexibilität wird stark eingeengt. Eine notwendige Randbedingung für eine solche Lösung wäre eine hohe Stückzahl und damit die Möglichkeit der Massenfertigung. Bei häufig wechselnden Handhabeoperationen muß daher die größere Flexibilität des Industrieroboters im Vordergrund stehen.

Zur Steigerung der Effektivität und Flexibilität der Industrieroboter für Montageprozesse werden neben Hilfsrobotern und entsprechenden peripheren Hilfegeräten auch bereits Roboter mit einem Greiferwechselsystem eingesetzt. Der Roboter ist dadurch in der Lage, die in der Peripherie angebotenen Greifer und Werkzeuge nach Bedarf selbständig auszuwählen und einzusetzen (Abb. 25).

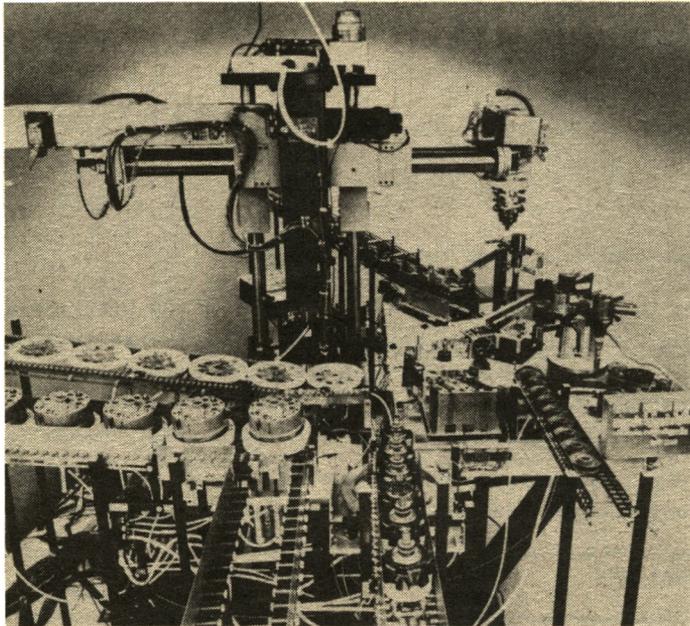


Abb. 25: Montageroboter mit Greiferwechselsystem

Zur Realisierung in der Praxis

Montageroboter des VEB Kombinat Robotron

Der Industrieroboter wurde zur Durchführung von Montagearbeiten am Schreibmaschinenführungsarm im VEB Opzima-Büromaschinenwerk Erfurt eingesetzt.

- Charakteristik des alten Arbeitsplatzes

Die Schreibmaschinenführungsarme wurden manuell montiert. Acht Kleinteile mußten zu einer Baugruppe verbunden werden. Der Arbeitsplatz erforderte eine hohe Konzentration bei der Handhabung und Montage der sehr kleinen Teile. Qualifizierte Facharbeiter führten Arbeitsverrichtungen mit niedrigen Qualifikationsmerkmalen aus.

Für die Montage waren keine aufwendigen Einrichtungen notwendig. Es war ein typischer Handarbeitsplatz mit Handwerkzeug und mit stark monotonen Charakter.

Aufgrund der Spezifik war der Arbeitsplatz mit anderen Mitteln schwer mechanisierbar und automatisierbar. Erst mit dem Einsatz eines Montageroboters konnte dieses Problem gelöst werden.

- Charakteristik des neuen Arbeitsplatzes

Am neuen Arbeitsplatz wird die Montage der Schreibmaschinenführungsarme von einem Montageroboter ausgeführt. Durch den Roboter werden die notwendigen Kleinteile zu einer Baugruppe gefügt.

Der Montageroboter besitzt 5 Freiheitsgrade und eine Wiederholpositioniergenauigkeit von $\pm 0,5$ mm. Er ist mit einem Kraftsensor in der Greiferzange ausgerüstet. Damit kann er ungeordnete Teile aus Vorratsbehältern entnehmen und montieren. Zusätzliche manuelle Montageverrichtungen sind nicht mehr erforderlich.

- Erreichte Effekte

ökonomische Effekte:

- Steigerung der Arbeitsproduktivität auf 300 Prozent
- Einsparung von 1,4 Arbeitsplätzen je Einsatzfall bei Dreischichtbetrieb (Art der freigesetzten Arbeitskräfte: Montagekräfte besonders Lohngruppe 4 und 5)
- Rücklaufdauer 1,5 ... 2 Jahre
- Freisetzung von 4 Arbeitskräften je Einsatzfall bei Dreischichtbetrieb

soziale Effekte:

- Beseitigung von Monotonie und einseitiger körperlicher Belastung bei Montagearbeiten

4.3. Der Industrieroboterereinsatz im Rahmen Technologischer Einheiten (TE)

Im Abschnitt 4.1, wurden Einsatzbeispiele für Beschickungsroboter dargestellt. Oft wird bei derartigen Einsatzfällen bereits von Technologischen Einheiten gesprochen. Es muß jedoch beachtet werden, daß Technologische Einheiten als relativ selbständige Systeme in der Fertigungstechnik verstanden werden.

Wesentliche Merkmale Technologischer Einheiten sind /vgl. 28/:

- Einsatz einer oder mehrerer technologisch gleichartiger oder unterschiedlicher automatischer Maschinen,
- Einsatz eines Industrieroboters als Koppelglied zwischen Speicher (bzw. Transporteinrichtung) und Arbeitsraum der Maschine,
- Einsatz eines oder mehrerer arbeitsplatzbezogener Speicher für die Einzelteile zur Sicherung eines bedienarmen Arbeitsablaufs,
- steuerseitige Verknüpfung des Bearbeitungs-, Beschickungs- und Kontrollprozesses.

Die Bestandteile einer Technologischen Einheit sind also automatische Maschinen oder Anlagen, Industrieroboter sowie periphere Einrichtungen, die steuerseitig miteinander verknüpft sind. Derartige Einheiten dienen der effektiven Bearbeitung eines begrenzten Sortiments konstruktiv-technologisch ähnlicher Teile. Hierbei verlaufen der Fertigungsprozeß, der Handhabungsprozeß sowie weitere Prozesse automatisiert und integriert.

In der Praxis haben sich unterschiedliche Ausbaustufen der technologischen Einheiten herausgebildet. In der Abbildung 26 sind mögliche Funktionen einer TE und die realisierbaren Ausbaustufen dargestellt /vgl. 26, S. 418/.

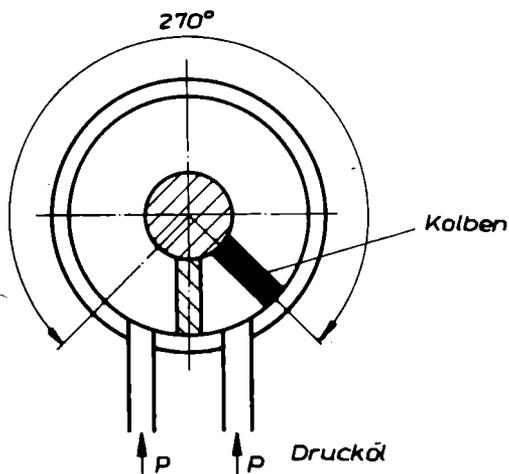
Die bisher im Maschinenbau der DDR arbeitenden Technologischen Einheiten entsprechen überwiegend der Ausbaustufe 5. Sie realisieren also bereits neben der eigentlichen Bearbeitung des Werkstückes, die Werkstück- und Werkzeughandhabung, die Werkstückspeicherung und die Späneentsorgung automatisch. Die weitere Vervollkommnung Technologischer Einheiten wird künftig in der Erhöhung der Flexibilität sowie in der Automatisierung und Integration weiterer Funktionen von Maschine, Roboter und Peripherie bestehen /vgl. 26, S. 418/.

Die mit höherer Ausbaustufe zunehmende Automatisierung und Integration der einzelnen Funktionen (Abb. 26) schafft günstige Bedingungen für den bedienarmen Betrieb und ermöglicht die Einordnung Technologischer Einheiten in komplette Fertigungsabschnitte bzw. Maschinensysteme. In diesen Fertigungskonzepten durchlaufen die Werkstücke, um vom Rohteil in den Fertigzustand zu gelangen, eine Vielzahl von Werkzeugmaschinen oder Bearbeitungsstationen. Die Weitergabe der Werkstücke von Station zu Station und die zeitliche Folge der Bearbeitung der Teile wird perfekt gesteuert. Als Lösungen sind in der Praxis integrierte gegenstandsspezialisierte Fertigungsabschnitte und Maschinensysteme anzutreffen.

Die neue Qualität dieser Fertigungskonzepte wird gekennzeichnet durch:

- eine hohe technisch-organisatorische Integration der Ausrüstungen für den Bearbeitungs- und Transport-/Lagerprozeß
- rechnergestützte Fertigungssteuerung.

Das eintretende Öl übt eine Kraft auf den Kolben (1) aus, Dadurch wird die Kolbenstange (2) verschoben und mit ihr das Gehäuse (3).



Drehkolbenantrieb: Der Drehkolbenantrieb wird vorzugsweise bei Dreheinheiten angewendet. Der prinzipielle Aufbau wird in der Abb. 44 gezeigt.

Der in einem Zylinder angeordnete drehbare Kolben wird durch das eintretende Öl bewegt. Die Drehrichtung ist abhängig von der Leitung, aus der das Öl in den Zylinderraum gepumpt wird.

Abb. 44: Drehkolbenantrieb

Schrittantrieb: Als digitaler Schrittantrieb wird der Schrittmotor eingesetzt. Auf einen elektrischen Impuls hin wird eine definierte Drehbewegung ausgeführt. Der zurückgelegte Drehwinkel ergibt sich aus der Beziehung

$$\varphi = \Delta \varphi \cdot Z$$

φ = zurückgelegter Drehwinkel

$\Delta \varphi$ = definierter Drehwinkel, Schrittwinkel

Z = Anzahl der Impulse (Schritt- bzw. Impulszahl)

Das Wirkprinzip eines Schrittmotors ist mit dem eines normalen Synchronmotors zu vergleichen. Es wird durch den Stator ein Magnetfeld aufgebaut, dessen Änderung der Rotor folgt. Für die technische Realisierung dieses Wirkprinzips haben sich zwei prinzipielle Möglichkeiten herausgebildet. Der Aufbau des schrittweise wandelnden Magnetfeldes wird durch Mehrphasenstatoren bzw. Mehrstatorausführungen erreicht /vgl. 35, S. 488/.

Der Aufbau und das Wirkprinzip eines Schrittmotors sollen am Beispiel eines 3-Phasen-Stators gezeigt werden.

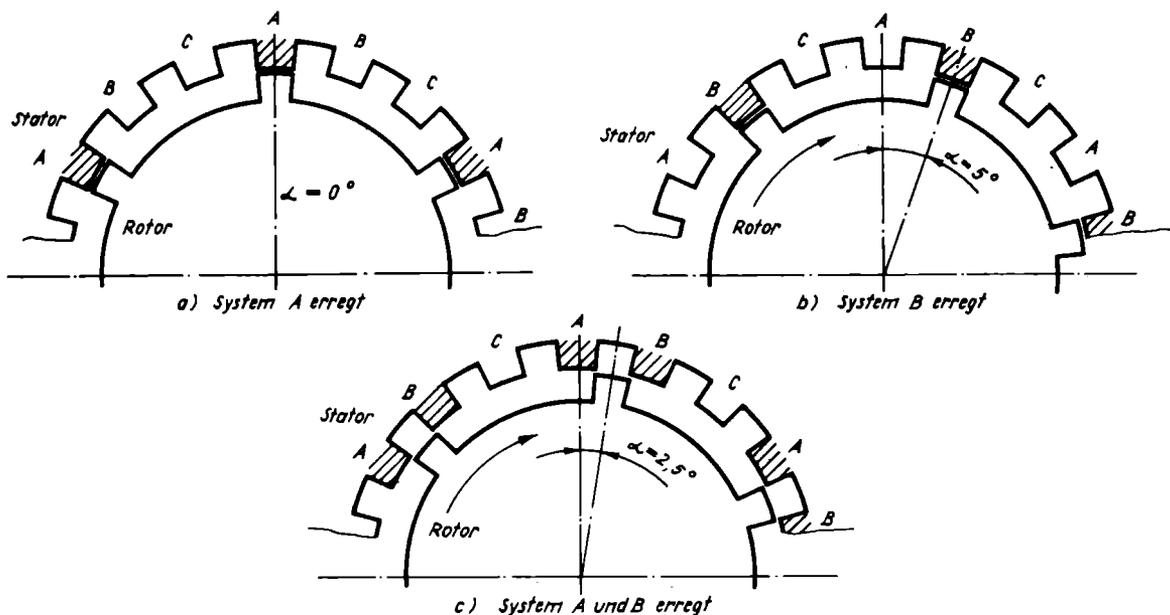


Abb. 45: Schrittmotor - 3-Phasen-Stator

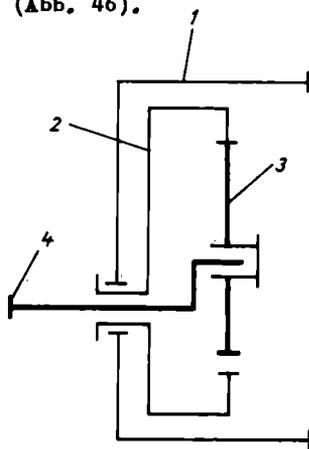
Die Spulen der drei Statorsysteme A, B, C werden über ein spezielles Ansteuerungssystem erregt. Fließt beispielsweise über das Statorsystem A Strom, so bewirkt die entstehende magnetische Kraft eine Drehung des Rotors, bis sich die Rotor- und Statorpole gegenüberstehen (Abb. 45a). Der Rotor bleibt in dieser Lage, solange das System A vom Strom durchflossen wird. Soll sich der Rotor um den Schrittwinkel $\Delta\varphi$ weiterdrehen, muß das System B erregt werden (Abb. 45b). Durch fortlaufende Erregung der einzelnen Statorsysteme kann der Rotor eine festgelegte Winkeldrehung φ ausführen.

Durch entsprechende Ansteuerung können auch zwei Statorsysteme gleichzeitig erregt werden. Diese Erregung von zwei benachbarten Spulen führt zu einer Halbierung des angegebenen Schrittwin- kels

Der Einsatz eines Schrittmotors für Linearbewegungen erfordert die Verwendung zusätzlicher Bau- gruppen, beispielsweise eines Wälzschraubgetriebes, um die Winkelschritte $\Delta\varphi$ des Rotors in Weg- schritte ΔS zu wandeln.

Bei der Mehrzahl der herzustellenden Industrieroboter muß auf Kleinbauweise geachtet werden. Der Roboter muß möglichst eine geringe Masse haben, um schnell beschleunigt und verzögert werden zu können. Er muß aber auch über ausreichende Momente und Kräfte verfügen, um seinen Aufgaben ge- recht zu werden.

Die Folge dieser Forderungen ist, daß kleine Antriebmotore mit geringer Masse und mit hoher Drehzahl benutzt werden müssen. Zur Erzeugung der erforderlichen Momente und Kräfte ist es dann aber nötig, hochübersetzende Getriebe nachzuschalten. Diese Forderungen erfüllen beispielsweise Umlaufrädergetriebe (Abb. 46).



Das Getriebe besteht aus dem Gestell (1), dem Mittelrad (2), dem Umlaufrad (3) und dem Steg (4).

Abb. 46: Einfaches Umlaufrädergetriebe

5.5. Steuerungen

5.5.1. Aufgaben und Klassifizierung

Aus den bisherigen Darstellungen läßt sich ableiten, daß sehr viele Disziplinen die Roboterent- wicklung prägten. Ausgehend von den Forderungen und Bedingungen der Praxis spielten insbesondere solche Disziplinen eine Rolle wie die Antriebs- und Getriebetechnik, die Meßtechnik, die Hydraulik, Pneumatik und Elektronik.

So gesehen stellt der Industrieroboter eine technische Spitzenleistung bzw. Spitzenentwicklung mit disziplinübergreifendem Charakter dar.

Was würde er aber mit allen seinen Teilsystemen leisten können, wenn wir ihm nicht ein ordnendes, alles koordinierendes und leitendes "Organ" - die Steuerung - zur Verfügung stellen würden? Nur die Steuerung vermag ihm "Leben einzuhauchen", vermag, daß er sich nach Wunsch und Willen des Menschen bewegt und handelt. Es ist daher gerechtfertigt, den Steuerungen einen entsprechenden Platz einzuräumen.

Für die weiteren Betrachtungen soll zunächst auf einige allgemeine Grundlagen der Steuerungs- technik zurückgegriffen werden.

Aus der Darstellung des prinzipiellen Aufbaus eines Industrieroboters als Blockbild (vgl. 5.1.) ist erkennbar, daß bei einem mit allen Hauptbaugruppen ausgestatteten Roboter über Wegmeß- und

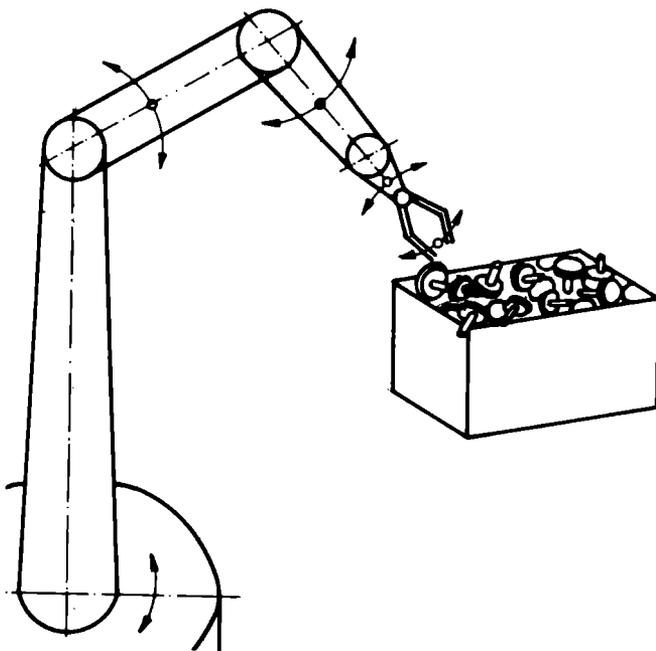


Abb. 14: Industrieroboter vor ungeordneten Teilen

Das Bild zeigt, wie ein Roboter vor einer Kiste mit ungeordneten Teilen steht, was soll er tun? Er weiß es nicht, kann es nicht wissen, weil ihm etwas Entscheidendes fehlt, was der Mensch in so wunderbarer Weise von der Natur bekommen hat, nämlich die "Auge-Hand-Koordination".

Denkt man einmal darüber nach, so ist es erstaunlich, was der Mensch hier zu leisten vermag. Wird er vor die gleiche Kiste mit ungeordneten Teilen gestellt, so kann er mühelos und ohne nachzudenken die Teile entnehmen und sie geordnet ablegen. Selbst Kinder verfügen bereits über diese Fähigkeit!

Es lohnt sich, hierüber weiter nachzudenken.

Zunächst verfügen wir also über eine exakt funktionierende Auge-Hand-Koordination. D. h., das Auge erfaßt das zu ergreifende Teil und teilt dessen Lage unserem Hirn mit. Diese Information wird im Hirn so verarbeitet, daß als Ergebnis eine komplizierte Stellbewegung ausgelöst wird, die dann unsere Hand voll-

führt. Das Teil wird an einer brauchbaren Stelle ergriffen, angehoben, in die richtige Lage gedreht und dem Ordnungswunsch entsprechend abgelegt.

Wir können aber noch mehr. In dem Augenblick nämlich, wo unsere Finger das Teil erfassen, spüren wir beispielsweise die Rauigkeit der Oberfläche, die Geometrie, die Masse, die Griffgünstigkeit oder -ungünstigkeit. Auch diese Informationen werden unserem Hirn mitgeteilt, verarbeitet und es werden entsprechende Stellbewegungen für die Hand ausgelöst. So umschließen wir Teile mit glatter Oberfläche oder großer Masse fester als leichte, zerbrechliche Gegenstände. Weshalb geht das alles so? Weshalb mit so großer Selbstverständlichkeit? Es würde zu weit führen, auf diese Fragen ausführlich einzugehen. Aus regelungstechnischer Sicht sollen diese Vorgänge kurz skizziert werden.

Wir verfügen über ein umfangreiches biologisches Sensorsystem zur Erfassung unterschiedlichster Informationen. Die folgende Zusammenstellung natürlicher Sensoren läßt die Leistungsfähigkeit des Menschen bei der Informationsgewinnung und -verarbeitung nur ahnen.

Art der Information	erfaßte Größe	Sensoren	Einteilung	Informations-	
				übertragung	verarbeitung
optische Information	Licht	Auge	biologisch	unbewußt	bewußt
akustische "	Frequenz	Ohr	physikalische		
taktile "	Druck	Haut	Sensoren	10^9 bit/s	10^2 bit/s
gustatorische Information	Geschmack	Mund	biologisch		
olfaktorische Information	Gerüche	Nase	chemische Sensoren		

Unser Sensorsystem bildet zunächst einmal die notwendigen Eingangssignale, die über Nervenbahnen dem Hirn übermittelt werden. Hier erfolgt ein "Vergleich" mit bereits vorhandenen Informationen (u. a. Erfahrungen). Als Ergebnis dieses Vergleichs entstehen Stellbefehle. Diese sind Anlaß zur Auslösung von Befehlen an das motorische Zentrum, welches die koordinierte Betätigung vieler Muskeln auslöst. Die notwendige Bewegung beispielsweise die Handhabung, wird vollführt und sensorisch überwacht. Neue Reize werden gebildet, weitergeleitet, verarbeitet usw. Grob vereinfacht wird dieser Vorgang in der Abbildung 15 dargestellt.

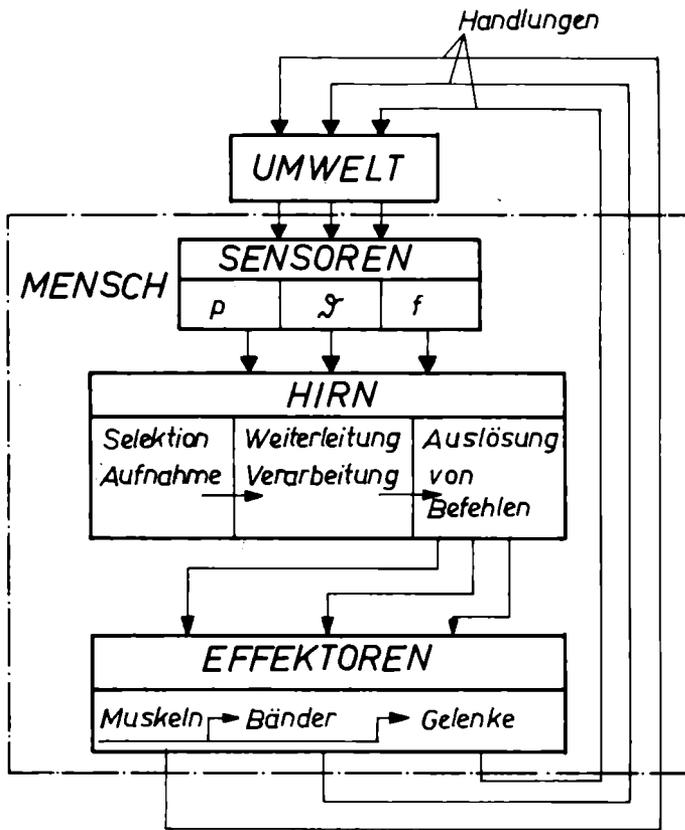


Abb. 15: Mensch-Umwelt-Beziehungen

Wollen wir also einen Industrieroboter konzipieren, der über ähnliche Fähigkeiten wie der Mensch verfügt, also mindestens sehen, fühlen und rückkoppeln kann, so erwachsen uns erhebliche Anforderungen an seine steuerungs- und gerätetechnische Gestaltung. Neben geeigneten Sensoren und einem hohen Freiheitsgrad für den Industrieroboter ist eine Steuerung erforderlich, die eine extrem hohe Anzahl von Speicherplätzen und eine entsprechend hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit besitzt.

Damit sind wir wieder an den Ausgangspunkt der Betrachtungen über Beschickungsroboter zurückgekehrt. Haben wir die Auge-Hand-Koordination schon erreicht? Die Antwort ist "ja". Allerdings noch nicht mit dem "Griff in die Kiste". Aber eine erste Näherungsstufe ist erreicht worden (vgl. Abb. 16).

Ein Dunkermagazin mit Zuteilmechanismen wird mit ungeordneten Werkstücken beschiekt. Sie werden vereinzelt aber ungeordnet auf ein Förderband abgelegt. Das Band bewegt die Teile entweder im Schrittbetrieb oder kontinuierlich.

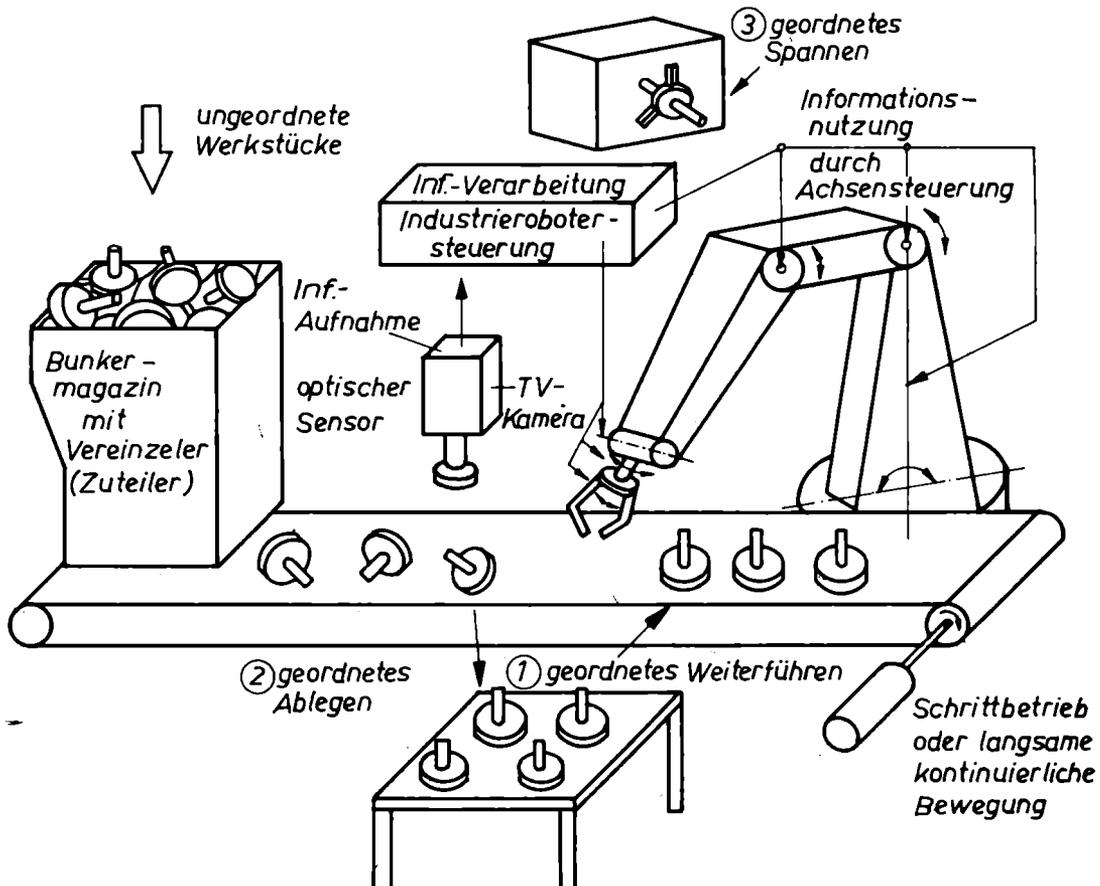


Abb. 16: Ordnen ungeordneter Teile durch Industrieroboter

ierlich mit geringer Geschwindigkeit an einer Kamera vorbei. Die Robotersteuerung ist für den Erkennungsprozeß so ausgelegt, daß eine Anzahl mathematischer Größen vom Werkstück errechnet werden. Als Merkmale dienen Einzelpunkte, Konturlinien und Silhouetten. Aber auch bestimmte geometrische Besonderheiten wie Löcher pro Fläche, Ausbuchtungen u. ä. kommen dem Erkennungsprozeß zugute. Mitunter werden bestimmte Grenzlagen durch Anschläge erzwungen.

Die Berechnung der Abweichung von einer Ideallage vermag nur ein schneller Mikrorechner vorzunehmen. Dennoch dauert z. Zt. das "Erkennen" und das Auslösen von Stellbefehlen für die Achsantriebe des Industrieroboters etwa 5 Sekunden. Nach dieser Zeit ergreift der Industrieroboter das Werkstück gezielt und legt es entweder geordnet ab oder führt es seiner Weiterbearbeitung zu. Die erwähnte "Stauphase" von 5 s mag noch etwas lang erscheinen. Es sollte jedoch bedacht werden, daß ein solches System ohne Ermüdung in der Lage ist, diese Zeit zu halten. Mit zunehmender Speicherdichte und angestrebter Parallelverarbeitung von Informationen in Mikrorechnern werden sich diese Werte verbessern. Stimmen die Prognosen der Fachleute, so wird der schnelle "Griff in die Kiste" bald möglich werden.

Abbildung 17 zeigt nochmals den "Griff in die Kiste". Hier wird sogar die Vereinzelung der Teile durch den Industrieroboter realisiert. Über den Hilfschritt Vereinzelung ist also der gewünschte Griff bereits ziemlich perfekt möglich.

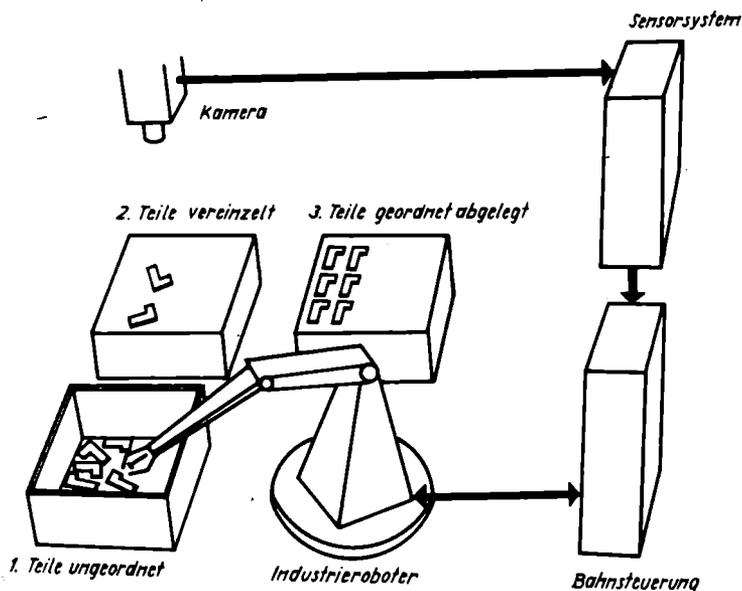


Abb. 17: Der "Griff in die Kiste" - Industrieroboter beim Ordnen von Teilen

Zur Realisierung in der Praxis

Industrieroboter IR 2/S II

Der Industrieroboter wurde für die automatische Beschickung von Werkzeugmaschinen im Maschinenbau eingesetzt.

- Charakterisierung des alten Arbeitsplatzes

Mit dem Einsatz von NC-Werkzeugmaschinen wird die Arbeitskraft zu einem großen Teil vom Arbeitstakt der Maschine befreit. Damit wurden die Voraussetzungen für eine Zwei- und Mehrmaschinenbedienung geschaffen. Eine vollständige Herauslösung der Arbeitskraft aus dem Prozeß "NC Maschinen-Bedienung und Überwachung" war nicht möglich. Die Bediener müssen nach wie vor solche manuellen Tätigkeiten verrichten wie Beschicken der Maschine mit Werkstücken, Kontrolle der Werkstücke, Überwachung des Bearbeitungsprozesses, Spänebeseitigung. Die Anforderungen an die Arbeitskraft sinken, da häufig auch die NC-Programme unabhängig vom Bediener in den technologischen Vorbereitungsabteilungen erarbeitet werden. Die Programmierer nehmen in der Regel auch die Programmerprobung an den Maschinen vor.

Der größte Anteil des verfügbaren Arbeitszeitfonds der Arbeitskraft ist für die Werkstückbeschickung aufzuwenden.

Funktionen der TE	Automatisierung, Flexibilität, Integration								
	A u s b a u s t u f e n								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Umrüsten	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Speichern gleiche WST	-	-	x						
Speichern verschiedene WST				x	x	x	x	x	x
Werkstückhandhabung	-	-	-	-	x	x	x	x	x
Werkzeughandhabung	-	x	x	x	x	x	x	x	x
Bearbeiten	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Überwach.-Bearbeitungsprozeß	-	-	-	-	-	x	x	x	x
Reinigen WST	-	-	-	-	-	-	x	x	x
Späneentsorgung	-	x	x	x	x	x	x	x	x
Messen / Prüfen	-	-	-	-	-	-	-	x	x
Diagnose / Wartung	-	-	-	-	-	-	-	-	x
	NCM				TE				
	BAZ								

- = manuell

NCM = num, gest, Maschine

x = automatisch

BAZ = Bearbeitungszentrum

Abb. 26: Ausbaustufen Technologischer Einheiten

Wesentliche Merkmale von integrierten gegenstandsspezialisierten Fertigungsabschnitten sind /vgl. 29/:

- Einsatz einer größeren Zahl (bis 35) meist automatisierter Maschinen
- Einsatz eines kombinierten Lager- und Transportsystems mit zentralem Speicher und Übergabestellen zum übergeordneten Transportsystem und zu den Arbeitsplätzen
- Bearbeitung eines breiten Sortimentes konstruktiv ähnlicher Teile (200 ... 2000 Positionen)
- flexible Arbeitsgangfolge
- hoher Geschlossenheitsgrad
- rechnergestützte Disposition und Steuerung der Bearbeitung, der Belegung der Werkzeugmaschinen, des Transportes und der Lagerung der Teile und Sicherung eines flexiblen organisatorischen Zwangslaufes.

Wesentliche Merkmale von Maschinensystemen sind:

- Einsatz mehrerer automatisierter Maschinen bzw. Bearbeitungszentren (bis ca. 15)
- Einsatz eines automatisierten Transportsystems mit Übergabestellen für Einzelteile zu den Bearbeitungs- und Kontrollstationen
- Bearbeitung eines begrenzten Sortimentes konstruktiv ähnlicher Einzelteile mit meist relativ hohem Bearbeitungsaufwand bzw. größeren Fertigungsstückzahlen (bis 200 Positionen)
- rechnergestützte Disposition und Steuerung der Bearbeitung, der Belegung der Werkzeugmaschinen, des Transportes sowie der Lagerung der Teile und Sicherung eines vollautomatischen Stoff-, Informations- und Energieflusses.

Zur Realisierung in der Praxis

Der Einsatz eines Industrieroboters als Teil einer Technologischen Einheit wurde bereits an einem Beispiel (S. 28) gezeigt. Hier wurden zwei Drehmaschinen durch einen Roboter "bedient". Eine Lösung zur Beschickung von mehreren Drehmaschinen entwickelten sowjetische Wissenschaftler und Techniker. Der in Portalausführung gebaute Industrieroboter IR 2 RW 50 (Bild 27) ist in der Lage, die Handhabeoperationen der Werkstückbeschickung bei vier Drehmaschinen zu übernehmen.

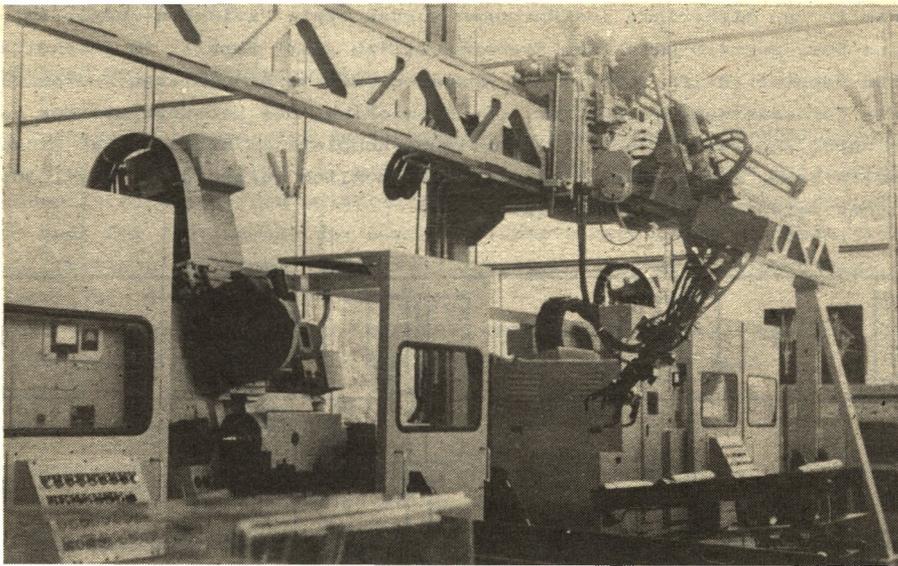


Abb. 27: Sowjetischer Industrieroboter IR 2 RW 50

Eine Auswahl weiterer Gestaltungslösungen für den Einsatz von Industrierobotern in der Kombination mit Maschine und Peripherie als Technologische Einheit wird in der Abb. 28 gezeigt.

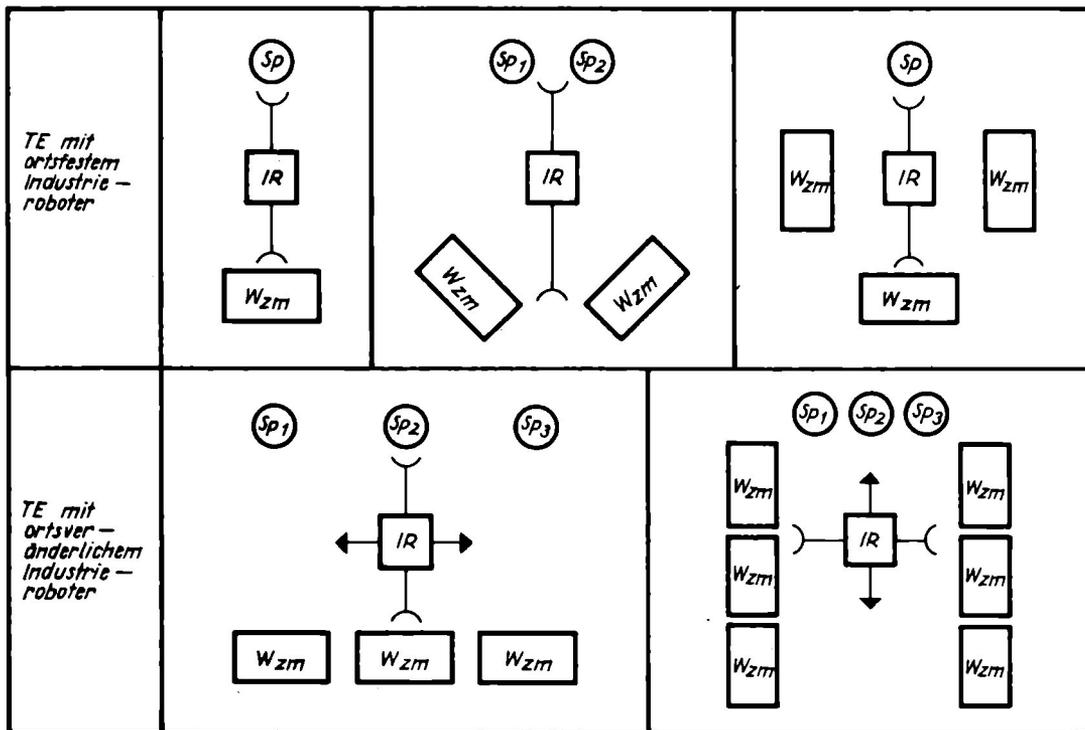


Abb. 28: Prinzipdarstellung für Gestaltungslösungen Technologischer Einheiten

Gegenwärtig dominiert bei den in der Praxis eingesetzten Technologischen Einheiten die Drehbearbeitung. Sie wird in 76 Prozent aller Einsatzfälle realisiert. Dabei kommen 57 Prozent NC-Futterteildrehmaschinen und 29 Prozent NC-Spitzendrehmaschinen zum Einsatz.

Das zu bearbeitende Teilesortiment bei den realisierten Technologischen Einheiten ist sehr unterschiedlich. Die Losgrößen bewegen sich im Bereich von 25 ... 400 Stück. Der Durchmesserbereich der rotationsymmetrischen Einzelteile liegt zwischen 14 ... 220 mm, die Werkstücklängen betragen 16 ... 210 mm bei kurzen rotationsymmetrischen Teilen und bis zu 680 mm bei langen rotationsymmetrischen Teilen.

In der Abb. 28 sowie in den bisherigen Ausführungen wurden stets Varianten aufgezeigt, bei denen ein Roboter für eine bzw. mehrere Maschinen "verantwortlich" ist; Bereits im Abschnitt 4.2, wurde auf einen zweiten Roboter (Hilfsroboter) bei Montageprozessen hingewiesen. Durch die Mikroelektronik wurde die Voraussetzung geschaffen, die Entwicklung des Robotereinsatzes weiter zu vervollkommen und durch Zentralrechner ganze Fertigungskomplexe zu steuern. Der Einsatz mehrerer Roboter zur Realisierung komplizierter Prozesse ist möglich geworden. In /vgl. 30, S. 223/ wird ein anschauliches Beispiel dargestellt (Abb. 29).

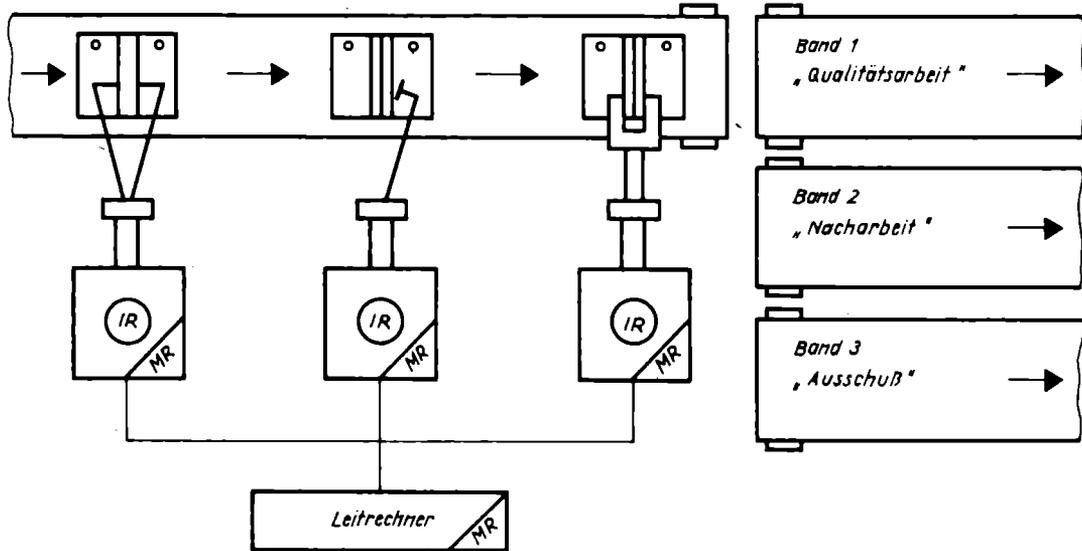


Abb. 29: Einsatzbeispiel für mehrere Industrieroboter

In mehreren Stufen wird ein Erzeugnis bearbeitet, geprüft und transportiert. In der 1. Stufe werden durch einen Schweißroboter Teile verbunden. Ein Mikrorechner des Roboters steuert die Bewegung des Schweißwerkzeuges und optimiert die den Schweißprozeß beeinflussenden Größen. Die Ergebnisse einer anschließenden Festigkeitsprüfung werden dem Leitrechner mitgeteilt, der dann entscheidet ob das Teil in der Stufe 2 weiter zu bearbeiten ist. In dieser Stufe erfolgte durch einen Spritzroboter die Farbgebung. In der letzten Stufe wird das Teil nach entsprechender Prüfung durch einen Beschickungsroboter vom Band gehoben und nach Information durch den Leitrechner entweder auf Band 1 "Ausschuß", Band 2 "Nacharbeit" oder Band 3 "Qualitätsarbeit" gelegt.

Gegenwärtig sind der Einsatz von Technologischen Einheiten, integrierten gegenstandsspezialisierten Fertigungsabschnitten und Maschinensystemen in den Betrieben und Kombinatn noch Einzelfällen vorbehalten. Doch perspektivisch wird sich der Einsatz solcher Fertigungskonzepte erhöhen. Es bietet sich der Weg an, solche automatisierte Lösungen über ein übergeordnetes Steuersystem miteinander zu koppeln. Damit wird der erste Schritt zur Entwicklung der "Automatischen Fabrik" eingeleitet.

Zur Realisierung einer automatischen Fertigung bis hin zur automatischen Fabrik ist der Einsatz der Industrieroboter-Technik unerlässlich und unbedingte Notwendigkeit.

Erkennungssysteme eine Rückkopplung vorliegt. Im Sinne der TGL 14 591 "Automatische Steuerung" /vgl. 36/ könnte ein derart vollständig "aufgerüsteter" Industrieroboter als geschlossene Steuerung betrachtet werden .

Die Gewinnung von Informationen über technisch-physikalische Prozeßgrößen und Parameter des Industrieroboters erfolgt über Wegmeßsysteme und Sensoren bzw. Erkennungssysteme. Die Verarbeitung dieser Informationen mit denen des vorliegenden Programms erfolgt in einem "selbständigen System". Die Beeinflussung des Industrieroboters und der Peripherie, die Informationsnutzung, erfolgt schließlich über Stelleinrichtungen (Antriebe und beispielsweise Linearachsen des Greifers). Entsprechend kann eine technisch einfachere "abgerüstete" Variante demzufolge als offene Steuerung betrachtet werden.

In den folgenden Ausführungen soll der Begriff Steuerung nicht unter dem Aspekt der Prozeßbeeinflussung aufgefaßt werden, sondern als das oben aufgeführte "selbständige System", das funktionell und konstruktiv eine Hauptbaugruppe des Industrieroboters darstellt. Diese Auffassung widerspricht auch nicht der TGL 14 591, in der eine Steuerung in diesem Sinne, als "ein Gerät oder eine Einrichtung zur algorithmischen Verarbeitung von Informationen für die Steuerung eines Objektes" /36, S. 2/ gekennzeichnet wird.

Diese Hauptbaugruppe, die Steuerung, wird in der Regel durch elektronische und mikroelektronische Bauelemente realisiert. Sie hat die Aufgabe,

- die Handhabeoperationen entsprechend dem eingegebenen Programm zu realisieren,
- die Bedien- und Programmierbarkeit zu gewährleisten,
- die Bewegungen des Greifers zu steuern und zu überwachen sowie
- die Kommunikation zwischen Peripherie, Maschine und Mensch zu sichern.

Die Entwicklung der Industrierobotertechnik wurde im starken Umfang durch die enorme Entwicklung der Steuerungstechnik beeinflusst. Die umfangreichen Forderungen der Praxis an die Industrieroboter führte rückwirkend zu den unterschiedlichen Steuerungsarten und demzufolge auch zu zahlreichen Klassifizierungsaspekten. So reicht beispielsweise für einen Beschickungsroboter mit Anschlagpositionierung und geringer Flexibilität eine einfache binäre Steuerung, während für einen technologischen Roboter zum Lichtbogenschweißen mit Nahtverfolgung eine komplizierte Steuerung sowohl mit numerischer als auch nichtnumerischer Signalverarbeitung erforderlich ist.

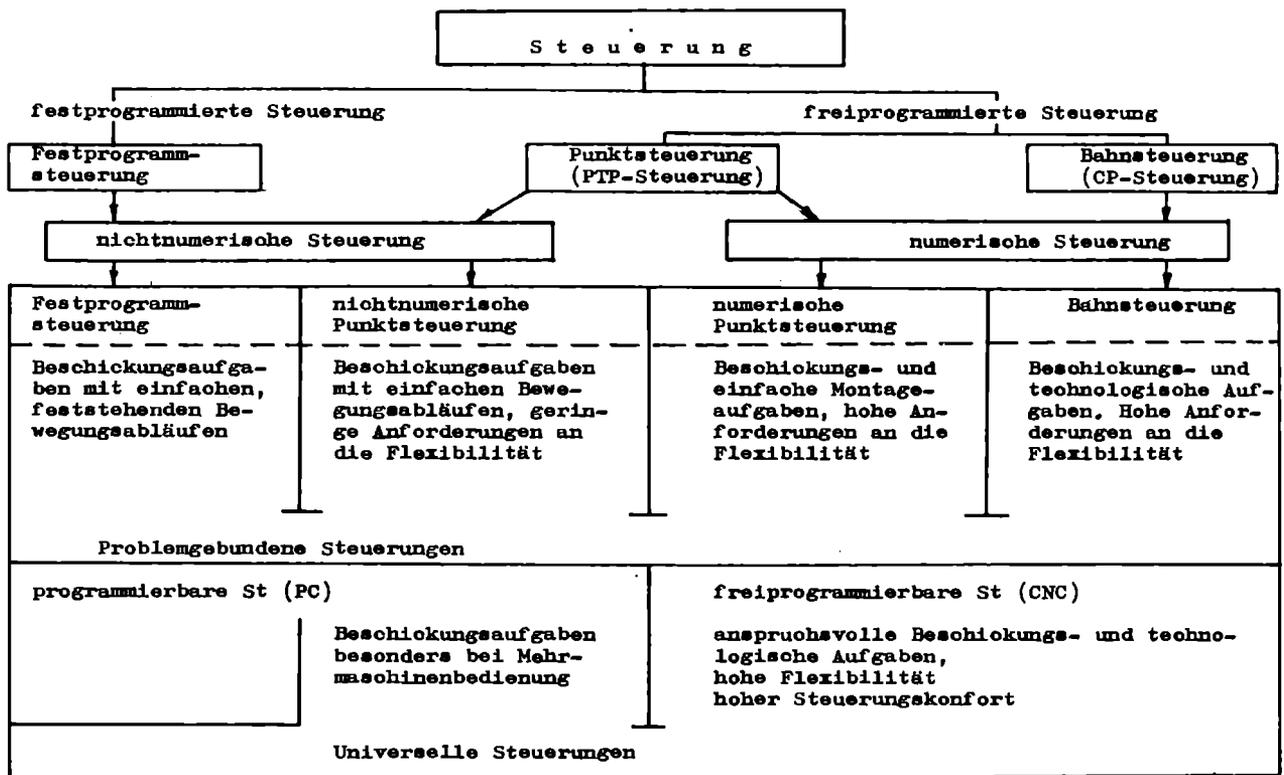
Als wichtige Ursachen für die angedeutete Palette unterschiedlicher Industrierobotersteuerungen können genannt werden /vgl. 37, S. 302/:

- die Vielfältigkeit an Bewegungsformen und konstruktiven Lösungen der Industrieroboter selbst,
- der Einfluß der Mikroelektronik auf die Entwicklung der Steuerungstechnik,
- die Schaffung neuer Einsatzmöglichkeiten, insbesondere zur Durchführung technologischer Verfahren einschließlich der Montage,
- die Entwicklungstendenz zu komplexen Automatisierungslösungen (vgl. Abschnitt 4.3. "Technologische Einheiten ...),
- der Zusammenhang zwischen technologischer Charakteristik der Handhabeaufgabe, Beweglichkeit des Industrieroboters, Steuerungsart und Programmierverfahren.

Der Grad der Flexibilität eines Industrieroboters, gekennzeichnet in erster Linie durch die Anpassungsfähigkeit an unterschiedliche Handhabungsaufgaben, wird wesentlich durch die Steuerung bestimmt. Daher ist auch die Flexibilität eines der bestimmenden Kriterien für die Wahl der Steuerung. Zu diesen Kriterien gehören u. a. weiterhin die technologischen und technischen Einsatzbedingungen des Industrieroboters, die Forderungen nach Zuverlässigkeit, Genauigkeit, Programmier- und Bedienkomfort sowie Fragen der Sicherheit und Überwachung.

Die folgende Tabelle enthält einen Vorschlag zur Klassifizierung von Steuerungen für Industrieroboter sowie einige ausgewählte Anwendungsgebiete /vgl. 31, S. 118/.

Tabelle 3: Möglichkeiten der Klassifizierung und Anwendung



5.5.2. Prinzipielle Wirkungsweise ausgewählter Steuerungen

Alle bekannten speziellen Industrierobotersteuerungen lassen sich den in der Tabelle 3 aufgeführten Aspekten unterordnen. Dabei ist die Unterscheidung nach numerischen und nichtnumerischen Steuerungen sicher einer der am häufigsten angewendeten Klassifizierungsaspekte.

Numerische Steuerungen (NC-numerical control) sind "zeichenverstehende" Steuerungen. Die Eingabe des Handhabungsprogramms erfolgt in kodierter Form. Alle Weginformationen, technologischen Parameter und Schaltbefehle werden durch Ziffern bzw. Buchstaben dargestellt. Durch numerische Steuerungen kann ein großer Umfang an Informationen verarbeitet und gespeichert werden. Sie finden Anwendung sowohl bei Punkt- als auch bei Bahnsteuerungen.

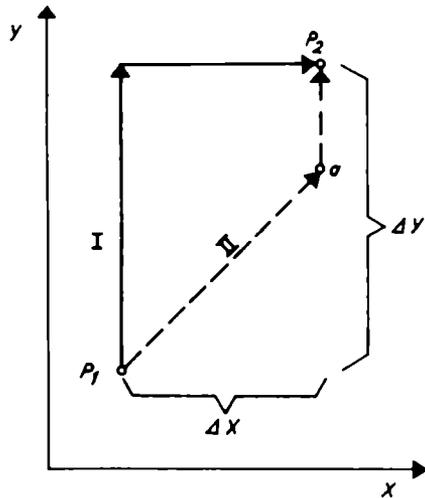
Bei nichtnumerischen Steuerungen werden beispielsweise Anschläge und Nocken als Positionsgeber für die entsprechenden Wege verwendet. Die Flexibilität hinsichtlich des Programmumfangs ist wesentlich geringer als bei numerischen Steuerungen und hauptsächlich vom Programmspeicher abhängig.

Nach der Möglichkeit der Anpassung des Steuerungsprogramms an die sich bei Industrierobotern häufig ändernden Bedingungen werden festprogrammierte und freiprogrammierte Steuerungen unterschieden.

Bei der festprogrammierten Steuerung, die Festprogrammsteuerung, sind sowohl die Bewegungsabläufe als auch der Signalaustausch mit der Maschine und der Peripherie fest eingestellt. Technisch wird diese Steuerungsart dadurch realisiert, indem die Handhabungsfolgen durch feste Verdrahtung bzw. Verschlauchung programmiert werden. Veränderungen der Handhabungsaufgabe erfordern daher direkte Eingriffe in die Steuerungsstruktur. Die Wegpositionen werden wie auch bei analogen Steuerungen von Werkzeugmaschinen durch Anschläge, Nocken oder Kurvenscheiben begrenzt bzw. vorgegeben. Ein breiten Raum im Angebot der Industrierobotersteuerungen nehmen die Punkt- und Bahnsteuerungen ein.

Die Punktsteuerung (PTP-Steuerung, point to point) gestattet die Bewegung des Greifers zwischen Punkten des Raumes, ohne daß eine von der Steuerung vorgegebene funktionelle Bewegungsabhängigkeit zwischen den Achsen besteht. Die Steuerung kontrolliert also nicht das Anfahren der einzelnen Punkte durch die Achsen. Während des Positionierens kann der Roboter keine produktive Arbeit

leisten (z. B. Punktschweißen). Diese Tatsache ermöglicht es, daß Bewegungen auch von zwei Achsen gleichzeitig ausgeführt werden können um einen vorgeschriebenen Punkt zu erreichen (Abb. 47).



- I. Der Punkt 2 wird erreicht, indem sich die Achsen nacheinander bewegen.
- II. Der Punkt 2 wird erreicht, indem sich die Achsen gleichzeitig bewegen. Da die Geschwindigkeit $v_x = v_y$, wird zunächst die Strecke $\overline{P_1 a}$ zurückgelegt, weil $\Delta x < \Delta y$, wird v_x zuerst abgeschaltet (im Punkt a). Die Strecke $\overline{a P_2}$ wird dann allein von der y-Achse realisiert.

Abb. 47: Positionierung bei Punktsteuerung

Bei nichtnumerischen Punktsteuerungen sind die Wegpositionen über Positiongeber einstellbar. Dazu eignen sich besonders Anschläge, verstellbare Nocken und Lichtschranken. Durch Weggeber, beispielsweise Potentiometer, kann die Wegposition auch als Wert einer elektrischen Größe gemessen und bereitgestellt werden. Die Flexibilität dieser Steuerung ist vor allem durch die Anzahl der Befehle, die Programmschrittzahl sowie die geringe Möglichkeit der Umrüstbarkeit begrenzt.

Bei numerischen Punktsteuerungen werden die Programminformationen über das Programmierfeld der Steuerung eingegeben. Die Verarbeitung erfolgt digital. Die Anzahl der Steuerfunktionen wird entscheidend mitbestimmt von den für die Steuerung verwendeten Bauelementen und Baugruppen. Anspruchsvolle Forderungen werden durch den Einsatz von Mikrorechnern realisiert.

Die Positionierung erfolgt über Soll-Ist-Wertvergleich, wobei der Sollwert digital eingegeben und der Istwert durch ein Wegmeßsystem geliefert wird.

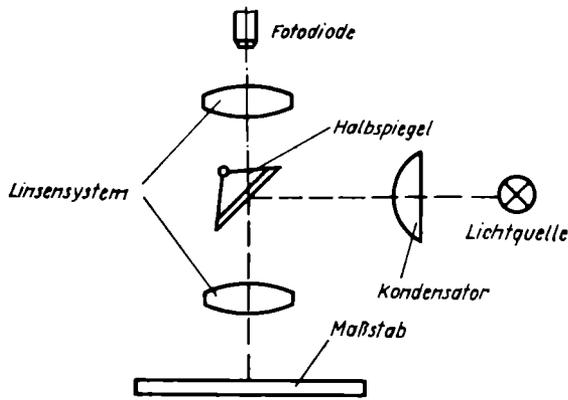
Die Bahnsteuerungen (CP-Steuerung, continuous path) sind generell numerische Steuerungen. Es besteht ein funktioneller Zusammenhang in den Bewegungen der einzelnen Achsen. Die Bewegungen des Greifers sind durch das Programm exakt vorgegeben. Es sind festgelegte "definierte" Bewegungen im Arbeitsraum des Roboters. Die Führungsgröße für die Bewegung jeder Achse wird aus der Soll-Ist-Wertdifferenz abgeleitet. Die häufigsten technischen Realisierungen der Bahnsteuerungen erfolgen durch den Einsatz von Mikrorechnern. Steuerungen die für einen bestimmten Industrierobotertyp ausgelegt sind bzw. für eine bestimmte Gruppe von Handhabungsaufgaben entwickelt wurden, werden als problemgebundene Steuerungen bezeichnet. Dagegen werden Steuerungen als universell bezeichnet, wenn sie zur Lösung unterschiedlicher Aufgaben eingesetzt werden können. Die Anpassung an den Einsatzfall geschieht in erster Linie durch die Entwicklung und Speicherung von problemorientierten Steuerungsfunktionen, d. h. durch Software-Bereitstellung bzw. auch durch spezielle Anpassungshardware /vgl. 37, S. 303/.

5.5.3. Industrierobotersteuerungen der DDR

Gegenwärtig werden zentral die folgenden Steuerungstypen zur Verfügung gestellt bzw. befinden sich in der Entwicklung /vgl. 38, S. 42-44/:

- PS 2000/1: Die PS 2000/1 ist eine speicherprogrammierbare Steuerung ohne NC-Achsen mit 4 k Byte Halbleiter-Programmspeicher (U 562). Sie ist "aufrüstbar" bis zu 128 Ein/Ausgangskanäle. Diese Steuerung wird bei Industrierobotern mit anschlussgesteuerten Bewegungen der Achsen und einem festen Arbeitsablauf angewendet. Da nur Lesespeicher (EPROM-Speicher) verwendet werden, ist keine teach-in-Programmierung möglich. Die Programmierung erfolgt mit Hilfe eines speziellen, ansteckbaren Programmiergerätes.

Das Durchlichtverfahren läßt sich in Anlehnung an die Darstellung des Prinzips des Lochbandlesers (vgl. Wissensspeicher S. 60) zeigen und mit dem Lehrlingsexperimentiersatz der technischen Grundlagenfächer darstellen.



Beim Auflichtverfahren (Abb. 53) werden spiegelpolierte und matte Flächen bzw. Markierungen einer Metallfläche von einer Lichtquelle über einen ablenkbaren Halb Spiegel angestrahlt. Die reflektierten Strahlen werden durch eine Fotodiode erfaßt.

Das Auflichtverfahren wird bei digital-inkrementalen, das Durchlichtverfahren sowohl bei digital-inkrementalen als auch bei digital-absoluten Wegmeßsystemen angewendet.

Abb. 53: Fotoelektrisches Abtasten nach dem Auflichtprinzip /vgl. 41, S. 54/

5.6.3.2. Beispiele digitaler Wegmeßsysteme

Digital-absolute Geber

Jeder der kleinen Schritte Δs und $\Delta \varphi$ der "zerlegten" Wege bzw. Winkel ist gegenüber einem festen Bezugspunkt gekennzeichnet, d. h. jeder einzelnen Position ist ein konkretes Signal zugeordnet. Die Signale bestehen aus einer Kombination der binären Zustände "0" und "1". Diese Zustände werden durch weiße und schwarze Felder auf einer Codeschiene bzw. Codescheibe dargestellt. Den einzelnen Spuren und Stellen werden verschiedene Wertigkeiten zugeordnet. Am häufigsten wird zur Kodierung das Dualsystem angewendet, das durch steigende Potenzen der Zahl 2 gekennzeichnet ist (vgl. Wsp. S. 83). Der grundsätzliche Aufbau und das Prinzip des Erfassens der Meßwerte einer nach dem Dualsystem aufgebauten Codeschiene wird in der Abb. 54 gezeigt. Die Codeschiene wird fotoelektrisch abgetastet. Dabei ergibt sich der erfaßte Meßwert aus der Quersumme der Einzelwertigkeiten jeder Spur.

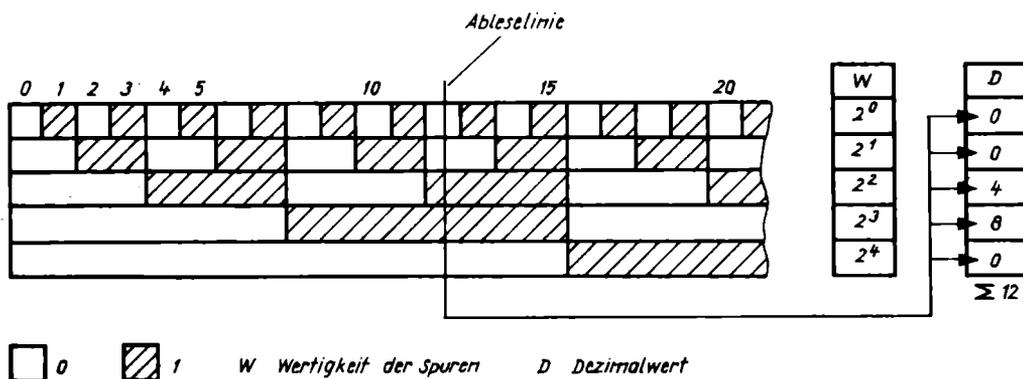


Abb. 54: Vereinfachte Darstellung einer Codeschiene /vgl. 40, S. 316/

Entscheidend für die Größe der Codeschiene und damit für die Kosten der Schiene und des Abtastsystems ist in erster Linie die geforderte Genauigkeit der Meßwerte. Sie bestimmt die Anzahl der Einzelschritte Z_g des Gesamtweges und damit die Größe der Teilschritte Δs .

Bei einer Schrittgröße $\Delta s = 0,01$ mm werden bei einer Weglänge von 1 000 mm insgesamt 18 Spuren erforderlich.

In der Praxis werden daher für die meisten Wegmeßsysteme rotatorische Geber eingesetzt. Die Kodierung dieser Geber erfolgt auf einer mehrspurigen Scheibe (z. B. 12 Spuren). Neben der rein dualen wird auch die tetradische Kodierung angewendet. Jede Ziffer einer Zahl wird dabei in getrennten Gruppen (Tetraden) dual dargestellt (beispielsweise die Zahl 502 = 0LOL 0000 0CLO).

Dadurch können auf einer 12spurigen Scheibe 3 Tetraden untergebracht werden. Bei der gleichen Schrittgröße von $\Delta s = 0,01 \text{ mm}$ kann somit ein Weg von 10 mm bei einer Scheibenumdrehung erfaßt werden. So besitzt beispielsweise das Winkelmeßsystem WMS 10^6 /vgl. 42/ drei mechanisch gekoppelte Kodescheiben, die eine Schrittzahl Z_s von $2 \cdot 10^6$ ermöglichen ($Z_s = \Delta s \cdot s$: s = Gesamtweg, Verfahrensweg).

Digital-absolute rotatorische Geber zeichnen sich durch niedrige Kosten sowie geringe Massen und Abmessungen aus. Problematisch wird die Anwendung jedoch, wenn die einzelnen Weg- und Winkелеlemente, die Schrittzahl, sehr klein gehalten werden muß.

Digital-inkrementale Geber (IGR)

Geber dieser Bauart liefern als Weginformation Impulsfolgen. Der Abstand zwischen zwei Impulsen wird als Weg- bzw. Winkelinkrement ($\Delta s, \Delta \varphi$) gekennzeichnet. Durch vorzeichenbehaftete Zählung der Impulse (Rechts- bzw. Linkslauf) werden die Verfahrenswege ermittelt. Der Meßwert entspricht der verfahrenen Weglänge, die sich aus der Summe der einzelnen Teilschritte ergibt.

Die Impulse werden durch fotoelektrische Abtastung einer Gitterteilung ("Strichtteilung" - meistens 0,01 mm) gewonnen. Sie ist identisch mit den Teilschritten Δs bzw. $\Delta \varphi$ (Abb. 55).

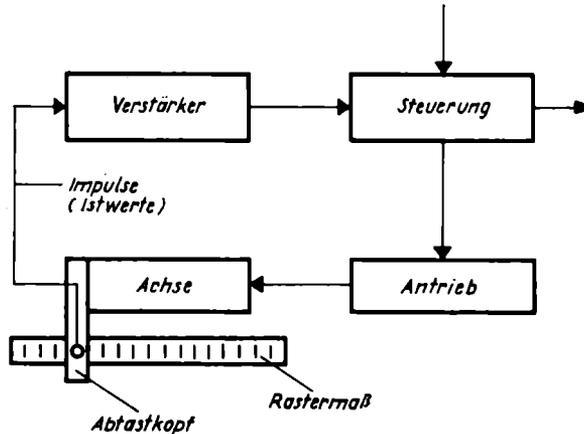


Abb. 55: Prinzip eines digital-inkrementalen Wegmeßsystems

5.6.4. Verbindung der Wegmeßsysteme mit den Linear- und Drehachsen

Um die Wegmeßsysteme mit den entsprechenden Achsen mechanisch zu verbinden, gibt es zwei prinzipielle Möglichkeiten. Die Wegmeßsysteme können entweder direkt oder über geeignete Übertragungssysteme mit den Achsen verbunden werden. Als Übertragungssysteme haben sich in der Praxis besonders bewährt:

- das System Zahnstange-Ritzel
- das System Spindel-Mutter und
- das System Schnecke-Schneckenrad.

In der Abbildung 56 werden einige ausgewählte konstruktive Möglichkeiten der Verbindung von Meßeinrichtung und Linear- bzw. Drehachsen dargestellt.

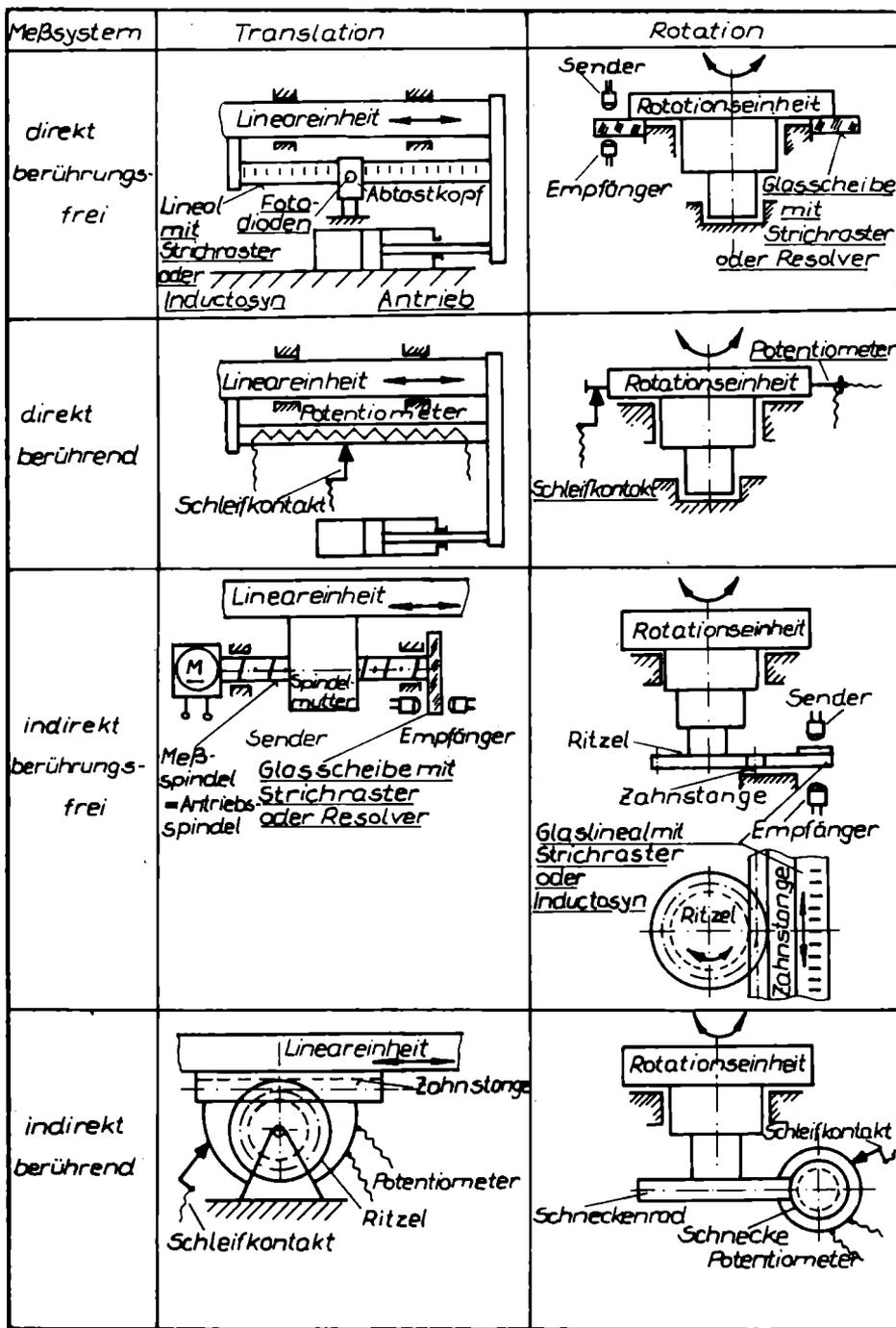
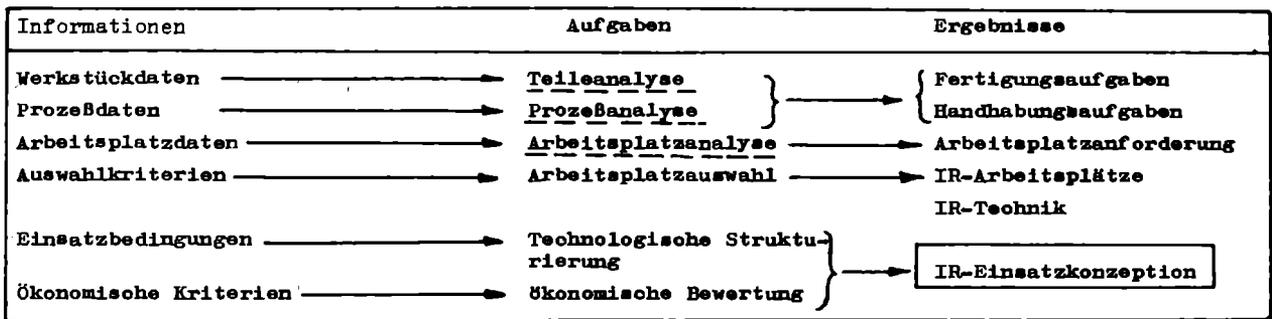


Abb. 56: Möglichkeiten der Verbindung von Wegmeßsystemen mit den Linear- und Drehaachsen /vgl. 31, S. 144 und 43, S. 19/



Es ist zu erkennen, daß die Untersuchungen zum Industrieroboterereinsatz von einem Analysenkomplex ausgehen, der inhaltlich durch die Einflußgrößen "Handhabungsobjekte", "Arbeitsabläufe" und "Arbeitsbedingungen" geprägt wird.

Durch die Teileanalyse sollen die für die Handhabung geeigneten Werkstücke ermittelt werden. Besondere Beachtung müssen dabei kleine und mittlere Fertigungstückzahlen erfahren. Das Ziel der Prozeßanalyse ist es, die Teilprozesse zu bestimmen, die einen Einsatz der Industrieroboter ermöglichen. Bewährt haben sich dafür entsprechende Handlungsvorschriften /vgl. 50/. Durch die Arbeitsplatzanalyse sollen die jeweiligen Anforderungen an die Bearbeitungstechnik, die Industrieroboter und die periphere Technik ermittelt werden. Dazu gehören auch Anforderungen an das externe Zusammenwirken mehrerer Industrieroboter bzw. Technologischer Einheiten. Die Arbeitsplatzanalyse liefert Angaben über Arbeitsplatzdaten für die Fertigungs- und Handhabungsaufgaben. Weiterhin erfaßt sie die Arbeitsabläufe, die Verkettungsbedingungen zwischen benachbarten Arbeitsplätzen, die Effektivitätsbeeinflussenden Faktoren wie Zeiten, Kosten und Störgrößen sowie die psychischen und physischen Arbeitsbedingungen. Die Arbeitsplatzanalysen sind streng arbeitsplatzbezogen (Arbeitsplatzhauptgruppen) nach technischen, technologischen und ökonomischen Kriterien durchzuführen.

Die folgende Übersicht gibt einen Überblick über die zu bildenden Arbeitsplatzhauptgruppen:

1. IR-Arbeitsplätze für das Urformen, unterteilt in
 - . Arbeitsplätze für die Werkstückbeschickung
 - . Gußputzen
2. IR-Arbeitsplätze für die Werkstückbeschickung an spanenden Werkzeugmaschinen, unterteilt in
 - . Rotabearbeitung
 - . Prismabearbeitung
3. IR-Arbeitsplätze für die Werkstückbeschickung an Wärmebehandlungs- und Oberflächenbehandlungsanlagen
4. IR-Arbeitsplätze für die Werkstückbeschickung an Umformmaschinen, unterteilt in
 - . Blechumformung
 - . Massivumformung
5. IR-Arbeitsplätze für das Beschichten-Farbspritzen
6. IR-Arbeitsplätze für die Montage
7. IR-Arbeitsplätze für das Schweißen
8. IR-Arbeitsplätze für TUL-Aufgaben
9. IR-Arbeitsplätze für die Werkzeughandhabung

Eine Zusammenstellung für IR-geeignete Arbeitsplätze aller neun Arbeitsplatzhauptgruppen ist mit entsprechenden Empfehlungen für die Analyse in /vgl. 50/ enthalten.

Auf der Grundlage der Analyseergebnisse erfolgt die Auswahl der Arbeitsplätze, die innerhalb eines übergeordneten Systems - z. B. eines Betriebsabschnittes - die größte Notwendigkeit und die günstigste Möglichkeit zur Automatisierung unter Anwendung von Industrierobotern haben. Die hierfür erforderlichen Auswahlkriterien resultieren aus der Gegenüberstellung der Arbeitsplatzanforderungen zu den Parametern der verfügbaren Robotertechnik (einschließlich Robotersteuerung), Maschinentechnik und peripheren Technik.

Zur Projektierung

In der Etappe der technologischen Projektierung werden im wesentlichen die in der Übersicht S. 73 aufgeführten Aufgaben realisiert. Die als Ergebnis der technologischen Planung vorliegende IR-Einsatzkonzeption wird zum technologischen Projekt weitergeführt. Es werden die Voraussetzungen geschaffen für die spätere Fertigung unter den Bedingungen der Industrierobotertechnik.

Zu den wichtigsten Aktivitäten in der Etappe der technologischen Projektierung gehören u. a.:

- planungstechnische Vorbereitung mit
 - . Aufgaben zur Sicherung der Auslastung
 - . Vorgaben zum Investitionsaufwand
 - . Angaben über vorhandene Grundmittel
 - . Vorgaben über das zu erreichende technisch-ökonomische Niveau
 - . Termine über Abschluß der Einsatzvorbereitung, Realisierungszeitraum und Inbetriebnahme
 - . Finanzierung
- fertigungstechnologische Vorbereitung mit
 - . Erstellung aller Arbeitsunterlagen bzw. Überarbeitung vorhandener Unterlagen
 - . Bereitstellung von Werkzeugen und Vorrichtungen
- Konstruktion und Vorbereitung des Baues aller in Eigenrationalisierung herzustellenden Einrichtungen
- bautechnische Vorbereitung mit
 - . Erstellung des Aufstellungsplanes und des Fundamentplanes
 - . Sicherung der Energieversorgung
 - . Sicherung der Ver- und Entsorgung von Hilfsmaterialien
- technologisch-organisatorische Einbindung in den Produktionsprozeß mit
 - . Entwicklung des Arbeitskräftebedarfs
 - . Erarbeitung von Forderungen hinsichtlich Arbeits- und Lebensbedingungen, Schutzgüte und Gesundheitsschutz
 - . Aufgaben zur Reorganisation des Produktionsprozesses
 - . Anbindung des innerbetrieblichen Transportes an die neuen Aufgaben

Zur Realisierung des IR-Einsatzes

Das Hauptanliegen in der Etappe der Realisierung des IR-Einsatzes besteht darin, daß die geplante und projektierte Lösung funktionsfähig zu gestalten ist und eine weitgehend reibungslose Eingliederung in den Produktionsprozeß gewährleistet wird. Dabei sind die mit der IR-Einsatzkonzeption vorgegebenen und dem Projekt zugrunde liegenden technisch-ökonomischen Zielstellungen zu sichern sowie die mit der Realisierung des IR-Einsatzes verbundenen Eingriffe in den betrieblichen Fertigungsablauf zu minimieren. Die wichtigsten Aufgaben sind in der Übersicht S. 73 enthalten.

Zur Realisierung der umfangreichen, komplizierten und vielfältigen Aufgaben bei der technologischen Einsatzvorbereitung hat es sich bewährt entsprechende Arbeitsgruppen zu bilden. Zu einer Arbeitsgruppe sollten folgende "Spezialisten" gehören:

- Betriebsmittelkonstrukteur mit allgemeinen technologischen Kenntnissen sowie Hydraulik- und Pneumatikerfahrung
- Elektroniker mit theoretischen und praktischen Fähigkeiten sowohl zur Projektierung als auch experimentellen Gestaltung von Informationsabläufen
- EMSR-Techniker zum Gestalten von Steuerungsabläufen
- Fertigungsmeßtechniker zur Projektierung von kontinuierlichen und diskontinuierlichen Messungen
- Prozeßtechnologe mit Kenntnissen der TUL-Prozesse und der gesamten zentralen Prozeßsteuerung
- Betriebsprojektant mit speziellen Verfahrenkenntnissen
- Leiter des Kollektivs, verantwortlich für Koordinierung und Zusammenarbeit mit anderen Entwicklungspartnern.

Darüber hinaus hat es sich als günstig erwiesen, die Maschinenbediener bereits in die Arbeit dieser Etappe mit zu integrieren, damit sie sich rechtzeitig mit den neuen Arbeitsplätzen vertraut machen können und gegebenenfalls auch von dieser Seite Gestaltungsvorschläge unterbreiten können.

8. Zur Einbeziehung der Industrierobotertechnik in den Unterricht der technischen Grundlagenfächer

Im Abschnitt 3.1. wurde darauf hingewiesen, daß die technischen Grundlagenfächer einen konkreten Beitrag zu leisten haben bei der Vorbereitung der Lehrlinge zur Bewältigung der mit dem Einsatz von Industrierobotern in Verbindung stehenden Aufgaben und Probleme. Die Realisierung dieses Beitrages erfolgt

- durch die Aufnahme inhaltlicher Schwerpunkte in den Lehrplan und die Behandlung entsprechender Themen im Unterricht,
- durch die immanente Berücksichtigung der Industrierobotertechnik bei der Gestaltung eines praxisverbundenen Unterrichts. Dabei können allgemeine und inhaltliche Fragen durch die Einbeziehung solcher Formen der Praxisverbindung wie Hinweise auf entsprechende Beispiele, Lehrlingsaufträge, Exkursionen und methodisch aufbereitete Beispiele vermittelt werden. In /vgl. 51, S. 78/ werden methodische Hinweise zur Anwendung dieser im Unterricht der technischen Grundlagenfächer bewährten Formen der Praxisverbindung gegeben.

In der Direktive zur Auswertung des X. Parteitages /vgl. 14, S. 50/51/ werden u. a. auch Hinweise gegeben zur Einbeziehung der Industrierobotertechnik in den Unterricht der technischen Grundlagenfächer. Explizite werden für das Stoffgebiet 11 des Grundlagenfaches "Grundlagen der HMR-Technik" (berufliche Gruppierung I) zur Behandlung eines Industrieroboters 4 Stunden ausgewiesen. Darüber hinaus bieten weitere Stoffgebiete der drei Lehrpläne aller drei beruflichen Gruppierungen zahlreiche Ansatzpunkte, um Schwerpunkte der Industrierobotertechnik zu behandeln.

In der Übersicht 5 sind derartige Ansatzpunkte für die berufliche Gruppierung I enthalten. Sie dienen als Empfehlung und sollten entsprechend den beruflichen und betrieblichen Bedingungen präzisiert und ergänzt werden.

Eine relativ geschlossene und zusammenhängende Darstellung der Industrierobotertechnik wird nur im Stoffgebiet 11 der HMR-Technik (Gruppierung I) durch das Thema "Aufbau und prinzipielle Wirkungsweise eines Industrieroboters" möglich sein. In allen anderen Stoffgebieten und Fächern, einschließlich der Gruppierungen II und III, können nur ausgewählte Schwerpunkte berücksichtigt werden.

Tabelle 5: Empfehlungen zur Einbeziehung ausgewählter Schwerpunkte der IR-Technik in den Unterricht der technischen Grundlagenfächer - Berufliche Gruppierung I

Fach/Stoffgebiet	Schwerpunkte der IR-Technik	vgl. Abschnitt	Realisierungsform
1	2	3	4
<p>"Grundlagen der Elektronik"</p> <p>1. Stoffgebiet</p> <p>- Die Mikroelektronik - Schlüsseltechnologie zur Erhöhung der Produktivität durch Automatisierung von Arbeits- und Informationsprozessen und zur Senkung des Rohstoff-, Energie- und Materialverbrauchs (2 Stunden)¹⁾</p> <p>2. Stoffgebiet</p> <p>Ausgewählte elektrische und elektronische Bauelemente ...</p>	<p>- Solche Anwendungsgebiete der Mikroelektronik einbeziehen, die in engem Zusammenhang mit der beruflichen Tätigkeit der Lehrlinge stehen (beispielsweise bei Zerspanungsfacharbeitern als Anwendungsgebiet der Industrieroboter)¹⁾</p> <p>- Ökonomische, soziale und technische Aspekte des Einsatzes von IR</p> <p>- Prinzipielle Wirkungsweise opto-elektronischer Bauelemente und ihre Bedeutung für die Robotertechnik¹⁾</p>	<p>5.5.3 5.7., 4.3.</p> <p>1.2.</p> <p>5.7., 5.6., 3.2.</p>	<p>Hinweise Beispiele als Stoffschwerpunkt bzw. auch als eigenständiges Thema (2 Stunden)¹⁾</p> <p>als Stoffschwerpunkt Hinweise</p>

5.7. Erkennungssysteme - Sensoren

Durch das Erkennungssystem wird eine informationelle Verbindung zwischen der Steuerung und der Peripherie des Industrieroboters geschaffen (vgl. Abb. 30). Bestimmte Merkmale, beispielsweise Form, Lage, Oberflächenbeschaffenheit der Handhabungsobjekte werden erfaßt, verarbeitet (ausgewertet) und entsprechende Signale der Steuerung bereitgestellt. Das Erkennungssystem besitzt einen Verarbeitungsteil, der die durch Sensoren gewonnenen Informationen auswertet und über die Steuerung den Handhabungsvorgang beeinflusst. Industrieroboter mit derartigen Erkennungssystemen werden auch als sensorgeführte Roboter bezeichnet. Es sei jedoch hervorgehoben, daß sich die Anwendung von Sensoren und kompletten Erkennungssystemen gegenwärtig nur auf wenige Einsatzfälle beschränkt. Die geringe Anwendung ist beispielsweise beim Einsatz optischer Sensoren zur Bildwandlung (außer beim Fernsehen) auf die geringe Auflösung und Empfindlichkeit, ihre hohen Kosten insbesondere für die Bildverarbeitungsanlage (Hardware) sowie die erforderlichen Bildverarbeitungsprogramme (Software) zurückzuführen /vgl. 44, S. 662/.

Bereits sehr verbreitet ist dagegen der Einsatz von Sensoren bei Warn- und Sicherheitsanlagen, bei der Steuerung und Überwachung kontinuierlicher und diskontinuierlicher Prozesse sowie in weiten Bereichen der Meßtechnik.

An dieser Stelle sei auch auf einen inhaltlichen Wandel des Sensorbegriffs hingewiesen. Wurde der Sensor bisher in der Meßtechnik vorrangig zur Erfassung von eindimensionalen Größen wie Länge, Masse, Zeit, Temperatur sowie binären Zuständen (Anwesenheit von Objekten ...) eingesetzt, so wurde es durch die Mikroelektronik möglich, Sensoren auch zur Erfassung mehrdimensionaler Größen wie Volumen, Spannung, Geräusche sowie zu Bild- und Körperanalysen einzusetzen.

Die sich in den letzten Jahren vollzogene Entwicklung hat zu einer umfangreichen Palette unterschiedlichster Sensortypen geführt. In der Literatur finden wir solche Begriffe wie Längen-, Masse-, Temperatursensoren sowie akustische, visuelle und taktile Sensoren aber auch Sicherheits-, Warn- und Überwachungssensoren. In / vgl. 32, S. 211/ wird in einer Prinzipskizze die Integration zahlreicher unterschiedlichster Sensoren im Roboterarm und Greifer eines sensorgeführten Montage-roboters im rechnergesteuerten Montageprozeß gezeigt. Stark vereinfacht zeigt die Abbildung 57 die mögliche Anordnung unterschiedlicher Sensoren.

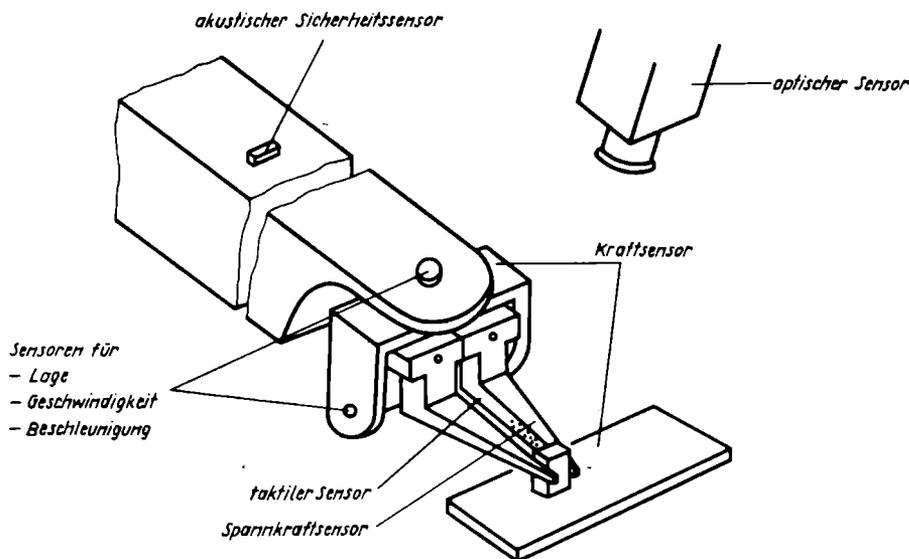


Abb. 57: Anordnung unterschiedlicher Sensoren bei einem Montageroboter

In den weiteren Ausführungen soll auf die bei Industrierobotern am häufigsten angewendeten und auch bekanntesten Sensorarten näher eingegangen werden. Dazu gehören die taktilen und optischen Sensoren. Sie sind auch kennzeichnend für Industrieroboter der 2. Generation.

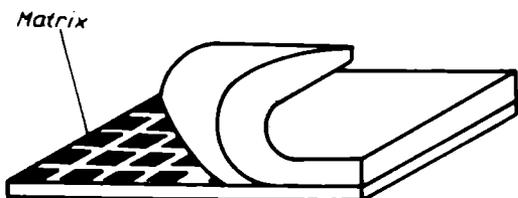
Beide Sensorarten tragen wesentlich dazu bei, neue Einsatzmöglichkeiten für Industrieroboter zu erschließen sowie deren Flexibilität zu erhöhen. Der Mensch kann von weiteren monotonen geistigen und körperlichen Tätigkeiten wie beispielsweise der Überwachung, Qualitätskontrolle, Magazinierung, Palettierung befreit werden. Darüber hinaus wird eine Erhöhung der Qualität und Sicher-

heit erreicht, die durch manuelles Prüfen nicht möglich ist.

Die durch Sensoren erreichbare höhere Flexibilität des Industrieroboters führt weiterhin zu einer Kostensenkung in der Peripherie. Beispielsweise durch Einsparung automatisierter Magazine, Paletten und Hilfseinrichtungen, einschließlich der dafür erforderlichen Steuerung. Die Tatsache, daß die Kosten für periphere Einrichtungen häufig weit über denen des Industrieroboters liegen können, zeigt auch aus dieser Sicht die Notwendigkeit des Einsatzes von Sensoren.

Taktile Sensoren

Die taktilen Sensoren werden gegenwärtig am häufigsten angewendet. Sie erfassen äußere Einflüsse wie Kräfte, Momente und Drücke. Für die Wandlung der durch die Berührung mit dem Objekt gewonnenen Signale gibt es unterschiedliche Möglichkeiten. Die einfachste Lösung besteht darin, indem bei der Berührung mit dem Objekt gleichzeitig über Kontakte ein elektrischer Stromkreis geschlossen wird. Durch linienhafte, flächenhafte bzw. matrixförmige Anordnung mehrerer Kontakte lassen sich Greifer gestalten, durch die eine "Objekterkennung" beim Greifvorgang möglich wird. Die Prinzipdarstellung derartiger Greifflächen wird in Anlehnung an /vgl. 31, S. 159/ durch die nebenstehende Abbildung gezeigt.



Beim Erfassen des Objektes werden nur bestimmte Kontakte betätigt. Dadurch entsteht ein Muster aus geschlossenen und geöffneten Kontakten, das sich in einer Steuerung als Sollwert speichern läßt. Beim Ergreifen der folgenden Objekte kann durch einen Soll-Ist-Wertvergleich eine Lage und/bzw. Formerkennung

Abb. 58: Taktile Sensor als Kontaktmatrix

realisiert werden. Auf ähnliche Weise lassen sich Greifer konzipieren, die eine Kraftdosierung beim Greifen ermöglichen. Soll beispielsweise ein leicht deformierbarer bzw. zerbrechlicher Gegenstand mit minimaler Kraft, aber trotzdem sicher erfaßt und bewegt werden, so ist eine Regelung der Greifkraft erforderlich. Bei leichter Bewegung (rutschen, gleiten) des Gegenstandes im Greifer wird ein Signal bereitgestellt, das so lange eine Erhöhung der Greifkraft bewirkt, bis der Gegenstand sicher gegriffen und bewegt werden kann.

Neben dieser kontaktbehafteten Signalübertragung bei taktilen Sensoren gibt es auch Möglichkeiten der kontaktlosen Übertragung. Die Fühlelemente können beispielsweise mit optoelektronischen Wandlern gekoppelt werden.

Neben den Sensoren die am Ausgang elektrische Signale liefern, kommen auch Sensoren mit pneumatischen Wirkprinzipien zum Einsatz. In der Grifffläche des Greifers sind Düsen angeordnet, durch die bei Annäherung an ein Objekt veränderliche Druckverhältnisse entstehen. Derartige Sensoren können berührungslos arbeiten, dann tritt jedoch ständig Luft aus den Düsenöffnungen. Durch konstruktive Maßnahmen ist es möglich, daß der Luftaustritt erst bei der Berührung von Greifer und Objekt entsteht. Abbildung 59 zeigt einige prinzipielle Möglichkeiten taktiler Sensoren mit pneumatischem Wirkprinzip.

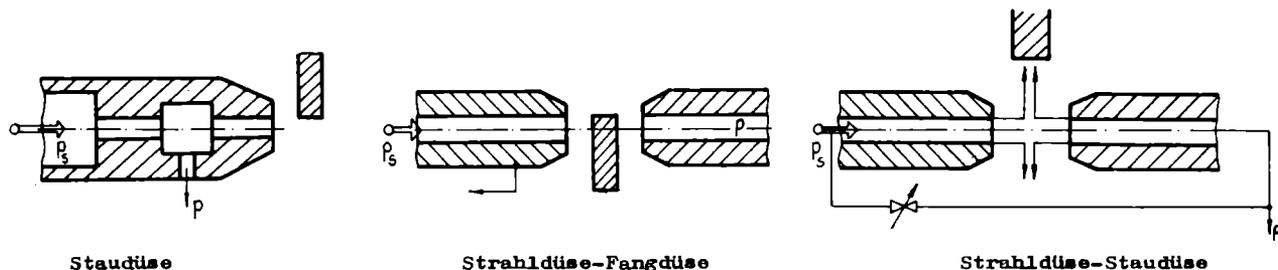


Abb. 59: Taktile Sensoren mit pneumatischem Wirkprinzip

Optische Sensoren

Die Einsatzmöglichkeiten optischer Sensoren sind so vielfältig wie ihre unterschiedliche Typen-
vielfalt. Sie reicht von einfachen optischen Sensoren für Binärentscheidungen (Teil vorhanden -
Teil nicht vorhanden) über Fotodiodenarrays und Kameras bis hin zu hochintegrierten Bauelementen
der Mikroelektronik zur Objekterkennung aus ungeordneter Lage ("Griff in die Kiste").

Einfache optische Sensoren finden beispielsweise bei Lichtschranken Verwendung. Ein Lichtstrahl
wird entweder unterbrochen oder hat freien Durchgang (1 bzw. 0-Signal).

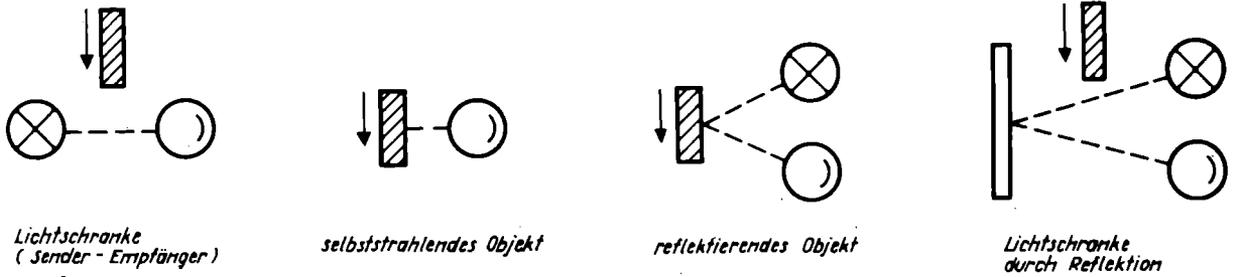


Abb. 60: Einfache optische Sensoren-Möglichkeiten der Funktion

Als Lichtquelle können Niedervolt-Glühlampen, Halogenlampen, Lumineszenzdioden sowie Laserdioden
und als Empfänger Fotowiderstände, Fotodioden, Fototransistoren und Fotothyristoren verwendet
werden.

Um Fehlerquellen durch Fremdlicht zu vermeiden, können beispielsweise Lumineszenzdioden einge-
setzt und im Impulsbetrieb gefahren werden. Der Empfänger spricht dann nur auf das modulierte
Licht an.

Die Entwicklung der Mikroelektronik führte unter anderem auch zu der Möglichkeit, mehrere Foto-
dioden auf einen Halbleitersubstrat unterzubringen, so daß quadrantenförmige, zeilenförmige oder
matrixförmige Diodenarrays entstanden.

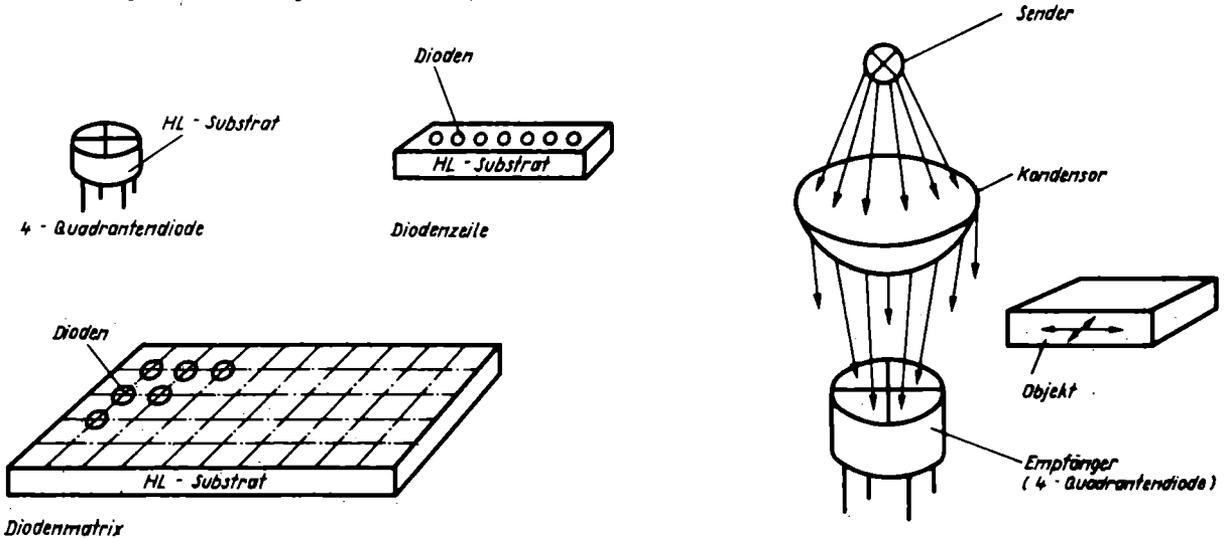


Abb. 61: Anordnung von Dioden auf Halb-
leitersubstraten

Abb. 62: Anwendung einer 4 Quadranten-
diode

In der Abbildung 62 wird der Einsatz einer 4 Quadrantendiode zur Lageerkennung für einfache Teile
angedeutet. Durch die Bewegung des Teiles werden unterschiedliche Abdeckungen erzeugt. In ähnli-
cher Weise arbeiten Diodenzeilen (Abb. 63).

1	2	3	4
<p>3., 4. und 5. Stoffgebiet: Funktionseinheiten zur elektro- nischen Verstärkung (3), zur Erzeugung und Speicherung binä- rer Signale (4), zur Realisie- rung der elementaren logischen Grundverknüpfungen (5)</p> <p><u>"Grundlagen der HMR-Technik"</u></p> <p>1. Stoffgebiet</p> <p>- Beschleunigte Entwicklung und Anwendung der Mikroelektronik, Robotertechnik ...¹⁾</p> <p>- Aufgaben und Bedeutung der Automatisierung¹⁾</p> <p>- Anwendung der Mikroelektronik, Industrierobotertechnik, ... als Voraussetzung zum Übergang zur Automatisierung¹⁾</p> <p>2. Stoffgebiet</p> <p>- Merkmale und Einteilung von Signalen</p> <p>3. Stoffgebiet</p> <p>- Notwendigkeit, Bedeutung und Aufgaben der Wandler ...</p> <p>- Möglichkeiten der Signal- wandlung und -verstärkung</p> <p>5. Stoffgebiet</p> <p>- Prinzip des Erfassens und Wandelns weiterer ... Größen</p> <p>- Verfahren zur Weg- und Winkel erfassung</p> <p>6. Stoffgebiet</p> <p>- Speicher als Eingabeglieder</p> <p>7. Stoffgebiet</p> <p>- Notwendigkeit des Vergleichs ...</p> <p>- Prinzip und Notwendigkeit der Signalverstärkung</p>	<p>- Bedeutung der Realisierung dieser Funktionseinheiten (s. Spalte 1) in hochinte- grierten Schaltkreisen für die Entwicklung der Steue- rungstechnik¹⁾ (Beispiel IR-Steuerung)</p> <p>- Rationalisierung durch den Einsatz von IR¹⁾</p> <p>- Notwendigkeit des Einsatzes von IR</p> <p>- Anwendung von IR als Vor- aussetzung für den Über- gang zur Automatisierung¹⁾</p> <p>- Wegesysteme, Erkennungs- systeme</p> <p>- Notwendigkeit der Signal- wandlung und -verstärkung (z. B. Wegesgeber-Steue- rung)</p> <p>- Wegesysteme . Unterschied zwischen Po- sitions- und Weggebern . Wirkprinzip digital-ab- soluter und digital-in- krementaler Geber . Potentiometer, Resolver, Inductosyne</p> <p>- Programmeingabe</p> <p>- Vergleich (Erkennungssy- stem - Steuerung)</p> <p>- Verstärkung (Wegesystem NC-Steuerung - Antriebe)</p>	<p>5.5.3.</p> <p>1.1.</p> <p>1.2., 2.2.</p> <p>1.1., 1.2.</p> <p>5.6.2., 5.7.</p> <p>5.6.3.1.</p> <p>5.6.</p> <p>5.6.3.2.</p> <p>5.6.3.1.</p> <p>5.7.</p> <p>5.6.</p>	<p>Hinweise Beispiele</p> <p>als Stoffschwerpunkt</p> <p>als Stoffschwerpunkt</p> <p>als Stoffschwerpunkt</p> <p>Hinweis auf Anwendung . unterschiedlicher Signalarten . Signale als Träger von Informationen</p> <p>Hinweise</p> <p>als Stoffschwerpunkt</p> <p>als Stoffschwerpunkt</p> <p>als Stoffschwerpunkt</p> <p>Hinweis auf Anwendung von Lochband, Magnet- band, Kurvenscheibe</p> <p>Hinweis auf Beispiele und Notwendigkeit bei IR</p>

1	2	3	4
<p>9. Stoffgebiet:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kombinatorische Schaltssysteme - Folgeschaltssysteme 	<ul style="list-style-type: none"> - Verarbeitung digitaler Signale¹⁾ - Die Entwicklung hochintegrierter Schaltkreise als entscheidende Voraussetzung zur Entwicklung komplexer Schaltssysteme für IR-Steuerungen¹⁾ - Hinweis auf integrierte Schaltkreise und Mikrorechner bei IR-Steuerungen (z. B. Halbleiterspeicher U 552 Mikrorechner K 1520) 	<p>5.5.</p> <p>5.6.</p> <p>5.5.3.</p> <p>5.5.4.</p>	<p>als Stoffschwerpunkt</p> <p>Hinweise</p> <p>Beispiele</p>
<p>10. Stoffgebiet:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Stellantriebe 	<ul style="list-style-type: none"> - Notwendigkeit des Stellantriebes zur Betätigung des Greifers 	<p>5.4.</p>	<p>Hinweise</p>
<p>11. Stoffgebiet:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ausgewählte Beispiele für die Mechanisierung und Automatisierung betrieblicher Prozesse <p><u>Thema:</u> Aufbau und prinzipielle Wirkungsweise eines Industrieroboters (4 Stunden)¹⁾</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Anwendung v. Industrierobotern zur schrittweisen Automatisierung v. Fertigungsprozessen, zur Arbeitskräftefreisetzung u. gesundheitsgefährdender sowie körperlich schwerer Arbeit¹⁾ - Allgemeine Grundlagen der IR-Technik - Einsatzbeispiele für IR - Aufbau von IR - Periphere Einrichtung. - Bedeutung des Einsatzes u. Schlußfolgerung. 	<p>1.</p> <p>2.</p> <p>3.</p> <p>4.</p> <p>5.</p> <p>6.</p> <p>1.3.</p>	<p>Hinweise</p> <p>Methodisch aufbereitete Beispiele</p> <p>Lehrlingsaufträge</p> <p>Exkursionen</p> <p>-----</p> <p>als eigenständiges Thema (4 Stunden)¹⁾</p>
<p><u>"Grundlagen der Datenverarbeitung"</u></p>			
<p>1. Stoffgebiet:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Einsatzmöglichkeiten der elektronischen Datenverarbeitung 	<ul style="list-style-type: none"> - Anwendung auch bei IR (z.B. bei komplexen Fertigungsabschnitten, Technologischen Einheiten ...) 	<p>4.1.</p> <p>4.3.</p>	<p>Hinweise</p> <p>Beispiel</p>
<p>2. Stoffgebiet:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Das Dualsystem (Aufbau, Konvertierung) - Peripherie einer EDVA 	<ul style="list-style-type: none"> - Anwendung bei numerischen Steuerungen - digitale Weg- u. Winkelerfassung - Peripherie eines IR (Begriffsbestimmung) 	<p>5.6.</p> <p>6.</p>	<p>Hinweise</p> <p>Hinweise</p>

1	2	3	4
3. Stoffgebiet: - Datenbereitstellung (Hinweis auf maschinenlesbare Datenträger wie Lochband, Magnetband ...) 	- Nutzung maschinenlesbarer Datenträger auch zur Programmeingabe bei Industrierobotern 	5.5.	Hinweis Beispiel

1) Diese Schwerpunkte entsprechen den Forderungen der Direktive zur Auswertung des X. Parteitag der SED im Unterricht der Berufsbildung /14/ und sind direkt übernommen worden.

In den folgenden Ausführungen sollen methodische Empfehlungen für die Behandlung des Themas "Aufbau und prinzipielle Wirkungsweise eines Industrieroboters" gegeben werden. Es wird jedoch darauf hingewiesen, daß die Empfehlungen nur orientierenden Charakter haben können, da die konkreten Bedingungen für die Behandlung des Themas an den einzelnen Bildungseinrichtungen sehr unterschiedlich sind.

Zunächst sollte bei der Planung und Vorbereitung der geforderten 4 Stunden beachtet werden, ob die Lehrlinge bereits im Betrieb die Möglichkeiten der Besichtigung eines Industrieroboters hatten bzw. ob eine entsprechende Besichtigung ermöglicht werden kann. Diese Bedingungen würden die Unterrichtsgestaltung wesentlich erleichtern und zu zwei unterschiedlichen Varianten führen:

Variante 1 Durch vorbereitete Lehrlingsvorträge könnte eine gemeinsame Ausgangsbasis geschaffen werden. Der im Betrieb vorhandene Industrieroboter ist dann im Unterricht zu behandeln.

Variante 2 Im Mittelpunkt des Unterricht könnte eine Exkursion stehen. Dabei ist zu sichern, daß wesentliche Schwerpunkte durch die Lehrkraft bzw. einen Betriebsangehörigen den Lehrlingen dargestellt werden. Zu den Schwerpunkten müßten gehören:

- Notwendigkeit des Robotereinsatzes
- Prinzipieller Aufbau des Industrieroboters
- Arbeitsweise
- Erreichte Effekte

In zahlreichen Fällen wird jedoch die Besichtigung eines Industrieroboters weder durch die gesamte Klasse noch durch einzelne Lehrlinge möglich sein. Für diese Fälle soll eine weitere Variante dargestellt werden.

Variante 3

Thema:

Aufbau und prinzipielle Wirkungsweise eines Industrieroboters

(4 Stunden)

Vorbemerkungen zum Thema:

Den Lehrlingen wird bei diesem Thema eine vereinfachte, aber trotzdem relativ vollständige Darstellung der Industrierobotertechnik gegeben. Bisher vermittelte Kenntnisse werden durch entsprechende Wiederholungen gefestigt und systematisch mit den neu zu erarbeitenden Kenntnissen zu einem geschlossenen Komplex "Industrieroboter" zusammengefügt.

Auf eine ausführliche Beschreibung technischer Sachverhalte kann nachfolgend weitestgehend verzichtet werden, da in den vorangegangenen Abschnitten teilweise bereits methodische Fragen der Unterrichtsgestaltung beachtet wurden.

Die Vorleistungen zum Thema werden in starkem Maße das methodische Vorgehen im Unterricht bestimmen. Es ist daher sinnvoll, eine Grobplanung bereits zu Beginn des Lehr- und Ausbildungsjahres vorzunehmen, um zwischen dem eigentlichen Thema und den vorangehenden Stoffgebieten eine exakte Abstimmung zu erreichen sowie um entsprechende Aktivitäten, wie beispielsweise Lehrlingsaufträge und Lehrlingsvorträge, vorzubereiten.

Vorleistungen zum Thema:

- Notwendigkeit und Effekte des Industrierobotereinsatzes sowie deren Anwendungsgebiete
- Prinzipielle Möglichkeiten der analogen und digitalen Weg- und Winkelerfassung
- Prinzipieller Aufbau optischer Sensoren und deren Einsatz zur Positionsgebung sowie zur Weg- und Winkelerfassung

- Grundlagen automatischer Steuerungen und deren Klassifizierung
- Möglichkeiten der Verstärkung, Wandlung und Speicherung von Informationen
- Möglichkeiten der Programmeingabe durch Lochband, Magnetband- und Kurvenscheibe

Unterrichtsmittel für das Thema:

Lichtbildreihe: Industrieroboter - was können und was nutzen sie /52/
 Lichtbildreihe: Industrieroboter und Steigerung der Arbeitsproduktivität /53/
 Wissenspeicher (Gruppierungen I und III) /39/
 Wissenspeicher (Gruppierung II) /54/
 Projektionsfolien (selbstgefertigt - vgl. Text)

Gliederung des Themas:

Inhaltliche Gliederung

Didaktisch-methodische Schrittfolge

1. Schritt:

Die Anwendung von Industrierobotern zur weiteren Automatisierung des Produktionsprozesses

Unterrichtsgespräch zur Wiederholung, Eventuell Einbeziehung eines Lehrlingsvortrages, Einsatz von Tafel- bzw. Folienbildern

2. Schritt:

Prinzipieller Aufbau eines Industrieroboters

Überwiegend Lehrervortrag
 Einsatz selbstgefertigter Folien

3. Schritt:

Hauptbaugruppen eines Industrieroboters

Lehrlingsvortrag und Unterrichtsgespräch zur Wiederholung und Weiterführung, Wechsel von Unterrichtsgespräch und Lehrervortrag unter Einsatz von selbstgefertigten Folien

4. Schritt:

Einsatzbeispiele

Überwiegend im problemhaften Unterrichtsgespräch in starker Anlehnung an entsprechende Beispiele, Einsatz von selbstgefertigten Folien, gegebenenfalls auch Lichtbilder und Abbildungen aus Prospekten und Fachzeitschriften

5. Schritt:

Bedeutung des Industrieroboteinsatzes und Schlußfolgerungen

Lehrervortrag
 Zusammenfassendes Unterrichtsgespräch

Erkenntnis: Die beschleunigte Entwicklung und breite Anwendung von Industrierobotern sowie die Erschließung der entsprechenden Einsatzgebiete gehören zu den wichtigsten Aufgaben, um Arbeitskräfte freizusetzen und die Arbeitsproduktivität zu erhöhen sowie um die Arbeits- und Lebensbedingungen zu verbessern.

Die Notwendigkeit zur Einführung der Industrieroboter resultiert aus ökonomischen, sozialen und technischen Gründen.

Zur Bewältigung der mit dem Einsatz von Industrierobotern in Verbindung stehenden Aufgaben und Probleme ist die gewissenhafte Vorbereitung auf den Beruf, die aktive Mitarbeit bei der Lösung entsprechender Aufgaben sowie die Bereitschaft zur Um- und Weiterqualifizierung erforderlich.

Hinweise zur Unterrichtsgestaltung:

Zum 1. Schritt:

Die Lehrlinge wurden in den vorangegangenen Stoffgebieten sowie in anderen Fächern bereits mit Fragen der Anwendung und des Einsatzes der Industrieroboter sowie mit ökonomischen und sozialen Effekten bekanntgemacht. Sie haben die Notwendigkeit und die Bedeutung des Industrieroboteinsatzes erkannt und sind in der Lage, einzelne Anwendungsgebiete zu nennen. Es kommt daher im 1. Schritt darauf an, die vorhandenen Kenntnisse zu systematisieren. Hier bietet sich in der Regel das Unterrichtsgespräch an. Eine Auflockerung des Unterrichts kann durch einen Lehrlingsvortrag erfolgen. Zusammenfassend könnten die Übersichten (S. 7 und 13) als Tafel- bzw. Folienbild genutzt werden.

Zum 2. Schritt:

Der 2. Schritt kann überwiegend nur im Lehrervortrag realisiert werden. Den Lehrlingen sollte ein informatorischer Überblick über häufig anzutreffende Begriffe (Linearachse, Drehachse, Ar-

beitsraum, Flexibilität, Freiheitsgrad ...) sowie über die Kennzeichnung der Linear- und Drehbewegungen gegeben werden. Dabei können die Abbildungen 8 (Drehbewegungen) und 9 (Linearbewegungen) zum Einsatz kommen. Um für den folgenden Schwerpunkt einen ordnenden Gesamtüberblick über den Aufbau eines Industrieroboters zu geben, sind die einzelnen Hauptbaugruppen zu nennen, ihre Aufgaben kurz zu skizzieren sowie der Leistungs- und Informationsfluß beim Zusammenwirken der einzelnen Hauptbaugruppen hervorzuheben (vgl. Abbildung 30).

Zum 3. Schritt:

Im Mittelpunkt des 3. Schrittes "Hauptbaugruppen eines Industrieroboters" stehen die Steuerung, die Wegmeßsysteme sowie die Sensoren. Bei ihnen werden, im Gegensatz zu den anderen Hauptbaugruppen, die folgenden Aspekte der Inhaltsauswahl für den Unterricht erfüllt.

- Es sind didaktische Vereinfachungen möglich, ohne fachlich zu sehr vom eigentlichen Prinzip abzuweichen.
- Es ist eine direkte Verbindung zu vorangegangenen Stoffgebieten vorhanden, auf die zurückgegriffen werden kann.
- Die zu behandelnden Inhalte sind einordbar in die allgemein-technische Grundlagenbildung.

Ausgehend von der Abbildung 30 werden in gleicher Reihenfolge wie im Abschnitt 5 die einzelnen Hauptbaugruppen behandelt. Greifer und Antriebe werden nur relativ knapp vorgestellt. Hierfür bietet sich der Lehrervortrag an. Neben Aufgaben und Anforderungen an die entsprechende Hauptbaugruppe werden unterschiedliche Arten kurz beschrieben. So bei den Antrieben die rotatorischen und translatorischen Antriebe. Bei den Greifern bietet sich, um die unterschiedlichen Arten und die einzelnen Baugruppen zu zeigen, die Abbildung 38 an. Das Prinzip ausgewählter Greifeinrichtungen sollte an entsprechenden Beispielen gezeigt werden.

Die Steuerung wird bei der Vorbereitung des Unterrichts die größten Probleme bereiten. Die Lehrlinge haben bisher den Begriff "Steuerung" stets unter dem Aspekt der Prozeßbeeinflussung verwendet. So analoge bzw. diskrete Steuerungen als Drehzahlsteuerung, Temperatursteuerung, Füllstandssteuerung ... Stets umfaßte eine Steuerung mehrere Systeme (Meßeinrichtung, Stelleinrichtung, Verstärker, Wandler, Eingabeglied ...).

Zunächst ist also die Steuerung als ein funktionell und konstruktiv selbständiges System (Hauptbaugruppe) eines Industrieroboters zu kennzeichnen. Problemlos lassen sich die Aufgaben sowie die Wirkungsweise unterschiedlicher Steuerungen in Anlehnung an die Seiten 51 bis 53 darstellen.

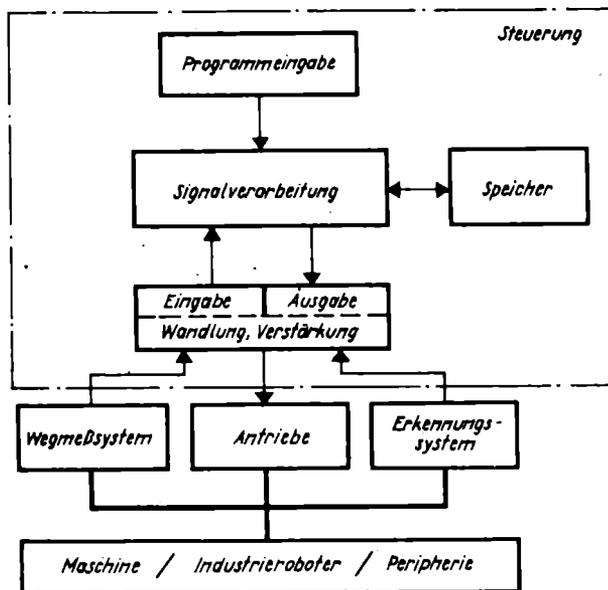


Abb. 68: Prinzipieller Aufbau einer Industrierobotersteuerung

Die detaillierte Behandlung einer mikroelektronischen Industrierobotersteuerung ist jedoch für die Ebene Grundlagenfächer nicht realisierbar. Hier sollte im Unterricht die vereinfachte Blockdarstellung (Abb. 68) genutzt werden. Die Lehrkraft muß selbständig entscheiden, ob eventuell auch die Abbildungen 48 und 49 bzw. auch selbsterarbeitete Beispiele von Industrierobotersteuerungen eingesetzt werden können.

Bei der Behandlung der Wegmeßsysteme bietet sich eine Auflockerung des Unterrichts durch einen Lehrlingsvortrag an. Der Vortrag sollte den entsprechenden Lehrlingen bereits im 5. Stoffgebiet erteilt werden und die dort behandelten Prinzipien für die Weg- und Winkelerfassung wiederholen sowie ausgewählte Meßverfahren an Beispielen darstellen.

Durch die Lehrkraft erfolgt neben der Zusammenfassung ein Hinweis zur Verbindung der Wegmeßsysteme mit den Linear- und Drehachsen. Für beide Achsen sollte je ein Beispiel kurz gezeigt und beschrieben werden (vgl. 5.6.4.).

Bei den Erkennungssystemen stehen die optischen Sensoren im Mittelpunkt, obwohl bei Industrierobotern häufiger taktile Sensoren zum Einsatz kommen. Einleitend kann die Zusammenstellung natürlicher "Sensoren", S.25, genutzt werden, um daraus auf künstliche Sensoren hinzuführen. Das Prinzip taktiler und optischer Sensoren läßt sich mit den Abbildungen 58 bzw. 59, 60 und 63 zeigen.

Unbedingt ist die Bedeutung der Mikroelektronik für die Entwicklung optoelektronischer Bauelemente (Beispiel CCD-Sensorzelle, S. 67) aufzuzeigen sowie der Bezug zur Aufgabenstellung des X. Parteitages für die Entwicklung optoelektronischer Bauelemente /4/ herzustellen.

Um das Prinzip eines Erkennungssystems zu zeigen, sollte die Abbildung 63 eingesetzt werden. Auf die technische Realisierung der Soll-Bildspeicherung und des Bildvergleichs (Soll-Ist) kann nur informatorisch hingewiesen werden.

Zum 4. Schritt:

Im 4. Schritt des Themas ist ein Einsatzbeispiel für einen Industrieroboter darzustellen. Dafür sollte ein Beschickungsroboter bzw. ein technologischer Roboter aus dem Abschnitt 4 gewählt werden. In diesem Abschnitt wurden methodische Aspekte besonders stark berücksichtigt.

Für diesen 4. Schritt können auch weiterführende Beiträge der Zeitschrift "Technische Gemeinschaft", Heft 12/1981 und "Berufsbildung", Heft 2/1982 sowie zwei Lichtbildreihen über Industrieroboter ausgewertet und verwendet werden. Zu den Artikeln aus den beiden Zeitschriften gehören:

- | | |
|--|----------|
| - Roboter für technologische Prozesse | TG S. 28 |
| - Farbspritzroboter im Einsatz | TG S. 30 |
| - IRS 3000 für Gesenkschmiedeprozesse | TG S. 31 |
| - Schweißroboter aus dem Baukasten | TG S. 33 |
| - Industrieroboter für Blechumformprozesse | TG S. 38 |
| - Zur Vorbereitung der Facharbeiter beim Einsatz von Schweißrobotern | BB S. 61 |

Bei der Unterrichtsvorbereitung sollte geprüft werden, ob auf Kosten des Zeitvolumens für die Behandlung der Hauptbaugruppen mehrere Einsatzbeispiele aufzunehmen sind. Die Entscheidung hängt auch von den zur Verfügung stehenden fachlichen Unterlagen und Unterrichtsmitteln ab.

Unbedingt sind bei der Behandlung der Einsatzbeispiele gleichzeitig Fragen der Peripherie anzuschneiden. Es ist auch auf die Notwendigkeit peripherer Geräte sowie auf den Zusammenhang von Industrieroboter und Peripherie einzugehen.

Zum 5. Schritt:

Im 5. Schritt wird nochmals auf wichtige Effekte und die Bedeutung des Industrieroboterensatzes hingewiesen. Dabei sollte die bereits einführend verwendete Folie (Übersicht S. 7) genutzt und im Unterrichtsgespräch durch weitere Beispiele aus dem Abschnitt 1.2. ergänzt werden.

Abschließend sollten einige Schlussfolgerungen für die persönliche Arbeit der künftigen Facharbeiter herausgearbeitet werden.

Literaturverzeichnis:

- /1/ Aus dem Bericht des Politbüros an die 3. Tagung des ZK der SED, Berichterstatter: Genosse Erich Honecker. In 3. Tagung des ZK der SED. Dietz Verlag, Berlin 1981.
- /2/ Koziolok, H.: Höherentwicklung der materiell-technischen Basis auf dem Wege der Intensivierung. "Einheit", Heft 10/1981.
- /3/ Direktive des X. Parteitages der SED zum Fünfjahrplan für die Entwicklung der Volkswirtschaft der DDR in den Jahren 1981 - 1985. Dietz Verlag, Berlin 1981.
- /4/ Bericht des Zentralkomitees der Sozialistischen Einheitspartei Deutschlands an den X. Parteitag der SED. Berichterstatter Genosse Erich Honecker. Dietz Verlag, Berlin 1981.
- /5/ Georgi, R.: Industrieroboter erhöhen das technische und technologische Niveau. "Einheit", Heft 1/1981.
- /6/ Mittag, G.: Mit der Kraft der Kombinate für weiteren hohen Leistungsanstieg. Dietz Verlag, Berlin 1980.
- /7/ Greß, W.: Roboter im Dienst unseres gesellschaftlichen Fortschritts. "Einheit", Heft 9/1981.
- /8/ Otto, D.: Planung und Einsatz von Industrierobotern zur Beseitigung schwerer gesundheitsgefährdender und monotoner Arbeit. "Die Technik", Heft 2/1979.
- /9/ Mitteilung der Staatlichen Zentralverwaltung für Statistik über die Durchführung des Volkswirtschaftsplanes 1981. "Neues Deutschland", B-Ausgabe. 16./17. Januar 1982.
- /10/ Radke, H.; Stahlhofen, R.: Soziale Auswirkungen der Mikroelektronik im Anwendungsbereich, insbesondere beim Einsatz von Industrierobotern. "Sozialistische Arbeitswissenschaft", Heft 4/1981.
- /11/ Gehirn aus dem Labor, Gespräch mit Prof. Popow, Lehrstuhlleiter an der Technischen Hochschule und Direktor des Labors für Robotertechnik im Akademieinstitut für Maschinenwesen. "Freie Welt", Heft 3/1981.
- /12/ Rudolph, W.; Schneider, G.: Das Bildungspotential der Facharbeiter effektiv nutzen und planmäßig erweitern. "Einheit", Heft 9/1981.
- /13/ Pager, E.: Gesellschaftliche Erfordernisse. "Technische Gemeinschaft", Heft 12/1981.
- /14/ Direktive zur Auswertung des X. Parteitages der SED im Unterricht der Berufsbildung. Verfügungen und Mitteilungen des Staatssekretariats für Berufsbildung, Nr. 5/1981.
- /15/ Autorenkollektiv: Mikroelektronik im Unterricht der technischen Grundlagenfächer. Staatsverlag der Deutschen Demokratischen Republik, Berlin 1981.
- /16/ Allgemeiner Deutscher Nachrichtendienst, Fotoabteilung Zentralbild. ZB/TASS: MO 210/35 N, (Bildrückseite). Berlin 1973.
- /17/ Allgemeiner Deutscher Nachrichtendienst, Fotoabteilung Zentralbild. ZB/TASS: MO 117/26/N, Berlin 1973.
- /18/ Bezirksprogramm (WPG) der Entwicklung der Produktion und des Einsatzes von Einlegegeräten und Industrierobotern für die Jahre 1980-85 Karl-Marx-Stadt, 1980. (WPG = Wissenschafts-Produktions-Gemeinschaft "Industrieroboter").
- /19/ Richtlinie zur Berichterstattung über den Einsatz von Industrierobotern - Formblatt 204/6, herausgegeben vom Ministerrat der DDR, Staatliche Zentralverwaltung für Statistik, Berlin, Mai 1981, Anlage.
- /20/ Päßler, E.; Otto, D.: Stand und Entwicklung des Industrierobotereinsatzes in der DDR - Industrie auf der Grundlage der Beschlüsse des X. Parteitages. "Fertigungstechnik und Betrieb", Heft 1/1982.
- /21/ Otto, D.: Definitionen und Begriffe. "Technische Gemeinschaft". Heft 12/1981.
- /22/ Industrierobotertechnik von heute. "Die Wirtschaft", Heft 6/1981.
- /23/ Schmidt, W.; Thieme, G.: Vorbereitung von Lehrlingen und Facharbeitern für den Einsatz an Schweißrobotern. "Berufsbildung". Heft 2/1982.
- /24/ Anordnung über den Aufbau und die Gestaltung einer Datenbank für Industrierobotertechnik. Gesetzblatt I/27 vom 15.09.1981.

- /25/ Richtlinie für die Einsatzvorbereitung von Industrierobotern zur Werkstückhandhabung, Forschungszentrum des Werkzeugmaschinenbaues, Karl-Marx-Stadt, 1981
- /26/ Buschbeck, H.; Scheibner, H.: Einsatz von Industrierobotern (IR) für die Beschickung von Werkzeugmaschinen. "Fertigungstechnik und Betrieb", Berlin, Heft 7/1981.
- /27/ Spreer, L.: Farbspritzroboter im Einsatz. "Technische Gemeinschaft", Heft 12/1981.
- /28/ Autorenkollektiv: Konzeption "Technologische Prozeßforschung für die Teilefertigung bis 1985". Forschungszentrum des Werkzeugmaschinenbaus Karl-Marx-Stadt, 1979.
- /29/ Förster, H.; Scheibner, H.: Gesellschaftlich determinierte Grundsätze zur Eingliederung von Industrierobotern in die Produktion. TH Karl-Marx-Stadt 1981.
- /30/ Matschke, J.: Von der einfachen Logikschaltung zum Mikrorechner. VEB Verlag Technik, Berlin 1981.
- /31/ Autorenkollektiv: (Hrsg. Volmer, J.) Industrieroboter. VEB Verlag Technik, Berlin 1981.
- /32/ Otto, D.: Planung und Einsatz von Industrierobotern zur Beseitigung von schwerer, gesundheitsgefährdender und monotoner Arbeit. "Die Technik", Heft 4/1979.
- /33/ Gilde, W.: Roboter aus dem Baukasten. "Einheit". Heft 9/1981.
- /34/ Hesse, G.: Schweißroboter aus dem Baukasten. "Technische Gemeinschaft". Heft 12/1981.
- /35/ Autorenkollektiv: Funktionseinheiten der Automatisierungstechnik. Hrg. Töpfer/Kriesel. VEB Verlag Technik, Berlin 1978
- /36/ TGL 14 591 Automatische Steuerung; Begriffe, Kurzzeichen.
- /37/ Sandner, W.: Steuerungen für Industrieroboter - Möglichkeiten zur Systematisierung nach Steuerungsart und Programmierverfahren. "Maschinenbautechnik", Heft 7/1980.
- /38/ Bartsch, H.-J.; Wätzig, R.: Steuerungen der Industrieroboter. "Technische Gemeinschaft", Heft 12/1980.
- /39/ Wissenspeicher "Grundlagen der Elektronik, EMSR-Technik, Datenverarbeitung". Berufliche Gruppierung I und III. VEB Verlag Technik, Berlin 1981.
- /40/ Berthold, H.: Programmgesteuerte Werkzeugmaschinen, VEB Verlag Technik, Berlin 1975.
- /41/ Autorenkollektiv: Automatisierung spanender Werkzeugmaschinen, VEB Verlag Technik, Berlin 1981.
- /42/ Winkelmeßsystem WMS 10⁶. Druckschrift Nr. 67-050-1. VEB Carl Zeiss Jena.
- /43/ Mütze, K.: Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen, Reihe Automatisierungstechnik 57, VEB Verlag Technik, Berlin 1967.
- /44/ Hofmann, D.: Neue Entwicklungstendenzen der Sensortechnik, "messen·steuern·regeln", Heft 12/1981.
- /45/ "Sehender" Roboter. "Technische Gemeinschaft". Heft 8/1979.
- /46/ Reiblich, D.: Periphere Technik optimal anpassen. "Technische Gemeinschaft", Heft 12/1981.
- /47/ Schönfeld, L.: Vortrag zur Fachtagung "Entwicklung und Einsatz numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen mit automatischer Werkstückhandhabung", 10. bis 12.12.1980.
- /48/ Richtlinie für die Einsatzvorbereitung von Industrierobotern zum Farbspritzen. Forschungszentrum des Werkzeugmaschinenbaues, Karl-Marx-Stadt, 1981.
- /49/ Buschbeck, H.; Scheibner, H.: Einsatzvorbereitung von Industrierobotern (IR) für die Beschickung von Werkzeugmaschinen. "Fertigungstechnik und Betrieb", Heft 12/1981.
- /50/ Scheibner, H.: Hinweise und Empfehlungen zur Durchführung von Prozeßanalysen und zur Ermittlung von IR-Arbeitsplätzen. Forschungszentrum des Werkzeugmaschinenbaues, Karl-Marx-Stadt, 1981.
- /51/ Leuther, H.; Nichterwitz, M.; Tuschke, S.: Enge Verbindung des Unterrichts in den technischen Grundlagenfächern mit der gesellschaftlichen, beruflichen und betrieblichen Praxis. "Berufsbildung", Heft 6/1978.

- /52/ Industrieroboter - was können und was nutzen sie? DIA-Tonvortrag. Hrg. Verlag für Agitations- und Anschauungsmittel, Berlin 1980.
- /53/ Industrieroboter und Steigerung der Arbeitsproduktivität. DIA-Serie. Hrg. Präsidium der URANIA, Verlag für Agitations- und Anschauungsmittel, Berlin 1980.
- /54/ Wissenspeicher. Grundlagen der Elektronik, der BMSR-Technik, der Datenverarbeitung, Gruppierung II. Verlag Die Wirtschaft, Berlin 1981.

