

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 107 (1989)  
**Heft:** 13-14

**Artikel:** Montage-Roboter: Entwicklungstendenzen  
**Autor:** Schweizer, Manfred  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-77077>

#### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 22.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Montage-Roboter

## Entwicklungstendenzen

**Der Einsatz von Industrierobotern nimmt stetig zu. Das Marktangebot ist so gross wie nie zuvor. Die Vielzahl der verfügbaren Robotertypen scheint unüberschaubar zu werden, und die Einsatzgebiete entwickeln sich in alle Richtungen. Sich darin noch zurechtzufinden, wird immer schwieriger. Die folgende Übersicht der Roboter-Gerätetechnik und -Anwendungen insbesondere in der Montage will dabei Hilfe bieten.**

Zusammen mit CNC-Maschinen und Anlagen mit speicherprogrammierbaren Steuerungen bestimmen Industrie-

**VON MANFRED SCHWEIZER,  
STUTTGART**

roboter massgeblich das heutige Produktionsumfeld. Weil in der Betriebspraxis Fertigungszellen mit Vernetzbarkeit nach oben, also die «bottom-up-Lösung», bevorzugt werden, kann vor allem die robotergestützte Fertigungs- und Montageinsel Ausgangspunkt für einen wirtschaftlich und personell verkraftbaren Einstieg in CIM, der computerintegrierten Fertigung, sein. Die folgenden Ausführungen beginnen mit einer allgemeinen Standortbestimmung der Industrieroboter, um sich dann deren Anwendung in der Montage zuzuwenden.

## Industrieroboter

### Grundbegriffe

Handhabung von Werkzeugen, Messmitteln und Werkstücken bilden das Ziel einer relativ neuen Maschinengruppe, in welcher neben Handlingautomaten, Pick-and-Place-Geräten, Manipulatoren auch die Industrieroboter enthalten sind.

### Klassifikation

Manipulatoren sind menschengeführte Einrichtungen zur Aufhebung des Kraftaufwandes. Sie humanisieren den Arbeitsplatz und bieten sich auch für die Anwendung in gefährlicher Umgebung an.

Einlegegeräte (Pick-and-Place) und Handlingautomaten werden mit bis zu 5 Achsen ausgerüstet. Ihre Ablaufprogrammierung verläuft zwischen Festanschlägen. Hohe Effizienz und hohe Genauigkeit bei kleinen Teilen sind ihre Vorteile. Der Antrieb erfolgt meist pneumatisch.

Industrieroboter verfügen über 4 bis 10 Achsen, sind frei programmierbar mit Playback- oder Teach-in-Methode, und

sie können jeden Punkt ihres Arbeitsbereiches erreichen. Dank der Ausrüstbarkeit mit taktiler und/oder optischer Sensorik sind sie vielseitig anwendbar. Der grossen Flexibilität und langen Lebensdauer stehen relativ hohe Beschaffungskosten gegenüber. Vorzugsweise sind sie elektrisch, aber auch hydrostatisch angetrieben.

### Funktionsprinzipien der Roboter

Zur Hauptsache werden die Bauarten der Computer nach der Beschreibung der Bewegungsabläufe in Kartesische Koordinaten, in Zylinderkoordinaten oder in Kugelkoordinaten unterschieden. Dazu kommt die Ausführung des drehbaren vertikalen Gelenktyps (Bild 1).

### Robotersteuerungen

Die Punktsteuerung (Bild 2) eignet sich besonders für das Beschicken von Produktionsmaschinen, für Palettierarbeiten sowie die Montage resp. Fügebewegungen. Ein besonderes Anwendungsfeld ist das Punktschweißen.

Die Bahnsteuerung (Bild 3) eignet sich besonders für das Bahnschweißen, für Schleif- und Entgratarbeiten, für die Werkzeugführung bei Strahltechniken, Waterjet und Laserstrahl, ferner für Lackier- und Klebearbeiten.

### Aspekte der Roboter-Einführung

#### Teil eines Technologiesprunges

Industrieroboter sind Teil des Überganges vom Produktesgeschäft zum Systemgeschäft, das - in fernerer Zukunft - vom Integrationsgeschäft abgelöst werden wird. Diese Übergangsstufen sind in ihrer Bedeutung vergleichbar mit Technologiesprünge, wie sie einst die Verdrängung der Segelschiffe durch die Dampfschiffe darstellten (Bild 4).

Dies ist besonders bei der Bewertung von Investitionen wichtig. Was immer heute für die Vervollkommenung von

Werkzeugmaschinen aufgewendet wird, bewirkt zwar einen berechenbaren, aber leider nur noch sehr begrenzten Rationalisierungseffekt. Demgegenüber eröffnen sich durch Einsätze von Roboter- und CIM-Strukturen auf die Zukunft hin orientierte strategische Erfolgspotenzialen. Auf solche Signale sollte nicht nur bei der technischen Evaluation geachtet werden, sondern auch durch längerfristig ausgelegte Rentabilitätsrechnungen.

### Wachsende Ausbreitung

Einige Prognosen (z.B. Team consult, Schweiz) sagen bis zum Jahr 1990 bereits 300-800 000 Roboter weltweit vor, wovon 60-200 000 in Europa installiert sein sollen. Im Hinblick auf die Ende 1987 in Europa ermittelten Zahlen von ca. 46 000 Robotern im industriellen Einsatz scheint die untere Grenze der Prognose wahrscheinlicher zu sein als ihr oberer Grenzwert. Die gezählten Industrieroboter entsprechen der weltweit gültigen Definition, d.h. die Geräte sind mit mindestens 3 programmierbaren Achsen ausgerüstet und sind ohne mechanischen Eingriff in die Steuerung zu programmieren (Bild 5).

Die Gründe für die weltweite starke Zunahme dieser flexiblen Art der Automatisierung sind fast auf der ganzen Welt gleich. Es werden Argumente wie sinkende Produktlebensdauer, schnellerer Modellwechsel und kleine Serien angeführt, um die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen zu erhalten. Rationalisierungs- und Wirtschaftlichkeitsgründe sprechen für den Einsatz.

Etwa 35-45% aller Industrieroboter entfallen auf die Automobilindustrie, wobei dort häufig nicht das Automatisieren einer manuellen Tätigkeit im Vordergrund steht, sondern die flexiblere Art der Automatisierung das Leitmotiv ist.

Allerdings muss beachtet werden, dass unter Flexibilität verschiedene Dinge zu verstehen sind. Zum einen meint man eine Stückzahlflexibilität, zum anderen eine Flexibilität für Modelmix, d.h. die Fertigung unterschiedlicher Produkte nacheinander, oder man meint eine Art Umrüstflexibilität auf zukünftige, noch nicht bekannte Produkte, die man mit den gleichen Fertigungseinrichtungen herstellen möchte. Dass die Flexibilität noch nicht so gross ist, wie es wünschenswert wäre, zeigt die relativ langsame Zunahme der Industrieroboter in kleinen und mittleren Unternehmen, die immer noch zögernd zu dieser Technologie greifen (Bild 6).

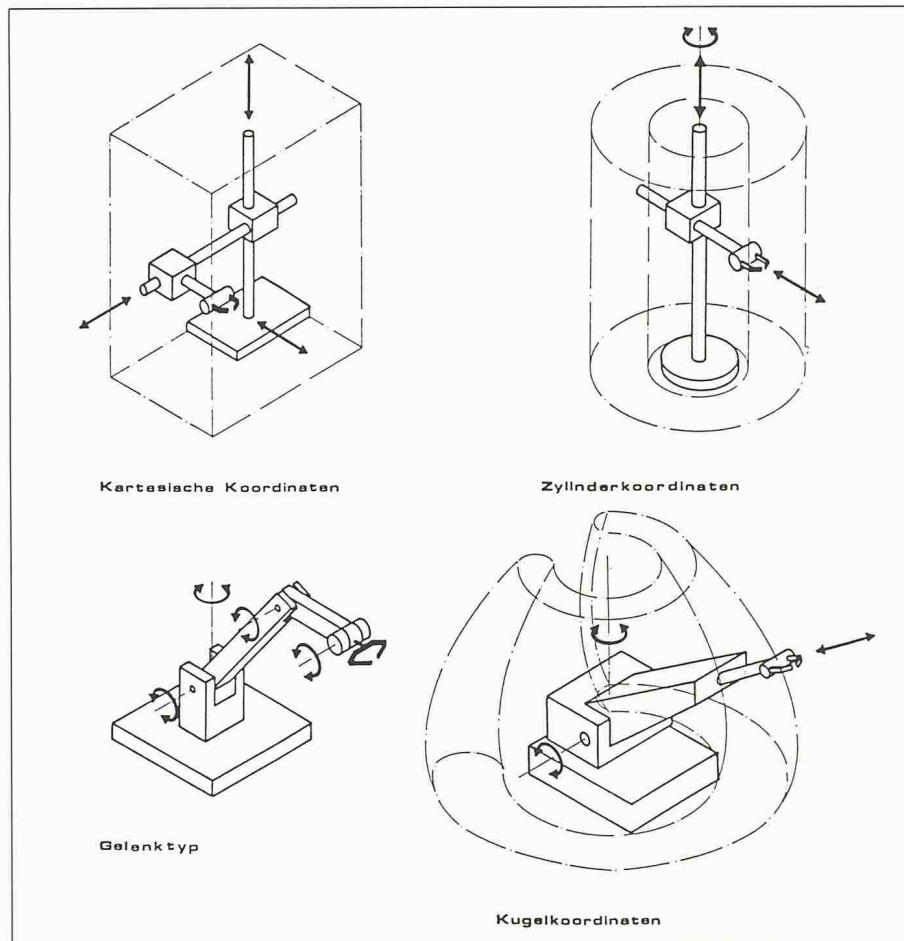


Bild 1. Funktionsprinzipien der Roboter

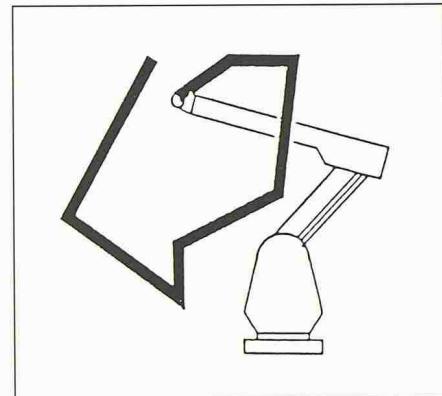


Bild 2. Roboter-Punktsteuerung

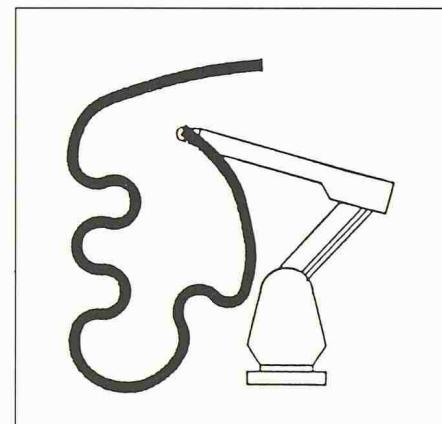


Bild 3. Roboter-Bahnsteuerung

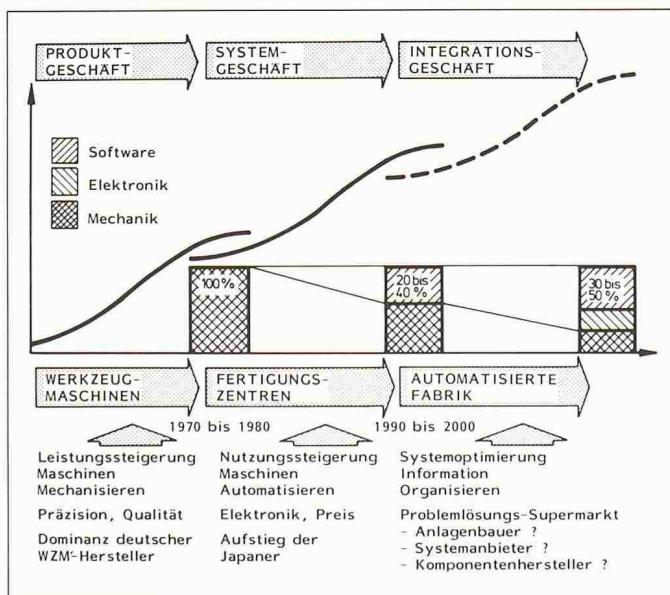
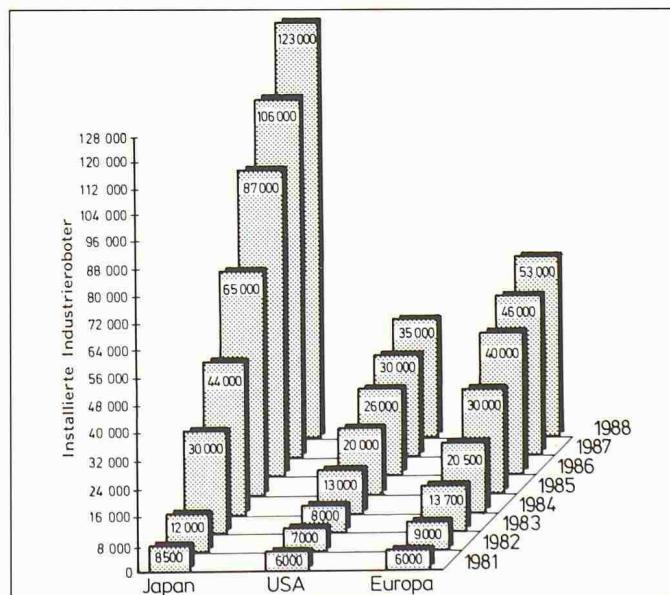
Bild 4. Übergang vom Produkt- zum Integrationsgeschäft.  
(Quelle: McKinsey)

Bild 5. Entwicklung der internationalen Verteilung der Industrierobtereinsätze. (Quellen: RIA, BRA; 1987 geschätzt)

### Anwendungsgebiete der Industrieroboter

Im Anwendungsgebiet **Beschichten** gehören Roboter heute zum Stand der Technik. Die bekannten Einsatzgebiete sind das Lackieren von Gehäusen, das Aufbringen von Dichtmaterialien und

Klebstoffen sowie das Beschichten im Kraftfahrzeugbereich.

Die Industrieroboter, die zum **Punktschweißen** eingesetzt werden, stehen fast ausschliesslich in der Autoindustrie. Ihr Zuwachs wird sehr stark von den Modellzyklen der Autoindustrie beeinflusst.

Im Bereich des **Lichtbogenschweissens** erweitern neue Industrieroboter und neue Bahnsteuerungen das Angebot für Anwender, die eine Versorgung mit einem kompletten, schlüsselfertigen System durch den Industrieroboterhersteller wünschen. Wenngleich die technisch-wirtschaftliche Automatisierung

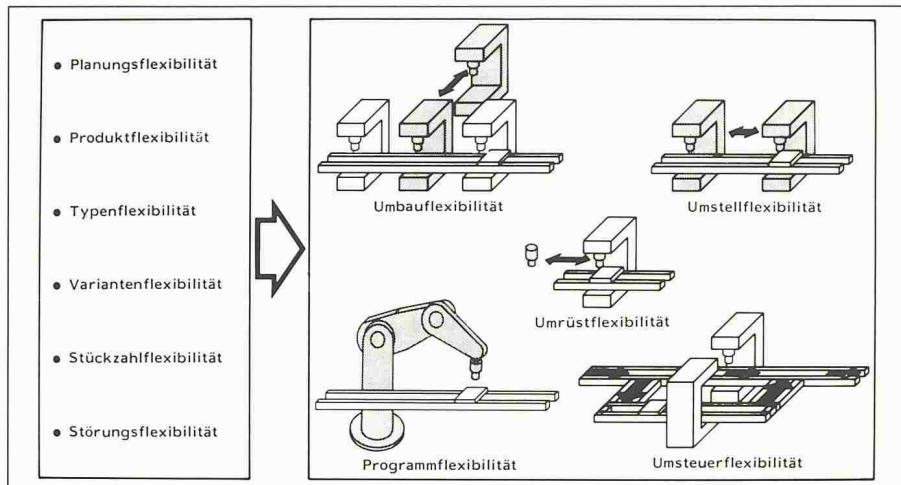


Bild 6. Flexibilität automatisierter Montagesysteme (Quelle IPA)

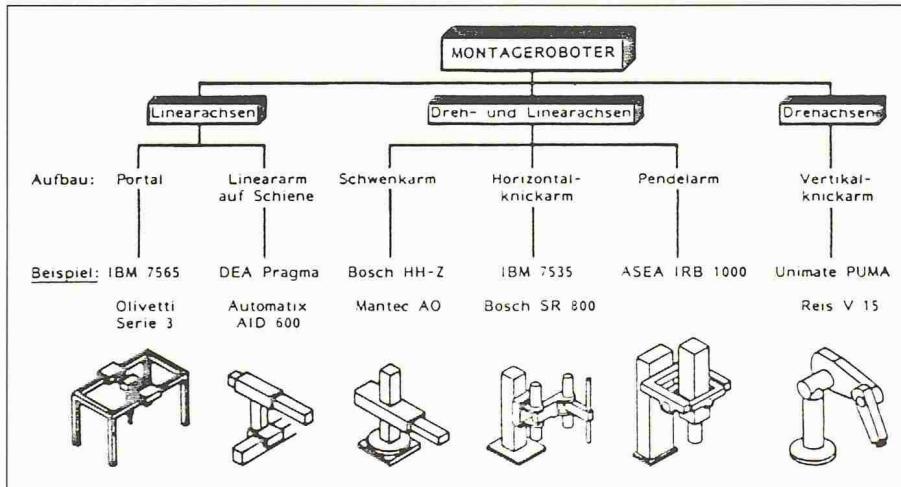


Bild 7. Grundbauarten von Montagerobotern

eines Lichtbogenschweissvorgangs mit Industrierobotern auch ohne Sensor-technik möglich ist, zielen erfolgreich verlaufende Versuche mit einfachen Pendelsensoren oder optischen Naht-suchsystemen auf eine Erweiterung dieses hart umkämpften Marktes.

Beim *Entgraten* dürfen Industrieroboter unbestreitbar mit der Überschrift «Humanisierung der Arbeit» versehen werden. Aber bevor in diesem Gebiet und auch in den Bereichen *Schneiden*, *Pressen*, *Druck- und Spritzgiessen* in Zukunft mehr Industrieroboter zum Einsatz gelangen, müssen weitere Entwicklungen im Bereich der Sensortechnik abgewartet werden.

Eine überdurchschnittliche Zunahme ist im Bereich der *Montage* zu verzeichnen und noch zu erwarten. Die Probleme im Bereich der Montageautomatisierung liegen, wie alle Experten wissen, nur in wenigen Fällen am Roboter selbst, sondern im wesentlichen in der erforderlichen Peripherie. Wenn es in der Vergangenheit noch zum Teil an montagegerechten Ausführungen gefehlt hat, so kann man heute unter einer Vielzahl von guten, geeigneten Montagerobotern auswählen.

Zum Anwendungsgebiet *Be- und Entladen von Werkzeugmaschinen* zählen auch Industrieroboter zur Verkettung in flexiblen Fertigungssystemen und die an Werkzeugmaschinen angebauten programmierbaren Handhabungseinrichtungen sowie programmierbare Portale, die über Werkzeugmaschinen installiert werden. Sie sind gegenüber nicht programmierbaren Handhabungseinrichtungen (Einlegegeräten) abgegrenzt.

Der Anwendungsbereich *sonstige Werkstückhandhabung* betrifft alle maschinennahe Handhabungstechnik, die nicht an Werkzeugmaschinen ausgeführt wird sowie alle Be- und Entladevorgänge an Mess- und Prüfmaschinen zum Palettieren und zum Verketteten.

Die weiter angestiegene Zahl von Industrierobotern im Bereich *Forschung, Test und Schulung* zeigt, dass hier intensiv an der Entwicklung, aber auch an der Qualifizierung von Mitarbeitern gearbeitet wird. Die Industrieroboter für diesen Bereich stehen zum grössten Teil bei Herstellerfirmen und bei grossen Industrieroboteranwendern, aber auch in Forschungs- und Entwicklungslabors von Hochschulen und Universitäten.

## Montageroboter Entwicklung der Gerätetechnik

Die Grundbauarten der Montageroboter werden in einer ersten Gliederung nach der Ausstattung mit Linearachsen, mit Dreh- und Linearachsen und mit Drehachsen unterschieden. Das zweite Gliederungsmerkmal bezieht sich auf den Aufbau (Bild 7).

### Horizontale Gelenkkinematik (SCARA)

Sehr viele der neuen Industrieroboter sind in der SCARA-Bauweise (Selective Compliance Assembly Robot Arm) konzipiert. Die Scarabauweise ermöglicht dem Anwender von Industrierobotern, in der Montage ein nur 3- oder 4-achsiges Gerät mit hoher Positionsgenauigkeit und hoher Geschwindigkeit bei gleichzeitig niedrigem Preis einzusetzen. Die Entwicklung der Scararoboter begann in Japan, und so ist es nicht verwunderlich, dass die ersten Geräte auf dem europäischen Markt japanischen Ursprungs waren. Jedoch bereits nach sehr kurzer Zeit kam es zu Kooperationen mit japanischen Unternehmen, und bald wurden Eigenentwicklungen europäischer Unternehmen vorgestellt (Bild 8 und Bild 9).

Die Roboter arbeiten mit maximal vier, bei besonders einfachen Montageaufgaben auch mit nur drei Freiheitsgraden. Man benutzt dann nicht eine numerisch gesteuerte, sondern eine mit pneumatischen Antrieben versehene 4. Achse. Dies bedeutet, dass man an der vorgesehenen Montageposition nur zwei Vertikalpositionen zur Verfügung hat, was für einfache Aufgaben jedoch ausreicht.

### Karthesische Kinematik

Der Montageroboter in Portalkonstruktion (Bild 10) verfügt über eine Reihe von Besonderheiten:

Sein hydraulischer Antrieb verleiht dem Arm extrem hohe Beschleunigungswerte (fast alle andern Montageroboter sind heute elektrisch angetrieben). Dadurch können sehr kurze Taktzeiten erreicht werden. Die Taktzeiten sind die wesentlichen Faktoren beim Automatisieren in der Montage, d.h. die Taktzeit ist wichtiger als die maximale Geschwindigkeit.

Die zweite Besonderheit dieses Industrieroboters ist sein Greifer. Dieser Greifer wird standardmäßig als Parallelbackengreifer ausgeführt und ist mit Sensoren bestückt, die Kräfte in drei senkrecht aufeinanderstehenden Richtungen messen können, um so die Greifkraft zu regeln oder um mit Gefühl Montagevorgänge auszuführen.

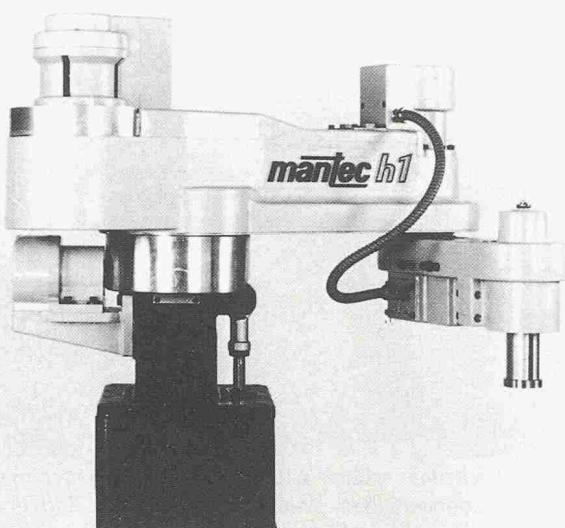


Bild 8. SCARA-Montageroboter von MANUTEC (mantec, Siemens-Konzern)

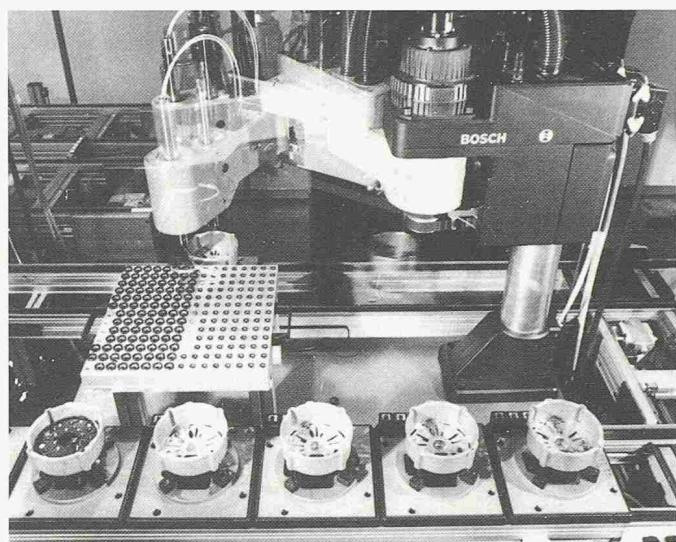


Bild 9. SCARA-Montageroboter von BOSCH in einer Montagelinie für die Fertigung von Generatoren.

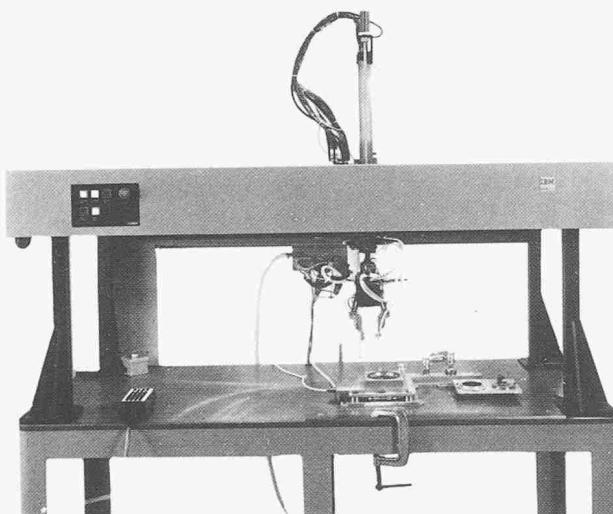


Bild 10. IBM-Montageroboter in Portalbauweise mit Sensorgreifer und IBM-Rechner für Programmiersprache «Advanced Manufacturing Language» (AML). (Werkbild IBM)

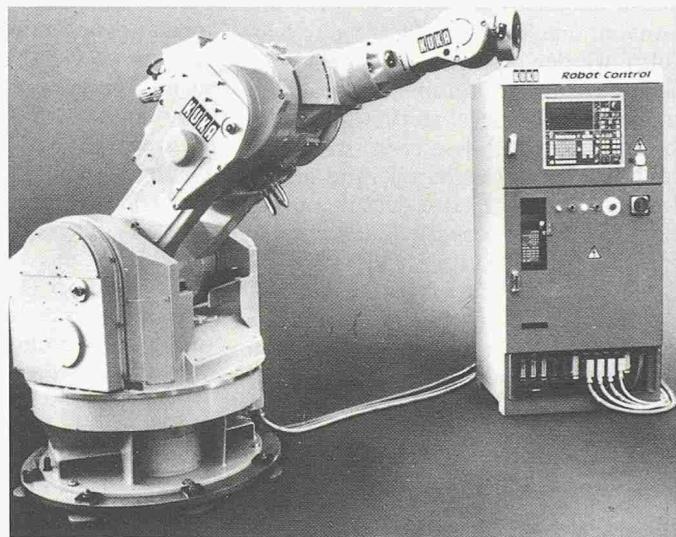


Bild 11. Industrieroboter für Montageaufgaben mit geringer Traglast, kinematisch gleich aufgebaut wie die grossen Punktschweiß-Roboter des gleichen Herstellers. Die zugehörige Siemens-Steuerung bietet Ein- und Ausgabekanäle und die Möglichkeit eines Sensoranschlusses. (Werkbild KUKA)

Die dritte Besonderheit ist ein direktes lineares Wegmess-System. Normalerweise verwendet man indirekte Messverfahren.

Die vierte Besonderheit ist seine Steuerung, ein IBM-Rechner der Serie I, eine Rechenmaschine also, die, verglichen mit anderen Industrierobotern, als sehr sehr gross bezeichnet werden kann. Dieser Rechner ist erforderlich, da man für diesen Roboter eine spezielle Programmiersprache AML (Advanced Manufacturing Language) entwickelt hat, die für den Anwender eigentlich keine Wünsche mehr offenlässt.

### Vertikale Gelenkkinematik

Neben den neu entwickelten Scara-Montagerobotern gibt es noch eine Reihe Montageroboter mit «konventioneller» Kinematik, z.B. für kleine Gewichtsklassen. Diese müssen nicht un-

bedingt in höchsten Investitionskategorien angesiedelt sein. Es gibt Beispiele für Industrieroboter mit Gelenkkinematik, elektrischen Antrieben, jedoch geschlossenen Regelkreisen in allen Achsen, die für sehr einfache, wenig komplizierte Montageaufgaben durchaus geeignet sind (Bild 11 und Bild 12).

### Neue Anwendungen von Montagerobotern

Eine kleine Firma in den USA entwickelte einen Industrieroboter in Scara-bauweise, der aufgrund seiner Steuerung (VAL-II-Steuerung) in der Lage ist, auch auf einem laufenden Band liegende Teile mit einem optischen Sensor zu erkennen und die Sensorsignale in Positionssignale umzuformen und so den gezielten Griff auf das laufende

Band zu realisieren. Die Ausrüstung mit Direktantrieben ermöglicht extrem kurze Taktzeiten, d.h. extrem hohe Beschleunigungswerte (Bild 13).

Die Scara-roboter sind nicht nur für Montageaufgaben einsetzbar, sondern

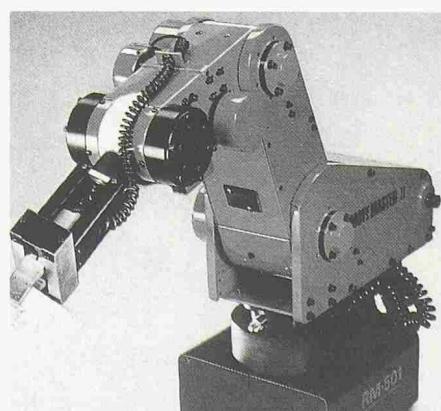


Bild 12. MITSUBISHI-Industrieroboter

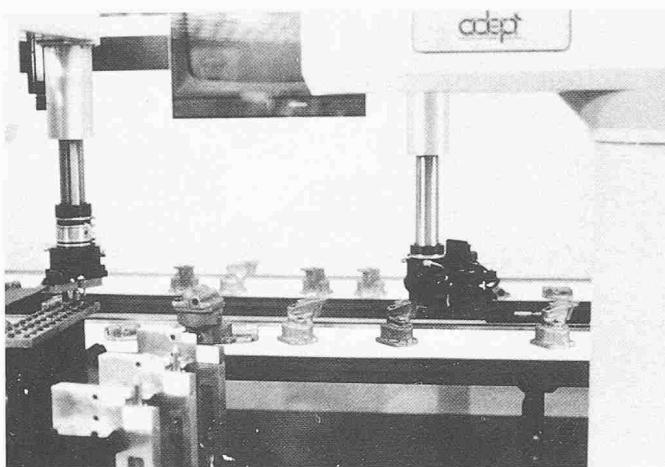


Bild 13. Montage von Zahnraddpumpen mit ADEPT-Montageroboter mit Direktantrieb. Erkennen der Gehäuseeteile und deren Lage erfolgt mit optischem Sensor. (Werkbild ADEPT)

können auch für komplizierte Lötaufgaben eingesetzt werden, die nicht mit konventionellen Lötbädern durchgeführt werden können. In einem Versuchsaufbau zum automatischen Löten trägt ein Industrieroboter ein spezielles Lötwerkzeug, mit dem er in zwei Richtungen programmierbare Kräfte auf die Lötstelle ausüben kann. Dafür war die Entwicklung eines speziellen robotergerechten Lötwerkzeuges erforderlich, das inzwischen mit Erfolg für komplizierte Lötaufgaben eingesetzt wird, die auf einen Industrieroboter angewiesen sind, weil sie konstruktiv nicht vereinfacht werden können (Bild 14).

#### Programmierbare Montagezelle mit Bildverarbeitungssystem.

1985 wurde ein Montageroboter vorgestellt, der eine völlig neue kinematische Bauform besitzt. Bei diesem Roboter ist ein im Schwerpunkt gelagerter Arm in zwei Richtungen schwenkbar, ist

gleichzeitig horizontal verfahrbar und besitzt eine lineare Bewegung des Armes aus- und einwärts. Zusätzlich besitzt dieses Gerät noch 3 Handachsen, so dass insgesamt 7 Achsen programmierbar sind. Beispielsweise montiert ein solcher Industrieroboter Anschlussklemmen, und zwar aufgrund seiner speziellen Kinematik sehr schnell. Die Massen sind bei diesem Industrieroboter so klein, dass sehr hohe Beschleunigungswerte erzielt werden. In der Verknüpfung mit einem Bildverarbeitungssystem können ohne Probleme im System auch optische Sensoraufgaben erledigt werden. Das Sensorsystem wird mit dem gleichen Programmiergerät wie der Industrieroboter programmiert. Die Steuerung des optischen Sensors ist ein Einschub in der Robotersteuerung.

Für diesen Industrieroboter bietet der Hersteller einen speziellen Mehrfachgreifer an, der zusätzlich zur hohen Geschwindigkeit noch die Möglichkeit

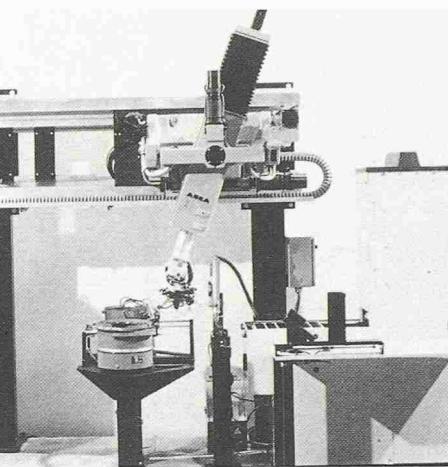


Bild 15. Programmierbare Montagezelle für Anschlussklemmen, mit siebenachsigem Montageroboter mit Bildverarbeitungssystem (Werkbild ASEA)

bietet, dass mehrere Werkstücke sehr schnell nacheinander in einer Bereitstellung aufgenommen werden und sehr schnell nacheinander an einer Montageposition montiert werden können. Dieser Revolvergreifer beschleunigt die Montageabläufe natürlich nicht nur bei diesem Robotertyp (Bild 15).

#### Reinraumroboter

Immer häufiger müssen Produkte unter besonderen klimatischen Bedingungen oder unter besonderen Reinheitskriterien gefertigt werden. Für solche Zwecke entwickelte Montageroboter können unter Reinraumbedingungen der Reinraumklasse 10 eingesetzt werden. Sie sind mit einer konventionellen Kinematik aufgebaut, mit Linearbewegung in vertikaler und horizontaler Richtung und überlagerter Drehbewegung. Um Beeinträchtigungen der Reinraumbedingungen zu verhindern, sind alle of-

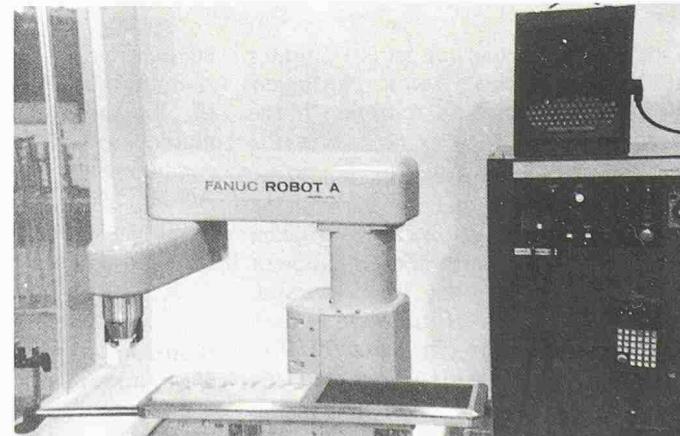
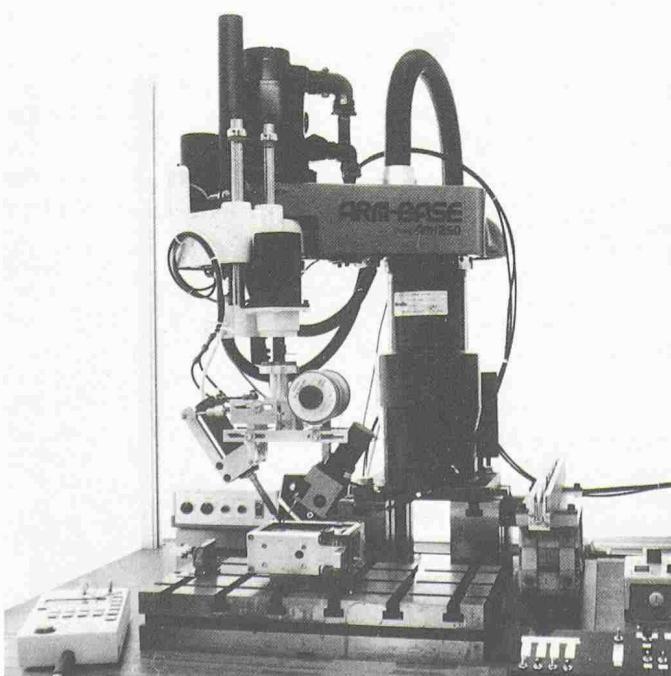


Bild 16. Reinraumroboter mit Direktantrieb

Bild 14. HIRATA-Montageroboter in einem Versuchsaufbau für automatisches Löten. (Werkbild HIRATA)

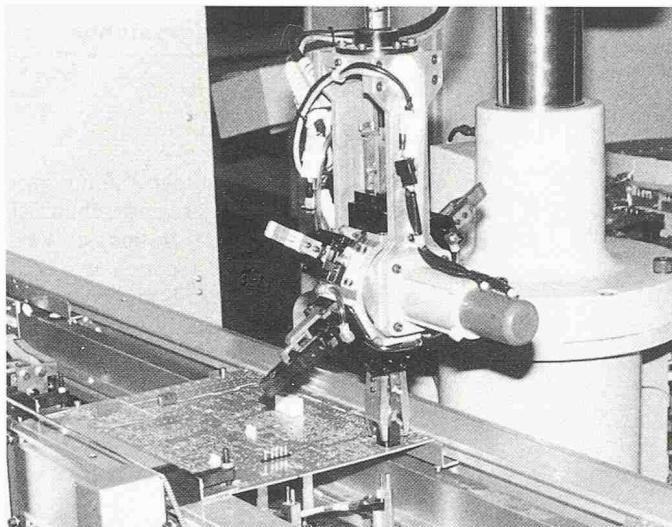


Bild 17. Sechsach-Revolvergreifer an Montageroboter zur schnellen Leiterplattenbestückung. (Werkbild SONY)

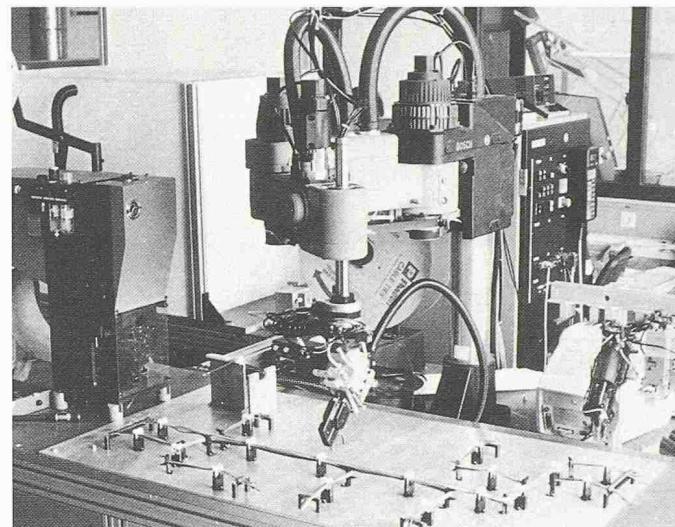


Bild 18. Versuchsaufbau zur Kabelbaummontage. (Werkbild IPA)

fenliegenden Führungsbahnen und Maschinenelementen durch Siliconschlüche abgedeckt, so dass keine Partikeln aus dem Innern des Industrieroboters nach aussen dringen können (Bild 16).

Ebenfalls als Reinraumroboter angeboten werden Industrieroboter mit einer sehr eigenwilligen Kinematik, die aufgrund sehr vieler Achsen auch redundante Bewegungen ausführen können. Montiert auf ein automatisch geführtes Flurförderfahrzeug, kann der Roboter auch die Transportfunktion mit übernehmen.

### Bestücken von Leiterplatten

Das Anwendungsgebiet Bestücken mit Sonderbauelementen gehört zu den zukunftssträchtigsten Montageanwendungsgebieten überhaupt. In Mehrfachgreiferversion ist der Roboter in der Lage, am Bereitstellungsort mehrere Bauelemente aufzunehmen, dann den Revolvergreifer zum Fügeort zu bringen und dort sehr schnell nacheinander die Bauelemente auf die Leiterplatte zu fügen (Bild 17).

### Kabelbaummontage

Neueste Versuche zeigen, dass Montageroboter auch biegeschlaffe Werkstücke wie z.B. Kabel, Folien oder Textilien handhaben können. In Versuchsanordnungen vermochte ein Industrieroboter in Scarabauweise Kabelbäume zu legen, diese Kabelbäume zu umwickeln und bei besonders ausgewählter Steckertechnik auch Stecker anzuflanschen. Eine andere Versuchsanlage – ebenfalls in den Laboratorien des Fraunhofer-Institutes für Produktions-technik und Automatisierung (IPA), Stuttgart, aufgebaut –, wo ein Roboter die Kabel ablängt, die Kontakte anschlägt, die Kabel verlegt, die Stecker

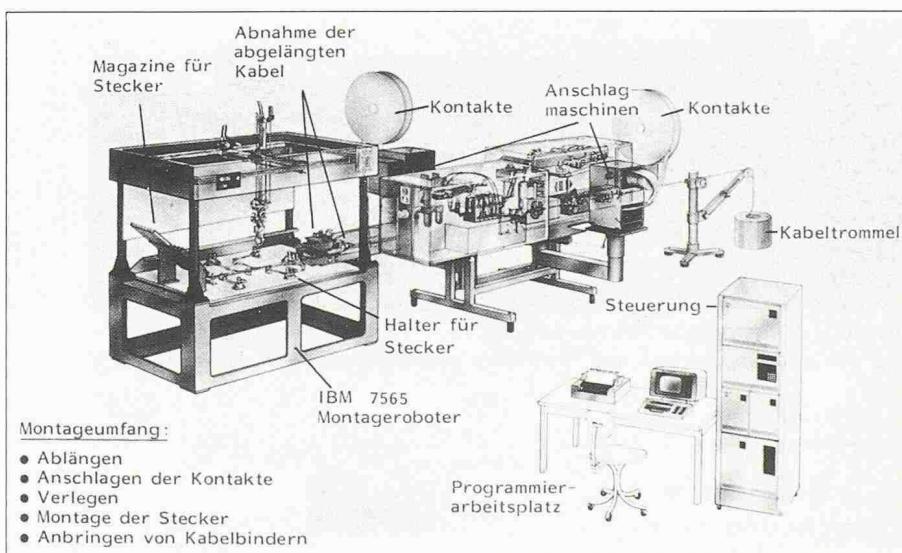


Bild 19. Programmierbare Kabelbaummontage. (Werkbild IBM Järfälla)

montiert und Kabelbinder anbringt, ist noch sehr aufwendig, und man wird abwarten müssen, inwieweit diese Technologie mit Industrierobotern sich kostengünstig einsetzen lässt (Bild 18 und Bild 19).

### PKW-Endmontagesysteme

Zu den bisher umfangreichsten Automatisierungsvorhaben im Bereich der Montage zählt die automatische Montage des VW Golf in der Halle 54 der Volkswagenwerke in Wolfsburg, wo 25 Prozent des Arbeitsumfangs in der Fahrzeugendmontage von Automaten übernommen werden. Hier werden jedoch nicht nur Roboter eingesetzt, sondern auch eine Vielzahl von speziellen Montageautomaten, die für einen ganz bestimmten Zweck konstruiert wurden.

Die Aufgaben, die von Robotern hier erledigt werden, sind zum Beispiel das automatische Auflegen, Spannen und Festziehen des Keilriemens sowie das Einlegen des Ersatzrades, Einsetzen der

Batterie und Festschrauben der Batterie. Bei VW wurde erstmals in der Automobilindustrie im Bereich der Endmontage ein so hoher Automatisierungsgrad realisiert. Weltweit wird in der Automobilbranche in diesem Endmontagebereich ein Automatisierungsgrad zwischen 4 und 6% angesetzt. Es ist naturgemäß schwer, von der Automatisierungsanwendung eines Grosskonzerns wie VW Rückschlüsse auf Automatisierungsmöglichkeiten in mittleren und kleineren Unternehmen zu ziehen. Die entscheidenden Punkte bei der Automatisierung des Volkswagenwerkes waren die Einflussmöglichkeit auf die Konstruktion und die tatsächlich durchgeführten konstruktiven Änderungen am Produkt, die zu einer automatisierungsgerechten Gestaltung des gesamten Fahrzeuges führten. So wurden bisher komplizierte Bewegungsabläufe in einfache gerade Bewegungsabläufe umgewandelt; z.B. sind alle Verschraubungen am Fahrzeugboden senkrecht auszuführen, d.h. mit linea-



Bild 20. Automatische Fahrzeug-Endmontage bei VW. Blick in den Bereich «automatisches Auflegen, Spannen und Festziehen des Keilriemens» in der Halle 54. (Werkbild VW)

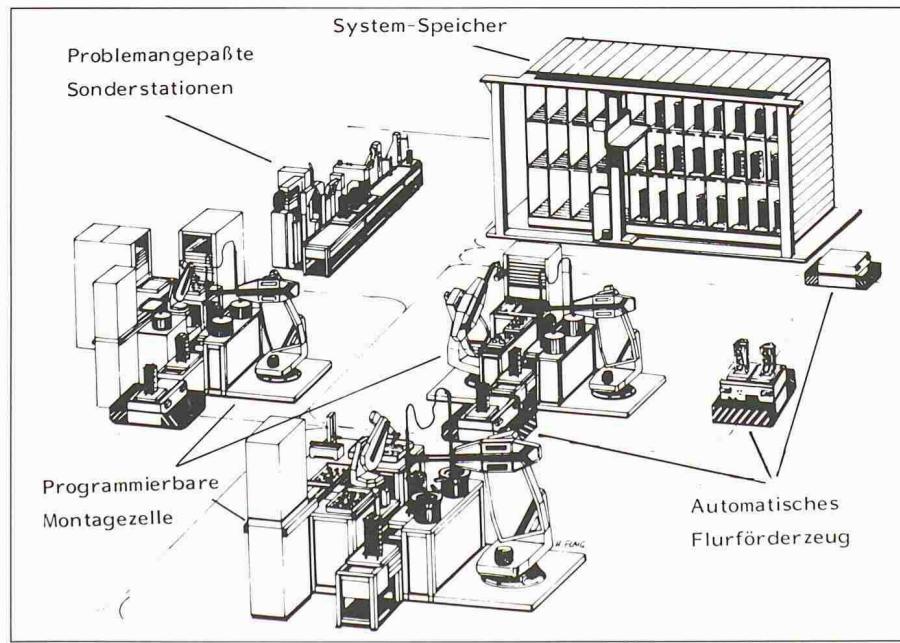


Bild 21. Flexibel automatisiertes Montagesystem. (Quelle IPA)

ren Fügebewegungen, und die Bremsleitungen wurden so umgestaltet, dass sie automatisch zu fügen sind. Darüber hinaus wurde das ganze Fahrzeugkonzept im Vorderwagenbereich dahingehend geändert, dass der Wagen vorne offen bleibt, und erst als letzter Arbeits-

gang, wenn alle im Motorraum befindlichen Teile montiert sind, wird die vordere Wagenfront angebracht. Dies erfolgt mit einer linearen Fügebewegung, und das ganze Frontelement ist vormontiert, mit bereits voreingestellten Scheinwerfern (Bild 20).

## Zukünftige Montagesysteme

### Linearkonzepte

Wie in Zukunft Montagesysteme mit flexibler Automatisierung aussehen, ist noch etwas umstritten. So gibt es Verfechter von Linearkonzepten, wo ähnlich einer Transferstrasse die einzelnen Montagesysteme linear hintereinander aufgereiht sind und die zu montierenden Produkte mit Hilfe eines Transportsystems quasi auf Werkstückträgern zu den einzelnen Montagebereichen gebracht werden.

### Verkettung

Einige Versuche hinsichtlich einer flexiblen Verkettung von Montagesystemen sind ebenfalls in der Automobilindustrie bereits im Gange. In einem Vorschlag für ein flexibel automatisiertes Montagesystem werden von einem automatischen Flurförderfahrzeug die zu montierenden Baugruppen auf Paletten in einzelne programmierbare Montagezellen oder problemangepasste Sonderstationen gebracht. Dieses System bietet noch mehr Flexibilität, insbesondere dann, wenn man sich vorstellt, dass einzelne dieser programmierbaren Montagezellen redundant sind, das heißt, dass bei Stillstand einer Zelle dieser Arbeitsgang von einer benachbarten Zelle ausgeführt wird, so dass nie ein totaler Produktionsstillstand befürchtet werden muss. Diese noch höhere Flexibilität bedingt leider im Augenblick noch stattliche Kosten, und so ist im Einzelfall abzuwägen, wie weit man den Flexibilitätsgedanken treiben kann (Bild 21).

### Expertensysteme

Bei der Planung solcher Montagesysteme wird in der Zukunft auch auf Expertensysteme zurückgegriffen werden können. So wird z.B. heute daran gearbeitet, Expertensysteme speziell für die Planung von Montageanlagen aufzubauen, um das Wissen von Experten, Anwendern, Herstellern und Produktentwicklern gleichsam zu nutzen und den Planer von Routinearbeit zu entlasten. Die Entscheidungsfindung wird transparent, und die Auswirkungen geänderter Randbedingungen können frühzeitig abgeschätzt werden. Solche Expertensysteme werden in wenigen Jahren zur Verfügung stehen, versehen mit einer ausreichenden Daten- und Wissensbasis, als Hilfsmittel für den Planer für Montageanlagen.

### Prognosen

Wie die Zukunft in den nächsten Jahren aussehen wird, weiß natürlich nie-

mand ganz genau. Im Bild 22 sind einige Antworten zusammengetragen, wie Montageexperten die Entwicklung der Montageautomatisierung in den nächsten 10 Jahren betrachten.

### Vorweggenommene Zukunft

Dass die Zukunft schon begonnen hat, mag das Beispiel der Fertigung von Druckern bei einem japanischen Computer-Hersteller zeigen:

Automatisch montiert werden drei Typen in einem Montagesystem, das insgesamt aus 127 Stationen (48 Industrieroboterstationen, 22 Schraubstationen, ca. 50 Prüfstationen, der Rest Sonderstationen) besteht. Die Taktzeit des Systems beträgt 18 Sekunden, und es werden derzeit im 2-Schichtbetrieb ca. 4000 Drucker pro Tag montiert. Die typischen Losgrößen betragen ca. 1000 Stück, und die Umrüstzeit der 127 Stationen ist mit 15 Minuten äußerst gering. Die Montagestationen sind über ein Doppelgurtband verketten, die Struktur des Systems ist mäanderförmig, so dass sogar mehrere Brücken über das Band notwendig sind. Die Anlieferung der Teile an die Montagestationen erfolgt über ein induktiv gesteuertes Flurförderfahrzeug. Von diesem werden die Magazine automatisch an Abstapelvorrichtungen übergeben, die aus mehreren Rollenzuführungen bestehen, so dass ein automatisches Abstapeln voller Paletten, Vorschlieben der Paletten und Rückführen der Leerpaletten sowie ein Aufstapeln der Leerpaletten ermöglicht wird.

Dieses automatische Montagesystem wird von nur 12 Mann bedient, die alle erforderlichen Arbeiten in dieser Montagehalle mit 2400 m<sup>2</sup> erledigen. Im Störungsfall werden sehr schnell, innerhalb von wenigen Sekunden, die Mitarbeiter zur ausgefallenen Station gerufen. Einige reparieren das defekte Gerät, während ein anderer parallel dazu die manuelle Montage durchführt. Es sind in der gesamten Linie keine Ersatzstationen oder Ausschleusmöglichkeiten für Werkstückträger vorgesehen, wie bei solchen Systemen normalerweise üblich. In der gesamten Montagehalle sind auch keinerlei Sicherheitseinrichtungen vorzufinden. Die Mitarbeiter sind entsprechend qualifiziert, und die gesamte Montagehalle wird als Sicherheitsbereich aufgefasst. Normalerweise ist die Montagehalle menschenleer, da nur für Störungsbeseitigung oder für Umrüstvorgänge menschliche Eingriffe erforderlich sind (Bild 23).

Die Entwicklung eines solchen komplexen Montagesystems war nur möglich durch eine konsequente montagegerechte Produktgestaltung. Ohne durch-

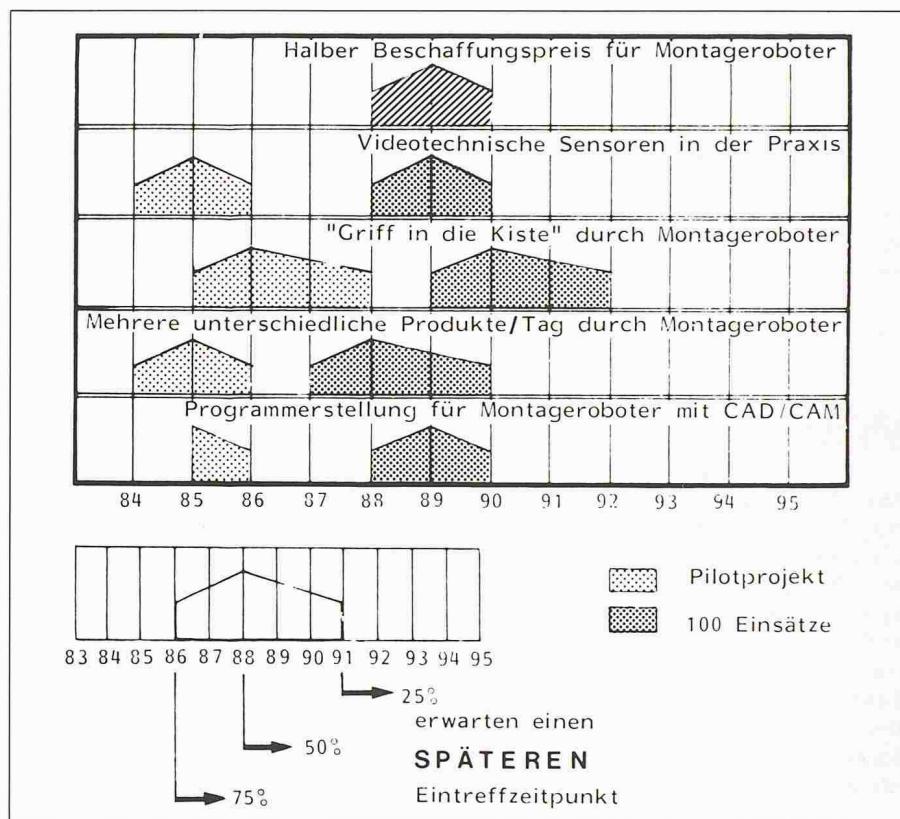


Bild 22. Delphi-Befragung zur flexiblen Montageautomatisierung. (Quelle: Tokyo University)

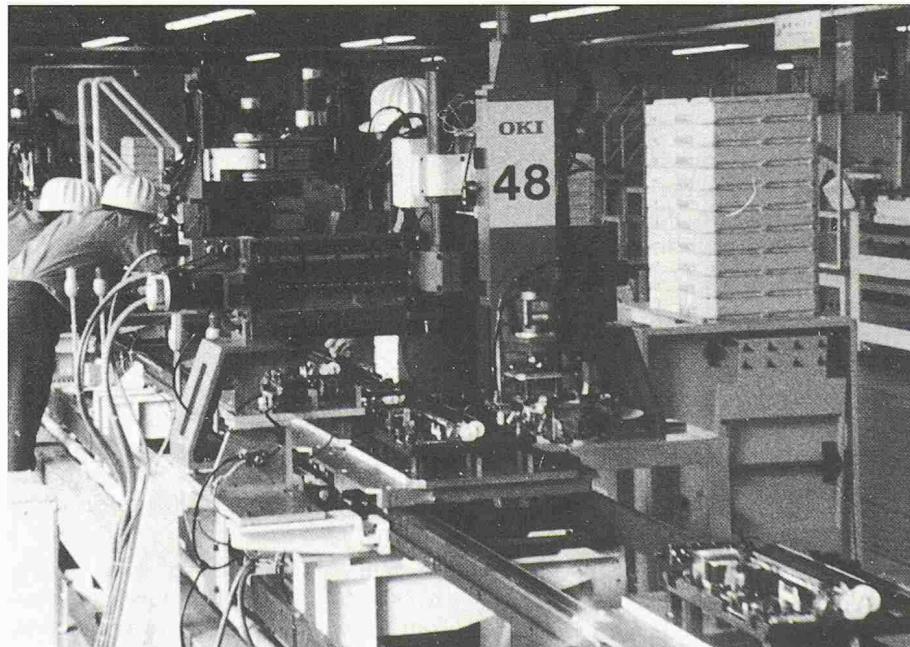


Bild 23. Automatisches Montagesystem für Drucker (Werkbild OKI-DATA)

greifende Überarbeitung der Produktkonstruktion wäre dies nicht denkbar gewesen. Von der Kostenseite muss man mit Vorbehalten an ein solches System herangehen. Im beschriebenen Beispiel wurden die gesamten Entwicklungskosten von der Konzernmutter als strategische Investition getragen und nur die tatsächlichen Erstellungskosten für das System in die Wirtschaftlichkeitsrechnung eingebbracht. Unter dieser Randbedingung jedoch darf das System

als äußerst wirtschaftlich bezeichnet werden.

Ob die Entwicklung in Europa ähnlich ablaufen wird wie in Japan, erscheint fraglich, da die dortigen Randbedingungen der Industrie doch anders geartet sind.

Adresse des Verfassers: Dr.-Ing. M. Schweizer, Direktor am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) Stuttgart.