Seminar
Industrieroboter in kleinen
und mittleren Unternehmen
Stuttgart, 4. November 1983
ISI-Seminarberichte Band 14

veranstaltet vom

Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung
(ISI), Breslauer Str. 48, 7500 Karlsruhe 1

unter Federführung des

Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung
(IPA), Nobelstr. 12, 7000 Stuttgart 80

Seminar

Industrieroboter in kleinen und mittleren Unternehmen

Ort: Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Nobelstr. 12, 7000 Stuttgart 80

Zeit: 04. November 1983, 9.00 h - 16.00 h

Einführung in die Industrierobotertechnik

von

Dr.-Ing. Rolf D. Schraft

und

Dipl.-Ing. Günter Schiele

Fraunhofer- Institut für Produktionstechnik
und Automatisierung (IPA), Stuttgart
Leitung: Prof. Dr.-Ing. H.J. Warnecke

1 Einleitung

Industrieroboter, schon lange als technische Revolution angekündigt und bereits seit über zehn Jahren in verschiedenen Bereichen der Fertigungstechnik eingesetzt, setzen sich immer noch langsam durch. Der Beitrag soll einen Überblick über bisherige Entwicklungen und Erfahrungen beim Einsatz von Industrierobotern geben. Weiter sollen die Probleme, die einer Anwendung von Industrierobotern entgegenstehen, aufgezeigt werden und ein Blick in die Zukunft deutlich machen, daß der Industrieroboter ein wichtiges Glied in der Produktionskette darstellt und als Automatisierungsmittel nicht mehr wegzudenken ist. Ein steigender Bekanntheitsgrad, steigende Lohnkosten, zunehmende Bestrebungen, die Arbeitswelt humaner zu gestalten, ausgereiftere Geräte und verstärkte Forschungsanstrengungen gewährleisten, daß in Zukunft die Einsatzzahlen stark ansteigen werden.

2 Industrieroboter als Glied im Fertigungssystem

2.1 Die heutige Situation

Anfang der 70er Jahre machte die erste nennenswerte Industrieroboterinstallation in Deutschland bei der Fa. Daimler-Benz in Sindelfingen zum Schweißen der Seitenwände der S-Klasse in der Fachpresse Schlagzeilen. Man hatte recht euphorische Erwartungen über den Zuwachs dieser Geräte. Die Wirklichkeit ist weit hinter den Erwartungen zurückgeblieben und man konnte im Dezember 1982 insgesamt 3.500 Industrieroboter in der Bundesrepublik zählen. Bemerkenswert ist, daß sich die Zahl der eingesetzten Geräte seit Mitte 1980 bis Ende 1982 fast verdreifacht hat.

Wirft man einen Blick zurück auf die Zeit anfangs der 70-iger Jahre, so wurden von Industrierobotern fast Wunderdinge erwartet. In den 50-iger und 60-iger Jahren waren die Rationalisierungs- und Automatisierungsanstrengungen der deutschen Industrie fast ausschließlich auf die Rationalisierung und Optimierung des eigentlichen Fertigungsprozesses gerichtet, während die Hand-

habung in der Montage nur in der Großserie automatisiert wurde. So war Anfang der 70-iger Jahre ein Automatisierungsdefizit im Bereich der Werkzeug- und Werkstückhandhabung und es wurden Lösungen gesucht, um diese Bereiche einer weiteren Automatisierung zugänglich zu machen. Erschwerend kam hinzu, daß die damals vorhandenen Handhabungsgeräte den Wunsch nach Flexibilität und Umrüstbarkeit nur sehr unzureichend erfüllen konnten. Diese Situation besteht heute nicht mehr, da auf dem deutschen Markt von ca. 50 verschiedenen Herstellern ca. 200 Geräte in den verschiedenen Größen und Preisklassen für die unterschiedlichsten Anwendungen angeboten werden /1/.

Beim verstärkten Konkurrenzkampf auf den internationalen Märkten ist die deutsche Industrie gezwungen, sämtliche zur Verfügung stehenden Rationalisierungsreserven auszuschöpfen. Dazu ist mit Sicherheit erforderlich, die vorhandenen kapitalintensiven Produktionsmittel besser zu nutzen. Dies bedeutet beispielsweise, daß die Produktionsmittel weiter automatisiert werden, bzw. in mehr als einer Schicht automatisch genutzt werden. Da man andererseits auf Kundenwünsche flexibel reagieren muß, ist eine Flexibilität der Produktionsmittel und der sie bedienenden Handhabungseinrichtungen unerläßlich. Genau diese flexiblen, programmierbaren Handhabungseinrichtungen wurden in Industrierobotern gefunden.

Ist es erforderlich, beispielsweise Werkzeuge auf räumlichen Bahnen zu verfahren und will man trotzdem in den Abläufen flexibel sein, wie es beispielsweise beim Bahnschweißen und beim Spritzlackieren der Fall ist, so bieten Industrieroboter dafür heute auch die Möglichkeit.

Betrachtet man die Industrieroboteraktivitäten im gerne zitierten Japan, so kann man feststellen, daß dort seit langer Zeit intensiv die Möglichkeiten, die Industrieroboter bieten, genutzt werden.

Die Japan Industrial Association (JIRA) gibt bereits seit Jahren in regelmäßiger Folge Informationen und Kataloge wie Darstellungen von erfolgreich abgeschlossenen Industrieroboterinstallationen

heraus. In Japan sind die meisten Industrieroboter eingesetzt und es werden dort die meisten hergestellt. Dabei wird von staatlicher Seite durch solche Maßnahmen ein Anreiz geschaffen, mehr, insbesondere rechnergesteuerte Industrieroboter einzusetzen. Weiter wurde eine "Japan Robot Leasing Company Limited" (JAROL) gegründet, in der sich 24 Hersteller von Industrierobotern und Versicherungsgesellschaften beteiligten. Bei der JAROL sind Industrieroboter auf Leasing-Basis zu erhalten. Aufgrund von Tagungen, Veröffentlichungen und Firmenbesuchen gewinnt man den Eindruck, daß die japanische Industrie schnell jede neue Entwicklung nutzt. Dies ist mit Sicherheit ein Grund dafür, daß in Japan sehr viel mehr Industrieroboter eingesetzt sind als in Deutschland, obwohl beiden Ländern prinzipiell die gleiche Technik zur Verfügung steht.

2.2 Das Gerät "Industrieroboter"

Spricht man von Industrierobotern, so ist zu beachten, daß diese gegen Einlegegeräte und Teleoperatoren abgegrenzt werden. Dies kann folgendermaßen geschehen:

Einlegegeräte sind schon seit langem bekannt und in verschiedenen Industrieroboterbereichen eingesetzt. Sie sind meist mit Greifern ausgerüstete mechanische Handhabungseinrichtungen, die vorgegebene Bewegungsabläufe nach einem festen Programm abfahren. Sie sind vorzugsweise in der Massenfertigung zu finden bzw. in Fertigungen, bei denen ähnliche Varianten gefertigt werden. So arbeiten sie beispielsweise an Pressen, Montagelinien, in der Verpackungsindustrie usw., überall dort, wo über seinen langen Zeitraum hinweg dieselbe Handhabungsaufgabe auszuführen ist /2/.

Teleoperatoren sind ferngesteuerte Manipulatoren, die keine Programmsteuerung besitzen. Die Programmsteuerung übernimmt der Mensch, der die Entscheidung trifft und die Bewegungen einleitet. Bei Teleoperatoren kann die Leistung und die Reichweite des Menschen weit übertroffen werden. Im industriellen Bereich werden Teleoperatoren dort eingesetzt, wo der Mensch von schwerer physischer Arbeit entlastet werden soll, wie beim Entgraten von

großen Gußteilen oder zum Handhaben von schweren Lasten (Bild 1) /2/.

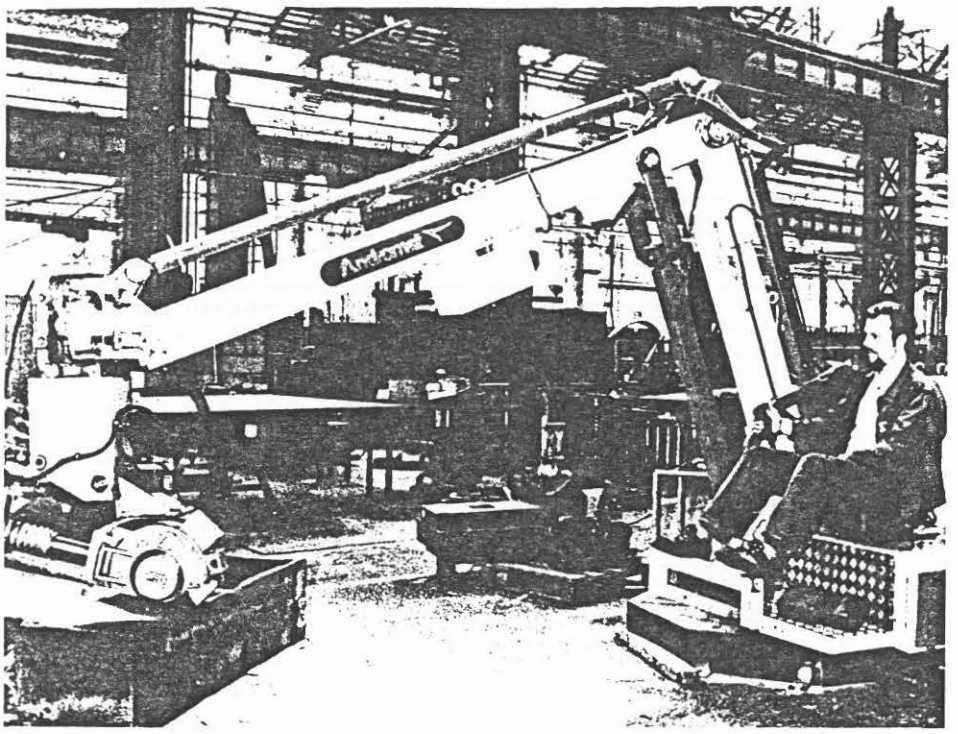


Bild 1: Teleoperator "Andromat"

Industrieroboter sind in mehreren Bewegungsachsen frei programmierbare, mit Greifern oder Werkzeugen ausgerüstete mechanische Handhabungseinrichtungen, die für den industriellen Einsatz konzipiert sind /2/. Der Unterschied zu Einlegegeräten liegt in der Programmierbarkeit und ihrer meist aufwendigen Kinematik. In der VDI-Richtlinie 2860 von 1982 sind Industrieroboter folgendermaßen definiert:

"Industrieroboter sind universell einsetzbare Bewegungsautomaten mit mehreren Achsen, deren Bewegungen hinsichtlich Bewegungsfolge und Wegen bzw. Winkeln frei programmierbar (d.h. ohne mechanischen Eingriff veränderbar) und gegebenenfalls sensorgeführt sind. Sie sind mit Greifern, Werkzeugen oder anderen Fertigungsmitteln ausrüstbar und können Handhabungs- und/oder Fertigungsaufgaben ausführen".

2.3 Aufbau von Industrierobotern

Industrieroboter setzen sich aus mehreren Teilsystemen zusammen, die unterschiedliche Funktionen ausführen. Bild 2 zeigt diese Teilsysteme sowie die Teilfunktionen.

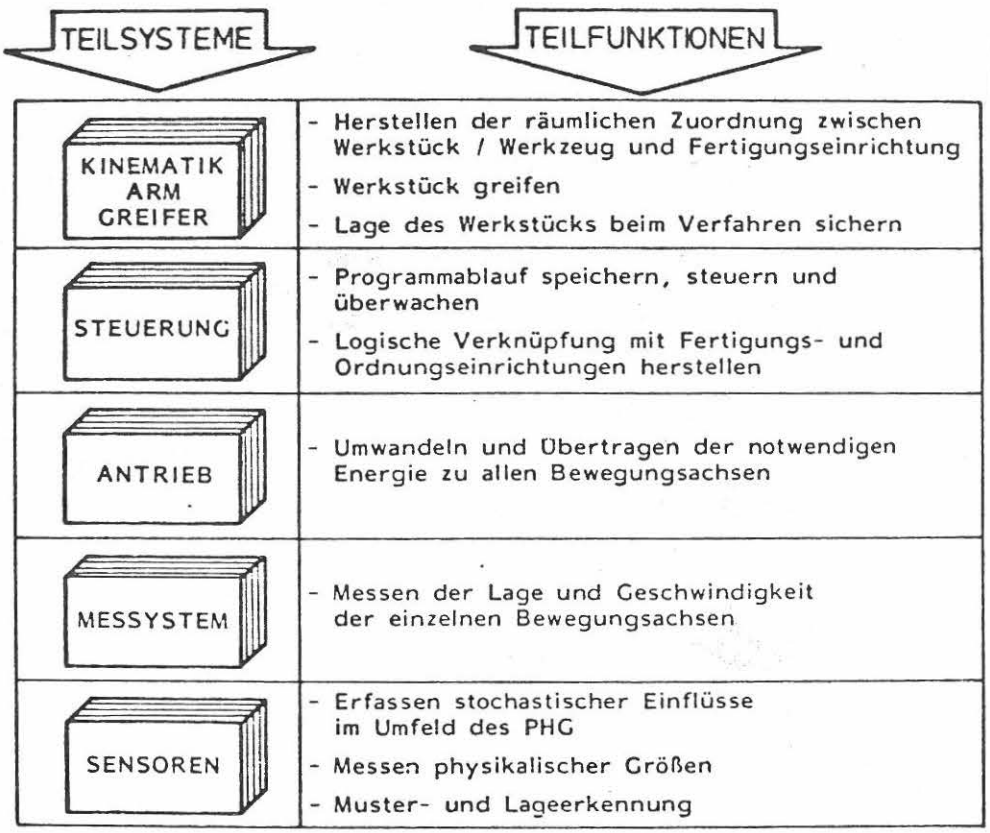


Bild 2: Teilsysteme und Teilfunktionen von Industrierobotern

2.3.1 Kinematik

Im dreidimensionalen Raum ist die Lage eines starren Körpers durch seinen Ortsvektor und seine Orientierung definiert. Ist ein Körper frei beweglich, so besitzt er sechs Freiheitsgrade und kann durch mindestens drei Rotationen und drei Translationen in eine beliebige andere Lage gebracht werden. Man unterscheidet daher zwei Grundbewegungen bei Industrierobotern:

a) translatorische Bewegungen und
b) rotatorische Bewegungen.

Die meisten bekannten Industrieroboter setzen sich aus einer Kombination von drei Bewegungsachsen (3 Freiheitsgrade) zur Positionierung sowie bis zu drei weiteren Freiheitsgraden (Handachsen) zur Orientierung der Werkstücke zusammen.
In Bild 3 sind die vier grundsätzlichen Gerätekonfigurationen aufgezeigt.

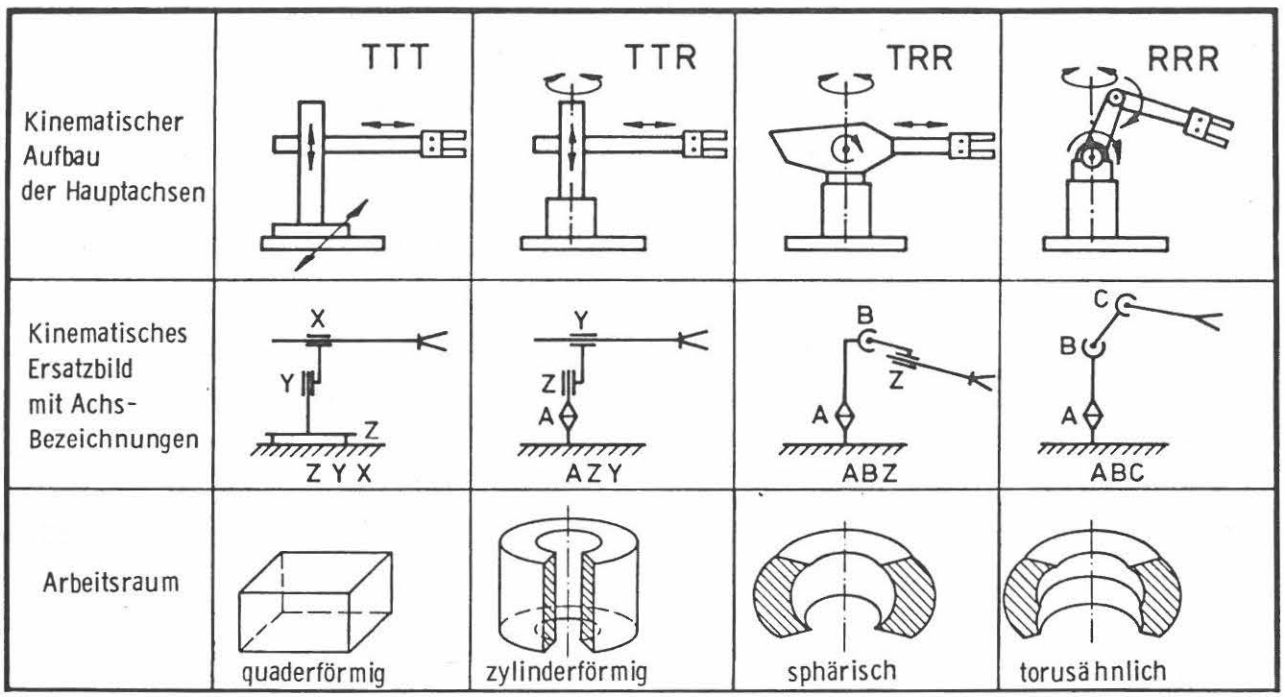


Bild 3: Kinematischer Aufbau von Industrierobotern

2.3.2 Antriebe

Die Aufgabe des Antriebsystems besteht in der Zuführung der Stellenergie zu den einzelnen Bewegungsachsen. Prinzipiell stehen dazu drei Antriebssysteme zur Auswahl:

1. pneumatische Systeme,
2. hydraulische Systeme,
3. elektrische Systeme.

Neben diesen drei Antriebsarten sind je Anwendungsfall Mischkonfigurationen wie z.B. pneumatisch-hydraulische Antriebe möglich.

Pneumatische Antriebssysteme zeichnen sich durch geringe Kosten, einfachen Aufbau und schnelle Reaktionszeiten aus. Die Stellenergie wird in Form komprimierter Luft über Pneumatikzylinder direkt (keine Getriebe) in Armbewegungen umgesetzt. Wegen der kompressiblen Luft in den Zylindern ist die Einstellung von genauen Positionen sowie variable Armgeschwindigkeiten aufwendig und problematisch. Pneumatische Antriebe sind daher besonders für Punkt-zu-Punkt-Steuerungen mit festen Start- und Zielpunkten (von Anschlag zu Anschlag) geeignet.

Hydraulische Antriebssysteme sind aufwendiger als pneumatische Systeme. Neben steuerbaren Öldruckpumpen sind zur Erzeugung definierter Ölströme Ventile mit variablen Zwischenstellungen notwendig. Entsprechend der Ölviskosität sind die Reaktionszeiten von hydraulischen Antrieben langsamer. Bei hohen Öldrücken und günstigen Leistungskonfigurationen werden große Kräfte und Momente erzielt. Stufenlose Geschwindigkeitsregelungen bezüglich der einzelnen Bewegungsachsen sowie beliebige Zwischenpositionen sind möglich.

Elektrische Antriebssysteme werden durch eine Vielfalt von Elektromotoren repräsentiert. Die bekanntesten Motorentypen sind:

a) Gleichstrommotoren,
b) Schrittmotoren.

Gleichstrommotoren zeichnen sich durch kurze Reaktionszeit, das bedeutet schnelles Anlaufen und Bremsen, aus. Ihre Drehzahl ist kontinuierlich steuerbar und weist einen runden Lauf auf. Entsprechend ihres Aufbaus werden Stabankermotoren, Korbläufermotoren und Scheibenläufermotoren unterschieden. Die Forderungen nach kleinen Baumaßen, geringem Gewicht, großem Regelbereich bezüglich Drehzahl und Drehmoment sowie kurzer Reaktionszeit werden von Scheibenläufermotoren gegenwärtig am ehesten erfüllt. Durch die Zwischenschaltung von Präzisionsgetrieben, d.h.

Getrieben mit hohem Wirkungsgrad und Spielfreiheit, können Gleichstrommotoren auch bei geringen Drehzahlen mit großem Drehmoment verwendet werden /3/. Eine mögliche Getriebeart ist hierbei das Harmonic-Drive-Getriebe. Dieser Antrieb ist einem Planetenantrieb sehr ähnlich. Es ist ein formschlüssiges Getriebe mit Übersetzungsverhältnissen von i = 40 bis i = 360 in einer Stufe (Bild 4) .

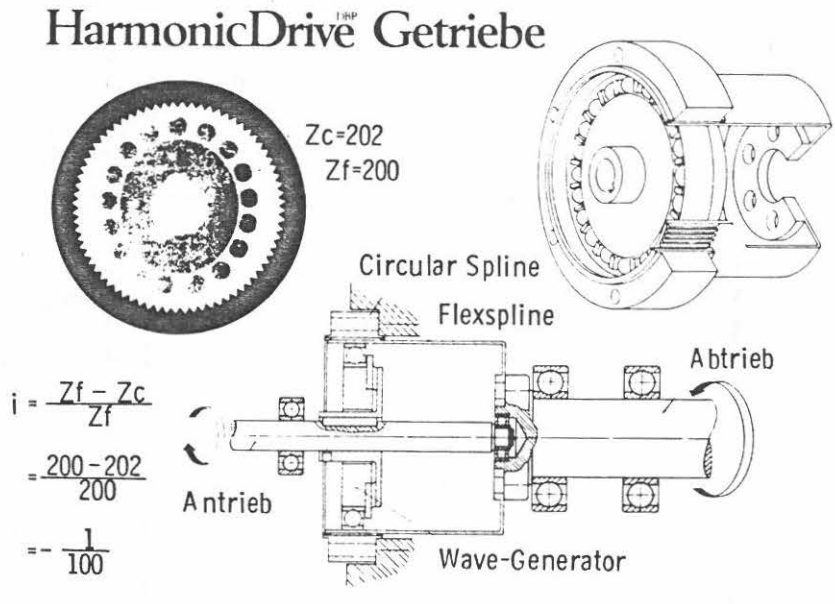


Bild 4: Harmonic-Drive-Getriebe

Die schnellaufende Welle des Servomotors ist mit dem elliptisch ausgebildeten, sogenannten Wave-Generator mit außenliegenden Kugellagern verbunden. Dieser dreht sich in einem außenverzahnten, elastischen Zylinder mit eingebautem Boden (Flexspline); hierdurch paßt er sich in seiner Form der jeweiligen Stellung des elliptischen Wave-Generators an. Der außenverzahnte Flexspline wiederum steht über die große Ellipsenachse mit einem feststehenden, innenverzahnten Zahnradring (Circularspline) dauernd an zwei Stellen im Eingriff. Bei Drehung des Wave-

Generators ergibt sich aufgrund der unterschiedlichen Zähnezahlen zwischen Flexspline und Circularspline am Antrieb des HD-Getriebes (Flexpline) eine Drehbewegung.

In Bild 5 sind die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Antriebsarten nochmals im Vergleich aufgezeigt.

Antrieb	Vorteile	Nachteile
elektrisch	einfache Bauteile einfache Signal-übertragung gute Regelbarkeit einfache Energie-übertragung keine Umweltbelastung	Momente und Kräfte zur Übertragung klein kostspieliger Explosionsschutz schlechtes Notaus-verhalten Getriebe erforderlich
pneumatisch	einfacher Explosionsschutz geringe Kosten geringes Gewicht	Luft inkompressibel sehr schlechte Regelbarkeit lärmerzeugend Energieträger muß erzeugt werden
hydraulisch	große Momente und Kräfte geringe Kosten gute Regelbarkeit	hohe Umweltbelastung Wärmeentwicklung zusätzlicher Energieträger

Bild 5: Vor- und Nachteile unterschiedlicher Antriebe bei Industrierobotern

2.3.3 Steuerung

Grundsätzlich unterscheidet man bei Industrierobotern zwei Steuerungsarten:

- PTP (point-to-point) Steuerung
- CP (continous-path) Steuerung

Für einfache Aufgaben, bei welchen Einlegegeräte zum Einsatz kommen, werden Folgesteuerungen verwendet.

2.3.3.1 Folgesteuerung

Für einfache Fälle von Werkzeugmaschinenbeschickung und Umsetzen von Werkstücken genügt eine Folgesteuerung. Die Folgesteuerung hat keine Regelung. Der nächste Programmschritt erfolgt erst, wenn der vorangegangene als abgeschlossen gemeldet wird. Es erfolgt ein rein qualitatives Signal über den Abschluß eines Vorganges, ohne Aussage darüber, wie dieser Abschluß abgelaufen ist.

Die Lösungen solcher Folgesteuerung sind durch Anfahren mechanischer (Nocken) oder elektrischer (Potentiometer) Anschläge realisierbar.

2.3.3.2 Punktsteuerung (PTP)

Punktsteuerungen können in allen Fällen eingesetzt werden, in denen nur einzelne Punkte innerhalb des Arbeitsraumes angefahren werden müssen, also z.B. für Handhabungsaufgaben, wie die Bedienung von Spritz- oder Druckgießmaschinen, Werkzeugmaschinen oder auch das Handhaben von Punktschweißzangen. Während der Bewegung fährt jede Achse für sich die programmierten Sollkoordinaten an; es besteht kein Funktionszusammenhang zwischen den einzelnen Achsen.

Die Bewegungsbahn des Greifers ist nicht definiert und vor allem bei Geräten mit nicht kartesischem Koordinatensystem für den Programmierer schwer vorhersehbar.
Sie hängt außer von Anfangs- und Endpunkt auch von der programmierten Geschwindigkeit und der Belastung ab. Falls auf dem Weg vom Anfangs- zum Endpunkt bestimmte Hindernisse umfahren werden sollen, müssen Zwischenpunkte programmiert werden. In manchen Steuerungen könne solche Punkte im Programm besonders als Hilfspunkte gekennzeichnet werden. Die Bewegung wird dann an diesen Punkten nicht unterbrochen.

2.3.3.3 Multi-Point-Steuerung

Multi-point-Steuerungen (MP) sind PTP-ähnliche Steuerungen, die über große Speicherkapazität verfügen. Diese Steuerungsart findet vorwiegend beim Beschichten Anwendung.

2.3.3.4 Bahnsteuerung (CP)

Ist zwischen den Raumpunkten eine definierte Bahn gefordert, so müssen Interpolationsverfahren angewandt werden. Die einfachste Interpolation besteht darin, zwei benachbarte Raumpunkte durch Geraden zu verbinden.

2.3.3.4.1 Linearinterpolation

Bei der Linearinterpolation werden in der Programmierphase die gewünschten Raumpunkte sowie die Zeitintervalle bzw. Geschwindigkeiten zwischen den Punkten eingegeben und abgespeichert. Die Eingabe erfolgt über die Roboter-Weltkoordinatentransformation (Rechtwinkliges Koordinatensystem), da das Interpolationsverfahren, angewandt auf Roboterkoordinaten mit steigender Achszahl sehr komplex wird. Je nach Steuerungssoftware werden die Bahnpunkte im Automatikbetrieb ausgelesen und in dem Interpolator durch eine Gerade verbunden oder aber während der Programmierphase werden die Geradenzwischenpunkte berechnet und abgespeichert.

Die Zwischenpunkte auf der Geraden werden danach zu diskreten Zeitpunkten $t_i + \Delta T$ über die Koordinatentransformation an die Servoregler des Industrieroboters ausgegeben (Bild 6).

Die Zeit ΔT ist dabei so klein wie möglich zu wählen, damit die Bahn möglichst glatt wird. Zur weiteren Glättung der Bahnbewegung kann nach der Koordinatentransformation auf die Industrieroboterkoordinaten ein zweiter Interpolator angewandt werden, der die Gelenkwinkelübergänge an die Bahnsegmente anpaßt.

Diese Art der Bahnsteuerungen kommt vor allem bei langsamen Bewegungen zum Einsatz, wo eine hohe Bahngenauigkeit wie z.B. beim Lichtbogenschweißen erforderlich ist.

Bei schnellen Bewegungen ist der prinzipielle Ablauf derselbe, jedoch wird an Eckpunkten das Übergangsverhalten von einem Bahnsegment zum nächsten durch Überschleifwerte verändert. Dies ist aber nur dann möglich, wenn die Raumkurve die Eckpunkte nicht unbedingt einhalten muß.

2.3.3.4.2 Bahnbeschreibung über Polynome

Im Fall differenzierter Bewegungsabläufe über definierte Raumpunkte mit definierten Geschwindigkeiten sowie Beschleunigungen ist es notwendig, die Bahnen als Zeitfunktionen r(t) vorzugeben. Aus diesen Zeitfunktionen kann durch zeitliche Ableitung die korrespondierende Geschwindigkeit r(t) sowie die Beschleunigung r(t) berechnet werden. Durch Optimierung dieser Funktion nach Kriterien wie Zeit-, Weg- oder Verbrauchsoptimalität der Stellglieder können zusätzlich die Eigenschaften des Roboters verbessert werden /3/.

Zur Vermeidung hoher Polynomgrade reduziert man die Interpolation auf jeweils zwei benachbarte Bahnpunkte und interpoliert so sukzessive die gesamte Trajektorie (Bild 7).

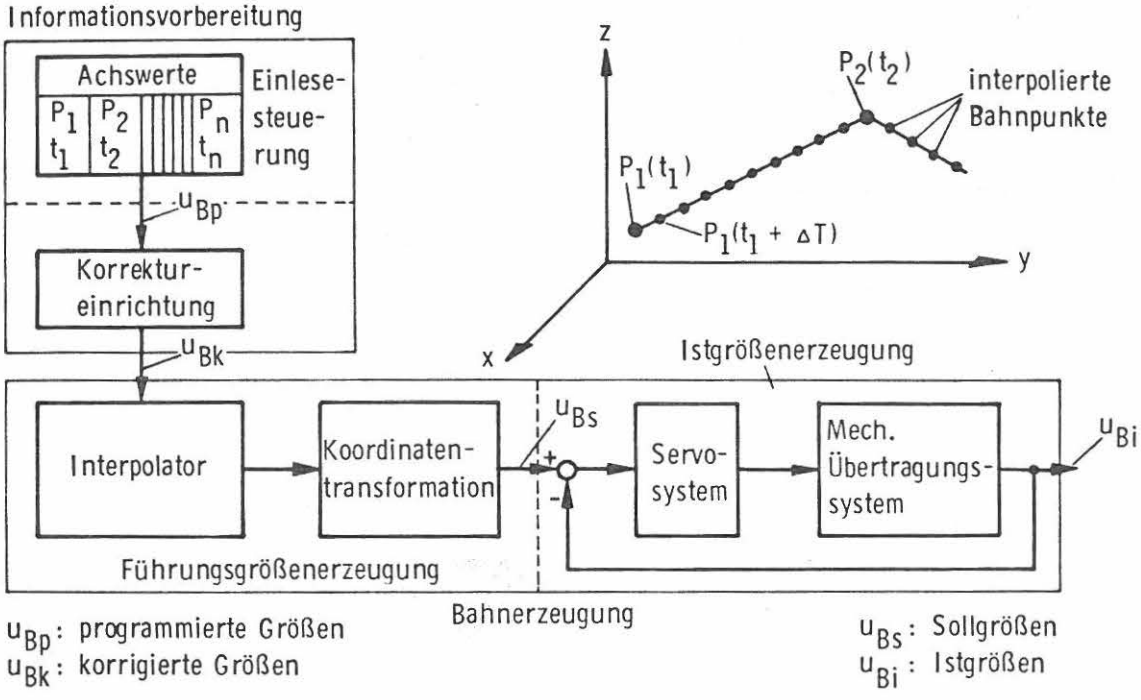


Bild 6: Prinzip der Linearinterpolation

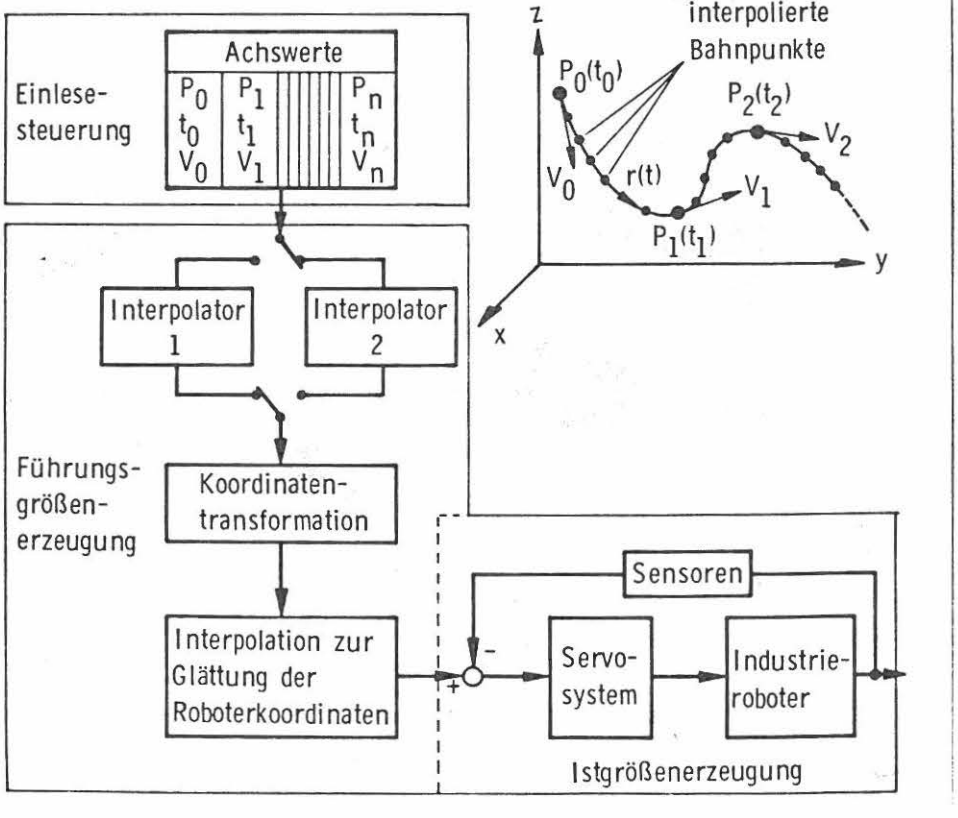


Bild 7: Interpolation der Trajektorie von Industrierobotern zwischen benachbarten Raumpunkten

2.3.4 Programmierung

Die Steuerung muß eine wirtschaftliche Programmierung entsprechend den Anwendungsforderungen und unter Beachtung von Besonderheiten der Handhabung gewährleisten. Dazu zählen die übersichtliche, möglichst wenig aufwendige Programmerstellung und nach Erfordernis eine leichte Korrigierbarkeit und Optimierung des Handhabungsprogramms /4/.

Vorzugsweise sind solche Programmiermethoden anzuwenden, die eine Programmierung unmittelbar am Einsatzort des Industrieroboters ermöglichen und möglichst ohne besondere Programmierhilfsmittel auskommen. An die Programmierung von Handhabeeinrichtungen können aber insgesamt wesentlich vielfältigere Anforderungen gestellt werden als z.B. an die Programmierung von Werkzeugmaschinen. Als eine Folge davon werden neben der Programmierung am Einsatzort auch beschreibende Verfahren angewendet. Bei letzteren wird das Handhabungsprogramm außerhalb des Industrieroboters (extern) auf einem Programmträger oder einem Programmformular erstellt und in die Steuerung eingegeben.

Bei Industrierobotern unterscheidet man folgende Programmierarten:

- manuelle Programmerstellung mit Hilfe von Lochstreifen, Kreuzschienenverteiler oder Diodenmatrix.
- Programmieren durch Anfahren von Punkten und Abspeichern der Koordinaten und Zusatzfunktionen.
- Abfahren der Bahn und automatisches Abspeichern der Daten.
- Programmerstellung mittels Programmiersprachen.

2.3.4.1 Manuelle Programmerstellung

Bei der manuellen Dateneingabe muß jede Informationseinheit in einem Programmschritt und die Summe dieser Programmschritte, die schließlich das Programm ausmachen, von Hand in den Datenträger eingegeben werden. Diese Programmierung ist nur dann sinnvoll, wenn lediglich eine begrenzte Anzahl von Daten gehandhabt werden muß. Das trifft für einfache Geräte mit Folgesteuerung zu, die Maschinenbeschickung und Verkettungen ausführen.

Datenträger sind hierbei

- Nockentrommel
- Steckerfeld
- Diodenmatrix usw.

2.3.4.2 Anfahren und Speichern

In der Terminologie der Industrieroboterhersteller findet man für dieses Programmierverfahren die unterschiedlichsten Bezeichnungen. Beim "Anfahren" und "Speichern" werden über ein Programmierhandgerät durch Betätigen entsprechender Tasten die einzelnen Achsen des Industrieroboters mit reduzierter Geschwindigkeit so lange verfahren, bis die gewünschte Raumposition mit dem Greifer, Werkstück oder Werkzeug erreicht ist (Bild 8). Durch Betätigen der Programmiertaste werden die Daten der Wegmeßsysteme sowie die Zusatzfunktionen wie z.B.

- Geschwindigkeitssollwert
- Greiferfunktionen
- Verkettungssignale
-
-
-

in die Steuerung übernommen und im Speicher unter festgelegten Adressen als Programmsätze abgelegt.

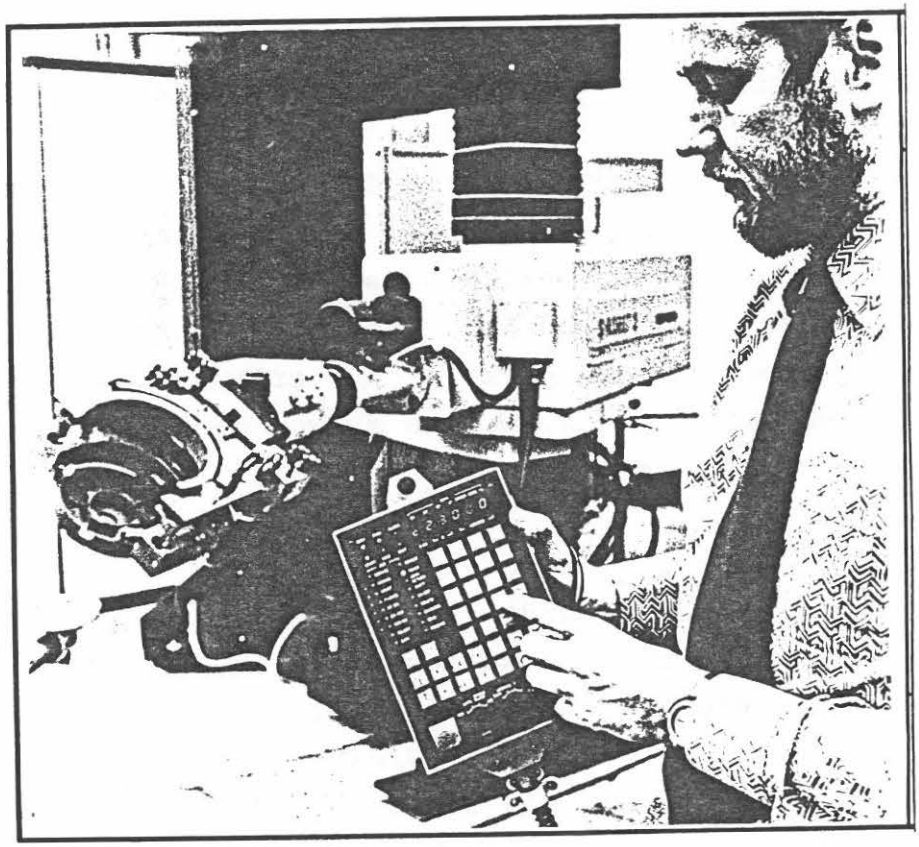


Bild 8: Programmierhandgerät (Werksbild Siemens)

2.3.4.3 Abfahren und Speichern

Speziell beim Beschichten wird das Programmierverfahren "Abfahren und Speichern" - in engl. Literatur als Play-back-Verfahren bezeichnet - verwendet. Bei diesem Verfahren wird während der Programmierphase das Gerät auf der gewünschten Bahn geführt und dabei gleichzeitig das Werkstück beschichtet.
Damit wird die Genauigkeit des Beschichtungsvorganges und damit die Beschichtungsqualität im wesentlichen dem Vermögen des Programmierers überlassen.

Von großem Nachteil bei diesem Programmierverfahren ist, daß

- das Programm in einzelnen Programmabschnitten nicht, oder nur bedingt korrigierbar ist, und
- das Bewegen des oft schwergängigen Industrieroboters für den Programmierer schwierig und kräfteraubend ist.

Aus diesen Gründen wurden Systeme entwickelt, welche

a) die Möglichkeit haben, das Industrieroboter-Gestell zu bewegen (Bild 9)
   Hier bewegt der Programmierer den Industrieroboterarm direkt, welcher zu diesem Zweck in den Hydraulikantrieben drucklos gemacht wird. Trotz Gewichtsausgleich am Arm, drucklosem Hydraulikkreislauf und Abhängen von Linearzylindern ist diese Programmierung kompliziert und erlaubt dem Lackierer nicht die flüssige Bewegung, welche er vom manuellen Führen der Lackierpistole gewöhnt ist.

b) ein Zusatzgestell verwenden (Bild 10)
   Bei dieser Methode wurde zur Erleichterung der Führung ein den geometrischen Abmessungen gleiches, jedoch in der Bauweise sehr viel leichteres Gestell entwickelt. Dieses Gestell ist mit Weg- und Geschwindigkeitsmeßsystemen ausgestattet und kann auf den eigentlichen Industrieroboter nachjustiert werden, so daß sich zwischen Programmieren und Automatikbetrieb keine Abweichung ergibt.

c) oder eine Kombination beider Verfahren haben.

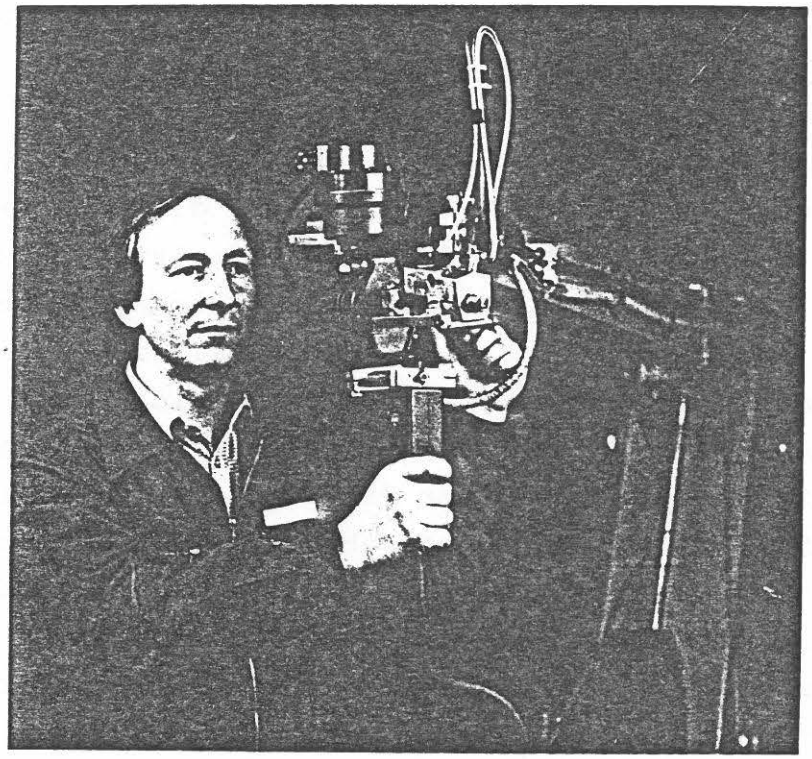


Bild 9: Programmieren durch Führen des Gerätes
(Werkbild Trallfa)

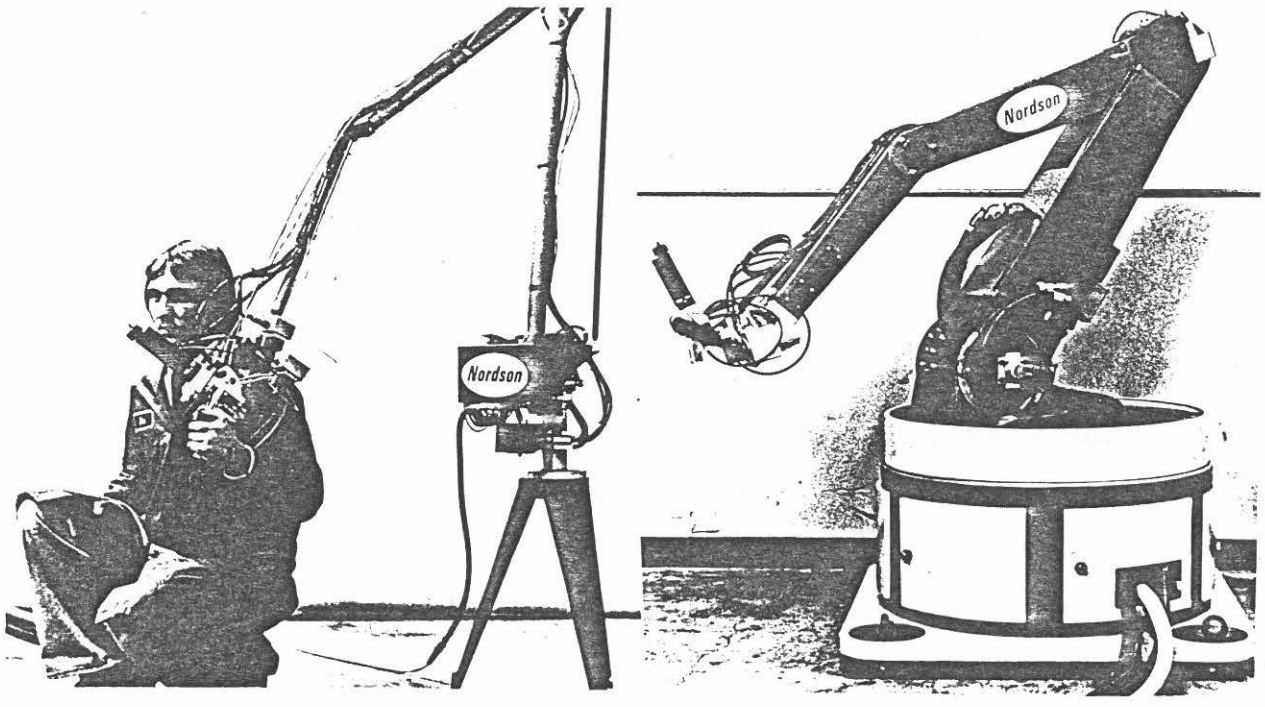


Bild 10: Programmieren durch Führen eines Hilfsgestells
(Werkbild Nordson)

2.3.4.4 Programmerstellung mittels Programmiersprachen (textuelle Programmierung)

Unter textueller Programmierung versteht man die symbolische Beschreibung von Operationen und Daten, die in Form von Zeichenfolgen eingegeben werden /5/. Diese Definition deckt ein weites Feld ab, das von der maschinennahen Kodierung bis zu höheren Programmiersprachen reicht. In jedem Fall gibt der Programmierer einen Text ein, der von einem Programm gelesen und dekodiert werden muß. Dies kann ohne den Roboter erfolgen, was dann jedoch zu dem Problem führt, wie der Programmierer die Position und Orientierung für die Bewegungsbahn beschreibt. Eine prinzipielle Lösung stellte die textuelle Koordinatenangabe (meist kartesische oder Zylinderkoordinaten sowie Rotationsangaben um Bewegungsachsen) dar. Für das Ermitteln dieser exakten Koordinatenwerte müßte der Programmierer jedoch zuvor die Position und Orientierung ausmessen, wie dies bei der NC-Programmierung üblich ist, da man sich auf die von der Konstruktion her bekannten Daten der Werkstücke beschränken kann.

Die textuelle Programmierung unterscheidet sich durch folgende prinzipiellen Unterschiede von den Programmierverfahren Anfahren, bzw. Abfahren und Speichern:

- Das Programm ist für den Programmierer und andere Anwender lesbar, d.h. mitteilbar.
- Der Programmtext kann in lesbarer Form gespeichert werden (Dokumentation).
- Das Programm kann Variablen enthalten (d.h., die Daten sind beim Programmieren nur in ihrer Struktur, nicht ihrem Wert nach festgelegt).
- Das Programm ist beliebig änderbar, auch von anderen Programmierern (Korrekturen und Erweiterungen).
- Das Programm kann offline ohne Roboter erstellt und übersetzt werden.

Zu unterscheiden sind die folgenden für Industrieroboter relevanten Programmiersprachen (Bild 11).

Eine Übersicht über den Befehlsvorrat und die Eigenschaften dieser Sprachen zeigt Bild 12.

Inhalt \ Sprache	AL	AUTOPASS	ALFA	MAL	ML	PAL	RAPT	ROBEX	ROCOL	RPL	SIGLA	TEACH	TL	VAL	Sprache SRI (FORTRAN)	Sprache von Cincinnati	Sprache SRI (INDAL)	LAMA	DONAU	HELP	SERF	PLAW
Bewegungsbefehle	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●	●	●
- nur Positionsangabe	●	●		●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●		●	○	●		
- mit Funktionsangabe		●				●											●	○			
- mit Sensorangabe	●	●		●	○		○					○					●	○	●		
- mit Zeitangabe	●		●										●					○			
- mit Geschwindigkeitsangabe	●								●			●	●					○	●		
Greiferfunktionsbefehle	●	●	●	●	●	●		●	●				●	●			○	●	○	●		
- Greifen	●	●	●	●	●	●		●					●	●				●	○	●		
- Operationen ausführen	○	●	●			●												●	○	○		
Sensorbezogene Befehle	●	●	●	○	●					○	○		●	○				●	○	●		
Synchronfahren			●																○	○		
geometr. Werkstückbeschreibung		●					●	●										●	○	●		
geometr. Lagebeschreibung	●	●				●	●	●										●	○	●		
spezielle Datentypen	●	●					●	●				●						●	○	●		
Arithmetische Operationen	●	○	○	●	●	○		●	●			●		●	○			●	○	○	●		
- Grundoperationen: +, -, *, /	●	○		●	●			●				●		●	○			●	○	○	●		
- Relationen	●	○		●	●			●				●		●	○			○	○	○	●		
- höhere mathematische Funkt.	●	○		●								●			○				○	○	●		
Ablaufkontrolle	●	○	●	●	●	●		○	●	●	●		●	●	○	●	●	○	○	○	●		
- Sprünge		○	●	●	●			●	●	●	●		●	●	○	●	●	○	○	○	●		
- Verzweigungen	●	○	●	●	●	○		○	●	●	●		●	●	○		●	○	○	○	●		
- Schleifen	●	○		●	●	●				●				○			●	○	○	○	●		
Unterprogramme	●	○		●	●	●		●		●	●	●	●	●	○	●	●	○	○	○	●		
Prozeduren	●	○		○		○						●			○		●	○	○	○	●		
Multi-Tasking	●	○		●							●	●					●	○	○	○	●		

● in der Sprache enthalten, ○ nur bedingt vorhanden oder nur vermutet

Bild 11: Programmiersprache für Industrieroboter

Sprache	Erläuterung	Entwickler	Sprache	Erläuterung	Entwickler
AL	Assembly Language	Standford University	TEACH		Jet Propulsion Laboratory
AUTOPASS	AUTOmated Parts ASsembly System	IBM	TL	Toyota Language	Toyota
ALFA	A Language For Automation	General Telephone and Electronics	VAL	Variable Assembly Language	Unimation
MAL	Multipurpose Assembly Language	Universität Mailand	Sprache SRI (FORTRAN)		Stanford Research Institut
ML	Manipulator Language	IBM	Sprache von Cincinnati		Cincinnati Milacron, Inc.
PAL	Purdue Assembly Language	Purdue University	Sprache SRI (INDA)		SRI
RAPT	Robot Automatically Programmed Tools	University of Edingburgh	LAMA	Language for Automatic Mechanical Assembly	Massachusetts Instit. for Technology
ROBEX	ROBoter EXapt	TH Aachen	DONAU	Domain Oriented NAtural Language Understanding	Universität Mailand
ROCOL	RObots COntrol Language	Universität Leningrad	HELP		DEA Turin/Italien
RPL	Robot Programming Language	TU Berlin	SERF	Sankyo Seiki Robotic Formula	Sankyo Seiki Japan
SIGLA	SIGma LAnguage	Olivetti	PLAW	Programmable LAnguage for Welding	Komatsu Japan

Bild 12: Kennzeichnung von Programmiersprachen

3 Stand der Industrieroboter-Technik

3.1 Einsatzzahlen

Waren 1974 in der Bundesrepublik Deutschland erst etwa 130 Industrieroboter eingesetzt, wobei wohl ein Großteil der Geräte mehr die Ingenieure der Entwicklungsabteilungen beschäftigte als produzierte, so ist die Zahl der Anwendungen bis Ende 1982 auf 3.500 gestiegen. Im internationalen Vergleich sind diese Zahlen noch bescheiden, gibt es doch z.B. allein in Schweden über 800 Einsatzfälle, und in den Vereinigten Staaten wird mit Steigerungsraten von ca. 150 Einheiten im Monat gerechnet (Bild 13).

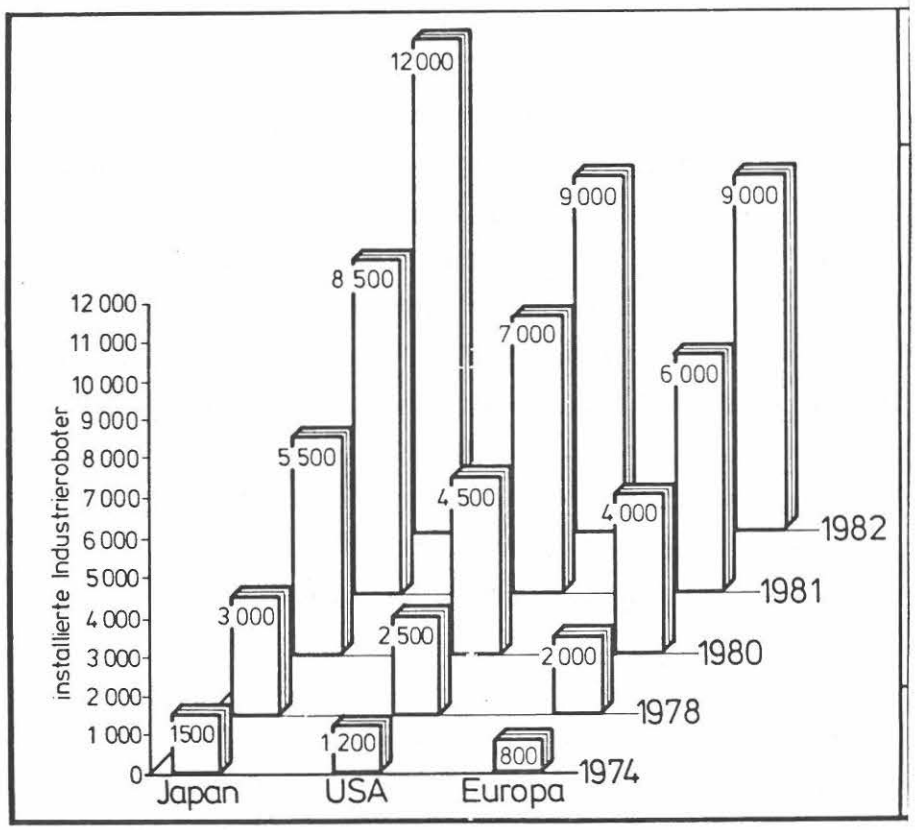


Bild 13: Internationale Verteilung der Industrieroboter-Einsätze

Das Robot Institut of Amerika (RIA) schätzt das Marktvolumen für Industrieroboter in den USA auf 50 bis 100 Millionen Dollar im Jahr und auf 100 Millionen in Japan und Europa. Bis 1990 soll das Umsatzvolumen allein in den Vereinigten Staaten 3 Milliarden Dollar erreichen !!

Hauptabnehmer für Industrieroboter in der Bundesrepublik ist - ähnlich wie in Schweden, Japan und den USA - die Automobilindustrie. Zur Zeit ist gut jeder vierte Industrieroboter in der Bundesrepublik Deutschland in dieser Branche zu finden - und die Tendenz ist steigend. Ein Vergleich mit Japan zeigt, daß hier - bezogen auf gleiche Automobilproduktion - bereits die dreifache Anzahl Industrieroboter eingesetzt ist.

In Japan wurden noch 1976 Industrieroboter vor allem von Großunternehmen, wie Kawasaki Heavy Ind., Mitshubishi Heavy Ind. und Hitachi Ltd. an Arbeitsplätzen mit schlechten, zum Teil gesundheitsgefährdenden Arbeitsbedingungen installiert. Neuerdings setzen dort zunehmend auch kleinere Betriebe, die als Zulieferer für die Großkonzerne dienen, Industrieroboter ein.

In der Bundesrepublik haben in größerem Maßstab Industrieroboter auch in Unternehmen der Elektrotechnik Eingang gefunden und, was vielleicht überrascht, in Betrieben, die keramische Produkte herstellten. Dieses letzte Beispiel zeigt, daß es auch in der Bundesrepublik nicht unbedingt des Potentials eines Großunternehmens bedarf, sich mit dieser Automatisierungsmöglichkeit zu befassen. Zur Zeit steht etwa jeder neunte Industrieroboter in einem Betrieb mit weniger als 500 Beschäftigtem, wo er vorwiegend zum Beschichten sowie zur Handhabung an Pressen und Druckgiessmaschinen eingesetzt ist. Damit wären auch schon drei Arbeitsaufgaben genannt, die von Industrierobotern heute übernommen werden können.

Das Bild 14 zeigt Verteilung sowie den Zuwachs der Industrieroboter in der Bundesrepublik Deutschland aufgeteilt auf die einzelnen Einsatzgebiete. Analysiert man die Zahlen, so stellt man fest, daß ca. 50 % der Industrieroboter in Deutschland in der Automobilindustrie eingesetzt sind.

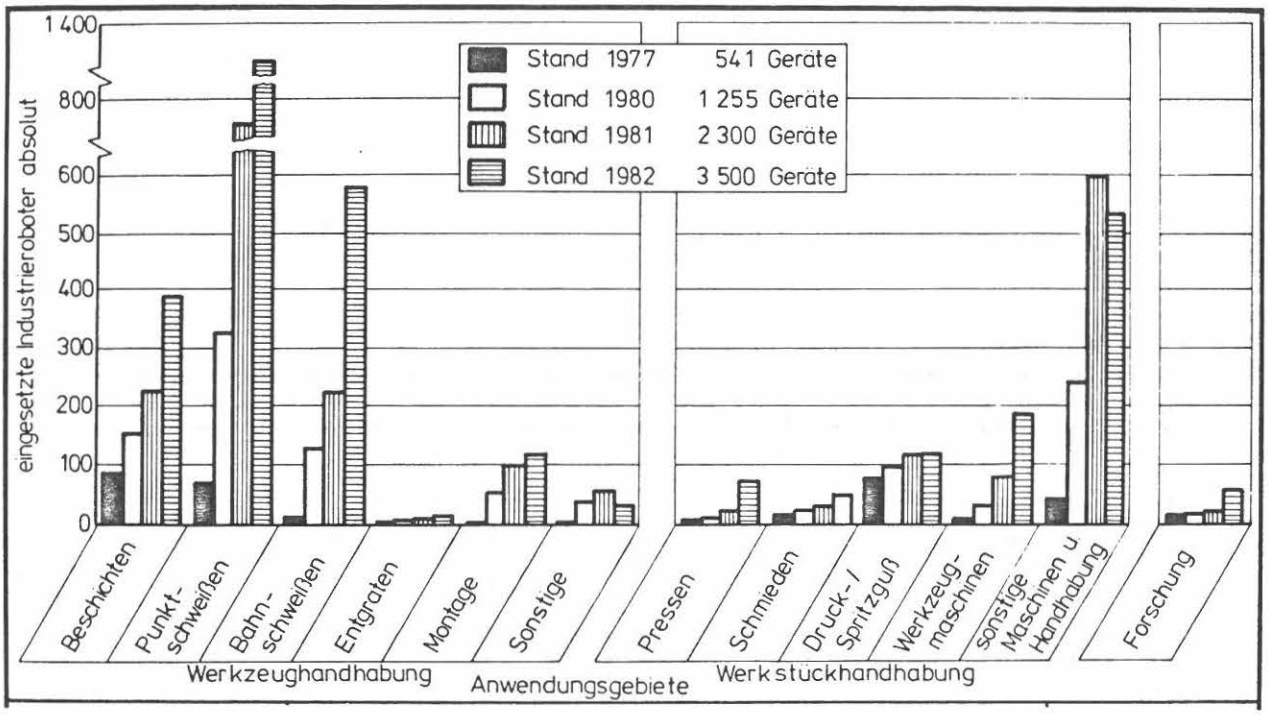


Bild 14: Industrieroboter in der Bundesrepublik Deutschland

3.2 Einsatzbeispiele

Beim Einsatz von Industrieroboter ist zu unterscheiden zwischen

- Werkzeughandhabung und
- Werkstückhandhabung.

Mischformen sind hierbei möglich, sind jedoch die Ausnahme.

	Punktsteuerung	Bahnsteuerung	
Handhaben von Werkstücken	- Be- und Entladen von Maschinen - Verkettung	- Entgraten - Polieren - Montage	- Handhaben von Werkstücken und Werkzeugen mit kombinierten Greifer/Werkzeug halter (z. B. Greifer und Schweißelektrode)
Handhaben von Werkzeugen	- Punktschweißen - Bohren	- Lackieren - Entgraten - Bahnschweißen - Montage (z. B. Handhabung eines Schraubers)	

Bild 15: Anwendungsgebiete von Industrierobotern

3.2.1 Werkzeughandhabung

Nachfolgend sollen einige repräsentative Einsatzfälle beschrieben werden.
Typische Beispiele zur Werkzeughandhabung stellen Einsatzfälle des Beschichtens und Schweißens dar.

3.2.1.1 Industrieroboter zum Beschichten

3.2.1.1.1 Layout eines Lackierarbeitsplatzes

Bild 16 zeigt das prinzipielle Layout eines Lackierarbeitsplatzes mit einem Industrieroboter. Deutlich ist hierbei, im Gegensatz zu anderen Industrieroboter-Einsätzen, der relativ geringe Aufwand an Peripherie zu erkennen. Meist können vorhandene Transportanlagen weiterverwendet werden.

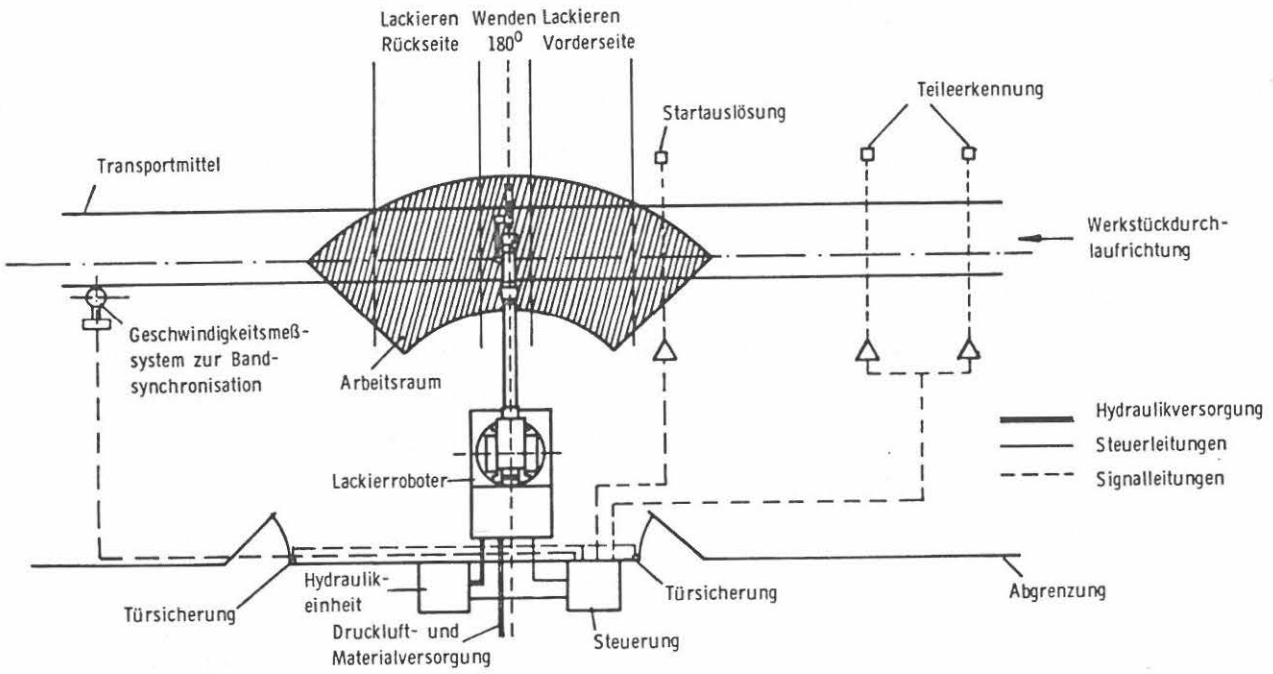


Bild 16: Layout eines Lackierarbeitsplatzes mit Industrieroboter /6/

Diese müssen, falls sie mit Wendestationen ausgerüstet sind, auf automatisch arbeitende Stationen umgerüstet werden.

Falls das Werkstück mit einem kontinuierlich arbeitenden Transportband am Industrieroboter vorbei geführt wird, muß gewährleistet sein, daß

- das Werkstück an der Aufhängung nicht pendelt,
- die Werkstückaufspannung so aufgebaut ist, daß eine gleichmäßige Werkstückpositionierung erreicht werden kann,
- die Fördereinrichtung so angelegt ist, daß der Transport ruckfrei und gleichmäßig ist.

Zusatzeinrichtungen wie Farbwechselsysteme oder Roboterverfahreinheiten müssen entsprechend dem Bedarfsfall ausgelegt sein.

Für einen automatischen Ablauf muß die Anlage mit folgenden Zusatzeinrichtungen ausgestattet sein:

1) Werkstückerkennungseinheit
   Bei der Werkstückerkennungseinheit werden oftmals Mehrfachlichtschranken verwendet, welche die Kontur oder Durchbrüche am Werkstück ausnutzen. Über eine schaltungstechnische Verknüpfung untereinander können somit je nach Anzahl der Lichtschranken mehrere unterschiedliche Werkstücke erkannt werden. Durch diese Erkennungssignale können aus dem Programmvorrat, der in der Steuerung bzw. auf externen Speichermedien (Band, Platte) abgelegt ist, die benötigten Programme aufgerufen werden. Eine manuelle Programmvorwahl ist somit überflüssig. Zu beachten ist hierbei jedoch, daß die Werkstücke definierte Unterscheidungsmerkmale aufweisen.

2) Starteinrichtung
   Die Starteinrichtung kann als einfacher Schalter am Transportsystem oder als Lichtschranke ausgeführt sein. Sie wird durch einen Kontakt an der Aufnahme (Haken, Schleppkette, Palette) oder bei Lichtschranken durch das Werkstück selbst ausgelöst. Die Starteinrichtung wird am Beginn des Industrieroboter-Arbeitsbereiches angebracht, so daß sich der eigentliche Startpunkt des Beschichtungsvorganges durch die Fortbewegung des Transportmittels in den Arbeitsbereich des Industrieroboters schiebt.

3) Wendeeinrichtung

Bei Werkstücken, bei welchen Vor- und Rückseite beschichtet werden müssen, sind automatisch arbeitende Wendeeinheiten vorzusehen. Diese sind bei Hängetransport meist als Mehrfachstern ausgebildet (Bild 17). Durch diese Maßnahme ist gewährleistet, daß das Teil ohne manuellen Eingriff von allen Seiten lackiert werden kann. Es ist jedoch darauf zu achten, daß bei großen Werkstücken, d.h. Werkstücken mit relativ langem Beschichtungsaufwand die Bandgeschwindigkeit so gesteuert wird, daß der Wendevorgang sowie die zweiseitige Beschichtung im Arbeitsraum des Industrieroboters durchgeführt werden kann. Ist dies nicht möglich, so müssen zwei nacheinander arbeitende Industrieroboter vorgesehen werden, zwischen welchen sich die Wendestation befindet.

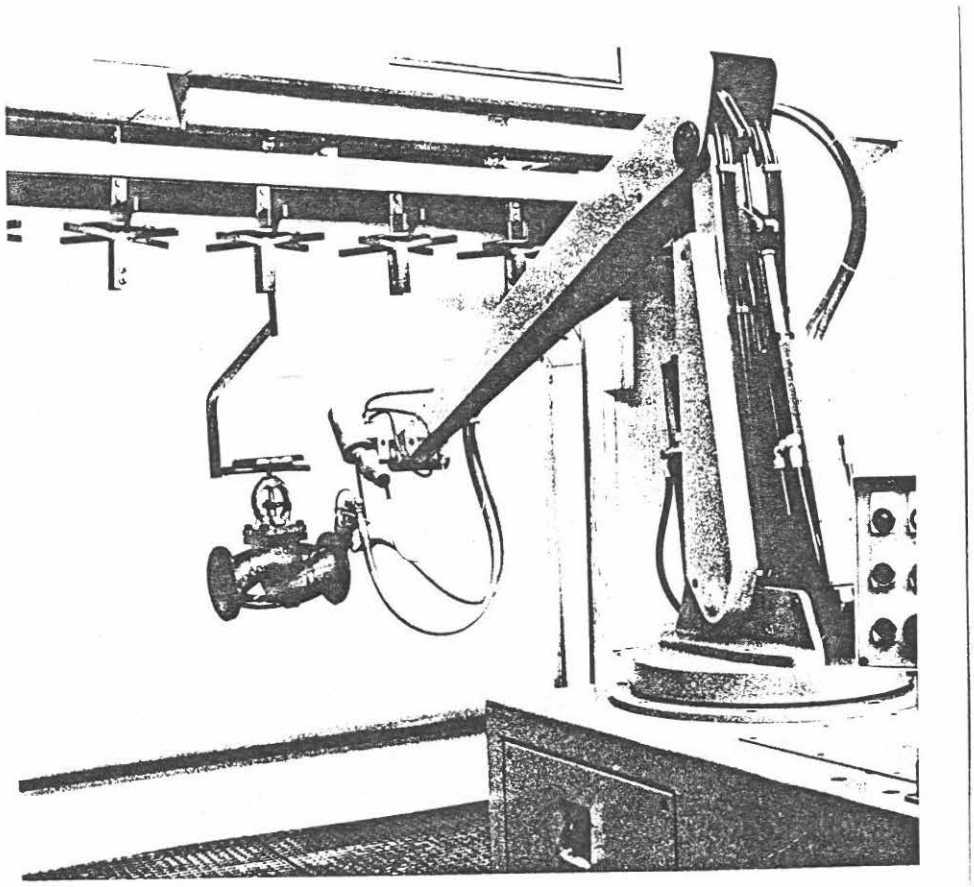


Bild 17: Lackieren von Armaturen (Werkbild Trallfa)

4) Synchronisation
Da die Bandgeschwindigkeit von Transportsystemen Schwankungen unterliegen ist es notwendig, den Industrieroboterablauf der Bandgeschwindigkeit anzugleichen. Für diesen Zweck wird am Transportsystem ein Geschwindigkeitsmeßsystem angebracht. Das Geschwindigkeitssignal wird dem Bewegungsablauf des Industrieroboters überlagert, wodurch sich auch bei Geschwindigkeitsschwankungen des Transportmittels eine vom Industrieroboter konstant empfundene Geschwindigkeit ergibt.

5) Türschalter
Zur Sicherung des Personals müssen die Türen der Lackierkabine mit Türschaltern versehen werden. Dadurch ist gewährleistet, daß beim unbeabsichtigten Betreten der Kabine der Industrieroboter stillsteht und somit das Personal geschützt wird.

3.2.1.1.2 Glasieren von Waschbecken

a. Problemstellung

Schwer zu handhabende Werkstücke müssen von verschiedenen Seiten glasiert werden. Die Glasur muß hierbei sehr gleichmäßig aufgetragen werden. Auf derselben Anlage sollen ohne größeren Umrüstaufwand Werkstücke verschiedener Form und Größe glasiert werden.

b. Problemlösung

Der Aufbau der Anlage ist in Bild 18 aufgezeigt. Bild 19 zeigt einen möglichen Industrieroboter, welcher hierbei zur Anwendung kommen kann. Die Programmierung der entsprechenden Teile erfolgt jedesmal dann, wenn diese das erste mal über die neue Anlage laufen. Die Programme werden gekennzeichnet und auf externen Speichern abgelegt.
Um einen möglichst geringen Umrüstaufwand zu erreichen, werden die Werkstücke zu Teilefamilien gleicher Farbe zusammengestellt.

Die Programmauswahl erfolgt durch den Bedienungsmann, welcher die Anlage beschickt und entlädt. Der Start des Automatikbetriebes erfolgt durch einen mechanischen Schalter am Transportsystem. Beim Einfahren in den Arbeitsbereich wird das Werkstück von einem Hub-Drehtisch aufgenommen. Der Beschichtungsroboter beginnt seine Arbeit, wenn vom Hubtisch das Haltesignal kommt. Die elektrischen Signale zum Drehen des Tisches werden von der Steuerung des Industrieroboters übernommen. Nach Beendigung des Programmes wird durch ein Steuerungssignal der Hub-Drehtisch abgesenkt und das Werkstück aus dem Arbeitsbereich transportiert.

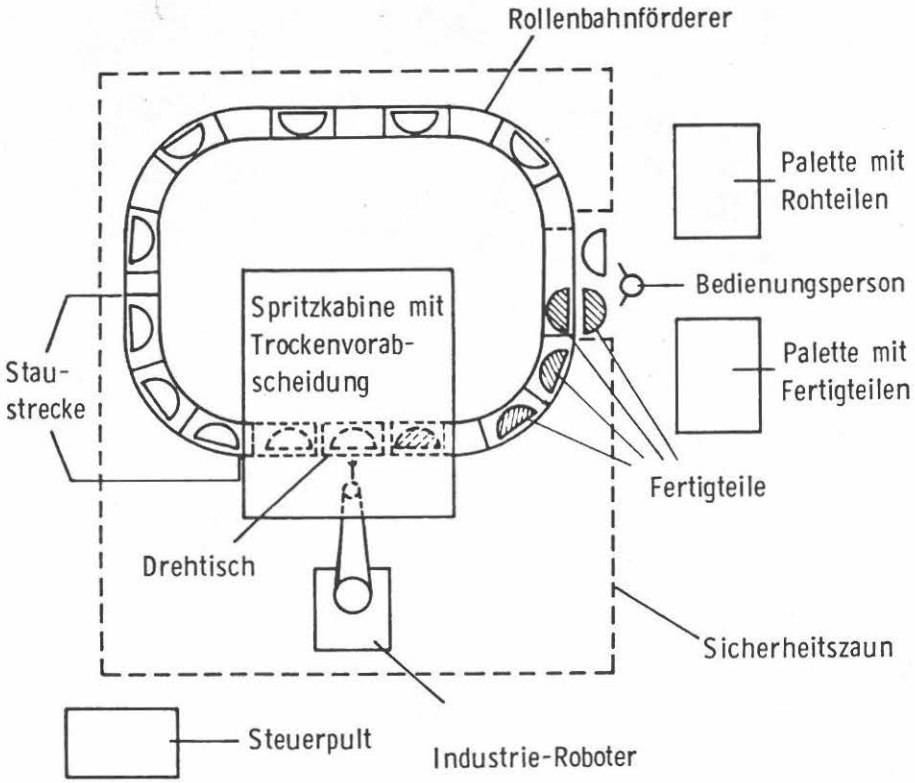


Bild 18: Glasieren von Waschbecken und Toilettentischen

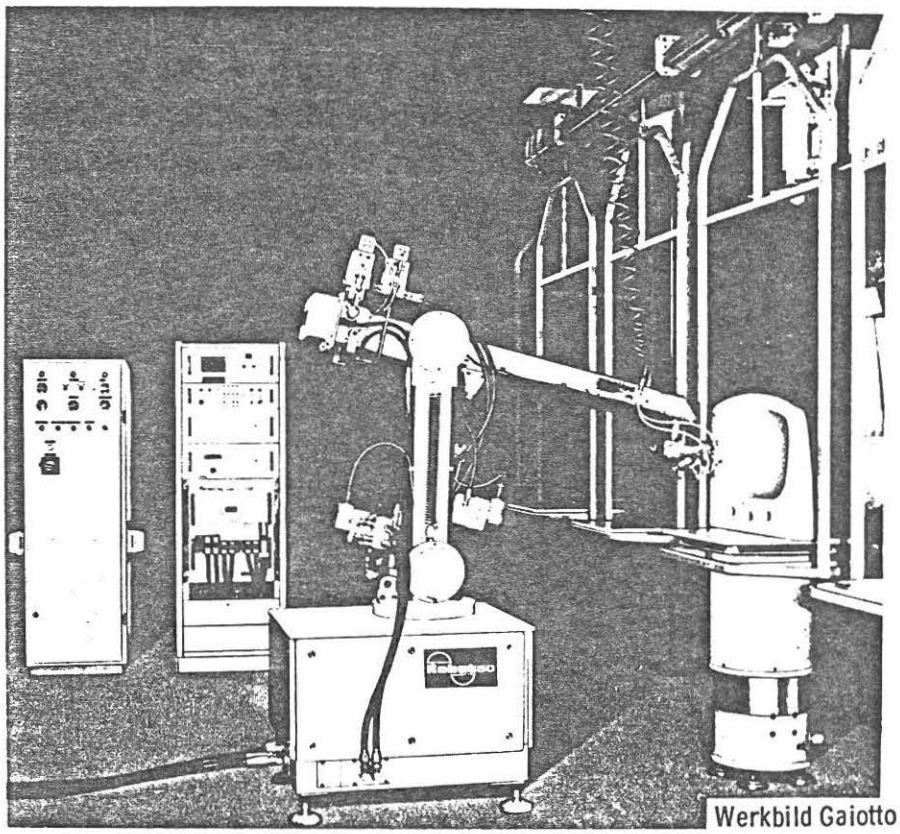


Bild 19: Beschichtung von Handwaschbecken mit Industrierobotern (Werkbild Gaiotto)

3.2.1.1.3 Unterbodenspritzen von Kfz-Karosserien

Beim Unterbodenspritzen werden Teile des Kraftfahrzeuges, die besonders bei Steinschlag und der Sandstrahlwirkung der von den Rädern abgeschleuderter Partikel ausgesetzt sind, sowie Teile, die schallgedämmt werden müssen mit einer meist im ausgehärteten Zustand elastischen Masse beschichtet. Hierbei werden hochwertige Plastisole (PVC) verwendet. Der Normalfall sieht so aus, daß auf eine in Normallage befindliche Karosse von untenher diese Beschichtung mit Airless-Spritzeinrichtungen aufgebracht wird.

Bild 20 zeigt einen Arbeitsplatz mit zwei seitlich angeordneten Industrierobotern.

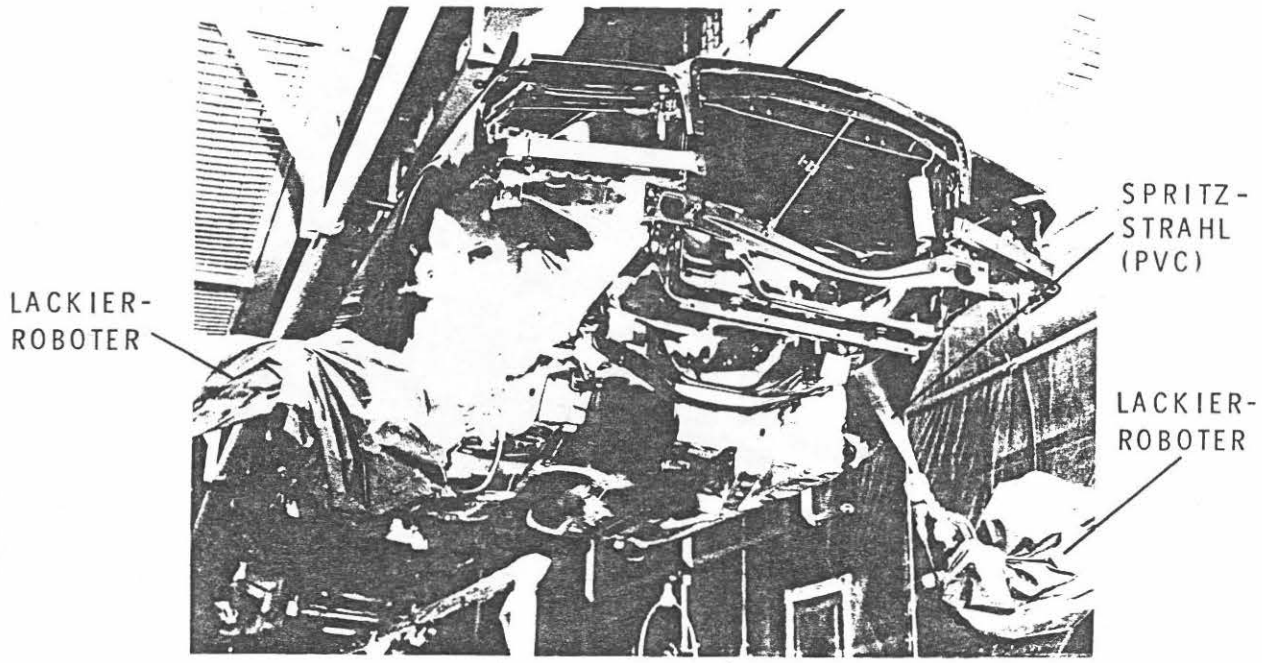


Bild 20: Unterbodenbeschichten an Kfz-Karosserien mit Industrierobotern (Werkbild Daimler-Benz)

Da die zu beschichtenden Teile meist bewegt sind (Förderband, Hängeförderer) muß der Industrieroboter in der Lage sein, dieser Bewegung kontinuierlich zu folgen.
Erhöhte Synchronfahrgenauigkeit kann durch ein externes Meßsystem am Förderer erreicht werden.

3.2.1.2 Industrieroboter zum Entgraten

Das Entgraten von Werkstücken zählt zu den Tätigkeiten, die am meisten Belastungsmerkmale für den Menschen aufweisen, wie z.B. große Gewichte, starker Lärm und Schmutz, Tragen von Schutzkleidung (Atemschutzmaske, Schutzbrille, Gehörschutz) (Bild 21). Der bis heute noch geringe Einsatz von Industrierobotern für diese Arbeiten liegt an den nicht exakt vorherbestimmbaren Einflußparametern während des Arbeitsprozesses, wie z.B. der uneinheitlichen Gratgeometrie. Der Durchbruch ist daher erst nach dem Vorhandensein geeigneter Sensoren zu erwarten.

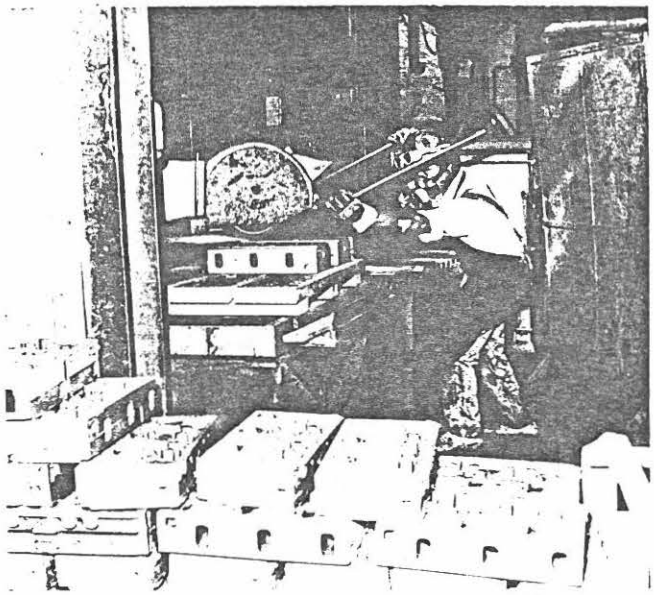


Bild 21: Manuelle Handhabung beim Entgraten von Gußteilen

Industrieroboter, die für diese Aufgaben geeignet sind, müssen in der Lage sein, ihre Bewegungsbahn aus Sensorsignalen zu errechnen und während der Bearbeitung ständig zu korrigieren. Da der Industrieroboter angetriebene Werkzeuge (Fräser, Schleifer) führen muß, sind die Handhabungsgewichte groß. Zusätzlich treten Kräfte durch die Bearbeitung auf, die eine große statische und dynamische Steifigkeit der Industrieroboter erfordern. Bedingt durch die Größe der Werkstücke sowie der komplexen abzufahrenden Bahn beim Entgraten wird bei den eingesetzten Industrierobotern ein großer Arbeitsraum und die entsprechende Anzahl von Freiheitsgraden (5 bis 6 Achsen) vorausgesetzt. Eine gute Beständigkeit gegen extreme Umwelteinflüsse ist eine weitere Voraussetzung. Bereits erfolgreich eingesetzt sind Industrieroboter dann, wenn geringe Grate vorhanden sind (kleine Teile, geringe Toleranzen). Hier kann der Industrieroboter ohne den Einsatz von Sensoren entgraten. Ähnlich wie beim Bahnschweißen wird ein Schwenktisch eingesetzt, der es ermöglicht, den Bedienungsmann, der die Teile spannt und entspannt, von Gefahren-, Lärm- und Schmutzbereichen abzuschirmen (Bild 22).

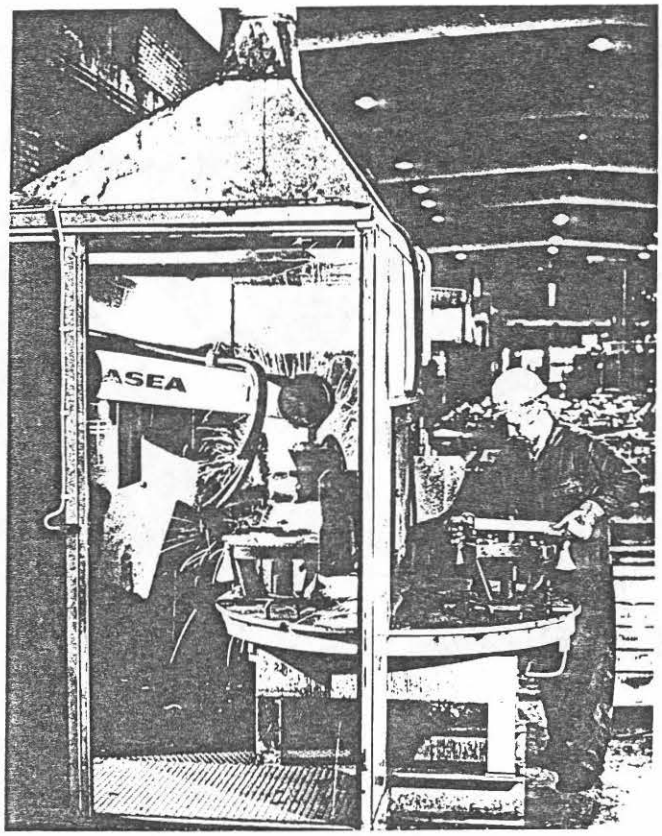


Bild 22: Entgraten von Gußwerkstücken (ASEA)

Beim Entgraten von Spritzgußteilen, bei denen geringe Entgratkräfte auftreten, eignen sich ebenfalls sehr gut Industrieroboter (Bild 23). Wegen der geringen Werkstückgewichte und wegen der notwendigen Verwendung mehrerer Werkzeuge bewegt in diesem Fall der Roboter das Werkstück und führt es während der Bearbeitung entlang mehrerer stationärer Entgratwerkzeuge. Ebenfalls ein stationäres Werkzeug wird verwendet beim Polieren von Waschbecken, wobei wegen des größeren Teilegewichts und der notwendigen Anpreßkräfte ein Industrieroboter einer größeren Bauart erforderlich ist (Bild 24).

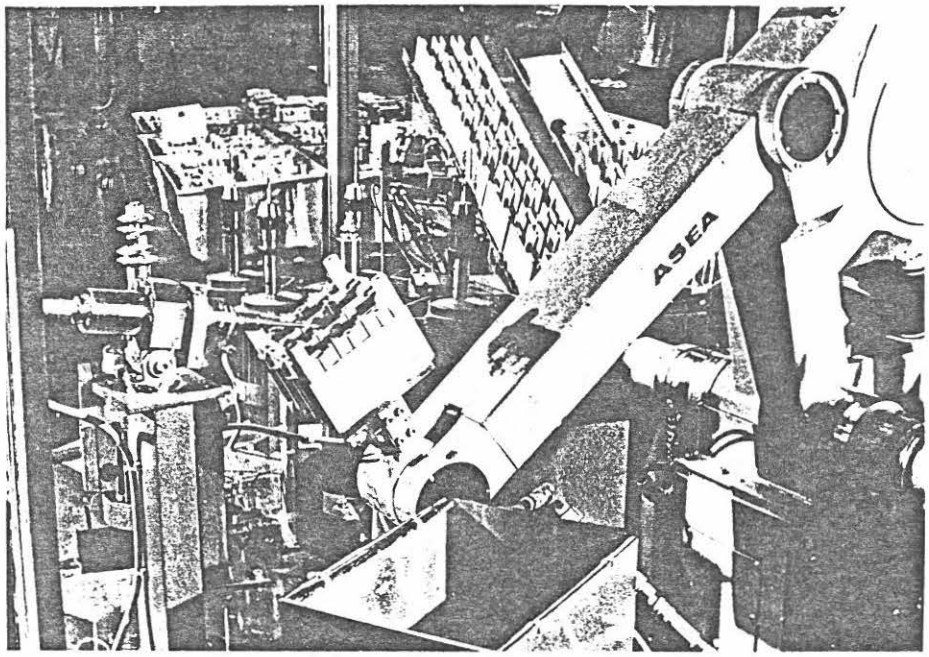


Bild 23: Entgraten eines Spritzgußteiles (ASEA)

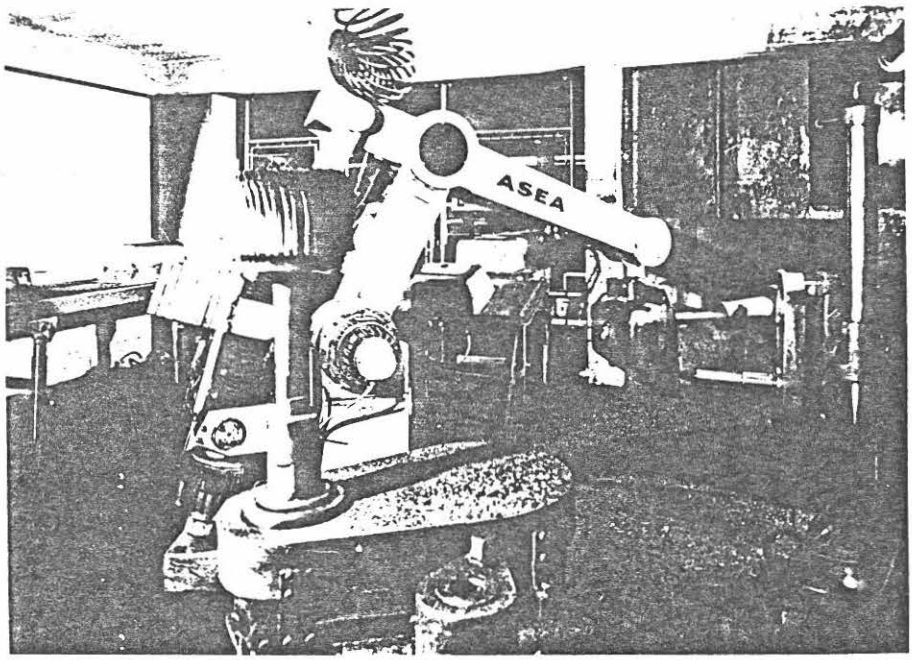


Bild 24: Industrieroboter beim Polieren eines Waschbeckens (ASEA)

3.2.1.3 Industrieroboter zum Punktschweißen

Das manuelle Punktschweißen (Widerstandspunktschweißen) zählt zu einer der schwersten körperlichen Arbeiten, da der Schweißer eine schwere Punktschweißzange bei hoher Geschwindigkeit genau positionieren muß. Für diese Aufgaben sind Industrieroboter besonders gut geeignet. Die Anforderungen an diese Industrieroboter sind wegen des großen Handhabungsgewichts (bis ca. 60 kg), der geforderten Geschwindigkeiten und großen Positioniergenauigkeiten sehr hoch. Da die Schweißpunkte meist so dicht sitzen, daß das Gerät seine Maximalgeschwindigkeit nicht erreicht, sind hohe Beschleunigungen und Verzögerungen notwendig, um die vorgegebenen niedrigen Taktzeiten zu erreichen. Industrieroboter zum Punktschweißen zeichnen sich aus durch große Steifigkeit, starke Antriebe, große Arbeitsräume und hohe Tragkräfte. Die Möglichkeit des Synchronverfahrens mit bewegten Werkstückträgern ist teilweise gegeben. Probleme liegen auch in der Schweißstromzuführung, da durch starre Kabel, zusätzlich zum hohen Gewicht der Schweißzange, häufig wechselnde Kräfte auf den Industrieroboter einwirken. Der erfolgreiche Einsatz von Industrierobotern beim Punktschweißen ist wie auch beim Beschichten dadurch zu begründen, daß gegenüber manuellen bzw. konventionellen automatischen Anlagen keine erheblichen Kosten für zusätzliche periphere Geräte anfallen. In diesem Bereich wird in Zukunft der Industrieroboter auch immer mehr als Alternative zur konventionellen automatsichen Schweißstraße an Bedeutung gewinnen. Bild 25 zeigt den Industrieroboter der Firma Kuka vom Typ IR 601/60, Bild 26 einen Industrieroboter zum Punktschweißen in Portalausführung.

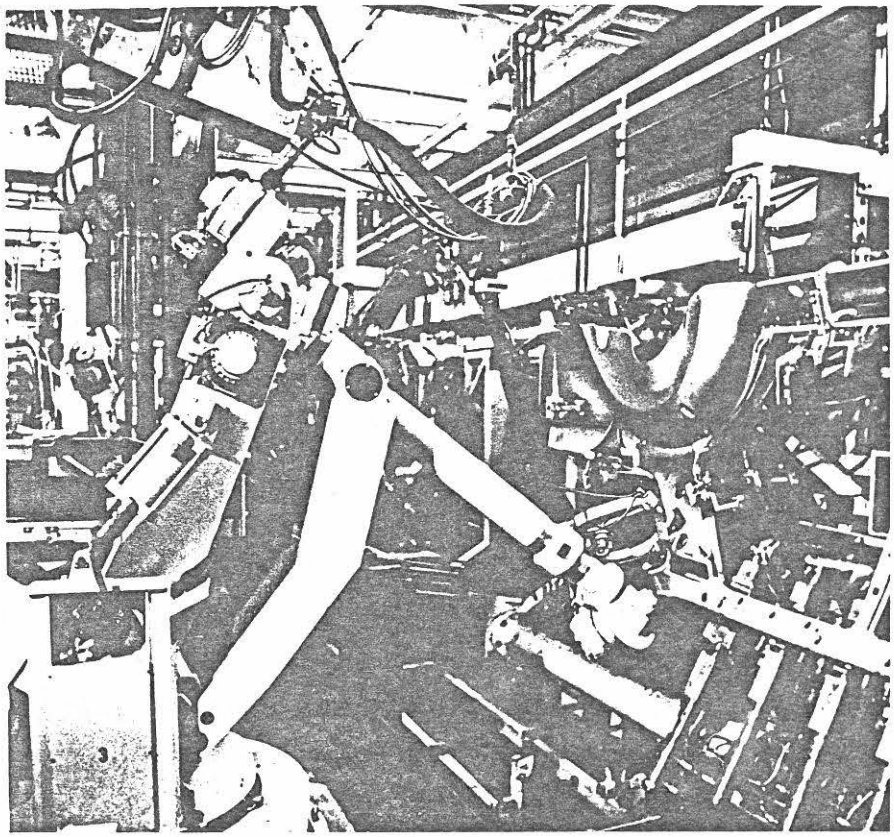


Bild 25: Industrieroboter beim Punktschweißen von Pkw-Seitenwänden (KUKA)

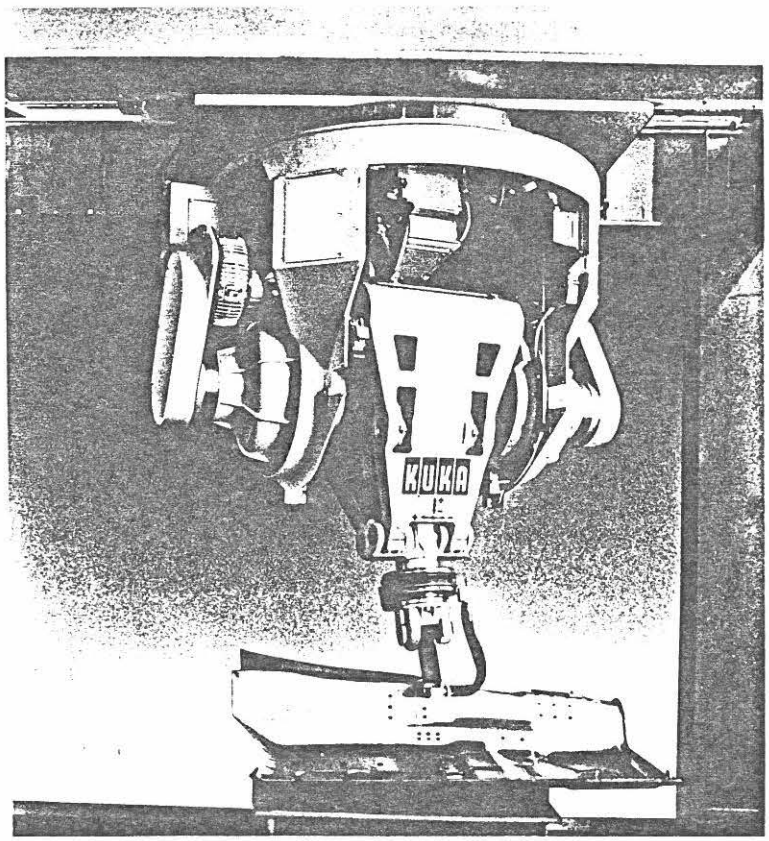


Bild 26: Industrieroboter in Portalausführung (KUKA)

3.2.1.4 Industrieroboter zum Bahnschweißen

Beim Bahnschweißen muß der Industrieroboter einen Schweißbrenner entlang einer programmierten Bahn möglichst genau führen. Die Programmierung kann punktweise erfolgen, wobei anschließend zwischen den Punkten interpoliert wird, oder es wird ähnlich wie beim Beschichten, durch Abfahren programmiert. Da die Toleranzen der zu verschweißenden Teile häufig groß sind, gewinnt die sensorgeführte Schweißnahtverfolgung zunehmend an Bedeutung. Wenn die Werkstücke sehr groß bzw. nicht in einem Schweißgang zugänglich sind, ist eine koordinierte Bewegung zwischen Industrieroboter und Werkstück (bzw. Werkstückträger) notwendig. Die erzielte Synchronfahrgenauigkeit bestimmt die Güte der Schweißnaht. Industrieroboter, die besonders geeignet zum Bahnschweißen sind, zeichnen sich aus durch hohe Bahngenauigkeit und aufwendige Kinematik (5 bis 6 Achsen). Das Handhabungsgewicht wird durch das Gewicht des Schweißbrenners bestimmt; durch Schweißgas- und Schweißdrahtzuführung bzw. Schweißstromzuführung beim Lichtbogenschweißen können zusätzliche Kräfte auftreten.

Roboterarbeitsplätze zum Bahnschweißen sind meist mit Schwenktischen ausgerüstet, an denen der Bedienungsmann auf einer Seite, außerhalb vom Wirkbereich des Schweißbrenners, die Teile einlegt, spannt und eventuell vorheftet und der Industrieroboter nach Schwenken des Tisches die Teile ausschweißt (Bild 27).

Bild 28 zeigt einen kompletten Arbeitsplatz.

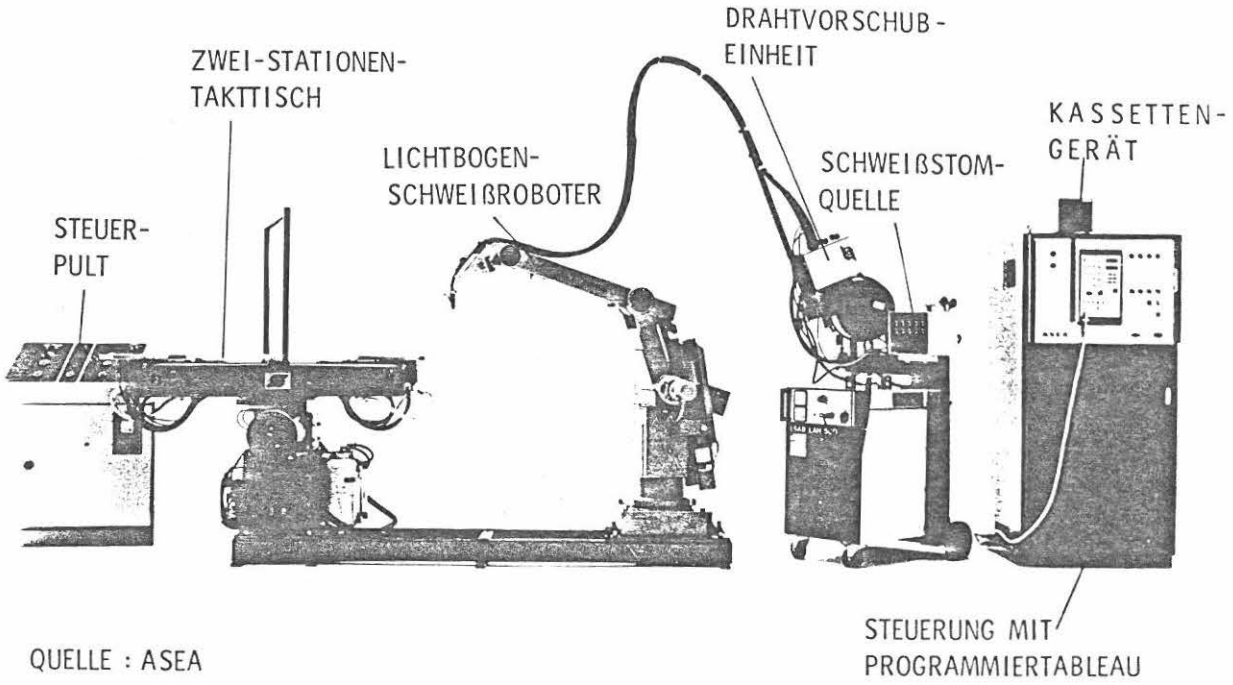


Bild 27: Bahnschweißen mit einem Industrieroboter (ASEA)

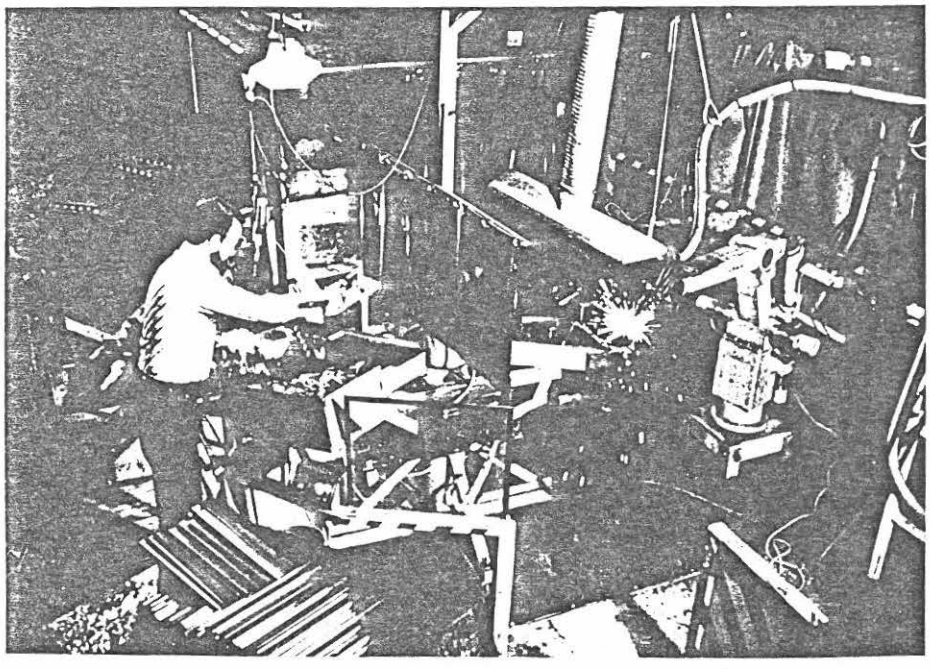
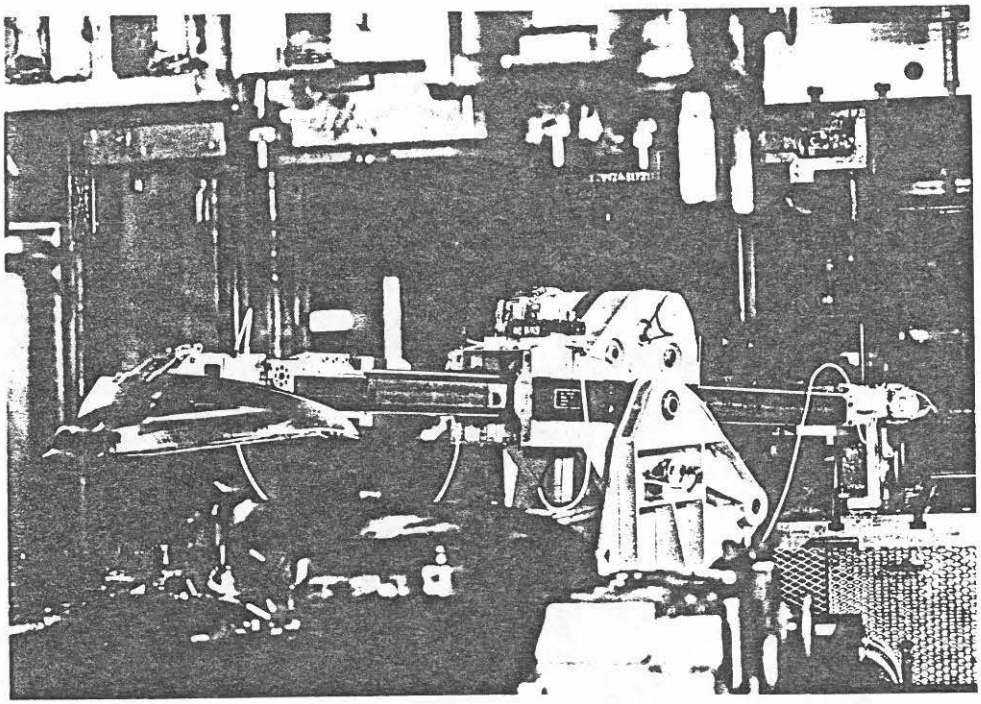


Bild 28: Bahnschweißen gestanzter Blockteile (ASEA)

3.2.2 Werkstückhandhabung

3.2.2.1 Handhabung an Pressen

Monotonie unr niedrige Taktzeiten sind häufig die Merkmale von Pressenarbeitsplätzen. Die Aufgabe des Menschen bzw. des Industrieroboters besteht darin, Teile, die in definierter Position vorliegen, in ein Pressenwerkzeug einzulegen oder aus einem Pressenwerkzeug zu entnehmen. Die definierte Position wird erreicht durch vorgeschaltete Ordnungseinrichtungen, Magazine oder Verkettung von mehreren Arbeitsgängen, bei denen der Ordnungszustand aufrecht erhalten wird (Bild 29). Als Greifwerkzeuge werden Saug- und Magnetgreifer oder mechanisch betätigte Greifer eingesetzt.



Quelle : VW

Bild 29: Industrieroboter zur Verkettung von Karosseriepressen (VW)

3.2.2.2 Handhabung an Schmiedemaschinen (Bild 30)

Schmiedemaschinen, meist Schmiedepressen, stellen höchste körperliche Anforderungen an den Menschen. Lärm, Hitze, große Gewichte, Schmutz, Erschütterungen und Unfallgefährdung lassen diese Arbeitsplätze besonders geeignet für Industrieroboter erscheinen. Die extremen Bedingungen stellen jedoch auch an einen Industrieroboter sehr hohe Anforderungen, wodurch viele Projekte zumindest aus Kostengründen von vornherein zum Scheitern verurteilt sind. Bedingt durch die Schmiede-Werkstücke und die Werkzeugform wird beim Einlegen in die Schmiedepressen keine hohe Positioniergenauigkeit vom Industrieroboter verlangt, jedoch müssen bei großen Geschwindigkeiten schwere Werkstücke manipuliert werden. Da die glühenden Teile während der Bearbeitung oft beträchtlichen Formänderungen unterzogen werden, sind die Greifer meist kompliziert und schwer.

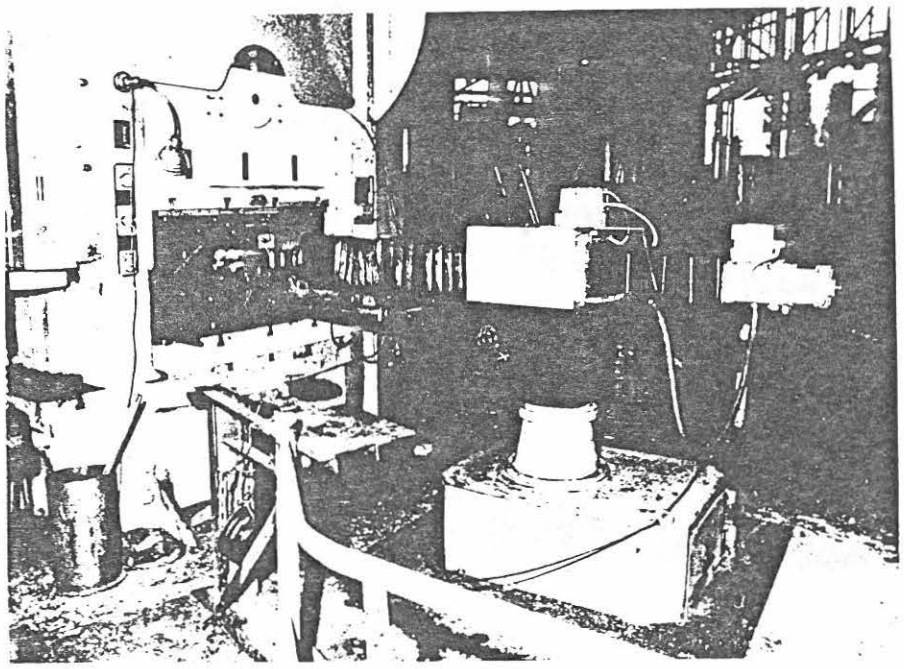


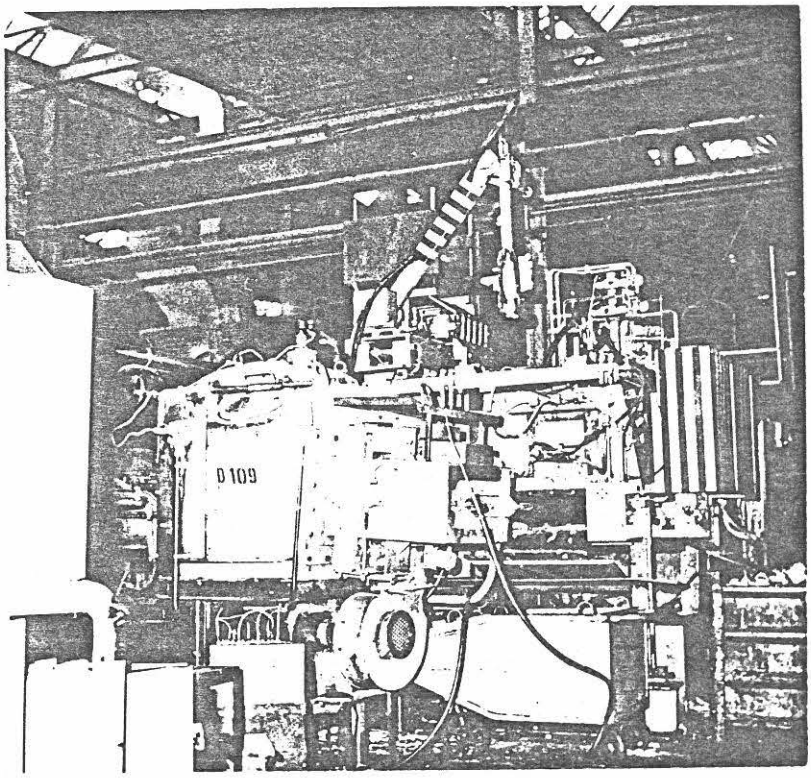
Bild 30: Beschickung einer Schmiedepresse (VFW)

Im Gesenk haftende Werkstücke machen zusätzliche Kräfte erforderlich. Kinematik (Führungen, Antriebe) und Steuerungen müssen gegen starken Schmutz, Hitze und Erschütterungen geschützt sein. Wegen der realtiv langen Umrüstzeiten der Werkzeuge können hier längere Zeiten für die Umstellung in Kauf genommen werden.

3.2.2.3 Handhabung an Druck- und Spritzgußmaschinen

Die Materialzuführung an Druckgußmaschinen erfolgt automatisch. Industrieroboter werden zur Entnahme der Werkstücke aus dem Werkzeug verwendet. Die Teile liegen in definierter Position vor. Zur Überprüfung, ob keine Werkstückreste im Werkzeug verbleiben, sind Sensoren notwendig, die im Greifer integriert sein können. Werkzeugsprüheinrichtungen, die meist getrennt angebaut sind, können u.U. am Greifer angebaut werden. Häufig wird das Druckgußwerkstück anschließend vom Industrieroboter in eine Abgratvorrichtung eingelegt. An die Positioniergenauigkeit werden keine besonderen Anforderungen gestellt. Die Handhabungsgewichte sind durch technologisch bedingte begrenzte Werkstückgewichte relativ klein; bei schweren Greifern (z.B. bei integrierter Sprüheinrichtung) groß. Wegen der genau festgelegten Bewegungsabläufe, der geringen Positionsänderung bei Werkzeugwechsel und der großen Werkzeugwechselzeit sind zum Entladen von Druckgußmaschinen relativ einfache Entladegeräte gut eingeführt. Sie sind nicht programmierbar und werden durch verstellbare Anschläge positioniert. Aus Platzgründen sind sie meist an die Druckgußmaschine angebaut oder als Portalgeräte ausgeführt (Bild 31). Der hohe Anteil von programmierbaren Industrierobotern ist durch den relativ geringen Peripherieaufwand zu begründen. Industrieroboter zum Entladen von Druckgußmaschinen müssen unempfindlich gegen Hitze und Schmutz sein. Der Arbeitsablauf beim Entgraten an einer Spritzgußmaschine ist prinzipiell derselbe wie bei einer Druckgußmaschine. Auch hier sind in der Praxis relativ einfache, speziell für diesen Zweck konzipierte Einzweckgeräte gut eingeführt. Jedoch sind besonders bei einer Verkettung mit darauffolgenden Arbeitsgängen (Abgraten) Industrie-

roboter erfolgreich eingesetzt worden. Wegen der geringen Taktzeiten sind größere Geschwindigkeiten als beim Druckgießen erforderlich.



Quelle: Firma W. Reis

Bild 31: Entnahme von Teilen aus einer Druckgußmaschine (Reis)

Die Handhabungsgewichte sind im allgemeinen geringer, jedoch werden oft an den Greifer besondere Bedingungen gestellt, da beim Entnehmen das Material noch nicht ausreichend ausgehärtet ist, um beim Greifen keine Beschädigungen zu hinterlassen. Beim Greifen am Anguß ist eine Positionierung in einem Entgratwerkzeug problematisch, da sich die Position des Teils bezüglich des Greifers wegen ungenügender Aushärtung verändern kann.

3.2.2.4 Handhabung von Werkzeugmaschinen

Zahlenmäßig gering ist der Einsatz von Industrierobotern zum Be- und Entladen von Werkzeugmaschinen. Die Gründe hierfür liegen vor allem in der Vielfalt der Nebenfunktionen, die außer der Handhabungsfunktion durchzuführen sind. Dazu gehören besonders Ordnungsfunktionen, Kontroll- und Hilfsfunktionen. An Kontrollfunktionen sind Werkstückkontrollen und Maschinen- bzw. Werkzeugüberwachung durchzuführen. Hilfsfunktionen wie z.B. Spänebeseitigung, bereiten besondere Schwierigkeiten. Der erfolgreiche Einsatz eines Industrieroboters ist daher erst nach einer Lösung dieser Nebenfunktionen möglich. Der Einsatz von Industrierobotern an Werkzeugmaschinen ist daher häufig in flexiblen Fertigungssystemen zu finden, in denen die genannten Funktionen weitgehend automatisiert sind. An den Industrieroboter werden große Anforderungen gezüglich Positioniergenauigkeit und Geschwindigkeit gestellt (sehr schnell und genau). Die Handhabungsgewichte sind meist groß, da aufgrund geforderter kurzer Werkstückwechselzeiten Mehrfachgreifer notwendig sind. In flexiblen Fertigungssystemen kommen u.U. flexible Greifer zum Einsatz, die ebenfalls eine hohe Belastung für den Industrieroboter darstellen. Da die Umrüstzeit bei Werkzeugmaschinen oft sehr niedrig ist, muß ein Industrieroboter sowie die Peripherie für diese Zwecke schnell umprogrammierbar sein. Da der Industrieroboter während eines Werkzeugwechsels im allgemeinen ungenutzt ist, ist der Einsatz zum Werkzeugwechsel denkbar, wozu der Industrieroboter ebenfalls schnell und genau arbeiten muß.

Grundsätzlich kann eine Handhabung an Werkzeugmaschinen in drei Fälle unterteilt werden:

- Industrieroboter in der Maschine (integriertes Handhabungssystem)
- Industrieroboter über der Maschine (Ladeportal) (Bild 32)
- Industrieroboter vor der Maschine.

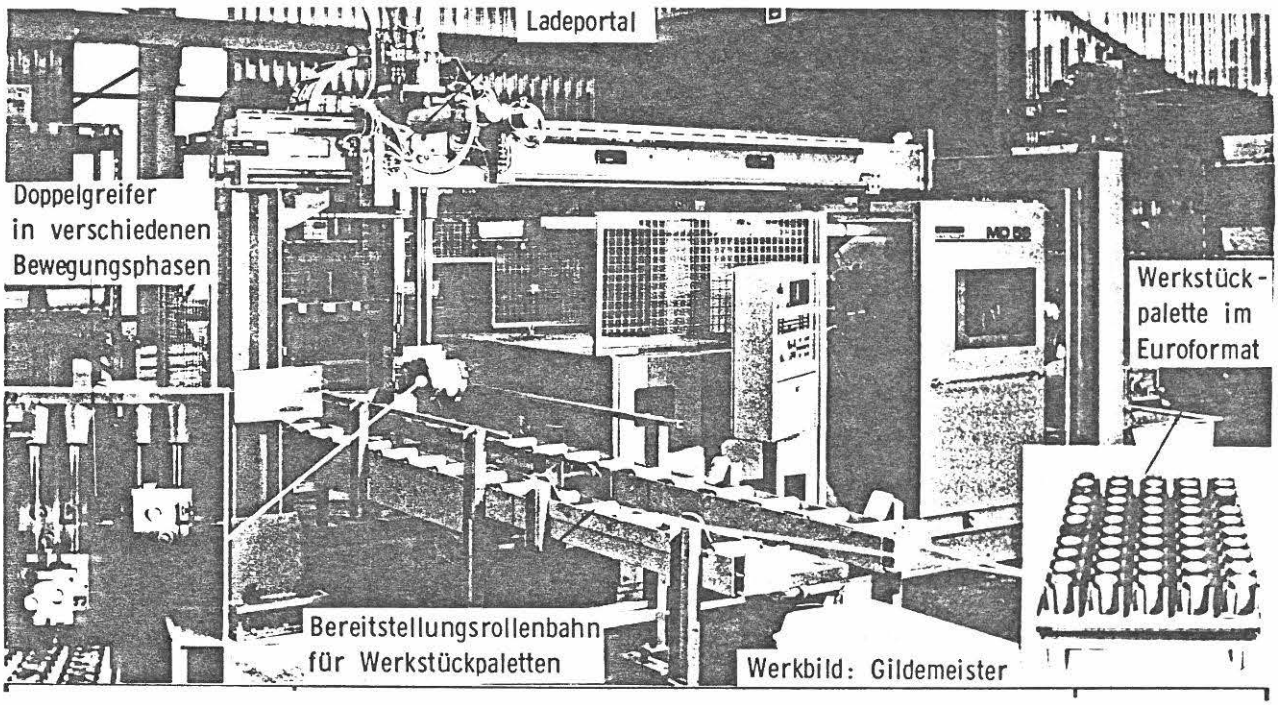


Bild 32: Flexible Drehfertigungszelle mit Werkstückhandhabung durch ein integriertes Ladeportal

3.2.3 Montage

Allgemein wird erwartet, daß bei der Montage ein sehr großes Anwendungsgebiet für Industrieroboter in der Zukunft sein wird. Allerdings konkurrieren in der Montage die Industrieroboter meist direkt mit den Fähigkeiten des Menschen und sind mit aus diesem Grunde bis heute nur in sehr geringem Maße eingesetzt (Bild 33).

Neben den bereits bekannten Industrierobotersystemen für die Montage von der Firma Olivetti bietet die Firma DEA, die Firma Unimation sowie die Firma IBM Industrieroboter zur Montage an.

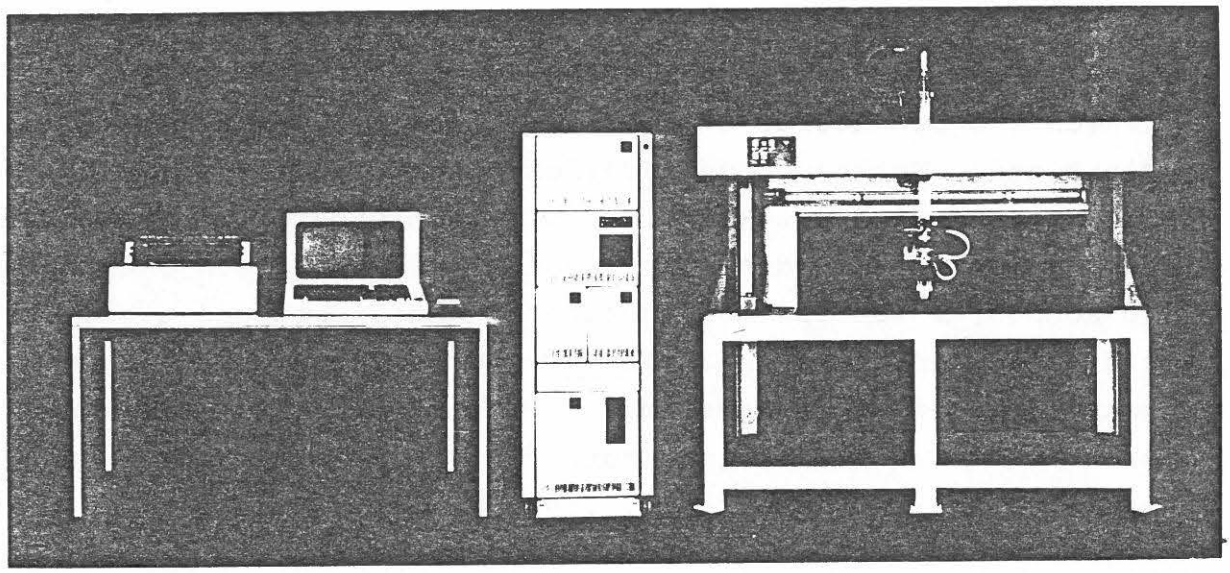


Bild 33: Montageroboter RS 1 (Werkbild IBM)

Der Montageroboter wird seit 1974 bei verschiedenen Anwendungen des Herstellers auf dem Gebiet der Büromaschinenmontage und der Leiterplattenbestückung verwendet. Seit 1977 wird der Montageroboter vertrieben und bislang für folgende Anwendungsfälle verwendet, wobei meist Teilefamilien in unterschiedlicher Losgröße montiert werden können:

- Zusammenbau von Netzsteckern,
- Klemmleistenmontage für Elektrobauteile,
- Zusammenbau von Ventilen,
- Spulenabgleich für Übertrager,
- Herstellen von Kleintastern,
- Bestücken von Tastaturen,
- Montage von Kühlschrankkompressorenkolben,
- Ankermontage für Luftschütze.

Programmierbare Montagesysteme gehen über den genannten Montageroboter in diesem Sinne hinaus, daß ein programmierbares Montagesystem in einem weiteren Umfang als bisher an unterschiedliche Aufgabenstellungen schnell und einfach anpaßbar sind sowie die Verknüpfung taktiler und visuell gewonnener Informationen vornehmen und besondere, aufgabenspezifische oder anpaßbare Vorrichtungen, Werkzeuge und Greifer handhaben können. Um die Möglichkeiten solcher zukünftiger programmierbarer Montagesysteme aufzuzeigen und um die dazu benötigten Komponenten entwickeln zu können, wurde ein Montageroboter abgeändert und mit Zusatzeinrichtungen versehen. Bild 34 zeigt die Elemente dieses programmierbaren Montagesystems. Im Mittelpunkt der Forschungsarbeit des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) Stuttgart, stand dabei der Problemkomplex des Fügens unter Verwendung taktiler Sensoren und die visuelle Überwachung des Montageprozesses. Hier konnten grundlegende Lösungsansätze gefunden werden, die bei zukünftigen programmierbaren Montagesystemen Verwendung finden werden /7/.

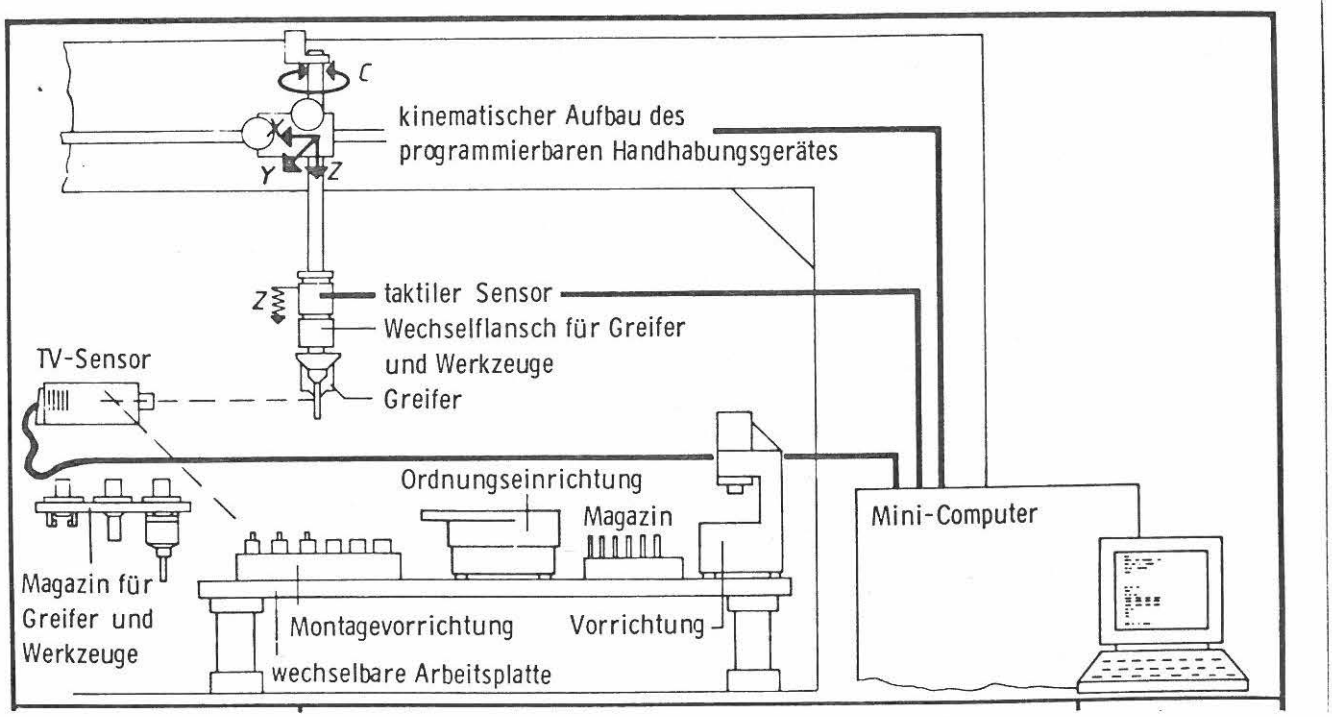


Bild 34: Programmierbares Montagesystem (IPA, Olivetti)

Beim 11. Internationalen Symposium für Industrieroboter, das im Oktober 1981 in Tokyo stattfand, fanden die SCARA-Roboter (Selective Compliance Assembly Robot Arm) die von sechs verschiedenen Firmen angeboten wurden, große Beachtung. Allgemein wird erwartet, daß diese Konzeption in der Lage ist, Montage- und Bestücktungsaufgaben bei angepaßten Produkten schnell und preiswert zu lösen (Bild 35).

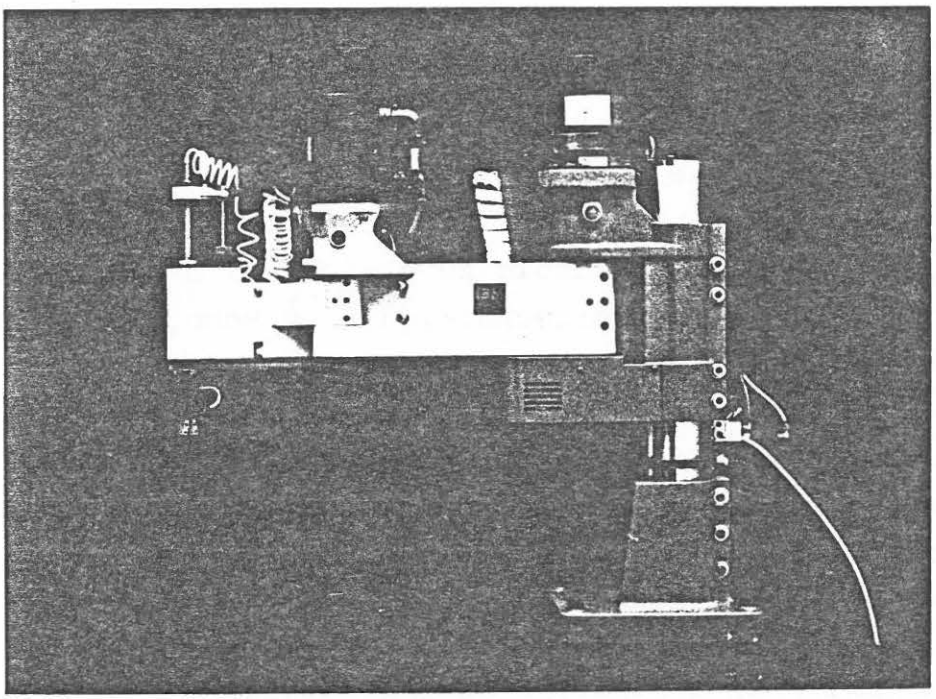


Bild 35: Scara-Montageroboter (Werkbild IBM)

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die deutsche Industrie hat sich anfangs nur zögernd mit der Industrierobotertechnik beschäftigt. In der ersten Hälfte der 70-iger Jahre ging der Einsatz nur sehr schleppend voran und erst in den letzten Jahren verzeichnet man ein schnelleres Wachstum der Einsatzzahlen. Der Wunsch nach flexiblen, programmierbaren Handhabungsmaschinen wird immer stärker, um den Erfordernissen der 80-iger Jahre, nämlich leistungsfähige, flexible Produktionsmittel zur Verfügung zu haben, die qualitativ hochwertige Produkte herstellen können, gerecht zu werden.

Die Robotertechnik hat heute einen Stand erreicht, bei der die Roboter selbst keine Prototypen mehr sind, sondern ausgereifte Serienmaschinen, die sehr gut eingesetzt werden können, wenn es gelingt, die Anpassung an die Aufgabenstellung, d.h. die Peripherie, ebenfalls zuverlässig zu erstellen. Die Fortschritte auf dem Gebiet der Sensortechnik, die es Robotern erlaubt, auf stochastische Einflüsse in ihrer Umgebung reagieren zu können, lassen ebenfalls erwarten, daß in Zukunft ein größerer Anteil an Anpaßaufwand softwaremäßig gelöst werden kann. Dies würde bedeuten, daß sich Industrieroboter leichter an ihre Aufgabenstellung anpassen lassen und daß vorhandene und integrierte Sensoren beispielsweise in der Lage sind, Teile zu finden und zu erkennen, ohne daß jeweils spezielle Ordnungs- und Positioniereinrichtungen geschaffen werden müssen.

5 Schrifttumsverzeichnis

/1/ Warnecke, H.-J.; Schraft, R.D.: Industrieroboter-Katalogband, Buchreihe "Produktionstechnik heute" Mainz: Krausskopf 1980, Bd. 27

/2/ Warnecke, H.-J.; Schraft, R.D.: Industrieroboter, Buchreihe "Produktionstechnik heute" Mainz: Krausskopf 1979

/3/ Blume, C.; Dillmann, R.: Frei programmierbare Manipulatoren. Würzburg: Vogel 1981

/4/ Volmer, J.: Industrieroboter. Berlin: VEB-Verlag Technik 1981

/5/ Taylor, R.: The synthesis of manipulator control programs from task-level spezifications. Stanford: Dissertation 1976

/6/ Schraft, R.D.; Schiele, G.: Industrieroboter zum Lackieren. Industrie-Lackierbetrieb Nr. Hannover: Vincentz-Verlag

Systematische Vorgehensweise zur Einsatzplanung von Industrierobotern

von

Dr.-Ing. Uwe Schmidt - Streier

Fraunhofer- Institut für Produktionstechnik
und Automatisierung (IPA), Stuttgart
Leitung: Prof. Dr.-Ing. H.J. Warnecke

1 Einleitung

Industrieroboter stellen eine Möglichkeit dar, die Werkstückhandhabung in der Klein- und Mittelserienfertigung zu automatisieren. Wie umfangreiche Arbeitsplatzanalysen gezeigt haben /1/, können besonders in der Teilefertigung viele Arbeiten durch programmierbare Handhabungsgeräte ausgeübt werden, sofern es gleichzeitig gelingt, das Ordnen, das Spannen und das Prüfen der Werkstücke ebenfalls zu automatisieren.

Eine wirtschaftliche Nutzung von Handhabungsgeräten erfordert jedoch umfangreiche Planungsarbeiten, für die bislang nur wenige Hilfsmittel und Anleitungen angeboten werden. Zur Zeit beruht die Einsatzplanung von programmierbaren Handhabungsgeräten noch weitgehend auf den individuellen Erfahrungen des jeweiligen Planers und führt daher häufig nicht zum optimalen Ergebnis.

In den letzten Jahren ist eine deutliche Zunahme der Industrieroboter zu erkennen. Während 1977 nur ca. 500 Geräte in der Bundesrepublik Deutschland installiert waren /2/, konnten im Jahre 1982 bereits 3500 Geräte gezählt werden (Bild 1). Als die wichtigsten Gründe für diese bemerkenswerte Entwicklung sind in wirtschaftlicher Hinsicht vor allem die schnell steigenden Lohnkosten und die Verbilligung der Prozessoren zu nennen. In technischer Hinsicht begünstigen in erster Linie neuere Entwicklungen auf dem Gebiet der Geräteperipherie, wie beispielsweise optische Sensoren zur Werkstückerkennung oder taktile Sensoren zur Feinpositionierung von Werkstücken das Anwachsen der Einsatzzahlen.

Es stehen somit immer häufiger Ingenieure vor der komplexen Aufgabe, den Einsatz eines programmierbaren Handhabungsgerätes zu planen.

Im folgenden Beitrag sollen verschiedene Hilfen zur Lösung dieser Planungsaufgabe vorgestellt werden. Im einzelnen soll in Form eines Leitfadens aufgezeigt werden, welche Kriterien zur Beur-

teilung der grundsätzlichen Einsatzmöglichkeit eines Industrieroboters heranzuziehen sind, wie die Einsatzplanung rationell durchzuführen ist und schließlich wie die Wirtschaftlichkeit eines Industrierobotereinsatzes abgeschätzt werden kann.

2 Aufgaben der Einsatzplanung

Neben der Beseitigung von schwerer körperlicher Arbeit muß das wichtigste Ziel der Einsatzplanung von Industrierobotern die Befreiung des Menschen vom Maschinentakt sein. Hierfür sprechen neben wirtschaftlichen Gründen - nur in diesem Fall kann der Industrierobotereinsatz zur Senkung der Arbeitskosten führen - auch soziale und sicherheitstechnische Erwägungen.

So ist die Entkopplung des Menschen vom Maschinentakt eine wichtige Voraussetzung für den Abbau von Belastungen am Arbeitsplatz. Weiterhin kann nur auf diese Weise das Bedienpersonal mit Sicherheit aus dem Gefahrenbereich der Fertigungseinrichtungen und des Handhabungsgerätes ferngehalten und damit zuverlässig vor Unfällen geschützt werden.

Um die Befreiung des Bedienpersonals vom Maschinentakt zu erreichen, darf sich die Einsatzplanung von Industrierobotern nicht auf die Automatisierung der Werkstückhandhabung beschränken, sondern muß darüberhinaus für alle anderen Funktionen, die vom Menschen an einem Arbeitsplatz ständig ausgeführt werden, Lösungen zur Automatisierung bzw. Verlagerung erarbeiten.

Bild 2 gibt einen Überblick über die Tätigkeiten des Bedienpersonals an einem Arbeitsplatz und die sich daraus ergebenden Probleme der Einsatzplanung. Es wird deutlich, daß neben der Lösung der eigentlichen Handhabungsaufgabe, in deren Mittelpunkt die Geräteauswahl und die Planung der Maschinenaufstellung stehen, die Automatisierung des Bearbeitungsvorganges, des Prüfens sowie der Hilfsstoffzufuhr und Abfallabfuhr wichtige Aufgaben der Einsatzplanung darstellen.

3 Vorgehensweise der Einsatzplanung

Die Lösung der oben angeführten Aufgaben erfordert aufgrund der Vielzahl des seitens des Herstellungsprozesses und seitens der Handhabungstätigkeiten zu berücksichtigenden Einflußgrößen ein systematisches, methodisches Vorgehen. Nur auf diese Weise ist es möglich, das mit dem Industrierobotereinsatz verbundene wirtschaftliche Risiko möglichst gering zu halten. Zudem kann nur so sichergestellt werden, daß die einzelnen zu entwickelnden Teillösungen optimal aufeinander abgestimmt sind.

Eine derartige systematische Vorgehensweise zur Durchführung der Einsatzplanung ist in ihrer Grobstruktur in Bild 3 dargestellt. Hiernach ist die Einsatzplanung zweckmäßig in vier Stufen durchzuführen. Zunächst ist der gegebene Istzustand zu erfassen. Zweck dieser Istzustandsaufnahme ist die Definition und Abgrenzung sämtlicher im Rahmen der Einsatzplanung zu behandelnden Teilprobleme.

Als unmittelbares Ergebnis dieses Arbeitsschrittes kann der technische und wirtschaftliche Gesamtaufwand des geplanten Industrierobotereinsatzes abgeschätzt und daraufhin die Zweckmäßigkeit dieser Maßnahme beurteilt werden.

Die Erarbeitung alternativer Konzeptvarianten schließt sich an die Istzustandsaufnahme an. Um sich in dieser Phase nicht auf einzelne Lösungsmöglichkeiten einzuschränken, bietet sich die Aufgliederung der zu lösenden Gesamtfunktion in Teilfunktionen an. Anschließend sind zu den einzelnen Teilfunktionen geeignete Lösungsprinzipien zu suchen und unter Beachtung des Gesamtsystemverhaltens zu alternativen Konzeptvarianten zusammenzufassen. Die Konzeptvarianten sind danach einer vergleichenden Bewertung zu unterziehen, um die Lösungen auszuwählen, die in technischer, wirtschaftlicher und humanitärer Hinsicht den größten Nutzen für den gegebenen Arbeitsplatz versprechen.

Die Ausarbeitung der ausgewählten Konzeptvarianten zu technischen Gesamtlösungen bildet die dritte und zeitaufwendigste

Planungsphase. In Bild 4 sind die im Rahmen dieser Planungsphase zu lösenden Teilprobleme mit ihren wesentlichen Einflußgrößen dargestellt. Da zwischen den zu behandelnden Teilproblemen zum Teil starke Abhängigkeiten bestehen, können sie nicht unabhängig voneinander bearbeitet werden, sondern nur in einer fest vorgegebenen Reihenfolge.

Die stärksten Wechselbeziehungen bestehen zwischen der Layoutplanung und der Auswahl geeigneter Industrieroboter. So wirken sich Änderungen an der gegebenen Maschinenanordnung direkt auf die geometrischen Anforderungen an das Handhabungsgerät aus. Weiterhin können sie zu einer Einschränkung des Raumangebotes und damit der Installationsmöglichkeit führen. Umgekehrt muß die Maschinenaufstellung entsprechend der Industrieroboteranzahl und dem Typ der eingesetzten Industrieroboter gewählt werden.

Gleichfalls bestehen wichtige Wechselbeziehungen zwischen der Auswahl der Peripherie und der Festlegung der Maschinenaufstellung. So müssen bei der Planung der Maschinenaufstellung die für die peripheren Einrichtungen erforderlichen Stell- und Wartungsflächen berücksichtigt werden. Andererseits können die notwendigen Zuführ- und Transporteinrichtungen erst nach Kenntnis der Maschinenaufstellung gestaltet werden. Aus der Tatsache, daß der Industrieroboter auch zur Abfallabfuhr oder Hilfsstoffzufuhr eingesetzt werden kann, ergeben sich wichtige Abhängigkeiten zwischen der Lösung dieser Teilaufgaben und der Industrieroboterauswahl. Schließlich können aufgrund unzureichend automatisierter Bearbeitungsprozesse Neuanschaffungen einzelner Fertigungsmittel erforderlich werden, wodurch die Ausgangslage sämtlicher zu bearbeitender Teilaufgaben verändert wird.

Aufgrund der geschilderten Beziehungen lassen sich die folgenden Schlußfolgerungen für die Ausarbeitung der Gesamtlösung ziehen:

1. Die Anwendbarkeit gegebener Fertigungsmittel im automatisierten Betrieb ist vor der Lösung aller anderen Teilprobleme zu überprüfen.

2. Die prinzipielle Einsatzmöglichkeit von Industrierobotern zur Abfallabfuhr und zur Hilfsstoffzufuhr muß vor der Layoutplanung und der Auswahl der Handhabungseinrichtungen geprüft werden. Gleichfalls sind vor der Layoutplanung sämtliche peripheren Einrichtungen festzulegen, die von Änderungen der Maschinenaufstellung unbeeinflußt bleiben (Ordnungs-, Prüfeinrichtungen).

3. Die Planung der Maschinenaufstellung muß gesondert für jeden geeigneten Industrierobotertyp durchgeführt werden.

4. Die Auswahl der Industrieroboter ist in zwei Stufen durchzuführen. Eine Vorauswahl ist vor der Planung der Maschinenaufstellung anhand derjenigen Anforderungen, die von der Maschinenaufstellung unabhängig sind, durchzuführen. Die endgültige Auswahl ist in Verbindung mit der Planung der Maschinenaufstellung zu treffen.

Eine Vorgehensweise, die diesen Forderungen entspricht, ist in Bild 5 dargestelt.

Die ausgearbeiteten Gesamtlösungen sind anschließend einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zu unterziehen. Erweisen sich dabei mehrere Lösungen als wirtschaftlich, so werden diese anschließend einer technisch-wirtschaftlichen Bewertung unterzogen. Ziel dieser Bewertung ist es, die für den vorliegenden Arbeitsplatz optimal geeignete Gesamtlösung zu bestimmen.

Die Planung organisatorischer und technischer Maßnahmen zur Realisierung der ausgewählten Gesamtlösung bildet den Abschluß der Einsatzplanung. Im Mittelpunkt dieser Arbeiten steht die Festlegung des Terminplanes, in dem die Anfangs- und Endtermine sämtlicher Arbeiten, die bis zur endgültigen Eingliederung des Industrieroboters in den Herstellungsprozeß durchzuführen sind, fixiert werden.

Weitere wichtige Teilaufgaben bestehen in den Vertragsverhandlugnen mit den Geräteherstellern sowie in der Auswahl geeigneter Stellen (Abteilungen der eigenen Firma, Fremdfirmen) zur Durch-

führung der erforderlichen Anpaß- und Umbauarbeiten am gegebenen Arbeitsplatz.

Nachfolgend werden die aufgeführten Teilaufgaben detaillierter beschrieben.

4 Arbeitsplatzanalyse

Der Arbeitsplatzanalyse kommen im wesentlichen zwei Aufgaben zu. Zum einen soll sie darüber Auskunft geben, wo der Einsatz eines Industrieroboters an einem gegebenen Arbeitsplatz in technisch-wirtschaftlicher Hinsicht oder aus Human-Gesichtspunkten sinnvoll ist, zum anderen soll sie die Erfassung aller für die Einsatzplanung relevanten Einflußgrößen ermöglichen.

Im allgemeinen sind die Problemarbeitsplätze einer Firma, für die die Automatisierungsmöglichkeit der Handhabung geprüft werden sollte, bekannt. In den Fällen, wo das nicht zutrifft, empfiehlt sich, der Analysenphase eine "Definitionsphase" zur Auswahl automatisierungswürdiger Arbeitsplätze vorzuschalten. In dieser Definitionsphase sollte nach Bereichen gefragt werden, in denen Handhabungstätigkeiten einen wesentlichen Zeit- und damit Kostenanteil darstellen und auffällige Schwierigkeiten bzw. Mißstimmigkeiten zutage treten. Diese Probleme können sich auf die Wirtschaftlichkeit (hohe Kosten), die Technik (häufige Störungen bei Maschinen, d.h. hohe Stillstandszeiten) und auf die arbeitenden Menschen (hohe physische und psychische Belastungen, Unfälle etc.) beziehen.

Diese drei Problemfelder sind eng miteinander verknüpft, denn stellt sich z.B. das technische Problem "störanfällige Maschine", so beeinträchtigt dies zugleich die Wirtschaftlichkeit und möglicherweise wird die Arbeitsbelastung des Reparaturpersonals durch Streß und Hektik erhöht.

In Bild 6 sind im einzelnen die Fragen zusammengestellt, die zu einer Eingrenzung der Problembereiche einer Firma führen.

Diese Fragen sollten an verschiedene Personen gerichtet werden (Fertigungsleiter, Meister, Betriebsrat, Sicherheitsingenieur u.a.).

Da der Einsatz eines Industrieroboters i. allg. nur sinnvoll ist, wenn es gelingt, sämtliche Funktionen, die vom Personal ständig an einem Arbeitsplatz ausgeführt werden, dem Handhabungsgerät, bzw. geeigneten peripheren Einrichtungen zu übertragen (vergl. Kap. 2), darf sich die Arbeitsplatzanalyse nicht nur auf die Untersuchung des Handhabungs- bzw. Bearbeitungssystems beschränken, sondern muß die Istzustandsaufnahme sämtlicher Teilsysteme des Arbeitsplatzes umfassen.

In Bild 7 sind die einzelnen zu untersuchenden Teilsysteme und ihr funktionaler Zusammenhang dargestellt.

Die sechs Teilsysteme sind im weitestgehenden Fall räumlich zu einer einzigen nicht trennbaren Einheit vereinigt. Dieser Zustand ist jedoch nur selten anzutreffen.

Weit häufiger stellen

- das Bearbeitungssystem, dessen Funktion in der Änderung der Werkstück- oder Werkstoffeigenschaften durch unmittelbares Zusammenwirken von Werkzeug oder Werkstoff (Wirkpaar) besteht,
- das Handhabungssystem, mit dem Lage- und Ortsveränderungen der Werkstücke ausgeführt werden und
- das Kontrollsystem, mit dem die Einhaltung gewisser Zustände oder Abläufe überwacht und angezeigt wird,

selbstständige Einheiten dar, die über eigene Antriebs-, Bewegungs- und Steuersysteme verfügen.

Um eine schnelle und klar gegliederte funktionale Analyse der Tätigkeiten des Personals zu ermöglichen, empfiehlt es sich, von dieser, den Verhältnissen der Praxis entsprechenden Dreiteilung auszugehen. Diese Tätigkeitsanalyse reicht zwar aus, um eine

Entscheidung über die technische Möglichkeit eines Industrieroboter-Einsatzes zu fällen, sie läßt jedoch keine Beurteilung der Wirtschaftlichkeit eines derartigen Einsatzes zu. Hierzu bedarf es der Erfassung wirtschaftlicher und organisatorischer Kenndaten des gegebenen Arbeitsplatzes sowie der Art der Verkettung zu vorhergehenden und nachfolgenden Arbeitsplätzen. Weiterhin müssen im Rahmen der Analyse die Arbeitsbedingungen und die möglichen Unfallgefahren festgehalten werden. Diese Kenngrößen geben darüber Aufschluß, inwieweit aus sozialen Gesichtspunkten eine Automatisierung erforderlich bzw. wünschenswert ist. Schließlich können noch allgemeine, vor allem für statistische Zwecke benötigte Angaben erfaßt werden.

Wenn man weiterhin die Untersuchung des Handhabungssystems in eine Analyse des Handhabungsablaufes und eine Analyse des Handhabungsgutes unterteilt, ergeben sich damit acht Abschnitte für eine Arbeitsplatzanalyse. Diese Abschnitte sind zusammen mit ihren wichtigen Unterabschnitten in Bild 8 dargestellt.

Als Hilfsmittel für die Durchführung der Arbeitsplatzanalyse wurden am IPA Datenerfassungsformulare erstellt (siehe Anlage). Die in diesen Formularen enthaltenen Merkmale ermöglichen in Verbindung mit den arbeitsplatzspezifischen Planungsunterlagen wie

- Arbeitspläne,
- Werkstückzeichnungen und
- Werkzeugzeichnungen

eine vollständige Beschreibung der Ausgangssituation.

Mit Hilfe der Datenerfassungsformulare können über 200 quantifizierbare und nicht quantifizierbare Kenngrößen erfaßt werden.

Während die quantifizierbaren Merkmale durch Eintragung der jeweiligen Zahlenwerte in die dafür vorgesehenen Datenfelder festgehalten werden, geschieht die Dateneingabe der nicht quantifizierbaren Merkmale durch Ankreuzen der zutreffenden Alternative

in einer Auswahlliste, die jeweils neben den Merkmalen in den Formblättern aufgeführt ist.

Zur Erfassung der räumlichen Verhältnisse am Arbeitsplatz sowie des Handhabungsablaufes wurde eine zeichnerische Darstellung gewählt. Diese umfaßt die folgenden Schritte:

1. Festlegung eines raumfesten und eines werkstückbezogenen Koordinatensystems (Bezeichnung der Achsen: U, V, W und U', V', W').

2. Annäherung der Grundrisse der Maschinen und der zu berücksichtigenden baulichen Gegebenheiten durch Polygonzüge und Bestimmen der Koordinatenwerte ihrer Eckpunkte in bezug auf das raumfeste Koordinatensystem.

3. Kennzeichnung und Numerierung der anzufahrenden Positionen in der Reihenfolge des Arbeitszyklusses und Bestimmen ihrer Koordinatenwerte in bezug auf das raumfeste Koordinatensystem.

4. Kennzeichnung der Werkstückorientierung in jeder anzufahrenden Position durch Einzeichnung der Orientierung des werkstückbezogenen Koordinatensystems U', V', W'.

In Bild 9 ist diese Vorgehensweise anhand eines Beispiels verdeutlicht.

5 Beurteilung der Automatisierbarkeit eines gegebenen Arbeitsplatzes

Aufgrund der Analysenergebnisse ist zuerst zu prüfen, ob der jeweilige Arbeitsplatz den folgenden drei Voraussetzungen, die grundsätzlich bei der Automatisierung der Handhabung erfüllt sein müssen, genügt:

- Gleiche Arbeitsabläufe werden mehrmals wiederholt.
- Die Arbeitsvorgänge sind zu jedem Zeitpunkt eindeutig definiert.

- Die Arbeitsvorgänge enthalten höchstens einfache, anhand quantifizierbarer Größen zu fällende Entscheidungen.

Falls diese Überprüfung positiv ausfällt, ist anschließend der technisch-wirtschaftliche Erfolg des Industrieroboterein-satzes abzuschätzen.

Zur Klärung dieser Frage bietet sich der in Bild 10 dargestellte Fragenkatalog an. Die dort angeführten fertigungsmittelbezogenen Kriterien eignen sich allgemein zur Beurteilung der Erfolgs-aussichten von handhabungsspezifischen Automatisierungsmaßnahmen. Sie beruhen auf der Tatsache, daß der Einsatz eines Handhabungs-gerätes nur sinnvoll ist, wenn der gesamte Bearbeitungsvorgang sowie alle ständig auszuführenden Nebenfunktionen automatisch ablaufen. Falls die gegebenen Fertigungsmittel diese Bedingungen nicht erfüllen, müssen sie nachträglich automatisiert bzw. er-setzt werden, wodurch erhebliche Zusatzkosten entstehen.

Die übrigen in Bild 10 aufgeführten Kriterien sind hingegen speziell auf den Industrierobotereinsatz zugeschnitten. Die Forderung nach einem 2-Schichtbetrieb des Arbeitsplatzes beruht auf einer Wirtschaftlichkeitsabschätzung, bei der angenommen wurde, daß durch den Einsatz eines Industrieroboters an dem ge-gebenen Arbeitsplatz ein Werker pro Schicht weniger benötigt wird. Die Kosten für den Beschäftigten wurden dabei mit 50.000 DM und die Investitionskosten für die Automatisierung mit 210.000 DM angesetzt. Letztere Kosten schlüsseln sich auf in

140.000 DM für den Industrieroboter* und
70.000 DM für die Peripherie**.

Bei der Berechnung wurde weiterhin von einer maximalen Amortisa-tionszeit von drei Jahren ausgegangen.

---

* mittlerer Kaufpreis für Industrieroboter im Jahre 1980
** 50% der Industrieroboterkosten; Erfahrungswert aus /3/

Die Forderung nach einer Begrenzung der Umrüsthäufigkeit ist aufzustellen, da bislang der Industrieroboter nicht schneller arbeitet als der Mensch und somit die Rüstzeiten für das Handhabungsgerät in der Größenordnung der persönlichen Verteilzeiten liegen müssen, wenn ohne Einsatz von zusätzlichem Personal zum Rüsten gleiche Taktzeiten wie bei manueller Bedienung erreicht werden sollen. Der angegebene Grenzwert berechnet sich für die Annahme einer persönlichen Verteilzeit von 7% und einer Rüstzeit von 0,5 Stunden für den Industrieroboter.

Eine Begrenzung der Werkstückvielfalt ist zu fordern, da bislang noch keine ausreichend flexiblen peripheren Einrichtungen auf dem Markt angeboten werden und somit mit der Anzahl der zu handhabenden Werkstücke der Automatisierungsaufwand wesentlich anwächst.

Die Forderung nach einer minimal zulässigen Restlebensdauer der gegebenen Fertigungsmittel beruht wiederum auf dem gegenwärtigen Verhältnis von Lohnkosten zu Investitionskosten für einen Industrieroboter. Dieses Kostenverhältnis läßt einen wirtschaftlichen Einsatz nur zu, wenn der Arbeitsplatz mindestens zwei Jahre ununterbrochen betrieben wird.

Neben der technisch-wirtschaftlichen Situation sind auch Human-Gesichtspunkte bei der Beurteilung des Einsatzes eines Handhabungsgerätes heranzuziehen. So sollte bei mehreren möglichen Einsatzfällen grundsätzlich dem Arbeitsplatz der Vorzug gegeben werden, an dem die ungünstigsten Arbeitsbedingungen vorliegen.

Hierfür sprechen neben sozialen Gründen letztendlich auch wirtschaftliche Interessen, da naturgemäß an solchen Arbeitsplätzen das Personalbeschaffungsproblem am größten ist.

Zur Kennzeichnung der Arbeitsbedingungen sind im einzelnen die folgenden Kriterien heranzuziehen:

- physische und psychische Belastungen,
- Umweltbedingungen,
- Unfallgefahren.

Da diese nicht meßbar sind, empfiehlt sich, ihre Einstufung anhand von festgelegten Beispielen (Bild 11) oder im direkten Vergleich zu anderen Arbeitsplätzen vorzunehmen.

Mit Hilfe der beschriebenen Vorgehensweise kann bereits häufig über die prinzipielle Eignung eines gegebenen Arbeitsplatzes für einen Industrierobotereinsatz entschieden werden. In manchen Fällen jedoch werden die notwendigerweise sehr vereinfachten Entscheidungskriterien auf diese Frage keine eindeutige Antwort geben können. Dann gilt es, anhand zusätzlicher, in der Grobanalyse gewonnener Informationen, eingehendere Überprüfungen durchzuführen /4/. Hierbei ist insbesondere zu untersuchen, ob die Annahmen, die der Formulierung des obigen Kriterienkataloges zugrunde lagen, im gegebenen Fall tatsächlich zutreffen.

6 Entwurf alternativer Konzeptvarianten

Unter der Voraussetzung, daß die vorangegangenen Untersuchungen für eine Automatisierung des gegebenen Arbeitsplatzes sprechen, sind im folgenden Arbeitsschritt alternative Systemlösungen für die Durchführung der Automatisierung zu konzipieren. Hierbei darf die Planung i. allg. nicht direkt auf den Einsatz eines Industrieroboters fixiert sein, sondern muß auch sämtliche anderen Lösungsmöglichkeiten zur Automatisierung der Handhabung betrachten.

Lediglich, wenn aufgrund spezieller Arbeitsplatzgegebenheiten die Flexibilität des Industrieroboters zwingend erforderlich ist, ist die Einschränkung auf diese Automatisierungsmittel zulässig.

Derartige Gegebenheiten können sein:

- unterschiedliche Arbeitsabläufe aufgrund bestimmter Werkstückeigenschaften (z.B. Aussortieren von Schlechtteilen, Wenden von nicht lagerichtigen Teilen usw.),

- unterschiedliche Arbeitsabläufe aufgrund spezieller Betriebszustände (z.B. Betrieb bei Störung oder Reinigung eines Fertigungsmittels),
- Veränderungen in der Bewegungsfolge nach dem Umrüsten des Arbeitsplatzes auf ein anderes Werkstück,
- Änderung der Werkstückbereitstellungspunkte sowie der Ein- und Ausgabepositionen nach dem Werkstückwechsel.

Ausgangspunkt der Lösungssuche bildet eine Überprüfung des Arbeitsplatzes hinsichtlich

- der gegebenen Maschinenbelegung,
- der Anzahl und der Anordnung der Fertigungsmittel sowie
- der Verkettung zu vor- oder nachgelagerten Arbeitsplätzen.

Ziel dieser Überprüfung ist es, Änderungsmaßnahmen zu finden, die zu vereinfachten Anforderungen an die einzusetzenden Automatisierungsmittel führen. Eine Zusammenstellung von Maßnahmen, die sich in diesem Zusammenhang besonders häufig anbieten, ist in Bild 12 enthalten.

Nach der Festlegung entsprechender Änderungen sind alle Parameter des Arbeitsplatzes bestimmt, die für die Automatisierungsplanung von Bedeutung sind. Insbesondere ist der Handhabungsablauf mit dem Anlieferungszustand und dem Endzustand der Werkstücke bekannt. Der Handhabungsablauf wird nachfolgend mit Hilfe der Handhabungsfunktionen der VDI-Richtlinie 2860 in einzelne Funktionen unterteilt und mit den entsprechenden Funktionssymbolen in einem Funktionsplan dargestellt, Bild 13.

Im nächsten Abschnitt sind zu den einzelnen Teilfunktionen geeignete Prinziplösungen bzw. Funktionsträger zur Automatisierung zu suchen. Hierbei müssen für den Fall, daß sich der Einsatz eines Industrieroboters als technisch notwendig erwiesen hat, nur diejenigen Teilfunktionen betrachtet werden, die nicht von einem Industrieroboter ausgeübt werden können. Die Suche nach geeigneten Funktionsträgern geschieht anhand von funktionsspezifischen Anforderungsprofilen, die aus den Ergebnissen der Arbeitsplatz-

analyse abzuleiten sind. Eine wesentliche Hilfe bei der Auswahl können Lösungskataloge leisten, sowie sie für Ordnungs-, Weitergebe- und Magaziniereinrichtungen auf dem Markt angeboten werden /5/, /6/. Die ausgewählten Lösungen werden danach unter Berücksichtigung von Verträglichkeitsbedingungen zu alternativen Systemlösungen kombiniert. Zur übersichtlichen Darstellung dieser Lösungen empfiehlt sich die Eintragung der ausgewählten Gerätelösungen in den zugehörigen Funktionsplan (Bild 14).

Die Systemlösungen werden abschließend einer mehrdimensionalen Bewertung nach dem Prinzip der Nutzwertanalyse /7/ unterzogen. Ziel dieser Bewertung ist es, die Lösung auszuwählen, die sowohl in technischer als auch in wirtschaftlicher Sicht den größten Erfolg verspricht. Die Nutzwertanalyse hat sich allgemein für Entscheidungsprobleme bei Lösungsvarianten bewährt, da sie einerseits mehrfache Zielsetzungen, andererseits das Berücksichtigen sowohl quantitativer als auch qualitativer Eigenschaften der Entscheidungsalternativen zuläßt.

7 Ausarbeiten von Teillösungen

7.1 Automatisierung der gegebenen Fertigungsmittel

Die Ausarbeitung der ausgewählten Konzeptvarianten zu technischen Gesamtlösungen beginnt mit der Kritik der am Arbeitsplatz eingesetzten Fertigungsmittel. Ziel dieser Kritik ist es, sämtliche Änderungsmaßnahmen zusammenzustellen, die beim Übergang vom manuellen zum automatisierten Zustand zu treffen sind.

Hierbei ist zu unterscheiden nach Änderungsmaßnahmen, die die Automatisierung

- des Bearbeitungsprozesses,
- der Abfallabfuhr und Hilfsstoffzufuhr und
- der Prüffunktionen (bezügl. Werkstück, Werkzeug und Betriebsbedingungen)

zum Ziel haben.

Bei nicht ausreichendem Automatisierungsgrad eines Fertigungsmittels sind anhand des aufgestellten Maßnahmenkataloges geeignete technische Lösungen zur nachträglichen Automatisierung zu erarbeiten und die dafür erforderlichen finanziellen Aufwendungen abzuschätzen.

Diese sind den Kosten für eine Neuanschaffung des entsprechenden Fertigungsmittels gegenüberzustellen, um zu entscheiden, ob im gegebenen Fall eine nachträgliche Automatisierung oder die Anschaffung eines neuen Fertigungsmittels günstiger ist.

Während sich zur nachträglichen Automatisierung der Bearbeitung und Prüfung je nach Fertigungsmitteltyp und Automatisierungsgrad eine Vielzahl sehr unterschiedlicher Lösungsmöglichkeiten anbieten, steht zur Automatisierung der Hilfsstoffzufuhr und Abfallabfuhr nur eine beschränkte Anzahl von Lösungsalternativen zur Auswahl. Bezüglich der Automatisierung der Hilfsstoffzufuhr sind dies die fünf in Bild 15 dargestellten Lösungsprinzipien.

Bei der Automatisierung der Abfallabfuhr bereiten in der Regel nur feste Stoffe Schwierigkeiten. Sie können grundsätzlich auf die folgende Weise entfernt werden:

- mechanisch,
- durch Magnetkraft,
- durch Ausblasen,
- durch Absaugen,
- durch Ausschwemmen,
- mittels Schwerkraft.

Für die nachträgliche Installation an bereits in der Fertigung eingesetzten Maschinen kommen i. allg. nur die vier zuerst genannten Möglichkeiten infrage. Die beiden letzten müssen bereits bei der Maschinenkonzeption berücksichtigt werden /8/. In Bild 16 sind die nachträglich zu realisierenden Lösungen weiter unterteilt worden und es wird eine geeignete Vorgehensweise zu deren Auswahl vorgestellt.

Von besonderem Interesse für die weitere Einsatzplanung ist die Frage, ob Industrieroboter zur Hilfsstoffzufuhr oder Abfallabfuhr eingesetzt werden sollen. Auf diese Frage geben gleichfalls die Bilder 15 und 16 Auskunft. Hierbei ist zu beachten, daß bei einer Entscheidung zwischen mehreren technischen Lösungen der Industrieroboter nur dann gewählt werden sollte, wenn die Bedingungen an dem gegebenen Arbeitsplatz häufig wechseln oder Industrieroboter mit der Ausführung der Werkstückhandhabungsfunktionen nicht ausgelastet sind.

7.2 Industrieroboterauswahl

Wie im Kapitel 3.2 gezeigt wurde, muß die Auswahl geeigneter Industrieroboter in zwei Stufen erfolgen. Eine Vorauswahl ist vor der Planung der Maschinenaufstellung anhand der "layoutunabhängigen" Anforderungen vorzunehmen. Die endgültige Auswahl ist nach Abschluß der Planung der Maschinenaufstellung zu treffen.

Aufgrund der bisherigen Arbeitsschritte liegen die mittels eines Industrieroboters zu automatisierenden Handhabungsfunktionen sowie die eventuell auszuführenden Nebenfunktionen (Hilfsstoffzufuhr, Abfallabfuhr) fest. Ausgehend von diesen Ergebnissen sowie den in der Arbeitsplatzanalyse erfaßten Daten können die layoutunabhängigen Anforderungen formuliert werden. Dies sind im wesentlichen Anforderungen, die sich auf nicht geometrische Gerätegrößen, wie die Traglast, die Art des Antriebes, der Steuerung oder der Programmierung beziehen. Sie können jedoch auch Forderungen an geometrische Größen beinhalten, sofern diese aus den gegebenen Werkzeug- oder Maschineneigenschaften resultieren und damit von Änderungen der Maschinenaufstellung unbeeinflußt bleiben.

Die layoutunabhängigen Anforderungen sind zusammen mit betriebsspezifischen Wunschvorstellungen hinsichtlich der Geräteausführung in einem Pflichtenheft zusammenzufassen. Der Umfang des Pflichtenheftes hängt dabei wesentlich von der gegebenen Aufgabenstellung ab.

Einen Überblick über die wichtigsten zu beschreibenden Gerätemerkmale gibt Bild 17.

Aufgrund des Pflichtenheftes sind anschließend geeignete käufliche Handhabungsgeräte aus dem Marktangebot auszuwählen. Einen Überblick über das komplette Marktangebot an Industrieroboter liegt beim IPA /9/ vor. Es existiert dort eine Rechnerdatei, in der gegenwärtig von 135 unterschiedlichen Geräten jeweils 90 charakteristische Merkmale abgespeichert sind. Gleichfalls wurde am IPA ein Serviceprogramm erstellt, welches automatisch für ein gegebenes Anforderungsprofil die Geräteauswahl vornimmt. Dieser Vorgang wäre bei manueller Vorgehensweise aufgrund der großen Typenvielfalt sehr zeitaufwendig.

7.3 Auswahl der Geräteperipherie

Durch den Industrieroboter können nur in Ausnahmefällen sämtliche an einem Arbeitsplatz auszuführenden Handhabungsfunktionen automatisiert werden. In der Mehrzahl der Planungsfälle wird sich der Einsatz weiterer Handhabungseinrichtungen als notwendig erweisen, um eine Vollautomatisierung zu erzielen. Diese unter dem Begriff der "Geräteperipherie" zusammenfaßbaren Einrichtungen gilt es, soweit sie nicht direkt von der Gestaltung des Layouts abhängen, im nächsten Planungsschritt auszuwählen. Hierbei kommt der Auslegung der Ordnungseinrichtung eine besondere Bedeutung zu, da die Aufgabe des Ordnens von Werkstücken sich an sehr vielen Arbeitsplätzen stellt und diese Aufgabe durch käufliche Industrieroboter aufgrund fehlender Sensoren bislang nicht gelöst werden kann. Beispielsweise wurde in /1/ für den Bereich der Teilefertigung gezeigt, daß dort noch an 88% aller Arbeitsplätze die Werkstücke manuell geordnet werden müssen.

Die Lösung des Ordnungsproblems ist an Arbeitsplätzen, an denen ein Industrieroboter eingesetzt werden soll, nur in seltenen Fällen mittels konventioneller Ordnungseinrichtungen (Vibrationswendelförderer, Schleppkettenförderer, Drehtellerbunker) möglich. Dies liegt daran, daß die heute auf dem Markt erhältlichen Ordnungs-

einrichtungen keine Flexibilität besitzen, die mit der eines Industrieroboters vergleichbar ist. So gibt es gegenwärtig keine Ordnungseinrichtungen, die auf mehrere unterschiedliche Werkstücktypen leicht umrüstbar ist.

Eine mögliche Lösung dieses Problems stellt die Verkettung konventioneller Ordnungseinrichtungen mit Fernsehsystemen zur Orts- und Lageerkennung von Werkstücken dar. Bei diesen Systemen übernimmt die Ordnungseinrichtung nur den Austrag der Werkstücke aus dem Bunker. Der Industrieroboter greift dann entsprechend der vom Fernsehsystem gelieferten Informationen das Werkstück und bringt es durch geeignete Bewegungen seiner Handachsen in die gewünschte Orientierung und Position. In Bild 18 ist eine derartige Lösung beispielhaft dargestellt.

7.4 Layoutplanung

7.4.1 Beschreibung der zu behandelnden Einzelaufgaben

Die endgültige Auswahl geeigneter Industrieroboter sowie die vollständige Bestimmung der Geräteperipherie kann erst in Verbindung mit der Layoutplanung erfolgen. Ziel der Layoutplanung ist es, in bezug auf die ausgewählten Handhabungsgeräte die jeweils optimale Anordnung der Arbeitsplatzelemente zu finden. Zur Erreichung dieses Zieles sind verschiedene Teilaufgaben zu lösen.

Festlegung der Anzahl benötigter Industrieroboter

Die Anzahl der Industrieroboter, die für die Automatisierung eines gegebenen Arbeitsplatzes erforderlich ist, ergibt sich maßgebend aus:

- der Zugänglichkeit zu den Fertigungsmitteln,
- der Entfernung zwischen den anzufahrenden Positionen sowie
- der erzielbaren Ausbringungsrate.

Da diese Größen von der Gestaltung der Maschinenaufstellung abhängen, ist die Bestimmung der erforderlichen Geräteanzahl nur in Verbindung mit der Layoutplanung möglich. Hierbei muß das Ergebnis in einem Iterationsprozeß gewonnen werden. Vor der Layoutplanung ist anhand des auszuführenden Funktionsumfanges und der geometrischen Gegebenheiten der zu bedienenden Fertigungsmittel (Abstände zwischen den anzufahrenden Positionen, Lage der Ein- und Ausgabekanäle) eine Annahme hinsichtlich der minimal erforderlichen Geräteanzahl zu treffen. Die getroffene Annahme muß dann im Verlauf der Layoutplanung auf ihre Richtigkeit geprüft werden.

Eine Erhöhung der ursprünglich angenommenen Geräteanzahl ist dann erforderlich, wenn keine Maschinenaufstellung gefunden werden kann, bei der sämtliche anzufahrenden Positionen im Arbeitsraum der eingesetzten Industrieroboter liegen oder die berechnete Ausbringungsrate den gestellten Anforderungen nicht genügt. Umgekehrt muß bei einem wesentlichen Überschreiten der erforderlichen Ausbringungsrate bzw. bei einem schlechten Nutzungsgrad der eingesetzten Handhabungsgeräte die Möglichkeit einer Verringerung der Geräteanzahl geprüft werden.

Falls die Notwendigkeit besteht, mehrere Handhabungsgeräte zur Bedienung des Arbeitsplatzes einzusetzen, so ergibt sich als ein wichtiges zusätzliches Problem, die Abstimmung von Umfang und Reihenfolge der von den Einzelgeräten auszuführenden Teilfunktionen. Auch in diesem Fall kann ein optimales Ergebnis nur in einem Iterationsprozeß erzielt werden.

Planung der Maschinenaufstellung

Die Planung der Maschinenaufstellung hängt in erster Linie von dem Arbeitsraum und dem Platzbedarf des eingesetzten Handhabungsgerätes ab. Sie muß daher separat für jedes aufgrund der Vorauswahl zur Verfügung stehende Gerät durchgeführt werden.

Das Ziel der Planung muß dabei darin bestehen, die Maschinenaufstellung zu finden, die in Hinblick auf die Kinematik des eingesetzten Handhabungsgerätes möglichst wenige Bewegungsachsen und kurze Verfahrwege beansprucht.

Diese Anforderungen werden für Handhabungsgeräte mit zylindrischem oder sphärischem Arbeitsraum durch die radiale Anordnung der Fertigungsmittel auf einem oder mehreren konzentrischen Kreisen am besten erfüllt. Für Handhabungsgeräte mit kartesischem Arbeitsraum erweist sich hingegen in diesem Falle die parallele Anordnung der Fertigungsmittel in einer Linie als die günstigste Lösung. Diese Anordnung bietet sich auch beim Einsatz eines verfahrbaren Handhabungsgerätes an. Eine solche Lösung ist dann in Erwägung zu ziehen, wenn ein ortsfester Industrieroboter nicht sämtliche Fertigungsmittel bedienen kann und die Handhabungsabläufe im Vergleich zu den Bearbeitungsvorgängen relativ geringe Zeit beanspruchen (z.B. NC-Maschinenbedienung). Anstelle der Aufstellung in einer Linie empfiehlt sich bei der Verwendung eines verfahrbaren Gerätes noch die Aufstellung der Fertigungsmittel in zwei parallelen Linien. Bei dieser Lösung wird ein Teil der Verfahrbewegung des Gesamtgerätes durch ein im Hinblick auf die Beschleunigungs- und Verzögerungszeit günstigere Schwenkbewegung um die B- bzw. C-Achse ersetzt. Hierdurch kann oftmals eine im Vergleich zu der Aufstellung "in Linie" kürzere Taktzeit erreicht werden.

Der Realisierung dieser wie auch der anderen handhabungstechnisch günstigen Lösungen sind jedoch in der Praxis enge Grenzen gesetzt. Oft scheitert sie an gebäudespezifischen Gegebenheiten wie dem maximal zur Verfügung stehenden Raumangebot, der Lage der Verkehrswege oder der zulässigen Boden- bzw. Deckentragfähigkeit. Weiterhin verhindern häufig fertigungsmittelspezifische Eigenschaften und Anforderungen wie

- die Lage der Ver- und Entsorgungspunkte,
- erforderliche Freiräume für Umrüst- und Wartungsarbeiten sowie
- bestehende Maschinenfundamente

eine entsprechende Maschinenaufstellung.

In den vorgenannten Fällen müssen andersartige, arbeitsplatzspezifische Lösungen entwickelt werden. Hierbei sind entsprechend der oben angeführten Planungsziele die folgenden Grundsätze zu berücksichtigen:

- Die Fertigungsmittel sollten so ausgerichtet werden, daß zu ihrer Be- und Entladung möglichst keine Bewegungen der Handachsen des Industrieroboters erforderlich sind (Zusammenlegen der Achsrichtungen des Industrieroboters mit den Ein- und Ausgaberichtungen).
- Die anzufahrenden Positionen sollten so zueinander angeordnet werden, daß sie in direkter Folge von dem Handhabungsgerät angefahren werden können (Minimierung der Anzahl anzufahrender Zwischenpunkte).
- Die Abstände zwischen den im Arbeitszyklus nacheinander zu bedienenden Fertigungsmitteln sind zu minimieren.

Festlegung der Einbaulage des Industrieroboters

Bei der Bestimmung der Einbaulage des Industrieroboters stellt sich die Aufgabe zwischen

- einer Auf-Flur-Installation,
- einer Über-Kopf-Installation und
- dem Anbau an ein Fertigungsmittel

zu wählen.

Ein prinzipieller Vergleich der Vor- und Nachteile dieser Installationsmöglichkeiten ist in Bild 19 dargestellt. Weiterhin sind dort die grundlegenden Voraussetzungen angeführt, die für die Verwirklichung dieser Lösungen erfüllt sein müssen. Aus der Zusammenstellung wird deutlich, daß der Anbau an ein Fertigungsmittel nur in Ausnahmefällen möglich ist. So schränkt diese Lösung die Bewegungsmöglichkeit des Handhabungsgerätes sehr ein und ist daher in der Regel nur bei einer Einmaschinenbe-

dienung einsetzbar. Zudem kann sie nur bei Geräten geringer Baugröße realisiert werden, da sonst die vom Industrieroboter auf das Maschinengestell übertragenen statischen und dynamischen Belastungen unzulässig groß würden. Im Gegensatz zu dem Anbau an ein Fertigungsmittel müssen die Auf-Flur- und Über-Kopf-Installation als gleichwertige Lösungen betrachtet werden.

Bestimmung des optimalen Verfahrweges für den Industrieroboter

Entscheidend für die Beurteilung einer entworfenen Layoutlösung ist die zu erreichende Ausbringungsrate. Voraussetzung für ihre Berechnung ist die Bestimmung des optimalen Verfahrweges, d.h. desjenigen Verfahrweges, der eine zeitminimale Bedienung der Fertigungsmittel ermöglicht. Dieser hängt im wesentlichen von den folgenden Einflußgrößen ab:

- den geometrischen Gegebenheiten,
- der Kinematik des eingesetzten Industrieroboters,
- den Verfahrgeschwindigkeiten in den einzelnen Achsen,
- der gegebenen Bedienfolge,
- der Greiferausführung (Einfach-, Doppelgreifer).

Während die zuerst genannten Größen aufgrund der zuvor behandelten Planungsschritte festliegen, ist die Art der Greiferausführung in diesem Planungsstadium noch unbestimmt.

Die Einfachgreiferausführung stellt die technisch einfachere Lösung dar. Demgegenüber bietet der Doppelgreifereinsatz aufgrund der Möglichkeit des direkten Werkstückwechsels Vorzüge hinsichtlich der erreichbaren Taktzeit. Um zu entscheiden, welche dieser Lösungen im gegebenen Fall gewählt werden sollte, sind die folgenden Kriterien zu untersuchen:

- Zugänglichkeit zu den Fertigungsmitteln (Freiraum senkrecht zur Eingaberichtung und an der anzufahrenden Position)
- Leistungsfähigkeit des Industrieroboters (Tragfähigkeit, vorhandene Handachsen),

- Lage der Werkstücke vor und nach der Bearbeitung (identisch, räumlich getrennt),
- erforderliche Gesamttaktzeit.

Falls sich bei einer Überprüfung der drei zuerst angeführten Kriterien keine Beschränkungen für eine Doppelgreiferausführung ergeben, so muß für beide Lösungsmöglichkeiten der jeweils optimal geeignete Verfahrweg ermittelt und über einen Vergleich der erzielbaren Taktzeiten eine definitive Entscheidung für eine der Lösungen herbeigeführt werden. Die Ermittlung des optimalen Verfahrweges setzt dabei den Vergleich verschiedener Verfahralternativen voraus.

7.4.2 Vorgehensweise der Layoutplanung

Auf eine systematische und sorgfältige Layoutplanung muß im Rahmen der Einsatzplanung besonderer Wert gelegt werden, da die Ergebnisse dieses Planungsschrittes nicht nur auf Typ und Ausführungsform des Handhabungsgerätes einen wesentlichen Einfluß haben, sondern darüber hinaus noch so wichtige Zielgrößen wie

- die Sicherheit,
- die Zugänglichkeit für Wartungs- und Umrüstarbeiten,
- die Ausbringung,
- den Platzbedarf und
- den Umstellungsaufwand

mitbestimmen.

Bei der Planung ist ein gleichzeitiges Optimieren aller vom Layout beeinflußten Ziele nicht möglich, da sich diese teilweise widersprechen. Beispielsweise wird mit einer Verringerung des Platzbedarfs i. allg. die Zugänglichkeit zu den Fertigungsmitteln schlechter. Ebenso ist eine Maschinenaufstellung, die nur geringe Anforderungen an die Kinematik des Handhabungsgerätes stellt, in der Regel nur durch die Umstellung sämtlicher Fertigungsmittel erreichbar.

Aufgrund dieser Gegensätzlichkeiten sowie der Tatsache, daß sich einzelne Ziele einer objektiven Bewertung entziehen (Zugänglichkeit, Sicherheit) ist es nicht möglich, eine allgemein gültige Vorgehensweise zu finden, die zwangsläufig zu dem optimal geeigneten Layout führt. Die Ermittlung der optimalen Lösung ist in diesem Fall lediglich durch den Vergleich verschiedener alternativer Lösungsmöglichkeiten realisierbar. Da sich in der Regel eine Fülle von Layoutvarianten zur Gestaltung des automatisierten Arbeitsplatzes anbieten, ist die Durchführung dieses Planungsabschnittes sehr zeitaufwendig. Eine wesentliche Erleichterung der Lösungsfindung bietet in diesem Fall eine rechnerunterstützte Vorgehensweise. Am IPA wurde eine entsprechende Methode entwickelt /10/, /11/. Man bedient sich in diesem Fall eines interaktiven grafischen Bildschirms, auf dem der Planer mittels Lichtgriffel das gegebene Layout beliebig verändern kann. Die Auswirkungen der vorgenommenen Layoutänderungen auf wichtige Zielkriterien wie die Ausbringung, Zugänglichkeit und Sicherheit sind dabei direkt kontrollierbar.

Nachfolgend soll eine vereinfachte Methode vorgestellt werden, die es ermöglicht, auch bei manueller Vorgehensweise mit vertretbarem Zeitaufwand zu guten Planungsergebnissen zu kommen. Einen Überblick über diese Methode gibt Bild 20.

Ausgangspunkt der Layoutplanung bildet die gegebene Maschinenaufstellung. Zunächst ist zu überprüfen, ob in dieser Aufstellung eine Automatisierung mit den ausgewählten Handhabungsgeräten möglich ist. Hierbei ist sowohl die Möglichkeit einer Auf-Flur-Installation als auch die einer Über-Kopf-Installation in Erwägung zu ziehen. Bei Einmaschinenbedienung bietet sich zudem in Einzelfällen noch der Anbau des Handhabungsgerätes an ein Fertigungsmittel an (vergl. Bild 19).

Um die Anwendungsmöglichkeiten der Geräte zu prüfen, empfiehlt sich eine zeichnerische Vorgehensweise.

In Bild 21 ist eine derartige Methode für Geräte mit zylindrischem und kugelförmigem Arbeitsraum dargestellt. In diesen Fällen werden um die anzufahrenden Positionen Kreise mit dem Radius geschlagen, der der maximalen Reichweite der Geräte in X-Richtung entspricht. Bilden diese Kreise keine gemeinsame Schnittfläche, so liegen die Positionen zu weit auseinander, als daß sie von einem käuflichen Gerät angefahren werden könnten. Im anderen Fall ist anschließend zu prüfen, ob innerhalb der gemeinsamen Schnittfläche ein Standpunkt für den Industrieroboter gefunden werden kann, der ein kollisionsfreies Anfahren aller Positionen ermöglicht. Hierzu ist die Schnittfläche mit einem Rasterfeld zu überziehen und jeder erhaltene Rasterpunkt mit den anzufahrenden Positionen zu verbinden. Schneiden die Verbindungsgeraden Konturen von baulichen Hindernissen oder Fertigungsmitteln, die höher liegen als die anzufahrenden Positionen, so kann der Industrieroboter in der Regel diese Position nicht vom gegebenen Standpunkt aus kollisionsfrei erreichen. Lediglich für Geräte mit Gelenkaufbau oder kugelförmigem Arbeitsraum bietet sich in Einzelfällen die Möglichkeit über eine Kante "hinwegzugreifen". Für diejenigen Rasterpunkte, für die bis zu dieser Stelle keine Kollisionsmöglichkeiten festgestellt wurden, ist anschließend zu überprüfen, ob sie als Industrieroboterstandpunkt auch ein kollisionsfreies Durchfahren des Arbeitszyklusses ermöglichen.

Hierzu muß untersucht werden, ob es Verfahrmöglichkeiten gibt, die einerseits im Arbeitsraum des Handhabungsgerätes liegen, andererseits aber keine Arbeitsplatzelemente berühren.

Sollten sich aufgrund der aufgeführten Überprüfungen mehrere geeignete Standpunkte für den Industrieroboter ergeben, so müssen diese anschließend hinsichtlich der folgenden Kriterien verglichen werden:

- Sicherheit,
- Zugänglichkeit,
- erreichbare Taktzeit,
- Belastung des Handhabungsgerätes.

ausgewählten Layouts wirtschaftlich sein kann.

Die Verfahrzeit des Industrieroboters hängt, wie im Kap. 7.4 gezeigt wurde, wesentlich davon ab, ob das Handhabungsgerät mit einem Einfach- oder Doppelgreifer ausgerüstet wird. Aus diesem Grunde sind für den Fall, daß keine technischen Hemmnisse für den Doppelgreifereinsatz bestehen, für beide Greiferaufbauformen entsprechende Taktzeitberechnungen durchzuführen. Die Verfahrzeit ist jeweils für den Verfahrweg zu bestimmen, der das Durchfahren des Arbeitszyklusses in minimaler Taktzeit ermöglicht.

Die Festlegung des zeitminimalen Verfahrweges ist in der Regel anhand des ausgearbeiteten Layoutentwurfs problemlos möglich, lediglich in Einzelfällen ist keine direkte Festlegung möglich, z.B. wenn ein Hindernis im Verfahrweg liegt, welches auf verschiedene Weise umfahren werden kann (Schwenken über das Hindernis hinweg, Vorbeischwenken mit eingezogenem Arm (Bild 22). In diesem Fall müssen für beide Verfahralternativen die entsprechenden Verfahrzeiten bestimmt werden. Die Berechnung der Verfahrzeit kann näherungsweise nach der folgenden Formel erfolgen:

$$t_v = \sum_{j=1}^{n_{pos}} \sum_{i=1}^{i_n} \left(\frac{\Delta s_i}{v_{max}} + t_1 + t_2 \right) + \sum_{K=1}^{K_G} \left(t_{Gö} + t_{Gs} \right) + t_{wt}$$

Hierin ist:

t_v [s] = Verfahrzeit

Während zur Beurteilung der ersten beiden Kriterien der visuelle Eindruck ausreicht, muß zum Vergleich der erreichbaren Taktzeiten eine Gegenüberstellung der Handhabungsabläufe vorgenommen werden und zum Vergleich der Gerätebelastungen, die maximalen Auskragungen des Industrieroboterarmes bestimmt werden. Nachdem auf diese Weise die für die gegebene Maschinenaufstellung optimale Aufstellung des Industrieroboters ermittelt ist, muß im nächsten Planungsschritt überprüft werden, ob eine Änderung des gegebenen Layouts möglich und sinnvoll ist. Als Beurteilungskriterien müssen dabei der erforderliche Umstellungsaufwand, die gegebenen Raumverhältnisse, eventuelle Ausbringungssteigerungen sowie mögliche Vereinfachungen für die Automatisierungsmittel herangezogen werden. Sprechen diese Kriterien für eine Layoutänderung, sollte nacheinander die Möglichkeit der Maschinenanordnung entsprechend den Ideallayouts: "Kreis", "Linie" und "Doppellinie" untersucht werden.

Häufig scheitert die Realisierung dieser Layouts an den betrieblichen Randbedingungen. In diesen Fällen sind arbeitsplatzspezifische Lösungen, die den Idealayouts möglichst nahe kommen, zu entwickeln. Sollte sich hinsichtlich eines gegebenen Arbeitsplatzes zeigen, daß die Automatisierung durch ein einzelnes käufliches Handhabungsgerät nicht möglich ist, so muß versucht werden, durch den Einsatz mehrerer Industrieroboter oder durch die Anwendung anderer Handhabungseinrichtungen eine Automatisierung zu erzielen.

7.5 Berechnung der Ausbringungsrate für den automatisierten Arbeitsplatz

Zum Vergleich der verschiedenen möglichen Layoutprinzipien reichte es aus, die jeweils erforderlichen Verfahrwege bzw. Verfahrzeiten des Handhabungsgerätes qualitativ abzuschätzen. Nachfolgend ist es jedoch erforderlich, für das ausgewählte Layoutprinzip die Verfahrzeit exakter zu bestimmen, um eine Aussage über die Ausbringungsrate des Arbeitsplatzes im automatisierten Zustand zu bekommen. Aufgrund der errechneten Ausbringungsrate kann schließlich erst entschieden werden, ob die Realisierung des

n_{pos} = Gesamtanzahl der anzufahrenden Positionen

i_n = Anzahl der erforderlichen Programmschritte zum Verfahren von der Position n - 1 zur Position n

Δs, [mm; grd] = zurückgelegter Weg bzw. Drehwinkel pro Programmierschritt

V_{max} [mm/s] = maximale Geschwindigkeit

t_1 [s] = Beschleinigungszeit des Industrieroboters

t_2 [s] = Verzögerungszeit des Industrieroboters

K_G = Anzahl der Greiferöffnungs- und Schließbewegungen

$t_{GÖ}$ [s] = Zeit zum Öffnen des Greifers

t_{GS} [s] = Zeit zum Schließen des Greifers

t_{Wt} [s] = technologisch bedingte Wartezeiten des Industrieroboters (z.B. durch das Öffnen des Spannfutters einer Drehmaschine)

Für die Beschleunigungs- und Verzögerungszeiten t_1, t_2 werden in der Regel von Industrieroboterherstellern keine Werte angegeben. Hier kann von dem folgenden Schätzwert ausgegangen werden:

$t_1 + t_2 = 0{,}5$ [s] (≫Blockzeit≪)

Weiterhin kann bei der Abschätzung der erforderlichen Zeiten zum Öffnen und Schließen eines mechanischen Greifers die folgende Annahme getroffen werden:

$$t_{GÖ} \approx t_{GS} \approx 0,3 \quad [s]$$

Im allgemeinen wird ein Industrieroboter an einem Arbeitsplatz zur Einmaschinenbedienung oder zur starren Verkettung mehrerer Maschinen eingesetzt. In diesen Fällen ist die Ermittlung der Ausbringungsrate problemlos über die Gesamtmengenleistung M_F möglich. M_F gibt die Anzahl der pro Zeiteinheit von dem gesamten Arbeitsplatz produzierten Einheiten an. Die Berechnung von M_F erfolgt mit Hilfe der berechneten Industrieroboterverfahrzeit nach der folgenden Formel:

$$M_F = \frac{1}{t_v + \sum_{i=1}^{n_{masch}} (t_{hi} + t_{ni} + t_{si})} \quad \left[\frac{1}{s}\right]$$

Hierin bedeuten:

t_v [s] = Verfahrzeit

n_{masch} = Anzahl der zu bedienenden Maschinen

t_{hi} [s] = Hauptzeit der Maschine i

t_{ni} [s] = Nebenzeit der Maschine i

t_{si} [s] = sachliche Verteilzeit von Maschine i

Sehr viel seltener ist der Fall anzutreffen, daß ein Industrieroboter zur losen Verkettung von Fertigungsmitteln oder zur Bedienung mehrerer voneinander unabhängig arbeitender Fertigungsmittel eingesetzt wird. Der Haupthinderungsgrund für die Realisierung derartiger Einsatzfälle liegt in der mangelnden Flexibilität der gegenwärtig verfügbaren Greifsysteme. In bezug auf

ein solches Arbeitssystem reicht eine Größe zur Kennzeichnung der Mengeleistung nicht aus. In diesem Fall ist es erforderlich, die Mengeleistung bezüglich jedes Fertigungsmittels zu berechnen. Voraussetzung für die Berechnung der Einzelleistungen ist dabei die Aufteilung der Gesamtverfahrzeit in Bedienzeiten für die einzelnen Arbeitsplatzelemente.

Es läßt sich dann die Mengenleistung in bezug auf eine bestimmte Maschine i nach der folgenden Gleichung berechnen:

$$M_{Fi} = \frac{1}{t_{hi} + t_{ni} + t_{bi} + t_{wi}} \qquad \left[\frac{1}{s}\right]$$

Hierbei bedeuten:

t_{bi} [s] = erforderliche Handhabungszeit zur Bedienung der Maschine i

t_{wi} [s] = mittlere Wartezeit der Maschine i nach dem Auftreten einer Forderung

Eine exakte Berechnung der mittleren Wartezeit t_{wi} ist nur durch eine Simulation des automatisierten Gesamtsystems möglich. Entsprechende Simulationsprogramme wurden am IPA entwickelt /11/. Statistisch orientierte Aussagen hinsichtlich der im System auftretenden Wartezeiten sind daneben auch mit Hilfe der Warteschlangentheorie /12, 13, 14/ möglich. Die Anwendung dieses Verfahrens ist jedoch an die Voraussetzung gebunden, daß die im System auftretenden Forderungen - im gegebenen Fall nach Be- und Entladung der Maschinen - stochastisches Verhalten aufweisen. Diese Bedingung ist bei den gegebenen Einsatzfällen häufig nicht erfüllt, beispielsweise bei der losen Verkettung, die zu sehr engen funktionalen Abhängigkeiten zwischen den Fertigungsmitteln führt.

3.8 Vergleich alternativer Lösungen

Aufgrund der vorangegangenen Planungsschritte liegen i. allg. mehrere alternative Lösungskonzepte für die Realisierung des gegebenen Einsatzfalles vor. Aus dieser Lösungsmenge ist die in technisch und wirtschaftlicher Hinsicht optimale Variante auszuwählen. Diese Auswahl ist zweckmäßig in zwei Stufen durchzuführen: In einem ersten Schritt sind die nicht wirtschaftlichen Lösungen auszuscheiden. Im Anschluß daran sind die verbleibenden Lösungen einer mehrdimensionalen Bewertung nach dem Prinzip der Nutzwertanalyse zu unterziehen.

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einer Investition haben sich in der Praxis folgende Kenngrößen bewährt:

- Kostenersparnis,
- Amortisation,
- Rentabilität,
- Grenzstückzahl.

Zur Berechnung dieser Kenngrößen können sowohl statische als auch dynamische Rechenverfahren eingesetzt werden. Die dynamischen Rechenverfahren stellen hohe Anforderungen an die Datenerfassung. Sie bieten nur dann Vorteile gegenüber den statischen Verfahren, wenn die Einnahmen- und Ausgabenentwicklung über die gesamte Nutzungsdauer mit hoher Genauigkeit vorhergesagt werden kann. Da dies beim Einsatz von Industrierobotern aufgrund fehlender Erfahrungswerte derzeit nicht möglich ist, erscheint die Anwendung dynamischer Verfahren für die vorliegende Aufgabe nicht sinnvoll.

In Bild 23 ist ein Vorschlag für die Durchführung der Wirtschaftlichkeitsberechnung mittels statischer Verfahren dargestellt. Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeitsberechnung ist eine detaillierte Erfassung sämtlicher Kosten, die an dem gegebenen Arbeitsplatz im manuellen Zustand und in dem konzipierten automatisierten Zustand anfallen. Ein Überblick über die Kostenarten, die im einzelnen bei einem Industrierobotereinsatz zu berück-

sichtigen sind, gibt die in Bild 24 dargestellte Checkliste. Nach der Datenerfassung können sukzessive die Kostenersparnis, die Rentabilität und die Amortisationszeit berechnet werden. Ist aufgrund dieser Ergebnisse keine eindeutige Entscheidung für bzw. gegen die untersuchte Lösung möglich, so muß zur genaueren Abschätzung des Investitionsrisikos eine Sensitivitätsanalyse folgen. Dieses Verfahren ermöglicht es, den Einfluß einer oder mehrerer unsicherer Eingangsgrößen auf die berechneten Wirtschaftlichkeitskenngrößen zu verdeutlichen /15/.

Aus der Menge der Lösungen, die den Wirtschaftlichkeitsanforderungen genügen, ist schließlich die Lösungsvariante auszuwählen, die nach technischen, wirtschaftlichen und humanitären Gesichtspunkten den größten Erfolg verspricht. Für diese Aufgabe stellt die Nutzwertanalyse das geeignete Hilfsmittel dar. Sie ermöglicht die Berücksichtigung sowohl qualitativer als auch quantitativer Eigenschaften der Alternativen und läßt mehrfache Zielsetzungen zu. Sie umfaßt im einzelnen die folgenden Arbeitsschritte (Bild 25):

1. Zusammenstellung aller Zielkriterien, nach denen die Lösungsalternativen beurteilt werden sollen. Dabei können die Zielkriterien sowohl quantifizierbare als auch nicht quantifizierbare und mit unterschiedlichen Dimensionen (z.B. KW, DM) behaftete Kriterien umfassen. Für die vorliegende Bewertungsaufgabe bieten sich u.a. die folgenden Kriterien an:

   - Zuverlässigkeit,
   - Ausbringung,
   - Platzbedarf,
   - Umrüstbarkeit,
   - Zugänglichkeit,
   - Sicherheit,
   - Arbeitsbedingungen für verbleibendes Personal,
   - Wiederverwendbarkeit.

2. Gewichtung der Zeitkriterien hinsichtlich ihres Einflusses auf den Gesamtnutzen.
3. Ermittlung der Zielwerte, d.h. Bewertung der Lösungsalternativen hinsichtlich der Frage, inwieweit die einzelnen Zielkriterien erfüllt werden.
4. Bestimmung der Nutzwerte, d.h. Bestimmung der Teilnutzwerte aller Lösungsalternativen. Die Summe der Teilnutzwerte ergibt die jeweiligen Nutzwerte der Lösungsalternativen.
5. Erstellen der Rangordnung für die Lösungsalternativen mit Hilfe der ermittelten Nutzwerte.

9 Realisierung des Lösungskonzeptes

Falls in der vorangegangenen Planung ein wirtschaftliches Automatisierungskonzept erarbeitet werden konnte, so gilt es, nachfolgend Maßnahmen zur Realisierung dieses Konzeptes zu erarbeiten. Dazu sind zunächst alle anfallenden Einzelaufgaben zu analysieren und ihre zeitliche und logische Reihenfolge abzuklären. Als Ergebnis dieser Untersuchungen kann ein Netzplan aufgestellt werden, der als Leitfaden für die weitere Vorgehensweise dient. In Bild 26 ist ein derartiger Netzplan mit den wichtigsten bei der Realisierung des Lösungskonzeptes anfallenden Aufgaben dargestellt. Es wird deutlich, daß bis zur endgültigen Eingliederung des Industrieroboters in den Herstellungsprozeß eine Fülle von zum Teil sehr komplexen Problemen zu lösen ist.

Als erstes sollten die Kenndaten der ausgewählten Geräte nochmals einem kritischen Vergleich mit den Anforderungen des Arbeitsplatzes unterzogen werden, um eventuell erforderliche Geräteänderungen bzw. Sonderausführungen festzulegen. Anschließend sind auf der Grundlage dieser Untersuchung die Bestellungen der betreffenden Geräte auszuschreiben. Parallel zu diesen Aufgaben muß abgeklärt werden, ob die erforderlichen Änderungs- und Anpaßarbeiten an dem gegebenen Arbeitsplatz durch Abteilungen des eigenen Unternehmens durchgeführt werden können, oder ob es zweckmäßig ist, diese Arbeiten von externen Betrieben ausführen zu lassen. Ebenso muß untersucht werden, ob die erforderlichen

Umbauarbeiten nach außen vergeben werden sollten. Zur Abklärung dieser Fragen müssen die Kapazitäten der eigenen Firma abgeschätzt und Fremdangebote eingeholt werden. Als Ergebnis dieser Untersuchungen können schließlich die für die jeweiligen Arbeiten optimal geeigneten Stellen ausgewählt und mit der Durchführung beauftragt werden.

An die Lieferung des Industrieroboters und der peripheren Einrichtungen kann sich eine Erprobung der Geräte im Versuchsfeld anschließen. Diese Erprobung sollte in zwei Stufen erfolgen. Zunächst sollte im Rahmen einer Abnahmeprüfung kontrolliert werden, ob die herstellerseitig zugesagten Kennwerte tatsächlich erreicht werden. Hierbei sind in bezug auf den Industrieroboter vor allem die Positioniergenauigkeit und die erreichbaren Geschwindigkeiten unter Last zu prüfen. Geeignete Vorgehensweisen für diese Geräteprüfungen wurden gleichfalls am IPA /15/ erarbeitet. Danach sollte der Industrieroboter mit der Peripherie verkettet werden, um das Verhalten des Gesamtsystems zu testen. Hierbei muß die Verknüpfung zu den Fertigungsmitteln durch geeignete Nachbauten bzw. Versuchseinrichtungen simuliert werden.

Eine Erprobung im Versuchsfeld ist dann sinnvoll, wenn ein technisch neuartiger Einsatzfall vorliegt, bei dem mit einer langen Installations- und Erprobungszeit zu rechnen ist. Auf eine derartige Erprobung kann verzichtet werden, wenn es gelingt, den Produktionsausfall, der durch die Installation des Handhabungsgerätes verursacht wird, durch eine Vorproduktion an dem zu automatisierenden Arbeitsplatz oder durch eine Erweiterung der Kapazität an einem Ausweichplatz (z.B. Übergang vom 1-Schicht- zum 2-Schicht-Betrieb) auszugleichen. Weiterhin ist ein Produktionsausfall zu verhindern, wenn die Betriebsferien für die Installation genutzt werden.

Nach der Erprobung im Versuchsfeld, die eventuell noch zu Änderungen an dem entworfenen Layout führt, kann mit den Umbauarbeiten begonnen werden. Diese Arbeiten können sich im einzelnen auf die folgenden Gebiete erstrecken:

- Verlegung der Energieversorgung,
- Umbau der Absaugvorrichtungen,
- Erstellen neuer Maschinenfundamente,
- Verstärkung der Boden- und Deckenstützen.

Parallel zu diesen Umbauten können die erforderlichen Änderungsmaßnahmen an den Fertigungsmitteln vorgenommen werden (Einbau von Kontrolleinrichtungen zur Überwachung des Funktionsablaufes, nachträgliche Automatisierung der Hilfsstoffzufuhr, Abfallabfuhr usw.).

Bei der anschließenden Installation des Industrieroboters und der peripheren Einrichtungen stellen die Verkettung der Teilsysteme und ihre Verknüpfung mit den Fertigungs- und Fördereinrichtungen die Hauptprobleme dar.

Das automatisierte Gesamtsystem muß nachfolgend unter Produktionsbedingungen getestet werden. Hierbei müssen alle Störungen und Ausfälle protokolliert werden. Aufgrund der angefertigten Protokolle sind anschließend die Fehlerquellen zu analysieren und geeignete Änderungsmaßnahmen auszuarbeiten. Neben den aufgeführten technischen Aufgaben sind bis zur Aufnahme der Produktion an dem Industrieroboter bedienten Arbeitsplatz auch wichtige organisatorische Aufgaben zu lösen. So sind für den Fall, daß durch die Automatisierung eine Ausbringungssteigerung erreicht werden kann, entsprechende Eingriffe in die Fertigungssteuerung und die Materialflußplanung vorzunehmen. Ebenso müssen Änderungen in diesen Bereichen vorgenommen werden, wenn das am automatisierten Arbeitsplatz bearbeitete Werkstückspektrum nicht mehr mit demjenigen des manuell bedienten Arbeitsplatzes übereinstimmt.

Neben diesen ablauforganisatorischen Änderungen muß der Personaleinsatz an dem automatisierten Arbeitsplatz geplant und entsprechende Schulungen des Bedienungs- und Wartungspersonals vorgenommen werden. Schließlich ist es noch erforderlich, in Informationsgesprächen eventuell bestehende Bedenken der Belegschaft gegen den Einsatz des Industrieroboters abzubauen.

Wie den obigen Ausführungen zu entnehmen ist, stellt die Realisierung eines Industrieroboter-Einsatzes eine sehr komplexe Aufgabe dar. Für die Durchführung dieser Aufgabe ist ein umfangreiches Spezialwissen erforderlich, über das die Anwenderfirmen nur in Ausnahmefällen verfügen. Die Realisierung muß daher in der Regel vom Anwender und vom Gerätehersteller gemeinsam durchgeführt werden. Darüber hinaus ist es oft ratsam, zur Lösung von Teilproblemen die Beratung von Ingenieurbüros bzw. Forschungsinstituten in Anspruch zu nehmen.

10 Ausblick

Der Einsatz von Industrierobotern ist bereits heute in vielen Bereichen wirtschafltich möglich. Voraussetzung ist allerdings eine systematische, methodische Automatisierungsplanung. Eine entsprechende Vorgehensweise wurde in ihrer Grobstruktur vorgestellt. Zukünftig werden sich die Anwendungsmöglichkeiten für Industrieroboter noch wesentlich erweitern. Hierfür sprechen in technischer Hinsicht vor allem bemerkenswerte Neuerungen auf diesem Gebiet der Geräteperipherie, wie beispielsweise die Entwicklung von Fernsehsystemen zur Werkstückerkennung oder taktiler Sensoren zur Feinpositionierung von Werkstücken. In wirtschaftlicher Hinsicht sprechen vor allem die schnell steigenden Lohnkosten auf der einen Seite und die Verbilligung der Prozessoren auf der anderen Seite für eine zunehmende Verbreitung dieser jungen Technologie.

11 Literaturverzeichnis

/1/ Herrmann, G.: Analyse von Handhabungsvorgängen im Hinblick auf deren Anforderungen an programmierbare Handhabungsgeräte (PHG) in der Teilefertigung. Dr.-Ing.-Dissertation Universität Stuttgart, 1976.

/2/ Warnecke, H.-J.; Nicolaisen, P.: 520 Industrie-Roboter in Deutschland. VDI-Nachrichten (1978), Nr. 14, S. 2.

/3/ Brodbeck, B.; Schmidt-Streier, U.: Neue Handhabungssysteme als technische Hilfe für den Arbeitsprozeß. Abschlußbericht (Teil 2) zum gleichnamigen Forschungsvorhaben des Bundesministeriums für Forschung und Technologie, Juli 1980.

/4/ Warnecke, H.-J.; Schraft, R.-D.: Industrieroboter. Mainz: Krausskopf-Verlag 1979.

/5/ Warnecke, H.-J.; Weiss, K.: Katalog Zubringeeinrichtungen - Hilfsmittel zur Planung von Handhabungssystemen. Mainz: Krausskopf-Verlag 1970.

/6/ Konold, P.; Kern, H.; Reger, H.: Arbeitssystem Elemente Katalog - Hilfsmittel zur Planung von Arbeitssystemen. Mainz: Krausskopf-Verlag 1977.

/7/ Zangenmeister, L.: Grundzüge der Nutzwertanalyse in der Systemtechnik. München: Wittemannsche Buchhandlung 1970.

/8/ Warnecke, H.-J.; Herrmann, G.: Handhabungsgerechte Gestaltung von Werkzeugmaschinen. Wt-Z. ind. Fertigung 65 (1975), S. 275-280

/9/ Warnecke, H.-J.; Schraft, R. D.: Industrieroboter Katalogband. Mainz: Krausskopf-Verlag 1980.

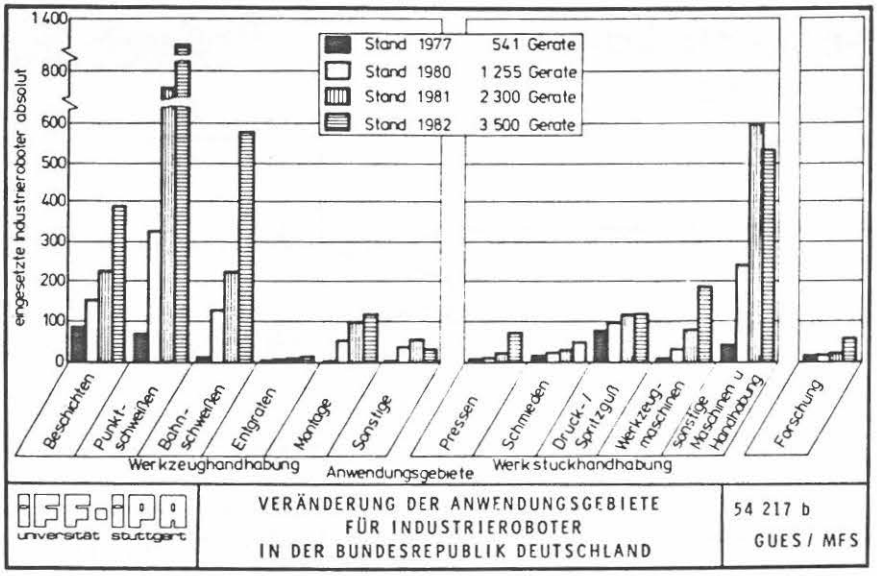
/10/ Schmidt-Streier, U.: Einsatzplanung von Industrierobotern - Interaktives grafisches Rechnersystem hilft. Technische Rundschau, (1980), Nr. 27.

/11/ Schmidt-Streier, U.: Methode zur rechnerunterstützten Einsatzplanung von programmierbaren Handhabungsgeräten. Berlin-Heidelberg-New York: Springer-Verlag 1982.

/12/ Gnedenko, B. W.; Kowalenko, I. N.: Einführung in die Bedientheorie. München: Oldenbourg Verlag, 1971.

/13/ Taha, H.: Operations Research. New York: Macmillan Company, 1971.

/14/ Conolly, B.: Future Notes on Queuing Systems. New York, London: John Wiley & Sons, 1975.



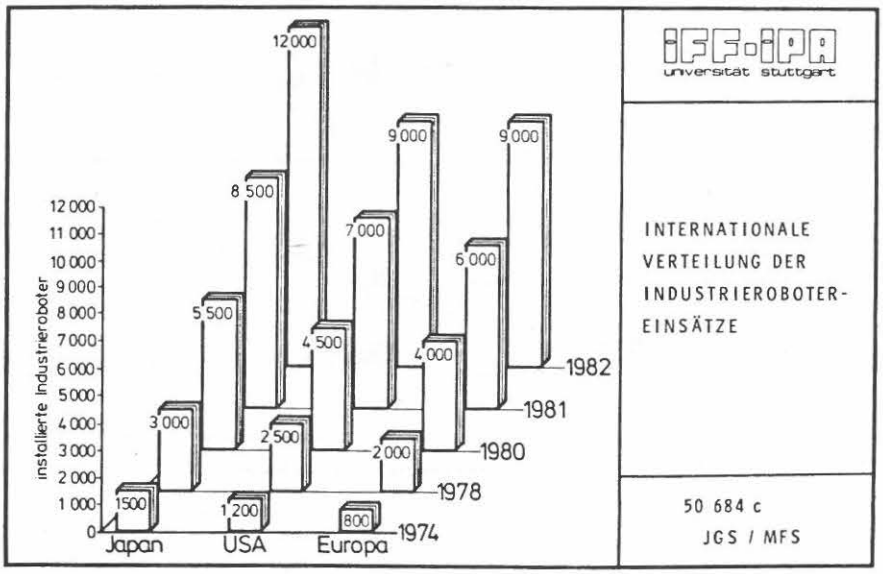


Bild 1a/b: Veränderung der Industrieroboter-Einsatzzahlen national und international

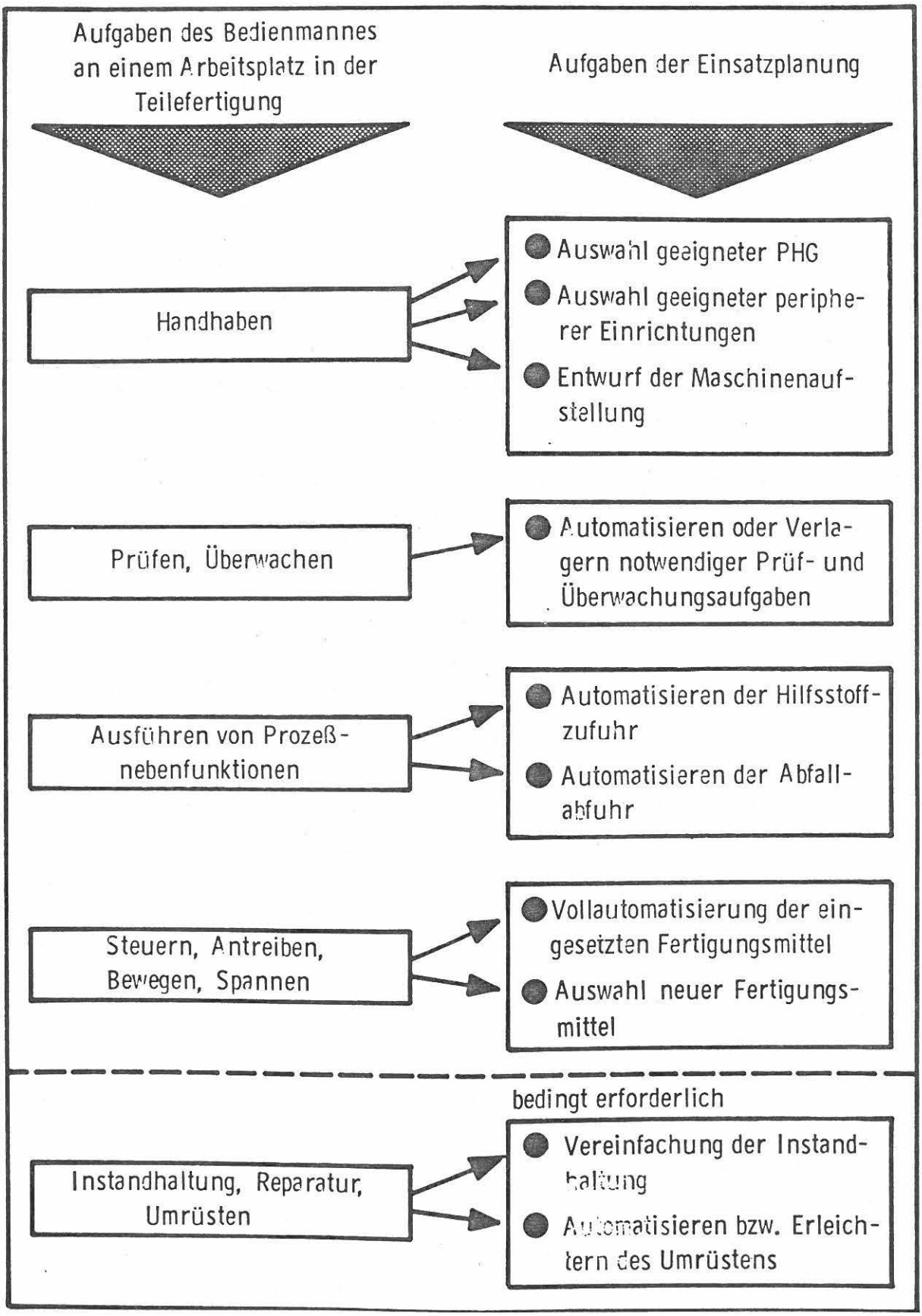


Bild 2: Aufgaben des Bedienmannes an einem Arbeitsplatz und die daraus resultierenden Aufgaben der Industrieroboter-Einsatzplanung

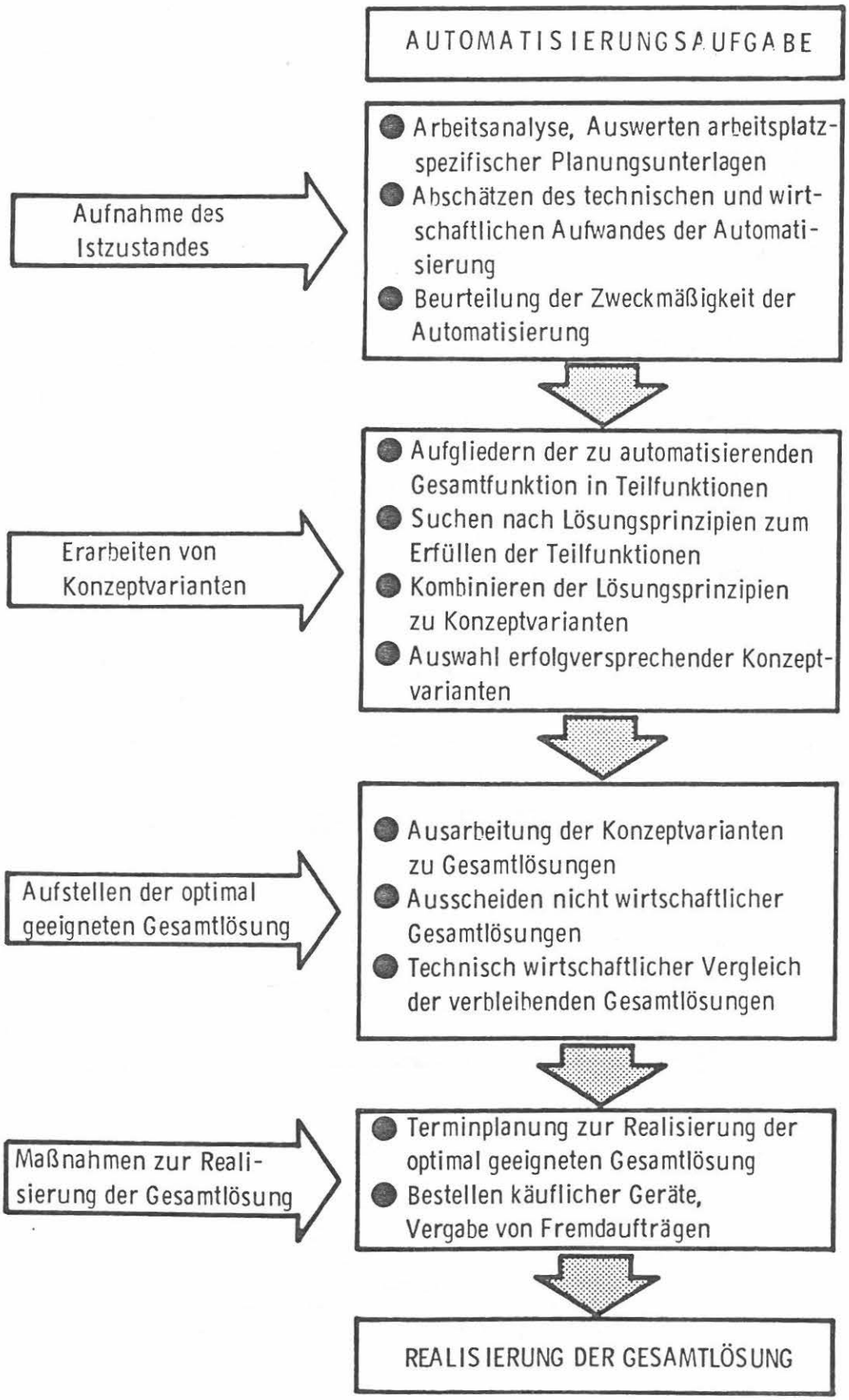


Bild 3: Überblick über die Vorgehensweise der Einsatzplanung von Industrierobotern

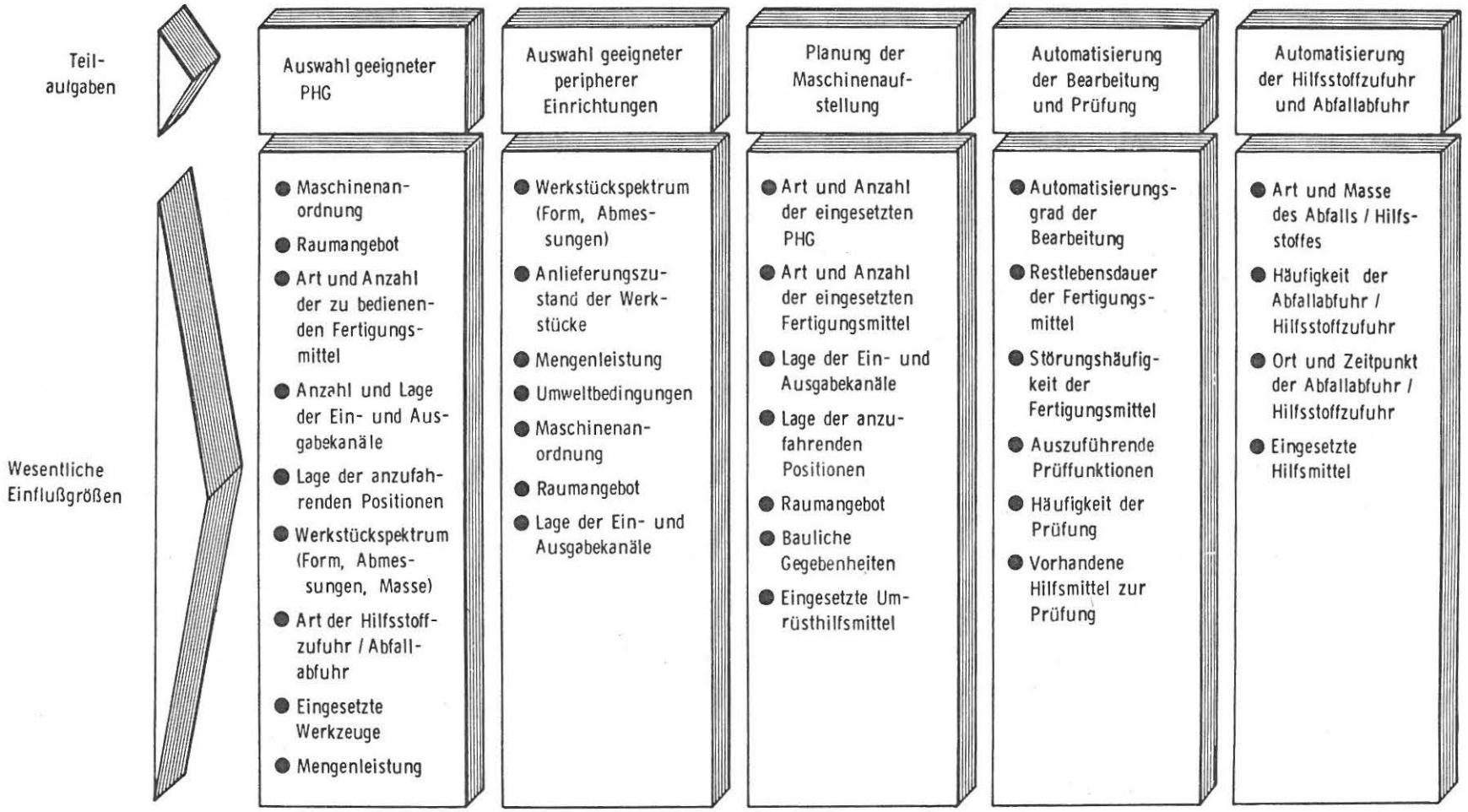


Bild 4: Wichtige Teilaufgaben der Einsatzplanung von Industrierobotern mit ihren wesentlichen Einflußgrößen

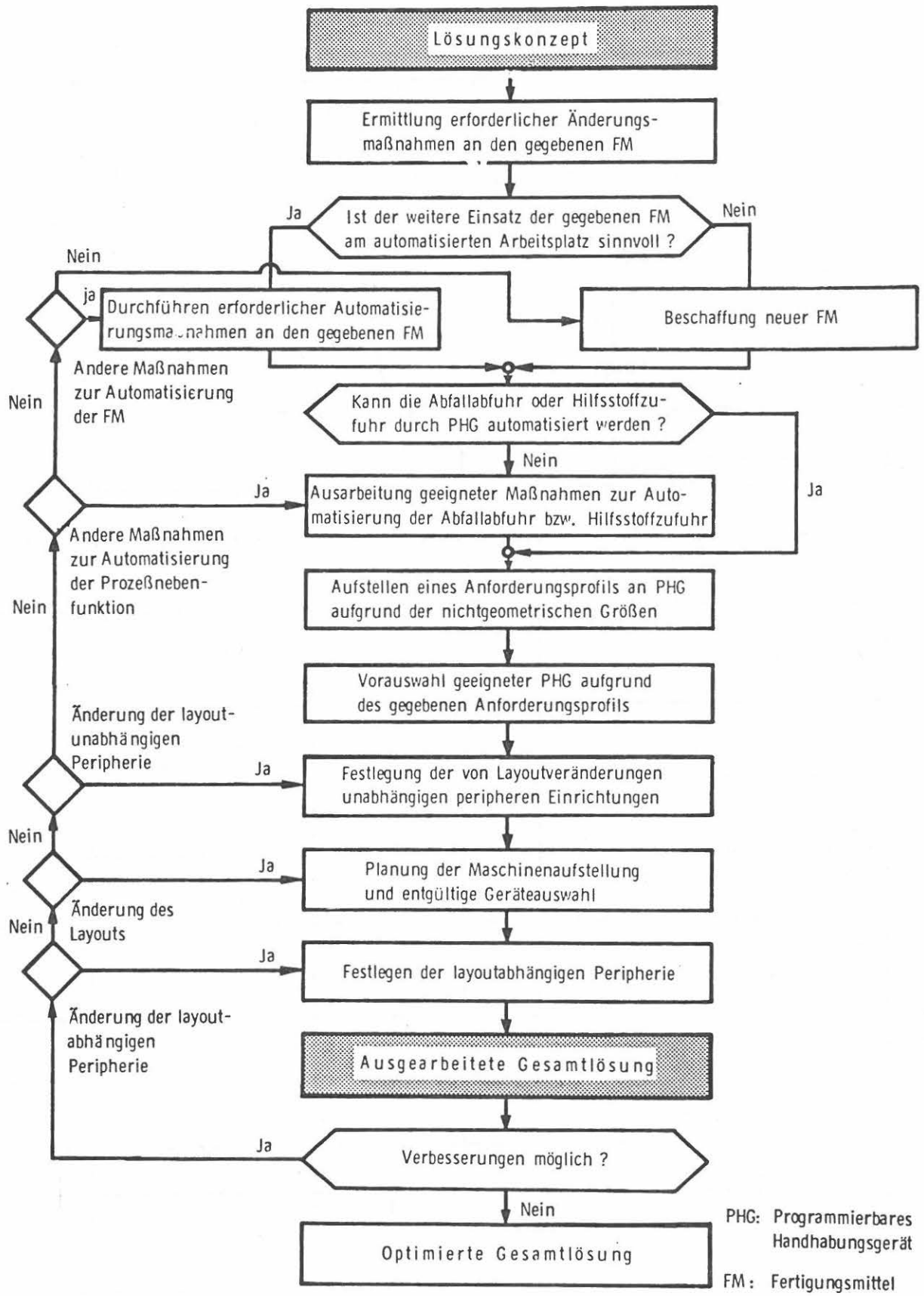


Bild 5: Ablaufplan zur Ausarbeitung der automatisierten Gesamtlösung

KRITERIEN		ARBEITSPLATZ								
										Bezeichnung
										Nr.
PERSONAL-PROBLEME	Besetzungsprobleme									
	Hohe Fluktuation									
	Hohe Erschwernis-zulagen									
	Hohe Erholzeit-zuschläge									
BELASTUNGS-	Unfallgefährdung									
	Schädigende Um-gebungseinflüsse									
	Hohe körperliche Beanspruchung									
	Psychische Unter-forderung									
PRODUKTIONS-	Stückzahlprobleme									
	Qualitätsprobleme									
	Flexibilitätsprobleme									
	Überdurchschnitt-licher Lohnkosten-anteil									
	Probleme an Betriebsmitteln									

Bild 6: Checkliste zur Auswahl von Problemarbeitsplätzen

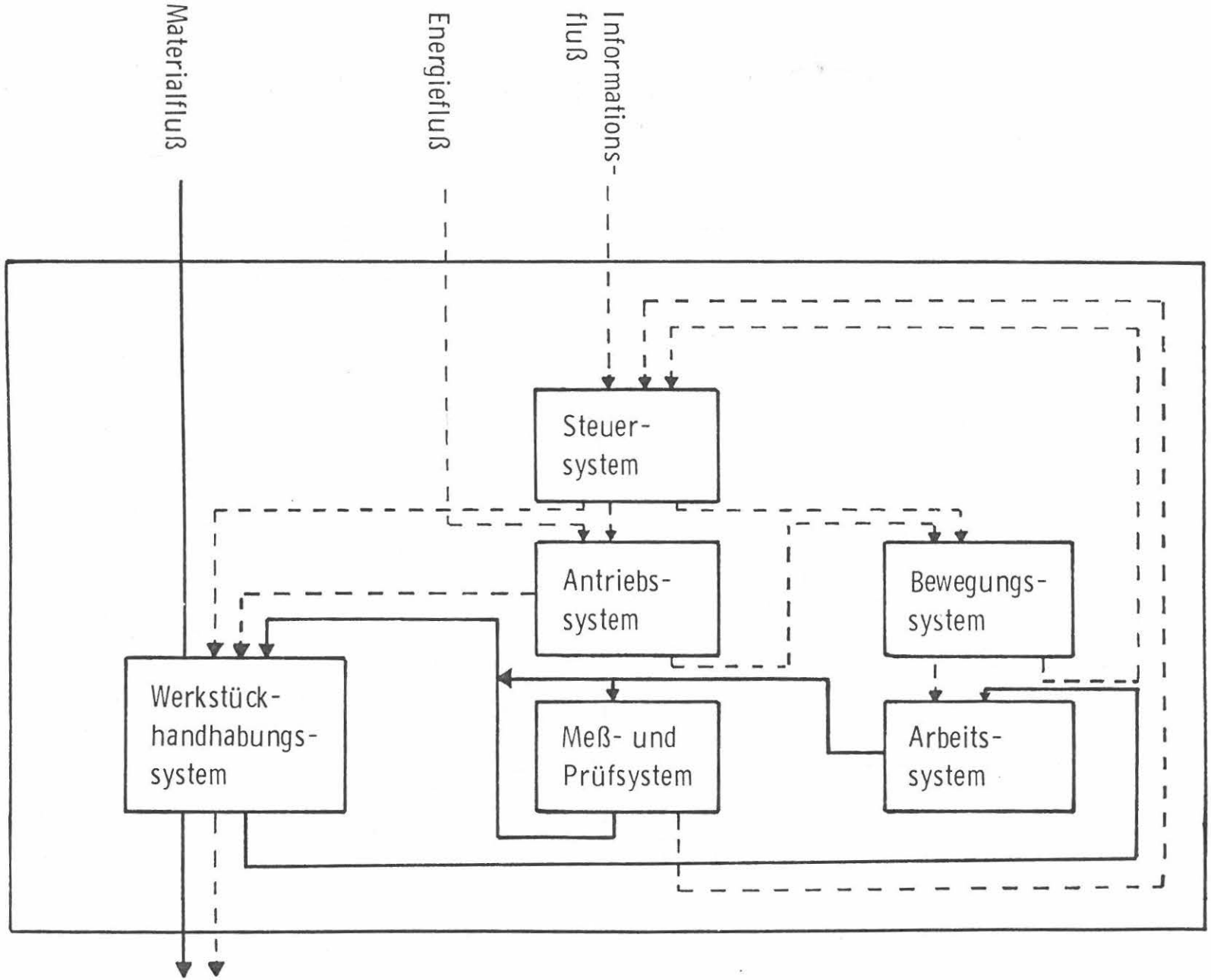


Bild 7: Funktionale Struktur eines Fertigungssystems

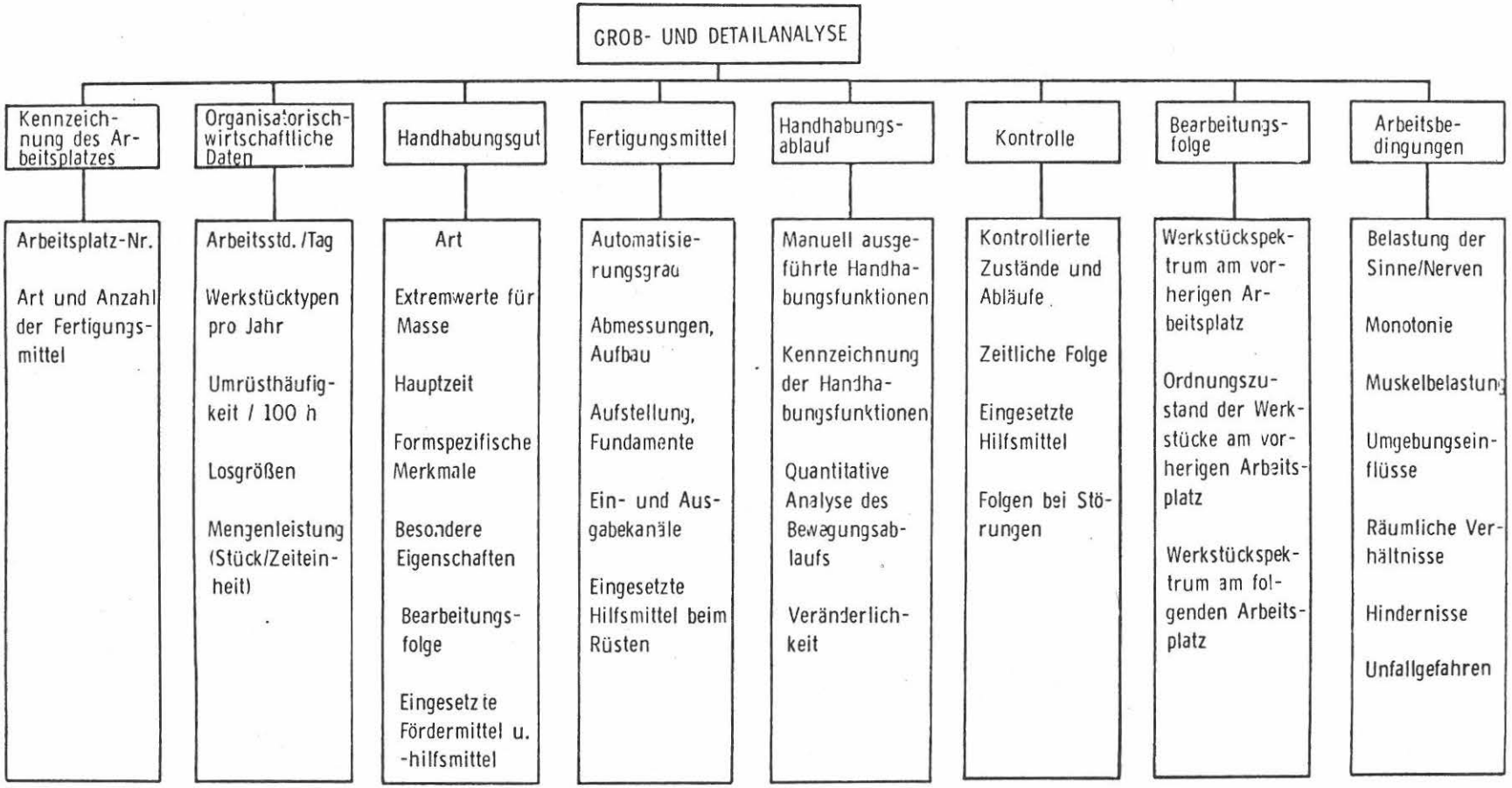


Bild 8: Gliederung der Grob- und Detailanalysen

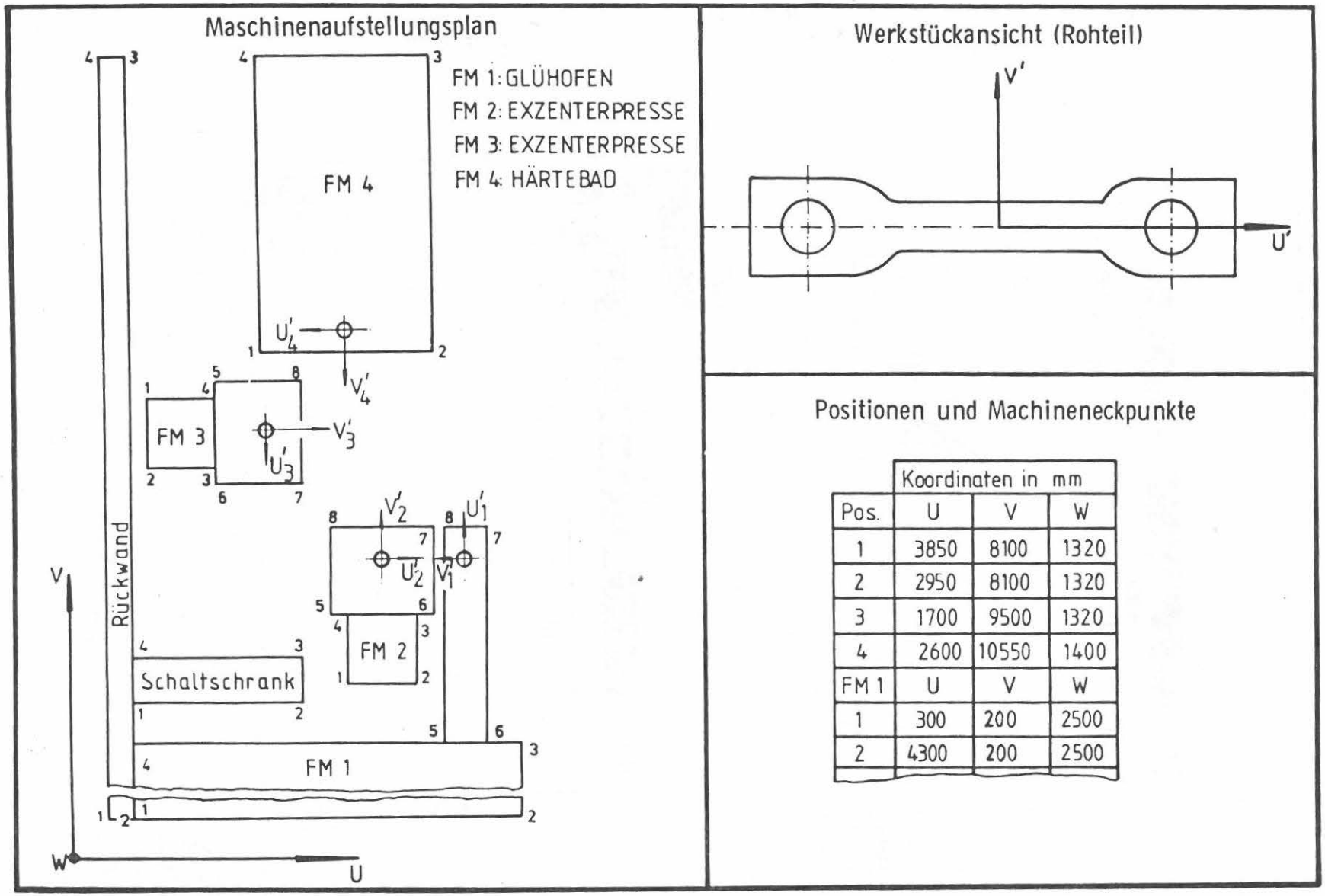


Bild 9: Beispiel zur Erfassung der geometrischen Gegebenheiten an einem Arbeitsplatz

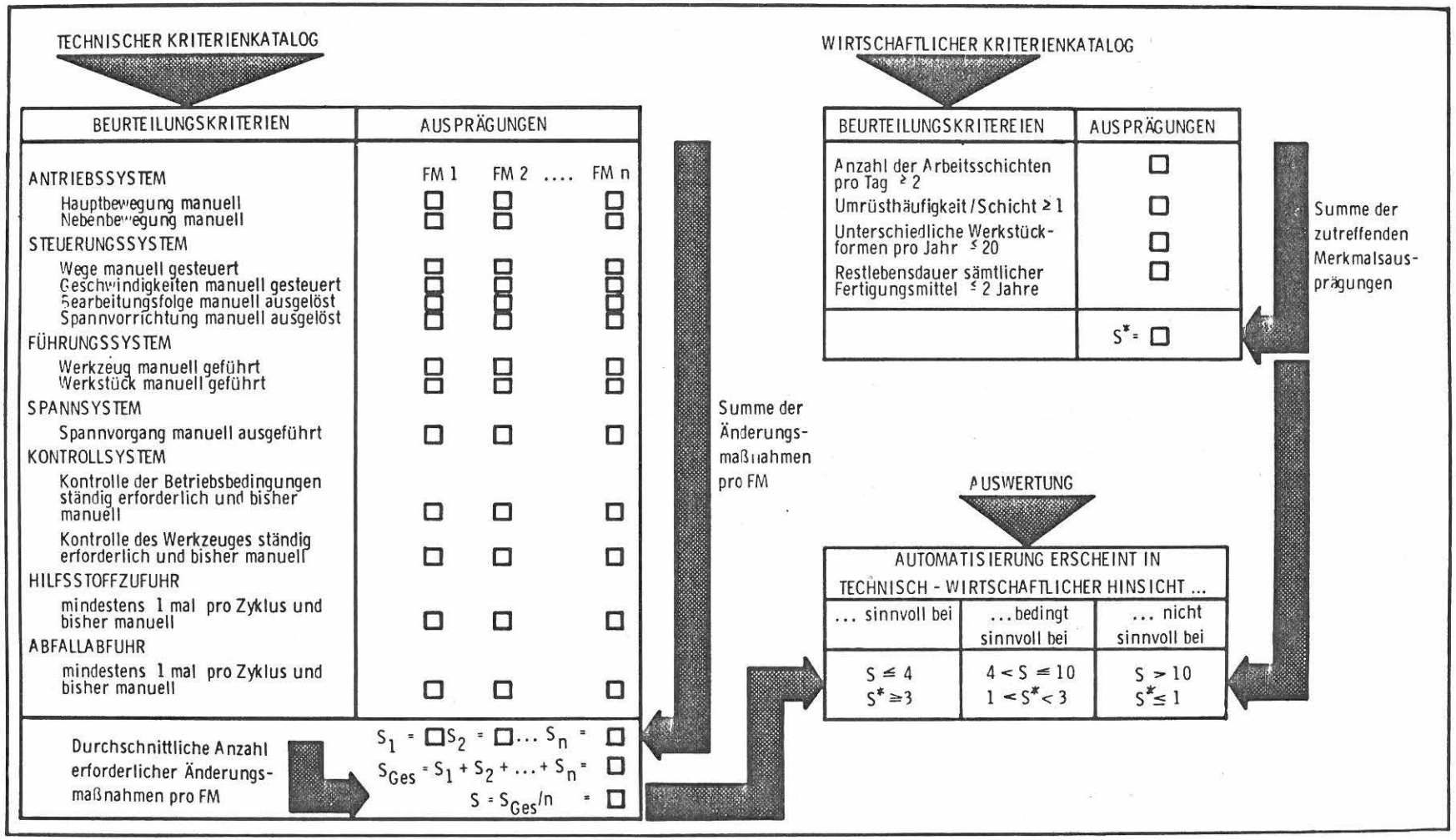


Bild 1o: Kriterienkatalog zum Abschätzen der Realisierbarkeit handhabungsspezifischer Automatisierungsmaßnahmen

Merkmal / Bewertungsfaktor	Belastung der Sinne und Nerven	Monotonie	Belastung der Muskeln	Lärm
Grundlage der Bewertung	Maßgebend ist die verlangte Anforderung an Sehen, Hören, Fühlen, Tasten zur Erfassung des beobachteten Zustands oder Ablaufs	Monotonie wird gemessen an der Häufigkeit mit der Veränderungen im Arbeitsablauf auftreten, sowie der Notwendigkeit selbständigen Überlegens und Entscheidens	Maßgebend sind Betrag, Dauer und zeitliche Verteilung der Belastung	Maßgebend sind Lautstärke, Art des Lärms (Frequenz) und zeitlicher Verlauf der Einwirkung
sehr geringe Belastung	Beobachten einfacher Abläufe	Einzelfertigung größerer Bauteile oder Strukturen, z. B. von Pressenwerkzeugen	Sitzende Tätigkeit, Handhabung von leichten Werkstücken	keine oder geringe Maschinengeräusche, z. B. im Kontrollraum
geringe Belastung	Beobachten komplexer Abläufe z. B. an NC-Bohr- und Fräswerk	Klein- oder Mittelserienfertigung komplizierter Bauteile mit häufigen Programmwechseln, z. B. an NC-Maschinen	Stehende Tätigkeit Handhabung von leichten Werkstücken	Maschinenlärm ohne besondere Lärmspitzen
mittlere Belastung	Ausführung genauer, nicht routinemäßiger Arbeiten z. B. im Werkzeugbau	Mittel- bis Großserienfertigung einfacher Bauteile mit gelegentlichen Programmwechseln, z. B. Beschicken von Pressen zur Blechbearbeitung	stehende Tätigkeit mit häufigem Bücken und Anheben von Teilen	Geräusch von Pressen bei der Blechbearbeitung
hohe Belastung	Ständige Ausführung von schwierigen Kontrollaufgaben an kleinen oder sehr präzisen Teilen	Massenfertigung mit seltenen Änderungen z. B. PKW-Montage	stehende Tätigkeit mit regelmäßiger Handhabung von Teilen mit über 10 kg Masse	Geräusch von Schmiedehämmern

Bild 11: Beispiele für die Bewertung der Arbeitsbedingungen

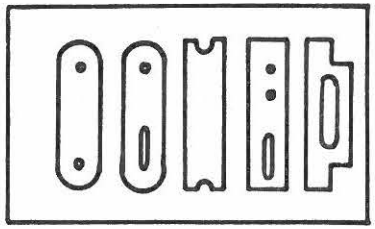
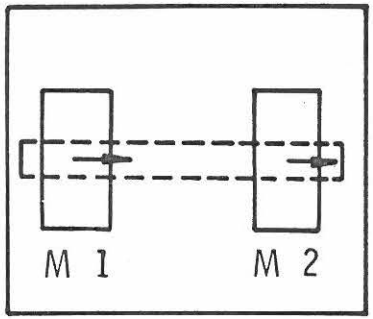
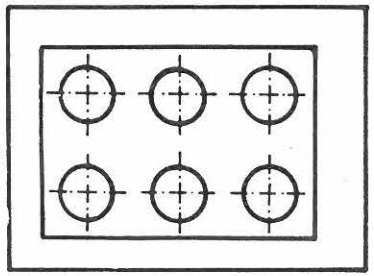
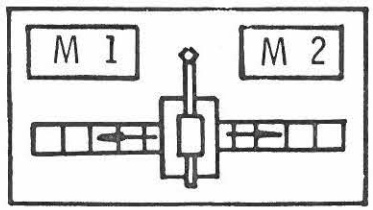
Maßnahmen	Voraussetzungen
Teilefamilienbildung aus Werkstücken mit ähnlichen Handhabungseigenschaften 	● mehrere gleichartige Fertigungsmittel im untersuchten Fertigungsbereich ● identischer Arbeitsablauf mehrerer Werkstücke
Verkettung zweier aufeinanderfolgender Arbeitsplätze 	● gleiches Teilespektrum ● Teile liegen nach Bearbeitung am ersten Arbeitsplatz geordnet vor ● annähernd gleiche Bearbeitungszeiten ● räumliche Zuordnung der Arbeitsplätze gegeben bzw. möglich
Anlieferung bzw. Abtransport der Werkstücke in Magazinen 	● Automatisches Ordnen am gegebenen bzw. folgenden Arbeitsplatz schwierig ● starre Verkettung mit vorhergehenden bzw. folgenden Arbeitsplätzen nicht möglich ● Teilevielfalt beschränkt
Bedienung mehrerer Arbeitsplätze durch ein Handhabungsgerät 	● lange Bearbeitungszeiten ● räumliche Zuordnung der Arbeitsplätze gegeben bzw. möglich

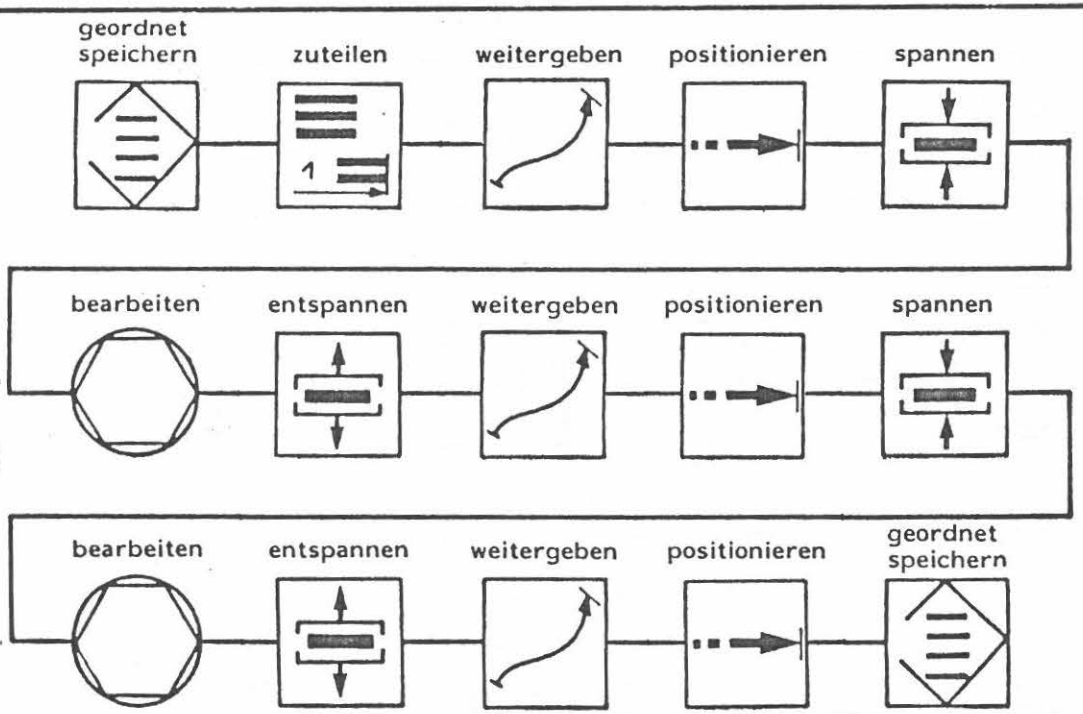
Bild 12: Technisch-organisatorische Maßnahmen zur Automaisierung der Werkstückhandhabung

FUNKTIONSBESCHREIBUNG

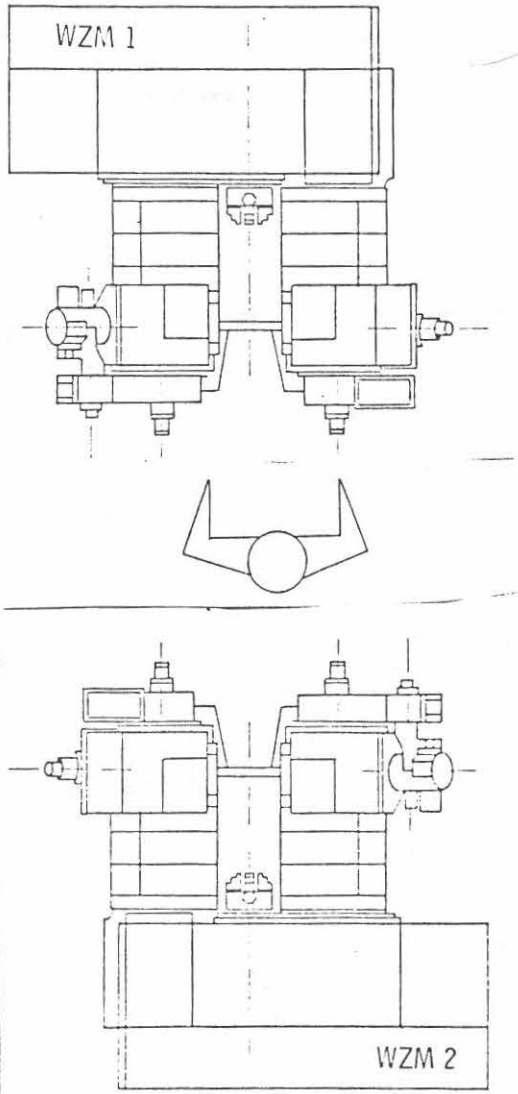
Verketten von 2 Futterdrehhalbautomaten

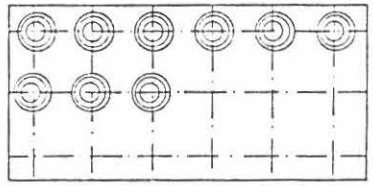
Am vorliegenden Arbeitsplatz wird ein auf einer Palette geordnet bereitliegendes Werkstück gegriffen, in die Bearbeitungslage für die WZM 1 gedreht und in diese eingegeben. Nach der Bearbeitung wird das Teil entnommen, um 180^0 gewendet und in die WZM 2 eingegeben. Nachdem das Teil auf der WZM 2 fertig bearbeitet ist, wird es wiederum unter Ausführung einer Drehbewegung auf einer Palette abgelegt.

FUNKTIONSPLAN

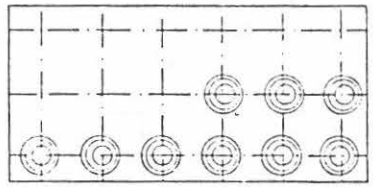


DARSTELLUNG DES ARBEITSPLATZES





Palette mit unbearbeiteten Teilen



Palette mit bearbeiteten Teilen

WZM = Werkzeugmaschine

Bild 13: Beispiel für die Darstellung des Handhabungsablaufes in Funktionsplänen

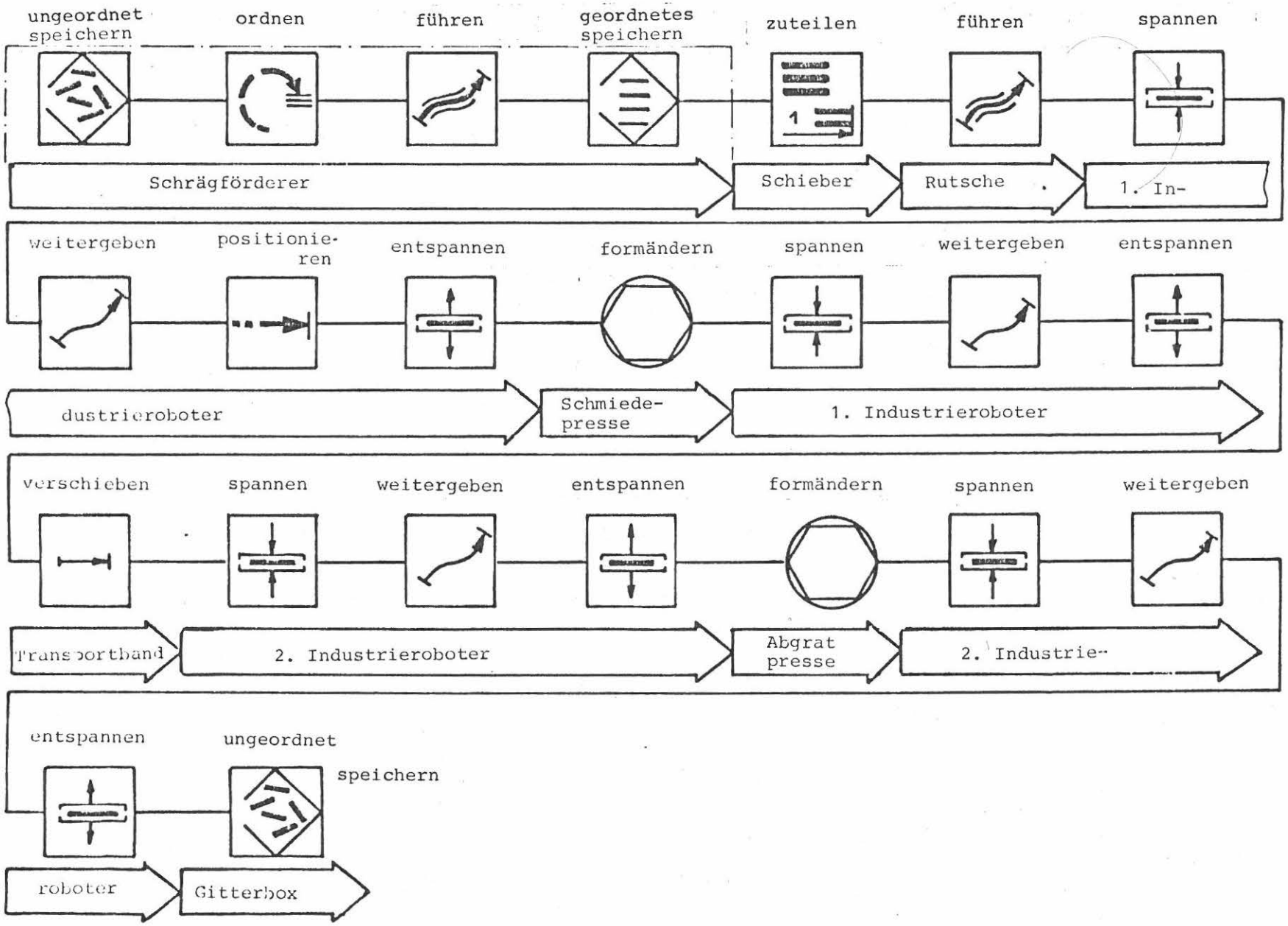


Bild 14: Beispiel für die Zuordnung von Systemlösungen zu Funktionsplänen

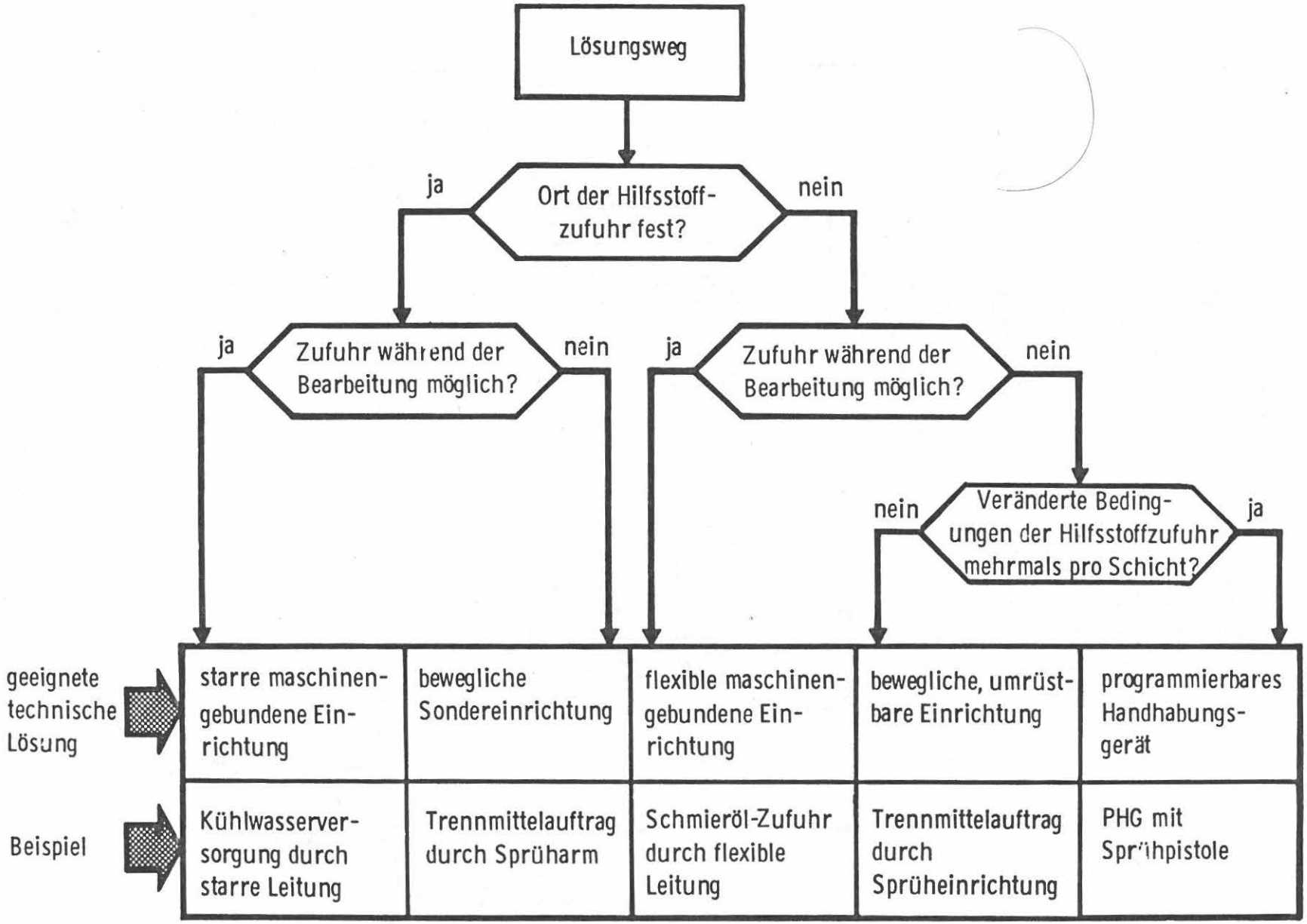


Bild 15: Maßnahmen zur nachträglichen Automatisierung der Hilfsstoffzufuhr

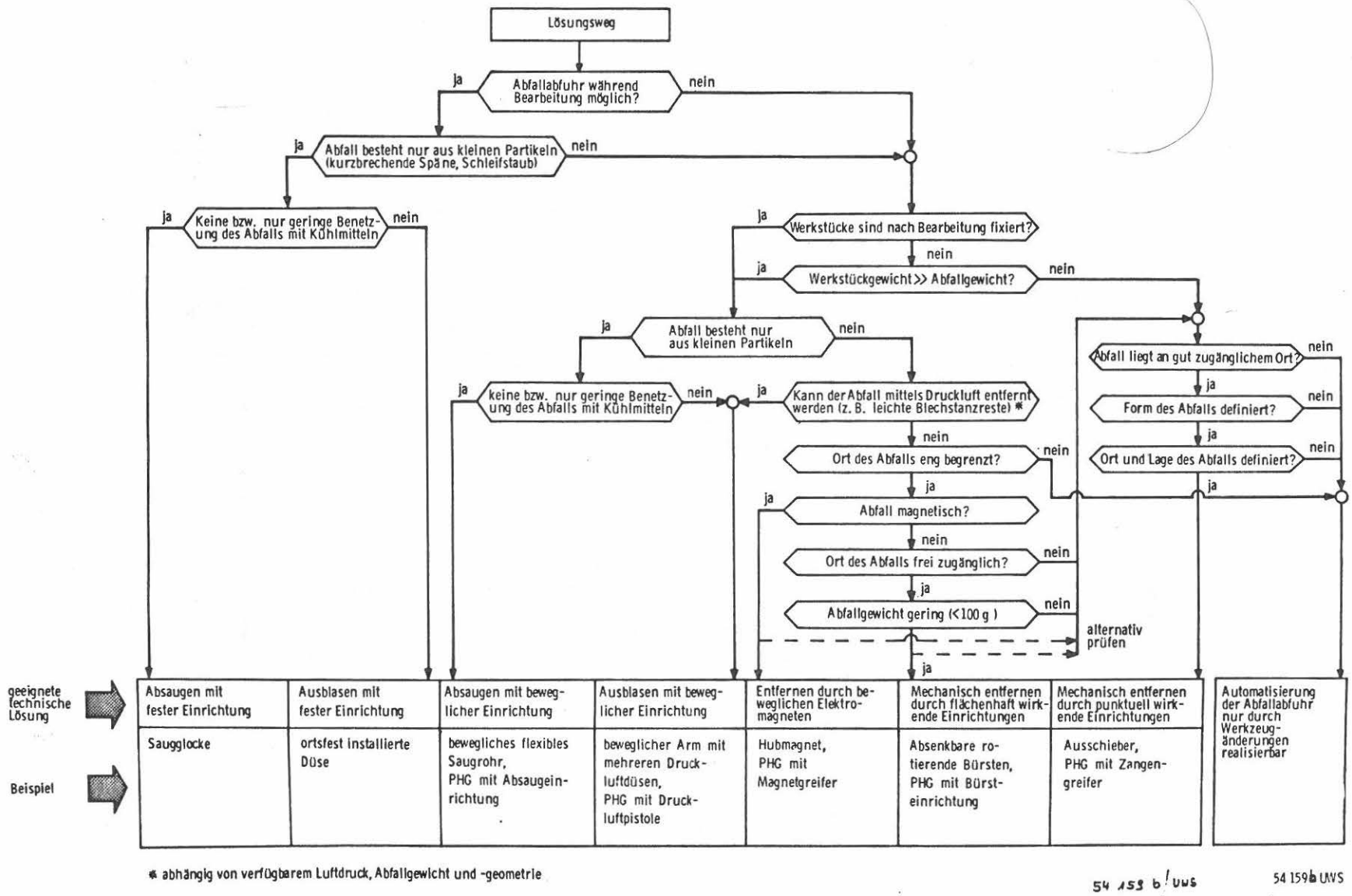


Bild 16: Maßnahmen zur nachträglichen Automatisierung der Abfallabfuhr

MERKMAL	BEISPIEL
Nutzbarer Arbeitsraum	
- Rotationsachsen	C
- Verfahrenachsen	X , Z
- Schwenkwinkel (A, B, C) (^{0})	— , — , 240
- Verfahrwege (X, Y, Z) (mm)	1200, — , 800
- Reichweite (X, Y, Z) (mm)	2000, — , 1600,
- Anfahrbare Positionen (X, Y, Z , A, B, C)	40, — , 5, — , — , 40
Greiferachsen	
- Rotationsachsen	A, C
- Translationsachsen	Y
Tragfähigkeit (kg)	50
Positionierfehler (mm)	1,0
Geschwindigkeit	
- Der Translationsachsen X, Y, Z (mm/s)	1000 , — , 500
- Der Rotationsachsen A, B, C (^{0})	— , — , 90
Ausführbarer Funktionsumfang	
- Art der Steuerung	Punktsteuerung
- Programmlänge	60 Programmschritte
- Anzahl der Unterprogramme	3
- Anzahl erforderliche Signalein-u Ausgänge	15 , 10
- Greifer	Doppelgreifer
Schutz gegen Umwelteinflüsse	Abkapselung gegen Hitze
Einbaulage	Über-Kopf

Bild 17: Wichtige Merkmale zur Auswahl geeigneter Industrieroboter

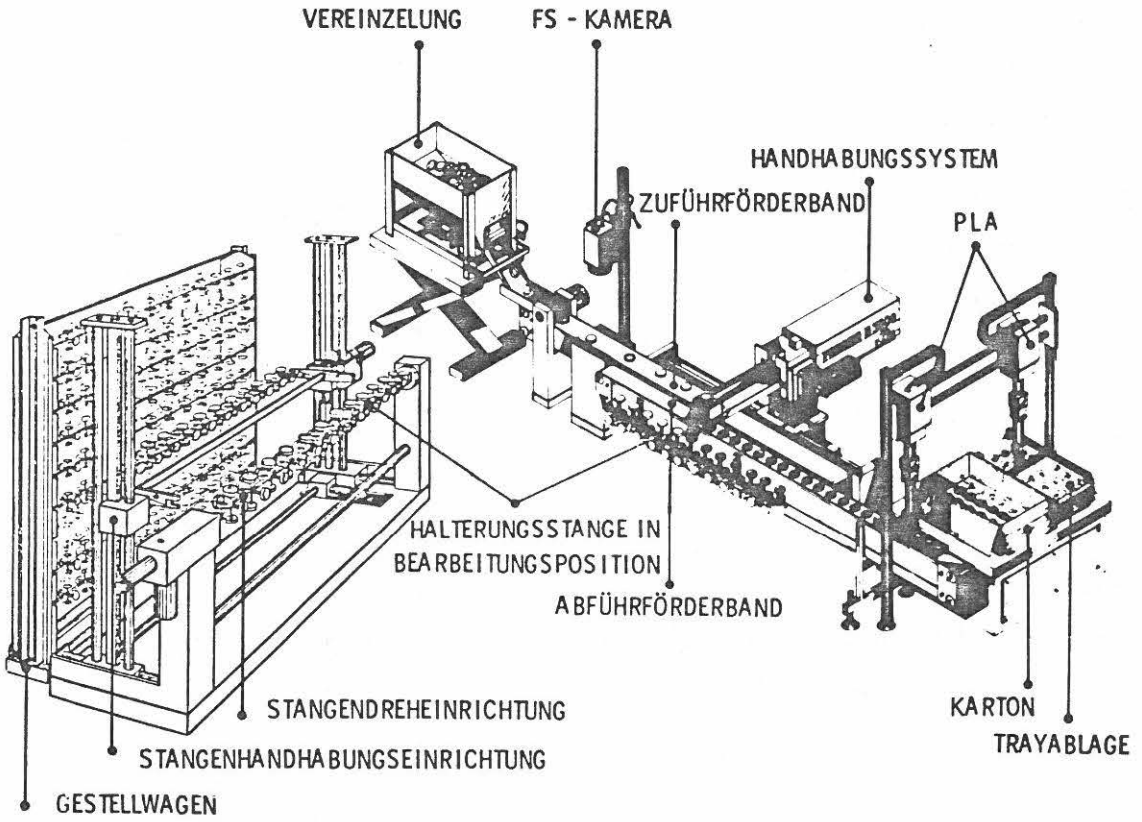


Bild 18: Sensorunterstütztes Ordnen und Magazinieren von rotationssymetrischen Werkstücken

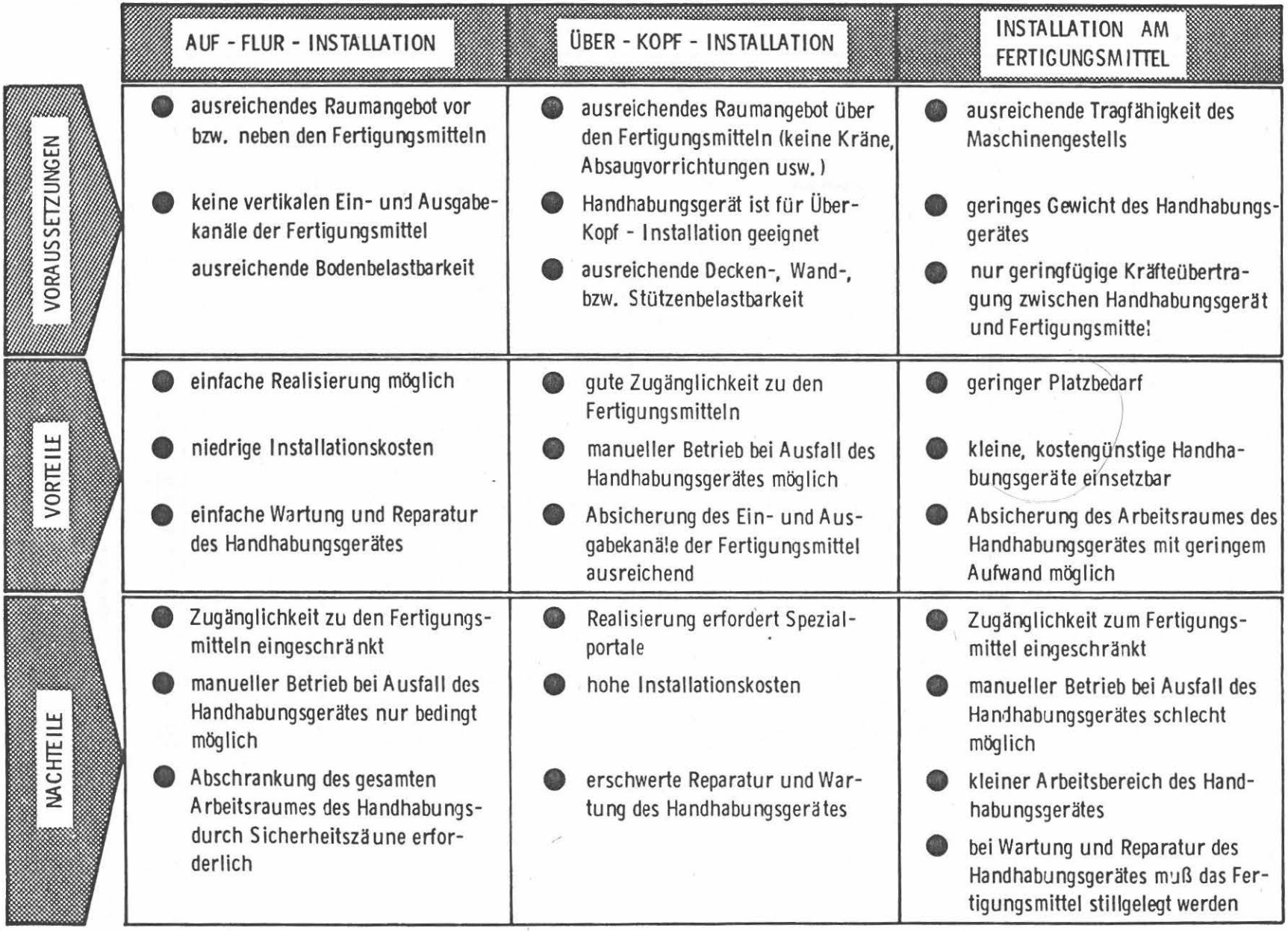


Bild 19: Vergleich alternativer Installationsmöglichkeiten eines Industrieroboters

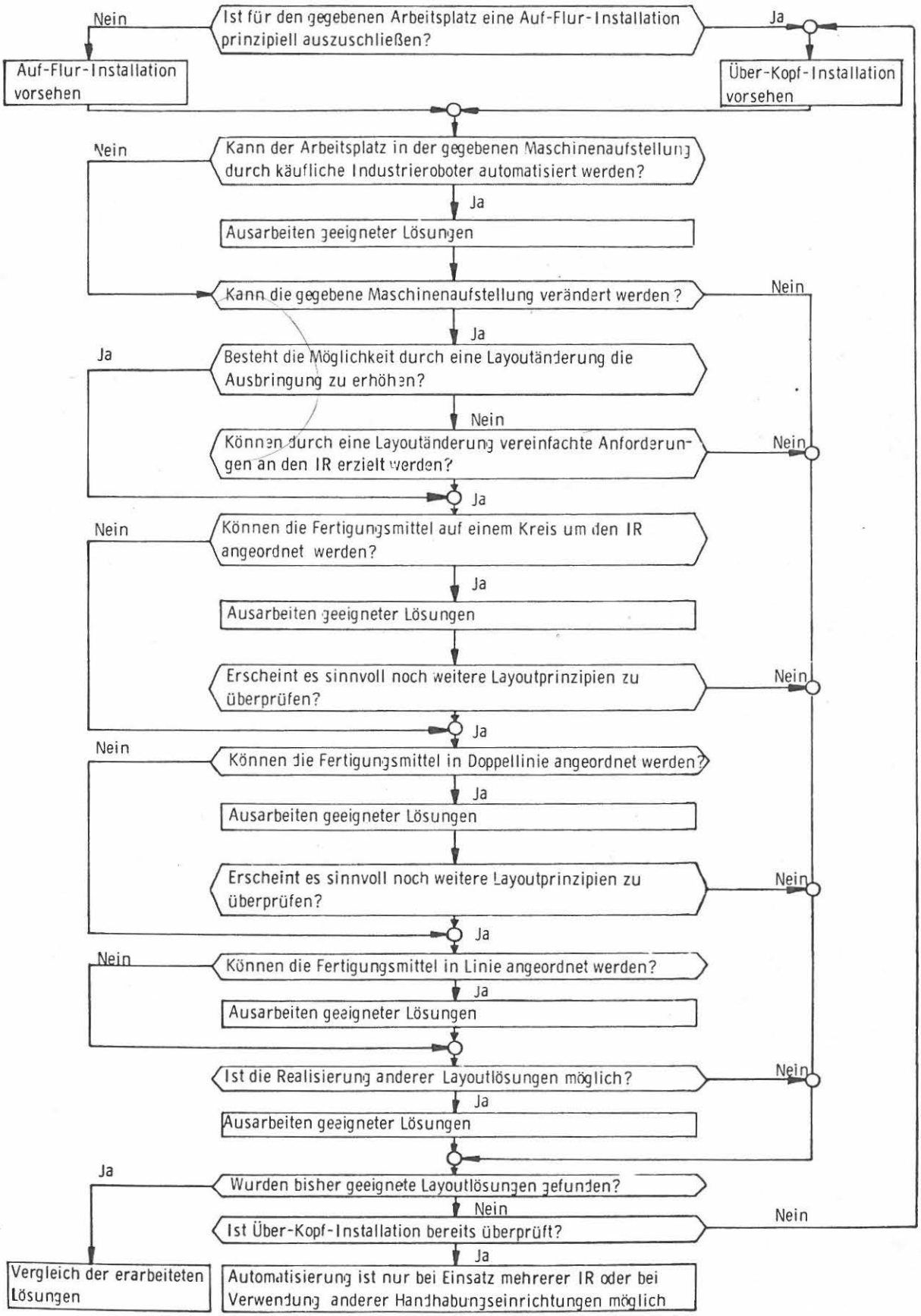


Bild 2o: Vorgehensweise der Layoutplanung bei einem Industrieroboter-Einsatz

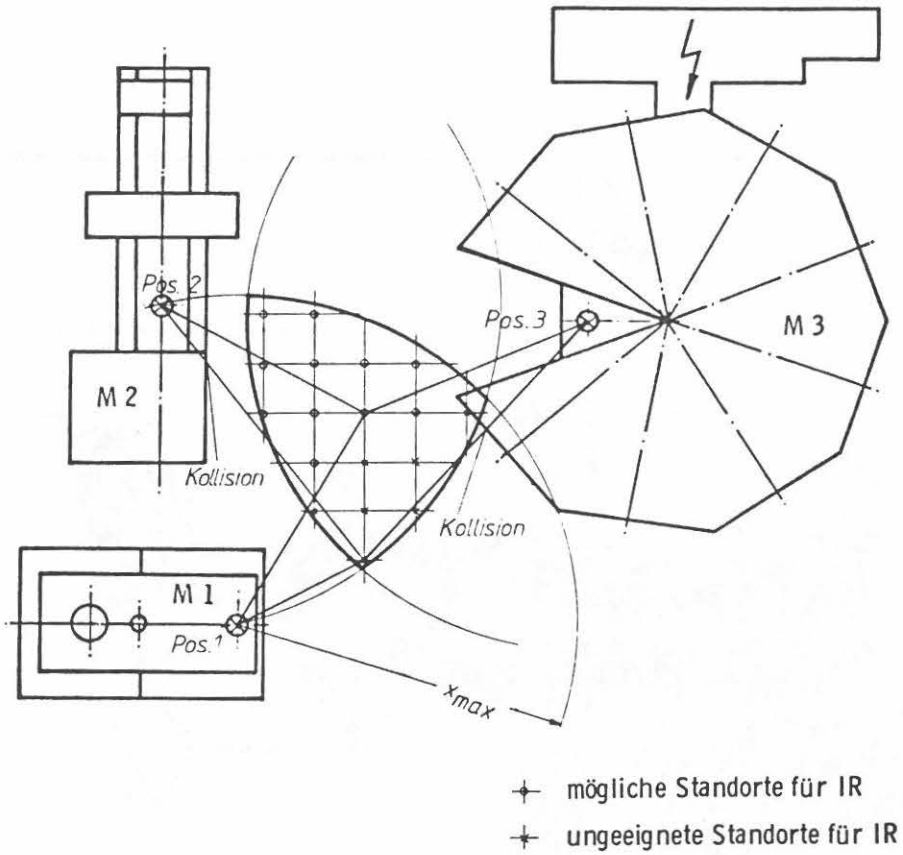


Bild 21: Überprüfung der Einsatzmöglichkeit von Industrierobotern an gegebenen Arbeitsplätzen

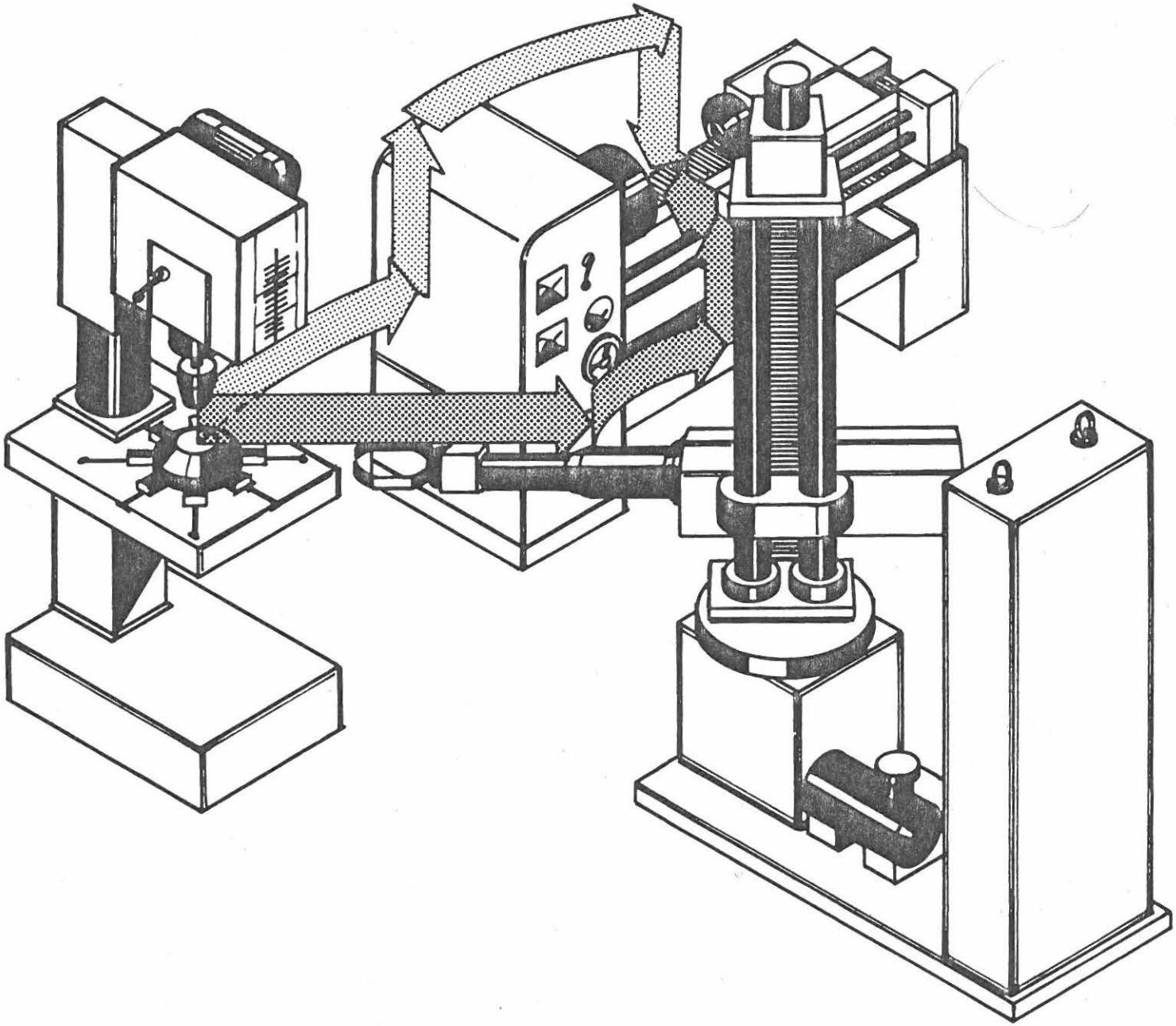


Bild 22: Alternative Verfahrmöglichkeiten eines Industrieroboters bei der Maschinenbeschickung

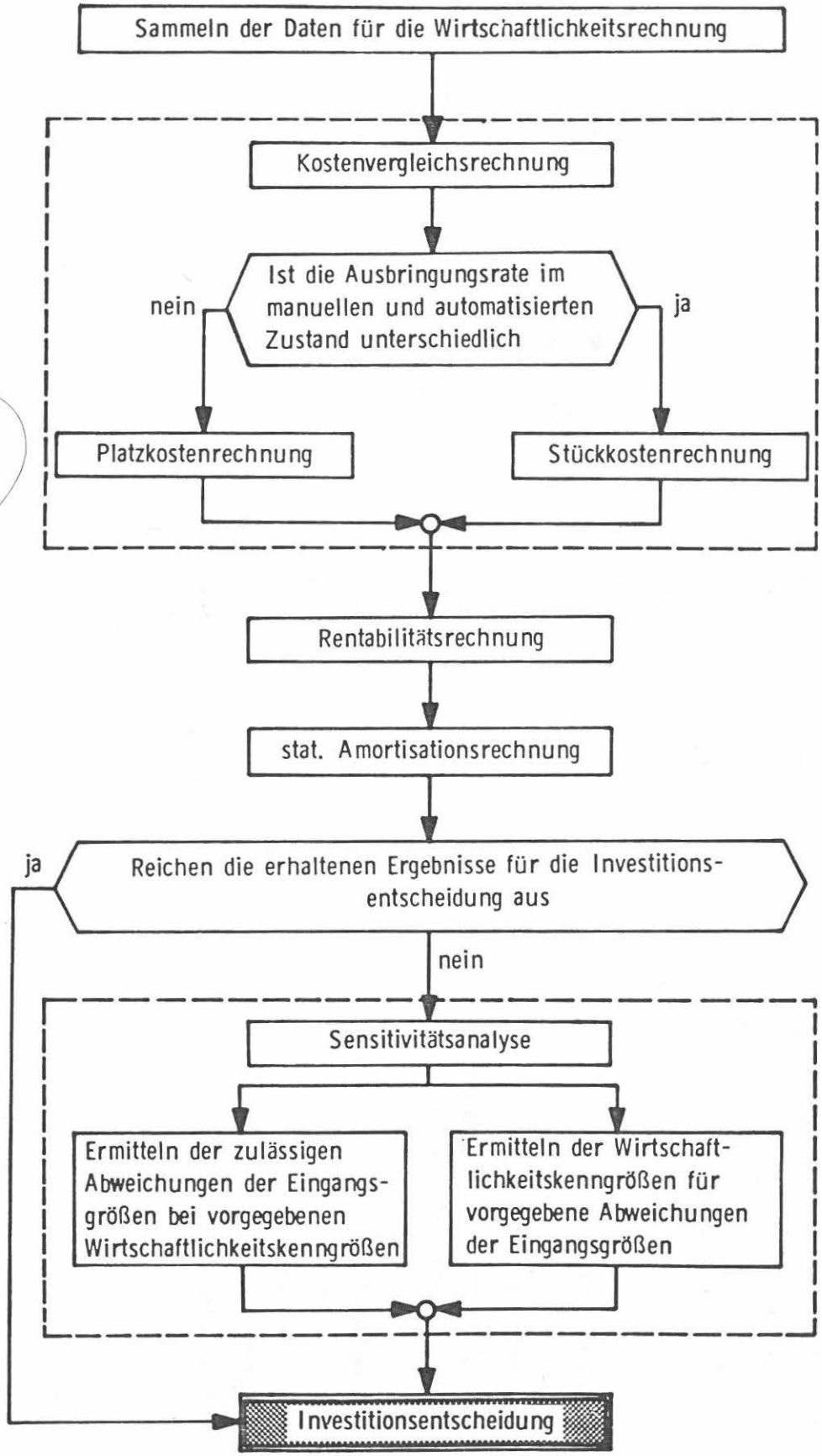


Bild 23: Vorgehensweise bei der Wirtschaftlichkeitsprüfung eines Industrieroboter-Einsatzes

Pos	Daten			Berechnung
	Bezeichnung	Abkürzung	Einheit	
(1)	Beschaffungskosten Grundgerät	K_{G1}	DM	
(2)	Kosten für Peripherie (Greifer, Sensoren, Zubringeeinrichtungen)	K_{G2}	DM	
(3)	Maschinenänderungskosten	K_{G3}	DM	
(4)	Installationskosten	K_{G4}	DM	
(5)	Planungskosten	K_{G5}	DM	
(6)	Kapitaleinsatz	K_{GES}	DM	$K_{GES} = \sum_{i=1}^{5} K_{Gi}$
(7)	Kalkulatorischer Zinssatz	iZ	%/a	
(8)	Kalkulatorische Zinsen	Z	DM/a	$Z = \frac{K_{GES}}{2} \cdot iZ$
(9)	Wirtschaftliche Nutzungsdauer	t_N	Jahre	
(10)	Kalkulatorische Abschreibung	A	DM/a	$A = \frac{K_{GES}}{t_N}$
(11)	Summe fixe Kosten	K_{FIX}	DM/a	$K_{Fix} = A+Z$
(12)	Umrüstkosten	K_{UM}	DM/a	
(13)	Programmierkosten	K_{PRO}	DM/a	
(14)	Fertigungslohnkosten	K_{FE}	DM/a	
(15)	Energiekosten	K_{EN}	DM/a	
(16)	Raumkosten	K_R	DM/a	
(17)	Instandhaltungskosten	K_{IN}	DM/a	
(18)	Summe variable Kosten	K_{VAR}	DM/a	$K_{Var} = K_{UM} + K_{PRO} + K_{FE} + K_{EN} + K_R + K_{IN}$
(19)	Jährliche Kosten für IR	K_{IR}	DM/a	$K_{IR} = K_{FIX} + K_{VAR}$

Bild 24: Checkliste zur Erfassung aller beim Industrieroboter-Einsatz anfallenden Kosten

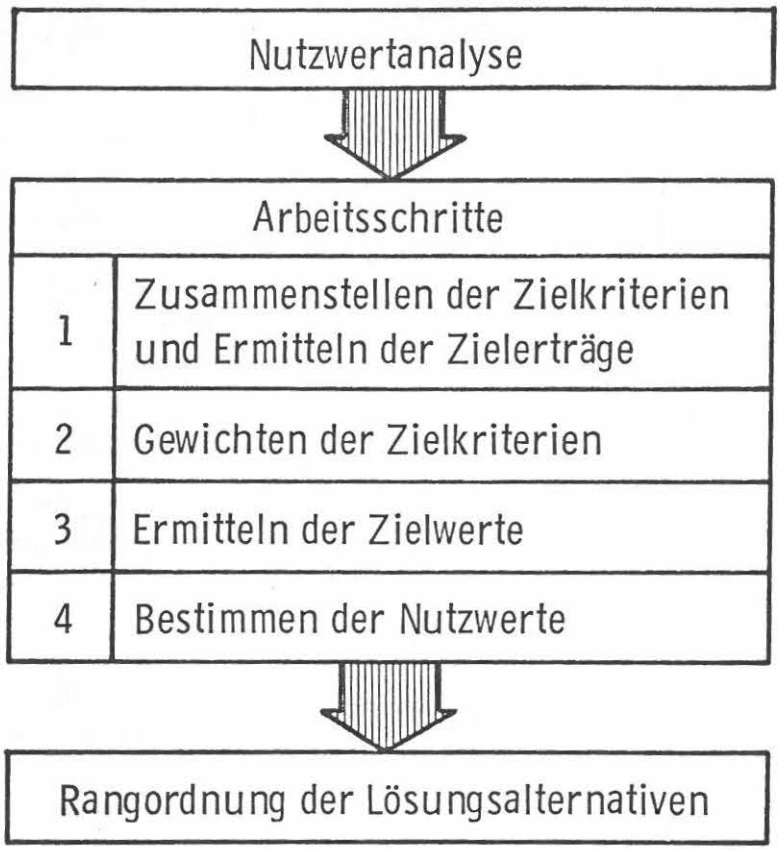


Bild 25: Arbeitsschritte der Nutzwertanalyse

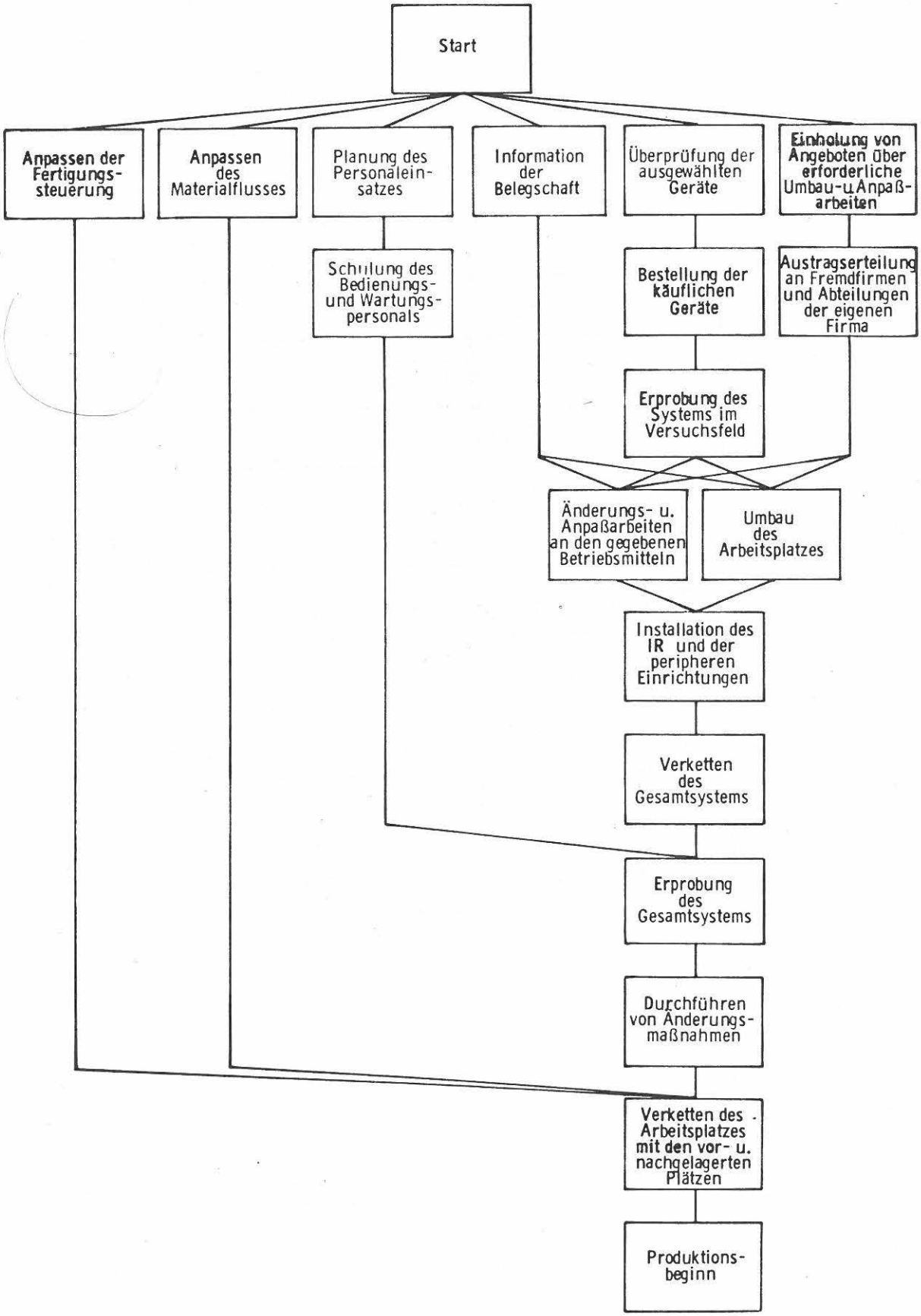


Bild 26: Ablaufplan zur Realisierung eines Industrierobotereinsatzes

Anhang

Formblätter zur

Arbeitsplatzanalyse

ARBEITSPLATZANALYSE

Merkmal	Alternativen bzw. Erläuterungen	Spezifikationen
Allgemeine Angaben		
1. Arbeitsplatz Nr.		.....
2. Analyse bei Firma		.....
3. Datum der Analyse		.....
4. Bearbeiter		.....
Kennzeichnung Arbeitsplatz		
5. Aufgabe für IR	nur Werkstückhandhabung (WSH)	☐
	WSH mit Werkstückhandhabung	☐
	WSH mit Bearbeitung	☐
6. Fertigungsverfahren	Urformen	☐
	Umformen	☐
	Trennen	☐
	Fügen	☐
	Stoffeigenschaften ändern	☐
	Beschichten	☐
	Handarbeitsplatz	☐
Organisatorisch-Wirtschaftliche Daten		
7. Arbeitsstunden/Tag		.....
8. Arbeiter/Schicht		.....
9. Gleichartige Arbeitsplätze	in derselben Firma	.....
10. Anzahl versch. Werkstücke pro Jahr		.....
11. Losgröße (Stück)	im Durchschnitt	.....
12. Taktzeit (min)	im Durchschnitt	.....
13. Umrüsthäufigkeit/ 100 h		.....

ARBEITSPLATZANALYSE

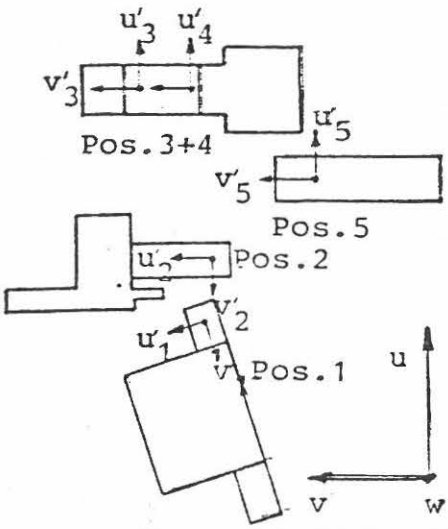
Merkmal	Alternativen bzw. Erläuterungen	Spezifikationen	
Handhabungsgut		Rohteil	Fertigteil
14/15. Anzahl gleichartiger Werkstücke pro Zyklus		.....	.....
16/17. Anz. verschiedener Werkstücke pro Zyklus		.....	.....
18/19. Max.Werkstückgewicht (Kg)	bei mehreren gleichzeitig gehandhabten Werkstücken: Summe der Werkstückgewichte	.....	.....
20/21. Max.Abmessungen (mm)		.....	.....
22/23. Aggregatzustand	starr	☐	☐
	deformierbar	☐	☐
	flüssig	☐	☐
	gasförmig	☐	☐
24/25. Art des Werkstückes		.....	.....
		.....	.....
26/27. Werkstoff		.....	.....
		.....	.....
28/29. Empfindlichkeit	keine	☐	☐
	bruchempfindlich	☐	☐
	oberflächenempfindlich	☐	☐
	schlag-,stoßempfindlich	☐	☐
	Sonstiges	.....	.....
		.....	.....
30/31. Temperatur (T)	T = Raumtemperatur	☐	☐
	$T \leq -200^{\circ}C$	☐	☐
	$-200^{\circ}C < T \leq 0^{\circ}C$	☐	☐
	$0^{\circ}C < T \leq 400^{\circ}C$	☐	☐
	$400^{\circ}C < T \leq 800^{\circ}C$	☐	☐
	$T > 800^{\circ}C$	☐	☐
32/33. Sonstige bes. Eigenschaften	keine störenden	☐	☐
	naß	☐	☐
	verölt, verfettet	☐	☐
	Späne	☐	☐
	Porösität	☐	☐
	Sonstiges	.....	.....

ARBEITSPLATZANALYSE

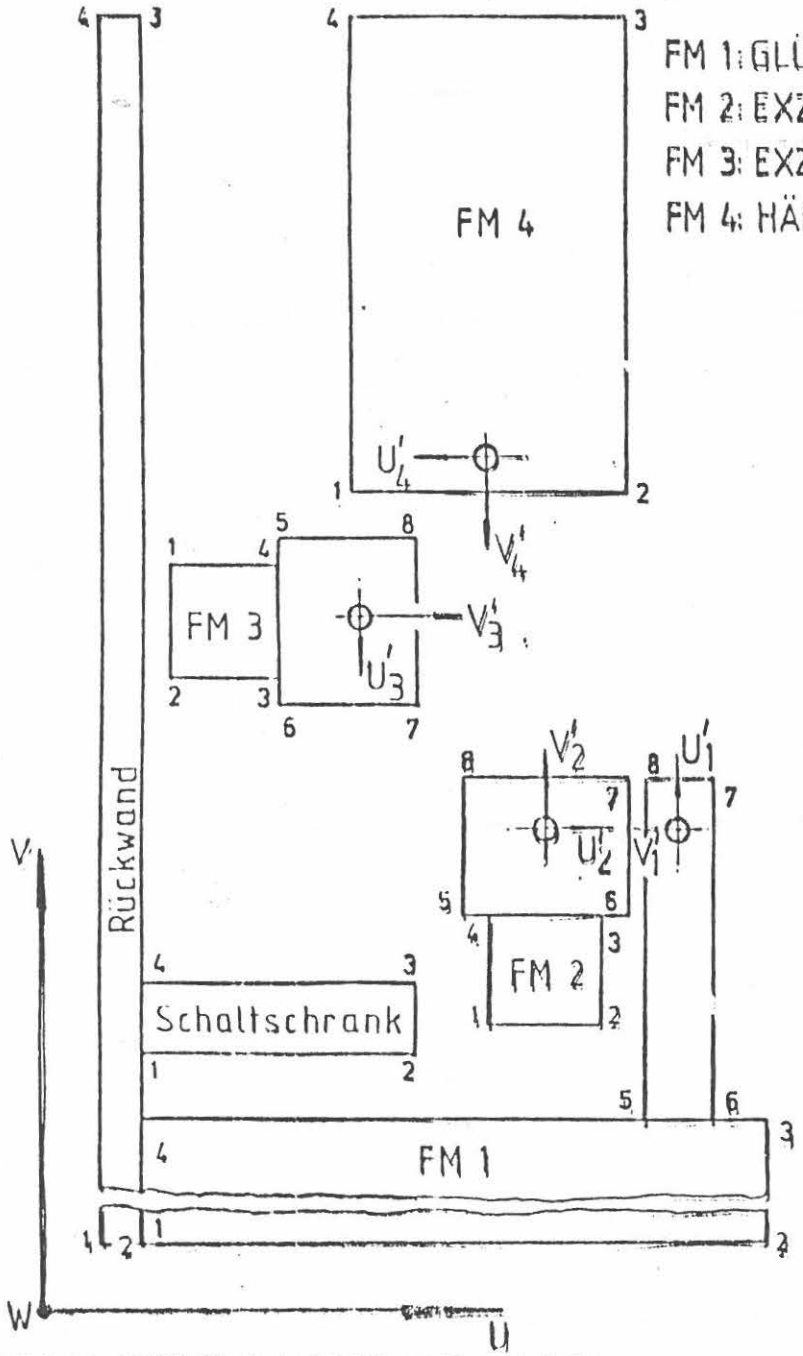
Merkmal	Alternativen bzw. Erläuterungen	Spezifikationen	
Handhabungsgut		Rohteil	Fertigteil
34/35. Sichtkontrolle am Werkstück	Ja	☐	☐
	Nein	☐	☐
36/37. Kontrolle der Abmessungen	nicht erforderlich	☐	☐
	mit Universalmeßeinrichtung manuell	☐	☐
	mit fest eingest. Prüfeinrichtung manuell	☐	☐
	halbautomatisch mit Anzeige	☐	☐
	vollautomatische Kontrolleinrichtung	☐	☐
38/39. Weitere Werkstückkontrollen		.....	.....
		.....	.....
		.....	.....
		.....	.....
		.....	.....
Handhabungsaufgabe			
40. Ausgeführte Handhabungsfunktion	Bunkern	☐	
	Magazinieren	☐	
	Ordnen	☐	
	Zuteilen	☐	
	Drehen	☐	
	Ein-, Aus-, Weitergeben	☐	
41. Sind simultane koordinierte Bewegungen beider Hände erforderlich?	Ja	☐	
	Nein	☐	
42. Treten zufällige Variationen im Handhabungsablauf auf?	Ja	☐	
	Nein	☐	
43. Erforderliche Positioniergenauigkeit		.....	
		.....	
		.....	
		.....	
		.....	
		.....	
		.....	
		.....	

Merkmal	
Handhabungsablauf	
44. Kurzbeschreibung	
45. Skizze des Handhabungsablaufes und Maschinenaufstellungsplanes (evtl. Photo verwenden)	

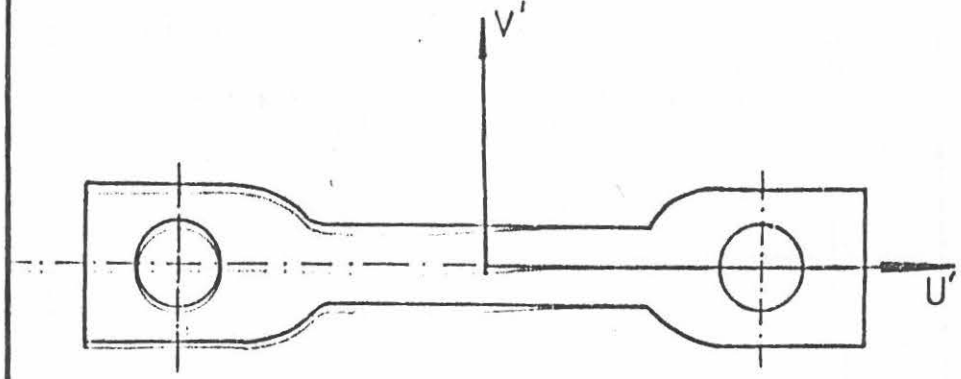
Beispiel:



Maschinenaufstellungsplan



Werkstückansicht (Rohteil)



Positionen und Machineneckpunkte

	Koordinaten in mm		
Pos.	U	V	W
1	3850	8100	1320
2	2950	8100	1320
3	1700	9500	1320
4	2600	10550	1400
FM 1	U	V	W
1	300	200	2500
2	4300	200	2500

Merkmal	Alternativen bzw. Erläuterungen	Spezifikationen				
Fertigungsmittel (FM)						
46. Anzahl der Fertigungsmittel (FM)		.....				
		FM1	FM2	FM3	FM4	FM5
47-51. Art der FM	Drehmaschine	☐	☐	☐	☐	☐
	Bohrmaschine	☐	☐	☐	☐	☐
	Fräsmaschine	☐	☐	☐	☐	☐
	Schleifmaschine	☐	☐	☐	☐	☐
	Hammer- u. Schmiedemasch.	☐	☐	☐	☐	☐
	Stanze und Presse	☐	☐	☐	☐	☐
	Schweißmaschine	☐	☐	☐	☐	☐
	Ofen	☐	☐	☐	☐	☐
	Abkühleinrichtung	☐	☐	☐	☐	☐
	Meß- u. Prüfeinrichtung	☐	☐	☐	☐	☐
	Sonstige	☐	☐	☐	☐	☐
	.....					
52-56. Restlebensdauer (Jahre)		.....	.....	.....	.....	.....
57-61. Störungshäufigkeit/ h	unbekannt = 99	.....	.....	.....	.....	.....
		.....	.....	.....	.....	.....
62-66. Genaue Bezeichnung der FM	FM 1 ▷	.....				
		.....				
	FM 2 ▷	.....				
		.....				
	FM 3 ▷	.....				
		.....				
	FM 4 ▷	.....				
		.....				
	FM 5 ▷	.....				
		.....				
67-71. Automatisierungsgrad Antreiben	Hauptbewegung manuell	☐	☐	☐	☐	☐
	Nebenbewegung manuell	☐	☐	☐	☐	☐
	WS* manuell positionieren	☐	☐	☐	☐	☐
	Sicherheitseinrichtung bewegen	☐	☐	☐	☐	☐
	alle Antriebe mit Hilfsenergie	☐	☐	☐	☐	☐
	*WS: Werkstück					

ARBEITSPLATZANALYSE

Merkmal	Alternativen bzw. Erläuterungen	Spezifikationen				
Fertigungsmittel		FM1	FM2	FM3	FM4	FM5
72-76. Automatisierungsgrad Steuern	Verfahrwege u./o. Geschwindigkeit manuell gesteuert	☐	☐	☐	☐	☐
	Bearbeitungsfolge man. gesteuert	☐	☐	☐	☐	☐
	Spannvorrichtung manuell ausgelöst	☐	☐	☐	☐	☐
	alle Funktionen automat.	☐	☐	☐	☐	☐
77-81. Automatisierungsgrad Führen	Werkzeug manuell während Bearbeitung führen	☐	☐	☐	☐	☐
	WS manuell während Bearbeitung führen	☐	☐	☐	☐	☐
	alle Bewegungen masch. ausgeführt	☐	☐	☐	☐	☐
82-86. Automatisierungsgrad Spannen	teilweise o. ganz man.	☐	☐	☐	☐	☐
	vollständig automatisch/ maschinell	☐	☐	☐	☐	☐
87-91. Hilfsstoff	kein Hilfsstoff	☐	☐	☐	☐	☐
	Druckluft	☐	☐	☐	☐	☐
	Öl zur Kühlung, Schmierung	☐	☐	☐	☐	☐
	Kühlwasser	☐	☐	☐	☐	☐
	Emulsion	☐	☐	☐	☐	☐
	Pasten, Fett	☐	☐	☐	☐	☐
	starre Körper	☐	☐	☐	☐	☐
92-96. Zuführung des Hilfsstoffes im Istzustand	manuell ohne Hilfsmittel	☐	☐	☐	☐	☐
	manuell mit Hilfsmittel ohne Hilfsenergie	☐	☐	☐	☐	☐
	manuell mit Hilfsmittel und Hilfsenergie	☐	☐	☐	☐	☐
	halbautomatisch	☐	☐	☐	☐	☐
	vollautomatisch	☐	☐	☐	☐	☐
97-101. Häufigkeit der Hilfsstoffzufuhr	keine Angabe	☐	☐	☐	☐	☐
	1 nach mehreren Zyklen	☐	☐	☐	☐	☐
	1 pro Zyklus	☐	☐	☐	☐	☐
	mehrmals pro Zyklus	☐	☐	☐	☐	☐
	ständig während Zyklus	☐	☐	☐	☐	☐

ARBEITSPLATZANALYSE

Merkmal	Alternativen bzw. Erläuterungen	Spezifikationen				
Fertigungmittel		FM1	FM2	FM3	FM4	FM5
102-106. Abfall	kein Abfall	☐	☐	☐	☐	☐
	langbrechende Späne	☐	☐	☐	☐	☐
	kurzbrechende Späne	☐	☐	☐	☐	☐
	Staub, Zunder	☐	☐	☐	☐	☐
	Blechaus- bzw. -abschn.	☐	☐	☐	☐	☐
107-111. Abfallabführung im Istzustand	manuell mechanisch	☐	☐	☐	☐	☐
	manuell ausblasen	☐	☐	☐	☐	☐
	manuell absaugen	☐	☐	☐	☐	☐
	manuell ausschwemmen	☐	☐	☐	☐	☐
	automatisch mechanisch	☐	☐	☐	☐	☐
112-116. Häufigkeit der Abfallabführung	keine Angabe	☐	☐	☐	☐	☐
	1 nach mehreren Zyklen	☐	☐	☐	☐	☐
	1 pro Zyklus	☐	☐	☐	☐	☐
	mehrmals pro Zyklus	☐	☐	☐	☐	☐
	ständig während des Zyklusses	☐	☐	☐	☐	☐
117-121. Kontrolle der Betriebsbedingungen	nicht ständig erforderlich	☐	☐	☐	☐	☐
	ständig erforderlich	☐	☐	☐	☐	☐
122-126. Kontrolle des Werkzeugs	nicht erforderlich	☐	☐	☐	☐	☐
	Verschleiß	☐	☐	☐	☐	☐
	Bruch	☐	☐	☐	☐	☐
127-131. Art der Werkzeugkontrolle	Sichtkontrolle	☐	☐	☐	☐	☐
	mit Universalmeßeinrichtung	☐	☐	☐	☐	☐
	mit fest eingestellter Prüfeinrichtung manuell	☐	☐	☐	☐	☐
	halbautomatisch mit Anzeige	☐	☐	☐	☐	☐
	vollautomatische Kontrolleinrichtung	☐	☐	☐	☐	☐
132-136. Häufigkeit der Werkzeugkontolle	ständig	☐	☐	☐	☐	☐
	mehrmals pro Zyklus	☐	☐	☐	☐	☐
	1 mal pro Zyklus	☐	☐	☐	☐	☐
	in längeren Zeitabständen	☐	☐	☐	☐	☐

ARBEITSPLATZANALYSE

Merkmal	Alternativen bzw. Erläuterungen	Spezifikationen
Fertigungsmittel		
137. Weitere Kontrollen		.....
Arbeitsbedingungen		
		sehr gering / gering / mittel / hoch
138. Unfallgefahren		☐ ☐ ☐ ☐
139. Monotonie		☐ ☐ ☐ ☐
14o. Belastung der Muskeln		☐ ☐ ☐ ☐
141. Schmutz/Staub		☐ ☐ ☐ ☐
142. Öl/Fett		☐ ☐ ☐ ☐
143. Temperatur		☐ ☐ ☐ ☐
144. Nässe,Säure,Lauge		☐ ☐ ☐ ☐
145. Gase, Dämpfe		☐ ☐ ☐ ☐
146. Lärm		☐ ☐ ☐ ☐
147. Erschütterungen		☐ ☐ ☐ ☐
148. Blendung/Lichtmangel		☐ ☐ ☐ ☐
149. Erkältungsgefahr		☐ ☐ ☐ ☐
15o. Schutzkleidung		☐ ☐ ☐ ☐
Bearbeitungsfolge		
151. Kommen alle Werkstücke vom gleichen Arbeitsplatz ?	Ja Nein	☐ ☐
152. Laufen andere Werkstücke außerdem über vorhergehenden Arbeitsplatz ?	Ja Nein	☐ ☐
153. Gehen alle Fertigteile zum gleichen Arbeitsplatz ?	Ja Nein	☐ ☐