

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 108 (1990)  
**Heft:** 5

**Artikel:** Trends und Perspektiven für Industrieroboter  
**Autor:** Kapoun, Josef  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-77358>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 01.04.2025

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

# Trends und Perspektiven für Industrieroboter

**Das Schlüsselproblem bei der weiteren Entwicklung und Anwendung von Industrierobotern liegt beim steigenden Anspruchsniveau der Aufgabenstellungen und damit bei der damit zusammenhängenden Komplexität bzw. Kompliziertheit der Roboter-Hardware und -Software. Dies führt dazu, dass die für die Anwender unerlässliche Wirtschaftlichkeit bzw. Rentabilität des Robotereinsatzes häufig noch nicht erreicht werden kann. Die Roboterhersteller bemühen sich daher heute vor allem, die Wirtschaftlichkeit des Roboterbetriebs durch verschiedene Massnahmen und Mittel zu verbessern, um so neue Anwendungsgebiete erschliessen zu können.**

Verbesserte Funktionsdichte und grössere Multifunktionalität, d.h. Flexibilität der Roboter einschliesslich deren

VON JOSEF KAPOUN, FRIBOURG

Peripherie; höhere Standardqualität der Roboterleistungen in Form höherer Genauigkeit der Bewegungswiederholungen und Positionierung des Greifers und der Werkzeuge; höhere Arbeitsgeschwindigkeit (z.B. Bahngeschwindigkeit); grössere Rechnerleistung (bis um den Faktor 4) und kürzere Rechenzyklen; neue, integrierte, schnellere und dabei höchstzuverlässige Steuerfunktionen sind am augenfälligsten auf dem

Weg zu wirtschaftlicheren Industrierobotern (Bilder 1 bis 3).

Zum Beispiel verbesserte ein deutscher Roboterhersteller für seine «Compact»-Steuerung (zum Niedrigpreis) die Transformationszyklen, Interpolationsakte und Regelzyklen um den Faktor 4; sie erreicht eine Höchstgeschwindigkeit von 1,25 m/s beim Verfahren. Für den Anwender bedeutet dies, dass der Roboter bei gleicher Bahngeschwindigkeit dreimal schneller arbeiten oder bei doppelter Bahngeschwindigkeit gleichzeitig auch doppelt so genau sein kann.

Darüber hinaus stehen weitere Massnahmen und Mittel zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit im Vordergrund.

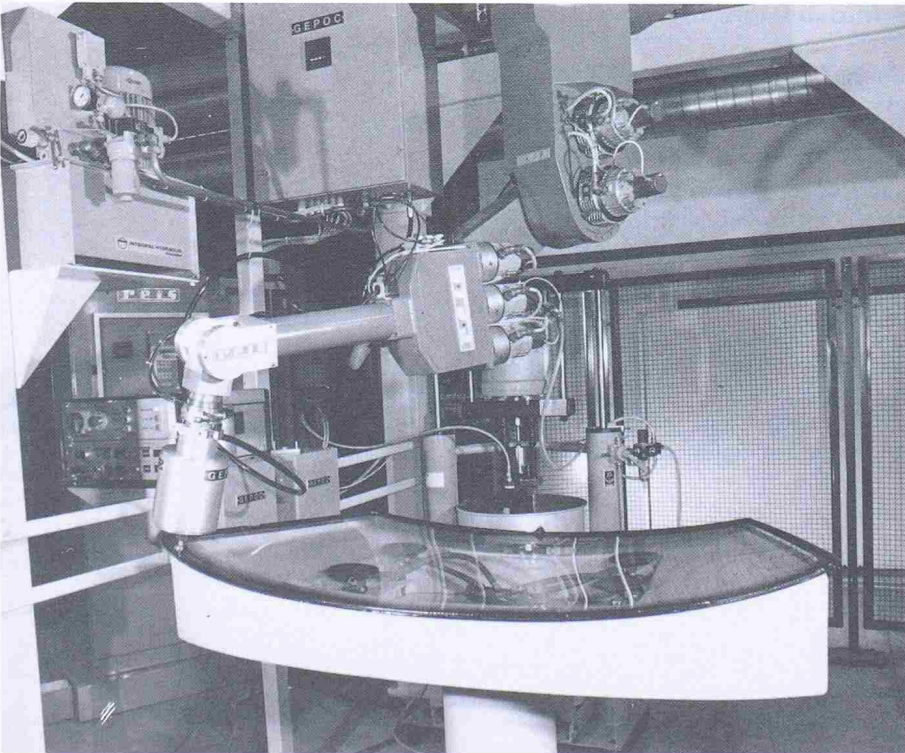


Bild 1. Roboter-Automatik für das Aufbringen von Gummi-Dichtungsprofilen auf Autoscheibe. Kleber- und PU-Auftrag mit schneller Orientierungsänderung des Roboters unter Beibehaltung der Bahngeschwindigkeit bei hoher Bahngenaugkeit in abgestimmtem Gesamtkonzept zwischen der neuen Robotersteuerung ROBOTstarIV und dem Präzisionsroboter RV12 sowie einem neuen, reaktionsschnellen Dosiersystem. (Quelle: Reis GmbH & Co, Maschinenfabrik, Obernburg/BRD)

## Massnahmen und Mittel zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit

### Software

Entwicklung und Mitlieferung (von zum Teil bereits intelligenter) Software wird zur unerlässlichen Bedingung.

Fortschrittliche Roboter-Peripherie-Hersteller binden in das Systempaket auch die Software ein, denn Softwarehäuser sind nur in seltenen Fällen in der Lage, Verfahrensprozesse anwendungsorientiert zu definieren und entsprechend zu programmieren.

Die mit der Software mitgelieferte Eigenintelligenz der Robotersteuerung ist mittlerweile so hoch, dass die Programmierung in der Werkstatt ohne tiefere Kenntnisse über Roboter und Programmiersprachen übernommen werden kann.

### Komfortable, auch neuartige Programmierverfahren

Der Trend führt hierbei von der Online-Programmierung, also an der Robotersteuerung direkt, hin zur bequemen externen Offline-Programmierung, welche das Verhältnis von Programmierzeit zur Arbeitszeit wesentlich verbessert. Bei ihr ist der Programmierplatz vom Roboter getrennt: Während der Programmierzeit kann der Roboter weiterarbeiten, es entstehen also keine Stillstandzeiten bzw. Ausfallzeiten. Neuartig ist beispielsweise die Masken-Programmiermethode nach dem Window-Prinzip mit «Pull-Down-Menü»-Technik, die in Verbindung mit der Offline-Programmierung für eine ganze robotisierte Fertigungszelle angewendet werden kann. Bei diesem Programmierverfahren sind Achsen in die Bahntransformation einbezogen.

### Sensoren

Verbesserte, aber zugleich auch wirtschaftlichere Sensoren (taktile, optische, akustische, Lasersensoren usw.) und Bildverarbeitungssysteme (intelligente Sensoren) erfassen und analysieren Daten schneller und leiten sie flinker an die Steuerungen weiter (Bild 4). Dies ist besonders wichtig bei einer hohen Automatisierungsdichte (z.B. bei einer Flexiblen Fertigungszelle oder -linie), bei der ein sehr intensiver und schneller Datentransfer von Teilegeometrie- und Maschinendaten, Arbeitsfortschritten, Dokumentation der Qualitätssicherung und anderes mehr unerlässlich ist. Lokale Netzwerke (LAN) sorgen dafür, dass die Maschine-Ma-

schine-Kommunikation zwischen den einzelnen Automaten zuverlässig funktioniert. Die Werkstücke werden damit ständig auf ihrem Weg durch die Produktion verfolgt, wobei integrierte Prüf- und Messeinrichtungen (einschl. Messroboter) mit ihren Ergebnissen den Produktionsprozess steuern. Eine Sensorführung ermöglicht die Modifikation der Bewegungsabläufe des gekoppelten Roboters in Abhängigkeit von aktuellen Umgebungsinformationen, die im Robotersystem eben durch Sensor(en), ein Visionsystem (mit mehreren Videokameras) oder ein Bildverarbeitungssystem erfasst und an den Roboter-Computer geliefert werden. Dazu kommt ferner, dass nur in Verbindung mit geeigneter Sensorik und CIM-gerechten und vernetzten Technologien diese Forderungen nach schneller Datenerfassung und lückenloser Kontrolle und Dokumentation wirtschaftlich erreicht werden. Moderne Robotersteuerungen mit DNC-Schnittstellen und mit Kommunikationsfähigkeit zu übergeordneten Systemen sind dabei wichtige Elemente.

### Anwendung von DNC-Systemen

DNC überträgt Daten vom Rechner zu den NC-Maschinen und Robotern und umgekehrt. Planungs- und fertigungsrelevante Daten fließen in allen Richtungen; das DNC sorgt dafür, dass die Informationsflüsse geordnet, einfach, rasch und reibungslos verlaufen und funktionieren. Durch die Verknüpfung aller Betriebsbereiche mit DNC zu einem einheitlichen Gesamtsystem führt der Rechnereinsatz zu einer Effizienzsteigerung. Durch DNC werden nicht nur alle CIM-Module integriert, sondern es werden auch die bereits im Betrieb vorhandenen Komponenten zu einer optimalen Einheit verbunden.

Die Funktionalität des DNC-Systems umfasst das Verteilen und Verwalten aller Daten, die zwischen Werkstatt und Fertigungsleitebene ausgetauscht werden. Als Datenverteilungssystem reagiert das DNC auf eine Anforderung, ein NC-Programm in die CNC-Maschine einzulesen, mit einer Übertragung: Es stellt das gewünschte Programm bereit. Bei einem Sendewunsch der Maschine sorgt DNC für das Auslesen des betreffenden Programms.

Als Datenverwaltungssystem weiss DNC stets, wer an welcher Stelle ganz bestimmte Informationen hat oder braucht. Es legt NC-Programme selbstständig an der richtigen Stelle im Archiv ab und stellt sie wieder bereit, wenn sie gebraucht werden.

DNC bedient auch die Werkzeug-Voreinstellung: Die Vorgabedaten können am Werkzeugeinstellgerät angefordert

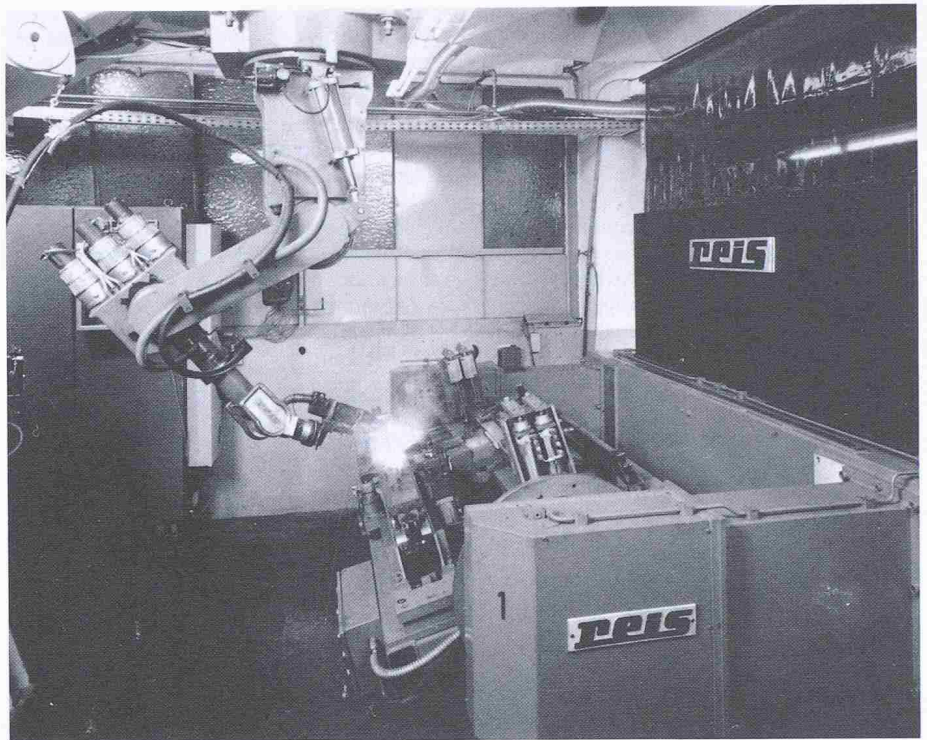


Bild 2. Roboterschweißen mit Zusatzachsentransformation  
Viele Schweiss- bzw. Schneidaufgaben verlangen aus Gründen der Qualität die Bereitstellung des Werkstückes immer in Vorzugslage. Mit Hilfe von freiprogrammierbaren peripheren Zusatzachsen, z.B. mehrachsigen Werkstückpositionierern, kann das Bauteil im Arbeitsraum des Roboters optimal bereitgestellt werden. Beim Schweißen werden auf diese Weise optimale Einbrandbedingungen und somit höchste Qualität entlang des gesamten Nahtverlaufes erzielt. Die aufgebaute Schweisszelle zeigt einen Reis-Schweisroboter Typ SRV12L mit einem Arbeitsraum von über 3000 mm Durchmesser, hängend an einem C-Ständer montiert. (Quelle: Reis GmbH & Co, Maschinenfabrik, Obernburg/BRD)

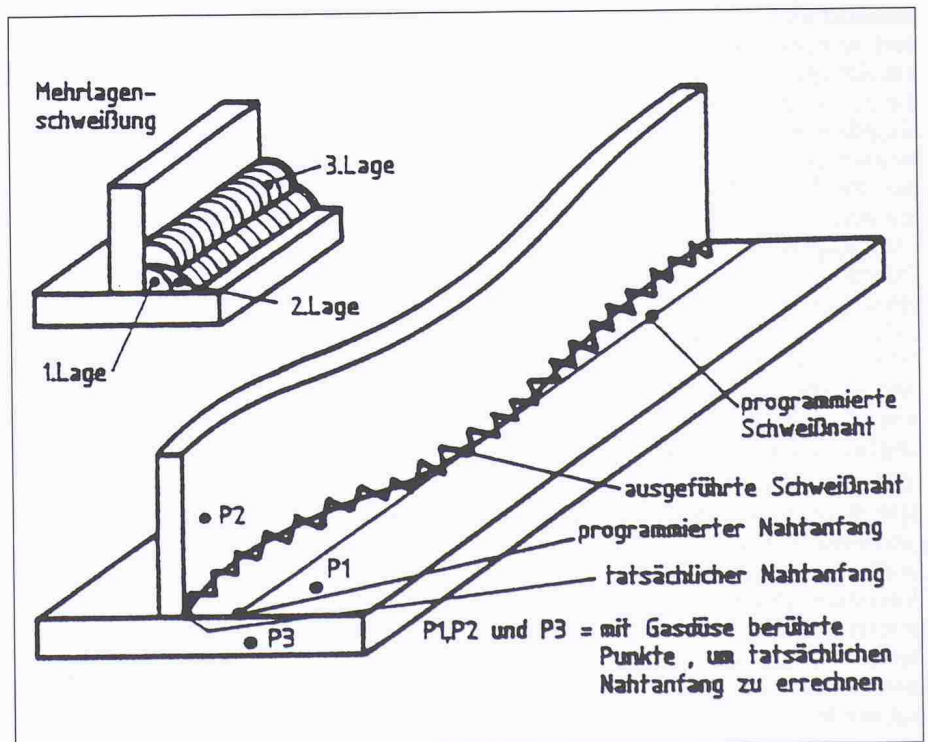


Bild 3. Roboter-Intelligenz durch Nahtfindungs- und Nahtführungssensor. In bis zu 3 Ebenen kann der durch Toleranzen verschobene Nahtanfangspunkt vom Roboter selbstständig ermittelt und sofort genutzt werden mit besonderen Vorteilen für Mehrlagenschweißung, bei welcher nach Erfassung der ersten Lage die Decklagen über einen konstanten, programmierten Versatz erstellt werden. (Quelle: Reis GmbH & Co, Maschinenfabrik, Obernburg/BRD)

Sensorgeführte Industrieroboter werden in zunehmendem Mass zur Lösung nachfolgender Aufgaben eingesetzt:

- Bereitstellungs- und Werkstücktoleranzen ausgleichen
- Bewegte Werkstücke von Fördermitteln entnehmen
- Werkstückvarianten erkennen
- Nachgiebige und biegsame (biegeschlaffe) Werkstücke handhaben
- Werkstückkonturen verfolgen
- Bewegungsprogramme sensorunterstützt erstellen

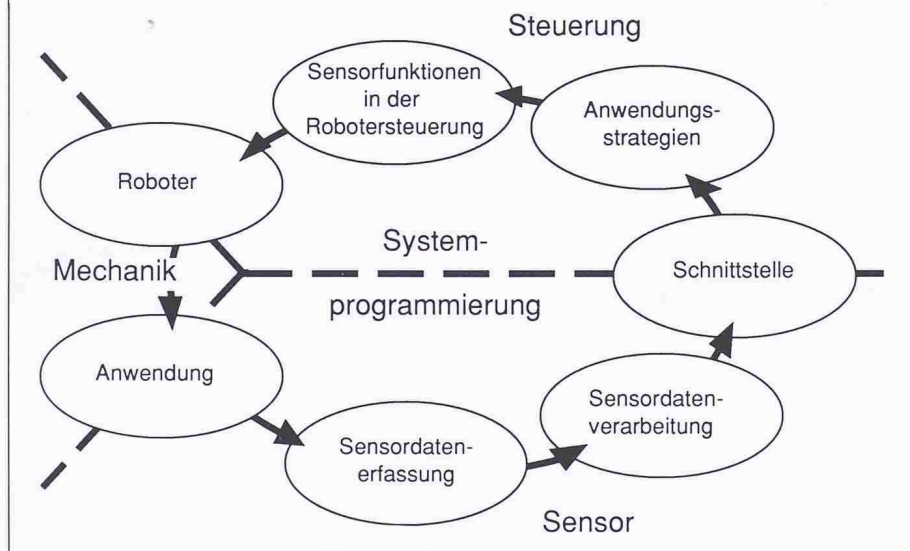
Die Realisierung eines Gesamtsystems erfordert fundierte technologische Kenntnisse in den Bereichen

- Schnelle Echtzeitdatenverarbeitung auf Mikrocomputer-Systemen
- Algorithmen zur Signalverarbeitung und -filterung sowie zur Kontur-, Kanten- und Merkmalsextraktion
- Roboterbewegungsführung/Steuerungstechnik
- Schnittstellentechnik
- Anwendungsspezifisches Know-how

Folgende Sensorarten stehen für den industriellen Einsatz zur Verfügung:

- video-optische (Bildverarbeitung)
- optische (Lichttaster und -schranken, Lasertriangulation, Laserscanner)
- Ultraschall (Abstandsmessung, Scanner)
- induktive, kapazitive und magnetische Näherungssensoren
- Kraft/Momentensensoren
- taktile Taster und Arrays

(Quelle: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung [IPA], Stuttgart)



**Abkürzungen**

- BDE Betriebsdaten-Erfassung
- CIM Computer Integrated Manufacturing
- DNC Direct Numeric Control
- CIL Computer Integrated Logistics
- FFZ Flexible Fertigungszelle
- FTS Fahrerlose Transportsysteme
- HHO Handhabungsobjekte
- KTL Kleinteilelager
- LAN Local Area Network
- MAP Manufacturing Automation Protocol
- MDE Maschinen-Datenerfassung

Bild 4. Komponenten sensorgeführter Robotersysteme in schematischer Darstellung

werden. Die vermessenen Daten werden der Bearbeitungsmaschine zugeordnet und können von dort angefordert werden. Durch das DNC-System hat der «gute alte» Lochstreifen ausgedient, die Papierflut wird weitgehend eingedämmt, der Fertigungsablauf ist wesentlich transparenter. DNC erhöht die Produktivität der Fertigungsmaschinen, denn die Kapazitäten werden voll ausgelastet, weil die Rüst- und Durchlaufzeiten kürzer werden. Auch bei strenger Auftragsabwicklung lassen sich vereinbarte Liefertermine halten. DNC macht überhaupt die ganze Arbeit leichter und humaner, weil durch schnelles und einfacheres Datenhandling Stress abgebaut wird.

DNC integriert MDE/BDE: Im MDE/BDE-Bereich melden Bediener oder angeschlossene Maschinen die jeweiligen Ist-Daten über den DNC-Strang an den Werkstattrechner. Dieser wertet die gelieferten Daten aus, zieht seine Schlüsse daraus, reagiert automatisch und angemessen oder schlägt dem Bediener die richtige Reaktion vor.

Fazit: Anwendung der DNC-Technologie zur automatischen Kommunikation und Steuerung von Maschinen und Geräten bringt folgende Vorteile:

- einheitliches Informationssystem
- effizientere Datenverwaltung

- automatische Datenfluss
- schneller und sicherer Datenzugriff
- einheitliche Lösung für DNC/MDE/BDE

Die hohe Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit dieses Kommunikations- und Steuerungssystems bildet eine weitere Grundlage für die Erzielung von kalkulierten Amortisation betriebener Automaten- und Robotersysteme.

**Einsatz intelligenter Sensoren**

Sensorik nimmt für die weitere Entwicklung bei den Industrierobotern eine Schlüsselstellung ein.

An vielen Roboterarbeitsplätzen muss man doch mit unvorhergesehenen Ereignissen, mit fehlpositionierten Werkstücken, mit Formabweichungen in der Werkstückgeometrie, mit Verschleiss oder Bruch von Werkzeugen und mit unvollkommen erstellten Programmen zurechtkommen. Mit dem Erkennungsvermögen von Sensoren, Visionsystemen und Bildverarbeitungssystemen können Roboter folgerichtig und äusserst schnell reagieren - oder sogar vorausschauen - und sich somit «intelligent» verhalten (Bild 5).

Es werden bereits auch Programmierwerkzeuge mit Sensoren anstelle der üblichen Arbeitswerkzeuge eingesetzt, um offline erstellte Programme den ak-

tuellen Gegebenheiten automatisch anzupassen. Das Programmierwerkzeug korrigiert in einer Lernphase das grob vorgegebene Roboterprogramm, indem es mit seinen Sensorsignalen bei reduzierter Bahngeschwindigkeit die Roboterhand der Werkstückkontur entlang führt.

**Einsatz intelligenter Greifer**

Ein mit hochleistungsfähigem Sensor oder Visionsystem (z.B. Kraft/Momentsensor bei Montagerobotern oder Laser-Sensor bei Schweissrobotern) ausgerüstetes, elektronisch-servogesteuertes Greifersystem erhält beispielsweise folgende, zum Teil intelligente Fähigkeiten:

- adaptives Arbeiten je nach aktuellen Umweltinformationen
- unabhängige Servosteuerung von jedem Greiferfinger
- Positionserfassung in jedem Finger
- automatischer Fingerwechsel
- vorprogrammiertes Verfahren für das Bauteilegreifen.

Intelligente Sensoren und Greifer bilden die Peripherie von Robotern. Diese können selbst ein Produkt der künstlichen Intelligenz sein. Die Entwicklung ganzer intelligenter Industrieroboter schreitet sicher voran, und es gibt bereits die ersten marktfähigen Roboter

mit gewisser Eigenintelligenz. Zu solchen gehören beispielsweise Fahrerlose Transportsysteme (FTS), die ohne bodengebundene Leitspur innerhalb einer Werkhalle, durch Abstandsensoren, Bordcomputer und übergeordneten Rechner gesteuert, flexibel verkehren.

Bei intelligenten Maschinen bzw. Robotern braucht nicht besonders betont zu werden, dass je näher man sie dem Leistungs- und Fähigkeitsniveau des Menschen heranführen will, um so teurer und komplexer und damit störungsanfälliger sie werden. Man sollte daher – gerade angesichts der vorrangig geforderten Wirtschaftlichkeit – nicht Roboter verlangen, die (fast) alles können.

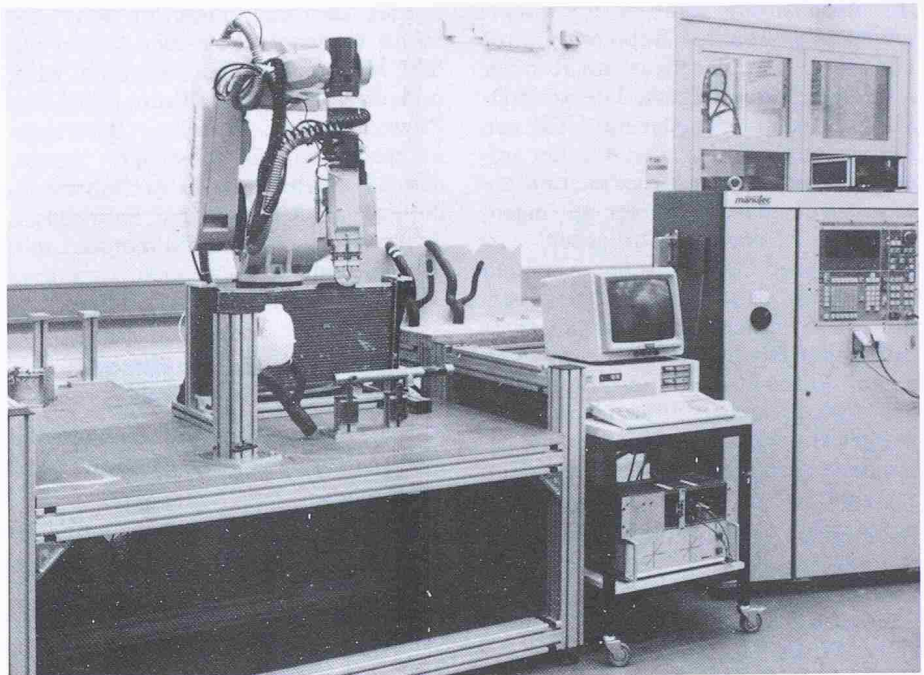
### Modularer, baukastenartiger Aufbau der Roboter-Hardware und -Software

Der Wirtschaftlichkeit der Roboteranwendung förderlich ist auch der modulare, baukastenartige Aufbau des ganzen Roboters – notfalls bis zur Möglichkeit der Eigenmontage. Denn sie erlaubt (zusätzlich auch durch Verwendung von Komponenten aus Leichtmetallen und Kunststoffen) schnellere Installation und Inbetriebnahme der Roboteranlage, so dass sie früher als sonst produktiv wird, sowie in der Zukunft auch problemlos erweitert und an neue Aufgabenstellungen und Produkte leicht angepasst werden kann. Das angewendete Baukastenprinzip bzw. -system sollte auch dazu geeignet sein, den betreffenden Roboter auch in höherstufige Automatenysteme, z.B. Flexible Fertigungszellen, leicht zu integrieren.

### Integrierbarkeit, Vernetzbarkeit, Multifunktionalität

Integrierbarkeit und Vernetzbarkeit der Robotersysteme mit anderen halb- und vollautomatischen Fertigungs-, Montage- und/oder Logistikmaschinen, -geräte, -systeme und -einrichtungen lassen einen Industrie- oder Logistikroboter höhere Arbeitsproduktivität erbringen, weil er seine multifunktionalen Leistungsfähigkeiten voll zur Anwendung bringen kann.

Dies ist häufig dann möglich, wenn er im Verbund oder in Verkettung mit anderen Be- oder Verarbeitungsmaschinen, Arbeitsplätzen und angekoppelten Logistikseinrichtungen und Peripherie-Systemen (z.B. automatische Kleinteilelager, Behälter-Kommissionierlager oder Palettenhochregallager) arbeiten kann. Der Einsatz z.B. eines Montage-roboters ist meistens sinnvoller, wenn er in eine grössere automatisierte Produktionslinie eingebunden und mit anderen Anlagen über einen Datenbus (LAN, DNC) vernetzt ist, als wenn er



*Bild 5. Schlauchmontage mit sensorgeführtem Industrieroboter  
Kühlwasserschläuche werden automatisch an Motorblock und Kühler montiert. Dazu muss nach dem Fügen des ersten Schlauchendes durch eine Sensormessung und nachfolgende Informationsverarbeitung auf einem externen Sensorrechner die Position des zweiten Endes bestimmt und der Steuerung zur Korrektur der Greifposition übermittelt werden. Zusätzlich ermöglicht der Sensor eine Kontrolle des Fügeergebnisses.  
(Quelle: IPA Stuttgart)*

allein arbeitet. Der eindeutige Trend zur integrierten und robotisierten Fertigung (CIM, MAP) belegt dies auch ganz deutlich.

Heute gilt in grossen und mittelständischen Industrieunternehmen, dass nicht der isolierte Einsatz einzelner Automaten und Automatisierungskomponenten ausschlaggebend für eine wirtschaftliche und flexible Produktion ist, sondern die umfassende Systemlösung einer kompletten Fertigungs-/Logistikaufgabe. System heisst: die Peripherie und natürlich auch die Sensorik stehen gleichwertig neben Automaten, Manipulatoren, Robotern, Handhabungs- und (Puffer-)Lagereinrichtungen. Die Peripherie bedeutet doch das «Davor», «Daneben», «Dazwischen» und «Dahinter» («4D») der betreffenden automatischen Anlage. Eingeschlossen in diese Peripherie ist selbstverständlich die sie steuernde und überwachende Software.

Fertigungs- und Logistiksysteme beginnen also nicht erst bei komplexen Transferstrassen, sondern dort, wo die einzelnen («nackten») Komponenten durch vorgelagerte oder nachgeschaltete Funktionseinheiten (Werkstückträger, Zuführ-/Abführeinrichtungen, Wechselgreifer u.dgl.) mechanisch und steuerungstechnisch über eine Schnittstelle miteinander zu einer produktiven Einheit – zu einem Intra- und Interaktiven System – verknüpft sind. Was

zuerst vorwiegend im Automobilbau verwirklicht worden ist, setzt sich heute auch in mittelgrossen und kleineren Unternehmen durch. Wo früher einzelne Komponenten eingekauft und von der Betriebsmittelkonstruktion und dem Sondermaschinenbau zu automatisch arbeitenden Fertigungssystemen zusammengestellt wurden, verlangt es jetzt nach gesamtheitlichen Denkweisen und Problemlösungen, die aus einer Hand, d.h. von einem Hersteller, kommen sollten. Diese Forderung und Notwendigkeit hat nicht zuletzt dazu geführt, dass alle bedeutende Roboterhersteller ihre Gerätepalette entsprechend ausgerichtet haben.

### Mobile Industrieroboter:

In der Robotologie (Wissenschaft von Robotern) unterscheidet man unter anderem zwischen stationären und mobilen Robotern.

Stationäre Industrieroboter haben einen fixen Standort, an dem sie am Boden, an der Wand oder an der Hallendecke bzw. Hallenkonstruktion befestigt sind. Sie besitzen einen Arbeitsraum, der nur dann verändert werden kann, wenn auch die maschinenbaulichen Komponenten des Roboters verändert werden.

Mobile Industrieroboter sind an ihrem Einsatzort beweglich, also verfahrbar.

Ihr Arbeitsraum kann – im Unterschied zu stationären Robotern – ohne konstruktive Änderungen am Roboter selbst modifiziert werden. Die Roboter-Mobilität kann entweder mit Hilfe von Fördermitteln, welche den Roboter aufnehmen und an der Arbeitsstation absetzen, oder durch Roboter mit eigenständiger Systemverfahrbarkeit erreicht werden. Mobile Roboter können auf einem Fahrerlosen Transportsystem (FTS) aufgeprotzt, oder an einer Elektrohängebahn (EHB) oder auch an einem Automatikkrane installiert werden. Entsprechend ihrer technischen Ausgestaltung sind es somit schienengebundene oder nichtschienengebundene Systeme.

Bei mobilen Industrierobotern sind Erweiterungen des Wegenetzes durch Schienenverlängerung, zusätzliche Leitdrahtverlegung oder Anlegung einer virtuellen (gedachten, freiprogrammierbaren) Leitlinie oder aber Veränderungen des Arbeitsraumes durch geänderte Weichenstellung leicht möglich.

Mobile Roboter mit virtueller, also nicht aktiver (induktiver) oder passiver (nur reflektierender) Leitlinie sind keiner Bodeninstallation und sonstigen Einschränkungen der programmässigen Bewegungsfreiheit unterworfen.

Zukünftig werden mobile Industrieroboter für Fertigungs-, Montage- und/oder Logistikaufgaben verstärkt aus einer einsatzspezifisch ausgelegten Roboter-Fahreinheit sowie einem entsprechenden Roboterarm gebildet werden.

Der Trend weist auf eine verstärkte und beschleunigte Entwicklung und Anwendung von mobilen Robotern in der Produktion (Fertigung und Montage) und in der Logistik (Ein-/Auslagern, Palettieren/Depalettieren, Palettieren/Kommissionieren, Befördern/Puffern/Handhaben).

Die Entwicklung mobiler Produktions- und Logistikroboter, die besonders in den USA, in Japan und in der Bundesrepublik Deutschland mit starkem Engagement betrieben wird, steht jedoch heutzutage noch in den Anfängen. Dennoch lassen sich jetzt schon einige sehr interessante und leistungsfähige Robotersysteme vorweisen, von denen einige bereits über das Pilotstadium hinaus praktisch erfolgreich eingesetzt werden. Ihre grosse Zukunft scheint noch vor ihnen zu liegen, denn darauf weisen weltweit erstellte und veröffentlichte Marktstudien und -prognosen von einigen japanischen, amerikanischen und bundesdeutschen Instituten. So sieht beispielsweise eine Marktprognose des amerikanischen Beratungsunternehmens Technical Insights für mobile Industrieroboter ein Marktpo-

tential, das sich allein in den USA schon in den frühen 90er Jahren auf 800 Millionen Dollar belaufen wird, und dies mit zweistelligen jährlichen Zuwachsraten. Dasselbe Beratungsunternehmen prognostiziert ferner, dass 1990 zehn Prozent der Jahresproduktion an Robotern auf Fahrerlosen Transportsystemen (FTS) montiert sein werden, um so beweglich vielfältige Handhabungsaufgaben zu erfüllen.

### Hauptgründe für den Einsatz mobiler Industrieroboter

Für die hier aufgezeigte Entwicklung gibt es mehrere gewichtige Gründe, vor allem aber:

- hohe Wirtschaftlichkeit des Roboterbetriebes, und
- höhere Einsatzflexibilität der mobilen Fertigungs-, Montage- und/oder Logistikroboter.

Die höhere Wirtschaftlichkeit und Flexibilität ergibt sich einfach dadurch, dass ein mobiler Roboter mehrere Aufgaben gleichzeitig ausführen kann (z.B. Befördern, Materialpuffern und Handhaben), dies auch während seiner Fahrt zwischen zwei und mehreren Stellen bzw. Be- oder Verarbeitungsanlagen. Seine unnützen Stillstandzeiten sind also absolut minimal.

Mobile Roboter bringen auch den weiteren wichtigen Vorteil mit sich, dass bei Ausfall einer von ihnen ver- oder entsorgten Maschine einer Flexiblen Fertigungszelle (FFZ) nicht die gesamte Zelle bei der manuellen Reparatur aus Sicherheitsgründen stillgelegt werden muss: Mobile Roboter umfahren die defekte Maschine und setzen ihre Arbeit ohne grössere Störungen fort; die Fertigungszelle kann also, zumindest teilweise, weiterproduzieren.

Zu den wichtigen Vorteilen von mobilen Industrierobotern gehört ferner, dass anstelle mehrerer stationärer Roboter ein oder nur wenige mobile Roboter eingesetzt werden können, wodurch auch die Investitionsausgaben erheblich reduziert werden können.

### Logistikstrukturen

Mit mobilen Robotern lassen sich auch neue Produktions- und Logistikstrukturen, welche auch grössere räumliche Arbeitsbereiche erschliessen, verwirklichen, da ortsfeste Systemkomponenten, wie Montageplätze, zu flexiblen, dem jeweiligen Produktionsprogramm entsprechenden Fertigungs- und Montagebereichen mit direkter (Puffer-) Lageranbindung zusammengefasst werden können.

Mobile Logistikroboter steigern ihre Produktivität, wie schon erwähnt, auch dadurch, dass sie mehrere Aufgaben

gleichzeitig übernehmen können. Sie integrieren beispielsweise die Arbeitsgänge Transportieren, Handhaben und Puffern. So ein Roboter ist zum Beispiel auf einem FTS montiert, trägt eine teleskopische Lastaufnahmebühne für Werkstückträger oder Gitterboxpaletten, die mit einem mitfahrenden Handlingroboter bei der Ver-/Entsorgung von Maschinen oder Fertigungszellen positionsgenau be-/entladen werden: alles als eine bewegliche Einheit, ein mobiles System, welches als Bindeglied verschiedene Arbeiten an den Schnittstellen des innerbetrieblichen Materialflusses zwischen Lager, Fertigung, Montage und Versand automatisch und genau ausführt. Durch seine multifunktionalen Eigenschaften kann das mobile System auch zur Andienung und Entsorgung von manuellen Arbeitsplätzen (z.B. Montageplätzen) und halbautomatischen Teilsystemen (z. B. Kommissionierlagern) eingesetzt werden. Dadurch fördert es auch die Humanisierung der Arbeitsumwelt.

### Marktanforderungen an mobile Industrieroboter

Mobile Industrieroboter sind, wie schon erwähnt, entsprechend ihrer spezifischen Ausgestaltung Produktions- oder Logistikroboter. In der Produktion dienen sie dem automatischen Schweißen, Fügen, Farbspritzen, Entgraten usw., in der Logistik lagern sie Paletten oder Behälter ein-/aus, palettieren/entpalettieren sie Paletten, Fässer, Säcke, Motorblöcke, kommissionieren in den Lagergassen, legen TV-Geräte in Versandkartons ein usw.

Damit beide mobilen Roboterarten (die sich nicht prinzipiell, sondern nur graduell voneinander unterscheiden) mit ihren Hauptvorteilen – höhere Betriebswirtschaftlichkeit und Flexibilität – maximalen Nutzen erbringen können, stellen Anwender im wesentlichen folgende (Markt-)Anforderungen:

- Grosser Arbeitsraum
- Mobilität
- Leichtbau

Im Vordergrund steht hierbei die Integration der aufeinander abgestimmten Teilkomponenten eines fahrbaren Roboters. Leichtbauprinzipien und neue Werkstoffe, wie etwa Kohlefaserverbundstoffe, können der Verwirklichung einer verhältnismässig hohen Mobilität grosse Impulse verleihen.

- Arbeitsgeschwindigkeit:

Der Roboter ist leistungsbestimmendes Element im Produktionsprozess und Materialfluss, so dass nur leistungsstarke, schnelle und wirtschaftlich einsetzbare Roboter gefragt werden. Neben dem bereits er-

wähnten Leichtbau verhelfen neuartige Antriebe und Steuerungen zu hohen und genauen Beschleunigungen und Arbeitsgeschwindigkeiten der Roboterarme und -hände.

- Robotergerichte Peripherie und Sensorik:  
Gerade im Materialfluss (mit Bewegungen von Paletten, Behältern, Packstücken, Werkstücken usw.) muss mit grossen Lage- und Formtoleranzen der bewegten Güter bzw. Handhabungsobjekte (HHO) gerechnet werden. Diesem Zustand kann nur durch eine robotergerechte Peripherie (Zuführ- und Abführsysteme u.dgl.) und durch aufgaben- und HHO-spezifisch ausgelegte Sensor- und Visionsysteme begegnet werden.
- Angepasste, leicht herstellbare Software
- Starke, aber auch flinke (flexible) Greifer
- Modulare Greiferwechselsysteme  
Ein mobiler Industrieroboter soll zudem hinsichtlich Energieversorgung und Steuerung sehr eigenständig operieren können, kombiniert mit einem gewissen Mass (zentraler und/oder dezentraler) Steuerungsintelligenz. An die Robotersteuerung werden somit erhöhte Forderungen gestellt, wenn man zusätzlich bedenkt, dass zyklische Bewegungsvorgänge im Materialfluss eher die Ausnahme darstellen.

Zu den weiteren Anforderungen an mobile Industrieroboter gehört deren Integrierbarkeit bzw. Einbindung in höherstufige Systeme via Infrarot an einen Auftrags- und Leitreechner, denn dies stellt die konsequente Verwirklichung der tendenziellen CIM-(Computer Integrated Manufacturing)-Philosophie dar und ist Basis einer flexiblen Einsatzplanung der ganzen CIM-Technologie in einem Unternehmen.

### Mobile Logistikroboter

Mobile Industrieroboter können nicht so eindeutig nach ihrer Bauart wie die stationären Produktions- und Logistikroboter (Säulen-, Halb- oder Vollportalroboter, an der Wand, an der Hallendecke oder -konstruktion oder an der Fertigungsmaschine befestigte Roboter, robotisierte Hub- und Arbeitstische) gegliedert werden, als vielmehr nach der Ausgestaltung ihres Fahrsystems und ihrer Hauptaufgabenstellung.

Bei den mobilen Logistikrobotern unterscheidet man daher

- Robofahrzeuge  
mit einem Führungssystem aus einer aktiven (induktiven), passiven (bloss

reflektierenden) oder virtuellen (frei-programmierbaren) Leitlinie (FTS der 1., 2. und 3. Generation);

- Robotisierte Lagerbediengeräte  
Schienengeführte oder fahrspurlose LBG;
- Fahrbare Handlingroboter  
in Gestalt eines FTS, einer robotisiertem EHB oder eines robotisierten Automatikkrans, die je nach ihrer vorrangigen Zweck- bzw. Einsatzbestimmung als mobile
- Transportroboter,
- Handlingroboter,
- Palettier-/Entpalettierroboter,
- Kommissionierroboter (für die Kommissionierstrategie «Roboter zur Ware»),
- Robotisierte Lagerbediengeräte und
- Verpackungsroboter (heute eher noch Verpackungsmanipulatoren).

Sie sollen hier nachfolgend kurz dargestellt werden.

### Mobile Palettierroboter

Palettieren ist das Beladen einer Flachpalette mit Werkstücken oder Packstücken unter der Beachtung einer optimalen Flächen- und Raumnutzung der Paletten. Eine Palette bildet eine logistische Einheit (Lade-, Handling-, Transport- und Lagereinheit). Dabei ist auf eine ausreichende Stabilität des Werk- bzw. Packstückverbundes zu achten, der auch beim Transport der Palette auch über grosse Entfernungen bestehen bleiben muss.

Palettieren ist eine den Menschen physisch stark belastende Tätigkeit. In einer Arbeitsschicht müssen oft mehrere Tonnen an Gütern palettiert oder entpalettiert werden. Das schwere Palettieren können Palettierautomaten übernehmen, die aber aufgrund ihrer mangelnden Flexibilität nur stets dieselben Güter palettieren, also nur sortenreine Paletten zusammensetzen können.

Mobile Palettierroboter humanisieren nicht nur die beschwerliche und monotone Arbeit des Zusammenstellens und Auflörens von Paletten, sondern stellen vor allem sortenunreine Paletten flexibel (frei-programmierbar) zusammen, so dass stets vollbeladene (z.B. bis 1,3 Meter Höhe) Paletten für einen bis mehrere Abnehmer aufgestellt werden können. Dadurch können auch beladene Paletten ausliefernde Fahrzeuge auf ihren Lieferwegen voll ausgelastet werden (sie fahren sonst nur halb beladen herum und liefern fast nur «Holz», d.h. nur mit einer Artikelschicht beladene Flachpaletten, aus). Mobile, flexible Palettierroboter rationalisieren damit auch wesentlich den betrieblichen Nutzfahrzeugpark, so dass dieser auch mit weniger Fahrzeugen seine Liefer-

aufgaben optimal bezüglich Kosten/Lieferservice erfüllen kann.

Sortenunreine Paletten können auch durch stationäre Palettierroboter zusammengestellt werden; mobile Roboter sind hierbei zwar etwas langsamer, aber dagegen flexibler, weil die von ihnen zusammengestellten Paletten einen höheren Sortenunreinheitsgrad erreichen können. Dies deshalb, weil der mobile Palettierroboter Packstücke aus einer ganzen Reihe ihm (durch automatische Lagerbediengeräte) zugeführten sortenreinen Paletten in mobiler Weise entnehmen, also auf mehr Artikel zugreifen kann, als ein stationärer Palettierroboter. Durch seine Mobilität entlang einer längeren Reihe von vollen sortenreinen Paletten und derselben gegenüberliegenden Reihe von sortenunrein zu palettierenden Flachpaletten, erreicht der mobile Roboter eine höhere Wirtschaftlichkeit als der stationäre Roboter.

Die Entwicklung mobiler Palettierroboter steht noch am Anfang. Es stehen aber doch schon einige im erfolgreichen Einsatz, so beispielsweise ein verfahrbarer Palettierroboter auf der Grundlage eines FTS, der Garnrollen an Spinnmaschinen entnimmt und auf einen Magazinwagen palettiert.

### Mobile Roboter zum Ein- und Auslagern

Automatisierungslösungen mit mobilen Robotern gewinnen auch im Lagerbereich stark an Bedeutung. Hier kommt es speziell darauf an, den Lagerzugriff auf jede einzelne Lagereinheit (z.B. Packstücke auf einer Palette) dreidimensional zu ermöglichen. Eine geordnete Bereitstellung der Lagereinheit, einheitliche Packstückformen (die leicht durch Sensoren zu erkennen und durch Greifer zu fassen sind) und geringe Toleranzen sind hierbei Voraussetzungen für einen rationellen (verhältnismässig einfachen) Einsatz von mobilen Robotern (genauer: robotisierten Lagerbediengeräten) im Lager.

Entwickelt wurde bereits die erste Generation von robotisierten Lagerbediengeräten zum Ein- und Auslagern von normierten Behältern, nämlich in Form von:

- Kopplung eines handelsüblichen automatischen Regalförderzeuges (RFZ) mit einem Portalroboter zum Einsatz im Behälterlager. (Dieses mobile Behälterhandhabungssystem trägt den Namen «Julia».)
- Kopplung von automatischem Regalförderzeug mit einem automatischen Verteilfahrzeug zur Bedienung von Verschieberegalanlagen.
- Kopplung von Elektrohängebahn und Gelenkarmroboter zum Einsatz

im Lager. (Materialflusshandlingsystem «MHS»).

### Mobile Kommissionierroboter

Die sehr arbeitsintensive Kommissionierung stellt eine bis heute noch relativ wenig geschlossene Automatisierungslücke mit erheblichem Rationalisierungspotential dar. Dabei könnte der Robotereinsatz eine Fülle von Verbesserungen erbringen: Reduzierter Personaleinsatz, besserer Lieferservice durch schnelleres und vollständigeres Kommissionieren und Absenden der einzelnen Kommissionen in die Fertigung, Montage oder zu den Kunden.

Es stehen bereits stationäre Palettier- und Kommissionierroboter im erfolgreichen Einsatz. Bei den in der Entwicklung stehenden mobilen Kommissionierroboter bereitet noch die Schnittstelle zum zu greifenden Packstück oder (in einem Behälter ungeordnet liegenden) Werkstück («Griff in die Kiste») Probleme. Zu lösen sind hierbei noch: enge Lagen- und Formtoleranzen der Werk- oder Packstücke (Handhabungsobjekte, HHO), Flexibilität, Schnelligkeit und Greifstärke der Roboterhand, Auftragsverwaltung (Kommissionierleitsystem). Dennoch können automatische Kommissioniertätigkeiten bei ausgeklügelter Peripherie (Systempaletten, Sensoren, Greifer) und einer übergeordneten Leitsteuerung schon heute von mobilen Robotern übernommen werden. Zu ihnen gehören beispielsweise der schienengeführte Roboter «Romeo» zur Kommissionierung grösserer Packstücke oder der Roboter «Peter» zur Kommissionierung kleinerer Schachteln in Lagern der Pharmaindustrie.

Der grosse Durchbruch der Robotertechnologie wird in naher Zukunft über hochentwickelte, aber zugleich auch wirtschaftliche Sensoren und Greifersysteme sowie über im Leitreechner abgelegte Informationen über die Artikelpositionen und Artikeldaten («Gedächtnis») erwartet.

### Mobile Roboter zur Maschinenbeschickung

Ein bedeutendes Einsatzfeld von mobilen Industrie- bzw. Logistikrobotern ist die Maschinenbedienung und -verketzung. Eine optimale Auslastung möglichst aller Ver- und Bearbeitungsmaschinen in einem Unternehmen und die mögliche Einführung eines Dreischichtenbetriebs fördern den Bedarf nach diesen mobilen Robotern. Für die Ver- und Entsorgung sowie flexible Verketzung von Werkzeugmaschinen mit Teilen und Werkstücken wurden schon Mitte der achtziger Jahre in der Bundesrepublik drei mobile Roboter ent-

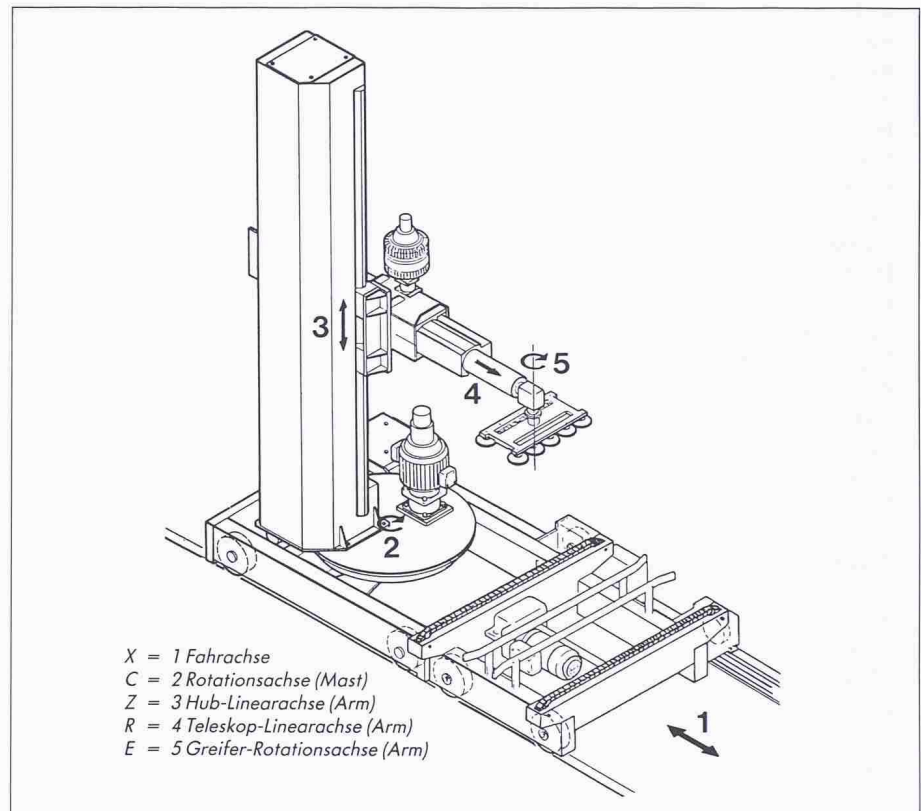


Bild 6. Aufbau des Materialflussroboters «Romeo» (Quelle: ITW, Dortmund)

wickelt, die mit einem FTS (Fahrerloses Transportsystem) nicht schienengeführt verfahren können.

Die Verwendung von flexibel automatischen FTS bietet sich bei der Werkzeugmaschinenbedienung bevorzugt an. Da in der Fertigung häufig schwere und sperrige bzw. grossvolumige Lasten (Werkstücke) bewegt werden müssen, wird hauptsächlich der (Brücken-, Säulen- oder Wandschwenk-) Kran eingesetzt. Fahrerlose Fördermittel gewährleisten aber immer mehr sowohl die üblichen Transportaufgaben als auch die Lastübernahme und -übergabe an der Schnittstelle FTS-Kran-Maschine. Die Gefahr der Kollision des mit automatischer bzw. computergestützter Steuerung ausgestatteten Kranes mit einem automatischen Flurförderzeug besteht nicht mehr, wobei auch die Spielzeiten der beiden Fördermittel erheblich verringert und die Zugriffs- bzw. Positionierungsmöglichkeiten verbessert werden können.

Der Einsatz von mobilen Robotern zur Mehrmaschinenbeschickung ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn die Anwendung stationärer Handlingroboter (als Säulen- oder Portalroboter) an den einzelnen zu bedienenden Fertigungsmaschinen aus wirtschaftlichen Gründen, zum Beispiel an der geringen Kapazitätsauslastung des fixen Roboters, scheitert (also unrentabel wird).

Die Entwicklung mobiler Roboter zur flexiblen Bedienung von Fertigungsmaschinen mit neu eingestellten Werkzeug-

gen geht erfolgreich voran, wie die folgenden Beispiele belegen.

### Mobile Logistikroboter des Fraunhofer Instituts für Transporttechnik und Warendistribution (ITW)

Das Dortmunder Fraunhofer Institut für Transporttechnik und Warendistribution ITW arbeitet unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Heimhard Jünemann auf dem Gebiet der Entwicklung mobiler Industrieroboter mit anderen bundesdeutschen Forschungsinstituten, Privatfirmen, Hochschulen und Universitäten zusammen. Die bisher so entstandenen, modernen mobilen Roboter tragen recht romantische (Romeo, Peter, Hermes, Julia), aber auch nüchterne (MHS) Namen. Sie seien hier kurz beschrieben.

### Mobiler Palettier- und Kommissionierroboter «Romeo»

Im Bereich der Materialflusstechnik besteht heute noch ein grosser Nachholbedarf an Automatisierung, der durch den gezielten Einsatz von mobilen Robotern befriedigt werden kann.

Der am Fraunhofer-Institut für Transporttechnik und Warendistribution entwickelte Roboter «ROMEO» ist speziell für die Kommissionierung palettierter Packstücke vorgesehen, kann aber auch andere Aufgaben, die in



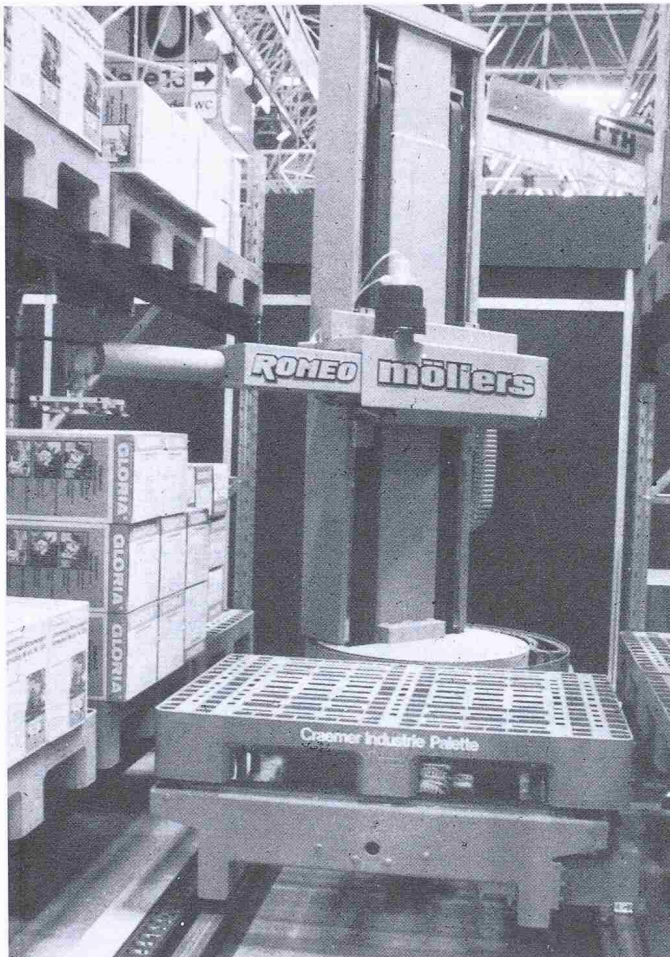


Bild 7. Die Achsanordnung des Roboters ermöglicht den Griff in Regalfächer (Quelle: Fraunhofer Institut für Transporttechnik und Warendistribution ITW, Dortmund)

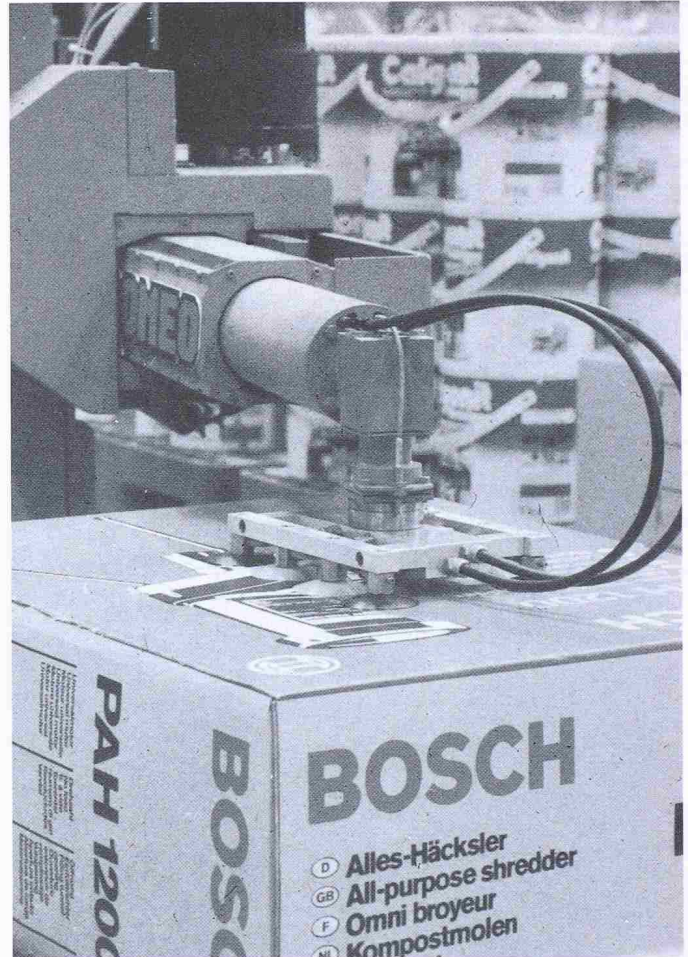


Bild 8. Vakuüm-Greifer nach dem Venturi-Prinzip; Tragkraft bis zu 50 kg (Quelle: ITW, Dortmund)

Materialflusssystemen anfallen, den Bedürfnissen der Praxis entsprechend übernehmen.

«ROMEO» besitzt fünf elektrisch angetriebene Achsen:

eine Drehachse im Fuss (2) eine Linearachse als Hub (3) eine TeleskopLinearachse als Arm (4) eine Drehachse als Greifer (5) (Bild 6).

Er ist zusätzlich auf einem Fahrzeug montiert, welches als «Roboterachse» betrieben wird (1). «ROMEO» ist so kompakt aufgebaut, dass er in einem Lagergang verfahrbar ist. Trotzdem besitzt das Gerät einen sehr grossen zylindrischen Greifbereich mit einem Durchmesser von 3800 mm. Greifbereich, Verfahrgeschwindigkeit und Achsanordnung sind für Kommissioniervorgänge konzipiert und optimiert.

Die für die Kommissionierung vorgesehene Palette wird auf einem abkuppelbaren Fahrzeug mitgeführt, von welchem Leerpaletten aufgenommen werden können.

Bei einfachen Palettieren und Depalettieren arbeitet «ROMEO» mit einem festen Programm. Hierfür ist in der Regel die Robotersteuerung ausreichend. Komplexe Kommissionierauf-

Anzahl der Bewegungsachsen	4-5
Traglast	max. 50 kg
Reichweite (Säulen-Drehachse/ Greiferachse)	1900 mm
Greiferarm-Hub vertikal	1850 mm
Säulen-Drehwinkel	360 Grad
Greifer-Drehwinkel	360 Grad
Verfahrbereich	auslegungsabhängig
Positionier-Genauigkeit	+ 0,5 mm
Geschwindigkeit (max.):	
Fahren	1 m/s
Drehen	122 Grad/s
Heben/Senken	1,25 m/s
Arm teleskopieren	1,44 m/s
Greifer drehen	133 Grad/s
Steuerung	Bahnsteuerung oder PTP-Steuerung je nach Anwendungsfall
Programmierung	Teach-in-Verfahren

Tabelle 1. Wichtige technische Daten des Transportroboters ROMEO (Quelle: ITW, Dortmund)

gaben erfordern den Anschluss an einen übergeordneten Leitreechner. Dieser Rechner hat die Daten der Artikelverpackungen gespeichert. Ausserdem sind ihm die Koordinaten und die Packmuster der bereitgestellten Artikel bekannt.

Der Leitreechner übernimmt die Verwaltung des Kommissionierbereichs. Er berechnet auftragsgebunden das

Packmuster für die kommissionierten Packstücke auf dem Palettenfahrzeug. Die zur Entnahme und Ablage der Packstücke erforderlichen Bewegungen werden automatisch generiert und ihre Ausführung vom Rechner überwacht.

Der vorgestellte Roboter eignet sich damit zum Kommissionieren und Palettieren von Artikeln mit einer Masse bis zu 50 kg (Bilder 6 bis 8; Tabelle 1).

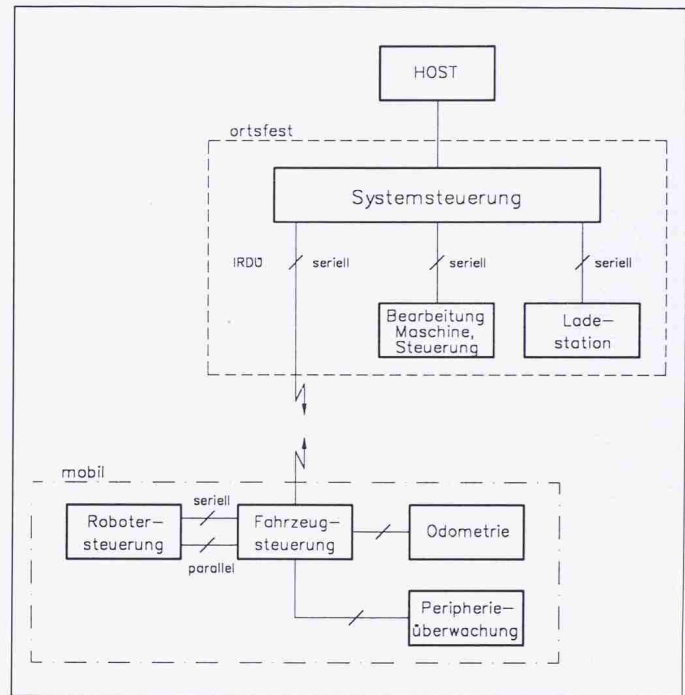
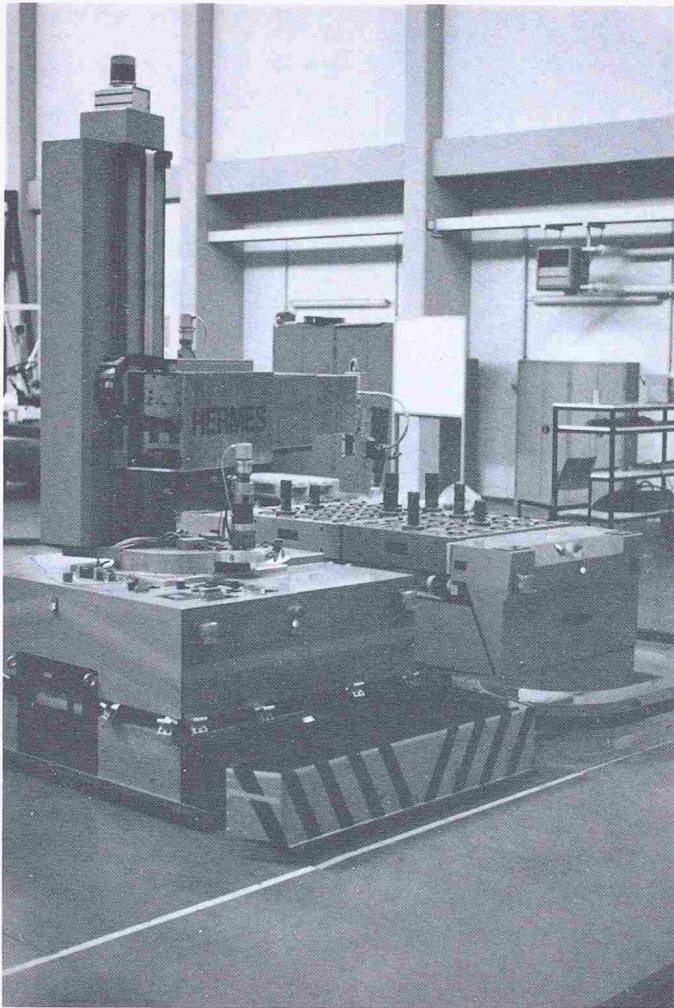


Bild 10. Steuerungsstruktur des HERMES-Gesamtsystems (Quelle: ITW, Dortmund)

Bild 9. Prototyp des mobilen Roboters HERMES (Stand 1989) (Quelle: ITW, Dortmund)

### Mobiler Roboter zur Werkzeugmaschinenbedienung und -verkettung «Hermes»

Das Erreichen der vollkommenen Produktionsflexibilität, die Losgrösse eins, bedingt die flexible Gestaltung des innerbetrieblichen Materialflusses. Die Mobilität von Industrierobotern bildet einen grundlegenden Beitrag bei der Verwirklichung dieses Zieles. Mobile Roboter können flexibel an verschiedenen Arbeitsstationen im Unternehmen ihre Handhabungsaufgabe durchführen und so die logistikgerechte Gestaltung des Materialflusses realisieren.

Ihre wesentlichen Vorteile sind:

- Erschliessung neuer Tätigkeitsgebiete (Kommissionierung, Werkzeugmaschinenbedienung und verkettung) - Optimale Auslastung von Roboter und Produktionsmittel - Hohe Flexibilität hinsichtlich Einsatzplanung und Organisation des Materialflusses - Erhöhung der Schichtzahl («mannlose Schicht») - Reduzierung der Kapitalbindung in Robotern und Maschinen bei höherer Schichtdauer - Hoher Automatisierungsgrad - Optimale Gestaltung der Materialflussskette - Wesentlich vergrößerter Arbeitsraum des Roboters -

Erhöhte Wirtschaftlichkeit der Handhabungsvorgänge

Der mobile Materialflussroboter «HERMES» stellt die Neuentwicklung einer integrierten Konzeption eines mobilen Roboters dar. Speziell auf die Mobilität des Roboters abgestimmte Systemkomponenten gewährleisten die optimale Erfüllung der Handhabungsvorgänge.

#### Der Aufbau von HERMES

Der Roboterarm von HERMES besitzt aufgrund der gewählten Kinematik einen zylinderförmigen Arbeitsraum. Er ist in der Lage Objekte zu greifen, die näher als 1500 mm von der Fahrzeugkante entfernt sind. Die Leichtbaukonstruktion des Roboterarms ermöglicht dabei hohe Geschwindigkeiten und Beschleunigungen sowie eine niedrige Leistungsaufnahme. In der Roboterverfahrenseinheit sind sämtliche Fahrwerks und Steuerungskomponenten integriert. So kann HERMES seinen gesamten Arbeitsraum optimal nutzen. Über die Diagonalanordnung der Lenk- und Fahrmotoren können Vorwärts, Rückwärts, Diagonal und Quer-Verfahrbewegungen ausgeführt werden. Dieses kann; sowohl leitlinien-

gebunden als auch leitlinienlos geschehen. In der Verfahrenseinheit integrierte, ausfahrbare Stützfüsse gewährleisten einen sicheren Stand während des Einsatzes des Roboterarms.

#### Das Steuerungskonzept

Das für HERMES gewählte Steuerungskonzept besitzt eine hierarchische Struktur. Hierdurch ist eine klare Aufgabentrennung der Einzelsteuerungen und eine konsequente Datenflussrichtung gewährleistet. Es wird in ortsfeste und mobile Komponenten unterschieden.

Ortsfestes System: Systemsteuerung  
Datenübertragung zu Bearbeitungsstationen  
Batterieladestation  
Peripherie-Sicherheits-einrichtungen  
Datenübertragung zum mobilen Roboter

Mobiles System: Steuerung der Roboterverfahrenseinheit  
Robotersteuerung  
Odometrie  
Energieversorgung  
Antriebe  
Peripherieüberwachung

Die Steuerung der Roboterverfahrenseinheit koordiniert den Bewegungsablauf der Verfahrenseinheit und des Roboters und führt die Datenübertragung zur ortsfesten Systemsteuerung durch. Die von dort übermittelten Aufträge werden zwischengespeichert.

<b>Roboterfahrereinheit</b>	
Beschleunigung:	ca. 0,25 m/s <sup>2</sup>
Geschwindigkeit:	ca. 1 m/s
Abmessungen:	
- Breite:	ca. 1200 mm
- Länge:	ca. 2200 mm (inkl. Notstopp-Bügel)
Energieversorgung:	NiCd-Batterien
<b>Roboterarm</b>	
max. Handhabungsgewicht:	15 kg
max. Beschleunigungen:	
- Drehachse:	3 m/s <sup>2</sup>
- Hubachse:	15 m/s <sup>2</sup>
- Teleskopachse:	2,0 m/s <sup>2</sup>
Durchschnittliches Arbeitsspiel:	6-12 s
Arbeitsraum	
- Drehachse:	360 Grad
- Hubachse:	ca. 1200 Grad
- Teleskopachse:	ca. 2000 mm (bis 1500 mm ab Kante der Roboterfahrereinheit)
<b>Gesamtgewicht</b>	700 kg
<b>Kommunikation</b>	Infrarot
<b>Führung der Fahrereinheit</b>	induktiver Leitdraht und frei verfahrbar

Tabelle 2. Technische Daten des mobilen Materialflussroboters HERMES (Quelle: ITW, Dortmund)

Die Robotersteuerung koordiniert und steuert den Bewegungsablauf der fünf Achsen des Roboterarms. Zum Erreichen der geforderten Positioniergenauigkeit erfolgt eine sensorgesteuerte Vermessung am Einsatzort mittels Referenzmarken und in der Roboterhand integrierten Lichtschraken (Bilder 9 und 10; Tabelle 2).

### Mobiles Behälterkommissioniersystem «Julia»

Innerbetriebliche, vom Wareneingang bis zum -ausgang durchgehend «just-in-time» ablaufende Material- und Informationsflüsse tragen dazu bei, Herstellkosten zu minimieren, Durchlaufzeiten zu verkürzen und Bestände zu senken. Dabei muß man sich zwangsläufig dem logistischen Ideal «Anlieferereinheit = Transporteinheit = Lagereinheit = Montageeinheit» annähern. Kommissioniervorgänge nach dem Prinzip «Ware zum Mann» und «abgezählte Menge von Teilen zum Arbeitsplatz» müssen entfallen. Vielmehr dürfen die Teile auf dem Weg vom Zulieferer über den betrieblichen Wareneingang bis zum Ort ihrer Verwendung in der Fertigung oder Montage keinen manuellen Eingriffen mehr ausgesetzt sein.

Man muss daher die in der Montage verwendeten Teile bereits im Wareneingang derart auf Behälter verteilen, dass sie für bestimmte Zeitintervalle unabhängig von einer konkreten Auftragsstruktur ausreichen. Übliche

Lagerbehälter wären in einem nach dieser Philosophie betriebenen System nur minimal befüllt und entsprechend schlecht ausgenutzt. Daher bedarf ein solches System einer modular aufgebauten Behälterfamilie, die auf das Teilespektrum zurecht geschnitten ist.

Eine detaillierte Analyse der in der Elektronikindustrie verwendeten Kleinteile bezüglich ihrer Abmessungen und ihrer Verwendungshäufigkeit führte zu einer Schaffung von vier Behältern, je einer mit 100 mm × 150 mm und 400 mm × 300 mm sowie zwei unterschiedlich hohe mit 400 mm × 600 mm grossen Grundflächen. Sie repräsentieren einen Volumensprung von etwa Faktor 50. Als Hilfsmittel für die einheitliche Unterbringung im Regal dienen für die kleinen Behälter 400 mm × 600 mm gr bei, Herstellkosten zu minimieren, Durchlaufzeiten zu verkürzen und Bestände zu senken. Dabei muß man sich zwangsläufig dem lhm transportiert und von dort auch wieder zurückgeführt. Um diesen zeitaufwendigen Vorgang zu umgehen, wurde ein mobiler Roboter entwickelt, der in der Lagergasse verfährt und der sowohl die grossen Behälter ein- und auslagern als auch die kleinen Behälter von den Tablaren entnehmen kann.

Der mobile Roboter besteht aus einer Kombination eines Regalbediengerätes mit einem Portalroboter. Das Regalbediengerät ist mit zwei Lastaufnahmemitteln ausgerüstet und kann so pro

Arbeitsraum	x	y	z
	900	80	500
<b>Fahrleistungen</b>			
Beschleunigung [m/s <sup>2</sup> ]	3,4	0,6	1,7
Geschwindigkeit [m/s]	1,2	0,2	0,6
Positioniergenauigkeit [mm]	0,2	0,1	0,1
Wiederholgenauigkeit [mm]	0,05	0,05	0,05
Nutzlast	3 kg		

Tabelle 3. Technische Daten des Mobilien Kommissioniersystems MKS JULIA (Quelle: ITW, Dortmund)

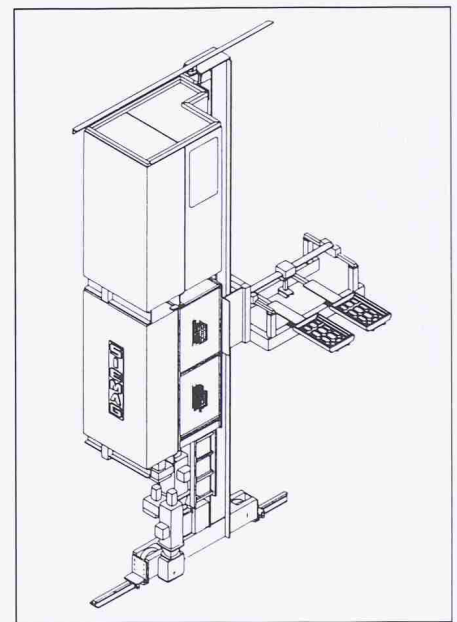


Bild 11. Prinzipskizze des Mobilien Kommissioniersystems MKS (Quelle: ITW, Dortmund)

Spiel zwei grosse Behälter ein und zwei andere grosse Behälter auslagern bzw. entsprechend vier von den mittleren Behältern ein und auslagern.

Der Portalroboter kommt nur zum Einsatz, wenn die kleinen Behälter von Tablaren entnommen werden sollen. Dazu führt der mobile Roboter auf einem Lastaufnahmemittel ein Leertablar mit, auf dem während einer Sammelfahrt bis zu 16 an maximal ebenso vielen verschiedenen Lagerorten entnommene Behälter abgestellt und dann gemeinsam in die Lagerzone transportiert werden können. Zur Entnahme werden die Tablare jeweils aus dem Lagerfach mit dem anderen Lastaufnahmemittel in den Arbeitsbereich des Portalroboters gebracht, der von oben auf die Behälter zugreift und sie auf das Leertablar umsetzt.

Der mobile Roboter kann so die gewünschten Kleinbehälter in der Gasse kommissionieren. Er ersetzt dadurch sowohl den Menschen als auch die zahl-

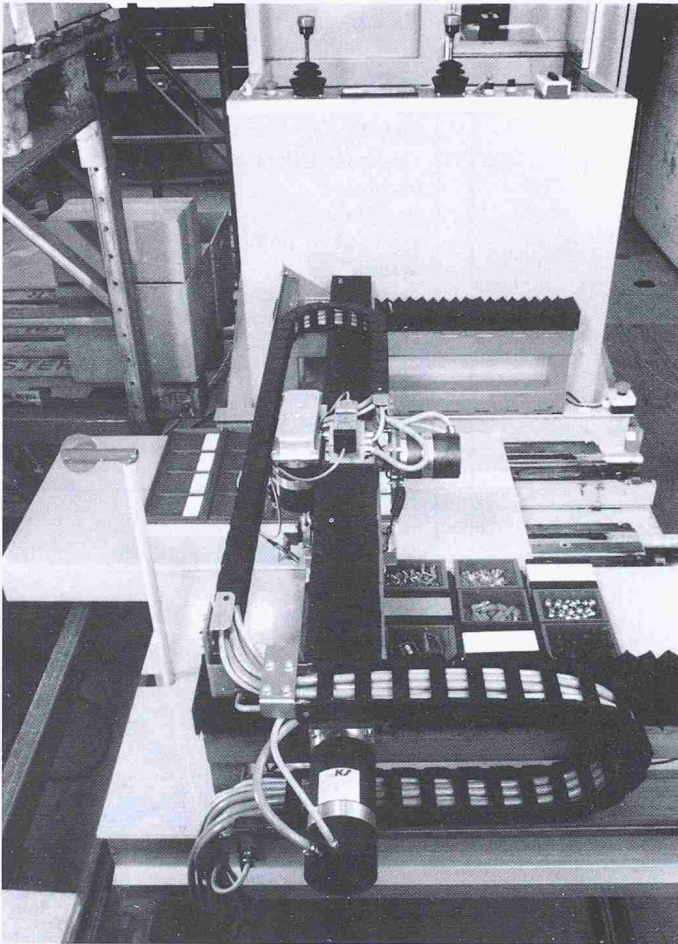


Bild 12. Prototyp (Stand 1988) des mobilen Kommissionierroboters (Quelle: ITW, Dortmund)

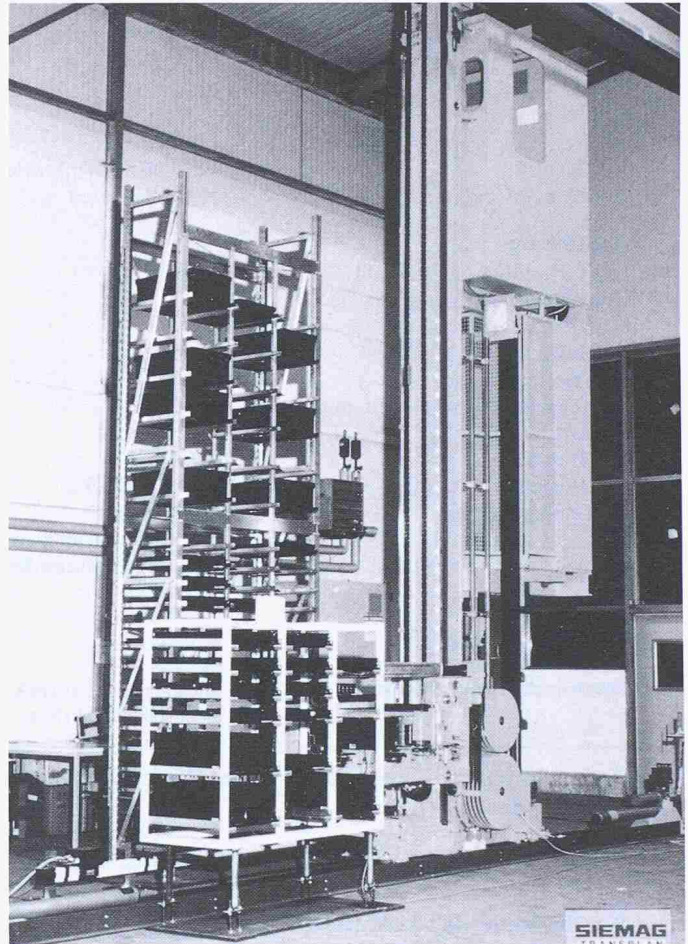


Bild 13. Gesamtansicht des ersten Seriengerätes «JULIA» (Quelle: ITW, Dortmund)

reichen bisher notwendigen Aus und Rücklagerungen der Tablare. Entsprechend werden daher weniger mobile Roboter als bisher Regalbediengeräte benötigt. In einer ersten Industrieanwendung konnte die Zahl der Regalbediengeräte von 11 auf 8 (ca. 70 Prozent) gesenkt werden. Das hatte eine Investitionskostensenkung von 13 Prozent trotz höherer Einzelinvestitionen der mobilen Roboter zur Folge. Durch die Möglichkeit der Sammelfahrt für die Ein- und Auslagerung der kleinen Behälter ergibt sich eine Leistungssteigerung der mobilen Roboter gegenüber den konventionellen Regalbediengeräten von circa 50 Prozent.

In diesem speziellen Anwendungsfall kann jeder Roboter anstelle von vorher 60 Spielen pro Stunde über 90 Spiele pro Stunde durchführen. Der vollautomatische Betrieb des Systems erfordert eine permanente Überprüfung und Abfrage nach dem jeweiligen Status. Dazu gehören Kontrollen «Tablarplatz belegt», «Greifer geöffnet» und «Behälter gegriffen» ebenso wie eine Konturenkontrolle der Behälteroberkanten auf den Tablaren und ein Identifikationsvorgang der Einzelbehälter während des Umsetzvorganges. Sowohl das

Regalförderzeug als auch das Handhabungsgerät arbeiten mit einer gebräuchlichen Standardsteuerung (S5), so dass jedes für sich im halbautomatischen Einsatz betriebsfähig ist und die Kosten für Hardware und Software in vertretbarem Rahmen bleiben (Bilder 11 bis 13; Tabelle 3).

### Mobiles Materialflusshandlingssystem (MHS)

Das Materialflusshandlingssystem (MHS) ist eine Erweiterung konventioneller Elektrohängebahnen (EHB) um zusätzliche Handhabungskomponenten, so dass die Funktionen Fördern und Handhaben in einem flurfreien, flexiblen System integriert sind. Es können hierbei unterschiedliche Handhabungsachsen (Anzahl und Ausführung) an modifizierte Fahrwerke angebunden werden, um vielfältige Einsatzfälle zu ermöglichen.

Die Anbindung von Handhabungsgeräten an flurfreie Transportmittel schafft neue wirtschaftliche Automatisierungsmöglichkeiten, insbesondere in der Fertigung und Montage. Die Mobilität er-

schliesst den Handhabungsgeräten grössere räumliche und tätigkeitsbezogene Arbeitsbereiche. Hierdurch lassen sich neue Produktionsstrukturen verwirklichen, da ortsfeste Komponenten, wie Werkzeugmaschinen oder Montageplätze, zu flexiblen, dem jeweiligen Produktionsprogramm entsprechenden Fertigungsbereichen zusammengefasst werden können. Elektrohängebahnen bieten den Vorteil, dass gleichzeitig mehrere Fahrzeuge zu unterschiedlichen Aufgaben eingesetzt werden können und dadurch ein flexibleres Systemverhalten möglich ist. Als Transportmittel für das Handhabungsgerät sind Hängebahnsysteme aufgrund der guten Anpassung an die jeweiligen Belange die einfache Funktionserweiterung, die Möglichkeit des Aufbaus weiträumiger Transportnetze, die stufenweise Realisierung eines automatisierten und schleppkabellosen Transports besonders geeignet, da sie kostengünstig sowie technisch einfach und problemlos einsetzbar sind.

Die Integration von Handhabungsgeräten in Elektrohängebahnsystemen zeichnet sich durch markante Eigenschaften aus:

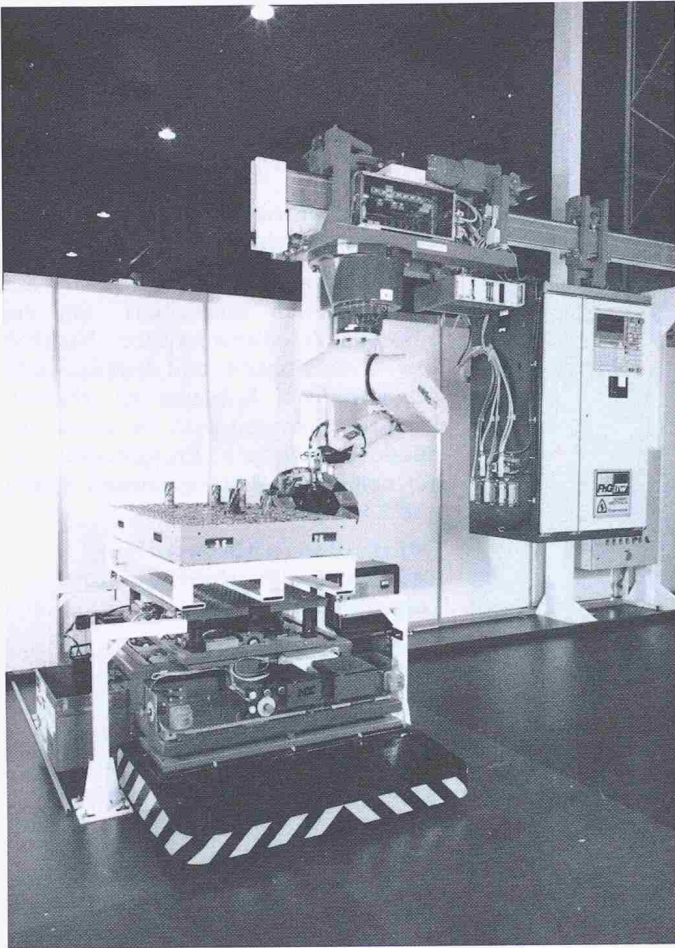


Bild 15. Prototyp (Stand 1987) des hängenden, 6achsigen MHS-Roboters (Quelle: ITW, Dortmund)

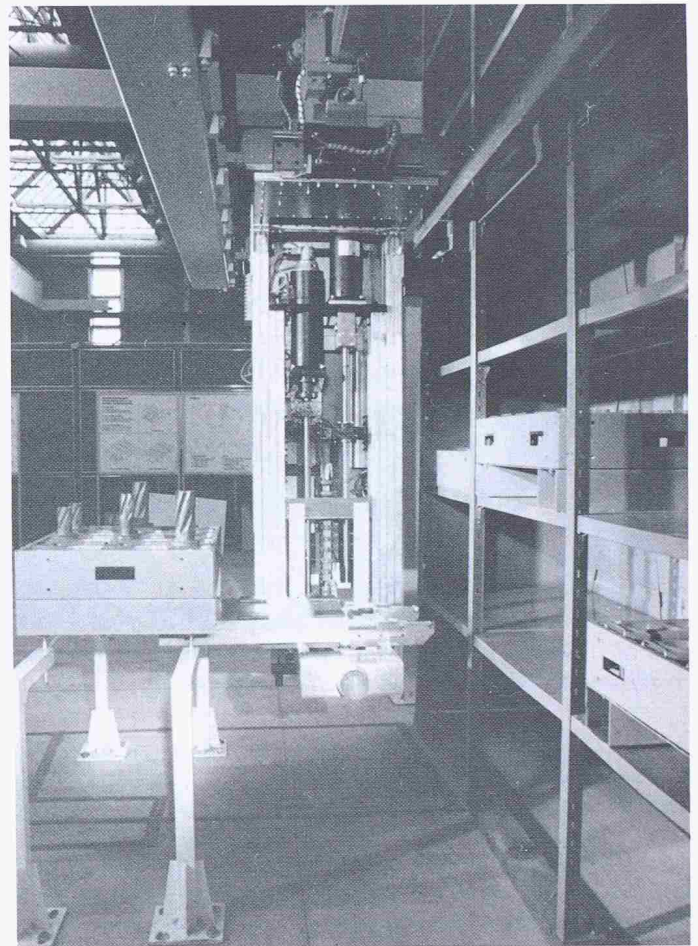


Bild 16. Übersicht des Prototyps (Stand 1989) des 3achsigen MHS-Roboters (Quelle: ITW, Dortmund)

- flurfreie Transport und Handhabungstechnologie in der zweiten Ebene der Fabrik,
- Realisierung flexibler Punkt, Flächen und Raumbedienung durch unterschiedliche Funktionsbereiche,
- keine notwendige Beschränkung auf automatisierte Insellösungen, sondern die Möglichkeit der kostengünstigen Verkettung von Insellösungen durch die Flexibilität in der Fahrkursgestaltung,
- stufenweise Realisierbarkeit und volle Integrierbarkeit in automatische Bereiche (übergeordnete Prozesssteuerungen),
- Steigerung des Nutzungsgrades konventioneller Handhabungsgeräte durch variable Mehrstationenbedienung (Wirtschaftlichkeit auch an den Einsatzstellen, an denen ein stationäres Gerät nur unzureichend ausgelastet wäre),
- einfache Energieversorgungsmöglichkeit des Handhabungsgerätes über Schleifleitungen,
- höchstmögliche Sicherheit durch Anpassung und Einsatz erprobter Handhabungs- und weiterentwickelter Transporttechnik.

Das MHS besitzt als Kernpunkte die unterschiedlichen Fahrzeugtypen

- Roboterfahrzeug und
- Versorgungsfahrzeug.

Grundstruktur beider Fahrzeugtypen ist die konventionelle Elektrohängebahn nach VDINorm 3643, erweitert um die Klemm- und Positionsvorrichtung. Das Roboterfahrzeug (Bild 1) verfügt über die kinematischen Baugruppen Fahrwerk, Klemmvorrichtung und Roboter. Die Klemmvorrichtung dient zur Aufnahme von Reaktionskräften des Roboters an den Haltepunkten, so dass die Fahrwerke entlastet werden. Das Versorgungsfahrzeug (Bild 2) verfügt über den gleichen fahrwerksbezogenen Grundaufbau wie das Roboterfahrzeug. Anstelle des Erweiterungsmoduls «Roboter» befindet sich nunmehr ein aktives Lastaufnahmemittel, z. B. Teleskopgabeln, am Klemmrahmen. Fahrwerke und Klemmvorrichtung haben hierbei die gleichen Funktionen wie beim Roboterfahrzeug. Das Lastaufnahmemittel dient zum Aufnehmen und Abgeben von Ladeeinheiten sowohl an den Einsatzorten des Roboters als auch an einem Regal oder anderen definierten Systemen und ausgetauschten (Bilder 14 bis 17).

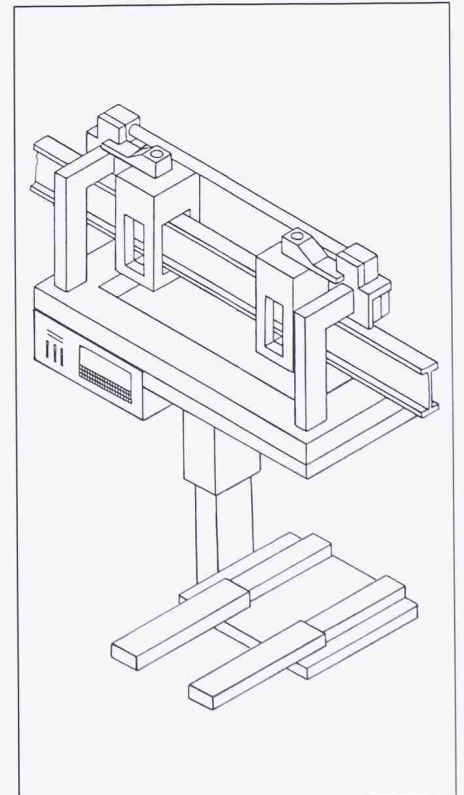


Bild 14. Materialflusshandlungssystem MHS mit Teleskopgabel zur aktiven Lastübernahme (Quelle: ITW, Dortmund)

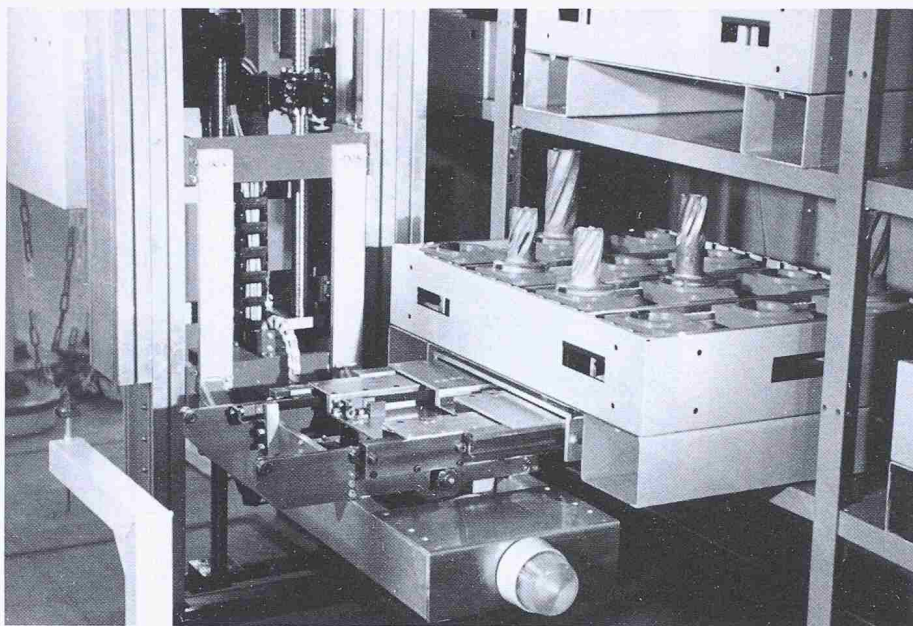


Bild 17. Gestelleinschub-Teleskop für Werkzeug-Handhabung am Prototyp (Stand 1989) des MHS-Roboters (Quelle: ITW, Dortmund)

### Entwicklungstrends bei mobilen Industrierobotern

Bei den mobilen Industrierobotern ist die Evolution durch eine Vielzahl technologischer Entwicklungen geprägt:

#### Navigations- und Sensoriksysteme

Die Anwendung der künstlichen Intelligenz bei der Navigation, Erkennung der Handhabungsobjekte und der Arbeitsumwelt sowie frühzeitiges (sogar «vorausschauendes») Erfassen von Hindernissen werden den mobilen Robotern wichtige Fähigkeiten geben, damit sie sich in autonomer Weise den ständig wechselnden Umweltbedingungen und den zugeführten Handhabungsobjekten, Systempaletten, Bedienern (deren natürlicher Stimme für natürlich-sprachliche Befehlseingaben) rasch anpassen können. Dank der integrierten künstlichen Intelligenz werden mobile Roboter zusätzlich zur Fähigkeit der schnellen Verarbeitung von Umweltinformationen, der wissensbasierten (also softwaremässigen und nicht mechanischen) Selbstdiagnose auch eine gewisse Lernfähigkeit erhalten, welche die Roboter-Flexibilität und -Verfügbarkeit noch erheblich steigern werden.

#### Leistungsfähigere Steuerungen

Bald werden Steuerungen (genannt 32-Bit-Systeme), gekoppelt mit «intelligenten» Sensoren (z.B. CCD-Kameras), einsatzbereit sein, so dass die Arbeit der

mobilen Roboter noch wirtschaftlicher sein wird. Die «intelligente» Sensorik (Bildverarbeitungssystem) spielt zudem bei der (nicht zu vernachlässigenden) Frage der aktiven und passiven Sicherheit mobiler Roboter (Personen- und Kollisionsschutz) eine sehr wichtige Rolle. Um mobilen Robotern zu einem breiten Einzug in allen Materialflussprozesse zu verhelfen, werden Sensoriksysteme entwickelt, die der Funktionsweise des menschlichen Auges gleichen. Solche Sensorsysteme werden Daten dem angekoppelten Bord- und/oder Zentralrechner (dezentrale oder zentrale Eigenintelligenz) des betreffenden mobilen Roboters zu seiner Wegfindung und Navigation sowie Kollisionsvermeidung bei der Handhabung als auch beim Fahren in den Produktions- und Logistikhallen, aber auch auf dem Werkgelände (einschliesslich Flugplatzbereichen für bodengebundene Frachttransporte) blitzschnell liefern werden.

#### Kinematik der Roboterbewegungen

Mobile Roboter werden so aufgebaut sein, dass dank ihrer Kinematik (Bewegungsmechanismen der Dreh- und Schubachsen der Roboterarme, Hände und Finger) die Anzahl ihrer Bewegungs-Freiheitsgrade schnell den spezifischen Objekt- und Prozessanforderungen angepasst werden kann. Mit Hilfe der Baukastenbauweise bzw. von Baukastensystemen entsteht eine überblickbare Anzahl von mobilen Robotern, die diese vielfältigen Forderungen

erfüllen. Dadurch werden diese Geräte auch in die Lage versetzt, verschiedenartige und neuartige Aufgaben in der Produktion und in der Logistik zu erfüllen, für die ortsfeste Roboter oftmals nur bedingt geeignet sind.

#### Leichtbaukonstruktion und energiesparende Systeme

Mobile Roboter werden weitgehend aus Leichtmetallen konstruiert, um ein günstiges Verhältnis zwischen Nutzlast bzw. Tragfähigkeit und Eigengewicht des jeweiligen Roboters zu erhalten. Dadurch bekommt auch die damit verbundene geringere Energieaufnahme aus neuartigen Batterien neue Impulse und Lösungen.

#### Integration in höherstufige, komplexere Produktions- und Logistiksysteme

Mobile Roboter arbeiten sehr häufig als Bindeglieder, als «Integratoren» innerhalb grösserer Fertigungs-, Montage- und Logistiksysteme eines Unternehmens. In diese automatisierten und vollautomatischen Systeme müssen sie sich bestens auch datentechnisch einbinden lassen. Dank der Fortschritte im Bereich der Rechner- und Datenübertragungstechnik lässt sich die Robotersteuerung in das Informationsnetz des gesamten unternehmerischen Materialflusses integrieren. Über ein Lokales Netzwerk (LAN, Local Area Network) lassen sich alle Betriebsbereiche innerhalb der Materialflussskette informations- und steuerungstechnisch nahtlos verbinden. Die technischen Systemkomponenten werden dann, falls sie mobil ausgeführt sind, über Infrarotkoppellemente angesprochen. So können bald mobile durch Roboter Infrarot-Kommunikation zentral verwaltet und mit anderen Systemelementen zu einem integrierten Informationsnetze verbunden werden. Das dabei vornehmlich verfolgte Ziel ist die Computerintegrierte Logistik (CIL) als dominanter Teilmodul von CIM.

Mobile Roboter für die Bedienung von (Fertigungs-)Maschinen und (Montage-)Arbeitsplätzen, für flurgebundenes oder flurfreies Befördern, Handhaben, Puffern, Ein-/Auslagern, Palettieren/Depalettieren, Einlegen/Verpacken werden unverzichtbare Bestandteile der Fabrik von morgen sein.

Adresse des Verfassers: J. Kapoun, lic. oec. HSG, Logistic Consulting, case postale, 1700 Fribourg.