Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 108 (1990)
Heft: 41

Artikel: Planung von Montageanlagen
Autor: Burg, Peter von
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-77524

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: 21.05.2025

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

Planung von Montageanlagen

Nach einer Übersicht der verschiedenen Kategorien von Montageanlagen werden Auswahlkriterien, Vorgehensweise bei der Konstruktion sowie Überlegungen zur Verfügbarkeit und zur Steuerung dargestellt. Der allgemeinen Charakterisierung einer flexiblen Montageanlage mit Roboterzellen folgt dann die Beschreibung einer Anwendung für die Montage eines Getriebemotors.

VON PETER VON BURG
EINSIEDELN

Heute werden folgende vier Kategorien von Montageeinrichtungen unterschieden: Einzelvorrichtungen, Rundtaktautomaten, Längstransferautomaten, flexible Montagesysteme. Bei grösseren Anlagen geht der Entwicklungstrend zu einer Mischbauweise hin. Die Entwicklung dürfte im wesentlichen nach einer Prognose der Firma Technical Insights, Inc., USA (1986), verlaufen (Tabelle 1).

Planungsgrundlagen

Rundtakt-Montageanlagen

Rundtakt-Montageanlagen kommen sowohl als Einzelmaschine oder mit mehreren Rundtischen in einer Linie verkettet zur Anwendung (Bild 1). Platzsparend bieten sie bei geringem Aufwand schnellen, schockfreien Werkstücktransport und hohe Positionsgenauigkeit, allerdings bei beschränkter Ausbaufähigkeit, starrer Verkettung und beschränkter Stationenzahl

Linear-Transfer-Montageanlagen

Linear-Transfer-Montageanlagen stehen als Einzelmaschine oder verkettet mit Handarbeitsplätzen und/oder Rundtaktanlagen (Bild 2) im Einsatz. Flexible Ausbaumöglichkeit, Entkopplung durch Puffer und eine unbeschränkte Anzahl Stationen begründen ihre Eignung für komplexere Montageaufgaben, wobei als Nachteile eine Vielzahl von oft sehr teuren Werkstückträgern, lange Wechselzeit derselben sowie grössere Abhängigkeit bei Störungen zu vermerken sind.

Flexible Montagesysteme

Flexible Montagesysteme stellen eine sinnvolle Symbiose konventioneller Montagetechnik mit industrieller Robotertechnik dar (Bild 3 und Bild 4). Jede Montagezelle montiert vorzugsweise komplette Produkte. Die Integrierung weiterer MZRs ins System ermöglicht den sukzessiven Ausbau der Montageleistung. Dadurch ist hohe Leistungs-Flexibilität gegeben, während Automatisierungs-Flexibilität erreicht wird, indem die Teile-Zuführung in der ersten Mechanisierungsphase noch manuell erfolgen und bei späterem Bedarf schrittweise automatisiert werden kann. Die autonomen Versorgungseinheiten sind dank modularer Bauweise einfach austauschbar. Eine Anlagenanpassung für die Verarbeitung von Produktevarianten ist somit gewährleistet. Bei entsprechender Ausrüstung einer flexiblen Montagezelle können Varianten der gleichen Produktefamilien montiert werden. Bedingung für die Montagezelle ist ein speicherprogrammierbarer Mehrzweckmanipulator. Dazu eignet sich zum Beispiel ein SCARA-Industrie-Roboter. Insgesamt zeichnen sich solche Anlagen durch hohe Anpassungsfähigkeit an betriebliche und logistische Anforderungen aus. Dementsprechend grösser wird der Aufwand bezüglich Technik und Investitionen.

Industrieroboter drängen, als sogenannte flexible Automatengehilfen angepriesen, sehr stark in die Montagetechnik ein. Der Robotereinsatz entwikkelt sich aber in der Montage eher zögernd, obwohl gerade in diesem Bereich ein sehr hohes Einsatzpotential vorhanden wäre. Warum also diese eher bescheidenen Zuwachsraten in einem Gebiet, das doch gute Voraussetzungen hätte, das Automatisierungsniveau zu heben? Eine kürzlich in der Schweiz durchgeführte Studie untersucht die Gründe, warum überhaupt Industrieroboter eingesetzt werden. Fünf Faktoren werden als wichtig angesehen:

- Der Roboter ist Teil einer allgemeinen Strategie der Automatisierung der Produktion.
- Industrieroboter werden als technologische Herausforderung verstanden.
- Man will gewissermassen einen Fuss in der Robotertechnologie haben und entsprechende Erfahrungen sammeln.
- Der Roboter wird auch eingesetzt, um die Akzeptanz der neuen Technologie durch die Mitarbeiter kennenzulernen.
- Der Industrieroboter wird aber auch eingesetzt als eine notwendige und konsequente technologische Weiterentwicklung eines bestimmten Fertigungsverfahrens, das ohne den Robotereinsatz nicht zur gewünschten Qualitätsverbesserung und Qualitätssicherung führen würde.

Im Jahr 1986 stellte die Firma Technical Insights, Inc., USA, folgende Prognosen:

Bis 1990 erscheinen realisierbar:

- Sensorsysteme zum Greifen, Sehen und Hören werden so billig, dass der Systempreis praktisch nicht ansteigt.
- Makroprogramme in den Steuerungen erlauben den einfachen Abruf komplexer Prozeduren. Sprachein- und -ausgaben sind realisiert.
- Die Mobilität führt speziell zur Entwicklung autonomer Industrieroboter.
- Die Handlingmaschine, besonders der Roboter, übernimmt periphere Steuerungs- und Überwachungsfunktionen.

Bis 1995 sind möglich:

- Künstliche Intelligenz erlaubt die Selbstprogrammierung und Selbstüberwachung.
- Gewicht und Grösse werden durch neue Werkstoffe entscheidend verändert.
- Handling-Geräte, speziell Roboter, sind viel schneller und präziser als der Mensch.
- Die Verwendung biomechanischer Greifer, Arme und Beine beginnt.
- Es gibt neue Berufsgruppen, die sich mit der Planung, Einführung und Wartung der neuen Handlingmaschinen befassen.
- Die Arbeitszeiten können massiv reduziert werden, da Roboter und Handlingautomaten viel billiger arbeiten als der Mensch.
- Die Nutzung des investierten Kapitals steigt mit der Fabrikation rund um die Uhr und in Sieben-Tage-Wochen mit kleineren Hochleistungsanlagen.

Bis 2000 sind vorstellbar:

- Das US-Bureau of Standards hält die vollautomatische Fabrik zu diesem Zeitpunkt für möglich.
- Die Systemkosten sind enorm gesunken und folgen damit der Elektronikentwicklung.

Tabelle 1. Trends im Handlingbereich nach einer Prognose der Firma Technical Insights, Inc., USA (1986)

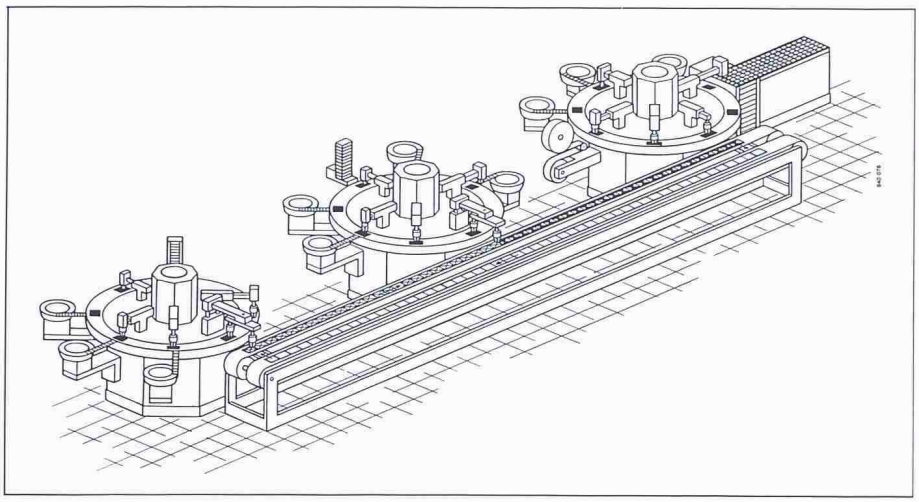


Bild 1. Rundtakt-Montageanlage

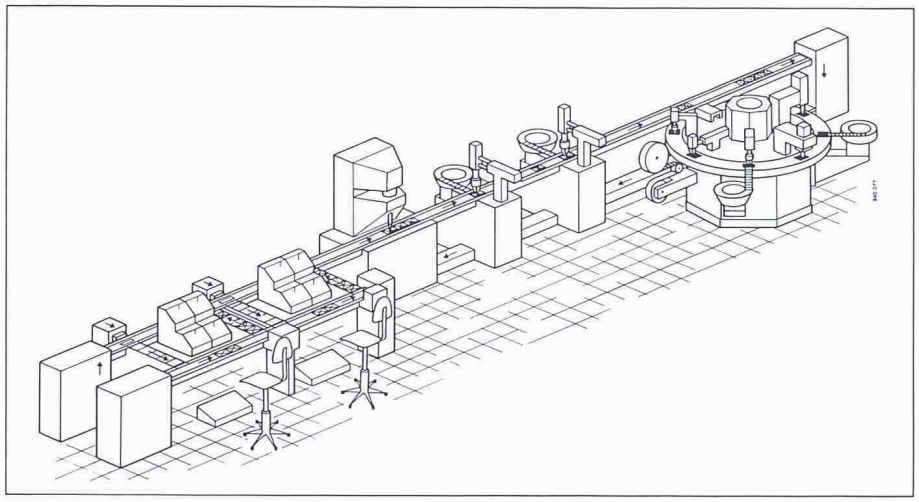


Bild 2. Linear-Transfer-Montageanlage

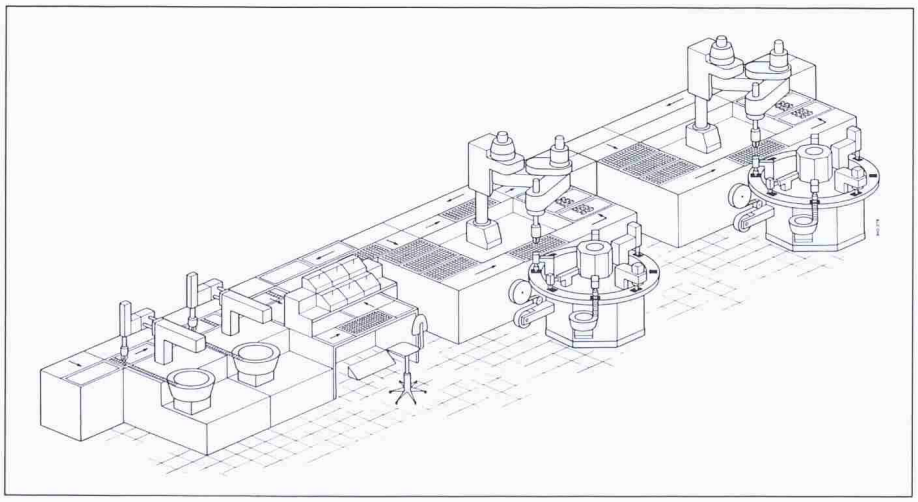


Bild 3. Flexibles Montagesystem mit Scara-Industrie-Roboter

Neben diesen «Hauptgründen» für die Robotereinführung werden selbstverständlich auch wirtschaftliche und humane Gründe genannt. Allerdings ergaben die Untersuchungen, dass die wirtschaftlichen Erwartungen selten erfüllt worden sind und eine Humanisierung der Arbeit nur teilweise stattgefunden hat. Die Studie kommt zum Schluss, dass etwa ⅓ der in der Schweiz eingesetzten Industrieroboter wirtschaftlich eingesetzt wird, ein weiterer Drittel keine besonders gute Wirtschaftlichkeit aufweist und der restliche Drittel der Roboter sowohl in wirtschaftlicher als auch in innovativer Hinsicht sogar fragwürdig eingesetzt wird.

So weit die Ergebnisse aus einem Forschungsprogramm «Arbeitswelt, Humanisierung und technologische Entwicklung».

Trotz verschiedenen Einsatzhemmnissen, die wirtschaftlichen, technischen, sozialen und personellen Ursprunges sind, wird sich der Robotereinsatz auch in der Montagetechnik ausbreiten. Allerdings wird die Bedeutung des Industrieroboters als Insellösung mit engen Systemgrenzen abgeschwächt und der Einsatz in Relation zum breiten Umfeld der Montagetechnik gesetzt.

Man könnte auch sagen, dass der Roboter nicht Zentrum sein muss, sondern er soll eingegliedert werden in ein Gesamtsystem und dort die Aufgaben erfüllen, für die er befähigt ist: ein intelligenteres Handhabungsgerät.

Auswahlkriterien

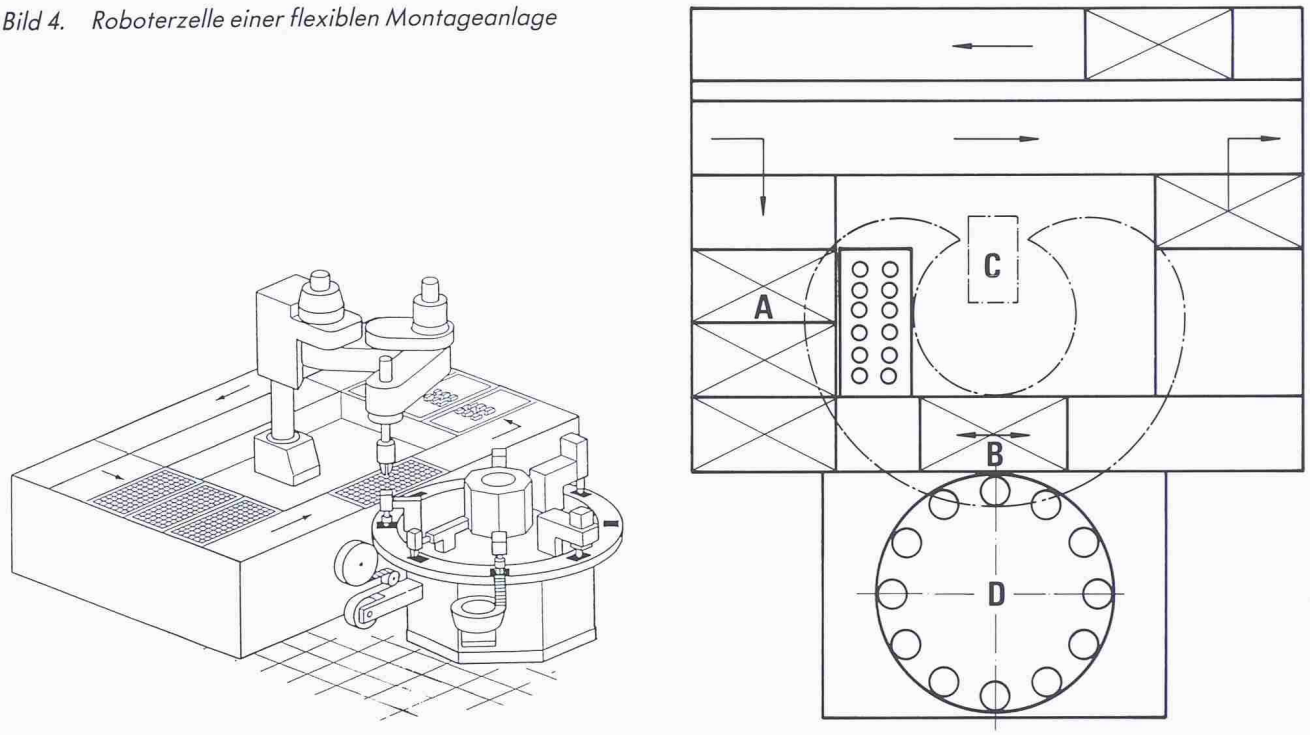
Produktionsleistung und Produktekomplexität bestimmen weitgehend das Konzept einer Montageanlage.

Während eine hohe Leistung mehr zur Rundtischlösung tendiert, wird eine umfangreiche Montageanlage mehr ein Lineartransportsystem fordern.

Bild 5 zeigt *Einsatzmöglichkeiten* von flexiblen automatisierten Montagesystemen in der industriellen Produktion. Eine strenge Abgrenzung ist aufgrund von Überlappungen nicht möglich; einzelne Ausführungen müssen jeweils im konkreten Einsatzfall entschieden werden. Die Ausführungen der Montagestationen unterscheiden sich im wesentlichen durch den Grad der erreichbaren Flexibilität und aufgrund ihrer unterschiedlichen Antriebs- und Steuerungskonzepte, auch durch unterschiedliche maximale Bewegungsgeschwindigkeiten. Die kurvengetriebenen Montageautomaten (z.B. Einzweck-Montageautomaten) können aufgrund ihrer meist mechanischen Antriebs- und Steuerungsart sehr hohe Verfahrgeschwindigkeiten und somit kurze Taktzeiten erreichen. Sie sind aber deshalb auch nur in der Lage, eine fest vorgegebene Bewegungsfolge auszuführen. Dieses hat zur Folge, dass hier keine oder kaum unterschiedliche Varianten montiert werden können [1].

Die problemangepassten Automatikstationen bestehen hauptsächlich aus pneumatisch oder elektrisch angetriebenen Betriebsmitteln. Je nach Ausführung und Steuerungsart können bedingt wenige unterschiedliche Bewegungsabläufe abgefahren werden, so dass solche Stationen eine gewisse Variantenflexibilität aufweisen. Bei den Ausführungen mit Modularen oder sogar NC-Achsen ist diese Flexibilität noch höher. Mit den pneumatisch angetriebenen und vor allem mit den elektrisch angetriebenen Betriebsmitteln, wie dies beispielsweise flexible Baukastensysteme sind, sind aber keine so hohen Verfahrgeschwindigkeiten möglich

Bild 4. Roboterzelle einer flexiblen Montageanlage



wie mit mechanisch angetriebenen Betriebsmitteln. Deshalb werden bei Stationen mit pneumatisch und vor allem elektrisch angetriebenen Bewegungsachsen höhere Taktzeiten (etwa 10 s – 1,5 min) realisiert.

Mit *Montagerobotern* werden – im Vergleich zu pneumatisch oder kurvengetriebenen Verfahrachsen – relativ geringe Verfahrgeschwindigkeiten erreicht [2]. So ausgerüstete Montagestationen weisen deshalb und aufgrund von umfangreichen ausgeführten Montageaufgaben höhere Taktzeiten auf. In diesen Stationen werden oft Produkte mit unterschiedlichen Varianten und komplexem Aufbau montiert. Neben der Leistung und der Komplexheit einer Montageanlage müssen noch andere Beurteilungskriterien beachtet werden.

Die Gewichtung dieser Kriterien kann sehr unterschiedlich sein; z.B. sind die Platzverhältnisse in einer neuen Fabrik kein Problem, können aber in einem Altbau weitgehend ein Konzept bestimmen.

Weitere Beurteilungskriterien beim Bau von Montageanlagen:

- Ausbaufähigkeit bei Änderung des Produktes
- Ausbaufähigkeit bei Änderung des Prozesses
- Etappenweiser Auf- und Ausbau
- Leistungsflexibilität
- Taktabhängigkeit von Handarbeitsplätzen
- Puffermöglichkeit
- Zugänglichkeit
- Umrüstbarkeit
- Aufwand Wechselteile
- Erfahrung mit einem System (techn. Risiko)
- Qualität/Prozesssicherheit
- Verfügbarkeit
- Auswirkung im Störungsfall
- Verkettungstiefe
- Materialfluss
- Kosten
- Wiederverwendungswert
- Kapitalnutzung
- Platzbedarf
- Lieferzeit

Vorgehen bei der Konstruktion von Montageanlagen

Da es sich bei der Konstruktion und Herstellung einer Montagemaschine meist um sehr komplexe und schwierige Aufgaben handelt, ist ein methodisches Vorgehen unumgänglich. Dabei stehen drei Zielsetzungen im Vordergrund:

- Erfüllung der technischen Funktionen
- Sicherheit für Mensch und Umgebung
- Wirtschaftliche Realisierung.

Als *Voraussetzungen* müssen zuerst erfüllt werden:

- Motivation sicherstellen

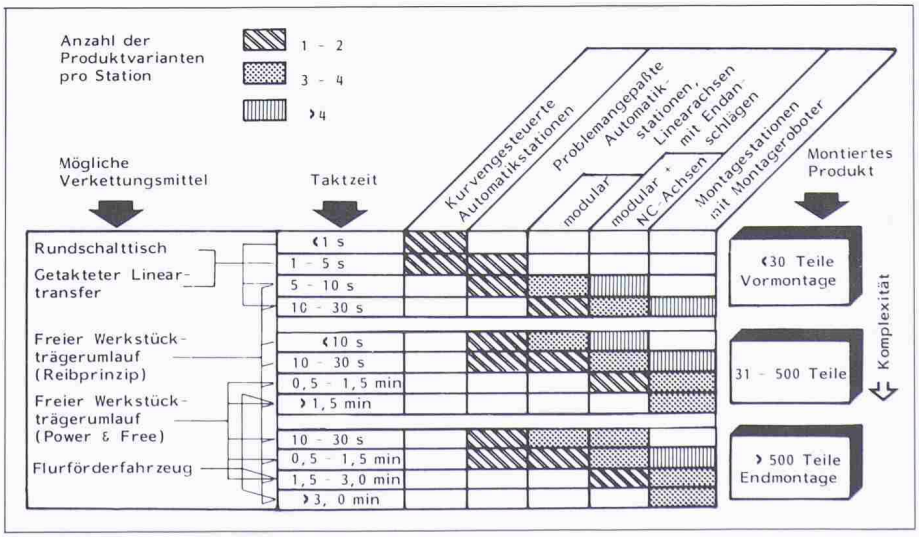


Bild 5. Einsatzmöglichkeiten von flexiblen automatisierten Montagesystemen in der industriellen Produktion (Quelle IPA Stuttgart)

- Grenzbedingungen aufzeigen
- Ideenkomplexe und Vorfixierungen auflösen
- Alternativen ermöglichen
- Entscheidungen herbeiführen

Eine *Lösungssuche* ist zwangsläufig mit der Verarbeitung von Informationen verbunden, und zwar

- Informationsgewinnung
- Informationsverarbeitung
- Informationsausgabe

Der *Lösungsprozess* selber erfolgt über die Schritte:

- Konfrontation
- Information
- Definition
- Kreation
- Beurteilung
- Entscheidung

Verfügbarkeit

Verfügbarkeit stellt die Wahrscheinlichkeit dar, mit der sich das Montagemittel zu einem beliebigen Zeitpunkt, in dem es benötigt wird, in funktionsfähigem Zustand befindet. Sie wird mit Formel 1) der Tabelle 2 ausgedrückt.

Massnahmen zur Sicherstellung bzw. zur Erhöhung der Verfügbarkeit oder des Wirkungsgrades einer Montageanlage bedingen zunächst eine Analyse aller möglichen Störursachen, wie z.B.

- Komplexität des Produktes
- Qualität der Teile
- Konstruktiver Aufbau der Maschinen
- usw.,

wobei die Zuordnungsgrenzen zu den einzelnen Faktoren fliessend sind.

Verfügbarkeit

$$V = \frac{T_{MA}}{T_{MA} + T_{INST}} \quad (1)$$

V = Verfügbarkeit

T_{MA} = mittlere Zeit bis zum Ausfall

T_{INST} = mittlere Zeit für Instandsetzung

Gesamtwirkungsgrad

$$\eta_{Gesamt} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \ldots \cdot \eta_{n-1} \cdot \eta_n \quad (2)$$

Beispiel

Verfügbarkeit einer Maschine mit acht Arbeitsstationen mit Einzelwirkungsgraden von 0,98, einer Soll-Leistung von 1000 Takten/Stunde und einer Instandstellungszeit von 10 s/Fehltakt.

$$\eta_{Gesamt} = 0{,}98^8 = 0{,}85$$

$$P_{IST} = P_{SOLL} \cdot \eta_{Gesamt} = 1000 \text{ Takte/h} \cdot 0{,}85 = 850 \text{ Takte/h}$$

$$P_{SOLL} - P_{IST} = 1000 - 850 = 150 \text{ Fehltakte/h}$$

$$T_{INST} = 150 \cdot 10 = 1500 \text{ s}$$

$$V = \frac{2100 \text{ s}}{2100 \text{ s} + 1500 \text{ s}} = \underline{0{,}583} \quad (3)$$

Tabelle 2. Berechnung der Verfügbarkeit

Die Komplexität eines Produktes steht in direktem Zusammenhang mit der Anzahl der Montageoperationen, die sich in aktive Arbeitsstationen mit Einfluss auf den Wirkungsgrad und passive Steuer- und Kontrollstationen ohne Einfluss auf den Wirkungsgrad an Montagemaschinen teilen. Der Wirkungsgrad gibt eine Aussage über die theoretisch verfügbaren Takte pro Zeiteinheit und stellt das Produkt aller Einzelwirkungsgrade dar (Formel 2 in Tabelle 2).

Bei einer Maschine mit acht Arbeitsstationen mit Einzelwirkungsgraden von 0,98, einer Soll-Leistung von 1000 Takten/Stunde und einer Instandstellungszeit pro Fehltakt von zehn Sekunden läge die Verfügbarkeit bei nur 58,3 Prozent (Formel 3 in Tabelle 2).

Davon ausgehend lassen sich folgende Forderungen aufstellen:

1. Die Zahl der aktiven Stationen einer Maschine ist so gering als möglich zu halten.
2. Die Zahl der Funktionen einer Einzelstation ist so gering als möglich zu halten.
3. Der Einbau von Vorlaufstrecken/Puffern ist vorzusehen, um Störungen ohne Einfluss auf den Funktionsablauf beheben zu können.

Besser zwei kleine Maschinen mit sinnvoller, loser Verkettung als die Installation einer grossen, komplizierten Maschine!

Steuerung

Vorzugsweise werden heute für die Steuerung von Montagemaschinen SPS (speicherprogrammierbare Steuerung) eingesetzt. Diese Steuerungsart eignet sich speziell gut für sequentielle Abläufe und die damit verbundene Verarbeitung von digitalen Signalen.

Kennzeichnend für die Montageprogramme sind komplexere Programmstrukturen. Dabei sind relativ wenig Geometrie-Informationen zu verarbeiten.

Die Anforderungen des Marktes gehen aber heute weiter und führen zwangsläufig in eine höhere Ebene. Hier sind dann SPSs meist überfordert und werden durch PCs und andere Rechner ergänzt (Bild 6). Dies ist für folgende Aufgaben nötig:

- CIM-Fähigkeit einer Anlage
- Robotereinsätze
- Datenübertragung
- Werkstückträger-Verwaltung
- Diagnostik mit Statistikprogrammen
- Messtechnik (Datenbank)

Konzept einer flexiblen Anlage

Das Konzept eines Montagesystemes wird grundsätzlich von folgenden Faktoren bestimmt:

- Leistung (Stückzahl)
- Variantenzahl
- Komplexität des Produktes
- Produktgrösse
- Einzelteilgestaltung/Qualität der Teile
- Einzelteilanlieferungszustand
- Fügefähigkeit der Einzelteile
  - Zusatzoperationen/Verbindungstechnik
- Kontrollen: mechanisch, visuell, funktionell
- Produktelebensdauer
- Ausbaufähigkeit einer Anlage
- Integration von freiprogrammierbaren Handhabungsgeräten; z.B. Industrieroboter.

Im flexiblen Montagesystem Ratiogyr (Bild 7) besteht der Versorgungsteil 1 aus autonomen Modulen, die Teile zuführen, ordnen, prüfen und montagegerecht auf eine Palette legen. Diese Zuführeinheiten können je nach Bedarf mit Wendelvibratoren, Magazinen, Transportbändern und Behältern ausgerüstet werden. Ein Einlegegerät für mehrere Positionen in einer Achse übernimmt die Beladeaufgabe der Hauptpalette. Der Palettentransport ist in diesen Versorgungseinheiten integriert; d.h., bei einer Erweiterung der Anlage können diese Bausteine nur aneinander gereiht werden, ohne Bänder anpassen zu müssen.

Teile, die aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen nicht automatisch zuführbar sind, werden an einem Handarbeitsplatz 2 manuell auf die Paletten gelegt.

Die Paletten haben die Aufgabe, Werkstücke lagerichtig in die Montagezellen (MZR 3) zu transportieren. Eine Palette trägt die Anzahl Teile, die der Rundtischteilung in der MZR entspricht, oder ein Mehrfaches davon. Zudem übernimmt die Palette auch eine wichtige Pufferfunktion und dient der Entsorgung. Störungen, die ja mehrheitlich im Zuführbereich entstehen, führen somit nicht zu einer Reduktion der Verfügbarkeit.

Die flexible Montagezelle MZR 3 dient entweder als autonomes Montagezentrum oder, eingegliedert in ein komplexes Montagesystem, als integrierte Montageeinheit. Sie besteht aus dem Paletten-Transportsystem, dem Roboter mit Greifermagazin und dem Rundtisch mit Stationen zur Ausführung von nicht roboterkonformen Zusatzoperationen.

Nach der Positionierung der Palette in der Roboter-Arbeitsstation beschickt derselbe jede Rundtisch-Aufnahme mit dem ersten Teil (z.B. Gehäuse). Falls notwendig wechselt der Roboter nun den Greifer. In der Folge werden alle weiteren Montageteile analog montiert. Zusatzoperationen werden am speziellen Rundtisch ausgeführt, z.B. Einpressen, Biegen, Nieten, Verstemmen, Schrauben, Fetten, Kleben, Prüfen, Bedrucken usw. Die fertig montierten Produkte werden vom Roboter wieder über die Paletten entsorgt.

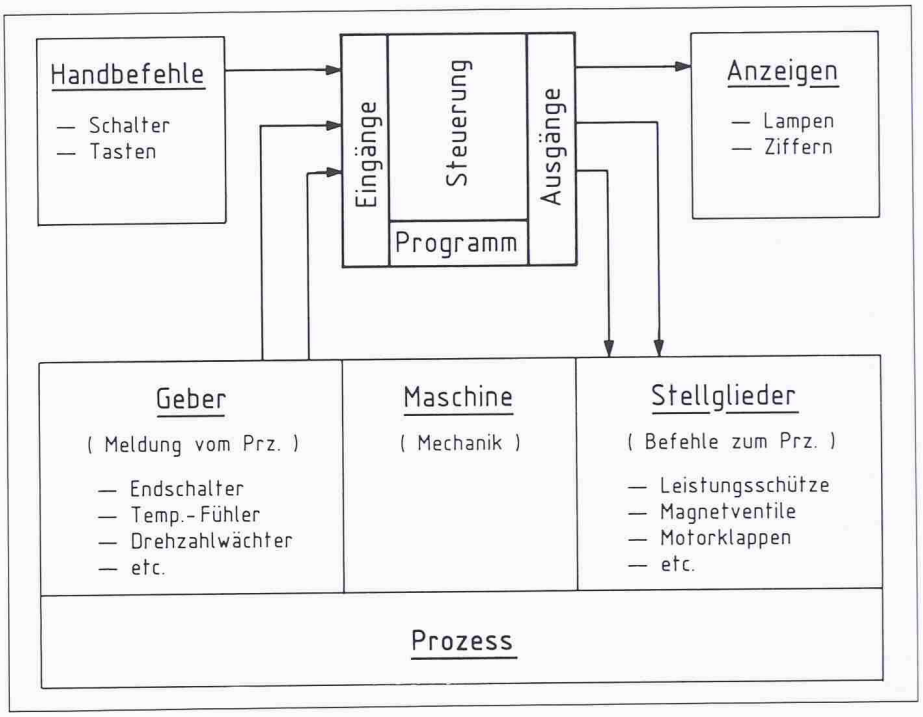


Bild 6. Steuerung von Montageanlagen

Beispiel aus der Praxis Montageaufgabe: Getriebemotor

Für einen Motor mit Getriebe (L= 120; B= 70; H= 60 mm) ist eine Montageanlage zu bauen (Bild 8). Die Leistung muss 2000 Geräte/Schicht betragen, und das bei einem minimalen Personaleinsatz, hohem Automatisierungsgrad und grosser Prozesssicherheit.

Das Produkt besteht aus folgenden Einzelteilen:

- ein Gehäuse aus Kunststoff mit diversen Kontaktfedern
- je ein Schalt-, Schnecken- und Stirnrad
- ein Motor mit Schnecke und Lager
- eine Platine mit Stützbügel
- eine Welle mit aufgepresstem Ritzel, Zahnstange, Feder, Führungsbügel
- ein Deckel

Neben den normalen Fügeoperationen sind zusätzliche Aufgaben im Montageprozess zu integrieren:

- verschiedene Einpressvorgänge
- Kontrolle der Motordrehrichtung
- Biegen von Kontakten
- mehrmaliges Fetten
- Positionierung einer Exzenterbohrung.

Mit diesen Einzelteilen müssen durch verschiedene Kombinationen über 50 Produktevarianten montiert werden können. Die Verfügbarkeit soll über 90 Prozent liegen. Handarbeitsplätze sind mit genügend grossen Puffern zu versehen.

Lösung der Montageaufgabe

Das Layout auf Bild 9 zeigt die ausgeführte Montageanlage, die in folgende

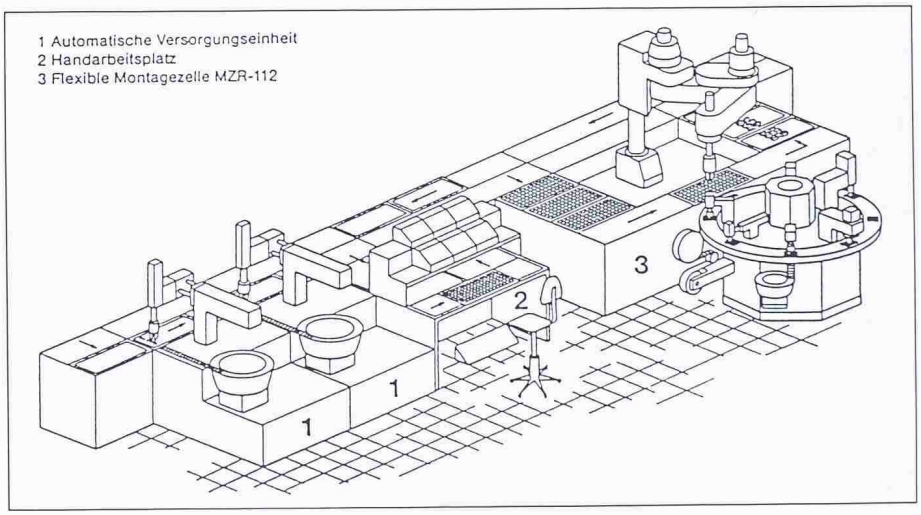


Bild 7. Flexibles Montagesystem Ratiogyr; 1 Automatische Versorgungseinheit; 2 Handarbeitsplatz; 3 Flexible Montagezelle

Bild 8. Getriebemotor als Objekt einer flexiblen Montageanlage

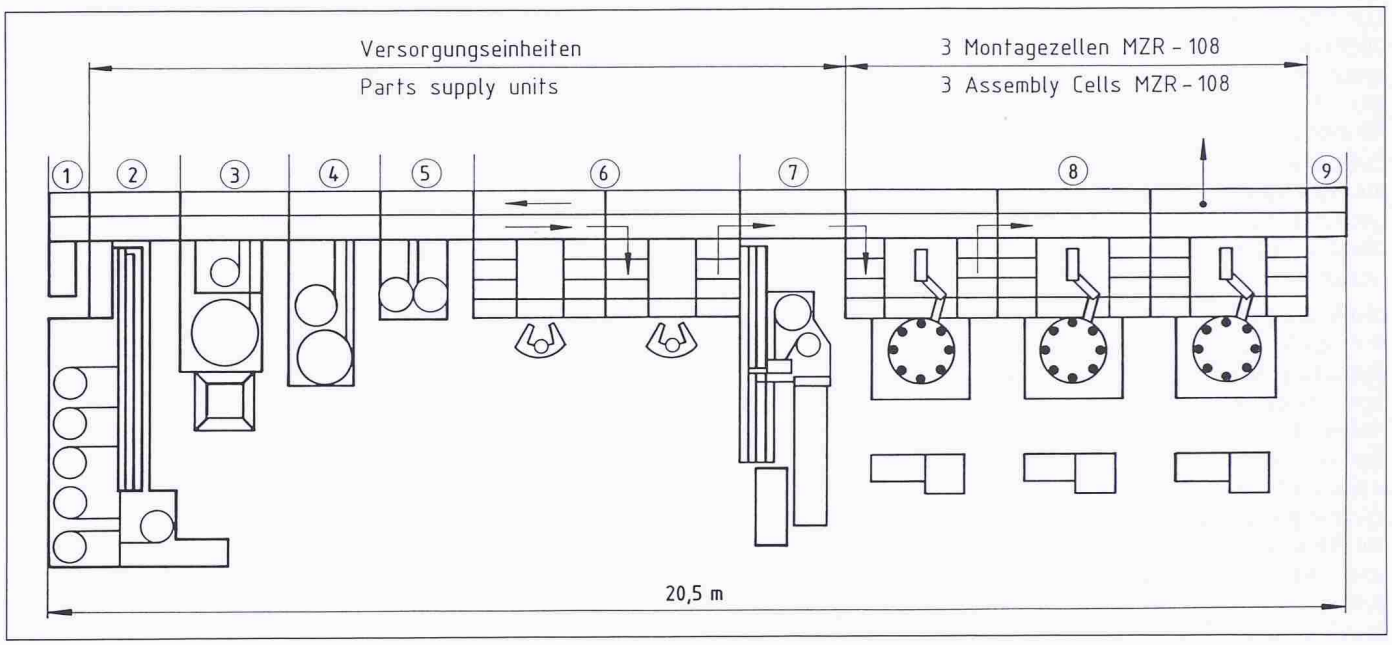


Bild 9. Layout der Montageanlage für Getriebemotor; 1 und 9 Umlenkmodule für den Palettentransport; 2 Vormontage des Ritzels; 3 Doppelversorgung für Zuführung des Schaltrades und des Deckels; 4 Versorgungseinheit für Platine und Stützbügel; 5 Versorgungseinheit für Schnecken- und Stirnrad; 6 Handarbeitsplätze; 7 Vormontage Motor; 8 Montagezellen

Baugruppen aufgeteilt ist:

1 Umlenkmodule für den Palettentransport

2 Vormontage des Ritzels

Aus acht Einzelteilen werden drei Varianten Ritzel vollautomatisch montiert und lagerichtig auf die Palette übergeben. Mit einem linearen Transportsystem werden die Bauteile auf Werkstückträgern den einzelnen Stationen zugeführt. Vor der Übergabe auf die Palette sorgt ein Puffer für die nötige Überbrückung von Stillständen bei einer Störung.

3 Doppelversorgungseinheit für die Zuführung des Schaltrades und des Dekkels

Auch hier sorgt vor der Übergabe auf die Palette ein Puffer für eine hohe Verfügbarkeit.

4 Versorgungseinheit für Platine und Stützbügel

Je nach Ausführung wird der Stützbügel weggelassen.

5 Versorgungseinheit für Schnecken- und Stirnrad

Die beiden Räder werden über Wendelvibratoren zugeführt, nach der Zahnstellung ausgerichtet und dann in Zahneingriff gebracht und so paarweise auf die Palette übergeben.

6 Zwei Handarbeitsplätze

An diesen parallelen Handarbeitsplätzen werden nicht zuführbare Kontaktfedern von Hand ins Gehäuse eingelegt. Ein Puffer von etwa 15 Minuten sorgt für die Taktunabhängigkeit dieser Handarbeitsplätze.

7 Vormontage Motor

Der Motor wird einem Magazin entnommen und einem linearen Transportsystem zugeführt. Schnecke und Lager werden montiert und die Drehrichtung des Motors kontrolliert. Diese Baugruppe wird anschliessend direkt in das Gehäuse auf der Palette eingesetzt.

8 Drei Montagezellen MZR-108

Die flexible Montagezelle setzt sich aus folgenden Baugruppen zusammen:

- automatische Ver- und Entsorgung der Transportpaletten mit Ein- und Ausgangspuffer
- flexibles Handhabungsgerät mit Greiferwechselsystem, (Roboter: Prinzip Scara)
- Rundtisch für Zusatzoperationen
- Grundgestell mit eingebauter speicherprogrammierbarer Steuerung.

9 Umlenkmodule für den Palettentransport

Für die recht unterschiedlichen Teile sind sieben verschiedene Greifer nötig. Sie sind in einem entsprechenden Magazin abgelegt, und der Roboter wechselt sie nach Bedarf automatisch aus.

Die drei eingesetzten Montagezellen MZR sind absolut identische und baugleiche Einheiten. Eine dreifache Ausführung wird durch die Leistung der gesamten Anlage nötig.

Die in den MZR integrierten Rundtische erfüllen drei wichtige Aufgaben:

- Möglichkeit der Ausführung von Zusatzoperationen
- Reduktion der Verlustzeit durch Greiferwechsel; es werden nacheinander acht Teile gegriffen, ohne dass ein Greiferwechsel vorgenommen werden muss.
- Der Rundtisch wirkt auch als Leistungsvariator des Roboters, denn er kann als ergänzende Leistung zum Roboter betrachtet werden. Eine Mehrleistung des Rundtisches ergibt eine Minderleistung des Roboters. Dadurch entsteht die Möglichkeit, die Montageleistung einer Zelle nach oben und unten zu beeinflussen.

Zusatzoperationen

Bei vielen Montagen sind wichtige Operationen im Ablauf zu integrieren, die der Roboter nicht kann oder wofür er schlecht geeignet ist. Im vorliegenden Beispiel waren am Rundtisch folgende Stationen nötig:

- Einpresseinrichtung für den Deckel (5000 N)
- Nachdrückstation für die Platine
- Zwei Fettdosiereinrichtungen, die viermal zum Einsatz kommen
- Ausrichtstation für die Positionierung einer Exzenterbohrung; Antrieb mittels eingebauten Motors
- Biegeeinrichtung für elektrische Kontaktanschlüsse
- Einpresseinrichtung für Motor mit Kalottenlager

Palettenkodierung

35 Paletten befinden sich im Umlauf. Sie tragen eine kodierte Zuordnungsnummer. Ein Zentralrechner verwaltet die fünf unterschiedlichen Zustände der Paletten in einem Register, wo jede Veränderung des Palettenzustandes nachgeführt wird. Im Dialog mit der Zentralsteuerung werden die Paletten an den Eingängen zu den Versorgungseinheiten und den Montagezellen abgefragt und entsprechend ihrem Zustand den Stationen zugewiesen.

Beim Wechsel auf eine neue Produktevariante wird die laufende Ausführung von der neuen Variante übergangslos durch das gesamte System vor sich hergeschoben. Dadurch ist eine sehr rasche und auch sichere Umstellung möglich.

Leistung der Anlage

Der Ausstoss der Anlage wird durch die drei Montagezellen bestimmt und beträgt pro Schicht und 90 Prozent Verfügbarkeit 2300 Getriebemotoren. Der automatische Versorgungsteil hat ein Leistungsüberangebot von etwa 25 Prozent. Dadurch kann die Verfügbarkeit in diesem Bereich wesentlich tiefer liegen, ohne die Gesamtleistung zu vermindern. Sollte der Stückzahlbedarf sich noch steigern, so wäre in der Versorgung nach genügend Reserve eine vierte Montagezelle mit Teilen zu beliefern. Ohne jegliche Anpassung könnte eine weitere Zelle dazugestellt werden. Diese Ausbaufähigkeit des Montagesystems verdeutlicht seine sehr hohe Leistungsflexibilität.

Beurteilungskriterien

Jedes neue Montagesystem ist in der Entwicklungsphase kritisch zu beurteilen und auf diverse Faktoren hin zu überprüfen. Diese Beurteilungskriterien müssen jeweils nach Produkt, Kunde und Lieferant anders gewichtet werden. Ein methodisches Vorgehen ermöglicht eine optimale Beurteilung verschiedener Lösungsvarianten. Aus der Vielzahl der Kriterien sollen einige wichtige herausgegriffen und mit der gewählten Lösung verglichen und beurteilt werden.

Ausbaufähigkeit
Der modulare Aufbau der Anlage gewährleistet eine sehr hohe Anpassungsfähigkeit bei Änderungen. Sowohl im Versorgungsbereich wie auch in den Montagezellen sind Änderungen gut möglich. Auch die integrierten Handarbeitsplätze tragen zu einer hohen Flexibilität des gesamten Systems wesentlich bei.

Etappenweiser Ausbau
Die Möglichkeit, eine solche Anlage stufenweise aufzubauen, vermindert das Investitionsrisiko beträchtlich. Im vorliegenden Beispiel wurden ein Handarbeitsplatz und eine Montagezelle sieben Monate vor der Gesamtanlage in Betrieb genommen. Im Dreischicht-Betrieb konnten während Monaten Erfahrungen gesammelt werden, und Kinderkrankheiten wurden beseitigt. Dieses Vorgehen hat auch noch grossen Vorteil bei der Produktion neuer Produkte, weil auf eine Zwischenstufe mit Handarbeitsplätzen verzichtet werden kann. Durch den kürzeren Herstelltermin für eine erste kleinere Ausbaustufe wird auch das technische und finanzielle Risiko beschränkt. In der ersten Phase sind noch keine teuren Zuführ- und Ordnungseinrichtungen nötig. Produkteänderungen können mit weniger Aufwand noch berücksichtigt werden.

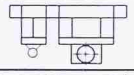
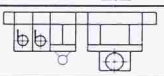
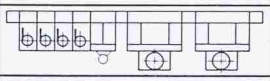
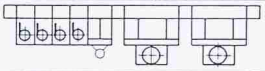
PROD./ DAY	LANDIS & GYR	PROD. TIME
500		6 h
1000		10 h
1500		7,5 h
2000		10 h

Tabelle 3. Leistungsflexibilität

Leistungsflexibilität
Durch das Prinzip, in einer Montagezelle ein Produkt vollständig zu montieren, ergibt sich durch das Anfügen oder Weglassen von gleichen Zellen eine sehr hohe Leistungsanpassung. Das Risiko eines Totalausfalles wird durch den Einsatz von mehreren gleichen Einheiten wesentlich verkleinert. Die Leistung kann dem nötigen Produktevolumen optimal folgen.

Die Tabelle 3 zeigt, wie diese Leistungsflexibilität in dem System zum Beispiel möglich ist.

- Für 500 Geräte/Tag ist eine MZR mit einem Handarbeitsplatz nötig bei 6 h Produktionszeit. D.h., die Bedienung ist hier noch leistungsbestimmend.
- Bei Steigerung der Produktionszeit auf 10 h und Entlastung der Bedienung durch den Anbau von automatischen Zuführeinheiten kann die geforderte Stückzahl von 1000/Tag erreicht werden.
- Durch den Anbau einer zweiten MZR und den Vollausbau der automatischen Versorgung ist eine Produktionssteigerung auf 1500 Stück/Tag möglich.
- Mit einer weiteren Steigerung der Produktionszeit auf 10 h ist eine Produktion auf 2000 Geräte/Tag möglich.

Verfügbarkeit
Das Grundkonzept beruht auf der Trennung der störungsanfälligeren Versorgungseinheiten von der eigentlichen Montage. Einzelteile, die lagerichtig auf der Palette in die Montagezellen einlaufen, führen zu erheblich weniger Störungen. Erfahrungen zeigen, dass die Verfügbarkeit um 95 Prozent liegt. Sollte im automatischen Versorgungsteil eine grössere Panne eintreten, indem zum Beispiel ein Wendelvibrator «aussteigt», führt das noch lange nicht zu einem Ausfall das Gesamtanlage. Kurzzeitig könnte das fehlende Teil auch manuell auf die Palette gelegt werden. Dadurch würde die Leistung etwas absinken, aber ein Totalausfall kann so verhindert werden. Das gleiche gilt für die Montagezellen. Der Ausfall einer einzelnen Zelle führt nicht zum kompletten Stillstand.

Prozesssicherheit/Kontrollen
Durch das Palettieren der Einzelteile wird eine weitgehende Qualitätsprüfung in den Montageprozess einbezogen. Sensorische Überwachung bei den Fügevorgängen und die hohe Wiederholgenauigkeit von Robotern führen zwangsläufig zu einer sehr hohen Prozesssicherheit. Wo diese noch nicht ausreicht, sind zusätzliche Kontrolloperationen im Montageablauf eingebaut.

Zusammenfassung

Der sinnvolle Einsatz eines Roboters in der Montage wird weitgehend von der Peripherie der Teilezuführung bestimmt. Damit stark verbunden ist die Forderung nach der Ordnungshaltung von Werkstücken während der Produktion. Der Roboter wird es aber gegen die superflexible Handmontage noch lang sehr schwer haben. Trotzdem bleibt es unsere Aufgabe, alle Möglichkeiten der Rationalisierung auszunützen und in neue Strategien einzusteigen. Dazu gehört sicher auch das am praktischen Beispiel erläuterte flexible Montagesystem Ratiogyr. Es ist ein System, das sich durch einen vernünftigen technischen Aufwand auszeichnet und die Flexibilität auch unter wirtschaftlichen Betrachtungen vertreten lässt.

Literaturverzeichnis

[1] *Warnecke, H.J.:* 1982 .....
[2] *Spingler, J.* u.a.: 1983 .....
[3] *P. von Burg,* Einsiedeln: Konzept einer flexiblen Montageanlage: Deutscher Montagekongress 1987, München
[4] *Abele E. , Bässler R., Wolf W.* u.a.: «Einsatzmöglichkeiten von flexibel automatisierten Montagesystemen in der industriellen Produktion». Schriftreihe «Humanisierung des Arbeitslebens», Band 61, VDI-Verlag, Düsseldorf 1984
[5] *B. Lotter:* «Arbeitsbuch der Montagetechnik», Vereinigte Fachverlage Krausskopf Ingenieur Digest

Adresse des Verfassers: *Peter von Burg,* Landis & Gyr Betriebs-AG Zug, Werk Einsiedeln, 8840 Einsiedeln