

Georg Liedl

*Integriertes Automatisierungskonzept  
für den flexiblen Materialfluß  
in der Elektronikproduktion*





Georg Liedl

*Integriertes Automatisierungskonzept  
für den flexiblen Materialfluß  
in der Elektronikproduktion*

Herausgegeben von  
Professor Dr.-Ing. Klaus Feldmann,  
Lehrstuhl für  
Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik

**FAPS**



Meisenbach Verlag Bamberg

Als Dissertation genehmigt von der Technischen Fakultät  
der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Tag der Einreichung:	11. Juli 1996
Tag der Promotion:	5. November 1996
Dekan:	Prof. Dr. phil. Dr.-Ing. habil. H. Stoyan
Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

**Liedl, Georg:**

Integriertes Automatisierungskonzept für den flexiblen  
Materialfluß in der Elektronikproduktion / Georg Liedl. Hrsg.  
von Klaus Feldmann. - Bamberg : Meisenbach, 1997

(Fertigungstechnik - Erlangen ; 64)

Zugl.: Erlangen, Nürnberg, Univ., Diss., 1996

ISBN 3-87525-086-9      ISSN 1431-6226

NE: GT

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks  
und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus,  
vorbehalten.

Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des  
Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein  
anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichts-  
gestaltung - mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG ausdrücklich  
genannten Sonderfälle -, reproduziert oder unter Verwendung  
elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder  
verbreitet werden.

© Meisenbach Verlag Bamberg 1996

Herstellung: Gruner Druck GmbH, Erlangen-Eltersdorf

Printed in Germany

## **Vorwort**

Diese Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik der Universität Erlangen-Nürnberg.

Herrn Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann, dem Leiter dieses Lehrstuhls, danke ich herzlich für die wohlwollende Förderung bei der Durchführung dieser Arbeit, sowie den Freiraum, den er mir bei der Bearbeitung dieses interessanten Aufgabenspektrums gewährte.

Herrn Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart, Leiter des Instituts für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München, danke ich für die Übernahme des Korreferats.

Die Logistik ist eine der traditionellen Querschnittsfunktionen in der Produktion und damit ein klassisches Beispiel, daß optimale Lösungen nur durch eine intensive Zusammenarbeit im Team erreicht werden können. Mein herzlichster Dank gilt daher allen, die mich in den vergangenen Jahren bei meiner Arbeit unterstützt haben.

Allen voran danke ich Herrn Dr.-Ing. Christoph Thim für seine stete Gesprächs- und Hilfsbereitschaft und seine zahlreichen Anregungen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Ebenso danke ich meiner Kollegin Frau Dipl.-Ing. Elke Rauh für Ihre unermüdliche Diskussionsbereitschaft und die effektive Zusammenarbeit in Projekten. Meinem Kollegen, Herrn Dr.-Ing. Peter Steinwasser, danke ich für das angenehme Arbeitsklima während unserer gemeinsamen FAPS-Zeit und für seine Geduld bei so manchem Hard- oder Softwareproblem.

Ferner danke ich meinen Kollegen, Studenten und wissenschaftlichen Hilfskräften, die durch ihr Engagement wertvolle Beiträge für die zurückliegende Arbeit geleistet haben. Zu nennen sind hier Herr Dipl.-Ing. Kai Böhner, Herr Dipl.-Inf. Uwe Goldhammer, Herr Dipl.-Ing. Norman Ludwar, Herr Dipl.-Ing. Kai Schulze Althoff, Herr Dipl.-Ing. Achim Zirner, Herr Dipl.-Ing. Thomas Welker, Herr Dipl.-Ing. Christian Schnur und Herr Dipl.-Inf. Jürgen Maier.

Herrn Markus Pfaffelhuber danke ich für die kritischen Anmerkungen und wertvollen Anregungen beim Korrekturlesen der Arbeit.

Ein besonderer Dank gebührt meinen Eltern, die mir diese Ausbildung nicht nur ermöglicht haben, sondern mich auf meinem Weg auch nach besten Kräften unterstützt haben.

Meiner Freundin, Frau Monika Mayer, danke ich für Ihre moralische Unterstützung, ihr großes Verständnis und das ausgleichende Umfeld während der Entstehung dieser Arbeit.

*Georg Liedl*



***Integriertes Automatisierungskonzept  
für den flexiblen Materialfluß  
in der Elektronikproduktion***

Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Logistisches Umfeld in Produktionssystemen der Elektronik</b>	<b>4</b>
2.1 Produktionssysteme in der Elektronik .....	5
2.1.1 Produktionsablauf .....	6
2.1.2 Flexible Materialbereitstellung .....	9
2.1.3 Organisatorisches Umfeld in der Elektronikproduktion .....	11
2.2 Materialfluß als Teilsystem der Produktion .....	15
2.3 Logistische Randbedingungen in der Elektronikproduktion .....	17
2.3.1 Lagerhaltung .....	18
2.3.2 Förderwesen .....	20
2.3.3 Transporthilfsmittel .....	21
2.3.4 Bereitstellung material- und auftragsspezifischer Informationen ..	23
<b>3 Automatisierungsgerechte Materialflußgestaltung in der flexiblen Elektronikproduktion .....</b>	<b>24</b>
3.1 Grundlegende Überlegungen zur Materialflußoptimierung in der Elektronikproduktion .....	24
3.1.1 Leiterplattenbestückung und Logistik .....	24
3.1.2 Optimierung der Wertschöpfung .....	29
3.2 Materialbewirtschaftung in der Elektronikproduktion .....	32
3.2.1 Bestandsverfolgung .....	32
3.2.2 Betriebsmittelmanagement .....	36
3.3 Gestaltung von Bestückssystemen zur Unterstützung einer durchgängigen Materialflußautomatisierung .....	37
3.3.1 Systemtechnische Gestaltungsansätze .....	38
3.3.2 Konzeption eines durchgängig automatisierten Bestücksystems ..	42

3.4 Anforderungsprofil an ein automatisiertes Materialflußsystem in der Elektronikproduktion .....	47
3.4.1 Bisherige Automatisierungslösungen und deren Defizite .....	48
3.4.2 Anforderungsprofil an ein automatisiertes Materialflußsystem in der Leiterplattenbestückung .....	51
<b>4 Mobile Handhabungseinheit als Materialflußkomponente flexibler Produktionssysteme in der Elektronik .....</b>	<b>54</b>
4.1 Konzept für ein flurfreies Transportsystem in der Elektronikproduktion ..	54
4.1.1 Komponenten zur Erfüllung der Grundfunktionalitäten .....	56
4.1.2 Konzeptalternativen und deren Bewertung .....	58
4.2 Gestaltung und Adaption des Fahrzeug- und Schienensystems .....	61
4.3 Flexible Handhabung der Transporthilfsmittel .....	64
4.4 Konzeption des Antriebs- und Steuerungssystems .....	69
4.4.1 Fahrzeuginternes Steuerungskonzept .....	70
4.4.2 Steuerungskonzepte für die Wegfindung .....	74
4.5 Integration des Gesamtsystems .....	76
<b>5 Konzept des integrierten Materialflußleitsystems .....</b>	<b>79</b>
5.1 Leittechnik in der Elektronikproduktion .....	82
5.1.1 Produktionsleittechnik in der Elektronikproduktion .....	82
5.1.2 Einordnung der Logistikleittechnik .....	83
5.2 Realisierung des Materialflußleitsystems für dezentral strukturierte Produktionen .....	85
5.2.1 Konzeptionelle Grundgedanken zur Gestaltung des Leitsystems ..	86
5.2.2 Umsetzung der Anforderungen in ein modulares, adaptives Leitstandskonzept .....	88
5.2.3 Informationssystem zur ereignisorientierten Optimierung und Planung .....	93
5.2.4 Adaptive Dispositionsumgebung für den optimierten Transport ...	100
5.2.5 Logistische Prozeßkontrolle durch operatives Logistikcontrolling ..	107
5.2.6 Konzept einer betriebsbegleitenden Simulation im Materialfluß ...	115
<b>6 Realisierung des Materialflußkonzeptes .....</b>	<b>121</b>
6.1 Produktionstechnisches Umfeld .....	121

---

6.2 Integration der Schnittstellenkomponenten .....	123
6.2.1 Bedarfsorientierte Materialbereitstellung .....	123
6.2.2 Leiterplatteneingabegerät .....	125
6.3 Einsatzerfahrungen der Mobilen Handhabungseinheit .....	134
6.3.1 Technisches Einsatzverhalten .....	134
6.3.2 Einsatzstrategien .....	136
<b>7 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen .....</b>	<b>139</b>
7.1 Wirtschaftliche Produktion durch rechnergeführten Materialfluß und integrierte Materialbewirtschaftung .....	140
7.2 Die Mobile Handhabungseinheit im technisch-wirtschaftlichen Vergleich zu alternativen Systemen .....	145
7.2.1 Technische Beurteilung der Mobilen Handhabungseinheit .....	146
7.2.2 Wirtschaftliche Einsatzspektren der Mobilen Handhabungseinheit	147
<b>8 Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>157</b>
<b>Literatur .....</b>	<b>160</b>





# 1 **Einleitung**

Die Optimierung des Produktionsprozesses und die Prozeßautomatisierung sind heute Schwerpunkte im Bereich der Elektronikproduktion. Dieses Vorgehen stößt aber immer mehr an seine Leistungsgrenzen. Zukünftige Rationalisierungsbestrebungen müssen sich am Umfeld des eigentlichen technologischen Prozesses orientieren [125]. Die Gestaltung einer effizienten Logistik in Form von optimalen Abläufen und durchgängigen Prozessketten bietet hier entsprechendes Potential. Durch die Entwicklungen in der Automatisierungs- und Informationstechnik, insbesondere im Bereich des Preis-/Leistungsverhältnisses, sind die Grundlagen geschaffen, strategische Konzepte zu entwickeln und zu implementieren. Ein derartiges Gesamtkonzept wird im folgenden für den Bereich der Elektronikproduktion entworfen.

Um die investitionsintensiven Bestücklinien wirtschaftlich zu betreiben sind hohe Maschinenlaufzeiten erforderlich. Demgegenüber stehen kleine Bestellmengen und damit kleine Losgrößen bei hoher Variantenvielfalt bedingt durch eine Verringerung der Lagerbestände bei den belieferten Unternehmen. Daraus resultiert die logistische Problemstellung einer hohen Kapazitätsauslastung bei geringer Kostenverursachung durch Bestände und Transport. Als Beispiele sind hier exemplarisch zu nennen:

- hoher Transport- und vor allem Liegezeitenanteil am Auftragsdurchlauf von bis zu 90% [21]
- hoher Personal- und damit Kostenanteil im Sekundärbereich der Materialver- und -entsorgung [127]

Daher besteht die Forderung, die logistischen Schwachstellen heutiger Produktionskonzepte zu erkennen und zu beseitigen. Dabei muß von einer ganzheitlichen Betrachtungsweise ausgegangen werden, um nicht wiederum einzelne Suboptima zu präferieren, sondern um die Erreichung des Gesamtoptimums als oberste Zielsetzung zu forcieren.

Wichtig bei diesem Vorgehen ist es, sich im Vorfeld der Betrachtungen über die Optimierungskriterien der Produktion im allgemeinen und der Logistik im besonderen Klarheit zu verschaffen. Orientiert man sich am Kunden, so ist das Zielfeld durch den Bereich *Zeit - Kosten - Qualität* abgesteckt, wobei insbesondere die Kriterien Zeit und Kosten durch logistische Maßnahmen nachhaltig beeinflussbar sind.

Ausgehend von dieser allgemeinen Betrachtung des logistischen Defizites werden nachfolgend die Bereiche analysiert, welche entsprechend beeinflusst werden müssen bzw. können, um die Produktivität in der Fertigung elektronischer Komponenten zu steigern.

Produktionssysteme der Elektronik bestehen oftmals aus hochkomplexen Strukturen. Eine hohe Dynamik im Produkt- und Auftragspektrum sind ein weiteres

Kennzeichen dieser Produktionen. So werden während der Nutzungsdauer von Fertigungseinrichtungen eine Vielzahl von Produktgenerationen gefertigt [8].

Dies bedeutet, daß zwar die technischen Anforderungen an das Bestückssystem nach einem Produktwechsel gleich oder zumindest ähnlich sind, daß sich aber die logistischen Einflußgrößen (Produktionsmengen, Bauelementeanzahl, Losgröße etc.) drastisch ändern können. Notwendig ist es die Auswirkung dieser Größen zu bestimmen, charakteristische Kennzahlen zu erfassen und sie im Sinne einer permanenten Planungsbereitschaft und kontinuierlichen Verbesserung der Anlagen in einen integrierten Optimierungsprozeß einfließen zu lassen.

Bei der Betrachtung der Materialflußautomatisierung steht die Hauptfunktion der *Maschinenbeschickung* mit "Werkstück und Werkzeug" im Vordergrund. Die hier adaptierten Lösungen aus Fahrzeug- und Maschinenbau weisen für die Elektronikproduktion oftmals erhebliche Nachteile auf. Dies zeigt sich auch im generell niedrigen Materialfluß-Automatisierungsgrad beim übergreifenden Verketteten von Bestücklinien. Als ein Defizit ist es daher zu sehen, daß am Markt verfügbare Förder-technik für die Bedürfnisse der Elektronikfertigung meist unter entsprechendem Aufwand angepaßt werden muß.

Bisherige Arbeiten orientierten sich vorrangig an strategischen Untersuchungen zur Entwicklung von Materialfluß- und Informationsflußstrukturen. Der konkrete technische Aufbau und die Eigenschaften von linienübergreifenden Verkettungseinrichtungen aber blieben weitgehend unberücksichtigt (Bild 1-1).

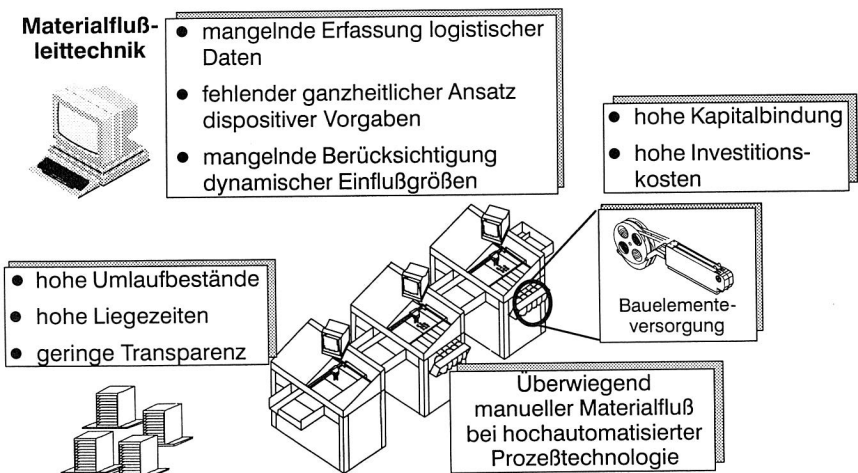


Bild 1-1 Logistische Defizite in Produktionssystemen der Elektronik

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung und technische Umsetzung eines ganzheitlichen logistischen Systems zur flexiblen, automatisierten Versorgung der Produktionslinien mit Material und Information.

Als Leitlinie zur Zielerreichung dient dabei ein allgemeingültiges Vorgehen (Bild 1-2) beim Umsetzen von Rationalisierungspotentialen [15, 92]:

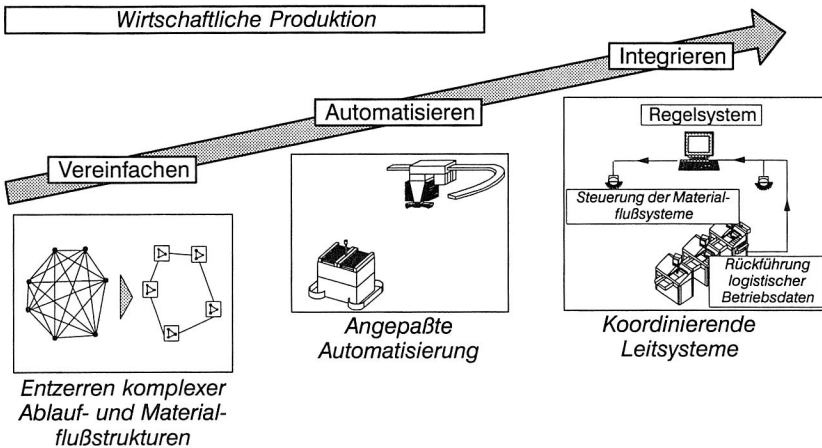


Bild 1-2 Stufenweise Entwicklung eines durchgängigen Materialfluß-Automatisierungskonzeptes

Mittels einer analytischen Betrachtung bestehender Montagesysteme werden Abläufe untersucht (Kapitel 2), strukturiert und entsprechend den Bedürfnissen der Automatisierung optimiert (Kapitel 3). Hier gilt es, das organisatorische Umfeld auf die Kernprozesse hin abzustimmen.

Diese konzeptionellen Überlegungen werden in konkrete Gestaltungsmaßnahmen des Produktionsumfeldes umgesetzt und münden in die Entwicklung einer angepaßten Automatisierungskomponente in Form einer Mobilen Handhabungseinheit (Kapitel 4). Diese arbeitet im Systemverbund mit bereits etablierten Transportsystemen weiterer Produktionssegmente.

Produktion und Materialfluß bestehen heute nach wie vor als zwei eigenständige Bereiche. Der Materialfluß reagiert in der Regel nur auf die Anforderungen aus der Produktion. Dadurch ist es nur sehr schwer möglich, im Rahmen von kurzen Reaktionszeiten nachhaltige Optimierungsziele zu verfolgen.

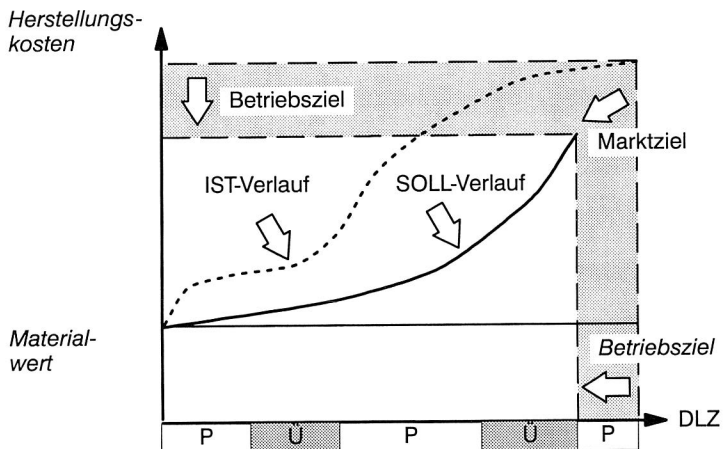
Die Aufgabe der entwickelten Leittechnik (Kapitel 5) ist es, dieses Gesamtsystems zu koordinieren und die Produktivität aufrecht zu erhalten bzw. zu steigern. Durch den modularen und flexiblen Aufbau ist es dabei sowohl an die einzelnen Systemkomponenten als auch an das Produktionsumfeld adaptierbar.

## 2 Logistisches Umfeld in Produktionssystemen der Elektronik

Die technische Leistungssteigerung der Bestücksysteme und die fortschreitende Miniaturisierung der Bauelemente waren die Wege, welche bisher zur Erreichung der Produktionsziele und insbesondere der Kostenziele beschritten wurden. Mittlerweile aber bewegen sich die technischen Optimierungen an ihren Leistungsgrenzen. Eine weitere Verkleinerung der Bauelemente bedingt steigende Anforderungen an die Genauigkeit der Bestücksysteme. Bereits heute sind dabei die Bestückkosten gerade der passiven Bauelemente höher anzusetzen als die reinen Bauelementekosten [63].

Um diesem Kostendruck stand zu halten, ist es notwendig, weiteres Optimierungspotential zu erschließen. Dies wird ermöglicht durch die ganzheitliche Betrachtung des Produktionszyklusses, d. h. von der Produktidee bis hin zur Bereitstellung beim Kunden.

Dieser Gedanke muß aber insbesondere beim eigentlichen Produktionsprozeß durch eine integrative Verknüpfung von Produktionslogistik und Produktionsablauf unterstützt werden. Erst hierdurch gelingt es, den dualen Rationalisierungseffekt der Logistik zu erschließen (Bild 2-1).



Legende: P: Prozeß Ü: Prozeßübergangszeit

Bild 2-1 Duales Optimierungspotential in der Logistik durch Straffung der Wertschöpfungskette (nach [21])

Eine optimierte Logistik erreicht zum einen eine Reduzierung des Kostenfaktors. In der Elektronikproduktion schlägt sich dieser vor allem über die Kapitalbindungskosten aufgrund der langen Liegezeiten nieder. Eine einhergehende Verbesserung der Transparenz vermindert zusätzlich die Steuerungskosten.

Zum anderen aber steigert eine Automatisierung des Materialflusses auch die Leistungsfähigkeit des Systems. In Verbindung mit einer Integration des Informationsflusses bedeutet dies eine weitere Verringerung von Durchlaufzeit und Bestand.

Um dieses logistische Potential zu erschließen, ist es notwendig die Produktionsumgebung in der Elektronikfertigung zu untersuchen und bezüglich der logistischen Anforderungen zu charakterisieren.

## **2.1 Produktionssysteme in der Elektronik**

In Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2860 [88] und DIN 8580 [76] läßt sich die Montage in der Elektronik mit den ihr wesentlichen Prozessen "Bestücken von Schaltungsträgern", deren weiterer "Einbau in übergeordnete Baugruppen" und "zusätzlichen Justier- und Kontrollarbeiten" beschreiben.

In der vorliegenden Arbeit ist der Bereich der automatisierten Bestückung von Schaltungsträgern Schwerpunkt der logistischen Betrachtung.

Gerade durch den vermehrten Einsatz der SMT (Surface Mount Technology) wurden die Automatisierungsbestrebungen in der Bestückung massiv unterstützt [43, 36]. Aus technologischer Sicht unterscheidet man bei der automatisierten Bestückung im wesentlichen zwei Verfahren [62]:

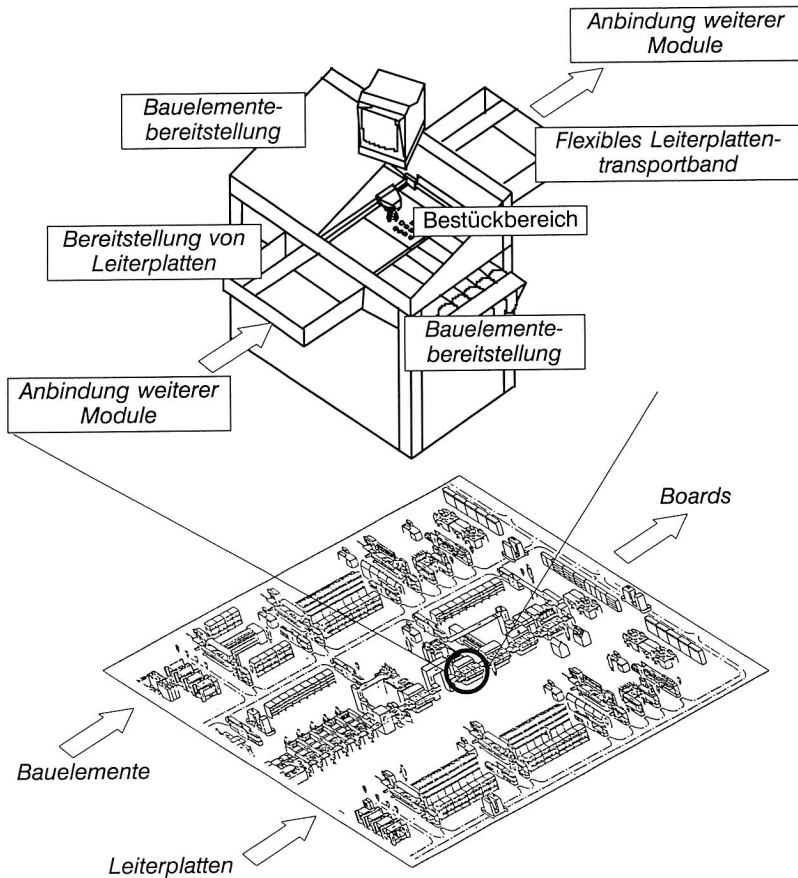
- Sequentielle Bestückung
- Simultane Bestückung

Produktionslogistik und Bestückprozeß stehen in der automatisierten Produktion in einer starken Wechselwirkung zueinander. Ein optimales Produktionsergebnis erreicht man insbesondere durch die effiziente Bereitstellung der Basiskomponenten

- Schaltungsträger
- Bauelemente und Hilfsstoffe
- Information

unter Berücksichtigung der logistischen Zielsetzung:

*Das richtige Material und die richtige Information in der richtigen Menge zum richtigen Zeitpunkt in der geforderten Qualität am richtigen Ort.*



*Bild 2-2 Prinzipieller Aufbau einer Bestückmaschine aus logistischer Sicht*

Welche Bereiche und Schnittstellen dabei an der Bestückmaschine zu berücksichtigen sind zeigt Bild 2-2. In keinem Fall ist es jedoch ausreichend, nur die Bestückmaschine isoliert zu betrachten. Grundlage für eine Verbesserung der Situation bildet eine intensive Untersuchung des Produktionsablaufes und der Materialbereitstellung.

### **2.1.1 Produktionsablauf**

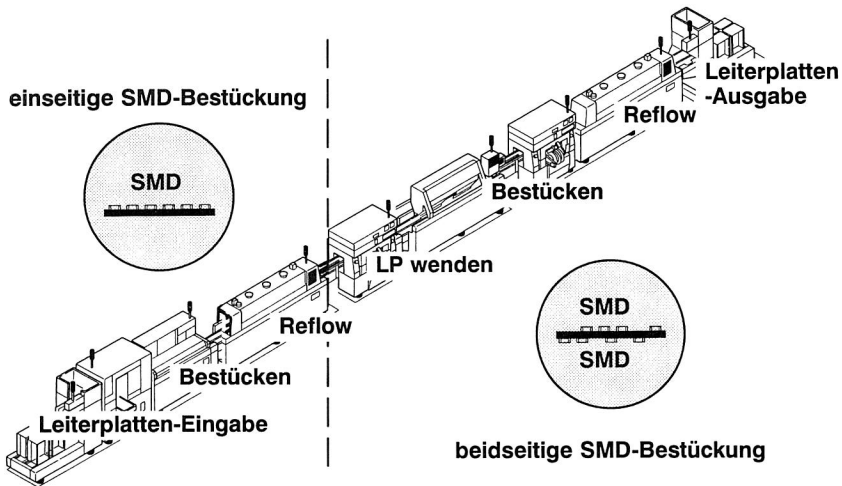
Da nicht alle Bauteile als SMD-Komponenten (Surface Mount Device) zur Verfügung stehen, macht dies unterschiedliche Verfahrensketten in der Bestückung erforderlich. Die einzelnen Produktionsabläufe werden in den beiden nachfolgenden Abbildungen verdeutlicht:

Wie Bild 2-3 zeigt, bietet die reine SMD-Bestückung die Möglichkeit, ein variantenreiches Produktspektrum innerhalb einer Linie zu fertigen und somit den Produktionsablauf sehr straff zu organisieren.

Zudem bieten die Hersteller von Bestückmaschinen bzw. spezialisierte Komponentenhersteller eine Vielzahl von Elementen zur Gestaltung von Bestücklinien. Gerade diese fördertechnischen Elemente wie z. B.

- Bandlelemente
- Puffermodule
- Leiterplattenbereitstellungsmodule etc.

lassen dem Planer ausreichend Freiheiten bei der Konfiguration von produktiven Bestückerheiten.



*Bild 2-3 Verkürzung der Prozeßkette und damit verbundene Minimierung von Transportvorgängen durch reine SMD-Bestückung*

Ein Großteil von Baugruppen muß nach wie vor in Mischbestückung ausgeführt werden. Der entsprechende Verfahrensablauf ist in Bild 2-4 gezeigt.

Der Anteil an THD-Bauelementen (Through Hole Device) ist dabei stark abnehmend und bewegt sich heute im Bereich von ca. 50% bis 10% [43].

Vor diesem Hintergrund werden THT-Bestückmaschinen (Through Hole Technology) sicher nur im Rahmen von Massenfertigungen in die Produktionslinie integriert. Aufgrund der Anforderungen durch die flexible Produktion kleiner Losgrößen finden sich diese Maschinen weit häufiger als Stand-alone-Geräte. Dies bedingt eine

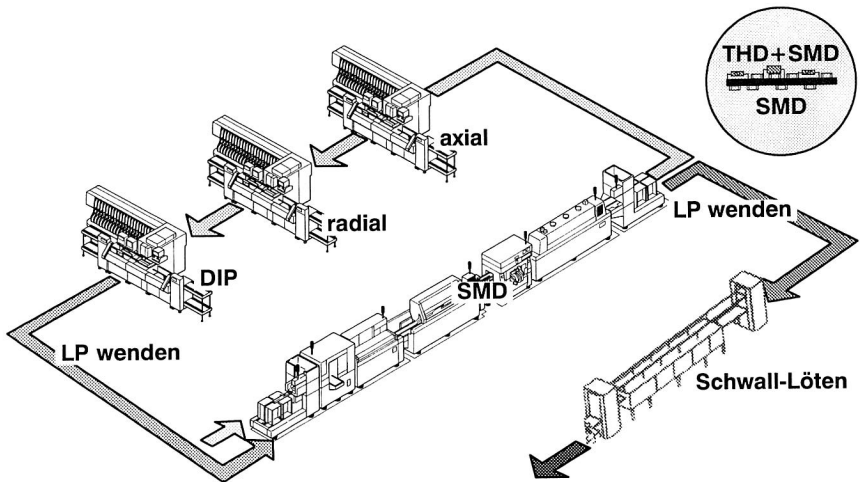
Fertigungsorganisation, welche der klassischen Werkstattfertigung entspricht, und damit natürlich auch die entsprechenden Vor- und Nachteile mit sich bringt:

**Vorteile:**

- hohe Flexibilität bezüglich Art und Menge der zu fertigenden Produkte
- anpassungsfähig an neue Technologien
- hoher Nutzungsgrad der Maschinen verbunden mit Redundanz bei Störungen

**Nachteile:**

- sehr komplexe, intransparente Strukturen
- hohe Durchlaufzeit und Bestände durch mangelnde Kapazitätsabstimmung
- hohe Anforderungen an Fertigungssteuerung
- hoher Transportaufwand



*Bild 2-4 Erhöhter logistischer Aufwand durch eine Vielzahl von Schnittstellen bei der Mischbestückung von THD und SMD*

Ein weiterer Nachteil bezogen auf die Automatisierung des Materialflusses besteht in der aufwendigen Anbindung der Maschinen. In der Regel sind diese Geräte mit einem Drehtisch ausgestattet, welcher manuell mit Leiterplatten bestückt wird. Die Anlieferung der Leiterplatten erfolgt auf Andockstellen, welche wiederum vom Mitarbeiter bedient werden.

Zusammenfassend läßt sich daher feststellen, daß auch aus logistischer Sicht eine weitere Verbreitung der SMD-Technologie angestrebt werden muß. Die Verarbeitung von THD-Bauelementen wirkt sich nachteilig auf den Produktionsablauf und



insbesondere den Leiterplattenfluß aus. Wo eine reine SMD-Bestückung nicht möglich ist, gilt es abzuwägen, ob eine Integration der THT-Automaten in die Bestücklinie von Vorteil ist. Dies wird sich meist jedoch nur bei Großserienfertigung befürworten lassen. In der flexiblen, auftragsbezogenen Produktion muß dieser technologische Nachteil durch eine erhöhte Flexibilität im Materialfluß kompensiert werden.

Eine weitere Möglichkeit, welche gerade durch die abnehmende Tendenz der THD unterstützt wird, ist die Integration von THD-Bestückwerkzeugen in SMD-Bestückautomaten. Diese Überlegungen befinden sich aber derzeit noch im Entwicklungsstadium.

### **2.1.2 Flexible Materialbereitstellung**

#### ***Flexibilitätsanforderungen***

Produzierende Unternehmen müssen heute in der Lage sein, sich flexibel an den Markt anzupassen. Dies bedeutet, daß insbesondere die Produktion auf Produktvarianten bzw. neue Produkte schnell reagieren muß. Dies kann einerseits durch entsprechende Lagerbestände realisiert werden, welche jedoch einen nicht unerheblichen Kostenfaktor darstellen. Andererseits erreicht man dieses Ziel auch durch eine hohe Flexibilität in der Produktion, welche eine schnelle Reaktion auf sich ändernde Kundenanforderungen zuläßt.

Diese Flexibilität zeigt sich im wesentlichen in der Fähigkeit, die Auftragsreihenfolge schnell und ohne großen Mehraufwand zu verändern. Zudem soll dies ohne Berücksichtigung von Losgrößenrestriktionen geschehen.

Von Seiten der technologischen Betrachtung werden somit bestimmte Flexibilitätsanforderungen an die Bestückmaschinen gestellt:

- wahlfreier Zugriff auf eine Vielzahl von Bauelementezuführungen
- Handhabung unterschiedlicher elektrischer Bauelemente
- Handhabung unterschiedlicher geometrischer Bauformen

Diese Anforderungen beziehen sich vorrangig auf die Bestückmaschine an sich. Im Rahmen einer ganzheitlichen Betrachtung ist aber das gesamte Produktionssystem zu berücksichtigen.

Zielsetzung eines flexiblen Produktionssystems ist die wirtschaftliche Erfüllung der Marktanforderungen unter den Restriktionen Termin, Kosten und Qualität. Die Kundennähe spiegelt sich hier vorrangig in der organisatorischen Beweglichkeit und damit auf der logistischen Ebene wider.

Logistische Flexibilitätsanforderungen werden hierbei gestellt bezüglich:

- Produktvarianten
- Produktmix/Auftragsmix
- Losgrößenflexibilität

Strohmayr [124] unterscheidet dabei in *Interne Flexibilität*, bei der die Wirkflächen und -komponenten an die neue Montageaufgabe anpaßbar sind, und *Externe Flexibilität*, bei der das Montagesystem durch Austausch von produktspezifischen Komponenten über die Systemgrenze hinweg an geänderte Ein- und Ausgangsbedingungen angepaßt wird.

Von logistischem Interesse ist hierbei insbesondere die Externe Flexibilität, welche sich durch die Bereitstellung von Aufträgen in Form von Leiterplatten, Bauelementen und zugehörigem Bestückprogramm darstellt. Intensive Betrachtung muß vor allem die Bauelementebereitstellung finden, da diese nicht nur den Rüstaufwand, sondern auch den logistischen Aufwand massiv beeinflußt.

### **Materialbereitstellung**

Ein weiterer Schwerpunkt, der intensiv untersucht werden soll, besteht in der produkt- bzw. auftragsindividuellen *Materialbereitstellung* und dem flexiblen Zugriff und Transport von Material und Baugruppen.

Ausgehend vom Maschinenumfeld interessiert in der ersten Stufe die eigentliche Bereitstellung der Bauelemente.

Im Rahmen der Rüstung bzw. Materialbereitstellung an den Bestückmaschinen unterscheidet man im wesentlichen drei alternative Konzepte (Bild 2-5):

Unter der *Einzelrüstung* versteht man das direkte Rüsten einzelner Feeder an der Bestückmaschine. In der Großserienfertigung findet sich dieses Konzept in Zusammenhang mit einem hohen Festrüstanteil.

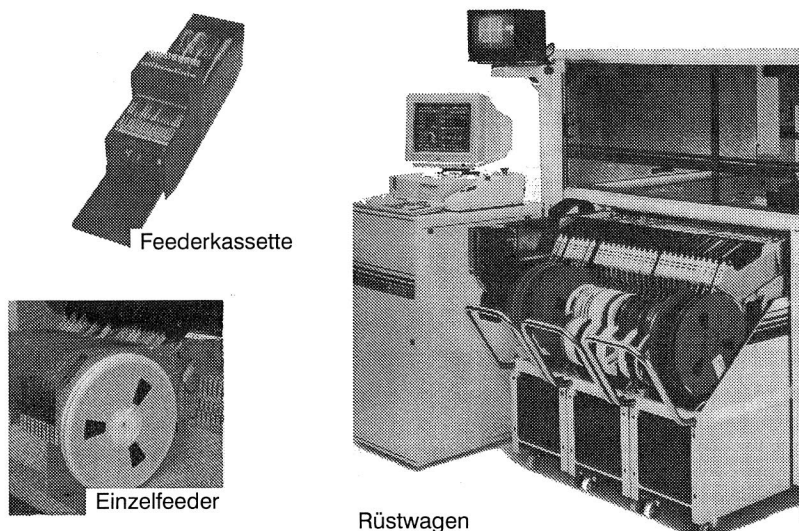
Bei auftragsbezogener Fertigung sind die benötigten Feeder im Rahmen der Vorrüstung zu kommissionieren und beim Auftragswechsel einzeln in die entsprechenden Spuren des Automaten einzuhängen. Häufig findet man dieses Vorgehen auch in Verbindung mit einer partiellen Festrüstung.

Demgegenüber besteht bei der Einzelrüstung die Möglichkeit der Spuroptimierung, d. h. die Minimierung der Verfahrwege des Bestückkopfes.

Bei der *Kassettenrüstung* werden mehrere Bereitstellereinheiten zu Modulen (Kassetten) zusammengefaßt. Die Kassettenrüstung ist wiederum bei der flexiblen, auftrags-spezifischen Fertigung zu finden, insbesondere bei der Mehrfachverwendung bestimmter Bauelemente bei unterschiedlichen Aufträgen (Schaltungsgruppen).

Beim *Rüstwagen* werden alle Feeder eines Förderbereiches komplett vorgerüstet und bei einem Auftragswechsel einfach ausgetauscht. Dieses Konzept findet sich in der auftrags-spezifischen Produktion wieder. Durch das Vorhalten produkt- bzw. auftrags-spezifischer Rüstwagen werden die maschinennahen Rüstzeiten minimiert.

Einen weiteren wesentlichen Punkt der Materialbereitstellung stellt die Anlieferung der Schaltungsträger dar, welche überwiegend mit Hilfe von Leiterplattenkassetten (Kap. 2.3.3) als Transporthilfsmittel erfolgt.



	Einzelfeeder	Feederkassette	Rüstwagen
Vorrüsten	☉	☾	●
Reduzierung der Kapitalbindung	☉	☾	●
Großserie / Masse	●	☾	☉
Mittelserie	☉	☾	●
Kleinserie	●	☾	☾

● sehr geeignet    ● gut geeignet    ☉ geeignet    ☾ schlecht geeignet    ☉ ungeeignet

*Bild 2-5 Formen und Einsatzbereiche der Bauelemente-Bereitstellung an der Bestückmaschine*

### 2.1.3 Organisatorisches Umfeld in der Elektronikproduktion

Die Elektronikproduktion bewegt sich heute in einem hochdynamischen Umfeld. Kurze Produktlebenszyklen, individuelle Kundenanforderungen und eine Produktvielfalt mit einem breiten Mengenspektrum stellen vielfältige Anforderungen an die Fertigung.

Aufgrund der genannten Einflüsse finden sich differenzierte Fertigungsstrategien wieder. Zum einen müssen stückzahlintensive Produkte bzw. Aufträge schnell

gefertigt werden, zum anderen muß aber auch auf kleine Stückzahlen bei vielfachem Produktwechsel reagiert werden. Als häufigste Ausprägung ist daher in der Elektronikproduktion eine *duale Produktionsstrategie* zu finden, welche sich darstellt als eine Kombination von sogenannten *Rennerlinien* und *Variantenlinien* [13].

Charakteristisch für die Rennerlinien ist ein hoher Festrüstungsanteil. Die Aufträge werden so eingelastet, daß diese Rüstung über einen längeren Zeitraum aufrecht erhalten werden kann [103]. Dies erfordert natürlich eine über längere Zeit gleichbleibende Auftragsstruktur.

Aus logistischer Sicht findet sich bei diesen Strukturen der Vorteil, daß vorrangig die Materialversorgung an den Bestücklinien aufrecht zu erhalten ist. Dies wird meist über eine auftragsunabhängige, bestandsorientierte Steuerung erreicht, da hier ein geringer Steuerungsaufwand anfällt.

Bei den Variantenlinien liegt der Schwerpunkt auf der Fertigung unterschiedlicher Aufträge. Diese werden in der Regel zu sogenannten Tagesscheiben zusammengefaßt und an der entsprechenden Linie eingelastet.

Diesen Tagesscheiben entsprechend muß die Linie mit den Aufträgen versorgt werden. Um unterschiedliche Varianten zu fertigen muß hier mit einer Vielzahl von Rüstzuständen gearbeitet werden, was sowohl einen hohen dispositiven als auch physischen Aufwand in der Logistik bedeutet.

Eine weitere Steigerung der Variantenproblematik zeigt sich bei den sogenannten *Exotenlinien*. Hier findet sich ein Spektrum von kleinsten Losgrößen für die Musterfertigung, über Nullserien neuer Produkte bis hin zu mittleren Losgrößen etwa für die Ersatzteilbeschickung. Das hauptsächliche Problemfeld dieser Produktionsbereiche ist es, dieses weitgestreute Produkt- und Mengenspektrum sinnvoll in das gesamte Produktionsgeschehen einzubinden.

### **Produktionsstrukturen**

Den Anforderungen entsprechend unterscheidet man in der Flachbaugruppenproduktion im wesentlichen drei unterschiedliche Produktionsstrukturen (Bild 2-6):

Die heute am meisten umgesetzte Lösung ist sicherlich die *Inline-Struktur*. Bei dieser Grundstruktur sind die einzelnen Fertigungseinheiten in der vom Werkstück zu durchlaufenden Reihenfolge angeordnet. Verbunden sind die Stationen direkt durch ein Fördersystem in Form eines Transportbandes, welches die Leiterplatten in der Regel ohne zusätzliches Transporthilfsmittel befördert.

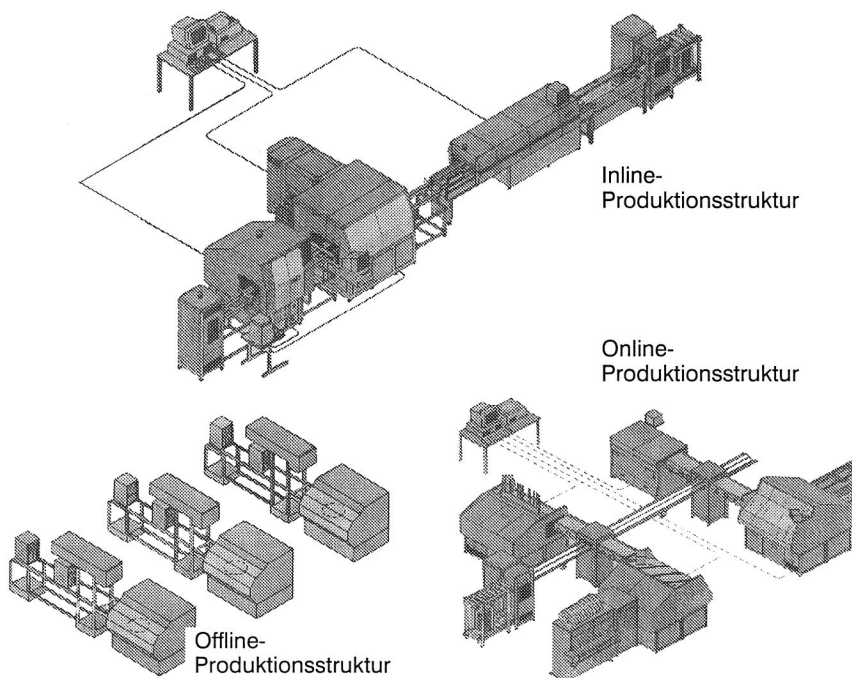
Gerade in der nach wie vor notwendigen THT-Bestückung finden sich *Offline-Strukturen* wieder. Einzelne Maschinen oder zu Inseln gruppierte Einheiten stellen die Kernelemente dieser Strukturen dar. Durch den hochflexiblen Leiterplattenfluß zwischen den einzelnen Bereichen wird hier ein Höchstmaß an Flexibilität erreicht.

Dem steht der höhere Transportaufwand und die in der Regel manuelle oder nur halbautomatische Anbindung und Bedienung der Maschinen gegenüber. Des

weiteren sind die Offline-Segmente in der Regel nicht nach dem Pass-Through-Konzept ausgerichtet, sondern werden überwiegend von einer Seite bedient.

In der flexiblen Produktion kleiner Losgrößen findet man häufig *Online-Produktionsstrukturen* [57]. Hier wird versucht, die Nachteile der oben genannten Konzepte zu kompensieren und auf Losgrößenschwankungen sehr flexibel zu reagieren.

Bei dieser Lösung sind die einzelnen Fertigungsstationen mit einer zentralen Transportstrecke verknüpft. Derartige Systeme werden meist in Verbindung mit einem Werkstückträgersystem umgesetzt, da dann mit einem festen Abstand des Transportbandes gearbeitet werden kann. Mit Hilfe eines Werkstückträgers [57] realisiert man eine standardisierte Schnittstelle zwischen Transportsystem und Leiterplatte (Bild 2-7). Der Aufbau des Werkstückträgers erlaubt es, bei konstanten Aussenmaßen, die Leiterplattenaufnahme auf die jeweilige zu bearbeitende Flachbaugruppe einzustellen. Dies reduziert Umrüstarbeiten am Bandsystem, verlagert diese Arbeiten aber zugleich in den produktionsvorbereitenden Bereich.

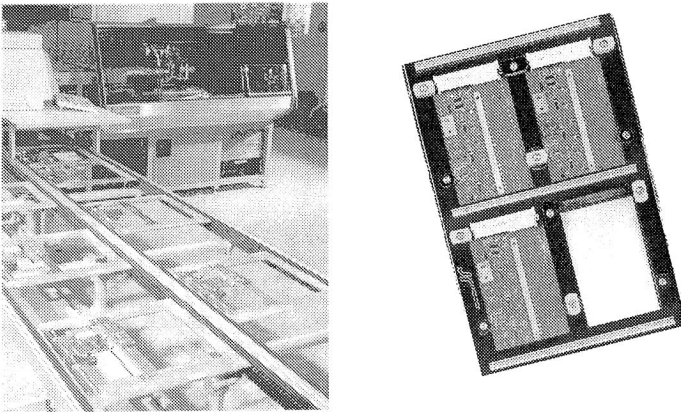


**Bild 2-6** Unterschiedliche Produktionsstrukturen ermöglichen eine schnelle Reaktion auf sich ändernde Randbedingungen in der Produktion

Beim konventionellen Fördern der Leiterplatten mit Hilfe der Transportbänder begegnet man der Umrüstproblematik mittels der Nutzentechnik.

### **Nutzentechnik**

Miniaturisierung, kompakte Bauweise und zunehmende Funktionsintegration stellen vielfältige Forderungen an die Flachbaugruppengeometrien und führen hierbei zu einer entsprechenden Dimensions- und Formenvielfalt. Dies aber widerspricht massiv den logistischen Bestrebungen einer Vereinheitlichung von Zuführ- und Magaziniertechnik. Um diesem Nachteil entgegenzuwirken wird in der Bestücktechnik in der Regel mit der Nutzentechnik gearbeitet.



*Bild 2-7 Individuell konfigurierbare Leiterplatten-Werkstückträger*

Dabei werden mehrere Einzelschaltungen auf einer Flachbaugruppe zusammengefaßt. Beim Nutzenaufbau unterscheidet man in *Familienprint*, bei welchem alle zu einem Gerät gehörenden Schaltungen zusammengefaßt werden, und dem *Parallelprint*, bei welchem mehrere kongruente Schaltungen zusammengefaßt werden. Die zusätzlichen Vorteile liegen beim Familienprint in der Vereinfachung für Materialdisposition und Logistik, beim Parallelprint in der Maximierung der Kapazitätsausnutzung der Maschinen.

Durch diese Integration erreicht man nun zweierlei:

- Standardisierung der Leiterplattenformate und damit Reduzierung von Umrüstvorgängen
- Reduzierung von Investitionsaufwand durch Einsparungen bei Handhabungs- und Transporteinrichtungen
- Erhöhung von Transportlosen bzw. Reduzierung von Transportvorgängen
- Kostenreduktion durch Erhöhung des Bestückinhalts der Leiterplatte

## 2.2 Materialfluß als Teilsystem der Produktion

Der Materialfluß stellt wiederum selbst ein Teilsystem innerhalb der Produktion dar. Diesem gleichgestellte Systeme sind z. B. das Bearbeitungssystem (hier Bestücksystem) und das Informationssystem.

Von besonderem Interesse im Rahmen der logistischen Systembetrachtung ist dabei das Werkstückflußsystem, welches die Aufgabe hat, Werkstücke (hier Leiterplatten) und Werkstoffe (hier elektronische Bauelemente) unter logistischen Qualitätsanforderungen an den Bestücksystemen bereit zu stellen.

Die wesentlichen Systemkomponenten eines Flexiblen Fertigungssegments in der Baugruppenfertigung sind dabei in Bild 2-8 dargestellt:

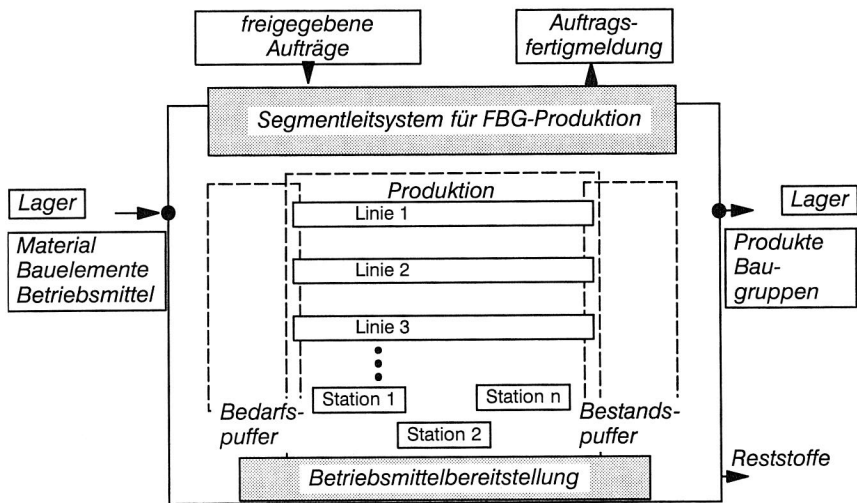


Bild 2-8 Systemkomponenten eines Flexiblen Fertigungssegments in der Elektronikproduktion

Informationsbasis und koordinierendes System stellt das *Segmentleitsystem* dar, welches vom übergeordneten System, in der Regel ein PPS-System, die zu fertigenden Aufträge erhält und deren Fertigstellung zurückmeldet.

Als weitere Komponente findet sich die *Betriebsmittelbereitstellung*. Ihr kommt in der Leiterplattenbestückung eine besondere Rolle zu, da sie eine Kombination aus Bereitstellungskomponente und Montagematerial bildet. Als wesentlicher Funktions-träger bei der Rüst- bzw. Umrüstflexibilität steht diese Komponente auch im Zentrum der logistischen Betrachtung, wie in Kapitel 3.2 noch aufgezeigt wird.

Basis bisheriger Betrachtungen bildet das Puffermodell [67]. Nach diesem Modell besteht das System aus den Komponenten

- *Bedarfpuffer*
- *Bestücksystem*
- *Bestandspuffer.*

Der Bedarfpuffer stellt dabei das Eingangselement des Arbeitssystems dar. Um eine hohe Kapazitätsauslastung zu gewährleisten muß sichergestellt werden, daß der Bedarfpuffer über einen bestimmten Mindestbestand verfügt. Um aber auf Produktionsänderungen flexibel reagieren zu können muß dieser Mindestbestand so gering wie möglich gehalten werden. Dies erfordert weiter, daß eine leistungsfähige Anbindung an vorgelagerte Systeme geschaffen wird, sowohl förder technischer als auch informationstechnischer Natur.

Demgegenüber stellt der Bestandspuffer die Anbindung an die nachgelagerten Systeme dar. Da die Baugruppen bzw. Produkte bereits eine hohe Wertschöpfungsstufe erreicht haben, ist es von besonderem Interesse, deren Verweildauer im Bestandspuffer auf den Wert Null zu reduzieren.

Alle diese Komponenten stellen Teilsysteme dar, welche eine gewisse Grundfunktionalität im gesamten Produktionssystem übernehmen. Erst die Kombination von Grundfunktionen zeigt die Realisierung des Produktionsprozesses. Ziel des Produktionsmanagements ist es dabei, diese Funktionsketten so kurz wie möglich zu gestalten.

Als relevante Einzelsysteme für den Materialfluß stehen dabei folgende Komponenten zur Verfügung:

- *Handhabungssystem:*  
bewirkt die zweckbestimmte Lageveränderung der Werkstücke **in** das Bearbeitungssystem
- *Übergabesystem:*  
bewirkt die zweckbestimmte Lageveränderung der Werkstücke **bis an** das Bearbeitungssystem
- *Transportsystem:*  
bewirkt die erforderliche Ortsveränderung der Werkstücke entsprechend des technischen Ablaufs
- *Lagersystem:*  
übernimmt die geordnete, zeitüberbrückende Aufnahme der Werkstücke
- *Informations- und Steuerungssystem:*  
übernimmt auf unterster Ebene die Aufgaben der Ansteuerung einzelner Systeme und Elemente und ist auf übergeordneter Ebene verantwortlich für die Synchronisation aller am Produktionsprozeß beteiligten Teilsysteme mit der Zielsetzung eines effektiven Produktionsablaufes

Für eine Vielzahl von einzelnen Elementar- bzw. Grundfunktionen stehen bereits entsprechende Automatisierungskomponenten zur Verfügung. Die Gestaltung von Materialflußautomatisierungslösungen beinhaltet daher im wesentlichen diese Grundfunktionsträger zu einem Flußsystem zu kombinieren, insbesondere unter den Restriktionen



- Minimierung der Flußkette durch Integration von Grundfunktionen und
- Gestaltung eines integrierten Flußsystems aus den Komponenten Stoff- und Informationsfluß.

Für den Informationsfluß ist dabei die Schnittstelle zu den übergeordneten planenden und dispositiven Bereichen von Bedeutung. Nur durch einen intensiven Informationsaustausch mit diesen Ebenen ist die Aufgabe der Sicherung des effizienten Zusammenwirkens aller am Produktionsprozeß beteiligten Teilsysteme zu erfüllen. Vorrangige Aufgabe ist dabei die zeitliche Abstimmung zu den vor- und nachgelagerten Prozessen im Sinne einer Synchronisation des Auftragsdurchlaufes mit den zur Verfügung stehenden Produktionskapazitäten.

## 2.3 Logistische Randbedingungen in der Elektronikproduktion

Die logistisch orientierte Betrachtung und IST-Analyse heutiger Produktionssysteme in der Elektronik zeigt sehr deutlich, daß sich für Rationalisierungsbestrebungen ein sehr breites Betätigungsfeld abzeichnet (Bild 2-9). Insbesondere die Vielzahl an Gestaltungselementen sowohl technischer, als auch organisatorisch-dispositiver Natur stellen dieses Potential anschaulich dar.

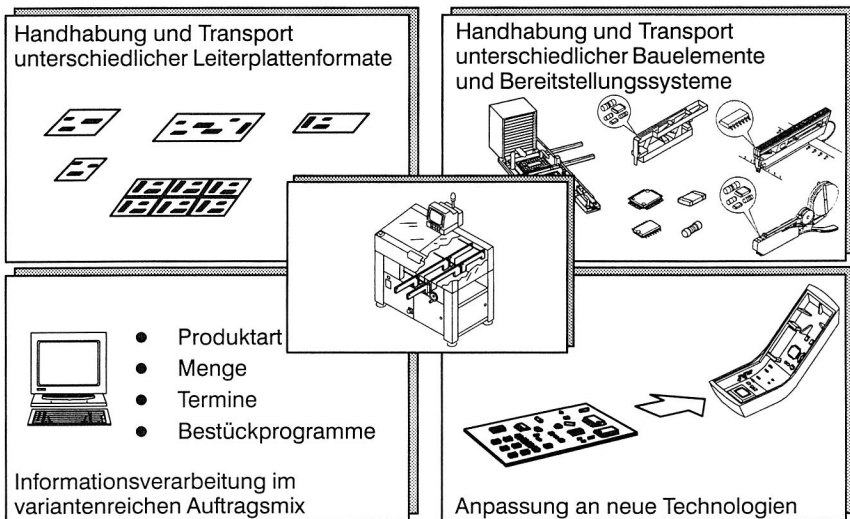


Bild 2-9 Hohe Flexibilitätsanforderungen in unterschiedlichen Bereichen der Elektronikproduktion bedingen eine Vielzahl zu berücksichtigender Randbedingungen

### 2.3.1 Lagerhaltung

Das Lagerwesen nimmt in der Elektronikindustrie eine besondere Stellung ein. Betrachtet man aktuell die Situation auf dem Beschaffungsmarkt, ergibt sich aufgrund der Lieferprobleme der Hersteller für elektronische Bauelemente die Forderung, daß die Lagerhaltung in der Elektronikproduktion aufrecht erhalten werden muß. Die Realisierung von JIT-Strategien (just in time) ist somit vorrangig im innerbetrieblichen Sektor zu forcieren.

Ein Kennzeichen elektronischer Bauelemente ist deren hoher Wertanteil an den gesamten Herstellkosten eines Schaltungsträgers [18] und die hohe Variantenvielfalt der Bauelemente. Vor diesem Hintergrund ist zur Reduzierung der Kapitalbindung eine Minimierung der Verweildauer bzw. der Bestände im Lagersystem anzustreben.

Bedingt durch die Forderung einer Bereitstellung aller Bauelemente vor Produktionsstart [21] hat das Lager zudem oftmals erhöhte Bestände aufgrund von Mehrfachbedarfen zu handhaben.

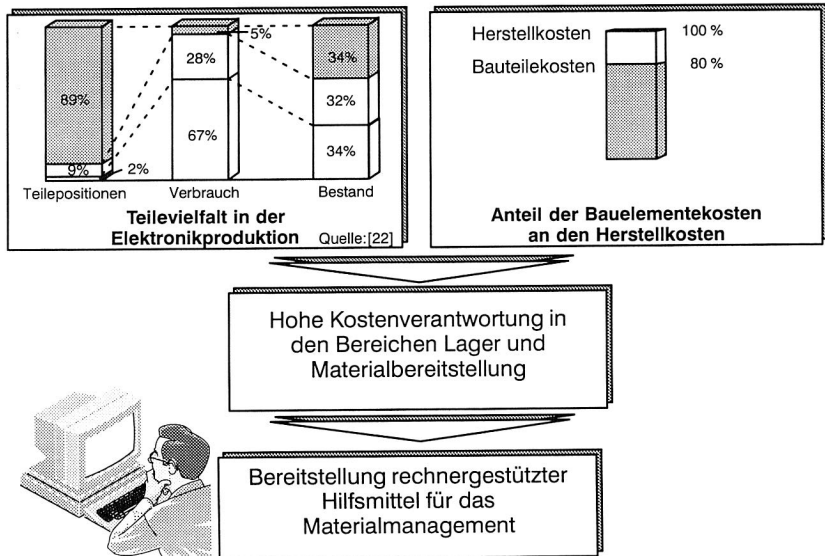
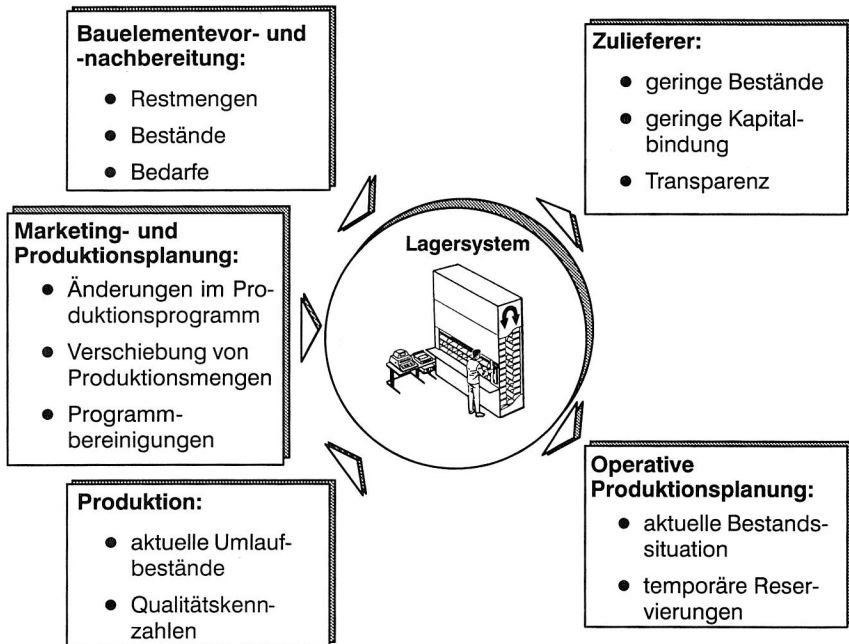


Bild 2-10 Problem der Teilevielfalt in der Elektronikproduktion

Bild 2-10 zeigt deutlich, daß eine große Anzahl von Bauteilen eine hohe Kapitalbindung aufweist und dies bei einem nur geringen Verbrauch. Der hohe Kaufanteil bei den Bauelementen, welche je nach Produkt bis zu 80% der Kosten einer Flachbaugruppe betragen, zeigt, welche Kostenverantwortung hier der Materialwirtschaft zukommt, und welches Potential erschlossen werden kann. Dies motiviert den

Bedarf einer durchgängigen, rechnergestützten Informationskette, wie sie in Bild 2-11 aufgezeigt ist.



*Bild 2-11 Eine umfassende Informationsversorgung unterstützt eine Kostenreduktion in der Materialwirtschaft der Elektronikproduktion*

Unmittelbare Auswirkungen einer durchgängigen und aktuellen Informationsversorgung sind dabei:

- Verringerung der Teilevielfalt durch Standardisierung im Entwicklungsbereich
- Verbesserung der Disposition
- Überwachung und Kontrolle der Bestände
- Entfernen von "Ladenhütern"  
(Teile, die z. B. aufgrund von Produktionsumstellungen nicht mehr benötigt werden)
- Reduzierung der Durchlaufzeiten mit Hilfe durchgängiger Systeme

Die Notwendigkeit einer weiteren Automatisierung der Bauelementelagerung und -bereitstellung wird deutlich, wenn man die Besonderheiten bei der Lagerung und Handhabung von elektronischen Bauelementen berücksichtigt:

- Manuelle Handhabung birgt die Gefahr des Verbiegens der Anschlußpins in sich, welche durch die weitere Miniaturisierung der Bauelemente verschärft wird.
- Beschädigung oder Zerstörung von Bauelementen durch elektrostatische Aufladung.
- Beschädigung oder Zerstörung von Bauelementen durch Umwelteinflüsse, wie z. B. den Popcorn-Effekt bei Feuchtigkeitseinfluß

### 2.3.2 Förderwesen

Die Erfahrung zeigt, daß das Transportwesen in der Elektronikproduktion eine starke manuelle Ausprägung aufweist. Der Transfer von Leiterplattenkassetten und Kleinladungsträgern, also überwiegend geringen Lasten, zeigt sich zwar als manuell realisierbar, aber nur bedingt sinnvoll.

#### **Manueller Transport**

Entsprechend der Produktionsstruktur (siehe Kapitel 2.1.3) ergeben sich sowohl komplexe Abläufe bei Offline-Anordnungen als auch lange Transportwege bei den Inline-Systemen.

Der Vorteil des manuellen Transportes liegt im Menschen als *intelligentes, autonomes "Transportmittel"*, was in gewissem Umfang eine Selbstregelung des Transports gewährleistet.

Demgegenüber sind aber auch eine Reihe von Nachteilen zu sehen. Der Transporteur stellt den alleinigen Wissensträger in der Produktion dar. Die Übertragung des Wissens, wie z. B. Standorte von Materialien, Auftragsfortschritte etc. ist nur schwer möglich und wird unzureichend unterstützt. So kommt es insbesondere in der Kleinserienproduktion nicht selten vor, daß nach einem Schichtwechsel oder bei Krankheit eines Mitarbeiters Materialstandorte erst gesucht werden müssen und dies natürlich unnötige Stillstandszeiten in der Produktion bedeutet.

Weiter sind auch der Selbstregelung häufig Grenzen gesetzt, da es bei komplexen Produktionsabläufen den Mitarbeiter überfordert, diese in ihrer Gesamtheit zu erfassen und ergänzend dazu optimierend darauf einzuwirken.

Der manuelle Transport verursacht gerade bei großen Transportstrecken einen massiven Personalkostenanteil am Transport. Um diesen, bezogen auf den einzelnen Auftrag, zu reduzieren, werden meist größere Transportlose gebildet, was zum einen höheren Umlaufbestand und damit eine erhöhte Kapitalbindung bedingt, zum anderen durch eine erhöhte Komplexität die Steuerung negativ beeinflußt.

Sinnvoll eingesetzt ist der Mensch sicherlich beim Transport auf kurzen Strecken und konkreten Quelle–Senke Beziehungen. Diese Routineabläufe sollten zudem durch

unterstützende layouttechnische Maßnahmen vereinfacht werden, um diese nicht wertschöpfenden Arbeiten zu minimieren.

Ein weiterer Punkt ist die Erfassung von Betriebsdaten. Im Rahmen des manuellen Transports wird eine automatisierte Informationskette nicht unterstützt, was zu den oben genannten Problemen führt. Um diese Informationen zu erfassen ist die manuelle Eingabe notwendig, was wiederum zusätzlichen Aufwand und auch Fehleranfälligkeit bedeutet [7].

### ***Automatisierte Transportsysteme***

Vor dem Hintergrund der oben genannten Problemfelder wurden in moderneren Produktionen automatisierte Transportsysteme vorrangig auf der Basis von Fahrerlosen Transportfahrzeugen [46] oder aber schienengeführten Behältertransportsystemen [43, 112] realisiert.

Mit dem Einsatz dieser automatisierten Systeme konnte ein Großteil der Problemfelder des manuellen Transports kompensiert werden. Zu kritisieren ist jedoch, daß für die Elektronikproduktion Transportsysteme aus bereits etabliertem Umfeld, wie z. B. Fahrzeugbau oder dem Aktentransport, zum Einsatz kommen. Diese wurden lediglich an die Randbedingungen des Transports angepaßt, anstatt sie auf die Prozeßkette in der Leiterplattenbestückung hin abzustimmen.

Am Beispiel des FTS zeigt sich ein hoher Flächenbedarf des Transportsystems. Ein wirtschaftlicher Betrieb dieser Carrier-Systeme wird oft nur schwer erreicht, was vermehrt zu einem Abbau derartiger Transportlösungen führte.

Ähnlich verhält sich die Situation bei flurfreien Band- bzw. Schienensystemen, wobei diese in der Regel besser auf ihre Aufgabe, dem reinen Materialtransport in Form von Versorgung mit Bauelementen und Hilfsstoffen, abgestimmt sind. Aber auch diese Systeme stellen Inzellösungen im Gesamtsystem dar und bedürfen manuell bedienter Schnittstellen zur Einbindung in die Produktionsumgebung.

### **2.3.3 Transporthilfsmittel**

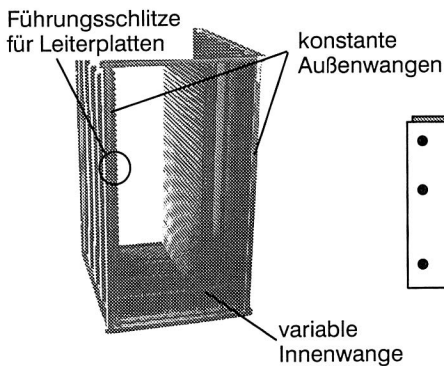
Um eine Vereinfachung zu erreichen geht man den Weg der Standardisierung. So haben sich gerade im Bereich der Transporthilfsmittel die Leiterplattenkassette (LPK) und der Kleinladungsträger (KLT) als Komponenten herausgebildet.

#### ***Leiterplattenkassette***

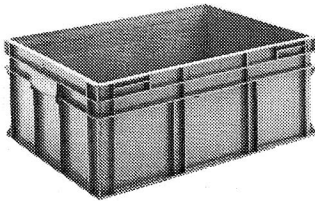
Aufgrund der Flexibilitätsanforderungen durch die zu bestückenden Schaltungsträger einerseits und den Standardisierungsbestrebungen hinsichtlich der Transporthilfsmittel andererseits, hat sich in der Elektronikproduktion die flexible Leiterplattenkassette auf breiter Ebene durchgesetzt. Sie erfüllt eine Reihe von Aufgabe:

- Pufferfunktion durch ein Fassungsvermögen von ca. 40 bis 70 Flachbaugruppen
- Unterstützung der einfachen Handhabung von Leiterplatten
- Schutzfunktion, sowohl für unbestückte als auch bestückte Schaltungsträger
- Lagerhilfsmittel
- Transporthilfsmittel

Desweiteren unterstützt die Leiterplattenkassette die Automatisierungsbestrebungen in der Bestücktechnik. In Kombination mit Ein-/Ausgabeeinheiten bildet sie die quasi standardisierte Automatisierungsschnittstelle an Bestückssystemen.



- Lager- und Transporthilfsmittel
- flexible Anpassung an Leiterplattenformate
- individuelle Losgrößenbestimmung



- standardisierte Behältergröße
- vielseitige Verwendbarkeit
- Unterstützung der Handhabung durch standardisierte Schnittstellen

*Bild 2-12 Leiterplattenkassette und Kleinladungsträger als standardisierte Transporthilfsmittel in der Schaltungsträgerproduktion*

### **Kleinladungsträger**

Gerade im Bereich des Materialtransports haben die Kleinladungsträger (KLT) eine breite Anwendung gefunden. Durch ihre konstruktive Auslegung und unterschiedliche Höhenabstufungen lassen sie sich individuell an alternative Problemstellungen anpassen. So finden sie Einsatz vom einfachen Bauelementetransport bis hin zur Beförderung von Feedern und Feederkassetten. Bei einheitlichen Grundflächen eignen sie sich sowohl für den Transport mittels Bandsystemen als auch durch unstetige Transportsysteme wie z. B. dem FTS.

### **2.3.4 Bereitstellung material- und auftragsspezifischer Informationen**

Ein wesentliches Problem, welches sich trotz der hochautomatisierten Bestücktechnik immer noch findet, ist die auftragsbezogene Informationsbereitstellung an der Bestückmaschine. In der Regel ist hier der Mensch als intelligentes Glied in der Kette verantwortlich für die informationstechnische Verknüpfung. Er entnimmt den Auftragspapieren die benötigten Informationen und teilt sie dem Arbeitssystem über Tastatureingabe mit. Dies bedeutet, daß sich das Transportgut, soweit es sich *innerhalb* eines Bearbeitungssystems befindet, von übergeordneten Systemen lokalisiert und beeinflußt werden kann. Verläßt es das Bearbeitungssystem ist es in der Regel auch außerhalb des Zugriffs der steuernden Systeme. Besonders deutlich wird dies im Bereich der Materialbestandsverfolgung, wo mangelnde Informationen vermehrt zu redundanten Beständen, diskontinuierlichen Produktionsabläufen etc. führen [18].

Diese Umstände zeigen sehr deutlich, daß eine Lösung der skizzierten Problematik nur durch eine ganzheitliche Betrachtung herbeigeführt werden kann. Hochtechnisierte Automatisierungslösungen erbringen nicht die gewünschten Rationalisierungseffekte, wenn sie nicht im Verbund mit einem Informationssystem arbeiten, welches ihnen dispositive Grundinformationen in der benötigten Aktualität bereitstellen kann. Und auch straff organisierte, schlanke Produktionskonzepte können ihr Rationalisierungspotential nicht voll ausschöpfen, wenn sie aufgrund fehlender oder nicht angepaßter Automatisierungslösungen nach wie vor hohe Investitionskosten oder Personalkosten verursachen.

Im Zuge einer durchgängigen, hochautomatisierten Produktion ist es daher unumgänglich, die Mechanisierung des Umfeldes in die Fördertechnikkonzepte mit einzubeziehen. Wesentlicher Ansatzpunkt ist dabei die Handhabung der Transporthilfsmittel in der Form, daß eine direkte Maschinenbedienung möglich ist. Nur auf diesem Wege ist die Automatisierungslücke an den Schnittstellen zu schließen und der Mensch von monotoner Routinetätigkeit zu entlasten.

Dieser Ansatz erfordert aber zusätzlich die Auftragsauslösung nach erfolgter Materialbelieferung und damit die synchrone Informationsbereitstellung an den produzierenden Einheiten.

Die Erarbeitung eines Konzeptes und die exemplarische Realisierung dieses Ansatzes ist dabei das wesentliche Ziel dieser Arbeit.

### **3     *Automatisierungsgerechte Materialflußgestaltung in der flexiblen Elektronikproduktion***

Durch den stetigen Wandel vom Verkäufer- zum Käufermarkt findet auch eine starke Verschiebung der Produktionszielgrößen statt. Während bei der bisherigen Produktion in großen Serien und annähernd gleichbleibenden Losgrößen eine hohe Kapazitätsauslastung der kapitalintensiven Maschinen im Vordergrund stand, stehen heute vermehrt dispositive Zielsetzungen im Blickpunkt des Geschehens:

- hohe Termintreue
- niedrige Bestände
- kurze Durchlaufzeiten
- gleichmäßige Kapazitätsauslastung
- Verbesserung des Informationsflusses
- Aufrechterhaltung des Materialflusses

Diese Anforderungen gehen einher mit der Notwendigkeit des Umdisponierens aufgrund kurzfristiger Auftragsänderungen und Terminverschiebungen.

Aufgrund komplexer Produktionsabläufe und oben genannter Zielgrößen ist eine rechnerunterstützte Koordination und Automatisierung der Abläufe zwingend erforderlich. Dies gilt sowohl für den dispositiven Informationsfluß, als auch den eigentlichen physischen Materialfluß.

#### **3.1     *Grundlegende Überlegungen zur Materialflußoptimierung in der Elektronikproduktion***

Bei der Umsetzung von Automatisierungsbestrebungen in der Leiterplattenbestückung diente der hochentwickelte klassische Maschinenbau meist als Vorbild. Hier bestehende Lösungen wurden an die Elektronikproduktion angepaßt, jedoch ohne die speziellen Randbedingungen und Anforderungen durch die Wechselwirkungen aus Produktion und Produktionslogistik in ausreichendem Maße zu berücksichtigen. Dies führte dazu, daß die umgesetzten Lösungen das Optimierungspotential nicht in seiner ganzen Bandbreite ausschöpfen konnten.

##### **3.1.1     *Leiterplattenbestückung und Logistik***

Montage und Logistik stellen ein wesentliches Spannungsfeld im betrieblichen Produktionsprozeß dar. Während sich die traditionelle mechanische Produktion überwiegend als einstufiger Prozeß mit entsprechend einfachem Steuerungsaufwand



darstellt, verlangt die in der Regel mehrstufig ausgelegte Montage eine umfangreiche Koordination einer Vielzahl von Baugruppen.

In diesem Zusammenhang ist die Stellung der Flachbaugruppe an sich zu differenzieren:

Zum einen stellt die bestückte Leiterplatte heute in vielen Fällen das eigentliche Produkt dar, wie z. B. bei Steckkarten für Computer, Baugruppen der Vermittlungs- und Steuerungstechnik etc.

Zum anderen aber finden sich eine Vielzahl von Flachbaugruppen als Bestandteil weiterer Produkte wieder. In diesem Fall ist insbesondere eine Anbindung der Endmontage von großer Bedeutung.

### **Synchronisation der Prozesse**

Gerade der Anspruch der Synchronisation stellt hohe Anforderungen an das logistische System. Von grundlegender Bedeutung ist dabei die Aufrechterhaltung des Flußgedankens. Das Ziel eines stetigen Materialflusses läßt sich in diesem Umfeld am besten durch den Transport kleiner Einheiten mit einer hohen Frequenz erreichen. Hierbei werden auch die grundsätzlichen Anforderungen an ein derartiges Logistiksystem deutlich:

***Ein schnelles, flexibles Transportsystem eingebunden in ein übergreifendes Informationssystem, welches die zeitlichen und mengenmäßigen Bedarfe erfassen und notwendige Transporte initiieren kann.***

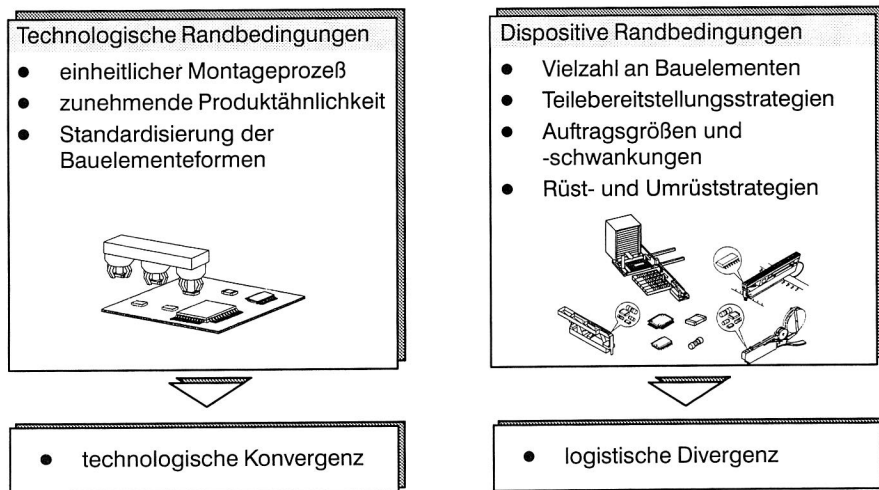
In der Elektronikproduktion zeichnet sich im Rahmen der Automatisierungsbestreben ein Bottom-Up-Vorgehen ab. Der eigentliche Bestückprozeß und die linieninterne Handhabung weisen einen sehr hohen Automatisierungsgrad auf. Demgegenüber enden an den Übergabesystemen in der Regel die Automatisierungslösungen. Entstehende Materialfluß-Schnittstellen führen zu Bestandsbildung und damit erhöhten Durchlaufzeiten [135]. Die direkte Bedienung erfolgt hier in den überwiegenden Fällen noch manuell; die Anbindung an teilweise realisierte Transportsysteme (FTS) über manuell bediente Schnittstellen.

Zwar stellt sich die Leiterplattenbestückung, insbesondere im Rahmen der Linienfertigung, als quasi einstufiger Prozeß dar, jedoch erfordern die Vielzahl der benötigten Bauelemente einen hohen logistischen Aufwand. So gehört das Auftreten von Fehlteilen nicht nur zum normalen Tagesgeschäft [144], sondern ist auch Ursache für diskontinuierliche Produktionsabläufe [18].

Ähnlich dem einstufigen Montageprozeß erweist sich ein weiteres Merkmal der Flachbaugruppen als produktionstechnischer Vorteil (Bild 3-1):

Die Fertigungsverfahren dieser Produkte werden immer ähnlicher (technologische Konvergenz [131]).

Zum anderen aber weiten sich die logistischen Anforderungen zunehmend aus (logistische Divergenz [131]). Der Einfluß dispositiver Größen auf den Wertschöpfungsprozeß und die fertigungswirtschaftlichen Ziele verdeutlicht eine derartige Entwicklung. Dies zeigt sich nicht zuletzt durch die intensive Betrachtung der Logistik im Rahmen von Rationalisierungsansätzen.

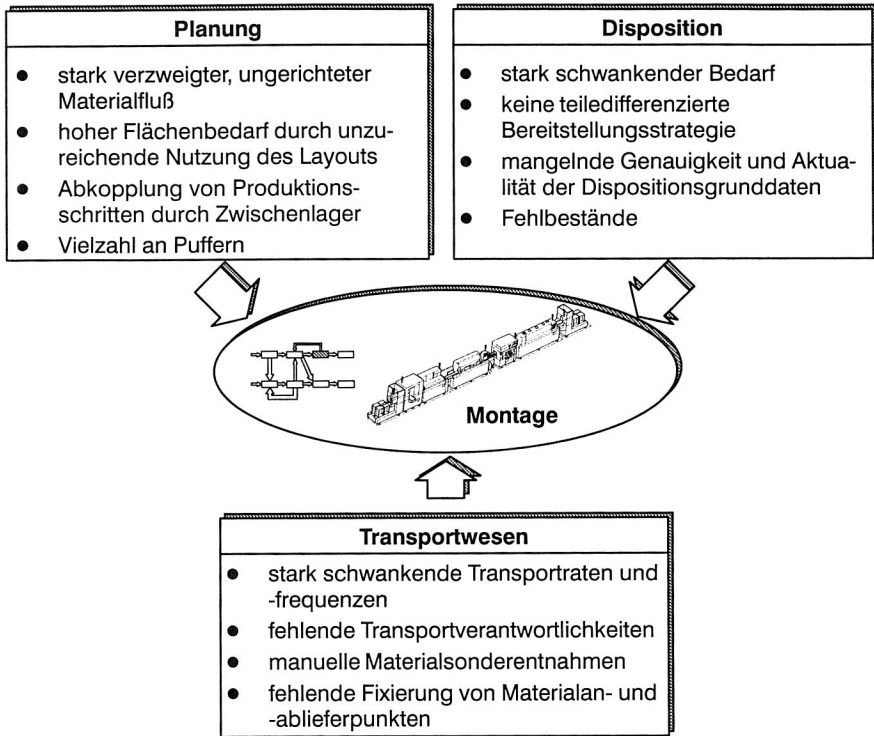


*Bild 3-1 Hohes logistisches Rationalisierungspotential durch den zunehmenden Einfluß dispositiver Größen auf die fertigungswirtschaftlichen Ziele (nach [131])*

### **Logistische Anforderungen an die Montage**

Die logistischen Anforderungen werden dabei insbesondere in der variantenreichen Klein- und Mittelserienproduktion deutlich. Die parallele Struktur bei der Bestückung der Schaltungsträger erfordert bei einer flexiblen Produktion, z. B. bei einem notwendigen Variantenwechsel, ein Hochleistungslogistiksystem. Vor allem im Bereich des Betriebsmittelmanagements und der Materialverfügbarkeitsprüfung ist hier massive Unterstützung in Form von aktueller und automatisierter Informationsbereitstellung zur Systemsteuerung zu gewährleisten.

In Bild 3-2 werden die rein montageorientierten Betrachtungen auf das gesamte Ablaufgeschehen ausgeweitet und die Defizite und Ursachen im logistischen Umfeld der Elektronikproduktion gezeigt.

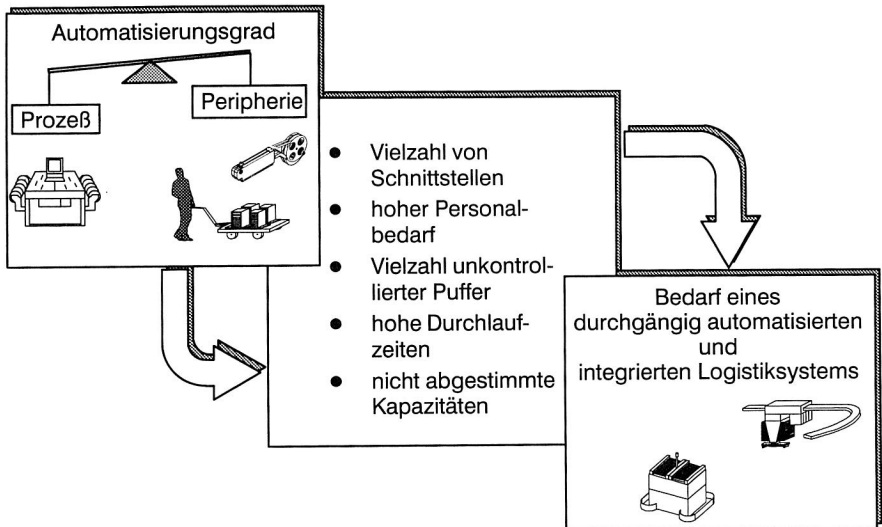


*Bild 3-2 Logistische Schwachstellenanalyse in der Montage*

Als wesentliche Feststellung bleibt hier festzuhalten, daß zwischen dem eigentlichen technologischen Prozeß und dem logistischen Umfeld eine starke Niveaueifferenz bezüglich des Automatisierungsgrades besteht (Bild 3-3). Während in der Bestücktechnik nahezu eine Vollautomatisierung erreicht ist, zeigt das Umfeld eine starke manuelle und intransparente Prägung.

Eine ähnliche Ausprägung findet sich in der Informationsbereitstellung wieder. Information ist die Basis sowohl für die Prozeßsynchronisation als auch für eine durchgängige Automatisierung der Abläufe. Somit ist es anzustreben, Material- und Informationsfluß weitestgehend aneinander zu koppeln bzw. zu integrieren.

Dieses Optimierungsbestreben ist, soweit es sich um standardisierte Routinearbeiten handelt, durch entsprechenden Rechneinsatz zu unterstützen. Beispielsweise die laufende Erfassung logistischer Betriebsdaten, die Bildung von Kennzahlen oder deren Präsentation.



*Bild 3-3 Niveaudifferenz bei der Automatisierung von elektronischen Produktionssystemen*

Die oberste und damit entscheidende Instanz aber sollte dem Mitarbeiter erhalten bleiben. Durch seine Systemkenntnis und Erfahrung ist er in der Lage, auftretende Gefahrensituationen frühzeitig zu erkennen, präventiv zu wirken und somit eine wirtschaftliche Produktion zu sichern.

Bei der Entwicklung des Materialflußleitsystems bleibt daher zu berücksichtigen, daß die Mensch – Maschine Schnittstelle auf diese Erfordernisse hin ausgelegt wird. So ist es vorrangige Aufgabe der EDV, die gesammelten Daten entscheidungsunterstützend aufzubereiten und zu visualisieren. Im Rahmen eines interaktiven Vorgehens aber sind Eingriffsmöglichkeiten des Bedieners zu jedem Zeitpunkt sicherzustellen.

Weiter kommt der Materialbewirtschaftung in der Montage eine große Bedeutung zu. So sind eine Vielzahl von Produktionsunterbrechungen auf mangelnde Materialverfügbarkeit zurückzuführen. Ursache hierfür ist zum einen, daß Materialfluß und zugehöriger Informationsfluß nicht aufeinander abgestimmt sind [24]. Zum anderen ergeben sich insbesondere durch die hohen und intransparenten Umlaufbestände aufgrund der Vielzahl benötigter Bauelemente enorme Probleme bei der Materialbestandsverfolgung und damit der Materialkoordination.

### 3.1.2 Optimierung der Wertschöpfung

Die Wertzuwachskurve stellt die beiden Größen Durchlaufzeit und Kosten gegenüber und bildet damit eine ideale Basis zur Beurteilung der logistischen Qualität einer Produktion.

Wie Bild 3-4 zeigt, ist die Wertzuwachskurve Ausdruck für eine optimale Ablaufgestaltung der Montage. Zum einen ist durch eine fließgerechte Gestaltung der Abläufe, in Form einer Minimierung der Übergangszeiten, die Durchlaufzeit zu reduzieren. Zum anderen führt dies darüberhinaus zu einer Kostenreduzierung durch erhöhte Kapazitätsauslastung und damit einem sinkenden Maschinenstundensatz sowie einer verringerten Kapitalbindung durch reduzierte Umlaufbestände.

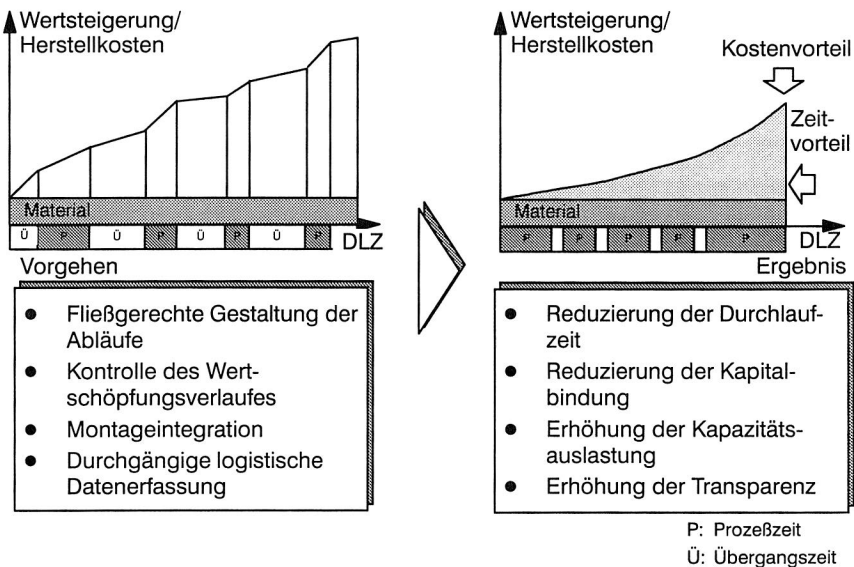


Bild 3-4 Wertzuwachskurve als Maßwerkzeug der logistischen Qualität

Sie unterstützt damit auch eine notwendige Änderung der Denkweise, weg von der Betrachtung in Bestandsgrößen und hin zu *Stromgrößen*. Das derzeitige Vorgehen logistischer Analysen orientiert sich an Stückzahlen und Beständen. Aufträge werden losweise abgearbeitet oder im Sinne einer Umrüstopтимierung oft noch zu Chargen gruppiert. Dies bedingt hohe Umlaufbestände in den Zwischenpuffern und damit Unterbrechungen in den Abläufen.

Zuwenig wird bisher die Größe Zeit im Sinne einer innerbetrieblichen JIT-Produktion in die Betrachtungen einbezogen. Bei der Berücksichtigung von Stromgrößen soll der wirkliche zeitliche Verbrauch der nachfolgenden Station, in der Regel der End-

montage, Grundlage der Produktion sein. Um dies zu erreichen ist eine weitere Flexibilisierung der Bestücklinien nötig, insbesondere im Bereich der Materialbereitstellung.

Dieses Ziel gilt es durch die Beeinflussung relevanter Größen zu erreichen. Nach Wiendahl [136] gilt der Zusammenhang, daß bei gleichbleibender *mittlerer Leistung* die *gewichtete mittlere Durchlaufzeit* proportional ist zum *mittleren Bestand*.

Diese Aussage führt zu einer Vereinfachung der Produktionssteuerung. Wie in [130] aufgezeigt, bringt eine Priorisierung der Aufträge keine Durchlaufzeitverbesserung, sodaß in letzter Konsequenz die Steuerungsstrategie FIFO erzwungen wird. Als wesentlich wirkungsvollere Aufgabe wird die Reduzierung der Losgröße angeführt. Zum einen reduziert sich dadurch die Losdurchlaufzeit, zum anderen stellt sich ein besseres Verhalten der Belastungsregelung ein.

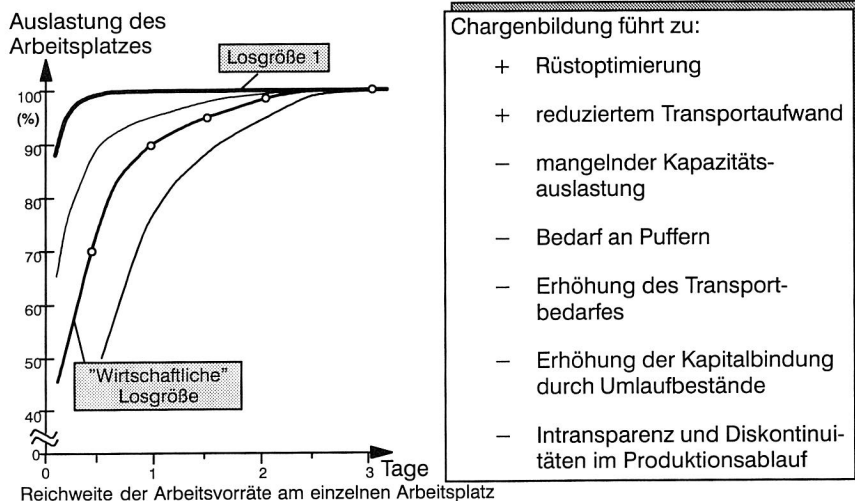


Bild 3-5 Losgrößenerhöhung durch Chargenbildung wirkt produktivitätshemmend (nach [130])

Trotz dieser Aussagen, daß ein Optimum aus Auslastung und Durchlaufzeit erreicht wird, wenn keine Losbildung vorliegt, bzw. wenn sogar eine Portionierung großer Aufträge stattfindet, bevorzugt man in der Elektronikproduktion heute vorrangig eine Chargenbildung (Bild 3-5). Mit Hilfe dieser organisatorischen Maßnahme erreicht man wesentliche Vorteile bei der Rüstopтимierung [103]. Ergänzend dazu führt dies auch zur Bildung entsprechender Transportlosgrößen und damit zur Reduzierung des Transportaufwandes. Dies bedeutet aber, daß ablaufstörende Vorgehensweisen heute wesentlich eingesetzt werden müssen, weil technische Lösungen im Bereich

der unmittelbaren Rüstunterstützung und des flexiblen Materialflusses fehlen bzw. nicht wirtschaftlich realisierbar sind.

Für die technische Umsetzung insbesondere des Auftragsflusses fokussiert sich die Betrachtung auf die Leiterplattenkassette. Sie dient in der Elektronikfertigung als zentrale Strukturierungsgröße in der Auftragsabarbeitung und bietet damit zwei wesentliche Vorteile bei der Flußgestaltung:

Zum einen etabliert sie sich als standardisiertes Materialflußelement, auf welches die benötigten Schnittstellen ausgerichtet werden können. Zum anderen ist mit Hilfe ihrer Speicherfunktion der Arbeitsinhalt der Kassette über eine durchlauforientierte Losgröße einstellbar. Durch gleichförmige Arbeitsinhalte aber läßt sich der Fluß aufrecht erhalten, da dies ja einer Abtaktung der einzelnen Stationen entgegenkommt.

Die hier dargestellten Überlegungen tragen zu einer besseren Gestaltung des Wertschöpfungsverlaufes bei (Bild 3-6). Darüberhinaus aber ist es die dauernde Aufgabe des Produktionsmanagements, diesen Wertschöpfungsverlauf aufrecht zu erhalten.

Aus Sicht der Logistik ist hierbei insbesondere der Kassettendurchlauf, stellvertretend für die Auftragsverfolgung, zu beobachten. Weiterhin sind die Bedarfe an Material und entsprechender Information zu sammeln, zu optimieren und zu bedienen.

Über entsprechende Regelmechanismen ist das Logistiksystem so zu beeinflussen, daß

- eine kontinuierliche Produktion aufrecht erhalten bleibt und
- Bedarfe an Material und Information schnell befriedigt werden.

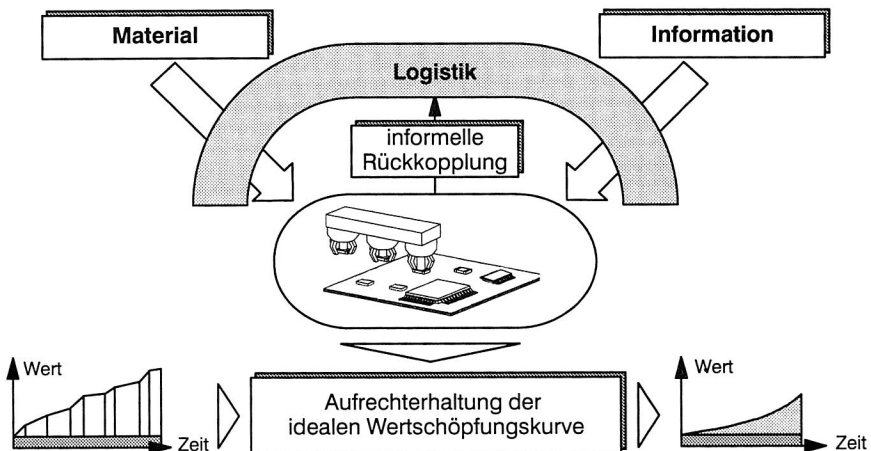


Bild 3-6 Regelung und kontinuierliche Verbesserung logistischer Abläufe zur Optimierung des Wertschöpfungsverlaufes

## 3.2 Materialbewirtschaftung in der Elektronikproduktion

Viele der zahlreichen Ablaufunterbrechungen in der Klein- und Mittelserienmontage sind auf die unzureichende Materialversorgung zurückzuführen. Weniger das physische Fehlen der einzelnen Komponenten, als vielmehr die mangelnde Verfügbarkeit aufgrund nicht abgestimmter Material- und Informationsflüsse stellen die Ursache für diese Störungen dar [24, 25].

Die Materialbewirtschaftung stellt ein allgemeines und noch immer nicht gelöstes Problem in der Montage dar. Die wesentlichen Ziele dieser Aufgabe lassen sich folgendermassen konkretisieren [37]:

- Bedarfsgerechte Materialbereitstellung
- Vermeidung von Fehlteilen

Dies läßt sich jedoch nur auf der Basis einer *hohen Bedarfs- und Bestandssicherheit* realisieren. Vor der konkreten Umsetzung einer durchgängig automatisierten Materialbereitstellung muß also auch im Materialwesen ein integrierter Informationsverbund geschaffen werden. Konzeptionelle Ansätze und Möglichkeiten der Umsetzung werden im folgenden Kapitel behandelt.

Der Bereich der Bedarfsermittlung wird dabei bewußt ausgeklammert, da aufgrund von bereits realisierten Fertigungsleitsystemen mit integrierten CAD-CAM-Modulen und Auftragsverwaltung hier eine entsprechend hohe Planungssicherheit erreicht wird. Inwieweit dieser hier ermittelte Nettobedarf einen höheren Bruttobedarf, z. B. aufgrund fehlerhafter Bauteile, erfordert, soll auf Seiten der Bestandsverfolgung betrachtet werden.

### 3.2.1 Bestandsverfolgung

#### **Materialverfügbarkeit**

In Produktionssystemen zur Bestückung von Leiterplatten werden Aufträge erst dann freigegeben, wenn das komplette Material vorhanden ist [22, 21]. Dies ist jedoch nicht gleichzusetzen mit einer hohen Materialverfügbarkeit, da das reine *Vorhandensein* des Materials noch nichts über dessen physischen Verweilort aussagt. Vielmehr spiegeln sich auch in der Elektronikproduktion die Probleme der allgemeinen Montage wider.

Deutschländer [18] weist in seinen Betrachtungen intensiv auf das Problem der mangelnden Materialverfügbarkeit in der Leiterplattenmontage hin und fundiert den Bedarf einer integrierten Unterstützung durch den hohen Anteil der Bauelementekosten an den Herstellkosten von bis zu 80%.

Grundlegende Aufgabe der Materialbewirtschaftung in der Montage muß es daher sein eine Prüfung der kurzfristigen dispositiven Verfügbarkeit von Material und



Bauteilen durchzuführen und, im Falle einer positiven Nachricht, die Materialbereitstellung auch sicherzustellen.

Bisherige Anstrengungen bezüglich der Rüstung von SMD-Bestückautomaten zielten im wesentlichen darauf ab, Umrüstungen zu *vermeiden*, z.B. durch die Bildung von Prozeßfamilien [103, 121]. Die Umrüstflexibilität selbst, die auch an Hand der minimalen wirtschaftlichen Losgröße gemessen wird, kann durch solche Maßnahmen jedoch nicht verbessert werden.

Umrüstungen lassen sich aber oftmals dann nicht vermeiden, wenn besonderer Wert auf die Produktflexibilität gelegt werden muß, wie z.B. bei der Klein- und Mittelserienfertigung. Auch kleinste Losgrößen müssen hier mit einem vertretbaren Aufwand abgearbeitet werden können. Wenn Umrüstungen unerlässlich sind, kann der Lösungsweg nur dahingehen, den Aufwand für die notwendigen Umrüstungen zu minimieren bzw. zu verlagern.

Ein möglicher Lösungsansatz, der in letzter Zeit vermehrt Beachtung findet, ist der Einsatz von Rüstwagen.

Ähnlich gestaltet sich die Problematik bei den Bauelementen. Deren ungleichmäßiger Bedarf stellt für die Verfolgung der Bestände ein großes Problem dar. Nur wenige Typen werden in großen Stückzahlen bestückt, während die Standardverpackungseinheiten jeweils mehrere hundert bis tausend Bauelemente je Gebinde enthalten. Bei diesen Gebindegrößen und den geringen Verbrauchsmengen ergeben sich für die Klein- und Mittelserienfertigung zwangsläufig eine hohe Anzahl von Lagerorten und lange Materialreichweiten. Zum hohen Umlaufbestand an Bauelementen kommt ein hoher Umlaufbestand an Bereitstellungssystemen hinzu, da zur Sicherstellung einer ausreichenden Verfügbarkeit oftmals redundante Bestände vorhanden sind.

### **Betriebsmitteldatenfluß in der Produktion**

Analog dem aufgezeigten Betriebsmittelfluß (Bild 3-7) muß ein durchgängiger Informationsverbund aufgebaut werden, welcher die Logistik auf operativer Ebene unterstützt und die erforderliche Bestandstransparenz schafft.

Für die vollständige Beschreibung eines im Umlauf befindlichen Bereitstellungssystems mit vorgerüsteten Bauelementen wurde dabei ein Datensatz gemäß Bild 3-8 entwickelt.

Diese Überlegungen führten zu dem Schluß, daß zur Bestandsverfolgung im Bereich der SMD-Bestückung *eine kombinierte Datenhaltung* sinnvoll ist, wie sie auch für zukünftige Anwendungen im Bereich der spanenden Fertigung vorgeschlagen wird [142]:

Die *zentrale Datenbasis* in Form einer Datenbank, und ein *dezentrales Identifikationssystem* als materialbegleitende Komponente.

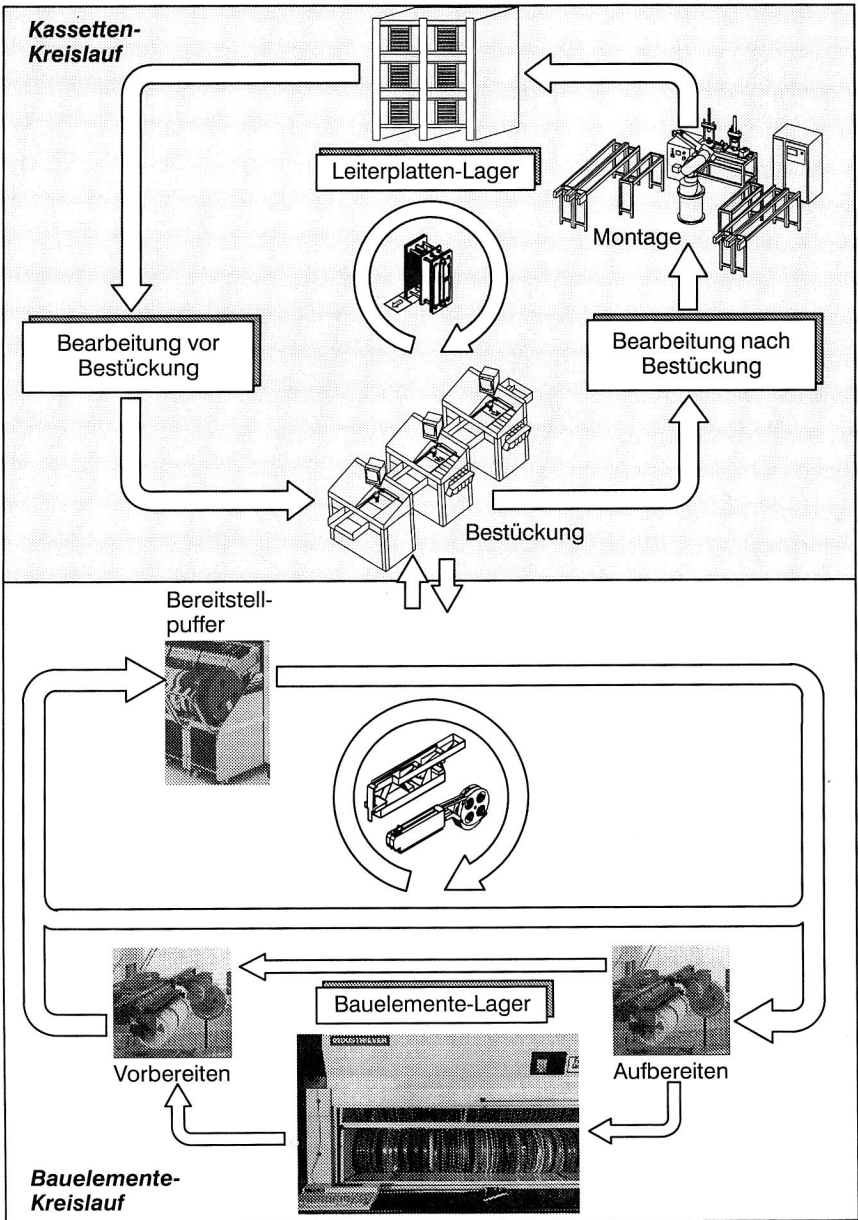
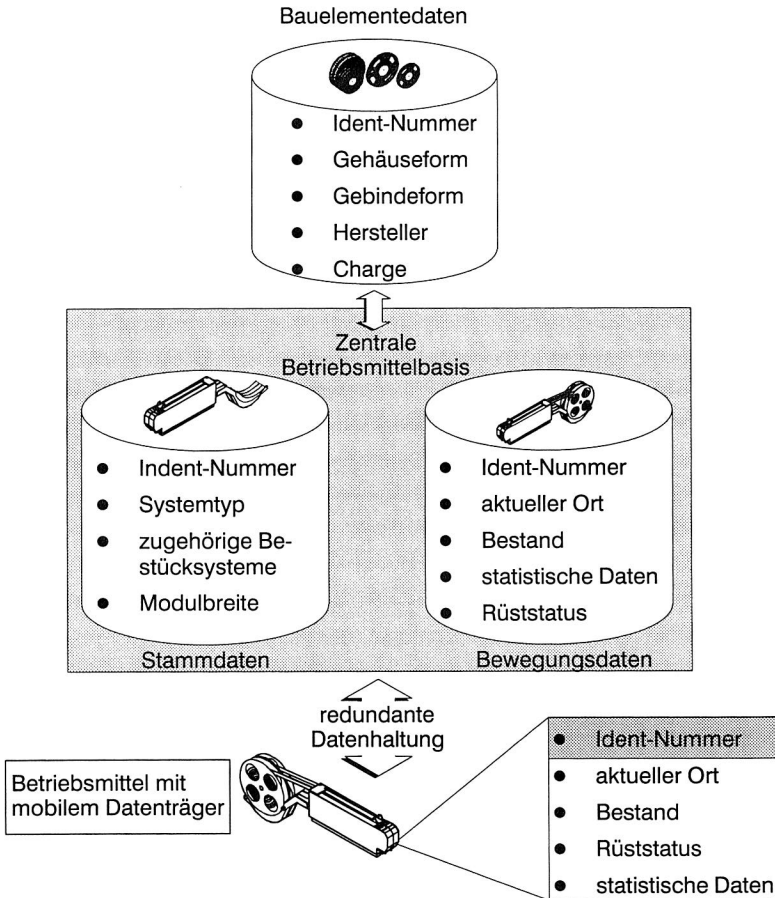


Bild 3-7 Kreislauf der Leiterplattenkassetten und Bauelemente-Bereitstellungssysteme

Diese Aufteilung, mit zum Teil redundanter Datenhaltung, bietet den Vorteil, daß durch die material- bzw. betriebsmittelbegleitende Information eine dezentrale Optimierung und automatisierte Auftragsbearbeitung stattfinden kann. Die Zentralisierung ist zum anderen aber Gewähr dafür, daß strategische Entscheidungen unter einem gesamtheitlichen Blickwinkel gefällt werden können.



*Bild 3-8 Konzept für die Datenhaltung im Betriebsmittelwesen zur Unterstützung logistischer Abläufe*

Vor dem Hintergrund einer Vielzahl an verwendeten, herstellersistenspezifischen Bauelementen und entsprechend vielen Identifikationssystemen stellt dies heute einen nicht zu unterschätzenden Aufwand dar. Hier wäre es erstrebenswert, daß

Standardisierungsmaßnahmen ähnlich den Werkzeugaufnahmen in der spanenden Fertigung [133] in Gang kommen, um das brachliegende Rationalisierungspotential zu erschließen.

Im Sinne dieser Vereinheitlichung muß es ermöglicht werden, daß auf jedes einzelne Bereitstellungssystem zumindest datentechnisch, aber in einer strategischen Sicht auch handhabungstechnisch, zugegriffen werden kann, um die Vision einer durchgängig automatisierten Materialbereitstellung mittelfristig zu realisieren.

### **3.2.2 Betriebsmittelmanagement**

Den Produktionszielen nach flexibler Fertigung und hoher Kapazitätsauslastung wird heute durch einen entsprechend hohen Bestand an Bauelemente-Bereitstellungmodulen und Bauelementen Rechnung getragen. Die Folgen davon sind ein hoher Investitionsaufwand bei den Bereitstellungskomponenten, welcher durchaus 100% - 150% der Basismaschine betragen kann, und hohe Kapitalbindungskosten durch umfangreiche, intransparente Bestände.

Mit Hilfe der beschriebenen Betriebsmittelverfolgung kann jedes im Umlauf befindliche Bereitstellungssystem lückenlos verfolgt und dessen Einsatz analysiert werden. Nur so ist es möglich, *alle* Bereitstellungssysteme, unabhängig von ihrem Aufenthaltsort, mit in die Disposition einzubeziehen. Jedes System wird als Betriebsmittelindividuum erkannt, das mit Merkmalen versehen ist, die Aufschluß über den gegenwärtigen Zustand des Systems geben.

Dies führt zu einer Weiterentwicklung der Hauptaufgabe des Betriebsmittelmanagements für die SMT-Fertigung:

- Für die Rüstung eines Bestückungsauftrages sind, unter Berücksichtigung der Terminvorgaben, aus der Gesamtheit der Bereitstellungssysteme diejenigen Individuen einzuplanen, die in Abhängigkeit von der Losgröße, der Restmenge an vorgerüsteten Bauelementen und den notwendigen Systemwechseln am besten geeignet sind.
- Nach dem Einsatz ist die sinnvollste Weiterverwendung des einzelnen Bereitstellungssystems – abrüsten, auffüllen, einlagern oder in der Zelle belassen – zu bestimmen.

Nur die Lösung *beider* Teilaufgaben ergibt einen auch aus logistischer Sicht optimierten Kreislauf für die Bereitstellungssysteme.

#### **Optimierung des Betriebsmitteleinsatzes**

Die gezielte Betriebsmittelauswahl unterstützt vor allem die operativen logistischen Abläufe. Darüberhinaus sind aber die gewonnenen Informationen dahingehend einzusetzen, ein ganzheitliches Rationalisierungspotential des Betriebsmittelwesens zu unterstützen (Bild 3-9).

Dazu müssen die auf operativer Ebene gewonnenen Daten weiter verdichtet und den planerischen und administrativen Schichten bereitgestellt werden.

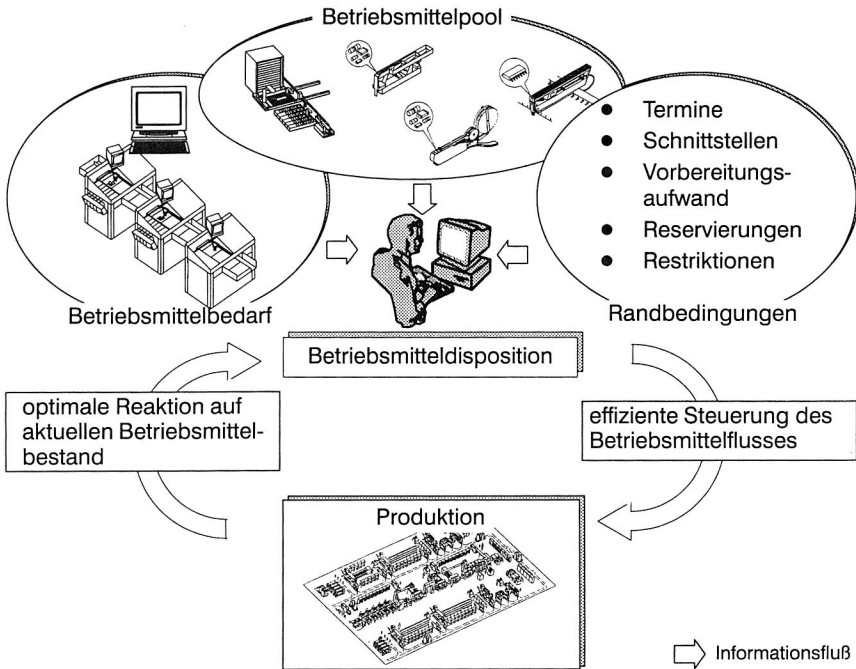


Bild 3-9 Durchgängiger Informationsverbund sichert effizienten Betriebsmitteleinsatz

### 3.3 Gestaltung von Bestückssystemen zur Unterstützung einer durchgängigen Materialflußautomatisierung

Durch die Gestaltung einzelner Produktionssegmente erreicht man vereinfachte Transportbeziehungen. Eine gesteigerte Transparenz im Materialfluß, kurze Wege innerhalb eines produktions- und ablauforientierten Layouts und die Beschleunigung der einzelnen Transporte sind Ergebnisse dieser Maßnahme.

Die Konzeption und Umsetzung derartiger organisatorischer Ansätze war und ist Ziel vielfältiger Untersuchungen [48, 132] und soll im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter vertieft werden.

Die Vereinfachung der Struktur von Produktionssystemen ist damit als vorbereitende Maßnahme für die Materialflußautomatisierung zu sehen. Nur durch Reduktion der Komplexität verbunden mit dem Aufbau kleiner und reaktionsschneller Regelkreise lassen sich die Rationalisierungspotentiale im logistischen Ablauf erschließen.

### 3.3.1 Systemtechnische Gestaltungsansätze

Basis dafür ist die Schaffung dezentraler Strukturen. Die Leiterplattenbestückung mit der Linienfertigung als Grundstruktur ist prädestiniert für dieses Vorgehen. Bestreben muß es aber sein, die Entwicklung von der pluralen Produktionsstruktur hin zu einer flexiblen zu lenken. Im dynamischen Umfeld der Elektronikproduktion darf eine Reservierung von Produktionskapazitäten für eine konkrete Auftragsgröße oder auch ein konkretes Produkt nicht bestimmende Größe sein. Vielmehr muß durch Gestaltung und Organisation der Maschinenperipherie deren flexibler Einsatz erreicht werden. Nur auf diesem Weg ist es möglich, auf die bedarfsgerechten Anforderungen der nachfolgenden Einheiten individuell zu reagieren. So z. B. durch Produktion im Auftragsmix, wenn die nachgeschalteten Bereiche nur geringe Kapazitäten nachfragen, oder aber durch Parallelfertigung mehrerer Linien, wenn hohe Bedarfe in kurzer Zeit benötigt werden.

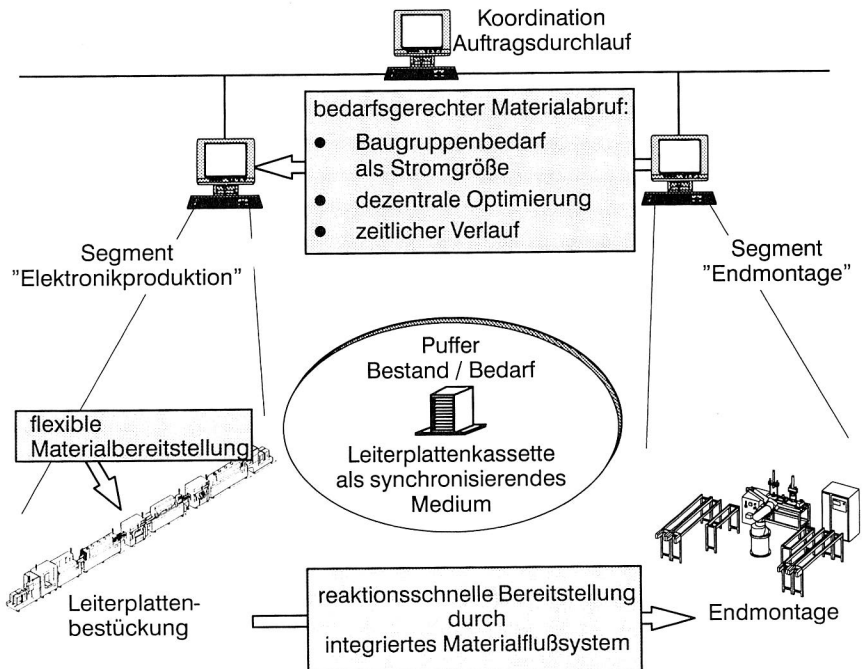


Bild 3-10 Leiterplattenbestückung im Produktionsverbund mit der Endmontage

Eine bedarfsgerechte Versorgung wiederum ist aber nur durch einen engen Produktionsverbund zwischen empfangender Einheit (meist die Endmontage) und der Bestückung zu erreichen (Bild 3-10).

Dieser Produktionsverbund ist durch eine segmentübergreifende Optimierung des Produktionsablaufes und hierbei insbesondere durch Aufrechterhaltung des Auftragsflusses und der Komponentenbereitstellung zu realisieren. Von besonderer Bedeutung ist dabei die intensive Betrachtung der Schnittstellen zwischen den Segmenten. Bei diesen ist zu unterscheiden zwischen physischen (Materialübergabe) und informationstechnischen Schnittstellen:

Als physische Schnittstellen sind von Bedeutung die

- Leiterplattenein-/ausgabeeinheiten
- Bauelemente-Bereitstellung
- Bereitstellung von Betriebsmitteln und Hilfsstoffen (Lote etc.)

Beim Informationsfluß sind die Ströme

- technische Daten,
- dispositive, auftragsspezifische Daten und
- kalkulatorische Daten

zu unterscheiden.

Im Sinne einer globalen Optimierungsstrategie ist es dabei von hoher Wichtigkeit, daß der Datenfluß (Auftragsdaten) dem Materialfluß vorausseilt [42] bzw. direkt begleitet [64].

Konkret bedeutet dies, daß für jedes Segment ein gewisser Auftragspool, in der Regel eine Tagesscheibe, einzulasten ist. Innerhalb dieses Pools ist der Segmentleitung eine dezentrale Optimierung möglich, um so unter Berücksichtigung globaler Strategien auf auftretende Störungen flexibel reagieren zu können.

Durch diesen zeitlichen Vorlauf ist es zudem möglich, noch benötigtes Material bzw. Informationen anzufordern und so einen kontinuierlichen Produktionsablauf aufrecht zu erhalten.

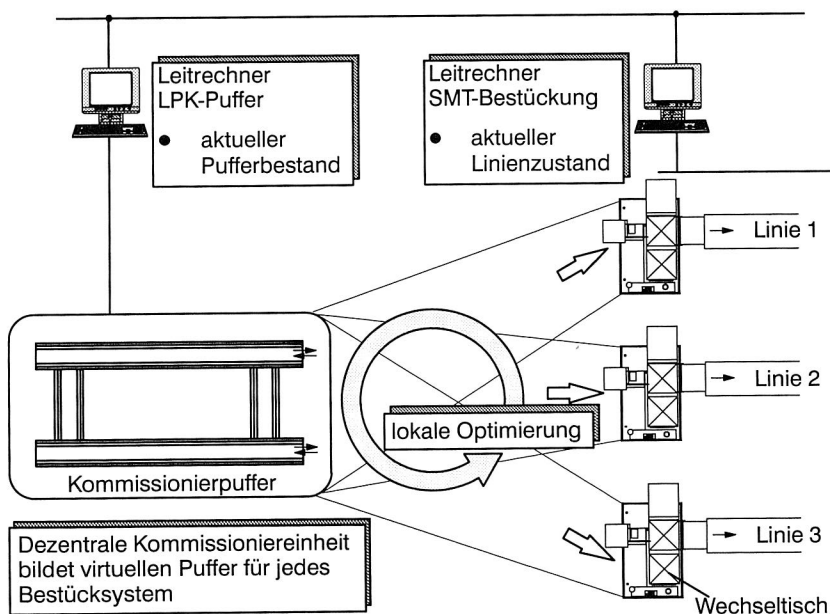
### ***Produktionskonzept mit virtuellem Puffer***

Im Sinne einer dezentralen Optimierung ist es wichtig, daß den einzelnen Segmenten sowohl ein gewisser Auftragspool als auch der aktuelle Materialbestand zugänglich gemacht werden. Die Möglichkeiten der Optimierung steigen dabei natürlich mit dem Umfang des Pools. Um deshalb dem Subsystem die gesamte Tagesscheibe zur Verfügung zu stellen, wird das einzelne Segment nicht mehr als abgeschlossenes Element mit den Bereichen Bedarfspeicher – Prozeß – Bestandspeicher gehandhabt. Vielmehr reduziert sich die Produktionslinie auf den eigentlichen Kernprozeß, die Montage der Bauelemente. Als Schnittstelle dient dabei ein Leiterplatteneingabegerät mit Wechseltisch, um geringfügige Schwankungen in der Bereitstellung auszugleichen (Bild 3-11).

Gegenüber Meinberg [67] werden die Puffer nicht mehr direkt in die Betrachtung mit einbezogen. Vielmehr wird ein fertigungsnahes Zwischenlager als eigenständiges

Element gesehen. Jede Bestücklinie ist in der Lage, sowohl informations- als auch materialflußtechnisch auf dieses Lager zuzugreifen. Somit stellt diese Einheit für jedes Segment einen virtuellen Puffer dar. Dadurch ist gewährleistet, daß jede Linie im Sinne einer dezentralen Optimierung auf den *besten Nachfolger* zugreifen kann. Zum anderen aber bauen sich vor dem eigentlichen Prozeß keine Pufferbestände auf, welche die Flexibilität einschränken und zudem die Durchlaufzeit negativ beeinflussen [136].

Durch diese Organisation ergibt sich die spätest mögliche Zuordnung der zu bearbeitenden Leiterplattenkassette zu einem Produktionssegment. Die oft hochkomplexe Einplanung in detaillierte Maschinenbelegungspläne kann dadurch entfallen. Dies gewährleistet nicht nur eine schnelle und dynamische Reaktion bei Störungen, sondern führt zudem zu einer Vereinfachung der Planung [110], was insbesondere bei den stark wechselnden Auftragsstrukturen der Klein- und Mittelserienproduktion Vorteile mit sich bringt [129].



*Bild 3-11 Bereitstellungskonzept mit virtuellem Puffer und Leiterplatten-Eingabegerät mit Wechseltisch ermöglicht flexible Produktion bei reduzierter Durchlaufzeit*

Um die Funktionsfähigkeit dieses Konzeptes aufrecht zu erhalten, werden hohe Anforderungen an Puffer und Materialflußsystem für die Leiterplattenkassetten



gestellt. Gegenüber dem bisherigen Puffermodell stellen sie die Knotenpunkte im Produktionsablauf dar. Um diesen Erfordernissen gerecht zu werden sind dabei folgende Aufgaben zu erfüllen:

- vollständige Informationstransparenz über das Subsystem Puffer
- schneller, wahlfreier Zugriff auf jedes im System befindliche Transporthilfsmittel
- intelligente Systemsteuerung zur Unterstützung des Produktionsmanagements

Durch die Eigenständigkeit der intelligenten Subsysteme wird der Produktionsablauf unter Berücksichtigung lokaler Optimierungsstrategien weiter verbessert.

### ***Produktionsübergreifender Informationsverbund***

Dieser Grundgedanke des virtuellen Puffers macht einen *Informationsverbund zwischen den einzelnen Segmenten* zwingend notwendig. Jeder Auftrag, bzw. das im Umlaufbestand befindliche Material, muß *jedem* Produktionssegment verfügbar gemacht werden.

Mit Ausnahme weniger Insellösungen nimmt bisher der Mensch die Aufgabe des Datentransfers wahr, was über die Existenz einer zusätzlichen Schnittstelle hinaus natürlich mit weiteren Nachteilen verbunden ist:

- lokale und temporäre Verfügbarkeit der Information
- einzelner Mitarbeiter als Know-How-Träger (Probleme bei Schichtwechsel, Krankheit, Urlaub etc.)
- Fehleranfälligkeit der Datenübertragung

Daher muß die Information materialbegleitend und jederzeit verfügbar bereitgestellt werden. Dies natürlich in einer Form, welche eine autonome Bearbeitung durch das Bestücksystem zuläßt. Dazu muß das Bestücksystem kurzfristig den für ihn optimalen Nachfolger auswählen und gegebenenfalls reservieren. Danach sind die noch erforderlichen Materialien und Betriebsmittel zu ordern und nach deren automatisierten Bereitstellung die Bearbeitung des Auftrags zu beginnen.

Erreicht werden soll dies durch den Einsatz von Identifikationssystemen [123] auf der Basis von mobilen Datenträgern. Gegenüber den bisher in der Elektronikproduktion vorrangig eingesetzten Barcodes haben diese den Vorteil einer wesentlich höheren Speicherkapazität, welche sich heute im Bereich von bis zu 64 kByte bewegt [114].

Weitere zwingende Voraussetzung ist aber auch, daß einmal im Umlauf befindliches Material den Zugriffsbereich der Material- und Informationsflußsysteme nicht mehr verlassen darf, was wiederum nur durch ein durchgängiges Materialhandling zu gewährleisten ist.

Außerdem muß das Transportgut eine "Eigenintelligenz" aufweisen, welche es gestattet, daß es als intelligenter und aktiver Partner im Informationsverbund

auftreten kann. Erst dadurch wird es dem Material möglich, mit der übergeordneten Steuerungsebene zu kommunizieren und notwendige Aktionen selbständig einzuleiten [5].

Das Leitsystem kann dadurch im Prinzip an jedem Ort auf die auftrags- und material-spezifischen Daten zuzugreifen und so ohne zeitliche Verzögerung optimierend auf das Gesamtsystem einwirken.

### ***Unterstützung des Auftragsdurchlaufes***

Minimale Pufferbestände und reaktionsschnelle Subsysteme geben dem Faktor Zeit eine große Bedeutung in heutigen und zukünftigen Produktionssystemen. Dies macht es erforderlich vor allem den Übergang zwischen den einzelnen Bearbeitungsstufen höchst effizient zu gestalten. Die reine Transportfunktion durch Materialflußsysteme ist in diesem Fall nicht mehr ausreichend.

Vielmehr wird eine direkte Maschinenbedienung in der Form erforderlich, daß das Transporthilfsmittel im unmittelbaren Handhabungsbereich der verarbeitenden Einheit zur Verfügung gestellt wird. Ergänzend dazu muß die auftrags- bzw. material-begleitende Information zeitgleich und in maschinenlesbarer Form mit bereitgestellt werden.

Diese enge Verzahnung von materialbegleitenden Informationssystemen und durchgängigem Materialfluß erlaubt es die bisherige, oftmals produktivitäts-hemmende Schnittstellengestaltung zu verbessern und somit insbesondere in den Bereichen Flexibilität und Durchlaufzeitverkürzung wesentliche Verbesserungen zu erzielen.

### **3.3.2 Konzeption eines durchgängig automatisierten Bestück-systems**

Produktionsanlagen in der Elektronikfertigung gehen zu sehr heterogenen Systemstrukturen über. Der Anwender sucht in Zukunft weniger stark den Kontakt zu einem Generalanbieter, welcher die komplette Anlage aus einer Hand verkauft, sondern geht verstärkt dazu über, *Best in Class*-Systeme zu konfigurieren [140].

Das Ziel einer durchgängigen Automatisierung ist unter diesen Entwicklungen nur zu erreichen, wenn die Schnittstellen weiter standardisiert werden. Dies betrifft aus logistischer Sicht insbesondere die Bereitstellung von Schaltungsträgern, Bauelementen und Information.

Dieses Bestreben wird nicht nur aus rein logistischer Motivation getragen, sondern geht einher mit den "Best in Class"-Lösungen. Auch hier besteht der Anspruch, sich flexibel an die technologische Entwicklung anzupassen, d. h. einzelne Komponenten einer Linie gegen weiterentwickelte auszutauschen. Somit wird nicht nur die Flexibilität gegeben, bestehende Linien an die aktuellen Entwicklungen anzupassen,

sondern diese auch ohne großen Mehraufwand in bestehende Materialflußstrukturen einzubinden.

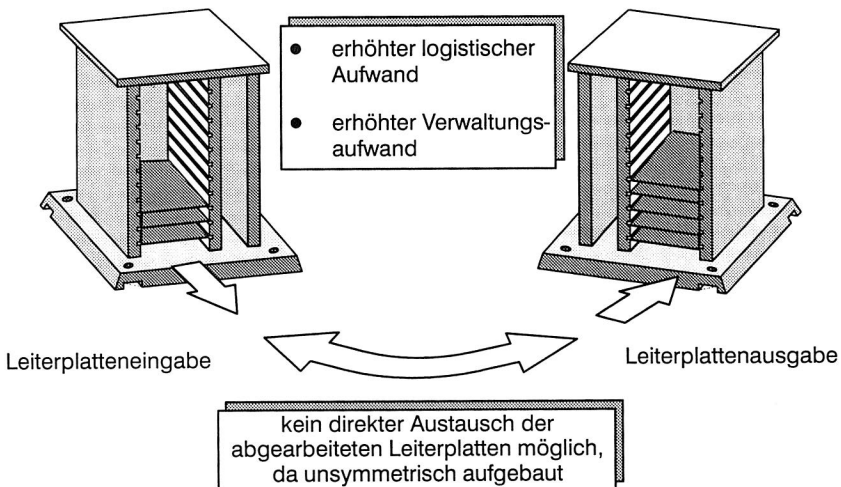
Für die materialflußtechnische Schnittstellengestaltung sind dabei folgende Einheiten von Interesse:

- linieninternes Transportsystem
- Leiterplattenkassette als integrierendes Transporthilfsmittel
- Feederbereitstellung zur Bauelementversorgung

### **Linieninternes Transportsystem**

Ein neuer Bestückauftrag ist oftmals auch mit dem Wechsel des Leiterplattenformates verbunden. Sämtliche Transportbänder der Linie müssen daher auf die neuen Maße eingestellt werden. Bei bisherigen Systemen geschieht dies über Handräder, was zum einen sehr zeitaufwendig ist und zum anderen einen hohen Personaleinsatz erfordert. Zudem kann durch unterschiedliches Personal keine gleichbleibende Wiederholgenauigkeit gewährleistet werden, was wiederum zu Störungen führen kann.

Dieser hohe Aufwand behindert bisher eine flexible, bedarfssynchrone und damit bestandsarme Produktion. Zwar finden vermehrt elektromotorische Einstellmechanismen Einsatz in den Systemen, welche eine deutliche Reduzierung der Umstellzeiten bei hoher Wiederholgenauigkeit gewährleisten. Allerdings wurde aber auch bei diesen Entwicklungen ein aus logistischer Sicht gravierender Nachteil bisher nicht gelöst:



**Bild 3-12** Eingeschränktes Einsatzspektrum der Leiterplattenkassette durch unsymmetrischen Aufbau

Bei herkömmlichen Transportsystemen läßt sich nur ein Transportband verstellen und so an das neue Leiterplattenformat anpassen. In Verbindung mit nur einseitig beschickbaren Leiterplattenkassetten stellt dies eine Schwachstelle im logistischen System dar (Bild 3-12), da Leiterplattenkassetten der Eingabestation nicht direkt an die Ausgabestation weitergegeben werden können.

Dadurch ist nicht nur eine überhöhte Anzahl an Leiterplattenkassetten notwendig, was sich zusätzlich negativ auf die Transparenz des Transportgeschehens auswirkt, sondern auch ein erhöhter Transport- und damit Steuerungsbedarf gegeben.

Als Lösungsansätze sind hier denkbar:

#### *Möglichkeit der beidseitigen Beschickung der Leiterplattenkassette*

Dies ist durch den Einsatz von entsprechenden Leiterplattenhaltern möglich. Für die Sicherung der Leiterplatten bei Transport und Handhabung ist allerdings der Einsatz von Einschiebesperren notwendig, was ein zeitaufwendiges Umrüsten der Leiterplattenhalter bedingt und somit keine wirtschaftliche Lösung darstellt.

#### *Individuelle Positionierung der Leiterplattenkassette durch verfahrbare Aufnahmeeinheit*

Durch den Einsatz der zusätzlichen NC-Achse bei Leiterplattenein-/ausgabeeinheiten mit Wechseltisch ist auf den Eingabeeinheiten eine individuelle Positionierung möglich. Dies erfordert aber zusätzlichen Investitionsaufwand und ist sicherlich nur in Verbindung mit einem bereits eingesetzten Wechseltischkonzept wirtschaftlich realisierbar.

#### *Symmetrische Verstellung der Transportbänder*

Der symmetrische Aufbau des linieninternen Transportsystems vereint aus logistischer Sicht eine Reihe von Vorteilen in sich. Die durchgehende Orientierung der Systemkomponenten an der "Linienmitte" ergibt eine konkrete Strukturierungsgröße. Der damit verbundene symmetrische Aufbau der Leiterplattenkassetten vereinfacht zudem deren Handhabung und Transport gegenüber dem bisherigen unsymmetrischen Aufbau. Allerdings hat dieser Lösungsvorschlag auch weitreichende Folgen für den konstruktiven Aufbau der Transportsysteme.

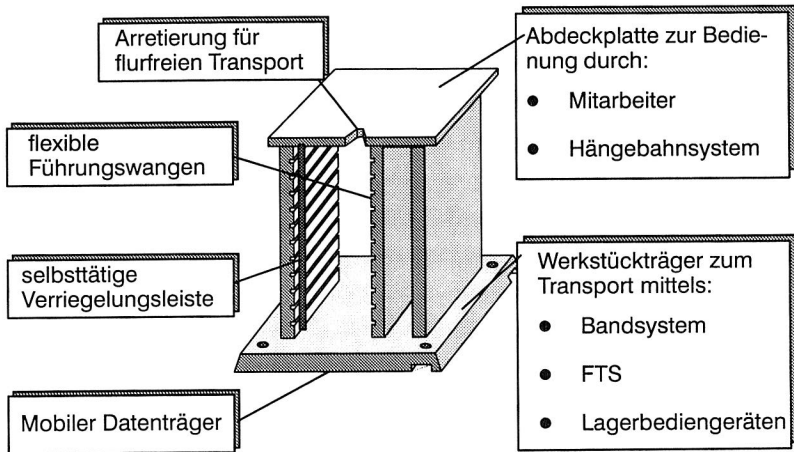
### ***Leiterplattenkassette als integrierendes Materialflußelement***

Der Leiterplattenkassette kommt bezüglich des Auftragsdurchlaufs in der Elektronikbestückung eine besondere Bedeutung zu, da sie den Auftragsdurchlauf symbolisiert. Die Anforderung einer effizienten Auftragssteuerung zielt somit auf eine effiziente Flußsteuerung der einzelnen Leiterplattenkassette ab.

Sie stellt wiederum die kleinste Flußeinheit im logistischen Geschehen dar, unabhängig vom jeweiligen Füllgrad, über welchen individuelle Losgrößen realisiert werden können. Vor diesem Hintergrund gehen die Anforderungen an die Leiterplattenkassette über die eines reinen Transporthilfsmittels hinaus. Als integrierendes

logistisches Element erfüllt sie eine Reihe von Aufgaben, wie sie in Bild 3-13 gezeigt sind:

- Handhabung individueller Leiterplattenformate
- standardisierte Schnittstellen an Boden- und Deckfläche
- materialbegleitender Informationsträger



*Bild 3-13 Komponenten und Aufgabenspektrum der Leiterplattenkassette als integrierendes logistisches Element*

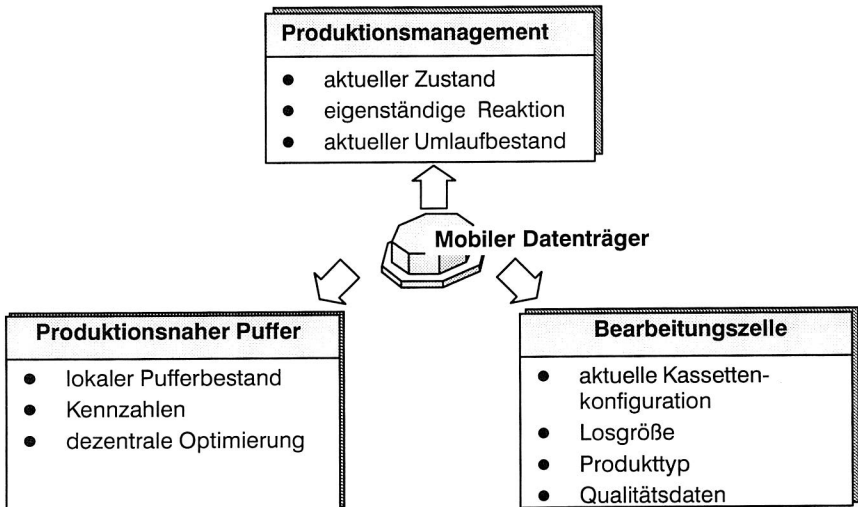
### **Materialbegleitender Informationsfluß**

Erst die Gestaltung eines durchgängigen Informationsflusses, welcher durch den Einsatz von Identifikationssystemen realisiert wird, erlaubt die Realisierung eines effizienten Auftragsdurchlaufes.

Über Datenträger können so alle relevanten Daten über das transportierte Gut an der verarbeitenden Zelle bereitgestellt werden (Bild 3-14). Anzustreben ist dabei eine Kombination aus zentraler und dezentraler Datenhaltung (s. Kapitel 3.2). Übergeordnete Steuerungssysteme sind dadurch von routinemäßigen Kommunikationsaufgaben entlastet und weisen eine höhere Verfügbarkeit und Reaktionsgeschwindigkeit für ihre eigentlichen Aufgaben, der Steuerung des Betriebsgeschehens aus. Zum anderen aber können umfangreiche Datenmengen, wie z. B. Bestückprogramme, über zentrale Datenkopplung angefordert werden, was wiederum die notwendige Speicherkapazität des Datenträgers und die Kommunikationsdauer reduziert.

Durch die vorhandene Kopplung mit den übergeordneten Leitsystemen ist zudem eine aktuelle Verfolgung von Auftragsdurchlauf und Bestandssituation möglich.

Dieses dezentrale/zentrale Datenhaltungskonzept erlaubt es, nicht nur eine höhere Transparenz in den Produktionsablauf zu bringen, sondern die Flexibilität der Fertigung im Sinne von Kapitel 3.3.1 zu erhöhen.



*Bild 3-14 Mobiler Datenträger als auftragsbegleitende Informationskomponente im Logistiksystem*

Die dezentrale Haltung auftrags- und materialbegleitender Daten unterstützt das Produktionsmanagement in der Form, daß es gewisse Unschärfen in der Planung, insbesondere in der Zuordnung Auftrag – Maschine, zuläßt. Diese Unschärfe erlaubt es, mit der Zielsetzung einer dezentralen Optimierung, vor Ort aktuell und schnell auf die jeweiligen Aufträge zu reagieren und so einen effizienten und kostenminimalen Auftragsdurchlauf zu gewährleisten.

### **Feederkassetten zur flexiblen, automatisierten Bauelementebereitstellung**

Im Zuge der genannten Best in Class-Konzepte ist insbesondere auch die Bereitstellung der Bauelemente zu überdenken. Für diese Überlegungen stellt die Standardisierung bzw. Normierung eine unabdingbare Voraussetzung dar. Diese Vereinheitlichung muß sich dabei auf die Bereiche Mechanik, Elektrik und informationstechnische Schnittstelle erstrecken.

Doch nicht erst die Installation derartiger heterogener Lösungen macht eine Anpassung der Schnittstellen notwendig. Die flexible und schnelle Reaktion bei Produktwechseln verlangt ein einfaches Umrüsten der Produktionseinheiten, was durch eine entsprechende Gestaltung der Bauelementeaufnahmen erleichtert

werden kann. Zudem unterstützen einheitliche Schnittstellen auch die Verwendung auf Maschinen anderer Hersteller, was den Bauelementekreislauf positiv beeinflusst. Die parallele Rüstung eines Bauelements auf unterschiedlichen Feedern, beziehungsweise ein Umrüsten ist dadurch nicht notwendig und setzt somit entsprechende Zeit- und Kostenvorteile frei.

### 3.4 Anforderungsprofil an ein automatisiertes Materialflußsystem in der Elektronikproduktion

In [16, 109] werden drei grundsätzlich verschiedene Systeme zur Bewältigung des linienexternen Materialflusses vorgestellt, welche sich kombinieren und gegenseitig ergänzen lassen (Bild 3-15)

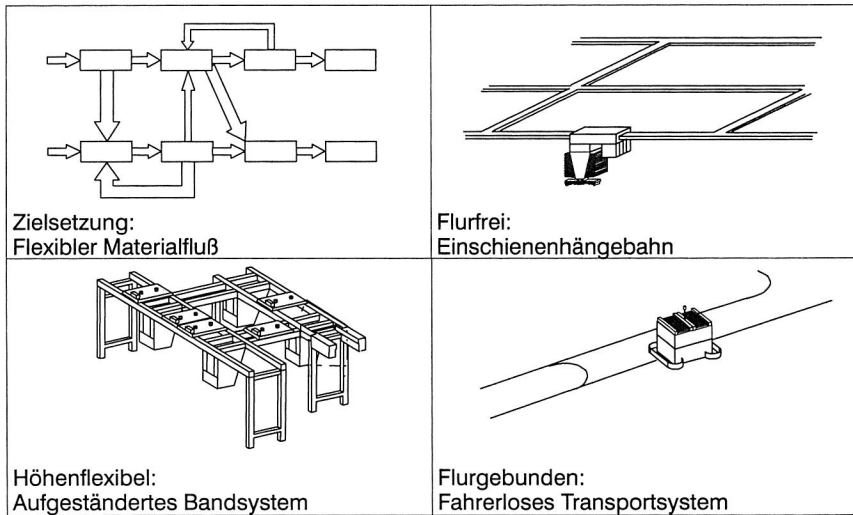


Bild 3-15 Alternative Transportsysteme für den linienübergreifenden Materialfluß [30]

Gerade im Bereich der Montage ist darauf Wert zu legen, daß die in den unterschiedlichen Segmenten eingesetzten Transportmittel den durchgängigen Fluß aufrecht erhalten können. Dies aber läßt sich nur realisieren, wenn bei der Entwicklung eines Logistikkonzeptes der Systemgedanke den Maßstab für die Zielerreichung bildet.

### 3.4.1 Bisherige Automatisierungslösungen und deren Defizite

#### Fahrerlose Transportsysteme

Flexible Materialflußautomatisierung wurde bisher überwiegend mit dem Einsatz von Fahrerlosen Transportfahrzeugen gleichgesetzt. Seit den Anfängen dieser Technologie in den 50er Jahren haben diese Systeme mittlerweile einen hohen technischen Stand erreicht [115].

Im Zuge der Technik- und Automatisierungsfreundlichkeit der letzten Jahre wurden Fahrerlose Transportfahrzeuge vermehrt auch im Materialfluß von Elektronikproduktionen eingesetzt.

Die Anforderungen an die Fahrzeuge waren dabei im wesentlichen der Transport zwischen den Bearbeitungsstationen und der automatisierte Lasttransfer. Die Anbieter von Fahrerlosen Transportsystemen adaptierten ihre bestehenden Systemlösungen an die neuen Gegebenheiten, ohne auf die besonderen Belange der Elektronikproduktion einzugehen. So entstanden Fahrzeugtypen, welche ein grobes Mißverhältnis zwischen Transportaufgabe und Transportlösung darstellen (Bild 3-16).

Bestehende Systemlösungen bei FTS

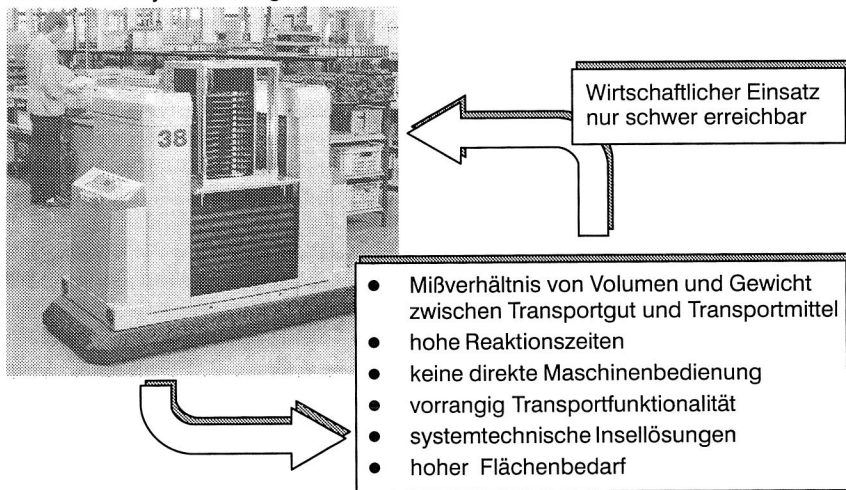


Bild 3-16 Lösungskonzept Fahrerloses Transportsystem zur Transportautomatisierung in der Baugruppenproduktion

Diese aus den Bereichen Maschinen- und Fahrzeugbau adaptierten Lösungen konnten in der Elektronikproduktion nur bedingt befriedigen und sind Ursache dafür, daß Automatisierungslösungen auf FTS-Basis heute nur bedingt aufrecht erhalten werden.



Schwachstellen dieser Systeme zeigen sich insbesondere in folgenden Bereichen:

- *Mißverhältnis von Volumen und Gewicht zwischen Transportmittel und Transportgut*

Die in der Elektronikindustrie benötigten Transportgewichte bewegen sich in der Größenordnung von bis zu 40 kg, die Transportvolumina sind geprägt durch den Einsatz der Leiterplattenkassetten, wobei weitere Miniaturisierungsbestrebungen eine weitere Reduzierung von Masse und Volumen erwarten lassen.

- *Beschränkung auf reine Transportfunktion*

Der Einsatz der FTF läßt nur eine reine Transportfunktion zu. Die Transporthilfsmittel werden vom Bestandspuffer der einen Station aufgenommen und zum Bedarfspuffer der anfordernden Station gebracht.

- *hohe Reaktionszeiten bei Transportanforderungen*

Durch aufwendige Übergabemechanismen und zusätzliche Schnittstellen im Transportablauf gestaltet sich der Transfer von Transporthilfsmitteln zeitaufwendig und fehleranfällig.

- *keine direkte Bedienung der Ein-/ausgabeeinheiten*

Die Leiterplattenein-/ausgabegeräte können mittels FTS nicht direkt bedient werden, sondern müssen über zwischengeschaltete Puffer ver- bzw. entsorgt werden.

- *hoher Flächenbedarf für die Systemgestaltung bzw. restriktive Streckengestaltung durch layouttechnische Einflüsse*

Fahrzeugvolumen, Lenkgeometrien, Sicherheitseinrichtungen etc. verlangen nach ausreichend Verkehrsflächen in der Produktion. Zudem sind die Ankopplung von Stationen und Kreuzungsbereiche oftmals nur durch umfangreiche Streckenführungen zu realisieren.

- *i. d. R. funktionell eigenständige Systeme mit abgeschlossenen Grundstrukturen*

Fahrerlose Transportsysteme bilden meist Insellösungen im Produktionsgeschehen. Ausgehend vom Produktionsumfeld zum Zeitpunkt der Umsetzung wird das System installiert und ist in der Regel nur durch aufwendige Anpassungen der Herstellerfirmen an neue Randbedingungen adaptierbar.

Diese Reihe von Diskussionspunkten führten in der Regel dazu, daß FTS-Systeme sowohl den technischen als auch den wirtschaftlichen Anforderungen nicht genügen konnten. Die Tendenz ist zudem, daß bestehende FTS-Lösungen abgebaut bzw. durch alternative Systeme ersetzt werden.

### **Elektrohängebahnsysteme**

Elektrohängebahnsysteme finden sich auch in bestehenden Materialflußkonzeptionen als entsprechende Automatisierungslösungen [43, 112, 113]. Vor dem Hintergrund,

daß der Raumbedarf einen sehr kapitalintensiven Bedarfsfaktor mit 30 bis 60 Prozent des Investitionsvolumens darstellt [2], bieten sie die Möglichkeit der Raumeinsparung durch eine kompakte Bauweise. Insbesondere in der Halbleiterfertigung haben sich Einschienenbahnsysteme neben Fahrerlosen Transportsystemen mit aufgesetzten Handhabungseinrichtungen etabliert und werden diese, dem derzeitigen Trend folgend, verdrängen [113].

Mit Ausnahme der Halbleiterproduktion, wo bedingt Handhabungsfunktionen mit wahrgenommen werden, setzt man in der Baugruppenfertigung vorrangig Behältertransportsysteme für den auftragsunabhängigen Materialtransport ein.

Des weiteren haben auch diese Behältertransportsysteme einen relativ niedrigen Automatisierungsgrad. Sie übernehmen in der Regel nur die eigentliche Transportfunktion, während die Handhabung des Materials und zum Teil die Zieladressierung der Fahrzeuge nach wie vor von den Mitarbeitern übernommen werden muß.

### **Mobile Roboter**

Piepel [96] definiert den *Mobilen Roboter* als "Roboter, welcher der Definition nach VDI 2860 [88] genügt, und Transportachsen besitzt, so daß der Arbeitsraum ohne konstruktive Änderungen am Roboter selbst durch die Integration in Fördersysteme wesentlich erweitert werden kann".

Auch für die Anwendung eines Mobilen Roboters auf der Basis von Fahrerlosen Transportfahrzeugen zeigen sich wiederum eine Vielzahl von Problemen beim Einsatz in der Elektronikproduktion. So steht die Handhabungseinheit auch hier in einem Mißverhältnis zur Aufgabenstellung. Bei hohen Eigengewichten des Roboters und zugehöriger Steuerungseinheit können bei einem Großteil der Systeme nur geringe Lasten gehandhabt werden, welche in der Größenordnung von ca. 5 kg bis 15 kg liegen [117].

Mehrachsiges Roboter besitzen zwar eine hohe Flexibilität bezüglich der Handhabungsaufgaben, benötigen im Gesamtsystem aber auch entsprechenden Raum für die eigentliche Handhabungsaufgabe und ergänzend für notwendige Sicherheitsmaßnahmen im Peripherieumfeld. Durch die hohen Eigenlasten von Roboter und Steuerung müssen die Fahrzeuge größer bauen, insbesondere dann, wenn für eine schnelle Bedienung der Ein-/Ausgabeeinheiten Leiterplattenkassetten am Fahrzeug mitgeführt werden sollen.

Zur Abgrenzung dieser Arbeit bleibt festzuhalten, daß bei den bisherigen Forschungsarbeiten zum Themenkomplex *Mobile Handhabung* der Bereich *Mobile Roboter* im Zentrum der Betrachtungen steht. Motivation hierfür ist vorrangig eine Erhöhung der Kapazitätsauslastung dieser zum Teil sehr kapitalintensiven Handhabungsgeräte. Dies wird erreicht durch die Ortsbeweglichkeit von Industrierobotern, aber auch durch deren Aufgabenerweiterung durch Einsatz von hochentwickelter Sensortechnik. Die Entwicklungsbestrebungen in diesem Bereich sind in [73] ausführlich dargestellt, wobei sich ein Entwicklungsschwerpunkt in den Bereichen

Verbesserung der Ortsbeweglichkeit [119] und Verbesserung der Autonomie von Robotersystemen [52] herauskristallisiert.

### **3.4.2 Anforderungsprofil an ein automatisiertes Materialflußsystem in der Leiterplattenbestückung**

Von grundsätzlicher Bedeutung für die Erstellung eines Anforderungsprofils ist die gesamtheitliche Betrachtung der Systemkomponenten. Wie sich bereits in den vorangegangenen Ausführungen gezeigt hat, ist nur durch ein abgestimmtes Zusammenspiel aus *Transportsystem* – *Logistikeitsystem* – *Peripherie* ein optimaler Rationalisierungseffekt zu erzielen. Unter der Einschränkung, daß sich die Peripherieelemente im breiten Industrieinsatz bereits etabliert haben, werden diese soweit wie möglich in die Konzeption mit übernommen bzw. ohne die Einschränkung ihrer bisherigen Aufgaben an das Automatisierungskonzept angepaßt.

#### **Transportaufgabe**

Die Funktionen, welche entlang der Wertschöpfungskette ausgeführt und unterstützt werden müssen, sind in [88, 90] dargestellt:

”Materialfluß ist die *Verkettung* aller Vorgänge beim Gewinnen, Be- und Verarbeiten sowie beim Lagern und Verteilen von Stoffen innerhalb festgelegter Bereiche.”

Im Bereich der Leiterplattenbestückung besteht die Transportaufgabe im wesentlichen aus den Teilaufgaben der Ver- und Entsorgung der Bestückssysteme mit

- Leiterplatten,
- Bauelementen und
- Hilfsstoffen,

wobei hier die Transporthilfsmittel Leiterplattenkassette, Feeder(-kassette) und Kleinladungsträger zu bedienen sind.

Nach einer von Piepel [96] erhobenen Befragung liegen die Haupteinsatzbereiche mobiler Handhabung im Bereich der elektrotechnischen Industrie auf den Gebieten Be- und Entladen (87%), Mehrmaschinenbedienung (36%) und Lagerbedienung (36%). Die Analyse dieses Aufgabenspektrums zeigt, daß hier überwiegend eine translatorische Bedienung von oben erforderlich ist (Bild 3-17). Für die Belieferung der Materialschnittstellen reicht damit eine Kinematik mit zwei translatorischen Achsen aus, um die Leiterplattenein- bzw. ausgabe zu bedienen.

Lediglich die richtungsgebundene Bereitstellung der Leiterplatten erfordert eine zusätzliche rotatorische Achse.

Sollen ergänzend auch die Feederkassetten direkt am Bauelementebereitstellisch platziert werden, so ist das System um eine zusätzliche translatorische Achse zu erweitern.

### Haupteinsatzbereiche mobiler Handhabung

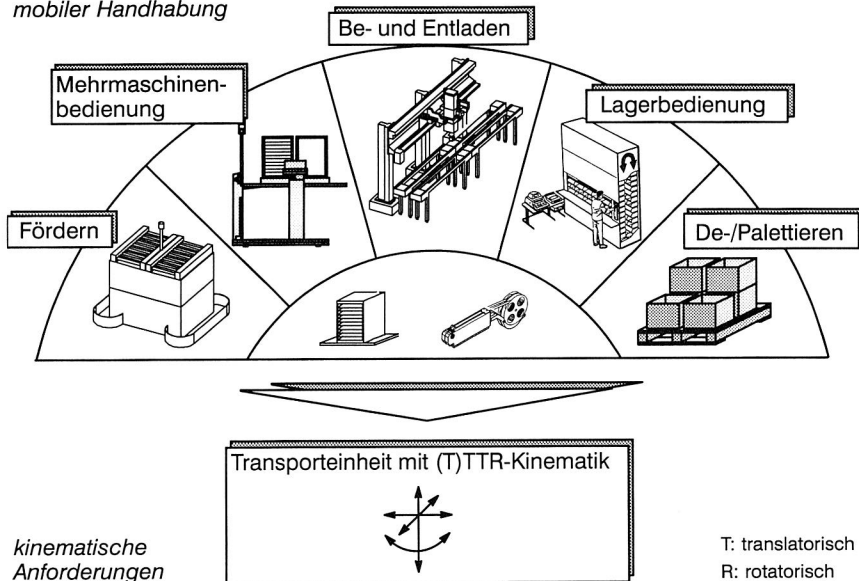


Bild 3-17 Anforderungsanalyse für eine automatisierte Handhabung der Transporthilfsmittel in der Elektronikproduktion

### Transportsystem

Die in Kapitel 3.4.1 aufgeführten Lösungsbestrebungen führten für die Elektronikproduktion zu weitgehend unbefriedigenden Ergebnissen.

Aus Industrieerfahrungen und ergänzenden Befragungen ergaben sich die Grundanforderungen an ein Materialflußsystem wie folgt:

- Nutzlast ca. 40 kg
- max. Größe der Transporthilfsmittel ca. 600 x 600 x 650 mm (L x B x H)
- Transport unterschiedlicher Transporthilfsmittel möglich
- durchgängige Automatisierung, d. h. direkte Maschinenbedienung
- kompakte Bauweise (geringe Bauhöhe, geringes Gewicht)
- Fahrzeugsysteme mit hoher Eigenintelligenz zur autonomen Abwicklung von Transportaufträgen
- hohe Transportgeschwindigkeiten:  $v_{\max} \geq 1,5 \text{ m/s}$ ,  $v_{\text{mittel}} \geq 1,0 \text{ m/s}$
- Steigungs- und Gefällefahrten möglich
- komplexe Fahrkursgestaltung möglich
- einfache Energieversorgung

Die hier aufgeführten globalen Anforderungen an das eigentliche Transportsystem prädestinieren die Einschienen-Elektrohängebahn als Basis für eine angepaßte und wirtschaftliche Automatisierungslösung.

Das flurfreie System unterstützt eine komplexe Streckenführung und ermöglicht die flexible Reaktion auf unterschiedliche Transportbedarfe. Die individuelle Ansteuerung unterschiedlicher Zielpunkte im Streckennetz lassen jegliche Punkt-zu-Punkt-Verbindung zu.

Mit einem automatisierten Transportsystem, welches diese Anforderungen erfüllt, kann auf die Bedürfnisse in der Elektronikproduktion zielgerichtet reagiert werden.

Das *flurfreie* System gewährleistet eine schnelle Ausführung der Transportanforderungen, ohne das flurgebundene Produktionsgeschehen zu beeinträchtigen.

Die integrierte Handhabung mittels flexiblem Greifersystem ermöglicht die direkte Maschinenbeschickung mit den erforderlichen Materialien. In Verbindung mit einem dezentralen Informationsverbund durch mobile Datenträger ist so eine mannarme Produktion zu erreichen.

Durch spezielle Koppelstationen kann das flurfreie System an flurgebundene Transportsysteme (z. B. FTS im Bereich der Endmontage) angebunden werden. Dadurch wird ein bereichsübergreifender Materialfluß erreicht, welcher eine Minimierung der Durchlaufzeiten gewährleistet.

### **Logistikleitsystem**

Basis für die Anforderungen an das Leitsystem bilden die systemtechnischen Überlegungen aus Kapitel 3.3.1.

Entsprechend der Grundforderung einer durchgängigen und angepaßten Automatisierung entstehen für die logistische Koordination eine Reihe von Aufgabenfeldern:

- Das Leitsystem muß in der Lage sein, *unterschiedliche Transportsysteme* zu koordinieren, so z. B. die Mobile Handhabungseinheit für Bereitstellungsaufgaben und das FTS für umfangreiche Transporte.
- Das Leitsystem muß ein *aktuelles Abbild der operativen Ebene* führen, um so über Umlaufbestände, momentane Standorte etc. Auskunft erteilen zu können bzw. entsprechende Transportaufträge zu initiieren.
- Das Leitsystem muß zusätzliche *logistische Daten erfassen und aufbereiten*, um Schwachstellen aufzudecken und Lösungsvorschläge, basierend auf realen Daten, zu erarbeiten.

Die hier gezeigten Anforderungen an das Logistikleitsystem sollen nur die richtungsweisenden und grundlegenden Tendenzen aufzeigen, um diese, im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung, bereits bei der Entwicklung des Transportsystems mit zu berücksichtigen. Die konkreten Anforderungen und die entsprechende Umsetzung werden in Kapitel 5 ausführlich erläutert.

## **4     *Mobile Handhabungseinheit als Materialflußkomponente flexibler Produktionssysteme in der Elektronik***

Aus den vorangegangenen Anforderungen heraus wird im nun folgenden Kapitel das Konzept für eine Materialfluß-Automatisierungskomponente erarbeitet. Ziel ist es einen hochflexiblen Materialfluß zu gestalten, der sich an der Variantenvielfalt der Produkte, deren variierenden Losgrößenspektren, den individuellen Produktionsbedingungen der Baugruppenfertigung und an den Kosten orientiert.

Aus den Betrachtungen in Kapitel 3.4.2 ergibt sich, daß für die Lösung der Materialflußproblematik in der Baugruppenfertigung ein flurfreies System die ideale Basis bildet. Jedoch stellt ein Elektrohängebahn-Fahrzeug (EHB) nur das Grundmodul der eigentlichen Automatisierungseinheit dar. In Kombination mit einer aktiven Handhabungseinheit ergeben sich folgende, insbesondere die Lasthandhabung betreffende, Anforderungen an das Materialflußsystem:

- Höhe überwinden (Transportebene – Fertigungsebene)
- Last in Vorzugslage drehen
- Last handhaben (aufnehmen/abgeben)
- Horizontallage der Last an Steigungs- und Gefällestrecken erhalten

Die beiden ersten Punkte können dabei auch von externen, d. h. nicht ins Fahrzeug integrierten, Komponenten übernommen werden (Bild 4-1). Die beiden letzten Aufgaben jedoch müssen direkt ins Transportmittel eingebunden werden.

Um einen individuell angepaßten Einsatz der Automatisierungslösung zu gewährleisten, ist eine Lösung der Einzelfunktionalitäten durch entsprechende Bausteine anzustreben. Dies ermöglicht den Aufbau eines Baukastens zur Schaffung eines *Modularen Lastaufnahmesystems*.

### **4.1     *Konzept für ein flurfreies Transportsystem in der Elektronikproduktion***

Ausgehend von der Grundüberlegung eines flurfreien Transportsystems auf EHB-Basis stellt die Konzeption der eigentlichen Lastaufnahmeeinheit die Basisaufgabe dar. Die Lastaufnahme repräsentiert dabei die Grundfunktionalität des Greifens bzw. Aufnehmens der Last. Im gesamten Übergabeablauf sind dabei eine Reihe von Handhabungsaufgaben zu erfüllen, welche in Bild 4-1 im Gesamten dargestellt sind.

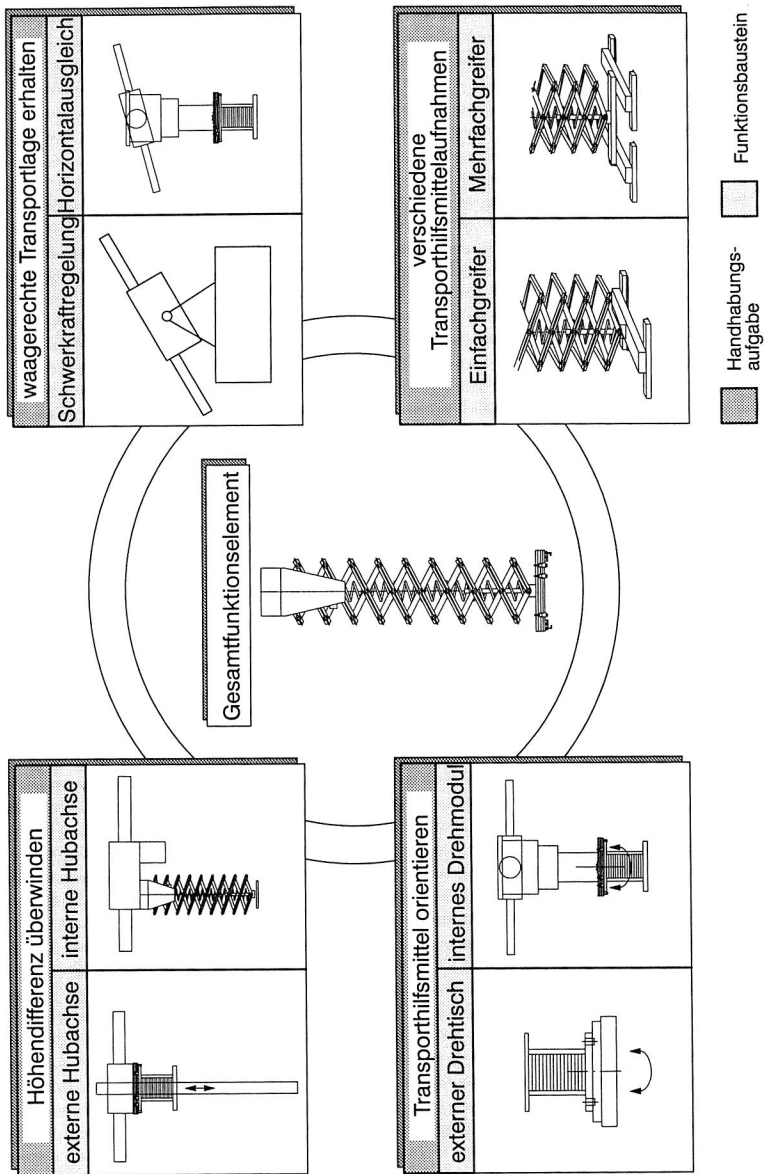


Bild 4-1 Strukturierung der Handhabungsaufgaben bei der Materialversorgung von Bestücklinien führt zu problemorientierten Lösungsalternativen

### **4.1.1 Komponenten zur Erfüllung der Grundfunktionalitäten**

#### ***Höhenniveau***

Da die Transportfahrzeuge auf höherem Niveau fahren, muß eine Überbrückung zur Arbeitshöhe der Produktionsebene erfolgen. In bisher realisierten EHB-Anlagen erfolgt dies in der Regel mittels ortsfesten Hubstationen. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Integration einer Handhabungseinheit in das EHB-System [16, 109].

#### ***Hubstation***

Eine ortsfeste Hubstation ist an jeder Übergabestation erforderlich. Je nach konstruktiver Ausführung befördert sie das Fahrzeug einschließlich Last oder nur die Last.

#### ***Integrierte Hubachse***

Die Hubachse wird direkt am Fahrzeug angebracht und kann im Gegensatz zur ortsfesten Hubstation an jeder beliebigen Stelle des Schienennetzes zum Einsatz kommen. Dadurch beschränkt sich der Arbeitsraum des Handhabungssystems nicht nur auf den Bereich der einzelnen Übergabestation, sondern erweitert sich flexibel auf den gesamten Streckenverlauf.

#### ***Lastaufnahme***

Um die Handhabungseinheit in ihrem Aufbau einfach und kostengünstig zu gestalten, muß auf weitere Handhabungsachsen verzichtet werden. Dies erfordert die eigentliche Lastaufnahme als aktiven Greifer auszustatten. Dem Greifer kommt als direkte Schnittstelle zwischen den unterschiedlichen Transporthilfsmitteln und dem Handhabungssystem hiermit eine Schlüsselfunktion zu.

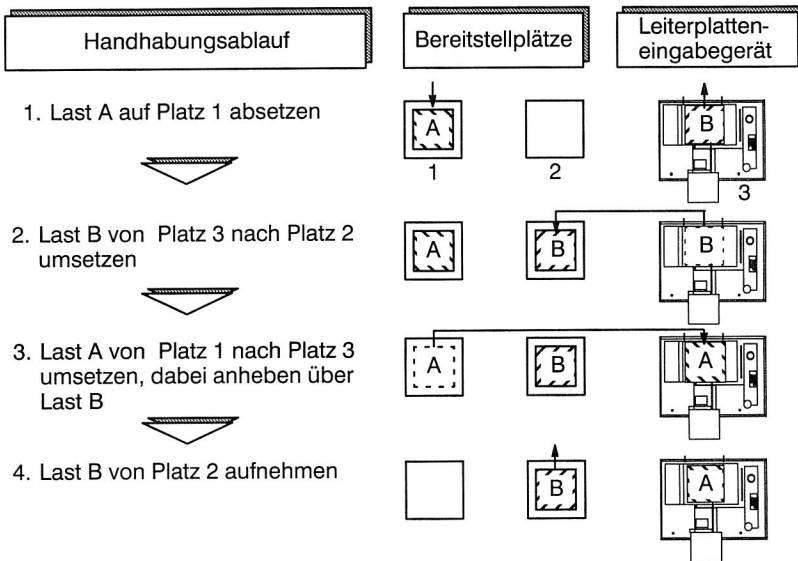
Aus sicherheitstechnischen Gründen ist es unerlässlich, daß bei Energieausfall die Last sicher gehalten wird, was durch Greifen mittels Formschluß zu gewährleisten ist. Die Greifbacken müssen durch Selbsthemmung gegen Öffnen gesichert sein. Entsprechend dem geforderten modularen Aufbau des Gesamtsystems sollte das Greifsystem sowohl direkt, als auch über die Hubachse an das Fahrzeug adaptierbar sein.

Transportaufgaben in der Montage sind in der Regel *Austauschtransporte*, d. h. ein leeres Transporthilfsmittel wird gegen ein gefülltes ausgetauscht. Um hier entsprechend Transportwege zu sparen und Zeitvorteile in der Handhabung zu erzielen, ist es von Vorteil, die Lastaufnahme gegebenenfalls mit zwei Greifeinheiten auszustatten. Allerdings ist zu berücksichtigen, daß hierbei ein größerer Bedarf an Handhabungsraum entsteht.

Eine weitere Alternative ist die Gestaltung des Transportsystems als Kombination aus Handhabungsfahrzeug und Versorgungsfahrzeug, wie in [109] vorgeschlagen.



Für die betrachtete Elektronikproduktion wurde dieses Konzept allerdings nicht weiter verfolgt. Zum einen bedeutet der kombinierte Einsatz aus Roboter- und Versorgungsfahrzeug einen erhöhten Investitionsaufwand, hier insbesondere für die mehrachsige Auslegung des Handhabungssystems. Zum anderen widerspricht dies der Zielsetzung der kompakten Bauweise des Handhabungssystems.



*Bild 4-2 Ablaufoptimierung eines Magazinwechsels durch Einplanung systemnaher Bereitstellplätze*

Vielmehr bietet sich bei der Handhabung von kleinen Transporthilfsmitteln, wie sie in der Leiterplattenbestückung Einsatz finden, die Einplanung von zusätzlichen einfachen Bereitstellflächen in unmittelbarer Nähe der Übergabestation an. In einem Ablauf wie er in Bild 4-2 skizziert ist, kann dann mit sehr einfachen Komponenten ein schneller Materialwechsel stattfinden.

### **Radialposition**

Insbesondere bei der Handhabung von Leiterplatten- und Feederkassetten spielt die radiale Positionierung eine wesentliche Rolle. Diese Komponenten sind nur von einer Seite zugänglich und müssen unter Umständen im 90°-Raster manipuliert werden können. Kann dies durch eine geschickte Layoutplanung für die Streckenführung nicht erreicht werden, so ist eine radiale Manipulation der Transporthilfsmittel notwendig. Dies läßt sich alternativ unter Einsatz eines externen Drehtisches oder aber eines integrierten Drehmoduls realisieren.

### *Drehtisch*

Hier kann ein Standard-Rundschalttisch eingesetzt werden, welcher es erlaubt, Positionen im 90°-Raster anzufahren. Sollten zusätzliche Winkellagen notwendig sein, ist die Ansteuerung des Rundschalttisches gegebenenfalls entsprechend zu erweitern.

### *Drehmodul*

Eine Verkürzung des Handhabungsablaufes bringt auch hier eine Integration in das Handhabungssystem. Dieser weitere Systemmodul müßte sich ebenfalls durch geringes Gewicht und kompakte Abmessungen auszeichnen. Um bewegte Massen zu vermeiden, sollte der Antrieb möglichst nahe an den Ausgangspunkt der kinematischen Kette gelegt werden. Demzufolge ist es sinnvoll den Drehmodul unmittelbar zwischen Greifsystem und Hubachse zu platzieren.

### ***Horizontalausgleich – unterschiedliche Produktionsebenen***

Der komplexe Produktionsablauf von elektromechanischen Produkten erstreckt sich gerade in bereits bestehenden oder gewachsenen und weiter expandierenden Unternehmen über mehrere Geschoßebenen.

Sowohl während des Transports, als auch während der Übergabe ist die Last in waagerechter Lage zu halten. Sehr einfach zu realisieren ist ein Horizontalausgleich durch Schwerkraft, wie er in EHB-Systemen des unteren Traglastbereiches zu finden ist [85]. Für eine automatisierte Lasthandhabung mittels Hubachse ist diese Lösung jedoch nicht zufriedenstellend. Bereits kleinste Winkelabweichungen machen eine genaue Positionierung bei Übergabehöhen von zwei bis drei Metern unmöglich. Die hohen Beschleunigungs- und Verzögerungswerte der Transporteinheit verursachen zudem Pendelbewegungen der Last.

Vielmehr muß eine vertikale Lage der Hubachse gewährleistet werden, was mittels eines regelbaren Ausgleichsmoduls realisiert werden kann. Für dieses Nachführungssystem kommt ein Neigungssensor zum Einsatz, welcher die Neigung der Hubachse feststellt. Über einen Regelverstärker mit PID-Regelverhalten kann dieses analoge Eingangssignal des Sensors zur Ansteuerung eines Motors dienen, welcher den Ausgleich zur Streckenführung schafft. Um unvermeidliche Ausschläge des Sensors bei Beschleunigung und Verzögerung des Transportsystems nicht auf die Hubachse zu übertragen, unterbricht die Fahrzeugsteuerung die Regelung in diesen Phasen.

### ***4.1.2 Konzeptalternativen und deren Bewertung***

Die in Bild 4-1 gezeigte Baukastenstruktur einer flexiblen mobilen Handhabungseinheit läßt eine Vielzahl von Lösungsvariationen zu. Aus diesem Katalog sollen die grundlegenden Alternativen bezüglich der Auslegung mit Hubstation bzw. Hubachse näher betrachtet und bewertet werden.

### ***Mobile Handhabungseinheit mit externer Hubstation***

Der Einsatz von Hubstationen in EHB-Systemen stellt die klassische Lösungsalternative dar. Gerade im höheren Lastbereich, wie z. B. im Automobil- oder Maschinenbau, ist die Integration von Handhabungseinrichtungen in die EHB-Fahrzeuge in der Regel mit hohem Aufwand verbunden oder zum Teil unmöglich, da entsprechend hohe Lastgewichte gehandhabt werden müssen.

Hier geht man den Weg, die komplette Einheit aus Fahrwerk, Gehänge und Transportgut zu verfahren.

Bild 4-3 zeigt einen Lösungsvorschlag für die Anwendung in der Baugruppenfertigung.

Für diese Konzeptalternative sprechen insbesondere der einfache Aufbau des Fahrzeuges verbunden mit einer kostengünstigen Gestaltung der Lastaufnahmeeinheit. Außerdem läßt sich die Peripherie durch die Fahrzeugsteuerung einfach ansteuern. Zudem ist der Transport höherer Nutzlasten möglich, was sich insbesondere bei hohen Transportmengen positiv auf die Wirtschaftlichkeit auswirkt.

Demgegenüber stehen aber eine Reihe von Nachteilen. So ist das System als unflexibel einzustufen, da eine Verlegung der Übergabestationen mit großem Aufwand verbunden ist. Die Hubstationen haben einen hohen Raumbedarf und behindern so die Zugänglichkeit an der Maschine. Der Investitionsbedarf des Gesamtsystems erhöht sich, da an jeder Übergabestation eine Hubstation nötig ist.

Ein weiterer wesentlicher Punkt ist die Anforderung an das Steuerungskonzept, insbesondere dann, wenn ein lokales Verfahren der Handhabungseinheit ermöglicht werden soll. Gerade die Synchronisation von Hub- und Verfahrbewegungen der einzelnen Systemkomponenten erfordert reaktionsschnelle und hochgenaue Regeleinheiten und erzeugt einem hohen Kommunikationsaufwand. Nicht zuletzt wird durch diese Übergabe- und Rangierfahrten das Streckennetz unterbrochen (verfahrbares Teilstück). Dies verursacht eine massive Beeinflussung anderer Transportaufträge oder muß durch zusätzliche technische Maßnahmen, wie z. B. ein zusätzliches Schienenstück, kompensiert werden.

### ***Mobile Handhabungseinheit mit interner Hubachse***

Mit Hilfe der Hubachse ist es möglich, die Maschinen beliebig unter dem Schienensystem zu platzieren. Durch einfache Angabe von neuen Übergabekoordinaten können zusätzliche Übergabepositionen eingebunden oder bestehende variiert werden. Selbst wenn die Grundstruktur des Streckenlayouts festgelegt ist, so besteht doch entlang der Schienenführung die notwendige Flexibilität. Durch die Integration der Hubeinheit in das Fahrzeug besteht keine starre Verbindung zwischen Transport- und Produktionsebene, sodaß beide Systeme unabhängig voneinander konfiguriert und betrieben werden können. Dies vereinfacht nicht nur Auslegung und Betrieb der einzelnen Bereiche, sondern vermindert den Steuerungs-

aufwand erheblich. Lediglich die Übergabe der Transporthilfsmittel muß synchronisiert werden, was aber mit dem Austausch von nur wenigen Informationen (Kapitel 6.2.2) zu koordinieren ist.

Demgegenüber steht jedoch ein höherer Steuerungsaufwand im eigentlichen Handhabungssystem, verbunden mit einer geringeren Nutzlast durch die Handhabungsachse und dem gegebenenfalls notwendigen Drehmodul.

### Vergleichende Bewertung der Konzepte

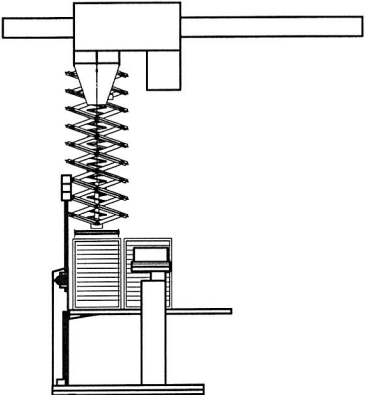
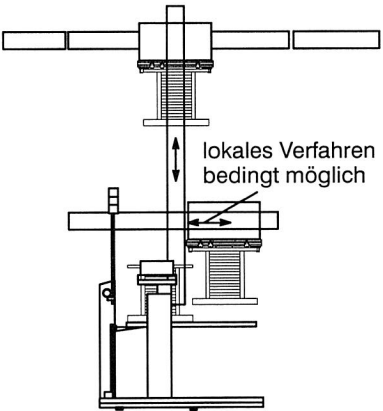
			
	Hubachse		Hubstation
+	<ul style="list-style-type: none"> <li>• schnelle, flexible Maschinenbedienung</li> <li>• flexible Positionierung der Bahnhöfe</li> <li>• geringe bewegte Massen</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• einfacher Fahrzeugaufbau</li> <li>• kostengünstige Gestaltung der Lastaufnahme</li> <li>• geringer fahrzeuginterner Steuerungsaufwand</li> <li>• hohe Nutzlast</li> </ul>
–	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geringe Nutzlast</li> <li>• geringe Steifigkeit</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• aufwendige Layoutänderung bei den Übergabestationen</li> <li>• hoher Raumbedarf</li> <li>• Behinderung der Maschinenbedienung</li> <li>• hoher Investitionsaufwand</li> </ul>

Bild 4-3 Zusammenfassende Beurteilung der vorgestellten Konzeptalternativen

Für das Erreichen eines wirtschaftlichen Einsatzes gilt es die Vorteile des jeweiligen Systems intensiv zu nutzen. So findet das Konzept mit der externen Hubstation vor allem dann Verwendung, wenn wenige Stationen bedient werden und die Transporte über lange Strecken erfolgen. Weitere Randbedingungen für den Einsatz dieses Konzeptes sind:

- hohe Fahrzeuganzahl bei geringer Stationenzahl
- unkritische Raumverhältnisse an den Stationen
- hoher Nutzlastbedarf

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß der Schwerpunkt des Einsatzes eindeutig auf der Transportfunktion des Systems liegt und dieses Konzept für eine vorrangige Versorgungsfunktion Einsatz findet. Unterstützt wird dies bei relativ zeitunkritischem Einsatzverhalten, so z. B. in der auftragsunabhängigen Materialversorgung, wie sie in der Mittel- und Großserienfertigung zu finden ist.

Im Gegensatz dazu findet das Konzept mit integrierter Hubachse vor allem dann Anwendung, wenn unter zeitlichen Restriktionen eine Vielzahl von Stationen bedient werden müssen. Ergänzende Randbedingungen stellen sich in folgender Form dar:

- beengte Raumverhältnisse an den Stationen
- flexible Kleinserienfertigung

Dieses Konzept stellt ein flexibles und einsatzschnelles Transport- und Handhabungssystem dar. Es bietet sich an für Aufgaben der direkten Maschinenbedienung und hat seinen Einsatzschwerpunkt in der Handhabungsfunktion. Dementsprechend unterstützt es einen durchgängigen Materialfluß ohne zusätzlichen manuellen Einsatz. Derart flexible Automatisierungskomponenten finden sich vorrangig in der Kleinserienproduktion.

## **4.2 Gestaltung und Adaption des Fahrzeug- und Schienensystems**

Aus wirtschaftlichen Gründen sollten bei Entwicklung und Einsatz neuer Transportsysteme Standardkomponenten eingesetzt werden.

Gegen eine Neuentwicklung von Fahrzeug- und Schienensystem sprechen auch die Standardisierungsbestrebungen der VDI-Richtlinie 3643 [91]. Ziel dieser VDI-Richtlinie ist es, eine rationelle Fertigung derartiger Anlagen zu unterstützen. Darüber hinaus aber fördert sie auch die Integration von neuen technischen Lösungen in bereits bestehende Anlagen. Diese Bestrebungen werden auch von Seiten der Fördertechnikhersteller massiv unterstützt, sodaß ein Großteil der Anbieter Hängbahnsysteme dieser Kategorie im Angebot führt. Dadurch kann nicht nur auf eine große Anzahl von Strecken- als auch Sonderkomponenten zurückgegriffen werden. Vielmehr können bereits bestehende Anlagen mit Komponenten für die Handhabung

von Transporthilfsmitteln erweitert und somit der Materialfluß im Bereich der Kleingeräteproduktion weiter optimiert und rationalisiert werden.

Im Zuge dieser Bestrebungen wurde versucht, auf die konventionelle Fahrzeugtechnik aufzusetzen. Eine durchgeführte Marktrecherche mit der Zielrichtung auf Einschienen-Fördersysteme im niederen Traglastbereich ergab, daß sich hier bereits Systeme am Markt etablieren konnten [43, 78, 112]. Für die zu entwickelnde Mobile Handhabungseinheit zeigte dabei ein flexibles Fahrwerkskonzept [85, 78], welches mit stehender oder liegender Schiene bzw. auch kombiniert betrieben werden kann, ideale Voraussetzungen.

### **Toleranzanforderungen**

Hauptsächliche Aufgabe von konventionellen Hängebahnsystemen ist der reine Transport von Ladeeinheiten zwischen Quelle- und Zielstationen [109]. Die Toleranzanforderungen an das Führungssystem der Fahrwerke sind bei diesen Transportanforderungen nicht sehr hoch. Aufgrund der starr angebrachten Führungsrollen ist vielmehr ein Führungsspiel im Millimeterbereich bei der Durchfahrt von Kurvenstücken erforderlich.

Dies stellt natürlich für den Bereich einer automatisierten Handhabung von kleinen Transporteinheiten einen wesentlichen Nachteil dar. Insbesondere bei der Übergabe der im Leiterplattentransport eingesetzten Kassettensysteme haben sich Positioniergenauigkeiten im Bereich kleiner 1 mm als erforderlich gezeigt.

Eine Entwicklung hin zu elastisch aufgehängten Spurführungen verspricht hier sicherlich Besserung, wurden jedoch schon in [109] als nicht wirtschaftlich realisierbar erkannt.

Insbesondere die Anforderungen an die hohe Positioniergenauigkeit bei der automatisierten Übergabe machen Modifizierungen an den konventionellen Systemen erforderlich.

### **Schienensystem**

Gegenüber herkömmlichen EHB-Systemen wurde die Einbaulage der Schiene modifiziert. Der Einsatz in *liegender* Bauweise birgt für die Realisierung der Mobilen Handhabungseinheit eine Reihe von Vorteilen in sich:

- einfache Aufhängung und damit einfache Montage
- Reduzierte Bauhöhe gegenüber dem vertikalen Einbau und damit einfachere Integration in bereits bestehende Produktionen
- ausreichende Tragfähigkeit für den Transport kleiner Lasten
- steife Ausführung der Aufhängung, geringere Einflüsse durch Torsionsbelastung
- Schutz der Schleifleiter

Im Rahmen dieses Konzeptes konnte auch die Problematik der Spurführungstoleranz ohne großen zusätzlichen Aufwand gelöst werden. Entsprechend Bild 4-4 muß das Biegen der Schienen um die z-Achse in folgenden Prozeßschritten erfolgen:

- die Schiene wird entlang der y-Achse aufgetrennt
- die Teilstücke werden entsprechend dem Kurvenradius gebogen
- die Teilstücke werden zu einem Stück verschweißt

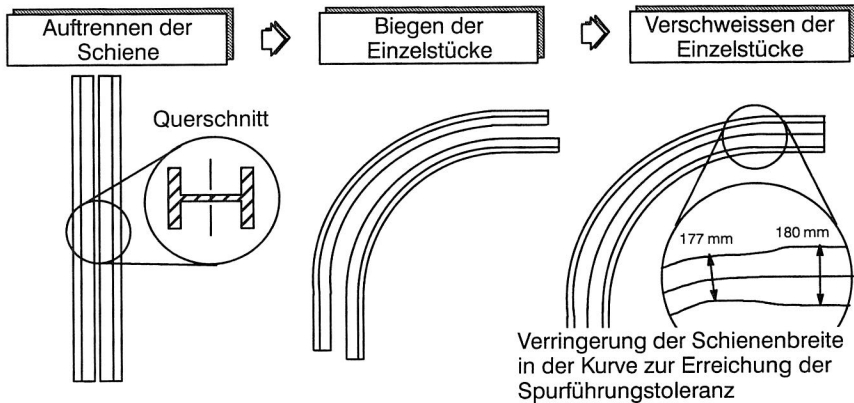


Bild 4-4 Kurvenherstellung bei liegend verlegten EHB-Schienen

In dieser Fertigungsabfolge ist es nun ohne zusätzlichen Aufwand möglich, die notwendige Spurführungstoleranz direkt in die Kurvenstücke zu legen (Bild 4-4). Das Fahrwerk kann somit mit einer Spurweite von exakt 180 mm (nach VDI 3643) ausgelegt werden und führt das Transportfahrzeug toleranzfrei entlang der Schiene.

Die hierbei akzeptierte Einschränkung der mangelnden Seitenführung in den Kurvenbereichen stellt keine Beschränkung des Systems dar, da eine Handhabung im Kurvenbereich durch entsprechende Layoutgestaltung zu umgehen ist.

Ein Nachteil verbirgt sich jedoch bei der horizontalen Verlegung der Schiene: Das Trägheitsmoment der Schiene in x-Ebene ist sehr viel geringer als in z-Ebene. Das führt zu einer sehr viel stärkeren Durchbiegung der Schiene bei liegendem Einbau, wie aus Bild 4-5 deutlich hervorgeht.

Dieser vermeintliche Nachteil kann aber durch eine Verringerung des Stützabstandes der Schiene kompensiert werden. Notwendig wird diese Maßnahme ohnehin nur im unmittelbaren Bereich von Übergabestationen, da sich im freien Streckenverlauf die Durchbiegung nicht negativ auf das Fahrverhalten auswirkt.

Als Ergebnis bleibt somit festzuhalten, daß für die Anforderungen einer durchgängig automatisierten Transportkette an bestehenden EHB-Fahrwerk-Schiene-Systemen

nur geringfügige Modifikationen vorgenommen werden müssen, um diese als Trägerfahrzeug für eine entsprechende Handhabungseinheit einzusetzen.

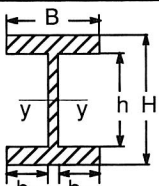
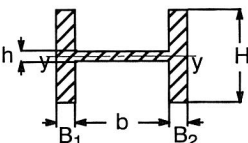
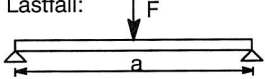
	Stehende Bauweise	Liegende Bauweise
Legende: E: E-Modul $I_y$ : Trägheitsmoment $f_{max}$ : max. Durchbiegung	 $I_y = \frac{BH^3 - bh^3}{12}$ mit $b = b_1 + b_2$	 $I_y = \frac{BH^3 + bh^3}{12}$ mit $B = B_1 + B_2$
Lastfall:  $f_{max} = \frac{F a^3}{48 E I}$	Maße: $B = 60 \text{ mm}$ $b_1 = b_2 = 26 \text{ mm}$ $H = 180 \text{ mm}$ $h = 130 \text{ mm}$	Maße: $B_1 = B_2 = 25 \text{ mm}$ $b = 130 \text{ mm}$ $H = 60 \text{ mm}$ $h = 8 \text{ mm}$
mit $F = 1200 \text{ N}$ $a = 1500 \text{ mm}$ $E = 70000 \text{ N/mm}^2$	$I_y = 19639667 \text{ mm}^4$ $f_{max} = 0,06 \text{ mm}$	$I_y = 905546 \text{ mm}^4$ $f_{max} = 1,33 \text{ mm}$

Bild 4-5 Durchbiegung des Schienenprofils im Vergleich:  
 Unterschiedliche Steifigkeit bei gleichem Querschnitt

### 4.3 Flexible Handhabung der Transporthilfsmittel

Entsprechend der Bewertung der Konzeptalternativen in Kapitel 4.1 wird für die weitere Betrachtung die Alternative mit integrierter Hubachse herangezogen. Dabei sind geeignete Konzepte für die Hubachse und die Greifereinheit zu finden.

#### Handhabungsachse

Zur Übergabe der Transporteinheiten ist mittels der Hubachse die Höhe zwischen Transportebene und Maschinenebene zu überbrücken. Diese bewegt sich in der Regel in einer Größenordnung von ca. zwei bis drei Metern.

Die Handhabungseinheit hat somit die Aufgabe, das Transporthilfsmittel an einer Station (Quelle) aufzunehmen und es in definierter Lage an einer Zielstation (Senke) abzugeben.

Eine Analyse von Systemen zur translatorischen "Höhenveränderung" im Materialfluß hat ergeben, daß hier zum einen frei hängende Systeme mit Seil- oder Band-



rollen oder geführte Systeme mit Antrieben wie Zylinder, Zahnstangen oder Gewindespindeln (Linearmodule) zum Einsatz kommen.

Die Einheiten auf Seilbasis, wie sie in Kransystemen Einsatz finden, genügen den Anforderungen bezüglich der Positioniergenauigkeit nicht.

Bisher in Handhabungssystemen des Materialflusses eingesetzte Linearmodule [80] haben den Nachteil, daß sie zum einen eine große Bauhöhe besitzen, welche gerade bei flurfreien Systemen eine stark einschränkende Wirkung auf das Einsatzspektrum hat. Zum anderen benötigen derartige Systeme in der Regel einen Verfahrraum in positive z-Richtung, wie dies von Portalanlagen her bekannt ist.

Um die genannte Problematik zu kompensieren, schlägt Schieleit in [109] die Realisierung eines Teleskopantriebes vor. Doch auch die hier realisierte Lösung eines Versorgungsfahrzeuges zur Lagerbedienung erreicht nur ein Hubverhältnis in der Größenordnung von ca. eins bis zwei, was sich für die geplante Anwendung als zu gering erweist. Weiter benötigt der komplette Aufbau einer Handhabungsachse auf Teleskopbasis nach wie vor einen großen Bauraum bei entsprechender Gewichtsbelastung.

Aufgrund der Ergebnisse dieser Recherche wurde für die Führung der Handhabungshauptachse das Prinzip einer stabilisierten doppelt parallelen Schere gewählt, wie sie in Bild 4-6 gezeigt ist.

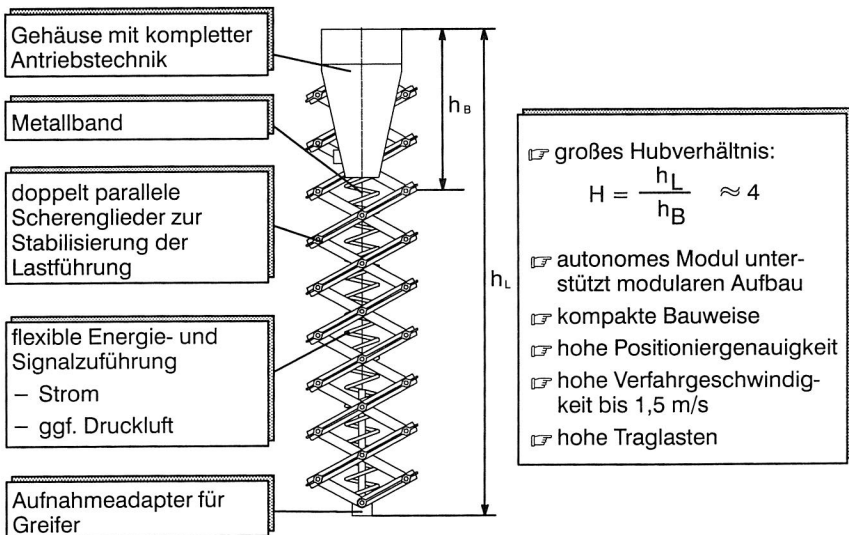


Bild 4-6 Stabilisierte doppelt parallele Scherenhubachse [84]

Die hier eingesetzten Scherenmodule dienen dabei nur der Stabilisierung. Die Last wird von einem Metallband getragen, das auf einem Cyclo-Getriebe aufgerollt wird.

Durch diese Ausführung baut das Linearmodul sehr kompakt und verfährt nur in negativer z-Richtung.

Weiter kann durch diese Lösung ein sehr großes Hubverhältnis realisiert werden, welches sich, je nach Ausführung der Hubachse, bis zu vier ergibt. Durch den modularen Aufbau ist die Hubachse durch die Anzahl der Scherenglieder individuell an die benötigte Übergabehöhe anpaßbar. Auch eine spätere Änderung der Konfiguration ist damit problemlos realisierbar.

Die Scherenhubachse stellt ein abgeschlossenes mechanisches System dar, das den modularen Aufbau des Transportsystems wesentlich unterstützt. Ausrüstbar mit diversen Alternativen für Antrieb und Steuerung läßt sich diese Lösung individuell an das übergeordnete Systemkonzept anpassen und integrieren.

### **Positionierverhalten**

Auf das Positionierverhalten der Scherenhubachse wirken unterschiedliche Einflußgrößen ein. Die wesentlichen sind:

- Längenänderung des Metallbandes
- Durchbiegung des Schienensystems
- ungenaue Positionierung des Fahrzeugs und
- Pendelbewegungen der Achse während des Handhabungsvorganges

Längenänderungen des Metallbandes konnten im Betrieb der Anlage nicht festgestellt werden. Dies ist zum einen auf die geringen Lasten zurückzuführen, welche transportiert werden. Zum anderen können Temperaturbeeinflussungen ebenso vernachlässigt werden, da die in der Elektronikproduktion auftretenden Temperaturschwankungen nur im Bereich einiger Kelvin liegen und somit keine wesentliche Beeinflussung darstellen.

Wie bereits in Kapitel 4.2 aufgezeigt, treten zwar auch bei der horizontal verlegten Schiene Durchbiegungen unter Last auf. Doch diese können ebenfalls durch geschickte Gestaltung des Streckenlayouts minimiert werden. Auch hier konnten während der durchgeführten Experimente keine wesentlichen Einflüsse festgestellt werden.

Ein weitaus größeres Problem stellt die notwendige genaue Positionierung des Fahrzeugs dar. Hier konnten die konventionellen Antriebs- und Steuerungssysteme die Anforderungen nicht erfüllen, sodaß ein neues Konzept, wie es im Kapitel 4.4 dargestellt ist, entwickelt wurde.

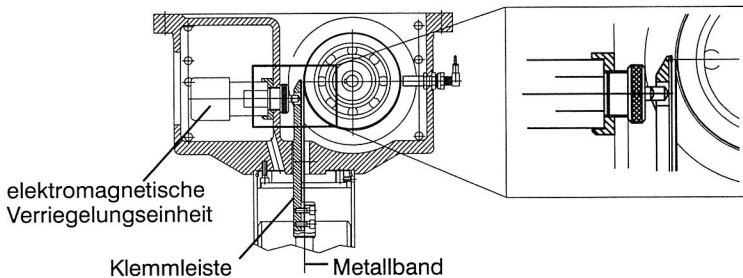
Stärkeren Einfluß zeigten dagegen auftretende Pendelbewegungen der Scherenhubachse während des Handhabungsvorganges. Durch die sehr steife Ausführung der Scherenhubachse konnten diese Einflüsse minimiert werden. Die gezielte Geschwindigkeitsregelung bei der Positionierfahrt, verbunden mit der hohen Positioniergenauigkeit des Trägerfahrzeugs, trägt zu einer weiteren Kompensation dieser

Störgröße bei. Unterstützt wird der Positioniervorgang durch Positionierhilfen an den Übergabestationen (Kapitel 6.2.2).

Die kegelförmigen Führungshilfen bieten ergänzend den Vorteil, daß eine zusätzliche Arretierung in z-Richtung nicht notwendig ist, da durch das Eigengewicht der Leiterplattenkassette eine hinreichende Stabilisierung erreicht wird. Dadurch ist das Transporthilfsmittel nicht nur direkt von oben bedienbar, sondern bedarf auch keiner weiteren Peripherie für die Handhabung. Dies unterstützt die Zielsetzung einer einfachen und kostengünstigen Gestaltung der Automatisierungskomponenten.

### **Verriegelungseinheit**

Handhabungsachsen sind heute vorwiegend stationär im direkten Umfeld von Maschinensystemen im Einsatz. Der mobile Einsatz hat sich noch nicht auf breiter Front durchsetzen können. Während Maschinensysteme durch entsprechende sicherheitstechnische Einrichtungen (Schutzkorridore etc.) vor dem unbefugten Zugang abgeschirmt sind, ist dies bei mobilen Systemen nur bedingt und meist nur unter hohem Aufwand möglich.



*Bild 4-7 Verriegelung der Handhabungseinheit im eingefahrenen Zustand*

Um den sicherheitstechnischen Anforderungen zu genügen, wurde die eingesetzte Scherenhubachse um eine Verriegelungseinheit erweitert. Diese gewährleistet, daß ein Versagen des Transportbandes nicht zum Absturz der Ladungseinheit bzw. des Handhabungsmoduls führt. Dazu wird die Handhabungsachse in eingefahrenem Zustand, d. h. auch während der kompletten Transportfahrt, durch einen Bolzen verriegelt (Bild 4-7). Der elektromagnetisch betätigte Verriegelungsbolzen ist dabei so ausgeführt, daß er in stromlosen Zustand in der Verriegelungsstellung verbleibt.

### **Greifersystem**

Für Greifsysteme im Bereich der Handhabung im Materialfluß soll in Anlehnung an [118] folgende Definition gelten:

Der Greifer ist dasjenige Subsystem der Handhabungseinheit, das eine begrenzte Anzahl von geometrisch bestimmten Transporthilfsmitteln für einen bestimmten Zeitraum hält.

Gerade bei den Transporthilfsmitteln finden sich eine Vielzahl von unterschiedlichen Varianten, sodaß deren Handhabung sehr flexibel aufgebaut werden muß. Dies ist durch folgende Lösungsansätze möglich:

Ausstattung der Handhabungseinheit mit einem

- Greiferwechselsystem oder
- universellen Greifsystem

*Greiferwechselsysteme* bieten den Vorteil, daß die Flexibilität der Handhabungssysteme wesentlich erhöht werden können. Für den Einsatz in einer mobilen Einheit weisen sie aber auch deutliche Nachteile auf. So widersprechen sie der Zielsetzung der Bauraum- und Gewichtsminimierung. Weiter stellen die Energie- und Signalführung, sowie die programmtechnische Einbindung der Systeme aufwandsintensive Teilbereiche dar. Nicht zuletzt aber erhöhen sich durch notwendige Greiferwechsel, und damit verbunden die entsprechenden Zeitanteile für Leerfahrten und Greiferwechsel, die Transportzeiten im Materialflußsystem. Im Sinne einer flexiblen JIT-Versorgung der einzelnen Produktionseinheiten führt dies zu entsprechenden Problemen. Feststellen läßt sich daher, daß durch Greiferwechselsysteme zwar die Einsatzflexibilität der Systeme erhöht werden kann, dies allerdings auch mit entsprechendem Kosteneinsatz verbunden ist und damit die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems geschmälert wird.

Beim Einsatz eines *universellen Greifersystems* sollen alle auftretenden Transporthilfsmittel mit einem Greifersystem bedient werden. Dies erfordert Bestrebungen in zweierlei Hinsicht:

- Greifersystem mit großem Spannbereich
- Standardisierung der Transporthilfsmittel

Diese beiden Forderungen lassen sich im Bereich der Elektronikproduktion realisieren. Der Einsatz von Leiterplattenkassette und Kleinladungsträger als Standard-Transporthilfsmittel haben sich im industriellen Umfeld bereits etabliert und durch eine Greiferkinematik auf Basis einer NC-Achse läßt sich der geforderte Greifbereich realisieren.

Eine große Bedeutung beim Einsatz von Greifern in Materialflußsystemen kommt dem Halteprinzip des Greifers zu, da es von unmittelbarer sicherheitstechnischer Bedeutung ist.

Der Langhubgreifer (Bild 4-8) ist dafür mit Haltebremsen ausgestattet, welche ein unbeabsichtigtes, selbständiges Öffnen der Greiferbacken verhindern. Die entwickelten Greifleisten sind zusätzlich mit einem Fixierbock versehen, welcher seitliche Bewegungen während des Transports verhindert. Weiter unterstützt diese Fixierung eine präzise Übergabe der Transporthilfsmittel.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Ausstattung des Greifers mit der relevanten Sensorik. Aufgrund der einfachen Aufnahmegeometrien der Transporthilfsmittel konnte auf die Ausführung des Greifers als zusätzliche NC-Achse verzichtet werden.

Die notwendigen Informationen über die aktuelle Greifbackenstellung liefern induktive Näherungsschalter, welche entsprechend dem Transporthilfsmittel am Greifersystem positioniert werden. Durch den Einsatz mehrerer Sensoren lassen sich auch Schaltpositionen für unterschiedliche Transporthilfsmittel realisieren. Unterstützt wird dieses Vorgehen durch die symmetrische Arbeitsweise des Langhubgreifers, sodaß jeweils nur eine Backenposition abgefragt werden muß.

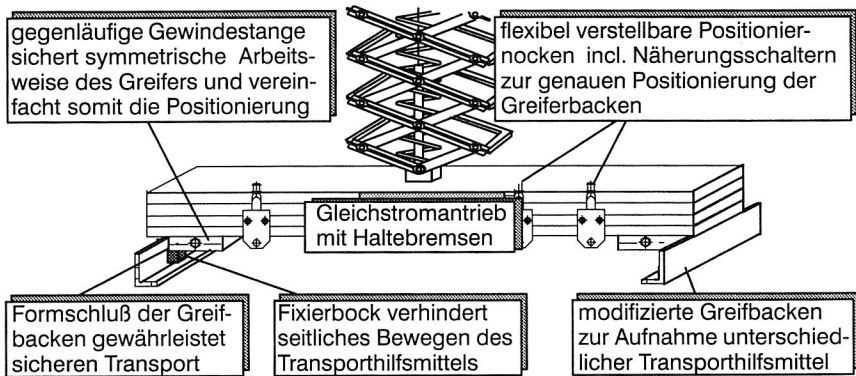


Bild 4-8 Langhubgreifer als flexible Schnittstelle zwischen Handhabungseinheit und Transporthilfsmittel [nach 83]

## 4.4 Konzeption des Antriebs- und Steuerungssystems

Bisher sind im Umfeld der Elektrohängebahntechnik eine Reihe von Einzellösungen realisiert worden, welche entweder die Mobilisierung einer Handhabungseinheit, in der Regel eines Industrieroboters, oder die Handhabung eines Transportgutes oder Transporthilfsmittels zum Ziel hatten [53].

In diesen Fällen wurde das EHB-Fahrzeug in seiner Standardausführung, vor allem mit der Standardsteuerung, übernommen. Dies bedeutet erreichbare Positioniergenauigkeiten der Fahrzeuge im Zentimeterbereich. Bei Bedarf wurde zusätzliche Sensorik zur Programmkorrektur, wie z. B. die Nullpunktverschiebung bei Industrierobotern eingesetzt [109]. Eine weitere Unterstützung zur Erhöhung der Positioniergenauigkeit findet sich durch den Einsatz von mechanischen Positionierhilfen, wie z. B. Klemmvorrichtungen etc.

Aus der bisherigen Bewegungsanalyse geht hervor, daß der zusätzliche Einsatz von Peripherie im Rahmen der Handhabungsfunktion nicht erforderlich ist. Um diesen wesentlichen Vorteil aufrecht zu erhalten, gilt es, die erforderliche Positioniergenauigkeit von  $\pm 0,5$  mm systemintern zu erreichen.

Das Einsatzspektrum der Transportsystems verlangt darüberhinaus nach

- hoher Dynamik der Antriebe
- hohen Reaktionsgeschwindigkeiten
- geringem Wartungsaufwand und einer
- systemintern einheitlichen Lösung.

Diese Zielsetzung macht eine Neukonzeption des Antriebs- und Steuerungssystems notwendig.

#### **4.4.1 Fahrzeuginternes Steuerungskonzept**

##### **Anforderungen an das Antriebs- und Steuerungskonzept**

Für das Erreichen einer durchgängigen Materialflußautomatisierung sind eine Reihe von Anforderungen durch das Antriebs- und Steuerungssystem zu erfüllen:

- freie, flexible Positionierung des Fahrwerks aus beiden Fahrtrichtungen
- freie Positionierung der Scherenhubachse
- autarke, intelligente Fahrzeugsteuerung mit mobiler Kommunikationsanbindung an Leitsystem und Übergabstation
- Positioniergenauigkeit der Transport- und Handhabungsachse von  $\pm 0,5$  mm
- Transportgeschwindigkeit  $\approx 1,5$  m/s bei hoher Dynamik des Antriebsstranges

Neben diesen sehr konkreten Anforderungen sind noch eine Reihe von qualitativen Bedingungen und Wünschen zu erfüllen, so z.B. der Einsatz von wartungsarmen Komponenten.

Basis für die detaillierte Auslegung des Gesamtkonzeptes ist die Entscheidung für ein Positionierkonzept, auf welches die weiteren Komponenten abgestimmt sein müssen.

##### **Positionierkonzept**

Für die Positionierung eines Objektes stehen grundsätzlich zwei verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung:

Bei der *Lagesteuerung* (Bild 4-9a) wird der Geschwindigkeitsregler mit einem voreingestellten Sollwert versorgt bis ein definiertes Um- oder Abschaltkriterium erreicht wird.

Nach diesem Abschaltkriterium kommt der Motor jedoch nicht kontrolliert zum Stillstand. Die Positioniergenauigkeit ist von einer Vielzahl von Kriterien abhängig, so z. B. dem Beladungszustand des Transportmittels.

Demgegenüber steht die Positionierung durch *Lageregelung* (Bild 4-9b). Hierbei bekommt die Positioniersteuerung einen Lagesollwert vorgegeben und vergleicht diesen ständig mit einem Istwert, der durch ein *Lagemeßsystem* ermittelt wird.

Dem einfachen und kostengünstigen Aufbau entsprechend und den bisherigen Anforderungen genügend werden konventionelle EHB-Fahrwerke mit Systemen zur Lagesteuerung ausgestattet.

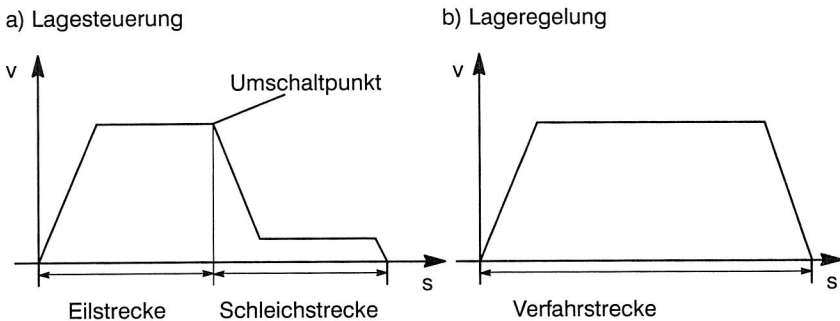


Bild 4-9 Gegenüberstellung der Kenngrößen der Positionierkonzepte Lagesteuerung und Lageregelung

Verstärkt wird dieses ungenaue Positionierverhalten zusätzlich durch den Reibrad-antrieb der EHB-Fahrwerke. Insbesondere in den Beschleunigungsphasen können hier Positionsabweichungen durch Schlupf auftreten.

Der Reibradantrieb zeichnet sich aber durch einen einfachen Aufbau und wartungs-armen Betrieb aus und soll aus diesen Gründen erhalten bleiben.

### Antriebskonzept

Im Zuge der Entwicklungsarbeiten wurden folgende alternativen Antriebskonzepte untersucht:

- Asynchronmotoren mit Lagesteuerung  
Wesentlicher Vorteil dieser bisher eingesetzten Lösung ist der Einsatz kostengünstiger Komponenten. Dem steht jedoch gegenüber, daß Halte-stellen und Abschaltunkte codiert werden müssen.
- Gleichstrommotor bzw. elektronisch kommutierter Motor mit Lageregelung  
Erst der Einsatz der Lageregelung ermöglicht kontrollierte Bewegungs-abläufe bis zum Stillstand durchzuführen und damit eine flexible und sehr exakte Positionierung zu realisieren.

Den Anforderungen an Positioniergenauigkeit und -dynamik in Verbindung mit einem flexiblen Einsatz konnte nur die lagegeregelter Alternative entsprechen. Zum

Einsatz kommt dabei die Alternative mit dem Elektronisch kommutierten Motor (Ek-Motor), da dieser bei den Kriterien Bauvolumen, Gewicht und Wartungsaufwand überzeugte.

Zusammenfassend sind die Ergebnisse in Tabelle 4–1 dargestellt:

Merkmal			
Antriebsmotor	Asynchronmotor	Gleichstrommotor	EK-Motor
Dynamik	–	++	++
Positioniergenauigkeit	–	++	++
Flexibilität	–	+	+
Wartungsaufwand	+	--	+
Sensorik	--	o	o
Informationsgehalt	–	+	+
Gewicht	–	+	++
Kosten	++	–	–
Gesamturteil	--	+	++

Tabelle 4–1 Gegenüberstellung der untersuchten Lösungsansätze

### Steuerungskonzept

Nach der Festlegung der Antriebskomponenten gilt es nun, für diese ein geeignetes Steuerungskonzept auszulegen. Die wesentlichen Aufgaben, welche die Steuerung zu erfüllen hat, sind dabei:

- Positionierung der Transportachse
- Positionierung der Handhabungsachse
- Ansteuerung der Peripherie (z. B. Greifer)
- Kommunikation mit dem übergeordneten Leitsystem

Der neue Lösungsansatz gegenüber konventionellen Systemen besteht in der Anwendung einer mitgeführten Positioniersteuerung für das Handhabungssystem, insbesondere für die Transportachse.

Dem modularen Aufbau des Gesamtsystems entsprechend wurden für die Ansteuerung der Subsysteme zwei Einachs-Positioniersteuerungen eingesetzt, welche über ein internes Bussystem miteinander kommunizieren. Durch integrierte SPS-Funktionalität sind diese Steuerungskomponenten weiter in der Lage, die Ablaufsteuerung des Transport- und Handhabungsvorganges zu übernehmen.

Basis für die *Positionierung* sind zwei lagegeregelte Achsen. Die entsprechenden Lagesollwerte werden vom SPS-Teil der Steuerung an die jeweiligen Lageregler übertragen, welche die Motoren ansteuern. Für die Beschleunigungskennlinie ist dabei zu unterscheiden zwischen:



- linearer Geschwindigkeitsänderung mit konstantem Drehmoment oder
- quadratischer Geschwindigkeitsänderung bei linearer Beschleunigungsänderung

Obwohl die erste Alternative eine geringe Positionierzeit ermöglicht, erreicht man durch die Wahl der zweiten Variante eine ruckbegrenzte und damit produkt-schonendere Positionierung.

### **Wegmessung**

Von besonderer Bedeutung für das gesamte Antriebs- und Steuerungskonzept ist die Ermittlung der aktuellen Lage-Istwerte.

Grundlegende Randbedingungen für die Anwendung in einem Transportsystem sind dabei:

- im Vergleich zu NC-Maschinen und Industrierobotern geringe Genauigkeitsansprüche ( $\pm 0,5$  mm)
- großer Meß- bzw. Verfahrbereich

Entsprechend der Anbindung an die Positioniersteuerung wurde die digitale Meßwerterfassung gewählt, wobei hier zu unterscheiden ist zwischen:

- digital-absoluter Erfassung und
- inkrementeller Erfassung.

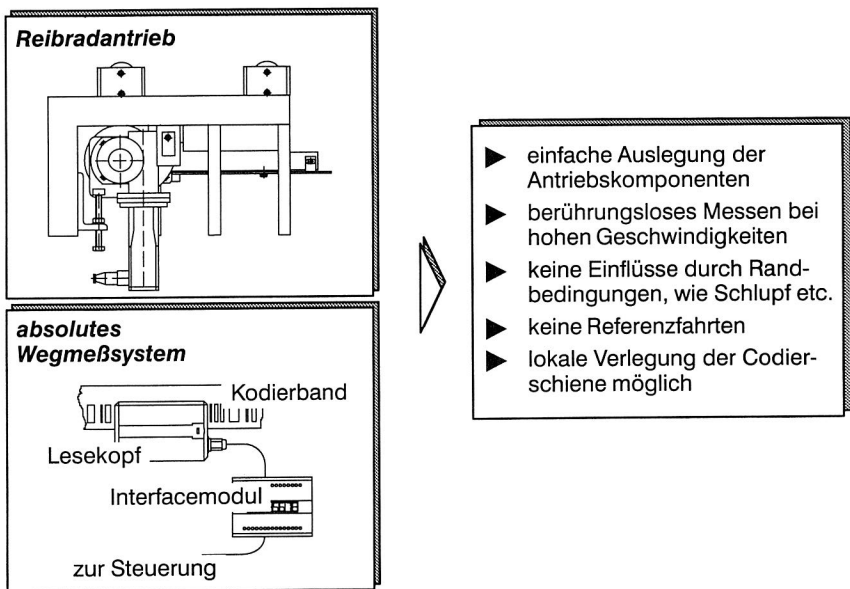
Aus den genannten Anforderungen heraus fanden beide Meßverfahren Anwendung.

In der *Transporteinheit* wurde ein direkt arbeitendes, absolutes Meßsystem eingesetzt. Dieses besteht aus einer einspurigen Codeschiene, dem Lesekopf und der zugehörigen Auswertelektronik (Bild 4-10). Mit dem Einsatz dieses Systems ergibt sich der Vorteil, daß der entstehende Schlupf zwischen Antriebsrad und Schiene keinen Einfluß auf die Positioniergenauigkeit hat.

Der Lesekopf arbeitet berührungslos nach dem photoelektrischen Prinzip mit einer maximalen Lesegeschwindigkeit von 10 m/s. Das Gesamtsystem erreicht dabei eine Positioniergenauigkeit von  $\pm 0,4$  mm und ist sowohl auf geraden als auch gekrümmten Wegstrecken einsetzbar [86].

Für die Anwendung in automatisierten Transportsystemen bietet dieses Meßsystem einen zusätzlichen Vorteil. Ergänzend zu der Möglichkeit der kompletten Codierung des Schienensystems ist es gegebenenfalls ausreichend nur die Haltestellen mit Codeschienenstücken zu versehen. Dies hat insbesondere bei weitläufigen Schienensystemen einen Investitionskostenvorteil, aber zugleich den Nachteil, daß bei einem Stillstand außerhalb der Codierschiene die aktuelle Position nicht ermittelt werden kann.

Für die Wegmessung in der *Scherenhubachse* wird ein in den Antriebsmotor integrierter Resolver [55] als indirekt arbeitendes System eingesetzt.



*Bild 4-10 Flexible Positionierung der Transportachse durch direkt arbeitendes, absolutes Wegmeßsystem in Kombination mit Reibradantrieb*

#### 4.4.2 Steuerungskonzepte für die Wegfindung

Ein weiterer Punkt, der unmittelbar mit dem Steuerungskonzept in Verbindung steht, ist die Wegfindung der Fahrwerke in den komplexen Streckenanlagen. Mittels entsprechender Schienenkonfiguration muß eine durchgängige Verbindung zwischen Quelle und Senke hergestellt werden. Dabei unterscheidet man zwischen zwei grundsätzlichen Strategien, der

- zentralen Wegesteuerung,  
bei welcher bereits vor Fahrtbeginn der komplette Fahrweg gestellt wird, oder der
- dezentralen Wegesteuerung  
bei welcher dynamisch während der Fahrt an den Entscheidungsstellen (Weichen etc.) den Transportanforderungen entsprechend reagiert wird.

##### **Zentrale Wegesteuerung**

Für den Aufbau einer zentralen Instanz zur Wegsteuerung spricht die Vereinfachung der Steuerung. Der zentralen Fahrwegsteuerung ist das komplette Anlagenlayout



hilfsmittel genutzt wird oder aber ein zusätzliches System an die Fahrzeugsteuerung angebunden wird.

Für das bestehende Streckenlayout werden dabei schon im Vorfeld optimale Fahrtrouten geplant, sodaß an den Entscheidungsstellen für das Schlüsselattribut *Zielbahnhof* eine definierte Weichenstellung hinterlegt ist. Im Falle einer reinen dezentralen Steuerung, d. h. daß die Schreiblesestationen (Bild 4-11) bereits über die entsprechende Intelligenz verfügen, kann dies aber zu Problemen bei der Blockierung von Teilstrecken führen. Werden die gelesenen Informationen jedoch einer zentralen Instanz weitergemeldet, kann diese entsprechende Ausweichrouten planen und den Fluß aufrecht erhalten.

Für den Einsatz in der flexiblen Kleinserienproduktion der Elektronik ist die Alternative Bild 4-11a von Interesse, da die Standardisierung der Transporthilfsmittel sehr weit fortgeschritten ist und der Einsatz eines Identifikationssystems die Flexibilität in der Montage zudem positiv beeinflusst.

## 4.5 Integration des Gesamtsystems

Entsprechend Bild 4-12 wurden die bisher dargestellten Komponenten zu einem Gesamtsystem kombiniert. Durch die Wahl der einzelnen Komponenten ist es gelungen ein sehr kompaktes Mobiles Handhabungssystem zu entwickeln, welches den Anforderungen der Kleingeräteproduktion Rechnung trägt.

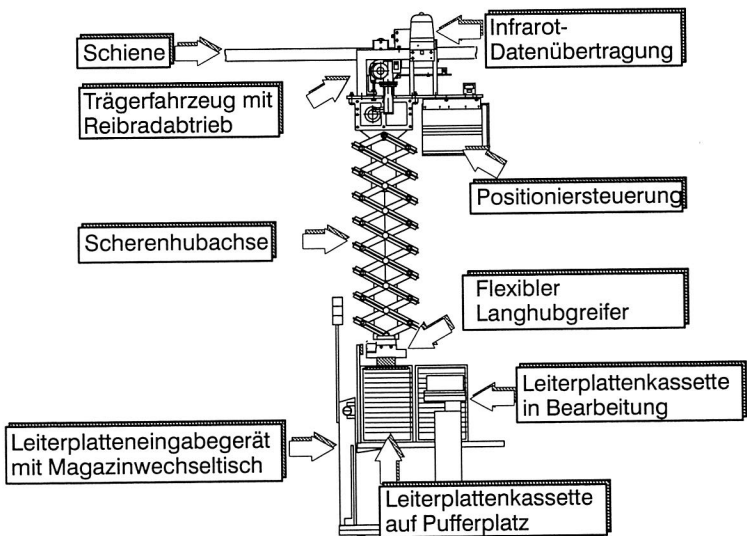


Bild 4-12 Aufbau des Prototypen für die Mobile Handhabungseinheit im Verbund mit dem Leiterplatteneingabegerät

Insbesondere der kompakte Aufbau der kompletten Steuerungstechnik ermöglicht deren Integration in das Fahrzeugsystem. Hiermit wird die geforderte Autonomie des Transportsystems erreicht, die es gewährleistet, daß komplette Transportaufträge ohne zusätzliche externe Unterstützung durchgeführt werden können.

Wesentlichen Einfluß auf die Gesamtfunktionalität und die Ablaufoptimierung der Mobilen Handhabungseinheit hat die eigentliche Steuerungssoftware. So müssen bestimmte anforderungsspezifische Besonderheiten programmtechnisch gelöst werden. Hier sind zu nennen:

- Berücksichtigung der Streckentopologie (z. B. Geschwindigkeitsreduzierung vor Kurvenfahrt etc.)
- Kommunikation mit dem übergeordneten Leitsystem
- flexibel parametrierbare Positionswerte von Transport- und Handhabungsachse
- Synchronisation von Transport- und Handhabungsachse
- höhenabhängige Positionierung der Hubachse (z. B. Magazinwechsel während der Bearbeitung)

### Variable Geschwindigkeitsprofile

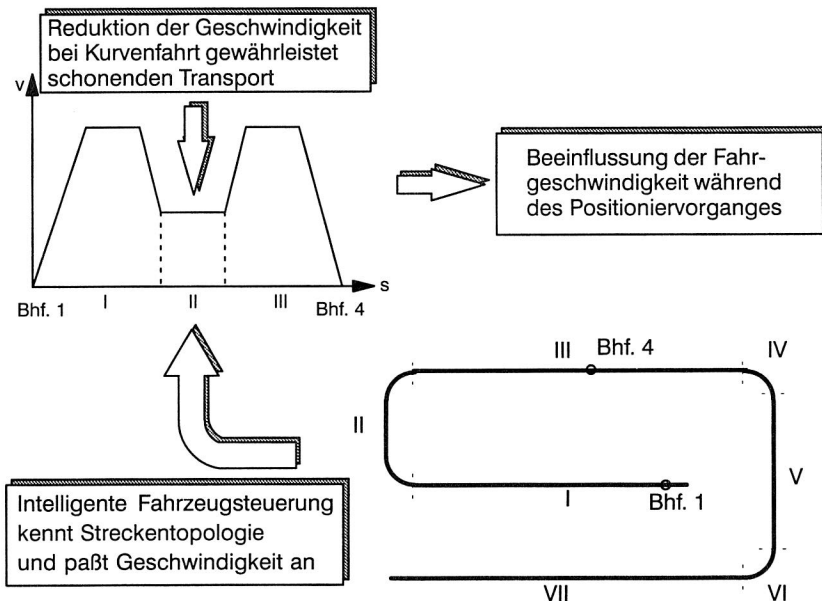


Bild 4-13 Strukturelle Bereichseinteilung und überschleifende Positionierung an virtuellen Zielen ermöglicht ein angepaßtes Geschwindigkeitsprofil

Positioniersteuerungen sind in der Regel so ausgelegt, daß während eines Positionierbefehls eine Beeinflussung der Geschwindigkeit nicht möglich ist. Um dennoch eine an die Streckentopologie angepaßte Geschwindigkeit zu realisieren und zugleich einen kontinuierlichen Transportablauf zu gewährleisten, ist das Streckenlayout gedanklich in einzelne Bereiche einzuteilen (Bild 4-13).

Bei einem Bereichswechsel, der durch das absolute Wegmeßsystem einfach festgestellt werden kann, wird geprüft, ob das Ziel innerhalb des nächsten Bereiches liegt. Ist dies der Fall, so wird das Ziel direkt angefahren, andernfalls wird mit der Funktion *Überschleifen* die nächste Bereichsgrenze angefahren. Dieses Überschleifen erlaubt es, eine Position anzufahren ohne dort zum Stillstand zu kommen, womit ein kontinuierlicher Transportablauf erreicht wird.

### **Flexibler Wechsel der Leiterplattenkassetten**

Eine wesentliche Ablaufoptimierung wird durch den höhenunabhängigen Wechsel der Leiterplattenkassetten erzielt. Dies ist vor allem beim Einsatz von Leiterplattenein-/ausgabeeinheiten mit Wechseltisch von Interesse (s. Kap. 6.2.2). Dabei wird über einen Sensor am Greifer ein besonders schneller Eingang der Positioniersteuerung initialisiert. Ab diesem Signal ist programmtechnisch eine definierte Positionierstrecke hinterlegt, welche noch verfahren wird. Dieses Signal wird durch einen am Hubtisch des Leiterplatteneingabegerätes fest installierten, und damit mitfahrenden Reflektor, gegeben (Bild 4-14).

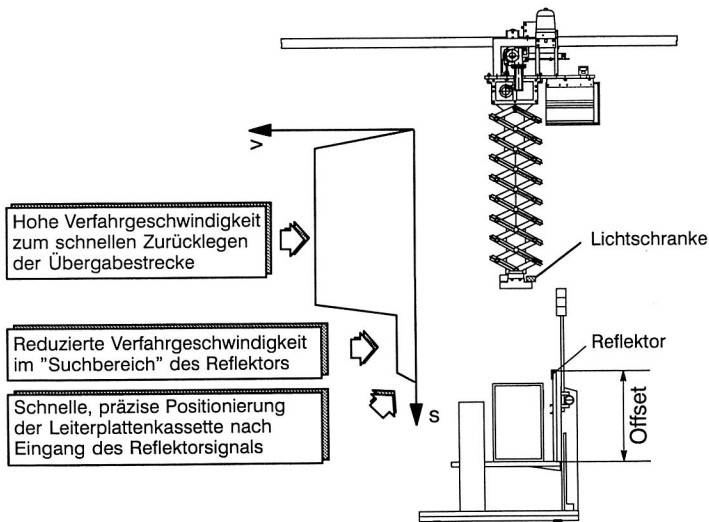


Bild 4-14 Ablaufoptimierung durch flexible, höhenunabhängige Bedienung der Leiterplattenkassetten mittels sehr schnellem Steuerungseingang

## 5 Konzept des integrierten Materialfließsystems

Die allgemeine Zielsetzung eines Leitstandes ist die Synchronisation der an der Produkterstellung beteiligten Abläufe [26]. Die Grundvoraussetzung für diese Koordination ist dabei die präzise und schnelle Bereitstellung und Verarbeitung der benötigten Informationen, um Material durch Informationen zu ersetzen [45, 132].

Heute eingesetzte Leitstände übernehmen dabei zuwenig die Aufgabe der Unterstützung und Optimierung des Produktionsprozesses, als vielmehr die Rolle des Informationssystems über den Arbeitsvorrat und dessen Verteilung [26].

Die konkrete Zielsetzung des hier implementierten Materialfließsystems wird durch die folgenden Punkte bestimmt:

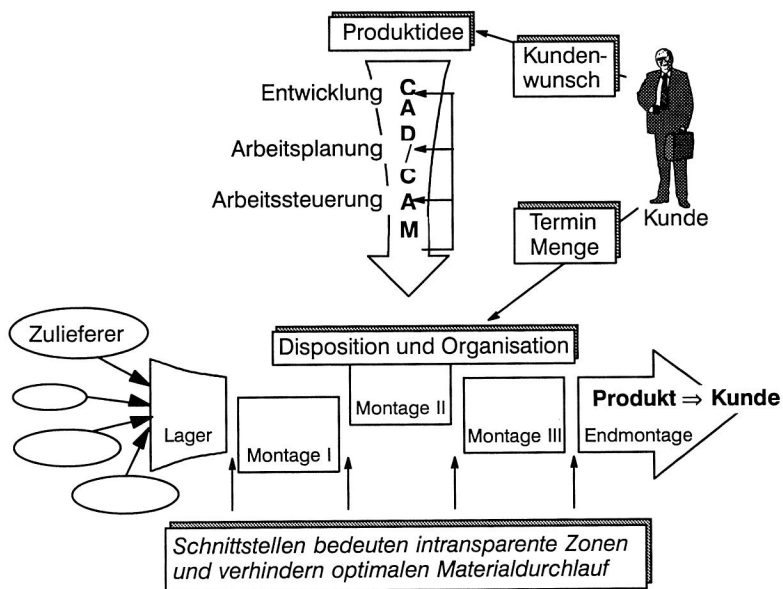
- Trotz der grundlegenden dezentralen Struktur, basierend auf intelligenten Subsystemen, besteht der Bedarf einer zentralen Koordination und Synchronisation der autonomen Bereiche.
- Der Aufbau einer durchgängigen Materialflußautomatisierung, basierend auf dem Einsatz ineinandergreifender problemorientierter Lösungskomponenten, erfordert die Integration aller Subsysteme unter besonderer Berücksichtigung der Systemspezifika.
- Hochdynamische Strukturen erfordern über die einmalige Planungsaufgabe hinaus eine permanente Anpassung der Systemparameter an die sich ändernden Randbedingungen. Das Materialfließsystem muß hier sowohl durch einen modularen, als auch flexiblen Aufbau in der Lage sein diese Anforderungen zu erfüllen.

Ein umfassendes Informationsmanagement ist hier in der Lage, entsprechendes Rationalisierungspotential freizusetzen [101]. Dies insbesondere in den logistisch relevanten Bereichen Durchlaufzeiten und Bestände.

Der Aufbau eines durchgängig automatisierten Materialfließsystems bedeutet eine ganzheitliche Betrachtung der Aufgaben des Materialmanagements. Bei diesen Bestrebungen wurde bereits sehr früh die Bedeutung des Datenmanagements innerhalb der produktionslogistischen Optimierungen erkannt [35, 59, 69, 93, 95, 125, 138].

Gegenüber dem technischen Datenfluß, welcher heute in den meisten Fällen durch entsprechende CAD-CAM-Ketten durchgängig implementiert ist [70], finden sich insbesondere in der Auftragssteuerung sektorale Insellösungen. Durch Materialfluß- und Informationsschnittstellen kommt es dadurch zu zahlreichen Systembrüchen mit den Problemfeldern Durchlaufzeit und Beständen (Bild 5-1).

In Kapitel 4 wurde mit der Mobilen Handhabungseinheit ein technisches System zur durchgängigen Gestaltung des Materialflusses entwickelt. Im nun folgenden Abschnitt wird die informationstechnische Einbindung betrachtet.



*Bild 5-1 Mangelnde Durchgängigkeit und Integration im Auftragsdurchlauf blockieren optimale Produktion*

Die Hauptaufgabe besteht dabei in der *Überbrückung und Koordination der segmentübergreifenden Schnittstellen*. Um dieses Ziel zu erreichen bedarf es einer Vielzahl von Informationen über das operative Geschehen, welche vom Leitrechner gesammelt, gegebenenfalls verdichtet und entsprechend verarbeitet werden müssen.

Mit diesen Fähigkeiten ausgestattet ist das Logistikleitsystem aber nicht nur in der Lage, steuernd bzw. regelnd in den Materialfluß einzugreifen, sondern darüber hinaus Schwachstellen zu erkennen und so den Auftragsdurchlauf zu optimieren. Dazu wird die Aufgabenstellung neu definiert und in folgende Bereiche gegliedert (Bild 5-2):

- Planung
- Optimierung
- Steuerung und Regelung
- Statistik und Kennzahlenbildung
- Controlling und Entscheidungsunterstützung

Die Bedeutung und Notwendigkeit eines derart umfassenden Ansatzes wurde bereits in [104] angedacht. Aber erst in der heutigen Zeit ist durch die Entwicklungen am Hardwaremarkt und vor allem im Bereich der Kommunikation die Möglichkeit gegeben, die Realisierung dieser Ideen voranzutreiben.



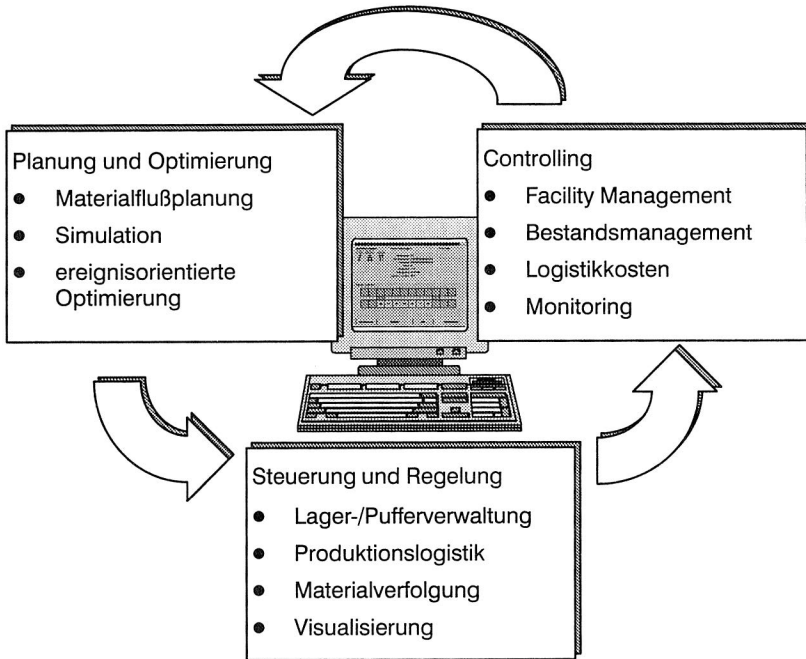


Bild 5-2 Aufgabenspektrum und Einsatzbereiche eines Logistikinformations- und leitsystems in der Elektronikproduktion

Nach Rupper [104] ist die Logistik dabei wie folgt zu sehen:

Die **Logistik** stellt die Summe aller Tätigkeiten dar, durch die Funktionen der Zeit- und Raumüberwindung (z.B. transportieren, umschlagen, lagern) für Güter und Lebewesen **einschließlich** der Betrachtung **zugehöriger Information** und Energien, unter Verwendung von Arbeitskräften und -mitteln in Systemen **untersucht, geplant, realisiert und optimiert** werden.

In den beiden nachfolgenden Thesen konkretisiert Rupper die Aufgaben eines Logistiksystems. Die dabei gemachten Ansätze sind insbesondere durch den Einsatz entsprechender Leittechnik zu erreichen:

These 1: "Logistik ist ein Instrumentarium zur *Gewährleistung, Steuerung und Kontrolle* der vom Markt geforderten *Flexibilität* der Unternehmensproduktivität."

These 2: "Logistik umfaßt die optimale Planung, Steuerung und Kontrolle aller Lager- und Transportvorgänge und beinhaltet damit die *optimale Gestaltung aller Wertflüsse* zum, im und vom Unternehmen."

Eine Analyse der bisher in der Elektronikproduktion eingesetzten Leittechnik soll dabei bereits realisierte Funktionen und Schnittstellen aufzeigen und die Integration eines Materialflußleitmoduls unterstützen.

## **5.1 Leittechnik in der Elektronikproduktion**

Leitsysteme haben allgemein die Funktion, die vom übergeordneten PPS-System eingeplante, und meist detailliert terminierte Auftragsausführung in einem bestimmten Produktionsbereich *durchzusetzen*. Ausgehend von einer Überprüfung der vorhandenen Ressourcen übernehmen sie die Disposition der anstehenden Aufträge und melden deren Arbeitsfortschritt an das PPS-System zurück.

### **5.1.1 Produktionsleittechnik in der Elektronikproduktion**

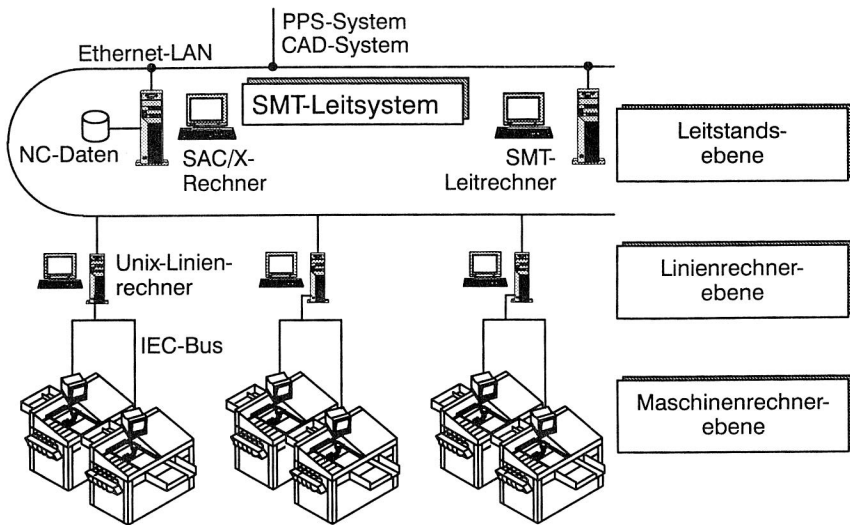
Zielsetzung der Produktionsleittechnik in der Elektronikproduktion ist die *rechnergeführte Auftrags- und Materialflußsteuerung zur Senkung der Bestandskosten*, sowie die *informationstechnische Integration aller Produktionsbereiche zur Verkürzung der Durchlaufzeit* [58].

Des weiteren wird für den Bereich der Elektronikproduktion der Bedarf an einer rollierenden Planung und kontinuierlichen Optimierung prognostiziert [58], wobei in den heute realisierten Systemen und Entwicklungen diese Forderungen zu wenig berücksichtigt werden.

Nach [77] übernehmen SMT-Leitsysteme heute vorrangig folgende Aufgaben:

- Auftragsverwaltung und -weitergabe an einzelne Linien
- Linienübergreifende Rüst- und Durchlaufzeitoptimierung, Störfallmanagement
- Zentrale NC-Programmhaltung und bidirektionale Programmübertragung an die Linien
- Kommunikation mit übergeordneten Systemen (PPS, CAE, CAQ etc.)
- BDE-/MDE-Funktionalitäten zur Informationsbeschaffung der Linienzustände

Wie Bild 5-3 verdeutlicht übernehmen bestehende Leitsysteme vorrangig Funktionen des technischen Auftragsflusses. So ist die zentrale Datenhaltung der Bestückprogramme eine charakteristische Kernaufgabe. Diese stellt jedoch eine reine Funktion der Informationsverteilung dar und unterstützt damit die *Leitfunktion* des Systems im Sinne eines optimierenden Produktionsmanagements nur bedingt.



*Bild 5-3 Linienübergreifende Steuerung von SMT-Bestückssystemen mit SMT-Leitrechner und zentraler NC-Programmverwaltung [77]*

Auch die weiter genannten Funktionen bedeuten im Prinzip nur reines Informationsmanagement, was wiederum die Folge traditioneller Organisationsformen darstellt. Lange Informationswege in stark hierarchisch organisierten Strukturen werden durch entsprechende Rechentechnik unterstützt. Doch auch durchgängige Kommunikationsstrukturen sind nur bedingt in der Lage, die Problemfelder hierarchischer Organisationen zu kompensieren. So kennzeichnen mangelnde Transparenz und hohe Reaktionszeiten bei Störungen oder Flexibilitätsanforderungen diese Systeme.

Im organisatorischen Umfeld reduziert sich die Kompetenz des Leitsystems auf die Einlastung und Verwaltung der Produktionsaufträge, die Meldung von Produktionsstörungen an übergeordnete Systeme etc. Sie sind in der Regel zugeschnitten auf eine bestimmte Produktionsstruktur bzw. -umgebung und stellen in den meisten Fällen eine Insellösung dar. So sind auch in diesem Bereich nur bedingt optimierende und damit produktivitätssteigernde Maßnahmen möglich.

### 5.1.2 Einordnung der Logistikleittechnik

In der Elektronikproduktion ist eine Entwicklung hin zu einer technologischen Konvergenz und einer logistischen Divergenz festzustellen. Trotzdem besitzen die logistischen Belange in der SMT-Leittechnik nur eine untergeordnete Rolle. Zu wenig werden bisher die betrieblichen Vorgänge und Abläufe berücksichtigt und unterstützt.

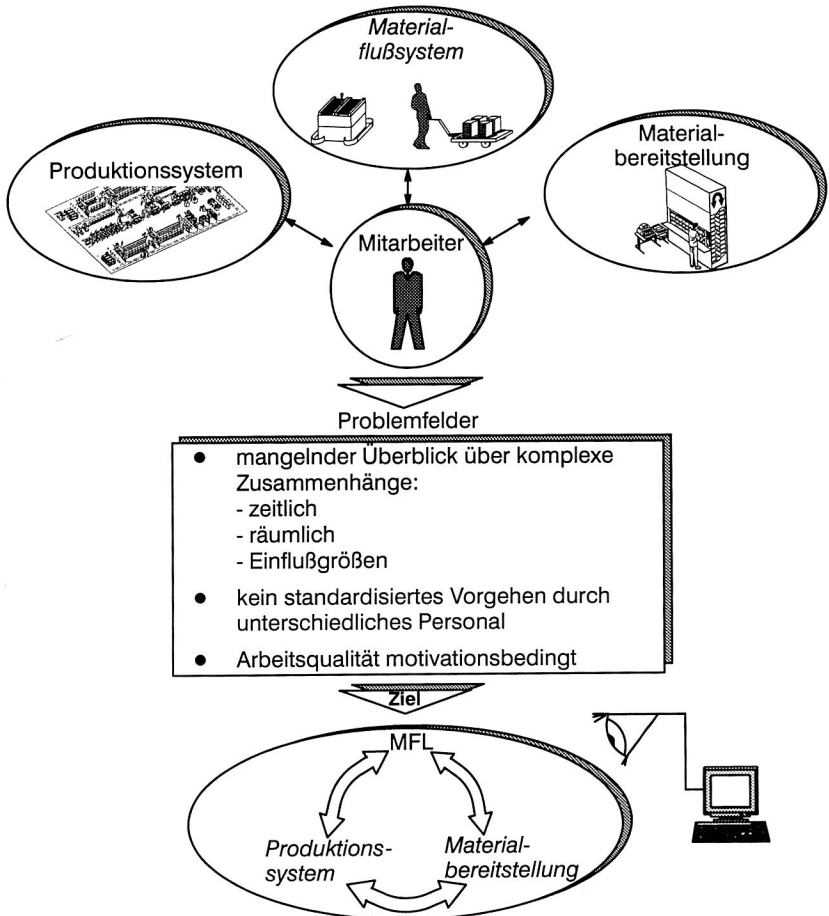


Bild 5-4 Personalbetonte Koordination und Synchronisation der Abläufe in der Schaltungsträgerproduktion

Wie Bild 5-4 deutlich zeigt, übernimmt in heutigen Produktionssystemen vorwiegend der Mensch logistische Aufgaben. Gegenüber den hochautomatisierten Produktionssystemen herrschen in der Materialbereitstellung nach wie vor personelle Strukturen vor. Dies wirkt sich entsprechend auf die dispositiven Arbeiten aus. Der betreuende Mitarbeiter übernimmt Funktionen des Produktionsmanagements, verbunden mit Vor- und Nachteilen.

Zwar kann der Mitarbeiter durch seine Prozeßerfahrung eine gewisse Optimierung erreichen, allerdings beschränkt diese sich primär auf das lokale Umfeld. Im

wesentlichen hat er jedoch nur die Möglichkeit, auf die aktuellen Randbedingungen zu reagieren, ohne gestaltend darauf Einfluß zu nehmen. Um auf das Ablaufgeschehen im Gesamten einzuwirken, müßte vielmehr die aktuelle Situation ganzheitlich erfaßt und Aktionen unter Berücksichtigung dieses Umfeldes entwickelt werden. Aus den in Bild 5-4 aufgezeigten Gründen ist dies dem Menschen ohne entsprechende Hilfe nicht möglich. Vielmehr ist der Mensch durch intelligente Systeme, sogenannte Assistenzsysteme, interaktiv zu unterstützen [82].

Besonders deutlich werden diese Umstände im Bereich der Material- und Betriebsmittelbereitstellung, wo z. B. "private" Sicherheitsbestände und Materialreservierungen bzw. unkontrollierte Materialentnahmen zwar lokal gesehen eine Verbesserung der Situation vortäuschen, global aber zu mangelnden Materialverfügbarkeiten führen.

Ähnlich zeigt die personelle Einlastung von Transportbedarfen meist heuristischen Charakter. Dies bedingt oftmals hohe Umlaufbestände oder Auftragsspitzen, welche nur durch zusätzliche Kapazitätsbereitstellung oder aber Terminüberschreitungen abgefangen werden können.

Durch eine verstärkte Rechneinbindung in den dispositiven Bereich kann der Mitarbeiter in die Lage versetzt werden, gesamtheitliche Aspekte in seiner Entscheidungsfindung zu berücksichtigen. So ist er in der Lage, globale Unternehmensziele zu berücksichtigen und eine Ablaufverbesserung herbeizuführen.

Nur durch diese datentechnischen Hilfestellungen wird es möglich sein, den logistisch wichtigsten Punkt in der Montage zu erfüllen, nämlich die Verfügbarkeit des für einen Montageauftrag erforderlichen Materials zu sichern [144]. Darüberhinaus gilt es, die Fertigungs-, Montage-, Transport- und Lagerprozesse optimal aufeinander abzustimmen [102].

## **5.2 Realisierung des Materialflußleitsystems für dezentral strukturierte Produktionen**

Dezentralen Produktionsstrukturen mit der Zielsetzung der Komplettbearbeitung in den einzelnen Segmenten kommt eine zunehmende Bedeutung in der wirtschaftlichen Produktion zu [31]. Aber auch derart organisierte Produktionen erlauben in den seltensten Fällen eine Fertigstellung des kompletten Produktes in einem Segment. Vielmehr werden in der Regel montagefertige Baugruppen, hier z. B. die fertig montierte Flachbaugruppe, hergestellt und müssen weiteren Segmenten zugeführt werden. Ebenso stellt die Materialbereitstellung, insbesondere in der flexiblen Klein- und Mittelserienfertigung, Anforderungen, welche segmentintern nur bedingt erfüllt werden können. Die Vielzahl der benötigten Bauelemente und Bereitstellkomponenten macht das Problemfeld deutlich.

Dieses Umfeld zeigt die Notwendigkeit eines durchgängigen und integrierten, segmentübergreifenden Materialflusses auf [75]. Geprägt werden diese Rand-

bedingungen zudem vom Bestreben einer *angepaßten* Automatisierung. Dies bedeutet, daß die unterschiedlichen Transportaufgaben meist auch von diversen Systemkomponenten ausgeführt werden.

Mit der Zielsetzung eines kontinuierlichen Materialflusses muß es gelingen, der eigentlichen Dispositionskomponente die Systemspezifika verborgen zu halten und die Systemübergänge durch vorausseilende Informationen fließend zu gestalten.

Diese Vorgehensweise bringt die besondere Bedeutung der dispositiven Datenverarbeitung in der Logistik zum Ausdruck und zeigt auch das Integrationsvermögen des Informationsmanagements auf.

Die Verfügbarkeit zielgerichteter Informationen ist es, die, zeitgenau weitergegeben, die materialflußtechnischen Brücken zwischen den einzelnen Segmenten baut und dadurch den optimalen Produktionsablauf sicherstellt.

Des weiteren gelingt es, gerade für den Bereich der technologisch ähnlichen Schaltungsträgerbestückung, Material durch Informationen verfügbar zu machen und so Bestände zu senken, die kapitalintensiven Kapazitäten auszulasten und eine hohe Produktivität zu sichern.

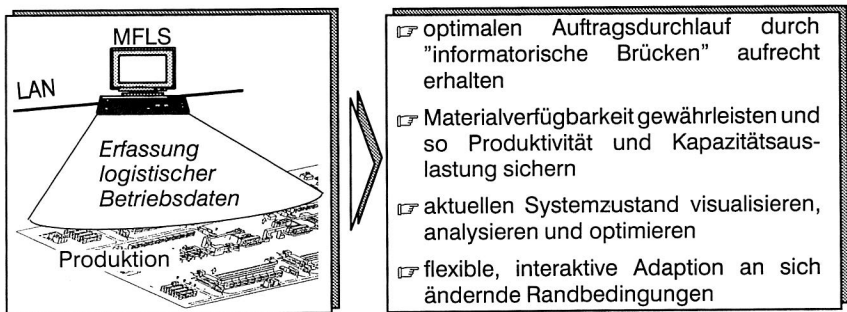


Bild 5-5 Zielsetzung von Leitsystemen im logistischen Umfeld

Basis dieser Überlegungen ist die laufende Erfassung logistisch relevanter Daten und deren zielgerichtete Verarbeitung (Bild 5-5). So müssen umfangreiche Datenprotokolle zu Kennzahlen verdichtet und benutzergerecht dargestellt werden. Nicht zuletzt muß eine Möglichkeit geschaffen werden, diese Daten in dem nötigen Abstraktionsgrad weiteren Optimierungswerkzeugen zur Verfügung zu stellen und so die permanente Anpassung der Systemkomponenten an das aktuelle betriebliche Geschehen zu gewährleisten [9].

### 5.2.1 Konzeptionelle Grundgedanken zur Gestaltung des Leitsystems

Der Bereich Produktionslogistik bildet eine Querschnittsfunktion im betrieblichen Geschehen. Gerade dieses Charakteristikum aber birgt die Gefahr, daß durch den

zunehmenden Einfluß von Wechselbeziehungen eine Orientierung an den Suboptima nicht unmittelbar zu einem Gesamtoptimum führt. Vielmehr gilt es, im Rahmen der Querschnittsfunktionen das jeweilige Vorgehen bereichsübergreifend abzustimmen, was wiederum nur von einer Instanz erreicht werden kann, welche diesen umfassenden Bereich ganzheitlich und strategisch ausrichtet.

Kernaufgabe der Produktionslogistik ist es, den Fertigungsprozeß ausgehend vom Beschaffungslager bis hin zum Versand zu *planen, zu steuern und zu überwachen* [51]. Diese Begriffsbildung von Jünemann soll für das weitere Verständnis genauer spezifiziert werden. Die Definition geht hier von einem bestehenden Produktionsbereich aus, sodaß unter der planenden Aufgabe vorrangig die Disposition der anstehenden Transportanforderungen zu verstehen ist. Die Bereiche Steuerung und Überwachung kennzeichnen die Durchsetzungskomponente des Transportsystems.

Dieses Aufgabenspektrum gestaltet sich aufwendig, da es eine Vielzahl konträrer Zielsetzungen beinhaltet. Beispielhaft ist hier eine hohe Kapazitätsauslastung bei minimalen Umlaufbeständen zu nennen. Derzeit wird diesem Problemfeld derart begegnet, daß umfangreiche Strategien in Form von hochkomplexen Algorithmen umgesetzt werden, welche eine Vielzahl von Einflußgrößen zu berücksichtigen versuchen. Diese Einflußgrößen orientieren sich jedoch am IST-Zustand zum Planungszeitpunkt und sind nur schwer in der Lage, schnell auf dynamische Änderungen zu reagieren oder temporäre Zielsetzungen zu unterstützen.

Diese Strategien werden, ausgehend von einem definierten IST-Zustand, für ein ganz bestimmtes Umfeld entworfen. Insbesondere in der Elektronikindustrie ist aber von einem stetigen Wechsel der Produktionsrandbedingungen auszugehen, sodaß starre Konzepte nur für eine immer kürzer werdende zeitliche Dauer Gültigkeit besitzen. Zwar lassen sich Steuerungsparameter an geänderte Rahmenbedingungen anpassen, doch fehlen meist zuverlässige Werkzeuge, die Änderungen zu erkennen.

Der Materialfluß stellt nach wie vor ein abgegrenztes Gebiet in der Produktion dar. Er wird als eigentliche Durchsetzungskomponente in der Produktion gesehen, repräsentiert aber in bisherigen Produktionsregelungskonzepten eine nur untergeordnete Rolle [10, 12, 56, 61, 65].

So besteht nach Lutz die Aufgabe des Teilsystems *Materialflußregelung* in der "rechtzeitigen Veranlassung von Transportschritten" [65]. Die Berücksichtigung der hochdynamischen Randbedingungen in der Logistik, insbesondere die Verfolgung der Arbeitsabläufe und die Erfassung weiteren logistischen Datenmaterials, wird aber von den beschriebenen Systemen zu wenig unterstützt.

"Für den Materialoutput wird ein Abnehmer mit beliebiger Kapazität angenommen" [65], ist ein weiteres Beispiel der mangelnden Detaillierung bisheriger Ansätze. Dadurch daß Quellenbestände und Senkenbedarfe zu wenig berücksichtigt werden, bzw. von Leitsystemen minutiös eingeplant werden, ohne die aktuelle Situation vor Ort in ihrer Gesamtheit zu berücksichtigen, kommt es nicht nur zu diskontinuierlichen Produktionsabläufen, sondern auch zu überhöhten Beständen. Gerade

Kenntnisse über Zustand und Bedarf der nachfolgenden Senke ermöglichen erst die Aufrechterhaltung des Auftragsflusses.

Für den speziellen Anwendungsfall der Elektronikproduktion ist zudem zu beachten, daß sich in der Baugruppenfertigung unterschiedliche Ausprägungen von Produktionsstrukturen finden. Auf diese muß mit differierenden Strategien geantwortet werden.

Die Vielzahl von Informationsströmen sind zu erfassen, im Sinne einer vordefinierten Zielsetzung (Strategie) auszuwerten und das Gesamtsystem optimierend zu beeinflussen.

Grundvoraussetzung zur Behebung dieser Defizite ist ein gezieltes Informationsmanagement der übergeordneten Instanz.

### **5.2.2 Umsetzung der Anforderungen in ein modulares, adaptives Leitstandskonzept**

Die aktuellen Entwicklungen hin zu autonomen Produktionssegmenten erfordern gerade auf dem Gebiet der logistischen Leitechnik eine effiziente Unterstützung. Bestehende Systeme stellen im wesentlichen eine Durchsetzungs Komponente für die angesammelten Transportaufträge dar. Das Transportwesen bildet somit einen abgeschlossenen Bereich, welcher nur auf die gestellten Anforderungen reagieren kann [116].

Mit seinen Hauptaufgaben, der Einplanung von Aufträgen an Maschinenkapazitäten und dem Management von technologischen Daten und Maschinendaten, weist das Fertigungsleitsystem eine starke diskrete Orientierung auf. Das produktionswirtschaftliche Ziel der *Ablaufoptimierung* zur Senkung von Durchlaufzeit und Beständen bei gleichzeitiger Produktivitätssteigerung wird hierdurch zu wenig unterstützt.

Die Bildung von kleinen, transparenten Einheiten ist Voraussetzung zur Entzerrung der komplexen Strukturen und Gewährleistung für die Überschaubarkeit des Produktionsgeschehens. Im begrenzten Umfeld, dem Montagesegment, findet sich der Mitarbeiter zurecht und greift hier regelnd, im Sinne des, wenn auch lokalen, Betriebsoptimums ein.

Somit wird das übergeordnete Logistik-Leitsystem von Routinearbeiten entlastet und kann sich auf seine Kernfunktionen, dem Schnittstellenmanagement und der Transportkoordination, konzentrieren.

Die Schaffung eines durchgängigen, ganzheitlichen Materialflusses macht es erforderlich, die Ziele und Aufgaben der Produktionslogistik in einem gesamtheitlichen Ansatz zu unterstützen.

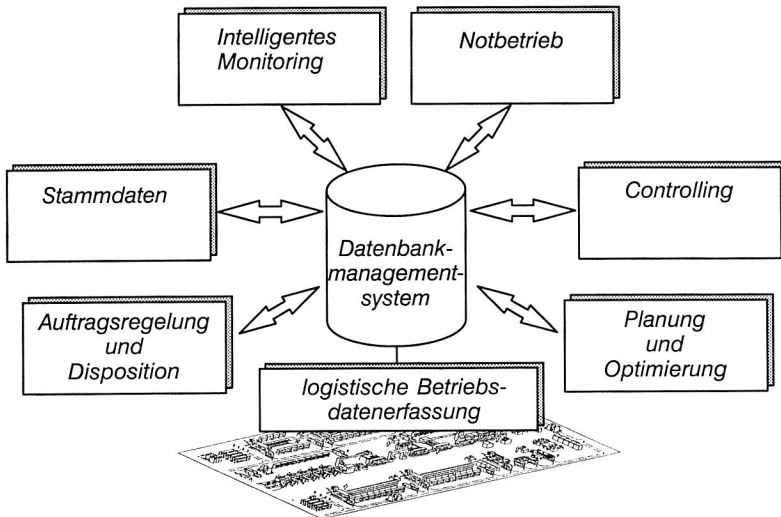
Konkret bedeutet dies, daß für den Aufbau eines regelnden Konzeptes in erster Linie die Schaffung einer durchgängigen *logistischen Betriebsdatenerfassung* notwendig



ist. Durch diese Beobachtungskomponente des produktionslogistischen Geschehens ist es möglich, auf entsprechende Abweichungen im operativen Bereich aufmerksam zu werden und gegebenenfalls darauf zu reagieren.

Der Aufbau einer eigenen Informationsbasis und die Einbindung in das gesamte Ablaufgeschehen erhöht die Kompetenz des Transportwesens und trägt zur Optimierung des Produktionsablaufes bei.

Wie in Bild 5-6 aufgezeigt, bildet ein Datenbanksystem die Basis des Leitsystems.



*Bild 5-6 Modularer Aufbau des Gesamtsystems ermöglicht einfache Anpassung und Erweiterung*

Die Verwendung einer relationalen Datenbank bietet folgende Vorteile:

- Die anfallenden großen Datenmengen lassen sich einfach verwalten und pflegen.
- Die Datenkonsistenz ist gewährleistet.
- Durch die ebenfalls als Standard etablierte Datenbanksprache SQL bildet die Datenbank eine neutrale Einheit zu externen Anwendungen.

Die jeweiligen Funktionsmodule treten als direkte Kommunikationspartner der Datenbasis auf. Sie entnehmen die für ihre Funktion relevanten Daten, verarbeiten sie unter Berücksichtigung der eingestellten Strategien und geben die Ergebnisse an die jeweiligen Subsysteme weiter bzw. an die Datenbasis zur weiteren Bearbeitung zurück.

Neben dem zentralen Datenbankmanagementsystem stellt die Disposition bzw. Auftragsregelung eine weitere Kernfunktionalität zur Verfügung. Die Aufgabe des

Regelmoduls ist es, die erforderlichen Transporte anzustossen und unter dem Einfluß auftretender Störungen aufrecht zu erhalten. Diese Aufgabe der kurzfristigen Optimierung wird dabei durch spezifische Erweiterungen unterstützt, welche in Kapitel 5.2.4 detailliert werden.

Für die Erfüllung dieses Aufgabenspektrums müssen dem System neben den aktuellen, dynamischen Systemzuständen auch die statischen Größen in Form der Stammdaten des logistischen Umfeldes bekannt sein. Hierzu zählen z. B. Fahrzeugdaten, Transporthilfsmittel, Streckentopologien etc.

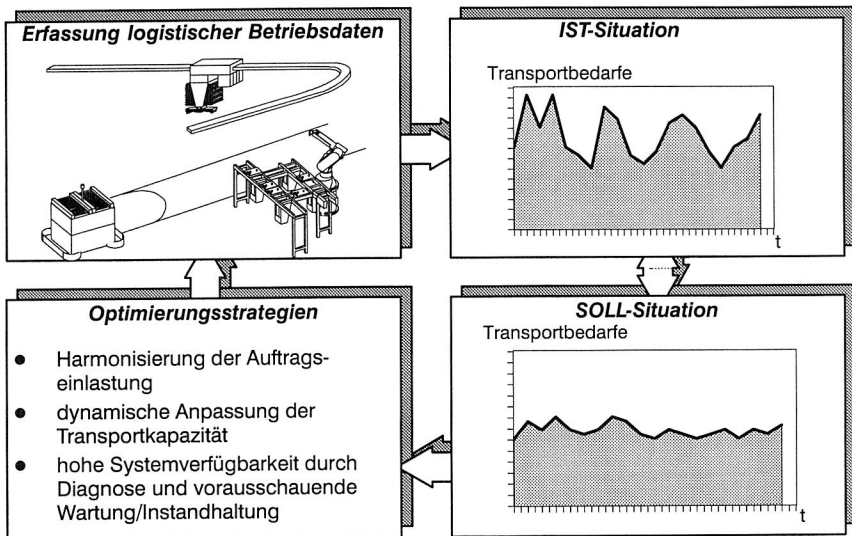
Ein weiterer Modul, *Intelligentes Monitoring*, hat die Zielsetzung den Bediener durch Visualisierung und Animation zu unterstützen. Durch benutzergerechte Verdichtung und Darstellung entscheidungsrelevanter Daten muß der Mitarbeiter in die Lage versetzt werden, sich schnell einen Überblick über die aktuelle Situation zu verschaffen. Ist z. B. ein geringes Transportaufkommen absehbar, so können Fahrzeuge aus dem System entnommen und einer anstehenden Wartung zugeführt werden.

Der Bediener sollte auf jeder Ebene direkte Eingriffsmöglichkeiten in das System haben. Idealerweise kann er dabei die Auswirkungen seines Handelns vorher testen. Nicht zuletzt muß die Möglichkeit geschaffen werden, daß der Bediener in Störungssituationen mit den Transportsystemen in Kontakt treten kann und so Transporte direkt ausgelöst werden können.

Im Modul *Controlling* wird die Datenaufbereitung vertieft. Aufgabe dieses Moduls ist es, die Entwicklung und Optimierung des Transportwesens über einen mittelfristigen Zeitraum zu unterstützen. Aufbauend auf der Analyse systembeschreibender Kenngrößen sollen Schwachstellen erkannt und durch weitere Analyseunterstützung ihre Ursachen lokalisiert werden. So kann hier z. B. die Streckenauslastung protokolliert und gegebenenfalls mit zusätzlichen Strecken oder veränderten Routen ein höherer Durchsatz erreicht werden.

Durch entsprechende Analysen des Controllingmoduls kann dabei nicht nur eine ereignisorientierte Optimierung angestoßen werden, sondern dem *Planungsmodul* stehen auch aktuelle, und damit in der Regel gegenüber der ursprünglichen Basisplanung geänderte, Daten zur Verfügung. Dieser Regelkreis aus Controlling und Planung bzw. Optimierung ist es, welcher eine dynamische Anpassung an das auftragsspezifische Umfeld unterstützt und zur Aufrechterhaltung bzw. Steigerung der Produktivität beiträgt.

Insbesondere durch die Rechnerunterstützung beim Aufbau einer Beobachtungskomponente ist es möglich, das Verhalten des Transportsystems genauer zu beschreiben als bisher. In Verbindung mit einer vorausschauenden Einplanung der benötigten Produktion, z. B. durch anstehende Tagesscheiben, läßt sich der zeitliche Verlauf der Transportaufträge annähern (Bild 5-7). Mit diesen Informationen können Transportspitzen abgefangen und somit Wartezeiten und Maschinenstillstandszeiten reduziert werden.



*Bild 5-7 Gleichmäßige Transportbelastung sichert eine hohe Kapazitätsauslastung bei niedrigem Transportmittelbedarf und kontinuierlichem Materialfluß*

### **Realisierung mittels eines Client-Server-Konzeptes**

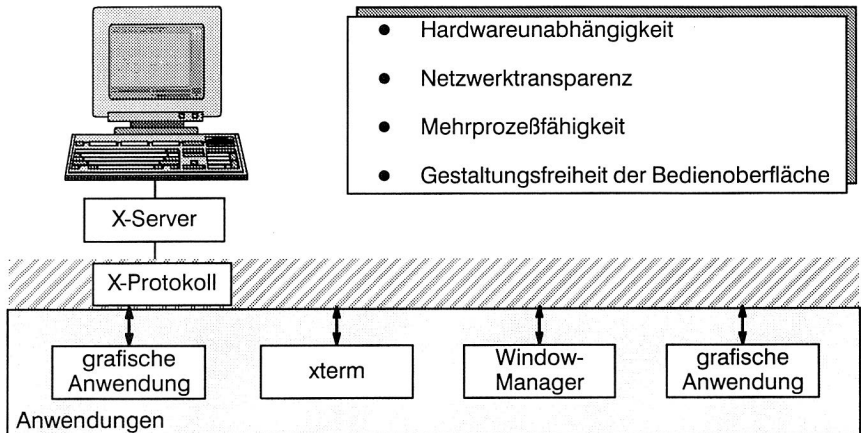
Der schnelle Wandel sowohl in der Hardwareentwicklung und auch eine breit gestreute Hardwarebasis erfordern die Portabilität von Software auf unterschiedliche Plattformen. Vor diesem Hintergrund wurde die gesamte Leitstands Umgebung auf Basis des Betriebssystems UNIX mit den Werkzeugen Ingres (Datenbankmanagementsystem), C (Programmiersprache) und X11 Motif bzw. Windows 4GL (Benutzerdialog) entwickelt. Mit diesen Standardwerkzeugen ist es möglich, grundsätzliche Aufgaben, wie Benutzerführung, Datenhaltung und Interprozeßkommunikation zu vereinheitlichen und dem Benutzer neutrale Dienste zur Verfügung zu stellen.

Das X-Window-System ist ein System für grafische Bedienoberflächen. Es erlaubt dem Benutzer die Ausgabe mehrerer Programme gleichzeitig zu beobachten und damit komplexe Informationsinhalte als strukturierte grafische Darstellungen anwenderorientiert auszugeben.

Auf der Basis dieser Eigenschaften wurde das Leitsystem als Client-Server-Modell entwickelt. Die Hardwareabhängigkeiten werden durch den X-Server versteckt.

Durch diese Architektur werden die Abhängigkeiten des Materialfließsystems von der Kommunikation mit den einzelnen Subsystemen durch den Server verdeckt. Die Dienstleistung der Kommunikation stellt er durch ein Anwendungsprotokoll netzwerkweit anderen Anwendungen zur Verfügung (Bild 5-8). Dadurch lassen sich mehrere Probleme auf einfache Weise lösen:

- Verteilung der Grundfunktionalitäten auf verschiedene Prozesse
- Entkopplung von Anwendung und Kommunikation
- Synchronisation des Zugriffs auf die Kommunikationsmedien



*Bild 5-8 Client-Server-Modell als Basisstruktur für das Materialfluß-Leitsystem  
[nach 11]*

Das Client-Server-Modell sorgt bereits durch seine Architektur für eine Verteilung der Aufgaben. Der Server-Prozeß hat die alleinige Aufgabe die gesamte Kommunikation mit den Subsystemen abzuwickeln. Der jeweilige Anwendungsmodul muß daher keine Kenntnisse über den Ablauf und die Funktionalität der Kommunikation haben, mehr noch, es ist für ihn ohne Bedeutung um welches Subsystem es sich handelt. Durch diese Ausprägungen unterstützt das Client-Server-Modell die Bestrebungen eines flexiblen und modularen Systemaufbaus.

Weiter bietet diese Architektur einen Lösungsansatz für die Synchronisation des Zugriffs aller Anwendungen auf die Kommunikationsmedien. Die Clients sammeln dazu zunächst ihre Operationen, in der Regel die Fahraufträge, in einer eigenen Auftragswarteschlange, die nach dem FIFO-Prinzip arbeitet. Der Server arbeitet anschließend die einzelnen Aufträge nacheinander ab und schickt eventuell daraus resultierende Antworten an die jeweiligen Clients zurück. Somit hat nur der Server exklusive Kontrolle über die Kommunikationsmedien. Es findet im Server eine Sequentialisierung der quasiparallel bei den Clients erzeugten Operationen statt, welche Zugriffskonflikte auf das Kommunikationsmedium verhindern.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß durch die gewählte Konfiguration die Datenbeschaffung und -haltung beim Serverprozeß liegt. Auf diese notwendige Basis können unterschiedliche Serverprozesse zugreifen und die Daten für ihre eigenen Anwendungen verwenden. Dies unterstützt zum einen den modularen und trans-

parenten Aufbau des Leitsystems und die Möglichkeit einer bedarfsgerechten Weiterentwicklung.

### 5.2.3 Informationssystem zur ereignisorientierten Optimierung und Planung

Für die Optimierung logistischer Systeme bestehen prinzipiell zwei grundsätzliche Vorgehensweisen:

- kurzfristige Optimierung durch Variation beeinflussbarer Parameter
- mittelfristige Optimierung durch strukturelle Änderung des Systems

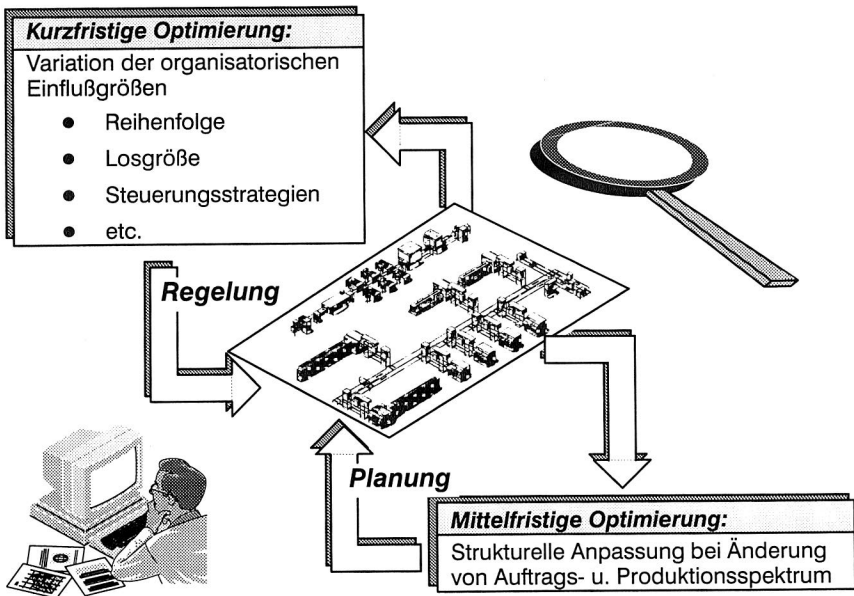


Bild 5-9 Zeitliche Strukturierung der Optimierungszyklen

Im Rahmen der *kurzfristigen Optimierung* besteht in erster Linie die Möglichkeit, Steuerungsparameter zu beeinflussen. Wie in Bild 5-9 dargestellt betrifft dies vorrangig Auftragsreihenfolge, Losgröße, Steuerungsstrategien etc. Der Schwerpunkt bestehender Systeme liegt dabei auf der Unterstützung der Reihenfolgeplanung beziehungsweise der Anpassung von Parametern von Produktionsplanungs- oder Fertigungsleitsystemen.

Die Möglichkeit der Adaption von Steuerungssoftware ist zwar durch eine Vielzahl von Konfigurationsparametern gegeben, jedoch ist eine zielgerichtete Anpassung

meist nur schwer durchführbar [79]. Zum einen erfordert die gleichzeitige Änderung mehrerer Parameter fundiertes Erfahrungswissen über die Auswirkungen dieser Anpassung. Zum anderen fehlt insbesondere im logistischen Bereich wegen mangelnder Informationen über das Ablaufgeschehen entsprechendes Datenmaterial, um die Notwendigkeit einer Änderung überhaupt zu erkennen bzw. die zu ändernden Parameter zu spezifizieren und einen optimalen Wert zu ermitteln.

Weiter beschäftigen sich bisherige Leitsysteme vorrangig mit der Optimierung des *Tagesgeschäftes*. Strategische Aspekte der Produktivitätssteigerung werden von diesen Systemen zu wenig unterstützt. Deutlich wird dies z. B. in der Tatsache, daß Optimierungsbestrebungen im Bereich der Logistik in der Regel erst umfangreiche und aufwendige Datenaufnahmen notwendig machen.

Die *mittelfristige Optimierung* geht von einer Änderung der Produktionsstruktur aus. Die Notwendigkeit entsteht hier insbesondere bei einer deutlichen Verschiebung von Auftrags- bzw. Produktspektrum oder auch der Integration neuer Technologien. Bei derart geänderten Bedingungen ist selbst in der Regel bei flexiblen Produktionssystemen nur mit einer Umplanung auf die neuartige Situation zu reagieren, um das erreichte Produktivitätsniveau aufrecht zu erhalten. Das Produktionssystem betreffend werden in diesem Falle auch Änderungen an den technischen Systemen mit einbezogen, wie z. B. die Erweiterung bestehender Linienstrukturen etc.

Deutlich wird hier, daß Planung kein statisches, zeitlich beschränktes Vorgehen ist. Planung kann nicht so perfekt sein, daß sie am Ende ein optimales Ergebnis liefert [27], sondern muß vielmehr ebenfalls Regelstrukturen aufweisen, um eine permanente Orientierung an einem optimalen Wertschöpfungsverlauf zu gewährleisten.

Mit der Absicht, dieses strategische Vorgehen auch im alltäglichen Produktionseinsatz zu unterstützen, Schwachstellen nicht nur zufällig sondern gezielt zu erkennen und deren Ursachen zu analysieren, sollen die wesentlichen Einflußgrößen der Planung und Optimierung betrachtet werden.

### **Planungs- und Optimierungsgrößen**

Für die Erstellung eines Informationssystems zur Optimierung logistischer Systeme ist es von grundlegender Bedeutung die Planungs- und Optimierungsgrößen detailliert zu spezifizieren.

Nach Bild 5-10 gilt es dabei prinzipiell drei Bereiche zu unterscheiden:

- die Systemebenen, welche in die Bereiche *administrativ*, *dispositiv* und *operativ* gegliedert sind
- die Logik, mit welcher diese Ebenen ausgestattet sind und
- die technischen Systeme, welche zur Umsetzung der logistischen Aufgaben zur Verfügung stehen.

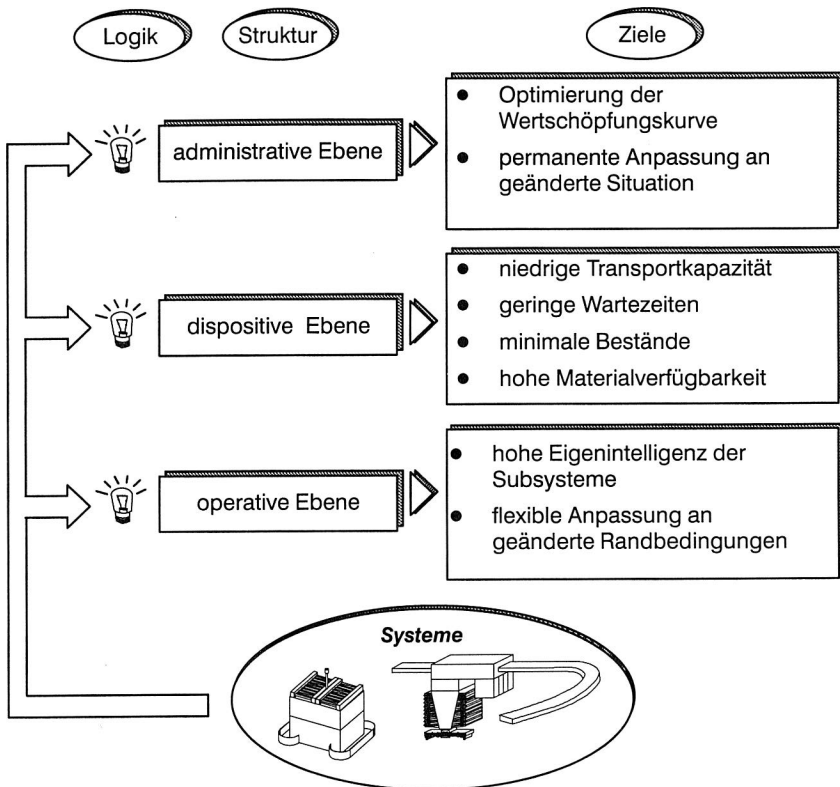


Bild 5-10 Zielgrößen von Planungs- und Optimierungsbestrebungen bei der Gestaltung logistischer Systeme

Die *administrative Ebene* stellt dabei die Schnittstelle zwischen der eigentlichen Disposition und anderen autonomen Teilsystemen wie z. B. dem Fertigungsleiststand oder den Montagesegmenten dar. Ihre zentrale Aufgabe liegt in der Sammlung und Verwaltung von Transportaufträgen und der Zielvorgabe für die dispositive Ebene.

Insbesondere zur Beherrschung der logistischen Qualitätsmerkmale wird ein Qualitätssicherungssystem benötigt, welches sich auf ein logistisches Zielsystem stützt. Die Vorgabe logistischer Zielsetzungen unterstützt dabei nicht nur ein konkretes Vorgehen bei der Optimierung, sondern hilft insbesondere bei der Gestaltung der Dispositionsumgebung, so z. B. bei der Auswahl von Dispositionsstrategien. Durch die Möglichkeit der zeitlichen Veränderung der Zielvorgaben kann so individuell auf unvorhergesehene Auftragssituationen reagiert werden. Zudem erleichtert die Vorgabe definierter Ziele die Bedienung des Leitsystems, da diese

bedienerfreundlich gestaltet werden können und somit detailliertes Fachwissen vor dem Bediener verbergen. Eine wesentliche Anforderung liegt in der Definition operationalisierbarer Zielgrößen, welche auch als logistische Qualitätsmerkmale bezeichnet werden [137].

### **Quantifizierung der charakteristischen Kenngrößen zur operativen Zielumsetzung**

Operative Umsetzung bedeutet konkret die Veranlassung von Transporten, Auslagerungen etc. bis hin zur Unterstützung der Bereitstellung von Betriebsmitteln.

Diese Entscheidungen müssen situationsbedingt ermittelt und gegebenenfalls ereignisbezogen angepaßt werden. Grundlage für diese Aufgaben ist das Wissen über die charakteristischen Kenngrößen des zu beeinflussenden Systems. Eine Vielzahl der Kennwerte können dabei direkt erfaßt werden, so z. B. die Anzahl von Transportmitteln oder Transporthilfsmitteln. Andere dagegen müssen erst durch Bildung entsprechender Kennzahlen ermittelt werden, wie z. B. der zeitliche Verlauf der Transportbedarfe oder die momentane Kapazitätsauslastung.

Die gebildeten Werte dienen dann als Führungs- und Regelungsgrößen und sind die Basis für einen Soll/Ist-Vergleich. Somit ermöglichen diese Kennzahlen erst eine logistikorientierte Materialflußregelung [40].

Hierbei sind die folgenden Größen als charakteristische Kennwerte zu nennen [40, 49, 137]:

- **Bestand**  
Mit der Zielgröße Bestand wird eine Minimierung des durch den Umlaufbestand gebundenen Kapitals angestrebt.
- **Kapazitätsauslastung**  
Mit dieser Größe wird ein wirtschaftlicher Einsatz der verfügbaren Bearbeitungs- und Transportkapazitäten verfolgt. Insbesondere kostenintensive Kapazitäten sollen hoch ausgelastet werden, eine Unterversorgung ist zu vermeiden.
- **Termintreue**  
Dabei wird eine Minimierung des Anteils verspäteter Lieferungen angestrebt.
- **Durchlaufzeit**  
"Eine geringe Durchlaufzeit soll das gebundene Kapitel gering halten und zu einer Verbesserung der Termintreue beitragen" [40].

Junge [49] nennt darüberhinaus noch die Logistikkosten, welche sich im wesentlichen aus Transport- und Lagerkosten zusammensetzen. Diese ergeben sich aus den oben genannten Zielgrößen. In der Regel strebt man einen Systemzustand an, der zu einer Minimierung der Logistikkosten führt.



Die Vorgabe der Logistikziele mündet in einer Auswahl von geeigneten Strategien, welche bei der Auftragszuteilung in der dispositiven Ebene zum Einsatz kommen. Die Zuordnung der Strategien kann prinzipiell statisch oder dynamisch erfolgen.

Bei der *statischen Zuordnung* liegt fest, welche Dispositionsstrategie mit einem konkreten Logistikziel verknüpft ist. Diese Lösung ist einfach zu realisieren. Ihr Nachteil liegt in ihrer Inflexibilität.

Bei der *dynamischen Zuordnung* erfolgt die Auswahl in Abhängigkeit vom aktuellen, vor allem aber auch zukünftigen Systemzustand, welcher durch Kennzahlen, wie sie z. B. bei Junge [49] vorgestellt werden, beschrieben werden. Diese Lösung ist der statischen Lösung vorzuziehen, erfordert jedoch den Aufbau einer aussagekräftigen Kennzahlenkomponente.

Im Rahmen der *Disposition* findet die eigentliche Zuteilung der Transportaufträge aus einem Auftragspool auf die vorhandenen Fahrzeuge des Fahrzeugpools statt. Auf *operativer Ebene* steht die flexible Abarbeitung der Transportaufträge im Vordergrund, d. h. deren Veranlassung und Verfolgung. Diese zentralen Aufgaben des Leitsystems werden in Kapitel 5.2.4 ausführlich behandelt.

Durch den angestrebten erweiterten Betrachtungsbereich wird die Logistikleittechnik in ein gesamtheitliches Konzept eingebunden und eine Entwicklung von der reagierenden zur agierenden Komponente unterstützt.

### **Informationsmodell**

Aggteleky [2] unterscheidet bei der Analyse des Transports zwei Gebiete:

- Untersuchung der Transportmittel und
- Untersuchung der Transportbeziehungen

Gerade die Transportmatrix gilt als die klassische Planungsgrundlage bei der Optimierung der Layoutgestaltung beziehungsweise der Ablaufstrukturen.

Bei diesem Vorgehen werden jedoch charakteristische Kenngrößen wie z. B. Leerfahrten, Transportspitzen etc. nicht erfaßt. Diese können zwar durch Multimomentaufnahmen ergänzt werden, stellen aber immer nur einen gewissen zeitlichen Ausschnitt dar, welcher einer permanenten adaptiven Anpassung an die Anforderungen nicht genügen kann.

Vielmehr kann ein derartiges Vorgehen die Dynamisierung der Ausgangsgrößen nicht in ausreichendem Umfang berücksichtigen und so nur grundlegende Basis einer Planung sein (Bild 5-11). Aufbauend darauf muß das Verhalten des System durch die Protokollierung von kennzeichnenden Daten im zeitlichen Verlauf charakterisiert werden. Nur so ist es möglich, das dynamische Verhalten zu erfassen, zu überprüfen und die Basissysteme anzupassen.

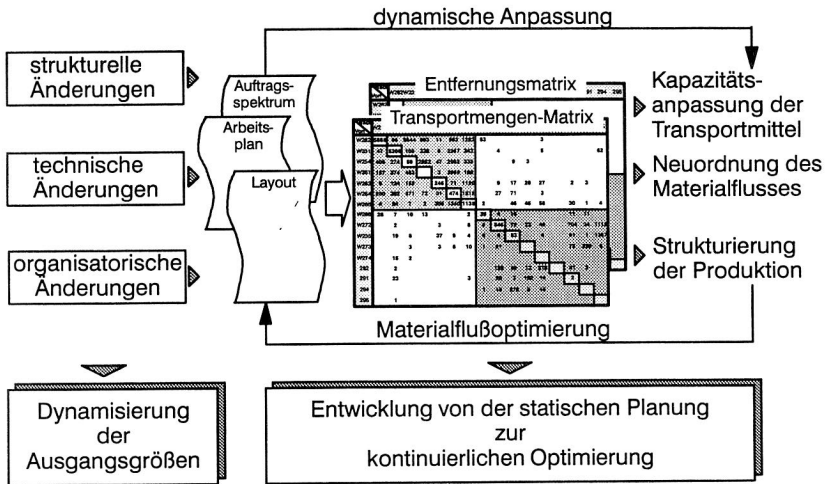


Bild 5-11 Statisches Planungsverfahren auf Basis der Transportmatrix erfüllt die Anforderungen an moderne Produktionslogistiksysteme nur unzureichend

Den Entwurf eines semantischen Modells, wie es dem beschriebenen Materialflußleitsystem zugrundeliegt, zeigt Bild 5-12.

Als Darstellungsform wurde dabei das Entity-Relationship-Modell gewählt. Um das Modell übersichtlich zu gestalten sind nur die Entitäten und deren Beziehungen untereinander dargestellt. Die wichtigsten kennzeichnenden Attribute werden nachfolgend noch kurz beschrieben:

Vorgabe des Bedieners ist dabei ein LOGISTIKZIEL. Diese Zielsetzung erlaubt eine strategische Ausrichtung der einzelnen Subsysteme, indem es unter einem Globalziel konkrete DISPOSITIONS- und BELADESTRATEGIEN realisiert.

Kern des Modells ist der Auftrag. Dabei erteilt ein AUFTRAGGEBER, dies kann sowohl eine Zelle, der Fertigungsleitreechner, als auch ein Mitarbeiter sein, einen TRANSPORTAUFTRAG. Der Transportauftrag ist quantifiziert mit den Attributen Quelle, Senke, Art und Menge des Transporthilfsmittels. Er wird zergliedert in einen oder mehrere TEILAUFRÄGE, je nachdem von und zu welchem PUFFER der Auftrag führt.

Ausgeführt wird jeder Teilauftrag von einem TRANSPORTMITTEL, das im wesentlichen mit seinen technischen Daten wie z. B. Ladekapazität, Fahrgeschwindigkeit etc. beschrieben wird. Weiter werden von jedem Transportmittel die BETRIEBS-DATEN mitprotokolliert, um so einen umfassenden Informationspool zu generieren.

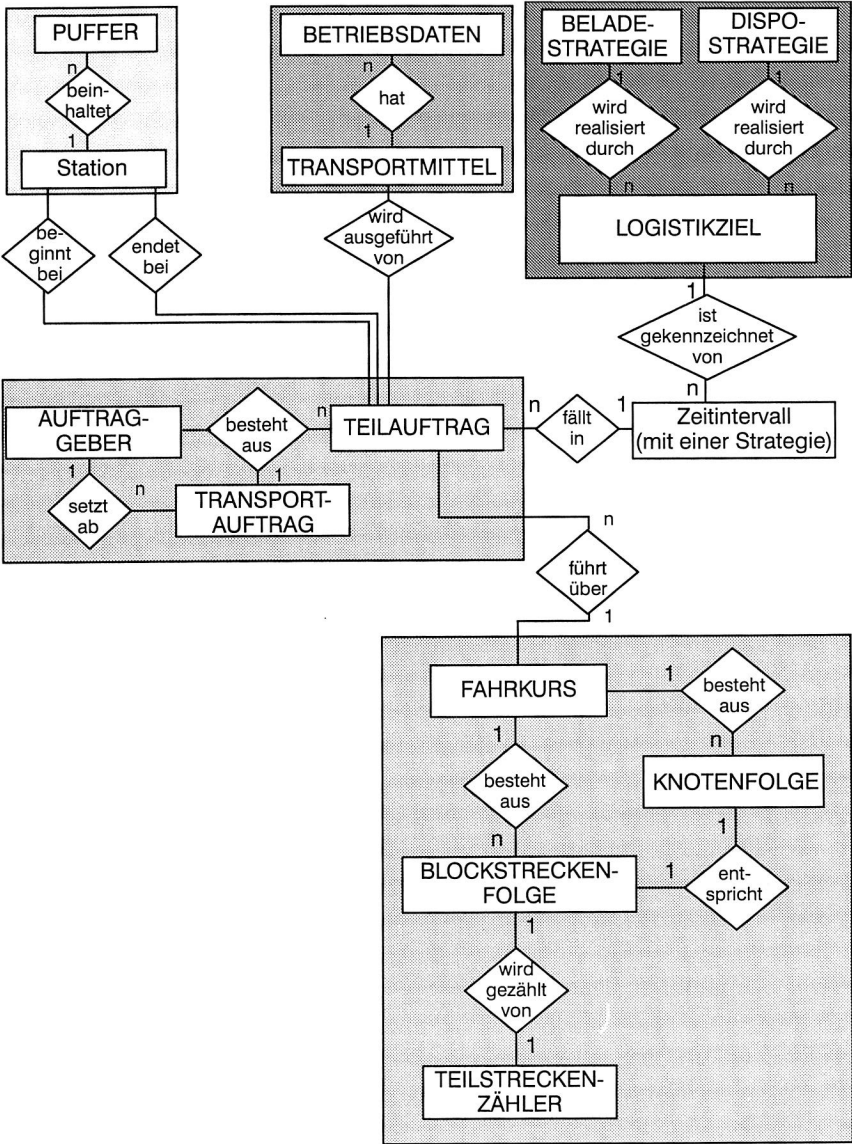


Bild 5-12 Semantisches Modell für die Informationsbasis des Materialfließsystems

Von Interesse ist auch eine Beobachtung des FAHRKURSES beziehungsweise einzelner BLOCKSTRECKEN davon. Über einen TEILSTRECKENZÄHLER wird dabei

die Belastung einzelner Streckenabschnitte gemessen. Über die abgelegte KNOTENFOLGE wird die jeweilige Wegführung der Transportmittel bestimmt und kann gegebenenfalls beeinflusst werden.

Mit Hilfe des dargestellten Informationsmodells ist es möglich auf der Basis von einer relativ einfachen Grundstruktur die logistisch relevanten Daten zu erfassen und auszuwerten.

Durch das Hinterlegen der logistischen Zielsetzungen in der Datenbank besteht die Möglichkeit, daß neben dem Steuerungsmodul auch andere Module, wie z. B. die Simulation, ohne Probleme auf die einzelnen Strategien zugreifen können.

### 5.2.4 Adaptive Dispositions Umgebung für den optimierten Transport

Die Logistik ist, als traditionelle Querschnittsfunktion, einer Vielzahl von Einflüssen ausgesetzt. In der Produkterstellung sind hier insbesondere die Bereiche Auftragswesen und die eigentliche Produktion betroffen. Weiter wird die Umsetzung einer reibungslosen Produktion meist auch von außen durch die Zulieferer auf der einen Seite, die Kunden auf der anderen Seite beeinflusst (Bild 5-13).

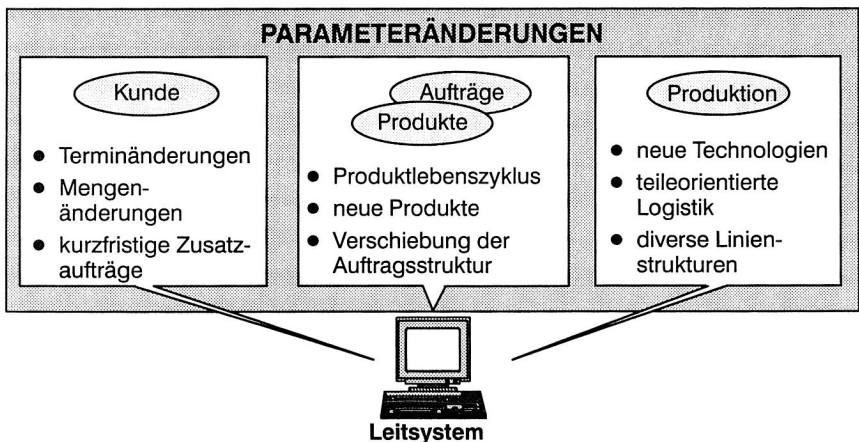


Bild 5-13 Adaptive Dispositions Umgebung zur problemorientierten Anpassung an sich ändernde Randbedingungen

#### Parametrierung

Aufgabe des zu entwickelnden Dispositionsmoduls ist es, flexibel auf die dynamischen Änderungen zu reagieren und in den dezentralen Systemstrukturen eine strategische Ausrichtung des Gesamtsystems zu realisieren.

Der Weg, der hier beschritten werden muß, ist die dynamische Anpassung von Einflußgrößen. Die Realisierung dieses Ansatzes wird im weiteren aufgezeigt.

Die dynamische, ereignisorientierte Anpassung der Einflußfaktoren zielt dabei insbesondere auf den informationstechnischen Bereich ab. Die reaktionsschnelle Änderung der Parametrierung ist die Basis zur effizienten Nutzung der kostenintensiven operativen Anlagen. Falsche oder veraltete Parameter müssen der Vergangenheit angehören. Durch entsprechende Controlling- und Planungssysteme müssen die in den Systemen eingestellten Kennzahlen aktueller und zielorientierter sein als bisher.

Durch die flexible Einlastung der Linien als Varianten- oder Rennerlinien sind linienbezogen unterschiedliche Materialversorgungsstrategien zu verfolgen. An einer Rennerlinie finden sich nur eingeschränkte Flexibilität Anforderungen, sodaß in diesem Fall z. B. intensiver mit Sammeltransporten gearbeitet werden kann.

Die dynamische Vergabe von Pufferprioritäten und deren Einbindung in die Dispositionsstrategien kann eine reibungslose Materialversorgung unterstützen. Wie aus der Simulation hinreichend bekannt ist [127], hat die Pufferkapazität zum einen einen wesentlichen Einfluß auf den kontinuierlichen Produktionsablauf, ist zum anderen aber wieder abhängig von der aktuellen Situation in der Produktion (Auftragslast, Störungen etc.). Hier ist es von Vorteil, situationsbedingt die Kapazitäten der Puffersysteme "virtuell" anzupassen. Ausgehend von einer Höchstkapazität, welche auf Spitzenlasten ausgelegt ist, kann bei z. B. verminderter Systemlast die Kapazitätsgrenze durch eine Parameterkorrektur beeinflusst werden, um so einen kontinuierlichen Produktionsablauf zu unterstützen.

Ziel der dispositiven Optimierung ist eine hohe Auslastung von Transport- und Maschinenkapazitäten und eine Minimierung der Gesamtdurchlaufzeit bei minimalem Einsatz an Kapazitäten. Diesem Optimum kommt man sicher dann nahe, wenn es gelingt Produktion und Materialfluß zu synchronisieren, d. h. eine bedarfsgerechte Materialversorgung zu etablieren.

### **Auftragsannahme**

Für diese bedarfsgerechte Orientierung hat insbesondere die Auftragsreihenfolge der Transportanforderungen einen massiven Einfluß auf die Logistikleistung. Ein erster Schritt besteht daher in der Betrachtung der Auftragsannahme. Dabei bieten sich prinzipiell zwei Alternativen an:

- **Dezentrale Auftragsannahme**  
bei welcher die Transportbedarfe in der Reihenfolge ihrer Ankunft (FIFO-Strategie) zur Ausführung gebracht werden.
- **Zentrale Auftragsannahme**  
bei welcher eine optimierte Verteilung der Transportbedarfe auf die Transportmittel vorgenommen werden kann.

Die zentrale Auftragsannahme gestattet eine optimierte Disposition, da durch die zentrale Verwaltung der Aufträge anhand von Strategien ein geeigneter Auftrag aus

dem Auftragspool ausgewählt werden kann. Da dies bei der dezentralen Disposition nicht möglich ist, muß die Dispositionsumgebung eine *zentrale Auftragsannahme* (Bild 5-14) besitzen.

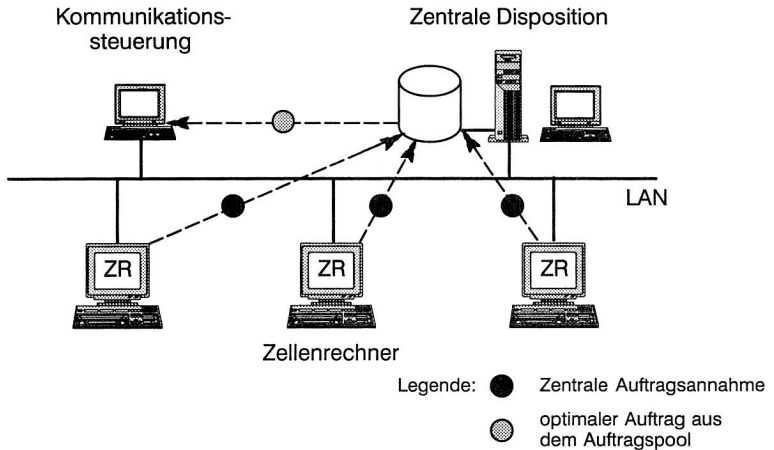


Bild 5-14 Zentrale Auftragsannahme

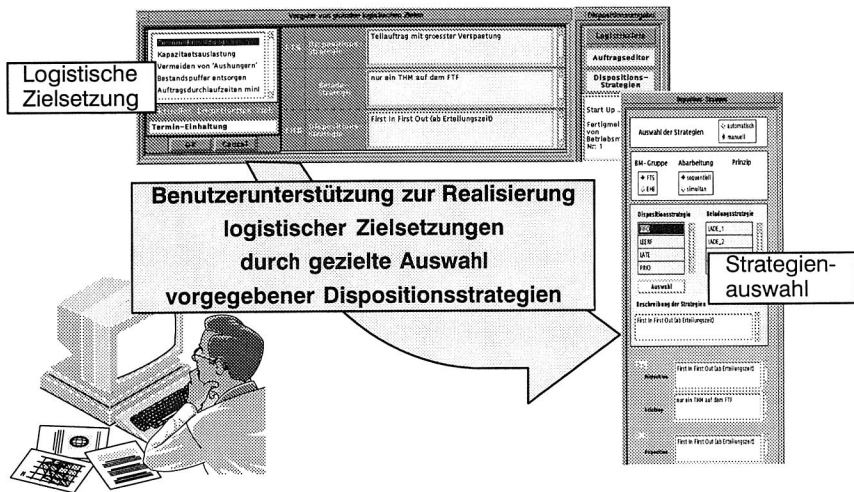
Diesen Pool an Aufträgen gilt es nun unter strategischen Gesichtspunkten zu beurteilen und, unter dem Blickwinkel eines Gesamtoptimums, die jeweiligen Transporte zu veranlassen. Bei der Umsetzung wurden dabei folgende grundlegende Gedanken berücksichtigt.

Durch die Möglichkeit der *Auswahl von Dispositionsstrategien* wird der Mitarbeiter unterstützt, um auf sich ändernde Rahmenbedingungen zu reagieren.

Die Disposition hat hier eine Fülle von Informationen zu berücksichtigen, um einen kontinuierlichen Ablauf im Materialfluß zu gewährleisten. Diese Informationen verlangen zwangsläufig nach einer Unterstützung bei der Verarbeitung, da derart komplexe und dynamische Vorgänge vom Menschen nur bedingt erfaßt werden können.

Da aber der Mitarbeiter in der Produktion oberste Entscheidungsinstanz bleiben soll, muß er permanent über die aktuelle Situation umfassend informiert sein und es müssen ihm Werkzeuge zur unkomplizierten und schnellen Umsetzung seiner Entscheidungen zur Verfügung stehen.

Bild 5-15 stellt die Bildschirmoberflächen zur Auswahl der Dispositionsstrategien dar. Im Rahmen des Auswahlmenüs *Logistikziele* sind bewährte Strategiekombinationen zu einer globalen logistischen Zielsetzung zusammengefaßt und können so vom Bediener jederzeit wieder eingesetzt werden (s. Kapitel 5.2.4).



*Bild 5-15 Situationsbedingte Auswahl angepasster Dispositionsstrategien sichert die logistische Zielerreichung bei Minimierung des Mitteleinsatzes*

Ändert sich die Situation so umfassend, daß mit diesen Strategiekombinationen keine zufriedenstellende Bearbeitung der augenblicklichen Lage zu erreichen ist, so können im Rahmen des Dispositionsstrategien-Editors entweder neue Kombinationen gebildet werden oder aber neue Strategien aufgenommen werden.

Der modulare Aufbau des Strategien-Editors erlaubt es aber insbesondere auch, betriebsmittelspezifische Strategien auszuwählen. Im vorliegenden Konzept ist dies für das FTS-System und die Mobile Handhabungseinheit realisiert. So können die Stärken der einzelnen Betriebsmittelgruppen genutzt und in einer gesamtheitlichen Orientierung ausgerichtet werden.

Um das Regelverhalten an die jeweilige aktuelle Situation anzupassen ist es notwendig, den Regler dynamisch zu beeinflussen [40]. Konkret bedeutet dies, daß z. B. Dispositions- oder Beladestrategien individuell auf die aktuelle Situation eingestellt werden können. Daraus wird zudem deutlich, daß die Adaption ereignis- bzw. zustandsbedingt erfolgen muß.

Dem Disponenten wird die Möglichkeit gegeben, eine bestimmte Dispositionsstrategie vorzugeben. Jede Strategie verfolgt ein definiertes und bekanntes Ziel. Da der Disponent jedoch selbst entscheidet, welche Strategie er wählt, übernimmt er die Funktion der regelnden Instanz. Im Kapitel 5.2.6 wird auf die Möglichkeit eingegangen mit Hilfe der betriebsbegleitenden Simulation eine Kombination diverser Strategien zusammenzustellen, welche einen optimalen Betriebspunkt erreichen lassen.

Aufgezeigt ist auch, daß dieser modulare Aufbau der Dispositionskomponenten, strukturiert nach Betriebsmittelgruppen, Dispositions- und Beladestrategien etc., die Basis für eine weitere Rechnerunterstützung bildet. Auf der Grundlage effizienter Planungswerkzeuge, wie z. B. der Simulation, können so bestehende Strategien rechnergestützt ausgewählt, zielorientiert kombiniert oder aber Anregungen für neu zu entwickelnde Komponenten gegeben werden.

### **Transportauftrags-Management**

Entsprechend den Randbedingungen dezentraler Strukturen und der Zielsetzung eines durchgängigen Materialflusses besteht die Forderung, daß *mehrere Transportsysteme* unterstützt werden müssen. So kann der Abholort eines eingehenden Auftrages in einem anderen Transportsystembereich als der Zielort liegen. Gegenüber heutigen Insellösungen von Transportsystemen, welche nur eine sequentielle Abarbeitung zulassen, muß hier eine parallele dispositive Bearbeitung stattfinden, damit ein zeitlicher Vorteil erreicht wird.

Da ein Auftrag in diesem Fall nicht alle benötigten Informationen, wie z. B. die Koppelstelle beinhaltet, ist es Aufgabe der Auftragsverwaltung, hier entsprechende Unterstützung zu bieten. Der geschilderte Fall erfordert die Aufteilung des Auftrages für *ein* Transporthilfsmittel in *zwei oder mehrere* Teilaufträge. Eine schematische Darstellung der Problematik zeigt Bild 5-16.

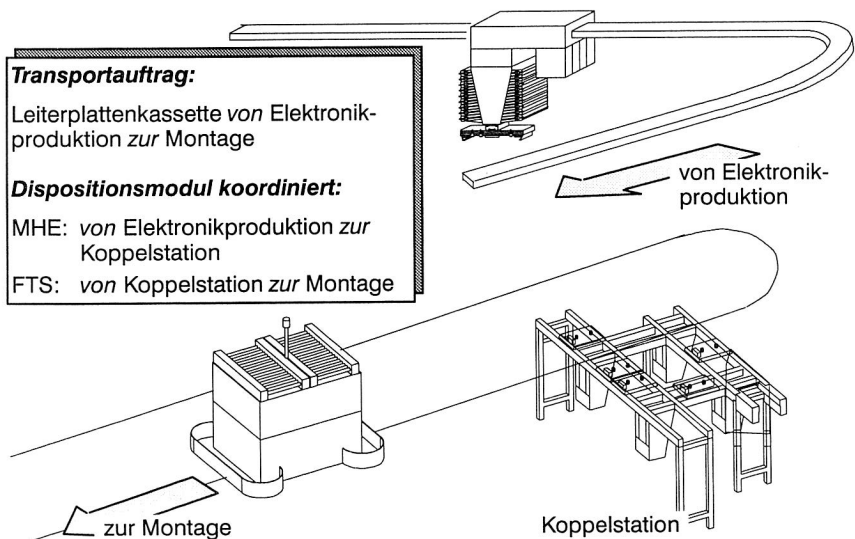


Bild 5-16 Kompensation systemspezifischer Nachteile durch vorausseilende Informationsverarbeitung in der Auftragsdisposition



Die optimale Beauftragung der Transportmittel wird dabei komplett vom Leitstand übernommen. Wie in Bild 5-17 dargestellt, wird der Auftrag in die erforderlichen Teilaufträge gesplittet, die notwendigen Transportmittel werden ausgewählt und, unter Berücksichtigung der aktuellen Situation, die jeweiligen Fahrzeuge beauftragt.

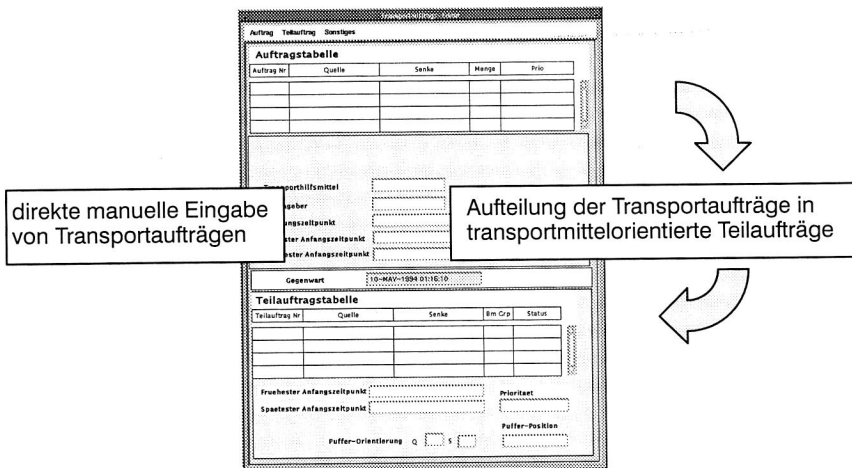
Darüberhinaus besteht die Möglichkeit, auch direkt in die Auftragsstabelle Transportaufträge einzugeben, welche dann dem Pool entsprechend zugeordnet werden.

Die eigentliche Dispositionskomponente teilt die Transportaufträge aus einem Auftragspool den Transportsystemen bzw. den Transportmitteln zu. Die Zuordnung erfolgt anhand geeigneter Strategien, welche unterschiedlichen Prinzipien gehorchen. Als wesentliche Prinzipien wurden dabei das

- Prinzip des Dispatching und das
- Prinzip der Vorplanung

diskutiert [38].

Aus Gründen der Flexibilität wurde für das entwickelte System das Dispatchingprinzip favorisiert. Ergeben sich kurzfristig Änderungen – etwa aufgrund von Störungen – so muß bei der Vorplanung i.d.R. eine zeitaufwendige Umplanung in Kauf genommen werden. Um regelnd in den Materialfluß einzugreifen ist die Vorplanung zu schwerfällig. Beim Dispatchingprinzip ist dies nicht erforderlich, da dort der aktuelle Systemzustand als Entscheidungsgrundlage dient.



*Bild 5-17 Intelligente Auftragsverwaltung unterstützt Integration der Transportsysteme und Verkürzung der Transportzeiten*

Anspruch der Implementierung von Dispositionsstrategien war weniger deren detaillierte Optimierung, welche ja den bisherigen Ausführungen entsprechend

ohnehin nur von begrenzter Dauer Gültigkeit besitzen können. Vielmehr wurde versucht, in bestehende Prinzipien [14, 20, 111, 134] den Einfluß der Systemperipherie mit einzubeziehen. Im Detail sind hier die folgenden Punkte zu nennen:

- **Stationen** (Zustand, Prioritäten)  
Durch Berücksichtigung dieser dynamischen Informationen kann sehr flexibel auf den aktuellen Systemzustand reagiert werden. So benötigt eine Station, die gerade gerüstet wird, weniger dringend THM als eine betriebsbereite Station.
- **Puffer** (Pufferkapazität, Pufferprinzip, Pufferzustand, Pufferpriorität)  
Insbesondere durch die dynamische Vergabe von Pufferprioritäten – etwa aufgrund des verbleibenden Pufferplatzes – kann ein effizienter THM-Transport stattfinden.
- **Fahrzeug** (Zustand, Beladungssituation)  
Der Zustand eines Fahrzeugs und dessen Ist-Beladung müssen zu jedem Zeitpunkt dem Disponenten bekannt sein, um eine effiziente und störungsarme Zuteilung zu gewährleisten.
- **Fahrkurs** (Fahrzeiten, blockierte Streckenabschnitte)  
Um mit möglichst wenig Fahrzeugen die gewünschte Logistikleistung zu erbringen, müssen die Fahrzeuge effizient eingesetzt werden. Informationen über die statischen Entfernungen zwischen den Stationen sind ebenso erforderlich wie das Wissen über aktuell gestörte Streckenabschnitte.
- **Aufträge** (Dispositionshorizont, Prioritäten)  
Die Aufträge sollen mit möglichst wenig Verspätung ausgeführt werden. Der Dispositionshorizont sollte daher bei der Auftragsauswahl berücksichtigt werden. Die Vergabe von Auftragsprioritäten ist aus o.g. Gründen nur in Ausnahmefällen ratsam.

Vom Materialflußsystem müssen eine Reihe unterschiedlicher Transportanforderungen bearbeitet werden. So genießen die Abarbeitung von Materialanforderungen oder der Transport von Auftragslosen eine höhere Priorität als die Entsorgung von Hilfsstoffen und der Rücktransport leerer Behältnisse. Eine entsprechende Erweiterung der Transportaufträge oder aber gegebenenfalls die Kennzeichnung der Puffer (Eingabe/Ausgabe) lassen hier eine zielgerichtete Disposition zu.

### **Visualisierung**

Einen umfassenden Überblick über den aktuellen Zustand geben die Visualisierungstools des Leitsystems.

Zum einen werden in Bild 5-18 die Topologien der Transportsysteme in ihrer Gesamtheit dargestellt. Übliche Funktionen wie die gezielte Darstellung nur eines

Transportsystems oder Zoomen der Darstellung unterstützen Übersichtlichkeit und Bedienerkomfort.

Zum anderen kann sich der Benutzer über einzelne Stationen detaillierter informieren und zusätzliche Daten abzurufen. Im Rahmen einer multimedialen Bedienerunterstützung besteht z. B. die Möglichkeit, über Kamera aufgenommene Bilder an den Leitstand weiterzuleiten [60].

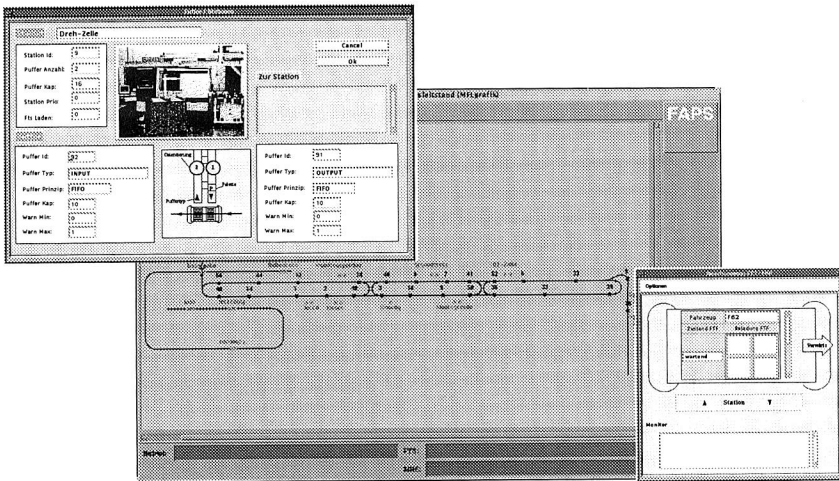


Bild 5-18 Benutzerorientierte Visualisierungstools unterstützen entscheidungsrelevante Darstellung von Informationen

### 5.2.5 Logistische Prozeßkontrolle durch operatives Logistikcontrolling

Im Sinne einer permanenten Verbesserung und Adaption der bestehenden Systeme ist es unabdingbar, die Qualität des logistischen Prozesses zu verfolgen. Hierzu bietet sich ein operatives Logistikcontrolling an. Enßlin [23] versteht unter Controlling den Gesamtprozeß von Zielvereinbarungen, Planung und Überwachung der Zielerreichung, wobei dieser Prozeß auf allen Unternehmensebenen stattfinden muß.

In dem in dieser Arbeit umrissenen Zielfeld, der operativen Gestaltung von durchgängigen Materialflußsystemen, sollen insbesondere die Maßnahmen auf unterster Prozeßebene erfaßt und beurteilt werden.

Im Sinne des in Bild 5-2 aufgezeigten Aufgabenspektrums werden dabei insbesondere die Bereiche der *Planung* und des *Betriebs* intensiv in die Betrachtung mit einbezogen.

Ein Logistikcontrolling kann hier nicht nur wertvolle Hilfestellung leisten, sondern bildet eine notwendige Basis.

Reichmann kennzeichnet die wesentlichen Aufgaben des Controllings in [99] als

- Informationsbeschaffung
- Informationsaufbereitung
- Datenanalyse
- Kontrolle und Beurteilung

Im Rahmen des bisher beschriebenen Leitstandskonzeptes sind dabei die ersten beiden Punkte bereits erfüllt. Der Controllingmodul kann auf das Datenbanksystem zugreifen und hat vorrangig die Aufgabe, diese Daten zu analysieren bzw. sie einer Kontrolle und Beurteilung zu unterziehen.

Für den Bereich Kontrolle und Beurteilung ergeben sich dabei unterschiedliche Möglichkeiten:

- Vergleich mit fest eingestellten Schranken
- Vergleich mit dynamischen Schranken
- Beurteilung mit Hilfe von künstlicher Intelligenz

Bei der Beurteilung sollen dabei sowohl technische als auch finanzorientierte Kenngrößen einbezogen werden [23]. Denn Aufgabe des Controllings ist es nicht nur die Produktivität des Logistiksystems aufrecht zu erhalten, sondern auch die Kosten zu beeinflussen [17].

Logistikkosten werden in der Praxis selten genau erfaßt. Aufgrund dieser Tatsache ist weder eine Kostentransparenz und damit Kostenverursachung in der Logistik zu erreichen, noch sind Rationalisierungsmaßnahmen zu quantifizieren. Mit der aufgebauten logistischen Betriebsdatenerfassung und deren Einbindung in ein ganzheitliches Leitsystem lassen sich die nach Salzer [105] erforderlichen Teilschritte

- Ressourcen erfassen
- Kosten der Ressourcen ermitteln
- Funktionale Zuordnung der bewerteten Ressourcen
- Logistische Wertanalyse

realisieren bzw. unterstützen und so z. B. über die dynamische Berechnung des "Maschinenstundensatzes" des FTS der Materialtransport bewerten.

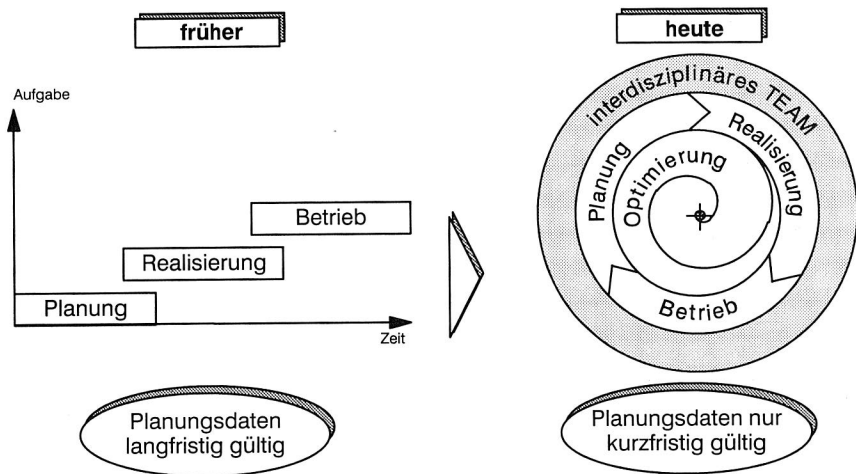
Um diese Fülle an Informationen zu strukturieren, zu verdichten und zielgerichtet einzusetzen, bieten sich Kennzahlensysteme an. Sie haben sich als wichtiges Hilfsmittel bei der Planung, Regelung und Kontrolle von logistischen Abläufen im Unternehmen herauskristallisiert [47, 49, 126].

## **Planung**

Sowohl für die Bereiche der Planung als auch der Optimierung finden sich nach wie vor Informationsdefizite in der Logistik. Die Feststellung von Wiendahl, daß Planung meist mit der Datenaufnahme beginnt [136], kennzeichnet diese Situation zutreffend.

Die Planung von logistischen Systemen ist heute gekennzeichnet von der Verwendung hochgenauer, rechnergestützter Planungswerkzeuge [1, 127]. Diese bieten zwar den Vorteil einer detaillierten, anforderungsgerechten Lösung, haben aber auch den Nachteil einer starken Orientierung an der aktuellen Situation. Konkret bedeutet dies, je genauer eine Planung ist und damit je genauer sie auf konkrete Daten ausgelegt wurde, desto anfälliger ist sie in der Regel auf eine Änderung der Planungsgrundlage. Umso wichtiger ist es aber auch die Planungsziele mit Hilfe eines operativen Logistikcontrollings zu überwachen.

Insbesondere in der technologieorientierten Klein- und Mittelserienproduktion von Flachbaugruppen findet sich eine hochdynamische Änderung der Eingangsparameter der Planung wieder. Dies führt dazu, daß die Planung kein diskreter Prozeß mehr sein darf, sondern sich zu einer permanenten und kontinuierlichen Aufgabe entwickeln muß (Bild 5-19).



*Bild 5-19 Planung und Betrieb von Produktionsanlagen entwickeln sich von sequentiellen Prozessen zu einem integrierten permanenten Optimierungsprozeß*

Ausgehend von einer in der Regel recht groben Planung kann sowohl das Planungsmodell als auch das benötigte Datenmaterial weiter verfeinert werden, sodaß das Produktionssystem im allgemeinen und das Logistiksystem im besonderen an das Betriebsoptimum herangeführt werden können.

### **Betrieb**

Auch der Betrieb von Produktionssystemen hat sich grundlegend geändert. Komplexe Produkte, kurze Produktlebenszyklen, Arbeitszeit- und Schichtmodelle

und eine notwendige hohe Kapazitätsauslastung kapitalintensiver Produktionsanlagen sind nur einige Ansatzpunkte, welche es für den Mitarbeiter immer schwieriger gestalten, sich über Lerneffekte einen eigenen Erfahrungsschatz aufzubauen. Der Werker kennt nur einen sowohl räumlich als auch zeitlich sehr eingeschränkten Bereich des Produktionsgeschehens und ist daher nur schwer in der Lage, entsprechendes Optimierungspotential zu erschließen.

Störungen, welche durch einen lokalen Eingriff kurzfristig kompensiert werden müssen, sind oftmals nur symptomatische Auswirkungen geänderter Rahmenbedingungen beziehungsweise zugrundegelegter Planungsgrößen. Beim vermehrten Auftreten bestimmter Störungen muß das System daher auch in der Lage sein, eine Verbesserung der bestehenden Situation zu initiieren.

Weiter unterstützt der Controllingmodul die gesamte dispositive Steuerung der Produktion. Durch das fundierte und aktuelle Datenmaterial wird eine entsprechend hohe *Planungssicherheit* erreicht. So ergeben sich z. B. im Bereich der Materialbewirtschaftung (Kap. 3.2) durch einen durchgängigen Informationsverbund wesentlich genauere Bestandsdaten und damit entsprechende Bestandssicherheit. Nur durch diese Informationsbasis läßt sich Transparenz in den logistischen Abläufen erzielen und damit die Sensibilität der Mitarbeiter für Schwachstellen und Kosten schärfen.

Finck beschreibt dies in [32] mit der Aussage, daß die kontinuierliche Verbesserung der Prozesse mit dem täglichen Visualisieren von Kennzahlen beginnt. Doch eine reine Datenvisualisierung reicht in den heutigen komplexen Produktionssystemen nicht aus. Vielmehr müssen diesen Monitoring-Komponenten intelligente Module hinterlegt sein, welche eine schnelle Reaktion auf etwaige Störungen oder Abweichungen zulassen. Interessant scheint hier eine Kopplung zur Diagnose [143] oder aber zu entscheidungsunterstützenden Systemen [12].

## **Controlling**

Gemäß Bild 5-20 ist der Controlling-Modul als separater Baustein in das Leitsystem mit integriert.

Über entsprechende Funktionen in den Modulen *Dispositionsumgebung* und *Operationsumgebung* werden die erforderlichen Informationen in die Datenbank geschrieben. Eine ergänzende *Protokollkomponente* ist in der Lage, über den eigentlichen Bedarf des Leitstandes hinaus Daten zu erfassen und einzubinden.

Die *Monitoringkomponente* ist von diesen Vorgängen abgekoppelt und bezieht ihre Daten direkt aus der Datenbank, wo sie teilweise bereits zu Kennzahlen verdichtet vorliegen.

Die umgesetzte Controllingkomponente zur durchgängigen zeitlichen Erfassung logistischer Daten bedingt eine umfassende Fülle an Einzelinformationen. Die Hauptaufgabe besteht daher in einer aussagekräftigen Präsentation der Aussagen des

Controllingmoduls. Der Betrachter hat dabei – in gewissen Grenzen – die Möglichkeit, die Sichten auf bestimmte Zeiträume oder Objekte festzulegen.

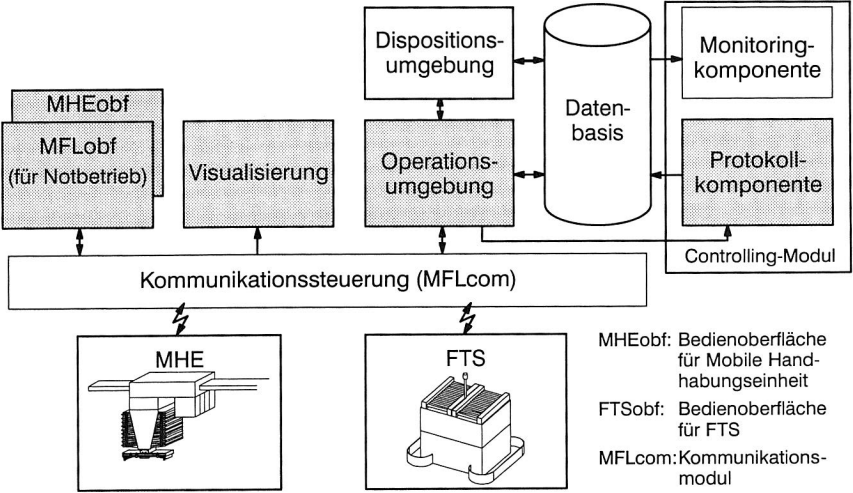


Bild 5-20 Integration des Controllingmoduls in die Softwarestruktur des Leitsystems

Dementsprechend kann in einer grundsätzlichen Auswahlmaske unterschieden werden zwischen dem Daten- und dem Objektspektrum. Bei den *Daten* ist auf aktuelle, operative Daten zurückzugreifen oder aber auf eine statistische Auswertung eines vorgegebenen Zeitfensters (Bild 5-21). Weiter verfeinert wird die Betrachtung durch die Auswahl eines *Objektes* (FTS, MHE, Aufträge, Dispositionsstrategie etc.).

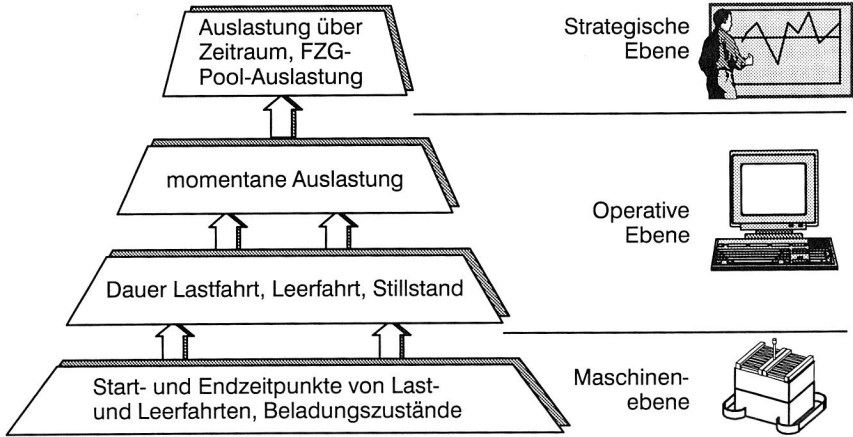


Bild 5-21 Datenverdichtung am Beispiel des FTS-Systems





Ergänzend zu den Transportfahrzeugen wurden auch die Streckenbelastungen in die Betrachtung mit einbezogen (Bild 5-23). Dadurch ist es z. B. möglich durch geänderte Auftrags- oder Produktspektren auf konkrete Schwerpunktsverschiebungen der Transportmatrix aufmerksam zu werden. So können, je nach Flexibilität des Systems, neu entstandene Engpässe optimiert oder nicht mehr notwendige Einschränkungen, z. B. Geschwindigkeitsreduktion, aufgehoben werden.

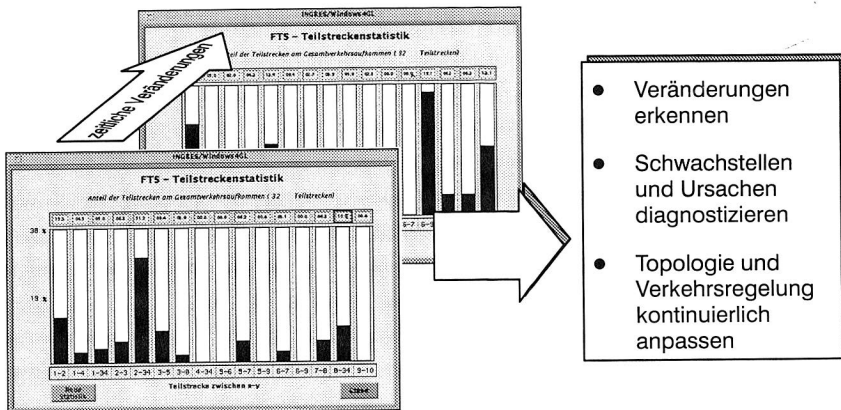


Bild 5-23 FTS-Teilstreckenstatistik verdeutlicht Engpässe im Layout

Eine dynamische Anpassung der Achsbeschriftung ermöglicht eine optimale Darstellungsauflösung und bietet damit entsprechenden Benutzerkomfort.

### Betrachtung der Transportaufträge

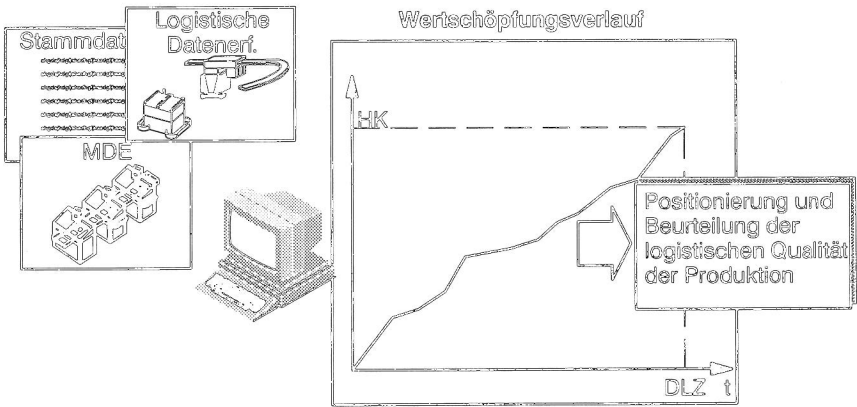
Die aktuelle Protokollierung der eingelasteten und erledigten (Teil-) Aufträge bildet die Basis der Auswertung der Auftragserfüllung. Neben der konkreten Betrachtung eines Auftrags im operativen Datenbereich sind hier insbesondere die statistischen Auswertungen von Bedeutung.

Als wichtigste Kennzahlen werden folgende Werte berechnet und angezeigt:

- Mittlere Durchlaufzeit
- Mittlere Transportdauer
- Mittlere Wartezeit
- Lieferqualität
- Stornoanteil

Diese Betrachtungen können ebenfalls vom Benutzer differenziert werden. Über entsprechende Auswahlmenüs kann er wiederum den Zeitraum der Betrachtung oder aber die Fixierung auf einen bestimmten Streckenbereich festlegen und somit die schon erwähnten Beziehungen herstellen.

Mit der Erfassung dieser Informationen wird eine hohe Datensicherheit auf operativer Ebene erreicht. Diese ist wiederum Garant für eine hohe Planungssicherheit bei den überlagerten Ebenen. Am Beispiel der Übergangszeiten zeigt sich, daß diese in heutigen Leitsystemen nur als fixe Größen berücksichtigt werden. In Wirklichkeit jedoch stellt die Übergangszeit eine stark variierende Größe dar, da eine Vielzahl von Einflußgrößen auf sie einwirken [97]. Mit Hilfe der erfaßten Daten können die aktuellen Zeiten hier konkret erfaßt, und darauf basierend, zukünftige Zeiten mit Hilfe der Simulation abgeschätzt werden.



*Bild 5-24 Rechnergestützte Ermittlung der Wertschöpfungskurve durch integrative Informationsverarbeitung*

Darüberhinaus ist mit diesen Kennzahlen nicht nur die Möglichkeit gegeben, die Qualität des produktionslogistischen Prozesses zu beurteilen. In Verbindung mit bestehenden Systemen der Maschinendatenerfassung läßt sich dadurch ein lückenloser Durchlauf des (Transport-) Auftrags durch die Produktion rekonstruieren und bildet somit die Basis für die Ermittlung der Wertschöpfungskurve (Bild 5-24). Diese stellt nach Eidenmüller [22] eine der wichtigsten Kenngrößen zur Beurteilung des logistischen Prozesses dar.

#### *Betrachtung der Dispositionsstrategien*

Die freie Auswahl der Dispositionsstrategien bietet den Vorteil der angepaßten Konfiguration der Disposition. Verbunden damit ist aber auch der Nachteil der vielen Kombinationsmöglichkeiten unterschiedlicher Strategien und einer objektiven Beurteilung dieser neuen Kombinationen. Mit diesem Teilmodul wurde die Möglichkeit geschaffen, die Dispositionsstrategien an Hand charakteristischer Kenngrößen zu beurteilen und damit zu vergleichen.

Die Beurteilung der Dispositionsstrategien ist zugleich als Grundstock für eine automatisierte Konfiguration der Dispositionsumgebung zu sehen. Durch die Bildung von

entsprechenden Kennwerten ist es möglich, bereits eingesetzte Dispositionsumgebungen zu bewerten oder aber auch im Rahmen einer betriebsnahen Simulation unterschiedliche Alternativen auszutesten und eine optimale Umgebung zu konfigurieren. Wenn dies auch exemplarisch für den Bereich der Materialflußsteuerung realisiert wurde, so stellt es doch ein allgemeingültiges Werkzeug dar, um noch bestehende Defizite in der Bewertung alternativer Handlungsansätze im Bereich von Leitstandssystemen [39, 41, 68, 141] zu kompensieren.

### **5.2.6 Konzept einer betriebsbegleitenden Simulation im Materialfluß**

Die Simulation stellt heute das wesentliche Planungshilfsmittel in Logistik und Materialfluß dar [3, 30, 122]. Trotzdem finden sich bei der Anwendung der Simulation nach wie vor Akzeptanzprobleme, wobei die aufwendige Datenbeschaffung mit bis zu 23% des Gesamtaufwandes als Hauptargument genannt wird [6, 107]. Neben der eigentlichen Modellbildung stellt die Datenaufnahme somit den wesentlichen Aufwandsposten dar. Eine Abgrenzung kann hier zudem nur fließend erfolgen, da die Validierung als Teil der Modellbildung, bereits auf erhobene Daten zurückgreift.

Um die Akzeptanz der Simulation weiter zu erhöhen und dieses wichtige Planungswerkzeug einer breiten Anwenderschicht zugänglich zu machen, bedarf es Anstrengungen in zweierlei Hinsicht:

- Vereinfachung der Datenerhebung und
- Erweiterung der Nutzungszeit der Simulation

Gerade für den Bereich der Optimierung, also der weiteren Verbesserung einer bestehenden Anlage, zeigt das konzipierte und umgesetzte Leitstandssystem wesentliche Erleichterungen bei der logistischen Datenerfassung.

Im Bereich der erweiterten Nutzung muß eine Integration von Planung und Betrieb durch die Simulation stattfinden.

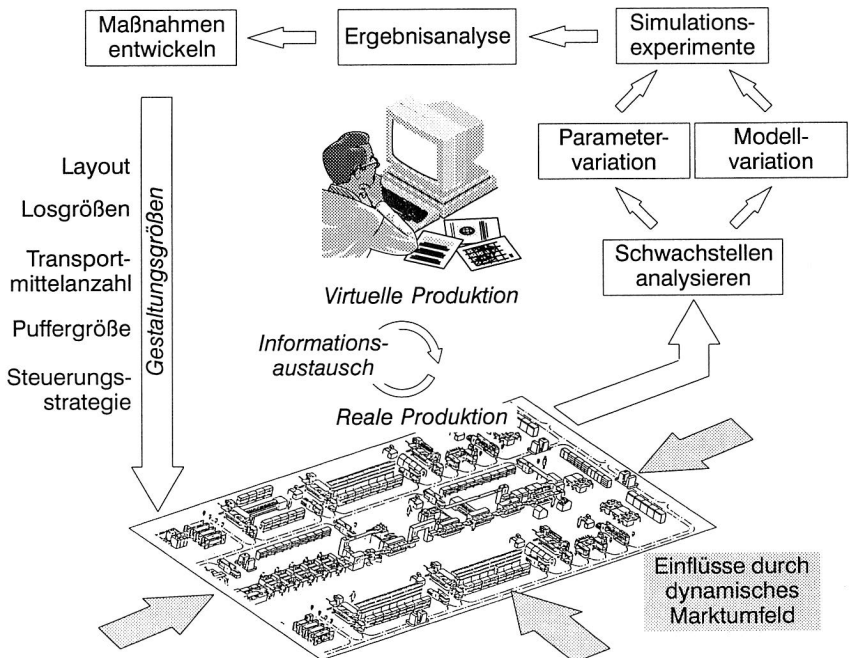
Wie bereits in Kapitel 5.2.5 aufgezeigt, ist eine strenge sequentielle Trennung zwischen Planung und Betrieb bei heutigen Produktionsanlagen weder sinnvoll noch möglich. Die Reduzierung der Produktlebenszyklen erfordert nicht nur eine gleichzeitige Beschleunigung und Effizienzsteigerung bei den vorgelagerten Bereichen, sondern in zunehmenden Maße eine Integration der planerischen, administrativen und dispositiven Funktionen in die Produktionsebene. Im Zuge dieser Tendenzen entwickeln sich die Planungswerkzeuge immer mehr zu betriebsbegleitenden Optimierungstools.

Seine wesentliche Nutzung findet das Hilfsmittel der Simulation im Bereich der Anlagenplanung. Dies auch vor dem Hintergrund steigender Anforderungen im Bereich der dispositiven Steuerung [54].

Ostermann verdeutlicht diese Entwicklung in [94], wo er feststellt, daß oft schon kurze Zeit nach der Nutzung einer Anlage Strategien in Frage gestellt werden müssen, weil sich Marktbedingungen oder wesentliche Basisdaten geändert haben.

Gerade hier aber zeigen sich die Stärken der Simulation. Jeder Anlagenplanung liegt ein Simulationsmodell zugrunde, welches die realisierte Produktionsstruktur abbildet. Dieses Modell, initialisiert mit den geänderten Basisdaten, liefert bei erneuten Simulationsexperimenten wertvolle Hinweise für eine Modifikation der bestehenden Produktion.

Die Gestaltung durchgängig automatisierter Systeme erfordert die zielgerichtete Gestaltung der einzelnen Komponenten aus Hardware, Software und Peripherie. Ein gesamtheitlicher Ansatz im Rahmen des Materialflusses ist hier allerdings nur mit Hilfe der Simulation zu erreichen, da nur mit diesem Werkzeug die dynamischen Wechselbeziehungen der Subsysteme berücksichtigt werden können.



*Bild 5-25 Simulation als Basis einer permanenten Anpassung und Optimierung der operativen logistischen Randbedingungen an die Produktion*

Es muß daher Ziel sein, eine enge Verbindung, eine Art parallelen Betrieb zwischen *virtueller* und *reeller* Produktion mit gegenseitigem Abgleich zu schaffen. Basis

dieses gegenseitigen Abgleichs ist ein reger Informationsaustausch der beiden "Produktionen" (Bild 5-25), welcher eine Synchronisation der Prozesse ermöglicht.

Kernpunkt der Betrachtungen bilden dabei schwerpunktmäßig der operative und der dispositive Bereich. Ergänzend zu den bisherigen Ansätzen, welche sich vorrangig mit der Manipulation der administrativen Ebene befassen, wird bei den folgenden Überlegungen ein Bottom-Up-Ansatz gewählt. Motiviert wurde dieser Ansatz durch zahlreiche Industrieerfahrungen, welche gezeigt haben, daß gerade der operative Bereich bei den Optimierungsüberlegungen oftmals vernachlässigt wurde und sich somit hemmend auf die Verbesserungen in den übergeordneten Bereichen auswirkte. Außerdem beeinflussen oftmals gerade operative Kenngrößen die administrativen Bereiche. Zwar sind hier die Beziehungen meist bekannt, nicht jedoch die absoluten Werte der Einflußgrößen.

### **Gestaltungsgrößen**

Als Gestaltungsgrößen für den dispositiven und operativen Bereich kommen vor allem die Zielgrößen in Frage, welche bereits im Vorfeld der Planung bestimmt wurden:

- **Streckenführung / Layout**

Die Beeinflussung sowohl der Streckenführung als auch des Produktionslayouts ist sicherlich im mittel- bis langfristigen Bereich anzusiedeln. Wie jedoch bereits bei der Betrachtung der Teilstreckenstatistiken gezeigt (Kap. 5.2.5), können hier während der gesamten Nutzungsdauer erhebliche Verschiebungen auftreten.

- **Pufferdimensionierung**

Die Pufferdimensionierung hat erheblichen Einfluß auf die logistische Prozeßqualität. Sie wirkt auf Durchlaufzeit, Bestände, Kapazitätsauslastung und das gesamte Flußverhalten der Aufträge. Im mittel- bis langfristigen Bereich sind die realisierten Puffergrößen daher immer wieder zu überprüfen und gegebenenfalls anzupassen. Im Rahmen von kurzfristigen Reaktionen ist die dynamische Vergabe von virtuellen Puffergrößen möglich.

- **Losgrößen**

Ähnlich verhält sich die Situation bei der Losgrößendimensionierung. Im Sinne der "Belastungsorientierten Auftragsfreigabe [136]" sind hier im langfristigen Bereich wiederum entsprechende Losgrößengrenzen zu ermitteln.

Im kurzfristigen Steuerungsbereich besteht die Möglichkeit, gerade in der variantenreichen Produktion, die optimalen Losgrößen derart zu bestimmen, daß jede Leiterplattenkassette einen annähernd *gleichen Arbeitsinhalt* repräsentiert. Dies wirkt sich wiederum positiv auf den Auftragsfluß aus [22].

- **Fahrzeug- und Transporthilfsmittellanzahl**

Ein relativ einfach umzusetzendes Gestaltungskriterium ist die Fahrzeuganzahl. Bei zahlreichen Simulationsuntersuchungen hat sich gezeigt, daß

ein Zusammenhang besteht zwischen Fahrzeuganzahl, Auftragsstruktur (Tagesscheibe) und logistischer Leistung. So führt z. B. eine für das aktuelle Transportaufkommen zu hohe Fahrzeuganzahl im System zu gegenseitigen Blockierungen. Mit Hilfe der Simulation ist hier für ein bestimmtes Auftragspektrum die optimale Fahrzeuganzahl zu bestimmen und einzustellen.

Zudem kommt dieses Vorgehen einer Verfügbarkeitssteigerung des Gesamtsystems entgegen, da im Sinne einer präventiven Instandhaltung die aktuell nicht benötigten Fahrzeuge Wartungsarbeiten zugeführt werden können.

Entsprechende Überlegungen sind auch für die Anzahl der Transporthilfsmittel anzustellen.

- **Steuerungsstrategien**

Zentraler Punkt des vorgestellten Leitstandskonzeptes ist der anforderungsgerechte Einsatz von angepaßten Steuerungsstrategien. Gerade auch in diesem Bereich zeigt sich ein Einsatzschwerpunkt der betriebsbegleitenden Simulation [106]. Langfristig ist das Simulationsmodell ein adäquates Umfeld, um neue Steuerungsstrategien zu entwickeln und zu erproben. Im täglichen Betrieb bietet sie die Möglichkeit, wiederum ausgehend von einem bestimmten Auftragspektrum, optimale Strategien für die einzelnen Subsysteme auszuwählen und somit ein Gesamtoptimum zu sichern

Insbesondere im Bereich des Materialflusses muß bei der Betrachtung der Steuerungsstrategien der Mitarbeiter berücksichtigt werden. In Materialflusssystemen, in denen ein manueller Transport oder eine manuelle Disposition vorherrschen, mußte immer wieder festgestellt werden, daß die Effizienz von Steuerungsstrategien massiv durch das Mitarbeiterverhalten beeinflusst wird.

Dies verursacht im Prinzip Probleme in zweierlei Hinsicht:

- die Entscheidungen manueller Steuerungssysteme sind in der Regel heuristischer Natur und damit schwierig zu modellieren
- die Vorgaben von entscheidungsunterstützenden Systemen bringen nur dann Nutzen, wenn sie vom Mitarbeiter zielgerichtet umgesetzt werden

Um diese Probleme einzudämmen ist in einer kurzfristigen Sichtweise entsprechend qualifiziertes Mitarbeiterpotential einzusetzen; langfristig kann nur eine durchgängige Gestaltung einer automatisierten logistischen Prozeßkette Abhilfe schaffen.

### ***Betriebsbegleitende Simulation im Materialfluß***

Die gezeigten Ansätze verweisen auf eine Vielzahl von möglichen Einsatzschwerpunkten der Simulation im Produktionsmanagement, wobei sich die genannten Gestaltungsgrößen im wesentlichen nur auf den Bereich der operativen Materialflußgestaltung beziehen. Erste Ansätze der Integration der Simulation bieten sich gerade in diesem Bereich aus folgenden Gründen an:

Die Festlegung der aufgeführten Größen sind bereits im reinen *Planungsstadium* des Produktionssystems notwendig, sodaß das entwickelte Simulationsmodell bereits in einer ausreichenden Detaillierung vorliegt [100].

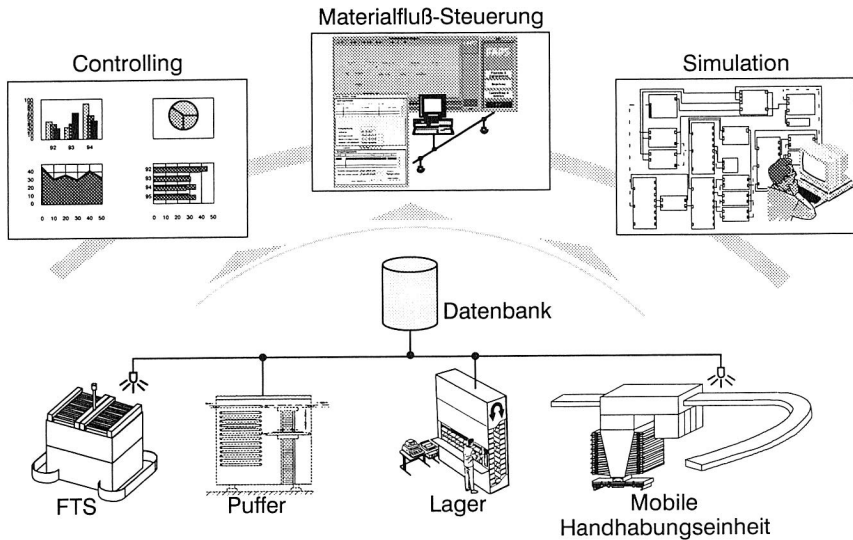


Bild 5-26 Integration der Simulation in das Leitstandskonzept

Die benötigten Daten für die Initialisierung des Simulationsmodells werden größtenteils auch vom Dispositionsmodul des Materialflueitstandes benötigt, bzw. ergänzend vom Controlling-Modul erfaßt (Bild 5-26). Der Aufwand für die Datenaufnahme reduziert sich dadurch auf ein Minimum. Mit dem Datenbankmanagementsystem steht zudem eine standardisierte Schnittstelle für das Simulationssystem zur Verfügung, welche von Seiten des am Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik eingesetzten Simulationssystems bereits erfolgreich realisiert wurde [1, 127].

Die zeitlichen Anforderungen an die Simulation sind mit den heutigen Systemen in der Regel zu erfüllen, da die Gestaltungsgrößen im Zeitrahmen eines Tages eingestellt werden.

Basierend auf dieser Einstiegslösung lassen sich sowohl das Simulationsmodell als auch die Datenprotokollierung weiter verfeinern und gleichzeitig der zeitliche Horizont der Betrachtung verringern, sodaß die leitsystemunterstützende Simulation hin zu einer integrierten betriebsbegleitenden Komponente konvergiert.

Mit diesem Ansatz der stufenweisen Integration der Simulation in das Leitstandssystem lassen sich notwendige Änderungen am schon vorhandenen Modell schnell und kostengünstig nachvollziehen und wirtschaftlich begründen. Weiter wird nicht nur einer besseren Unterstützung der Dispositionsmechanismen Rechnung getragen, sondern insgesamt das Verhältnis von Aufwand zu Nutzen der Simulation gesenkt.



## 6 Realisierung des Materialflußkonzeptes

Das im Rahmen der Arbeit entwickelte Konzept zur durchgängigen Materialfluß-automatisierung wurde in der Modellfabrik des Lehrstuhls für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik umgesetzt und erprobt. Dabei wurden folgende Zielsetzungen verfolgt:

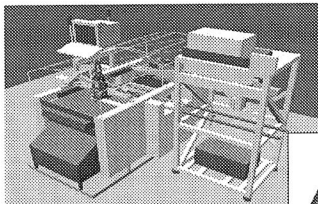
- Nachweis der Funktionsfähigkeit der Mobilen Handhabungseinheit
- Nachweis der Funktionsfähigkeit des modularen, adaptiven Materialflußsystems
- Erprobung des Einsatzverhaltens der Einzelkomponenten im Zusammenspiel als integriertes Logistiksystem

Im folgenden werden das Umfeld und die gewonnen Erkenntnisse beschrieben.

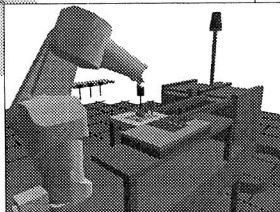
### 6.1 Produktionstechnisches Umfeld

Der Gesamtkomplex der Modellfabrik gliedert sich in die Bereiche Vorfertigung, Montage und Elektronikproduktion. Deren Anbindung erfolgt durch ein konventionelles, induktiv geführtes Fahrerloses Transportfahrzeug mit vier Ladeplätzen für Werkstückträger.

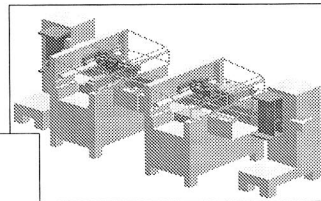
Der Bereich Elektronikproduktion besteht aus folgenden Komponenten:



MID-Linie auf Basis  
SIPLACE 80S



Flexible Bestückung  
Industrieroboter

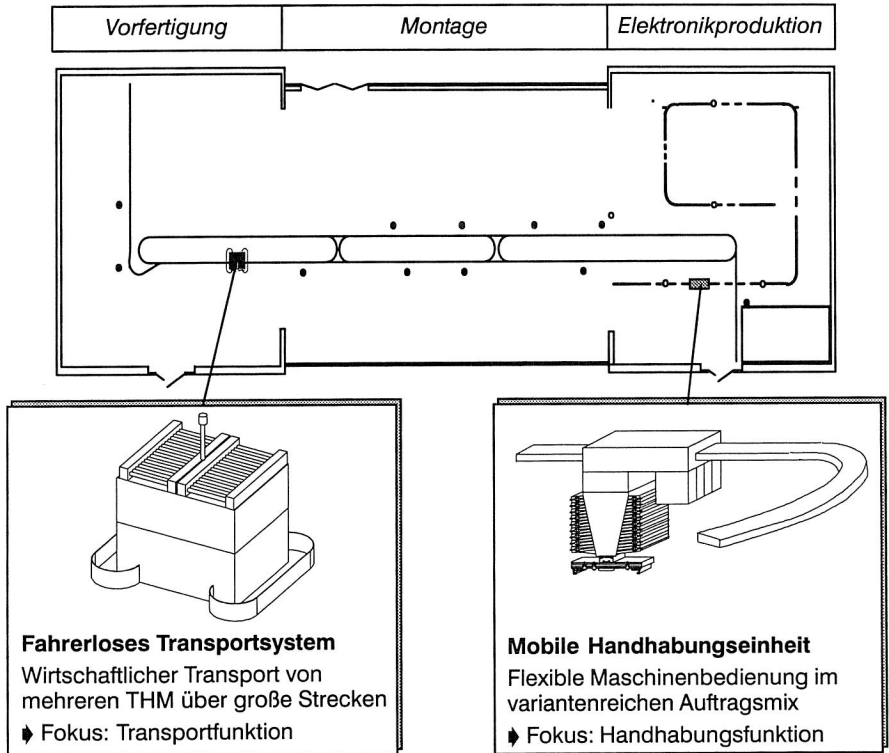


Bestücklinie  
HS 180

*Bild 6-1 Produktionstechnisches Umfeld im Bereich der Elektronikproduktion*

In diesem Produktionsumfeld finden Forschungen zur Integration von Schaltungen in räumlich spritzgegossene Schaltungsträger statt. Der Produktaufbau mit spritzgegossenen Schaltungsträgern ermöglicht neben der Einsparung von Montage-

schritten die Integration mechanischer und elektronischer Funktionen in einen dreidimensionalen Schaltungsträger [29].



*Bild 6-2 Materialflußstruktur mit FTS und Mobiler Handhabungskomponente*

Durch die Verwendung konventioneller Ein-/Ausgabeeinheiten, auch in diesem technologisch neuen Forschungsgebiet, können für den fabrikinternen Materialfluß die technischen Randbedingungen übernommen werden.

Aufgabe des Materialflusses ist es, vorrangig die einzelnen Linien bedarfsgerecht mit Material zu versorgen. Ausgangspunkt ist dabei in der Regel der fertigungsnahe Auftragspuffer, welcher die Leiterplattenkassetten zwischenlagert. Für besonders eilige Aufträge besteht eine direkte Schnittstelle zwischen FTS und MHE, an der die Transporthilfsmittel direkt vom FTS aus aufgenommen bzw. abgegeben werden (Bild 6-2).

Um die kontinuierliche Bearbeitung des Auftrages zu ermöglichen, sind die Schnittstellenkomponenten sowohl technisch als auch informationstechnisch in die Abläufe mit eingebunden.

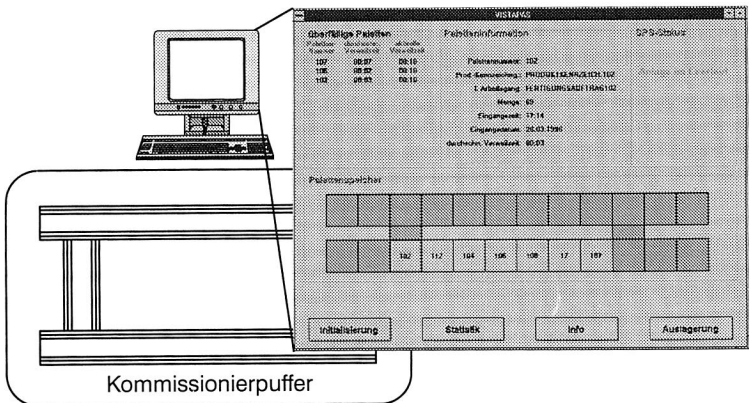
## 6.2 Integration der Schnittstellenkomponenten

Ein Gesamtsystem kann nur dann seine volle Leistungsfähigkeit entfalten, wenn die einzelnen Subsysteme nicht nur über hohe eigene Intelligenz verfügen, um die ihnen zugedachten Aufgaben autonom zu erfüllen, sondern auch optimal aufeinander abgestimmt sind. Nur so ist eine strategische Ausrichtung im Sinne einer gesamtheitlichen Wertschöpfungsoptimierung möglich. Die erforderlichen Schnittstellenkomponenten werden im folgenden beschrieben.

### 6.2.1 Bedarfsorientierte Materialbereitstellung

#### *Pufferkomponente*

Entsprechend den konzeptionellen Überlegungen in Kapitel 3.3.1 wurde ein fertigungsnaher Auftragspuffer integriert. Er ist insbesondere durch die entwickelte Steuerungssoftware in der Lage, die für die dezentrale Disposition notwendigen Daten zur Verfügung zu stellen und einen schnellen Zugriff auf die benötigte Leiterplattenkassette zu sichern.



*Bild 6-3 Datentechnische Integration des fertigungsnahen Auftragspuffers gewährleistet eine schnelle und bedarfsgerechte Versorgung der Produktion*

Die Ausführung als Umlaufspeicher gewährleistet einen wahlfreien Zugriff auf die Förderhilfsmittel (Bild 6-3). Zur Anbindung der Transportsysteme sind vier Übergabe-

positionen vorgesehen, um so eine komplette FTS-Charge kommissionieren und übergeben zu können. Durch die individuelle Ansteuerung der Transportbänder ist der Puffer aber auch in der Lage, auf einem Band Paletten zu übergeben, während auf dem zweiten Band andere übernommen werden. Somit sind optimale Abläufe zu gestalten und kurze Übergabezeiten zu realisieren. Durch die Koordination des Materialflußleitrechners, mit welchem der Zellenrechner über das fabrikeninterne Netzwerk kommuniziert, wird die Kommissionierung im Palettenspeicher rechtzeitig veranlaßt.

Die hierfür benötigten Informationen liest der Zellenrechner von den mobilen Datenträgern der Leiterplattenkassetten ein und hält sie redundant in einer internen Datenbank, um z. B. für die Visualisierung des Pufferzustandes, den Kommunikationsaufwand zu reduzieren. Sollte sich das Anlagenabbild dennoch einmal vom realen Zustand unterscheiden, z. B. durch das manuelle Einbringen von Paletten, so wird dies bei der nächsten Palettenbewegung festgestellt und eine Neuinitialisierung eingeleitet. Weiter erlaubt die Speicherung der Daten auch statistische Auswertungen über den Pufferzugriff und bietet damit zusätzliches Optimierungspotential. Als exemplarisches Beispiel sei hier die Anzeige "überfälliger" Paletten genannt. Aus den hinterlegten Daten kann der Zellenrechner durchschnittliche, auftragsspezifische Verweildauern ermitteln. Werden diese von aktuellen Aufträgen gravierend überschritten, so kann die Pufferzelle aktiv werden und die entsprechenden Aufträge an übergeordnete Leitsysteme weitermelden.

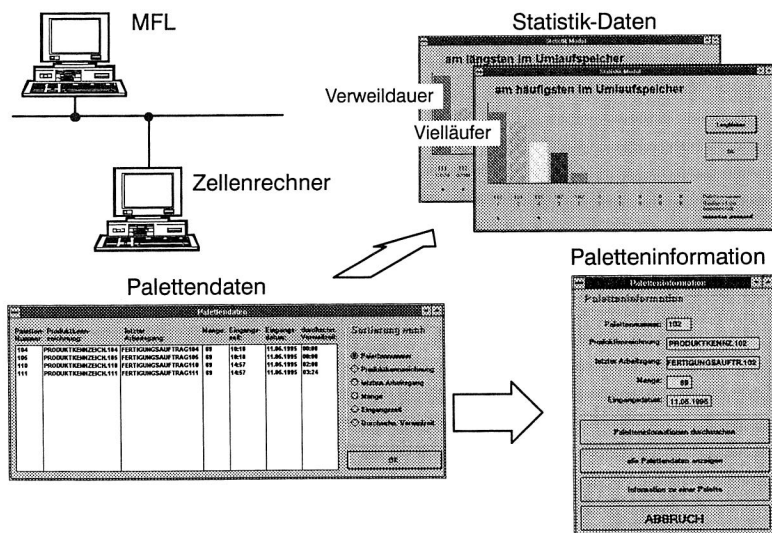


Bild 6-4 Benutzerorientierte Oberflächengestaltung des Zellenrechners zur umfassenden Information von Bediener und Leitsystem

Entsprechend dem Gesamtkonzept, der benutzerorientierten Auslegung der Systeme, kann auch der Anlagenbediener auf allen Ebenen in die aktuellen Abläufe eingreifen. So können etwa Auslagerungen, notwendige Initialisierungen oder aber gezielte Informationen über bestimmte Lagereinheiten angefordert werden (Bild 6-4).

Durch die physische Trennung der Steuerungsebenen, in SPS auf operativer Ebene und PC auf dispositiver und administrativer Ebene, kann eine hohe Verfügbarkeit des Puffers erreicht werden. Das System kann selbst dann noch gewisse Aufgabenbereiche erfüllen, wenn der Leitrechner ausfällt.

### **Bereitstellung der Kleinladungsträger**

Durch die manuelle "Bedienung" der Kleinladungsträger (KLT) gestaltet sich deren Bereitstellung relativ einfach. In der Experimentierumgebung wurden an den Paternostern hierzu einfache Plattformen angebracht, auf welche die KLTs abgestellt werden können. Positionierhilfen unterstützen hier die Übergabe und sichern die Ladungsträger zusätzlich.

Auch für die Bereitstellung von Materialien mit Hilfe der Kleinladungsträger bietet sich die Integration des Identifikationssystems an. Verbunden mit dem Linienrechner kann so unmittelbar auf bereitgestelltes Material reagiert und gegebenenfalls Unterstützung für das Personal angeboten werden.

### **6.2.2 Leiterplatteneingabegerät**

Schwerpunkt der Betrachtung im Umfeld der Schnittstellenanbindung stellt zweifellos die Integration der Bestücklinie über die Ein-/Ausgabeeinheiten dar. Durch die Umgestaltung bzw. steuerungstechnische Erweiterung dieser Komponenten kann nicht nur ein durchgängiger Materialfluß, sondern insbesondere die automatisierte Produktion erreicht werden. Die Anbindung wurde dabei sowohl für Standardgeräte mit den Grundfunktionen "weitertakten" und "ausgeben", als auch für eine Einheit mit Magazinwechseltisch realisiert. Durch den "Auftragspuffer" in Form des Wechseltisches wird eine kontinuierliche Produktion und damit eine Steigerung der Maschinenhauptzeiten erreicht.

#### **Standardgerät**

Das Standardgerät, mit *einem* Stellplatz für die Leiterplattenkassette, stellt die heute hauptsächlich realisierte Schnittstelle zu automatisierten Bestücklinien dar. An sie wird, an einer bestimmten Übergabeposition, eine Leiterplattenkassette übergeben. Anschließend kann die Bearbeitung gestartet werden. Dabei wird i. d. R. mit der untersten Leiterplatte begonnen und die Kassette bis zur Abarbeitung der obersten Leiterplatte im eingestellten Abstand nach unten getaktet. Im Anschluß wird die jetzt leere Kassette wieder auf Übergabenniveau verfahren und wartet auf das Auswechseln.

Die Übergabehöhe der Leiterplattenkassetten verändert sich - unter der Annahme konstanter Kassettenhöhe - nicht und kann daher fest in der Steuerung hinterlegt werden. Geringfügige Abweichungen in der Übergabehöhe können durch die fehler-tolerante Gestaltung des Greifersystems kompensiert werden.

Die Ablaufsteuerung der Palettenübergabe gestaltet sich ähnlich einfach. Die Mobile Handhabungseinheit hat lediglich zu überprüfen, ob sie die Übergabeplattform entsprechend ihrem Auftrag vorfindet (frei oder belegt) und kann dann den Kassettentransfer durchführen. Zur Unterstützung der Anlieferung wurde das System lediglich mit Positionierhilfen ausgestattet.

Generell ist jedoch bei den Einzelplatz-Standardgeräten der gravierende Nachteil des diskontinuierlichen Produktionsablaufes zu sehen. Das Gerät muß, nachdem es mit einer Leiterplattenkassette bestückt wurde, entsprechend parametrieren und die Bearbeitung gestartet werden. Nach der Abarbeitung verfährt der Tisch wieder auf Übergabehöhe und gibt ein Signal für den notwendigen Kassettenwechsel. Ist dieser vollzogen, muß die Steuerung gegebenenfalls neu parametrisiert werden und kann dann die Abarbeitung erneut starten.

Durch dieses Anfahren eines bestimmten Arbeitsniveaus zur Beschickung mit Leiterplattenkassetten ergeben sich eine Reihe von Nachteilen:

- Unterbrechung einer kontinuierlichen Beschickung der Linie
- hoher steuerungstechnischer und logistischer Aufwand für die zeitpunkts-genaue Bereitstellung der Leiterplattenkassetten bzw.
- zusätzlicher Peripherieaufwand durch LPK-Puffer an den Be- und Entlade-einheiten und damit erhöhter Umlaufbestand bei verminderter Flexibilität

In Anbetracht dieser Restriktionen eignet sich das Standardgerät nur bedingt für die variantenreiche Kleinserienfertigung. Vielmehr ist das Haupteinsatzgebiet dieser Automatisierungskomponenten im Bereich der variantenarmen Mittel- bis Großserienfertigung zu sehen. In diesem Umfeld ist es durchaus vertretbar, vor den Linien geringfügige Pufferbestände zu dulden. Ebenso kann die Ablaufunterbrechung durch den Magazinwechsel mit Hilfe von linieninternen Pufferstrecken kompensiert werden.

Aufwendiger, aber im Sinne einer effizienten Produktion durchaus auch wirkungsvoller, gestaltet sich die Integration eines Handlingmoduls mit Magazinwechseltisch.

### **Grundaufbau Leiterplatteneingabegerät mit Wechseltisch**

Hohe Auslastung der kapitalintensiven Bestückmaschinen bei minimaler Auftrags-durchlaufzeit ist das primäre Ziel in der Elektronikproduktion. Erreicht wird dies durch eine unterbrechungsfreie Versorgung mit Schaltungsträgern mit Hilfe des Magazinwechseltisches. Ist eine Leiterplattenkassette fertig bearbeitet, veranlaßt die Mikroprozessorsteuerung einen automatischen Wechsel der Kassetten und signalisiert den Austausch der bestückten Einheit.

Bild 6-5 zeigt den grundsätzlichen Aufbau eines Leiterplattenein-/ausgabegerätes mit Magazinwechseltisch. Diese Schnittstelle erlaubt eine optimale Einbindung in ein durchgängiges Automatisierungskonzept und damit in einen kontinuierlichen Materialfluß.

Der Wechseltisch stellt einen maschineninternen Pufferplatz dar, welcher die Zeit für den Austausch einer abgearbeiteten Leiterplattenkassette überbrücken kann. Die Mobile Handhabungseinheit liefert unbestückte Leiterplatten in einer Kassette an den Eingabepaternoster. Dieser verfährt die nun auf dem Wechseltisch befindliche Kassette in Bearbeitungsposition und gibt die Leiterplatten einzeln an die Bestücklinie weiter. Während dieses Arbeitsablaufes kann die Mobile Handhabungseinheit eine weitere Kassette auf den zweiten Stellplatz des Wechseltisches anliefern. Nachdem alle Leiterplatten der Kassette in Bearbeitungsposition abgearbeitet wurden, verfährt der Wechseltisch. Die Abarbeitung der zweiten Kassette kann unmittelbar beginnen und die erste steht zum Austausch bereit.

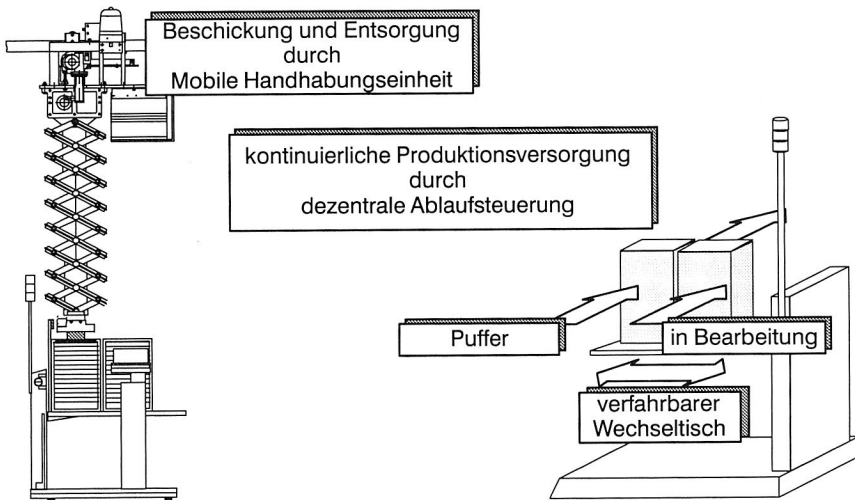


Bild 6-5 Leiterplattenein-/ausgabegerät mit Magazinwechseltisch

Der Bearbeitungsablauf gestaltet sich ähnlich wie bei dem Standardgerät. Das Eingabegerät wird mit einer Leiterplattenkassette beschickt, die Steuerung entsprechend parametrisiert und das Programm gestartet.

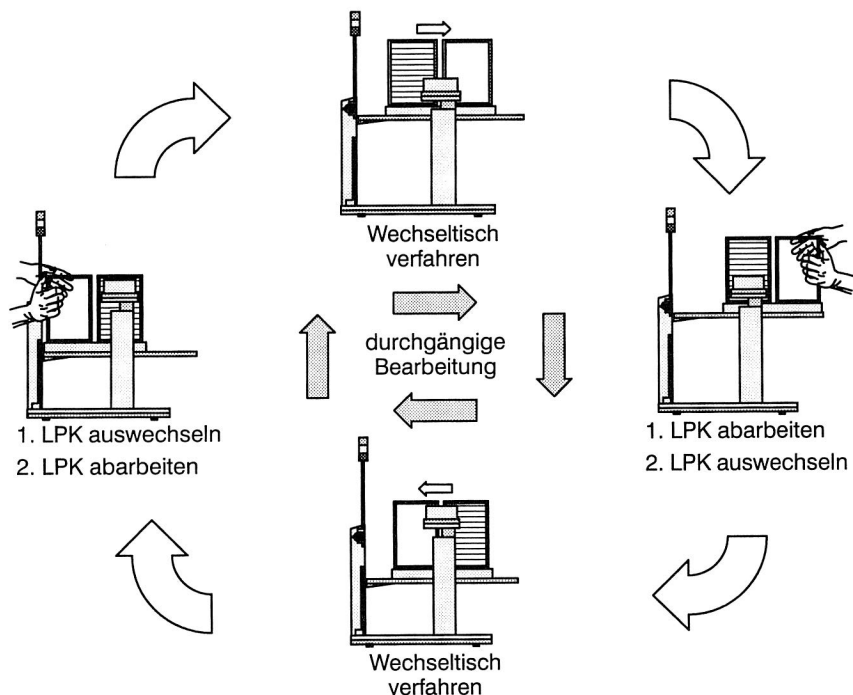
Wird während der Abarbeitung nun der zweite Pufferplatz mit einer identischen Leiterplattenkassette versorgt, wird vom Gerät ein automatischer Kassettenwechsel durchgeführt und somit eine durchgängige Bearbeitung erreicht (Bild 6-6).

Durch diesen automatischen Ablauf werden Nebenzeiten, wie sie an den Standardgeräten durch den aufwendigen Magazinwechsel hervorgerufen werden, minimiert.

Die Magazine können während der Abarbeitung gewechselt werden, der Magazinwechseltisch verfährt in den untersten bzw. obersten Übergabepositionen, sodaß eine permanente Flachbaugruppenversorgung gewährleistet ist.

Dieser aufgezeigte optimale Ablauf ist aber nur realisierbar, wenn bestimmte Voraussetzungen erfüllt sind:

- gleichartige Aufträge in Form von einheitlich konfigurierten Leiterplattenkassetten stehen zur Abarbeitung an
- die Versorgung des Eingabegerätes mit Leiterplattenkassetten ist gewährleistet



*Bild 6-6 Ablaufoptimierung beim Leiterplatteingabegerät bei Einsatz gleichartiger Leiterplattenkassetten*

Daher bietet sich ein Einsatz dieser Schnittstellenkomponenten in ihrer Grundkonfiguration vorrangig im Bereich der variantenarmen Mittelserienproduktion bei manuellem Handling der Leiterplattenkassetten an.

Für den beabsichtigten Einsatzschwerpunkt, der variantenreichen Kleinserienproduktion, ergeben sich folgende Problemfelder:



- notwendige Unterbrechung der Produktion bei Varianten- bzw. Losgrößenwechsel
- hoher Bedienungsaufwand und Fehleranfälligkeit durch die manuelle Dateneingabe

Mit der Zielsetzung eines optimierten und automatisierten Ablaufes und einer umfassenden Mitarbeiterunterstützung entsteht daher die Notwendigkeit der direkten Kopplung von Material und zugehöriger Information, und ergänzend dazu, der automatischen Weiterverarbeitung der Informationen.

Dazu wurde die Leiterplatteinein-/ausgabeeinheit sowohl von der technischen Auslegung als auch von der steuerungstechnischen Konfiguration angepaßt.

### Identifikationssystem

Hauptträger des Integrationsgedankens ist zweifelsohne das Identifikationssystem. Die Ausstattung der Transporthilfsmittel mit mobilen Datenträgern gestattet eine durchgängige Mechanisierung der Bearbeitung. Weiter besitzt das Material in gewisser Weise einen aktiven Charakter und kann den Produktionsablauf entsprechend beeinflussen (Bild 6-7).

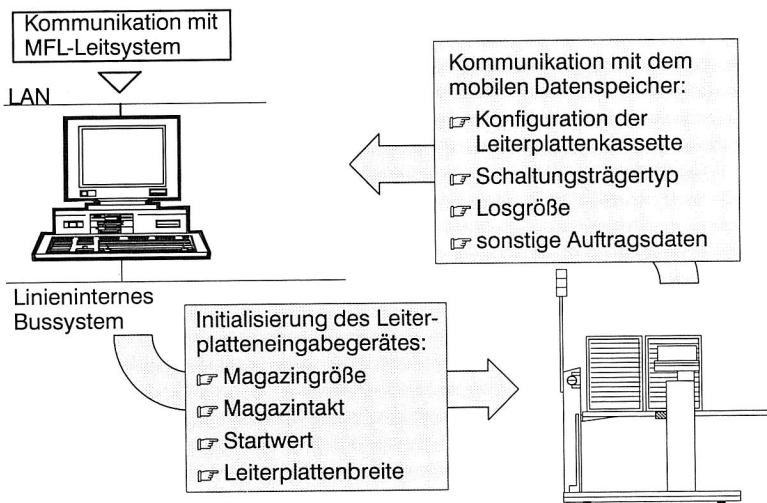


Bild 6-7 Dezentrale Steuerungskonzept mittels integriertem Identifikationssystem

Als Schnittstelle zur Bestücklinie fungieren die Ein-/Ausgabepaternoster. Diese wurden im Experimentierfeld mit Schreib-/Leseeinheiten versehen und sind dadurch in der Lage, auftragsspezifisch auf die angelieferten Leiterplattenkassetten zu reagieren. Dabei wird die Strategie verfolgt, daß die standardisierten Leiterplattenkassetten sortenrein gefüllt und individuell konfigurierbar sind. Dies stellt keine Einschränkung gegenüber anderen Konzepten dar.

Bei der Strukturierung der Daten ist zu unterscheiden zwischen den Informationen für die Konfiguration der Leiterplattenkassette und Informationen, welche die Leiterplatte direkt betreffen.

In Bezug auf die Belange des Leiterplattenhandlings sind im Mobilien Datenspeicher folgende Werte abgelegt:

- Magazingröße / Anzahl der Leiterplatten
- Magazintakt
- Startwert
- Leiterplattenbreite

Leiterplattenbezogen werden der Typ der Leiterplatte und der aktuelle Bearbeitungszustand hinterlegt. Durch die bidirektionale Kommunikation ist es möglich, sich während des Produktionsdurchlaufes ändernde Daten, wie z. B. Anzahl der Leiterplatten, mitzuprotokollieren und entsprechend darauf zu reagieren.

Mit Hilfe dieser Informationen kann das Handlings- und Transportsystem der Linie individuell auf das jeweilige Los, z. B. wechselnde Leiterplattenbreiten, eingestellt werden. Über die Angabe einer virtuellen Magazingröße ist es zudem möglich, auf unterschiedliche Füllgrade der Leiterplattenkassette und damit auf wechselnde Losgrößen zu realisieren.

### Positionierhilfen

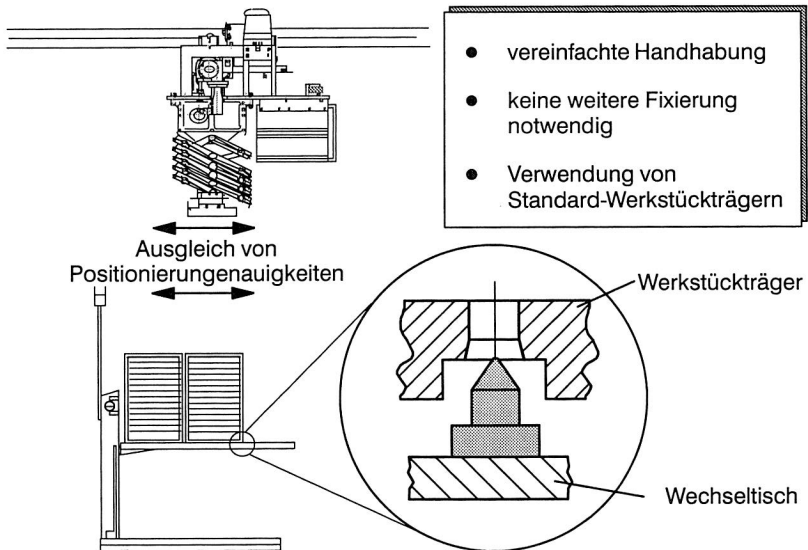


Bild 6-8 Positionierbolzen helfen die Ungenauigkeiten der beiden Verfahrachsen zu tolerieren

Durch die zwei bewegten Achsen, die Transportachse der MHE sowie die des Magazinwechseltisches, sind Hilfsmittel notwendig, um Abweichungen in der Positioniergenauigkeit aufzufangen. Der Wechseltisch wurde aus diesem Grund mit Positionierbolzen versehen (Bild 6-8), welche das Positionieren der Leiterplattenkassetten unterstützen.

Die Kombination aus Positionierbolzen und -buchse, integriert in den Werkstückträger, erlaubt zudem eine Vereinfachung der Handhabungsabläufe. Auf die bisher meist notwendige zusätzliche Fixierung durch Hebelmechanismen kann verzichtet werden.

### **Lokale Kommunikationseinheit**

Zusätzlich zur Sicherung des eigentlichen Übergabeprozesses muß der Wechseltisch für den vorgesehenen Kassettentransfer entsprechend vorbereitet sein. Für diese Aufgabenstellung wurde eine *Lokale Kommunikationseinheit* auf Infrarotbasis entwickelt.

Sie stellt sicher, daß das Fahrzeug nicht eine bereits belegte Übergabestelle erneut mit einer Kassette beliefert, bzw. eine "nicht vorhandene" Kassette abholen will. Es wird dabei zwischen den Transaktionen *Bringen* und *Holen* unterschieden (Bild 6-9). Organisiert ist die Kommunikation nach dem Master-Slave-Verfahren, wobei die Mobile Handhabungseinheit als Master, die Bodenstation als Slave fungiert.

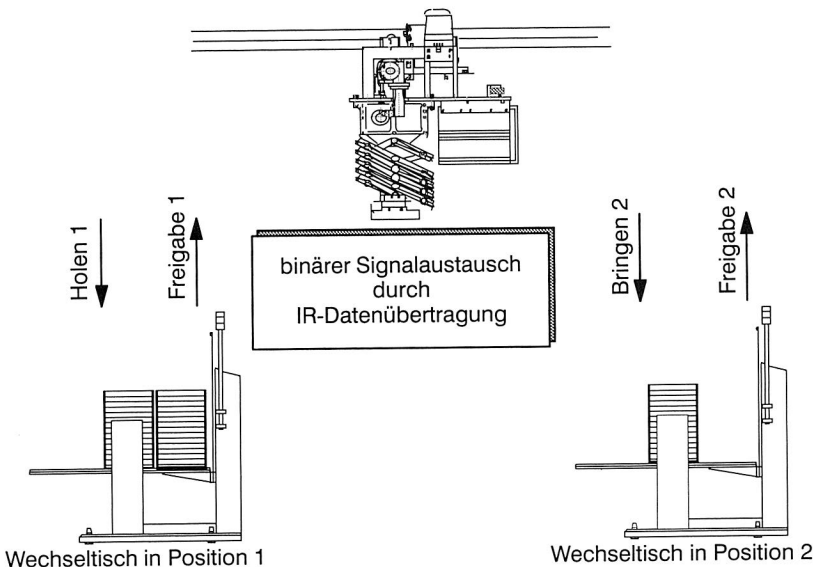


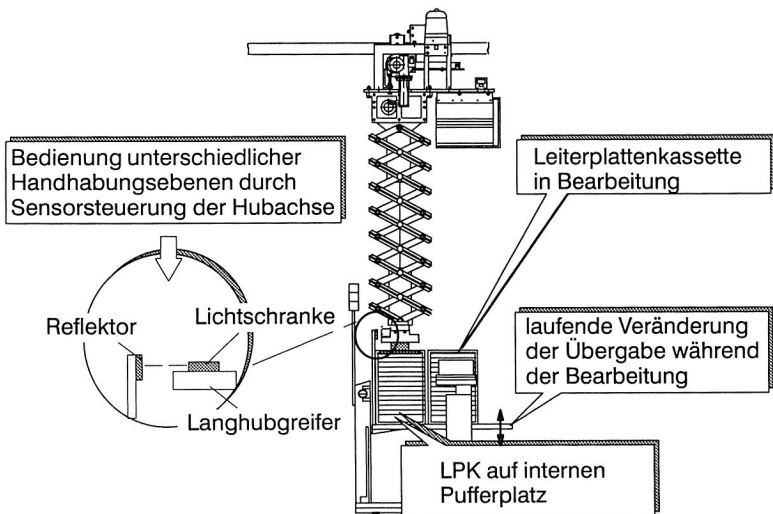
Bild 6-9 Lokale Kommunikation zwischen Mobiler Handhabungseinheit und Übergabestation zum gesicherten Materialtransfer

Die Mobile Handhabungseinheit stellt dabei eine spezielle Anfrage ("Bringen" oder "Holen") und erwartet eine allgemeine Freigabe.

Die Kommunikationseinheit ist direkt mit den jeweiligen operativen Steuerungen verbunden. Die eingeschränkte Freigabeinformation wird im negativen Falle über eine Zeitüberwachung abgefangen. Erhält die Mobile Handhabungsachse innerhalb eines festgelegten Zeitfensters keine Freigabe, so wird dies als "Freigabe verweigert" gewertet. Das Materialflußsystem reagiert dann mit Notfallstrategien.

### **Höhenunabhängiger Austausch der Leiterplattenkassette**

Das Leiterplattenein-/ausgabegerät versorgt die Bestückereinheit weiter mit Leiterplatten. Damit ändert sich zwangsläufig die Übergabehöhe für die Leiterplattenkassette. Dieses Problem wurde über eine entsprechende Sensorik am Langhubgreifer gelöst. Eine Lichtschranke reagiert auf einen in festem Abstand zum Verfahrtschiff angebrachten Reflektor. Das Signal wird an einen besonders schnellen Eingang der Positioniersteuerung, den sogenannten Touch-Probe-Eingang, weitergeleitet. Nach Auftreten des Signals wird noch eine vordefinierte Strecke (Abstand Reflektor - Leiterplattenkassette) positioniert. Somit wird der unmittelbare, hauptzeitparallele Magazinwechsel am Leiterplatteneingabegerät mit Wechseltisch möglich (Bild 6-10).



*Bild 6-10 Hauptzeitparallele Magazinübergabe am Leiterplatteneingabegerät durch die Mobile Handhabungseinheit*

## Ablaufsteuerung

Der konventionelle Funktionsablauf des Leiterplatteneingabegerätes (s. o.) muß für die Integration in das durchgängige Automatisierungskonzept angepaßt werden.

Dies ist in Form eines dreistufigen Vorgehens zu realisieren (Bild 6-11):

- Ablaufsteuerung des Eingabegerätes
- Kommunikation mit der Mobilen Handhabungseinheit
- Kommunikation mit dem Materialflußleitstand

Im Rahmen der eigentlichen Ablaufsteuerung ist auch in der variantenreichen Kleinserienfertigung ein durchgängiger Arbeitszyklus zu erreichen (Bild 6-6). Dies erfordert insbesondere bei unterschiedlichen Füllhöhen der Leiterplattenkassetten zusätzliche Intelligenz der Maschinensteuerung. Über die mobilen Datenträger können die Positionen der obersten und untersten Leiterplatte mitgegeben werden. Aus diesen Informationen muß es der Ablaufsteuerung möglich sein, den minimal notwendigen Verfahrensweg zu berechnen, die Leiterplattenkassette entsprechend zu positionieren und die Bearbeitung zu starten.

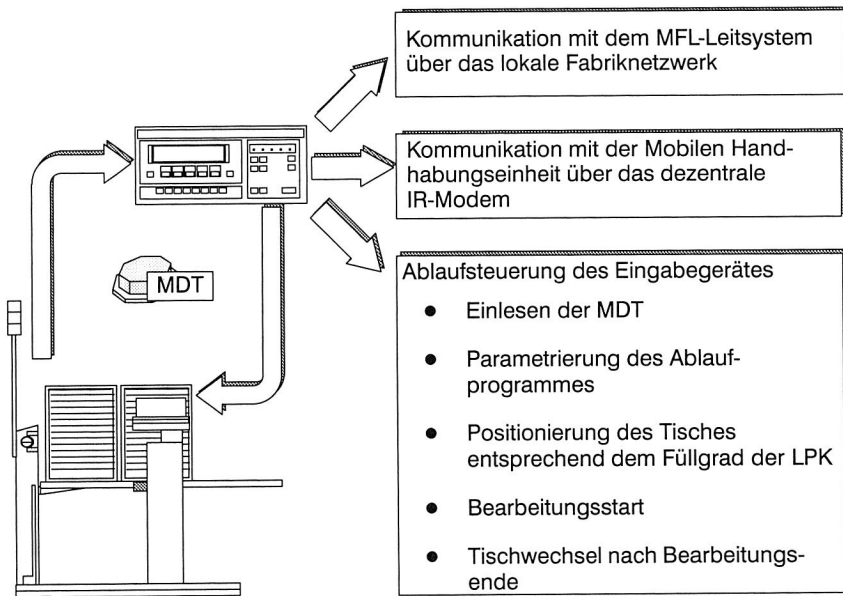


Bild 6-11 Maschinensteuerung als dezentrale Optimierungsinstanz

Parallel dazu muß die Ablaufsteuerung den sicheren Austausch der gepufferten Leiterplattenkassette gewährleisten. Dazu steht sie über die lokale Kommunikationseinheit in Kontakt mit der Mobilen Handhabungseinheit. Das aktive Handling der

Mobilen Handhabungseinheit kann zu einem ablaufgünstigen Zeitpunkt gestartet werden, da für die Übergabe der Arbeitsablauf des Eingabegerätes kurzfristig unterbrochen werden muß.

Nicht zuletzt muß eine Kommunikation mit dem Materialflußsystem stattfinden. Diese erstreckt sich bei der Abholung der abgearbeiteten Kassette lediglich auf das Anfordern der Handhabungseinheit. Beim Bereitstellen eines neuen Auftrags muß, im Sinne einer dezentralen Optimierung, ein konkreter Auftrag aus der Tagesscheibe spezifiziert werden.

## **6.3    *Einsatzverfahren der Mobilen Handhabungseinheit***

Die Versorgung von Produktionseinrichtungen mit Werkstücken und Betriebsmitteln durch mobile Manipulatoren findet ein immer breiter werdendes Einsatzfeld in der Produktion [19, 50, 66, 74].

Speziell für dieses Aufgabenspektrum wurde die Mobile Handhabungseinheit als integrierendes Materialflußsystem für die Elektronikproduktion entwickelt. Mit ihrer Hilfe wird in den hochautomatisierten Montagesystemen eine gesicherte Materialversorgung ohne manuelle Eingriffe realisiert.

### **6.3.1    *Technisches Einsatzverhalten***

Zur Beurteilung der technischen Einsatzgrößen der Mobilen Handhabungseinheit wurde die VDI-Richtlinie 2861 "Montage- und Handhabungstechnik: Kenngrößen für Industrieroboter" [89] herangezogen. Diese beschreibt charakteristische Bewertungsgrößen für Industrieroboter und Handhabungseinrichtungen.

Unter Berücksichtigung der Besonderheiten von Elektrohängebahnen können diese Kriterien auch für die Mobile Handhabungseinheit verwendet werden. Mit Hilfe von Versuchsreihen wurden dabei folgende Kenngrößen bestimmt:

- Mittlere Positionsstreuung
- Mittlere Umkehrspanne

Die weiteren Kenngrößen, welche in der Richtlinie VDI 2861 angegeben sind, können nicht sinnvoll auf die MHE angewendet werden. Kennwerte, wie z. B. Bahnwiederholgenauigkeit oder Bahnstreuung sind nur dann aussagekräftig, wenn zwei Achsen gleichzeitig verfahren werden. Dies ist jedoch im vorliegenden Einsatzfall weder ablauf- noch sicherheitstechnisch sinnvoll.

### ***Transportachse***

Entsprechend der VDI-Richtlinie wurden an unterschiedlichen Punkten (Bahnhöfen) mehrere Messungen durchgeführt. Ausgehend von einem ersten Positionieren

wurden mit einer Meßuhr die Abweichungen von dieser ersten Position ermittelt. Entsprechend dem Vorgehen in der Richtlinie wurden dabei folgende Werte gemessen:

- Mittlere Positionsstreuung der Transportachse: 0,185 mm
- Mittlere Umkehrspanne der Transportachse: 0,038 mm

Da mit dem absoluten Wegmeßsystem der Transportachse nur eine Auflösung von 0,833 mm erreicht wird [86], wird deutlich, daß sich die Werte im Bereich der Meßungenauigkeiten des Systems bewegen. Die als erforderlich angesetzte Positioniergenauigkeit von  $\pm 0,5$  mm wird daher beim Betrieb des Fahrzeugs erreicht bzw. übertroffen.

**Handhabungsachse**

Für das Handling der Transporthilfsmittel durch die Handhabungsachse ist nur deren Positionierung in negativer Richtung relevant. Für die durchgeführten Untersuchungen wurde daher mit dieser Einschränkung gearbeitet und somit nur ein Wert für die mittlere Positionsstreuung ermittelt:

- Mittlere Positionsstreuung der Handhabungsachse: 0,089 mm

Auch in diesem Fall werden die geforderten Werte erreicht. Die ermittelten Werte geben zudem die Sicherheit, daß die beiden Achsen auch in Kombination die erforderliche Positioniergenauigkeit erreichen.

**Antriebsstrang**

Neben der Positioniergenauigkeit war das Erreichen einer hohen Transportleistung ein weiterer Entwicklungsschwerpunkt.

Der Betrieb des Prototypen mit einer Transportgeschwindigkeit von 1,5 m/s erwies sich als realisierbar. Um die Belastungen für Fahrzeug und Transportgut zu minimieren und somit einen schonenden Transport der empfindlichen Elektronik zu gewährleisten, sollte diese hohe Geschwindigkeit jedoch nur auf geraden Strecken erreicht werden. In den Bereichen mit Kurven, Weichen etc. muß sie reduziert werden. Positive Erfahrungen wurden im Modellbetrieb mit folgenden Werten gemacht:

Maximale Geschwindigkeit	1,5 m/s
Kurvengeschwindigkeit	0,9 m/s
Beschleunigung	3,2 m/s <sup>2</sup>
Verzögerung	3,2 m/s <sup>2</sup>

Tabelle 6–1    Parameter der Transportachse

Entsprechendes gilt hier für die Handhabungsachse. Da für die Belastung des Transportgutes im wesentlichen das Beschleunigungs- und Verzögerungsverhalten

ausschlaggebend ist, wurde eine  $\sin^2$ -förmige Beschleunigungskennlinie gewählt, welche eine schonende Produkthandhabung gewährleistet. Die hierdurch bedingte verlängerte Positionierzeit und die verringerte Regelqualität [87] beeinflussen das Gesamtverhalten des Systems nicht.

Beim Abholen und Aufsetzen wird die Geschwindigkeit der Hubachse ca. 10 mm vor dem Positionspunkt stark reduziert, um ein schonendes Aufsetzen zu gewährleisten.

Realisiert wurden für die Handhabungsachse folgende Parameter:

Maximale Geschwindigkeit	1,0 m/s
Geschwindigkeit beim Aufsetzen	0,05 m/s
Beschleunigung	1,0 m/s <sup>2</sup>
Verzögerung	0,4 m/s <sup>2</sup>

*Tabelle 6–2 Parameter der Handhabungsachse*

Durch den Einsatz der Servomotoren als Antriebskomponenten wird eine hohe Dynamik des gesamten Antriebsstranges erreicht und somit die Anforderungen an ein leistungsfähiges Transportsystem mit kurzen Lastwechselzeiten und hohen Transportgeschwindigkeiten geschaffen.

### **Schienensystem**

Nicht zu vernachlässigen ist der Einfluß des Schienensystems auf das Gesamtverhalten des Transportsystems. Insbesondere an den freien Enden der Teilstrecken kam es zu Instabilitäten der Streckenführung, welche zu einem Schwingen des gesamten Schienenstücks und damit zu Positionierungsungenauigkeiten bei der Transporthilfsmittelübergabe führten. Verstärkt wurde dies im Falle der realisierten Anlage noch durch die relativ tiefe Abhängung der Schiene.

Für die Realisierung industrieller Anlagen ist daher insbesondere darauf zu achten, daß das Schienensystem in sich steif ausgeführt ist. Dies wird unterstützt durch eine relativ deckennahe Aufhängung der Schiene und einen in sich geschlossenen Fahrkurs.

## **6.3.2 Einsatzstrategien**

Für den optimalen Einsatz von Systemen gilt es, deren Stärken herauszuarbeiten und intensiv zu nutzen und die bestehenden Schwächen zu umgehen bzw. Lösungsansätze zu diskutieren [71]. Unter diesem Gesichtspunkt wird der Einsatz der Mobilien Handhabungseinheit in unterschiedlichen Fertigungsarten betrachtet.

### **Serienproduktion**

Der Einsatz der Mobilien Handhabungseinheit im Bereich der Serienproduktion bietet den Vorteil einer einfachen Peripheriegestaltung und einer guten Zugänglichkeit der Linie.



Bedingt durch die großen Lose besteht aber in der Serienproduktion auch die Möglichkeit der Bildung von Transportlosen und damit des Einsatzes von fahrerlosen Transportsystemen. Unterstützt wird dieses Vorgehen durch den möglichen Einsatz von Bestandspuffern.

Bei der Serienproduktion stellen die Mobile Handhabungseinheit und das fahrerlose Transportsystem somit konkurrierende Systeme dar. Die MHE bietet aber nach wie vor den Vorteil höherer Flexibilität bei durchgängiger Automatisierung und einfacher Peripheriegestaltung.

### **Variantenreiche Kleinserie**

Dieses Umfeld stellt das ideale Einsatzspektrum der hier skizzierten Materialflußlösung dar. Die direkte Bedienung der Leiterplattenein-/ausgabegeräte durch die Mobile Handhabungseinheit ermöglicht in Verbindung mit dem Identifikationssystem einen automatisierten Betrieb. Der Magazinwechseltisch, als interner Pufferplatz, unterstützt die permanente Versorgung mit Leiterplatten. Im Zusammenspiel mit dem virtuellen Pufferkonzept findet eine dezentrale Optimierung der Auftragsreihenfolge statt, welche eine hohe Kapazitätsauslastung der Produktionsanlagen sicherstellt.

Der Arbeitsraum zur Materialbeschickung ist frei zugänglich, sodaß darüberhinaus auch eine manuelle Beschickung der Linien möglich bleibt.

Dieser Systemverbund nutzt die eigentliche Stärke der MHE im Bereich der Handhabung und direkten Maschinenbeschickung; die Transportaufgabe tritt durch den Einsatz des produktionsnahen Puffers in den Hintergrund. Vielmehr ist hier ein sich ergänzender Einsatz von MHE und FTS zu sehen. Während die MHE die Maschinenbedienung übernimmt, kommt dem FTS die eigentliche Transportfunktion in Form der Anbindung vor- und nachgelagerter Bereiche zu. Als Beispiele sind hier Lager, Montage, Verpackung und Versand zu nennen. In diesen Bereichen ist es in der Regel möglich, Sammeltransporte zu bilden und die Kapazität der einzelnen FTF zu nutzen.

Durch den Einsatz des entwickelten gesamtheitlichen Leitsystems gelingt es, die Koordination der einzelnen Teilsysteme zu unterstützen.

### **Gesamtbewertung**

Durch die Realisierung und Erprobung des Materialflußkonzeptes in der Modellfabrik des Institutes konnte bewiesen werden, daß die Entwicklungsziele erreicht wurden.

Die Mobile Handhabungseinheit bildet das flexible Bindeglied in der Gestaltung einer durchgängigen Automatisierungskette in der Elektronikproduktion. Die Kernfunktion, die Handhabung von Leiterplattenkassetten und Kleinladungsträgern, gewährleistet eine direkte Maschinenbedienung. Dadurch kann auf Bestandspuffer weitgehend verzichtet werden. Die Integration der Handhabungseinheit in ein produktionsweites

Materialflußkonzept hebt die Stärken der einzelnen Subsysteme hervor und unterstützt dadurch den wirtschaftlichen Einsatz der Systemkomponenten (Bild 6-12).

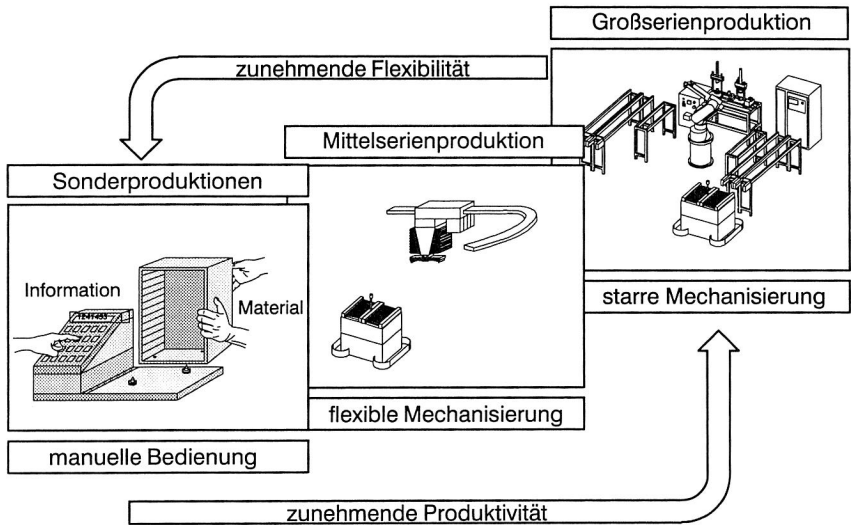


Bild 6-12 Variantenreiche Klein- und Mittelserienproduktion stellt ein ideales Einsatzfeld der Mobilen Handhabungseinheit dar

## 7 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Im heutigen globalen Wettbewerb ist die Wirtschaftlichkeit von Investitionen ein Punkt, der stärker als bisher in das Blickfeld der Betrachtungen rückt. Allerdings eröffnen im Bereich der Logistik und des Materialflusses Investitionen oftmals Potentiale, welche nur qualitativ zu bewerten sind (Bild 7-1).

Zum einen strahlen durch den Querschnittscharakter der Logistik viele der Optimierungsbestrebungen auch auf andere Bereiche positiv aus. Zum anderen werden Logistikkosten heute in der Praxis selten genau zugeordnet, sondern statt dessen im Gemeinkostenbereich verbucht. Durch diese Kostenverschleierung ist das zu erschließende Rationalisierungspotential meist nicht detailliert zu quantifizieren.

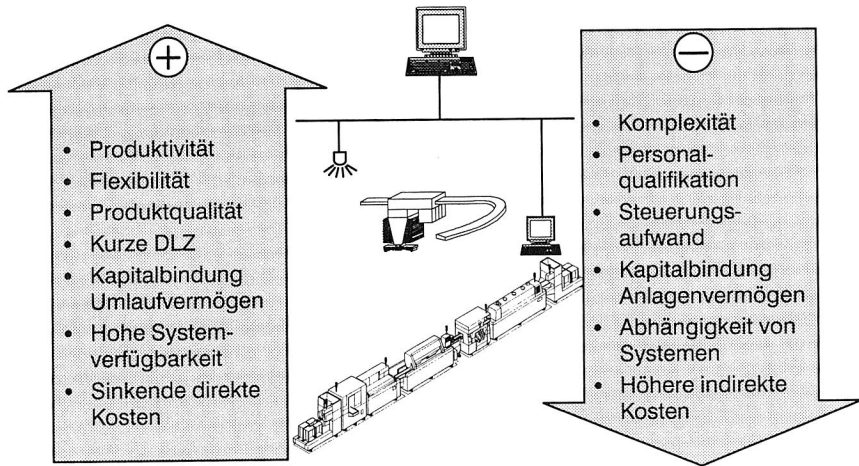


Bild 7-1 Wirtschaftliche Auswirkungen und Rahmenbedingungen einer durchgängigen Materialflußautomatisierung (nach [120])

Dieses Umfeld der Wirtschaftlichkeit von Automatisierungsbestrebungen im Materialfluß wird im folgenden diskutiert. Schwerpunkt der Betrachtungen bleibt nach wie vor der Bereich der Klein- und Mittelserienfertigung. Das hier vorliegende heterogene Auftragsspektrum erfordert einen hohen Anteil an organisatorischen bzw. dispositiven Aufgaben und läßt durch eine flexible, integrierte Produktion ein wesentlich größeres logistisches Rationalisierungspotential als in einer homogenen Großserienfertigung erwarten.

## 7.1 Wirtschaftliche Produktion durch rechnergeführten Materialfluß und integrierte Materialbewirtschaftung

Der Begriff des rechnergeführten Materialflusses steht für die Unterstützung des komplexen Logistikmanagements durch Einsatz von EDV. Die Information ist heute zweifelsohne als Produktionsfaktor anerkannt [34, 44, 72, 108, 139]. Aufgabe von Logistikinformationssystemen ist es, Materialflüßvorgänge aktuell und lückenlos zu erfassen und die Minimierung des Logistikaufwandes zu unterstützen.

Grundlegende Erfolgs- und damit auch Wirtschaftlichkeitsfaktoren für die Logistik sind nach Binner [4] dabei:

- Bedarfssicherheit
- Bestandssicherheit
- Prozeßsynchronisation
- Prozeßsicherheit

Durch den weitverbreiteten Einsatz rechnerbasierter Planungswerkzeuge, welche in der Regel im Datenverbund arbeiten, ist das Problem der Bedarfssicherheit heute weitgehend gelöst. Anzumerken bleibt jedoch, daß gerade durch die Mehrfachverwendung von Bauelementen und den zugehörigen Bereitstellungseinheiten der Bedarfszeitpunkt in der Elektronikproduktion einen sehr hohen Stellenwert genießt.

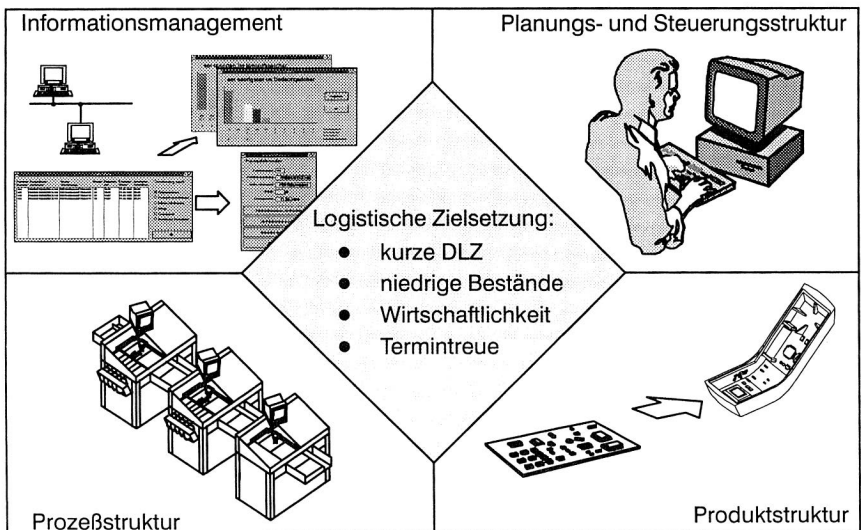


Bild 7-2 Bedarfs- und Bestandssicherheit als grundlegende Erfolgsfaktoren der Logistik

Entsprechend spiegelt sich diese Problematik natürlich im Bereich der Bestands-sicherheit wieder. Über die Frage nach Menge und Ort kommt dem Zeitpunkt der Freigabe des Materials eine hohe Bedeutung zu. Wichtig ist es hier eine aktive Funktion des Materials im logistischen Prozeß.

Deutlich wird aber auch, daß diese beiden grundlegenden Erfolgsfaktoren (Bild 7-2) im wesentlichen eine Aufgabe des Informationsmanagements darstellen. In dem komplexen und dynamischen Umfeld heutiger Produktionen wird dadurch nicht nur die Notwendigkeit der Rechnerunterstützung deutlich, sondern vielmehr auch das Potential einer Kostensenkung sichtbar.

Ein Logistikmanagement, basierend auf einer aktuellen logistischen Betriebsdatenerfassung, bietet insbesondere auch den Vorteil einer permanenten Planungsbereitschaft und umfassenden Planungssicherheit. Gerade dies stellt einen wichtigen strategischen Faktor dar. Die gegenüber dem Kunden immer wichtiger werdende Liefertreue ist nämlich nicht vorrangig bestimmt durch eine möglichst kurzfristige Lieferung des Produktes, sondern vor allem durch die Lieferung zu einem fest zugesagten Zeitpunkt.

Produktionsintern treten durch die fehlende Abstimmung von Planung und Steuerung auf den Prozeßdurchlauf wesentliche Kostenfaktoren auf. Bildung von Puffern, Fehlteile und diskontinuierliche Produktionsabläufe sind nicht zuletzt auf mangelnde Planungssicherheit und Prozeßsynchronisation zurückzuführen.

Die Prozeßsicherheit ist hier nicht nur auf den Bereich der Produktionsprozesse zu beziehen, sondern insbesondere auch auf den eigentlichen Materialflußprozeß, den Transport und die direkte Bereitstellung der Transporthilfsmittel. Gerade in diesem Bereich leistet die Materialflußautomatisierung wertvolle Unterstützung.

### **Materialflußautomatisierung**

Nach Thumm [128] wird ein wirtschaftlicher Materialtransport dann erreicht, wenn als Zielsetzung die optimale Funktionserfüllung im Vordergrund steht.

Die Mobile Handhabungseinheit stellt einen derartigen Funktionsträger dar, welcher eine selbständige Abarbeitung von Transportaufträgen erlaubt. Die durchgängige Überbrückung von Schnittstellen mit Hilfe dieser Automatisierungslösung erlaubt eine umfassende rechnergeführte Koordination des Materialflusses und bringt damit Kostenvorteile im logistischen Prozeß.

Bild 7-3 zeigt einige Ansätze auf, wie die Wirtschaftlichkeit der Produktion positiv beeinflußt werden kann:

- die durchgängige Verfügbarkeit der Daten und die Ermittlung von Kennzahlen erlauben Transportspitzen und damit Investitionen in Fördertechnik abzubauen
- die kontinuierliche, unterbrechungsfreie Materialversorgung der Produktion erlaubt die Steigerung der Maschinenhauptzeiten und Erhöhung der Gesamtnutzungszeit

- organisatorische Unzulänglichkeiten, wie z. B. Wartezeiten, falsche Quelle- oder Zielbestimmungen etc. werden kompensiert
- die automatische Generierung der Wertschöpfungskette unterstützt das Logistik-Controlling und schafft ein Kostenbewußtsein bei den beteiligten Mitarbeitern

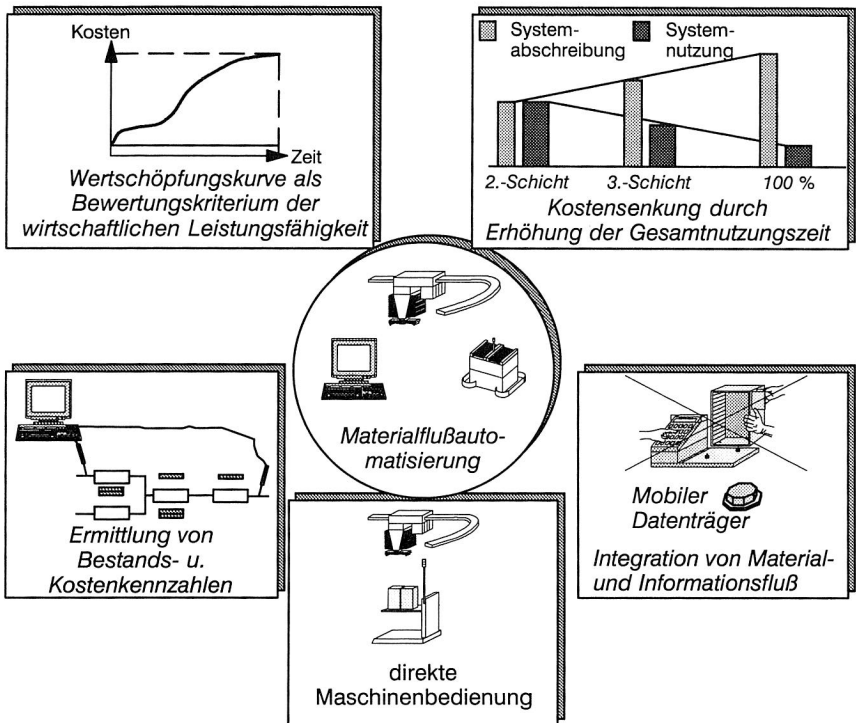


Bild 7-3 Wirtschaftliche Produktion durch Automatisierung des Materialflusses

Ehmann [21] folgend ist für eine den aktuellen Auslastungsgraden entsprechende Kostenzurechnung eine dynamische Kostenrechnung für die Transportmittel hinterlegt. Die anfallenden Kosten werden dabei auf die aktuell ermittelten täglichen Auslastungsgrade bezogen.

Ein weiteres Beurteilungskriterium für die Wirtschaftlichkeit der Produktion stellt die automatisierte Ermittlung der Wertschöpfungskurven dar. Basierend auf den jeweiligen Durchlaufzeitdiagrammen kann diese charakteristische Kurve durch die entsprechende Verknüpfung mit den Kostenkenngrößen ermittelt werden. Abweichungen vom Idealdurchlauf können dadurch schnell erkannt und Maßnahmen eingeleitet werden.

### Materialbewirtschaftung

Kostenbewertungen im Rahmen von Industrieprojekten haben gezeigt, daß die Elektronikfertigung in der Regel einen materialintensiven Betrieb darstellt (Bild 7-4). Die Vielzahl der verwendeten Bauelemente, komplexe Produkt- und Produktionsstrukturen verschärfen diese Situation im Umfeld von Beständen und mangelnden Materialverfügbarkeiten zudem. Somit ist eine Unterstützung des Material- und Betriebsmittelmanagements, wie sie in Kapitel 3.2 aufgezeigt wurde, nicht nur aus organisatorischen, sondern zudem auch aus Kostengründen zu befürworten.

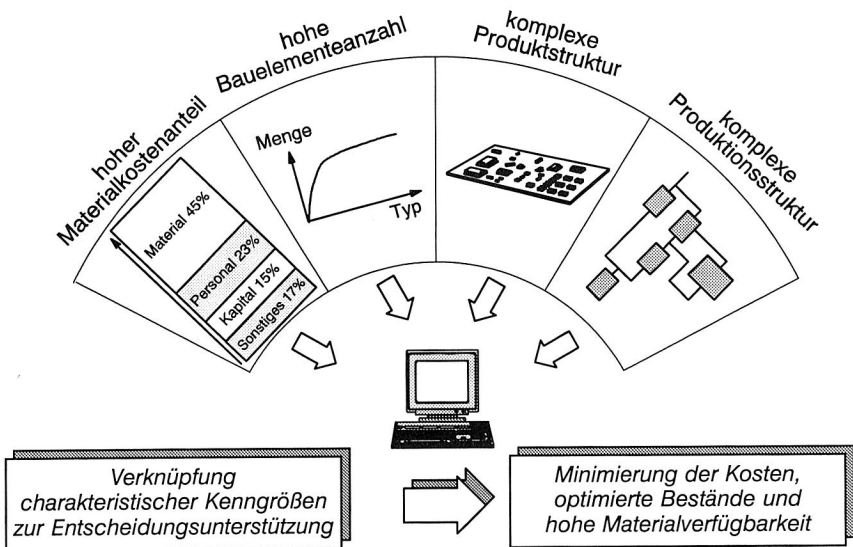


Bild 7-4 Positive Auswirkungen einer durchgängigen Informationskette auf die Kosteneinflußfaktoren in der Materialbereitstellung

Die durchgängige Informationserfassung und -verfügbarkeit gibt gerade in diesem sensiblen Bereich der Bauelementebereitstellung eine hohe Bedarfs- und Bestandsicherheit. Aufbauend auf dieser Basis zur Gestaltung kostenoptimaler Bestände ergeben sich eine Reihe von kostenreduzierenden Faktoren in der Bereitstellungskette (Bild 7-5).

Auf operativer Ebene gewährleisten transparente Umlaufbestände eine schnelle Materialverfügbarkeit und damit hohe Auslastung der kapitalintensiven Maschinenkapazitäten. Unterstützt wird dies weiter durch eine verbrauchsorientierte und damit rechtzeitige Bestellauslösung bei Materialbedarf.

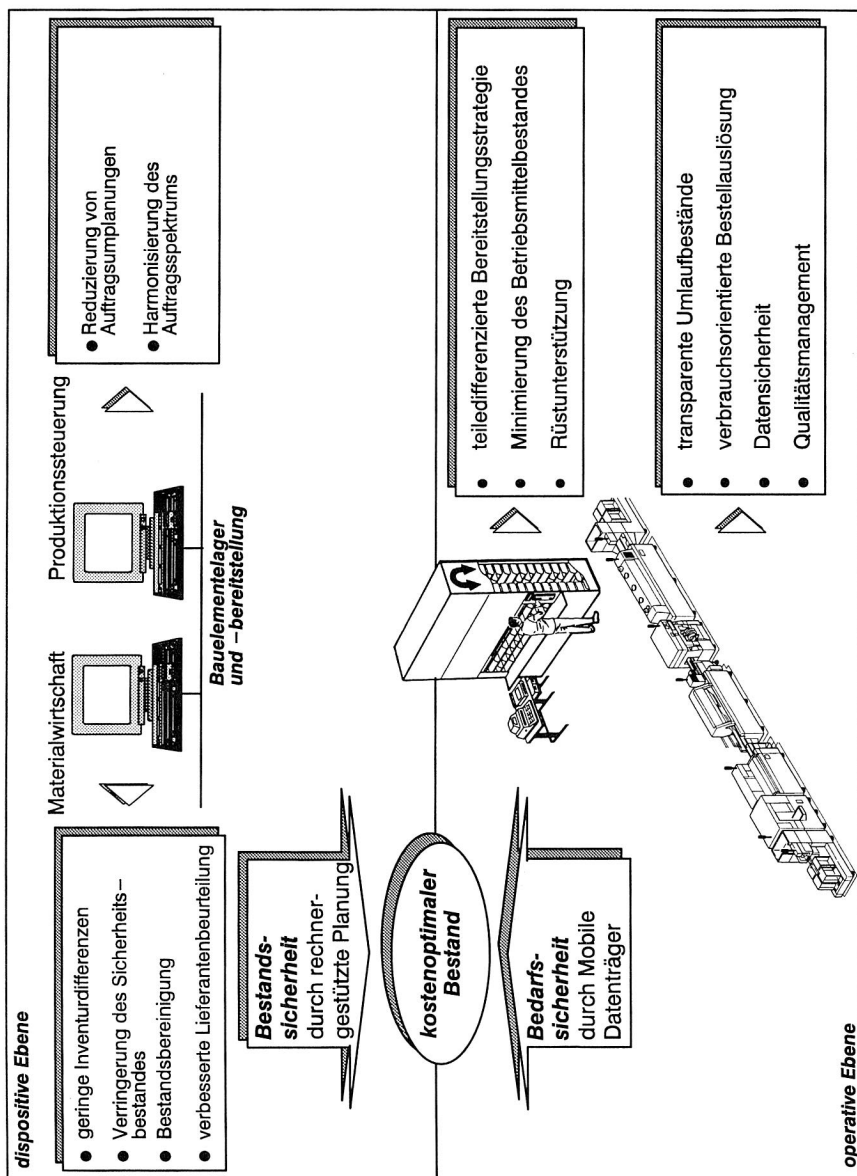


Bild 7-5 Durchgängige Informationsverfügbarkeit sichert einen kostenoptimalen Bestand und unterstützt die Materialbewirtschaftung auf allen Unternehmensebenen



Die operativ erfaßten Informationen bilden die Basis für die detaillierte Lokalisierung der Betriebsmittel und teilespezifische Bereitstellungsstrategien. Durch diese dispositiven Maßnahmen kann der Bestand minimiert werden. Die Informationsbereitstellung im Bereich der Bauelementerüstung hilft Fehlerkosten aufgrund von Falschrüstungen zu minimieren.

Insbesondere aber die planenden und steuernden Bereiche können durch eine Harmonisierung der Auftragsstruktur kostenintensive Auftragsumplanungen reduzieren, Auftragsspitzen abbauen und mittelfristig die Ausbringung steigern. Die Materialwirtschaft kann die Bauelemente- und Betriebsmittelbestände bedarfsorientiert ausrichten und damit bestehende Lagerbestände bereinigen. Projekterfahrungen zeigen, daß hierdurch nicht nur gebundenes Kapital, sondern außerdem gewachsene Lagerkapazitäten reduziert werden können. Die Aktualität der Bestandsdaten vermindert die Zahl der Inventurdifferenzen und erlaubt zudem eine Reduzierung der Sicherheitsbestände.

Zur Abschätzung des Kostensenkungspotentials zeigt Siegart [120] hier auf, daß in der Elektronikproduktion eine Senkung der Materialkosten um 10 bis 20 %, eine etwa gleich hohe Produktivitätssteigerung bedeutet und in dieser Größenordnung einer Eliminierung sämtlicher direkter Lohnkosten gleichkommt.

Durch die Lokalisierung der Bestandskosten wird auch hier das Kostenbewußtsein der Verantwortlichen geschärft und der Kostenverlauf positiv beeinflußt.

Ein weiteres Potential zur Kostensenkung steckt in der Standardisierung der Bauelementebereitstellung, d. h. in der Vereinheitlichung der mechanischen und datentechnischen Schnittstellen. Dieser Schritt gewährleistet eine produktionsweite Verwendbarkeit der gerüsteten Bauelemente und ist insbesondere durch die Mehrfachverwendung von Bauelementen nicht zu unterschätzen.

Aber auch auf Seiten der Investitionskosten kann eine Reduzierung des Gesamtbestandes erreicht werden, da die Bereitstellereinheiten, im Gegensatz zu heute, universell verwendet werden können.

## **7.2 Die Mobile Handhabungseinheit im technisch-wirtschaftlichen Vergleich zu alternativen Systemen**

Der Einsatz und die breite Durchdringung von automatisierten Systemen im Materialfluß der Elektronikproduktion scheiterte bisher zum einen am Fehlen angepaßter Lösungen und zum anderen am meist hohen Kostenaufwand für die Umsetzung und Adaption bestehender Lösungen. In den nachfolgenden Betrachtungen wird die Mobile Handhabungseinheit anhand technischer und wirtschaftlicher Kriterien mit den Alternativen "manueller Transport" und "Fahrerloses Transportsystem" verglichen. Durch die Abgrenzung des idealen Einsatzbereiches der Mobilen Handhabungseinheit kann dann ein wirtschaftliches Optimum für den Betrieb des Systems gefunden werden.

### **7.2.1 Technische Beurteilung der Mobilen Handhabungseinheit**

Um die technische Leistungsfähigkeit der Mobilen Handhabungseinheit zu bewerten wird sie mit dem manuellen Transport und dem Transport mittels FTS verglichen.

#### **Manueller Transport**

In der Klein- und Mittelserienproduktion werden auch heute noch eine Vielzahl von Transportaufgaben direkt vom Personal übernommen. Kein anderes System ist geprägt von einer derart hohen Flexibilität. Ein weiterer Vorteil liegt in der direkten Maschinenbedienung ohne zusätzlichen Peripherieaufwand. Der Mitarbeiter zeigt ein Regelverhalten im Sinne einer dezentralen Optimierung und unterstützt damit eine Produktionsoptimierung.

Zum anderen aber ist der, in der Regel hochqualifizierte Mitarbeiter, mit monotonen Routinearbeiten belastet, welche sich auch negativ auf seine Motivation auswirken. Die Zuständigkeit für einen abgegrenzten Bereich führt oft zu einem lokalen Optimum und damit zu Verzerrungen unter gesamtheitlichen Gesichtspunkten. Verstärkt wird diese Situation dadurch, daß der Mensch aktuelle Umlaufbestände und kurzfristig notwendige Reaktionen im Auftragsspektrum nur in einem begrenzten Umfang überschauen kann.

Des weiteren verfügt er nur über eine geringe Transportleistung, da er sich vorzugsweise auf kurzen Strecken bewegt. Nicht zuletzt betragen die Grenzwerte für das Tragen von Lasten ca. 20 kg bei Männern und ca. 10 kg bei Frauen [98].

Der manuelle Einsatz ist unter diesen Gesichtspunkten vor allem im Bereich der Handhabung im direkten Maschinenumfeld anzusiedeln. Konkrete Beispiele sind hier das Beschicken mit Leiterplattenkassetten oder die Versorgung der Bestückmaschinen mit Bauelementen.

#### **Fahrerloses Transportsystem**

Bei diesem System kommt, je nach Ausbaustufe, die Rechnerführung zum Tragen. In der höchsten Automatisierungsstufe wird das Transporthilfsmittel, meist über ein Barcode-Label, an der Quelle identifiziert, durch Datenverbund das Ziel ermittelt und der Transportvorgang ausgelöst. Dadurch lassen sich auch komplexere Transportbeziehungen realisieren und dem System bekannte Materialbewegungen nachvollziehen. Beim FTS handelt es sich um ein auf breiter Ebene etabliertes System, das entsprechend ausgereift ist und eine hohe Verfügbarkeit erreicht.

Nachteilig wirkt sich jedoch das Mißverhältnis von Volumen und Gewicht aus und der damit verbundene hohe Bedarf an Fläche für Fahrwege und Übergabestationen. Diese sind nach wie vor notwendig, um die Leiterplattenein-/ausgabeeinheiten an die Fahrzeuge anzubinden. Die Maschinenbedienung ist nur über zusätzliche Peripherie mit damit verbundener Pufferbildung möglich. Der Einsatzschwerpunkt des FTS liegt

daher vorrangig in der Transportfunktion und kann in der Elektronikproduktion durch Bildung von Sammeltransporten über mittlere bis große Strecken unterstützt werden.

### ***Mobile Handhabungseinheit***

Die genannten Vorteile des rechnergeführten Materialflusses spiegeln sich natürlich auch bei der Mobilen Handhabungseinheit wider. Darüber hinaus wird bei dieser Lösung der manuelle Eingabeaufwand durch die Integration des Identifikationssystems weitestgehend eliminiert, was zusätzliche Vorteile für die Qualität (Falsch-eingaben) und die Durchlaufzeitreduzierung (Wartezeiten) bringt.

Die integrierte Handhabungseinheit erlaubt eine direkte Maschinenbedienung. Die Entkoppelung von Transportebene und Produktionsebene erlaubt darüberhinaus die ergonomische Gestaltung der Leiterplattenein-/ausgabegeräte, sodaß auch eine kombinierte Mensch-Maschine-Bedienung ermöglicht wird. Diese Gestaltungsfreiheit spiegelt sich auch in der Layoutkonfiguration für das Schienensystem wider, sodaß hier ein optimales Layout gestaltet werden kann. Unabhängig von der Produktionsebene wird eine flexible Verknüpfung der diversen Stationen und Linien erreicht. Berücksichtigt werden müssen lediglich sicherheitstechnische Restriktionen.

Die Energieversorgung über Stromschienen macht das System unabhängig von Batteriekapazitäten und sichert so eine hohe Verfügbarkeit bei geringem Wartungsaufwand und hohen Einsatzzeiten.

Kritisch erweist sich jedoch die schienengebundene Spurführung hinsichtlich der flexiblen Layoutgestaltung. Nur mit entsprechendem Aufwand lassen sich Änderungen in der Streckenführung vornehmen, sodaß hier ein Kompromiß aus Produktionssystemgestaltung und Layoutgestaltung gefunden werden muß.

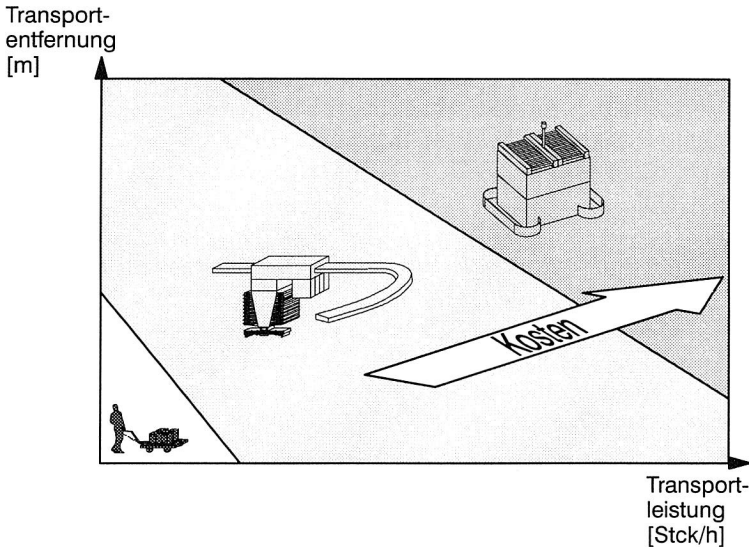
Aber auch in der flexiblen Produktion ergeben sich für den Materialfluß gewisse Grundmuster, sodaß die Fahrzeuge optimierten Fahrtrouten folgen. Von welchem Spurführungssystem diese Route bestimmt wird ist dann unerheblich [81].

### **7.2.2 Wirtschaftliche Einsatzspektren der Mobilen Handhabungseinheit**

Generelles Merkmal der Materialflußautomatisierung ist eine Senkung der direkten Kosten, hier insbesondere der Personalkosten, bei einer Erhöhung der indirekten Kosten, vor allem der Kapitalkosten. Durch die Integration der Handhabungseinheit werden durch diesen Modul ein Großteil der Kapitalkosten des Transportsystems bestimmt. Es liegt also nahe, den Einsatzschwerpunkt in erster Linie auf die eigentliche Handhabungsfunktion und erst in zweiter Linie auf die Transportfunktion zu richten.

Für das anzustrebende Produktionslayout bedeutet dies, daß die Mobile Handhabungseinheit idealerweise im Bereich geringer Transportentfernungen bei

variantenreicher Produktion eingesetzt wird (Bild 7-6). Unterstützt wird dieses Bestreben zudem durch die flurfreie Schienenführung, welche, losgelöst vom eigentlichen Produktionslayout, gewisse Streckenoptimierungen zuläßt.



*Bild 7-6 Kostenoptimaler Einsatzbereich der Mobilen Handhabungseinheit in der variantenreichen Serienproduktion*

Der manuelle Transport kommt nur im Bereich sehr kurzer Transportstrecken zum Tragen und kann insbesondere in der Verteilung und Bereitstellung der Bauelemente die Mobile Handhabungseinheit unterstützen.

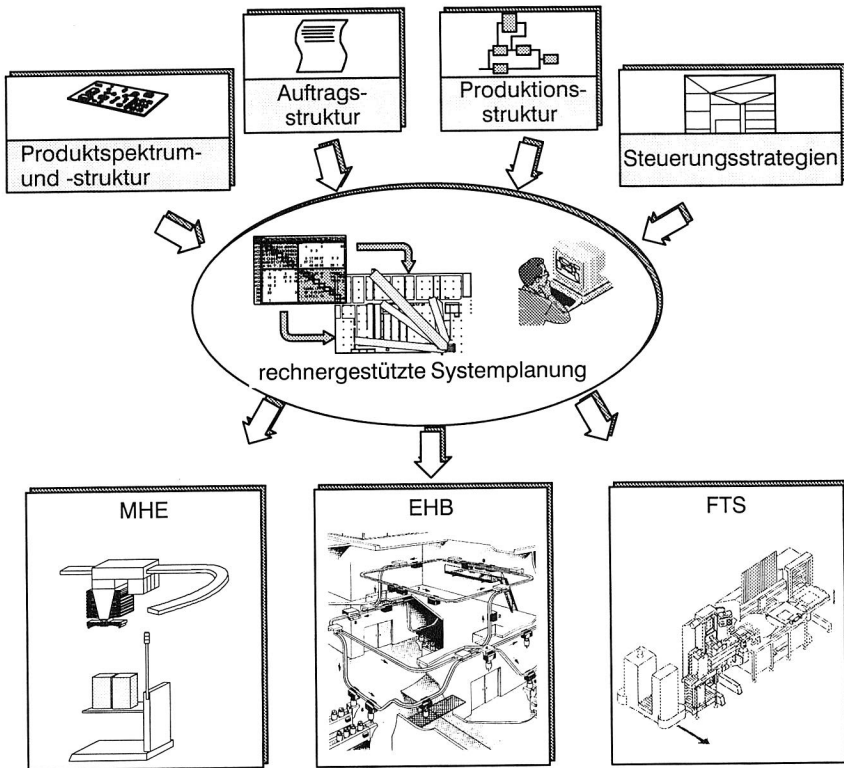
Die Bewältigung großer Entfernungen und damit die Favorisierung der eigentlichen Transportfunktion ist die Domäne des FTS. Insbesondere im Bereich der Großserienproduktion, wo durch die Zielsetzung einer Komplettfertigung weiltläufige Anlagen entstehen, ergibt sich ein wirtschaftlicher Einsatz dieses Transportsystems.

Die in Bild 7-6 gemachte, jedoch sehr pauschale Einteilung der Transportsysteme, kann nur Anhaltspunkt für eine Entscheidungsfindung sein. Vielmehr ist eine spezifische Systementscheidung nur aufgrund einer detaillierten Planung möglich.

### **Rechnergestützte Systemplanung**

Rechnergestützte Planungswerkzeuge bieten heute die Möglichkeit unterschiedliche Lösungsalternativen zu testen und so eine optimale Lösung zu finden.

Für die Herbeiführung derartiger Entscheidungsgrundlagen sind analog Bild 7-7 Basisinformationen über Produkt, Produktion, Aufträge und Steuerungsstrategien bereitzustellen.



*Bild 7-7 Technisch-wirtschaftliche Abgrenzung der Einsatzspektren unterschiedlicher Transportverfahren in der Elektronikproduktion*

Doch nicht nur die Entscheidung für ein spezielles System kann hier ein gewünschtes Ergebnis sein, sondern auch der kombinierte Einsatz unterschiedlicher Lösungskomponenten. Dem Beispiel des werksübergreifenden Verkehrs folgend stellt auch produktionsintern eine Kombination unterschiedlicher Transportmittel eine sinnvolle Alternative dar. Durch den Einsatz des FTS im Bereich großer Transportmengen und -strecken und die direkte Materialbereitstellung an der Maschine durch die MHE werden die Stärken eines jeden Systems genutzt und so ein wirtschaftliches Gesamtoptimum erreicht.

Den wirtschaftlichen Vorteil des Einsatzes der Mobilen Handhabungseinheit in der variantenreichen Elektronikproduktion gegenüber dem FTS soll der nachfolgende Vergleich deutlich machen. Gegenübergestellt werden dabei zwei in ihrem Grundaufbau identische Produktionslösungen. Jede Linie ist zudem mit zwei Materialbereitstellungseinheiten versehen.

Die unterschiedlichen Layoutalternativen (Bild 7-8, Bild 7-9) und damit verbunden die Flächenbedarfe ergeben sich durch die Trennung von Produktions- und Transportebene im Falle der Mobilien Handhabungseinheit bzw. durch den erhöhten Peripherieaufwand bei der FTS-Lösung.

Die betrachtete Grundstruktur besteht aus vier Bestücklinien, welche über je ein Bauelementelager bzw. einen Auftragspuffer versorgt werden. An jeder Linie befinden sich Materialbereitstellflächen, wo benötigte Bauelemente etc. liniennah gepuffert werden können.

### Systemkonzept Fahrerloses Transportsystem

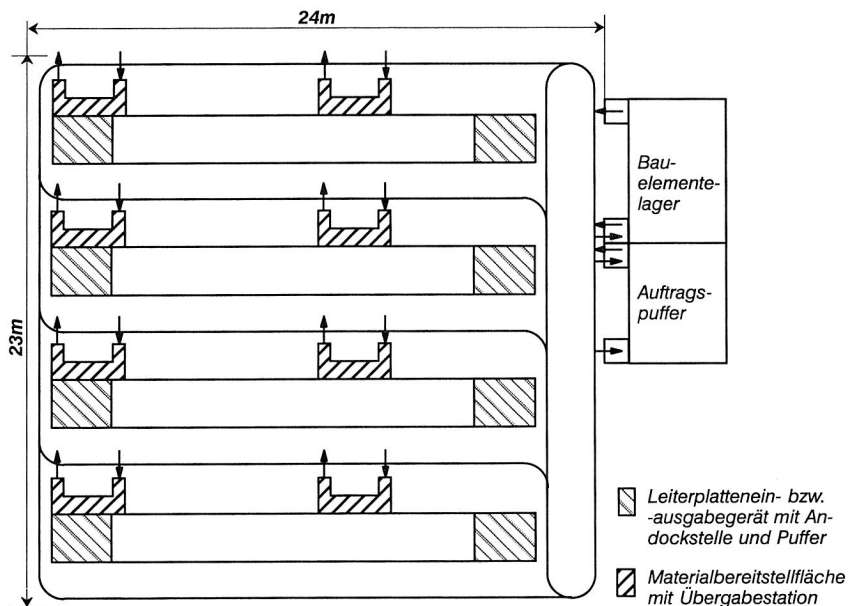


Bild 7-8 Produktionsszenario mit Fahrerlosem Transportsystem für den linienübergreifenden Materialfluß

Bei diesem Konzept wird der hohe Flächenbedarf deutlich. Dieser resultiert zum einen aus dem Bedarf durch die Fahrstrecke selbst, des weiteren aber durch notwendige Puffer vor und nach den Linien, bzw. Übergabestationen der Materialbereitstellflächen.

## Fahrzeugsystem

Bezeichnung	Preis/Einheit	Menge	Summe	Zeitraum	Kosten/a
Fahrzeug	75.000.-/St.	2 St.	150.000.-	5 a	39.570.-
Ersatzteile	3% der Fahrzeugkosten				12.750.-
Servicekosten	5% der Fahrzeugkosten				
Strecke (induktiv)	500.-/m	183 m	91.500.-	5 a	24.137.-
Ladegeräte	1.500.-/St.	2 St.	3.000.-	5 a	791.-
Batteriensatz	1.500.-/St.	8 St.	12.000.-		3.166.-
Gesamt			256.500.-		80.414.-

## Peripherie

Bezeichnung	Preis/Einheit	Menge	Summe	Zeitraum	Kosten/a
Leiterplattenein- bzw. -ausgabegerät	50.000.-/St.	8 St.	400.000.-	5 a	105.519.-
Materialbahnhof	25.000.-/St.	12 St.	300.000.-	5 a	79.139.-
Gesamt			700.000.-		184.658.-

## Flächenbedarf Gesamtanlage

Bezeichnung	Preis/Einheit	Menge	Summe	Zeitraum	Kosten/a
Flächenkosten	1.500.-/m <sup>2</sup>	552m <sup>2</sup>	828.000.-	10 a	134.753.-

**Systemkonzept Mobile Handhabungseinheit**

Auffälligstes Merkmal bei der Alternative mit der Mobilen Handhabungseinheit (Bild 7-9) ist die sehr kompakte Layoutgestaltung. Die Trennung von Produktions- und Transportebene läßt große Freiheiten bei der Gestaltung des Streckenlayouts und der flexiblen Einbindung von zusätzlichen Übergabepositionen entlang der Schienenführung. Dadurch wird eine drastische Reduzierung der eigentlichen Produktionsfläche erreicht.

Durch den flurfreien Transport kann die Streckenführung auch quer zu den Bestücklinien erfolgen. Dies begünstigt kurze Wege und damit auch eine einfache Steuerung.

Die direkte Bedienung der Übergabestationen durch die Handhabungseinheit macht Puffer vor und nach den Linien überflüssig und unterstützt damit die kompakte Layoutgestaltung. Andockstellen, wie sie beim FTS Verwendung finden, sind ebenfalls nicht notwendig.

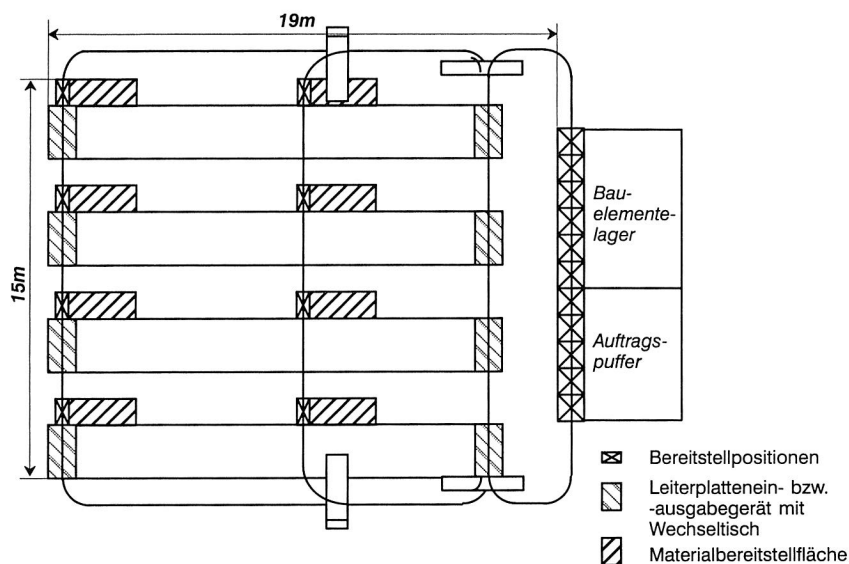


Bild 7-9 Produktionsszenario mit Mobiler Handhabungseinheit für den linienübergreifenden Materialfluß

#### Fahrzeugsystem

Bezeichnung	Preis/Einheit	Menge	Summe	Zeitraum	Kosten/a
Fahrzeug	50.000.-/St.	2 St.	100.000.-	5 a	26.380.-
Strecke	600.-/m	96 m	57.600.-	5 a	28.226.-
Kurven	2.000.-/St.	4 St.	8.000.-		
Weichen	10.000.-/St.	4 St.	40.000.-		
Ersatzteile	2% der Fahrzeugkosten				5.000.-
Servicekosten	3% der Fahrzeugkosten				
Gesamt			205.600.-		59.606.-

#### Peripherie

Bezeichnung	Preis/Einheit	Menge	Summe	Zeitraum	Kosten/a
Leiterplattenein- bzw. -ausgabegerät	37.500.-/St.	8 St.	300.000.-	5 a	79.139.-
Materialbahnhof	15.000.-/St.	12 St.	180.000.-	5 a	47.484.-
Gesamt			480.000.-		126.623.-



### Flächenbedarf Gesamtanlage

Bezeichnung	Preis/Einheit	Menge	Summe	Zeitraum	Kosten/a
Flächenkosten	1.500.-/m <sup>2</sup>	285m <sup>2</sup>	427.500.-	10 a	69.574.-

### Systemvergleich

#### Fahrzeugsystem

Durch den modularen Aufbau und die Verwendung von Standardkomponenten konnte für die Mobile Handhabungseinheit ein erheblicher Kostenvorteil erreicht werden. Bei einer Kleinserienproduktion der Transporteinheit ist ein Fahrzeugpreis von DM 45.000.- zu erreichen.

Demgegenüber ist der Fahrzeugpreis bei einem induktiv geführten Fahrzeug in der Größenordnung von DM 75.000.- anzusetzen. Trotz der langjährigen Entwicklungsarbeiten an Fahrerlosen Transportsystemen und dem mittlerweile breitgefächerten Einsatz finden sich Standardlösungen vorrangig im Bereich des Euro-Palettentransportes. Der Transport von Kleinladungsträgern stellt nach wie vor einen "Nischenbereich" dar, auf den mit kostenaufwendigen Anpassungskonstruktionen reagiert wird. Zudem wurde bei den angestellten Betrachtungen von den günstigeren induktiv geführten Fahrzeugen ausgegangen, da diese bei einem kompakten Streckenlayout einen Kostenvorteil gegenüber den freifahrenden Systemen besitzen.

Bezogen auf die Streckenführung stellt das Schienensystem der Mobilen Handhabungseinheit auf den ersten Blick einen Nachteil dar. Insbesondere der Einsatz von Weichen wirkt sich stark kostensteigernd aus. Gesamtheitlich betrachtet ergeben sich aber durch die Trennung von Produktions- und Transportebene große Freiheiten bei der Gestaltung der Schienenführung. Dies spiegelt sich zum einen in der Einsparung an Fahrstrecke wider. So konnte bei den betrachteten Alternativen (Bild 7-8, Bild 7-9) bei der Mobilen Handhabungseinheit die verlegte Schienestrecke um ca. 100 % reduziert werden. Zum anderen aber trägt dies auch zu einer transparenten Gestaltung der Strecke bei und damit zu einer Leistungssteigerung des Transportsystems (Bild 7-10).

#### Peripherie

Wie bereits in den entsprechenden Kapitel hingewiesen, erlaubt die Mobile Handhabungseinheit eine einfache Gestaltung der zu bedienenden Peripherie. Der Einsatz von Leiterplatteneingabe- bzw. -ausgabegeräten mit Magazinwechseltisch bringt nicht nur den Vorteil der geringen Pufferbildung, sondern darüberhinaus eine Investitionskostenreduktion um ca. 25 %. Analoges gilt hier für die Materialbahnhöfe.

## Fläche

Die Trennung von Produktions- und Transportebene erlaubt neben der einfachen Schienenführung auch eine massive Reduktion der benötigten "Produktionsfläche".

Eine Reservierung von Flächen für die großvolumigen, flurbundenen Fahrzeuge kann entfallen. Ebenso trägt die kompakte Gestaltung der Peripherie diesem Ziel Rechnung. So lassen sich die hier freiwerdenden Flächen für weitere Produktionskapazitäten nutzen (Bild 7-10).

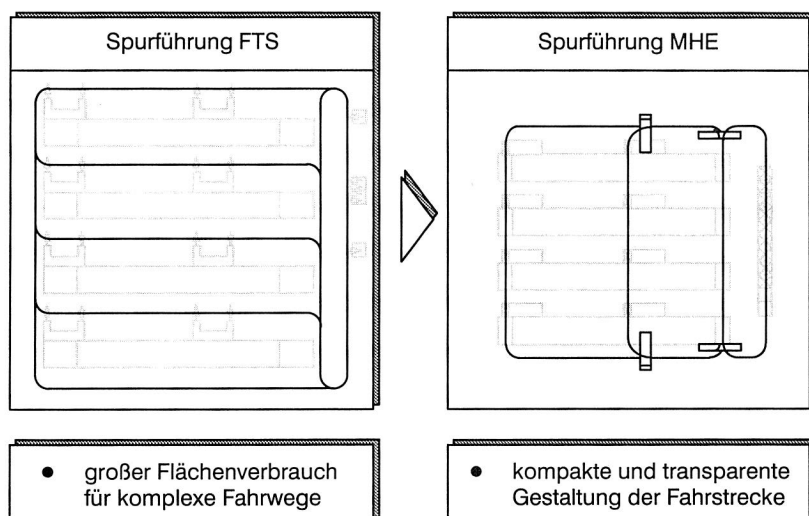


Bild 7-10 Kompakte Layoutgestaltung beim flurfreien Transport

## Energie

Auch wenn sie nur einen geringen Einfluß haben, so sind bei einem Systemvergleich die Energiekosten ebenso mit in die Betrachtung einzubeziehen. Ausgehend von annähernd gleichen Antriebsleistungen im Bereich FTS und MHE ergeben sich dennoch Unterschiede im Verbrauch. Zurückzuführen ist dies auf die direkte Versorgung der Fahrzeuge im Falle der Mobilen Handhabungseinheit im Gegensatz zu den batteriebetriebenen Fahrerlosen Transportfahrzeugen. Abgesehen von den zusätzlichen Kosten durch die Batterie als Verschleißteil und den notwendigen Lade- bzw. Wechselzeiten ist auch der Wirkungsgrad geringer. Die Verluste werden in der Literatur [33] durch den Strommengenwirkungsgrad charakterisiert, welcher sich in einer Größenordnung von ca. 75 % - 80 % bewegt, d. h., daß sich die Energiekosten bei der Mobilen Handhabungseinheit um etwa 20 % reduzieren.

### Optimale Einsatzbereiche

Aufbauend auf diesen beiden Layoutalternativen werden die Transportkosten der einzelnen Systeme ermittelt und beurteilt. Dabei wird von folgenden Anforderungen ausgegangen:

- tägliche Betriebsdauer: 16 h
- Transportleistung: 15 Transporthilfsmittel/h
- Betriebszeit: 220 Tage/Jahr
- durchschnittliche Transportentfernung: 100 m
- Leerfahrtanteil: 50 %

Um die Flexibilität des Mitarbeiters beim manuellen Transport entsprechend zu berücksichtigen wurde der Vergleich mit einer durchschnittlichen Transportentfernung von 75 m und einem Leerfahrtanteil von nur 30 % durchgeführt (Bild 7-11, Bild 7-12).

Die stündliche Leistung liegt bei 100 m Transportentfernung bei ca. 25 Transporteinheiten beim FTS bzw. 30 Transporteinheiten bei MHE und manueller Beförderung. Bei einer geforderten Stundenleistung von 15 Transporteinheiten kann eine mittlere Transportentfernung von 200 m (MHE, manuell) bzw. 250 m (FTS) bewältigt werden. Bei jeweils zwei eingesetzten "Fahrzeugen" ergeben sich in Bild 7-11 und Bild 7-12 aufgezeigten Kennlinien.

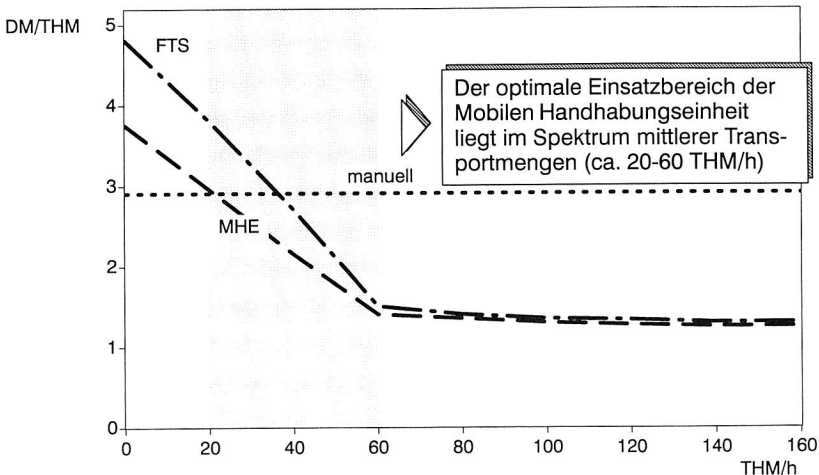


Bild 7-11 Vergleich der Transportkosten pro Palette bezogen auf die Transportmenge bei einer durchschnittlichen Transportentfernung von 100 m

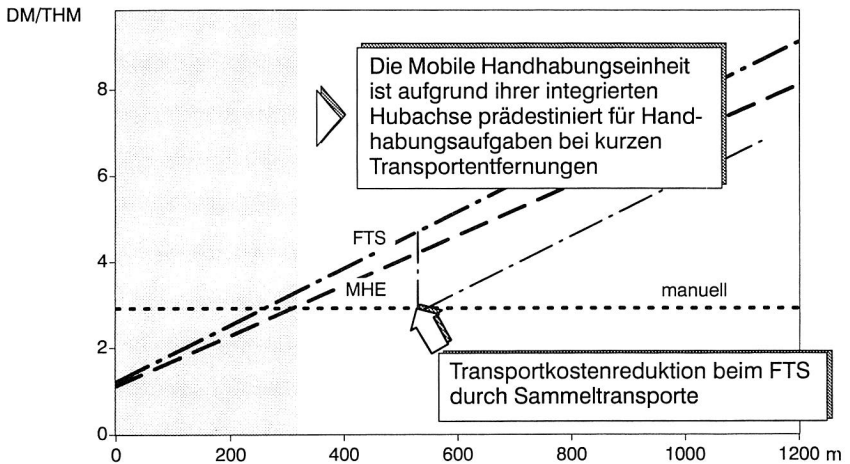


Bild 7-12 Vergleich der Transportkosten pro Palette bezogen auf die Transportentfernung bei einem Transportvolumen von 15 Transporthilfsmitteln pro Stunde

Die in Bild 7-12 aufgezeigten Kostenverläufe untermauern nochmals den optimalen Einsatzbereich der Mobilen Handhabungseinheit im Umfeld geringer Transportvolumen und kurzer Transportentfernungen also mit dem Schwerpunkt Handhabung der Transporthilfsmittel.

Durch günstige Fahrzeug- und Schienenkosten bleiben die Transportkosten auch für größere Entfernungen unter denen des FTS. Bei diesen Strecken sollte jedoch die größere Transportkapazität der FTF durch organisatorische Maßnahmen, wie z. B. Sammeltransporte, genutzt werden. Dadurch lassen sich die Kosten je Transporteinheit deutlich reduzieren.

## 8 Zusammenfassung und Ausblick

Die Senkung der Kosten, insbesondere der Lohnkosten, durch weitere Automatisierung und die Sicherung einer optimalen Produktqualität mit Hilfe weiterer Rechnerunterstützung im Produktionsmanagement, sind die wesentlichen Aufgaben zur Festigung des Produktionsstandortes Deutschland. Der Schlüsseltechnologie Elektronik kommt hierbei eine besondere Bedeutung zu. Dies zeigt sich in einer weiterhin zunehmenden Elektronifizierung im Automobil- und Maschinenbau und auch in neuen Absatzmärkten für innovative Produkte der Telekommunikation.

Trotz eines hohen Automatisierungsgrades des eigentlichen Prozesses, der Bestückung von Leiterplatten, fehlte bisher eine Lösung zur logistischen Integration der hochautomatisierten Bestücklinien in ein gesamtheitliches Automatisierungskonzept.

Ziel der vorliegenden Arbeit war die Entwicklung eines Materialflusssystems zur automatisierten Ver- und Entsorgung der Elektronikproduktion.

Hierzu wurden im Vorfeld am Markt verfügbare Transportsysteme anhand der spezifischen Anforderungen der Elektronikproduktion untersucht. Als Ergebnis bleibt festzuhalten, daß die meisten der derzeit verfügbaren automatisierten Transportmittel ihre vorrangige Anwendung im Maschinenbau und der Automobilproduktion finden. Hier bestehende Lösungen wurden lediglich an die Randbedingungen der Leiterplattenbestückung adaptiert, wobei eine integrative Vernetzung zwischen Produktionsprozess und Produktionslogistik fehlt.

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen und der Leitlinie *Vereinfachen-Automatisieren-Integrieren* folgend, wurden Überlegungen zur automatisierungsgerechten Materialflußgestaltung angestellt. Die Optimierung der Wertschöpfung bildet hier die zentrale Zielsetzung der Betrachtung. Um den wesentlichen Faktor *Durchlaufzeit* in der Wertzuwachskurve weiter zu reduzieren wurde eine Unterstützung der Materialbewirtschaftung konzipiert.

Die Bildung eines *virtuellen Puffers*, der physisch als *eine* Einheit vorliegt, welchen datentechnisch jedoch *jede* Produktionslinie als *ihren eigenen Puffer* einbinden kann, unterstützt die Minimierung der Durchlaufzeit und die Flexibilitätsanforderungen hinsichtlich der Auftragsreihenfolge.

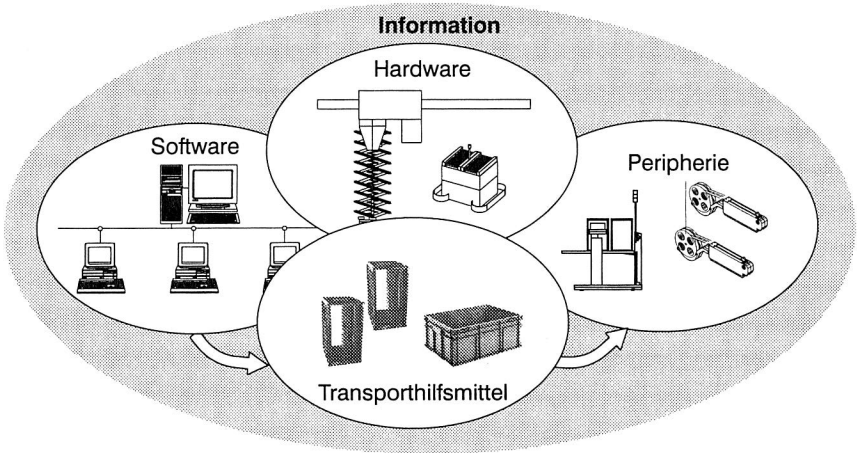
Die konzeptionellen Überlegungen resultieren in einem Anforderungsprofil für die Mobile Handhabungseinheit. Das daraus realisierte Transportsystem basiert auf einem Elektrohängebahnsystem. Das Trägerfahrzeug wurde um ein lagegeregeltes Antriebsmodul und eine Scherenhubachse zur Handhabung der Transporthilfsmittel erweitert. Die realisierte Antriebs- und Steuerungslösung bildet die Grundlage für ein flexibles, intelligentes und hochdynamisches Transportmittel. Der Handhabungseinheit verleiht es eine hohe Positioniergenauigkeit zur direkten Maschinenbedienung.

Ergänzt wird das Konzept durch ein Materialflußleitsystem:

Den Kern des Materialfließsystems bildet eine Datenbank, in der Informationen über die vorhandenen Transportsysteme, Produktionsstrukturen und Auftragspektren abgelegt sind. Des weiteren dient sie zur Erfassung und Auswertung der logistischen Betriebsdaten.

Schwerpunktmäßig wurde bei der Entwicklung der Module darauf geachtet, eine unternehmensweite Kommunikation, insbesondere auch mit den mobilen Subsystemen, zu realisieren. Die bereitgestellte logistische Datenbasis erlaubt die Erweiterung des Leitstandsbegriffes um die Komponenten "Planung und Optimierung" und "Controlling". Mit Hilfe dieser Module ist über die kurzfristige Reaktion hinaus auch die mittelfristige und strategische Optimierung der Produktion erreichbar.

Dem Produktionsfaktor "*Information*" kommt hierbei eine wesentliche Bedeutung zu. Die Information stellt zum einen das verbindende Medium zwischen den Bereichen und zum anderen die Basis zur Synchronisation dar (Bild 8-1).



*Bild 8-1 Information als integrierendes und synchronisierendes Element in einem durchgängig automatisiertem Produktionssystem*

Die Implementierung von modularen und flexiblen Softwaresystemen ist die Basis für eine weitere Steigerung der Leistungsfähigkeit von Automatisierungslösungen. In der Logistik muß hier der Schwerpunkt insbesondere im Bereich der dispositiven Datenverarbeitung liegen.

Bei der Umsetzung des Materialflußkonzeptes in der Modellfabrik des Institutes bestätigte sich die Erfordernis einer ganzheitlichen Betrachtung der Produktion bei Logistikprojekten. Zur Schaffung einer *durchgängig automatisierten* Transportkette wurden die Schnittstellenkomponenten in den Produktionsablauf mit eingebunden.

Es mußte jedoch festgestellt werden, daß eine Vielzahl peripherer Komponenten in ihren lokalen Ablaufzyklen ungenügend auf ein übergreifendes Konzept abgestimmt sind und Schnittstellen zur Integration der Peripherie oftmals fehlen.

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse der Mobilen Handhabungseinheit ergab ein optimales Einsatzspektrum im Bereich mittlerer Transportmengen (bis ca. 60 THM/h) und kurzer Transportentfernungen (bis ca. 300 m). In diesem Bereich, in welchem die Handhabungsfunktion überwiegt, läßt sich das volle Ratiopotential durch die Materialflußautomatisierung erschließen.

Durch den ganzheitlichen Systemverbund ist hiermit ein erfolgreicher Automatisierungsansatz vorgezeichnet.

Mit dem in der vorliegenden Arbeit gewählten Ansatz wurde das Ziel eines durchgängig automatisierten Produktionsdurchlaufes erreicht. Zukünftige Arbeiten müssen ergänzend dazu den Bereich der Systemperipherie erschließen:

Zur weiteren Optimierung des Betriebsmitteleinsatzes sind konkrete Lösungsvorschläge für eine Standardisierung der Materialbereitstellung zu entwickeln. Ziel muß dabei die Vision einer *flexibel automatisierten Rüstung* der Bestücklinien sein.

Gerade im Bereich der Schnittstellengestaltung der Materialbereitstellung ist Entwicklungsbedarf zu sehen. Insbesondere die Einbindung der Schnittstellen in einen kontinuierlichen Produktionsablauf erfordert eine flexible Ablaufprogrammierung sowie offene Schnittstellen zur Kommunikation zwischen den Systemen.

Einen letzten Schwerpunkt weiterer Forschungsaktivitäten stellt die betriebsbegleitende Simulation dar. Mit ihrem Einsatz ist es möglich die kontinuierliche Optimierung der Produktionsstrukturen zu unterstützen und einen optimalen Produktionsablauf zu gestalten.

## Literatur

1. Abels, S.:  
Modellierung und Optimierung von Montageanlagen in einem integrierten Simulationssystem  
Hrsg.: K. Feldmann, Diss. Univ. Erlangen, Carl-Hanser-Verlag, München 1993
2. Aggteleky, B.:  
Fabrikplanung: Werksentwicklung und Betriebsrationalisierung  
Band 2: Betriebsanalyse und Feasibility-Studie  
Carl-Hanser-Verlag, München 1990
3. Becker, B.-D.:  
Erfahrungen beim Aufbau simulationsintegrierter Fertigungssteuerungen  
in: Simulation und Fabrikbetrieb  
Hrsg.: ASIM-Arbeitskreis für Simulation in der Fertigungstechnik, gfm-Verlag, München 1993, S. 163 - 185
4. Binner, H.:  
Logistische Unternehmensplanung  
in: Logistik in der Produktion  
Hrsg.: O. Dück, WEKA Verlag, Augsburg 1995, Kap. 3
5. Bloemeke, R.; Esslinger, R.:  
Die Transportwelt am Draht  
in: HAVARDmanager 1/1992, S. 22 - 29
6. Bock, S.; Meyer, R.:  
Akzeptanz der Simulationstechnik  
- Ergebnis einer Umfrage -  
Hrsg.: Sydow, Simulationstechnik, 8. Symposium in Berlin, S. 95 - 98, Vieweg-Verlag, Braunschweig 1993
7. Bode, W.:  
Es gibt noch Einsparpotentiale in der Informationslogistik  
in: Logistik im Unternehmen 1995, Nr. 3, S. 3
8. Bollen, H.:  
Die Elektronik-Produktionstechnik  
in: F & M 100 (1992) 7, S. 293 - 294
9. Bracht, U.; Janisch, H.:  
Literaturübersicht Fabrikplanung, Teil 1  
in: industriebau 5/95, S. 335 - 347



10. Brantner, K.:  
Adaptierbares Leitsteuerungssystem für flexible Produktionssysteme  
Hrsg.: G. Pritschow, Diss. Univ. Stuttgart, Springer Verlag, Berlin 1993
11. Brede, H.-J.; Josuttis, N.; Lemberg, S.; Lörke, A.:  
Programmieren mit OSF/Motif  
Addison Wesley, Bonn 1991
12. Burger, C.:  
Produktionsregelung mit entscheidungsunterstützenden  
Informationssystemen  
Hrsg.: J. Milberg, Diss. Univ. München, Springer Verlag, Berlin 1992
13. Buschmeier, M.:  
Neustrukturierung erhöht Wirtschaftlichkeit von SMD-Bestückung  
in: engineering & automation 16 (1994) Heft 1, S. 20 - 23
14. Chryssolouris, G.:  
Manufacturing Systems - Theory and Praxis  
Springer Texts in Mechanical Engineering, Springer Verlag, Berlin 1992
15. Conrad, G.:  
Warum sich CIM doch rechnet  
in: VDI-Z 132 (1990), Nr. 10 - Oktober, S. 22 - 24
16. Daum, M.:  
Mobile Roboter im Lager  
- Rationelle Kommissionierung -  
Verlag TÜV Rheinland, Köln 1990
17. Deutsch, C.:  
Controlling - Völlig umdenken  
in: Wirtschaftswoche Nr. 35/24.8.1995, S. 62 - 65
18. Deutschländer, A.:  
Integrierender Ansatz zur Reduzierung der Durchlaufzeit  
in der Leiterplattenmontage  
in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Zwf 86 (1991) 4, S. 160 - 165
19. Dilling-U.:  
Automatisierung der Werkstückversorgung an Werkzeugmaschinen  
in: wt - Zeitschrift für Industrielle Fertigung, Band 81 (1991) 1, Seite 36 - 40
20. Egbelu, P. J.; Tanchoco, J. M. A.:  
Characterization of automatic guided vehicle dispatching rules  
INT. J. PROD. RESEARCH, Vol. 22, No. 3, 1984, pp 359 - 374

21. Ehmann, B.:  
Operatives Fertigungscontrolling durch Optimierung auftragsbezogener Bearbeitungsabläufe in der Elektronikfertigung  
Hrsg.: K. Feldmann, Diss. Univ. Erlangen, Carl-Hanser-Verlag, München 1993
22. Eidenmüller, B.:  
Strukturwandel und Logistik  
Neue Ziele und neue Strategien in der Produktion - dargestellt an Beispielen der Informationstechnik  
in: Logistik - eine Aufgabe der Unternehmenspolitik, S. 23 - 52  
Hrsg.: J. Baetge, Verlag Dunker, Berlin 1987
23. Enßlin, W.:  
Wachsam auf allen Ebenen  
in: Automobil Produktion (1994) 6, S. 54 - 56
24. Eversheim, W.; Barg, A.; Linnhoff, M.; Stolz, N.:  
Materialbewirtschaftung der Montage  
in: Logistik im Unternehmen 1990, Nr. 7/8, S. 42 - 45
25. Eversheim, W.; Hartmann, M.; Linnhoff, M.; Fietz, J.:  
Rationalisierungspotential Montagesteuerung  
in: VDI-Z 133 (1991), Nr. 8 - August, S. 16 - 21
26. Eversheim, W.; Anger K.; Esser, H.:  
Der Leitstand erschließt sich neue Einsatzbereiche  
in: VDI-Z 134 (1992), Nr. 1 - Januar, S. 26 ff
27. Feldmann, K.:  
Flexible Montage lernt von CIM  
in: VDI nachrichten Nr. 10 - 6. März 1992, S. 10
28. Feldmann, K.:  
Neue Technologien in der Elektronik und ihre Auswirkungen auf die Produktion  
in: Roboter-Symposium "Expansion durch Innovation", Reutlingen 1995
29. Feldmann, K.:  
Produktionssysteme in der Elektronik,  
Arbeits- und Ergebnisbericht zum Sonderforschungsbereich 356,  
Universität Erlangen-Nürnberg 1995
30. Feldmann, K.; Liedl, G.; Stief, E.:  
Materialfluß in veränderten Fabrikstrukturen - Lösungsalternativen  
in: Materialfluß in veränderten Fabrikstrukturen,  
Seminarunterlagen FAPS-TT, Eigenverlag, Erlangen 1995

31. Ferstl, O.; Mannmeusel, T.:  
Dezentrale Produktionslenkung  
in: CIM Management, Band 11 (1995) Heft 3, S. 26 - 32
32. Finck, A.:  
Praxisbeispiele - "Schlanke Produktion" in der Elektronikindustrie  
in: EPP-Elektronik Produktion & Prüftechnik, November 1993, S. 22 - 25
33. Friedrich, W.:  
Tabellenbuch Elektrotechnik Elektronik  
Dümmler Verlag, Bonn 1993
34. Gebhard, H.:  
Datenübertragung in Materialflußsystemen  
in: Zeitschrift für Logistik, April 2/95, S. 40 - 45
35. Götz, K.:  
Wertorientierter Informationsfluß im Logistikprozeß,  
in: fördern und heben, 44 (1994) 2, S. LS4 - LS6
36. Grampp, K.:  
Rechnerunterstützung bei Test und Schulung an Steuerungssoftware von  
SMD-Bestücklinien  
Hrsg.: K. Feldmann, Diss. Univ. Erlangen, Carl-Hanser-Verlag, München 1995
37. Grempe, R.:  
Material in der Montage auftragsbezogen bereitstellen  
in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Zwf 87 (1992) 1, S. 51 - 54
38. Großeschallau, W.:  
Heuristische Dispositionsmodelle für innerwerkliche Transportsysteme,  
Dissertation, Institut für Logistik, Dortmund 1979
39. Günzel, U.:  
Entwicklung und Einsatz eines Simulationsverfahrens für operative und  
strategische Probleme der Produktionsplanung und -steuerung  
Hrsg.: K. Feldmann, Diss. Univ. Erlangen, Carl-Hanser-Verlag, München 1993
40. Harland, J.:  
Logistikorientierte Materialflußregelung  
- Ein Beitrag zur ganzheitlichen, permanenten Gestaltung  
von Fertigungssystemen -  
Hrsg.: A. Kuhn, Verlag Praxiswissen, Dortmund 1992

41. Hars, A.; Scheer, A.-W.:  
Stand und Entwicklungstendenzen von Leitständen  
in: CIM Management 3/93, S. S33 - S36
42. Hauf, M.:  
Konzepte und Anwendungen der Produktionslogistik  
in: Zeitschrift für Logistik, Band 12 (1991) Heft 3, S. 25 - 29
43. Hefe, H.:  
Systemlösungen zur Mischbestückung von Rechnerbaugruppen  
in: SMT: Rationelles Bestücken in der Oberflächentechnik, Tagungsband,  
VDI/VDE-Gesellschaft Mikro- und Feinwerktechnik, Düsseldorf 1993
44. Helfrich, C.:  
Alternative zum Outsourcing: Einfache Geschäftsprinzipien  
in: Computerwoche, Band 22 (1995) Heft 23, S. 48 - 49
45. Hessenberger, M.:  
Logistische Optimierung  
in: Beschaffung aktuell 7, 1992, S. 43 - 47
46. Hierl, R.:  
Rationelle Leiterplattenfertigung im Elektronikwerk Amberg  
in: engineering & automation 13 (1991) Heft 2, S. 46 - 49
47. Hildebrandt, F.:  
Arbeits- und Systemingenieurwesen  
in: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 3/1979 S. 146 - 151
48. Hopperdietzel, R.:  
Reengineering in der Elektro- und Elektronikindustrie  
Hrsg.: K. Feldmann, Diss. Univ. Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg 1996
49. Junge, S.:  
Logistik-Kennzahlen für die Planung und Regelung  
Fahrerloser Transportsysteme  
Hrsg.: R. Jünemann, Verlag Praxiswissen, Dortmund 1993
50. Johannson, B.:  
Strategisch zum Optimum - Handling-Systeme und Roboter  
in: Kunststoffberater, Band 40 (1995) Heft 4, S. 12 - 37
51. Jünemann, R.; Daum, M.; Piepel, M.; Schwinning, S.:  
Materialfluß und Logistik  
- Systemtechnische Grundlagen mit Praxisbeispielen -  
Springer Verlag, Berlin 1989

52. Kämpke, T.; Kratz, N.; Prassler, E.:  
Intelligente Roboterfahrzeuge in CIM und im Dienstleistungsbereich  
in: CIM Management, Band 10 (1994) Heft 3, S. 28 - 33
53. Käppner, M.:  
Computergestützte Steuerungs- und Positionierverfahren  
für Elektrohängebahnsysteme  
Hrsg.: R. Jünemann, Verlag Praxiswissen, Dortmund 1995
54. Kernler, H.:  
PPS der 3. Generation: Grundlagen, Methoden, Anregungen  
Hüthig-Verlag, Heidelberg 1993
55. Kief, H. B.:  
NC/CNC Handbuch  
Carl-Hanser-Verlag, München 1992
56. Kiesewetter, S. A.:  
Entwicklung einer dynamisch adaptierbaren Produktionsregelung  
- Dezentrale, hierarchische Regelung operativer Produktionsabläufe -  
Dissertation RWTH Aachen, 1991
57. Klein, St.:  
Virtuelle Maschinenkapazität: Der Weg zur Losgröße 1  
in: productronic 8/9 1994, S. 18 - 24
58. Körner, H.; Kleineidam, G.:  
Leitsysteme in der Flachbaugruppenfertigung  
in: pa Produktionsautomatisierung 1/92, S. 29 - 32
59. Kuhn, A.:  
Intelligente Datenverarbeitung - Grundlage der Produktionslogistik  
in: Produktionslogistik, VDI-Berichte 890, VDI-Verlag, Düsseldorf 1991
60. Kuhn, A.:  
Aufbereitung eines bereichsübergreifenden Informationssystems für den  
Regelkreis Produktion und Instandhaltung  
in: Kongress Anlagenwirtschaft '93, S. 221 - 232  
Hrsg.: W. Männel, Verlag der Gesellschaft für Angewandte Betriebswirtschaft,  
Lauf a. d. Pegnitz 1993
61. Kupec, T.:  
Wissensbasiertes Leitsystem zur Steuerung flexibler Fertigungsanlagen  
Hrsg.: J. Milberg, Diss. Univ. München, Springer Verlag, Berlin 1991

62. Lea, C.:  
A Scientific Guide to Surface Mount Technology  
Electrochemical Publications Limited, Ayr, Scotland 1988
63. Lemme, H.:  
Passive Schaltungen "per Stempeldruck"  
in: Elektronik 2/1995, S. 50 - 56
64. Liedl, G.; Rommel, E.:  
Durchgängig automatisierter Materialfluß in der Elektronikproduktion  
in: productronic 15 (1995) 2, S. 24 - 27
65. Lutz, P.:  
Leitsysteme für die rechnerintegrierte Auftragsabwicklung  
Hrsg.: J. Milberg, Diss. Univ. München, Springer Verlag, Berlin 1988
66. Maser-H.:  
Einsatz von Robotern und Handlingsystemen im Materialfluß  
in: Lagerlogistik, VDI-Berichte 1164, VDI-Verlag, Düsseldorf 1994
67. Meinberg, U.:  
Leitstände - Integration der Fertigung und der Logistik  
in: Vernetzung von Produktionssteuerung und Logistik, VDI-Berichte 994,  
VDI-Verlag, Düsseldorf 1992
68. Mertins, K.; Schallock, B.; Carbon, M.; Heisig, P.:  
Erfahrungswissen bei der kurzfristigen Auftragssteuerung  
in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Zwf 88 (1993) 2, S. 78 - 80
69. Messmer, H.:  
Die Zukunft der PPS-Systeme, Vorteile durch Fertigungsoptimierung  
in: AV-Arbeitsvorbereitung, 29 (1995) 4 1992, S. 140 - 141
70. Milberg, J.:  
Von CAD/CAM zu CIM  
Springer Verlag, Berlin 1992
71. Milberg, J.:  
Unsere Stärken stärken  
- Der Weg zu Wettbewerbsfähigkeit und Standortsicherung -  
in: Münchner Kolloquium '94, S. 11 - 32, Verlag moderne industrie,  
Landsberg 1994
72. Moszyk, U.:  
Wege aus der Datenflut  
in: Packung und Transport, (1992) Heft 3, S. 40 - 43

73. Naber, H.:  
Aufbau und Einsatz eines mobilen Roboters mit unabhängiger Lokomotions-  
und Manipulationskomponente  
Hrsg.: J. Milberg, Diss. Univ. München, Springer Verlag, Berlin 1991
74. N. N.:  
Automatische Werkzeugversorgung für Strangpressen mit mobilem  
Manipulator  
in: Deutsche Hebe- und Fördertechnik - dhf, 39 (1993) Heft 7/8, S. 52 - 54
75. N. N.:  
Das traditionelle Lager im Wandel  
in: Logistik im Unternehmen, 1991, Nr. 9, S. 38 - 47
76. N. N.:  
DIN 8580:  
Begriffe der Fertigungsverfahren - Einteilung,  
Beuth-Verlag, Berlin 1985
77. N. N.:  
Die Welt der Surface Mount Technology  
SIEMENS AG, Eigenverlag 1993
78. N. N.:  
Hängebahn in der Produktion von CD-Tonträgern  
in: Logistik im Unternehmen 1989, Nr. 10, S. 48
79. N. N.:  
Kostensenkung durch Transparenz  
in: Logistik Heute 10/94, S. 75 - 76
80. N. N.:  
Materialflußsysteme mit mobilen Robotern  
Informationsbroschüre der Fraunhofer-Gesellschaft, Dortmund 1993
81. N. N.:  
Ohne Fahrer in festen Bahnen  
in: Flexible Automation 2/93, S. 34
82. N. N.:  
Partnerschaft von Mensch und Maschine  
in: VDI nachrichten Nr. 43-27. Oktober 1995, Sonderteil Interkama '95, S. 3
83. N. N.:  
Produktunterlagen Langhubgreifer  
Firma Heinz Mayer GmbH, Holzgerlingen 1993

84. N. N.:  
Produktunterlagen Präzisionsscherenhubachse  
Firma Heinz Mayer GmbH, Holzgerlingen 1993
85. N. N.:  
Produktunterlagen UNITRASS 20  
Thyssen Aufzüge GmbH, Stuttgart 1992
86. N. N.:  
Produktunterlagen Weg-Codiersystem WCS 2  
Stahltronic GmbH, Künzelsau 1993
87. N. N.:  
Technische Dokumentation "Einachspositioniersteuerung SX-1"  
ELAU GmbH, Marktheidenfeld 1993
88. N. N.:  
VDI-Richtlinie 2860: Montage- und Handhabungstechnik:  
Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen,  
Begriffe, Definitionen, Symbole.  
VDI-Verlag, Düsseldorf 1990
89. N. N.:  
VDI-Richtlinie 2861: Montage- und Handhabungstechnik:  
Kenngrößen für Industrieroboter  
VDI-Verlag, Düsseldorf 1988
90. N. N.:  
VDI-Richtlinie 3300: Materialfluß-Untersuchungen  
VDI-Verlag, Düsseldorf 1973
91. N. N.:  
VDI 3643: Elektro-Hängebahn  
Obenläufer, Traglastbereich 500 kg  
Anforderungen an ein kompatibles System  
VDI-Verlag Düsseldorf, 1986
92. N. N.:  
Wie eine Zitrone  
in: Wirtschaftswoche Nr. 51/17.12.1993, S. 52 - 60



93. Noetzel, W.-R.:  
Kosten- und Leistungs-Optimierung mit optimalen Mindest-Beständen bei  
Fertigerzeugnissen  
in: 6. Logistik-Dialog, Logistikkosten und Logistikleistung,  
Schriftenreihe Praxiswissen Logistik, Wien 1989, S. 432 - 443
94. Ostermann, H.-H.:  
Moderne Förder- und Lagertechnik für Tiefkühlkost  
in: Logistik im Unternehmen 1995, Nr. 9, S. 7 - 10
95. Pawellek, G.; Hinz, F.:  
Fertigung modern steuern - Produktionslogistik  
in: Fabrik 43 (1993) 1/2, S. 20 - 22
96. Piepel, U.:  
Mobile Roboter auf der Basis Automatischer Flurförderzeuge  
Systemtechnik - Anforderungskatalog - Wirtschaftlichkeit  
Hrsg.: R. Jünemann, Verlag TÜV Rheinland, Köln 1990
97. Pritsker, A.; Schmidt-Weinmar, G.; Ortmann, L.:  
Management der Liegezeiten durch zeitdynamische Simulation  
in: CIM Management 6/91, S. 15 - 22
98. REFA (Hrsg.):  
Arbeitsplatzgestaltung  
in: Seminar Arbeitssystemgestaltung, REFA, Darmstadt 1994
99. Reichmann, T.:  
Controlling mit Kennzahlen  
Verlag Franz Vahlen, München 1990
100. Reinhard, G.; Decker, F.; Heitmann, K.:  
Aus dem Fundus geschöpft  
- Mit wiederverwendeten Daten simuliert es sich kostengünstiger -  
in: AV-Arbeitsvorbereitung, 32 (1995) 3, S. 170 - 174
101. Reinhard, G.; Simon, D.:  
Fertigungsregelung durch zielgrößenorientierte Planung und logistisches  
Störungsmanagement  
in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, ZWF 90 (1995) 3, S. 86 - 89
102. Rieth, D.:  
Optimierung der strategischen Faktoren Zeit, Kosten und Qualität  
in: Fabrik, Berlin 43 (1993) 10, S. 14 - 16

103. Rothhaupt, A.:  
Modulares Planungssystem zur Optimierung der Elektronikfertigung  
Hrsg.: K. Feldmann, Diss. Univ. Erlangen, Carl-Hanser-Verlag, München 1995
104. Rupper, P.; Baumgartner, H.:  
Unternehmenslogistik  
Verlag Industrielle Organisation, Zürich 1991
105. Salzer, J.:  
Analyse der Kosten des innerbetrieblichen Materialflusses  
- Ressourcen bewerten und besser nutzen -  
in: Kostenmanagement, Kostenrechnung und Controlling in der Logistik,  
Seminarunterlagen 21.-22. 09. 94, Praxiswissen GmbH Dortmund 1994
106. Sauer, W.; Weigert, G.; Goerik, P.:  
Real time optimization of manufacturing processes by synchronized simulation  
in: Konferenz – Einzelbericht: FAIM, Flexible Automation and Intelligent  
Manufacturing 1995, S. 271 - 282  
Begell House, New York 1995
107. Scharf, P.; Spies, W.:  
Computersimulation hilft bei der Optimierung von Produktionsanlagen  
in: VDI-Z 134 (1992), Nr. 10 - Oktober, S. 72 - 76
108. Schiele, O.-H.:  
Informationstechnik für die Fabrik der Zukunft  
in: Hrsg: Verband Deutscher Maschinen- u. Anlagenbau e.V.,  
Report: Bericht, Frankfurt/M. 1994
109. Schieleit, J.:  
Mobile Roboter in Elektrohängebahnsystemen  
- Technische Gestaltung und Auslegung -  
Verlag TÜV Rheinland, Köln 1990
110. Schmerbeck, F.:  
Variantenreiche Serienmontage in der Elektronikfertigung  
in: Hrsg.: VDI, Integrierte Auftragsabwicklung - Lösungen, Anwendungen,  
Erfahrungen, S. 199 - 208, VDI-Verlag, Düsseldorf 1991
111. Schmidt, F.:  
Komplexe Fahrerlose Transportsysteme  
- Fahrzeuganzahl, Investitionsaufwand, Wirtschaftlichkeit -  
Hrsg: R. Jünemann, Verlag TÜV Rheinland, Köln 1989

112. Schmidt, K.-U.:  
Integration von Material-, Fertigungs-, und Informationsfluß  
als systemtechnische Aufgabe der Produktionslogistik  
in: Hrsg.: F. Mayinger, Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit durch system-  
technische Mittel, S. 81 - 109, Tagungsband, München 1994
113. Schmutz, W.:  
Flexible Material Distribution Systems (FMDS) für die Halbleiterfertigung  
in: Hrsg.: Münchener Messe- und Ausstellungsgesellschaft  
HLF Fachtagung Halbleiterfertigung, Productronica 91, München 1991
114. Scholz, A.:  
Mobile Datenträger mit großer Speicherkapazität  
im Einsatz als dezentrales Fertigungsinformationssystem  
in: Konferenzbericht IDENT/VISION, S. 13 - 15, Sinsheim 1991
115. Schulze, L.:  
FTS-Praxis Fahrerlose Transportsysteme  
Resch-Verlag, Gräfelfing 1985
116. Schulze, L.:  
Kapazitätsplanung im innerbetrieblichen Transport  
- ein Ansatz zur wirtschaftlichen Optimierung  
in: Materialfluß und Logistik 92, Handelsblatt GmbH, Düsseldorf 1992
117. Schwinning, St.:  
Mobile Roboter auf der Basis Automatischer Flurförderzeuge  
- Technische Gestaltung -  
Hrsg.: R. Jünemann, Verlag TÜV Rheinland, Köln 1990
118. Seegräber, L.:  
Greifsysteme für Montage, Handhabung und Industrieroboter:  
Grundlagen - Erfahrungen - Einsatzbeispiele  
expert-Verlag, Ehningen 1993
119. Sequeira, V.; Goncalves, J. G. M.; Ribeiro, M. I.:  
3D environment modelling using laser range sensing  
in: Robotics and Autonomous Systems, Band 16 (1995) Heft 1, Seite 81 - 91
120. Siegwart, H.; Raas, F.:  
CIM-orientiertes Rechnungswesen  
VDI-Verlag, Düsseldorf 1991

121. Spur, G.:  
Rüstofffreie Montage von elektronischen Baugruppen  
in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Zwf 82 (1987) 10, S. 606 - 613
122. Stief, E.:  
Investitionssicherung durch interdisziplinäres Planungsteam  
und rechnergestützte Werkzeuge  
in: Materialfluß in veränderten Fabrikstrukturen,  
Seminarunterlagen FAPS-TT, Eigenverlag, Erlangen 1995
123. Straube, F.; Kern, A.:  
Logistische Einsatzmöglichkeiten von Identifikationssystemen  
in der Transportsteuerung  
in: CIM Management, 7 (1991) 4, S. 12 - 16
124. Strohmayr, R.:  
Rechnergestützte Auswahl und Konfiguration von Zubringeeinrichtungen  
Hrsg.: J. Milberg, Diss. Univ. München, Springer Verlag, Berlin 1993
125. Stuckmann, G.:  
Logistisches Denken verändert Fabrikstrukturen  
- Erfahrungsbericht der Kolbenschmidt AG Neckarsulm -  
in: 11. Deutscher Logistik-Kongress, Logistik-Lösungen für die Praxis,  
S. 303 - 323, Berlin 1994
126. Syska, A.:  
Kennzahlen für die Logistik  
Springer Verlag, Berlin 1990
127. Thim, C.:  
Rechnergestützte Optimierung von Materialflußstrukturen  
in der Elektronikmontage durch Simulation  
Hrsg.: K. Feldmann, Diss. Univ. Erlangen, Carl-Hanser-Verlag, München 1992
128. Thumm, R.:  
Entwicklungen auf dem Gebiet der Lager- und Transportsysteme  
in: Konferenz-Einzelbericht: MOTIV 1994 Materialflußsysteme, S. 59 - 78,  
Verlag Praxiswissen, Dortmund 1994
129. Tönshoff, H. K.; Glöckner, M.:  
Logische Fertigungsinseln  
- Ein alternatives Konzept für Einzel- und Kleinserientfertiger -  
in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Zwf 89 (1994) 12, S. 607 - 609

130. Ulfers, H.-A.:  
Erfahrungen mit der Belastungsorientierten Auftragssteuerung  
bei der SIEMENS AG  
in: Hrsg.: H.-P. Wiendahl: Anwendung der belastungsorientierten Fertigungs-  
steuerung, Carl-Hanser-Verlag, München 1991
131. Waldruff, A.:  
Wertanalyse und Logistik in der Praxis eines High-Tech Unternehmens  
in: Hrsg.: E. Jehle: Wertanalyse optimiert Logistikprozesse, S. 139 - 148,  
Verlag TÜV Rheinland, Köln 1989
132. Warnecke, H.-J.:  
Die fraktale Fabrik  
- Das Ende der arbeitsteiligen Systeme ist vorhersehbar -  
in: wt - Wissenschaft und Technik, Band 82 (1992) 1, S. 36 - 39
133. Weck, M.:  
Werkzeugmaschinen  
Bd. 1: Maschinenarten, Bauformen und Anwendungsbereiche  
VDI-Verlag, Düsseldorf 1991
134. Wei, X.:  
Verhalten von Transportsystemen  
- Einfluß unterschiedlicher Randbedingungen auf die Wirkungsweise von  
Dispositionsstrategien -  
Dissertation, Institut für Fördertechnik, Getriebetechnik und Baumaschinen,  
Stuttgart 1990
135. Westkämper, E.; Laucht, O.; Burgstahler, B.:  
Konzept und praktischer Einsatz der Unternehmenssegmentierung  
in: CIM Management 11 (1995) 3, S. 12 - 15
136. Wiendahl, H.-P.:  
Belastungsorientierte Fertigungssteuerung:  
Grundlagen, Verfahrensaufbau, Realisierung  
Carl-Hanser-Verlag, München 1987
137. Wiendahl, H.-P.:  
Modellbasiertes Planen und Steuern reaktionsschneller Produktionssysteme  
- Lösungskonzepte und Erfahrungen -  
Tagungsbericht IFA-Kolloquium, gfmt, München 1991

138. Wiendahl, H.-P.; Garlichs, R.:  
Optimierung der Lieferbereitschaft unter Berücksichtigung der Anlagen-  
nutzung und der Fertigwarenbestände  
in: 10. Deutscher Montagekongress, Neuorientierung im teuersten Bereich der  
Produktion, S. 1 - 23, Verlag moderne industrie, Landsberg 1992
139. Wolf, P.:  
Datenmanagement - strategische Komponente auch für mittelständische  
Unternehmen  
in: Fördertechnik, Band 61 (1992) Heft 12, Seite 13 - 15
140. Wolski, G. B.:  
Flexibel und leistungsfähig  
in: EPP-Elektronik Produktion & Prüftechnik, April 1995, S. 10 - 13
141. Zell, M.:  
Simulationsgestützte Fertigungssteuerung  
Diss. Univ. Saarbrücken, Oldenbourg-Verlag, München 1992
142. Zipper, B.:  
Das integrierte Betriebsmittelwesen - Baustein einer flexiblen Fertigung  
Hrsg.: J. Milberg, G. Reinhart, Diss. Univ. München, Springer Verlag,  
Berlin 1994
143. Zöllner, B.:  
Adaptive Diagnose in der Elektronikproduktion  
Hrsg.: K. Feldmann, Diss. Univ. Erlangen, Carl-Hanser-Verlag, München 1995
144. Witte, K.-W.:  
Planung und Steuerung auftragsbezogener Montagen  
in: Integrierte Auftragsabwicklung, VDI-Berichte 898,  
VDI-Verlag, Düsseldorf 1991







## **Lebenslauf**

Georg Liedl

geb. am 17. April 1965 in Hemau

1971 - 1975	Grundschule in Hemau
1975 - 1984	Donau-Gymnasium in Kelheim, math.-naturwiss. Zweig Abschluß: Abitur
1984 - 1985	Grundwehrdienst
1985 - 1991	Studium der Fertigungstechnik an der Universität Erlangen-Nürnberg Abschluß: Dipl.-Ing. (Univ.)
seit 1991	wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik der Universität Erlangen-Nürnberg Leiter: Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann



# Reihe Fertigungstechnik Erlangen

Band 1

Andreas Hemberger

**Innovationspotentiale in der rechnerintegrierten Produktion durch  
wissensbasierte Systeme**

208 Seiten, 107 Bilder. 1988. Kartoniert.

Band 2

Detlef Classe

**Beitrag zur Steigerung der Flexibilität automatisierter Montage-  
systeme durch Sensorintegration und erweiterte Steuerungskonzepte**

194 Seiten, 70 Bilder. 1988. Kartoniert.

Band 3

Friedrich-Wilhelm Nolting

**Projektiertung von Montagesystemen**

201 Seiten, 107 Bilder, 1 Tabelle. 1989.

Kartoniert.

Band 4

Karsten Schlüter

**Nutzungsgradsteigerung von Montagesystemen durch den Einsatz  
der Simulationstechnik**

177 Seiten, 97 Bilder. 1989. Kartoniert.

Band 5

Shir-Kuan Lin

**Aufbau von Modellen zur Lageregelung von Industrierobotern**

168 Seiten, 46 Bilder. 1989. Kartoniert.

Band 6

Rudolf Nuss

**Untersuchungen zur Bearbeitungsqualität im Fertigungssystem  
Laserstrahlschneiden**

206 Seiten, 115 Bilder, 6 Tabellen. 1989. Kartoniert.

Band 7

Wolfgang Scholz

**Modell zur datenbankgestützten Planung automatisierter  
Montageanlagen**

194 Seiten, 89 Bilder. 1989. Kartoniert.

Band 8

Hans-Jürgen Wißmeier

**Beitrag zur Beurteilung des Bruchverhaltens von Hartmetall-  
Fließpreßmatrizen**

179 Seiten, 99 Bilder, 9 Tabellen. 1989. Kartoniert.

Band 9

Rainer Eisele

**Konzeption und Wirtschaftlichkeit von Planungssystemen in der  
Produktion**

183 Seiten, 86 Bilder. 1990. Kartoniert.

Band 10

Rolf Pfeiffer

**Technologisch orientierte Montageplanung am Beispiel der  
Schraubtechnik**

216 Seiten, 102 Bilder, 16 Tabellen. 1990. Kartoniert.

Band 11  
Herbert Fischer  
**Verteilte Planungssysteme zur Flexibilitätssteigerung der  
rechnerintegrierten Teillieferfertigung**  
201 Seiten, 82 Bilder. 1990. Kartoniert.

Band 12  
Gerhard Kleineidam  
**CAD/CAP: Rechnergestützte Montagefeinplanung**  
203 Seiten, 107 Bilder. 1990. Kartoniert.

Band 13  
Frank Vollertsen  
**Pulvermetallurgische Verarbeitung eines übereutektoiden  
verschleißfesten Stahls**  
XIII + 217 Seiten, 67 Bilder, 34 Tabellen. 1990. Kartoniert.

Band 14  
Stephan Biermann  
**Untersuchungen zur Anlagen- und Prozeßdiagnostik für das  
Schneiden mit CO<sub>2</sub>-Hochleistungslasern**  
VIII + 170 Seiten, 93 Bilder, 4 Tabellen. 1991. Kartoniert.

Band 15  
Uwe Geißler  
**Material- und Datenfluß in einer flexiblen Blechbearbeitungszelle**  
124 Seiten, 41 Bilder, 7 Tabellen. 1991. Kartoniert.

Band 16  
Frank Oswald Hake  
**Entwicklung eines rechnergestützten Diagnosesystems für  
automatisierte Montagezellen**  
XIV + 166 Seiten, 77 Bilder. 1991. Kartoniert.

Band 17  
Herbert Reichel  
**Optimierung der Werkzeugbereitstellung durch  
rechnergestützte Arbeitsfolgenbestimmung**  
198 Seiten, 73 Bilder, 2 Tabellen. 1991. Kartoniert.

Band 18  
Josef Scheller  
**Modellierung und Einsatz von Softwaresystemen für  
rechnergeführte Montagezellen**  
198 Seiten, 65 Bilder. 1991. Kartoniert.

Band 19  
Arnold vom Ende  
**Untersuchungen zum Biegeumformen mit elastischer Matrize**  
166 Seiten, 55 Bilder, 13 Tabellen. 1991. Kartoniert.

Band 20  
Joachim Schmid  
**Beitrag zum automatisierten Bearbeiten von Keramikguß  
mit Industrierobotern**  
XIV + 176 Seiten, 111 Bilder, 6 Tabellen. 1991. Kartoniert.

Band 21  
Egon Sommer  
**Multiprozessorsteuerung für kooperierende  
Industrieroboter in Montagezellen**  
188 Seiten, 102 Bilder. 1991. Kartoniert.

Band 22  
Georg Geyer  
**Entwicklung problemspezifischer Verfahrensketten  
in der Montage**  
192 Seiten, 112 Bilder. 1991. Kartoniert.

Band 23

Rainer Flohr

**Beitrag zur optimalen Verbindungstechnik in der Oberflächenmontage (SMT)**

186 Seiten, 79 Bilder. 1991. Kartoniert.

Band 24

Alfons Rief

**Untersuchungen zur Verfahrensfolge Laserstrahlschneiden und -schweißen in der Rohkarosserieherfertigung**

VI + 145 Seiten, 58 Bilder, 5 Tabellen. 1991. Kartoniert.

Band 25

Christoph Thim

**Rechnerunterstützte Optimierung von Materialflußstrukturen in der Elektronikmontage durch Simulation**

188 Seiten, 74 Bilder. 1992. Kartoniert.

Band 26

Roland Müller

**CO<sub>2</sub>-Laserstrahlschneiden von kurzglasverstärkten Verbundwerkstoffen**

141 Seiten, 107 Bilder, 4 Tabellen. 1992. Kartoniert.

Band 27

Günther Schäfer

**Integrierte Informationsverarbeitung bei der Montageplanung**

195 Seiten, 76 Bilder. 1992. Kartoniert.

Band 28

Martin Hoffmann

**Entwicklung einer CAD/CAM-Prozeßkette für die Herstellung von Blechbiegeteilen**

149 Seiten, 89 Bilder. 1992. Kartoniert.

Band 29

Peter Hoffmann

**Verfahrensfolge Laserstrahlschneiden und -schweißen : Prozeßführung und Systemtechnik in der 3D-Laserstrahlbearbeitung von Blechformteilen**

186 Seiten, 92 Bilder, 10 Tabellen. 1992. Kartoniert.

Band 30

Olaf Schrödel

**Flexible Werkstattsteuerung mit objektorientierten Softwarestrukturen**

180 Seiten, 84 Bilder. 1992. Kartoniert.

Band 31

Hubert Reinisch

**Planungs- und Steuerungswerkzeuge zur impliziten Geräteprogrammierung in Roboterzellen**

XI + 212 Seiten, 112 Bilder. 1992. Kartoniert.

Band 32

Brigitte Bärnreuther

**Ein Beitrag zur Bewertung des Kommunikationsverhaltens von Automatisierungsgeräten in flexiblen Produktionszellen**

XI + 179 Seiten, 71 Bilder. 1992. Kartoniert.

Band 33

Joachim Hutfless

**Laserstrahlregelung und Optikdiagnostik in der Strahlführung einer CO<sub>2</sub>-Hochleistungslaseranlage**

175 Seiten, 70 Bilder, 17 Tabellen. 1993. Kartoniert.

Band 34

Uwe Günzel

**Entwicklung und Einsatz eines Simulationsverfahrens für operative und strategische Probleme der Produktionsplanung und -steuerung**

XIV + 170 Seiten, 66 Bilder, 5 Tabellen. 1993. Kartoniert.

Band 35  
Bertram Ehmann  
**Operatives Fertigungscontrolling durch Optimierung auftragsbezogener  
Bearbeitungsabläufe in der Elektronikfertigung**  
XV + 167 Seiten, 114 Bilder. 1993. Kartoniert.

Band 36  
Harald Kolléra  
**Entwicklung eines benutzerorientierten Werkstattprogrammiersystems  
für das Laserstrahlschneiden**  
129 Seiten, 66 Bilder, 1 Tabelle. 1993. Kartoniert.

Band 37  
Stephanie Abels  
**Modellierung und Optimierung von Montageanlagen  
in einem integrierten Simulationssystem**  
188 Seiten, 88 Bilder. 1993. Kartoniert.

Band 38  
Robert Schmidt-Hebbel  
**Laserstrahlbohren durchflußbestimmender  
Durchgangslöcher**  
145 Seiten, 63 Bilder, 11 Tabellen. 1993. Kartoniert.

Band 39  
Norbert Lutz  
**Oberflächenfeinbearbeitung keramischer Werkstoffe mit  
XeCl-Excimerlaserstrahlung**  
187 Seiten, 98 Bilder, 29 Tabellen. 1994. Kartoniert.

Band 40  
Konrad Grampp  
**Rechnerunterstützung bei Test und Schulung an  
Steuerungssoftware von SMD-Bestücklinien**  
178 Seiten, 88 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 41  
Martin Koch  
**Wissensbasierte Unterstützung der Angebotsbearbeitung  
in der Investitionsgüterindustrie**  
169 Seiten, 68 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 42  
Armin Gropp  
**Anlagen- und Prozeßdiagnostik beim Schneiden mit einem  
gepulsten Nd:YAG-Laser**  
160 Seiten, 88 Bilder, 7 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 43  
Werner Heckel  
**Optische 3D-Konturerfassung und on-line Biegewinkelmessung  
mit dem Lichtschnittverfahren**  
149 Seiten, 43 Bilder, 11 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 44  
Armin Rothhaupt  
**Modulares Planungssystem zur Optimierung  
der Elektronikfertigung**  
180 Seiten, 101 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 45  
Bernd Zöllner  
**Adaptive Diagnose in der Elektronikproduktion**  
195 Seiten, 74 Bilder, 3 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 46  
Bodo Vormann  
**Beitrag zur automatisierten Handhabungsplanung  
komplexer Blechbiegeteile**  
126 Seiten, 89 Bilder, 3 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 47

Peter Schnepf

**Zielkostenorientierte Montageplanung**

144 Seiten, 75 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 48

Rainer Klotzbücher

**Konzept zur rechnerintegrierten Materialversorgung  
in flexiblen Fertigungssystemen**

156 Seiten, 62 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 49

Wolfgang Greska

**Wissensbasierte Analyse und Klassifizierung von Blechteilen**

144 Seiten, 96 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 50

Jörg Franke

**Integrierte Entwicklung neuer Produkt- und Produktionstechnologien  
für räumliche spritzgegossene Schaltungsträger (3-D MID)**

196 Seiten, 86 Bilder, 4 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 51

Franz-Josef Zeller

**Sensorplanung und schnelle Sensorregelung für Industrieroboter**

190 Seiten, 102 Bilder, 9 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 52

Michael Solvie

**Zeitbehandlung und Multimedia-Unterstützung in Feldkommunikationssystemen**

200 Seiten, 87 Bilder, 35 Tabellen. 1996. Kartoniert.

Band 53

Robert Hopperdietzel

**Reengineering in der Elektro- und Elektronikindustrie**

180 Seiten, 109 Bilder, 1 Tabelle. 1996. Kartoniert.

Band 54

Thomas Rebhahn

**Beitrag zur Mikromaterialbearbeitung mit Excimerlasern –  
Systemkomponenten und Verfahrensoptimierungen**

148 Seiten, 61 Bilder, 10 Tabellen. 1996. Kartoniert.

Band 55

Henning Hanebuth

**Laserstrahlhartlöten mit Zweistrahltechnik**

157 Seiten, 58 Bilder, 11 Tabellen. 1996. Kartoniert.

Band 56

Uwe Schönherr

**Steuerung und Sensordatenintegration für flexible Fertigungszellen  
mit kooperierenden Robotern**

188 Seiten, 116 Bilder, 3 Tabellen. 1996. Kartoniert.

Band 57

Stefan Holzer

**Berührungslose Formgebung mit Laserstrahlung**

162 Seiten, 69 Bilder, 11 Tabellen. 1996. Kartoniert.

Band 58

Markus Schulz

**Fertigungsqualität beim 3D-Laserstrahlschneiden von Blechformteilen**

165 Seiten, 88 Bilder, 9 Tabellen. 1996. Kartoniert.

Band 59

Thomas Krebs

**Integration elektromechanischer CA-Anwendungen über einem STEP-Produktmodell**

198 Seiten, 58 Bilder, 8 Tabellen. 1996. Kartoniert.

Band 60  
Jürgen Sturm  
**Prozeßintegrierte Qualitätssicherung  
in der Elektronikproduktion**  
167 Seiten, 112 Bilder, 5 Tabellen. 1997. Kartoniert.

Band 61  
Andreas Brand  
**Prozesse und Systeme zur Bestückung räumlicher  
elektronischer Baugruppen (3D-MID)**  
182 Seiten, 100 Bilder. 1997. Kartoniert

Band 62  
Michael Kauf  
**Regelung der Laserstrahlleistung und der Fokusparameter einer  
CO<sub>2</sub>-Hochleistungslaseranlage**  
140 Seiten, 70 Bilder, 5 Tabellen. 1997. Kartoniert

Band 63  
Peter Steinwasser  
**Modulares Informationsmanagement in der integrierten  
Produkt- und Prozeßplanung**  
190 Seiten, 87 Bilder. 1997. Kartoniert.

Band 64  
Georg Liedl  
**Integriertes Automatisierungskonzept für den flexiblen Materialfluß  
in der Elektronikproduktion**  
196 Seiten, 96 Bilder, 3 Tabellen. 1997. Kartoniert.