

Stefan Slama

*Effizienzsteigerung in der Montage  
durch marktorientierte Montage-  
strukturen und erweiterte  
Mitarbeiterkompetenz*





Stefan Slama

*Effizienzsteigerung in der Montage  
durch marktorientierte Montage-  
strukturen und erweiterte  
Mitarbeiterkompetenz*

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:	26. Januar 2004
Tag der Promotion:	13. Mai 2004
Dekan:	Prof. Dr. rer. nat. A. Winnacker
Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann
	Prof. Dr.-Ing. G. Seliger, TU Berlin

### **Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der  
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten  
sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

ISBN 3-87525-204-7  
ISSN 1431-6226

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 2004  
Herstellung: Gruner Druck GmbH, Erlangen-Eltersdorf  
Printed in Germany

## Vorwort und Danksagung

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Klaus Feldmann, dem Leiter dieses Lehrstuhls am Institut für Maschinenbau und Fertigungstechnik, danke ich herzlich für die engagierte Förderung bei der Durchführung meiner Arbeit, die konstruktiven Anregungen und besonders für den wissenschaftlichen Freiraum, den er mir zuteil werden lies. Herrn Prof. Dr.-Ing. Günther Seliger, dem Leiter des Fachgebiets Montagetechnik und Fabrikbetrieb der Technischen Universität Berlin, danke ich für die wohlwollende Übernahme des Korreferats.

Diese Arbeit beruht auf der Bearbeitung von verschiedenen Kooperationsprojekten im Umfeld der Montagetechnik, die durch die bayerische Forschungsförderung, das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) sowie viele Industriepartner unterstützt wurde. Allen beteiligten Projektpartnern möchte ich an dieser Stelle meinen herzlichen Dank für die Diskussionsbereitschaft und Unterstützung aussprechen.

Meinen Kolleginnen und Kollegen, insbesondere den Mitgliedern der Gruppe Handhabungs- und Montagetechnik sei an dieser Stelle für die fachlichen Diskussionen und die hervorragende Zusammenarbeit bei der erfolgreichen Bearbeitung verschiedener Forschungs- und Industrieprojekte während der gemeinsamen Lehrstuhlzeit gedankt. Namentlich hervorheben möchte ich Frau Dipl.-Ing. Katrin Melzer, Herrn Dipl.-Ing. Stefan Junker, Herrn Dipl.-Ing. Stefan Lang, Herrn Dipl.-Ing. Matthias Weber, Herrn Dipl.-Ing. Ulrich Wenger, Herrn Dipl.-Ing. Wolfgang Wolf, Herrn Dr.-Ing. Andreas Licha, Herrn Dr.-Ing. Jürgen Göhringer, Herrn Dr.-Ing. Otto Meedt, Herrn Prof. Dr.-Ing. Michael Steber und Herrn Dipl.-Ing. Stefan Krug. Mein Dank gilt ferner den Studenten, die mich bei meinen Forschungsarbeiten unterstützt haben. Ausdrücklich möchte ich mich an dieser Stelle bei Frau Dipl.-Ing. Sandra Rocholl, Frau Dipl.-Ing. Andrea Brade, Herrn Dipl.-Ing. Stefan Bauer, Herrn Dipl.-Ing. Christian Beyer, Herrn Dipl.-Ing. Friedrich Dürst, Herrn Andreas Götzer, Herrn Gerald Meckl und Herrn Felix Mühlbauer bedanken, die durch ihr außergewöhnliches Engagement zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

Meinen Eltern und meiner Schwester danke ich von ganzem Herzen für ihren ständigen Beistand und dafür, dass sie mir ermöglicht haben, diesen Weg zu gehen. Weiterhin danke ich aufrichtig meinen Schwiegereltern für ihre Unterstützung.

Nicht genug kann ich meiner lieben Frau Stefanie danken, dass sie all die Jahre Verständnis und immerwährende Geduld während des Promotionsvorhabens sowie für die Entstehung der Arbeit aufgebracht hat. Sie hat mich in bewundernswerter Weise bei meinen väterlichen Pflichten für unseren Sohn Jan-Niklas entlastet und hat auch sonst alle privaten Belastungen während der Erstellung dieser Arbeit liebevoll mitgetragen. Meinen Sonnenschein Janni bitte ich um Verständnis, dass sein Vater in seinen ersten Lebensjahren oft mehr Zeit vor dem Rechner als mit ihm verbringen musste. Ohne die Liebe, Geduld, Lebensfreude und Zuversicht meiner Familie hätte ich es nie geschafft. Ihnen widme ich diese Arbeit.

Altdorf b. Nürnberg, im Mai 2004

Stefan Slama



*Perfektion ist Zeitlupe,  
Phantasie ist Lichtgeschwindigkeit!*

IHEGAL FI



# **Effizienzsteigerung in der Montage durch marktorientierte Montagestrukturen und erweiterte Mitarbeiterkompetenz**

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Entwicklung der Produktion und Trends in der Montage .....</b>	<b>5</b>
2.1	Allgemeine Trends in der Montagetechnik.....	5
2.2	Marktorientierte Montagestrukturen zur Gestaltung und Bewertung der Montage im Unternehmensprozess .....	8
2.3	KMU-Betriebe – Herausforderungen und Potenziale zur Optimierung der Montage.....	10
2.4	Ganzheitliche Effizienzsteigerung durch Mitarbeiterorientierung .....	13
2.5	Anforderungen an die Effizienzsteigerung in kleinen und mittleren Unternehmen .....	15
<b>3</b>	<b>Rechnergestützter Leitfaden zur Planung von Systemalternativen für die wandlungsfähige Montage in kleinen und mittleren Unternehmen .....</b>	<b>17</b>
3.1	Zielsetzung bei der Entwicklung einer rechnergestützten Systemalternativenplanung für KMU .....	17
3.2	Einführung in die Grundlagen der Montageplanung .....	19
3.3	Motivation für Softwaresysteme in der Montageplanung .....	21
3.3.1	Rechnerunterstützung in der Montageplanung.....	21
3.3.2	Bedeutung der Grobplanungsphase für den Entwicklungsprozess .....	22
3.3.3	Anforderungen an den Rechnereinsatz in der Grobplanungsphase von Montagesystemen .....	23
3.4	Anforderungen von KMU an die Montageplanung .....	25
3.5	Überblick über verschiedene Planungswerkzeuge und deren Bewertung unter dem Aspekt der KMU- und Mitarbeiterorientierung.....	28
3.5.1	Kommerzielle Ansätze zur Auslegung von Montagesystemen .....	28
3.5.2	Forschungsansätze als Planungsmethoden.....	31
3.5.3	Ausrichtung und Anpassung der Planungswerkzeuge auf KMU- und Mitarbeiterorientierung.....	44
3.5.4	Gegenüberstellung und Bewertung der bestehenden Planungsansätze..	46

3.6 Realisierung eines Softwaresystems für KMU zur Auslegung agiler, mitarbeiterorientierter Montagesysteme.....	49
3.6.1 Festlegung der grundsätzlichen Planungsziele .....	50
3.6.2 Beschreibung der Planungsaufgabe.....	54
3.6.3 Layout und Stationsplanung .....	57
3.6.4 Bewertung und Auswahl von Systemalternativen.....	61
3.6.5 Umsetzungsbeispiel eines Planungsvorgangs .....	67
3.7 Zusammenfassung .....	73
<b>4 Innovative Konzepte für agile, mitarbeiterorientierte Montagesysteme .....</b>	<b>75</b>
4.1 Aufgaben und Möglichkeiten der flexiblen Montage.....	76
4.1.1 Prinzipielle Gestaltung von Montagesystemen .....	76
4.1.2 Defizite konventioneller Systemstrukturen im dynamischen Umfeld.....	77
4.1.3 Anforderungen und Einsatzbereiche für flexible Montagesysteme .....	79
4.1.4 Modulare, hybride Montagesysteme als Möglichkeit für eine angepasste Automatisierung bei flexiblem Mitarbeiterinsatz .....	83
4.2 Wirtschaftliche Betrachtungen für die Auslegung und den Betrieb hybrider, modularer Montagesysteme.....	87
4.3 Klassifizierung und Bewertung modularer Montagesysteme.....	92
4.3.1 Spezifischer Vergleich modularer Montagesysteme .....	92
4.3.2 Analyseergebnisse und Folgerungen aus den durchgeführten Marktstudien .....	96
4.4 Entwicklung eines Stufenkonzeptes für agile, marktgerechte Montagesysteme.....	99
4.4.1 Wege der Kapazitätsanpassung .....	99
4.4.2 Stufenkonzept für die stückzahlflexible Montage .....	100
4.5 Konzeption und Auslegung stückzahlflexibler Montagesysteme für turbulente Märkte .....	104
4.5.1 Auslegung und Planung eines stufenweise ausbaubaren Montagesystems mit hoher Kapazität.....	105
4.5.2 Auslegung und Planung eines stufenweise ausbaubaren Montagesystems für schwankende Nachfragen und unsichere Absatzprognosen ...	110
4.6 Technische Umsetzung des modularen, mitarbeiterorientierten MAMOS-Montagesystems.....	117
4.6.1 Modularer Aufbau und Komponenten .....	118
4.6.2 Beschreibung des Steuerungskonzeptes und der Informationsverarbeitung.....	124
4.6.3 Umsetzungsstrategien und Erfolgsmessung .....	127

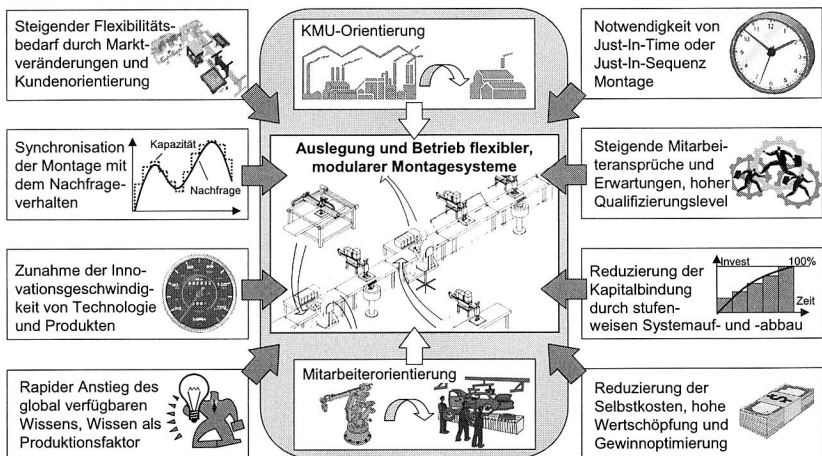


4.7 Zusammenfassung .....	128
<b>5 Multimediale Mitarbeiterinformationssysteme zur Effizienzsteigerung in der Montage .....</b>	<b>130</b>
5.1 Motivation für den Einsatz multimedialer Informationssysteme .....	130
5.1.1 Grundlegender Bedarf an umfassender Informationsbereitstellung .....	130
5.1.2 Notwendigkeit für Informationssysteme aus Sicht der Montage .....	132
5.2 Anforderungen an Mitarbeiterinformationssysteme in der variantenreichen Montage.....	134
5.3 Erstellung und Evaluierung eines Pflichtenhefts für die effiziente Unterstützung der Mitarbeiter .....	135
5.3.1 Aufstellen des Anforderungsprofils .....	135
5.3.2 Evaluierung des erstellten Pflichtenheftes.....	140
5.4 Stand der Technik im Bereich multimedialer Unterstützung am Arbeitsplatz und Defizite bisheriger Systeme .....	143
5.4.1 Forschungsansätze .....	143
5.4.2 Kommerzielle Systeme.....	150
5.4.3 Gegenüberstellung und Bewertung bestehender Systeme .....	156
5.5 Systemstruktur und Funktionsmerkmale von IM@GE+ .....	158
5.5.1 Funktionsmerkmale und Systemstruktur .....	158
5.5.2 Aufbau und Leistungsbeschreibung .....	162
5.6 Nutzenpotenziale und Risikoreduzierung durch den Einsatz von IM@GE+ bei der Unterstützung der Montagemitarbeiter.....	165
5.6.1 Entstehende Kosten und notwendige Investitionen für IM@GE+ .....	165
5.6.2 Kosteneinsparungspotenziale und Amortisationszeit .....	167
5.7 Zusammenfassung .....	169
<b>6 Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>170</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>175</b>



# 1 Einleitung

Der sich in den letzten Jahrzehnten vollziehende Wandel vom klassischen Anbietermarkt hin zu einem modernen Käufermarkt zwingt viele Unternehmen dazu, ihre Produktion an die steigenden Komplexitätsanforderungen aus der Unternehmensumwelt anzupassen [172]. Wo früher noch ein Mindestmaß an Stabilität und Kontinuität herrschte, sind heute Dynamik und Diskontinuität an der Tagesordnung. Aufgrund immer kürzerer Innovationszyklen, zunehmender Produktvarianz und Produktkomplexität bei gleichzeitig oft schwer prognostizierbaren Produkt-, Technologie- und Marktveränderungen ergibt sich ein Spannungsfeld zwischen Fertigungskapazität und tatsächlichem Marktkonsum (s. Bild 1). Eine Umkehr dieses Trends ist gegenwärtig nicht in Sicht [35]. Nach einer international vergleichenden Montagestudie [18] gehen weit mehr als die Hälfte der Unternehmen sogar von einer weiter steigenden Produktvarianz und -komplexität aus. Hinzu kommen neue informationstechnische und logistische Anforderungen durch die globale Positionierung vieler Unternehmen und deren Einbindung in internationale Produktionsnetzwerke. Um unter diesen Prämissen auf den ständigen Konjunkturschwankungen unterworfenen Märkten wirtschaftlich erfolgreich bestehen zu können, ist eine kundenorientierte Produktion das Ziel moderner Unternehmen [124].



**Bild 1:** Wechselnde Anforderungen des Marktes an die Produktion von morgen

Die Montage als abschließende Stufe des Produktionsprozesses bietet hierbei weiterhin große Rationalisierungsreserven. In ihr wird technologisch die Gesamtfunktion des Produktsystems realisiert. Weiterhin ist die Montage aus logistischer Sicht oftmals einer der Termin bestimmenden Schritte zum Kunden und hat deshalb einen ganz besonderen Stellenwert für Markterfolg und Produktivität eines Unternehmens [33].

Dieser Herausforderung können die Unternehmen nicht mehr nur mit einer Strategie der Automatisierung begegnen [37]. Diese führt nämlich zu erheblichen Fixkostenproblemen und weiteren, bisher nicht betrachteten Umstell- und Umbaukosten bei neuen Varianten, Verkettungs- und Stillstandsverlusten sowie zu zusätzlichem Instandhal-

tungsaufwand [179]. Die wesentliche Ursache für die Unzufriedenheit mit der Automatisierung liegt in der mangelnden Flexibilität der Anlagen gegenüber sich wandelnden Marktverhältnissen, da sinkende Seriengrößen mit solchen Systemen nicht mehr wirtschaftlich bewältigt werden können [89]. Auch die Bestrebungen, lohnintensive Produktionen ins Ausland zu verlagern, erweisen sich für viele Firmen als ungeeignete Strategie [145] und die Verlagerungsaktivitäten scheinen sich langsam abzuschwächen [134]. Trotz aller Automatisierungserfolge ist somit der motivierte Mitarbeiter mit seiner hohen Flexibilität und schnellen Reaktionsfähigkeit noch immer eine wesentliche Alternative bei der Systemgestaltung. Der positive Einfluss qualifizierter Mitarbeiter bleibt folglich entlang der gesamten Wertschöpfungskette von zentraler Bedeutung [42].

Bei der personenorientierten Montage sind durch konsequente Umsetzung arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse und durch hybride Systeme leistungsfähige Konzepte selbst bei relativ hohen Arbeitskosten möglich. Auf jeden Fall bleibt der besondere Vorteil der ausgeprägten Mengenflexibilität bei personell orientierten Montagestrukturen. Dies ist nach wie vor ein entscheidender Produktionsfaktor, um den Standort Deutschland zu sichern und agil auf die turbulenten Produktionsbedingungen reagieren zu können sowie ökonomisch sinnvoll und mit geringer Kapitalbindung die Produktion in Absatznähe zu ermöglichen.

Der wirtschaftliche Erfolg ist somit einerseits vom intelligenten Einsatz der qualifizierten Mitarbeiter abhängig, andererseits müssen Unternehmen bei zukunftsorientierten Rationalisierungsvorhaben flexible Betriebsmittel einsetzen. Dies trifft vor allem im Bereich der Montage zu, da hier meist produktspezifische Sonderlösungen in der Anlagenkonzeption vorherrschen.

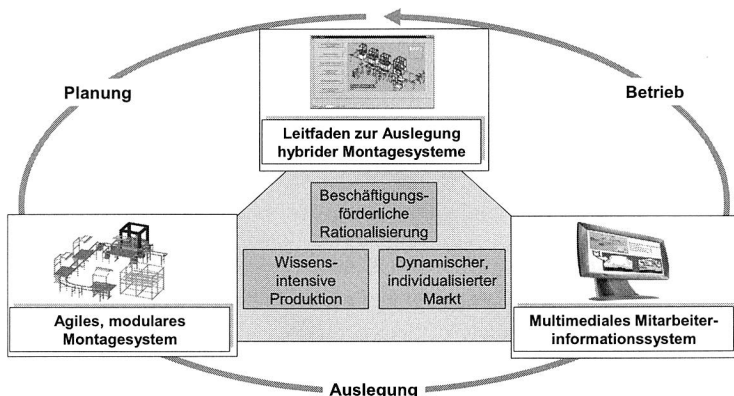
Die Anstrengungen, eine stark schwankende Produktmenge und -vielfalt zu bewältigen und gleichzeitig markt- und termingerecht zu produzieren, sind besonders in kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) enorm [131]. Obwohl KMU eher national oder regional operieren, werden sie von den Auswirkungen, Chancen und Risiken der Globalisierung unmittelbar beeinflusst, zumal sie in zunehmendem Maße die Funktion von Zulieferern für global tätige Großunternehmen übernehmen.

KMU bestimmen in Deutschland entscheidend die wirtschaftliche Struktur. Sie leisten einen großen Beitrag zu wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Stabilität und bilden ein starkes Gegengewicht zu den multinationalen Konzernen mit ihren globalen wirtschaftlichen Verflechtungen und Einflüssen. Der Mittelstand kann also zu Recht als wesentliche Säule unserer Wirtschaft bezeichnet werden [110, 122]. Deshalb werden die Schwerpunkte dieser Arbeit auch immer im Fokus des Bedarfs und der Anwendbarkeit bei KMU betrachtet um eine Problemlösung und Adaption an deren Bedürfnisse herbeiführen zu können.

Zur optimalen Gestaltung und Nutzung der Montage ist folglich einerseits eine einfache, schnelle Planung sowie eine zielgerichtete und marktorientierte Auslegung der benötigten Montagestrukturen unerlässlich. Andererseits verlangt der steigende Flexibilitätsbedarf beim Betrieb der Montagesysteme eine schnelle Anpassung an die geänderten Randbedingungen, was nur durch eine - bisher in dieser Form noch nicht am Markt verfügbare - modulare Gestaltung der Montagesysteme ermöglicht werden kann. Weiterhin wird durch die hohe Varianz bei gleichzeitig sinkenden Losgrößen der Drang nach einer

wissensintensiven Produktion und einer adäquaten Vermittlung des Montage-Know-hows immer stärker. Bei der Unterstützung der Mitarbeiter durch geeignete multimediale Informationssysteme bestehen derzeit allerdings noch Defizite, wodurch die Mitarbeiterkompetenz und deren Selbstorganisation noch nicht ausreichend gefördert werden.

Infolge der genannten Anforderungen – Globalisierung, Absatzdynamik, Systemkomplexität und Wettbewerbsdifferenzierung – und ausgehend von den Erkenntnissen der vorhandenen Rationalisierungspotenziale in der Montage und der sinnvollen KMU- und Mitarbeiterorientierung wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit eine integrative Verknüpfung dreier Schwerpunkte zum Zweck der Effizienzsteigerung in der Montage durch eine zielgerichtete Auslegung marktorientierter Montagestrukturen, wandlungsfähiger Produktionssysteme und erweiterter Mitarbeiterkompetenzen vorgenommen (s. Bild 2). Effizienz bezeichnet in diesem Zusammenhang die Entscheidung für die sinnvollste Alternative aus Nutzen- und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen, unter Berücksichtigung aller betrieblichen und marktinduzierten Belange.



*Bild 2: Ganzheitlicher Ansatz zur Effizienzsteigerung in der Montage in KMU*

### Aufbau der Arbeit

Den ersten Schwerpunkt dieser Arbeit bildet die Analyse, Gegenüberstellung und Bewertung aktueller Verfahren und Methoden zur Montageplanung. Diese werden im Hinblick auf Handhabbarkeit, Anwendung und Nutzen für kleine- und mittelständische Betriebe beurteilt. Darauf aufbauend wird die Entwicklung eines erweiterten, rechnergestützten Leitfadens für die Planung von Systemalternativen agiler Montagestrukturen beschrieben. Der Fokus liegt hier auf der mitarbeiterorientierten bzw. hybriden Montage.

Motiviert wird die Erarbeitung des rechnergestützten Planungsvorgangs vor allem durch die immer wiederkehrende Problematik der organisatorischen Beherrschung der Montageplanung bei KMU sowie der oftmals mangelnden Kapazität oder Kompetenz. Die Vielzahl an bereits existenten Methoden und Werkzeugen für die Montageplanung schafft hier häufig auch keine Abhilfe, da sich diese für KMU meist als nicht wirtschaftlich sinnvoll oder nicht an deren spezifischen Belange adaptierbar erweisen.

Neben der Montageplanung sind innovative Lösungen auch für agile, stückzahlflexible Montagesysteme hybrider Struktur notwendig, um unabdingbaren Absatzveränderungen mit hinreichender Wirtschaftlichkeit nachzukommen zu können. Vor allem für KMU ist eine den Nachfrageschwankungen anpassbare Montage wichtig. Um eine zügige Markteinführung mit geringen Investitionen zu realisieren, muss eine schnelle und einfache Adaption vorhandener Montageeinrichtungen an neue Produkte mit steigender Varianz gewährleistet sein.

In Zusammenhang damit ergibt sich der zweite Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit. Ziel ist die Konzeption und Auslegung eines modularen, mitarbeiterorientierten Montagesystems unter Berücksichtigung unterschiedlicher Anforderungen hinsichtlich des Ausmaßes an integrierter Technologie. Der hohe Anpassungsgrad in der Anordnung und Gestaltung der einzelnen Montagestationen sowie die damit erreichbare Agilität und Wandlungsfähigkeit zeigen sich insbesondere im stufenweisen Ausbau des Montagesystems sowie der hohen Investitions- und Kapazitätsflexibilität. Die ausgiebige Nutzung der Mitarbeiterfähigkeiten zur flexiblen Handhabung unterschiedlicher Problemstellungen innerhalb von Montageabläufen ergänzt die hochflexible Systemstruktur.

Schließlich rundet der dritte Schwerpunkt, ein multimediales Informationssystem zur Unterstützung des Mitarbeiters bei häufig wechselnden Arbeitsinhalten und ungeübten Tätigkeiten, diese Arbeit ab. Gerade bei KMU wird die Massenfertigung zunehmend durch eine variantengeprägte Produktion verdrängt. Die intelligente Einbindung der Mitarbeiter ist deshalb zwingend erforderlich. Um die Montagemitarbeiter bis hin zur Losgröße-1-Fertigung optimal zu unterstützen, müssen ständig die benötigten Informationen aktuell, rechtzeitig und richtig am Arbeitsplatz bereitgestellt werden. Durch die hierzu anzustrebende IT-Anbindung der Arbeitsplätze kann eine Steigerung der Mitarbeiterkompetenz sowie deren Selbstorganisation verwirklicht werden.

Speziell bei der kundenindividuellen Montage und der damit verbundenen raschen Änderung der Arbeitsinhalte ergibt sich aufgrund des stark schwankenden Produktspektrums und der zeitlich oft unterbrochenen Abfolge der Fertigung sehr häufig ein Informationsverlust durch Mitarbeiterwechsel oder Varianten-, Produkt- und Produktgenerationswechsel. Um den Lerneffekt und die Einübung der für die Qualität der Produkte notwendigen Parameter und Tätigkeiten zu beschleunigen, kann dieses Informationsdefizit mit einem Mitarbeiterinformationssystem überbrückt werden. Durch die visuelle Unterstützung werden dem Mitarbeiter alle notwendigen Informationen wie Montagereihenfolge, Art und Anzahl der Bauteile, technische und qualitätsrelevante Randbedingungen und Spezifikationen in ansprechender und einfach aufzunehmender Weise dargestellt. Die Nachteile einer papiergebundenen Informationsbereitstellung – z.B. hohe Erst- und Verteilzeiten sowie die daraus entstehenden Kosten, nicht aktueller Informationsstand und damit mögliche Qualitätseinbußen – werden folglich eliminiert.

## **2 Entwicklung der Produktion und Trends in der Montage**

Zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit ist die Ausrichtung der Produktion auf wechselnde Kundenwünsche zwingend erforderlich. Diese Marktorientierung führt jedoch zu einer steigenden Variantenzahl und somit zu einem erhöhten Aufwand speziell in der Montage. Im Spannungsfeld aus Markterfolg und Produktivität liegen deshalb noch weitreichende Rationalisierungsreserven, die es zu erkennen und umzusetzen gilt. Zur Verdeutlichung dieser Notwendigkeit werden im Folgenden zunächst allgemeine Trends in der Produktion bzw. Montage aufgezeigt sowie der Bedarf einer strategischen Übereinstimmung von Unternehmens- und Montagestrategie verdeutlicht. Weiterhin werden die Herausforderungen und Potenziale für KMU im heutigen Wettbewerb, der vorhandene Nutzen einer gezielten Mitarbeiterorientierung und die daraus resultierenden Anforderungen an KMU erläutert.

### **2.1 Allgemeine Trends in der Montagetechnik**

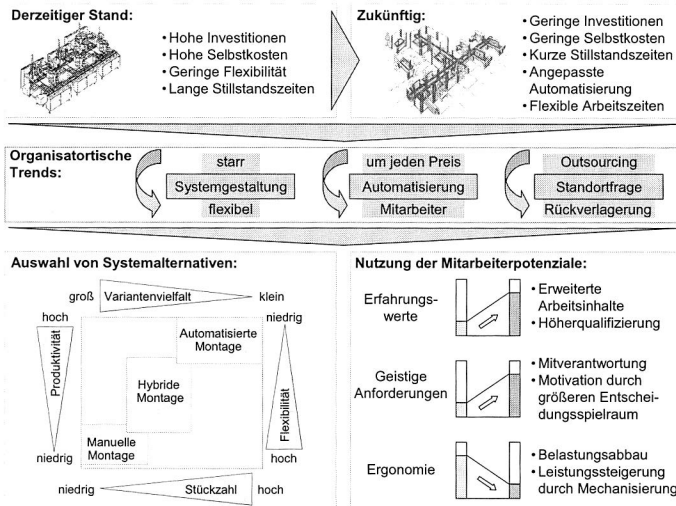
Nachdem die Produktion in der Vergangenheit oftmals an isolierten Kriterien, z.B. Rüstzeitoptimierung oder Kapazitätsauslastung, gemessen wurde, bestimmen heute marktspezifische Anforderungen wie Durchlaufzeit und Termintreue die Produktion. Kundenorientierung bedeutet dabei jedoch nicht das zwanghafte Erfüllen aller Wünsche, sondern die Bereitstellung der tatsächlich erforderlichen Flexibilität. Das Ziel darf allerdings nicht sein, zugunsten einer wirtschaftlichen Montage die Variantenvielzahl zu reduzieren und die Produktion auf Standardprodukte zu beschränken. Bei einer großen Vielfalt bleibt dennoch zu entscheiden, ob eine Reduktion vertretbar ist. Schließlich verursacht die zunehmende Variantenvielfalt einen überproportionalen Anstieg des Aufwands in den indirekt operativen und dispositiven Produktionsbereichen. Etwa 70% der variantenabhängigen Kosten sind Gemeinkosten, welche nicht verursachungsgerecht zugeordnet werden können [1].

Bei einem umfassenden Produktionsspektrum ist als Ausgangspunkt oft die manuelle Montage sinnvoll. Aus dem manuellen Konzept kann durch Wahl des Automatisierungsgrades das richtige Verhältnis von Mitarbeiterinsatz und Automatisierung bestimmt und das System flexibel gestaltet werden [43]. Dabei liegt es in der Verantwortung des Planers dafür zu sorgen, dass der Mitarbeiter nicht zum „Notbehelf“ wird und als Anhängsel die Automatisierung überwacht, sondern sein Potenzial optimal genutzt wird und die Montage auf seinen integrativen Fähigkeiten beruht [97].

Häufig wird bei der Auslegung der Montagesysteme lediglich der ermittelte Arbeitsinhalt mit der maximal geplanten Stückzahl multipliziert und durch das Zeitangebot je Arbeitsstation dividiert. Das Ergebnis ist die minimale Anzahl an benötigten und durchgehend benutzten Standardarbeitsstationen. Dadurch kommt es zu relativ großen Arbeitsinhalten und folglich zu hohen ablaufbedingten Wartezeiten [49]. Nachteile dieser streng arbeitsteiligen, an den taylorischen Strategien angelehnten Montagegestaltung, sind z.B. lange Entwicklungs- und Planungszeiten, Anlaufprobleme in der Produktion, lange Durchlaufzeiten sowie ein träges Reagieren auf Marktentwicklungen.

Steigende Anforderungen an die Montagetechnik durch die Miniaturisierung, Funktionserweiterung und zunehmende Integration elektronischer Komponenten können nur

durch die Entwicklung neuer technischer Montagekonzepte bewältigt werden. Dies wird im Wesentlichen durch den Einsatz standardisierter, modularer Montagetechnik, die Integration effektiver, ganzheitlicher Qualitätssicherungsstrategien und das homogene Zusammenwirken sowohl automatisierter als auch manueller Montagestrukturen in hybriden Arbeitsprozessen ermöglicht (s. Bild 3).



**Bild 3: Trends und Anforderungen an die Produktion bzw. die Montage**

Um maximale Synergieeffekte zu erzielen, muss simultan zur Produktplanung die Auslegung, Planung und Optimierung der Montagesysteme und -prozesse erfolgen. Dies erfordert Methoden und Werkzeuge zur Bewertung und Verifizierung möglicher Systemalternativen bereits in sehr frühzeitigen Phasen des Planungsablaufs. Voraussetzung ist dabei der Einsatz effizienter und handhabbarer Planungswerkzeuge.

Die übergreifende Zielsetzung aller aktuellen Rationalisierungsmaßnahmen ist die flexible Montage bei einem vom Kunden vorausgesetzten hohen Qualitätsstandard und minimalen Produktionskosten. Bisher realisierte Montageanlagen haben gezeigt, dass gleichermaßen hochautomatisierte und flexible Montagesysteme wirtschaftlich möglich sind. Es sind aber auch vielfach Inellösungen entstanden, bei denen die Investitionen noch nicht durch die Vorteile entsprechender Datendurchgängigkeiten begleitet werden.

Aufgrund der relativ starren Arbeitszeitregelungen wird der Schwerpunkt heutiger Entwicklungen auf automatisierte Montagesysteme mit kurzen Taktzeiten gelegt. Die damit verbundenen Nachteile – hohe Investitionskosten und geringe Flexibilität – können durch beweglichere Arbeitszeiten und eine entsprechend angepasste Automatisierung mit integrierten Handarbeitsplätzen kompensiert werden. Bei gleichem Ausstoß und längeren Nutzungsdauern sind daher geringere Investitionen bei höherer Flexibilität erreichbar. Angepasste Automatisierungskonzepte können somit trotz gegenläufiger Personalkosten in der Summe geringere Selbstkosten erzielen.



Der Aufbau eines Montagesystems aus modularen Komponenten ist eine weitere Möglichkeit, den Forderungen nach erhöhter Flexibilität gerecht zu werden [109]. Grundlage für eine flexible Anpassung der Anlage ist die durchgängige Standardisierung der mechanischen, elektrischen und informationstechnischen Schnittstellen sowie die Einhaltung eines einheitlichen Rastermaßes [60, 79]. Der Modularisierungsgedanke an sich, ist jedoch nicht neu und seit geraumer Zeit im Anlagenbau zu beobachten. Firmen wie Bosch hatten schon in den 70er Jahren Materialflusskomponenten auf dem Markt, welche eine individuelle Anpassung der Konfiguration an die Kundenbelange ermöglichten. Allerdings geschah dies, wie auch heute noch oftmals üblich, durch eine Vielzahl an Profilsystemen, Verbindungs- und Gestaltungselementen. Durch den damit verbundenen hohen Demontageaufwand sowie den kostenintensiven Anpassarbeiten ist der erwünschte hohe Flexibilitäts- oder Wiederverwendungsgrad faktisch nicht realisiert. Solche Systeme erweisen sich daher weder technisch noch ökonomisch sinnvoll. Demnach ist es notwendig durch geeignete mechanische und steuerungstechnische Systemmodule, eine wirtschaftliche, durchgängige und stufenweise erweiterbare Auslegung des Montagesystems zu ermöglichen.

Deutschland hat im Bereich Robotik und Automation (R&A) mit Abstand die Spitzenposition in Europa inne. Mit jährlichen Neuinstallationen von 15.000 bis 20.000 Robotern stellt R&A sogar einen Wachstumssektor im sonst eher stagnierenden Maschinenbau-sektor dar. Trotzdem gibt es nunmehr empirisch fundierte Erkenntnisse, dass in vielen deutschen Firmen die Automatisierung bereits über das wirtschaftlich Sinnvolle hinaus betrieben wurde. Eine Studie des Fraunhofer Instituts für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI) [89] führte zu der Erkenntnis, dass die Rücknahme von Automatisierung kein Einzelfall ist. Betrachtet man diejenigen Betriebe der Investitionsgüterindustrie, die in hochautomatisierte Produktionsmittel investiert hatten, so haben inzwischen mehr als ein Drittel diese Einrichtungen wieder ganz oder teilweise deinstalliert oder planen dies. Diese Aussagen spiegeln die heute wieder steigende Bedeutung von Humanressourcen als Wettbewerbsfaktor wider [174].

In den 90er Jahren waren zudem umfangreiche Outsourcing-Aktivitäten zu beobachten. Arbeitsinhalte, welche im Hochlohnland Deutschland nicht automatisiert werden konnten, wurden flächendeckend in Regionen mit niedrigen Lohnkosten verlagert. Ein Blick auf die Gründe, warum in neuerer Zeit einige Unternehmen ihre Produktion und damit auch ihre Montagen wieder nach Deutschland zurückverlagern, gibt Aufschluss darüber, warum ein Markterfolg nicht ausschließlich über eine Lohnkostensenkung zu erzielen ist. Nichtberücksichtigte Transaktionskosten, eine geringere Termintreue, fehlende Lieferfähigkeit und Flexibilität, logistische Gefährdungen und vor allem die mangelnde Markt- und Kundennähe überdecken den unmittelbaren Lohnkostenvorteil der Produktionsverlagerung, wodurch andere und mindestens ebenso wichtige Wettbewerbsvorteile gefährdet werden [23]. Weiterhin bestehen sowohl Defizite in der optimalen Auslastung der Kapazitäten im Ausland als auch in der nachhaltigen Erfüllung der notwendigen Qualitätsanforderungen. Erhebliche Koordinationskosten zur Aufrechterhaltung einer effizienten, qualitativ hochwertigen Produktion sind die Folge (s. Bild 4). Schließlich kann eine eigenständige und kontinuierliche Verbesserung sowie die notwendige Wandlungsfähigkeit gegenüber den Marktbedingungen nur selten vom Ausland aus geleistet werden [76].

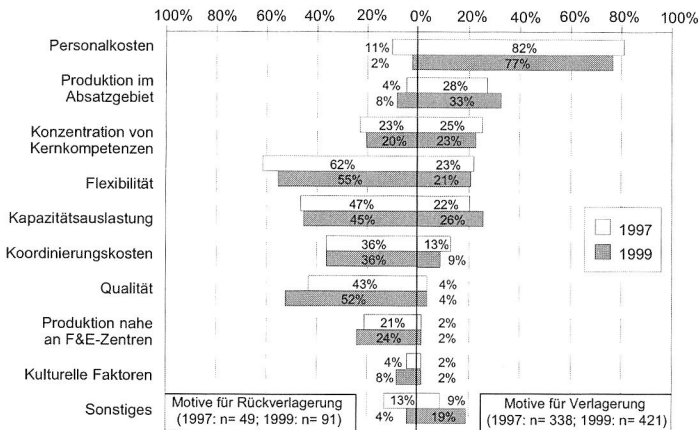


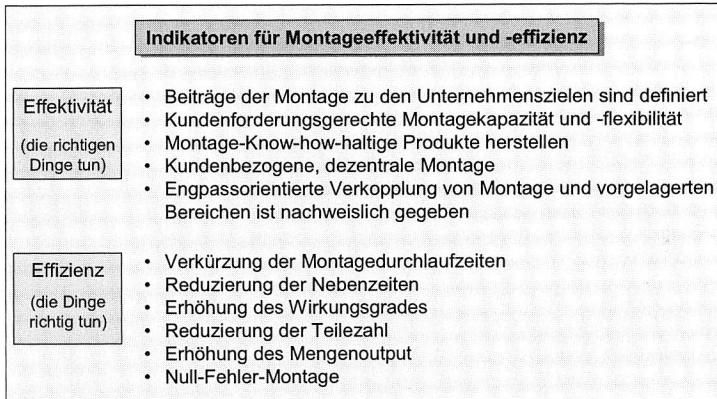
Bild 4: Motivationen für die Verlagerung bzw. Rückverlagerung der Produktion in Billiglohnländer [77]

## 2.2 Marktorientierte Montagestrukturen zur Gestaltung und Bewertung der Montage im Unternehmensprozess

Basierend auf den dargestellten Trends stellt sich die Frage nach der richtigen Planung, Auslegung und dem Betrieb zukunftsstabiler Montagesysteme. Es ist heute mehr denn je notwendig, in zunehmendem Maße innovative, Montage-Know-how intensive Produkte in wirtschaftlich beherrschten Wertschöpfungsketten gemäß den individuellen Kundenanforderungen herzustellen. Diese Marktinduzierung führt zu ganzheitlich gestalteten Montagestrukturen, die durch häufig wechselnde Betriebszustände gekennzeichnet sind aber auch wandlungs- und selbstlernfähig sein müssen.

Neben einer marktorientierten flexiblen Anpassungsfähigkeit der Montage ist es notwendig, eine unternehmensstrategische Ausrichtung der Montageprozesse und deren innerbetriebliche sowie betriebsübergreifende Einbettung als Kernkompetenz vorzunehmen [86, 164]. Eine alleinige Fokussierung auf operative Effizienzsteigerungen, wie sie bisher meist verfolgt wird, ist zwar notwendig, aber nicht hinreichend und greift damit zu kurz (s. Bild 5). Entscheidend ist vielmehr, welchen Rationalisierungspfad die Unternehmen einschlagen. Wählen diese einen Weg, der nicht nur auf Effizienzsteigerung („Die Dinge richtig tun“) setzt, sondern auch die Effektivitätssteigerung („Die richtigen Dinge tun“) berücksichtigt, können Rationalisierungsmaßnahmen die Grundlage für Beschäftigungszuwachs sein. Im Hinblick auf eine längerfristig wachstumsorientierte Unternehmensstrategie ist es von entscheidender Bedeutung, eine Identitätsbildung im Sinne von Einzigartigkeit voranzutreiben und entsprechende Alleinstellungsmerkmale herauszubilden (z.B. standortunabhängige Erfolgsfaktoren). In diesem Zusammenhang muss die Montageeffektivität deutlich verbessert werden, was eine strategisch ausgerichtete integrative Verschränkung innovativer Lösungen in den Bereichen der Planung und Auslegung der Montage, der Montagetechnik und -logistik und der Mitarbeiterkompetenzen notwendig werden lässt [180].

Eine gesteigerte Marktattraktivität der angebotenen Produkte und der damit verknüpften Dienstleistungen sowie eine beschäftigungsfördernde Wirkung lassen sich nicht allein durch ein Technikkonzept oder ein Technikeinsatzkonzept (z.B. angepasste Automatisierungsstrategie) erzielen. Vielmehr sind die Anforderungen an den Technikeinsatz von den produzierenden Unternehmen auf der Grundlage ihrer Markt- und Montagestrategien an die Systemhersteller zu formulieren, um so mit der Marktnachfrage die Technikentwicklung zu beeinflussen [107].



*Bild 5: Steigerung sowohl der Montageeffektivität als auch der Montageeffizienz zur Steigerung des Unternehmenserfolges*

Für die produzierenden Unternehmen reicht es folglich nicht aus, dem zunehmenden Wettbewerbsdruck ausschließlich mit Maßnahmen zur Kostensenkung zu begegnen. Vielmehr gilt es, die bislang wirksamen Erfolgsfaktoren des Hochlohnstandorts Deutschland weiter zu stärken. Der bekannte amerikanische Wirtschaftswissenschaftler Michael Porter hat dies in seinem zentralen Werk „The Competitive Advantages of Nations“ [113] bereits zu Beginn der 90er Jahre formuliert. Es ist demnach entweder notwendig, hinsichtlich Technologie, Qualität, Design oder Kundendienst und Service eine einzigartige Stellung innerhalb der Branche zu entwickeln oder sich auf Marktnischen, also auf eine bestimmte Abnehmergruppe und einen bestimmten Teil des Produktprogramms, zu konzentrieren. Unternehmen, die nur Kostensenkungsprogramme durchführen, so genannte „Restrukturierer“, können allenfalls als Marktteilnehmer im Wettbewerb verbleiben, nachhaltig wachsen werden sie nicht. Diese Situation hat sich mit dem Fall des Eisernen Vorhangs 1991 weiter verschärft. Die Industrien der osteuropäischen Staaten verfolgen vor dem Hintergrund ihrer Lohnkostenvorteile ebenfalls die Strategie der Kostenführerschaft.

Dieser Zusammenhang wird durch eine McKinsey-Studie in der deutschen Maschinenbau- und Elektroindustrie belegt [143]. Sie zeigt, dass die Erschließung von Effizienzpotenzialen zwar eine notwendige, aber keine hinreichende Bedingung ist, um nachhaltige Wettbewerbsvorteile zu erzielen. In der gleichen Studie wird sogar gezeigt, dass „Restrukturierer“, also Unternehmen mit reinem Kostenfokus, nicht einmal die gleiche Produktivität erreichen wie die profitabel wachsenden Unternehmen.

Zum Schließen dieser Produktivitätslücke müssen sich Montageunternehmen noch mehr als bisher für „Innovationen von unten“ öffnen und ihren Mitarbeitern ermöglichen, sich dazu notwendige Qualifikationen und Kompetenzen anzueignen. Entscheidend ist dabei die Anforderung einer maximalen Flexibilität gegenüber dem Markt mit Mitteln einer innovativen, humanzentrierten Arbeitspolitik zu beantworten. Die Mitarbeiter mit ihren Potenzialen und ihrer Motivation werden mehr und mehr zum Schlüsselfaktor einer adäquaten Bewältigung neuer unternehmerischer Herausforderungen. Hier gilt es, den Erfolgsfaktor Qualifikation des Hochlohnstandorts Deutschland weiter zu stärken.

Diese Entwicklungstrends haben beträchtliche Auswirkungen auf die Gestaltung der Produktions- und im Besonderen der Montagestrukturen. Sie müssen zukünftig so organisiert werden, dass sie den gesteigerten Komplexitätsanforderungen aus der Unternehmensumwelt gerecht werden [74]. Die Tatsache, dass in der Montage als letztem Glied der betrieblichen Wertschöpfungskette je nach Branche 20-70% der Herstellkosten auf Montage- und Handhabungsprozesse entfallen [90], verstärkt diese Notwendigkeit. Dies ist umso problematischer als hier die Wertschöpfung der Produkte am höchsten ist und sich somit Qualitätsmängel und logistische Probleme besonders negativ auswirken. Wettbewerbsvorteile in Kosten, Qualität und Zeit werden in zunehmendem Maße in der Montage festgelegt. Es ist daher zu kurz gegriffen, die Montage, wie bislang üblich, ausschließlich als eine Teilfunktion des Fertigens zu betrachten (VDI Richtlinie 2860). Hierdurch wird der komplexen Einbindung der Montage in den gesamten Produktionsprozess nicht Rechnung getragen.

In der Praxis ist dies keineswegs selbstverständlich. Immer wieder lässt sich beobachten, dass die Geschäftsführung eines Unternehmens Marktstrategien entwickelt und Vorgaben setzt, die von der Montage nicht realisiert werden können. Ebenso finden häufig umfassende Veränderungen in Montagestrukturen statt, ohne dass ein direkter Bezug zur Marktstrategie hergestellt wird. Abstimmungsprobleme, Reibungsverluste und Verschwendung von Ressourcen sind die Konsequenz [106]. Die Verzahnung von Marktstrategie und Montagestrukturen wird vielfach durch innerbetriebliche Kommunikationsbarrieren erschwert. Während Geschäftsführung und Vertrieb meist die Marktstrategie formulieren, wird die Gestaltung der Montage in die Hände des mittleren Produktionsmanagements gelegt. Entscheidend ist dann, ob es gelingt zwischen den Führungskräften der unterschiedlichen Hierarchieebenen und Abteilungen, ein gemeinsames Verständnis über Ziele und Prioritäten zu entwickeln.

### **2.3 KMU-Betriebe – Herausforderungen und Potenziale zur Optimierung der Montage**

Den aufgezeigten Trends in der Montage können sich auch kleine und mittelständische Unternehmen nicht entziehen. Vielmehr sind sie der Motor für die Entwicklung von regionalen Wirtschaftsstandorten, sie schaffen Ausbildungs- und Arbeitsplätze und übernehmen damit ein hohes Maß sozialer Verantwortung in ihrem Wirkungsfeld. Die rund 3,3 Millionen KMU repräsentieren in Deutschland etwa 40% der Bruttoinvestitionen sowie 49% der Umsätze, beschäftigen 70% aller Arbeitnehmer und bilden 80% aller Auszubildenden in Deutschland aus [27]. KMU machen vor allem im Maschinenbau einen Großteil der Unternehmen und des Industrieumsatzes aus [75]. Bis zu einem Drittel des Personals ist in der Montage tätig.

Beim Einsatz von Technologien und Methoden setzen KMU in vielerlei Hinsicht auf andere Kriterien als Konzerne. Oft wird allerdings versucht, Kleinunternehmen Produktionslösungen zu verkaufen, die eigentlich für Großkunden gedacht sind. Die Devise „one size fits all“ führt selten zum gewünschten Erfolg. So müssen z.B. Restrukturierungsmaßnahmen, Innovationen bei einzusetzenden Betriebs- und Produktionsmitteln oder der Einsatz von Software in der mittelständischen Produktion die Prozessabläufe sofort und spürbar verbessern. Die Maßnahmen müssen einfach und schnell einsetzbar und skalierbar sein, d.h. mit dem Wachstum des Unternehmens Schritt halten, keinen großen personellen oder finanziellen Aufwand erfordern und sich leicht in bestehende Strukturen integrieren lassen [167].

Ein charakteristisches Merkmal von KMU sind deren personelle Ressourcen und flache Hierarchien. Die häufig zu beobachtende geringe Arbeitsteiligkeit führt tendenziell zu mehr Aufgabenintegration, wodurch die Entwicklung eines hohen Informationsstandes erschwert wird. Dem Mitarbeiter werden große Handlungsspielräume eröffnet, die Mehrfachqualifikationen durch Erfahrungslernen erzeugen. Gleichzeitig wird die Bildung von Expertentum durch Funktionsüberlastungen des Einzelnen behindert. Eine systematische Vorgehensweise bei der Planung und Problembeseitigung wird selten angewandt.

Aufgrund der räumlichen Nähe in KMU erfolgt die Koordination der Mitarbeiter vorwiegend durch persönliche Weisungen der Führungsperson oder durch Selbstabstimmung der Mitarbeiter untereinander. Günstig bei dieser Art der Kommunikation ist vor allem der rasche Informationsdurchlauf. Besonders bei komplexen, unstrukturierten oder vertraulichen Sachverhalten erweist sich diese Kommunikationsform als vorteilhaft zur Problemlösung. Die geringe Personalstärke führt zu einem Netzwerk von sozialen Beziehungen der Mitarbeiter untereinander. Daraus resultieren gute Bedingungen für Kommunikation und Transparenz. Aktuelle Informationstechnologien werden hingegen von KMU bisher nur wenig genutzt. Dies liegt einerseits an der oftmals unterschätzten wettbewerbsrelevanten Bedeutung von Information, andererseits an einem vergleichsweise schlechten Zugang zu aktuellen Daten. Wenig fundiertes Wissen über moderne Informationstechnologien und die häufig schlechte Bedienbarkeit der Programme ohne Fach- oder Expertenwissen verstärken dieses Defizit [114].

Ein entscheidendes Investitionshindernis für KMU stellen die oft limitierten finanziellen Ressourcen dar. In vielen Fällen stehen nicht ausreichende Mittel zur Verfügung, um konstant allen Entwicklungen und Verbesserungen im Bereich der Produktionsprozesse, der Fertigungs- und Montagesysteme oder der Informationstechnologie folgen zu können. Veralterte Hard- und Software wird in vielen Fällen nicht ersetzt, so dass einzelne Arbeitsplätze unterschiedlich ausgestattet sind. Ein schlechter Zugang zu oder der Verlust von wertvollen Informationen sowie suboptimale Produktionsabläufe können die Folge sein.

Im Gegensatz zu Großunternehmen werden bei Know-how-Lücken kaum Spezialisten eingestellt. Wenn überhaupt, dann wird meist nur temporär auf Dienstleister zurückgegriffen. Selbst bei ausreichenden Mitteln scheitert ein Anwerben von Fachleuten oft, da das angebotene Aufgabenfeld nicht attraktiv genug für diese ist oder die Karrieremöglichkeiten bei Großbetrieben besser sind. Weiterhin werden Qualifikations- und Weiterbildungsmaßnahmen für die Mitarbeiter aus Zeit- und Kostengründen meist nur unzureichend durchgeführt [13].

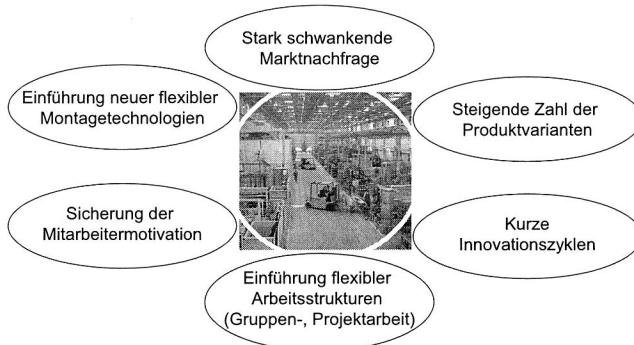
Merkmale kleiner und mittelständischer Unternehmen		
Lage am Markt	Produkt	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eingeschränktes Produktspektrum</li> <li>Unzureichende Strukturierung</li> <li>Hohe Fertigungstiefe</li> </ul>
	Abnehmer	<ul style="list-style-type: none"> <li>Starke Kundenausrichtung</li> <li>Intensive Zusammenarbeit</li> <li>Häufig Marktmacht des Abnehmers</li> </ul>
	Positionierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nische oder kleines Segment</li> <li>Spezialisierung mit hoher Flexibilität</li> </ul>
	Anforderungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zunehmend Komplettlösungen</li> <li>Steigende Leistungskomplexität</li> </ul>
Finanzwirtschaftliche Situation	Kapitalstruktur/-aufwand	<ul style="list-style-type: none"> <li>Geringe Eigenkapitalquote</li> <li>Hohe und langfristige Verschuldung</li> <li>Geringes Investitionspotenzial</li> </ul>
Unternehmensorganisation	Unternehmensführung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Entscheidungsfreudig, personaler Führungsstil</li> <li>Überlastung mit Routinetätigkeiten</li> </ul>
	Aufbauorganisation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Flache Struktur</li> <li>Funktional gegliedert</li> </ul>
	Ablauforganisation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Historisch gewachsen</li> <li>Kurze Informationswege</li> <li>Informale Organisation bedeutend</li> </ul>
	Personal	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hohe Qualifikation, fachübergreifende Aufgaben</li> <li>Funktionen oft nur durch einzelne Mitarbeiter besetzt</li> <li>Hohe Arbeitszufriedenheit und -motivation</li> <li>Verbundenheit mit Unternehmen</li> </ul>
Auftragsabwicklung	Anforderungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kundenauftragsbezogene Fertigung</li> <li>Hohe Produktvarianz</li> <li>Kurze Reaktionszeiten</li> </ul>
	Durchlauf	<ul style="list-style-type: none"> <li>Viele Schnittstellen zwischen Funktionsbereichen</li> <li>Geringe Arbeitsteiligkeit</li> <li>Geringer auftragsübergreifender Informationsfluss</li> <li>Mehrfache Grunddatengenerierung</li> </ul>
	Steuerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Auftragssteuerung unmittelbar vor Ort</li> <li>Kleine Regelkreise, Selbstständig handelnde Mitarbeiter</li> </ul>
	Hilfsmittel	<ul style="list-style-type: none"> <li>Einfache Rechnerarchitektur, häufig Insellösungen</li> <li>Oft einfache Hilfsmittel ausreichend, geringes IT-Wissen</li> <li>Wenige Stabsabteilungen</li> </ul>
Einsatz von Rechnerunterstützung	Montageplanung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Knappes Risikokapital</li> <li>Geringe Anwendung betriebswirtschaftlicher Verfahren</li> <li>Defizite in der Methodik</li> <li>Investitionsentscheidungen wenig formalisiert und dezentral</li> <li>Delegation von Routineaufgaben wenig formalisiert</li> </ul>
Betriebsmittel	Montagesysteme	<ul style="list-style-type: none"> <li>Überschaubare Kosten, geringes Investitionsrisiko</li> <li>Adaption an schnell wechselnde Kundenanforderungen</li> <li>Bereits für Kleinserien wirtschaftlicher Einsatz nötig</li> <li>Inbetriebnahme, Wartung, Umbau, Erweiterungen und Betrieb in Eigenregie</li> </ul>
Informationsmanagement	Vermittlung von Produktionswissen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Umfassendere Informationen als bisher werden benötigt</li> <li>Begrenzte Ressourcen erfordern umfangreiches Wissen des Einzelnen, Sicherung des Wissensstandes</li> <li>Deutliche Darstellung komplexer Zusammenhänge, Entlastung bei vielfältigem Produkt- und Variantenspektrum</li> </ul>

Bild 6: Charakteristika von KMU (nach [13] und [92])

Die fortschreitende Globalisierung bewirkt zwangsweise auch die Öffnung der Märkte. Mittelständische Unternehmen können sich nicht mehr der zunehmenden Konkurrenz aus dem meist kostengünstigeren Ausland entziehen. Um in diesem Wettbewerb bestehen zu können, sind besonders KMU gegenüber ihren Kunden gezwungen, Nachweise über ihre kontinuierliche Leistungs- und Qualitätsfähigkeit zu erbringen und damit zusammenhängend auch verstärkte Aufwendungen für Weiterbildungsmaßnahmen durchzuführen [92]. Eine Stärke des Mittelstandes ist die hohe Innovationskraft. Er betreibt zwar in der Regel keine Grundlagenforschung, ist aber in der anwendungsbezogenen Innovation den Großunternehmen sowohl hinsichtlich der Anzahl neuer Produkte wie auch der Schnelligkeit der Umsetzung zur Produktionsreife überlegen. Der finanzielle Einsatz ist darüber hinaus wesentlich ergiebiger als in Großunternehmen. Bild 6 zeigt eine Zusammenfassung sowie Ergänzungen der typischen Ausprägungen von kleinen und mittelständischen Betrieben. Die jeweiligen Merkmale können hierbei von Unternehmen zu Unternehmen abweichen.

## 2.4 Ganzheitliche Effizienzsteigerung durch Mitarbeiterorientierung

In der wissensintensiven, produktionsnahen Dienstleistungsgesellschaft stellen qualifizierte und motivierte Mitarbeiter einen wesentlichen Produktionsfaktor dar. Wenn es um Innovation, flexible Reaktion, Interpretation und Kooperation geht, ist der Mensch mit seiner Denk- und Kommunikationsfähigkeit sowie seinen Ideen, seiner Kreativität und seiner Neugierde unersetzbar. Eine menschengerechte Arbeitsgestaltung ist somit nicht nur eine humane und soziale Verpflichtung, sondern auch wirtschaftlich notwendig [16].



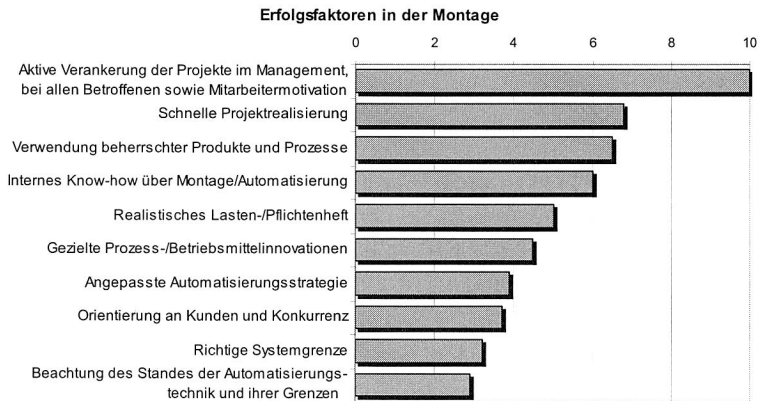
**Bild 7:** Randbedingungen und Faktoren für die Notwendigkeit einer verstärkten Mitarbeiterorientierung in der Montage

In den 80er Jahren stellte eine manuelle oder mitarbeiterorientierte Montage nur selten einen Vorteil dar. Sowohl eine schlechte Auslastung der Mitarbeiter bei geringerer Marktnachfrage als auch eine Vergütung von Überstunden bei Bedarf an Überkapazitäten wirkten sich aufgrund der vertraglich streng geregelten und fest verankerten Arbeitszeiten negativ auf das Betriebsergebnis aus. Stattdessen wurde die Hochautomatisierung als Lösung gesehen. Bei Nachfrageschwankungen konnte so z.B. eine Schicht ausgelassen oder einfach auf Lager produziert werden. Heutzutage sind vielfältige Ta-

rif- und flexible Arbeitszeitmodelle in den produzierenden Unternehmen etabliert, wodurch eine hohe Flexibilität bei der Reaktion auf Stückzahlschwankungen möglich ist.

Die veränderten wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und die gewandelten Anforderungen des Marktes ziehen zusätzlich neue Ansprüche an die Beschäftigten in der Montage nach sich. Es bleiben die Menschen – nicht Maschinen oder Computersysteme – die über den Erfolg bei der Umsetzung von marktorientierten und flexiblen Montagestrukturen entscheiden [20]. Dies gilt umso mehr, je höher die Anforderungen an die Flexibilität der Montage steigen. Stückzahl- und varianteflexible Systeme lassen sich im Betrieb nur dann umsetzen, wenn die Mitarbeiter durch entsprechende Qualifizierungsmaßnahmen darauf vorbereitet wurden [53].

Dieses Spektrum darf nicht nur fachliche Fähigkeiten und Fertigkeiten umfassen, sondern muss mit zunehmendem Flexibilitätserfordernis auch kommunikative, kooperative und methodische Kompetenzen einschließen. In dem Maße, in dem die Anforderungen an die Flexibilität der Montage steigen, müssen sich die vielfach un- und angelernten Beschäftigten in der Montage vom reinen „Werker“ und „Befehlsempfänger“, der nur einfachste, sich häufig wiederholende Tätigkeiten auszuüben vermag, zum mitdenkenden, mitplanenden und problemlösenden Mitarbeiter entwickeln [2]. Um die permanenten Veränderungen in einem hochflexiblen Montagesystem bewältigen zu können, sind fachübergreifende Qualifikationen erforderlich, die eine ständige Adaption vorhandenen Wissens an neue Anforderungen ermöglichen. In diesem Zusammenhang erhält die Ausbildung von Schlüsselqualifikationen, wie Verantwortungsbewusstsein, Team- und Kooperationsfähigkeit, die Fähigkeit zur Problemlösung oder zur Planung eine zunehmende Bedeutung.



**Bild 8:** Menschliche und organisatorische Faktoren sind bei der wirtschaftlichen Auslegung der Montage entscheidend (Quelle: [115])

Die Qualifizierung der Mitarbeiter in der Montage darf sich also nicht nur auf die Vermittlung von fachlichen Kompetenzen richten, sondern muss gezielt die Entwicklung von sozialen, personalen und methodischen Kompetenzen umfassen. Nur wenn die Mitarbeiter in der Montage über diese Schlüsselqualifikationen verfügen, können sie den



Prozess der Umsetzung flexibler Montagestrukturen aktiv begleiten. Dies stellt die betriebliche Informationsbereitstellung und die Vermittlung der notwendigen Sachverhalte in der Planung und Auslegung der Montagestrukturen vor eine neue Herausforderung.

Nach einer Studie des Fraunhofer Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) zu den Erfolgsfaktoren in der Montage lagen menschliche und organisatorische Faktoren an erster Stelle (s. Bild 8). Hiernach sind ein ganzheitlicher Ansatz und eine Strategieorientierung entscheidend. Die aktive Verankerung des Projektes bei allen Beteiligten und die Auswahl adaptierter technischer und organisatorischer Lösungen führen zum gewünschten Ergebnis [115].

## 2.5 Anforderungen an die Effizienzsteigerung in kleinen und mittleren Unternehmen

Das erhoffte Wachstum in der Produktion in Deutschland ist derzeit noch nicht flächendeckend zu sehen. Die rückläufige Entwicklung hat sich trotz vorsichtiger positiver Signale (s. Bild 9) noch nicht umgekehrt. Damit gehen eine Wirtschaftsstagnation, ein Rückgang des Wachstums sowie eine ausgeprägte Investitionszurückhaltung einher. Das primäre Bestreben der Unternehmen ist derzeit folglich oftmals eine reine Kostenreduzierung. Für viele Firmen ist dies gleichbedeutend mit einer Verminderung der Personalkosten. Hingegen sind Maßnahmen zur Vertiefung von Kundenbindungen oder zur Erschließung neuer Märkte nach Erkenntnis einer Studie [166] weit weniger wichtig. Nahezu unbedeutend ist demzufolge die Entwicklung neuer Produkte und Dienstleistungen. Dabei handelt es sich hier um entscheidende Faktoren im Innovationswettbewerb und bei der Belebung der Konjunktur.

	Produktion		
	2001	2002	2003
Fahrzeug-Bau	4,5	-1,3	3,0
Pkw-Zulieferer	4,2	-1,3	3,3
Chemische Industrie	-2,4	5,5	1,5
Gummi/Kunststoff	-0,1	1,5	3,0
Metallgewerbe	1,5	-2,0	1,5
Maschinenbau	2,5	-4,0	1,5
Messtechnik	4,2	-2,0	3,0
Angaben: Veränderungen zum Vorjahr in Prozent Quelle: Commerzbank			

**AUTOMOBIL  
PRODUKTION**

**Bild 9:** Wachstumsprognose der deutschen Produktion 2003 gegenüber 2002 und 2001 (Quelle: Commerzbank [9])

Innovationen und Produktivität sind allerdings selten mit einem minimalen Investitionsvolumen zu erreichen. Eine starke Investitionszurückhaltung spart daher nur kurzfristig Kosten, mittelfristig schwächt sie hingegen [163]. Vielmehr müsste bei schwachem Wachstum in neue Produkte und höhere Produktivität investiert werden, um bei anziehender Konjunktur neue Produkte mit zeitlichem Vorsprung am Markt platzieren zu können, was die Rentabilität bedeutend erhöht. Besonders gilt dies für Investitionen in das Know-how selbst und die Mitarbeiter als Know-how-Träger der Unternehmen.

Konjunkturrell optimistischer verhalten sich in diesem Kontext kleinere und mittelständische Unternehmen, die häufiger als ihre umsatzstärkeren Mitbewerber auf zukunftsorientierte Maßnahmen wie die Erschließung neuer Märkte und eine Verstärkung der Vertriebsaktivitäten vertrauen [166]. Das ist darauf zurückzuführen, dass der Mittelstand flexibler ist und das Sparen um jeden Preis hier oftmals als Hilflosigkeit interpretiert wird und schnell zum Ende des Unternehmens führen kann. Aufgrund des Spannungsfeldes aus turbulenter Marktsituation, unsicheren Prognosen und schwankendem Abfrageverhalten besteht somit gerade für KMU der zwingende Bedarf sowohl eine zielgerichtete und wirtschaftlich sinnvolle Planung als auch eine Auslegung der benötigten Montagesysteme vorzuhalten. Weiterhin ist die Einführung der notwendigen flexiblen Montageeinrichtungen unerlässlich, die diese Agilität und Wandlungsfähigkeit ermöglichen.

Eine strikte Personaleinsparung bedeutet zusätzlich eine höhere Arbeitsbelastung für die verbleibenden Mitarbeiter. Die Ansprüche an die Qualifikation steigen folglich. In vielen Fällen entstehen durch die als notwendig erachteten Personalkürzungen sogar erhebliche Know-how-Lücken, und Innovationen kommen zum Stillstand. Oftmals müssen zur Kompensation dieser Defizite externe Dienstleistungen eingekauft werden. In Summe reduzieren sich somit zwar die direkten Personalkosten, die Kosten insgesamt werden aber in der Regel kaum gesenkt. Nach Aussagen der oben genannten Studie [166] hat die Hälfte der Firmen angegeben, dass durch Entlassungen das angestrebte Ziel der Kosteneinsparung nicht realisiert wurde. Eine Möglichkeit, den großen Verlust an Montagefachwissen zu vermeiden, liegt demzufolge z.B. in der Einführung multimedialer Mitarbeiterinformationssysteme, wodurch Erfahrungswissen gesichert und aktuelle Informationen den Mitarbeitern lernförderlich und produktivitätssteigernd zugänglich gemacht werden.

Resultierende Anforderungen an die Montage in KMU können somit im ganzheitlichen Ansatz zur Effizienzsteigerung durch eine angepasste Auslegung und Planung sowie durch den Betrieb agiler, mitarbeiter- und marktorientierter Montagesysteme liegen. Geeignete Methoden der Wissensvermittlung und -sicherung durch Mitarbeiterinformationssysteme ergänzen dies weiterhin.

### **3 Rechnergestützter Leitfaden zur Planung von Systemalternativen für die wandlungsfähige Montage in kleinen und mittleren Unternehmen**

Der Erfolg und die Beständigkeit eines Unternehmens werden maßgeblich durch dessen Schnelligkeit, Flexibilität und Reaktionsfähigkeit hinsichtlich sich ändernder Anforderungen beeinflusst [31, 105]. Diese Tatsachen bedeuten für moderne Unternehmen von heute, dass sie ihre Produkte möglichst schnell auf den Markt und damit zum Verbraucher bringen müssen. Um diesen Ansprüchen gerecht werden zu können, sind effiziente und flexible Produktionssysteme und damit auch Planungsmethoden notwendig.

Planungs- und Konzeptionstätigkeiten werden zwar als unabdingbarer Bestandteil jedes schöpferischen Prozesses akzeptiert, aber vielfach nicht mit der gebotenen Sorgfalt durchgeführt. Eine unscharfe und wenig konkrete Beschreibung der Rahmenbedingungen und eine kaum überschaubare Fülle von zum Teil sehr unterschiedlichen prinzipiellen Lösungsmöglichkeiten verleiten dazu, den Planungsprozess auf seine wesentlichen Bestandteile, beispielsweise die Skizzierung einer grundsätzlichen Idee und die Klärung ihrer Realisierbarkeit zu beschränken, um auf diese Weise der Forderung nach einer Verkürzung der Entwicklungszeiten nachzukommen. Ist eine Lösung gefunden, die sowohl nach technischen als auch nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten realisierbar erscheint, wird vielfach auf die Ausarbeitung und Bewertung weiterer Alternativen verzichtet. Das Ziel jeder Planungstätigkeit muss jedoch sein, über die bloße Realisierbarkeit hinaus nach einem Optimum zu streben, da nur so die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens nachhaltig gewährleistet werden kann. Besonderer Sorgfalt bedarf es bei der Planung des Montageprozesses. Dieser ist als letzte Stufe der Produktion unmittelbar der Unberechenbarkeit des Marktes ausgesetzt. Dem Montagebereich kommt außerdem eine stetig wachsende Bedeutung zu, da er in seiner Funktion als einer der wichtigsten wertschöpfenden Prozesse wesentlich den Erfolg und die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens beeinflusst. Neue Methoden der Montageplanung und vor allem der Einsatz von rechnerunterstützten Verfahren können hierbei wichtige Dienste leisten.

#### **3.1 Zielsetzung bei der Entwicklung einer rechnergestützten Systemalternativenplanung für KMU**

Die Wirtschaftlichkeit und Wettbewerbsfähigkeit vieler Produktionsbetriebe ist sehr stark von den wirtschaftlichen und technologischen Eigenschaften der eingesetzten Montagesysteme abhängig. Allerdings werden die Grundlagen dieser Eigenschaften in aller Regel bereits in einer sehr frühen Phase der Montageplanung festgelegt. Während man sich bei der industriellen Herstellung von Massenartikeln meist auf automatisierte Lösungen fixiert, ist gerade bei kleinen und mittelständischen Herstellern die gesamte Bandbreite von rein manueller bis hin zur automatisierten Montage anzutreffen. Demzufolge ist die Komplexität der Montagegrobplanung bei diesen Unternehmen besonders hoch.

Ein wichtiger Aspekt dieser Arbeit ist es, einen auf die besonderen Bedürfnisse der kleinen und mittelständischen Unternehmen zugeschnittenen, rechnergestützten Planungsleitfaden zu entwickeln, der dabei hilft, die Grobauslegung des Montagesystems ganzheitlich durchzuführen. Den Montageplanern soll ein Werkzeug an die Hand gegeben werden, welches nach der Implementierung aller notwendigen Eingangsgrößen anhand von nachvollziehbaren und objektiven Regeln und Entscheidungsmustern optimale Konzepte für die Auslegung des gewünschten Montagesystems liefert. Weiterhin soll der Leitfaden den Montageplaner bei der Konzeptfindung für die Auslegung von Montagesystemen unter den Gesichtspunkten der notwendigen Stückzahl, der Flexibilität und der Wirtschaftlichkeit unterstützen.

Das System soll in der Lage sein, nach Vorgabe der erforderlichen Eingangsdaten, Konzepte zu generieren und zu bewerten. Sowohl im Synthese- als auch im Analyseprozess muss der Bediener die Möglichkeit haben, die Entscheidungen des Rechners zu beeinflussen. Als Ergebnis sollen verschiedene Lösungsprinzipien der Montageaufgabe betrachtet und bewertet werden können. Der Gang der Bewertung muss dem Bediener dabei jederzeit veranschaulicht werden können (s. Bild 10). Das System soll sich vorrangig für ein variantenreiches Produktspektrum in kleineren Losgrößen eignen, welches unter Einbeziehung des Mitarbeiters und seiner spezifischen Fähigkeiten montiert wird. Ein beispielhaftes Umfeld könnte die Montage elektromechanischer Kleingeräte sein. Das Rechnerwerkzeug muss dabei stets flexibel und erweiterbar sein, so dass eine Anpassung an die individuellen Bedürfnisse und Erfahrungswerte der verschiedenen Planer jederzeit problemlos möglich ist.

Zweck des Leitfadens soll es nicht sein, spezielle automatisierte Einzweckanlagen zu synthetisieren und zu analysieren. Der Schwerpunkt dieses Leitfadens liegt in der Konzeption modularer, flexibler Systeme, die auch noch dazu geeignet sind, die Absatzmärkte von morgen zu beherrschen.

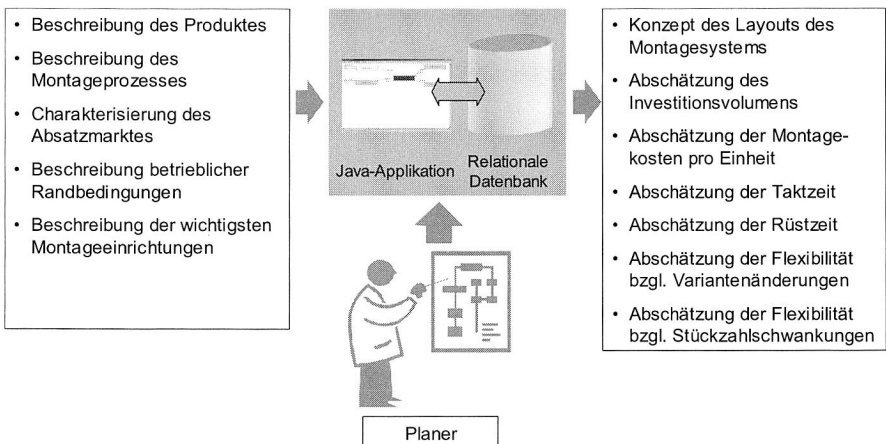


Bild 10: Ziele bei der Entwicklung eines Planungsleitfadens für die rechnerunterstützte Montagekonzeption

### 3.2 Einführung in die Grundlagen der Montageplanung

Bevor auf die eigentliche Konzeption und Realisierung des rechnergestützten Leitfadens für die Auslegung von Montagesystemalternativen unter dem Aspekt der KMU-Orientierung in den folgenden Abschnitten näher eingegangen werden kann, sind zur Gewährleistung der Nachvollziehbarkeit der Ausführungen zunächst die Grundlagen der Montageplanung aufgeführt und erläutert.

Unter Planen versteht man das systematische Suchen und Festlegen von Zielen sowie von Aufgaben und Mitteln zum Erreichen dieser Ziele [119]. Demnach sind vor Beginn des Planungsprozesses die Planungsziele völlig offen. Dieser Grundsatz darf im konkreten Fall der Montageplanung nicht außer Acht gelassen werden, was auch das konfliktträchtige Infragestellen von traditionellen Entscheidungsmustern impliziert. Die Schaffung festgelegter Strukturen für die Vorgehensweise bei der Montageplanung darf nicht über den komplexen, heuristischen Charakter der Aufgabe selbst hinwegtäuschen. Die Notwendigkeit, bereits entwickelte Lösungen zu ändern oder zu verwerfen wird sich folglich bei Planungstätigkeiten nie völlig vermeiden lassen.

Als Montage wird nach DIN 8593 der Zusammenbau von Teilen und/oder Gruppen zu Erzeugnissen oder zu Gruppen höherer Erzeugnisebenen in der Fertigung verstanden [25]. Unter dem Begriff Montageprozess sind alle Aktivitäten zu verstehen, die erforderlich sind, um ein Teil oder eine vormontierte Baugruppe mit einem oder mehreren Teilen oder weiteren vormontierten Baugruppen zu verbinden. Der eigentliche Montageprozess umfasst dabei im Wesentlichen das Speichern, Bereitstellen, Zuführen und das Fügen eines oder mehrerer Einzelteile bzw. Baugruppen [96]. Als Ergebnis der Planung steht am Ende eine vollständige Anordnung von technischen Einrichtungen zum Zusammenbau von Einzelteilen, Baugruppen oder Fertigprodukten mit vorgegebenen Funktionen, wobei auch die notwendigen Teilsysteme sowohl materialflussgerecht als auch informationstechnisch integriert sind. Dies wird unter dem Begriff Montagesystem zusammengefasst, zu dem alle Einrichtungen zählen, die als Betriebsmittel den Montagefortschritt am Erzeugnis im Sinne der Aufgaben des Produktionssystems bewirken [120]. Beispiele für diese Betriebsmittel sind Maschinen, Werkzeuge, Vorrichtungen, Mess- und Prüfeinrichtungen.

Die Zielsetzung bei der Planung und Gestaltung eines Montagesystems für ein bestimmtes Produkt oder eine Produktfamilie besteht darin, die Arbeitsvorgänge nach mengenabhängigen, variantenabhängigen, fügetechnischen, organisatorischen und ergonomischen Kriterien so zu erstellen, dass eine möglichst flexible Montagestruktur entsteht. Die Montageplanung ist folglich ein sehr wissensintensiver Bereich und stellt unter dem Fokus – ein geordnetes und zusammenarbeitendes Gesamtsystem zu entwerfen, in dem ein reibungsloser Ablauf der einzelnen Montagebereiche miteinander möglich ist [56] – eine sehr komplexe und mehrstufige Aufgabe dar.

Ausgehend von einem Produktionsprogramm und der Produktgestaltung legt die Montageplanung neben den eigentlichen Montage- und Fügevorgängen auch die Organisationsform, den Materialfluss und die Betriebsmittel fest [33]. Die anschließenden Planungsaufgaben wie Qualitätssicherung, Zeitwirtschaft, Personalplanung, Planung der Struktur und Führung sowie die Ablauforganisation haben dagegen mehr einen bereichsübergreifenden Charakter.

Für die Planung und Bewertung von Montagesystemen existieren zahlreiche Arbeiten und über Jahrzehnte hinweg immer wieder modifizierte und an unterschiedliche Anforderungen angepasste Methoden. Viele davon lehnen sich an die bekannten Verfahren nach VDI-Richtlinie 2222 oder die 6-Stufen-Methode nach REFA an. Die meisten Vorgehensweisen bauen auf drei Hauptphasen der Planung auf. Die Aufteilung des Gesamtproblems in Planungsphasen stellt einen wesentlichen Schritt zur Verringerung der Komplexität der Montageplanung dar [55]. Nach Erfassung der Planungsaufgabe und der Analyse der Randbedingungen beginnt die Phase der Grobplanung, in der alternative Montageabläufe und -systeme entwickelt und auf ihr Erfüllungspotenzial bzgl. der festgelegten Prämissen untersucht, bewertet und verglichen werden. Bei der anschließenden Feinplanung erfolgen die Konkretisierung des Montagesystems und die Festlegung der Montageinhalte. Trotz der Aufteilung in Projektabschnitte dürfen die einzelnen Phasen und Aufgaben allerdings nicht isoliert betrachtet werden. Ein stetiger Iterationsprozess innerhalb und zwischen den einzelnen Phasen führt dabei zu einer Optimierung des Planungsvorgehens und zur immer wiederkehrenden Überprüfung des Montagesystems (s. Bild 11). Dieser allgemeine Planungsablauf ist grundsätzlich auf die Planung vieler Montagesysteme übertragbar. Verschiedene Möglichkeiten hierzu werden in Kapitel 3.5 beschrieben.

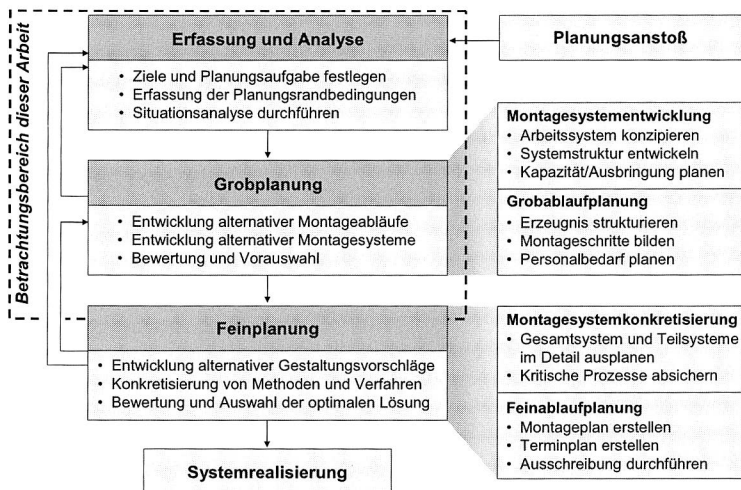


Bild 11: Vorgehensweise bei der Planung von Montagesystemen

Zusätzlich zu den unterschiedlichsten Planungsverfahren existieren verschiedene einzelne Planungshilfsmittel, die bei der Planung von Montageanlagen der Unterstützung von unterschiedlichen Detailaufgaben dienen und an entscheidenden Stellen im Planungsablauf zum Einsatz kommen. Eine Unterstützung erfolgt hier z.B. bei der Taktzeitermittlung, Arbeitsplatzgestaltung nach ergonomischen Gesichtspunkten und Zeitermittlung der Montagezeit sowie der Nebenzeiten für die Erzeugnisweitergabe an Handarbeitsplätzen, der Gestaltung von Speichersystemen sowie der Teilebereitstellung. Weitere Beispiele dieser Planungshilfsmittel sind Checklisten zum Entwurf von Prinzipanordnungen, Montagevorranggraphen zum Festlegen der Ablaufstruktur, Mat-

rixsystematiken zur materialflussgerechten Gestaltung von Montagearbeitsplätzen sowie Netzpläne, Balkendiagramme oder Projektstrukturpläne für die Aufgaben der Projektorganisation. Für die Beurteilung von Systemalternativen stehen einerseits oftmals quantifizierbare Kriterien wie z.B. Investitionen, Flächenbedarf und Durchlaufzeit zur Verfügung. Andererseits müssen auch nicht quantifizierbare Faktoren wie etwa die Verfügbarkeit oder Flexibilität bzgl. Stückzahlenschwankungen beachtet werden.

Doch führen diese Hilfsmittel auch zu neuen Problemstellungen. Die Unterstützung und Bewertung der Planungsaufgaben mittels konventionellen Hilfsmitteln wie Pflichtenheften, Checklisten, Tabellen oder Richtlinien bedeuten für den Planer einen hohen Arbeitsaufwand, da in der Regel zahlreiche zeitaufwändige Routineaufgaben erledigt werden müssen, die viele Fehlerquellen beinhalten. Eine angemessene, durchgängige Rechnerunterstützung des Planers ist deshalb fast unabdingbar.

### 3.3 Motivation für Softwaresysteme in der Montageplanung

Für den Einsatz von Rechnersystemen zur Lösung bestimmter Aufgabenstellungen sprechen verschiedene Gründe. Die Möglichkeit, Prozesse mit sehr hoher Geschwindigkeit verarbeiten zu können, kombiniert mit einer immer neuen Dimensionen erreichenden Speicher- und Leistungskapazität, lassen IT-Systeme zu sehr hilfreichen Werkzeugen werden. Allerdings können nur solche Aufgabenstellungen gelöst werden, die dem Rechner in Gestalt geeigneter Algorithmen zugänglich gemacht werden. Dazu gehören z.B. Problemstellungen, welche sich durch eindeutige Definitionsmengen und exakt beschriebene Funktionen charakterisieren lassen. Eindeutige Definitionsmengen zu formulieren bedeutet auf genaue Eingangsdaten zurückgreifen zu können. Damit ist bereits das Hauptproblem der Rechnerunterstützung in der Konzeptphase umrissen, denn exakte Parameter für Produkt und Prozess liegen im Allgemeinen erst am Ende des Entwicklungsprozesses vor. Ein Konzept zu entwickeln erfordert hingegen die hohe heuristische Kompetenz eines Experten. Eine Vielzahl von Freiheitsgraden – sowohl in den zu definierenden Eingangsdaten als auch in den Möglichkeiten der Interaktion derselben – lässt sich nur schwer auf einem Rechner abbilden.

#### 3.3.1 Rechnerunterstützung in der Montageplanung

Die Begleitung der Montageplanung durch Rechnerunterstützung diszipliniert den Planer im Ablauf und strafft seine Arbeit. Neben der sich einstellenden Verkürzung der Planungszeit ermöglicht dies eine Konzentration auf die Montageprozesse und die Erschließung von Rationalisierungspotenzialen. Weiterhin eröffnen sich Möglichkeiten im Ablauf des Planungsprozedere [63]. Vorausgesetzt, die Softwareintegration besteht nicht aus einer Vielzahl an singulären Lösungen, sondern aus einem Verbund modularer und integrierbarer Programme und Datenbanken. Die traditionelle und in Bild 11 beschriebene Vorgehensweise vom Groben zum Feinen ist unter rechnergestützten Gesichtspunkten oft nur suboptimal und muss nicht zwangsweise zu einem Zeit- und Qualitätsgewinn führen. Vielmehr sollten die Methoden der rechnergestützten Planung auf Aufgaben bezogen und nicht auf unterschiedliche Detaillierungsgrade ausgerichtet sein. Somit besteht in einzelnen Fällen die Notwendigkeit, die Grenze zwischen Grob- und Feinplanung aufzuheben und bereits frühzeitig eine Detaillösung auszuarbeiten sowie mehrere Iterationsschritte zu durchlaufen [135].

Die Effektivität des Planungsablaufs liegt dabei immer im abgestimmten Informations- und Datenfluss zwischen Planungswerkzeug und kompetenten Planer. Durch die Anregungen der Aufgabenstellung, die Ideen des Planers und die nutzbaren Freiräume erwächst eine Symbiose aus Mensch und Software, die Routinearbeit vermeidet und die Konzentration auf die wesentliche, den Fähigkeiten, Erfahrungen und sachkundigen Einschätzungen der Planer entsprechende, Zielorientierung lenkt.

### 3.3.2 Bedeutung der Grobplanungsphase für den Entwicklungsprozess

Gemäß dem Motto „running fast is good but starting early is better“ ist gerade den frühen Planungsphasen, in denen aufgrund der unpräzisen Aufgabenbeschreibungen ein noch kaum begrenzter Handlungsspielraum besteht, eine besondere Bedeutung beizumessen. Die dort getroffenen Entscheidungen sind maßgeblich für den späteren Wertschöpfungsverlauf verantwortlich (s. Bild 12).

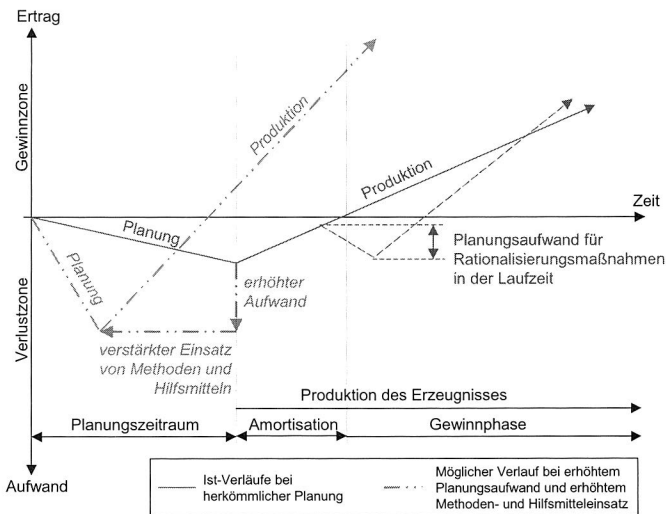


Bild 12: Signifikante Bedeutung der frühen Planungsphase für den Wertschöpfungsverlauf in der Produktion bzw. in der Montage (nach [121])

Im Bereich der Montageplanung ist auffällig, dass die Anzahl und auch die Mächtigkeit der IT-Systeme mit der Produktentwicklungsstufe bzw. mit der Montagesystemkonkretisierung abnehmen. Die meisten Werkzeuge, wie CAD-Systeme, Simulationstools und Berechnungsprogramme, bedingen bereits das Vorhandensein vollständiger Produktinformationen um Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen, Simulationsstudien etc. durchführen zu können.

Im Gegensatz dazu wird der Mitarbeiter bei der Erstellung erster Entwürfe meist noch nicht durch derartige Systeme unterstützt. Zur Konzeptfindung gibt es im Bereich der Montageplanung bislang trotz zahlreicher Forschungsaktivitäten noch kein kommerzielles System. Gerade hier liegt ein großes Potenzial, da die Weichen für den gesamten Produktentstehungsprozess bereits in dieser Phase gestellt werden. Zudem müssen



sorgfältig getroffene Entscheidungen für bestimmte Konzepte auf einem multikriteriellen Bewertungs- und Optimierungsprozess beruhen, der wiederum sehr aufwändig und manuell nur mühsam zu bewerkstelligen ist.

Die in den frühen Phasen der Montageplanung notwendige Analyse und Synthese des Montageablaufs ist mit traditionellen, manuellen Vorgehensweisen und Checklisten aufgrund der ständig wachsenden Kundenforderungen und der Notwendigkeit, schnell am Markt präsent zu sein, ohne Rechnerunterstützung kaum mehr effizient zu lösen [133]. Folglich liegt die Vermutung nahe, dass gerade in kleineren Unternehmen konzeptionelle Entscheidungen nicht immer optimal getroffen werden, da schlicht zu wenig Zeit und nur eine beschränkte Kapazität für sorgfältige Analysen vorgesehen sind. Eine handhabbare, kostengünstige und mit dem Planer interagierende Rechnerunterstützung ist daher von Anfang an anzustreben. Schließlich stehen bei der Konzeption viel versprechende Einflussmöglichkeiten zur Verbesserung der Abläufe und der Montagesysteme geringe Änderungsmöglichkeiten sowie beachtliche Möglichkeiten zur Kostensenkung gegenüber (s. Bild 13). Unbestritten bleibt die Tatsache der lediglich geringen Anzahl an bekannten Parametern in diesem frühen Stadium, was an die Entwicklung und Programmierung eines Planungsleitfadens erhöhte Anforderungen stellt.

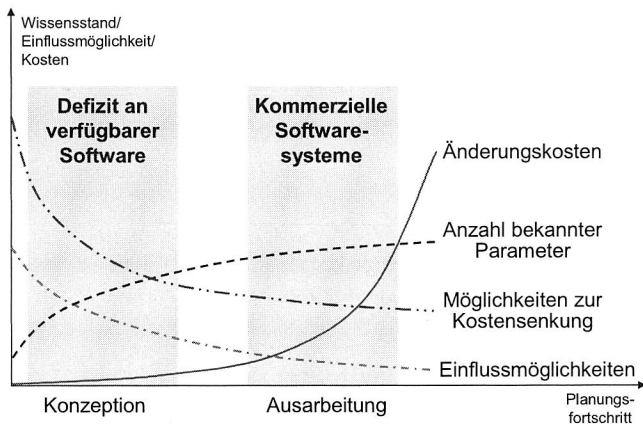


Bild 13: Angebot an Rechnerunterstützung, Einflussmöglichkeiten bei der Montagegestaltung und Kostenbeeinflussung in den Entwicklungsphasen

### 3.3.3 Anforderungen an den Rechnereinsatz in der Grobplanungsphase von Montagesystemen

Dem Anwender müssen Strukturen zur Verfügung gestellt werden, die es erlauben, seine Einschätzung der Ausgangssituation dem Rechner verständlich zu machen. Dabei ist darauf zu achten, dass der von ihm zu betreibende Aufwand sowohl zur Erlernung des Umgangs mit dem System als auch zur Analyse der Ausgangssituation in einem angemessenen Rahmen bleibt. Das nötige Expertenwissen ist vollständig zu erfassen und so aufzubereiten, dass es dem Rechner als Grundlage für weitere Entscheidungen zur Verfügung steht. Logische Entscheidungsmuster von Experten sind durch das Programm nachzuvollziehen und zur Verarbeitung der modellierten Eingangsdaten geeignet.

net zu algorithmisieren. Schließlich sind die Ergebnisse dem Anwender in einer nachvollziehbaren und verständlichen Form darzustellen. Dabei müssen alle notwendigen Informationen zum Verständnis der Art und des Zustandekommens der Lösung enthalten sein. Eine sinnvolle Rechnerunterstützung in der Konzeptphase kann somit nur dann geboten werden, wenn es gelingt, folgende Anforderungen zu erfüllen.

### Modellierung der Aufgabe

Zur vollständigen Modellierung der Aufgabe gehört eine dem Wissensstand der Konzeptphase angepasste Beschreibung des Produktes und der benötigten Montageprozesse. Während der Konzeption eines Produktes werden den zu erfüllenden Teilfunktionen bereits die dazugehörigen Funktionsträger zugeordnet. Dabei ist es die Aufgabe einer rechnergestützten Konzeption, die Wahl der richtigen Strategie durch Analyse und Bewertung des zugehörigen Prozesses zu erleichtern. Die Modellierung beinhaltet im Wesentlichen eine genaue Beschreibung der Art und Abfolge der den Prozess definierenden Tätigkeiten. Dabei muss darauf geachtet werden, dass die geforderten Eingangsdaten in der Konzeptphase bereits verfügbar sind. Es ist z.B. zu so einem frühen Zeitpunkt noch nicht möglich, genaue Aussagen zu Taktzeiten der am Prozess beteiligten Tätigkeiten zu treffen.

### Implementierung eines Expertensystems

Für eine sinnvolle Synthese und Analyse von Konzepten ist es notwendig, das zugehörige Erfahrungswissen der Experten möglichst vollständig in Form von rechnergerechten Wenn-Dann-Regeln zu implementieren. Zudem besteht die Möglichkeit und Notwendigkeit, in der Software logische Zusammenhänge als mathematische Funktionen zu hinterlegen.

### Visuelle Ergebnispräsentation

Als Ergebnis erwartet der Anwender die Antwort auf die Frage nach der Eignung unterschiedlicher, generierter Montagekonzepte. Dazu müssen ihm, für verschiedene Prinzipiellösungen der Montageanlage, Angaben über Kosten, Leistungsfähigkeit und Flexibilität veranschaulicht und deren Zustandekommen erklärt werden.

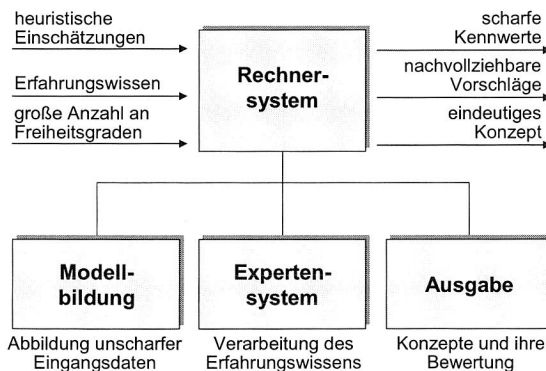


Bild 14: Struktur und Funktion eines rechnergestützten Systems zur Konzeptfindung in der Montage

### 3.4 Anforderungen von KMU an die Montageplanung

Außerordentlich schwierig erweist sich die beschriebene Planungsaufgabe bei kleinen und mittelständischen Unternehmen. Diese unterliegen bei der Planung von Montageanlagen gegenüber größeren Unternehmen erheblich mehr Einschränkungen. Während bei der industriellen Herstellung von Massenartikeln meist auf automatisierte Lösungen zurückgegriffen wird, ist bei kleinen und mittelständischen Herstellern oft die gesamte Bandbreite von rein manuellen bis hin zu automatisierten Montageanlagen anzutreffen. Somit ist bei der Planung das gesamte Spektrum in Betracht zu ziehen. Gleichzeitig kann hier im Planungsbereich in aller Regel nur auf sehr begrenzte Ressourcen sowohl personeller als auch finanzieller Art zurückgegriffen werden. Die Verwendung komplexer, umfassender Produktdatenmanagementsysteme mit integrierten Prozessplanungsmodulen scheidet daher für diese Firmen meist aus.

Bei der Suche nach einem geeigneten Planungsinstrument sind immer auch die Rahmenbedingungen des Unternehmens, wie z.B. die Unternehmensstruktur und -führung, ausschlaggebend. In der Einzel- und Kleinserienfertigung ist tendenziell eine hohe Anzahl an schwer formalisierbaren Einzelaufgaben zu beobachten. Diese weisen meist eine höhere Komplexität als Routinetätigkeiten auf und sind schwieriger plan- und strukturierbar. Weiterhin wechseln die zur Aufgabenbearbeitung notwendigen Kooperationspartner häufig und sind selten konstant. Die Vorgehensweise und die Lösungswege bei den einzelnen Aufgaben sind kaum durch verbindliche Regeln beschrieben oder determiniert. Die Mitarbeiter müssen mehrere verschiedene Aufgaben parallel übernehmen. Allerdings stellt das Personal für Planungsaufgaben und Arbeitsvorbereitung nur einen sehr geringen Anteil am gesamten Personal dar. Somit sollten die Planer ein breites, bereichsübergreifendes Wissen haben, um auch die entsprechenden Aufgaben übernehmen zu können.

Bei der Auswahl der Planungsinstrumente ist ferner auf die Anforderungen an die technischen Möglichkeiten zur Unterstützung des Systems zu achten. Der jeweilige Kostenaufwand darf ebenfalls nicht vernachlässigt werden. Die Möglichkeiten der KMU-Betriebe beschränken sich somit auf Planungssysteme, die nur geringe Anforderungen an das Vorwissen der Mitarbeiter stellen bzw. eine leichte Einarbeitung gestatten. Einfluss auf die Auswahl eines Planungsinstrumentes mit Rechnerunterstützung hat zusätzlich die Montagesystemauslegung. Entsprechend den unternehmensspezifischen Randbedingungen unterliegt die Planung einer Montageanlage oft Einschränkungen bzgl. der zur Verfügung stehenden Montagefläche oder der Montagesystemgestaltung. Da in der Einzel- und Kleinserienmontage vorwiegend mit manuellen oder teilautomatisierten Systemen gearbeitet wird, erfolgt hier der Einsatz von flexibel strukturierbaren Arbeitsplätzen sowie hybriden Montagesystemen. Grundformen für diese Arbeitsformen ist die Anordnung der Arbeitsplätze in Karree-, U- oder Linienform. Abhängig von diesen Voraussetzungen gilt es zu prüfen, ob sich der Einsatz einer rechnergestützten Planung lohnt.

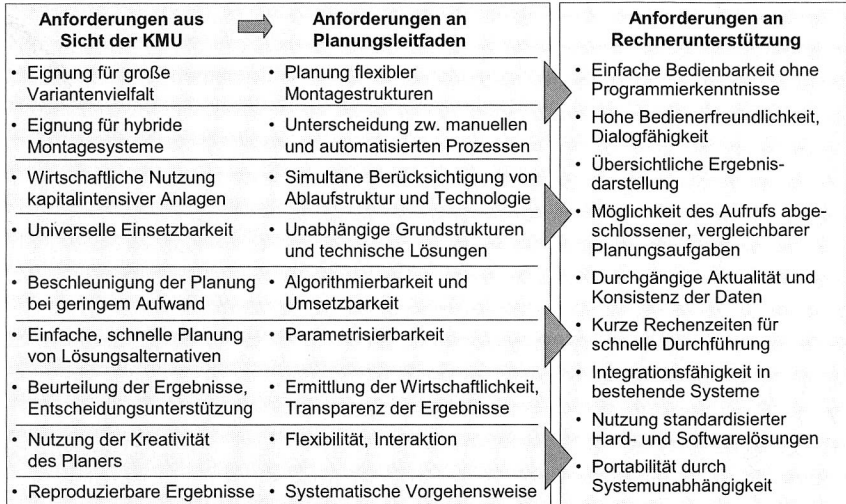
Kleine und mittelständische Unternehmen sind durch eine ausgeprägte Flexibilität und die Rolle als Nischenanbieter gekennzeichnet. Der Anteil an Neu- bzw. Anpasskonstruktionen oder kundenspezifischen Sonderkonstruktionen ist entsprechend hoch. Dies führt in der Montage zu komplexen, sich immer wieder ändernden Vorgängen und Ab-

läufen. Zusätzlich erschweren dabei kurzfristige, durch den Kunden initiierte Auftragsänderungen z.B. hinsichtlich der Losgröße, des Liefertermins etc. die verlässliche Planung der Montageaufgabe. Auch die fehlende Möglichkeit zur Automatisierung aufgrund der Komplexität und geringen Wiederholhäufigkeit von Montageabläufen stellt für die Planung ein Problem dar. Das Hauptaugenmerk liegt daher zum Großteil immer noch auf den organisatorischen und nicht nur auf den technischen Rationalisierungsmethoden der Planung [31].

Ein Defizit bei KMU liegt zusätzlich in den oftmals wenig detaillierten Planungsunterlagen bzw. in den unstrukturierten unternehmensstrategischen Ausrichtungen, weshalb Entscheidungen über die Gestaltung der Montage selten systematisch durchgeführt oder sogar weitgehend offen gelassen werden. Entsprechend den anhaltend kürzer werdenden Zeitabständen zwischen den einzelnen Produktwechseln müssen auch mittelständische Betriebe ihre Montagestrukturen und -abläufe in kürzeren Intervallen an die neuen Gegebenheiten anpassen. Dieser Sachverhalt verursacht bei der Planung der Montage zunehmend ein wachsendes Datenvolumen, welches die rechnerunterstützte Montageplanung auch bei Kleinserienfertigern notwendig macht. Der wesentliche Anspruch an eine Computerunterstützung liegt somit in der Effizienzsteigerung und der Minimierung des Zeitaufwandes sowohl für die Planung an sich als auch für die Koordinierung und den Informationsaustausch [184].

Die genannten Punkte weisen demzufolge gewisse Grundanforderungen auf. Es sollte entsprechend dem Montagebedarf geplant werden können und die Planungsergebnisse müssen eine hohe Sicherheit aufweisen. Durch geringfügige Änderungen müssen schnell und sicher alternative Montageabläufe und -systeme planbar sein, die gegenübergestellt und bewertet werden können. Aufgrund der Gefahr von Kapazitätsengpässen müssen auch große Anforderungen an die Verteilung der Montageflächen gestellt werden. Aus der Zielsetzung und den bestehenden Defiziten lassen sich Anforderungen ableiten, die sowohl die Belange des Anwenders, den Blickwinkel der Planungsvorgehensweise als auch die Anforderungen von KMU an die Rechnerunterstützung berücksichtigen (s. Bild 15). Sicherlich gelten die Prinzipien der Aufgabenangemessenheit, Verständlichkeit jedes einzelnen Dialogschritts durch Rückmeldung, Steuerbarkeit, Erwartungskonformität, Fehlerrobustheit, Individualisierbarkeit sowie Unterstützung und Anleitung des Benutzers pauschal für alle Anwendungen in der Montageplanung, unabhängig von der jeweiligen Unternehmensgröße. Die Aufgabenbündelung und der Mehrfacheinsatz der Mitarbeiter in KMU verschärfen jedoch diese Forderungen nach ergonomischer und interaktiver Gestaltung der Software.

Der Bekanntheitsgrad der verfügbaren Spezialsoftware für Montageplanung ist in KMU oftmals nur gering. Außerdem sind diese Lösungen meist in der Handhabung zu kompliziert. In vielen mittelständischen Betrieben wird weiterhin in hohem Maße Standardsoftware genutzt. Auch die vorhandene Ausstattung an Rechnern ist durchgängig in Form von handelsüblichen PCs realisiert. Die eingesetzten Planungslösungen sollten folglich diese Plattformen nutzen. Dieses gilt es bei der Konzeption von neuartigen Planungssystemen zu berücksichtigen, da sonst eine große Umstellung der Planungsvorgehensweise notwendig wird, welcher viele Firmen skeptisch gegenüber stehen.



*Bild 15: Anforderungen an die Vorgehensweise und Rechnerunterstützung bei der Montageplanung für KMU*

Als Anforderung an zukünftige Entwicklungen bleibt festzuhalten, dass neben der Notwendigkeit von flexiblen, integrierten sowie leistungsstarken Funktionalitäten, eine anwenderfreundliche und transparente Gestaltung die wichtigste Voraussetzung ist. Die Planung soll dabei trotz allem erheblich von der Kreativität, den Erfahrungen und der Initiative des Planers geprägt sein. Dieser muss die Planungsaufgabe formulieren und im Hinblick auf einzelne Planungsergebnisse konkretisieren können. In vielen Unternehmen kann die sinnvolle Zusammenstellung und Erfassung der Eingangsdaten, sowie die Festlegung von Randbedingungen und Planungsszenarien nicht durch den Rechner vorgenommen werden. Die verstärkte Individualität der Fragestellungen und Probleme macht eine vollständige und ausschließlich rechnergestützte Planung kaum sinnvoll. Vielmehr muss die Integration von menschlicher Erfahrung und Kreativität, Rechnerleistung und Ergebnisvisualisierung zur Erzielung optimaler Planungsergebnisse weiter vorangetrieben werden [136]. Da die Konzeptionsphase im Rahmen einer Produktionsentwicklung die entscheidende Phase ist, ist eine Rechnerunterstützung vor allem in diesem Bereich anzustreben [31]. Durch die Unterstützung bereits in frühen Planungsphasen ergeben sich dabei Kontinuität sowie Sicherheits- und Zeitreserven bei der Umsetzung. Um den Planungsaufwand zu dezimieren, sollte die Änderungs- und Wiederholungsplanung systematisch genutzt werden.

Neben den die Montage betreffenden, spezifischen Randbedingungen nehmen auch allgemeine, das gesamte Unternehmen betreffende Aspekte ihren Einfluss auf die Montageplanung. Ebenso muss sich der momentane Entwicklungsstand vor Augen geführt und festgestellt werden, ob mit den vorhandenen Anlagen gearbeitet werden kann oder Neuinvestitionen nötig und möglich sind. Die Organisationsstruktur und die Qualifikation der vorhandenen Personalressourcen müssen ebenfalls berücksichtigt werden. Folglich gilt es, neben der passenden Montage- und Systemauslegung vor allem die Planungs-

gebiete der Montageorganisation und Logistik, der Personalplanung, aber auch die entsprechende Gestaltung von variablen Flächen zu betrachten. Für die Entwicklung einer speziellen Methodik zur Planung von Montagesystemen in kleinen und mittelständischen Unternehmen ist also eine an möglichst alle Anforderungen angepasste Beschreibungsmethode anzustreben, die durch Rechnerunterstützung ergänzt wird und durch die der Benutzer interaktiv geführt wird. Es ist es also notwendig, ein zeitbeständiges Planungssystem einzusetzen, welches individuell anpassbar, die steigende Leistungskomplexität und die finanzwirtschaftliche Situation der Unternehmen berücksichtigt. Dabei sind technisch komplexe Ansätze zu vermeiden und sogar die Integration in bestehende Rechnerumgebungen durch eine einfache Systemarchitektur und -administration zu unterstützen.

Inwiefern solche Methoden bereits bestehen und wie diese an die Anforderungen der KMU-Betriebe beziehungsweise der mitarbeitergerechten und hybriden Montage angepasst sind, wird im nächsten Kapitel geklärt.

### **3.5 Überblick über verschiedene Planungswerkzeuge und deren Bewertung unter dem Aspekt der KMU- und Mitarbeiterorientierung**

In der Literatur sind zahlreiche Ansätze und Methoden zur Planung von Montagesystemen beschrieben, die sehr unterschiedliche Zielsetzungen verfolgen. Sie unterscheiden sich vor allem in ihrer spezifischen Ausrichtung auf bestimmte Anwendungsgebiete, im Detaillierungsgrad und in der Unterstützung von organisatorischen Planungsaspekten.

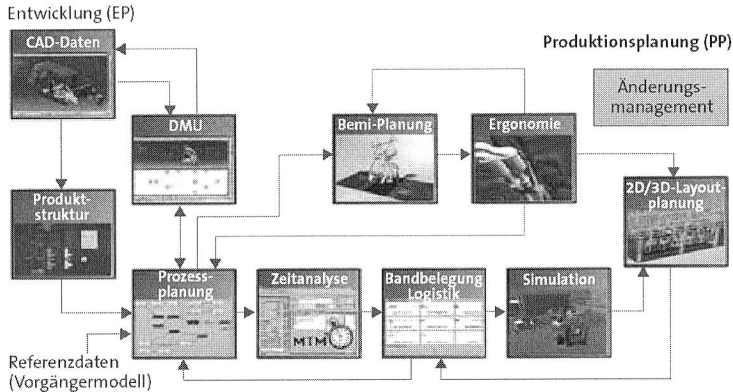
In den folgenden Abschnitten wird zuerst ein Überblick über die wichtigsten Methoden der Montageplanung dargestellt und anschließend eine Gegenüberstellung und Bewertung der Verfahren mit dem Fokus einer Eignung für kleine und mittlere Unternehmen bzw. für hybride Montagelösungen vorgenommen.

#### **3.5.1 Kommerzielle Ansätze zur Auslegung von Montagesystemen**

##### **Rechnergestützte Planungsinstrumente der Produktfamilie Delmia**

Bei Delmia handelt es sich um eine Produktfamilie, die ursprünglich aus dem Hochschulprojekt IAOMAS (Interaktive Oberfläche zur Planung und Gestaltung manueller Arbeitssysteme) entstanden ist und in der Gründung der Delta Industrie Informatik GmbH mündete. Durch die Fusion mit der Engineering Animation (EAI USA) wurde die EAI-Delta GmbH etabliert, welche anschließend durch Dassault Systèmes übernommen wurde und zur selbstständigen Delmia Corp. verschmolz.

Im Folgenden werden vom Planungssystem Delmia nur einige wichtige, für diese Arbeit relevante Planungswerkzeuge näher erläutert. In Bild 16 ist hingegen die durchgehende Digitalisierung des gesamten Produktentstehungsprozesses dargestellt. Diese Vision der oft zitierten „Digitalen Fabrik“ wird in naher Zukunft sicherlich nur bei Konzernen, Großunternehmen bzw. OEMs (Original Equipment Manufacturer) erreichbar sein. Für kleine und mittlere Unternehmen oder die Zulieferer der OEMs sind derartige Lösungen meist weder finanziell noch hinsichtlich verfügbarer Kapazitäten wirtschaftlich tragbar.



*Bild 16: Digitalisierung des gesamten Produktentstehungsprozesses in der Montageplanung durch den Einsatz von Delmia [8]*

Delmia umfasst in diesem Zusammenhang diverse Rechnerwerkzeuge zur Planung der Montageprozesse, der Prozessdetaillierung und -validierung sowie der Modellierung und Simulation (2D oder 3D) von Produktionsressourcen. Generell sind dabei Aufgaben der Produktstrukturierung, Betriebsmittelauswahl und Layoutgenerierung, Arbeitsplangestaltung, Zeit- und Kostenanalyse und die Generierung von Daten für die übergeordnete Produktionssteuerung mittels PPS in den jeweiligen Einzellösungen möglich. Die zentrale Einheit bei Delmia ist die sog. PPR-Datenbank (Produkt-Prozess-Ressource), welche einen durchgängigen Zugriff auf die Prozess-, Produkt- oder Ressourcendaten zulässt und somit Redundanzen in der Datenhaltung vermeidet, egal in welchem Rechnerwerkzeug die jeweiligen Daten geändert werden.

Das Planungswerkzeug Layout Planner umfasst bei Delmia ein Planungshilfsmittel zur Grob- und Feinplanung manueller Arbeitsplätze mit anschließender Zeitanalyse und Zeitabtaktung. Es ist aus verschiedenen Modulen z.B. für die Arbeitssystemplanung, die Arbeitsplatzgestaltung, die Ergonomieanalyse und die Zeitwirtschaft aufgebaut. Somit kann ein Montagesystem rechnergestützt und nahezu ganzheitlich geplant werden. Eine Lösungsbewertung erfolgt meist mittels einer Montagewertanalyse.

## TiCon

TiCon (Time Control for a better Workflow) ist ein System der MTM Vereinigung, das die Vorgabezeiten für manuelle Montageoperationen ermittelt [142]. Die Reihenfolgestruktur ist als Baum aufgeführt, die restlichen Interaktionen erfolgen über tabellarische Felder. Eine Anwendung im Bereich der automatisierten Montage ist allerdings nicht direkt angestrebt.

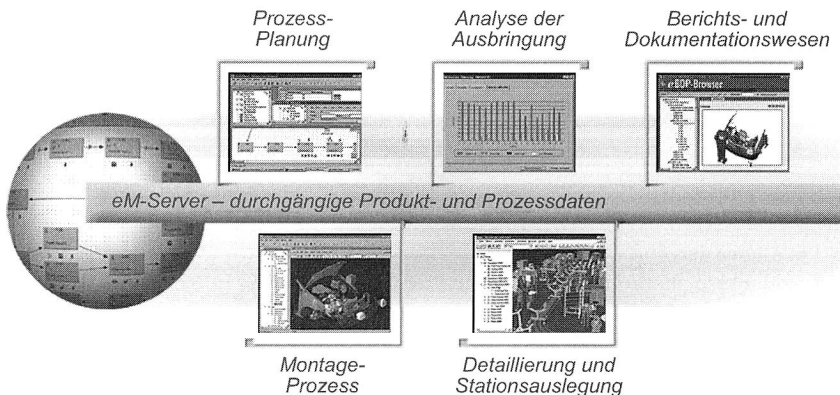
Mit dem Modul ‚Fertigungsplanung‘ können einzelne Zeitbausteine zu Arbeitsvorgängen zusammengefasst und daraus komplette Arbeitspläne generiert werden. Den Arbeitsvorgängen sind Kostenstellen zugeordnet, die unterschiedliche Zuschläge enthalten. Das Modul ‚Taktung‘ ermöglicht hingegen die gleichmäßige Verteilung komplexer Arbeitsinhalte auf Stationen bzw. Werker einer Montagelinie. Das Modul ‚APEX‘ ist weiterhin ein Expertensystem, das für die automatische Generierung von Arbeitsplänen

unter Berücksichtigung von Anforderungen der Arbeitsvorbereitung und der Zeitwirtschaft entwickelt wurde. Das Modul ‚Grundverfahren‘ basiert schließlich auf dem MTM-Grundverfahren und unterstützt damit Beidhand-Analysen.

## eMPower

eMPower aus dem Hause Tecnomatix erlaubt die Planung, Simulation und Verbesserung von Fertigungsprozessen. Durch ein Prozessdaten-Modell wird die Digitale Fabrik unter dem Stichwort ‚Manufacturing Process Management (MPM)‘ vernetzt. Die Einsatzbereiche umfassen die Planung einer gesamten Fabrik, einschließlich ihrer Fertigungslinien, -zellen und der dort durchgeführten Operationen. Die für die Auslegung und Planung von flexiblen, mitarbeiterorientierten Montagesystemen elementaren Einzelsysteme im eMPower-Verbund sind zum einen eM-Plant, zum anderen eM-Human.

eM-Plant ist ein Softwarepaket zur objektorientierten, grafischen und integrierten Modellierung, Simulation, Visualisierung und Optimierung von Produktion, Logistik und Geschäftsprozessen. Ein eM-Plant-Modell ist hierarchisch aufgebaut, so dass der Anwender schrittweise vom Gesamtprozess bis zum Einzelobjekt einer Prozesskette oder umgekehrt modellieren kann. eM-Plant umfasst Grund- und Analysebausteine sowie Funktionsbausteine für einzelne Produktions- und Industriebereiche [26].



**Bild 17:** Unterstützung des Lebenszyklus von der Prozessplanung und detaillierte Konstruktion bis zur Serienproduktion (nach [162])

Sehr komplexe Systeme können folglich in hoher Genauigkeit abgebildet werden. Die Softwareunterstützung ermöglicht es, ein komplettes Produktionswerk, sämtliche Abläufe in Fertigungslinien, Werkstätten, in einzelnen Arbeitszellen, bis hin zum Arbeitsschritt zu simulieren. Engpassanalysen zur Steigerung der Durchsatzmengen und Optimierung der Puffer sowie die Senkung von Durchlaufzeiten und Reihenfolge- oder Losgrößenoptimierungen finden hier Anwendung. Die Basissoftware eM-Plant ist durch weitere Softwareapplikationen modular erweiterbar. Dadurch können sehr schnell und einfach komplexe Modelle aus den unterschiedlichsten Bereichen entwickelt werden.

eM-Human stellt eine virtuelle 3D-Umgebung zur Verfügung, in der manuelle Operationen gestaltet und optimiert werden können. Umfassende Funktionen ermöglichen die



genaue Analyse des Arbeitsplatzes unter Beachtung der Taktzeit und der Ergonomie des spezifischen Umfeldes.

Allerdings ist es bei einem so großen Softwarepaket, ebenso wie bei Delmia, notwendig, einen derartigen Einsatz gut zu planen, um den erhöhten Finanz- und Betreuungsaufwand zielstrebig und dem Nutzen gerecht einzusetzen.

### 3.5.2 Forschungsansätze als Planungsmethoden

#### Rechnergestützte Planungskette des ifab

Am Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation (ifab) in Karlsruhe werden seit Anfang der neunziger Jahre rechnerunterstützte Planungswerkzeuge für die Montage entwickelt [185]. Ziel ist es dabei, durch eine Kette von Planungswerkzeugen den gesamten Prozess der Montageplanung zu unterstützen, angefangen mit der Erzeugniskonstruktion bis hin zur ergonomischen Arbeitsplatzgestaltung (s. Bild 18).

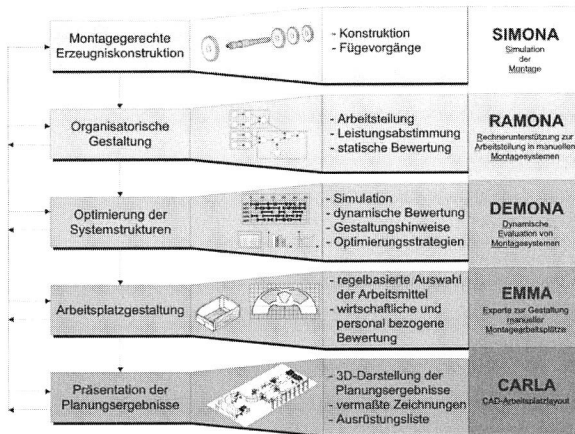


Bild 18: Rechnergestützte Planungskette [68]

Die logische Verkettung beginnt mit dem System SIMONA (Simulation in der Montage) in Form einer Unterstützung der montagegerechten Erzeugniskonstruktion, also der Konstruktion und des Zusammenbaus. Das System RAMONA (Rechnerunterstützung zur Arbeitsteilung in manuellen Montagesystemen) führt diesen Prozess fort und unterstützt die Planung manueller Montageanlagen bei der organisatorischen Gestaltung durch Simulation des Montageablaufs sowie durch die Betrachtung der Arbeitsplatzteilung, der Leistungsabstimmung und der statischen Bewertung. Daran anschließend kann die Systemstruktur durch das zentrale System DEMONA (Dynamische Evaluation von Montagesystemen) optimiert werden.

Mit Hilfe der Simulation ermöglicht dieses Planungsverfahren die Berücksichtigung von Gestaltungshinweisen und Optimierungsstrategien sowie die Möglichkeit zur dynamischen Bewertung (z.B. Durchlaufzeitverhalten von Montageaufträgen) eines Montagesystems. Als Gestaltungsparameter dienen dabei die Grobstruktur, die Montagekapazi-

tät, die Arbeitsteilung und die Leistungsabstimmung. Bewertet wird anhand der Kenngrößen Auslastung, Ausbringung, Durchlaufzeit, Termintreue und Auftragsbestand.

Anschließend erfolgt die Arbeitsplatzgestaltung manueller Arbeitssysteme mit dem Rechnertool EMMA (Experte zur Gestaltung manueller Montagearbeitsplätze) durch eine regelbasierte Auswahl der Arbeitsmittel und einer wirtschaftlichen sowie personalbezogenen Bewertung. Den Abschluss dieser Planungskette bildet die Präsentation der Planungsergebnisse mit Hilfe des Werkzeuges CARLA (CAD-Arbeitsplatzlayout) durch eine 3D-Darstellung und das Generieren bemaßter Zeichnungen und der Stücklisten.

DEMONA wurde speziell für die Belange von KMU-Betrieben konzipiert und besitzt nur geringe Hardwareanforderungen. Aufgrund der systematischen Unterstützung des Anwenders bei den verschiedenen Planungsschritten ist der Einarbeitungsaufwand gemäßigt. Diese Systeme sind jedoch ausschließlich für die Planung manueller Systeme entwickelt worden, eine Anwendung für automatisierte Bereiche ist nicht vorgesehen.

#### **Assembly Planning**

Hierbei handelt es sich um ein Montageplanungstool, dessen Ansatz auf mehreren Einzelaufgaben beruht. Die Vorgehensweise der Montageplanung erfolgt in drei Schritten. Ausgehend von einem Produkt werden die notwendigen Montageaufgaben ermittelt und dann in einem der Montagereihenfolge entsprechenden Ablauf angeordnet. Anschließend werden die Betriebsmittel zugewiesen. Zeitwerte für die Dauer einer Bearbeitungsaufgabe können gemäß MTM hinterlegt werden. Außerdem ist eine Funktion für die Austaktung der geplanten Anlage vorgesehen [54].

Das Softwaretool Assembly Planning wurde ursprünglich für UNIX-Rechner entwickelt. Eine Datendurchgängigkeit innerhalb des Systems oder eine Betrachtung des gesamten Montageplanungsprozesses ist nicht gewährleistet.

#### **KNOSPE**

Mit KNOSPE (Knowledge-based System Planning Environment) wurde am Institut für Produktionstechnik (wbk) in Karlsruhe ein prototypisches Planungswerkzeug konzipiert, das sich auf einen wissensbasierten Ansatz stützt und dabei auf eine modulare Systemarchitektur, eine hohe Flexibilität im Problemlösungsprozess und eine starke Benutzerinteraktion abzielt. Das System gliedert sich in die drei Hauptkomponenten Wissensrepräsentation, Planungsmechanismus und die Benutzerinteraktion (s. Bild 19).

Die Wissensrepräsentation dient der Abbildung von Planungswissen aus dem Problem-bereich. Ihre Komponenten sind die Wissensbasis und die Planbeschreibung. Der Planungsprozess ist dabei durch eine ständige Interaktion der Prozesse sowohl untereinander als auch mit dem Benutzer geprägt.

KNOSPE ist aus dem Vorgängermodell SYLLOGIST entstanden und speziell auf das Gebiet der Produktionstechnik zugeschnitten. Dadurch ist es möglich, generisches Basiswissen über technische Sachverhalte und Beziehungen darzustellen. Ferner kann dieses Wissen sowohl durch sachbezogenes als auch vorgehensbezogenes Wissen ergänzt werden.

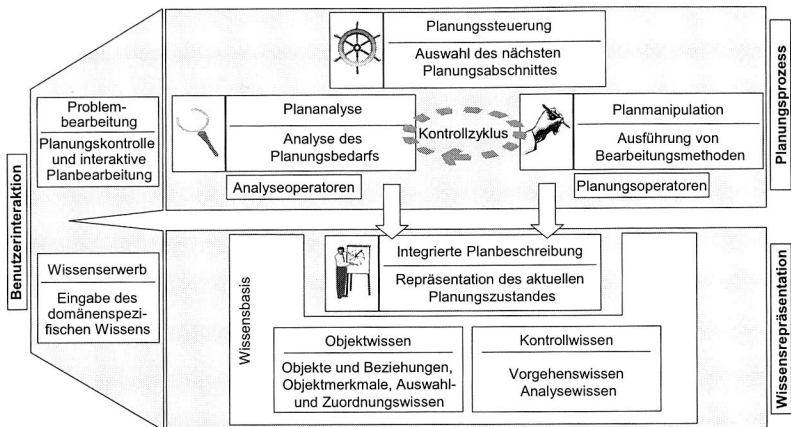


Bild 19: Konzept des Rechnersystems KNOSPE [52]

Der Planungsprozess soll durch merkmalsorientierte und vorgehensorientierte Kontrolle flexibel abgearbeitet werden und effizient ablaufen. Dies wird durch die Möglichkeit der direkten Eingabe von Teillösungen bei der interaktiven oder durch die Einbringung von explizitem Vorgehenswissen bei automatischer Bearbeitung sichergestellt. Letztendlich soll der Grad der Systemunterstützung frei wählbar sein [52]. Die Analyse dieses Planungsablaufs sieht auch das Erkennen von Schwachstellen und eine Konfliktbearbeitung vor. Eine Datendurchgängigkeit wird gewährleistet. Aufgrund seiner Komplexität als formal-wissenschaftlich aufgebautes Werkzeug dürfte jedoch ein erhöhter Einarbeitungsaufwand zu erwarten sein.

## KOMPASS-2

Das Planungssystem KOMPASS-2 (Konstruktions- und MontagePlanungssystem) baut auf dem vorher beschriebenen System KNOSPE auf. Aufgabe des Systems ist die Unterstützung einer kostenorientierten, simultanen Durchführung des Produktentwicklungs- und Montageentstehungsprozesses. Als Basis hierfür wurde ein Kostenmodell entwickelt, das „die Ermittlung variantenverursachter Kosten mit dem Schwerpunkt der Montage erlaubt und den Bezug zu produktgestalterischen Entscheidungen auf den Ebenen des Produktspektrums, des Erzeugnisaufbaus, der Verbindungstechnologie und der Bauteilgestaltung herstellt“ ([11], S. 176). Grundlage dieses Konzeptes bildet ein wissensintegriertes Produktmodell. Dieses setzt sich aus den Komponenten Geometrie-, Produktstruktur-, Montagetechnik-, Funktions-, Prozess- und Kostenmodell zusammen. Zur Unterstützung eines variantenorientierten Entwurfsprozesses werden Verfahren zur Darstellung der Produktvarianz bereitgestellt. Die Beschreibung der Verbindungstechnik wird durch einen interaktiven Editor unterstützt.

Neben geometrischen Restriktionen werden dabei auch technologische Randbedingungen und Abhängigkeiten ausgewertet sowie eine Prüfung der Montierbarkeit und der Baugruppenstabilität durchgeführt. Anschließend erfolgen eine Generierung des Montageprozesswissens und die Detaillierung der Vorgangbeschreibungen sowie eine Auswahl der prinzipiell geeigneten Betriebsmittel. Die Zeiten, die zur Durchführung be-

stimmter Operationen nötig sind, können modellbasiert mit Hilfe von Simulationsverfahren oder auf Basis statistischer Verfahren ermittelt werden. Außerdem ist es möglich, eine Abschätzung der Montagekosten durchzuführen [11]. Nachteilig wirkt sich allerdings die Notwendigkeit einer expliziten Dateneingabe für alle Planungsobjekte aus. Die Detailplanung von Montagebewegungen sowie die Simulation von Werkern oder automatisierten Betriebsmitteln werden nicht unterstützt.

#### **Methode nach Seliger/MOSYS**

Bei der integrierten Montageplanung nach Seliger steht die Ablauforganisation innerhalb der Montage im Vordergrund. Voraussetzung ist, dass das Produkt bereits konstruiert ist. Zu Beginn findet eine produktbezogene Beschreibung des Montageablaufs durch die Standardfunktionen Bearbeiten, Montieren, Fördern, Prüfen und Liegen statt. Für jede Funktion muss ein geeigneter Funktionsträger, also ein Betriebsmittel gefunden werden. Die Produktionsanlagen der Montage werden dabei um das Produkt herum geplant. Die Beschreibung der Montageabläufe erfolgt zunächst neutral nach Maßgabe der Stücklisten im Vorranggraphen.

Diese Vorgänge werden durch das Planungswerkzeug MOSYS (Modellierungssystem) unterstützt. Ermöglicht wird dadurch eine Layoutplanung für Montagezellen, wobei es im Wesentlichen um die technische Durchführbarkeit der Montageaufgabe geht. Weiterhin werden Ansätze für Kostenanalysen geliefert [146]. Eine Bewertung, das Erstellen von Alternativen oder sonstige Bewertungskriterien werden jedoch nicht konkret beschrieben. Angaben über die technischen Voraussetzungen werden ebenfalls kaum gemacht. Inwieweit es auf die Belange der KMU-Betriebe und die sonstigen Anforderungen ausgelegt ist kann nur schwer konkretisiert werden. Allerdings besteht die Möglichkeit, es in diesem Rahmen zu nutzen.

#### **Methode nach Deutschländer**

Der Planungsansatz von Deutschländer stellt eine fein strukturierte, siebenstufige Systematik für die ganzheitliche Montageplanung dar. Diese Systematik enthält sieben Hauptfunktionen (s. Bild 20) mit Unterfunktionen, deren 78 Arbeitsschritte abgearbeitet werden müssen. Ergibt sich am Ende des Planungsablaufes keine zufrieden stellende Lösung, so muss durch Wiederholung des gesamten Verfahrens oder einzelner Arbeitsschritte eine Verbesserung herbeigeführt werden. Diese Planungsmethode entspricht somit einem iterativen Prozess unter Einbeziehung der Forderungen des Pflichtenheftes und neuer Erkenntnisse. Die Montageablaufplanung selbst wird in die Teilschritte Analyse der Kontaktfläche und Fügepartner, Bestimmung des Basisteils, Erarbeitung von Montageteilaufgaben, Ermittlung der Basisteilorientierung und Abschätzung der Montagezeit gegliedert.

Deutschländer sieht für seine Planungssystematik eine Rechnerunterstützung vor, die den Benutzer interaktiv auf Basis methodenorientierter Werkzeuge unterstützt. Hauptkomponenten dieses Systems sind die Systembeschreibung, die Montageablaufplanung, die Lösungssuche sowie die Konkretisierung und Verbesserung der Prinziplösung. Als Ergebnis der Planungsarbeiten ist ein rechnergestützt entwickeltes Modell des zu realisierenden Montagesystems zu erwarten, welches sowohl die Aufgabe als auch die zur Automatisierung erforderlichen Betriebsmittel enthält [24].

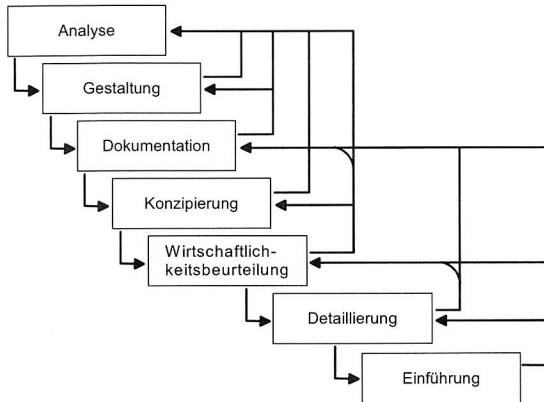


Bild 20: Systematik für Montageplanungen [24]

### Methode nach Schuster/COSEM

Durch organisatorische Integration sowie Aufgaben- und Rechnerintegration hat Schuster Voraussetzungen für ein simultanes Planungswerkzeug und somit die Integration von Produktkonstruktion und Montage in den gesamten Planungsprozess geschaffen. Die Methode besteht aus drei Blöcken, der vorläufigen Montageprozessplanung sowie einer groben und feinen Montageprozess- und -systemplanung. Diese Planungsabschnitte werden zeitlich nach den Konstruktionsphasen eingeordnet (s. Bild 21).

Zuerst werden bei der Prozessplanung die Einzelvorgänge und die mögliche Montage Reihenfolge ermittelt, wobei bereits Primärkomponenten (z.B. Greifer, Werkstückträger etc.) berücksichtigt werden. Anschließend wird die Ablaufplanung in einer Ablaufstruktur und in der 3D-Simulation vorgenommen. Während der Systemplanung erfolgt anhand von möglichen Systemstrukturen und den Produktdaten eine konkretere Planung und Analyse der ermittelten Abläufe, wobei Sekundärkomponenten (nicht direkt mit dem Produkt in Berührung kommende Betriebsmittel) ausgewählt werden und die Layoutplanung durchgeführt wird. Die Bewertung alternativer Montagesysteme erfolgt schließlich nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien.

Eine Unterstützung der verschiedenen Planungsbereiche erfolgt durch die Implementierung des rechnergestützten Werkzeuges COSEM (Computerunterstützte strukturierte Entwicklung von Montagesystemen). Dieses besteht aus den Modulen Komponentenkatalog, Montageprozess- und Montagesystemplanung, Dokumentation und Information sowie Kalkulation und Investitionsrechnung [144]. Die Funktionen zur Dokumentation und Information und damit die Aufbereitung beziehungsweise das Festhalten von Planungs- und Montagewissen bleiben weiterführenden Arbeiten vorbehalten. Angaben über technische Anforderungen werden nicht gemacht.

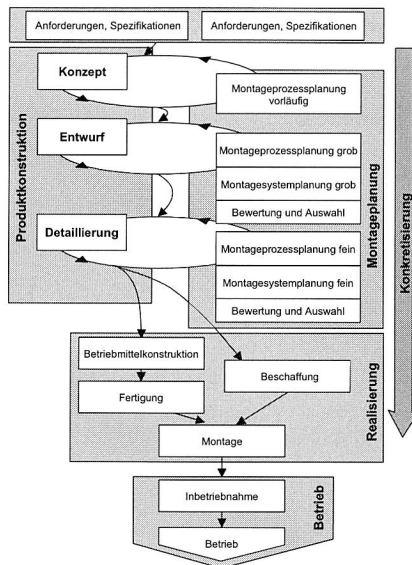


Bild 21: Planungsmethode nach Schuster

### Methode nach Feldmann C. (CosMonAut)

Feldmanns Konzept ist eine Methode zur durchgängig integrierten, rechnergestützten Montageplanung und als direkte Fortführung der Arbeit von Schuster [144] zu sehen. Als Ergebnis ist eine Fünf-Schichten-Methode in Form eines Baukastens zur Montageplanung mit folgenden Ebenen entstanden:

1. Analyse
2. Planung mit Produktstruktur
3. Planung mit Einzelgeometrie
4. Planung mit Zusammenbauzeichnung
5. Planung mit den vollständigen Produktdaten

Zugrunde liegt eine Montageplanungsmethode, welche in Abhängigkeit von Teilergebnissen aus der Konstruktion und den bereits innerhalb der Montageplanung erzeugten Daten jeweils methodisch unterstützte Arbeitspakete für den Planer vorsieht. Die einzelnen Planungsaufgaben sind miteinander vernetzt und somit nicht sequentiell aneinander gereiht. Werden die Ergebnisse der einzelnen Schritte zusammen genommen, ergibt sich ein Modell, das die Durchgängigkeit der Planung gewährleistet. Die einzelnen Schichten sind dadurch charakterisiert, dass sie sich bis zum Ende des Planungsprozesses durchziehen, wodurch der Montageplaner immer in mehreren Schichten gleichzeitig arbeiten kann. Es sind auch Rücksprünge zu vorher bearbeiteten Aufgaben möglich, die dann schichtübergreifend erfolgen [32].

Aufbauend auf der Basis des Planungskonzeptes wurde das rechnergestützte, objekt-orientierte System CosMonAut (Computersystem zur Montage-Automatisierung) entwickelt, das den Planer bei der methodischen Montageplanung unterstützen soll. Dieses

Rechnersystem soll die Erzeugung eines Modells der Montageanlage in einer einheitlichen Planungsumgebung ermöglichen. Die Daten werden dabei in einer zentralen Datenbank verwaltet. Dabei findet der Planer Unterstützung bei der Erstellung der Anlagenstruktur und bei der Bewertung von Varianten unter Zuhilfenahme von Analysewerkzeugen für Zeiten und Kosten. Allerdings werden die Phasen der Realisierung und Inbetriebnahme der Montageanlage ausgegrenzt.

### Methode nach Rampersad

Bei dieser Methode erfolgt die Entwicklung einer neuen Montageanlage basierend auf einer bereits existierenden Produktidee. Es wird eine Vorgehensweise beschrieben, die eine gleichzeitige Gestaltung von Produkt, Prozess und robotergestütztem Montagesystem fordert. Diese sind die so genannten Variablen des integralen Montagesystems. Dabei wird jede Variable in drei Ebenen unterschiedlicher Abstraktion zerlegt. Der Abstraktionsgrad nimmt von außen nach innen ab (s. Bild 22). Die Beziehung zu den Elementen der anderen Variablen kann in jeglicher Kombination stattfinden, wobei die wirkungsvollste Verbindung auf der gleichen Stufe der Abstraktion existiert.

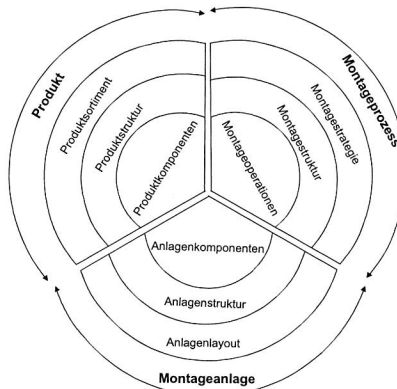


Bild 22: Das Integrale Montagemodell (nach [116])

Für das Produkt und somit auch für die Planung des Montageprozesses sind sieben Planungsschritte vorgesehen, die auf dem Schnittpunkt der Spirale mit der Achse des Produktes vermerkt sind. Die verschiedenen Punkte sind abzuarbeiten. Somit werden zwar das Produkt, der Montageprozess und die Montageanlage als gleichwertige Planungsgrößen dargestellt, der Ansatz geht allerdings immer von einem vorgegebenen Produkt aus. Die Rechnerunterstützung beschränkt sich weiterhin auf die Ablaufsimulation. Die Punkte Realisierung und Operationalisierung werden nicht beachtet. Aus diesem Grund liegt kein ganzheitliches Montageplanungswerkzeug vor.

### Methode nach Scholz

Die Verfahrenskette der Planung selbst unterteilt sich in eine Grobplanungsphase und eine Feinplanungsphase (s. Bild 23). Innerhalb der Phasen ist ein iteratives Vorgehen möglich, der Übergang zwischen den Phasen verhindert jedoch eine Rückwirkung der Detailplanung auf die vorangegangenen Schritte.

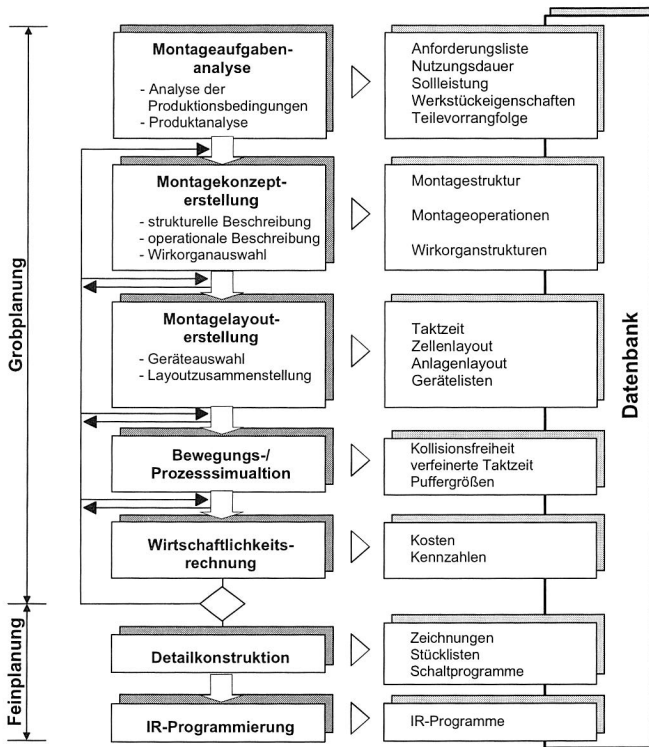


Bild 23: Ablauf der systematischen Montageplanung [141]

Die Klärung der Montageaufgabe umfasst die Analyse der Produktionsbedingungen, um die Anforderungen an die zu planende Montageanlage ableiten zu können. Durch die Betrachtung des Produktes können vor allem Informationen über die mögliche Reihenfolge der Montage erarbeitet werden. Die Produktanalyse stützt sich auf die Anwendung von CAD-Systemen, wobei direkt auf die Daten der Konstruktion aus der Datenbank zugegriffen wird. Die Analyse der Produktionsbedingungen dagegen erfolgt anhand der Daten aus dem PPS-System (Produktionsplanung und Steuerung).

Aufbauend auf einem Teilevorranggraphen für eine ausgewählte Montagereihenfolge erfolgt die strukturelle Beschreibung der Montage. Zweck der nachgeschalteten Montagelayouterstellung ist die Gestaltung der Montageanlage unter Verwendung vorangegangener Ergebnisse. In weiteren Arbeitsschritten folgt die dynamische Ablauf- und Bewegungssimulation. Die Grobplanungsphase schließt mit einer Wirtschaftlichkeitsrechnung. Die Feinplanungsphase umfasst die Detailkonstruktion der Betriebsmittel sowie die Roboterprogrammierung [141]. Aufgrund der Ausrichtung auf automatisierte Anlagen kommt das System nicht unbedingt für KMU-Betriebe in Frage. Ansätze können jedoch entnommen werden. Die Sicherung von Erfahrungswissen sowie die Gelegenheit zur interaktiven Kommunikation im Rahmen der Montagekonzepterstellung werden nur angedeutet.



## Methode nach Bullinger

Bullinger hat für die systematische Montageplanung eine ausführliche Richtlinie entwickelt, die alle Aufgaben, inklusive der Projektorganisation, beinhaltet (s. Bild 24). Er beschreibt dabei ein strukturelles Vorgehen, bei dem ausgehend von einem Pflichtenheft mit allen Anforderungen an das Gesamtprojekt, zunächst Prinziplösungen konzipiert werden. In der folgenden Ablaufplanung wird die Erzeugnisstrukturierung vorgenommen und der Montageablauf ermittelt. Der Montagesystementwurf beinhaltet die Aufteilung der notwendigen Aufgaben auf die Arbeitsplätze und schließt mit der Layoutgestaltung ab. Weiterhin werden die Aufgaben der einzelnen Montagestationen ausgearbeitet. Schließlich erfolgt die Realisierung und Inbetriebnahme, die sich fortführend mit dem Controlling und mit Rationalisierungsmethoden beschäftigt.

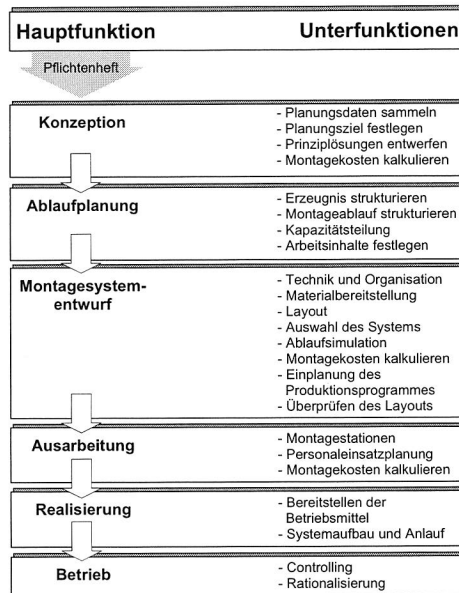


Bild 24: Phasen der Montageplanung nach Bullinger [14]

Ein fester Bestandteil in dieser Planungsmethode sind die regelmäßige Kalkulation der voraussichtlichen Montagekosten und eine technische sowie wirtschaftliche Bewertung der Ergebnisse. Außerdem fordert Bullinger einen parallelen Ablauf von Konzeptionsphase und Produktkonstruktion, geht jedoch nicht weiter darauf ein [15]. Eine Rechnerunterstützung ist nicht vorgesehen. Eine Datendurchgängigkeit über alle Planungsschritte wird nur teilweise erfüllt. Der Einarbeitungsaufwand dürfte gering sein, da der Benutzer durch eine strukturierte Vorgehensweise durch die Planung geführt wird.

## Integrierte Vorgehensweise bei der Systemplanung (iwb)

Für die Planung stückzahlflexibler Montage- und Logistiksysteme wurde am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb) in München eine integrierte Vorgehensweise entwickelt, die auf den Planungsphasen üblicher Vorgehensweisen,

wie der von Bullinger, aufbaut. Dazu wurden die Vorgehensweisen zur Montage- und Logistikplanung um eine neue Phase der Flexibilitätsplanung erweitert (s. Bild 25). Die einzelnen Planungsphasen und -schritte speziell bei der Flexibilitäts- und Grobplanung werden iterativ durchlaufen.

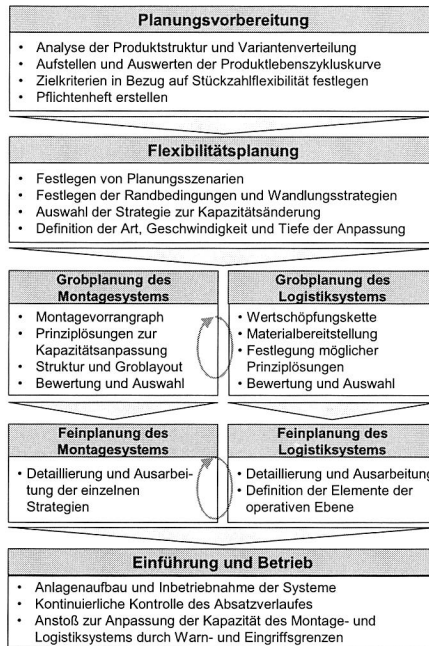


Bild 25: Übersicht über den Planungsablauf [125]

Auf eine genauere Beschreibung der einzelnen Arbeitsschritte aller Planungsphasen wird an dieser Stelle verzichtet, da es sich um allgemein bekannte Aufgaben handelt, und diese in vielen der anderen beschriebenen Methoden zu finden sind.

Für die Phase der Flexibilitätsplanung gilt allerdings zusätzlich, dass bereits in der Planungsvorbereitungsphase ein zusätzlicher Arbeitsschritt, nämlich die Ermittlung des Absatzverlaufs in Bezug auf den gesamten Produktlebenszyklus sowie der mittel- und kurzfristigen Absatzverhalten, notwendig ist. Durch die Analyse des Produktlebenszyklus werden Anforderungen an die Kapazitätsflexibilität, die notwendige Reaktionsgeschwindigkeit sowie die Tiefe der Kapazitätsanpassung ermittelt. In einem weiteren Schritt sind Planungsszenarien auf Basis des Produktlebenszyklus und des Prognoseabweichungskorridors festzulegen, die einen bestimmten Kapazitätskorridor zu einem definierten Zeitpunkt beschreiben. Diese Planungsergebnisse bilden die Voraussetzung, um die Planungsrandbestimmungen und die Wandlungsstrategie bestimmen zu können. Aufgrund dieser integrierten Planungssystematik entsteht ein aufeinander abgestimmtes Montage- und Logistiksystem mit einer auf Basis eines prognostizierten Absatzverlaufes eingeplanten, angepassten Systemflexibilität.

## Methode nach Cuiper

Bei Cuiper erfolgt die Umsetzung der Planung in einer vierstufigen Methode (s. Bild 26), die produkt- oder anlagengetrieben ablaufen kann. Durch den gestuften Aufbau der Planungssystematik und mögliche Iterationsschleifen wird eine fortschreitende Detaillierung der Montagevorgangsbeschreibung gewährleistet. Ausgehend von der Festlegung der Struktur werden anschließend die einzelnen Teilvorgänge geplant. Diese Unterteilung fördert das strukturierte Vorgehen und unterstützt die Vollständigkeitsprüfung. Als nächstes erfolgt die Synchronisation der Teilschritte. Mit dem Beginn der Produktion wird die Planung des Montagevorganges beendet.

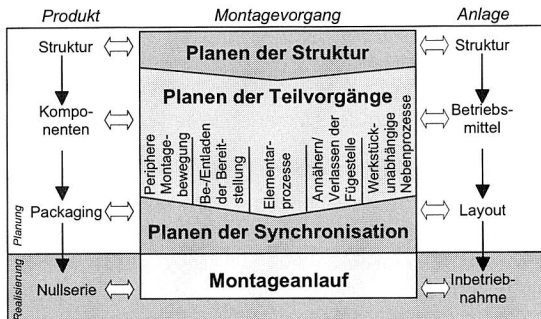


Bild 26: Arbeitsschritte bei der Gestaltung des Montagevorganges [19]

Für die Umsetzung der Vorgehensweise zur rechnergestützten Montageplanung und Steuerung dient als Basis das Rechnersystem CosMonAut [32]. Dieses System wurde durch verschiedene Erweiterungen den gestellten Anforderungen angepasst. Zusätzliche Editoren zur Planung und Analyse für den Steuerungsablauf von detaillierten Montagevorgangsbeschreibungen erlauben eine graphisch-interaktive Gestaltung des jeweiligen Petri-Netzes und die Zuweisung der Steuerungsbefehle. Die Kommunikation mit den simulierten, bzw. realen Komponentensteuerungen erfolgt dabei über eine CORBA-Schnittstelle. Für den Datenaustausch mit den übergeordneten Leitschichten der Auftragssteuerung wurde eine Anbindung an ein PPS-System realisiert, in das der Arbeitsplan transferiert werden kann. Dadurch können die Planungsdaten für den operativen Betrieb weiterverwendet werden. Aufgrund der speziellen Ausrichtung auf automatisierte Montageanlagen ist eine Anwendung in Bezug auf manuelle, bzw. hybride Montage nicht in ausreichendem Maße gegeben.

## Methode nach Jonas

Jonas hat in seiner Arbeit eine Methode für eine durchgängige Planung von Montageanlagen entwickelt. Ziel ist es, der starken Verkürzung der Produktentwicklung durch den Einsatz von Rechnerunterstützung gerecht zu werden. Dabei leitete er detaillierte Anforderungen an eine effiziente Rechnerunterstützung ab. Diese Planungsmethode sieht eine Parallelisierung von bisher sequentiell ablaufenden Arbeitsprozessen und somit auch die Planung mit unvollständigen und unsicheren Informationen vor [70]. Mit Hilfe eines effizienten, rechnergestützten Änderungsmanagements kann ein Abgleich neuer Eingangsinformationen mit bisherigen Planungsergebnissen erfolgen, wodurch

ein Änderungsvorrat und eine schrittweise Einarbeitung der Änderungen geschaffen wird.

Das zugrunde liegende Datenmodell ist in die Hauptklassen Produkt (geometrische Form und Dimensionierung), Vorgang (Verwaltung der Montagevorgänge), Ressource (Verwaltung der Montageanlagen und deren Komponenten) sowie Verbindungsinformation (Informationen über die Technologie) unterteilt. Durch diese Klassen sollen die Inhalte der Montageplanung sowie Planungsalternativen, -varianten und -versionen vollständig abgebildet werden. Zur schnellen Abbildung der Planungsinhalte im Datenmodell wird der Planer durch verschiedene Funktionen von redundanten Tätigkeiten (z.B. die Erstellung und Überprüfung der Planungsdaten, die Übernahme bereits bestehender Planungsinhalte oder kompletter Strukturen aus vorangegangenen Arbeitsschritten) entlastet. Ferner stehen Funktionen zur Erstellung von Arbeits- und Prüfanweisungen zur Verfügung. Eine genaue, strukturierte Vorgangsbeschreibung wird bei Jonas jedoch nicht gegeben, was die Beurteilung der einzelnen Kriterien erschwert.

#### **Methode nach Simon/CAPAS**

Simon hat eine Systematik zur ganzheitlichen, rechnergestützten Planung von hybriden Montageanlagen für die variantenreiche Serienmontage entwickelt, die mit dem datenbankgestützten System CAPAS (Computer Aided Planning for Assembly Systems) arbeitet. Diese Methode unterstützt den Übergang von einer sequenziellen Vorgehensweise zum Simultaneous Engineering und bringt auch den Gedanken der Qualitätssicherung in den Planungsprozess mit ein. Der Prozess lässt sich in mehrere Planungsphasen einteilen, wobei dieser Ansatz von der top-down-Vorgehensweise geleitet wird. Die einzelnen Arbeitsschritte werden iterativ durchlaufen. Abhängig von der Komplexität der Planungsaufgabe finden alle oder nur einige Schritte Anwendung. Die Planungsaufgaben werden fast vollständig mit Hilfe eines CAD-Systems ausgeführt. Für das modular aufgebaute Programmsystem sind verschiedene Softwarekomponenten nötig.

Eine kritische Beurteilung und damit Absicherung der Montageprozesse wird durch die Prozess-FMEA erreicht, mit der bereits bei der Produktkonstruktion zu beginnen ist. Die Ausgabe eines Vorranggraphen dient zur Überprüfung des Prozesses nach Eingabe der Montageplandaten. Sind auch die Vorgangszeiten aus dem Montageplan eingegeben, ist eine Abtaktung möglich. Aus diesen Daten wird mit Hilfe von CAPAS ein Anlagen-Layout generiert, das sowohl die Materialbereitstellung als auch die Auswahl eines geeigneten Transfersystems berücksichtigt. Eine Kontrolle des geplanten Vorganges kann mit einer Simulationsstudie durchgeführt werden. Neben der Ausgabe des Montageplans besteht auch die Möglichkeit zur Erstellung von Pflichtenheften. In weiteren Arbeitsschritten kann zur Bewertung der verschiedenen Planungsalternativen ein Programmmodul für eine Nutzwertanalyse sowie für eine Wirtschaftlichkeitsberechnung zum Einsatz kommen [148]. Bei der Aufnahme grundlegender Planungsdaten wird der Benutzer von einer praxisorientierten Systematik geführt, was den Einarbeitungsaufwand in dieses System minimiert.

#### **Methode nach Zeile**

Das Systemmodell in dem Planungswerkzeug zur Strukturplanung hybrider, flexibler Montagesysteme für die variantenreiche Serienmontage von Zeile besteht aus drei Teilmodellen. In dem Produktmodell sind alle notwendigen Eingangsinformationen in

der für die Montagestrukturplanung geeigneten Form enthalten, während das Montagestrukturmodell die entsprechenden Ergebnisse beinhaltet. Im Vorgehensmodell sind die Vorgehensweise und das Verfahren hinterlegt.

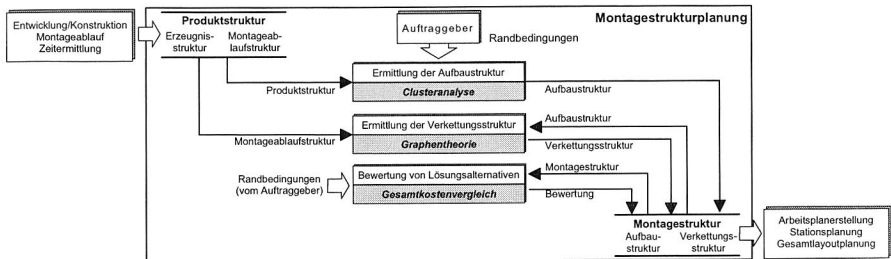


Bild 27: Modell zur Planung der Montagestruktur [184]

Die Vorgehensweise bei der Planung gliedert sich wiederum in drei Teilaufgaben (s. Bild 27). Zuerst werden ausgehend von einer detaillierten Beschreibung der Erzeugnisstruktur, den Teilestammdaten, der Teileverrichtungen aus der Produktstruktur und den Montageablaufstrukturen die Arbeitsinhalte der verschiedenen Arbeitsplätze definiert und die Aufbaustruktur des Montagesystems festgelegt. Dies geschieht mit einer Clusteranalyse. In der zweiten Teilaufgabe wird basierend auf den Verfahren der Graphentheorie die Verkettungsstruktur ermittelt. Dazu sind die Ergebnisse aus der ersten Teilaufgabe notwendig. Mittels der Erzeugnis- und Ablaufstruktur wird die Verknüpfung von Vor- und Endmontagen bestimmt, woran anschließend die überflüssigen Verkettungsabschnitte wieder entfernt werden. Damit ist die Bestimmung der Hauptmerkmale der Verkettungsstruktur möglich. Dazu gehört die Anordnung der Materialflussknoten, die Festlegung der Anordnungsstruktur sowie des Transfer- und des Materialflussprinzips. Zuletzt wird die Anordnung und eine ungefähre Dimensionierung von Puffern durchgeführt. Im letzten Schritt erfolgt mit Hilfe eines Gesamtkostenvergleichs eine Bewertung der Lösungsalternativen. Diese beruht auf den im Montagemodell festgelegten Strukturen. Für die am besten geeignete Lösungsmethode schließt dies sowohl eine Berechnung der Investitions- als auch der Betriebs- und Instandhaltungskosten mit ein. Eine prototypische Umsetzung in ein Rechnerwerkzeug mit graphischer Oberfläche ist erfolgt, wobei eine zentrale Datenbank das große Datenvolumen verwaltet.

### Methode nach Bick/PLUTO

Diese Planungsmethode soll speziell auf die Belange der Grobplanung hybrider Montagesysteme ausgerichtet sein. Wesentliche Elemente sind die Definition der Systemstruktur sowie die Ermittlung der unter wirtschaftlichen und technischen Gesichtspunkten optimalen Systemkomponenten. Mit einem top-down-Ansatz werden die Teilsysteme der Montage und die Prozesse bestimmt. Dagegen erfolgt die Stationsbildung mit einem bottom-up-Ansatz. Die Methode gliedert sich in die Abschnitte Vorbereitungsphase, Entwicklung der Prozesssystemlösungen und Synthese von Teilsystemen.

Zur Durchführung der Stationsbildung wurde eine Rechnerunterstützung realisiert. Mit dem Programm PLUTO (Planungs-Unterstützendes Software Tool) sollen alternative Stationskonfigurationen ermittelt und die vorteilhafteste davon umfassend beschrieben werden. Dazu muss neben der Ermittlung der zu realisierenden Prozesssystemlösung

auch die Berücksichtigung unterschiedlicher Formen der Mengenteilung erfolgen. Als zu verarbeitende Eingangsdaten werden die in einem Teilsystem zu montierenden Baugruppenvarianten und die umfassende Beschreibung der Prozesssystemlösung genannt. Die erreichbaren Systemkonfigurationen können bewertet und in einer Ergebnisdatei gespeichert werden. Für die Ergebnisdarstellung wird auf die graphische Variante verzichtet. Dagegen sind die relevanten Informationen in Textform dokumentiert. Ferner sind, aufgeschlüsselt nach den möglichen zeitlichen Prozessabfolgen, die zu jeder Variante zulässigen Stationsaufteilungen dargestellt [12].

### **Virtuelle Realität für die Planung von manuellen Montagetätigkeiten**

Es existieren Ansätze, die virtuelle Realität (VR) für die Planung manueller Montagetätigkeiten anzuwenden. Einige davon eignen sich prinzipiell für die Montageplanung im Bereich der KMU-Betriebe. In einer Studie von Heger ist dabei ein Montageplanungssystem zur interaktiven Gestaltung und Auswertung von manuellen Tätigkeiten beschrieben [57]. Dies ermöglicht dem Planer, Produkte unter Berücksichtigung eingeschränkter Raumbefreiheit virtuell in Echtzeit zu montieren und demontieren. Zur realistischen Durchführung wurden neben den virtuellen Bauteilen auch virtuelle Verbindungselemente und Betriebsmittel zur Verfügung gestellt. Die Interaktion mit den Montageobjekten erfolgt entweder mit konventionellen 3D-Interaktionsgeräten oder dem virtuellen Menschmodell. Auf Basis von Grunddaten des Produktes durch Übernahme virtueller Prototypen und die Abbildung der realen Produktionsbedingungen sowie vorbestimmter Zeiten durch vorherige interaktive Durchführung der Montageaufgaben und deren zeitlicher Auswertung, wird ein Teileverrichtungskonzept entwickelt. Danach folgt interaktiv die Ermittlung des Montagevorgangsplans, der die reale Produktionsumgebung berücksichtigt. Die Ergebnisse werden für weitere Planungsschritte zur Verfügung gestellt, wodurch eine gute Datendurchgängigkeit der Planung gewährleistet wird. Die für diese Methode entwickelten Algorithmen wurden prototypisch in Form eines Rechnerprogramms umgesetzt.

Der Einsatz VR erweist sich auch für die Belange der KMU-Betriebe als ein zukunftsträchtiges Planungsinstrument. Es lässt sich vor allem dann verwirklichen, wenn die Konzeption unter Nutzung von PC-Plattformen ermöglicht wird. Vorteile im Vergleich zu größeren Systemen bieten neben den geringen Investitionskosten auch die einfache Administration von Soft- und Hardware. Des Weiteren verspricht der Transfer aus den Entwicklungslabors in die Industrie durch die Kopplung von Simulationssystemen und Maschinensteuerungen an die VR einen Mehrwert für den Anwender. VR in KMU-Betrieben ist also eher als Unterstützungsfunktion bei der Planung und Entwicklung von Prozessen und Anlagen in Betracht zu ziehen [173].

### **3.5.3 Ausrichtung und Anpassung der Planungswerkzeuge auf KMU- und Mitarbeiterorientierung**

Die Systeme haben alle verschiedene Vorteile und unterschiedliche Herangehensweisen. Es sind auch ungleiche Standards gefordert, was die Rechnerausstattung betrifft. Es gilt nun zu überlegen, welche Systeme für KMU am ehesten geeignet sind bzw. wie sich einzelne am besten an die spezielle Situation von KMU anpassen lassen.

Der Fokus der Planungskette des ifab liegt generell auf manuellen Montagesystemen. Damit ist dieses System auf die Interessen der KMU-Betriebe ausgerichtet. Allerdings handelt es sich um ein Expertensystem, was den Einsatz in dieser Art von Unternehmen selten nahe legt. Die Problematik der Handhabbarkeit liegt im Aufwand von Kosten zu Nutzen. Wird daran gearbeitet ist eine gute Anpassung dieses Werkzeuges für die Anwendung in diesem Bereich möglich. Auch das Expertensystem der Delmia-Produktfamilie ist auf die Planung manueller Montagesysteme ausgelegt. Allerdings setzt dieses System eine erhöhte Einarbeitung voraus, und auch die Größe des Systems ist nicht optimal für den geforderten Einsatzbereich. Die Softwaretools TiCon sowie Assembly Planning können gut in ein mögliches Gesamtsystem zur Planung von Montageanlagen für Unternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung eingegliedert werden. TiCon selbst ist für die manuelle Vorgabezeitermittlung entwickelt worden und somit auch auf KMU-Betriebe ausgerichtet. Als einzelnes Werkzeug entspricht es jedoch nicht den Forderungen nach einem ganzheitlichen Planungsinstrument. Die Instrumente des ifab sowie der Produktfamilie Delmia und die Software TiCon sind zwar auf manuelle Montagen ausgerichtet, aber in Verbindung mit Systemen für die teilautomatisierte bzw. automatisierte Montage, als Anwendung für hybride Montageanlagen durchaus geeignet. Als Ergänzungsmöglichkeit kann z.B. das Softwaretool CARo dienen.

eMPower stellt eine Standardsoftware für die Bereiche der Simulation und Planung von Produktion und Logistik dar, erfüllt aber genau aus diesem Grund nicht die hier geforderten Ansprüche eines rechnergestützten Leitfadens. Aufgrund der optimalen Integrations- und Kommunikationsfähigkeit in andere Systeme und der beschriebenen, guten Anpassungsfähigkeit an bestimmte Forderungen ist der Einsatz bei einigen KMU-Betrieben trotzdem denkbar. Inwieweit dieses Werkzeug auf die Einzel- und Kleinserienproduktion ausgerichtet ist, kann nicht eindeutig beurteilt werden. eMPower eignet sich aber auch für die Planung von hybriden Montageanlagen. Die Integration von Roboter-Simulatoren und Offlineprogrammiersystemen bieten die Möglichkeit zur Verbindung von automatisierten Systemen mit der manuellen Montage.

Auch KNOSPE und KOMPASS weisen Ansätze eines Expertensystems auf, wodurch der Nutzen für einen Einsatz in KMU verringert wird. Die beiden Systeme können in speziellen Fällen trotzdem in Frage kommen. Die Methode von Seliger mit dem rechnergestützten Werkzeug MOSYS ist kein ganzheitliches Werkzeug, wodurch ein alleiniger Einsatz nicht den geforderten Nutzen bringt. Wird es jedoch in ein Gesamtsystem integriert, so ist eine gute Anpassung möglich. Die Vorgehensweise nach Deutschland zeigt keine Einschränkungen bezüglich der Art von Montagesystemen auf. Daher ist eine Ausrichtung, bzw. Anpassung an die Anforderungen der KMU-Betriebe sehr gut möglich. Der Einsatz dieses Systems in diesen Unternehmen wird also eine sehr gute Unterstützung und Arbeitserleichterung gewährleisten. Geringe Einschränkungen entstehen jedoch aufgrund der Bedeutung als Expertensystem. Bei Schuster und Feldmann C. werden keine Angaben über die Einsatzgebiete gemacht, eine spezielle Anpassung ist jedoch in jedem Fall möglich. Auch Rampersad gibt keine Richtung in Bezug auf die Art des Montagesystems vor. Sein System erscheint jedoch wenig geeignet, da sein Ansatz von einem vorgegebenen Produkt ausgeht.

Scholz hat seine Methode nur auf die Roboter Montage ausgerichtet. Seine Vorgehensweise zeigt jedoch eine strukturierte Führung, wodurch eine Anpassung an die gefor-

dernten Bedingungen denkbar ist. Der konventionelle Leitfaden von Bullinger zur systematischen Planung von Montageanlagen ist in jedem Fall für KMU geeignet. Hier werden ausführliche Hilfestellungen zur Auslegung und Gestaltung manueller und automatisierter Montagestationen gegeben. Ohne die notwendige Rechnerunterstützung und ein durchgängiges Werkzeug zur Planungsunterstützung kann das Potenzial der Systematik allerdings nicht genutzt werden.

Ebenso verhält es sich mit der am iwv entwickelten integrierten Vorgehensweise. Diese berücksichtigt aber bereits aktuellere Randbedingungen wie die Forderung der stückzahlflexiblen Montage und integriert wichtige Funktionen zur Planung von heutigen Montageanlagen. Die beschriebene Methode ist gut als Grundlage für den Aufbau eines rechnergestützten Leitfadens geeignet. Die Planungssysteme von Cuiper und Jonas erscheinen als wenig sinnvoll für den Einsatz in KMU-Betrieben. Cuiper hat sein Werkzeug für automatische Montageanlagen entwickelt und das System von Jonas wirkt kompliziert. Die Methoden von Simon, Bick und Zeile sind hingegen für die variantenreiche Serienmontage erstellt und speziell für die Interessen der hybriden Montageanlagenplanung entwickelt worden und somit geeignet.

Bei den Planungssystemen, in denen keine Angaben über die Anwendungsgebiete gemacht werden, ist eine Ausrichtung beziehungsweise Anpassung je nach Art des Werkzeuges möglich. Dies muss aber je nach entsprechender Anwendung geklärt werden.

### **3.5.4 Gegenüberstellung und Bewertung der bestehenden Planungsansätze**

Als Fazit der Analyse zum Stand der Forschung und Technik lässt sich festhalten, dass einige Konzepte eine gute Grundlage darstellen und interessante Ansätze beinhalten. Dennoch zeigen die Ansätze zur rechnergestützten Systemalternativenplanung für eine flexible Montage deutliche Defizite hinsichtlich der in den Kapiteln 3.1 und 3.4 definierten Anforderungen auf. Somit besteht Bedarf an einer weiteren Verbesserung bzw. Neuentwicklung gerade von Methoden zur Planung von Montagesystemen für kleine und mittlere Unternehmen. Im Einzelnen bestehen folgende Defizite:

- Viele der dargestellten Planungsverfahren und -methoden lehnen sich an die stufenförmige Vorgehensweise nach Refa oder Bullinger an. Der damit erzielbare systematische Planungsablauf bildet auch die wesentlichen Schritte und Randbedingungen ab. Allerdings wird dabei der, aus Gründen der monetären und gestalterischen Einflussnahme, elementaren Berücksichtigung der frühen Phasen der Montagegrobplanung meist zu wenig Bedeutung beigemessen.
- Viele KMU haben sehr begrenzte Ressourcen sowohl personeller als auch finanzieller Art. Die Montageplanung erfolgt bei dieser Gattung von Unternehmen häufig wenig strukturiert und ohne große Rechner- oder Softwareunterstützung. Der ganzheitliche, alles umfassende Ansatz der kommerziellen Montageplanungssoftwaresysteme mit durchaus gerechtfertigten, aber bei KMU selten benötigten und damit meist nicht benutzten, Funktionsumfängen ist daher in diesem Anwendungsfeld nicht gerechtfertigt. Vielmehr ist zu erkennen, dass KMU die Verwendung einfacher, kostengünstiger (im Gesamtkontext aus Anschaffung, Peripherie, Einarbeitung, Erhaltung des Wissensstandes etc.) Lösungen vorziehen. Die Reduzierung der Anforderungen an das Vorwissen der Mitarbeiter sowie die Möglichkeit einer leichten Einarbeitung zielen in die gleiche Richtung, ebenso wie die Notwendigkeit, das Planungswerkzeug auf handelsüblichen, standardisierten PC-



Arbeitsplätzen lauffähig zu gestalten. Diese Randbedingungen sind jedoch in den meisten existierenden Planungsmethoden nicht zufrieden stellend implementiert.

- Bestehende Darstellungen beziehen sich in der Regel auf die Montageplanung im Allgemeinen und berücksichtigen nicht die Konzeption modularer, flexibler, mitarbeiterorientierter Systeme, die auch geeignet sind, die Absatzmärkte von morgen zu beherrschen (hohe Produktvarianz bei kleinen Losgrößen etc.).
- Veröffentlichungen mit Ausrichtung auf personalorientierte oder variantenreiche Montageplanung konzentrieren sich schwerpunktmäßig auf die rein technische Planung (Abtaktung, Reihenfolgebestimmung etc.) oder auf die Darstellung grundsätzlicher Vor- und Nachteile von Montagestrukturen und -anordnungen. Aufgrund der Bedienung von Nischensegmenten müssen KMU jedoch häufig die vom Markt induzierte Rolle des Nischenanbieters annehmen und folglich eine ausgeprägte Flexibilität besitzen. Deshalb müssen auch organisatorische und sozio-technische Aspekte (Einsatz unterschiedlich qualifizierter Mitarbeiter, unterschiedliche Anordnungsmöglichkeiten der Systeme) berücksichtigt werden. Dies ist jedoch bei den veröffentlichten Planungsmethoden meist nicht der Fall bzw. ist nicht mit einem für KMU adäquaten Aufwand zu realisieren.
- Aussagen über die Vorteilhaftigkeit bestimmter Gestaltungsvarianten bei unterschiedlichen produkt- und prozessbezogenen Voraussetzungen werden in der einschlägigen Literatur meist nicht getroffen. Die Darstellung und Nachvollziehbarkeit des optimalen Konzeptes für das gewünschte Montagesystem sowie die zugehörige Lösungsfindung und Lösungsbewertung durch objektive Regeln und Entscheidungsmuster zur kontinuierlichen Ergebnisvalidierung und -adaption werden häufig vernachlässigt. Damit sind auch die Integration der Erfahrung und Kreativität des verantwortlichen Planers sowie die mögliche Beeinflussung der rechnergestützten Entscheidungsfindung nicht immer gegeben.
- Ein geeignetes Bewertungsinstrument für KMU zur Abschätzung der Auswirkungen einzelner Gestaltungsvarianten auf die Wirtschaftlichkeit, die Flexibilität oder die Anordnung der Arbeitsplätze unter Flächennutzungsaspekten existiert nicht. Die oftmals angewendeten Bewertungsschemata der klassischen Investitionsrechnung bzw. der Nutzwertanalyse ist meist lediglich auf technische Neuerungen (Anschaffungen von Komponenten und Prozessen etc.) ausgerichtet und berücksichtigt nicht die Besonderheiten einer Montagegestaltung unter organisatorischen Aspekten und Flexibilitätsanforderungen.

Eine genaue Bewertung sowie Gegenüberstellung der verschiedenen beschriebenen Verfahren unter den Aspekten, wie sie in Kapitel 3.1 und 3.4 spezifiziert wurden, kann der Bild 28 entnommen werden. Dazu wurden alle Systematiken anhand von verschiedenen Bewertungskriterien beurteilt. Eine Unterteilung in verschiedene Grade der Eigenschaft bzw. Übereinstimmung wurde in vier Bewertungsstufen vorgenommen (siehe Legende). Falls bei Kriterien keine Angaben gemacht wurden, so war eine verifizierbare Bewertung nicht möglich. Bei den betrachteten Kriterien handelt es sich um folgende:

#### *Reifegrad des Planungssystems*

Bei der Frage zum derzeitigen Stand des Systems ist zu klären ob, es sich um eine ausgereifte Methode handelt, die bereits kommerziell im Einsatz ist (●), eine Referenzanwendung vorliegt oder das System in der Probephase ist (◐), es sich bei dem Planungswerkzeug um einen Prototyp handelt (◑) oder ob es sich noch in der Entwicklung befindet (◒).

### *Durchgängige Rechnerunterstützung*

Dadurch ist auch zu erkennen ob eine Rechnerunterstützung gegeben ist (● für ja bis ☐ für nein) sowie eine vollständige (●), teilweise (◐, ◑) oder keine (◒) Datendurchgängigkeit gewährleistet wird.

### *Interaktive Kommunikation/ Technische Voraussetzung*

Weiterhin wird geklärt ob eine interaktive Kommunikation mit dem Benutzer möglich ist (● für ja bis ☐ für nein) und welche Anforderungen an die Technik gestellt werden (◐ für geringe bis ● für hohe).

### *Ganzheitliches Planungswerkzeug*

Dabei wird die Frage geklärt, ob es sich um ein ganzheitliches Planungswerkzeug handelt (● für ja bis ☐ für nein).

### *Eignung für mitarbeiterorientierte Kleingerätemontage*

Ein anderes, wichtiges Bewertungskriterium ist die Frage, ob die ausgesuchte Methode überhaupt als Anwendung für die Planung sowohl manueller, hybrider als auch automatisierter Montagesysteme, bzw. für Kleingerätemontagen geeignet ist (● für sehr gut geeignet bis ☐ für kaum geeignet).

### *Universelle Einsetzbarkeit*

Hierbei wird die Übertragbarkeit eines geplanten Montagesystems auf andere Aufgabenstellungen bewertet (● für sehr hohe bis ☐ sehr niedrige Übertragbarkeit).

### *Einarbeitungsaufwand*

Die Anforderungen an den jeweiligen Mitarbeiter stellen ein weiteres Kriterium dar. Werden an den Planer hohe Ansprüche (●) zwecks der Bedienung des Werkzeuges gestellt, ist also spezielles Wissen zur Bearbeitung der Planungsaufgabe notwendig oder ist die Vorgehensweise der Planung ohne große Einarbeitung zu verstehen (◐)? Damit wird ersichtlich an welche Gruppen die Montageplanungsmethode gerichtet ist.

### *Sicherung von Erfahrungswissen*

Bei der Auswahl eines Planungssystems spielt die Möglichkeit zur Sicherung von Erfahrungswissen eine große Rolle. Ebenso die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse bereits existenter Planungsabläufe (● für sehr gut geeignet bis ☐ kaum geeignet).

### *Bewertungsmöglichkeit des geplanten Systems/Möglichkeit zur Erstellen von Lösungsalternativen/Möglichkeit zur Schwachstellenanalyse*

Weitere Entscheidungskriterien sind außerdem die Möglichkeit zur Bewertung des entwickelten Konzeptes und das Vorstellen von Alternativlösungen. Das Erkennen von Schwachstellen im geplanten Montagesystem, deren Analyse und ein gezieltes Vorgehen gegen diese Schwachstellen (● für ja bis ☐ für nein) werden betrachtet.

Eine zusammenfassende Übersicht über die Anpassung, bzw. Ausrichtung der beschriebenen Planungswerkzeuge im Hinblick auf kleine und mittelständische Unternehmen ist im oberen Bereich der Übersichtsdarstellung in Bild 28 zu sehen. Darin werden die einzelnen Planungssysteme anhand der Eignung, der Orientierung, der Handhabbarkeit und dem Nutzen für KMU-Betriebe verglichen.

[illegible]

*Bild 28: Detaillierte Bewertung der einzelnen Planungssysteme hinsichtlich der Eignung und Nutzen für KMU*

### 3.6 Realisierung eines Softwaresystems für KMU zur Auslegung agiler, mitarbeiterorientierter Montagesysteme

Aus den Erkenntnissen der Bewertung und Gegenüberstellung sowie aufgrund der aufgezeigten Defizite der beschriebenen Methoden wurde ein Softwaresystem zur Auslegung agiler Montagesysteme der Einzel- und Kleinserienfertigung entwickelt. Dabei wurden neben den speziellen Belangen der kleinen und mittelständischen Betriebe auch Aspekte der Mitarbeitermotivation und der Sozialverträglichkeit von Montagestrukturen berücksichtigt. Diese Faktoren sind in den in Kapitel 3.5 analysierten Lösungen trotz der großen Relevanz für eine effiziente Montage bisher nicht einbezogen worden.

Der Planungsvorgang ist nicht vollständig automatisiert, da bei Betrachtung der Möglichkeiten und des Bedarfs von KMU prinzipiell von der Unmöglichkeit eines derartigen Vorhabens ausgegangen wird. Vielmehr wurde ein intelligenter Leitfaden entwickelt, welcher den Planer insbesondere bzgl. der algorithmischen Tätigkeiten entlastet. Dabei werden nur modulare Montagesystemstrukturen berücksichtigt. Für die Planung spezieller Einzeelanlagen ist das System nicht ausgelegt. Die Eignung des Leitfadens beschränkt sich weiterhin auf die Planung von Systemen zur Montage von jederzeit manuell handhabbaren Produkten (z.B. elektromechanische Kleingeräte).

Das System ist in der Lage, nach Vorgabe der erforderlichen Eingangsdaten, Konzepte zu generieren und zu bewerten. Sowohl im Synthese- als auch im Analyseprozess hat der Bediener die Möglichkeit, die Entscheidungen des Rechners zu beeinflussen. Das

System ist flexibel und erweiterbar, so dass eine Anpassung an die individuellen Bedürfnisse und Erfahrungswerte der verschiedenen Planer jederzeit möglich ist.

Die Konzeption und Umsetzung des in diesem Abschnitt vorgestellten Prototyps zur Rechnerunterstützung in frühen Montageplanungsphasen wurde in Zusammenarbeit mit sechs industriellen Projektpartnern aus dem Bereich kleiner und mittlerer Unternehmen realisiert. Mit dem System „planAs – PlanungsAssistent“<sup>1</sup> ist es gelungen, die Montageaufgaben auf Grundlage der Produktstruktur und den Einschätzungen eines sachkundigen Planers zu beschreiben. Unter Zuhilfenahme einer erweiterten Fassung der MTM-Normzeitwerte (Methods Time Measurement) ist eine Analyse des zu planenden Montagesystems unter Kapazitäts Gesichtspunkten möglich.

Darüber hinaus kann gezeigt werden, wie die Auswahl der eingesetzten Betriebsmittel und eine sinnvolle Kapazitätsteilung bereits in einem frühen Planungsstadium einfach, effizient und ohne lange Vorbereitungs- und Schulungszeiten mit einem rechnergestützten Planungssystem bewerkstelligt werden kann [152]. Vor allem aber bei den umfangreichen Analysen und Bewertungen der jederzeit wieder anpass- und erweiterbaren Prinziplösungen kann mit Hilfe von planAs das große Potenzial des Rechnereinsatzes in der Montageplanung gezeigt werden. Die Verwendung eines solchen IT-Programms unterstützt den Planer bei algorithmischen Tätigkeiten und begünstigt die Berücksichtigung aller wichtigen Einflussparameter. Dem Montageplaner wird es damit möglich, interaktiv und effizient Planungsalternativen zu generieren und diese anhand eines multikriteriellen Optimierungsprozesses zu bewerten. Das System trägt so dazu bei, die frühen Phasen des Montageplanungsprozesses zu vereinfachen und bei der Findung von Konzepten für die Auslegung von Montagesystemen unter den Gesichtspunkten der notwendigen Stückzahl, der Flexibilität und der Wirtschaftlichkeit zu helfen. Dabei bleiben Aspekte wie die einfache Gestaltung des Planungssystems, die schnelle und kostengünstige Implementierung, die einfache Beherrschung des Funktionsumfangs sowie die Vermeidung umfangreicher Schulungen stets berücksichtigt.

### 3.6.1 Festlegung der grundsätzlichen Planungsziele

Bei der Suche nach geeigneten Planungszielen sollte man sich über die bloße Auseinandersetzung mit der technischen und wirtschaftlichen Realisierbarkeit hinweg ganzheitlich mit dem komplexen, vielschichtigen Charakter des Industriestandortes befassen. Ein probates Mittel zur systematischen Suche nach Zielen ist das Aufstellen eines Zielsystems. Dabei lassen sich die Ziele hierarchisch strukturieren. Die obersten Ziele sind mit den Unternehmenszielen gleichzusetzen, während die unterste Hierarchiestufe im Falle der Montageplanung quantitativ fassbare Kriterien für konkrete Funktionsträger innerhalb des Montagesystems enthält.

Die Wahl der Detaillierungsebene im Zielsystem beeinflusst unmittelbar den Detaillierungsgrad der Aufgabenformulierung und ist dadurch von entscheidender Bedeutung für die Architektur des Lösungskonzeptes. Allerdings ist es schwer möglich, a priori und ohne Kenntnis der konkreten Montageaufgabe, allgemeingültige Aussagen über die

---

<sup>1</sup> Für die Mitwirkung bei der Erstellung des rechnergestützten Leitfadens danke ich meinem ehemaligen Diplomanden Herrn Dipl.-Ing. Stefan Bauer herzlich

Wahl der Detaillierungsebenen und über die Art der Zielkriterien für eine erfolgreiche Grobplanungsphase zu treffen.

Letztendlich ist das Aufstellen eines Zielsystems Aufgabe des Montageplaners. Eine Erleichterung kann jedoch durch das Vorschlagen allgemein akzeptierter und bewährter Zielkriterien erreicht werden, die aber in jedem Falle flexibel anpassbar sein müssen. Hierbei ist zwischen komplementären, konkurrierenden und indifferenten Zielen zu unterscheiden.

- **Komplementäre Ziele:**  
Das Verfolgen eines Zieles fördert zugleich das Erreichen der anderen.
- **Konkurrierende Ziele:**  
Das Verfolgen eines Zieles hemmt das Erreichen der anderen.
- **Indifferente Ziele:**  
Das Verfolgen eines Zieles hat keinen Einfluss auf das Erreichen der anderen.

Konkurrierende Ziele führen zunächst in jedem Fall zu einem Zielkonflikt. Dieser muss durch einen Kompromiss gelöst werden. Die spezifische Eigenschaft komplementärer Ziele, sich gegenseitig zu fördern, kann verschiedene Ursachen haben. So ist es möglich, dass Teile der Zielinhalte identisch sind. Eine gewichtete Bewertung hinsichtlich derartiger Ziele wird in jedem Falle die ursprünglich festgelegten Gewichte verschieben, da Teilaspekte mehrfach berücksichtigt und bewertet werden.

Die Sicherung der Rentabilität und Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens ist eines der obersten Ziele eines jeden Unternehmens. Weiterhin gilt der Grundsatz, die Arbeit nach Möglichkeit dem Menschen anzupassen. Daher liegt der Versuch nahe, ein Zielsystem auf Basis der grundsätzlichen Unternehmensziele Rentabilität, Wettbewerbsfähigkeit, Sozialverträglichkeit und Realisierbarkeit zu erstellen.

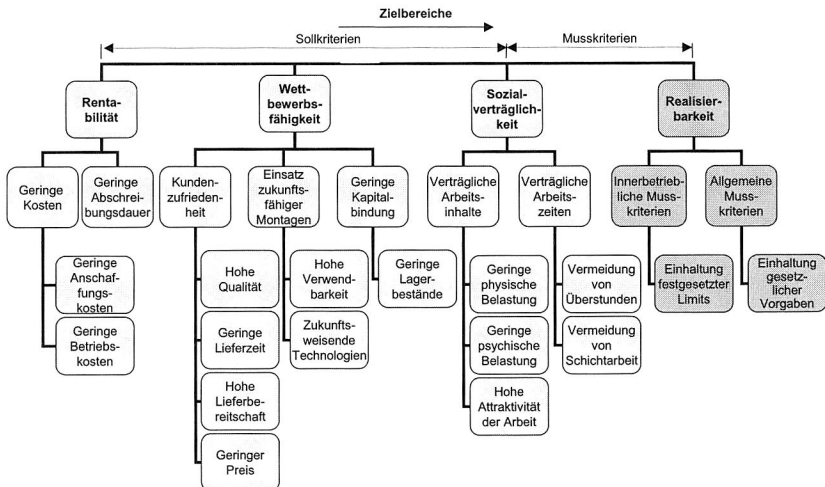


Bild 29: Beispielhaftes Zielsystem für die Montageplanung

Zielkriterien lassen sich dabei in Muss-, Soll- und Wunschkriterien einteilen. Muss-Kriterien sind Kriterien, die von den Lösungsvorschlägen alternativer Montagesysteme unbedingt realisiert werden müssen (z.B. gesetzliche Vorgaben). Sollkriterien sind von dem zu entwickelnden Montagesystem möglichst gut zu erfüllen. Sie können in quantifizierbare (z.B. Kosten) und schwer quantifizierbare (z.B. Sozialverträglichkeit) eingeteilt werden. Wunschkriterien können als Zielsetzungen formuliert werden, sind aber nicht notwendigerweise zu erfüllen.

Allerdings zeigt sich, dass das in Bild 29 dargestellte Zielsystem komplementäre Ziele enthält. Deutlich wird dies z.B. anhand der Teilziele Rentabilität und Wettbewerbsfähigkeit. Demnach sollte ein Zielsystem auf der Basis konkurrierender Ziele entwickelt werden. Dadurch werden nicht nur Kriterien für eine sinnvolle Bewertung der zu schaffenden Prinziplösungen festgelegt, sondern aufgrund der herausgearbeiteten und zu lösenden Zielkonflikte auch konstruktive Optimierungsaufgaben erzwungen.

Der größte Teil aller Zielkonflikte innerhalb der wirtschaftlichen Ziele, auch im Bereich der Montageplanung, hat seinen Ursprung in dem Spannungsfeld Zeit – Qualität – Kosten. Zudem sind nichtwirtschaftliche Ziele, z.B. Ziele hinsichtlich Sozial- oder Umweltverträglichkeit zu verfolgen, die wiederum mit den wirtschaftlichen Zielen häufig im Konflikt stehen.

### Schaffung eines einfachen Zielsystems

Für weitere Betrachtungen ist eine Konkretisierung der bisher sehr abstrakten Planungsziele notwendig (s. Bild 30). Für die Realisierung eines rechnergestützten Planungsleitfadens können ohne Vorkenntnis des verfolgten Zwecks keine sinnvollen Bewertungsalgorithmen implementiert werden. Die weitgehend automatische Bewertung einer erstellten Systemalternative ist jedoch eines der wichtigsten Kriterien. Daher wird bei der Umsetzung von planAs auf ein einfaches Zielsystem zurückgegriffen.

Selbstverständlich ist eine der wichtigsten Aufgaben der Montagegrobplanung, die Einhaltung der festgesetzten Limits, der *verfügbaren Ressourcen*. Alle davon abgeleiteten Planungsziele sind als Muss-Kriterien zu verstehen. Die zu schaffende Prinziplösung muss also sicherstellen, dass das zu planende Montagesystem eine festgesetzte Hallenfläche nicht überschreitet (Ressource Boden), mit einer festgesetzten Zahl an Arbeitskräften betrieben werden kann (Ressource Arbeit), mit dem dafür veranschlagten Investitionsvolumen realisierbar ist und mit einem jährlich festgesetzten Betrag betrieben und erhalten werden kann (Ressource Kapital).

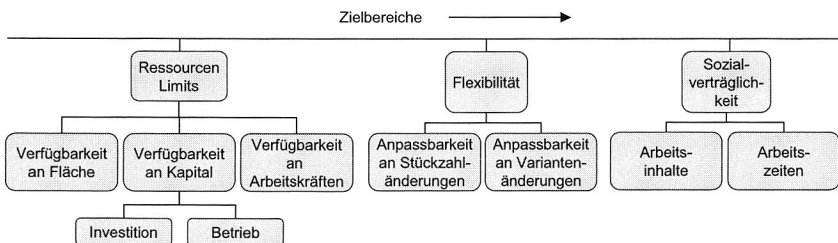


Bild 30: Reduzierung der umfangreichen Planungsziele auf ein einfaches, für die Rechnerverarbeitung geeignetes Zielsystem

Der binäre Charakter dieser Klasse von Zielen (Limit eingehalten – Limit überschritten) lässt eine sinnvolle Gewichtung allerdings unmöglich erscheinen. Ist ein gesetztes Limit überschritten, so wäre folglich die Prinzipiellösung nicht realisierbar.

Problematisch bei dieser Vorgehensweise wirkt sich der Sachverhalt aus, dass sich die tatsächlich benötigten Ressourcen in der Grobplanungsphase nur sehr ungenau abschätzen lassen. Eine scharfe Abgrenzung der Systemeignung hinsichtlich des Verbrauchs an Ressourcen kann daher zu Fehlentscheidungen führen. Eine Lösungsmöglichkeit besteht darin, die Limit-Ziele nicht zu gewichten, sondern zu entschärfen.

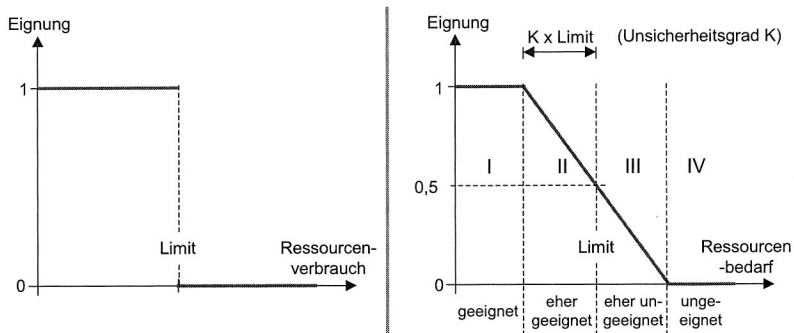


Bild 31: Gegenüberstellung von Entscheidungsregeln zur Messung des Zielerfüllungsgrades (links: scharfes Kriterium; rechts: entschärftes Kriterium)

Wie aus der Gegenüberstellung in Bild 31 zu erkennen ist, wird bei einem scharfen Kriterium der tatsächliche Ressourcenverbrauch ermittelt und mit dem festgesetzten Limit verglichen. Liegt er darunter, so ist das System hinsichtlich dieses Kriteriums geeignet. Wird der Wert überschritten, so ist die Alternative hinsichtlich dieses Kriteriums, da es sich um ein Muss-Kriterium handelt, insgesamt zu verwerfen.

Bei der entschärften Entscheidungsregel erhält der Planer die Möglichkeit, einen Unsicherheitsgrad K anzugeben. Dieser versteht sich als Prozentangabe des festgesetzten Limits. Die entstehende Bewertungsfunktion lässt vier große Teilbereiche entstehen:

*I) Errechneter Wert < Limit – K x Limit:*

Der tatsächliche Ressourcenbedarf liegt mit hoher Wahrscheinlichkeit unterhalb des gesetzten Limits. Die Einhaltung des Kriteriums darf daher als sicher gelten.

*II) Limit – K x Limit < Errechneter Wert < Limit:*

Es ist eher unwahrscheinlich, dass der Bedarf das festgesetzte Limit überschreitet. Das Kriterium wird als eingehalten eingestuft, bei Bedarf muss die Prinzipiellösung allerdings nachgebessert werden.

*III) Limit < Errechneter Wert < Limit + K x Limit:*

Es ist wahrscheinlich, dass der tatsächliche Ressourcenbedarf das festgesetzte Limit überschreitet. Trotzdem wird das Kriterium als noch eingehalten gewertet, allerdings sind in den weiteren Planungsstufen größere Änderungen am ursprünglichen Konzept wahrscheinlich.

#### IV) *Errechneter Wert* > *Limit* + $K \times \text{Limit}$ :

Der tatsächliche Ressourcenbedarf wird das festgesetzte Limit überschreiten. Das Kriterium wird als nicht eingehalten gewertet, weshalb die gesamte Lösungsalternative zu verwerfen ist.

Die wirtschaftliche Betrachtungsweise erfordert es, mit festgesetzten Ressourcen gewinnbringend zu produzieren. Die Forderung, die Wirtschaftlichkeit nachhaltig zu sichern, führt unweigerlich zu dem Bestreben, das Montagesystem möglichst flexibel hinsichtlich Stückzahlsschwankungen und Variantenänderungen zu gestalten. Darüber hinaus trägt ein Unternehmen jedoch auch soziale Verantwortung. Diese wirkt sich auf die Gestaltung der Arbeitsplätze in der Montage aus. Es ist also bei der Planung eines Montagesystems auch zu erörtern, inwieweit das Arbeitsumfeld, die Arbeitsinhalte und die Arbeitszeiten für den Mitarbeiter zumutbar sind.

Die Effizienz des Montagesystems in der Gegenwart sicherzustellen bedeutet, die Limits der verfügbaren Ressourcen einzuhalten. Darüber hinaus muss dafür Sorge getragen werden, dass die Wirtschaftlichkeit des Systems auch künftig, vor allem bei sich ändernden Verfügbarkeiten der Ressourcen, gewährleistet ist. Dies wird durch die flexible Gestaltung erreicht.

Für das vereinfachte Zielsystem gelten somit die Faktoren „*verfügbare Hallenfläche*“, „*Investition*“ und „*verfügbare Arbeitskräfte*“ als *Muss-Kriterien*, die nicht gewichtet, sondern lediglich entschärft werden können.

Hingegen sind die *Soll-Kriterien* vom Montageplaner nach unternehmensstrategischen Aspekten mit einem Gewichtungsfaktor zu belegen und werden von dem realisierten Rechnerwerkzeug zur Planung des gewünschten Montagesystems entsprechend berücksichtigt. Diese sind „*Stückzahlflexibilität*“, „*Variantenflexibilität*“ und „*Sozialverträglichkeit der Arbeit*“.

### 3.6.2 Beschreibung der Planungsaufgabe

Zunächst ist eine geeignete Beschreibung der Aufgabe durchzuführen, welche als Grundlage für die Synthese und Analyse einer Prinzipiellösung dienen kann. Die Beschreibung der Aufgabe impliziert eine genaue Festlegung der inner- und außerbetrieblichen Randbedingungen.

#### Randbedingungen

Die für eine Montageaufgabe geltenden Randbedingungen sind dem Rechnersystem vollständig zu übergeben. Zu nennen sind dabei vor allem:

- *Fläche*: Die für die Realisierung des Montagesystems zur Verfügung stehende Fläche wird durch ein Rechteck angenähert. Dieses ist vom Planer durch Angabe der Länge und Breite dem System zu übergeben.
- *Investitionsvolumen*: Das maximal für die Realisierung des Systems zur Verfügung stehende Investitionsvolumen ist ebenfalls als Randbedingung für weitere Planungen notwendig. Die Summe muss dem System mitgeteilt werden.
- *Abschreibungsdauer*: Stellt ein Unternehmen die Bedingung, dass das Montagesystem nach einer festgelegten Zeit abgeschrieben sein soll, so ist dieser Zeitraum anzugeben.



- **Montagekosten pro Stück:** Damit das Montagesystem überhaupt gewinnbringend betrieben werden kann, dürfen die Selbstkosten pro Stück einen bestimmten Betrag nicht überschreiten. Dieser Wert muss ebenfalls in das System eingegeben werden.
- **Arbeitskräfte:** Ist die Anzahl der maximal verfügbaren Arbeitskräfte limitiert, so sind diese Höchstgrenzen ebenso einzugeben. Dabei ist zu beachten, dass planAs zwischen drei Gruppen von Mitarbeitern unterscheidet. Deren Verfügbarkeit muss jeweils getrennt angegeben werden:
  - Fachkräfte
  - angelernte Kräfte
  - ungelernte Kräfte
- **Montagemittel:** Für das zu planende Montageprojekt sind bereits vorhandene Montagemittel mit ihrem (noch abzuschreibenden) Zeitwert und den jährlichen Betriebs- und Instandhaltungskosten anzugeben.
- **Stückzahl:** Die gewünschte Stückzahl pro Jahr dient dem System als Grundlage aller Kapazitätsbetrachtungen. Es ist nicht davon auszugehen, dass die Stückzahl über den betrachteten Zeitraum konstant verlaufen wird. Das Maß der daraus resultierenden Notwendigkeit, das Montagesystem entsprechend flexibel zu gestalten, wird mit der Wahl des Gewichtungsfaktors berücksichtigt.

### Aufgabenbeschreibung

Die hierarchische Gliederung einer Montageaufgabe ist eng mit der Erzeugnisgliederung des zugrunde liegenden Produktes verknüpft. Die Komplexität der Produktstruktur definiert letztendlich die Anzahl der für eine übersichtliche und sinnvolle Beschreibung der resultierenden Montageaufgabe notwendigen Hierarchiestufen.

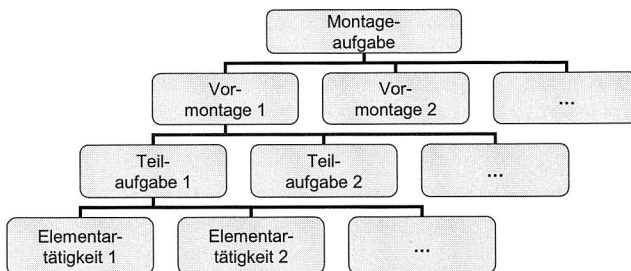


Bild 32: Strukturierung einer Montageaufgabe im Planungssystem planAs

Die Vormontage ist demnach als Teilsystem zu verstehen, in dem ein für ein übergeordnetes (Vor-)Montagesystem notwendiges Teilerzeugnis montiert wird. Die in der untersten Hierarchieebene montierten Baugruppen bestehen ausschließlich aus Einzelteilen oder zugelieferten Teilerzeugnissen, deren Montage nicht Teil der gestellten Montageaufgabe ist. Eine Teilmontage lässt sich wiederum in Teilaufgaben zerlegen, welche abhängig vom erforderlichen Kapazitätsbedarf zu Stationen zusammengefasst werden. Teilaufgaben bestehen aus Elementartätigkeiten, welche den kleinsten Tätigkeitsbaustein darstellen. Montageaufgaben werden in planAs also gemäß Bild 32 strukturiert. Jeder Teilaufgabe wird eine spezifische Komplexität zugeordnet, welche der Planer abschätzen muss. Die Komplexität ist ein Hinweis auf die erforderliche Qualifikation des

Operators, egal ob es sich um einen Mitarbeiter oder ein automatisiertes Gerät (Roboter, Pick&Place-Gerät o.Ä.) handelt. Die Komplexität wird mit einer Kennzahl zwischen eins und fünf beschrieben. Ein Wert von eins bedeutet eine sehr einfache Tätigkeit, während der Wert von fünf auf eine schwierige Tätigkeit hinweist.

Der Planer ist aufgefordert, eine Einschätzung der Automatisierbarkeit der Tätigkeit anzugeben. Diese Einschätzung wird aufgrund der Erfahrung in aller Regel korrekt getroffen und dient dem Rechnersystem als Grundlage für die Auswahl von automatisierten Handhabungseinrichtungen. Dabei werden folgende Fälle berücksichtigt:

- Tätigkeit ohne Schwierigkeiten mit einfachen Systemen automatisierbar
- Tätigkeit mit etwas Aufwand mit einfachen Systemen automatisierbar
- Tätigkeit nur mit frei programmierbaren Systemen automatisierbar
- Tätigkeit nur mit sensorgeführten Spezialgeräten automatisierbar
- Tätigkeit nicht sinnvoll automatisierbar

Zur systematischen und strukturierten Beschreibung der Montageaufgabe ist es weiterhin nötig, den zeitlichen Ablauf in sog. Elementartätigkeiten zu gliedern. Im Falle manueller Ausführungen kann eine Übersicht aller möglichen Elementartätigkeiten mit spezifischen Normzeiten aus den standardisierten MTM-Normzeitwertkarten entnommen werden, welche im Planungsleitfaden hinterlegt sind. Diese umfassen die Tätigkeiten:

- Hinlangen
- Greifen
- Bringen
- Fügen
- Loslassen

Mit den berücksichtigten Elementartätigkeiten lassen sich nur Teilaufgaben bilden, die ohne spezielle Hilfsmittel bewerkstelligt werden können. Um beliebige Montageaufgaben zusammenstellen zu können, müssen Elementartätigkeiten hinzugefügt werden, die die Handhabung eines Fügwerkzeuges beinhalten. Die Zeit, die zur Ausführung einer derartigen Elementartätigkeit (z.B. Schweißen) benötigt wird, wird meist nicht vom Handhabungsoperator (z.B. Schweißer), sondern vom Prozess (z.B. Schweißprozess) bestimmt. Mit dieser Erweiterung können also sowohl rein manuelle als auch automatisierte Teilaufgaben nach dem MTM-Schema beschrieben werden. Während reine Handhabungstätigkeiten im MTM-Schema hinreichend beschrieben sind, muss die Klasse der Füge- und Kontrollfunktionen näher erklärt werden. Zu der genannten Klasse gehören folgende Elementartätigkeiten:

- Schrauben
- Schweißen
- Nieten
- Löten
- Einpressen
- Kontrollieren

Um die Anforderung dieser Funktionen hinsichtlich der erforderlichen Bearbeitungszeit abschätzen zu können, müssen Angaben über die Prozessgeschwindigkeit vorliegen.

Darüber hinaus ist bei Elementartätigkeiten, die einen Bewegungsablauf beschreiben (hinlangen, bringen, fügen), die Anzahl der benötigten Freiheitsgrade anzugeben. Dies ist erforderlich, um die kinematischen Voraussetzungen bei der Auswahl automatisierter Handhabungsgeräte gewährleisten zu können. Zusammenfassend wird die Vorgehensweise der Beschreibung der Montageaufgabe in Bild 33 dargestellt.

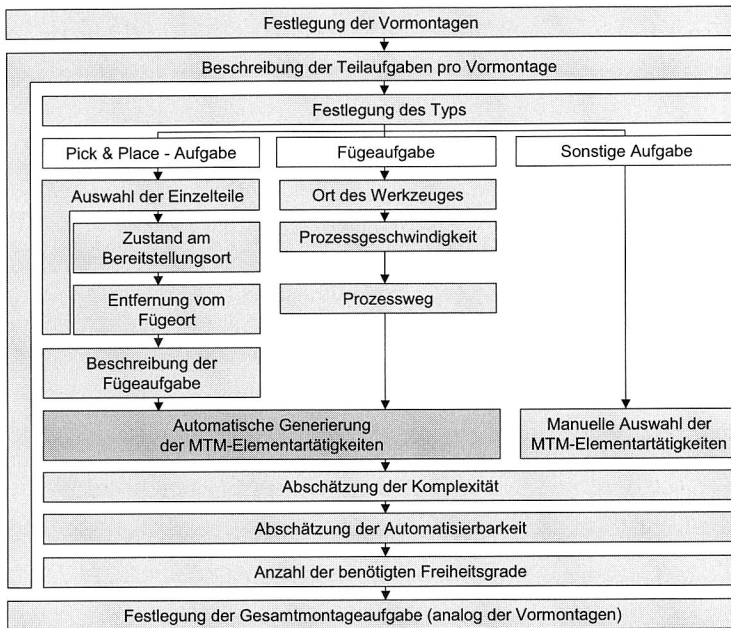


Bild 33: Zusammenfassende Vorgehensweise bei der Beschreibung der Tätigkeiten und Aufgaben mit Hilfe des Planungsleitfadens planAs

### 3.6.3 Layout und Stationsplanung

Zunächst muss bei den ersten Planungsschritten während der Montagegrobplanung das Layout gefunden werden, welches für die gestellte Montageaufgabe am besten geeignet ist. In einer ersten Näherung können dabei die logisch zusammenhängenden Tätigkeitskomplexe zu Montagestationen zusammengefasst werden. Eine Station besteht aus einem Funktionsbereich und einem Bereitstellungsart. Um eine gute Abschätzung des Platzbedarfes bewerkstelligen zu können, sollten Bereitstellungsflächen schon in der Grobplanungsphase berücksichtigt werden.

Die Skizzierung der Prinziplösung stellt das wichtigste Element der Lösungsmenge der Montagefunktion dar. Die Prinziplösung hat mehrere Aufgaben zu erfüllen. Zunächst muss auf eine plausible Art und Weise dargestellt werden, welche Funktionsträger (Operatoren) die einzelnen Teilaufgaben ausführen. Des Weiteren ist zu zeigen, welche Teilaufgaben zu Stationen zusammengefasst werden und wie diese Stationen miteinander verkettet sind. Schließlich ist das angestrebte Layout schematisch zu verdeutlichen (s. Bild 34).

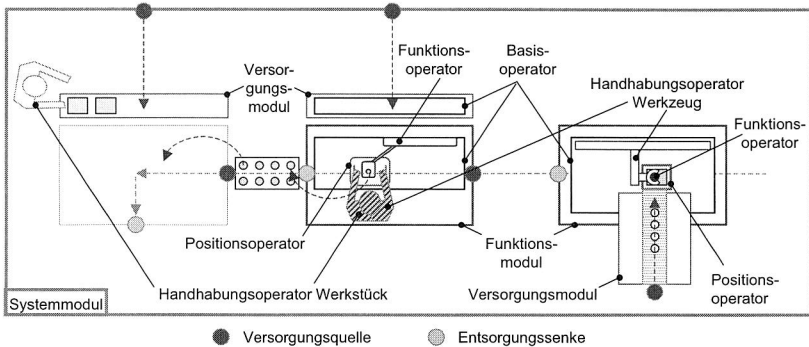


Bild 34: Module und Operatoren als Bestandteile einer Prinzipiellösung

Das System planAs bietet nicht nur die Möglichkeit zur Synthese von Prinzipiellösungen, sondern ist auch in der Lage, die generierten Strukturen zu analysieren und zu bewerten. Daher müssen alle wichtigen, hinsichtlich der formulierten Zielkriterien relevanten Eigenschaften der Lösung und deren Wechselwirkung bekannt sein.

## Module

Das *Systemmodul* enthält Informationen über das Kapazitätsteilungsprinzip, den Strukturtyp und die Schnittstellen des betrachteten Teilsystems. Eine weitere Eigenschaft des Systemmoduls ist sein Strukturtyp. Hierbei werden folgende Anordnungstypen der Montagestationen berücksichtigt:

- Linie
- Umlauflinie
- U-System
- Einzelarbeitsplatz

Das *Funktionsmodul* repräsentiert den Ort der eigentlichen Funktionsausübung und kann als Montagestation im klassischen Sinne verstanden werden. Funktionsmodule haben stets einen Ein- und Ausgang. Diese werden mit Versorgungsquellen und Entsorgungssenken modelliert und dienen als Schnittstelle für Verknüpfungen mit anderen Funktionsmodulen oder mit Systemschnittstellen.

Das *Versorgungsmodul* ist der Ort der Teilebereitstellung an einem Funktionsmodul. Ein Versorgungsmodul muss immer mit einer Versorgungsquelle in Verbindung stehen.

## Operatoren

Der *Basisoperator* dient als Grundlage aller Montagetätigkeiten und übt selbst keine aktive Funktion aus. Als Beispiele können der Arbeitstisch bzw. das Maschinengestell angeführt werden. Ist ein Basisoperator zwischen den Schnittstellen zweier Funktionsmodule angeordnet, so übernimmt er dort die Funktion eines Puffers. In einem Versorgungsmodul wird dagegen die Funktion einer Teilebereitstellungsfläche übernommen. Basisoperatoren werden durch ihre Größe und ihren Anschaffungspreis beschrieben.

Der *Positionoperator* ist abhängig von der Geometrie des zu positionierenden Einzelteils oder des vormontierten Erzeugnisses. Er dient der Fixierung von Objekten in einer definierten Lage. Positionsooperatoren können selbstständige Objekte sein oder fest in anderen Operatoren (z.B. im Basisoperator) integriert sein. Beispiele eines Positionsooperators sind Werkstückträger oder Formnester. Von einem Positionsooperator müssen die Größe, der Anschaffungspreis und die Anzahl positionierbarer Objekte bekannt sein. Werden Positionsooperatoren in den Basisoperatoren der Versorgungsmodule eingesetzt, so erfüllen sie dort die Funktion einer geordneten Bereitstellung.

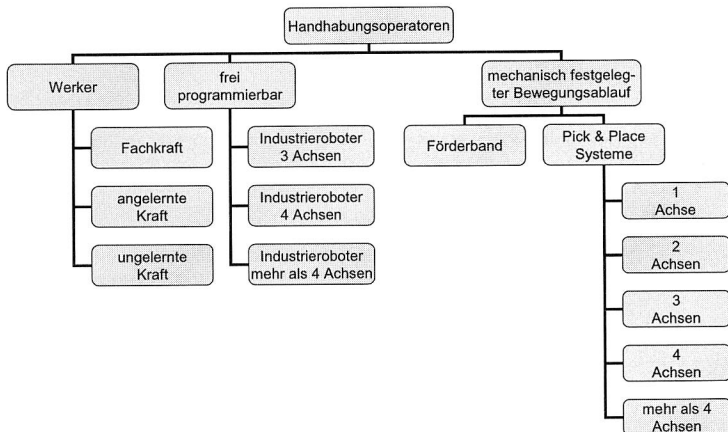


Bild 35: Verwendete Handhabungsoperatoren zur Montagesystemgestaltung

Der *Funktionsoperator* übernimmt die eigentliche Montagefunktion und muss von einem Handhabungsoperator geführt werden. Die wesentlichen Größen eines Funktionsoperators sind der Anschaffungspreis bzw. die Lohnkosten, die Anzahl der Funktionsschnittstellen und die Prozessgeschwindigkeit. Funktionsoperatoren können fest in Handhabungsoperatoren integriert sein. Bei manuellen Einlegetätigkeiten übernimmt z.B. der Werker gleichzeitig die Rolle des Handhabungsoperators und des Funktionsoperators. Wichtige Beispiele für Funktionsoperatoren sind:

- Schweißgerät
- Lötanlage
- Schrauber
- Greifer
- Sensoren (bei Kontrollfunktionen)

oder im Falle manueller Funktionsoperatoren z.B.:

- Hände des Werkers
- Sinnesorgane des Werkers (bei Kontrollfunktionen)

*Handhabungsoperatoren* sind die einzigen aktiven Objekte in einem Systemmodul. Sie sind in der Lage, Bewegungen auszuführen und dabei Positionsooperatoren, Werkstücke oder Funktionsoperatoren an ihren Ziel- bzw. Wirkort zu bringen. Eine Einteilung der wichtigsten Handhabungsoperatoren ist in Bild 35 dargestellt.

Bei einem Großteil aller Montagefunktionen ist die Geschwindigkeit des Handhabungsoperators der begrenzende Faktor. Die Taktzeit ist daher zur späteren Analyse des Gesamtsystems von entscheidender Bedeutung. Allerdings ist genau dies zum Zeitpunkt der Grobplanung oft schwer einzuschätzen.

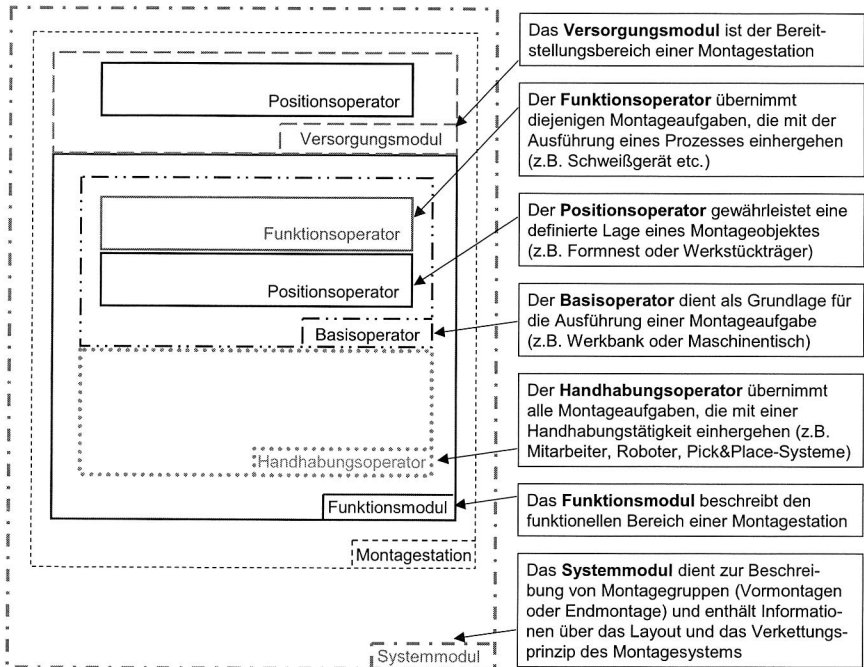


Bild 36: Module und Operatoren zur Beschreibung eines Montagesystems

Zusammenfassend können somit folgende Parameter bei den einzelnen Bestandteilen von planAs berücksichtigt werden (s. Bild 36):

- Handhabungsoperator
  - Anzahl der Freiheitsgrade
  - Fluktuationsindex in Prozent (gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit der Operator wieder verwendet werden kann)
  - Einmalige Investitionskosten in €
  - Jährliche laufende Kosten in €
- Funktionsoperator
  - Ausführbarer Prozess
  - Einmalige Investitionskosten in €
  - Jährliche laufende Kosten in €
- Funktionsmodul
  - Rasterbreite in cm (standardisierte Breite einer Station, dient zur Ermittlung des Flächenbedarfes)

- Versorgungsmodul
  - Tiefe des Versorgungsmoduls in cm (standardisierte Tiefe einer Bereitstellungsfläche, dient zur Ermittlung des Flächenbedarfs)

Schließlich müssen für die Ausführung der Montageaufgaben geeignete Funktionsträger (Werker oder Maschinen) ausgewählt werden. Dabei werden in der Grobplanungsphase nur Kategorien von Funktionsträgern unterschieden. Aus den Teilaufgaben und den auszuführenden Funktionsträgern können so Bearbeitungszeiten abgeschätzt werden. Ziel ist es, durch Verschiebungen von Teilaufgaben zwischen den Stationen, einen Kapazitätsabgleich zu erreichen.

### 3.6.4 Bewertung und Auswahl von Systemalternativen

Die verschiedenen Lösungsalternativen sind hinsichtlich der bereits formulierten Zielkriterien zu bewerten. Dabei ist zu beachten, dass bei der Verletzung eines Muss-Kriteriums die Variante als ungeeignet zu werten ist. Sind alle Muss-Kriterien erfüllt, so ist die beste Variante auf Basis der gewichteten Sollkriterien zu ermitteln.

#### Allgemeine Größen zur Bewertung der Systemlösung

Nachdem das Modell des Montagesystems vollständig bekannt ist, sind die wichtigsten Größen zu ermitteln. Dazu zählen zunächst folgende *allgemeine Größen*, die direkt aus der Prinziplösung hervorgehen:

- Anzahl benötigter Fachkräfte
- Anzahl benötigter angelernter Kräfte
- Anzahl benötigter Hilfskräfte
- Typen und Anzahl der eingesetzten automatisierten Handhabungsgeräte
- Typen und Anzahl der eingesetzten Hilfsmittel

Andere allgemeine Parameter müssen aufgrund der vom Planer gemachten Angaben durch das Rechnerwerkzeug erst berechnet werden:

- Automatisierungsgrad: Dies ist der Quotient aus der Summe der automatisierten Handhabungsoperatoren und der Summe aller Operatoren

$$\text{Automatisierungsgrad} = \frac{\sum HH_{\text{auto}}}{\sum HH} \quad (\text{Gleichung 1})$$

HH = Handhabungsoperator  
HH<sub>auto</sub> = Automatisierter HH

- Flächenbedarf: Der Flächenbedarf hängt von der Summe der Stationen, von ihrer Prinzipanordnung und dem Verkettungsprinzip ab.

#### Leistungsdaten des Montagesystems

Neben den oben beschriebenen allgemeinen Größen sind die wichtigsten *Leistungsdaten* des Systems zu ermitteln und dem Planer anzuzeigen:

- Taktzeit: Die Taktzeit ist die Bearbeitungszeit der langsamsten Station.
- Jährliche Stückzahl: Diese ergibt sich aus der Takt- und der jährlichen Arbeitszeit.

## Kosten

Die mit den entstehenden *Kosten* verbundenen Größen müssen ebenfalls berechnet und dem Planer angezeigt werden.

- **Gesamtinvestitionskosten:**  
Die Investitionskosten ergeben sich aus der Summe der Investitionskosten für Montageoperatoren und Hilfsmittel. Wird ein Mitarbeiter eingesetzt, so werden an dieser Stelle die Investitionskosten für dessen Arbeitsplatz berücksichtigt.
- **Gesamtinstandhaltungskosten:**  
Die Instandhaltungskosten ergeben sich aus der Summe aller Instandhaltungskosten der eingesetzten Operatoren und Hilfsmittel.
- **Kalkulatorische Abschreibung:**  
Die kalkulatorische Abschreibung in €/Jahr erhält man aus der Division der Gesamtinvestitionskosten und der Zahl der Abschreibungsjahre.
- **Zinskosten:**  
Der Zinsfuß, die geforderte Verzinsung eines für Investitionszwecke verwendeten Kapitals, wird üblicherweise mit 10% angenommen. Dabei wird von einer mittleren Kapitalbindung ausgegangen. Die Zinskosten werden wie folgt berechnet:

$$K_z = \frac{K_{am}}{2} \cdot 10\% \quad (\text{Gleichung 2})$$

$K_z$  = Zinskosten in €/Jahr  
 $K_{an}$  = Anschaffungswert in €

- **Raumkosten:**  
Die jährlichen Raumkosten werden durch Multiplikation der benötigten Fläche mit dem individuellen Raumkostensatz ermittelt.
- **Anlagenstundensatz:**  
Der Anlagenstundensatz wird wie folgt berechnet:

$$K_{anss} = \frac{K_a + K_z + K_i + K_R}{T_n} \quad (\text{Gleichung 3})$$

$K_{anss}$  = Anlagenstundensatz in €/h  
 $K_a$  = Kalkulatorische Abschreibung in €/Jahr  
 $K_z$  = Zinskosten in €/Jahr  
 $K_i$  = Instandhaltungskosten in €/Jahr  
 $K_R$  = Raumkosten in €/Jahr  
 $T_n$  = Nutzungszeit des Systems in Stunden/Jahr)

Die jährliche Nutzungsdauer wird mit 1760 Stunden im Ein-Schicht-Betrieb angenommen. Dies entspricht einer Acht-Stunden-Schicht an 220 Arbeitstagen/Jahr. Im Zwei-Schicht-Betrieb werden 3520, im Drei-Schicht-Betrieb 5280 Stunden/Jahr angesetzt.

- **Personalkosten:**  
Die jährlichen Personalkosten ergeben sich aus der Multiplikation der Anzahl der jeweiligen Kräfte mit ihrem entsprechenden Jahreslohn.
- **Arbeitsstundensatz:**  
Der Arbeitsstundensatz ist die Summe des Anlagenstundensatz und der Personalkosten pro Stunde.
- **Montagekosten pro Stück:**  
Die Montagekosten pro Stück ergeben sich aus der Division der jährlichen Gesamtkosten und der Ausbringung.



## Nichtmonetäre Faktoren

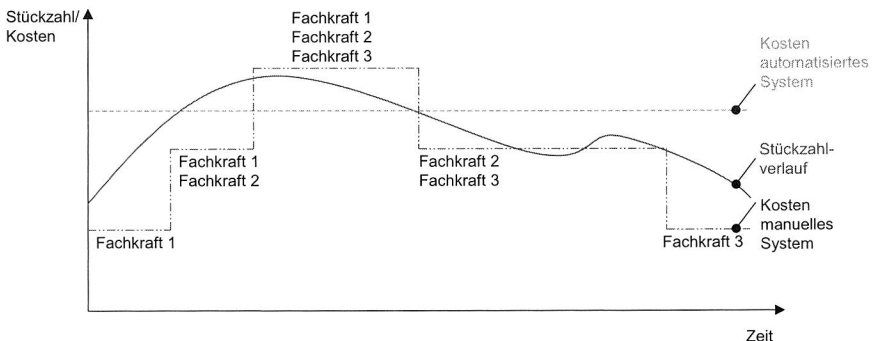
### Fluktuationsindex

Der Fluktuationsindex als gewichtigster Faktor für die Flexibilität des Montagesystems gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Operator kurzfristig (z.B. bei Umsatzeinbruch) durch die Anwendung geeigneter Maßnahmen (Fluktuationen) dazu gebracht werden kann, keine auf die Montageaufgabe bezogene Kosten mehr zu verursachen. Als Beispiel soll dieser Index anhand der Operatorklasse „Mitarbeiter“ diskutiert werden.

Die *Fachkraft* erhält ein festes Jahresgehalt, welches unabhängig von den von ihr ausgeübten Tätigkeiten zu leisten ist. Allerdings ist davon auszugehen, dass ihr aufgrund ihrer Qualifikationen kurzfristig auch andere Tätigkeiten übertragen werden können. Deshalb sind bei der Montagekostenkalkulation nur die Lohnkosten für den Zeitraum, in dem die Fachkraft die bestimmte Montage Tätigkeit ausübt, zu berücksichtigen. Dieser Sachverhalt wird mit einem sehr hohen Fluktuationsindex (z.B. 0,95) modelliert.

Ein speziell für eine bestimmte Klasse von Montagetätigkeiten *angelernter Mitarbeiter* hingegen eignet sich nur bedingt für andere Aufgaben, z.B. organisatorischer Art. Kann ihm etwa aufgrund eines Absatzeinbruchs nun keine der von ihm bewerkstellbaren Tätigkeiten angeboten werden, so muss das Unternehmen gegebenenfalls eine Kündigung in Erwägung ziehen. Allerdings ist dabei die für eine ordentliche Kündigung gesetzte Frist von beispielsweise drei Monaten zu beachten. In diesem Fall ist ein Fluktuationsindex von etwa 0,8 eine gute Annahme.

*Ungelernte Mitarbeiter* (Leihkräfte, Ferien- oder Hilfsarbeiter) erhalten einen festgesetzten Stundenlohn und haben oft keinen Kündigungsschutz. Die Möglichkeit, derartige Mitarbeiter kurzfristig zu entlassen, wird mit einem Fluktuationsindex von 1 modelliert.



*Bild 37: Vergleich von Stückzahlverlauf und entstehender Kosten und Möglichkeit der Kostenzuordnung aufgrund der Operatorenflexibilität*

Für die Klasse der technischen Operatoren gelten grundsätzlich die gleichen Annahmen, jedoch mit dem Unterschied, dass diese dem Gesamtsystem „Unternehmen“ nicht ohne weiteres entzogen, also „entlassen“ werden können. Ein hohes (internes) Fluktuationspotenzial, repräsentiert durch einen entsprechend großen Index, haben daher insbesondere diejenigen Operatoren, die einer übergeordneten, ganzheitlich konzipierten Standardisierungs- und Modularisierungsstrategie entworfen sind. Kompakte Abmes-

sungen, selbstständige funktionsorientierte Einheiten und nicht zuletzt eine frei programmierbare Kinematik zeichnen derartige Operatoren aus.

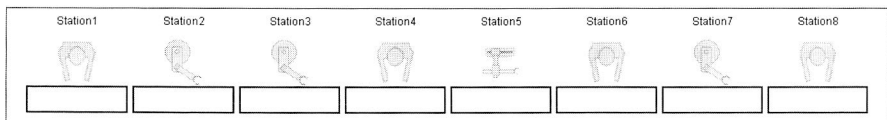
Nach der Einführung dieses Indexes ist es möglich, den entscheidenden Flexibilitätsvorteil eines manuellen Systems im Rechner zu modellieren (s. Bild 37), aber auch den Flexibilitätsvorteil eines Industrieroboters gegenüber speziellen Portalsystemen zu berücksichtigen. Entscheidend für den gezeigten Kostenverlauf ist die Annahme, dass eine Fachkraft auch nur für den Zeitraum ihres Einsatzes an dem Montagesystem Montagekosten verursacht. Dadurch ist es möglich, durch einen flexiblen Einsatz von Mitarbeitern, einen sprungfixen Kostenverlauf zu erhalten.

### *Flexibilität*

Die Flexibilität des Montagesystems bezüglich Stückzahlenschwankungen gilt es ebenfalls zu untersuchen. Die Kosten, die für die Montage eines Produktes anfallen, hängen oftmals reziprok linear von der Stückzahl ab. Die Stückzahl wiederum wird vom Absatzmarkt bestimmt und ist demzufolge mit Unsicherheiten behaftet. Es liegt daher die Forderung nahe, das System so zu schaffen, dass auch im Fall eines unvorhergesehenen Stückzahleinbruchs die festgelegten Montagestückkosten nicht überschritten werden. Der Grad des einem Montagesystem innewohnenden Vermögens, diese Forderung zu erfüllen, wird an dieser Stelle als Flexibilität bezeichnet. Die Bestandteile eines Montagesystems (Operatoren und Hilfsmittel) sind folglich dann flexibel, wenn folgende Voraussetzungen erfüllt sind:

- Die Elemente können mit einer hohen Wahrscheinlichkeit kurzfristig dem System entzogen werden, ohne dort danach Kosten zu verursachen
- Die Aufgaben der entfernten Elemente können unmittelbar von anderen im System verbleibenden Elementen übernommen werden

Offensichtlich ist die Fähigkeit, das Montagesystem kurzfristig zu verlassen, allein den Handhabungsoperatoren „Mitarbeiter“ vorbehalten. Deren Flexibilitätswerte hängen von ihrem Typ (Fachkraft, angelernte Kraft oder Hilfskraft) ab und sind in dem Fluktuationsindex berücksichtigt. In gleicher Weise sind auch nur Mitarbeiter in der Lage, Tätigkeiten stationsübergreifend auszuführen. Allerdings muss beachtet werden, dass die entstehenden Konfigurationen nur dann sinnvoll sind, wenn die Wege zwischen den parallel zu bedienenden Stationen einen Höchstwert nicht überschreiten. Daher wird angenommen, dass jeder Mitarbeiter Tätigkeiten in den beiden benachbarten und (im Fall einer U-Anordnung) in den drei gegenüberliegenden Stationen ausführen kann. Das folgende Beispiel soll das Verfahren der Flexibilitätsuntersuchung verdeutlichen:



*Bild 38: Hybrides System in Linienanordnung*

Bild 38 zeigt ein hybrides Montagesystem in einer Linienanordnung. Es besteht aus vier Mitarbeitern, zwei Robotern und einem Pick&Place-Gerät. Für die drei Operatoren werden folgende Daten angenommen:

- Mitarbeiter: Fluktuationsindex IF = 95%; Jährliche Kosten K = 40.000 €
- Roboter: Fluktuationsindex IF = 50%; Jährliche Kosten K = 7.000 € (bei einem Anschaffungspreis von 30.000 € und einer Abschreibungsdauer von 5 Jahren)
- Pick&Place-Gerät: Fluktuationsindex IF = 15%; Jährliche Kosten K = 1.800 € (bei einer Anschaffung von 8.000 € und einer Abschreibung von 5 Jahren)

Es muss nun also festgestellt werden, ob die einzelnen Operatoren in der aktuellen Konfiguration in der Lage sind, ihr Flexibilitätspotenzial auszuschöpfen:

- Der Mitarbeiter in Station 1 hat einen Fluktuationsindex IF (und damit ein Flexibilitätspotenzial) von 95%. Allerdings können seine Aufgaben in dem vorliegenden System von keinem anderen Operator übernommen werden. Er darf dem System daher nicht entzogen werden, weshalb seine Flexibilität annulliert wird.
- Station 4: IF = 95%, kein Operator könnte Tätigkeiten übernehmen → IF = 0
- Station 6: IF = 95%, kein Operator könnte Tätigkeiten übernehmen → IF = 0
- Station 8: IF = 95%, kein Operator könnte Tätigkeiten übernehmen → IF = 0

Gleichung 4 zeigt das Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Flexibilität.

$$Flex = \frac{\sum_{i=1}^n (K_{HH_n} \cdot IF_{HH_n} \cdot subst_i)}{\sum_{i=1}^n (K_{HH_n} \cdot IF_{HH_n})} \quad (\text{Gleichung 4})$$

Flex = Flexibilität in Prozent

$K_{HH_i}$  = Jährliche Kosten des Mitarbeiters  $HH_i$  in €/Jahr

$IF_{HH_i}$  = Fluktuationsindex des Mitarbeiters  $HH_i$  in Prozent

$subst_i$  = Gibt an, ob der Mitarbeiter  $HH_i$  substituiert werden kann,  $subst \in \{0,1\}$

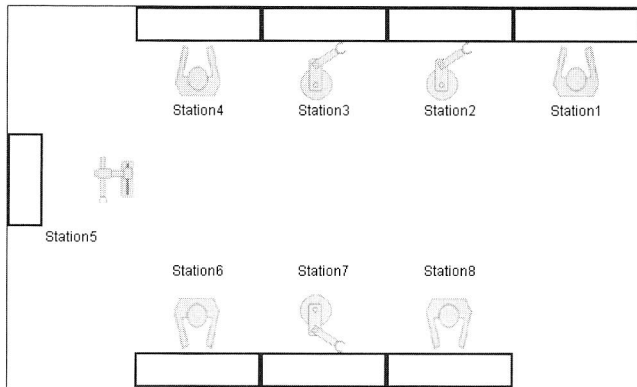
$n$  = Anzahl eingesetzter Mitarbeiter

Die Gesamtflexibilität ( $Flex$ ) beträgt in der vorliegenden Konfiguration somit:

$$Flex = \frac{40 \cdot 0\% + 40 \cdot 0\% + 40 \cdot 0\% + 40 \cdot 0\%}{40 + 7 + 7 + 40 + 1,8 + 40 + 7 + 40} = 0\% \quad (\text{Gleichung 5})$$

Bild 39 zeigt das gleiche System in U-Anordnung mit folgender Flexibilität:

- Station 1: 95% (Kombination mit Station 8 möglich)
- Station 4: 95% (Kombination mit Station 6 möglich)
- Station 6: 95% (Kombination mit Station 4 möglich)
- Station 8: 95% (Kombination mit Station 1 möglich)



*Bild 39: Hybrides System in U-Anordnung*

Die Gesamtflexibilität liegt bei 88% und damit deutlich über der einer Liniananordnung.

#### *Wiederverwendbarkeit*

Bei der Analyse der Wiederverwendbarkeit wird untersucht, inwieweit die Montageanlage (z.B. nach Ablauf des Produktionszeitraumes) einer anderen Tätigkeit zugeführt werden kann. Dabei werden die Fluktuationsindizes unabhängig vom Systemlayout mit ihren jährlichen Kosten gewichtet, summiert und auf die Gesamtbetriebskosten bezogen.

#### *Sozialverträglichkeit*

Hier wird die Beschaffenheit der Arbeitszeiten und der Arbeitsinhalte bewertet. Informationen über den zeitlichen Aspekt können aus den Schichtmodellen gewonnen werden. Über die mittlere Anzahl der Teilaufgaben pro Mitarbeiter kann auf die Monotonie und damit Sozialverträglichkeit der Arbeitsinhalte geschlossen werden. Dabei gilt ein Einschicht-Betrieb am sozialverträglichsten (100%), wohingegen der Drei-Schicht-Betrieb am wenigsten Rücksicht auf die Sozialverträglichkeit nimmt (40%). Bei den Arbeitsinhalten wird ebenfalls eine Abstufung vorgenommen. Bei ein bis drei Teilaufgaben pro Mitarbeiter liegt eine geringe Sozialverträglichkeit vor (30%). Bei größerem Arbeitsumfang und inhaltlicher Arbeitsbereicherung steigt die Sozialverträglichkeit bei zehn und mehr Arbeitsinhalten auf 100%. Das Produkt aus der Sozialverträglichkeit hinsichtlich der Arbeitszeiten und -inhalte ergibt die Gesamtsozialverträglichkeit des Montagesystems. In Bild 40 wird die Vorgehensweise bei einem Planungsvorgang zusammengefasst.

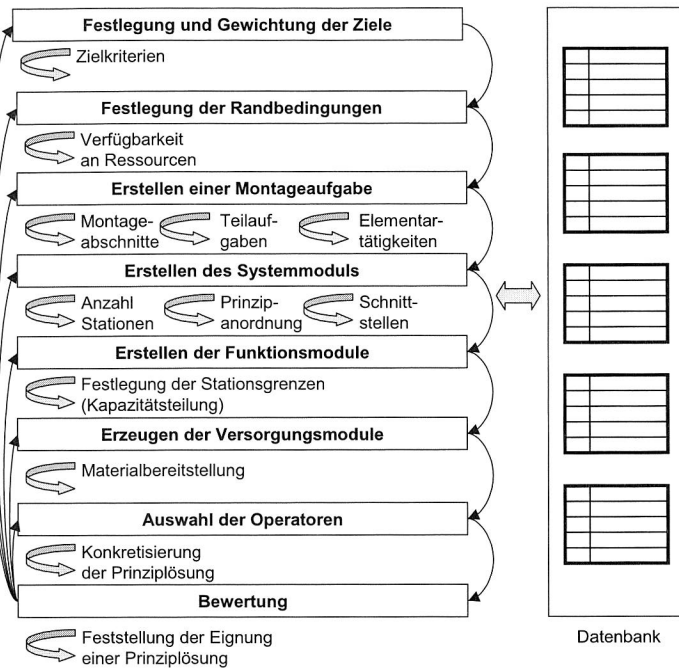


Bild 40: Übersicht über die Vorgehensweise und die einzelnen Planungsschritte bei der rechnergestützten Konzeptfindung in der Montage

### 3.6.5 Umsetzungsbeispiel eines Planungsvorgangs

#### Beschreibung und Parametrisierung der Aufgabe

Als Beispiel für die Durchführung einer Planungsaufgabe aus der Praxis dient die Montage der Halterung eines Fahrzeugspiegels. Die zugehörige Produktstruktur ist in Bild 41 dargestellt. Für die Flexibilität und Sozialverträglichkeit wurde je ein mittleres Gewicht eingestellt. Die zu generierende Lösung muss somit mittleren Anforderungen hinsichtlich des jeweiligen Zielkriteriums genügen.

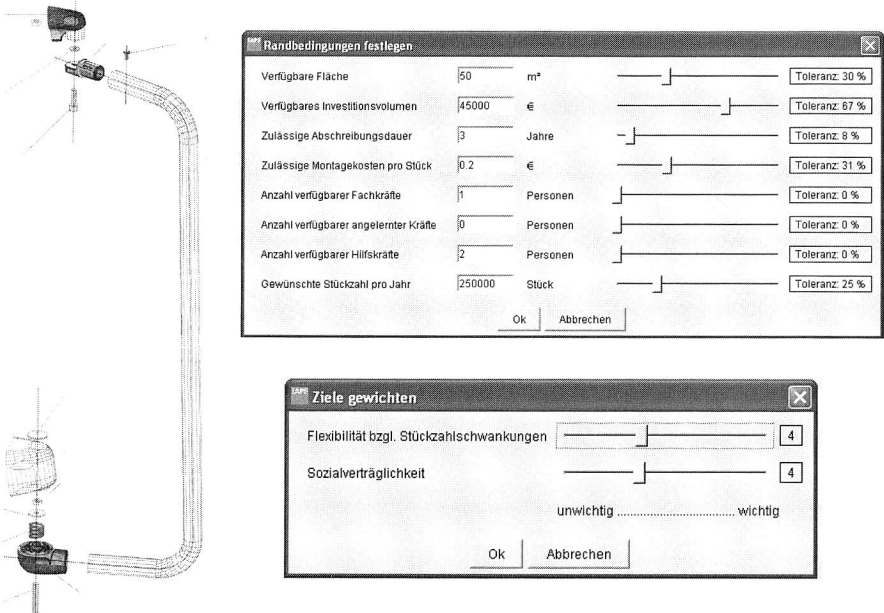


Bild 41: Darstellung des Produktes „Halterung eines Fahrzeugspiegels“ sowie die eingestellten Randbedingungen und Gewichtung der Planungsziele

Es gilt zunächst die Montageteilaufgabe „Schraube M8 x 90 in Aufnahme platzieren“ durchzuführen. Dabei handelt es sich offensichtlich um eine Pick&Place-Tätigkeit. Das betreffende Einzelteil bzw. die Schraube wird aus einer Stückliste ausgewählt. Es wird angenommen, dass ein Behälter mit Schrauben innerhalb der Einhandzone sortenrein bereitsteht. Es wird nicht angenommen, dass die Schrauben in einer definierten Lage vorliegen. Diese Informationen werden dem System in weiteren Dialogen mitgeteilt. Die Tätigkeit stellt keine besonderen Anforderungen hinsichtlich der Komplexität der Aufgabe. Mit etwas Aufwand (z.B. geordnete Bereitstellung der Schrauben oder Installation eines Ordnungssystems) lässt sich die Teilaufgabe auch mit einfachen Systemen automatisieren. Für die Ausführung werden drei Freiheitsgrade benötigt (Bild 42).

Nach der Generierung und Auswertung der erzeugten Teilaufgabe ermittelt das Planungssystem die zugehörigen MTM-Elementartätigkeiten für die zulässigen Handhabungsoperatoren (Mitarbeiter: 1,43 Sekunden, Pick&Place-Gerät: 0,91 Sekunden, Roboter: 1,07 Sekunden). Analog werden die weiteren Pick&Place-Aufgaben modelliert:

- Rasthülse über die Schraube schieben
- Unteren Halter in der Aufnahme platzieren
- Druckfeder in den unteren Halter einlegen
- Unteren Halter mit der Druckfeder auf Rasthülse legen
- Mutter einlegen
- Unteren Halter verschrauben.

**Teilaufgabe erstellen**

Bezeichnung: Schraube in WT platzieren

Typ der Teilaufgabe:

- ☒ Pick & Place - Aufgabe
- ☐ Handhabung eines Werkzeuges
- ☐ Sonstige Aufgabe

Ok Abbrechen

**Erstellen einer Pick-and-Place - Aufgabe**

Betrachtetes Teil:

- ☒ Einzelteil aus der Stückliste
- Schraube M8x25, Teilnummer 42
- Unterlegscheibe, Teilnummer 38
- Druckfeder, Teilnummer 36
- Schraube M6x10, Teilnummer 37**
- Rohrhülse, Teilnummer 35
- Schraube M5x18, Teilnummer 41
- Rohrbügel 2400 mm, Teilnummer 30
- Rohrbügel 2600 mm, Teilnummer 31
- ☐ Bestehendes Montageobjekt

Bereitstellungsort:

- ☐ Arbeitszentrum
- ☐ Erweitertes Arbeitszentrum
- ☐ Einhandzone
- ☐ Erweiterte Einhandzone

Ordnungszustand:

- ☐ Sortiert und in definierter Lage
- ☐ Sortiert und in undefinierter Lage
- ☐ Unsortiert und in undefinierter Lage

Fügebefehl:

- ☐ Kein Druck notwendig
- ☐ Leichter Druck notwendig
- ☐ Starker Druck notwendig

Ok Abbrechen

**Komplexität und Automatisierbarkeit**

Komplexität:

- ☒ Tätigkeit stellt keine besonderen Anforderungen
- ☐ Tätigkeit stellt geringe Anforderungen
- ☐ Tätigkeit stellt hohe Anforderungen
- ☐ Tätigkeit stellt sehr hohe Anforderungen

Automatisierbarkeit:

- ☐ Tätigkeit ohne Schwierigkeiten mit einfachen Systemen automatisierbar
- ☐ Tätigkeit mit etwas Aufwand mit einfachen Systemen automatisierbar
- ☐ Tätigkeit nur sinnvoll mit frei programmierbaren Systemen automatisierbar
- ☐ Tätigkeit nur mit sensorgeführten Spezialhandhabungsgeräten automatisierbar
- ☐ Tätigkeit nicht sinnvoll automatisierbar

Anzahl benötigter Freiheitsgrade:

- ☐ Ein Freiheitsgrad wird benötigt
- ☐ Zwei Freiheitsgrade werden benötigt
- ☐ Drei Freiheitsgrade werden benötigt
- ☐ Vier Freiheitsgrade werden benötigt
- ☐ Mehr als vier Freiheitsgrade werden benötigt

Ok Abbrechen

**Bild 42:** Erstellung einer Pick&Place-Aufgabe mit entsprechender Teilebereitstellung, Komplexität der Aufgabe und Möglichkeit der Automatisierung

Das „Verschrauben des unteren Halters“ ist mit einer Werkzeughandhabung verbunden. Dazu muss zunächst die Teilaufgabe erzeugt, der Prozess und dessen Zeit definiert sowie die Komplexität und Automatisierbarkeit bestimmt werden. Alle weiteren Teilaufgaben zur Planung der Montage des Spiegelhalters lassen sich wie folgt erzeugen:

- Deckel eindrücken
- Rohrbügel in Aufnahme platzieren
- Unteren Halter auf Rohrbügel schieben
- Unteren Halter auf Rohrbügel pressen
- Schraube M8x25 in Aufnahme platzieren
- Rohrhülse aufschieben
- Gleitscheibe aufschieben
- Oberen Halter platzieren
- Mutter M8 platzieren
- Oberen Halter verschrauben
- Oberen Halter in Rohrbügel schieben
- Schraube M5x18 platzieren
- Oberen Halter an Rohrbügel schrauben

### Synthese und Bewertung der Prinziplösung

Die nächste Aufgabe besteht darin, Prinziplösungen zur Erfüllung der beschriebenen Montageaufgabe zu generieren.

### **Manuelle Lösung**

Zunächst wird versucht, die Aufgabe mit einem manuellen System zu lösen. Es müssen nun die Teilaufgaben in einer geeigneten Art und Weise den manuellen Stationen zugeordnet werden. Bei der Zuordnung von Fügeaufgaben sind die jeweiligen Werkzeuge auszuwählen. Für die Lösung der geforderten Montageaufgabe wurden vier Stationen erzeugt und in einem U-Layout angeordnet (s. Bild 43).

### **Hybride Lösung**

Wie die rein manuelle Lösung erkennen lässt, führt sie zu überhöhten Montagekosten pro Stück. Außerdem wurden unzulässig viele Mitarbeiter (Hilfskräfte) eingesetzt. Es ist daher zu versuchen, durch eine Systemmodifizierung und geeignete Automatisierungsmaßnahmen eine hybride Alternative zu schaffen (s. Bild 44).

Die Bewertung der hybriden Alternative zeigt, dass das System unter Berücksichtigung der gewählten Randbedingungen und zugehörigen Toleranzen realisierbar wäre. Kritisch könnte allenfalls die Einhaltung der Kriterien Platzbedarf und Montagekosten pro Stück sein. Um Platz zu sparen, kann versucht werden, ein Linienlayout statt der U-Anordnung zu planen. Nach Durchführung dieser schnell zu realisierenden Abwandlung des Planungsszenarios kann man erkennen, dass beträchtliche Platzeinsparungen erzielt werden können. Dieser Vorteil geht jedoch mit einem Verlust der Flexibilität einher. Die in der Linie auftretende große räumliche Distanz der manuellen Stationen führt dazu, dass es bei einem Stückzahlseinbruch nicht möglich wäre, einen Mitarbeiter beide Stationen bedienen zu lassen. Das U-Layout ist daher aus Flexibilitätsgründen der Linienanordnung vorzuziehen.

### **Automatisierte Lösung**

Um die Montagekosten pro Stück weiter zu senken, wird schließlich eine automatisierte Variante betrachtet. Die vollständige Automatisierung würde zu den niedrigsten Montagekosten pro Stück führen. Aufgrund der äußerst schlechten Flexibilität und der deutlichen Überschreitung des zulässigen Investitionsvolumens, scheidet jedoch auch diese Variante aus (s. Bild 45).

### **Auswahl der geeignetsten Lösung**

Die Montageaufgabe würde sich am besten mit einem hybriden System in U-Anordnung lösen lassen (s. Bild 44). Die tendenziellen Schwachpunkte dieser Lösung (Montagekosten pro Stück, Platzbedarf) lassen sich im Rahmen weiterer Ausarbeitungen in der Feinplanungsphase beseitigen.



**Bewertung**

Montagegruppe 'Halterung montieren'

Station 2 Station 1

Station 3 Station 4

**Bewertung der Lösungsvariante 'Manuelle Variante'**

Kosten		Allgemeines	
Investitionskosten:	25300 Euro	Eingesetzte Handhabungsoperatoren:	- Hilfskraft (4/0)
Instandhaltungskosten:	405 Euro/Jahr	Verwendete Hilfsmittel:	- Druckluftschrauber (1x) - Elektroschrauber (2x) - Kniehebelpresse (1x)
Abschreibungskosten:	8433.0 Euro/Jahr	Anzahl geplanter Schichten:	1
Zinskosten:	1265.0 Euro/Jahr	Automatisierungsgrad:	0.0 %
Raumkosten:	788.0 Euro/Jahr	Flächenbedarf 'Halterung montieren':	7.0 m x 7.5 m = 52.5 m²
Personalkosten:	100000 Euro/Jahr	Gesamtflächenbedarf:	52.5 m²
Anlagenbündensatz:	0.19 Euro/Stunde		
Arbeitsbündensatz:	63.01 Euro/Stunde		
Montagekosten pro Stück:	0.44 Euro		
Flächenbedarf 'Halterung montieren':	7.0 m x 7.5 m = 52.5 m²		
Gesamtflächenbedarf:	52.5 m²		
Flexibilität		Sozialverträglichkeit	
Flexibilitätsbeitrag 'Halterung montieren':	71.24 %	Sozialverträglichkeit der Arbeitszeit:	100.0 %
Gesamtflexibilität:	71.24 %	Sozialverträglichkeit der Arbeitsinhalte:	70.0 %
Gesamtwiederverwendbarkeit:	71.24 %	Sozialverträglichkeit insgesamt:	70.0 %
Leistungsdaten			
Bearbeitungszeit pro Stück:	16.1 s		
Jährliche Ausbringung:	250000.0 Stück		
Kapazitätsauslastung:	64.0 %		
Eignung			
Flächenbedarf:	Zulässig: 50.0 m²	Ist: 52.5 m²	Das Kriterium ist vielleicht noch erfüllt.
Gesamtinvestition:	Zulässig: 45000.0 Euro	Ist: 25300 Euro	Das Kriterium ist wahrscheinlich erfüllt.
Jährliche Ausbringung:	Gefordert: 250000.0	Ist: 250000.0	Das Kriterium ist mit Sicherheit erfüllt.
Montagekosten pro Stück:	Zulässig: 0.2 Euro	Ist: 0.44 Euro	Das Kriterium ist mit Sicherheit nicht erfüllt.
Anzahl an Fachkräften:	Zulässig: 1	Ist: 0	Das Kriterium ist mit Sicherheit erfüllt.
Anzahl an angelernten Kräften:	Zulässig: 0	Ist: 0	Das Kriterium ist mit Sicherheit erfüllt.
Anzahl an Hilfskräften:	Zulässig: 2	Ist: 4	Das Kriterium ist mit Sicherheit nicht erfüllt.
Stückzahlflexibilität:	Gefordert: 40 %	Ist: 71.24 %	Das Kriterium ist mit Sicherheit erfüllt.
Sozialverträglichkeit:	Gefordert: 40 %	Ist: 70.0 %	Das Kriterium ist mit Sicherheit erfüllt.

Datenblatt zu Halterung montieren **Gesamtbewertung**

Ok Abbrechen

Bild 43: Bewertung der in U-Form angeordneten, manuellen Montagelösung

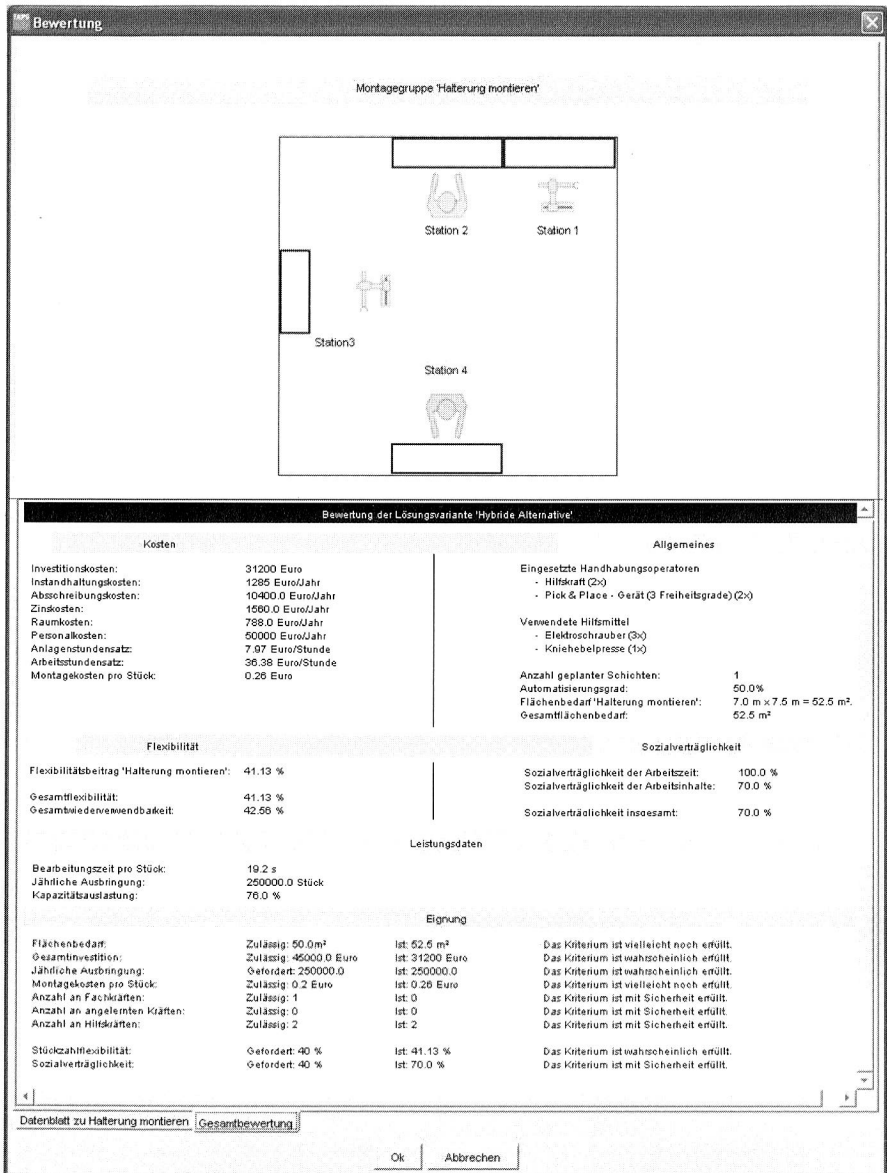


Bild 44: Bewertung der in U-Form angeordneten, hybriden Montagelösung

**Bewertung**

Montagegruppe 'Halterung montieren'

Station 1 Station 2 Station 3 Station 4 Station 5 Station 6 Station 7 Station 8

**Bewertung der Lösungsvariante 'Automatisierte Variante'**

Kosten		Allgemeines	
Investitionskosten:	83900 Euro	Eingesetzte Handhabungsoperatoren:	
Instandhaltungskosten:	4600 Euro/Jahr	- Pick & Place - Greif (1 Freiheitsgrad) (ch)	
Abschreibungskosten:	27967,0 Euro/Jahr	- Pick & Place - Greif (3 Freiheitsgrade) (ch)	
Zinskosten:	4195,0 Euro/Jahr	Vermendete Hilfsmittel:	
Raumkosten:	810,0 Euro/Jahr	- Druckluftschrauben (2s)	
Personalkosten:	0 Euro/Jahr	- Elektroschrauber (1s)	
Anlagenfunktionszeit:	21,38 Euro/Stunde	- Hydraulikpresse (1s)	
Arbeitslöhneinsatz:	21,38 Euro/Stunde	Anzahl geplanter Schichten:	1
Montagekosten pro Stück:	0,15 Euro	Automatisierungsgrad:	100,0 %
		Flächenbedarf 'Halterung montieren':	15,0 m x 3,6 m = 54,0 m²
		Gesamtflächenbedarf:	54,0 m²

Flexibilität		Sozialverträglichkeit	
Flexibilitätsbeitrag 'Halterung montieren':	0,0 %	Sozialverträglichkeit der Arbeitszeit:	100,0 %
Gesamtflexibilität:	0,0 %	Sozialverträglichkeit der Arbeitsinhalte:	100,0 %
Gesamtbienfendbarkeit:	5,89 %	Sozialverträglichkeit insgesamt:	100,0 %

**Leistungsdaten**

Bearbeitungszeit pro Stück:	19,2 s
Jährliche Ausbringung:	250000,0 Stück
Kapazitätsauslastung:	75,0 %

**Eignung**

Kriterium	Zulässig	Ist	Ergebnis
Flächenbedarf:	Zulässig: 50,0m²	Ist: 54,0 m²	Das Kriterium ist vielleicht noch erfüllt.
Gesamtinvestition:	Zulässig: <60000,0 Euro	Ist: 83900 Euro	Das Kriterium ist mit Sicherheit nicht erfüllt.
Jährliche Ausbringung:	Gefordert: 250000,0	Ist: 250000,0	Das Kriterium ist wahrscheinlich erfüllt.
Montagekosten pro Stück:	Zulässig: 0,2 Euro	Ist: 0,15 Euro	Das Kriterium ist wahrscheinlich erfüllt.
Anzahl an Fachkräften:	Zulässig: 1	Ist: 0	Das Kriterium ist mit Sicherheit erfüllt.
Anzahl an angeleiteten Kräften:	Zulässig: 0	Ist: 0	Das Kriterium ist mit Sicherheit erfüllt.
Anzahl an Hilfskräften:	Zulässig: 2	Ist: 0	Das Kriterium ist mit Sicherheit erfüllt.
Stückzahlverfügbarkeit:	Gefordert: >40 %	Ist: 0,0 %	Das Kriterium ist mit Sicherheit nicht erfüllt.
Sozialverträglichkeit:	Gefordert: >40 %	Ist: 100,0 %	Das Kriterium ist mit Sicherheit erfüllt.

Dateneinsatz zu Halterung montieren **Gesamtbewertung**

Ok Abbrechen

Bild 45: Bewertung der vollautomatisierten Montagelösung

### 3.7 Zusammenfassung

Für die außerordentlich komplexen Problemstellungen der Montageplanung während der Konzeptphase lassen sich in vielen Fällen mit herkömmlichen Methoden keine optimalen Resultate erzielen. Als Lösungsansatz wurde eine Rechnerunterstützung in der frühen Planungsphase von mitarbeiterorientierten Montagestrukturen diskutiert. Es hat sich gezeigt, dass trotz zahlreicher Forschungsaktivitäten und deren – bezogen auf den jeweiligen Fokus – viel versprechender Ergebnisse kein kommerzielles System zur Planung von Systemalternativen am Markt erhältlich ist, welches bereits in der Grobplanungsphase ansetzt. Gründe hierfür sind in den meist wenig konkreten Randbedingungen und fehlenden Parametern zu Beginn der Planungsaufgabe zu finden. Mit der Entwicklung dieses Leitfadens wird durch die Einführung geeigneter Modelle und Algorithmen bereits in den frühesten Montageplanungsphasen eine wirksame Rechnerunterstützung möglich.

Bei der Analyse verfügbarer Methoden wurde festgestellt, dass viele Planungswerkzeuge Defizite hinsichtlich Eignung, Nutzen und Anwendbarkeit für die Belange der wirtschaftlich bedeutenden kleinen und mittleren Betriebe aufzeigen. Am Beispiel des umgesetzten Softwareansatzes wird deutlich, wie lediglich aus heuristischen Einschätzungen kompetenter Montageplaner algorithmisierbare und mit dem Rechner sinnvoll verarbeitbare Planungsdaten erzeugt werden können. Die Synergie aus sachkundiger Beurteilung des Planers und dem im realisierten Leitfaden implementierten Expertenwissen führt zu einer sehr hohen Effizienz.

Neben den speziellen Belangen der kleinen und mittelständischen Unternehmen wurden weiterhin Aspekte der Flexibilität von Montagestrukturen, deren Sozialverträglichkeit bzw. die Mitarbeitermotivation sowie die Kapazität des zu planenden Montagesystems berücksichtigt. Diese Faktoren sind von großer Relevanz für eine agile Montage in der Einzel- und Kleinserienfertigung. Durch umfangreiche Analysen und Bewertungen werden schließlich Prinziplösungen ermittelt, die durch den Planer jederzeit wieder anpassen- und erweiterbar sind.

Der Prototyp planAs kann aufgrund seiner unkomplizierten Anwendbarkeit und dem geringen Einarbeitungsaufwand sowie durch den Einsatz von Standardsoft- und Hardware, einen Beitrag zur Erhöhung der Akzeptanz von Rechnerhilfsmitteln in frühen Montageplanungsphasen leisten. Damit ist eine wesentliche Voraussetzung geschaffen, das Potenzial der Rechnerunterstützung bereits in der Konzeptphase ohne teure und komplexe Planungssysteme zu nutzen.

## 4 Innovative Konzepte für agile, mitarbeiterorientierte Montagesysteme

Neben der obligatorischen Verbindlichkeit von Lieferterminen, der flächigen Verbreitung von Just-In-Time-Lieferbedingungen, dem stetigen Anstieg von Produktvarianten und Qualitätsforderungen sowie gleichzeitig sinkenden Losgrößen ist in den letzten Jahren eine deutliche Verkürzung der durchschnittlichen Produktlebensdauer zu vermerken [71]. Im Rahmen der Risikominimierung ist in vielen Unternehmen das Bestreben vorhanden, nur noch bereits bestellte Produkte zu produzieren.

Die manuelle bzw. hybride Montage wird daher gerade bei KMU auch in Zukunft die vorrangige Montageform sein. Dies liegt vor allem in der überlegenen Flexibilität mitarbeiterbasierter Montageanlagen gegenüber rein automatisierten Lösungen [33, 159]. Dem Einsatz hoch automatisierter Montageanlagen stehen in mittelständischen Unternehmen Aspekte wie die erheblichen Anschaffungskosten und das Risiko von Fehlinvestitionen gegenüber [98]. Der Grund hierfür liegt in der schlechten Prognostizierbarkeit der Faktoren Absatzmarkt, Wettbewerber und Ressourcen, im zeitlich stark schwankenden Auftreten der Veränderungen und in der sich ständig ändernden Stärke der Einflussgrößen [126]. Qualifizierte Aussagen über die Wirtschaftlichkeit der betrachteten Montagesysteme sind bekanntermaßen selten möglich.

Die Anpassung der Produktionsleistung an die Nachfragekurve stellt demzufolge eine viel versprechende Grundlage für die Realisierung einer agilen, absatzorientierten Montage dar [123]. Unter agil soll in diesem Zusammenhang die Gestaltung des Montagesystems in Form eines mitarbeiterorientierten bzw. hybriden und modularen Aufbaus verstanden werden, der jederzeit, abhängig von Prognose und Bedarf, eine wandlungsfähige sowie stufenweise investitions- und kapazitätsflexible Auslegung der Montage erlaubt.

Das Gesamtziel des hier dargelegten Konzeptes für kleine und mittelständische Betriebe liegt zum einen in der Gestaltung und im Einsatz flexibler Systeme in Kombination mit organisatorischen und personellen Maßnahmen zur Synchronisation der Montage mit dem Absatzverhalten der Produkte. Zum anderen zeigt es sich in der Möglichkeit, gezielte Investitionen entsprechend der Absatzentwicklung zu tätigen. Neben den Vorteilen der monetären Risikominimierung und der Agilität gegenüber Markt- und Kundenforderungen kann somit auch eine freie Gestaltung des Systems in manueller, automatisierter oder hybrider Weise erzielt werden.

In zahlreichen Projekten und Verbundvorhaben mit KMU wurden Forderungen nach einer spezifischen Eignung von Montagesystemen erarbeitet. Die Beschäftigungssicherung durch die Abwendung von einer bedingungslosen Automatisierung sowie die Sicherung des Standortes Deutschland spielten dabei oftmals eine entscheidende Rolle. Das Spannungsfeld aus marktinduzierten Turbulenzen, vorzuhaltender Flexibilität und hohen Lohnkosten ließ schnell die Notwendigkeit einer durchgängigen Verwendbarkeit der einzelnen Montagesystemkomponenten – auch über den jeweiligen Produktlebenszyklus hinaus – sowie die Forderungen nach einheitlichen Schnittstellen, einheitlichem Rastermaß, frei positionierbaren Übergabestationen etc. erkennen.

## 4.1 Aufgaben und Möglichkeiten der flexiblen Montage

Ein Hauptmerkmal flexibler Montageanlagen ist deren Fähigkeit, unterschiedliche Produkte und Varianten mit möglichst geringem Umstellungsaufwand wirtschaftlich montieren zu können. Darüber hinaus werden ein hohes Wiederverwendungspotenzial der existenten Systemkomponenten sowie die Fähigkeit zur einfachen Integration neuer Komponenten gefordert [64]. Dies stellt eine erhebliche Verbesserung gegenüber herkömmlichen Montagesystemen dar, die meist nur für eine spezielle Aufgabe eingesetzt werden können und nach Produktionsende ab- oder umgebaut werden müssen.

### 4.1.1 Prinzipielle Gestaltung von Montagesystemen

Montagesysteme setzen sich aus vielen unterschiedlichen Komponenten zur direkten Ausführung der Montageprozesse zusammen. Dabei umfassen die Montagekomponenten das Montagepersonal ebenso wie Montagemittel, -hilfsmittel und -einrichtungen.

Die Orientierung am Kunden und die Wirtschaftlichkeit sind zwei sehr wichtige, aber zumeist konkurrierenden Aspekte (s. Bild 46). Im Bereich der Montage kann man in Abhängigkeit vom benötigten Automatisierungsgrad drei grundsätzliche Lösungsfelder mit spezifischen Eigenschaften und stark unterschiedlichen Ausprägungen differenzieren. Ausgehend von der manuellen Montage bei kleinen Stückzahlen und der starr automatisierten Montage bei großen Serien verstärkt sich die Notwendigkeit zur Einführung flexibler und adaptiver Montagesysteme.

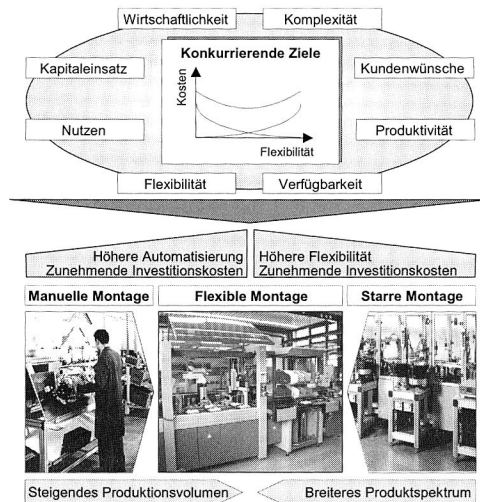


Bild 46: Konkurrierende Ziele bei der Gestaltung von Montagesystemen erfordern eine angepasste Auslegung des Automatisierungsgrades

Zur Umsetzung flexibler Montagesysteme stehen dabei zwei prinzipielle Ansätze zur Verfügung. Einerseits können durch die Integration von NC-Achsen oder Robotersystemen konventionelle Automaten in ihrer Flexibilität erweitert sowie weitere Montageaufgaben für eine rationelle Automatisierung erschlossen werden [36]. Andererseits

kann die hybride oder teilautomatisierte Montage eingesetzt werden, wenn der Investitionsbedarf für die Automatisierung einzelner Vorgänge überproportional ansteigt und damit nicht wirtschaftlich ist, z.B. in der Kleinserienmontage [50]. Bei der Aufteilung der Arbeit zwischen Mensch und Maschine muss sowohl eine sinnvolle Arbeitsverteilung als auch die zeitliche Entkoppelung der manuellen Arbeitsplätze vom Anlagentakt sichergestellt werden. Durch das Entkoppeln der Stationen mit Puffern wird nicht nur eine individuelle Arbeitsgeschwindigkeit ermöglicht, sondern auch die Störungsempfindlichkeit verringert. Das Aufgabengebiet des Menschen darf dabei nicht auf monotone Resttätigkeiten beschränkt, sondern sollte erweitert werden. So können z.B. Systemüberwachung und Entstörung sinnvolle Ergänzungen des Aufgabengebietes sein.

Insbesondere modulare Anlagenkonzepte eignen sich für den Aufbau mengen- und variantenflexibler Montagesysteme. Der schnelle Austausch der Module ermöglicht die Substitution manueller Arbeitsplätze durch Automatikstationen innerhalb weniger Minuten. Durch dezentrale Steuerungen können die Module autark getestet, optimiert und auf die gewünschten Varianten gerüstet werden, ohne dass das gesamte Montagesystem angehalten werden muss [45].

#### 4.1.2 Defizite konventioneller Systemstrukturen im dynamischen Umfeld

Bisherige Montagesysteme ermöglichen eine Anpassung der Produktionszahlen an marktbedingte Absatzänderungen nur unzureichend. Das strukturimmanente Grundproblem konventioneller Montagesysteme in einem dynamischen Marktumfeld ist die technische Kapazitätsauslegung der Anlagen auf die im Laufe des Produktlebenszyklus maximale Absatzmenge [132]. Eine Kapazitätsanpassung erfolgt deshalb überwiegend durch organisatorische Strategien wie z.B. Schichtmodelle, was jedoch den gänzlichen Aufbau des Montagesystems in seiner Endausbaustufe bedingt und außerdem durch Aufschläge zusätzliche Kosten verursacht.

Der Absatzverlauf eines Produktes wird durch seine Lebenszykluskurve charakterisiert. Demnach haben alle Erzeugnisse eine begrenzte Produktionszeit, während der die Absatzkurve generell fünf Phasen durchläuft [34]. In der *Einführungsphase* wird das Produkt auf den Markt gebracht und unterliegt einem langsamen Absatzwachstum. Aufgrund der hohen Kosten für den Produktionsanlauf weist diese Phase meist einen negativen Deckungsbeitrag auf [80]. Die *Wachstumsphase* beginnt per Definition mit dem Überschreiten der Gewinnschwelle und ist durch rasche Zuwächse am Markt geprägt. In der folgenden *Reifephase* vermindert sich das Nachfragewachstum wegen der zunehmenden Wettbewerbssituation am Markt und endet schließlich mit der höchsten Ausbringungsmenge in der *Sättigungsphase*. In der *Degenerationsphase* läuft das Produkt mit abnehmender Absatzmenge aus [15, 62].

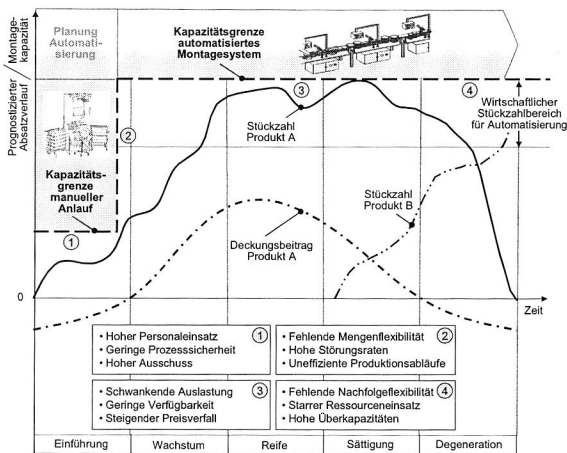
Der idealtypische Verlauf des Absatzes wird in realiter jedoch durch markt-, branchen- und unternehmensspezifische Randbedingungen sowie durch Konjunktüreinflüsse der Wirtschaft bestimmt. Charakterisiert wird dies durch die Art und Dauer der auftretenden Absatzänderungen bzw. -schwankungen. Obwohl bei vielen Absatzverläufen die dargestellten Phasen belegbar sind, bietet eine Orientierung am prognostizierten Produktlebenszyklus über lange Planungszeiträume erhebliche Defizite.

Die konventionelle und immer noch weit verbreitete Vorgehensweise zur Auslegung komplexer Montageanlagen ist von einem Produktionsbeginn mit einfachen manuellen

Arbeitsplätzen mit geringer Automatisierung geprägt. Dabei werden in den frühen Phasen die kognitiven Fähigkeiten der Mitarbeiter genutzt, um Störungen durch produkt- oder prozessbedingte Fehler abzufangen, bis die Prozesse ausreichend beherrscht werden. Kapazitätserweiterungen erfolgen hier ausschließlich über Mehrschichtmodelle.

Zeitgleich zum manuellen Betrieb erfolgt die Planung einer automatisierten Montageanlage. Nach erfolgreicher Produkteinführung am Markt wird die manuelle von der automatisierten Organisation mit hoher, aber meist fixer Kapazität abgelöst. Schwankende Absatzverläufe können nur unzureichend berücksichtigt werden. Das ideale Produktionsvolumen wird somit durch einen einstufigen Kapazitätsverlauf gekennzeichnet. Die existierenden manuellen Stationen werden anschließend bestenfalls noch für Sondervarianten, Produktionsengpässe oder die Ersatzteilproduktion genutzt [83].

Bild 47 zeigt die klassische Stückzahlentwicklung zweier Produkte A und B mit den typischen Produktlebensphasen, dem stilisierten Deckungsbeitrag sowie der Zuordnung der beschriebenen Vorgehensweise und der eingesetzten Montagesysteme.



**Bild 47:** Grenzen und Defizite konventioneller komplexer Systemstrukturen und systemimmanente Grundprobleme im dynamischen Umfeld

In der *Einführungsphase* kann aufgrund der geringen Umsatzzahlen und des vergleichsweise hohen Personaleinsatzes nicht kostendeckend produziert werden. In der Regel führt der Einsatz manueller Arbeitsplätze als Übergangslösung dazu, dass positive Änderungen des Absatzverhaltens nicht eine angepasste Automatisierung der Arbeitsplätze, sondern Überstunden oder Sonderschichten bedingen. Dadurch verstärkt sich zwangsläufig die fragmentarische Notwendigkeit des Wandels von der manuellen hin zu einer automatisierten Montagelösung. Häufige Produktanpassungen sowie eine geringe Prozesssicherheit führen zu hohem Störpotenzial und Ausschuss.

In der *Wachstumsphase* erfolgt meist die Umstellung der manuellen auf die hochautomatisierte Montage. Abgesehen von den üblichen Anlaufproblemen hat die oft fehlende Mengenflexibilität der einzelnen Montagestationen erhebliche Auswirkungen auf das Betriebsverhalten der gesamten Anlage. Trotz großer Überkapazitäten muss der Auf-



wand für Montage- und Betreuungspersonal voll vorgehalten werden. Bei Nachfragen unterhalb der Prognosen können somit die Zielwerte für die Stückkosten durch einen hohen fixen Anteil nicht eingehalten werden. Mangelnde Systemkenntnisse des Personals, Austaktungsprobleme bei geringen Auslastungen sowie instabile Montageprozesse ziehen hohe Störungsraten und uneffiziente Produktionsabläufe nach sich.

In der *Reife- und Sättigungsphase* ist das Montagesystem meist eingefahren und bei hypothetisch konstantem Absatz gut ausgelastet. Häufig weicht der Stückzahlverlauf jedoch deutlich von den Prognosen ab. Somit können auftretende Überkapazitäten zu hohen Produktionskosten und damit zu einer Verlängerung der Amortisation oder gar Verlust der Investition führen. Im Gegensatz dazu führt auch eine außerplanmäßig hohe Nachfrage zu Problemen, da ein Kapazitätsengpass meist nur mit erheblichem technischen oder personellen Aufwand realisierbar ist. Die vorhandenen Fertigungseinrichtungen sind nicht erweiterbar und die Prozesse wurden hinsichtlich der Geschwindigkeit größtenteils bereits in der Anlaufphase der Anlage optimiert [78]. Notwendige Sonderschichten und Zusatzinvestitionen, eine Auftragsfremdvergabe oder gar der Verlust der Marktposition können Folgen dieser fehlenden Agilität sein.

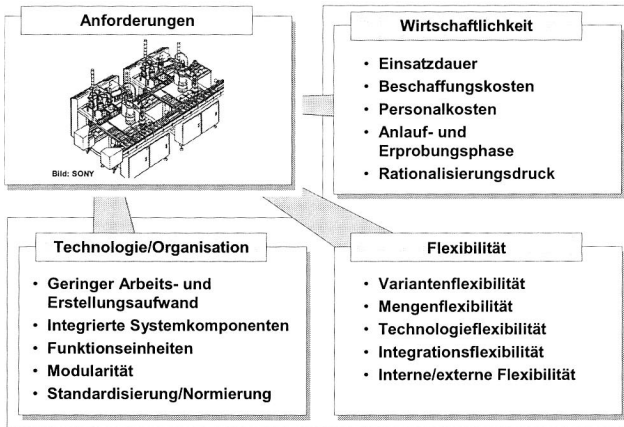
Aufgrund von zunehmendem Wettbewerb oder veränderten Kundenwünschen sinkt der Absatz in der *Degenerationsphase* stetig. Eine fehlende Nachfolge- bzw. Mengenflexibilität bedingt unökonomische Überkapazitäten und resultiert in Auslastungsdefiziten. Ein starr vorgehaltener Ressourceneinsatz führt schnell zu einem negativen Deckungsbeitrag, wodurch die Produkte häufig vorzeitig vom Markt genommen werden müssen. Dies wiederum verkürzt empfindlich die Amortisation. Verstärkt wird dieser Effekt häufig durch die produktspezifische Auslegung der Montagestationen. Ein geringer Wiederverwendungsgrad der eingesetzten Komponenten ist dabei symptomatisch. Für Folgeprodukte müssen daher vollständig neue Anlagen geplant oder zumindest die Komponenten spezifisch auf das aktuelle Montageproblem angepasst werden. Der Anteil an Umrüstkosten ist fast immer zu hoch, um die Aufwendungen für die wünschenswerte Flexibilität rechtfertigen zu können.

Initiiert durch die unzureichende Nachfolgeflexibilität wiederholt sich der gesamte Vorgang für Folgeprodukte. Fehlende Alternativen zwischen komplex automatisierten und rein manuellen Montagesystemen bedingen weiterhin, dass einfache manuelle Arbeitssysteme realisiert und nach der Optimierung in Billiglohnländer verlagert werden. Die Defizite derzeitiger Montagesysteme beruhen folglich auf der mangelnden Modularität und Standardisierung auf Anlagen- und Zellenebene [127]. Eine einfache und schnelle Anpassung der Anlagen an Absatzänderungen durch einen stufenweisen Ausbau oder Veränderung des Automatisierungsgrades ist kaum möglich. Die Forderungen nach verkürzten Einführungsphasen sowie einem schnellen Hochlauf erfordern dies jedoch. Bei den hohen Anlagenkosten ist ein derzeit üblicher Wiederverwendungsanteil von ca. 50% jedoch nicht akzeptabel. Bei einem günstigeren Verhältnis wären effizientere Abschreibungsmodelle für die Basiseinrichtungen denkbar, wodurch sich die Kalkulations- und Amortisationsgrundlagen ändern würden.

#### 4.1.3 Anforderungen und Einsatzbereiche für flexible Montagesysteme

Montageeinrichtungen unterliegen einem breiten Spektrum an Anforderungen, um das primäre Ziel der produzierenden Unternehmen nach einer Reduzierung der notwendi-

gen Investitionen und entstehenden Kosten zu erfüllen, bzw. dem steigenden Rationalisierungsdruck gerecht zu werden (s. Bild 48).



*Bild 48: Grundlegende Anforderungen an Montagesysteme von heute*

Für die Realisierung einer Montageanlage sind vor allem die Beschaffungskosten bezogen auf die Systemleistung, die geplante Einsatzdauer, der Personalaufwand beim Aufbau und Inbetriebnahme sowie eine kurze Anlaufphase von Bedeutung. Der Hochlauf kann nur verkürzt werden, wenn der Anteil an robusten und störungstoleranten Komponenten hoch ist, und die Planung ohne unnötigen Aufwand erfolgen kann. Die Voraussetzung dafür sind möglichst viele integrierte, aufwärtskompatible Systemkomponenten. Diese müssen bereits mit den notwendigen Funktionseinheiten ausgerüstet sein und nur noch mit anwenderspezifischen Werkzeugen komplettiert werden. Dazu müssen alle relevanten Elemente und Schnittstellen des Systems den gängigen Standards entsprechen. Sehr aufwändig und zeitintensiv ist die häufig anzutreffende Methode, selbst Standardkomponenten wie Transfersysteme oder Handarbeitsplätze aus Profilsystemen aufzubauen [151]. Stattdessen sind eine strenge Standardisierung sowie eine signifikante Steigerung des produktneutralen Systemanteils und des Wiederverwendungsgrades obligatorische Voraussetzungen.

Eine Montageanlage muss zuverlässig sein, eine Verbesserung der Produktivität bewirken, die Qualität steigern, den Flächenbedarf gering halten, die Kapitalkosten und Neuinvestitionen klein halten und für neue Produktgenerationen adaptierbar sein [82]. Das gesamte System muss innerhalb von 6 Wochen nach Bestellung betriebsbereit, innerhalb von 24 Stunden auf einen neuen Produkttyp umzustellen und bei einer Modelländerung oder einem Variantenwechsel in weniger als 30 Minuten mit einem Minimum an Kosten umzurüsten sein [22].

Die beiden dringendsten Flexibilitätserfordernisse sind die nach Variantenflexibilität und die nach Gestaltungsflexibilität bei der Aus- und Umrüstung des Systems. Unter Variantenflexibilität ist die Fähigkeit eines Produktionsmittels zu verstehen, mit minimalem Umrüstaufwand eine ganze Produktfamilie, bestehend aus mehreren Varianten, produzieren zu können. Eine weitere tragende Rolle spielt ferner die Nachfolgeflexibilität, die

Fähigkeit, laufende und nachfolgende Produktmodelle in einem Modellmix parallel zu montieren. Schließlich kommt der Mengenflexibilität eine entscheidende Bedeutung zu (s. Bild 49), d.h. der Fähigkeit, sich stückzahltaumend an veränderte Losgrößen und Bedarfssituationen anzupassen [51]. Dabei muss der notwendige Personal-, Investitions- und Ressourceneinsatz mengenabhängig variierbar sein. Die Investitionen sollten hierbei schrittweise modifizierbar sein, da sich dies positiv auf die Stückkosten in der Anfangsphase des Produktionsanlaufs auswirkt [150].

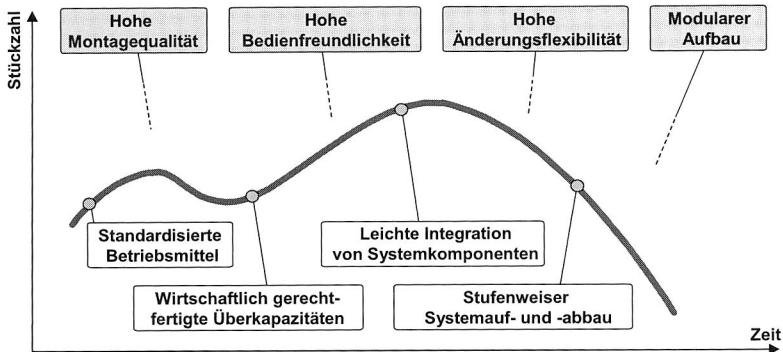


Bild 49: Anforderungen an mengenflexible Montagesysteme

Im Zuge der Anpassung von Montageanlagen an die geforderte Kapazität – im Sinne einer Minimierung der ökonomischen Verluste durch Überkapazitäten – bietet sich die angepasste Automatisierung als Strategie an. Für diesen Zweck eignen sich besonders modulare Montagesysteme [59]. Basierend auf der Verwendung von standardisierten Betriebsmitteln sind mit Hilfe modularer Konzepte beliebige Systemarchitekturen realisierbar. Die resultierende Integrationsflexibilität beim Eingliedern neuer Komponenten wirkt sich unmittelbar auf die Mengenflexibilität eines Systems aus, indem Möglichkeiten zur einfachen und schnellen Strukturänderung geschaffen werden. Die stufenweise Systemumgestaltung darf jedoch nicht nur im Sinne einer stetigen Erhöhung des Automatisierungsgrades verstanden werden. Muss absatzbedingt die Kapazität des Systems abgebaut werden, so kann dies durchaus mit einem Rückbau der Anlage oder mit einer Verringerung des Automatisierungsgrades einhergehen.

Zur optimierten Umsetzung der Mengenflexibilität müssen bereits während der Planung, aufbauend auf flexiblen Grundsystemen, alternative Erweiterungsstrategien für Ausbaustufen vorgesehen werden. Eine dynamische Wirtschaftlichkeitsbetrachtung alternativer Absatzszenarien wäre wünschenswert [85].

Das Höchstmaß an Reaktionsvermögen kann nur durch eine freie Kombination von manuellen und automatischen Stationen erfolgen, wobei eine Anbindung an übergeordnete Logistik-, Planungs- oder Simulationssysteme sehr vorteilhaft ist. Moduleseitig kann der Bedarf an hohe Flexibilität nur durch voll funktionsfähige Einheiten erzielt werden. Die Module müssen die Mechanik, Steuerung sowie elektrische und pneumatische Installation in kompletten Bausteinen beinhalten, einfach steckbar ausgeführt sein sowie identische Schnittstellen und Hauptabmessungen aufweisen [108].

Bei der Integration von manuellen Modulen müssen die hohen Lohnkosten am Standort Deutschland berücksichtigt werden. Das komplette Potenzial der qualifizierten und motivierten Mitarbeiter muss durch organisatorische oder qualitätssichernde Aufgaben (selbstständiges Aufteilen der Aufgaben, Integration in Störungsbehebung etc.) ausgeschöpft werden. Das hiesige Ausbildungsniveau bietet hier einen nachhaltigen Standortvorteil im internationalen Wettbewerb, der meist nur unzureichend genutzt wird.

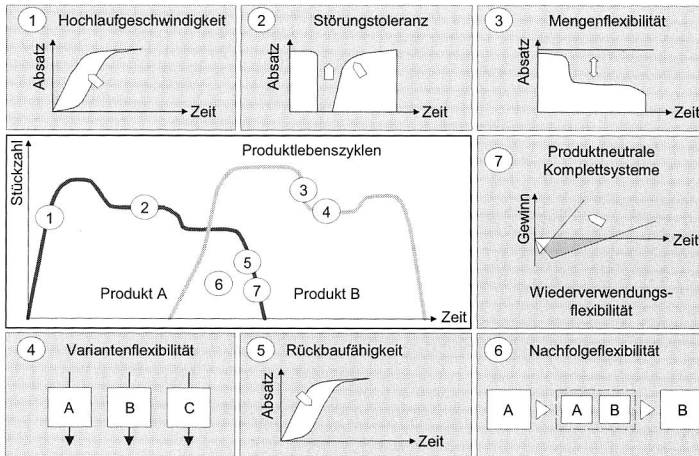


Bild 50: Anforderungsprofil an innovative Montagesysteme im dynamischen Produkti-onsumfeld (nach [84, 99])




Trotz aller Vorteile von flexiblen Systemen muss das richtige Maß an Anpassbarkeit gefunden werden. Einschränkungen ergeben sich durch steigende Kosten bei zunehmender Flexibilität. Eine ganzheitliche Betrachtungsweise wird deshalb erforderlich. Die Wandlungsfähigkeit und Taktzeit sind in der Regel konträre Einflussgrößen, die Kapitalnutzung sinkt bei zunehmender Flexibilität und die Teilezufuhr begrenzt stark die variantenreiche Gemischtmontage. Ein guter Kompromiss zwischen Reaktionsvermögen und Wirtschaftlichkeit entscheidet somit über den Erfolg des Montagesystems.

Gerade die geforderte Flexibilisierung und Wandlungsfähigkeit führen zum Austausch immer größerer Informationsmengen zwischen den Einzeleinrichtungen eines Montage-systems, dessen Umfeld und den Mitarbeitern. Daher werden informationsverarbeiten-de Komponenten und intelligente Steuerungseinrichtungen bei der Realisierung modularer, flexibler, mitarbeiterorientierter Montagesysteme zunehmend wichtiger.

Die Anforderungen, Wünsche und Notwendigkeiten, die zum heutigen Zeitpunkt an innovativen Montagesysteme gestellt werden, können in einem allgemeinen Pflichtenheft zusammengefasst werden (s. Bild 51). Die Forderung nach einer geringen Störanfälligkeit der Komponenten und nach zeitlich parallel ausführbaren Prozessen stellt die Randbedingungen für flexible Anlagen und für die optimale Ausschöpfung des vorhandenen Betriebsmittelpotenzials dar.

Eine kleine Anzahl an unterschiedlichen Systemkomponenten garantiert durch eine hohe Zuverlässigkeit der Einzelkomponenten und durch wenige Schnittstellen einen feh-

terminierten Betrieb und somit eine hohe Verfügbarkeit. Die Komponenten müssen so in das System integriert werden, dass sie bezüglich der Anordnung den Anforderungen der Montageaufgabe gerecht werden und zu einer Minimierung der Nebenzeiten, z.B. durch geschickte Komponentenplatzierung, beitragen.

Anforderungsliste – Montagesystem				
Nr.	Art	Anforderungen		
<b>Einsatzcharakteristik</b>				
1	F	• breiter Anwendungsbereich für verschiedene Produkte und Varianten		
2	F	• geringe Störanfälligkeit		
3	F	• hohe Systemverfügbarkeit		
4	F	• Komplettmontage des Produktes innerhalb des Systems		
5	F	• Ausführung von Parallelprozessen		
<b>Systemarchitektur und Komponentenauslegung</b>				
15	F	• modularer Aufbau		
16	F	• standardisierte Komponenten und Schnittstellen für Energieübertragung, Kommunikation, Positionierung und Fixierung		
17	F	• leichte Integration systemfremder Komponenten		
18	F	• kleine Anzahl an unterschiedlichen Systemkomponenten		
19	F	• einfache und schnelle Technik zur Verbindung der Elemente		
20	F	• Integration von kompletten Vorrichtungen		
<b>Steuerungskonzept</b>				
35	F	• leichte Umprogrammierung		
36	F	• leichte Erweiterbarkeit		
37	F	• Verbindung zu neben- bzw. übergeordneten Systemen		
38	W	• automatische Modulerkennung – Teilebereitstellung		

F. Forstning  
W. Wusch

- optimale Ausschöpfung des Betriebsmittelpotenzials
- flexible Anlage

- einfacher Systemumbau
- Reduzierung der Planungs- und Realisierungszeiten
- hoher Wiederverwendungsgrad
- angepasste Automatisierung
- geringe Anfangsinvestitionen
- hoher Langzeitzutzen/ wirtschaftlicher Einsatz
- hohe Zuverlässigkeit der Einzelkomponenten
- hohe Verfügbarkeit

- schneller Produktionseinstieg
- absatzsynchrone Stückzahl-anpassung

Bild 51: Allgemeines Pflichtenheft für innovative Montagesysteme – Auszug [151]

#### 4.1.4 Modulare, hybride Montagesysteme als Möglichkeit für eine angepasste Automatisierung bei flexiblem Mitarbeitereinsatz

Die ausschließliche Verwendung hochkomplexer automatischer Anlagen bietet nicht die notwendige Toleranz zur schnellen Anpassung an veränderte Marktgegebenheiten, sondern bedingt einen hohen Investitionsbedarf, der sich lediglich bei großen Stückzahlen rentiert [58]. Manuelle Montagen weisen hingegen eben diese geforderte Flexibilität auf, erreichen jedoch oftmals nicht die Produktivität bei steigenden Stückzahlen und damit nicht die notwendige Wirtschaftlichkeit [101]. Gleichzeitig erfordert die steigende Varianz bei kleineren Losgrößen einen steigenden Material- und Logistikaufwand [157], was zu sinkender Effizienz in manuellen und zu Investitionssteigerungen in automatisierten Systemen führt. Diese konträren Ausprägungen lassen die Folgerung zu, dass es eines flexiblen Zusammenwirkens von manuellen und automatischen Montageinhalten bedarf. Die Lösung bieten hybride Montagesysteme als Möglichkeit für eine angepasste Automatisierung bei flexiblem Mitarbeitereinsatz [155]. Hierbei ist die Montage durch ein synchrones Zusammenwirken von taktentkoppelten manuellen und teil- oder vollautomatisierten Stationen gekennzeichnet [104], bei dem der Mensch nicht fremdbestimmt wird. Derartige hybride Montagesysteme gelten heute als Stand der Technik.

Ist es aber weiterhin erforderlich, das Montagesystem kontinuierlich an die jeweiligen Randbedingungen der Produktion zu adaptieren, um auch bei turbulenten Bedingungen stets den optimalen Betriebspunkt zu halten, so muss das System permanent in seiner Struktur verändert werden. Grundlage einer derartigen Strategie ist der Systemaufbau aus Modulen, die flexibel konfiguriert und angeordnet werden [172].

Modular aufgebaute, hybride Montagesysteme bieten folglich die Möglichkeit durch die flexible Verketzung manueller und automatischer Montagestationen, den geforderten Stückzahlbedarf zu befriedigen, indem z.B. bei steigender Nachfrage manuelle durch automatisierte Stationen substituiert werden oder umgekehrt [91]. Schwankungen der Kapazität können somit marktkonform ausgeglichen werden. Der modulare Charakter gewährt hier ein einfaches Rüsten oder die unkomplizierte technische Anpassung bei neuen oder wechselnden Produktvarianten. Die Standardisierung sowie Wiederverwendbarkeit der Komponenten und Module birgt eine kurze Planungs-, Beschaffungs- und Realisierungszeit sowie eine schnelle Adaption der Anlage bei veränderten Produkttypen und -varianten in entsprechenden Losgrößen [111].

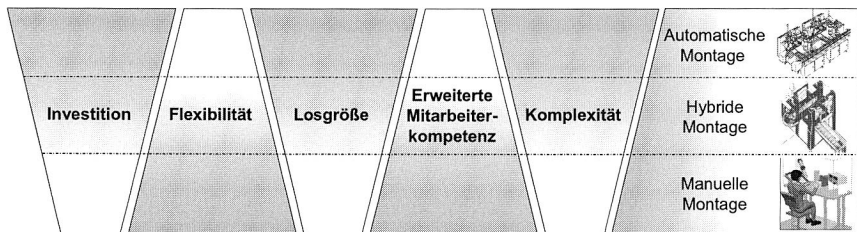


Bild 52: Kennzeichen verschiedener Ausprägungen flexibler Montagesysteme

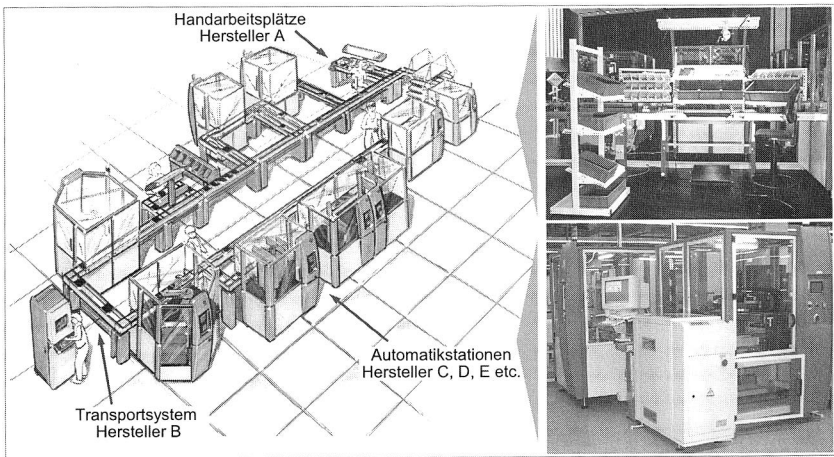
Um den Planungs- und Projektierungsaufwand deutlich zu verringern sowie eine sichere und schnelle Inbetriebnahme zu realisieren, bietet eine Untergliederung des Montagesystems oder einzelner Stationen in verschiedene Module Vorzüge. So kann etwa in einem Modul zur automatisierten Montage mit Trennung der grundlegenden produktneutralen Funktionen (z.B. Werkstücktransport, Materialflusssteuerung etc.) von den prozess- und produktspezifischen Komponenten (z.B. Schraub- oder Einlegeprozess) ein hoher Grad an Modularität, Produktneutralität, Wiederverwendbarkeit und Kostentransparenz erreicht werden [41].

Mit Verlagern der Anlagensteuerung von einer zentralen Standard-SPS (Speicherprogrammierbare Steuerung) auf dezentrale, kleinere Zellen- und Modulsteuerungen oder PC-basierte Steuerungen, die über industrielle Bussysteme miteinander kommunizieren, ergeben sich bzgl. der konventionellen Technik wesentliche Vorteile hinsichtlich einer hohen Umbauflexibilität sowie geringere Kosten für Engineering und Verdrahtung.

Neben diesen Kriterien trägt die Modularisierung der Systeme dazu bei, die Wirtschaftlichkeit der Montage am Standort Deutschland mittels einer erweiterten Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nachzuweisen. Mit dem hohen Wiederverwendungsgrad des produktneutralen Anteils erscheint einerseits die klassische Berücksichtigung der monetären Aspekte wie ROI (Return On Investment), Kapitalwertmethode und Interne Rendite durch die längere Nutzungsdauer unter einem andern Gesichtspunkt (vgl. Kapitel 4.2). Andererseits können auch nicht monetäre Aspekte wie z.B. Zeit, Flexibilität, Qualität oder Arbeitssituation zur Beurteilung und Nutzenbewertung herangezogen werden. Der Widerspruch zwischen Systemverfügbarkeit, Erweiterbarkeit und Kosten wird somit relativiert [44]. Modulare Strukturen eignen sich in Kombination mit einer hybriden Montage hervorragend, um in der Produktionshochlaufphase die Investitionen dem Bedarf

anzupassen, in der Auslaufphase flexibel auf den Rückgang der Stückzahl zu reagieren oder im Falle von Produktfamilien die Exoten von Hand zu montieren [149].

Ein weiterer Aspekt bei der Gestaltung modularer Montagesysteme wird vom zunehmend häufiger anzutreffenden Wunsch der Systemanwender geprägt, die nur noch einen Ansprechpartner oder Generalunternehmer für die Planung komplexer Montageanlagen haben möchten [40]. Eine Partnerschaft aus Montagesystemhersteller und externen Technologie-Experten ermöglicht die Abstimmung mechanischer, elektrischer und informationstechnischer Schnittstellen mit anderen Experten, die Verwendung des gleichen Systemgrundaufbaus sowie die Weiterentwicklung und Verbesserung der Zellen und Module. Der Systemanwender muss somit nur noch in Zellenkomponenten denken und planen. Die Applikationen und Anwendungen werden vom Expertenpool entwickelt und gefertigt. Nur besondere Anpassungen oder spezielle Standards müssen noch vom Systemanwender selbst geplant und realisiert werden. Aus Kundensicht eröffnet sich somit die Möglichkeit, unterschiedliche Anlagen bei verschiedenen, spezialisierten Anlagenherstellern zu beschaffen, und trotzdem bzgl. Austauschbarkeit der Komponenten, Werkstücktransfer sowie Schnittstellen einen hohen Grad an Kompatibilität und Umrüstflexibilität zu erhalten [61]. Weiterhin können eine verkürzte Beschaffungs- und Lieferzeit, eine bessere Instandhaltungsmöglichkeit und Fehlerrobustheit sowie die Möglichkeit einer anwenderbezogenen Funktionsänderung oder -anpassung positiv bewertet werden [94].



**Bild 53:** Realisierung von Montageanlagen mit Standard- und Prozessmodulen in Partnerschaft in einem Expertenpool (Bilder: Fa. Stein Automation)

Bei modularen, hybriden Systemen sind die Handarbeitsstationen meist an den Materialfluss der gesamten Montageeinheit gekoppelt, der Mensch übernimmt jedoch die Montageaufgaben. Der notwendigen geordneten Teilebereitstellung in den Automatikstationen steht bei manuellen Arbeitsplätzen die Möglichkeit zur einfachen Materialdisposition gegenüber [156]. Aufwändige Steuerungen der Handhabungseinrichtungen aufgrund der nötigen Variantenvielzahl entfallen. Dagegen sind für manuelle Montagemodule oft ein erhöhter Platzbedarf und zusätzliche Investitionen für eine ergonomische



Gestaltung (Steh-Sitz-Arbeitsplätze, optimierte Beleuchtung, Materialdisposition nach Best-Point-Prinzip etc.) einzukalkulieren. Für den Anteil der manuellen Montage an der Gesamtheit aller Operationen gibt es keine festen Richtlinien, wichtig ist der effektive Einsatz an wirtschaftlich sinnvollen Punkten der Produktion.

Der Einsatz derartiger, angepasster Montageorganisationsformen ist allerdings nicht mit ungelernten Arbeitern, sondern ausschließlich mit qualifizierten und motivierten Mitarbeitern möglich. Neben der Organisationsform sind die Kenntnisse der Mitarbeiter für eine leistungsfähige Montage der entscheidende Faktor. Je nach Produkt und Bereich entfallen bis zu 70% der entstehenden Montagekosten auf die Personalkosten. Hinter dem hohen Kostenanteil steht ein Potenzial an Fähigkeiten, Ideen und Kreativität, welches sinnvoll und bewusst eingesetzt werden muss. Durch Entwicklungen im organisatorischen und technischen Umfeld sind qualitative und quantitative Anpassungen des Mitarbeiters an die Bedürfnisse erforderlich [100]. Dazu muss das Unternehmen einerseits das Wissen der zukünftigen Aufgabe vermitteln, andererseits beim Mitarbeiter die Fähigkeit, sich auf wechselnde Anforderungen einzustellen, aktivieren. Diese Voraussetzungen werden nur durch ein nichttätigkeitsspezifisches übergreifendes Grundlagengwissen geschaffen.



**Bild 54:** Vorteile und Potenziale reaktionsfähiger, mitarbeiterorientierter Montagesysteme

Die Vorteile hybrider, modularer Systeme lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Hybride Systeme sind stückzahl-, varianten-, erweiterungs- und automationsgradflexibel und garantieren eine technisch-wirtschaftliche Veränderungsfähigkeit.
- Die modulare Gestaltung von Mechanik, Steuerungstechnik und Energieversorgung nutzt Herstellern und Anwendern, da die Module wieder verwendet werden können. Die Planung und Realisierung lässt sich deutlich verkürzen.
- Eine verbesserte Wirtschaftlichkeit ermöglicht die Sicherung von Arbeitsplätzen am Standort Deutschland.



- Modulare Systeme weisen durch wieder verwendbare Komponenten einen hohen Nutzungsgrad und eine lange Lebensdauer auf.
- Produktneutrale Komponenten verlängern die Amortisation und sichern die technische Veränderungsfähigkeit.
- Modulare Gestaltung in Kombination mit hochflexiblen Mitarbeitern ermöglicht ein stillstandsarmes Umrüsten und einen jederzeit effizienten Einsatz der Ressourcen.
- Erweiterte Tätigkeitsfelder und Kompetenzen der Montagemitarbeiter durch eigenständiges Instandhalten, Umrüsten und Entstören wirken motivationssteigernd.
- Der modulare Charakter ermöglicht einen Rückbau bzw. ein Abrüsten der Anlage bei einem Rückgang der Nachfrage durch Ersetzen der automatisierten durch manuelle Stationen oder durch Verkleinern des Layouts.

Neben dem modularen Aufbau bietet gerade die Fokussierung auf eine mitarbeiterorientierte Gestaltung zahlreiche Vorteile und birgt Potenziale zur reaktionsfähigen Anpassung der Montage an die turbulenten Markt- und Kundenforderungen. Der wesentliche Nutzen ist in Bild 54 dargestellt.

## 4.2 Wirtschaftliche Betrachtungen für die Auslegung und den Betrieb hybrider, modularer Montagesysteme

Viele hochautomatisierte Montageanlagen arbeiten heute aufgrund des hohen Fixkostenanteils bereits bei einer Auslastung unter 90% unwirtschaftlich [175]. Eine Anpassung des Produktionsvolumens an die Nachfrage ist somit unumgänglich. Dabei dürfen sich die Stückkosten nicht wesentlich verändern. Die erforderliche Volumenflexibilität kann mit einem bedarfsgerechten Einsatz von Mitarbeitern elegant vollzogen werden. Die Wirtschaftlichkeit muss dabei immer im Auge behalten werden. Der Vorteil manueller gegenüber automatisierter Systeme wird deutlich, wenn die Kostenverläufe an einer exemplarischen Nachfrage gespiegelt werden (s. Bild 55).

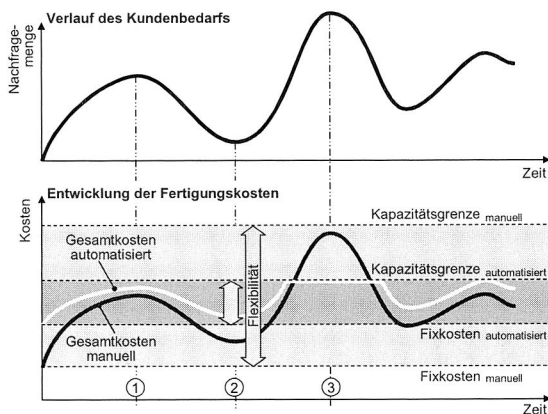


Bild 55: Gesamtkostenverlauf und Flexibilität von manuellen und automatisierten Konzepten bei stark schwankender Nachfrage [177]

Durch den geringen Fixkostenanteil haben Volumenschwankungen bei der manuellen Produktion weniger Einfluss auf die Herstellkosten pro Stück, da die Stückkosten bei kleinerem Volumen signifikant niedriger sind, als bei automatisierten Systemen. Zudem lassen sich Kapazitätsspitzen ohne umfangreiche Zusatzinvestitionen abfangen.

Liegen die Kosten der Produktion anfänglich noch dicht zusammen, so folgen die Aufwendungen für die personengeprägte Alternative im weiteren Verlauf der geringeren Nachfrage. Die Wirtschaftlichkeit und Wettbewerbsfähigkeit bleiben somit voll erhalten. Nimmt die Nachfrage wieder rasch zu, stößt die automatisierte Produktion schnell an ihre Kapazitätsgrenzen, wodurch die Marktnachfrage nicht mehr befriedigt werden kann. Es wird deutlich, dass Lösungen einer flexiblen Automatisierung in der variantenreichen Serienfertigung nur wirtschaftlich sein können, wenn sich ihre Kosten- und Volumenverläufe denen der manuellen Produktion annähern [178].

Die heute üblichen Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnungen berücksichtigen einen Großteil der von automatisierten Anlagen verursachten Kosten nicht, bzw. nicht im notwendigen Umfang. Umgekehrt sind Vorteile und Potenziale der mitarbeiterorientierten Produktionsstrategien oft unterbewertet [130]. In Betracht gezogen werden vorwiegend Personal- und Investitionskosten sowie die damit einhergehende Amortisation. Die operativen und indirekten Kosten bei Automatisierungsprojekten werden meist nicht bedacht (s. Bild 56). Somit bleiben Aufwendungen für Nacharbeit, Instandhaltung, Variantenenumstellungen, Verkettungsverluste etc. von geringer Priorität und verschwinden nicht verursachungsgerecht in den Gemeinkosten, was offenbar zu enormen Einsparungen bei hochautomatisierten Lösungen führt.

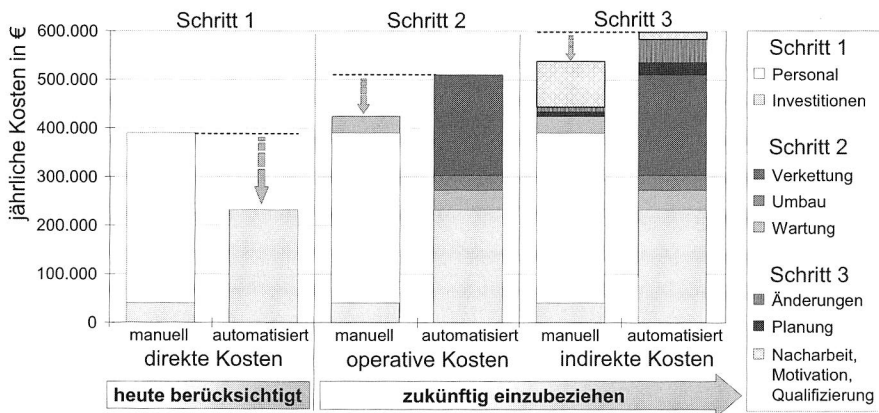


Bild 56: Neutrale Bewertung manueller und automatisierter Montagesysteme durch weitreichende Kostenaspekte (nach [176])

Im Zuge einer objektiven Gegenüberstellung der personellen und automatisierten Montage muss aber eine erweiterte Kostenbetrachtung angewendet werden. Die manuelle Montage erhält bei einer variantenreichen Serienfertigung eine wirtschaftlich gerechtfertigte Grundlage. Dazu kommen noch Vorteile im Bereich der Logistik, der Verkürzung der Durchlaufzeiten und der Flexibilitätssteigerung. Die Planungseffizienz steigt aufgrund der Verlagerung von Planungstätigkeiten in die Produktion im Vergleich zu auf-

wändig auszulegenden Automatiklösungen an. Ein Plädoyer für eine wachsende Beschäftigung ist damit motiviert, selbst wenn Aspekte wie eine höhere Nacharbeit bei manuellen Verrichtungen und die Aufwendungen für eine nachhaltige Motivation und Qualifizierung der Mitarbeiter nicht vernachlässigt werden darf.

Neben rein monetären Kennzahlen sind Methoden zur Erfassung von Kosten-, Zeit-, Qualitäts- und Flexibilisierungseffekten umzusetzen. Ziel muss es sein, mit einer erweiterten Wirtschaftlichkeitsbetrachtung eine Argumentationsbilanz zu erhalten, die eine neutrale Bewertung von Montagesystemalternativen unter Einbeziehung der nicht-monetären Faktoren zulässt. Ansätze zur Softwareunterstützung bei der Betrachtung umfangreicher Kriterien für die Rechtfertigung von Rationalisierungsinvestitionen existieren bereits [170, 181].

Durch die in Kapitel 4.1.3 dargestellte Notwendigkeit zur weitgehenden Standardisierung von Betriebsmitteln und Steuerungskomponenten sowie zur Verwendung autonomer Module kann eine deutliche Reduzierung der Kapitalrückflussdauer im Vergleich zu starren, auf feste Stückzahlen und geringe Produktvarianz ausgelegte Montagesysteme erreicht werden (s. Bild 57). Weiterhin werden die Zeiten von der Investitionsentscheidung bis zur Inbetriebnahme erheblich verkürzt und der Aufwand für die Projektierung sinkt ebenso wie die Investitionskosten. Durch die Nutzung bewährter Technik und der hohen Anpassungsflexibilität an dynamische Marktentwicklungen ist eine Erhöhung der Produktivität bei steigender Mengenflexibilität gegeben.

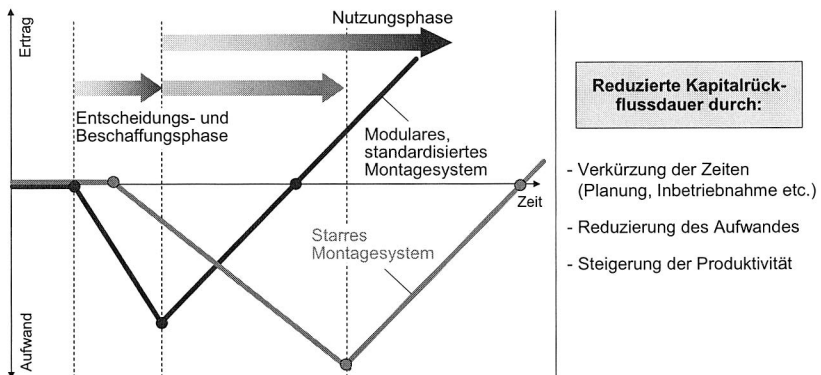


Bild 57: Nutzen modularer, standardisierter Montagesysteme [129]

Der ökonomische Vorteil wandlungsfähiger, modular gestalteter und damit ausbaufähiger Montagesysteme kann auch mit einer Betrachtung des Verlaufs der Stückkosten für Systeme mit unterschiedlichem Automatisierungsgrad nachgewiesen werden (s. Bild 58). Die Auswahl eines fixen Automatisierungsgrades enthält ein unwägbares Risiko. Dies gilt insbesondere für KMU aufgrund ihrer Nischenposition, ihrer starken Kundenorientierung und der damit unsicheren Stückzahlprognosen. Der hervorgehobene, optimale Stückkostenverlauf ist folglich nur bei der Umsetzung eines unterschiedlich mechanisierten bzw. automatisierten Montagesystems minimal. Die wandlungsfähige Anpassung der Anlage an den Verlauf der niedrigsten Stückkosten kann somit nur mit hybriden, modularen Montagesystemen und einem angepassten Automatisierungsgrad

wirtschaftlich durchgeführt werden. Hohe Kapazitäten, die erst nach einer langen Anlaufphase benötigt werden, führen bei einer bereits anfänglich vorgehaltenen Hochautomatisierung zu einem überhöhten Kostenverlauf und damit über lange Zeit zu einer Schmälerung des Unternehmenserfolgs. Der häufig anzutreffenden Überdimensionierung der Anlage aufgrund zu optimistischer Prognosen des Vertriebs sollte besser mit einer Strategie der angepassten Auslegung des Montagesystems begegnet werden.

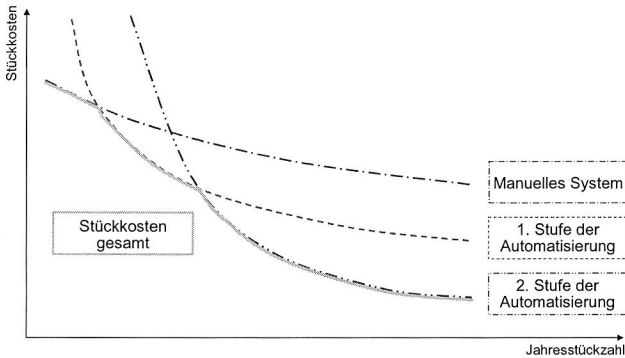


Bild 58: Gesamtstückkostenverlauf beim Durchlaufen einer schrittweisen Automatisierung [73]

Zur Abschätzung des Investitionsrisikos bei unsicherer Marktentwicklung kann die Amortisationszeit als wichtige Kennzahl herangezogen werden. In Bild 59 wird der Vergleich einer stückzahlfixen (linke Bildhälfte) und einer ausbaubaren Systemalternative (rechts) sowie deren Auswirkung auf die geplante Investition dargestellt. Das für eine feste Kapazität geplante System hält dabei von Beginn an die maximale Ausbringung vor, das modulare System hingegen soll in drei Stufen an das Maximum herangeführt werden. Dabei wird der jeweilige Kapitalrückfluss verdeutlicht. Für das unflexible System werden zwei unterschiedliche Absatzverläufe (A und B) angenommen. In realiter wird zur Vereinfachung heute immer noch häufig mit einer konstanten Stückzahl über die gesamte Nutzungsdauer des Montagesystems, entsprechend Verlauf A, gerechnet. Der bereits in Kapitel 4.1.2 dargestellte Produktlebenszyklus mit entsprechender Anlaufkurve bleibt somit unberücksichtigt. Die Folge ist eine fehlerhafte und zu optimistische Einschätzung der Wirtschaftlichkeit des geplanten Montagesystems.

Bei Berücksichtigung des sich entwickelnden Stückzahlverlaufs ist folglich nur eine Anpassung der Absatzmenge schlüssig. In der rechten Hälfte von Bild 59 ist dies in Form der Stufen von Verlauf A typisiert. Die Größe der Fläche unterhalb der Nulllinie kann als Maß für die Höhe des Investitionsrisikos gewertet werden. Klar erkennbar bleibt somit, dass das modulare, zu Beginn verstärkt mitarbeiterorientierte Montagesystem hier deutliche Vorzüge aufweist. Bedingt durch die geringere Investitionssumme zu Beginn der Nutzungsdauer reduziert sich die Gefahr von Investitionsruinen erheblich, wogegen die Liquiditätswirkung der notwendigen Investitionen optimiert wird.

Durch den hohen Wiederverwendungsgrad der produktneutralen Komponenten erscheint einerseits die klassische Berücksichtigung der monetären Aspekte wie ROI, Kapitalwertmethode, Interne Rendite etc. durch eine längere Nutzungsdauer unter neuen

Gesichtspunkten. Andererseits können auch nicht monetäre Aspekte wie Zeit, Flexibilität, Qualität und Mitarbeitersituation zur Beurteilung und Nutzenbewertung herangezogen werden. Der Widerspruch zwischen Systemverfügbarkeit, Erweiterbarkeit und Investition wird somit zugunsten einer anpassbaren Systemlösung relativiert.

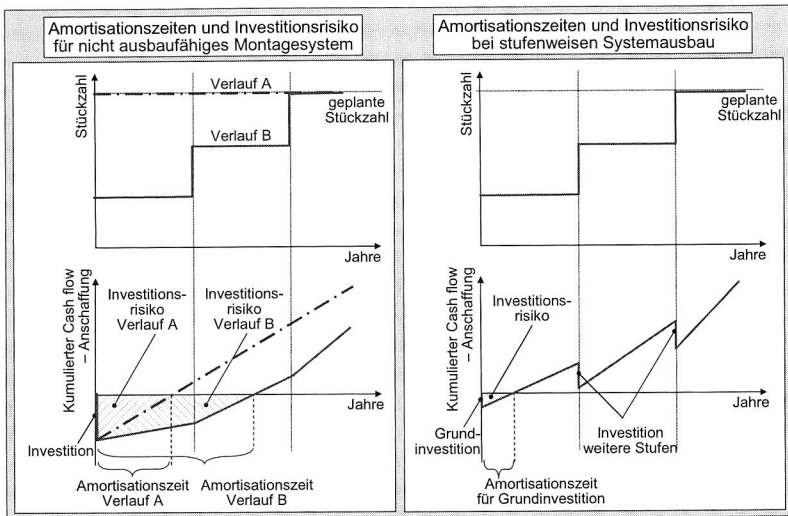


Bild 59: Amortisationszeit und Investitionsrisiko bei unsicheren Zukunftsprognosen für ausbaubare und starre Montagesysteme (nach [168])

Die hybride Montage stellt also in Kombination mit modularen Strukturen ein hervorragendes Mittel dar, um beim Produktionshochlauf die Investitionen dem Bedarf anzupassen, in der Reife- und Sättigungsphase flexibel auf Absatzschwankungen zu reagieren und in der Auslaufphase die sinkende Nachfrage wirtschaftlich abzufangen.

Von Seiten der Systemhersteller sind Investitionsanreize durch innovative Finanzierungs- oder Leasingmodelle für modulare Montagesysteme denkbar. Derartige, längerfristige Zahlungsmethoden kommen vor allem kleineren Unternehmen mit geringeren Etats entgegen. Um das Risiko von Fehlinvestitionen zu senken, sind auch Leasingmodelle für Systemkomponenten geeignet, die nach Ablauf des Leasingvertrages entweder gekauft oder vom Hersteller zurückgenommen werden. Ein weiterer Vorteil des Mietens oder Leasens von Montageanlagen ist die Möglichkeit, ständig mit modernsten Anlagen und Technologien produzieren zu können, wenngleich auch zu hohen Mietkosten oder Leasingraten.

Bei den dargestellten Sachverhalten wird deutlich, dass modulare, hybride Montagesysteme vor allem für die in dieser Arbeit betrachteten kleinen und mittleren Serien von Interesse sind, da mit der flexiblen Nutzung und der einhergehenden Fixkostenaufteilung die Kapazitätsgrenzen früher erreicht werden. Die vorgesehene Weiter- und Wiederverwendung der Komponenten erlaubt die Verteilung der fixen Kosten auf mehrere Produktgenerationen, was zu einer Senkung der Stückkosten führt. Vor allem kleine

und mittelständische Betriebe profitieren also vom günstigen Kosten-Nutzen-Verhältnis und dem breiten Einsatzspektrum hybrider Strukturen.

Folgendes Fazit kann somit für hybride, modulare Montagesysteme gezogen werden:

- Strikt modularisierte Montagesysteme führen zu Kosteneinsparungen
- Stillstandsarme, stückzahlangepasste Rüst- und Umrüstvorgänge sichern die hohe Produktivität
- Langlebige Produktionsmittel steigern die Amortisationszeit
- Eine produktneutrale Basis erlaubt eine erweiterte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
- Kapitalarme Aspekte wie Leasing produktspezifischer Komponenten sind möglich
- Simultaneous-Engineering von Basis- und Prozessmodulen ermöglicht einen Marktvorsprung durch eine effiziente Systemgestaltung

Zusammenfassend bleibt festzustellen, dass eine modulare Gliederung der Montagesysteme und die Einbeziehung hybrider Systemstrukturen ihren Anteil dazu beitragen, die Wirtschaftlichkeit der Montage am Standort Deutschland zu steigern.

### **4.3 Klassifizierung und Bewertung modularer Montagesysteme**

Die Bedeutung modularer Systeme konnte bereits in einer umfassenden Marktstudie nachgewiesen werden. Bezogen auf Modularisierung, Montagestrategie sowie angebotene Komponenten und Systeme wurde im Rahmen dieser Arbeit die Angebotspalette von 80 europäischen Herstellern von Montagesystemen und -komponenten analysiert und klassifizierend bewertet. Neben typischen Zuführ- und Handhabungseinrichtungen sowie Sondermaschinen konnte dabei ein deutlicher Trend zu modularen Montagesystemen festgestellt werden [37, 39, 41, 46, 149]. Die Ergebnisse dieser Marktstudie werden zusammenfassend dargestellt und kommentiert.

#### **4.3.1 Spezifischer Vergleich modularer Montagesysteme**

Trotz markanter systemseitiger Unterschiede der einzelnen Montagesystemklassen ist auf Stations- und Komponentenebene als gemeinsames Hauptmerkmal ein modularer Aufbau erkennbar. Dieser ist bei den einzelnen Alternativen in unterschiedlicher Ausprägung vorhanden, wobei Überschneidungen bei den Einsatzbereichen und den zu realisierenden Funktionsstrukturen zu beobachten sind. Bei der Analyse und Klassifizierung der Systeme wurden u.a. folgende Kriterien berücksichtigt (s. Bild 60):

- Anordnungsalternativen, Verkettungsart und Materialflusstrukturen
- Grund- und Aufbau module
- Prozesstechnologie, Handhabungsgeräte
- Komponenten und Systeme zur Teilebereitstellung
- Steuerungskomponenten und -struktur
- mechanische, elektrische, pneumatische, informationstechnische Schnittstellen
- Standardisierungsgrad
- Erweiterungsfähigkeit

Systemkategorie	modularer Baukasten		Modulsystem					Komplettsystem
	System A	System B	System C	System D	System E	System F	System G	System H
<b>Fertigungsart</b>								
Einzelfertigung	○	○	○	◐	○	◐	○	○
Kleinserie	●	●	●	●	●	●	●	●
Großserie	●	●	●	●	●	●	●	●
<b>Massenfertigung</b>								
<b>Anordnungsstruktur</b>								
Karree	□	□	□					
Linie	□	□	□	□	□	□	□	□
variabel	□	□	□					
<b>Materiellfluß</b>								
Förderprinzip						k.A.		
Doppelgurtband	□	□		□	□		□ *)	□
Flachplattenkette	□							
Rollenkette	□	□						
Rollenbahn			□					
autarke Träger		□						
Verkettung								
los	□	□	□	□	□		□	□
elastisch	□	□	□	□	□		□	□
starr						□		
Werkstück								
max. Gewicht [kg]	220	45	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	1	k.A.
<b>Teilebereitstellung</b>								
Vibrationstechnik			□	□	□	□	□	
ungeordnet			□	□	□	□	□	
geordnet								□
<b>Systemkomponenten</b>								
Profilsystem	□	□	□				□	
Handarbeitsplätze	□		□	□	□		□	
Automatikstationen	□			□	□			
Fertigungsstationen	□				□			
Zuführgeräte			□	□	□	□		□
HHG komplett	□			□	□	□		□
HHG modular	□			□	□	□		□
Transfersystem	□	□	□	□	□	□	□	□
Energieversorgung	□	□		□	□	□	□	□
Steuerungskonzept	□	□		□	□	□	□	□
Codiersystem	□	□		□	□	□	□	□
<div> <div>□ trifft zu/vorhanden</div> <div>○ keine/geringe Eignung</div> <div>◐ möglich</div> <div>● gute Eignung</div> <div>*) doppeltes Vollgummiband mit kreisförmigem Querschnitt</div> <div>System A-H exemplarische Vertreter</div> </div>								

Bild 60: Analyse, Klassifizierung und Bewertung modularer Montagesysteme (Auszug aus der Marktstudie)

Im Hinblick auf die Mengenflexibilität sollen die zahlreichen Analyseergebnisse im Folgenden primär aus dem Blickwinkel erweiterungsfähiger Montagestrukturen betrachtet werden. Neben ausgesprochenen Sondermaschinen und spezialisierten Anbietern von Zuführ- und Handhabungseinrichtungen haben sich zahlreiche Hersteller von modularen Systemen etabliert, die sich in drei Kategorien einordnen lassen (s. Bild 61):

- Modulare Baukastensysteme
- Modulsysteme
- Modulare Komplettsysteme

Als Unterscheidungskriterium wird der Modularisierungsgrad der Systemkomponenten zugrunde gelegt. *Modulare Baukastensysteme* (s. Bild 62) besitzen einen hohen Auflösungsgrad. Das Spektrum reicht von standardisierten Grund- (Profile, Stützen usw.) und Funktionselementen (z.B. Zylinder, Greifer) über funktionsorientierte Teilmodule (z.B. Transportstrecken, Kurvenstücke) bis hin zu vormontierten Grundmodulen (z.B. manuelle Montagearbeitsplätze), die über spezifische Verbindungselemente gekoppelt werden. Vorteilhaft wirkt sich die hohe Modularisierung auf die Anpassungsfähigkeit des Systems an die jeweilige Aufgabenstellung aus, fördert allerdings ganz entscheidend

den in der Montage vorherrschenden Hang zum Einsatz produktspezifischer Sonderlösungen mit firmenspezifischen Standards. Neben den hohen Erstellungskosten bei der Systemplanung und -realisierung sind damit zahlreiche Folgekosten verbunden, die beispielsweise durch instabile Prozesse bzw. Abläufe, Programmier- und Justagetätigkeiten sowie gestiegenen Betreuungsaufwand entstehen.

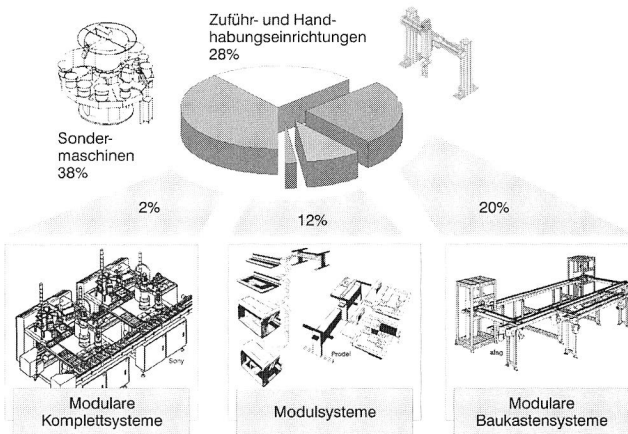


Bild 61: Klassifizierung modularer Montagesysteme und -komponenten

Im Gegensatz dazu bilden bei *Modulsystemen* (s. Bild 63) höher integrierte, betriebsfertige Grundmodule die Ausgangsbasis, bei denen alle funktionsbestimmenden Systemkomponenten (z.B. Antriebe, Streckenprofile, Umlenkungen) teilweise bereits mit dezentralen Steuerungen integriert sind. Der Anwender muss diese Einheiten mit prozessspezifischen Komponenten (z.B. Handhabungsgeräten, Fertigungseinrichtungen etc.) ausstatten und die einzelnen Module zu einer Anlage komplettieren.

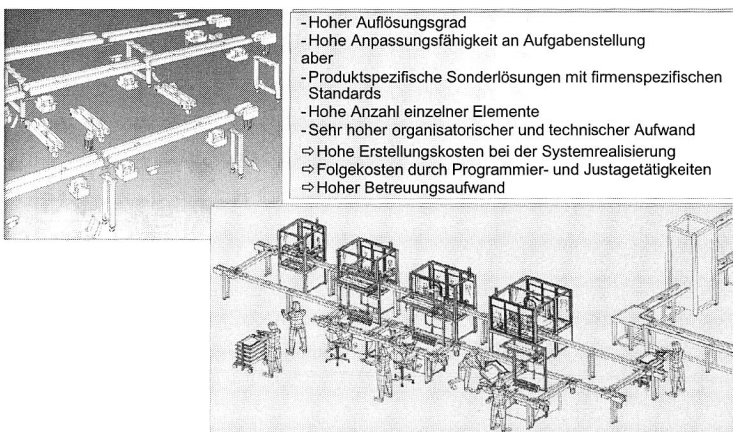


Bild 62: Beispielhaftes Produktspektrum im Bereich der modularen Baukastensysteme und deren Charakterisierung (Bild: Bosch)



Moderne Systeme sind nach dem Plug&Produce-Prinzip, d.h. der stationsbezogenen Integration von Steuerung, Pneumatik und Mechanik, konzipiert [5, 129]. Dies führt zu einer deutlichen Reduzierung des Planungs- und Projektierungsaufwandes sowie zu einer sicheren und schnellen Inbetriebnahme. Auffallend ist der eindeutige Schwerpunkt dieser Systeme im Bereich der Materialflusstechnik. Bis auf wenige Ausnahmen, bei denen der Werkstücktransport über taktgebundene Umlaufsysteme erfolgt, werden werkstückträgerbasierte Doppelgurtbänder oder Rollen mit Trägerprofilen aus Aluminium eingesetzt. Es bleiben erhebliche Defizite bzgl. prozesstechnischer Einheiten und intelligenter Module zur Teilebereitstellung zu bemängeln, die durchgängig systemfremd ergänzt werden müssen.

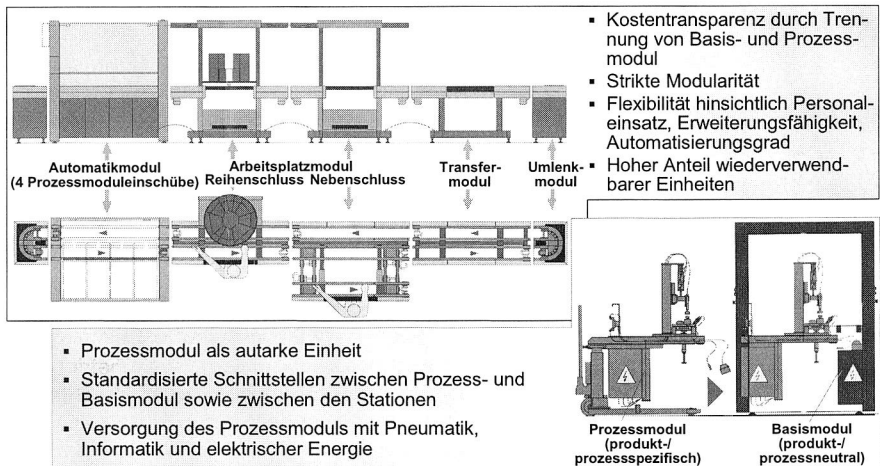
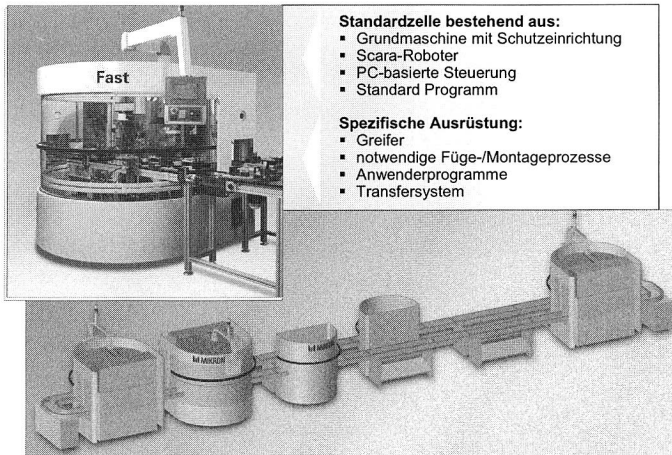


Bild 63: Beispielhaftes Produktspektrum im Bereich der Modulsysteme und deren Charakterisierung (Bild: Teamtechnik)

Mit ca. 2% aller verfügbaren Systeme weisen *modulare Komplettsysteme* – d.h. Montagemodule, die mit allen erforderlichen Komponenten zur Erfüllung der Montageaufgabe inkl. Werkstücktransfer ausgestattet sind – den geringsten Marktanteil auf. Trotz bedeutender Vorteile bzgl. des Realisierungs- und Inbetriebnahmeaufwandes, der Nachfolgeflexibilität und der Störungssicherheit hemmen meist höhere Systemkosten sowie erhebliche Flexibilitätsdefizite in der Teilebereitstellung eine weitere Marktdurchdringung. Ein typischer Vertreter der Komplettsysteme ist in Bild 64 dargestellt. Es handelt sich um eine automatische Montagezelle auf Basis eines Scara-Roboters. Zur Teilebereitstellung werden ausschließlich produktspezifische Werkstückträger eingesetzt.

Je nach Zugehörigkeit zu den aufgeführten Systemklassen besitzen die einzelnen Modulsysteme ausgeprägte Flexibilitätsunterschiede hinsichtlich der Erstellung und Änderung von Montageanlagen. Die Erfüllung der verschiedenen Flexibilitätsforderungen muss sowohl durch die Auslegung der Montagestationen als auch die schnelle Umkonfiguration der Verkettungsmittel angestrebt werden. Darüber hinaus wird die Implementierung intelligenter Steuerungsstrategien benötigt, die schnell an veränderte Situationen adaptiert und ausgebaut werden können.



*Bild 64: Beispielhaftes Produktspektrum im Bereich der Modulsysteme und deren Charakterisierung (Bild: Mikron)*

Sollen auch zukünftig automatisierte Montagesysteme wirtschaftlich eingesetzt werden, muss der Wiederverwendungsgrad der Module deutlich verbessert werden. Der Einsatz modularer Baukastensysteme wird dabei von einer Kontradiktion beherrscht. Grundsätzlich lässt das Basiskonzept einen hohen Wiederverwendungsgrad der elementaren Komponenten erwarten. Tatsächlich hat eine Untersuchung unterschiedlich komplexer Montagelinien gezeigt, dass diese Zielsetzung durch den hohen Demontageaufwand verbunden mit kostenintensiven Anpassarbeiten und einer begrenzten Einsatzdauer der Komponenten häufig weder technisch noch ökonomisch sinnvoll ist. Weiterhin konnte festgestellt werden, dass die Wiederverwendung der Module mit deren Integrationsgrad korreliert. So werden bei Modul- aber auch Komplettsystemen einzelne Module bei Bedarf schnell aus bestehenden Anlagen ausgebaut, durch den Austausch der produkt-spezifischen Komponenten an neue Aufgabenstellungen adaptiert und wieder in andere Montagelinien eingegliedert.

#### 4.3.2 Analyseergebnisse und Folgerungen aus den durchgeführten Marktstudien

Modulare Systeme finden in nahezu allen Branchen Verwendung, oft in Bereichen, in denen Varianten- und Produktwechsel zum Tagesgeschäft gehören. Besonders bei Baukasten- und Komplettsystemen fällt auf, dass diese überwiegend für die Herstellung größerer Stückzahlen eingesetzt werden. Im Gegensatz dazu liegen die Schwerpunkte der Modulsysteme in der Herstellung variantenreicher, in kleineren Losen hergestellter Produkte. Bei der Betrachtung des Absatzmarktes fällt auf, dass modulare Montagesysteme überwiegend in den westlichen Industrieländern, vor allem der Europäischen Union (inkl. Deutschland) und Nordamerika, verkauft werden (s. Bild 65). Dies bestätigt einmal mehr den Trend von produzierenden Unternehmen in lohnintensiven Regionen, den Einsatz modularer Montageeinrichtungen als Rationalisierungspotenzial zu nutzen, um auf dem Weltmarkt gegenüber Anbietern aus Niedriglohnländern wettbewerbsfähig zu bleiben.

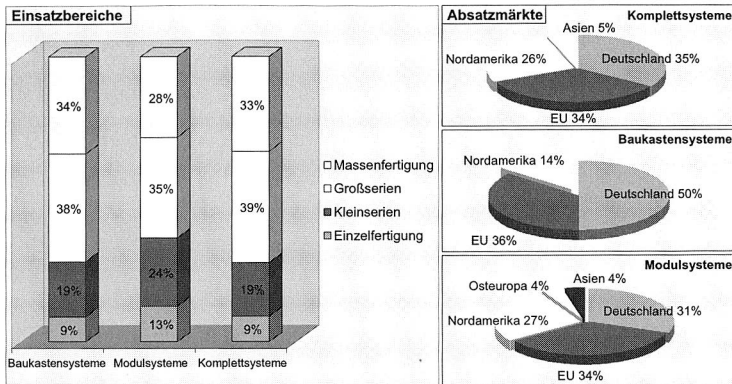


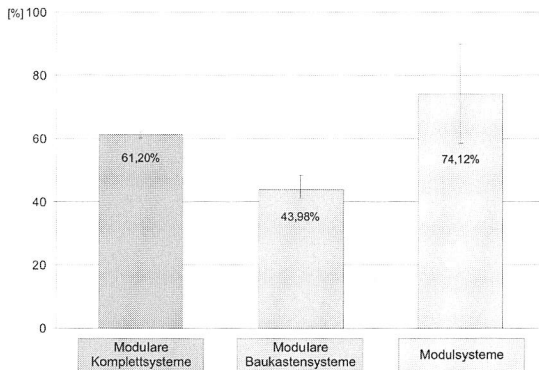
Bild 65: Absatzmärkte und Einsatzbereiche modularer Montagesysteme

Um der quantifizierten Klassifizierung der modularen Systeme und deren Marktpräsenz mehr Nachhaltigkeit zu verleihen, wurde diese Marktstudie rollierend in den Jahren 1996, 1998 und 2000 durchgeführt, die Ergebnisse gegenübergestellt und seither immer wieder aktualisiert. Bei Betrachtung der modular strukturierten Montagesysteme ist dabei ein eindeutiger Trend weg vom modularen Baukastensystem hin zum Modulsystem erkennbar. Die Systemhersteller reagieren damit auf die vom Markt geforderte wirtschaftliche Anpassbarkeit der Systeme an die sich rasch ändernden Märkte und Produkte sowie auf die dazu notwendige hohe Wiederverwendbarkeit der Komponenten.

		Modulsystem		modulares Komplettsystem			
Forderung/ Wunsch	Eigenschaften	Gewichtung	Erfüllung		Erfüllung		
			System A	System B	System C	System M	
Systemarchitektur und Komponentenverdrahtung		1	4	4	2	3	3
6	F offene Systemarchitektur	1	4	4	2	3	3
7	F modularer Aufbau	5	5			4	4
8	F standardisierte Komponenten	5	5			4	3
strukturelbegreifender Einsatz der Betriebsmittel, Verwendung in Zellen- und Liniensystemen		2	4			6	3
9	F leichte Integration systemfremder Komponenten	1	3	3	4	4	3
standardisierte und normgerechte Schnittstellen für Energieübertragung, Kommunikation, Positionierung und Fixierung		5	4	20	3	15	4
11	F Integration von Zusatzerschaltungen	3	3	9	4	12	4
12	F kleine Anzahl an Komponenten	4	5	20	2	8	3
14	F kleine Anzahl an unterschiedlichen Systemkomponenten	4	5	20	2	8	4
15	F geringe Personalbindung	2	4	8	3	6	4
16	F einfache und schnelle Montage	4	5			8	4
19	F Austauschbarkeit	4	4			12	3
20	F Integration v. Komponenten	2	5			10	5
23	F freie Verfügbarkeit der Systemelemente	3	4			9	4
Verkettung/Materialfluß				0		0	
27	F Integration von Puffern - zellintern	2	5	10	4	8	4
28	F Integration von Puffern - zellextern	2	5	10	5	10	5
29	F freie programmierbare, entkoppelter Materialfluß	3	5	15	3	9	4
Steuerungskonzept				0		0	
32	F multitasking-fähige Steuerung	2	5	10	2	4	2
34	F vorausschauende Steuerung	1	4	4	2	2	3
35	F leichte Umprogrammierung	3	5	15	3	9	3
36	F leichte Erweiterbarkeit			16	3	12	3
38	F Verbindung zu neben- bzw. übergeordneten Sy			4	3	3	4
39	F Anzeige von Störungen und Fehlern			12	2	6	3
41	F implizite Programmierung mit Programmbaukit			10	3	6	3
Summe der Erfüllung				System A	System B		
Normierung auf 100%				306	199		
				30,0	19,5		

Damit die einzelnen Kategorien der modularen Systeme miteinander vergleichbar sind, wurde neben der Verteilung der Angebotspalette eine Bewertung der Systeme auf Basis des aufgestellten Pflichtenheftes und der darin festgehaltenen Forderungen durchgeführt (vgl. Kapitel 4.1.3 sowie Bild 51). Dabei wurden die analysierten Systeme innerhalb der zugehörigen Klasse nach Erfüllung der Forderungen und Wünsche in ein Punktesystem eingestuft, die einzelnen Kriterien mit einem Gewichtungsfaktor versehen und daraus ein normierter Vergleichswert in Prozent ermittelt (s. Bild 66).

Das Ergebnis der Eignung modularer Montagesysteme zur Erfüllung der geforderten Randbedingungen ist in Bild 67 dargestellt. Die modularen Komplettsysteme eignen sich – bis auf die angedeuteten Defizite – hiernach gut für die geforderten Spezifikationen. Aufgrund der geringen Marktpräsenz der modularen Komplettsysteme (vgl. Kapitel 4.3.1) sollen jedoch primär die modularen Baukasten- und Modulsysteme gegenübergestellt werden. Deutlich erkennbar ist dabei die Überlegenheit der Modulsysteme, die im Durchschnitt mit ca. 75% die geforderten Kriterien erfüllen können. Hingegen decken die Baukastensysteme lediglich ca. 45% ab. Die große Streubreite bei den Modulsystemen resultiert im Wesentlichen aus der Tatsache, dass sich der Trend zu autarken, betriebsfertigen Modulen primär im Bereich des Materialflusses und der intelligenten, dezentralen Ablaufsteuerung abzeichnet. Somit sind einige Kriterien bei den Systemherstellern nicht von Bedeutung und folglich noch nicht realisiert.



*Bild 67: Erfüllung des Pflichtenheftes modular strukturierter Montagesysteme und deren Streubreite*

Überraschend ist der relativ niedrig eingeschätzte Stellenwert der ergonomischen Gestaltung der Handarbeitsplätze. Gerade dies ist jedoch ein Faktor, der auf keinen Fall unterschätzt werden darf, da ein mitarbeitergerechter Arbeitsplatz erheblich zur Motivation der Werker beiträgt und dem produzierenden Gewerbe hohe Aufwendungen für krankheitsbedingte Ausfälle ersparen kann. Auch der Unterstützung des Mitarbeiters bei der Montage variantenreicher Produkte mit kleiner Stückzahl und geringer Wiederholungsfrequenz durch ein Mitarbeiterinformationssystem wird von den meisten Herstellern von Montagesystemen noch ein relativ geringer Stellenwert zugemessen. Neben der Sorge um eine aufwändige Datenhaltung und -aktualisierung zögern viele potenzielle Anwender aufgrund der meist noch relativ komplexen Bedienung solcher Systeme

mit deren Einsatz. Die Entwicklung leistungsfähiger und anwenderfreundlicher Systeme ist somit ein wichtiger Schritt für die effiziente Mitarbeiterunterstützung (vgl. Kapitel 5).

#### 4.4 Entwicklung eines Stufenkonzeptes für agile, marktgerechte Montagesysteme

Wie aus den vorherigen Abschnitten ersichtlich, ist es elementar, der Forderung nach flexibler Produktionsleistung durch eine Anpassung des Montagesystems nachzukommen. Dies kann durch die Erweiterung bzw. den Rückbau von Komponenten und Arbeitsplätzen des vorhandenen Montagesystems geschehen. Ein Beispiel für die betriebliche Umsetzung ist die sequenzielle Erweiterung der Produktionseinrichtungen und damit der Ausbau der Kapazität. Weiterhin soll am Ende eines Lebenszyklus auch eine Anpassung an die sinkenden Stückzahlen möglich sein, um in der späten Phase der Produktion unnötige Kosten zu vermeiden.

Aufgrund der großen Vielzahl an Randbedingungen und der Einzigartigkeit jeder Produktion ist das folgende Stufenmodell sicherlich nicht als alleingültige Lösung zu verstehen, vielmehr soll beispielhaft die Evolution einer Montageanlage demonstriert werden. Die Realisierung einer umrüst-, mengen- und variantenflexiblen Montage wurde im Rahmen mehrerer Industriekooperationen umgesetzt. Die Entwicklung eines flexiblen, modularen Montagesystems schließt den Kreis für eine agile, mitarbeiterorientierte Montage.

##### 4.4.1 Wege der Kapazitätsanpassung

Zur Anpassung der Ausbringung eines Montagesystems an die Nachfrage stehen drei unterschiedliche Prinzipien zur Verfügung. Diese unterscheiden sich primär durch die jeweilige Ausprägung der zeitbezogenen Kapazitätsänderung. Die Auswahl eines geeigneten Prinzips zur Realisierung einer marktorientierten Montage wird von einer Vielzahl unterschiedlicher Einflüsse bestimmt. Anzahl und Qualifikation der Mitarbeiter, Produkteigenschaften, vorhandene Produktionsflächen oder verfügbare Fertigungs- und Montageeinrichtungen sind nur einige Aspekte, die in die Ausarbeitung eines wirtschaftlichen Montagekonzeptes einbezogen werden müssen.

##### Synchronisations- oder Gleichlaufprinzip

Das Synchronisationsprinzip, auch Gleich- oder Parallellaufprinzip genannt, sieht eine permanente Anpassung der produzierten Stückzahl an die Nachfrage vor. Die vorhandene Kapazität entspricht dabei stets der nachgefragten Menge eines Erzeugnisses.

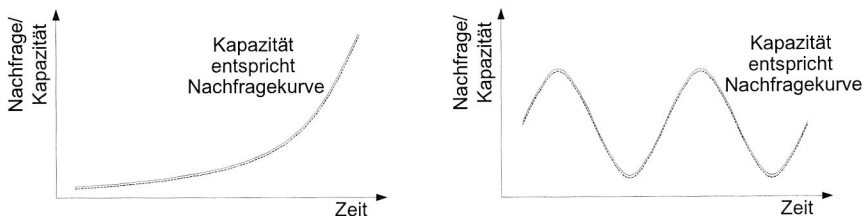


Bild 68: Kapazitätsanpassung nach dem Synchronisationsprinzip

Wichtigstes Merkmal eines absatzsynchrone Montagesystems ist die Fähigkeit zur schnellen und genauen Anpassung der produzierten Menge an die sich permanent ändernde Nachfrage. Bei derartigen Systemen müssen ständig Reserven in Form von Überkapazitäten zur Verfügung stehen, um kurzfristige Nachfragespitzen ausreichend decken zu können. Dadurch ergeben sich bei sinkender Nachfrage aufgrund eines geringen Nutzungsgrades der Anlage steigende Kosten [15].

### Ausgleichsprinzip der totalen Emanzipation

Beim Emanzipations- oder Ausgleichsprinzip erfolgt keine Anpassung der Kapazität an die Nachfrage. Durch unterschiedliche Nachfragesituationen entstehen bei gleich bleibender Produktionsmenge zeitlich begrenzte Über- bzw. Unterkapazitäten, die zu Lagerauf- oder Lagerabbau führen. Nachteil der totalen Emanzipation ist die fehlende Fähigkeit, auf Absatzänderungen ausreichend reagieren zu können und damit die Gefährdung der langfristigen wirtschaftlichen Ausrichtung des Betriebes [15].

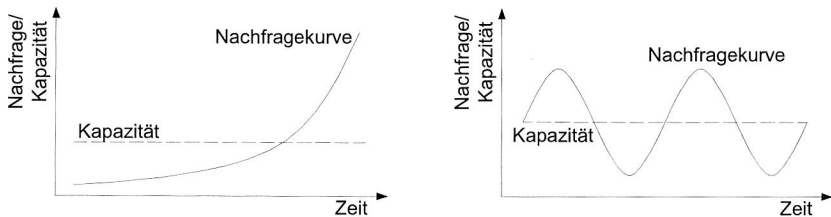


Bild 69: Totale Emanzipation ohne Anpassung der Montagekapazität

### Zeitstufenprinzip der partiellen Emanzipation

Die partielle Emanzipation als Methode zur Anpassung der Produktionsmenge an die Nachfrage stellt eine Kombination aus Absatzsynchronisation und totaler Emanzipation dar. Bei dem auch als Zeitstufenprinzip bezeichneten Verfahren erfolgt eine stufenweise Anpassung der Kapazität an die Nachfragekurve. Vorteil dieser Methode sind die niedrigeren Gesamtkosten für Lagerhaltung und ungenutzte Kapazitäten [15].

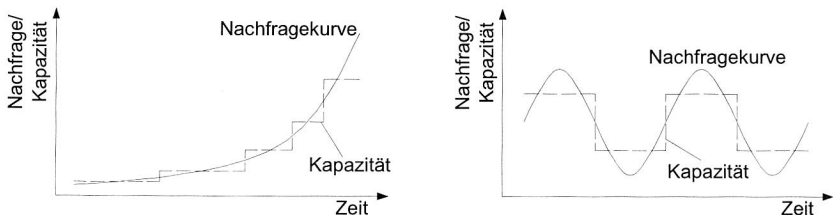


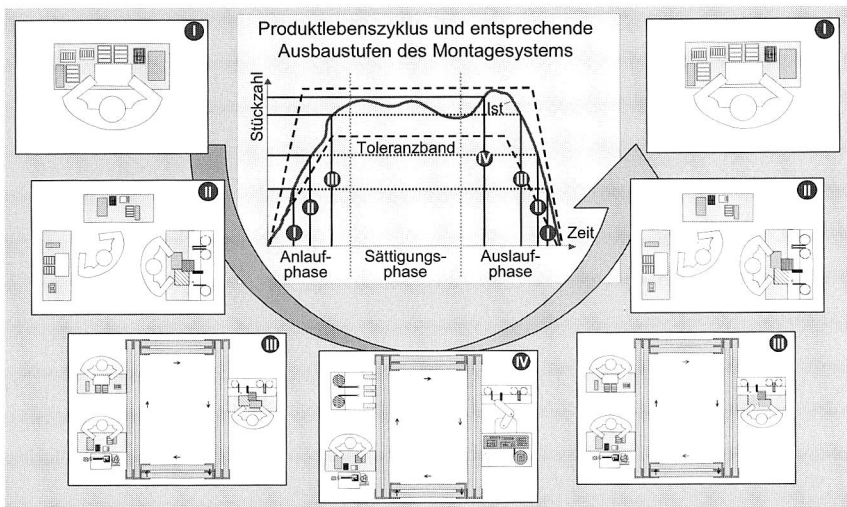
Bild 70: Schrittweise Anpassung der Kapazität bei partieller Emanzipation

#### 4.4.2 Stufenkonzept für die stückzahlflexible Montage

Das Zeitstufenprinzip bietet mit der Kombination aus Gleichlauf- und Ausgleichsprinzip eine viel versprechende Grundlage für die Realisierung eines stückzahlorientierten Montagesystems. Diese Theorie impliziert eine stufenweise Anpassung der Produktionsleistung an die fortschreitende Nachfragekurve. Dabei ist die durchgängige Verwen-

derung der eingesetzten Komponenten über alle Ausbaustufen hinweg anzustreben. Das im Weiteren dargestellte Modell erlaubt eine Anpassung der Montageleistung an die unterschiedlichen Stufen des Produktlebenszyklus. Es ist eine Feinanpassung der Produktion an die Nachfrage innerhalb eines gewissen Toleranzbandes durch die Umsetzung personeller oder organisatorischer Strategien durchführbar. Entscheidender Vorteil der stufenweisen Erweiterung ist es jedoch, dass die jeweils benötigte Kapazität schon mit einem prozentualen Anteil der Gesamtinvestitionen bereitgestellt werden kann [47] (s. Bild 71).

Die dadurch entstehende, zeitlich entzerrte finanzielle Belastung mindert die Kapitalbindung eines Unternehmens und ermöglicht es somit, noch nicht benötigtes Kapital verzinst anzulegen bis die gestiegene Nachfrage weitere Investitionen erfordert. Darüber hinaus wird die Gewinnschwelle aufgrund der überproportional zum Ausbau steigenden, in niedrigen Stufen jedoch noch geringen Fixkosten, schneller erreicht als dies der Fall ist, wenn ab Produktionsstart die maximale Kapazität vorgehalten wird.



**Bild 71:** *Stufenweise Anpassung des Montagesystems an Kapazitäts- und Investitionsbedarf*

Der Ausbau einzelner Stufen kann schnell notwendig sein, so dass Komponenten neu angeschafft werden müssen. Aufgrund kurzer Stufenfolgen ist eine Amortisation dieser Betriebsmittel vor allem während der schnellen Kapazitätssteigerung in der Wachstumsphase nicht immer möglich. Besteht aber die Chance, diese Einrichtungen in künftigen Ausbaustufen des Montagesystems weiter zu verwenden, so ist ein ausreichender Zeitrahmen zur Erwirtschaftung der anfallenden Abschreibungen gegeben [38]. Noch günstiger steht die Prognose für den Fall, dass bereits vorhandene Komponenten nicht nur für den stufenweisen Ausbau innerhalb eines Montagesystems, sondern auch für neue Montageanlagen und Produktgenerationen weiterverwendbar sind. Die Übernahme vorhandener Maschinen, Arbeitstische und Materialflusskomponenten ist demnach eine wichtige Voraussetzung für den Erfolg dieses Konzepts.



Ein weiterer Vorteil des schrittweisen Ausbaus ist, dass bei größeren Diskrepanzen zwischen nachgefragter und prognostizierter Stückzahl die Möglichkeit besteht, die Kapazität entsprechend dem Markterfolg des Produktes anzupassen. Dies vermindert einerseits das Risiko großer Überkapazitäten durch mangelnden Markterfolg und bietet andererseits die Chance, bei überdurchschnittlicher Nachfrage den Bedürfnissen der Verbraucher nachzukommen und so neue Geschäftserfolge zu erzielen [72].

Im Detail ist dabei folgende Vorgehensweise denkbar. Zu Beginn des Produktlebenszyklus kann zunächst in *Phase I* aufgrund der geringen, sich erst entwickelnden Stückzahlen mit einer manuellen Station gearbeitet werden, in der alle notwendigen Vorrichtungen, Werkzeuge, Prüf- und Montageeinrichtungen integriert sind. Diese müssen modular aufgebaut sein sowie über standardisierte Schnittstellen und Versorgungseinheiten verfügen, damit sie in weiteren Ausbaustufen nutzbar sind.

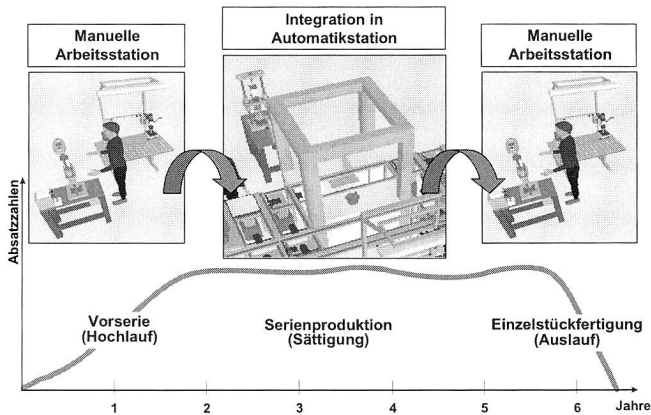


Bild 72: Prozessmodul als manuelle Arbeitsstation mit Beginn der Vorserie bis zur Ersatzteillfertigung

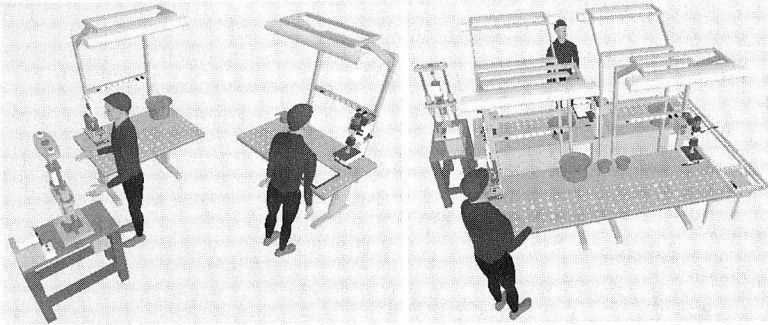
Trotz des geringen Automatisierungsgrades kann es bereits in dieser frühen Phase notwendig sein, gewisse Montage- oder Prüfvorgänge aus Gründen der Qualität bzw. der Dokumentationspflicht voll zu automatisieren. In diesem Fall muss die Option bestehen, die automatisierten Teilprozesse in hybride Stationen zu integrieren. Die Bedienung der Teilprozesse sowie das kostenintensive Handling der Werkstücke bzw. deren Weitertransport kann jedoch manuell erfolgen. Mit den eindeutig definierten Schnittstellen hinsichtlich Elektrik, Pneumatik und Steuerung ist die spätere Integration in höhere Automatisierungsstufen problemlos möglich (s. Bild 72).

In *Phase II* ist aufgrund der benötigten Stückzahl ein Ausbau auf z.B. eine U-Shape-Lösung denkbar, die einen flexiblen Einsatz von Mitarbeitern zulässt. Dabei werden die bisherigen Vorrichtungen, Werkzeuge, Prüf- und Montageeinrichtungen weiter genutzt.

In *Phase III* kann eine weitere Leistungssteigerung z.B. durch einen automatischen Werkstücktransfer oder den maximalen Einsatz an Mitarbeitern erreichbar werden. Die Stationen, die zuvor in Phase II verwendet wurden, müssen hierbei über standardisierte Schnittstellen, auch am automatischen Werkstücktransfer, verfügen (s. Bild 73).

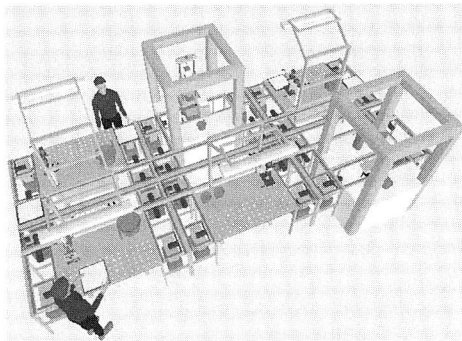


In *Phase IV* ist die Endausbaustufe z.B. durch die Integration von vollautomatischen Stationen erreichbar. Dabei ist wiederum auf die Integration der bereits vorhandenen Vorrichtungen, Werkzeuge, Prüf- und Montageeinrichtungen Wert zu legen, um vorher getätigte Investitionen optimal und effizient zu nutzen (s. Bild 74).



*Bild 73: Durch organisatorische Schritte und flexiblen Mitarbeitereinsatz kann die Ausbringung gemäß dem Bedarf in Phase II und III erhöht werden*

Bei Abnahme der Stückzahlen gegen Ende des Produktlebenszyklus sinkt die Auslastung des Montagesystems in der Regel in weniger gewinnbringende Bereiche. Um trotz rückläufiger Absatzzahlen eine vertretbare Produktivität beibehalten zu können, ist eine Verminderung der Anlagenkapazität notwendig. Aufgrund der bereits vorhandenen Modularität eignet sich hierfür der stufenweise Rückbau der Anlage analog zu deren vorangegangenen, schrittweisen Ausbau. Abhängig vom Verlauf der Stückzahlkurve, firmeninterner Montagestrategien und der Verfügbarkeit von Nachfolgeprodukten kann das Montagesystem im Rahmen des Kapazitätsabbaus nach und nach auf alle oder auch nur auf einen Teil der zu Beginn des Produktlebenszyklus durchlaufenen Stufen zurückgebaut werden. Die im Rahmen der Demontage nicht mehr benötigten Vorrichtungen, Prüfeinrichtungen und Werkzeuge sowie Komponenten der Montageanlage, beispielsweise einzelne Zellen oder Module, sollten nach Möglichkeit unverzüglich für neue Montageprojekte eingesetzt werden.



*Bild 74: Modularer Aufbau von durchgängig verwendeten Montagestationen basierend auf standardisierten, erweiterbaren Systemkomponenten*

Um eine schnelle und aufwandsminimierte Integration dieser Elemente in neue Anlagen zu ermöglichen und die damit verbundenen Kosten durch einen Anlagenstillstand zu minimieren, sollte ein derartiges Stufenkonzept fester Bestandteil der unternehmensinternen Montagestrategie sein. Alternativ zur Degeneration der Montageanlage besteht die Möglichkeit, die Wirtschaftlichkeit des Systems durch die Einsteuerung neuer Produkte beizubehalten. So können die Überkapazitäten der Montage der auslaufenden Produktgeneration dazu verwendet werden, steigende Nachfragen bei Nachfolgemodellen zu decken. Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass die Anpassung der existierenden Montageanlage an das neue Erzeugnis mit einem vertretbaren technischen und finanziellen Aufwand durchführbar ist. Um einen Überblick über die Vorzüge und Nachteile der einzelnen Stufen bei speziellen Anwendungsfällen darzustellen, werden diese in Bild 75 hinsichtlich Personal- und Montageorganisation, Arbeitsplatz, Materialfluss sowie Lagerhaltung und Bereitstellung gegenübergestellt.

Personal und Montageorganisation							Lagerhaltung und Bereitstellung				
Stufe		Personalqualifikation	Aufteilungsgrad der Arbeitsinhalte	eigenverantwortliches Arbeiten	Kommissionier- und Prüftätigkeiten	Anzahl der Worker	Stufe	Art der Lagerhaltung		Technisierung der Teilleistung	Anpassung der Bevorratung an die Arbeitsinhalte
I							I	zentral			
II							II	dezentral			
III							III	dezentral			
IV							IV	zentral / dezentral			

Arbeitsplatz							Materialfluss				
Stufe		Technisierungsgrad der Arbeitsplatzverknüpfungen	Aufteilung der Arbeitsinhalte	Hybride bzw. automatisierte Arbeitsplätze	Kommissionier- und Prüfmittel	Anzahl der Arbeitsplätze	Stufe	Automatisierungsgrad des Materialflusses	Minimierung der Nebenzeiten	Anzahl der verknüpften Arbeitsplätze	Losweise Kommissionierung
I							I				++
II							II				+
III							III				o
IV							IV				-

Bild 75: Vergleich der einzelnen Stufen hinsichtlich technischer und organisatorischer Kriterien

#### 4.5 Konzeption und Auslegung stückzahlflexibler Montagesysteme für turbulente Märkte

Es hat sich gezeigt, dass die stufenweise Anpassung des Montagesystems an den Bedarf der Nachfrage ein probates Mittel zur Steigerung der Stückzahlflexibilität darstellt. Es gibt bei der Auslegung der Kapazität von Montageanlagen prinzipiell zwei unterschiedliche Vorgehensweisen, je nach Sicherheit der Absatzprognosen bzw. je nach Unternehmensstrategie und Auftragslage.

Die erste Möglichkeit besteht darin, dass bereits am Anfang der Systemplanung von einem größeren Absatzvolumen ausgegangen werden kann, da z.B. Rahmenverträge

mit den Kunden existieren und somit größere Stückzahlen bzw. Serien anzunehmen sind. In diesem Fall kann es vorteilhaft sein, bei der beginnenden Systemauslegung bereits den zukünftig höheren Automatisierungsgrad zu berücksichtigen. Die mit Produktionsbeginn notwendigen Investitionen können aufgrund einer gewissen Grundauslastung gerechtfertigt werden. Der Anteil an Fixkosten darf dabei aber nicht unterschätzt werden. So ist meist schon zu Beginn ein automatisierter Materialfluss notwendig. Selbst in den manuellen Stationen muss zur Sicherstellung der Kompatibilität ein investitionsintensiver Transfer integriert werden. Die beschriebenen Investitionsrisiken und Überkapazitäten sind somit obligatorisch. Trotzdem sollte die Startphase stufenförmig und unter Einsatz von hybriden Stationen, die später substituiert werden, in den Hochlauf münden. Diese Vorgehensweise in der Systemplanung kann als ein Weg von der Automatisierung hin zum vorübergehenden Mitarbeitereinsatz bezeichnet werden und wird in Abschnitt 4.5.1 näher betrachtet. Hierbei kann meist auf die modularen Montagesysteme renommierter Hersteller zurückgegriffen werden (vgl. Kapitel 4.3), da diese den hohen Automatisierungsgrad oftmals sogar voraussetzen. Allerdings sollten bei der Auslegung des Systems Szenarien mit unterschiedlichen Stückzahlentwicklungen angenommen und kalkuliert werden.

Der zweite Ansatz kann mit einer Vorgehensweise beschrieben werden, die als Entwicklung vom Montagemitarbeiter hin zur Automatisierung bezeichnet werden kann. Gerade im Bereich der kleinen und mittleren Unternehmen mit ihrem differenzierten Produktspektrum und ihrer intensiven Kundenbindung ist dieser Weg der Auslegung der Montagen weit verbreitet. Hier handelt es sich um die beschriebenen Nischenanbieter mit hoher Produktvarianz und kleinsten Losgrößen, die weder stabile Prognosen der Absatzentwicklung noch konstante Abrufe erwarten dürfen. Zur Abbildung der höchst flexiblen Produktion existieren allerdings keine adäquaten Montagesysteme, die eine durchgängige Verwendung der bestehenden Systemkomponenten, wie günstige Arbeitstische oder einen manuellen Werkstücktransfer, in der Höherautomatisierung ermöglichen. Die am Markt verfügbaren modularen Systeme sind meist überdimensioniert und mit hohem ökonomischem Risiko behaftet. Es besteht folglich nur die Möglichkeit, die Montageorganisation rein manuell auszulegen und später das gesamte Equipment durch eine höhere Automatisierung und einen automatisierten Materialfluss zu ersetzen. So sind die ursprünglichen Investitionen hinfällig und nicht mehr optimal zu integrieren.

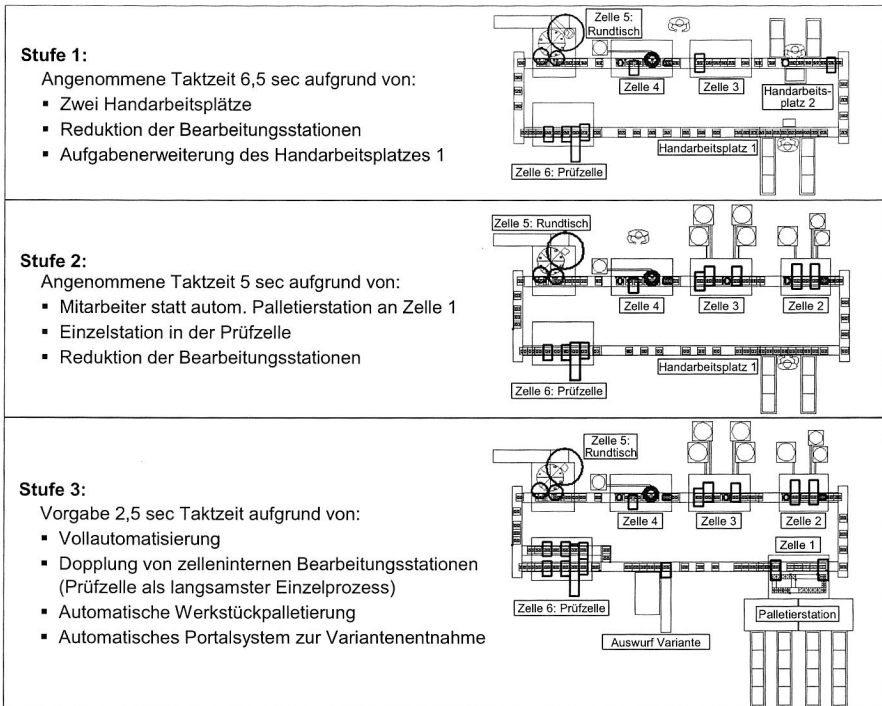
Eine bei einem Industriepartner durchgeführte Auslegung einer derartigen Montage wird in Kapitel 4.5.2, eine durchgängige, systemtechnische Lösung zur Realisierung einer stufenweise angepassten Ausbringungsmenge in Kapitel 4.6 aufgezeigt.

#### **4.5.1 Auslegung und Planung eines stufenweise ausbaubaren Montagesystems mit hoher Kapazität**

Trotz der zur Verfügung stehenden modularen Montagesysteme bekannter Hersteller ist es notwendig, die Anlagenplanung an den tatsächlichen Bedarf anzupassen. Dazu ist es hilfreich, diverse Szenarien zu betrachten, die in ihrer Ausgestaltung die mögliche Entwicklung der Marktsituation abbilden. Das hier beschriebene Beispiel wurde exemplarisch bei einem Projektpartner aus der Automobilzulieferindustrie entwickelt. Dabei handelt es sich um die Montage einer Höhenverstellung für eine Komponente des Fahr-

zeuginterieurs. Das Montagesystem besteht in der höchsten Ausbaustufe aus sechs Zellen, die mit einem Werkstücktransfer verknüpft sind.

In diesem Beispiel wurde eine dreistufige Gestaltung des Hochlaufes als ausreichend betrachtet. Da die Montageanlage für die maximale Stückzahl ausgelegt werden musste, erfolgte die Planung auf Basis der Randbedingungen der dritten und letzten, hochautomatisierten Ausbaustufe und wurde davon ausgehend rückwärts abgestuft.



*Bild 76: Gegenüberstellung der drei Ausbaustufen mit dem Ziel, die maximal vom Kunden geforderte Kapazität erreichen zu können*

Die Unterschiede in den einzelnen Ausbaustufen können wie folgt charakterisiert werden (s. Bild 76). Stufe 3 ist hinsichtlich aller Handhabungs-, Bearbeitungs- und Montageaufgaben vollautomatisiert. Selbst Einzelteilzuführung und Fertigteilentnahme sind durch Palletier- und Zuführsysteme geregelt. Nur die Entstörung erfolgt manuell.

Der Unterschied zu Stufe 2 besteht hauptsächlich in der Zuführung einzelner Komponenten bzw. in der Fertigteilentnahme. Wo in Stufe 3 eine automatisierte Palletierstation vorgesehen ist, ist aufgrund des in der Hochlaufphase befindlichen Stückzahlverlaufs in der zweiten Stufe ein Handarbeitsplatz vorgesehen. Außerdem ist in Ausbaustufe 3 für eine weitere Variante der Höhenverstellung ein vollautomatisiertes Portalsystem zur Entnahme eingeplant. Durch die Substitution dieser einen Zelle wird die Gesamtleistung im Bezug auf die stufenweise notwendige Ausbringung sinnvoll reduziert. So kann in

Stufe 2 unter optimalen Betriebsbedingungen annähernd 50% der Produktivität erreicht werden. Ausschlaggebend dafür ist bei gleich bleibender Taktung der Bearbeitungsstationen die Zeit der Arbeitskraft, die das Gehäuse einlegt und das fertige Produkt abführt. Die Investitionskosten für Stufe 2 betragen aufgrund der reduzierten automatisierten Montageinhalte und der fehlenden Palletierstation etwa 75% der Gesamtinvestition für die Anlage. Jedoch ist dabei die zusätzliche Arbeitskraft zu nennen, die weitere laufende Kosten verursacht. Der manuelle Handarbeitsplatz ist in dieser Überlegung nicht mit einzubeziehen, da dieser bereits in Stufe 1 berücksichtigt ist.

Im Hinblick auf die Stückzahlagilität unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten erfolgt eine nochmalige Reduktion des Automatisierungsgrades des Montagesystems in Stufe 1. Hier werden weitere Komponenten durch einen Mitarbeiter auf dem Werkstückträger platziert und die Produkte manuell mittels Aufkleber gekennzeichnet. Die anstehende Investition für Stufe 1 beträgt somit ca. 50% der Gesamtinvestition. Dies liegt darin begründet, dass für die erste Stufe bereits vier der sechs Montagezellen von der Grundkonzeption bestehen bleiben und lediglich vom Funktionsumfang ergänzt werden. Die Produktivität beträgt bei idealer Anlagenausnutzung immerhin 38,46%. Die Kosten aller Montagezellen in den verschiedenen Ausbaustufen und die resultierenden Investitions- und Produktivitätsbetrachtungen sind wie folgt dargestellt, wobei Aufwendungen für Personal, Flächenmiete, Energie und Wartung nicht berücksichtigt sind.

Neben den Investitionen für die Zellen kommt in Ausbaustufe 1 ein zusätzlicher Aufwand für den Werkstückträgertransfer und die ca. 75 benötigten Werkstückträger, sowie in Ausbaustufe 2 für das Handlingsystem zum Behältertransport hinzu. Diese Komponenten werden allerdings durchgängig in allen Ausbaustufen eingesetzt. Es gilt hierbei zu beachten, dass ca. 70% der Systeminvestition als Zusatzkosten für eine detaillierte Auslegung, Inbetriebnahme, Schulung der Arbeitskräfte, konstruktive Änderungen der Gesamtanlage und Programmierung der einzelnen Fertigungsstufen zu kalkulieren sind. Aufgrund des modularen Aufbaus und der damit einhergehenden Spezifizierung der Schnittstellen und Berücksichtigung zukünftiger Systemstufen muss hier ein erhöhter Aufschlag (Erfahrungswert bei nicht modularen Montagesystemen ist ca. 50%) als Berechnungsgrundlage herangezogen werden.

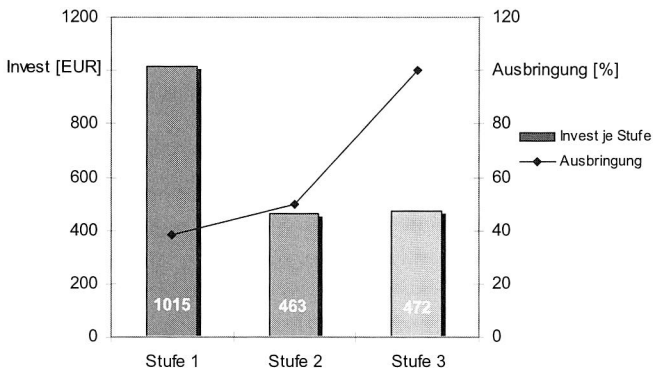


Bild 77: Gegenüberstellung von Investitionskosten pro Ausbaustufe und erreichbarer Ausbringungsmenge

Hinsichtlich des Erstellungs- und Änderungsaufwands bei einer stufenweisen Erweiterung wird anteilmäßig die Hälfte des zusätzlichen Kapitalaufwandes auf die erste Stufe und je ein Viertel auf die beiden weiteren Ausbaustufen aufgeschlagen. Begründet liegt dies in der Tatsache, dass in der ersten Stufe bereits vier der sechs Zellen von der Grundkonzeption festgelegt und zukünftig lediglich vom Funktionsumfang ergänzt bzw. automatisiert werden. Damit liegt die notwendige Gesamtinvestition der Produktionsanlage, einschließlich der 70% Mehrkosten, bei 1.950.000 €. Verteilt auf die einzelnen Stufen ergibt sich die in Bild 77 gezeigte Gegenüberstellung der Investitionen. Zusätzlich sind die Werte mit der prozentualen Ausbringung je Ausbaustufe überlagert. Deutlich wird, dass bei einer Erhöhung der Investition um knapp 25 % von Ausbaustufe 2 auf Stufe 3 die Ausbringung des Montagesystems um ca. 50% gesteigert werden kann. Dies ist mit der Halbierung der Taktzeit von 5 auf 2,5 Sekunden zu erklären.

### Betrachtung von Szenarien zur Abbildung des Nachfrageverlaufs

Um auf Anforderungen des Marktes bzw. des Kunden möglichst effektiv reagieren zu können, ist die Entwicklung der verschiedenen Ausbaustufen des Produktionssystems in verschiedenen Szenarien zu betrachten. Dabei spielen wieder die nötige Investition und die erzielbare Ausbringung eine entscheidende Rolle.

Ausgehend von der klassischen, schrittweisen Entwicklung des Montagesystems in den dargestellten drei Stufen (*Szenario 1*), werden Szenarien mit lediglich zwei Staffellungen (*Szenario 2 und 3*) und die direkte Realisierung der letzten Ausbaustufe und damit ein Verzicht auf den stufenweisen Ausbau (*Szenario 4*) betrachtet. Szenario 2 beschreibt dabei den Übergang von Ausbaustufe 1 in die Ausbaustufe 3 ohne die Berücksichtigung des zweiten Zwischenstadiums. Szenario 3 beginnt direkt mit der Ausbaustufe 2 und den damit verbundenen Parametern und beinhaltet den Übergang von Stufe 2 auf Stufe 3. Bei diesen Konstellationen sind selbstverständlich veränderte Ausstattungen und Arbeitsinhalte pro Zelle nötig, welche eine angepasste Investitionsplanung bedingen.

Wie erwähnt ist neben dem reinen Aufwand für die Anlagentechnik beim Stufenmodell ein Zusatzaufwand von 70% für Schnittstellenadaption etc. berücksichtigt worden. Davon entfallen ca. 50% auf Ausbaustufe 1 und je 25% auf die Stufen 2 und 3. Im Falle der Abwendung vom klassischen dreistufigen Vorgehen in den Szenarien 2 bis 4 muss diese Zusatzinvestition differenziert auf die Erweiterungsstufen verteilt werden. So wird bei zwei Stufen (Szenario 2 und 3) von lediglich 60% Zusatzaufwand ausgegangen, davon ca. 60% für die erste und 40% für die nachfolgende Stufe. Für Szenario 4 mit der direkten Auslegung des Montagesystems auf die volle Ausbringung wird eine Zusatzinvestition von 50% veranschlagt, wovon alles auf diese eine Stufe 3 entfällt (s. Bild 78). Bild 79 zeigt die Übersicht über die Investitionen inkl. Zusatzinvestitionen.

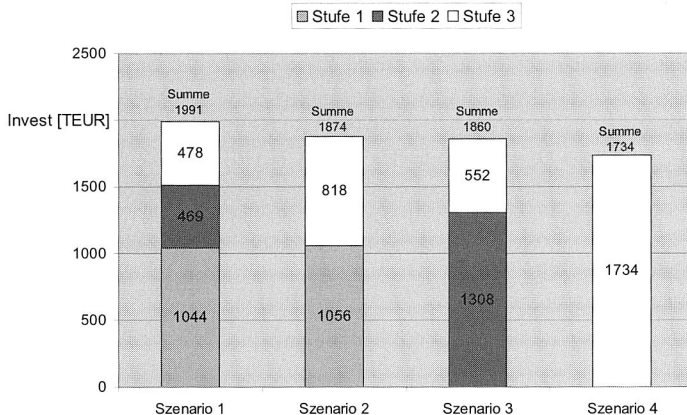
Szenario	Zusatzinvestition	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
1: (1-2-3)	70%	50%	25%	25%
2: (1-3)	60%	60%	/	40%
3: (2-3)	60%	/	60%	40%
4: (3)	50%	/	/	100%

Bild 78: Übersicht über die anteilmäßige Verteilung der Zusatzinvestitionen

## Bewertung der Szenarienmethode

Der Vorteil beim Ausbau nach *Szenario 1* (Stufe 1, 2 und 3) ist das geringe Investitionsrisiko. Bleibt die tatsächliche Nachfrage an produzierten Gütern hinter den Erwartungen zurück, kann auf einen Ausbau der Fertigungsanlage verzichtet werden. Das zur Erweiterung notwendige Kapital von jeweils etwa 25% wird nicht verschwendet. Zwar verursacht diese Variante die höchsten Gesamtkosten, bietet jedoch auch die größte Mengenflexibilität inklusive der Entscheidungsfreiheit für eine stufenweise Erweiterung.

Obwohl bei *Szenario 2* durch den Wegfall der zweiten Ausbaustufe die gleichen Anlagenkosten wie bei Szenario 1 entstehen, ist die Gesamtinvestition (inkl. Zusatzaufwand) deutlich geringer. Begründet liegt diese in den um 10% niedrigeren Inbetriebnahmekosten durch das Fehlen von Erweiterungen. Der Sprung von Stufe 1 auf Stufe 3 birgt jedoch auch ein höheres Risiko. Trotz der 2,5-fachen Ausbringungssteigerung wären bei einer Fehleinschätzung der Auftragslage ca. 44% der Gesamtinvestition gebunden und der Betrieb der Anlage nur weit unterhalb der wirtschaftlichen Kapazität möglich.



**Bild 79:** Zusammenfassung der Investitionskosten für die einzelnen Szenarien

Bei *Szenario 3* wird ausgehend von der zweiten Stufe mit einem Anteil von lediglich 30% der Gesamtinvestitionen (inkl. Zusatzaufwand) eine Verdoppelung der Ausbringung erreicht. Die gesamten Investitionskosten entsprechen etwa denen aus Szenario 2. Jedoch ist die Grundinvestition um ca. 250.000 € höher. Der Vorteil von Szenario 3 ist die höhere Ausbringung bereits zu Beginn. Auch die Ausbringungsverdoppelung in der Erweiterung auf 100% ist ein Grund, Szenario 3 dem Szenario 2 vorzuziehen.

Bei *Szenario 4* wird direkt die höchste Ausbaustufe umgesetzt. Die Investitionersparnis beläuft sich in Vergleich zu Szenario 1 auf ca. 13% der Gesamtinvestition (inkl. Zusatzaufwand). Da die Ausbringung auf die Leistungsobergrenze des Systems ausgelegt ist, fehlt jegliche Mengenflexibilität. Sinnvoll ist dies nur bei feststehender Auftragslage, da hier das Risiko einer Fehlinvestition verringert wird. Falls dennoch eine Erweiterung der Ausbringung notwendig werden würde, könnte dies aufgrund der starren Auslegung und der fehlenden Schnittstellen nur durch eine Neugestaltung des gesamten Systems oder einer Verbesserung der technischen Verfügbarkeit erreicht werden.

Für die Bewertung der Rentabilität der einzelnen Szenarien ist der betriebswirtschaftliche Aspekt von Abschreibungen und Zinsen nicht berücksichtigt. Die Einschätzungen beziehen sich ausschließlich auf die notwendigen Investitionen, um die Produktionsanlage schrittweise auf das Leistungsmaximum zu bringen. Durch eine gewinnbringende Anlage des zurückgehaltenen Kapitals bei einem stufenweisen Ausbau würde sich somit das Stufenkonzept neben Aspekten wie Flexibilität und Risikominimierung auch rein monetär positiver darstellen lassen. Allerdings stehen diesem Effekt die Personalkosten der Ausbaustufen gegenüber. Für Stufe 1 werden drei, in Stufe 2 zwei und in Stufe 3 eineinhalb Mitarbeiter benötigt. Die anfallenden Lohnkosten sind dabei von der Zeit bis zur nächsten Ausbaustufe bzw. von der Gesamtnutzungsdauer der Anlage abhängig.

#### **4.5.2 Auslegung und Planung eines stufenweise ausbaubaren Montagesystems für schwankende Nachfragen und unsichere Absatzprognosen**

Bei diesem Beispiel steht der standardisierte Arbeitsplatz mit entsprechender Flexibilität bei manueller Ausprägung im Vordergrund. Das Ziel ist eine maximale Flexibilität hinsichtlich Stückzahlen und Varianten, bei durchgängiger Möglichkeit zum Ausbau des investitionsarmen, agilen Montagesystems für steigende Absätze und Zukunftsmärkte. Die mitarbeiterorientierten Produktionseinrichtungen und die motivierten, qualifizierten Mitarbeiter sind hier die Stützen des Umsetzungserfolges, um qualitativ anspruchsvolle Sondergeräte zu Serienbedingungen herstellen zu können [138].

Das hier beschriebene Montagesystem soll zunächst dem Zusammenbau von Frequenzumrichtern dienen [153]. Bei diesen Produkten handelt es sich um Elektronikgeräte einfacher Struktur, deren technisch anspruchsvolle und hochwertige Elektronikplatinen in einem geschraubten Gehäuse befestigt sind. Die Produktreihe Frequenzumrichter besteht aus fünf Baugrößen, wobei die Varianz weiter differenzierbar ist. Die einzelnen Varianten weisen zwischen 12 und 17 Ausführungen auf.

Kernelement jedes Gerätes ist eine kostenintensive, für alle Ausführungen einheitliche Steuerungsplatine, welche softwaretechnisch an die jeweilige Leistungsklasse angepasst wird. Da die Produkte an einzelne Kundenanforderungen angepasst werden müssen, unterliegen die zu montierenden Mengen und Ausführungen starken Schwankungen. Um die Vielzahl unterschiedlicher Einzelteile möglichst gering zu halten, basiert die Produktreihe der Frequenzumrichter auf einer Plattform. Der Anteil von Gleichteilen ist besonders bei den Baugrößen eins und zwei sowie den Baugrößen drei bis fünf sehr hoch. Dies erlaubt es, hardwaretechnisch größtenteils identische Produkte lediglich durch Anpassung der Steuerungssoftware zu differenzieren und so gleichzeitig die Anzahl unterschiedlicher Einzelteile in einem wirtschaftlich sinnvollen Rahmen zu halten. Aufgrund der hohen Produktvarianz ergeben sich dennoch starke Losgrößenschwankungen, welche von Einzelfertigung bis hin zu Kleinserien von etwa 300 Stück reichen.

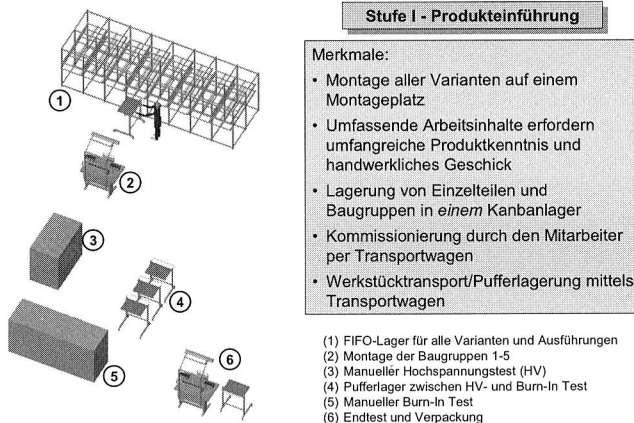
Nach Beendigung des Zusammenbaus werden die montierten Produkte zunächst einem zweiminütigen Hochspannungstest (HV-Test) unterzogen. Diesem folgt die etwa zweistündige Prüfung der Produkte während des sog. Burn-In Tests, welcher dem Nachweis der Beständigkeit der Erzeugnisse unter Betriebsbedingungen dient. Wegen der langen Zykluszeit ist dieser Test als Nadelöhr der Produktion zu bewerten. Unmittelbar vor dem Versand werden die Produkte einem umfangreichen Endtest unterzogen.



Das momentane Produktionsvolumen beläuft sich auf etwa 30 bis 40 Frequenzumrichter unterschiedlicher Varianten und Ausführungen pro Tag bei Losgrößen von derzeit etwa 80 Stück. Durch Anhebung der Prüfkapazitäten für den Burn-In Test und die Integration weiterer Montagearbeitsplätze wird als kurzfristiges Montageziel eine Verringerung der Durchlaufzeiten bei gesteigerter Ausbringungsmenge angestrebt. Mittelfristiges Planungsziel für die ausgelegte Anlage ist neben der Montage aller Frequenzumrichtervarianten zusätzlich die Herstellung der Produktreihe Servoantriebe, bestehend aus derzeit sieben Ausführungen. Die Steigerung der Stückzahl auf ca. 120 Umrichter und 60 Servoregler pro Arbeitstag erfordert zu einem späteren Zeitpunkt den weiteren Ausbau der Montageanlage. Auf lange Sicht sollen alle Neu- und Weiterentwicklungen durch aufwandsminimiertes Erweitern auf dem System produziert werden.

### Ausbaustufe I

Für den Produktionsanlauf der Frequenzregler wird mit der Realisierung der ersten Ausbaustufe die Grundlage für eine stufenweise erweiterbare Anlage gelegt. Kernelement des für den Serienbeginn aufgebauten Systems ist ein einzelner, freistehender Komplettarbeitsplatz, welcher der Montage aller erdenklichen Variationen der Produktreihe Frequenzumrichter dient. Die Aufgaben des verantwortlichen Mitarbeiters sind in dieser Phase sehr umfangreich. Neben der selbstständigen Auftragskommissionierung und der anschließenden Komplettmontage sind auch die diversen Prüfprozesse sowie das Verpacken der fertigen Erzeugnisse durchzuführen. Da bereits eine Vielzahl unterschiedlicher Produktvarianten und -ausführungen zu montieren ist, muss der hier eingesetzte Mitarbeiter über umfangreiche Kenntnisse aller Produkte verfügen.



*Bild 80: In Stufe I erfolgt die Kommissionierung der Einzelteile und Baugruppen sowie deren Transport manuell durch den Werker*

Im Sinne einer verbrauchsorientierten Teilebereitstellung sind bis zur Kommissionierung ein Großteil der benötigten Einzelteile und Baugruppen aller Produktvariationen in einem Kanban-Lager zusammengefasst. Das hierzu benötigte FIFO-Regal (First-In First-Out) ist nahe beim Arbeitsplatz installiert, um hohe Nebenzeitanteile während der Kom-

Kommissionierung zu vermeiden. Lediglich wenig kostenintensive C-Teile werden direkt am Arbeitsplatz in Greifbehältern bereitgestellt. Die zur Durchführung eines Auftrages benötigten Einzelteile und Baugruppen werden vom Mitarbeiter aus den entsprechenden Kanban-Behältern auf einen Transportwagen kommissioniert und mit diesem an den Arbeitsplatz gebracht.

Das Montagesystem der ersten Ausbaustufe (s. Bild 80) ist als singulärer Arbeitsplatz ohne Transferkomponenten ausgeführt. Die Bereitstellung von Kleinteilen am Arbeitsplatz erfolgt durch Greifbehälter, welche am rückwärtigen Rasterrohrrahmen des Arbeitsplatzgrundmoduls angebracht sind. Dem Mitarbeiter werden bereits in dieser Stufe sämtliche für die Montage benötigten Werkzeuge ergonomisch günstig bereitgestellt.

Um dem Mitarbeiter die Einarbeitung für die Montage von Neuentwicklungen zu erleichtern, bietet sich der Einsatz eines Mitarbeiterinformationssystems an. Hierdurch können wichtige Informationen über die aktuell bearbeitete Produktvariante bereitgestellt und Probleme bei der Montage von vornherein ausgeräumt werden.

Der Transport von Komponenten und Produkten erfolgt in diesem Entwicklungsstadium der Anlage ausschließlich manuell. Um die Summe der zurückzulegenden Wege gering zu halten, werden Transportwagen eingesetzt, auf welchen immer mehrere Produkte auf einmal von einer Station zur nächsten gebracht werden können. Gleichzeitig dienen diese Wagen zur Pufferung von Erzeugnissen vor bzw. nach den Prüfstationen.

## **Ausbaustufe II**

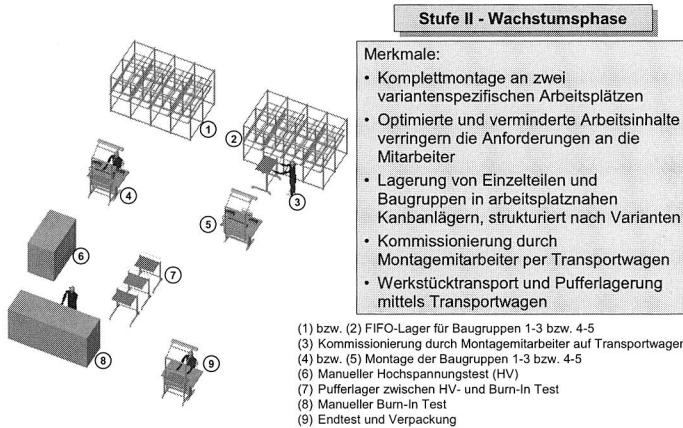
Für die zweite Ausbaustufe besteht die Forderung nach einer Steigerung der Montagekapazität auf etwa 40 bis 50 montierte Einheiten pro Tag. Erreicht wird dieses Ziel durch eine Verdopplung der Arbeitsplätze sowie der damit einhergehenden Erhöhung der Mitarbeiterzahl. Wie auch schon in der ersten Ausbaustufe obliegen die Kommissionierung und Montage von Aufträgen sowie die Durchführung aller notwendigen Tests den betreffenden Mitarbeitern. Diese Arbeiten können jedoch nun aufgrund der gestiegenen Stückzahlen nicht mehr durchgängig von einer Arbeitskraft alleine wirtschaftlich verrichtet werden. Die Durchführung der Arbeitsinhalte wurde daher einer vierköpfigen, vollflexiblen Montagegruppe übertragen, in der jedes Gruppenmitglied auch die Arbeiten der anderen durchführen kann. Jeweils zwei Personen der Gruppe befassen sich mit dem Zusammenbau der Frequenzumrichter, die anderen testen die Produkte auf Sicherheit und Funktionsfähigkeit. Neben der Mitarbeiterzufriedenheit durch gruppeninterne Rotation der Arbeitsplätze sind vor allem geringere Produktionseinbußen durch menschliche Ausfälle positive Effekte dieser Arbeitsorganisation.

Die einzelnen Produktkomponenten werden ebenfalls in einem kanbangesteuerten FI-FO-Lager bereitgestellt. Dabei sind die bevorrateten Bauteile direkt hinter den zugeordneten Arbeitsplätzen angeordnet. Um die Höhe des gebundenen Kapitals gering zu halten, sind die an allen Arbeitsplätzen benötigten Gleichteile zwischen den baugrößenspezifischen Einzelteilen angeordnet. Die Verteilung der Bauteile an die Arbeitsplätze geschieht analog der Kommissionierung in der ersten Stufe auf Transportwagen.

Die Anhebung der Montagekapazität wird durch den Einsatz eines zweiten, manuellen Komplettarbeitsplatzes erreicht. Dieser unterscheidet sich in der Grundausstattung nicht von dem aus der ersten Stufe. Lediglich das Spektrum der pro Arbeitsplatz vorhande-

nen Werkzeuge und Kleinteile ist nun dem jeweiligen Montagebedarf angepasst. Generell besteht zwar die Möglichkeit der Montage aller Baugrößen an beiden Arbeitsplätzen, dies sollte jedoch mit Blick auf den dann steigenden logistischen Aufwand nur zur Deckung extrem hoher Nachfragespitzen einer Baugröße in Betracht gezogen werden.

Die Produkte werden nach wie vor von der Kommissionierung zu den Arbeitsplätzen und weiter zu den diversen Prüfstationen manuell auf einem Transportwagen bewegt (s. Bild 81). Als Alternativlösung könnte die Speicherung nach variantenneutralen und variantenspezifischen Bauteilen getrennt erfolgen. Alle variantenbezogenen Bauteile wären dabei in einem am Arbeitsplatz angeordneten Lager unterzubringen.



**Bild 81:** Montagesystem mit strukturiertem Kanban-Lager, auftragsbezogener Kommissionierung auf einen Transportwagen und manuellem Transport

Der Vorteil dieser Aufteilung liegt in niedrigeren Kosten durch Verringerung des Grades an Mehrfachbevorratung, vor allem bei kostenintensiven Komponenten wie etwa den Steuerungsplatinen. Diese Anordnung bringt eine gesteigerte Übersichtlichkeit, da sich das Hauptlager nur auf die Grundelemente aller Varianten beschränkt. Die Bereitstellung der spezifischen Teile direkt am Arbeitsplatz vermindert auch den Suchaufwand.

### Ausbaustufe III

Neben einer erneuten Verdopplung der Arbeitsplatzanzahl ist die Einführung eines mechanisierten Transfersystems zur Kapazitätserhöhung vorgesehen. Die Nebenzeitanteile für den Werkstücktransport können dadurch weiter verringert werden.

Die Gesamtheit der manuell zu verrichtenden Arbeiten erstreckt sich von der Kommissionierung der Aufträge über die Montage bis hin zur Durchführung sämtlicher Prüfvorgänge. Im Vergleich zu den vorangegangenen Stufen entfällt der Weitertransport der Produkte nach abgeschlossener Montage, da dies über eine Röllchenbahn geschieht. Der technisierte Transfer erfordert allerdings die Einführung von Werkstückträgern.

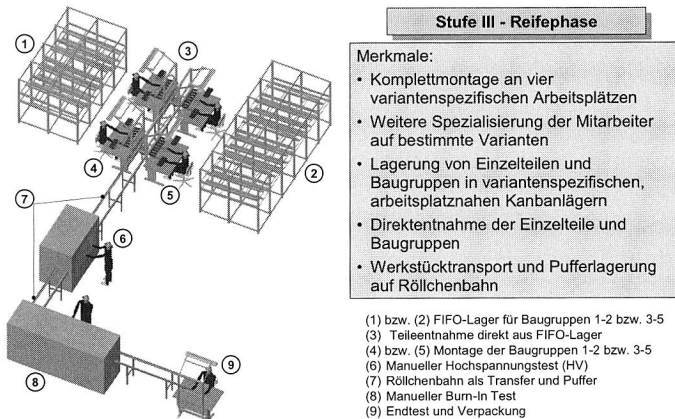
Auch in dieser Stufe sind die Mitarbeiter als selbstständige Montagegruppe organisiert. Aufgrund der gestiegenen Mitarbeiterzahl ist diese als teilflexible Gruppe zu gestalten.

Die Montagekenntnisse der einzelnen Gruppenmitglieder müssen nur noch Teile des gesamten Variantenspektrums abdecken.

Die für Stufe III vorgestellte Lösung ist die konsequente Fortsetzung der in der ersten Variante von Stufe II vollzogenen Aufteilung des Lagers nach Baugrößen. Hinter den jeweils auf eine oder zwei Baugrößen spezialisierten Arbeitsplätzen sind FIFO-Rollenlager aufgestellt, so dass die Bauteile von den Mitarbeitern sitzend entnommen werden können. Da sich der Werker durch den Griff hinter sich die benötigten Produktkomponenten unmittelbar zur Montage direkt aus dem Lager holt, entfallen kommissionierbedingte Nebenzeiten. Nachteilig ist jedoch die Bindung der Arbeitsplätze an das entsprechende Lager, so dass die Produktion anderer als der jeweils vorgesehenen Baugrößen, z.B. zum Ausgleich von Nachfragespitzen, mit hohem Aufwand verbunden ist.

Alternativ wäre die Lagerung von Einzelteilen und Baugruppen in einem kanban-gesteuerten FIFO-Lager denkbar, in dem sämtliche Ausführungen aller Varianten zusammengefasst sind. Hier erfolgt auch die Bevorratung der produktneutralen Werkstückträger, welche sich jeder Mitarbeiter während der Kommissionierung auf seinen Wagen legen muss. Der zwangsläufigen Unübersichtlichkeit stehen Kosteneinsparungen durch Einfachbevorratung teurer, variantenneutraler Gleichteile gegenüber.

Die Kommissionierung ist in diesem Fall erheblich aufwändiger, da bei einem gemeinsamen FIFO-Lager das Zusammenstellen der Aufträge eine eigenständige Tätigkeit darstellt. Die Möglichkeit der direkten Entnahme vom Arbeitsplatz aus würde entfallen. Die Anbindung der rein manuellen Komplettarbeitsplätze an die zentrale Rollenbahn bedingt nun die Verwendung von Arbeitsflächen mit integriertem Transfer, wobei die Übergabe der Werkstückträger vom Arbeitsplatz an die Rollenbahn manuell erfolgt.

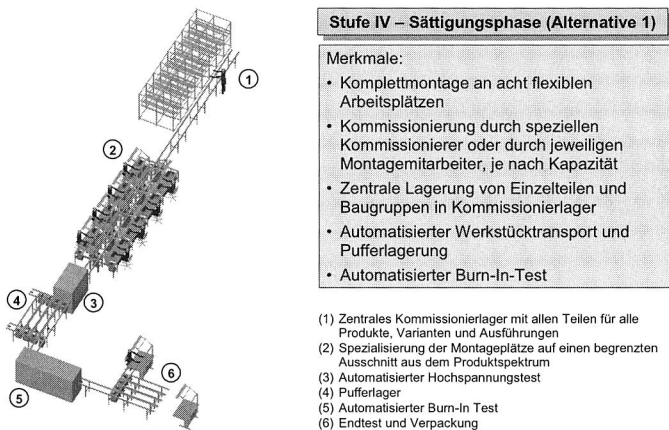


**Bild 82:** Montagesystem in der dritten Ausbaustufe mit zentraler Kommissionierung und Teiletransport auf Rollenbahn beziehungsweise auf Wagen

Der Transport der komplettierten Werkstücke erfolgt durch die leicht geneigte Röllchenbahn mittels Schwerkraft zu den nachfolgenden Teststationen. Der weitere Transport zwischen den Prüfeinrichtungen erfolgt ebenfalls auf einer einfachen Röllchenbahn, welche gleichzeitig der Pufferung von Werkstückträgern dient (s. Bild 82).

## Ausbaustufe IV

Die gemeinsame Montage von Frequenzumrichtern und Servoreglern auf einer ganzheitlichen Montageanlage wird in der vierten und letzten Ausbaustufe angestrebt. Neben der Einsparung von Kosten durch Verringerung mehrfach vorhandener Anlagenkomponenten, sollen weitere Rationalisierungseffekte durch die Zusammenfassung von Montageabläufen und Organisationseinheiten realisiert werden. Darüber hinaus bietet die Montage mehrerer Produktreihen auf einer Anlage die Chance, auch größere Stückzahlenschwankungen wirkungsvoll abzupuffern. Wichtigstes Merkmal der vierten Ausbaustufe ist, neben einer weiteren Erhöhung der Arbeitsplatzanzahl, der Einsatz von Automatisierung im Förder- und Prüfbereich. Bei dieser Ausbaustufe ergibt sich zwangsläufig eine weitere Spezialisierung der Mitarbeiter. Trotzdem sollten teilflexible Montagegruppen ein erweitertes Wissen behalten, um im Falle starker Nachfrageschwankungen angemessen reagieren zu können. Unabhängig von der Anzahl und Aufteilung der Montagegruppen ist das Montagewissen der einzelnen Mitarbeiter durch häufigen Arbeitsplatzwechsel über mehrere Varianten und Ausführungen hinweg, auf einem konstant hohen Niveau zu halten. Damit können auch ein Wechsel zwischen Frequenzumrichtern und Servoreglern ermöglicht sowie Auftragsschwankungen flexibel abgedeckt werden. Die manuelle Durchführung des Endtests und das Verpacken der fertigen Waren bleiben weiterhin bestehen.



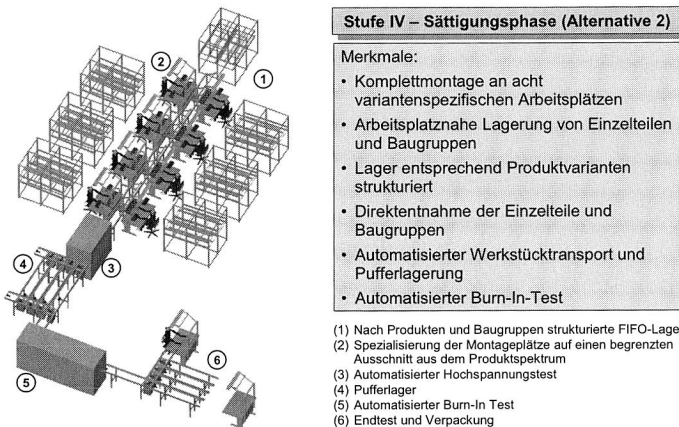
**Bild 83:** Montagesystem mit zentraler Teileversorgung durch separaten Kommissionierer oder Mitarbeiter aus der Gruppe

Bei einem zentralen FIFO-Lager kann bei hoher Auslastung ein spezieller Kommissionierer die Versorgung der Arbeitsplätze mit Bauteilen übernehmen. Bei geringerem Kapazitätsbedarf kann die Kommissionierung aber auch durch die Montagemitarbeiter erfolgen. Dabei entnimmt der Werker seine notwendigen Komponenten aus dem zentralen FIFO-Lager nach dem Warenhaus-Prinzip. Mit dem bestückten Transportwagen kann er dann an einen freien Montageplatz fahren (s. Bild 83). Außerdem kann in Ausbaustufe IV das bereits in den vorherigen Stufen erläuterte Prinzip der montageplatznahen Teilelagerung fortgesetzt werden, wodurch sich die entsprechenden Vor- und Nachteile einstellen. Alternativ dazu kann die Speicherung der Bauteile in einem zentra-

len FIFO-Lager, welches unmittelbar in die Kommissionierstation integriert ist, erfolgen. Neben dem Vorteil der wegfallenden Mehrfachbevorratung sinken die Durchlaufzeiten der Komponenten, da die Bauteile bei zentraler Kommissionierung durch den hohen Materialdurchsatz nur kurze Lagerzeiten aufweisen.

Aufgrund der durchgeführten Automatisierungsmaßnahmen im Bereich der Hochspannungs- und Burn-In Tests ist die Automatisierung des Materialflusses im Prüffeld zwingend notwendig (s. Bild 84). Dies verlangt schon die Forderung nach einer vollautomatischen Beschickung der Prüfeinrichtungen zur Realisierung einer mannarmen Prüfschicht. Zu diesem Zweck ist zwischen Hochspannungs- und Burn-In Teststation ein Speicherbahnhof für Werkstückträger vorgesehen, welcher während der Tagesproduktion aufgefüllt wird und dessen Inhalt in der Nachtschicht vollautomatisch abgearbeitet werden kann. Einem ähnlichen Zweck dient ein mechanisiert oder automatisiert ausführbarer Pufferspeicher am Ende des Materialflusses, in welchem die nachts geprüften Erzeugnisse bis zu ihrer Verpackung zwischengespeichert werden.

Bezüglich der Kommissionierung kann bei dezentralen FIFO-Lagern zwischen der Kommissionierung auf einen Transportwagen oder der direkten Montage aus einem hinter dem Werker angeordneten Lager gewählt werden. Ein entscheidender Vorteil der Wagenmethode gegenüber der direkten Entnahme von Bauteilen aus dem Lager liegt in der höheren Flexibilität hinsichtlich Stückzahl- und Produktmixschwankungen. Das zentrale FIFO-Lager ermöglicht die Durchführung sämtlicher Kommissioniervorgänge an einer Station. Voraussetzung hierfür ist ein vollautomatisches Transfersystem, welches die bestückten Werkstückträger an die vorgesehenen Arbeitsstationen befördert. Durch den Wegfall der für die Einzelkommissionierung typischen Wege lässt sich eine deutliche Steigerung des Hauptzeitanteils und somit auch eine Steigerung der Produktionsleistung erzielen. Der Einsatz dieser Art der Kommissionierung ist jedoch nur dann sinnvoll, wenn die pro Schicht eingesparten Nebenzeiten höher sind als die Arbeitszeit des zusätzlich für die Kommissionierung benötigten Mitarbeiters.



**Bild 84:** Montagesystem mit individueller Kommissionierung und teilautomatisiertem Transfer sowie automatisierten Prüfstationen

Das Spektrum der pro Arbeitsplatz vorhandenen Werkzeuge und der dort bereitgestellten Kleinteile orientiert sich an den jeweils zur Montage vorgesehenen Produkten und Varianten. Die Arbeitsflächen aller Montageplätze sind mit Transfersegmenten versehen, welche eine Anbindung an den Materialfluss ermöglichen.

#### **4.6 Technische Umsetzung des modularen, mitarbeiterorientierten MAMOS-Montagesystems**

Die notwendige Durchgängigkeit der Komponenten vom manuellen Montagesystem bis zur hochautomatisierten Auslegung ist im geforderten Umfang derzeit am Markt nicht verfügbar. Deshalb wurde in Zusammenarbeit mit einem renommierten Hersteller von manuellen Arbeitsstationen und manuellen Werkstücktransferlösungen ein modulares, stückzahlflexibles, mitarbeiterorientiertes Montagesystem in seinen unterschiedlichen Ausbaustufen entwickelt. Das resultierende MAMOS-Montagesystem<sup>2</sup> wird im Folgenden detailliert beschrieben.

MAMOS steht dabei für Marktorientierte Montagestrukturen, ein vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (bmbf) gefördertes Verbundprojekt mit Beteiligung von sechs KMU-Betrieben und kompetenter Institute. Das Ziel war die Entwicklung von Lösungen zur Modernisierung der Montage zur besseren Bewältigung der veränderten Marktanforderungen. Dabei ging es nicht nur um die Ausschöpfung von Rationalisierungspotenzialen, sondern insbesondere auch darum, durch innovative und intelligente Lösungen Arbeitsplätze am Standort Deutschland zu sichern. Ein Schwerpunkt in diesem Projekt war die Entwicklung eines hochflexiblen, modularen Montagesystems zur Beherrschung der dynamischen Marktanforderungen (vgl. Kapitel 2) bei KMU.

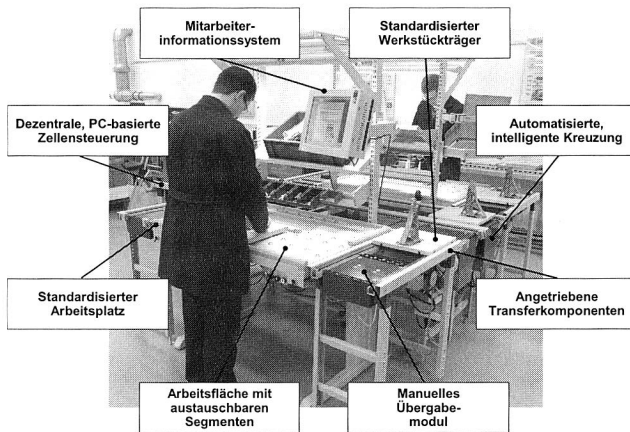
Das MAMOS-Montagesystem ist als stufenweise ausbaubares Montagesystem für stark schwankende Nachfragen, unsichere Absatzprognosen und die Anforderungen von KMU konzipiert. Dabei werden der Mitarbeiter, seine Motivation und seine kognitiven Fähigkeiten in den Mittelpunkt der agilen Systemgestaltung gestellt. Das Ziel ist also, aus der vorher genannten Motivation, die Entwicklung vom Mitarbeiter hin zur Höherautomatisierung zu durchlaufen, um damit von Stückzahl-1 bis zur Serienmontage alle Facetten des Marktbedarfs abdecken zu können. Bei Bedarf sind der gezielte Rückbau des Systems und die Wiederverwendung der standardisierten Module ebenso problemlos und mit geringer Investition zu bewerkstelligen. Die Komponenten des MAMOS-Systems unterstützen dabei sowohl die eigentliche technische Wandlungsfähigkeit der Hardware durch die modulare, stufenweise erweiterbare Systemstruktur (vgl. Kapitel 4.6.1) und Steuerungsarchitektur (vgl. Kapitel 4.6.2) als auch organisatorische Maßnahmen zur raschen Anpassung der Ausbringungsmenge. So sind Systemanordnungen im U-Shape ebenso realisierbar, wie Strategien des One-Piece-Flow, der Komplettmontage, der ziehenden Produktion oder Kanban-Teileversorgung. Im Übrigen wurde bei der Umsetzung des Montagesystems durchgängig auf einen geringen Kapitalaufwand geachtet, was sich sowohl in der strikten Verwendung von Gleichteilen, einfachen Blech- und Stahlkonstruktionen, Standardsteuerungskomponenten etc. widerspiegelt (vgl. Kapitel 4.6.3).

<sup>2</sup> Für die Mitwirkung bei der Entwicklung des MAMOS-Montagesystems danke ich meinem ehemaligen Diplomanden Herrn Dipl.-Ing. Stefan Junker herzlich



#### 4.6.1 Modularer Aufbau und Komponenten

In der konzeptionellen Phase der Entwicklung wurden bereits die Weichen für ein funktionelles wie auch kostengünstiges, modular aufgebautes System gestellt. Werden nicht sämtliche involvierten Komponenten und Module, Randbedingungen und Forderungen technischer wie betriebswirtschaftlicher Seite von Beginn an in den Prozess eingebunden, besteht die Gefahr, dass kostenintensive Sonderlösungen realisiert werden müssen oder andererseits der Anspruch nach der umfassenden Modularität nicht konsistent verfolgt werden kann. Um dies zu vermeiden mussten für das Montagesystem partiell Lösungen gesucht werden, die auf den ersten Blick evtl. überdimensioniert erscheinen, sich bei genauerer Betrachtung jedoch nicht nur über den Kostenaspekt amortisieren.



*Bild 85: Komponenten des agilen, modularen, mitarbeiterorientierten MAMOS-Montagesystems*

Aufgrund der Synergie aus hoher Flexibilität und geringem Anpassungs- bzw. Erstellungsaufwand bei überwiegend manueller Montage ist das MAMOS-Montagesystem als Modulsystem aufgebaut. Grundlagen sollen hierbei produktneutrale, funktionsorientierte Basismodule sein, die durch die Integration von standardisierten Zusatzkomponenten an aktuelle Bedürfnisse adaptiert werden können (s. Bild 85).

##### **Standardisierter Arbeitsplatz mit austauschbaren Segmenten**

In manuellen, modularen Montagesystemen stellt der Montageplatz aufgrund der Forderung nach durchgängiger Verwendbarkeit von der Einzelplatzmontage bis hin zur Linienmontage das zentrale Basismodul dar. Aus diesem Grund besteht der Standardarbeitsplatz zunächst aus einem produktneutralen Grundmodul, welches die EGB-Anforderungen für den Umgang mit elektrostatisch gefährdeten Bauteilen erfüllt.

Vorrangige Aufgabe des Arbeitsplatzmoduls ist die Abarbeitung von Montageschritten. Die an einem manuellen Montageplatz erbrachte Produktionsleistung hängt in erster Linie vom Leistungsvermögen des betreffenden Mitarbeiters ab [137]. Um den Leistungsabfall des Montagepersonals so gering wie möglich zu halten, ist die ergonomische Gestaltung der Arbeitsplätze zur langfristigen Sicherung der Wirtschaftlichkeit ei-



ner manuellen Montage unabdingbar. Handarbeitsplätze müssen deshalb unter anderem folgende ergonomische Kriterien erfüllen [171]:

- Einwandfreie, gleichmäßige Beleuchtung der Arbeitsebene mit blendfreiem Licht
- Arbeit im Sitzen oder Stehen ermöglichen, Ordnung am Arbeitsplatz
- Richtig bemessener Greifraum, optimierte Behälteranordnung für kurze Greifwege
- Einstellbarkeit der Arbeitsmittel gewährleisten
- Arbeitsebene unterhalb der Herzhöhe, Beidhandarbeit ermöglichen

Als Basiselement des über alle Stufen hinweg verwendbaren Arbeitsplatzgrundmoduls dient ein biegesteifes Stahlgestell, an welchem ein Rasterrohrrahmen für die Anbringung von Erweiterungselementen, Greifbehältern sowie eine Aufnahme für eine der nachfolgend erläuterten Arbeitsflächenvarianten montiert ist. Am oberen Ende des Rasterrohrrahmens befindet sich die Beleuchtung der Arbeitsfläche. An den beiden senkrechten Streben können Zusatzelemente zur Steigerung des Nutzwertes des Montageplatzes angebracht werden, z.B. Elemente der Teilebereitstellung, Werkzeughalterungen oder das Bedienterminal für das Mitarbeiterinformationssystem (vgl. Kapitel 5). Bei der Konstruktion des Rasterrohrrahmens ist auf ausreichenden Platz für das Einschieben einer auf einem Transportwagen montierten Abstellfläche zu achten.

Um die Benutzung energiebetriebener Werkzeuge und Hilfsmittel ohne großen Zusatzaufwand zu ermöglichen, ist bereits das Arbeitsplatzgrundmodul mit einer Energieschnittstelle zwischen Montagesystem und Montageperipherie ausgestattet. Hierbei wird zwischen elektrischer und pneumatischer Energie unterschieden.

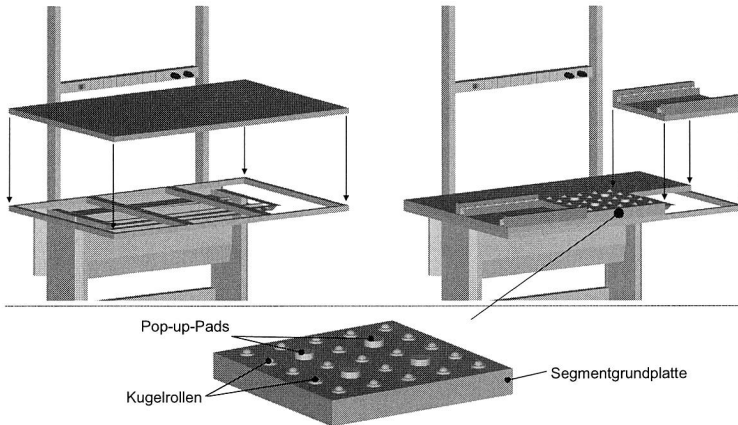
Zur Erhöhung der Systemflexibilität ist selbst die Arbeitsfläche modular aufgebaut. Neben einer einfachen, kompletten Tischplatte kann der Arbeitsbereich ebenso aus unterschiedlichen Flächensegmenten an die individuellen Anforderungen angepasst werden. Je nach Anforderung können verschiedenste Segmente auf dem Adapterrahmen des Arbeitsplatzes montiert werden.

- Blind-Segment als Ablagefläche
- Kugelrollensegment für den Werkstückträgertransfer
- Bearbeitungssegment mit Pop-up-Pads
- Segment mit kundenspezifischen Prozessen (Schrauber, Lötstation o.ä.)

Der Materialfluss auf dem Arbeitstisch findet primär durch den Mitarbeiter statt. Auf den Kugelsegmenten können die Werkstückträger problemlos und ergonomisch in alle notwendigen Richtungen bewegt werden. Eine Verknüpfung mit dem stationsübergreifenden Materialfluss ist ebenso möglich. Der große Vorteil liegt im Einsparen eines kosten- und wartungsintensiven, angetriebenen und gesteuerten Materialflusses durch den manuellen Arbeitsplatz.

Das mit Pop-up-Pads und Kugeln versehene Segment dient vor allem als direkter Arbeitsbereich. Auf den Kugeln kann das Montageobjekt sowohl gedreht, als auch die Bewegungsrichtung des Werkstückträgers verändert werden. Für eine sichere Fixierung des zu montierenden Erzeugnisses während der manuellen Montageoperationen sorgen die pneumatischen Pop-up-Pads (s. Bild 86). Um den schnellen und einfachen Austausch der Segmente zu ermöglichen, werden diese lediglich in einen Metallrahmen auf

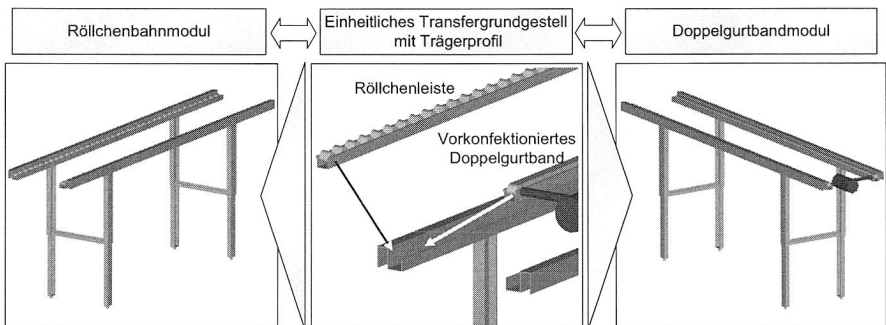
dem Arbeitsplatzgrundgestell eingelegt. Eine Verwendung als unverketteter Einzelarbeitsplatz bis zur verketteten Station in einem Stationsverbund ist somit gewährleistet.



*Bild 86: Unterschiedliche Aufbauten des Arbeitsbereiches aus Tischplatte bzw. Segmenten zur Erhöhung der stationsinternen Flexibilität*

### Transferkomponenten

Mit dem Anstieg der Stückzahlen nimmt auch die Anzahl der notwendigen Werkstückbewegungen zu, so dass der Einsatz von Transportwagen unrentabel wird. Somit muss auf einen personalfreien Transfer zurückgegriffen werden. Dabei kann zwischen aktiven, angetriebenen und passiven, antriebslosen Förderkonzepten unterschieden werden. Um einen möglichst großen Anteil an Gleichteilen zu realisieren, beinhaltet das MAMOS-Montagesystem ein einheitliches Grundgestell für beide Varianten, auf welches das Transferprofil montiert wird. In das Profil werden dann, je nach Anforderung, die vorkonfektionierten Rollen- oder Gurtprofile eingelegt. Die ohne Werkzeug mögliche Austauschbarkeit von passiven und aktiven Transporttechniken ermöglicht die einfache und kostengünstige Erweiterung bestehender Transfersysteme (s. Bild 87).



*Bild 87: Einfaches und kostengünstiges Umrüsten des Werkstücktransfers von passiven Röllchenleisten auf angetriebene Doppelgurtbänder*

Im Bereich der antriebslosen Transfersysteme hat sich vor allem der Transport auf Rollenbahnen bewährt. Dieses Prinzip beruht auf der Bewegung von Werkstücken von Station zu Station mittels leichtlaufender Kunststoffrollchen, wobei die transportierten Werkstückträger entweder manuell durch die Mitarbeiter oder durch die Schwerkraft beschleunigt werden. Es handelt sich hierbei um die einfachste und preisgünstigste Möglichkeit zur Verkettung von Stationen, die den Vorteil der energielosen Weitergabe von Werkstücken bietet und zusätzlich weitgehend wartungsfrei ist.

Zur aktiven Förderung der Werkstückträger in Anlagen höherer Ausbaustufen kommt ein elektrisch angetriebenes Doppelgurtbandsystem zum Einsatz. Im Vergleich zu antriebslosen Systemen erfolgt hier die Beschleunigung der Transporteinheiten durch deren reibschlüssige Mitnahme beim Aufliegen auf den Gurten. Der Grundaufbau des aktiven Fördermoduls ist identisch mit dem der passiven Lösung, lediglich müssen die Rollenbahnen geeigneten Gurtbändern weichen. Die Möglichkeit der Höhenanpassung über die Füße bleibt aufgrund des einheitlichen Grundgestells bestehen.

Für den Antrieb der Doppelgurtbänder wird eine Motoreinheit (Drive-Module – DriM) direkt in die Profilleisten des Grundtransfers eingehängt und in alle Richtungen fixiert. Durch einen einfachen Spannmechanismus kann dabei die benötigte Vorspannung des Gurtes erzielt werden. Das DriM wird dabei ständig mit 230 Volt betrieben und benötigt keinerlei Steuerungskomponenten. Die Transfermodule beschränken sich somit ausschließlich auf die Aufgabe des translatorischen Materialtransports. Die Zielführung der Werkstückträger, die Fahrplangenerierung und die Koordination des Materialflusses über ein Paletten-Identifikationssystem übernehmen hingegen die intelligenten Hubquereinheiten mit ihrer dezentralen PC-basierten Steuerung (vgl. Kapitel 4.6.2).

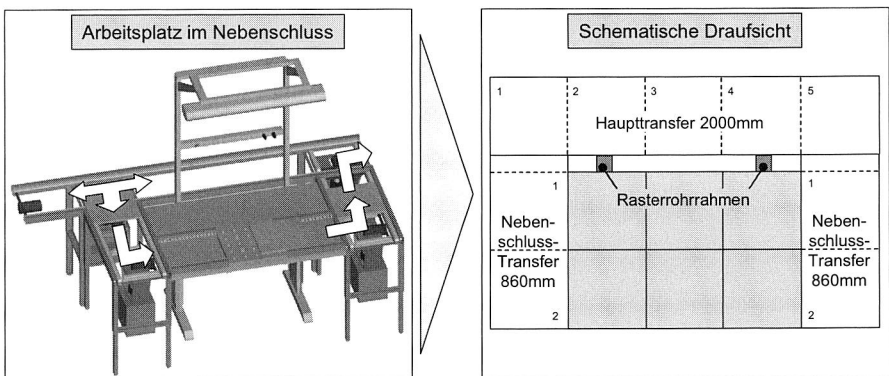


Bild 88: Schematische Darstellung des Rastermaßes für die Transfermodule

Die Rasterung der unterschiedlichen Transferprofilängen des Haupttransfers orientiert sich an der Kantenlänge der Arbeitsplatzflächensegmente und beträgt ein ganzzahliges Vielfaches davon (s. Bild 88). Betrachtet man den Arbeitsplatz und den dazugehörigen Haupttransfer als Einheit und soll der Transfer über alle Ausbaustufen des Montagesystems verwendet werden können, muss zu den drei Segmenten des Arbeitsplatzes jeweils ein Segment vor und nach dem Arbeitsplatz eingerechnet werden. In Segment 1 und 5 können dann Hubquereinheiten für die Anbindung eines Arbeitsplatzes im Ne-

benschluss eingehängt werden. Da das MAMOS-Montagesystem für Werkstückträger mit einer Kantenlänge von 330 mm ausgelegt wurde, ergibt sich eine Rasterung des Arbeitsplatzes in Segmente von 400x400 mm. Somit ist der Haupttransfer mit einer Länge von fünf Segmenten und damit 2000 mm zu realisieren. Der Transfer für den Nebenschluss hingegen benötigt zwei Segmente und die Distanz des Rasterrohrrahmens, um eine Kopplung des Arbeitsplatzes im Nebenschluss an den Haupttransfer zu ermöglichen, wodurch sich ein Rastermaß von 860 mm ergibt.

Wie aus Bild 88 hervorgeht, sind Hubquereinheiten für ein Ausschleusen eines Werkstückträgers nur in Segment 1, 3 und 5 des Haupttransferprofils sinnvoll, da auf dem zweiten und vierten Segment der Rasterrohrrahmen den Nebentransfer blockiert.

### **Low-cost-Hubquereinheit zur manuellen Übergabe des Werkstückträgers (MaM)**

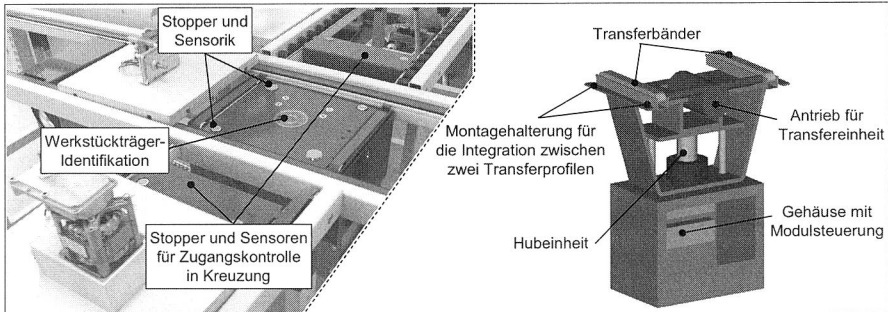
Über die manuelle Hubquereinheit (Manual Modul – MaM) soll der Quertransfer des Werkstückträgers durch den Mitarbeiter am nebenschlüssigen Arbeitsplatz direkt auf die Transferstrecken durchgeführt werden. Das MaM besteht primär aus zwei Röllchenleisten, welche auf einen manuell betätigten Hubzylinder montiert sind. Die komplette Einheit ist so ausgeführt, dass sie an nahezu jeder beliebigen Stelle durch reines Einhängen und Fixieren zwischen den Trägerprofilen eines Transfermoduls angebracht werden kann. Dies erlaubt eine schnelle und einfache Anbindung zusätzlicher Montagestationen und stellt somit eine gute Möglichkeit zur schnellen und günstigen Stückzahlanpassung in mitarbeiterbasierten Montagesystemen dar. Durch die Integration eines Stoppers wird verhindert, dass die vom Werker übergebene Palette über das Transfermodul hinausrollt. Bei Erreichen der Endlage wird der Werkstückträger mitsamt der ihn tragenden Röllchenbahn abgesenkt und so auf der Transportebene des Transfermoduls abgelegt. Der anschließende Abtransport geschieht entweder durch die Neigung der Röllchenbahn oder durch das angetriebene Doppelgurtband.

### **Automatisiert durchgeführte Übergabe durch intelligente Hubquereinheit (AuM)**

Wie erwähnt, sind sowohl die antriebslosen als auch die angetriebenen Transferkomponenten mit keinerlei Intelligenz ausgestattet. Um dennoch in höheren Ausbaustufen hochflexible und komplexe Transfersysteme realisieren zu können, kommen intelligente Hubquereinheiten (Automatic Module – AuM) zum Einsatz, welche in Kombination mit den einfachen linearen Fördermitteln das volle Funktionsspektrum moderner Materialflusssysteme abdecken. Generell ist jedes AuM steuerungstechnisch vollkommen autark gegenüber seinen Nachbarmodulen. Hierfür ist jedes Modul mit einem Industrie-PC, digitalen Ein- und Ausgängen sowie der entsprechenden Peripherie ausgestattet, welche die Ausführung sämtlicher Funktionen der Einheit übernehmen. Zur Bewältigung komplexer Transferaufgaben mittels des in Kapitel 4.6.2 vorgestellten Steuerungskonzepts sind die AuMs mit einer Leseinheit für ein Identifikationssystem ausgestattet, womit die Werkstückträger, das darauf enthaltene Produkt, dessen Montagestatus und das nächste Ziel identifiziert werden können. Die für die Steuerung, die Sensoren und die Aktuatoren des gesamten Materialflusssystems benötigte Pneumatik von 6 bar und elektrische Energie von 5 V, 12 V und 230 V wird ebenfalls zentral im AuM bereitgestellt.

Die Aufgabe des AuM ist es, die Bewegungsrichtung eines Werkstückträgers entsprechend einem vorgegebenen Fahrplan zu verändern. Für diesen Zweck ist jedes AuM

mit einem Doppelgurtband ausgestattet, welches auf einen pneumatisch betätigten Hubzylinder montiert ist. Um richtungsändernd wirken zu können, kann das AuM an einer beliebigen Stelle zwischen den Längsprofilen einer nichtintelligenten Transferkomponente angebracht werden. Dazu wird die komplette Moduleinheit lediglich zwischen den beiden Trägerprofilen des übergeordneten Transfermoduls eingehängt und befestigt. Die Übergabe bzw. Übernahme von Werkstückträgern erfolgt nach dem bekannten Prinzip einer konventionellen Hubstation (s. Bild 89).



*Bild 89: Intelligente, automatische Hubquereinheit mit Werkstücktransfer, Hubzylinder und PC-basierter Modulsteuerung (Prinzipdarstellung)*

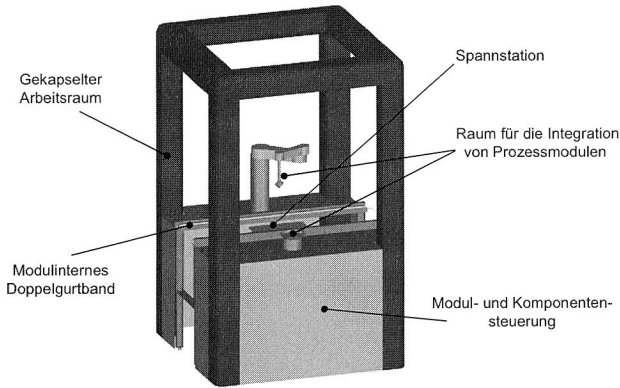
Zur Ausführung des Transferprozesses sind Sensoren und Vereinzeler nötig, die jedoch in einer Komponente zusammengefasst ohne Umstände an die Steuerung beziehungsweise Ventilinsel des AuMs anzuschließen sind. Diese Sensor-Stopper-Kombination wird am Profil des Transferelements so angebracht, dass ankommende Werkstückträger erkannt und dem AuM einzeln zugeführt werden können. Die Steuerung aller AuMs erfolgt über ein standardisiertes Programm, wodurch die schnelle Integration von intelligenten Hubquereinheiten an beliebigen Punkten innerhalb der Montageanlage ohne aufwendige Programmierarbeiten mittels Plug&Produce möglich ist.

### **Automatisches Montagemodul**

Bei den automatischen Montagestationen handelt es sich um produktneutrale Module, deren Anpassung an die jeweilige Montageaufgabe durch die Integration von Bearbeitungsgeräten mit einem hohen Maß an interner Flexibilität, wie beispielsweise Industrierobotern oder kartesischen Systemen, erfolgt. Die Module besitzen einen gekapselten Arbeitsraum. Die Montage oder Prüfung der Produkte erfolgt stets auf Werkstückträgern, welche vom Anlagentransfersystem an der Modulgrenze über eine standardisierte Schnittstelle auf den modulinternen Transfer übertragen werden. Die Steuerung der modulinternen Transferschritte erfolgt entweder über die identischen PC-basierten Steuerungen aus dem AuM oder alternativ über eine konventionelle SPS, welche mit einem Identifikationssystem und einer Netzwerkverbindung ausgestattet ist.

Der schnelle Austausch von Bearbeitungsprozessen wird durch den kompletten Wechsel des gesamten Prozessmoduls ermöglicht, wobei auf einer massiven, zentrierten Metallplatte neben z.B. dem Montage-Roboter auch dessen Steuerung untergebracht ist. Für den Betrieb der Prozesse stehen innerhalb des Moduls elektrische Anschlüsse mit 230 V Wechselspannung, ein 400 V Dreiphasendrehstromanschluss sowie ein 6 bar

Druckluftadapter zur Verfügung. Für die Kommunikation zwischen Modul- und Prozesssteuerung sind digitale Ein- und Ausgänge bereitgestellt.



*Bild 90: Automatikmodul für die Durchführung automatisierter Montagevorgänge*

Um die schnelle und einfache Integration eines Automatikmoduls in eine bestehende Montageanlage zu ermöglichen, ist es notwendig, sich bei der Dimensionierung auf die Abmessungen von Arbeitsplatz- und Transfermodulen zu beziehen. Wie bereits erläutert, sollte auch die Substitution eines Transferelements durch ein Automatikmodul ohne aufwändige Umbaumaßnahmen möglich sein. Die Breite eines automatisierbaren Bearbeitungsmoduls entspricht deshalb den Abmessungen eines Standardarbeitsplatzes.

#### **4.6.2 Beschreibung des Steuerungskonzeptes und der Informationsverarbeitung**

Im Hinblick auf die Mehrfachverwendung aller Anlagenkomponenten, der Forderung nach einer einfachen Anpassung des Systems während des laufenden Betriebs sowie nach kurzen Auf- und Umbauzeiten muss ein Steuerungskonzept verfügbar sein, welches die Flexibilität der mechanischen Komponenten unterstützt [88, 165]. Die schnelle Adaption der Gesamtanlage an variierende Montagebedingungen setzt eine effiziente Verknüpfung der dezentral verteilten Intelligenzen voraus [93, 169]. Die wesentliche Aufgabe des Steuerungskonzeptes besteht demnach darin, die autarken Hubquereinheiten (AuM) des MAMOS-Montagesystems zu einer umfassenden Anlagenintelligenz zu vereinen. Neben der Beschreibung des AuMs in Bild 89 wird im Weiteren der Aufbau des realisierten Steuerungskonzeptes und die Informationsverarbeitung im Detail beschrieben<sup>3</sup>.

Das AuM ist das einzige Modul, welches Steuerungsintelligenz und -kompetenz besitzt. Wenn es notwendig ist auch den Arbeitsplatz mit einer Steuerung zu versehen, so kann der steuerungstechnische Teil des AuM auch unterhalb eines Arbeitstisches angebracht werden und dann für Aufgaben der Prozesssteuerung oder Visualisierung von Arbeitsanweisungen verwendet werden.

<sup>3</sup> Für die Mitwirkung bei der Entwicklung der Steuerung danke ich meinen Kollegen Dipl.-Inf. Matthias Weber, Dipl.-Inf. Wolfgang Wolf sowie den Studenten Andreas Götze, Gerald Meckl und Felix Mühlbauer herzlich

Wie das gesamte MAMOS-Montagesystem ist auch die Steuereinheit aus funktionsorientierten Modulen aufgebaut und besitzt die äußerst kompakten Abmessungen von 339 mm auf 259 mm als Grundfläche und eine Gesamthöhe von 310 mm. Die Steuereinheit wird lediglich zwischen die Transferprofile eingehängt und fixiert. Damit ist eine beliebige Positionierung und somit eine hochflexible Gestaltung des Materialflusses möglich.

Auf der Oberseite des Deckels befinden sich die in beide Richtungen ansteuerbaren Doppelgurte für den reibschlüssigen Werkstückträgertransfer. Zwei Stopper sowie zwei induktive Näherungssensoren sind für das Fixieren der Palette und die Anwesenheitskontrolle integriert. Schließlich ist für das Auslesen der im Transponder, welcher unterhalb des Werkstückträgers fixiert ist, befindlichen Daten ein Identifikationssystem enthalten. Der Deckel sowie die gesamte Einheit sind rotationssymmetrisch konstruiert, womit ein beliebiges Ein- und Ausschleusen der Paletten gewährt ist.

In der Mitte befindet sich die Steuerungswanne. Darin integriert sind der Motor für die Gurte, die Auswerteelektronik des Identifikationssystems, der Hubzylinder inkl. Positions- und Endlagensensoren sowie die Befestigungselemente aller benötigten Komponenten. Weiterhin wird ein geordneter und beschädigungsfreier Verlauf der elektrischen und pneumatischen Verbindungen in der Steuerungswanne sichergestellt.

Das Herzstück befindet sich im unteren Teil der Kreuzung. Die Zellen- bzw. Materialflusssteuerung wird über einen Industrie-PC (Nova Single-Board, VIA Eden 667Mhz-Prozessor) gesteuert. Eine integrierte Platine mit 72 digitalen Ein-/Ausgängen, welche über die parallele Schnittstelle des PCs angesteuert wird verbindet sämtliche Sensoren und Aktuatoren in der Hubquereinheit bzw. in der Peripherie mit dem Steuerungsrechner. Zusätzlich ist eine achtfach Ventillinse für die Hub- und Stopperzylinder sowie ein elektrisches Netzteil mit 5 V, 12 V und 230 V Ausgangsspannung zum Abschluss aller Steuerungskomponenten beinhaltet. Darüber erfolgt die Versorgung aller Komponenten, egal ob sich diese direkt in der Hubquereinheit befinden oder elektrisch, pneumatisch und steuerungstechnisch mit der Einheit verbunden sind.

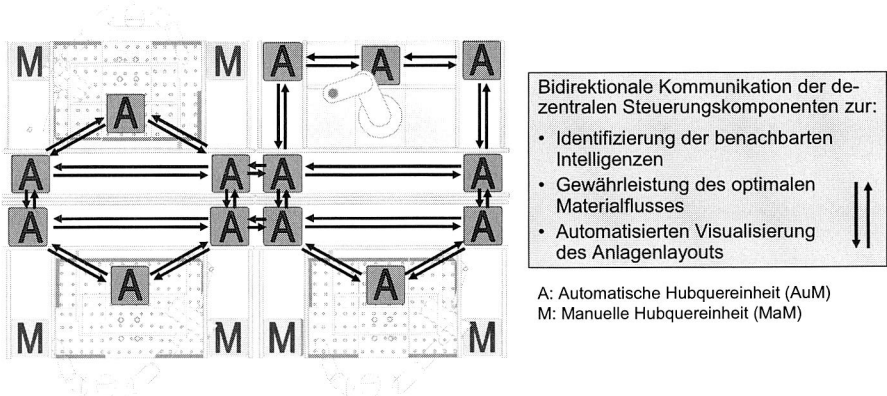


Bild 91: Nachbarschaftserkennung und Visualisierung des Anlagenlayouts durch Kommunikation zwischen den dezentralen Steuerungskomponenten



Die externen Schnittstellen zur Peripherie sind nach den vier Himmelsrichtungen unterteilt. Dabei existieren datentechnische Anschlüsse für einen Vorvereinzeln, für einen Staumelder, der prüft, ob die Kreuzung frei und somit passierbar ist sowie für die Kommunikation mit einer weiteren Hubquereinheit. Dabei wurde eine Nachbarschaftserkennung implementiert (s. Bild 91), durch die sich benachbarte Steuerungseinheiten erkennen und somit kooperieren können. Zusätzlich sind pro Richtung zwei pneumatische Schnellkupplungen für den Stopper des Vorvereinzelners vorhanden. Schließlich ist jede Hubquereinheit mit zwei Ethernet-Anschlüssen für den Datenaustausch mit dem Fabriknetzwerk versehen (s. Bild 92).

Bei der Implementierung des Steuerungsprogramms wurde bewusst auf die Verwendung konventioneller speicherprogrammierbarer Steuerungen und die dazugehörigen gängigen SPS-Programme verzichtet. Stattdessen ist die Steuerungsarchitektur aus dezentralen, autarken Rechnern aufgebaut. Als Vorteile der PC-basierten Lösung sind z.B. die Verwendung von Hochsprachen zur Programmierung, die Kommunikationsfähigkeit über Netzwerkarchitekturen, die Umsetzung ansprechender und funktionaler Visualisierung und die offene Systemarchitektur zu nennen. Dadurch konnte der modulare Gedanke von der Hardware bis in die Software und Programmierung durchgängig abgebildet werden. Sogar eine Änderung der Systemkonfiguration ist während des laufenden Betriebes realisiert worden. Aufgrund dieser Hot-Plug&Produce-Fähigkeit der Anlagensteuerung können Kreuzungen oder Arbeitsstationen ohne An- und Abmeldevorgänge einfach verändert oder umgebaut werden. Die Steuerung erkennt dies und erzeugt sich automatisch die neue Systemkonfiguration.

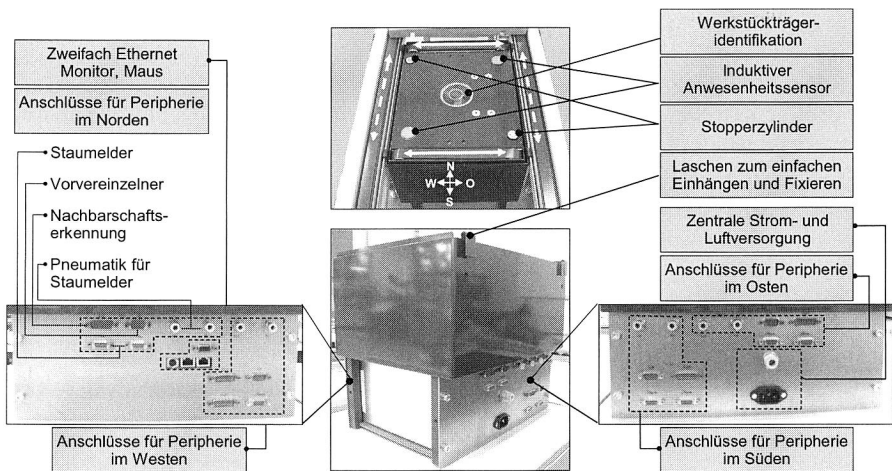


Bild 92: Elektrische, pneumatische und datentechnische Schnittstellen an der intelligenten Hubquereinheit als dezentrale Montagesystemsteuerung

Ermöglicht wurde dieser erweiterte Funktionsumfang durch den Einsatz von Linux als Betriebssystem und der Programmiersprache Eifel zur Implementierung der Steuerbefehle. Eifel eignet sich aufgrund der streng typisierten, objektorientierten Programmiersprache besonders für die modulare Steuerungsarchitektur. Die gesamte Steuerung ist



dabei als Zustandsmaschine abgebildet worden. Das bedeutet, dass nicht wie bei einem SPS-Programm alle Sensorsignale zyklisch abgefragt und aufgrund von notwendigen Randbedingungen die Eingangssignale auf Ausgangssignale abgebildet werden. Stattdessen funktioniert die Entscheidungsfindung über die sog. Publisher-Subscribe-Methode. Hierbei melden sich die teilnehmenden Peripheriekomponenten bei Bedarf und Notwendigkeit an der dezentralen Steuerung an und reagieren entsprechend auf die vorhandenen Signalzustände. Ansonsten werden die Komponenten bzw. deren Sensorik und Aktuatorik wieder abgemeldet, wodurch deren Signalzustände nicht mehr im Steuerungsprogramm berücksichtigt werden. Dies reduziert den Programmieraufwand und das Beachten von Zustandskonstellationen.

Ein weiterer Vorteil des realisierten Steuerungskonzeptes liegt in der automatisierten Visualisierung des Anlagenlayouts und der autarken Erzeugung optimaler Fahrpläne für die Werkstückträger. Dazu ist das Netzwerk aus Hubquereinheiten über Ethernet mit einem Simulator verbunden. Dieser erkennt die betriebsbereiten Kreuzungen und stellt das Strukturbild, bestehend aus Materialfluss und Arbeitsstationen, zur Laufzeit typisiert dar. Beim Hinzufügen, Entfernen oder beim Wechseln einer Komponente wird das Layout sofort und ohne Bedieneringriff neu erzeugt. Weiterhin ist der Simulator dafür verantwortlich, die optimale Route für den Werkstückträger zu ermitteln. Dazu werden über einen zentralen Routenplaner sog. Routenlisten erstellt und auf den Kreuzungspunkten hinterlegt. Diese dienen als Grundlage für den Materialfluss.

Erreicht ein Werkstückträger eine Kreuzung, wird der Transponder ausgelesen. Darauf enthalten sind die Werkstückträgernummer, die Produkt- und Variantenbezeichnung, der Produktionsfortschrittszähler sowie eine IO/NIO-Kennung, die an den Arbeitsstationen geschrieben werden. Basierend auf diesen Informationen und den Routenlisten wird dann lokal auf der Kreuzung und ohne zentrale Steuerungsinstanz entschieden, in welche Richtung der Werkstückträger ausgeschleust werden muss.

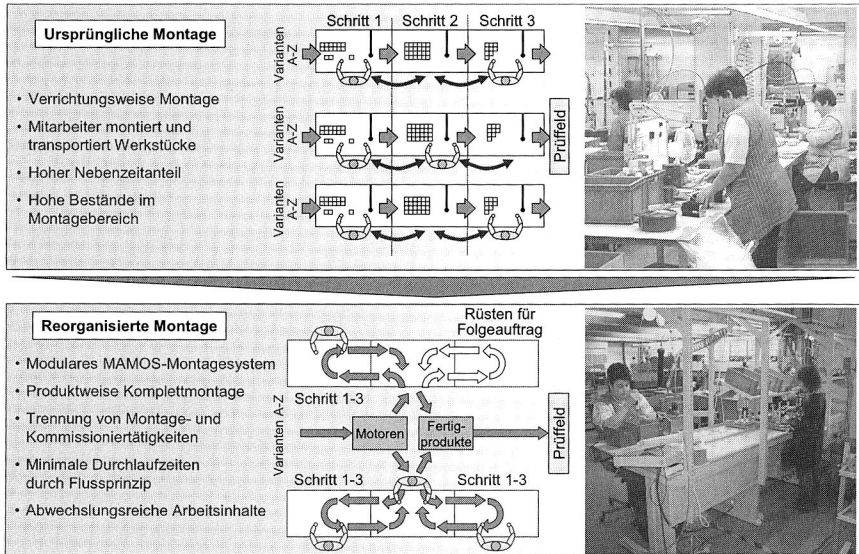
Zusammenfassend kann also festgehalten werden, dass durch dieses Steuerungskonzept ein einfacher und komfortabler Steuerungsablauf erzeugt wurde, der neben dem modularen Grundgedanken und der Plug&Produce-Fähigkeit vor allem den Vorteil der schnellen Visualisierung der Anlagenstruktur beinhaltet.

#### **4.6.3 Umsetzungsstrategien und Erfolgsmessung**

Erste Untersuchungen an einer realisierten Montageinsel aus Komponenten des MAMOS-Montagesystems sowie der angewendeten Strategie der stufenweisen Anpassung der Ausbringung an den Bedarf zeigten eine deutliche Steigerung der Montageleistung trotz konstant gebliebener Mitarbeiterzahl. Es ergaben sich signifikante Verbesserungen bei der Produktqualität, da die Montageorganisation in Form einer Komplettmontage eine mitarbeitergenaue Zuordnung von Qualitätsmängeln zuließ.

Zusätzlich konnten durch die Unabhängigkeit der Montageplätze die Unaufmerksamkeit der Mitarbeiter und damit bedingte Montagefehler bzw. Fehlgriffe merklich verringert werden. Durch die Umsetzung der Maßnahmen mit dem beschriebenen MAMOS-Montagesystem konnte gegenüber der Ausgangssituation eine 30%ige Steigerung der mitarbeiterbezogenen Montageleistung erzielt werden. Der Aufwand für diese Kapazitätssteigerung belief sich auf ca. 20.000 € für die Anschaffung der modularen Montageinsel sowie auf etwa zehn Mensch-Arbeitstage für deren Installation und Inbetriebnahme.

Ferner entstanden Kosten von ca. 25.000 € für die Herstellung der flexiblen Werkstückträger und der notwendigen Vorrichtungen [153].



*Bild 93: Reorganisation mit MAMOS-Montagesystem, Kommissionierplatz und zwei Montagestationen zur Erhöhung der Effizienz und Flexibilität*

In Kombination mit der räumlichen Neuordnung einzelner Produktionsbereiche und der Realisierung verbrauchsorientierter Logistikstrukturen wurden deutliche Verbesserungen durch verringerte Lagerbestände und eine höhere Flexibilität in der Montage erzielt. Darüber hinaus hatte die Einführung des MAMOS-Montagesystems überaus positive Auswirkungen auf die Durchlaufzeit, die Produktqualität und die Ergonomie [65].

## 4.7 Zusammenfassung

Ziel des vorliegenden Schwerpunktes waren die Konzeption und Umsetzung eines modularen, stückzahlflexiblen Montagesystems auf Mitarbeiterbasis für kleine und mittelständische Unternehmen. Gerade in Unternehmen dieser Größe und Struktur wird der Bedarf nach einer marktorientierten Produktion offensichtlich, will man im internationalen Wettbewerb bestehen und den Montagestandort Deutschland sichern. Konventionelle Montagesysteme mit einer auf die maximale Stückzahl ausgelegten Kapazität erlauben es jedoch nur in begrenztem Umfang, auf Veränderungen des Marktes zu reagieren.

Um ein Anforderungsprofil für das zu entwerfende Montagesystem zu erstellen, wurden zunächst die Defizite konventioneller Systemstrukturen im dynamischen Umfeld sowie die Anforderungen an die technische Umsetzung und die wirtschaftliche Auslegung hybrider, modularer Montagesysteme erarbeitet. Anschließend wurden anhand umfangreicher Marktstudien sowie Befragungen von Systemanbietern und -anwendern die derzeit

am Markt verfügbaren modularen Montagesysteme analysiert, klassifiziert und hinsichtlich der gestellten Anforderungen wie Mengenflexibilität und KMU-Eignung bewertet.

Da eine durchgängige Lösung für ein modulares, stückzahlflexibles, mitarbeiterorientiertes Montagesystem in der geforderten Konstellation bisher nicht existierte, musste ein eigenes stufenweise aus- und rückbaufähiges Montagesystem realisiert werden. Die gezielte Anpassung der benötigten Kapazität in Kombination mit einer minimierten bzw. angepassten Investition bildete den Schwerpunkt. Mit dem dargelegten Konzept konnte gezeigt werden, dass die hohe Dynamik der Märkte und Kundenanforderungen konkurrenzfähig beherrscht werden können. Die durchgängige Verwendung aller über die Ausbaustufen sukzessive angeschafften Komponenten, eine schnelle Inbetriebnahme, eine einfache Adaption des Systems an sich verändernde Randbedingungen, die Vermeidung von Over-Engineering durch einen durchdachten modularen Aufbau in Bezug auf Abmessungen und Funktion sowie ein hohes Wieder- und Weiterverwendungspotenzial bilden den Schlüssel zum Erfolg.

## **5 Multimediale Mitarbeiterinformationssysteme zur Effizienzsteigerung in der Montage**

Die Experten sind sich grundsätzlich einig, dass Deutschland als Industrie- und Produktionsstandort nur dann wettbewerbsfähig bleiben kann, wenn verstärkt auf die Kreativität, Flexibilität und Leistungsbereitschaft qualifizierter und motivierter Mitarbeiter als Träger für Innovationen gesetzt wird. Zur vollständigen Nutzung der vorhandenen Potenziale ist jedoch eine geeignete Unterstützungsumgebung erforderlich, um den Einfluss der Mitarbeiter auf das Arbeitsergebnis zu optimieren.

Das durchgängige Bereitstellen und Darstellen von Informationen oder Daten in digitaler Form kann einen entscheidenden Beitrag leisten, die heute geforderte Schnelligkeit und notwendige Wandlungsfähigkeit bei der Entwicklung und Umsetzung der Produktionstechnik nachhaltig zu erreichen [140, 147]. Im Verbund aus effizienter, frühzeitiger Systemplanung, der Verwendung modularer, mitarbeiterorientierter Montagesysteme und dem Einsatz multimedialer Informationssysteme zur Unterstützung der Mitarbeiter am Arbeitsplatz können so die Synergien genutzt werden, die auch den Ansprüchen von KMU hinsichtlich einer variantenreichen Montage im turbulenten Markt gerecht werden.

Im Weiteren wird der Weg zur Spezifizierung und Umsetzung eines dazu geeigneten multimedialen Informationssystems für Kleinserienarbeitsplätze beschrieben. Dabei wurden die Anforderungen und Wünsche an ein solches System in enger Zusammenarbeit mit innovativen, mittelständischen Unternehmen erarbeitet. Die Umsetzung wird schließlich anhand einer wirtschaftlichen Beispielbetrachtung dargestellt.

### **5.1 Motivation für den Einsatz multimedialer Informationssysteme**

Die wirtschaftlichen und sozialen Veränderungen unserer Zeit machen das Wissen zur Beherrschung dieser Veränderungen und komplexen Zusammenhängen zu einem immer bedeutenderen Faktor für die Unternehmen. Dieses auf den Zweck des Unternehmens bezogene Wissen tritt damit oftmals nicht nur neben die klassischen Erfolgsfaktoren, sondern wird zur Voraussetzung eines optimalen und erfolgreichen Einsatzes der übrigen Größen. Da zweckbezogenes Wissen gleichbedeutend mit Information ist [7], gilt diese These analog für die Notwendigkeit einer umfassenden Bereitstellung von Informationen in der Montage.

#### **5.1.1 Grundlegender Bedarf an umfassender Informationsbereitstellung**

Die Reorganisation der Montage vieler Unternehmen hat häufig das Ziel, dezentrale, prozessorientierte und teilautonome Verantwortungsbereiche zu schaffen. Der Mitarbeiter der operativen Ebene steht in dezentralen Organisationsstrukturen jedoch neuen Aufgaben gegenüber. Neben dem Ausführen der direkten produktiven Tätigkeiten muss er zusätzlich die Disposition und Koordination von Aufgaben und Aufträgen über Bereichs- und Zuständigkeitsgrenzen hinweg, sowie die kontinuierliche Weiterentwicklung und Verbesserung der eigenen Arbeitsabläufe, Ergebnisse und der Produktivität übernehmen [158].

Die Partizipation des Mitarbeiters, seine Entscheidungsteilnahme und die Einbindung in unternehmerisches Denken werden deshalb zunehmend diskutiert. Für die Sicherung

der Wirtschaftlichkeit und Wettbewerbsfähigkeit durch die Integration der Mitarbeiter in den Montageprozess müssen daher eine höhere Prozessverantwortung, die Einbindung in den Planungsprozess, benutzerfreundliche Mensch-Technik-Schnittstellen, Maßnahmen zur Fehlervermeidung, Qualitätssicherung und kontinuierlichen Lernförderlichkeit sowie umfassende Information- und Kommunikation berücksichtigt werden.

Die Fülle der Informationsmöglichkeiten ist für kleine und mittelständische Unternehmen jedoch zunehmend verwirrend und kaum noch zu überschauen [17]. Andererseits bietet gerade die Entwicklung der Informationstechnik hin zu preisgünstigen, individuellen Anlagen auch KMU die Möglichkeiten, Informationen in einem Umfang in den Entscheidungsprozeß einzubeziehen, wie es früher nicht möglich war.

Die Einzel- und Kleinserienfertigung ist jedoch durch eine Vielfalt an schwer formalisierbaren Einzelaufgaben charakterisiert. Diese sind meist von höherer Komplexität als Routineaufgaben und damit nur schwer plan- und strukturierbar. Der Wissens- und Informationsbedarf ist dadurch immens, allerdings auch unbestimmt [13].

Dabei ist zu beachten, dass Wissen zu den sog. derivativen Unternehmenswerten gezählt werden kann. Obwohl Wissen, speziell im Bereich der Produktion und Montage, nur schwer monetär zu bewerten ist, beeinflusst es den Wert eines Unternehmens. So kann es z.B. durch Wissens- und Informationsdefizite zu einer verspäteten Auftragsbearbeitung oder -fertigstellung, zu Stillständen in der Montage oder zu minderer Qualität kommen [182], was direkt wirtschaftliche Einbußen für das Unternehmen zur Folge hat. Die Investition in das Wissen und in die Kompetenz der Mitarbeiter erhöht somit direkt die Wirtschaftlichkeit und den Handlungsspielraum des Unternehmens. Deshalb gilt es, die Investition in das Wissen effizient zu gestalten [139].

Das zur Förderung von montagebezogenem Wissen einzusetzende Informationssystem soll somit u.a. menschliche Fehler reduzieren. Nach [117] lassen sich Fehler aus kognitionspsychologischer Sicht in Ausführungs-, Gedächtnis- und Denkfehler einteilen. Ausführungsfehler treten überwiegend aufgrund von Nachlässigkeit, Konzentrationsschwäche oder Überlastung auf. Sie können ebenso wie Gedächtnisfehler, bei denen es sich primär um das Auslassen von Handlungsschritten handelt, durch eine geeignete Gestaltung des Arbeitsprozesses reduziert werden. Hingegen sind Denkfehler weit schwieriger zu vermeiden. Sie treten vor allem bei kognitiv anspruchsvollen Tätigkeiten auf, welche das Erinnern an vorgegebene Abläufe oder die Lösung bislang unbekannter Probleme fordern. Die Beherrschung einer hohen Variantenzahl, komplexe Aufgaben in Montage und Qualitätsprüfung sowie Planungstätigkeiten im Rahmen von teilautonomen Arbeitsgruppen sind Beispiele derartiger Tätigkeiten. Die Ursache für Fehler in diesen Bereichen liegt oft in einer unzureichenden Qualifikation des Mitarbeiters sowie in einer mangelnden Verfügbarkeit, Aktualität oder Vollständigkeit der Informationen [81]. Genau dort setzt das speziell für KMU entwickelte Informationssystem an, welches in dieser Arbeit vorgestellt wird.

Die Analyse von typischen Fehlern hat dabei drei charakteristische Ausprägungen aufgezeigt [118]. So werden selten auftretende, variantenspezifische Arbeitsgänge fünf- bis sechsmal häufiger mangelhaft ausgeführt als Standardarbeitsgänge. Wiederholfehler treten oftmals nicht verteilt über längere Zeiträume auf, sondern zeitlich konzentriert an einem oder zwei aufeinander folgenden Tagen und während derselben Schicht. Meist

verursachen unerfahrene Mitarbeiter dabei die auftretenden Störungen. Schließlich wird die überwiegende Anzahl der Fehler nicht bei der Selbstprüfung in der verursachenden Gruppe entdeckt.

Durch das Bereitstellen von Arbeitsanweisungen und Arbeitsabläufen, die Vermittlung von Prozesskenntnissen sowie die Dokumentation von Erfahrungswissen trägt das im Folgenden beschriebene Informationssystem zur Reduzierung der qualifikations- und informationsbedingten Fehler, zur Verbesserung der Prozessfähigkeit und somit zur Effizienzsteigerung in der Montage durch die Selbstorganisation der Mitarbeiter bei.

### 5.1.2 Notwendigkeit für Informationssysteme aus Sicht der Montage

Die Montageeffizienz muss durch neue, innovative Lösungen im Bereich der Montagetechnik (vgl. Kapitel 4), der Montagelogistik und vor allem durch Steigerung der Mitarbeiterkompetenz am Arbeitsplatz durch die Verbesserung des Informationsflusses erreicht werden. Verstärkt wird die Notwendigkeit der Sicherung und Steigerung von Know-how und Qualifizierung der Mitarbeiter durch die aktuelle Arbeitsmarktlage im Bereich der Montage. Es ist ein zunehmender Mangel an Facharbeitern zu erkennen, was zwangsläufig einen Wandel hin zu weniger qualifizierten Mitarbeitern bedeutet. Umso wichtiger ist es, den Wissensstand und das Erfahrungspotenzial von sachkundigen Mitarbeitern zu sichern. Es ist stets notwendig, Know-how und Wissen kontinuierlich und aktuell im Unternehmen zur Verfügung zu haben, unabhängig von Personen, Krankenstand, ausscheidendem Personal etc.. Die Unterstützung der Mitarbeiter durch neue Möglichkeiten der Informationsaufbereitung sowie die Optimierung der Organisationsabläufe und der Auftragsabwicklung durch eine Verbesserung der Informationsbereitstellung bilden dabei einen Lösungsansatz (s. Bild 94). Verschärft wird die Situation durch die zunehmende Forderung nach Just-in-Time- oder Just-in-Sequence-Lieferungen. Die zeitnahe Montage der Endprodukte und punktgenaue Bereitstellung der Fertigwaren beim Kunden wird somit vorausgesetzt, nicht aber die entsprechende parallele Versorgung der Werker mit den notwendigen Informationen [183].

#### **Situation in der Montage:**

- **Facharbeitermangel**
- **Wandel** am Arbeitsmarkt hin zu **weniger qualifizierten Mitarbeitern**
- **Erhalt des Wissensstandes** für das Unternehmen zwingend notwendig

#### **Lösungsansatz:**

- **Unterstützung der Mitarbeiter** durch neue Möglichkeiten der Informationsaufbereitung
- **Unterstützung der Organisationsabläufe und Auftragsabwicklung** durch Optimierung der Informationsbereitstellung

#### **Ziel:**

**Multimediale Informationssysteme** für manuelle Arbeitsplätze zur **Steigerung der Effizienz und Selbstorganisation** in der Montage



*Bild 94: Die Sicherung von Know-how und Qualifizierung erfordert den Einsatz von Informationssystemen in der Montage*

Gleichzeitig lässt sich durch den Einsatz neuer Informationstechnologien auch die Problematik der Ersatzteillieferung lösen. Kunden fordern Ersatzteile und Austauschkomponenten weit über den Produktlebenszyklus hinaus beziehen zu können. Dazu muss das benötigte Know-how für alle, auch für aus der Produktion genommene Produkte, jederzeit verfügbar sein.

In vielen Unternehmen besteht das Informationswesen in der Produktion aus einer Fülle von einzelnen Systemen, welche mehr oder weniger funktionsfähig und wirtschaftlich sind. Häufig existieren sog. Begleitkarten, welche jedem zu fertigenden Auftrag beiliegen und nach jedem erfolgten Bearbeitungsschritt entsprechend gekennzeichnet werden. Diese Begleitdokumente enthalten alle Daten über das herzustellende Auftragslos.

Üblicherweise liegen an den einzelnen Arbeitsplätzen ergänzend Montageanleitungen, Stücklisten, Darstellungen von Qualitätsmerkmalen, Prüfanweisungen sowie Rückmeldedaten wie die Meldung von Ausschussmengen und sonstige Anweisungen in Papierform vor. Der Informationstransport innerhalb der Montage bzw. innerhalb der Wertschöpfungskette erfolgt häufig noch durch den Transport von schriftlichen Unterlagen.

Der Werker hat so mit einer Vielzahl von Unterlagen umzugehen. Das ist wenig praktikabel und führt zu Problemen durch Verwechslungen, Verlust, Verschmutzung etc.. Das Hauptproblem bei dieser Art der Informationsaufbereitung sind jedoch die nachträglichen Änderungen, Aktualisierungen bzw. Pflege der Daten. Durch die handschriftlich vermerkten Aufzeichnungen besteht zwangsläufig die Gefahr der Dateninkonsistenz im Unternehmen. Eine Interaktion und unternehmensweite Aktualisierung der Daten ist bei dieser Art des Informationsflusses ebenfalls nicht gegeben [87].

Der offensichtliche Vorteil der beleggebundenen Informationsweitergabe ist jedoch, dass schriftliche Unterlagen allerorts mit hingenommen werden kann und auf den ersten Blick preiswerter als die elektronische Variante erscheint. Dies kann aber hier verneint werden (vgl. Kapitel 5.6). Es ist folglich in jedem Unternehmen wünschenswert, nicht nur eine papierarme Fertigung, sondern auch einen höheren Grad an Selbstverwaltung und -organisation der Montagemitarbeiter zu erzielen. Hierdurch kann sowohl eine Kompetenzsteigerung in der Arbeitsgruppe als auch eine Entlastung der operativen Bereiche erreicht werden, wodurch Kosteneinsparungspotenziale entstehen.

Der Einsatz eines entsprechenden Informationssystems empfiehlt sich gerade im Bereich häufig wechselnder Aufgaben, ungeübter Tätigkeiten und hochintegrierter Arbeitsinhalte. Hier kann die Lerngeschwindigkeit der Mitarbeiter durch die Bereitstellung der Informationen in einer geeigneten Form optimiert werden. Dadurch wird ein schneller Anlauf der Produktion ermöglicht, ohne die erforderliche Flexibilität der Werker einzuschränken [48]. Die deutliche Darstellung von komplexen Zusammenhängen in visueller Form erhöht die Aufmerksamkeit, erlaubt ein intensiveres Arbeiten und führt damit auch zu einer kontinuierlichen Verbesserung der Arbeitsleistung. Neben der erwähnten Kostensenkung können eine Qualitätssteigerung, eine Reduktion der Bearbeitungszeiten und Nachbesserungsquoten sowie eine erhöhte Motivation der Mitarbeiter die positiven Konsequenzen sein (s. Bild 95).

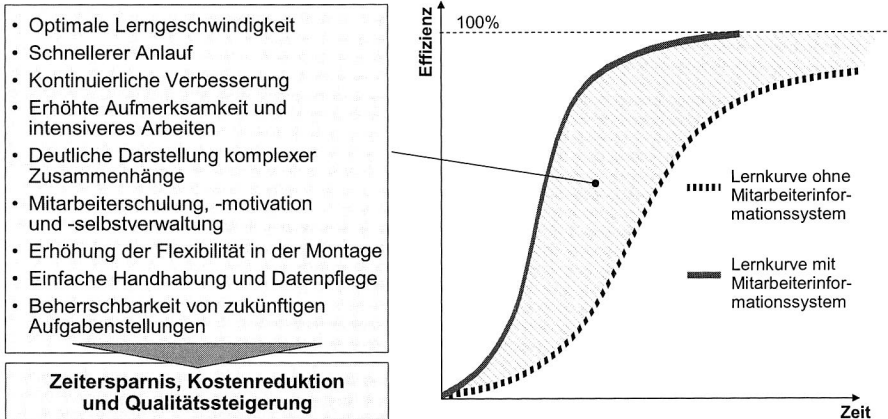


Bild 95: Effizienzsteigerung in der Montage durch den Einsatz eines Mitarbeiterinformationssystems an Kleinserien-Arbeitsplätzen

## 5.2 Anforderungen an Mitarbeiterinformationssysteme in der variantenreichen Montage

Die grundlegende Anforderung an ein Mitarbeiterinformationssystem ist die Möglichkeit, jederzeit die aktuellen und richtigen Daten auf einfachste Weise direkt an allen Arbeitsplätzen gleichzeitig und bedarfsgerecht zur Verfügung zu stellen, ohne die bisherige große Menge an Unterlagen verwenden zu müssen. Dem Montagemitarbeiter soll die Möglichkeit geboten werden, die Arbeit am Arbeitsplatz schneller, einfacher, effektiver und hochwertiger durchführen zu können, wodurch die gewünschte Selbstverwaltung der Montagearbeiter bzw. der Arbeitsgruppen anvisiert wird. Das System sollte jedoch nicht nur für die operative Montage, sondern ebenso für Einsteller und die Instandhaltung durch Visualisierung von Rüst- und Reparaturhinweisen geeignet sein.

Neben der Darstellung von Arbeitsschritten und Prüfplänen müssen deshalb zusätzliche Funktionen eingebracht werden. Diese umfassen z.B. die Auftragsmitverwaltung durch die beteiligten Werker, die Erfassung qualitätsrelevanter Daten über das System, eine Lageranfrage nach vorhandenen Teilen um die Montierbarkeit zu überprüfen sowie eine Einbindung von externen Lieferanten und Bearbeitern.

Das konzipierte Mitarbeiterinformationssystem muss folglich auf einer zentralen Datenbank basieren, deren Inhalte an den Arbeitsplätzen durch kostengünstige Client-Software, ähnlich einem Internet-Browser, dargestellt werden. Somit sind auf Anwenderseite keine umfangreichen Softwarelösungen und folglich keine aufwändige Konfiguration, Installation und geringe Lizenzkosten erforderlich.

Da nicht alle Benutzer Zugriff auf alle Daten bzw. nur einige Nutzer die Rechte zum Ändern und Einpflegen von Daten besitzen, dürfen ist zusätzlich eine Zugriffsbeschränkung, Rechteverwaltung und Identifikation der Mitarbeiter am System vorzusehen.

Zur Realisierung eines ergonomischen Bedienkonzepts werden die maximale Einfachheit der Bedienung und ein minimaler Aufwand bei nötigen Eingaben gefordert. Auf



komplexe Eingaben von Text und Zahlen seitens der Werker soll weitgehend verzichtet werden. Die Eingaben müssen stattdessen über einfache Auswahlbuttons etc. realisiert sein, um die Werker im Fertigungsbereich nicht durch den Umgang mit der Maus oder der Tastatur zu belasten. Dieses Vorgehen senkt die Gefahr von Fehlbedienungen und Störungen. Die gesamte Bedienung ist deshalb durch berührungssensitive Bildschirme, sog. Touchscreens, zu gewährleisten. Im Bereich der Systempflege müssen allerdings weiterhin die klassischen Eingabegeräte zum Einsatz kommen (s. Bild 96).

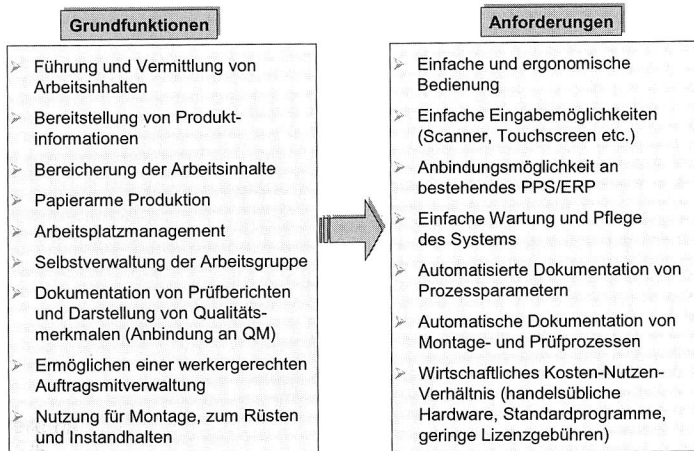


Bild 96: Geforderte Grundfunktionen und abgeleitete Anforderungen an ein Mitarbeiterinformationssystem in der variantenreichen Montage

Da die Notwendigkeit der Dokumentation von sicherheitsrelevanten Teilen in der Produktion stetig zunimmt, müssen das Produkt selbst und seine Anbauteile häufig eindeutig identifizierbar sein. Chargennummern und Prozessparameter gilt es zu erfassen und zuzuordnen. Dazu ist es obligatorisch, die Anbindung von Barcode-Lesern, Transpondern oder ähnlicher Datenträgern zu realisieren und die Dokumentation vor allem automatisiert ablaufen zu lassen [161]. Zur permanenten Prozessoptimierung können die Prozesse und Maschinen damit automatisch, nicht mehr fehlerträchtig per Hand, parametrisiert, die Ist-Parameter z.B. in einer Datenbank direkt und eindeutig dem Produkt zugeordnet sowie Prüflisten automatisiert abgearbeitet werden.

### 5.3 Erstellung und Evaluierung eines Pflichtenhefts für die effiziente Unterstützung der Mitarbeiter

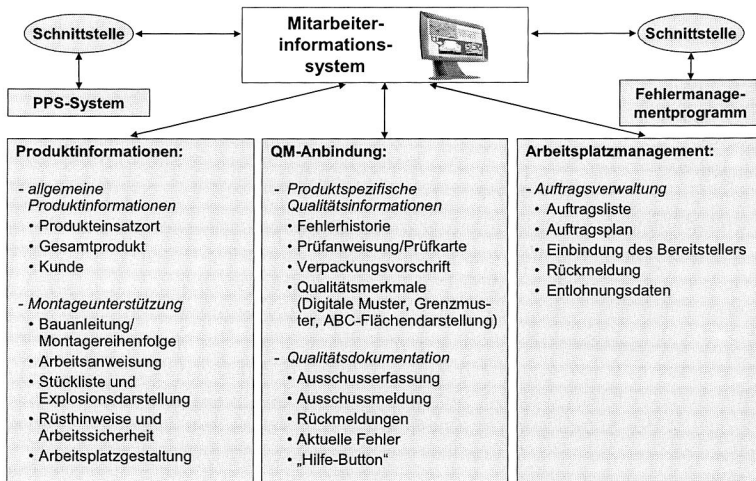
Im Rahmen intensiver Forschungs- und Projektarbeit wurde basierend auf den grundlegenden Funktionsumfängen eines Mitarbeiterinformationssystems das Konzept eines erweiterten Informationssystems entwickelt.

#### 5.3.1 Aufstellen des Anforderungsprofils

Es fanden Analysen und Untersuchungen bei industriellen Verbundpartnern statt, wobei der detaillierte Bedarf eines solchen Systems abgefragt wurde. Dazu wurden einerseits

innerbetriebliche Abläufe der potenziellen Anwenderfirmen analysiert, andererseits die Anforderungen der späteren Nutzer erfasst. Dies geschah u.a. mit Hilfe einer speziell erstellten Demoversion eines Informationssystems, welche dem anvisierten Nutzerkreis zur Verfügung gestellt bzw. vorgeführt wurde. Hierbei wurden vor allem Mitarbeiter aus der Montage, dem Qualitäts- und Auftragsmanagement sowie der Fertigungsplanung zum Eruiere konkreter Anforderungen einbezogen.

Diese Methode der Veranschaulichung von Vorstellungen und Ideen durch den systematischen Einsatz von Prototypen wird auch als Prototyping bezeichnet und ist bereits seit Jahren ein erfolgreicher Ansatz [112]. Der Vorteil liegt in der kontinuierlichen Beteiligung des Nutzers. Es erfolgt eine Qualifizierung der Bediener hinsichtlich Gestaltung, Bewertung und Benutzung des angestrebten Informationssystems. Zusätzlich konnte den Mitarbeitern, vor allem in der Montage, die Angst vor Computerlösungen und Bedienungsschwierigkeiten genommen werden. Das Ziel dieser Aktivitäten war, auf Grundlage der erkannten Notwendigkeit des Einsatzes eines derartigen Systems, die Umsetzung einer IT-Lösung für KMU mit hochwertigen und technisch anspruchsvollen Produkten sowie breitem Variantenspektrum in der manuellen Montage. Neben den genannten Grundanforderungen wurden weitere Randbedingungen und konkrete Inhalte ermittelt (s. Bild 97).



**Bild 97:** Konfiguration und Inhalte des Informationssystems unter Berücksichtigung der administrativen und operativen Ebene

Bezüglich der Funktionalitäten wird in erster Linie der Werker bei dessen Montagetätigkeit einschließlich der notwendigen Nebentätigkeiten durch die erforderlichen Arbeitsanweisungen unterstützt. So wird beispielsweise die Montage von Bauteilen durch eine abrufbare Bauanleitung bzw. Montageanweisung erleichtert. Als weitere Hilfestellung werden Daten wie Stücklisten, Explosionsdarstellung, CAD-Zeichnungen etc. zur Verfügung gestellt. Die Anforderungen an diese Funktionen beinhalten neben der einfachen Pflegemöglichkeit der Daten vor allem die ergonomische, übersichtliche und verständliche Darstellung der Inhalte.

Weitere Aspekte stellten die Führung bei qualitätsrelevanten Tätigkeiten und die Dokumentation von Qualitätsdaten dar. Hierzu ist es notwendig, im System Verpackungsvorschriften, Prüfanweisungen, Fehlerbeschreibungen, Spezifikationen von Gut- bzw. Schlechteilen etc. schnell und problemlos abrufbar zu integrieren. Es gilt, die zur Erfassung und Dokumentation der Produktqualität benötigten Daten entweder automatisiert von den Prüfeinrichtungen abzugreifen oder bei Bedarf manuell über einfach auszufüllende Eingabemasken abzufragen und deren Status an das Qualitätsmanagement weiterzuleiten. Bisherige papiergebundene Formulare, wie Ausschussmeldungen oder Prüfkarten, werden damit durch das IT-System zum Abruf und zur Weiterverarbeitung in einer Datenbank ersetzt.

Weitere ermittelte Hauptaufgaben liegen darin, den Montagebereich bei der Auftragsverwaltung und -disposition zu unterstützen sowie eine Schnittstelle von Auftragsmanagement oder Fertigungsplanung zum Montagearbeiter zu bilden. Der Mitarbeiter hat die Möglichkeit, aus einer nach Prioritäten oder Lieferterminen geordneten Liste, welche nur die für den entsprechenden Arbeitsplatz bzw. Mitarbeiter geeigneten Aufträge enthält, eine Order auszuwählen und diese nach Fertigstellung rückzumelden. Diese Rückmeldung kann, gekoppelt mit der QM-Dokumentation, inklusive Ausschussanteil stattfinden. Auch eine direkte Rückmeldung an ein bestehendes PPS-System mit Erfassung der entlohnungsrelevanten Daten ist denkbar. Aus der Funktionalität der Auftragsmitverwaltung ergibt sich eine notwendige Schnittstelle zum Bereitsteller bzw. zur Lagerverwaltung. In der angezeigten Auftragsliste muss dargestellt werden, ob das erforderliche Material zur Produktmontage vorhanden bzw. komplett bereitgestellt ist. Nur dann kann ein Produkt oder eine Produktcharge zur Montage freigegeben werden. Zur Gewährleistung der beschriebenen Funktionen ist eine Anbindung an unternehmensweit bestehende Softwaresysteme zwingend notwendig.

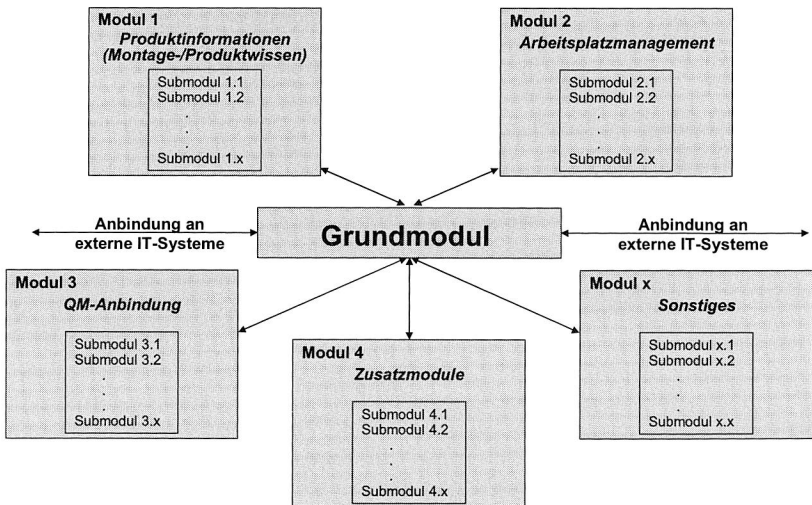
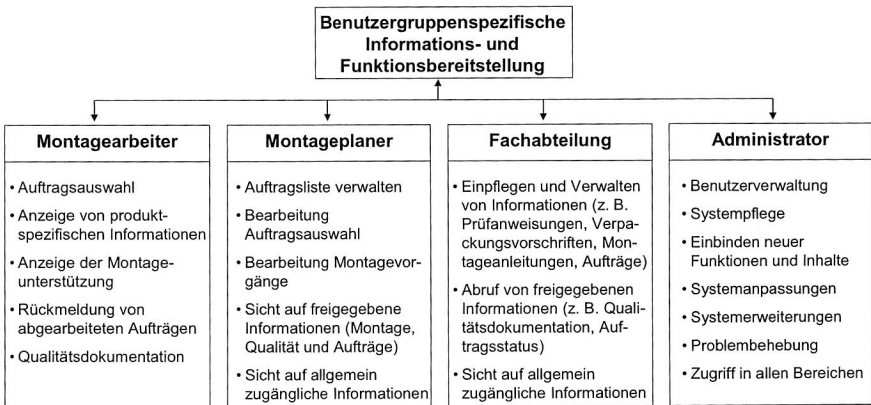


Bild 98: Modulare, offene Systemstruktur zur Anpassung des Funktionsinhaltes an die individuellen Bedürfnisse unterschiedlicher Anwender

Erwartungsgemäß sind die gewünschten Umfänge eines Informationssystems bei vielen der befragten Unternehmen sehr unterschiedlich. Die beinhalteten Funktionen müssen an die jeweiligen Anforderungen anzupassen sein. Zur Lösung dieses Problems muss folglich eine modulare Mehrkomponentenstruktur zugrunde gelegt werden (s. Bild 98). Das Mitarbeiterinformationssystem muss frei konfigurierbar sein und sich aus einem Grundmodul sowie diversen Zusatzmodulen zusammensetzen. Jeder Systemanwender kann somit die für ihn relevante Softwarelösung zusammenstellen. Des Weiteren bedarf es eines offenen Systems, um Anbindungen an bestehende PPS-Systeme, Datenbanken, QM-Tools, Lagerverwaltungsprogramme etc. zu ermöglichen. Die hierzu benötigten Schnittstellen müssen individuell erstellt bzw. adaptiert werden.

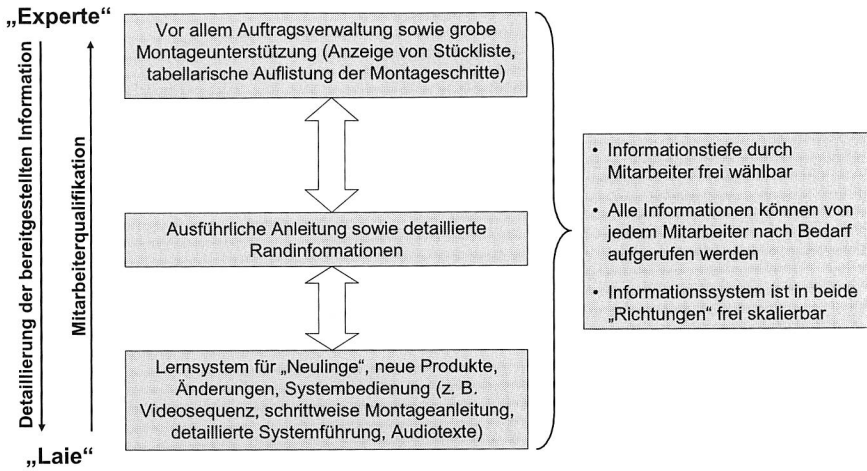
Aufgrund der umfangreichen Inhalte und Funktionsvielfalt des Mitarbeiterinformationssystems ist es zwingend erforderlich, jedem Benutzer lediglich die für ihn relevanten Funktionen und Informationen freizugeben (s. Bild 99). Somit können alle Änderungen und Eingaben eindeutig einem Mitarbeiter zugeordnet werden.



*Bild 99: Relevante Funktionen sowie zur Verfügung stehende Informationen unterteilt nach Kompetenzen und Zugriffsrechten der Mitarbeiter*

In der Bauanleitung sind Änderungen klar hervorzuheben und mit einem Zeitstempel zu versehen. Dadurch ist für den Werker ersichtlich, welcher Montageschritt sich geändert hat. Bei sehr komplexen Montagevorgängen oder beim Neuanlauf eines Produktes sollten Videosequenzen des Montageablaufs, bei Bedarf mit Audiotext hinterlegt, angeboten werden, um den Trainingseffekt und die kognitive Wahrnehmung zu erhöhen.

Um nicht jedem Mitarbeiter alle Informationen in gleicher Detaillierung aufzuzwingen, muss die Informationstiefe innerhalb des Systems frei skalierbar sein. So kann jeder Mitarbeiter den Detaillierungsgrad auswählen, der seiner Qualifikation angemessen ist. Beispielsweise benötigt ein Mitarbeiter, welcher gute Kenntnisse in der Montage eines bestimmten Produkts besitzt, lediglich die Stückliste, während ein unerfahrener Mitarbeiter eine detaillierte Bauanleitung oder eine Videosequenz aufrufen kann (s. Bild 100).



*Bild 100: Skalierbarkeit der dargestellten Informationstiefe in Abhängigkeit vom Qualifizierungsniveau der Montagearbeiter*

Grundlegender, geforderter Bestandteil der Montageunterstützung ist die Bereitstellung einer Bauanleitung mit den einzelnen Montage- und Prüfschritten. Diese beinhaltet eine detaillierte Beschreibung der durchzuführenden Tätigkeiten und kann durch aussagekräftige Bilder der Vorrichtungen am Bauteil unterstützt werden. In einem weiteren Submodul können die nötigen Vorbereitungen des Arbeitsplatzes und die benötigten Hilfsmittel angezeigt werden. So sind Informationen zur vorschriftsmäßigen Bedienung von Vorrichtungen und Maschinen ebenso hinterlegt wie Hinweise zur Verwendung von Werkzeugen und sonstigen Einrichtungen.

Bei komplexen Montageaufgaben werden häufig montageunterstützende Maschinen und Vorrichtungen eingesetzt. Diese sind mit produktspezifischen Montage- und Prozessparametern einzustellen und daraufhin zu verwenden. Das Mitarbeiterinformationssystem muss dementsprechend die benötigten Parameter anzeigen und korrekte Hinweise zum Einsatz dieser Hilfsmittel liefern. Weiterhin bedarf es im Modul zur QM-Anbindung Funktionen, welche die Dokumentation von Qualitätsdaten unterstützen und Anleitung geben, wie Abläufe und Tätigkeiten gemäß den firmenspezifischen Qualitätsrichtlinien durchzuführen sind.

Eine klare Anforderung ist weiterhin die Implementierung von Fehlerabfingroutinen im Programmablauf. Durch diese sollen softwarebedingte Ausfälle und Systemabstürze vermieden werden, welche das System scheitern lassen könnten.

Neben den rein technik- und montagebezogenen Aspekten könnten nach Vorstellung einiger Industriefirmen bzw. deren Mitarbeiter letztlich auch Zusatzinhalte berücksichtigt werden, welche die individuelle Identifikation mit der IT-Lösung erhöhen. Es ist denkbar, Funktionen wie Urlaubsplanung, Krankheits- oder Fehltagverwaltung, Arbeitsgruppenverwaltung, eine Art schwarzes Brett oder aktuelle Firmeninformationen zu implementieren und gewisse Inhalte des Firmenintranets freizugeben.

### 5.3.2 Evaluierung des erstellten Pflichtenheftes

Nach der Erarbeitung des umfassenden Anforderungsprofils an ein leistungsfähiges und breit einsetzbares Mitarbeiterinformationssystem wurde aus diesem ein Bewertungsbogen erstellt. Dieser wurde von interessierten Projektpartnern und potenziellen industriellen Anwendern im Detail bewertet und gewichtet. Aus der Auswertung konnte ein klares, mit Prioritäten versehenes Profil des zu realisierenden Mitarbeiterinformationssystems exzerpiert werden. Bei der Bewertung wurden die Kriterien auf einer Skala von null bis fünf eingestuft, wobei null für einen eher unwichtigen Wunsch, fünf hingegen für eine strikte Forderung steht. Aufgrund der notwendigen und gewünschten Kriterien ist es möglich, derzeitige erhältliche Systeme aus Industrie und Forschung zu vergleichen und auf einen möglichst hohen Deckungsgrad hin zu prüfen (vgl. Kapitel 5.4).

Bei dem im Folgenden dargestellten Pflichtenheft wurde jeweils aus allen Bewertungsbögen eines Unternehmens der firmeninterne Mittelwert gebildet und daraus ein firmenspezifisches Anforderungsprofil abgeleitet. Aus den ermittelten firmenspezifischen Anforderungen wurde wiederum der Mittelwert gebildet, woraus sich die unternehmensübergreifenden Anforderungen an ein Mitarbeiterinformationssystem ergeben.

<b>Pflichtenheft – Funktion</b>		<b>Bewertung</b> (0=unwichtig, 5=sehr wichtig)
<b>I) Grundmodul für ein Mitarbeiterinformationssystem:</b>		
<b>Basisanforderungen:</b>		
Bereitstellung von vollständigen, aktuellen Informationen in allen relevanten Bereichen		5,0
Identifikation am System über Personalnummer, Steckkarte, Name, etc.		2,6
Realisierung der papierarmen Fertigung (z.B. Vereinfachung von Buchungsvorgängen)		3,2
Anschlussmöglichkeit für Ein-/Ausgabegeräte, Prüfvorrichtungen, Maschinensteuerungen etc.		2,5
Windows-Kompatibilität		4,0
Freie Skalierbarkeit der Inhalte an die Qualifizierung der Nutzer		3,4
Implementierung von Fehlerabfingroutinen		3,5
Optimiertes Kosten-Nutzen-Verhältnis bei Realisierung, Einsatz und Erweiterung (Lizenz, Hardware etc.)		4,0
<b>Bedienkonzept:</b>		
Intuitive Bedienung		4,3
Gestützt durch Sinnbilder, Icons etc. und weitgehender Verzicht auf Text		3,9
<b>Maximale Vereinfachung der Eingaben:</b>		
Werkergerechte Ergonomie, keine Tastatur und Maus, sondern Touchscreen		4,3
Bei nötiger manueller Dateneingabe „virtuelle Tastatur“ bzw. „Ziffernblock“ auf Touchscreen		3,3
Verwendung von Hilfsmitteln wie Barcode-Scanner, Touchscreen, Kartenleser		3,5
Kompakte, ergonomische Darstellung und Anordnung wichtiger Funktionen		3,7
Kontextsensitivität, situationsabhängige und logische Verknüpfung von Funktionen		4,3
Geringe Untergliederung und Verschachtelung der Funktionsebenen, keine Labyrinthstruktur		3,5
<b>Darstellung von Inhalten:</b>		
Aktualisierungen und Änderungen in allen Bereichen gesondert hervorheben		4,2
<b>Systemstruktur:</b>		
Datenbankbasiert		3,8
Verwendung eines Browsers als „Daten-Client“		2,4
Standardapplikationen zur Datenerstellung und Einbindung von Standardformaten (MS Word, MS Excel, MS PowerPoint etc.)		3,6
Modulares, erweiterbares System		3,7
Anbindung an Intranet		3,3
Beschränkung des Zugriffs auf Funktionen durch individuelle Zugriffsrechte für Montage-Mitarbeiter, Montageplaner, Disponent, Administrator, QM etc.		3,5

<b>Schnittstellengestaltung:</b>	
Offene System-/Schnittstellengestaltung	3,5
Schnittstellenprogrammierung modular gestaltet, definierte Schnittstellen vorhalten	3,3
PPS/ERP-Anbindung	2,8
PPS ist übergeordnetes System, keine doppelte, inkonsistente Datenhaltung über die Systemgrenzen hinweg	3,1
Einfach bedienbare Mensch-Maschine-Schnittstelle zwischen PPS und Montagewerker	2,9
Bei Stückliste, Verpackungsvorschrift etc. direkte Datenkopplung an PPS	3,5
<b>Administration/Datenpflege:</b>	
Einfache und schnelle Eingabe sowie Verwaltung von Daten über anpassbare Masken	4,4
Einfache Pflege von hinterlegten Dokumenten (Prüfanweisungen, Montageanleitungen etc.)	4,5
Möglichkeit der Einbindung bereits im Unternehmen bestehender Dokumente und technischer Zeichnungen (Aufwandreduzierung)	4,1
Einfache Erstellung und Darstellung von Zusatzfeatures („Homepage-Baukasten“)	3,4
Einfache Einführung und Installation	3,9
<b>Systemvoraussetzungen:</b>	
Standard PC bzw. Panel PC mit Touchscreen	4,0
Netzwerkanbindung	4,3
<b>II) Arbeitsplatzmanagement:</b>	
<b>Auftragsverwaltung:</b>	
Auftragsplanung (mit Prioritäten)	2,8
Rückmeldung vollständig abgearbeiteter Aufträge bzw. Teilaufträge	3,3
Auswahlmöglichkeit von Aufträgen nach Lieferterminen oder sonstigen Prioritäten	3,1
Auftragsliste wird mitarbeiter- bzw. montagearbeitsplatzspezifisch zur Verfügung gestellt	3,6
Entnahme der Auftragsliste direkt aus dem PPS via Schnittstelle (evtl. manuelles Einpflegen)	3,3
<b>Logistik:</b>	
Einfache Materialbuchung in allen Bereichen (z.B. Scanner, Ident-System)	3,2
Abgleich der Stückliste mit bereitgestellten Teilen über Barcode, Verifizierung der Teile	3,0
Darstellung in Auftragsliste, ob benötigtes Material bereits verfügbar bzw. bereitgestellt ist	2,8
Anforderungsmöglichkeit an Bereitsteller	2,5
Anforderungsliste nach FIFO-Prinzip oder nach Prioritäten geordnet	2,6
Anforderungsliste für Bereitsteller druckbar	2,3
Rückmeldung von komplett bereitgestellten Aufträgen durch den Bereitsteller	2,1
Terminal bei Bereitsteller (evtl. mobiles Handterminal)	1,8
Rückbuchung von Restmengen	2,1
<b>Daten für Entlohnung:</b>	
Ausbuchen und Rückmelden von Aufträgen (Ersatz von Lohnscheinen)	2,4
Erfassen und Hinterlegen von Fertigungszeiten	2,5
Rückmeldung der Stückzahlen von Gut-/Schlechtteilen	2,8
<b>Selbstorganisation:</b>	
Begrenzte Auswahlmöglichkeit der Auftragsreihenfolge (je nach Teileverfügbarkeit)	3,2
Entlastung anderer Abteilungen	2,7
<b>III) Produktinformationen (Datenbank über Montage- und Produktwissen):</b>	
<b>Allgemeine Produktinformationen:</b>	
Produkteinsatzort (Darstellung mit Bild)	3,2
Produktfunktion	3,4
Entstehendes Gesamtprodukt (z.B. PKW, Kühlschrank, Fernseher etc.)	2,9
Einbausituation	3,6
Ansprechpartner in Konstruktion, Auftragsmanagement, Produktionsleitung etc.	3,6
Kunde	2,8
Produktkennzeichnung (Etiketten, Barcode, Ident-Nr. etc.)	3,6
<b>Montageunterstützung:</b>	
Wissens-/Montagedatenbank für sporadisch auftretende Produkte, Ersatzteillieferung etc.)	4,5
Rüsthinweise (inkl. Hinweise zur Arbeitssicherheit)	4,5
Visualisierung der relevanten Montage- und Prozessparameter	4,4
Zu verwendende Vorrichtungen	4,7



	Montagehilfsmittel	4,7
	Montagewerkzeuge	4,6
	Arbeitsplatzbeschreibung/-gestaltung	3,9
	Stückliste möglichst direkt aus PPS (Aktualität)	3,8
	Detaildarstellungen der einzelnen Bauelemente über Explosionsdarstellung	3,6
	Montagereihenfolge/-anleitung/-ablauf (Bauanleitung)	4,5
	Videosequenzen bei sehr komplexen Montagevorgängen	2,7
	Hinweise auf zu benutzende Werkzeuge	4,1
	Gezielte Auswahl bestimmter, gerade benötigter Arbeitsschritte	4,1
	Abfrage- und Einpflegemöglichkeit von Tipps & Tricks zur Produktmontage	3,1
	Anleitung zur Produktkennzeichnung	3,3
	Anleitung zur Inbetriebnahme	3,0
<b>IV) QM-Anbindung:</b>		
	Produktspezifische Qualitätsinformationen:	
	Darstellung aktueller Fehlerproblematiken (Fehlerhistorie/Kundenreklamationen)	4,7
	Verpackungsvorschriften	4,6
	Prüfplan/Prüfanweisung/Prüf Aufbau	4,6
	Prüfmittel darstellen	3,9
	Detaillierte Prüfanweisungen (Videos, Bilder etc.)	4,3
	Prüfkarte mit spezifischem Fehlerkatalog	3,4
	Digitale Muster (Bilder)	3,3
	Beispiele von Fehlern/Grenzmusterdarstellung	4,0
	Angabe signifikanter Merkmale	3,8
	ABC-Flächen Kennzeichnung (bildliche Darstellung)	2,8
	Darstellung von Qualitätsmerkmalen	4,4
	Dokumentation:	3,5
	Dokumentationsführung gemäß QS 9000 o.Ä.	3,5
	Dokumentation von Prüfberichten	3,8
	Ergebnisrückmeldung (IO/NIO), Reklamationsbericht, 8D-Report etc.	3,7
	Ausschusserfassung	3,9
	Darstellung von Qualitätsmerkmalen	4,3
	„Hilfe-Button“ zur Information der zuständigen Abteilung bei Auftritt von Fehlern/Problemen (Einpflegemöglichkeit neu entstandener Problemmerkmale)	3,3
	Meldemöglichkeit bei fehlerhaften Produktchargen (Sperrung)	3,0
<b>V) Sonstiges:</b>		
	Intranet (schwarzes Brett, aktuelle Informationen, Speiseplan, Fahrplan etc.)	1,4
	In den Pausen freigegebene Spiele (Förderung der Systemakzeptanz!)	0,6
<b>VI) Zusatzmodule:</b>		
	Qualifizierungsmaßnahmen	2,7
	Anbindung externer Lieferanten/Bearbeiter	1,8
	Visualisierung des „Servicegrades“ (Verhältnis von geplantem zu reellem Liefertermin bzw. Stückzahl zu Ausschuss) und Einbindung in Entlohnungsprämie	3,1
	Personalplanung (Urlaub, Krankheits-/Fehltag, Schichtpläne, Gruppeneinteilung etc.)	1,7
	Werkzeugverwaltung/Maschinenparameter	2,6

Dieses detaillierte, evaluierte Anforderungsprofil an ein innovatives Mitarbeiterinformationssystem für die variantenreiche Kleinserienmontage bei KMU dient als Grundlage für die Überprüfung des Deckungsgrads mit den geforderten Funktionen bei derzeit verfügbaren Systemen aus Forschung und Industrie. Das Pflichtenheft bildet somit die Grundlage für eine Make-or-Buy-Entscheidung.



## 5.4 Stand der Technik im Bereich multimedialer Unterstützung am Arbeitsplatz und Defizite bisheriger Systeme

Mitarbeiterinformationssysteme im klassischen Sinne werden bereits in einigen Betrieben unter vielfältigen Einsatzbedingungen genutzt. Hier steht allerdings üblicherweise die Führung des Werkers durch einzelne Montageschritte bzw. die Anleitung zur Ausführung dieser Schritte im Vordergrund.

Etabliert haben sich in Unternehmen oftmals Dokumentenverwaltungssysteme. Diese sind eng mit Mitarbeiterinformationssystemen verwandt, reichen in ihrer Funktionalität allerdings nicht für die beschriebenen Anforderungen aus. Sie können jedoch stellenweise als Grundlage dienen, da mit ihnen unternehmensweit Daten und Dokumente bereitgestellt und publiziert werden können.

Im Folgenden sollen nun Funktionalitäten, Aufbau und Funktionsweise einiger ausgewählter Mitarbeiterinformationssysteme beschrieben und erläutert werden. Hierbei ist eine Untergliederung nach Forschungsprojekten sowie kommerziellen Software-Lösungen nötig, denn ein konzeptioneller Ansatz mit Anfertigung von prototypischen Lösungen im Rahmen der Forschung ist sicherlich nicht direkt mit dem Funktions- und Supportangebot professioneller Software-Entwickler vergleichbar.

### 5.4.1 Forschungsansätze

Aufgrund der wachsenden Forderung nach einem umfassenden und konsistenten Informationsmanagement in der Produktion seitens der Industrie wurde an verschiedenen Universitäten und wissenschaftlichen Instituten Entwicklungsbedarf erkannt. Somit wurden Projekte gestartet, welche sich mit der Entwicklung von produktionsunterstützenden Informationssystemen befassen. Im Rahmen dieser Projekte ist eine klare Tendenz zu neuartigen, innovativen Systemen zu erkennen. Hierbei sind einige Lösungen durch direkte Industriekooperationen praxisnah und somit oftmals praxistauglich ausgelegt. Andere dieser Entwicklungsstudien sind äußerst visionär und somit für die betriebliche Fertigung nach dem heutigen Stand der Technik kaum einsetzbar.

#### WISMO

Im Rahmen des Forschungsprojekts HYMOS (Hybride Montage-Systeme) wurde das Werkerinformationssystem WISMO (Werkergerechte Informationsbereitstellung in der manuellen Montage) entwickelt. Bei diesem System führte die Firma Lust Antriebstechnik GmbH in Zusammenarbeit mit dem Institut für Fabrikanlagen (IFA) der Universität Hannover die Entwicklungsarbeit durch. Die Informationen zu WISMO wurden von der Firma Lust, gemeinsam mit deren Erfahrungswerten zu diesem System, bereitgestellt.

Die programmtechnische Basis von WISMO bildet eine Microsoft Access-Datenbank. Innerhalb dieser wurde eine Bedienoberfläche geschaffen, in welcher die Ein- und Ausgabefunktionen durch Makros realisiert wurden. Somit konnte mit verhältnismäßig einfachen und standardisierten Mitteln das gesamte System WISMO erstellt werden.

Aufgrund der bei der Firma Lust vorliegenden hohen Variantenvielfalt bestand die Forderung nach einem System, welches die Eigenheiten der Varianten darstellt und hierzu eine Montageunterstützung in Form von Arbeitsplänen, Zeichnungen etc. liefert. Des Weiteren sollten fertigungsbegleitende Papiere reduziert werden.



Bild 101: Screenshot WISMO – Hauptmaske [102]

Aufgrund der wachsenden Teilevielfalt kann WISMO auch dazu dienen, den Anlernprozess für neue Mitarbeiter oder bei neuen Produkten zu beschleunigen. Ebenso dient es als Medium zur Durchführung von Auffrischungsschulungen und somit als Wissensdatenbank. Die Bedienung von WISMO erfolgt über eine Sondertastatur mit fünf Tasten. Dies bietet eine komfortable Bedienung für den Werker, da dieser über diese Tasten alle für ihn benötigten Funktionen schnell und unkompliziert aufrufen kann.

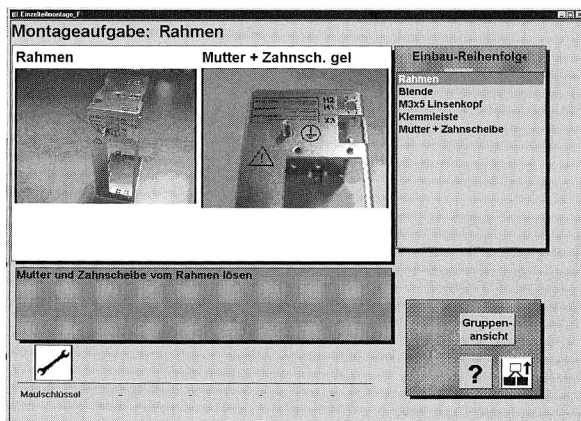


Bild 102: Screenshot WISMO – Beschreibung der Montageaufgabe

Problematisch beim Einsatz von WISMO ist vor allem die aufwändige Pflege und Implementierung der Daten. So wurde im Testbetrieb bei Lust lediglich ein Beispielprodukt eingepflegt und daraufhin auf die weitere Pflege des Systems verzichtet. Der Aufwand für das Einpflegen aller gewünschten Produkte wäre nach Schätzung der Firma Lust mit ca. einem Mensch-Jahr zu veranschlagen. Ein weiterer Nachteil ergibt sich aus der Tatsache, dass das System meist nur zur Visualisierung der Montagereihenfolge Verwen-

dung fand. Der Werker benötigt allerdings aufgrund von Routine nach etwa fünfmaliger Montage einer Variante dieses System nicht mehr und greift somit nicht mehr auf dessen Unterstützung zurück. Auch ergibt sich bei der Nutzung des Systems ein zeitlicher Mehraufwand von circa 30% für die Produktmontage. Der Zeitgewinn beim Anlernen der Mitarbeiter unter Zuhilfenahme des Systems wird außerdem durch die notwendige Einarbeitungszeit am System selbst wieder relativiert. WISMO reduziert sich somit vor allem auf eine Montage- bzw. Wissensdatenbank um die Montage von seltenen Varianten, Ersatzteilen etc. einfacher zu gestalten. Zur Nutzung als umfassendes Mitarbeiterinformationssystem ist der Pflegeaufwand zu hoch, die Bedienung zu komplex und die Informationsbereitstellung zu einseitig.

### M-AIS – LPS

Am Lehrstuhl für Produktionssysteme (LPS) der Ruhr-Universität Bochum entstand im Rahmen des Programms QUATRO (Qualifikation, Arbeit, Technik, Reorganisation) das multimedial gestützte Arbeitsplatzinformationssystem M-AIS. Bei diesem Projekt wirkten neben einigen Lehrstühlen auch drei mittelständische Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus mit. Ziel dieses Projekts ist die Entwicklung eines auf modernen Multimedia-Techniken basierenden Informationssystems. Dieses soll den Facharbeiter bei der Bewältigung seiner, vor allem organisatorischen, Tätigkeiten am Arbeitsplatz unterstützen, ohne für diesen eine Belastung darzustellen. Durch den Einsatz dieses Systems soll die Unternehmensflexibilität durch Aufgabenintegration auf Werkstattebene erhöht werden, was den Nutzerfirmen bei der Herstellung neuer und innovativer Produkte helfen und damit Arbeitsplätze sichern soll [103].

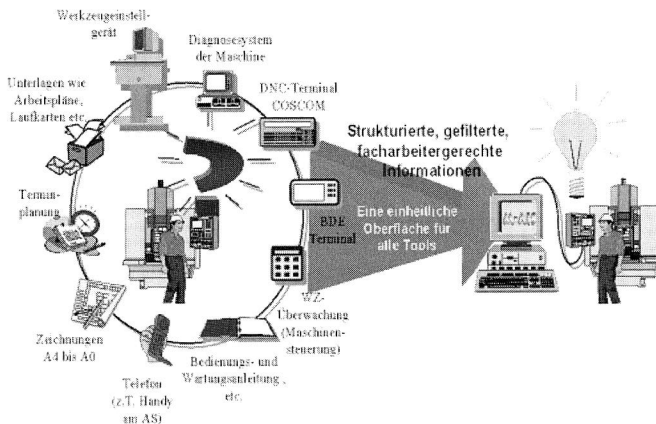


Bild 103: Informationsbereitstellung von M-AIS [103]

Mit M-AIS sollen den Mitarbeitern am Arbeitsplatz die für sie wichtigen Informationen, von der Terminplanung bis zu Ausgabeparametern von Maschinendiagnosesystemen, zur Verfügung gestellt werden (s. Bild 103). Hauptaufgabe hierbei ist die Aufbereitung der Informationen, damit diese für den Mitarbeiter adäquat und verwertbar sind. Dennoch soll durch dieses Informationssystem die Kreativität des Werkers wenig eingeschränkt werden, damit dieser sich noch am Innovationsprozess beteiligen kann.

Da sich M-AIS noch in der prototypischen Umsetzungsphase befindet, können hier keine Aussagen über Funktionalität und Praxistauglichkeit dieses Systems getroffen werden. Allerdings wird es sich aufgrund der Entwicklungsziele vor allem um ein Informationsmanagement- und -aufbereitungssystem handeln, welches Daten kanalisiert und gebündelt bereitstellt. Funktionen wie Auftragsverwaltung, QM-Rückmeldungen und eine konkrete Montageunterstützung sind bisher nicht vorgesehen.

## TIPS

Im Rahmen eines geförderten Verbundprojekts mit mehreren mittelständischen Unternehmen wurde am Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO) das Intranet-basierte Informationsmanagementsystem TIPS – Team Informations- und Planungssystem konzipiert und erprobt. TIPS stellt eine einheitliche Oberfläche zur Verfügung, unter welcher intuitiv und mit geringem Einarbeitungsaufwand auf Datenbestände, bestehende Anwendungssysteme und Datenbanken zugegriffen werden kann. So können relevante Daten aus verschiedenen Unternehmensbereichen, Dokumentations-, Projektmanagement- und generelle Kommunikationsfunktionen sowie eine zentrale Disposition zwischen Teams genutzt werden. Der erstellte TIPS-Prototyp unterstützt Teams in Fertigung und Montage bei der Auftragsabwicklung, der Selbstdisposition sowie der Kommunikation und greift dabei online auf Daten von CAD-, PPS- und BDE-Programmen zu. TIPS ist in die drei Bereiche Auftragsabwicklung, Selbststeuerung und Kommunikation unterteilt [66].

Im Systembereich Auftragsabwicklung werden Informationen zum Produkt und zum benötigten Material, zu Produktionsvorgängen, notwendigen Arbeitsstationen und Betriebsmitteln sowie die benötigten Unterlagen zur Fertigung eines Produkts bereitgestellt. Die Bildschirmmaske enthält für einen Artikel die wichtigsten produktspezifischen Daten wie Artikelnummer und -bezeichnung sowie Stückliste (s. Bild 104). Diese Daten werden visuell unterstützt. Weitere Produktionsunterlagen wie Explosionszeichnungen oder Arbeitspläne können durch Anwahl mit der Maus ebenfalls dargestellt werden.

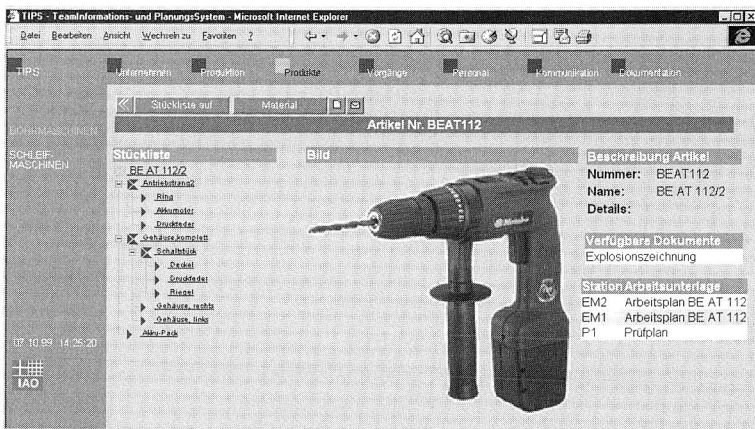


Bild 104: Screenshot TIPS - Bildschirmmaske für Artikel [67]

Der Bereich Selbststeuerung dient zur Unterstützung der eigenverantwortlichen Disposition innerhalb eines Teams. Hierzu benötigt die Arbeitsgruppe Informationen und Kennzahlen über anstehende Aufträge, die Materialbestände sowie die voraussichtliche Auslastung und Verfügbarkeit von Produktions- und Mitarbeiterkapazitäten.

Hier werden z.B. die wichtigsten Informationen über die Vorgänge für eine Organisationseinheit angezeigt (s. Bild 105). Dies sind Nummer, Bezeichnung, Start- und Endtermin, Artikel und Stückzahl sowie die beauftragte Organisationseinheit. Dabei sind dringende Vorgänge rot dargestellt, während gesperrte mit einem Stopp-Zeichen versehen sind. Durch die Auswahl einzelner Vorgänge können auch hier wieder detaillierte Informationen (z. B. Vorgangsbeschreibung und Stand) über diese abgerufen werden. Bearbeitungsbeginn und -stand sind ebenfalls erfasst.

Vorgänge in KW 19/01/99 bis 26/01/99 Filter: OE

Vorgangsnr.	Bezeichnung	Endtermin	Starttermin	Menge	Beginn	Ende	Artikelnr.	OE	Kundenauftrag
PH 1.005	PH 1.005	19.01.99	15.01.99	50	18.01.99	18.01.99	a001 Einzelmontage	PH 1	
PH 1.006	PH 1.006	27.01.99	19.01.99	50	-----	-----	BEAT962 Einzelmontage	PH 1	
PH 1.007	PH 1.007	02.02.99	27.01.99	50	-----	-----	a002 Einzelmontage	PH 1	
PH 1.008	PH 1.008	22.01.99	18.01.99	80	21.01.99	21.01.99	a003 Einzelmontage	PH 1	
PH 1.009	PH 1.009	02.02.99	22.01.99	80	-----	-----	BEAT963 Einzelmontage	PH 1	
PH 2.006	PH 2.006	24.09.99	21.09.99	50	-----	-----	BEAT112 Einzelmontage	PH 2 K	
PH 1.010	PH 1.010	02.02.99	34.01.99	50	-----	-----	a001 Einzelmontage	PH 1	
PH 2.008	PH 2.008	02.09.99	26.08.99	70	04.09.99	-----	BEAT962 Einzelmontage	PH 2 K	
PH 2.009	PH 2.009	21.09.99	02.09.99	70	01.09.99	-----	a002 Einzelmontage	PH 2 K	
PH 2.001	PH 2.001	04.09.99	27.08.99	100	27.08.99	02.09.99	BEAT112 Einzelmontage	PH 2 K	
PH 2.002	PH 2.002	21.09.99	04.09.99	100	-----	-----	a001 Einzelmontage	PH 2 K	
99.0004.1	99.0004.1	17.09.99	21.09.99	50	-----	-----	BEAT112 Einzelmontage	99.0004	
99.0006.1	99.0006.1	14.09.99	26.08.99	70	04.09.99	-----	BEAT965 Einzelmontage	99.0006	
99.0001.1	99.0001.1	15.09.99	02.09.99	70	01.09.99	-----	a002 Einzelmontage	99.0001	

Bild 105: Screenshot TIPS – Vorgangsübersicht [67]

Der Programmabschnitt Kommunikation dient dem Austausch von Nachrichten, Notizen, Memos etc. über ein schwarzes Brett und ein Dokumentenarchiv. Diese sind mit den Produktions- und operativen Auftragsdaten verknüpft, wodurch z.B. Fertigungsanweisungen, Änderungsmitteilungen, Abnahmeprotokolle etc. einem Produkt zugeordnet und über die Produktseite aufgerufen werden können.

Das Informationssystem TIPS ist vor allem für die einheitliche Darstellung und Verknüpfung von Daten innerhalb eines Firmen-Intranets konzipiert. Es wird angestrebt, Arbeitsgruppen in Fertigung und Montage jederzeit alle benötigten Informationen zuverlässig und aktuell an einem Informationspunkt bereitzustellen. Dieses Informationsportal ermöglicht einen Online-Zugriff auf Auftragsbestände, Produktdaten, Fertigungsunterlagen und sämtliche Formulare, Dokumente und Textnachrichten. Die Projekt- und Ressourcenplanung sowie die Dokumentationsarchivierung wird ebenfalls unterstützt.

TIPS ist ein umfassendes Wissensmanagementtool bzw. eine Wissensdatenbank mit Verwaltungsmöglichkeit von Dokumenten. Für einen Einsatz als Werkerinformationssystem an einzelnen Arbeitsplätzen in der Serienmontage ist es jedoch nicht konzipiert. Hinsichtlich einer ständigen Anleitung und Unterstützung der Montagewerker ist die Informationsdichte zu hoch und die Auswahlmöglichkeiten sind zu umfangreich.

## Arvika

In dem durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Leitprojekt Arvika wird unter der Federführung der Siemens AG der äußerst visionäre Ansatz der Augmented-Reality verfolgt. Hierbei soll im Sinne einer erweiterten Realität das situationsgerechte Agieren in der Arbeitsumgebung durch die visuelle Überlagerung realer Objekte mit rechnergenerierten virtuellen Objekten ermöglicht werden. Dem Anwender wird eine Hilfestellung geboten, indem Informationen in dessen Sichtfeld, über beispielsweise eine Datenbrille, eingeblendet werden. Diese Unterstützung soll für komplexe technische Produkte und Anlagen benutzerorientiert und anwendungsgetrieben erforscht und realisiert werden. Die Informationsbereitstellung soll kontextbezogen stattfinden, d.h. abhängig vom betrachteten Objekt werden die Zusatzinformationen in das Sichtfeld projiziert. Es wäre somit vorstellbar, bei Betrachten eines Bauteils durch den Monteur die hierzu benötigten Montageanweisungen direkt in dessen Sichtfeld einzublenden [6].

Durch Vorgabe eines Montageablaufs wäre z.B. eine Unterstützung in der Anlaufphase von Montageprodukten denkbar, da eine Verkürzung der Anlernphase zu erwarten ist und Fehler vorab eingegrenzt oder vermieden werden können. Im Bereich der manuellen Einzel- und Kleinserienmontage werden die Verkürzung der Tätigkeitsdauer, die Steigerung der Prozess- und Variantenbeherrschung und die Rückführung von Informationen angestrebt. Um diese zu erreichen soll ein Augmented-Reality System über mobile Netzwerkzugänge (z.B. Wireless LAN, GSM, UMTS) an die Unternehmenssoftware angebunden werden [3]. Auf ähnliche Weise kann das Augmented-Reality Konzept auch im Rahmen der Qualitätssicherung hilfreich sein. So wäre denkbar, die Produktansicht an relevanten Stellen mit Qualitätsinformationen zu überlagern [4].

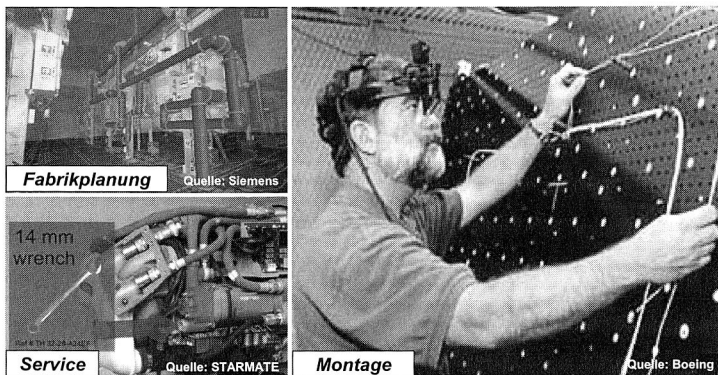


Bild 106: Zukünftige Einsatzfelder der Augmented-Reality Technologie

Der visionäre Ansatz der Augmented-Reality Technologien zur Unterstützung in der modernen Produktion ist zukunftsweisend und beinhaltet hohes Potenzial zur Effizienzsteigerung. Allerdings ist beim heutigen Stand der Technik und aufgrund der hohen Komplexität der Systeme kaum ein betrieblicher Einsatz im Montagebereich einer Serienfertigung vorstellbar.

## BEPI

Gemeinsam mit dem Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb) der Technischen Universität München fand bei der Brose GmbH & Co. KG in Coburg die Entwicklung eines Systems zur Bereitstellung von Produktionsinformationen (BEPI) statt [10]. Die Informationen sowie die Erfahrungen bezüglich BEPI wurden von der Brose GmbH & Co. KG zur Verfügung gestellt.

BEPI wurde für den Bereich einer Kleinserienmontagelinie für spezielle Fensterheber entwickelt. Es handelt sich um drei in U-Layout angeordnete Arbeitsplätze, an welchen in Single-Piece-Flow eine Komplettbearbeitung stattfindet. Aufgrund der hohen Variantenvielfalt, der geringen Wiederholhäufigkeit sowie der hohen Aufgabenintegration durch Komplettbearbeitung des gesamten Montage-, Prüf- und Versandauftrags sind die Anforderungen an den Montagearbeiter sehr hoch und bedürfen einer optimalen Informationsbereitstellung.

Der BEPI Prototyp wurde unter Visual Basic programmiert und basiert auf einer MS Access Datenbank. Dieses System ist derzeit im Standalone-Betrieb lauffähig und soll zukünftig auch netzwerkfähig sein. Durch den Standalone-Betrieb ist ein erheblicher Pflegeaufwand nötig, da benötigte Daten mit Datenträgern auf das System übertragen werden müssen. Die Informationsbereitstellung von BEPI basiert auf der Darstellung von MS Office Dokumenten und AVI-Dateien zur Visualisierung von Videosequenzen. Hierzu wird lediglich auf bestehende Dokumente zugegriffen. BEPI verwaltet ausschließlich die Dateipfade zu diesen. Durch diese Pfadverwaltung ist ein einfacher Zugriff auf die benötigten Daten möglich.

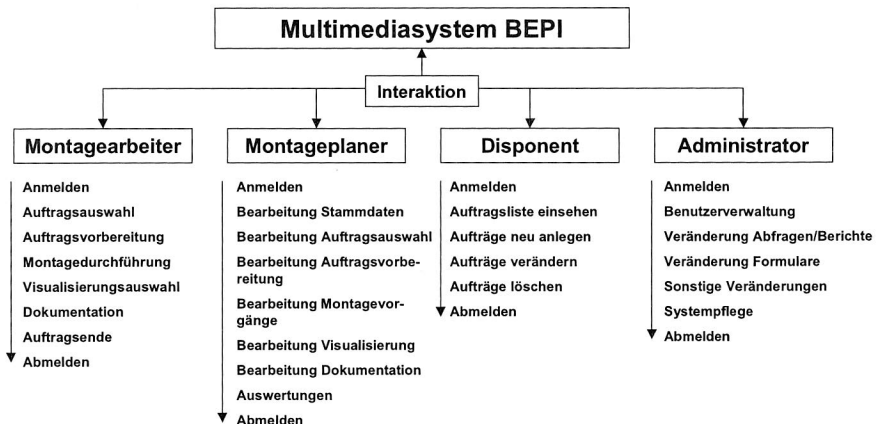


Bild 107: Benutzergruppenspezifische Interaktionsstrukturen von BEPI

BEPI ermöglicht für die verschiedenen Benutzergruppen unterschiedliche Sichten auf die Software. So stehen den einzelnen Systemnutzergruppen (Montagearbeiter, Montageplaner, Systemadministrator und Disponent) verschiedene Funktionalitäten und Zugriffsrechte sowie unterschiedliche Interaktionsstrukturen zur Verfügung (s. Bild 107). Diese spiegeln sich auch in den unterschiedlichen Arbeitsoberflächen bzw. Eingabemasken wieder (s. Bild 108).



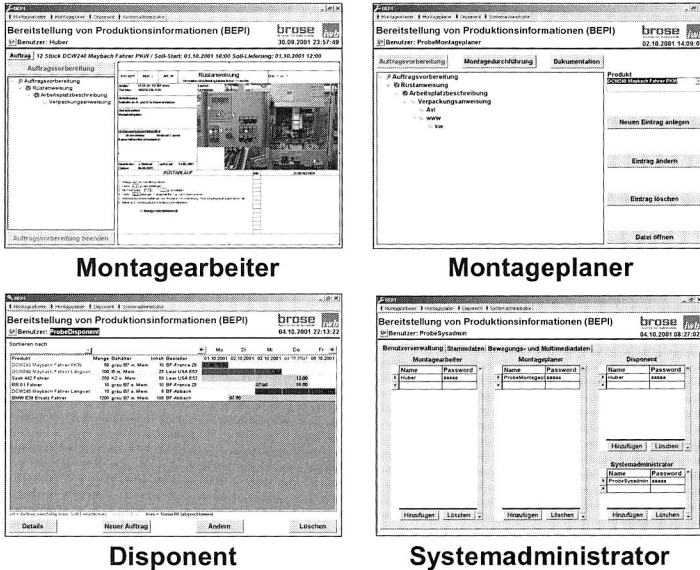


Bild 108: Unterschiedliche Benutzersichten auf BEPI [128]

BEPI dient der Unterstützung von Montagemitarbeitern und soll eine Arbeitserleichterung sowie eine Effizienzsteigerung bewirken. Hierzu wird eine tabellarische Auftragsliste zur Auswahl der Aufträge dargestellt. Das System zur Montageunterstützung beinhaltet Stücklisten, Rüsthinweise, Arbeitsunterweisungen und besondere Montagehinweise, welche gesondert gekennzeichnet werden können. Auch stehen dem Werker das Verpackungsdatenblatt und diverse Zusatzinformationen zur Verfügung. Zusätzlich zur Informationsbereitstellung wird durch BEPI der ausführende Werker bei Auftragsstart identifiziert. Des Weiteren wird ein Logbuch der Anlage bzw. des Montagearbeitsplatzes erstellt, in welchem die Parameter der Anlage dokumentiert werden.

BEPI ist für die Unterstützung der Montagemitarbeiter bei der gesamten Abarbeitung eines Auftrags konzipiert und bietet einige der geforderten Funktionen zur Montageunterstützung und Auftragsverwaltung. Die Möglichkeit der Rückmeldung von Fehlern, Auftragschargen, aktuellen Problemen etc. fehlt allerdings gänzlich. Auch wurde im Testbetrieb bei der Brosse GmbH & Co. KG deutlich, dass dieses System sehr fehleranfällig ist und somit einen erheblichen Wartungsaufwand benötigt. Die Systempflege ist aufgrund der noch nicht realisierten Netzwerkanbindung ebenfalls äußerst unwirtschaftlich. Ebenso basiert die Bedienung auf Maus und Tastatur, was sich im praktischen Einsatz als unergonomisch und praxisuntauglich herausstellte. Das Konzept ist somit nicht für den geplanten Einsatz geeignet.

#### 5.4.2 Kommerzielle Systeme

Kommerzielle Anbieter haben den steigenden Informationsbedarf in der Produktion bzw. Montage ebenfalls erkannt und bieten umfassende Systeme zur Unterstützung an. Die für die hier formulierten Anforderungen am interessantesten werden hier analysiert.



## DE\_Wis

Von der Firma DE Software & Control GmbH wurde das Werkerinformationssystem DE\_Wis für die BMW AG entwickelt. Dieses System wird bei der BMW AG am Standort Dingolfing in der Automobilendmontage eingesetzt. Es dient vor allem der Anzeige aller produkt- und auftragsrelevanten Informationen vor Ort am Arbeitsplatz.

DE\_Wis ist modular aufgebaut (s. Bild 109). Kern des Systems ist das Modul DE\_Viewers, welches die benötigten Informationen auf dem Bildschirm darstellt. Des Weiteren existieren die Programmmodule DE\_Reader für das Auslesen von Identifikationssystemen und DE\_Messenger zum Übertragen von Mitteilungen an die Werker. Mit dem Modul DE\_Designer kann die Oberfläche des DE\_Viewers frei gestaltet werden.

Das Modul DE\_Filedispatcher übernimmt sämtliche Funktionen, welche mit der Verteilung und Verwaltung von Daten zusammenhängen. Es überwacht auch die Funktionsfähigkeit des Systems und hierbei insbesondere die der Server. Dies ist nötig, da bei einem produktionsrelevanten Werkerinformationssystem größter Wert auf Fehlertoleranz und Verfügbarkeit gelegt werden muss. Es sorgt ferner dafür, dass nur jeweils veränderte oder neue Daten innerhalb des Systems übertragen und aktualisiert werden, um die Belastung des Firmennetzwerks so gering wie möglich zu halten.

Der DE\_Configurator dient dazu, das System bei Veränderungen der Umgebungsbedingungen anzupassen. Hier können neue Bandabschnitte definiert, neue Takte eingeführt, neue Anzeigegeräte zu einem Bandabschnitt zugeordnet, die Taktzuordnung zu einem Anzeigegerät angepasst oder das Bildlayout festgelegt werden.

Zur Überwachung des Systems, und hier jedes einzelnen PC's, dient DE\_Watch. Dieses überwacht alle angeschlossenen PC-Terminals und meldet einen Ausfall bzw. eine Fehlfunktion umgehend an ein übergeordnetes Alarmierungssystem weiter. Der DE\_Logger protokolliert schließlich noch alle ausgeführten Aktionen in Form einer sekundengenauen Fertigungsmitschrift.

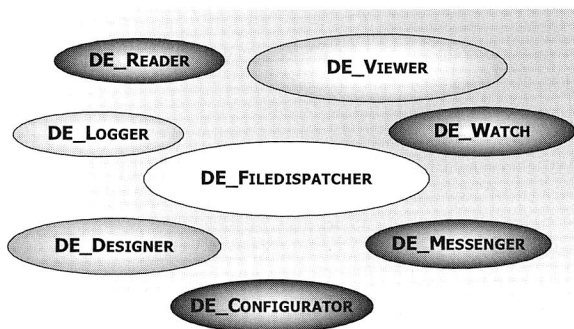


Bild 109: Module von DE\_Wis [21]

Ein zusätzliches Feature von DE\_Wis ist die Möglichkeit, das System direkt mit angeschlossenen Maschinen und Lesegeräten zu koppeln. Es können somit Prozessparameter in Bearbeitungsautomaten exportiert bzw. Begleitdaten eines Auftrags mit dem DE\_Reader und den entsprechenden Lesegeräten importiert und verarbeitet werden.

Bei DE\_Wis wird nicht auf herkömmliche Standardanwendungen zurückgegriffen. Das gesamte Softwarepaket wurde als C++-Applikation speziell für diesen Anwendungsfall des Werkerinformationssystems programmiert. Die Datenhaltung von DE\_Wis erfolgt textbasiert. Hierdurch ist keine Datenbankanwendung nötig und die Datenmenge wird auf ein nötiges Minimum reduziert. Das gesamte System, Server als auch Clients, ist auf Standard-PCs unter dem Betriebssystem MS Windows NT 4.0 lauffähig. Verknüpft werden die Rechner über ein Netzwerk (Ethernet, Token Ring etc.). Als Ausgabegeräte kommen VGA- oder TFT-Bildschirme, Klartextanzeigen und Drucker zum Einsatz. Zur Bedienung des Systems in der Produktion wurde auf Tastatur- und Mausbedienung verzichtet. Es kommt ein Bedienkonzept mit fünf Tastern zur Anwendung, mit welchen die in der Produktion notwendigen Funktionen gesteuert werden können.

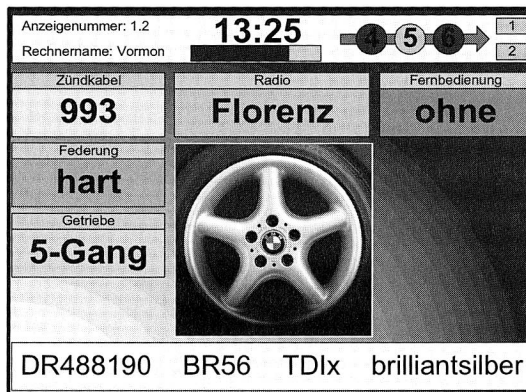


Bild 110: Bildschirmanzeige von DE\_Wis [160]

Die Hauptanwendung von DE\_Wis liegt im Ersatz der Fahrzeug-Bezettelung in der Endmontage [160]. Auf dieser sogenannten „Tapete“ sind alle zur Montage nötigen Informationen enthalten. In der unübersichtlichen papiergebundenen Darstellung muss sich der Montagemitarbeiter die für ihn relevanten Daten aus einer Vielzahl von Informationen herausuchen, wodurch häufig Fehler entstehen. Des Weiteren ist bei dieser Methode eine kurzfristige Änderung der Inhalte kaum möglich. Bei Einsatz von DE\_Wis bekommt der Mitarbeiter lediglich die für ihn relevanten, taktbezogenen Informationen angezeigt. Die Erkennbarkeit der benötigten Daten in der produktvarianten- bzw. modellabhängigen Darstellung wird durch Bilder, farbige Texte und Symbole erleichtert (s. Bild 110). Ziel bei der Anwendung von DE\_Wis ist die Verringerung von Montagefehlern durch verständliche und einfach lesbare Informationsbereitstellung um eine Steigerung von Effizienz und Qualität zu erreichen.

DE\_Wis dient allerdings ausschließlich der Mitarbeiterinformation in einer taktbezogenen Serienmontage durch Visualisierung der im jeweiligen Arbeitstakt zu montierenden Produktvariante. Zur Anleitung eines Mitarbeiters bei der arbeitsplatzgebundenen Komplettmontage ist es nicht konzipiert, weshalb auch keine Möglichkeit zur Rückmeldung geboten wird. Für den vorliegenden Anwendungsfall ist DE\_Wis also kaum geeignet.

## WorkVIS

Die Firma ITPlan Planung und Informationstechnologie GmbH bietet mit ihrem System WorkVis ein Werkzeug zur Informationsbereitstellung und Kommunikationsverbesserung vor allem in der hybriden Fertigung. Das System bietet die Möglichkeit, Produktionsauftrags- sowie Produktdaten in kürzester Zeit mit hoher Flexibilität am Arbeitsplatz zur Verfügung zu stellen. WorkVis kann alle erforderlichen Daten aus dem Produktionsprozess erfassen und einer Weiterverarbeitung zuleiten [69]. Es werden Produkt-, Auftrags- und Prozessdaten bereitgestellt, wodurch bei Aufruf der Produktdaten die jeweils aktuelle Version von Stücklisten, Arbeitsplänen, Prüfspezifikationen und Qualitätsvorgaben, Bildern und Videosequenzen, Produktbeschreibungen, CAD-Zeichnungen und Baugruppenchargen angezeigt werden kann.

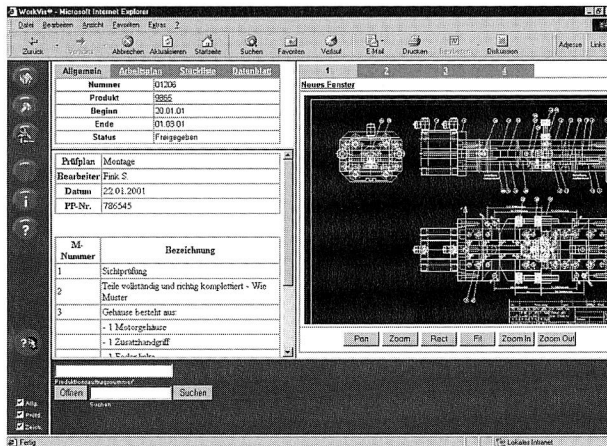


Bild 111: Screenshot WorkVis - Zeichnung, allgemeine Daten und Prüfplan eines Pneumatik-Ventils [69]

Neben den Produktdaten können auch die in der Produktion benötigten Auftragsdaten zur Verfügung gestellt werden. Hier werden Arbeitsanweisungen, Informationen über den Bearbeiter, zu fertigendes Produkt, Stückzahlen, Termine, Auftragsstatus sowie die benötigten Produktionsressourcen bereitgestellt. Neben der reinen Informationsbereitstellung von Produkt- und Auftragsdaten bietet WorkVis die Möglichkeit Prozessdaten zu visualisieren, zu archivieren und weiterzuverarbeiten. Dies dient sowohl der Mitarbeiterinformation und deren Motivation als auch der Erhöhung von Prozesssicherheit und Ausbringung. Hierzu werden in erster Linie die Daten aus dem Produktionsprozess (Maschinendaten, Prüfdaten, Auftragsdaten und Störungen) erfasst und angezeigt.

WorkVis ist modular aufgebaut und besteht aus vier Basismodulen zu welchen zur Realisierung kundenspezifischer Aufgaben individuelle Zusatzmodule erstellt und integriert werden können. Die Basismodule umfassen die Module Konfigurationsdatenbank, Framework, Administratormodul und ClientVis-Modul. Die Anbindung an die unternehmensspezifische Systemlandschaft wird über die Konfiguration der Software und Standard-Schnittstellen realisiert. Standard-Schnittstellen sind für CAD, Dokumentenmana-

gement, Produktionsplanung, Materialwirtschaft, Vertrieb, Qualitätsmanagement, Personalwirtschaft, Finanzwesen, Controlling sowie Prozesse und Projekt erhältlich.

Die Systemstruktur von WorkVis ist Datenbank- und Internetbasiert. Hierdurch ergibt sich eine nötige Server-Client Struktur, wobei auf dem Server die Datenbankanwendung sowie die Web-basierte Bedienoberfläche abgelegt sind. Am Arbeitsplatzterminal ist als Client lediglich ein HTML-Browser zum Abruf der benötigten Informationen und zum Systemzugriff nötig. Der WorkVis-Server verknüpft unternehmensspezifische Datenbanken und Softwaresysteme mit Hilfe der Schnittstellen und stellt die Daten für den Zugriff von WorkVis-Clients zur Verfügung (s. Bild 112).

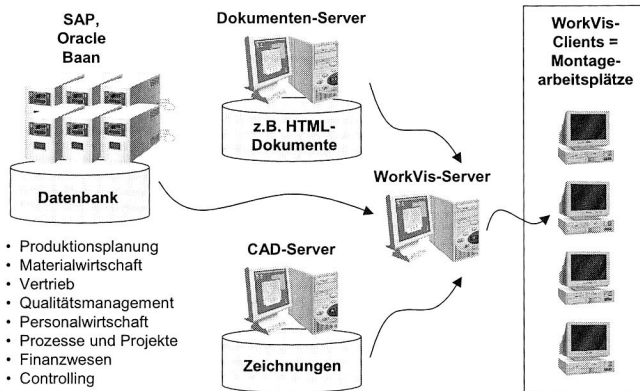


Bild 112: IT-Architektur von WorkVis [69]

Sämtliche Informationen und Schnittstellen werden zentral verwaltet und sind dadurch systemweit in Form von Texten, Zeichnungen, Grafiken oder Animationen an den Arbeitsplätzen verfügbar. Eine benutzerspezifische Zugriffssteuerung auf die hinterlegten Daten ist möglich. WorkVis bietet die Möglichkeit der umfassenden Darstellung von benötigten Informationen am Arbeitsplatz. Auch das Konzept der Intranet- und Datenbankbasierung entspricht den gestellten Anforderungen. Allerdings fehlt auch hier die Rückmeldemöglichkeit durch den Montagemitarbeiter, wodurch dieses System nicht zufriedenstellend für den gewünschten Anwendungsfall geeignet ist.

## MAIS – LONNI Multi-Media-Dienste

Die Firma LONNI Multi-Media-Dienste, ein Tochterunternehmen der Graficon Gruppe, entwickelte für den Eigenbedarf das Mitarbeiter-Informationssystem MAIS und bietet dieses nach erfolgreichem internen Einsatz auch als Produkt an. Dieses System dient der Erfassung und Speicherung der Erfahrungen und des Wissens der Mitarbeiter. Es basiert auf den vier Grundbausteinen Information, Kommunikation, Organisation und Schulung. Der Bereich Information ist mit einem multimedialen schwarzen Brett im Unternehmen vergleichbar. Im Modul Kommunikation werden Erkenntnisse und Erfahrungen der Mitarbeiter gespeichert und geordnet zur Verfügung gestellt. Unter Organisation wird die Bereitstellung von Vordrucken, Arbeitsplatzbeschreibungen etc. verstanden. Im Bereich Schulung wird ein Werkzeug zur Mitarbeiterschulung bereitgestellt. Hierbei können auch bekannte Inhalte wieder aufgefrischt werden [95].

MAIS ist als unternehmensweites Wissensmanagementsystem konzipiert und dient der umfassenden Bereitstellung von Daten im firmeneigenen Intranet. Es ist nicht auf die Belange eines Werkerinformationssystems mit Montageunterstützung ausgelegt, sondern greift vielmehr im Verwaltungs- und Organisationsbereich des Unternehmens.

### eQM / ims

Von der Firma 3Pro Engineering Services GmbH werden zwei Softwarepakete zur Bereitstellung und Verarbeitung von Informationen angeboten. Dies ist zum einen das System eQM – elektronisches Qualitätsmanagement zur papierlosen Dokumentation von Qualitätsmanagementsystemen und zum anderen ims – Information Management System zur unternehmensweiten Bereitstellung und Verwaltung von Informationen.

eQM dient der unternehmensweiten Bereitstellung und Erfassung von Qualitätsinformationen und -dokumentationen wie z.B. Qualitätsrichtlinien oder Blankoformulare. Das Erreichen einer hohen Qualität von Informations- und Hilfsmittelbereitstellung steht dabei im Vordergrund, weshalb eQM weitestgehend als ein Dokumentenverwaltungs- und -veröffentlichungsprogramm gesehen werden kann. Als Bedienoberfläche kommt ein Web-Browser zum Einsatz, mit dem beliebige Informationen, die mit MS Office Programmen erstellt wurden, dargestellt und eingepflegt werden können. Bei der Informationsbereitstellung unterscheidet eQM verschiedene Benutzergruppen wie Qualitätsverantwortliche, Prozesseigentümer, Angestellte und Gewerbliche. Durch diese Zuordnung wird die Informationsvielfalt auf den benötigten Anteil beschränkt bzw. die Darstellung der Inhalte den benutzerspezifischen Belangen angepasst [28].

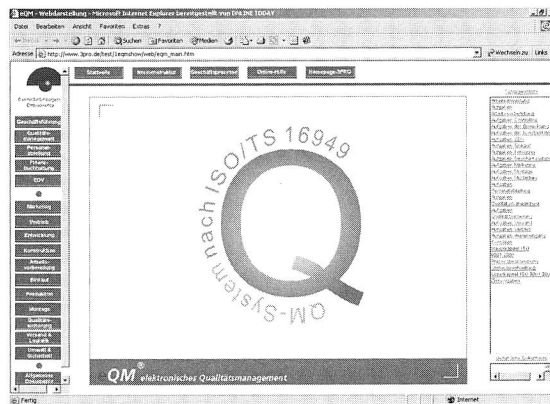


Bild 113: Screenshot eQM [29]

Mit ims bietet 3Pro ein System zur flächendeckenden Bereitstellung relevanter Daten im Unternehmen an. Bei ims handelt es sich um ein reines Dokumentenmanagementsystem, welches nicht auf die Verwendung als Werkerinformationssystem ausgelegt ist.

Somit bieten sowohl eQM als auch ims umfassende Funktionalitäten in den beschriebenen Bereichen, beide Systeme sind jedoch aufgrund der nicht vorhandenen Montageauslegung nicht als Mitarbeiterinformationssystem geeignet, könnten aber evtl. unterstützend zu einem solchen eingesetzt werden.

## AMS

Von der Eyring Corporation wird das Montageplanungssystem AMS – Assembly Management System angeboten. Dieses System bietet eine Reihe von Hilfsmitteln zur Vereinfachung der Verwaltung und Steuerung des Montageprozesses. Es handelt sich vor allem um eine Dokumentenverwaltungs- und -bereitstellungssoftware, welche speziell auf Arbeitsanweisungen für die Bereiche Montage, Rüsten und Instandhaltung zugeschnitten ist bzw. auch für Schulungen u.ä. Prozesse eingesetzt werden kann.

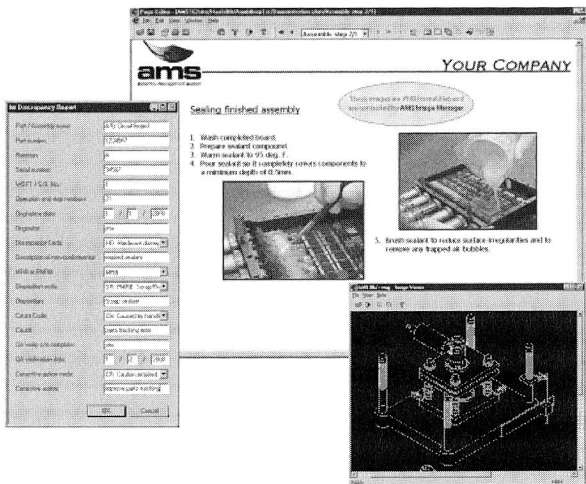


Bild 114: Darstellung von Inhalten unter AMS [30]

Es werden Multimedia-Anwendungen zur verständlichen Visualisierung der bereitgestellten Arbeitsanweisungen verwendet. So können darzustellende Dokumente durch Grafiken, Bilder, CAD-Zeichnungen, Videos etc. erweitert werden. Bereits bestehende Dokumente können ebenfalls eingebunden werden. Dabei können während des Montageprozesses Daten über Prozessverlauf, Plandaten, Qualität etc. über definierte Schnittstellen erfasst, in einer ODBC-kompatiblen Datenbank abgelegt und zur weiteren Verarbeitung bereitgestellt werden [30].

AMS dient vor allem der Verwirklichung der papierlosen Fertigung. Ferner bietet es die Anbindung an bestehende EDV-Systeme und die Fähigkeit, Daten aus der laufenden Fertigung zu verarbeiten. Da es sich jedoch um ein englischsprachiges Produkt handelt, welches nicht in einer deutschsprachigen Version zu beziehen ist, ist der Einsatz hierzulande als kritisch zu beurteilen. Es kann schließlich nicht davon ausgegangen werden, dass der durchschnittliche Montagearbeiter entsprechend gute, für die Verwendung dieses Systems benötigte, englische Sprachkenntnisse besitzt.

### 5.4.3 Gegenüberstellung und Bewertung bestehender Systeme

Die wichtigsten bestehenden Informationssysteme wurden beschrieben und kurz deren Tauglichkeit für den Einsatz am Kleinserienarbeitsplatz abgeschätzt. Nun werden diese Systeme direkt gegenübergestellt und einer Bewertung unterzogen. Das Hauptaugen-

merk liegt dabei auf den in Kapitel 5.3.2 und speziell im evaluierten Pflichtenheft vorliegenden Anforderungen. Vor allem die Funktionalität bezüglich Montageunterstützung, Auftragsmanagement und Anbindung an das Qualitätsmanagement wurden geprüft und das Systemkonzept sowie dessen Struktur bewertet. Aus den einzelnen Bewertungskriterien und unter Berücksichtigung zusätzlicher Aspekte wurde die Gesamtauglichkeit der Systeme für den vorliegenden Anwendungsfall abgeschätzt.

Dabei gilt es zu beachten, dass die in Bild 115 verwendeten Bewertungssymbole die Priorität des jeweiligen Schwerpunktes oder Zieles innerhalb des entsprechenden Systems widerspiegeln. Sie stellen jedoch kein Qualitätsurteil dar. Die Eignung bezieht sich explizit auf die im beschriebenen Pflichtenheft geforderten Funktionen und Inhalte.

Bei der Systemstruktur liegt der Focus auf Ausbaufähigkeit, Stabilität und Bedienkonzept. Das Systemkonzept sollte zukunftsweisend sein. Hierbei wurde vor allem darauf geachtet, dass eine Erweiterung des Systems möglich ist und auch nach einigen Jahren Laufzeit noch den Anforderungen an ein leistungsfähiges System entsprochen wird.

Bei Montageunterstützung, Auftragsmanagement und QM-Anbindung wurden vor allem vorhandene Funktionalitäten bewertet. So wurde geprüft ob diese Grundelemente vorhanden sind und welche Funktionen sowie Inhalte diese bieten. Hierbei fand besondere Beachtung, wie gut diese Funktionen die gestellten Anforderungen erfüllen. In die Bewertung der Einzelkriterien flossen die jeweiligen Möglichkeiten der Einbindung von Grafiken, Texten, vorhandenen Dokumenten etc. ein. Auch wurde, soweit bekannt, die Pflege und Wartung der Systeme mit einbezogen. Die Gesamtbewertung stellt im weitesten Sinne einen Durchschnittswert der Einzelbewertungen dar. Allerdings flossen noch weitere Kriterien ein, welche nicht separat bewertet wurden. So wurden z.B. der Gesamteindruck vom jeweiligen System, mögliche Sprachprobleme (keine deutschsprachige Version etc.), die Praxistauglichkeit aufgrund des Prototypenstatus oder sonstige Fakten mit einbezogen.

System	Hersteller	Systemkonzept/ -struktur	Montage- unterstützung	Auftragsmanagement/ Selbstverwaltung	QM-Anbindung	Gesamteignung
WISMO	IFA	○	○	○	○	○
M-AIS	LPS	Noch in Konzeptphase				○
TIPS	IAO	○	○	○	○	○
ARVIKA	Siemens AG & Projektpartner	Noch in Konzeptphase				○
BEPI	iwb & Brose	○	○	○	○	○
DE_WIS	DE Software & Control GmbH	○	○	○	○	○
WorkVis	ITPlan	○	○	○	○	○
MAIS	Lonni	○	○	○	○	○
eQM/ims	3Pro	○	○	○	○	○
AMS	Eyring Corp.	○	○	○	○	○
○ nicht geeignet    ○ kaum geeignet    ○ geeignet    ○ gut geeignet    ○ sehr gut geeignet						

Bild 115: Gegenüberstellung und Bewertung bestehender Informationssysteme  
(Symbole stellen Priorität des jeweiligen Systems dar, nicht die Qualität)

Aus der Gegenüberstellung der verschiedenen Systeme wird ersichtlich, wo deren Schwerpunkte liegen. Einige erfüllen in Teilbereichen nahezu die gestellten Anforderungen. Es finden sich hier auch innovative und ausbaubare Ansätze. Allerdings kann keines der betrachteten Systeme das gesamte Spektrum der geforderten Funktionalitäten bieten. Sie greifen die beschriebenen Problembereiche nicht integriert auf und haben Defizite beim Aufzeigen eines umfassenden und adäquaten Lösungsansatzes. Hieraus entsteht die Forderung, ein eigenes, allen Anforderungen genügendes Mitarbeiterinformationssystem zu erstellen (vgl. Kapitel 5.5).

## **5.5 Systemstruktur und Funktionsmerkmale von IM@GE+**

Aus dem bewerteten Pflichtenheft wurde ersichtlich, welche Funktionalitäten und Inhalte durch die potenziellen Anwenderfirmen gefordert werden. Anhand dieser Anforderungen wurde das multimediale Mitarbeiterinformationssystem IM@GE+ (@nline Informationssystem in der Montage) umgesetzt<sup>4</sup>. Hierbei wurde mit Blick auf eine zukünftig industriell einsetzbare Software und aus Gründen der Gewährleistungspflicht in diesem Umfeld eine erfahrene Softwarefirma miteinbezogen.

Im Folgenden wird zunächst die inhaltliche und strukturelle Einbindung des realisierten Mitarbeiterinformationssystems in den gesamten Unternehmensprozess dargestellt und der schematische Aufbau des Systems erläutert. Anschließend wird auf den zeitlichen und funktionalen Ablauf der Mitarbeiterunterstützung eingegangen. Ferner werden Funktionalitäten der realisierten Lösung aufgezeigt.

### **5.5.1 Funktionsmerkmale und Systemstruktur**

Die grundlegende Funktion des realisierten Mitarbeiterinformationssystems besteht in der Montageunterstützung an manuellen oder teilautomatisierten Arbeitsplätzen durch eine Online-Darstellung von auftrags- und produktspezifischen Informationen. Die Beschreibung der durchzuführenden Tätigkeit wird dabei durch gegliederte Bauanleitungen, detaillierte Arbeitsanweisungen, aussagekräftige Bilder, Stücklisten, Explosionsdarstellungen, CAD-Zeichnungen etc. unterstützt (s. Bild 116). Die Anforderungen an diese Funktion umfassen neben der einfachen Datengenerierung und -pflege vor allem die ergonomische, übersichtliche und verständliche Darstellung der Sachverhalte.

Eine weitere Funktion von IM@GE+ liegt in der Unterstützung der Mitarbeiter bei qualitätsrelevanten Tätigkeiten und deren Dokumentation. Hierzu können die im System integrierten Prüfanweisungen, Fehlerbeschreibungen, Spezifikationen von Gut- bzw. Schlechtheilen, Verpackungsvorschriften etc. schnell und problemlos abgerufen werden. Die zur Erfassung der Produktqualität benötigten Daten werden über einfach auszufüllende Eingabemasken abgefragt, und deren Status an die QM-Abteilung weitergeleitet. Handschriftliche Formulare, wie Ausschussmeldungen oder Prüfkarten, werden durch das Mitarbeiterinformationssystem ersetzt.

---

<sup>4</sup> Für die Mitwirkung bei der Entwicklung des Mitarbeiterinformationssystems danke ich meinem ehemaligen Diplomanden Herrn Dipl.-Ing. Stefan Lang herzlich



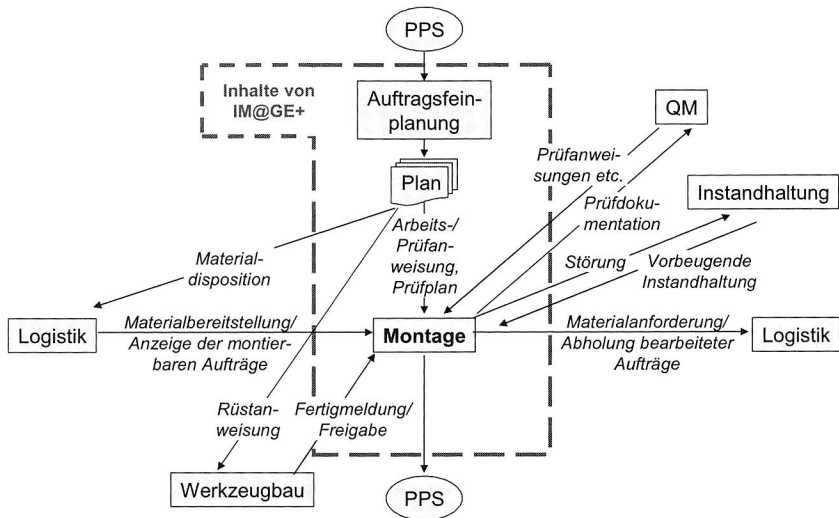


Bild 116: Inhaltliche und strukturelle Einordnung des realisierten Mitarbeiterinformationssystems in den gesamten Unternehmensprozess

IM@GE+ unterstützt den Montagebereich bei der Auftragsverwaltung und -disposition und schafft zudem eine Schnittstelle zum Auftragsmanagement oder zur Fertigungsplanung. Dadurch hat der Mitarbeiter die Möglichkeit, aus einer nach Prioritäten oder Lieferterminen geordneten Liste, welche nur die für den entsprechenden Arbeitsplatz bzw. Mitarbeiter geeigneten Aufträge enthält, eine Order auszuwählen und diese bei Fertigstellung rückzumelden. Neben den Gutteilen wird dabei auch gleich der Ausschuss an die QM-Abteilung übermittelt. Eine direkte Rückmeldung an ein bestehendes PPS-System mit Erfassung der entlohnungsrelevanten Daten wäre hier auch denkbar. Diese Form der Auftragsmitverwaltung am Montagearbeitsplatz setzt eine Schnittstelle zum Teilebereitsteller bzw. zur Lagerverwaltung voraus. In der angezeigten Auftragsliste kann somit sofort dargestellt werden, ob das erforderliche Material zur Produktmontage vorhanden bzw. komplett bereitgestellt ist. Nur wenn dies der Fall ist, wird ein Produkt oder eine Produktcharge zur Montage freigegeben.

Das zentrale Element der IM@GE+ Architektur bildet dabei eine relationale Datenbank (s. Bild 117), in der die Informationen als Datenfelder und als pdf-Dokumente abgelegt bzw. verwaltet werden. Durch den Zugriff auf eine zentrale Datenhaltung entsteht eine dynamische Informationsstruktur, mit der stets aktuelle Daten bei geringem Pflegeaufwand von allen Informationsentnahmepunkten abgerufen werden können.

Auch der Datenrückfluss von den einzelnen Montagearbeitsplätzen oder angebotenen Prüfstationen erfolgt direkt in diese Datenbank, wodurch eine Datenredundanz verhindert wird. Als Datenbankenanwendung kommt dabei SAP DP der Firma SAP zum Einsatz. Wenn in einem Anwenderunternehmen jedoch bereits andere Datenbankprogramme etabliert sind, können Systeme wie Oracle, MS Access oder MS SQL entsprechend genutzt und damit die Lizenzkosten für das Gesamtsystem niedrig gehalten werden.

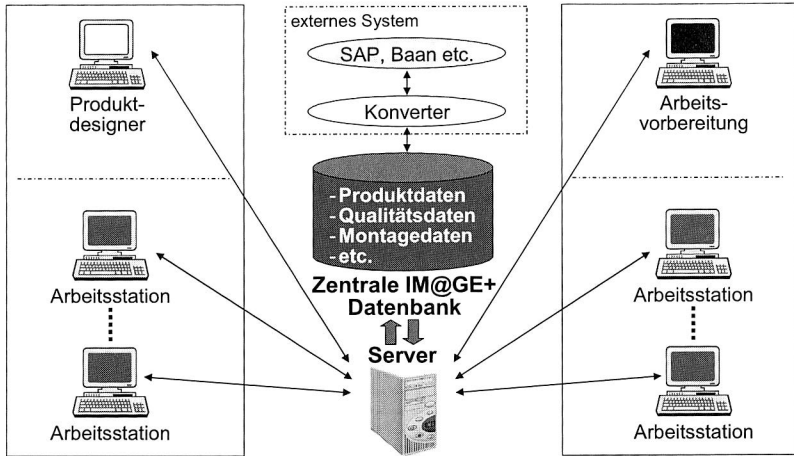


Bild 117: Netzwerk- und Datenbankstruktur von IM@GE+

Für den Datenbankzugriff wird ein Application-Server und die dazugehörige Software benötigt. Dieser verwaltet und kanalisiert den Datenfluss zwischen den Arbeitsstationen und dem Firmennetzwerk. Durch die erzielte Bündelung der Datenbankoperationen muss nicht für jeden Arbeitsplatzterminal eine eigene Softwarelizenz angeschafft werden. Vielmehr dient der Application-Server als Schnittstelle bzw. Client zur Datenbank und verteilt die angeforderten Informationen wiederum an die Arbeitsplätze bzw. die installierten Rechner (Frontends). Das Rechnernetzwerk besteht aus verschiedenen Typen von Frontends, die mit dem Server kommunizieren. Diese sind neben den eigentlichen Arbeitsstationen der Produktdesigner und die Arbeitsvorbereitung.

Die Funktionalität des Servers umfasst die Speicherung der vom Frontend übermittelten Historie-Daten, die Koordinierung des Datenaustausches zwischen Arbeitsplatz und Datenbank sowie das Vorhalten der Anwenderlogik zur spezifischen Mitarbeiterunterstützung bzw. zur Vermittlung von Prozesswissen.

Die Arbeitsstationen dienen der direkten Anzeige der auftrags- und produktbezogenen Arbeitsfolgen und den jeweils nötigen Informationen. An diesen Terminals kann sich der Mitarbeiter zur Auftragsbearbeitung an- und abmelden.

Es wird kontrolliert, ob der Mitarbeiter für die angewählte Arbeitsfolge aktuell und umfassend informiert ist. Dazu wird geprüft, ob die Informationen bzw. das Dokument in seiner aktuellsten Version vom Mitarbeiter bereits gelesen wurde. Wenn dies nicht der Fall ist, werden dem Werker die aktuellen Informationen verbindlich angezeigt und eine explizite Lesebestätigung eingefordert. Der Hinweis verschwindet erst dann, wenn der Mitarbeiter bei seinem Vorgesetzten bestätigt, die Inhalte verstanden zu haben und wieder ausreichend geschult ist. Es wird sichergestellt, dass der Werker die Aktualisierung der Daten registriert hat. Für das Verstehen und Beachten der Produktmodifikationen ist der Mitarbeiter selbst zuständig. Die Anwendung der angepassten Randbedingungen obliegt ihm eigenverantwortlich.

Die nun vollzogenen Montage- und Prüfoperationen werden von den Arbeitsstationen erfasst und automatisiert in der zentrale Datenbank zur Dokumentation und späteren Nachvollziehbarkeit der Prozesse gespeichert. Die Funktionalität der Arbeitsstation umfasst des Weiteren die Auswahl einer Betriebsart des Mitarbeiterinformationssystems. Der Mitarbeiter kann zwischen Rüsten, Einstellen, Produzieren oder Abrüsten wählen und sich die entsprechenden multimedialen Informationen zur Unterstützung der Tätigkeit anzeigen lassen.

Das Frontend vom Typ Produktdesigner dient zum Erstellen und Modifizieren der an einer Arbeitsstation darzustellenden Informationen und auszuführenden Prozessschritte. Dem autorisierten Benutzer wird die Möglichkeit gegeben, die Oberfläche des Informationssystems frei zu gestalten, den eigenen Bedürfnissen anzupassen oder notwendige Änderungen vorzunehmen. Es kann zwischen verschiedenen Gruppen und Mitarbeitern diversifiziert werden. Durch entsprechende Benutzerrechte wird so ein sicherer und strukturierter Zugriff auf die Daten und die Oberflächengestaltung gewährleistet.

Über das Arbeitsvorbereitungs-Frontend werden die Aufträge, die von einem externen PPS-System, z.B. SAP oder Baan, in der Datenbank abgelegt wurden, einem Montagesystem oder einer einzelnen Arbeitsstationen zugeteilt. Alle aktuellen Aufträge und deren Status können somit überwacht und bearbeitet werden.

Gemäß der Gesamtkonzeption von IM@GE+ ist auch die Datenanbindung offen gestaltet. So können gängige Dateiformate sowie Audio- und Videodateien eingebunden und an den Arbeitsplätzen angezeigt werden. Den geringsten Aufwand stellt hierbei die heutzutage problemlose Konvertierung bereits existierender Dokumente aus MS Excel, MS Word, MS PowerPoint oder anderen Standardsoftwarepaketen in ein pdf-Dokument dar, welches schnell und bei geringem Speicherbedarf direkt visualisiert werden kann. Die Einführung und Inbetriebnahme von IM@GE+ ist demnach einfach und mit geringem Aufwand durchführbar. Es können datentechnisch bereits bestehende Dokumente wie Prüfanweisungen, Montageanleitungen, Verpackungsvorschriften etc. eingebunden werden ohne den Aufwand einer Neuerstellung.

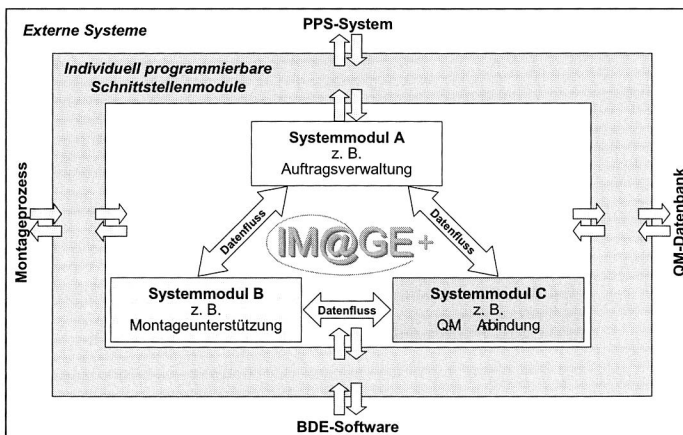


Bild 118: Interne und externe Schnittstellengestaltung von IM@GE+

IM@GE+ besitzt eine modulare Systemstruktur. Das Basismodul bildet die Systemgrundlage. Sämtliche Funktionsmodule können separat angebunden werden. Jedes Unternehmen, welches IM@GE+ einsetzen möchte, erhält somit die Möglichkeit einer individuellen Konfiguration und bedarfsgerechter Erweiterung. Die Funktionsmodule sind nochmals in Submodule untergliedert, um eine optimale Funktionsbreite und Konfigurierbarkeit bieten zu können. Die Schnittstellen zwischen den Funktionsmodulen sind ebenfalls offen gestaltet, was eine direkte Kommunikation der Funktionsmodule und eine durchgängige Bereitstellung der benötigten Daten ermöglicht (s. Bild 118).

Analog zur internen Schnittstellengestaltung ist die Anbindung an externe Systeme, wie z.B. PPS-Systeme, die Betriebsdatenerfassung oder das Qualitätsmanagement, standardisiert und offen zugänglich. Somit können die Schnittstellenmodule individuell angepasst und nur der benötigte Funktions- und Konvertierungsumfang implementiert werden, wodurch eine schnelle Kommunikation und Protokollierung zwischen IM@GE+ und externen Datenquellen sichergestellt ist.

### 5.5.2 Aufbau und Leistungsbeschreibung

Prinzipiell ist jedem Benutzer eine eindeutige Kennung unter IM@GE+ zuzuweisen. Die Anmeldung eines Mitarbeiters erfolgt mittels eines Transponders, analog einem Zugangssystem bei Gebäuden. Der Schutz durch ein Passwort ist notwendig, da aufgrund der Selbstorganisation der einzelnen Mitarbeiter oder der Gruppe sensible Daten, wie Auftragsrückmeldung über produzierte Stückzahlen, Qualitätsdaten, persönliche Informationen etc. verarbeitet werden.

Mit Hilfe der eindeutigen Identifikation am System können außerdem jedem Benutzer, die für ihn relevanten Funktionen und Informationen freigegeben werden (s. Bild 119). Änderungen, Eingaben und Lesebestätigungen können damit ebenfalls eindeutig einem Mitarbeiter zugeordnet werden. Es ergibt sich eine klare Trennung von Funktionen auf Administrationsseite und der Informationsabfrage durch die Montagemitarbeiter.



*Bild 119: Relevante Funktionen und zur Verfügung stehende Informationen unterteilt nach Kompetenzen und Zugriffsrechten der Mitarbeiter*

Um eine einfache und ergonomische Bedienung von IM@GE+ zu gewährleisten, wird auf die Bedienung mit Maus und Tastatur verzichtet und stattdessen ein Touchscreen

als Mensch-Maschine-Schnittstelle verwendet. Sämtliche Funktionen sind durch Berühren des Bildschirms auf der übersichtlich gestalteten Oberfläche aufruf- und benutzbar. Mit dieser Lösung wurden die im Produktionsbereich oftmals vorhandenen Ängste im Umgang mit Computern ausgeräumt, da die Funktionalität plakativ gesprochen der eines Bankautomaten gleichkommt, welcher zum Alltag der Menschen gehört. Im administrativen Bereich, in welchem die Pflege der Daten und des Systems stattfindet, kann aber auch weiterhin mit den klassischen Bedienelementen gearbeitet werden.

Die Visualisierung von Montageinhalten an der Arbeitsstation geschieht in einer Vollbildanwendung und unterteilt sich in eine „TaskBar“ und einen „Desktop“, ähnlich konventioneller Büroanwendungen. Die „TaskBar“ enthält alle an dieser Arbeitsstation gemeldeten Prozesse und Vorrichtungen als Schaltflächen und ein weiteres Auswahlfeld, über das Produktinformationen auftragsunabhängig, z.B. für das Anlernen neuer Mitarbeiter, abgerufen werden können. Bei der Benutzerführung wurde eine Labyrinthstruktur vermieden um eine Orientierungslosigkeit in der Programmanwendung auszuschließen. Die Benutzerführung ist kontextsensitiv ausgeführt. Nur die jeweils relevanten Funktionen sind aufrufbar. Jederzeit besteht die Möglichkeit über eine festgelegte Schaltfläche auf den Ausgangsbildschirm zurückzukehren. Die jeweils anwählbaren Funktionen sind dabei in einer Bildschirmleiste abrufbereit dargestellt. In der gesamten Benutzerführung ist eine klare Linie vorgegeben, die jedoch ausreichend Wahlmöglichkeiten bietet und ein effizientes und angepasstes Arbeiten ermöglicht.

Dazu wird der „Desktop“ bei gestarteter Mitarbeiterunterstützung in drei weitere Bereiche, die Statusleiste, die Navigationsleiste und das Darstellungsfenster, untergliedert. Im Navigationsbereich werden dem Mitarbeiter sofort nach der Anmeldung die für ihn zur Verfügung stehenden Aufträge aufgelistet. Auftragsbezogenen Informationen wie z.B. Kundennummer, Termin, Soll- und Ist-Menge werden angezeigt (s. Bild 120).

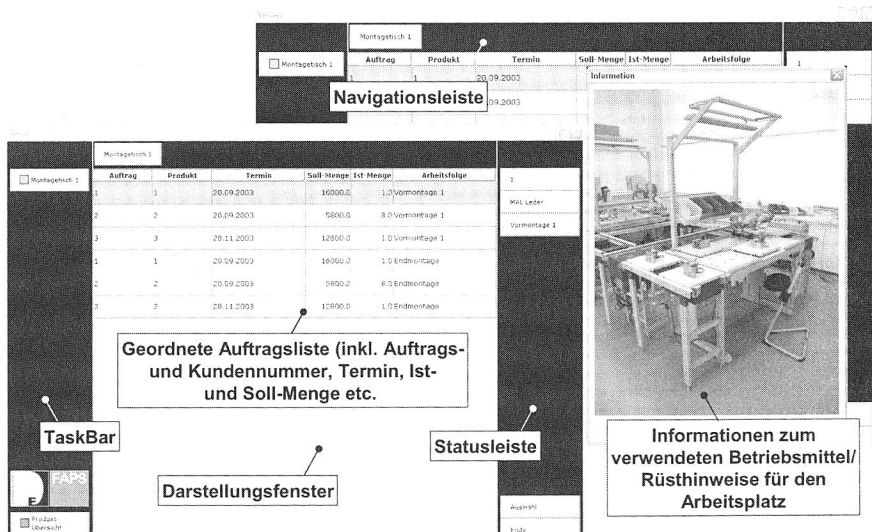
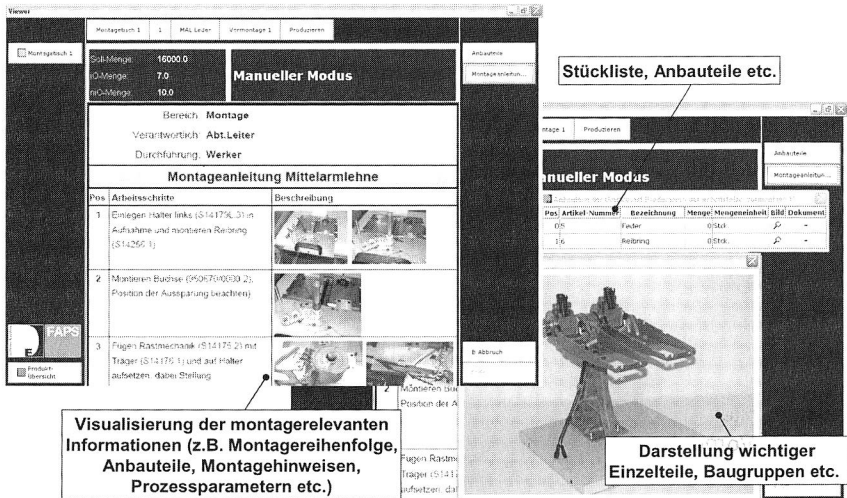


Bild 120: Bildschirmoberflächen und Bedienelemente von IM@GE+

Nach erfolgter Auswahl eines Auftrages werden im Darstellungsfenster, je nach Produktionsfortschritt und Aufgabe, die produkt- und prozessspezifischen Informationen wie z.B. Stücklisten, Montagereihenfolge und -hinweise, Explosionsdarstellungen, Prüf- und Verpackungsvorschriften, Einbaulage, Rüsthinweise etc., dargestellt (s. Bild 121). Die Statusleiste dient hingegen der Auswahl näherer Informationen über den Arbeitsplatz sowie der verwendeten Betriebsmittel und dient gleichzeitig als Orientierungshilfe für das Arbeiten mit dem Informationssystem.

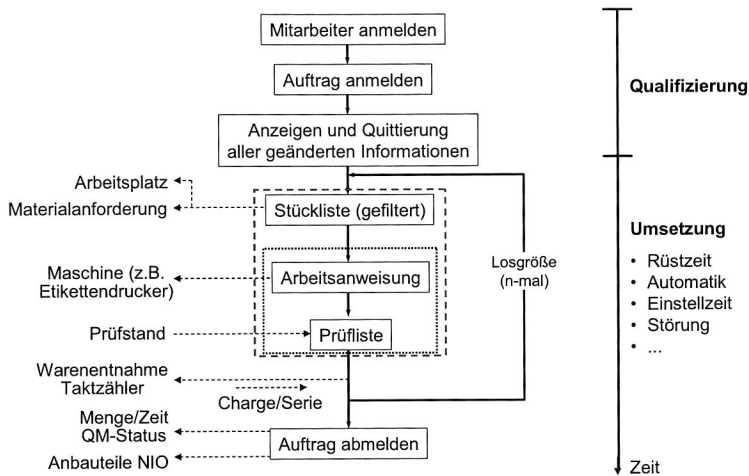


**Bild 121: Benutzerführung bei qualitätsrelevanten Montageschritten durch Visualisierung komplexer Produkt- und Prozessparameter**

Der Navigationsbereich beinhaltet nach der Auswahl eines Auftrages bzw. der notwendigen Arbeitsfolgen weitere Schaltflächen zur Visualisierung von zugehörigen Details. Die verschiedenen Betriebsarten (Rüsten, Einstellen, Produzieren, Abrüsten) können ebenfalls über die Navigationsleiste ausgewählt werden. Weitere Funktionen, wie die Fertigmeldung und das Quittieren von Aufträgen, das Absetzen eines Hilfeimpulses beim Auftreten von Störungen oder das Abmelden des Mitarbeiters vom System, werden je nach Bedarf kontextsensitiv eingeblendet und aktiviert.

Der generelle Ablauf der Mitarbeiterführung beginnt, wie erwähnt, mit der Anmeldung des Werkers am Informationssystem und der Auswahl eines zu bearbeitenden Auftrages aus einer mit Prioritäten versehenen Liste. Nach der Überprüfung auf vorliegende Änderungen in den Dokumenten und der als Nachweis der „Qualifizierung“ dienenden, evtl. notwendigen Lesebestätigung, werden dem Mitarbeiter alle montagerelevanten Auftrags- und Produktinformationen angezeigt (s. Bild 122). Daraufhin erfolgt die eigentliche Umsetzung der Montageschritte.

Dem Mitarbeiter werden die entsprechenden Stücklisten in dem gewählten Detaillierungsgrad, die Arbeitsanweisungen und die passenden Prüflisten bzw. -daten für jedes zu montierende Produkt angezeigt. Nach Fertigstellung eines Produktes wiederholt sich dieser Vorgang entsprechend der Losgröße.



*Bild 122: Zeitlicher Ablauf der Mitarbeiterunterstützung und Gewährleistung aktueller Informationen durch das Informationssystem*

Die immer wiederkehrende Abfolge der Visualisierung der Informationen ist notwendig, da z.B. die Prüfparameter bei dokumentationspflichtigen Produkten stückweise erfasst und verarbeitet werden müssen. Die Implementierung eines Takt- bzw. Stückzählers ist mit dieser Vorgehensweise einfach zu realisieren. Nach Fertigstellung der Losgröße wird der Auftrag schließlich vom Mitarbeiter abgemeldet und die Statusmeldungen beispielsweise über Menge, Zeit, Qualität, Ausschuss oder benötigtes Material an die zentrale Datenbank zurückgemeldet. Danach kann der Mitarbeiter erneut in den Zyklus der Auftragsabarbeitung zurückkehren und eine weitere Montageaufgabe anmelden.

## 5.6 Nutzenpotenziale und Risikoreduzierung durch den Einsatz von IM@GE+ bei der Unterstützung der Montagemitarbeiter

Um den Einsatz von Informationssystemen jeglicher Art in der Industrie zu rechtfertigen, ist neben den erwarteten, nicht monetär erfassbaren Erfolgen auch die kostenseitige Wirtschaftlichkeit zu belegen. Anhand einer durchgeführten Kosten-Nutzenbetrachtung in der Montage eines mittelständischen Automobilzulieferunternehmens wird im Folgenden der Beitrag zur wirtschaftlichen Erfolgssteigerung durch IM@GE+ dargelegt.

### 5.6.1 Entstehende Kosten und notwendige Investitionen für IM@GE+

Zunächst müssen zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit der notwendige Investitionsbedarf sowie weitere entstehende Kosten ermittelt werden, die bei Installation, Einführung und Wartung von IM@GE+ entstehen. Die angegebenen Werte beruhen auf tatsächlichen Kosten zum derzeitigen Stand (s. Bild 123). Die endgültige Ausprägung der Systemkomponenten kann im Laufe der Realisierung und abhängig von konkreten Unternehmensanforderungen allerdings variieren.

Das hier beschriebene Umsetzungsbeispiel bezieht sich auf 31 Montagearbeitsplätze und einem Bereitstellerterminal für den Logistiker. Es handelt sich um die Endmontage

von Fahrzeugkomponenten, die manuell gefertigt werden. Dabei wird pro Mitarbeiter ein Produkt komplett fertig gestellt, weshalb die notwendigen Montageschritte entsprechend umfangreich, variantenabhängig und hochintegriert sind. Bei der angestrebten Komplettlösung, bei welcher jeder Montagearbeitsplatz sowie der Bereitsteller mit einem IM@GE+ Terminal ausgerüstet sind, ist zur Sicherung der Lauffähigkeit ein hochverfügbarer Server inklusive Betriebssystem notwendig. Auf diesem Server befindet sich die eigentliche IM@GE+ Software sowie die für den Betrieb benötigte Datenbank und der Application-Server. Die Arbeitsplätze sind aus Gründen der Ergonomie und Bedienerfreundlichkeit mit einem Panel PC und Touchscreen ausgestattet.

Zur Installation an den Arbeitsplätzen fallen ca. 300 € pro Terminal an. Hierin sind Kosten für Verkabelung, Anschluss, Anbringung, Halterungen etc. enthalten. Für die Netzwerkanbindung sind etwa 1.000 € pro Terminal zu veranschlagen, einschließlich der kompletten Hardwareanbindung (Hubs, Switches etc.). Die angegebenen Kosten gründen auf fundierten Erfahrungswerten.

Der Preis für die IM@GE+ Software inklusive deren Inbetriebnahme vor Ort ist vorab schwer einschätzbar. Hier liegt die Spannweite der entstehenden Kosten zwischen 50.000 € und 100.000 €, je nach Anpassungsaufwand, firmenspezifischer Erweiterung und notwendiger Schnittstellenprogrammierung. Im Folgenden wird mit dem Höchstwert gerechnet, um den teuersten anzunehmenden Fall zu berücksichtigen.

Es fallen laufende Kosten für die Wartung sowie die Pflege der Soft- und Hardware an. Hier wird angenommen, dass sich diese Kosten auf 4 % der Gesamtinvestition belaufen. Dieser Wert wird analog zu den beim industriellen Einsatz ähnlicher Systeme veranschlagt und verifizierten Daten verwendet. Somit ergeben sich voraussichtliche jährliche Wartungskosten von 9.890 €.

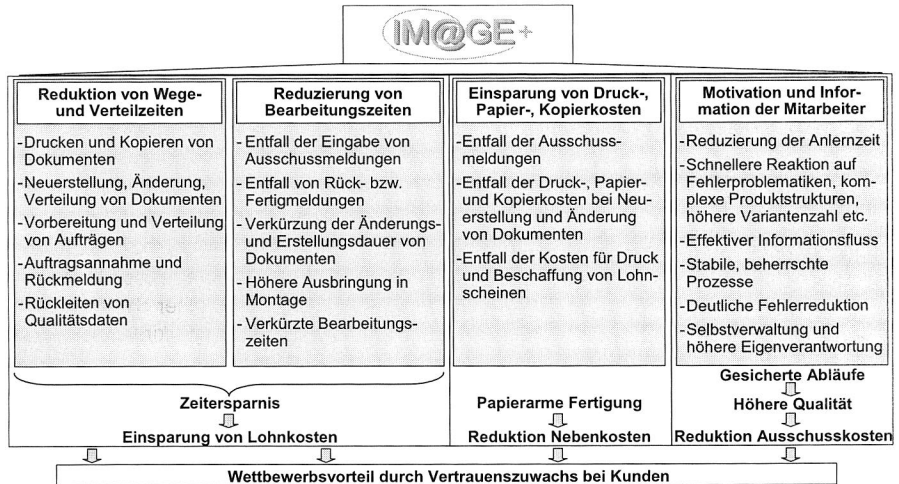
Kosten für Komplettlösung		
Systemkomponente	Einzelpreis	Gesamt
<b>Server:</b>		
Leistungsfähige Hardware inkl. Betriebssystem		4.500,00 €
<b>Arbeitsplatzstationen und Bereitstellerterminal (32 Terminals):</b>		
Panel PC mit 17" TFT-Touchscreen inkl. Betriebssystem	3.100,00 €	99.200,00 €
Notwendiger Montageaufwand	300,00 €	9.600,00 €
Netzwerkanbindung und Einspeisung (inkl. notwendiger Hardware)	1.000,00 €	32.000,00 €
<b>Software:</b>		
IM@GE+ Software (inkl. Schnittstellenanpassung)		100.000,00 €
Datenbanklizenzen		1.500,00 €
Lizenz für Application-Server		450,00 €
<b>Aufzubringender Invest für Kompletteinsatz in Montage</b>		<b>247.250,00 €</b>
<b>Jährliche Wartungskosten für Hard-/Software (4% des Gesamtinvests)</b>		<b>9.890,00 €</b>

Bild 123: Anfallende Kosten bei Realisierung der Komplettlösung für IM@GE+



### 5.6.2 Kosteneinsparungspotenziale und Amortisationszeit

Durch den Einsatz von multimedialen Informationssystemen, und im Speziellen von IM@GE+, ist gerade bei der Montage von Kleinserien ein deutliches Kosteneinsparungspotenzial ersichtlich (s. Bild 124). Die ermittelte Reduktion von Wege- und Verteilzeiten bei einer Änderung von Dokumenten sowie die aufgetretene Reduzierung der erforderlichen Bearbeitungszeiten durch den immer aktuellen Wissensstand der Mitarbeiter machen sich primär durch Einsparungen bei den Lohnkosten bemerkbar. Die papierarme Fertigung verringert den Anteil an Druck- und Papierkosten. Die Reduktion von Ausschuss erfolgt durch die gestiegene Qualität und die gesicherten Abläufe während der Montage. Die höhere Motivation und bessere Information der Mitarbeiter tragen ebenso ihren Anteil dazu bei [154].



**Bild 124: Realisierte Potenziale von IM@GE+ zur Steigerung des Unternehmenserfolgs für Kleinserienfertiger**

Weitere wirtschaftliche Aspekte und eine Betrachtung der Amortisationszeit sind in Bild 125 dargestellt. Die verwendeten Zahlenwerte stammen aus konkreten Untersuchungen bei einem industriellen Projektpartner der Automobilzulieferindustrie und beziehen sich auf die im vorherigen Abschnitt aufgezeigten notwendigen Kosten und Investitionen für die Endmontage mit 32 Arbeitsplätzen. Diese Werte sind als Durchschnittswerte anzusehen. Generell gilt es zu beachten, dass eine exakte Berechnung der einzusparenden Kosten oftmals aufgrund der engen Vernetzung und Abhängigkeit der einzelnen Randbedingungen und Parameter schwer möglich ist. Eine fundierte Ermittlung der Einsparungspotenziale ist aufgrund fehlender betriebswirtschaftlicher Messwerte und Kennzahlen nur schwer machbar. Deshalb fanden stellenweise realistischere Schätzwerte Verwendung. Zu den monetär erfassbaren Einsparungspotenzialen birgt ein Mitarbeiterinformationssystem noch weitere Vorteile für die einsetzenden Unternehmen. Diese, nicht rechnerisch erfassbaren und nicht direkt einer Bilanz zuträglichen Faktoren, dienen vielmehr einer optimierten Firmenstruktur sowie dem Ansehen des Unternehmens

bei den Kunden und eigenen Mitarbeitern. Ein Unternehmen mit umfassend und richtig informierten Mitarbeitern hat einen Wettbewerbsvorteil gegenüber seinen Mitbewerbern, da dieses Unternehmen stabilere und beherrschte Prozesse, schlankere Informationsstrukturen und optimierte innerbetriebliche Abläufe verwirklicht. Die für die interne Kommunikation benötigten Informationen liegen jederzeit in der aktuellsten Version an allen Abrufstellen vor, wodurch Inkonsistenzen in der firmeninternen Informationsbereitstellung vermieden werden.

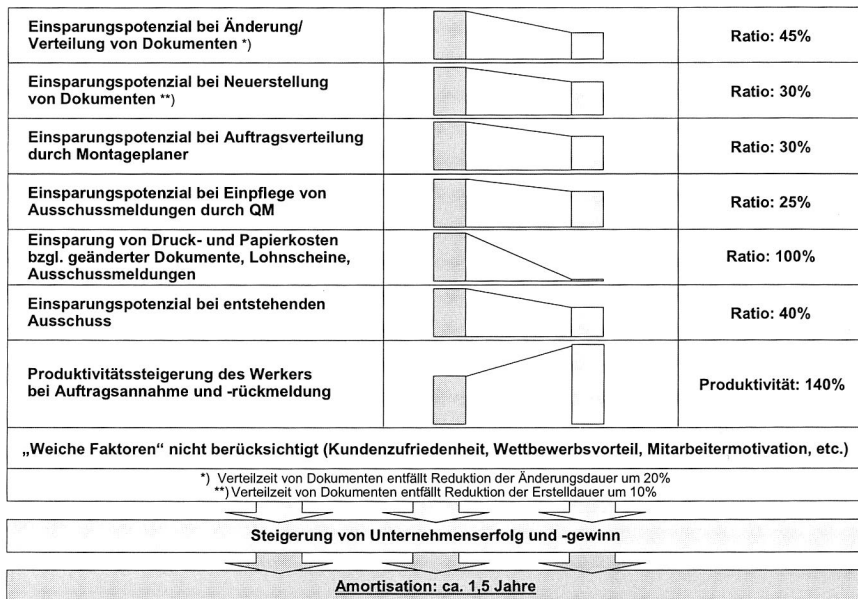


Bild 125: Wirtschaftlichkeit von IM@GE+ anhand einer durchgeführten Beispieluntersuchung bei einem Automobilzulieferer

Ein System wie IM@GE+ ist einer steigenden Produktanzahl, höherer Variantenanzahl und komplexeren Produktstrukturen besser gewachsen als die herkömmlichen Methoden der Informationsverarbeitung und -bereitstellung. Aufgrund der hier vorliegenden, frei skalierbaren Informationsdetaillierung und der maximalen Erweiterbarkeit und Flexibilität, können neu entstehende Anforderungen bewältigt werden.

Eine Steigerung der Mitarbeitermotivation ist nach der Einführung zu erwarten. Durch die Unterstützung eines Mitarbeiterinformationssystems wird die Montagearbeit bereichert und erhält somit einen höheren Stellenwert. Im Rahmen der realisierten Selbstverwaltung der Montagewerker wird diesen eine höhere Eigenverantwortung ermöglicht und somit die Identifikation mit der Arbeit erhöht. Durch steigende Mitarbeitermotivation und optimierte Informationsflüsse ist eine Reduktion von auftretenden Fehlern und der benötigten Montagedauer zu erwarten und wurde durch erste Erfahrungen mit der Demoversion von IM@GE+ bereits nachgewiesen (vgl. Kapitel 5.3.1).

Somit sind neben der reinen Kostenersparnis etliche weitere Vorteile zu erkennen. Auch wenn diese Faktoren sich nicht oder nur bedingt monetär darstellen lassen, dienen sie in direkter Weise dem betrieblichen Erfolg und somit einer Steigerung des erwirtschafteten Gewinns des Unternehmens.

## 5.7 Zusammenfassung

Die im Rahmen von Forschungs- und Projektarbeit gewonnenen Erkenntnisse führten zu der Notwendigkeit, zur Steigerung von Mitarbeiterkompetenz und Selbstorganisation in der Montage den Einsatz eines multimedialen Informationssystems zu verwirklichen. Ziel des vorliegenden Schwerpunktes war deshalb die Konzeption und Realisierung des multimedialen Mitarbeiterinformationssystems IM@GE+, welches sich aufgrund der beinhalteten Funktionen und berücksichtigten Anforderungen speziell am Bedarf von kleinen- und mittelständischen Unternehmen orientiert.

In Zusammenarbeit mit kompetenten Industriepartnern wurde ein umfangreiches Pflichtenheft für ein derartiges Informationssystem aufgestellt und bewertet. Wie gezeigt wurde, lassen die bisher am Markt befindlichen Mitarbeiterinformationssysteme aus Forschung und Industrie jedoch Defizite im Erfüllungsgrad dieser gewünschten Funktionalitäten erkennen. Mit dem entwickelten Mitarbeiterinformationssystem IM@GE+ ist somit eine nutzenbringende Unterstützung des Mitarbeiters in der Montage variantenreicher Produkte in kleinen Serien gelungen. Die erarbeitete Lösung zeichnet sich durch Einfachheit, Offenheit und Bedienfreundlichkeit aus. Es fördert durch Funktionen zur Visualisierung, Kommunikation und Know-how-Austausch den kontinuierlichen Verbesserungsprozess im Montageablauf, und damit letztendlich das Betriebsergebnis des einsetzenden Unternehmens. Durch eine abschließende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurde dies belegt und damit letztendlich eine Effizienzsteigerung durch den Einsatz derartiger Informationssystem in der Montage nachgewiesen.

Der sich vollziehende Wandel von der „Bringschuld“ von Informationen auf Unternehmensseite zu einer „Holschuld“ der Mitarbeiter wurde erkannt. Diese Entwicklung geht konform mit dem Übergang der momentan bestehenden Informationskultur der Firmen zu einer Kommunikationskultur. In dieser werden die Mitarbeiter aktiv an administrativen Aufgaben sowie dem Abruf und der Pflege vorhandener Informationen beteiligt. Durch diese Ansätze wird das Potenzial der Mitarbeiter besser ausgeschöpft und diesen dadurch eine Arbeitsbereicherung und Kompetenzerweiterung ermöglicht.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Ausgangslage der vorliegenden Arbeit war die zunehmende Komplexität in der Produktion aufgrund einer anwachsenden Variantenvielfalt bei kleineren Seriengrößen, stetig schnelleren Modellwechseln, schwer prognostizierbaren Absatzmengen sowie technologische und multifunktionale Veränderungen in der Produktgestaltung. In der Montage, dem letzten Schritt der Wertschöpfungskette, verstärken sich diese Tendenzen, da vor allem hier die kundenindividuellen Produktausprägungen erzeugt werden.

Ziel dieser Arbeit war es dennoch, immer unter besonderer Beachtung der Situation der KMU, eine Effizienzsteigerung in der Montage durch marktorientierte Strukturen und eine erweiterte Mitarbeiterkompetenz durchführen zu können. Um maximale Synergieeffekte zu erzielen, wurde ein ganzheitlicher Ansatz gewählt, der die Planung, die Auslegung und den Betrieb wandlungsfähiger Montagesysteme betrachtet.

Im Anschluss an die allgemeinen Betrachtungen hinsichtlich der Entwicklungen in der Produktion und der Montage erfolgte im ersten Schwerpunkt die Konzeption und Umsetzung eines rechnergestützten Leitfadens zur Planung von stückzahlflexiblen, mitarbeiterorientierten Montagesystemen. Neben den Grundlagen der Montageplanung wurde hierbei vor allem die Notwendigkeit aufgezeigt, bereits in der Grobplanung mit Hilfe einer Software den Planer zielgerichtet zu unterstützen. In dieser frühen Phase sind zwar zum einen die Planungs- und Produktdaten meist schwer zu konkretisieren, zum anderen ergeben sich durch eine frühzeitige und systematische Rechnerunterstützung viel versprechende Einflussmöglichkeiten zur Optimierung der Montagesysteme und das Potenzial zur Kostensenkung aufgrund der geringen Änderungskosten. In einer umfassenden Analyse und Bewertung bisheriger Planungswerkzeuge aus Industrie und Forschung wurde weiterhin herausgearbeitet, dass die verfügbaren Methoden und Programme oftmals defizitär hinsichtlich der spezifischen Anforderungen der KMU sind. Gerade hier ist die Zeitspanne zwischen Planungs- und Produktionsbeginn oft sehr kurz bzw. sind hier keine ausgeprägten Planungsabteilungen vorhanden sowie die finanziellen Mittel beschränkt. Somit können in KMU aufwändige Planungs- und Simulationssysteme nicht eingesetzt werden. Die einfache Gestaltung des umgesetzten Planungsleitfadens planAs (PlanungsAssistent), die schnelle und kostengünstige Implementierung, die einfache Beherrschung des Funktionsumfangs sowie die Vermeidung umfangreicher Schulungen sind deshalb wesentliche Vorteile und Alleinstellungsmerkmale der umgesetzten Planungssoftware. planAs eignet sich vorrangig für ein variantenreiches Produktspektrum in kleineren Losgrößen, das unter Einbezug des Mitarbeiters und seinen spezifischen Fähigkeiten montiert wird. Dabei vollzieht sich der Planungsablauf nicht vollständig automatisiert. Vielmehr wird der Planer im Dialog mit dem System von algorithmisierbaren Tätigkeiten entlastet. Es werden dabei anhand von nachvollziehbaren und objektiven Regeln geeignete Konzepte für die Auslegung des gewünschten Montagesystems geliefert. Aspekte wie die notwendige Stückzahlausbringung, die Flexibilität von Systemstrukturen, die Wirtschaftlichkeit der Alternativen und die Mitarbeiterorientierung in Form von Sozialverträglichkeit werden berücksichtigt und bewertet. Wichtig dabei ist, dass der Bediener immer die Möglichkeit hat, die Entscheidungen des Rechners zu beeinflussen und den Gang der Bewertung nachzuvollziehen.

Eine wesentliche Herausforderung der vorliegenden Arbeit lag darin, die geplanten, mitarbeiterorientierten Montagesysteme auch mit einer entsprechend flexiblen Hardware auslegen zu können. Deshalb wurden im zweiten Schwerpunkt innovative Konzepte für ein wandlungsfähiges Montagesystem konzipiert und umgesetzt. Da in der Realität immer Differenzen zwischen der geplanten Ausbringung und der tatsächlichen Nachfrage auftreten, sind effiziente Produktionssysteme wichtige Instrumente, um den Absatzveränderungen mit hinreichender Wirtschaftlichkeit nachzukommen.

In diesem Zusammenhang wurden die Grenzen und Defizite von konventionellen, automatisierten Montagesystemen aufgezeigt, die Anforderungen und Einsatzbereiche für flexible Montagesysteme spezifiziert und die modulare, hybride Systemgestaltung als wirkungsvolle Methode zur stückzahl- und variantenflexiblen Montage hervorgehoben. In einer breit angelegten Marktuntersuchung wurden weiterhin die derzeit erhältlichen modularen Montagesysteme analysiert und in modulare Baukastensysteme, Modulsysteme und modulare Komplettsysteme klassifiziert. Der Unterschied liegt hierbei im Modularisierungsgrad der Systemkomponenten, wobei die Modulsysteme den Anforderungen eines turbulenten Absatzverhaltens am besten entsprechen. Allerdings beinhalten auch diese meist schon in der Anlaufphase der Produktion einen zu hohen Automatisierungsgrad. Dadurch besteht ein Überangebot an Kapazität, was bei geringer Auslastung zu hohen Fixkosten und damit zu einer reduzierten Wirtschaftlichkeit führt. Das Argument, der Einsatz von Mitarbeitern in der Montage am Hochlohnstandort Deutschland wäre zu kostenintensiv, konnte unter dem Gesichtspunkt der notwendigen Volumen- und Variantenflexibilität und unter Betrachtung einer erweiterten Wirtschaftlichkeitsberechnung widerlegt werden. Somit stellte sich das Prinzip der stufenweisen Erweiterung von Montagesystemen unter Einsatz motivierter Mitarbeiter als favorisierte Strategie zur Beherrschung der angepassten Automatisierung heraus. Die Realisierung derart flexibler Montagestrukturen erfordert jedoch ein durchgängiges, modulares Betriebsmittelkonzept, das eine schrittweise Anlagenerweiterung mit geringem zeitlichem und organisatorischem Aufwand gestattet. Die Steuerung der Anlage muss dementsprechend modular aufgebaut sein sowie eine Plug&Produce-Fähigkeit besitzen. Da ein derartiges System derzeit nicht existiert, wurde ein eigenes stufenweise aus- und rückbaufähiges Montagesystem realisiert. Dabei wurde besonderer Wert auf eine durchgängige Verwendung aller über die Ausbaustufen sukzessive angeschafften Komponenten gelegt. Mit dem entwickelten MAMOS-Montagesystem (Marktorientierte Montagestrukturen) lassen sich somit die bei KMU häufig auftretenden Konfigurationen von Montagesystemen in kürzester Zeit realisieren. Ausgehend von einem freistehenden Arbeitsplatz ohne jegliche Anbindung an einen Werkstücktransfer für Erprobungszwecke und dem Serienanlauf, bis hin zu einem komplexen System mit aktiven Transfer-elementen und Automatikmodulen für die Abdeckung der maximalen Stückzahl-nachfrage in der höchsten Ausbaustufe wird der angepassten Automatisierung Rechnung getragen. Durch den modularen Aufbau des Montagesystems ist ein geringer Planungsaufwand gewährleistet. Der sequenzielle Ausbau der Anlage mindert zusätzlich das Investitionsrisiko und die finanzielle Belastung beim Serienanlauf. Das realisierte Steuerungskonzept, basierend auf dezentralen, PC-basierten Steuerungseinheiten trägt aufgrund seiner Hot-Plug&Produce-Fähigkeit wesentlich zur flexiblen Systemgestaltung bei. Das erreichte Rationalisierungspotenzial durch den Einsatz des MAMOS-Montagesystems wurde in einigen Fallbeispielen anschaulich demonstriert.

Zur weiteren Effizienzsteigerung in der Montage wurde im dritten Schwerpunkt der Arbeit der Bedarf eines multimedialen Mitarbeiterinformationssystems in der variantenreichen Montage als unabdingbar erachtet. Der Betrieb eines wandlungsfähigen Montagesystems ist nur optimal möglich, wenn die motivierten und qualifizierten Mitarbeiter sinnvoll und intelligent in den Montageablauf eingebunden werden. Durch die sich verstärkt vollziehende Substitution der Serienfertigung durch eine kundenindividuelle Produktion steigt der Anteil an häufig wechselnden Arbeitsinhalten und ungeübten Tätigkeiten für die Montagemitarbeiter stetig an. Die zunehmende Komplexität in der Montage aufgrund hochintegrierter Produkte bei zunehmender Varianz und der Wandel vieler Unternehmen vom Teile- zum Systemlieferanten führt weiterhin gerade bei KMU zu einem enormen montagebezogenen Informationsbedarf auf der operativen Ebene. Um selbst bei einer Einzelfertigung die Kompetenz der Mitarbeiter auszuschöpfen, und deren Partizipation zu unterstützen, müssen die Informationen über Montagereihenfolge, Prozessparameter, produktspezifische Ausprägungen etc. aktuell, rechtzeitig und umfassend am Arbeitsplatz dargestellt werden. Die heute oftmals noch übliche papiergebundene Dokumentation birgt vielfach Nachteile wie Inkonsistenz oder Datenredundanz. Die Entwicklung und Umsetzung des multimedialen Mitarbeiterinformationssystems IM@GE+ kann hier die notwendige Abhilfe schaffen. Zur Erfassung der Anforderung an ein geeignetes Mitarbeiterinformationssystem wurden umfangreiche Analysen und Untersuchungen bei KMU durchgeführt und der Bedarf eines solchen Systems abgefragt. Neben innerbetrieblichen Abläufen wurden die Anforderungen und Wünsche von Mitarbeitern aus dem direkten Montagebereich, dem Qualitäts- und Auftragsmanagement sowie der Fertigungsplanung erfasst. Die Forderungen wurden in einem Pflichtenheft gebündelt und gewichtet. Eine Gegenüberstellung von am Markt erhältlichen Informationssystemen erbrachte in diesem Zusammenhang keinen zufrieden stellenden Deckungsgrad zwischen ermittelten Anforderungen und bisher realisierten Ansätzen. Durch IM@GE+ wird dem Montagemitarbeiter die Möglichkeit geboten, die Arbeit am Arbeitsplatz schneller, einfacher und effektiver durchzuführen. Grundlegender Bestandteil der Montageunterstützung ist hier die Bereitstellung einer Bauanleitung mit den einzelnen Montage- und Prüfschritten. Diese beinhaltet eine detaillierte Beschreibung der durchzuführenden Tätigkeiten durch aussagekräftige Bilder und Hinweistexte oder bei Bedarf durch erläuternde Videosequenzen. Zusätzlich umfasst der Funktionsumfang des Informationssystems die Erfassung und Rückmeldung qualitätsrelevanter Daten, die Möglichkeit zur Teiledisposition und die Anbindung von Barcode-Lesern, Transpondern o.ä. Datenträgern zur automatisierten Prozessparametrierung und Ergebnisdokumentation. Das System ist dabei nicht nur für die operative Montage, sondern ebenso für Einsteller und die Instandhaltung durch Visualisierung von Rüst- und Reparaturhinweisen geeignet. Die wesentlichen Vorteile der Software bestehen in der deutlichen Bedienerführung, der leichten Pflege und Konfiguration sowie den geringen Betriebskosten. Die Wirtschaftlichkeit von IM@GE+ wurde anhand eines Einsatzbeispiels in der Automobilzulieferindustrie verifiziert und nachgewiesen. Dabei wurden Einsparungspotenziale vor allem durch die Reduktion von Wege- und Verteilzeiten für Auftrags- und Montageunterlagen erzielt. Der nicht direkt monetär bewertbare Nutzen liegt in stabileren, besser beherrschbaren Montageprozessen, schlankeren Informationsstrukturen, optimierten innerbetrieblichen Abläufen und einer höheren Mitarbeitermoti-

vation durch Aufgabenerweiterung. All dies gewährleistet letztendlich einen Wettbewerbsvorteil und damit eine Steigerung des Unternehmenserfolgs.

Mit Blickrichtung auf die nahe produktionstechnische Zukunft bleibt schließlich noch festzustellen, dass zu einer nachhaltigen Effizienzsteigerung der Montage am Hochlohnstandort Deutschland sicherlich der Einsatz leistungsfähiger Planungs-, Montage-, und Informationssysteme notwendig ist, wie er in dieser Arbeit integrativ dargestellt wurde. Es wird allerdings weiterhin von entscheidender Bedeutung sein, ob und wie es den Betrieben gelingt, die Anforderungen einer maximalen Flexibilität gegenüber dem Markt mit Mitteln einer innovativen, humanzentrierten Arbeitspolitik zu beantworten. Die Mitarbeiter mit ihren kognitiven Fähigkeiten, ihre Flexibilität, Kreativität und Motivation werden mehr und mehr zum wesentlichen Produktionsfaktor einer adäquaten Bewältigung des zunehmend härteren Wettbewerbs um größere Marktanteile, schneller Innovationsumsetzung und steigende Produktivität.

Die Ergebnisse dieser Arbeit verdeutlichen, dass trotz der heutigen Anforderungen weiterhin wirtschaftlich am Standort Deutschland produziert werden kann. Eine betriebliche Rationalisierung und Beschäftigungsförderlichkeit müssen keinen Widerspruch darstellen, sondern können sich gegenseitig ergänzen.





## Literaturverzeichnis

- [1] Adams, P.; Dürrschmidt, S.: Variantenvielfalt: Bewältigung durch Integration von Konstruktion und Montageplanung. In: Reinhart, G. (Hrsg.): Montage-Management. Lösungen zum Montieren am Standort Deutschland, S. 95-106, Transfer-Centrum GmbH, München, 1998
- [2] Anlauff, W.; Gergs, H.-J.: Neue Lehr- und Lernmethoden für die Qualifizierung in der Montage. In: Feldmann et al. (Hrsg.): Montage strategisch ausrichten – Praxisbeispiele marktorientierter Prozesse und Strukturen, Springer, Berlin, 2004
- [3] Ar: RWTH Aachen (Hrsg.). AR in der Produktion – Unterstützung manueller Montagevorgänge, <http://www.arvika.de/www/d/topic5/tp4.htm>, Datei: flyer\_41c.pdf, Zugriffszeit: 24.01.2001, 15:30h MEZ, 2001
- [4] Ar: Volkswagen AG (Hrsg.). AR in der Produktion – AR-gestützte Qualitätssicherung, <http://www.arvika.de/www/d/topic5/tp4.htm>, Datei: flyer\_41b.pdf, Zugriffszeit: 24.01.2001, 15:39h MEZ, 2001
- [5] Arai, T.: Agile Assembly System by „Plug and Produce“. Annals of the CIRP, Vol. 49/1/2000, p. 1-4, 2000
- [6] Arvika: ARVIKA Home Page, <http://www.arvika.de>, Zugriffszeit: 10.08.2002, 18:27h MEZ, 2002
- [7] Aurich, J.; Ostermayer, D.; Köklü, K.: Wissensvermittlung durch E-Learning. industrie Management 19, Heft 3, S. 41-44, Gito, Berlin, 2003
- [8] Automobil Produktion: Digitale Fabrik bei DaimlerChrysler. Automobil Produktion Heft 2/2002, S. 4-10, moderne industrie, Landsberg, 2002
- [9] Automobil Produktion: Automobil Produktion, <http://www.automagazine.de/themen/00616/index.php>, Zugriffszeit: 05.12.2003, 23:30h MEZ, moderne industrie, Landsberg, 2003
- [10] Berlak, J.; Patron, C.; Weber, V.: Multimedia in der Montage. VDI-Z Integrierte Produktion 144, Heft 1-2, S. 34-35, Springer-VDI, Düsseldorf, 2002
- [11] Bernhart, W.: Beitrag zur Bewertung von Montagevarianten. Dissertation, wbk Forschungsberichte, Band 49, Karlsruhe, 1993
- [12] Bick, W.: Systematische Planung hybrider Montagesysteme unter Berücksichtigung der Ermittlung des optimalen Automatisierungsgrades. Dissertation, iwB-Forschungsbericht, Band 46, Springer, Berlin, 1992
- [13] Böhl, J.: Wissensmanagement in Klein- und mittelständischen Unternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung. Dissertation, iwB-Forschungsbericht, Band 150, Herbert Utz, München, 2001
- [14] Bullinger, H.-J.; Dungs, K.; Seidel, U.; Weller, B.: Systematische Montageplanung. Carl Hanser, München, 1986
- [15] Bullinger, H.-J.: Arbeitsplatzgestaltung: Personalorientierte Gestaltung marktgerechter Arbeitssysteme. Teubner, Wiesbaden, 1995
- [16] Bullinger, H.-J.: Der Mensch im Mittelpunkt. wt Werkstattstechnik 93, Heft 1/2, S. 1, Springer-VDI, Düsseldorf, 2003

- [17] Bussiek, J.: Informationsmanagement im Mittelstand - Erfolgspotential erkennen und nutzen, Gabler, Wiesbaden, 1998
- [18] Butala, P.; Gergs, H.-J.; Kleine, J.; Wingen, S.: Montagestudie EURAS. Ergebnisse eines internationalen Projektes. GfAH, Dortmund, 2001
- [19] Cuiper, R.: Durchgängig rechnergestützte Planung und Steuerung von automatisierten Montagevorgängen. Dissertation, iwv-Forschungsbericht, Band 143, Herbert Utz, München, 2000
- [20] David, V.; Wingen, S.; Volkholz, V.: Aufgabengestaltung und Personalentwicklung in der Serienmontage. In: Luczak, H.; Landau, K. (Hrsg.): Ergonomie und Organisation von Montageprozessen. Springer, Berlin, 2001
- [21] DE\_Software: DE Software & Control GmbH (Hrsg.). Informationssystem für die Produktion – Werker-Informationssystem (DE\_Wis). Eigenverlag, Dingolfing, 2000
- [22] Devaud, F.: Montagesysteme von morgen – im Spagat zwischen erhöhter Flexibilität und niedrigen Kosten. Tagungsband zum Fachseminar begleitend zur 19. Motek „Flexible Montagekonzepte hoher Produktivität“, 20. September, Sinsheim, 2000
- [23] Dombrowski, U.; Tiedemann, H.; Teumner, H.: Fertigung in Deutschland. wt Werkstattstechnik 93, Heft 4, S. 261-265, Springer-VDI, Düsseldorf, 2003
- [24] Deutschländer, A.: Integrierte rechnergestützte Montageplanung. Dissertation, Produktionstechnik - Berlin, Forschungsberichte für die Praxis, Band 72, Carl Hanser, München, 1989
- [25] DIN 8593: Fertigungsverfahren Fügen. Beuth, Berlin, 1985
- [26] Drechsel, T.: Produktion mit Hilfe der Simulation optimieren. wt Werkstattstechnik 93, Heft 1/2, S. 94-96, Springer-VDI, Düsseldorf, 2003
- [27] Enquete: Schlussbericht der Enquete-Kommission „Globalisierung der Weltwirtschaft – Herausforderungen und Antworten“. Deutscher Bundestag, Drucksache 14/9200, 2002
- [28] eQMsoft: 3Pro Engineering Services. <http://www.3pro.de/test/FrameSoftware.htm>, Zugriffszeit: 04.02.2002, 14:17h MEZ, 2002
- [29] eQMweb: 3Pro Engineering Services. [http://www.3pro.de/test/1eqmshow/web/eqm\\_main.htm](http://www.3pro.de/test/1eqmshow/web/eqm_main.htm), Zugriffszeit: 04.02.2002, 14:17h MEZ, 2002
- [30] Eyring: Eyring Corporation. Assembly Management System – Integrated Work Instructions for Manufacturers, <http://www.eyring.com/ams/index.html>, Zugriffszeit: 02.02.2002, 13:41h MEZ, 2002
- [31] Eversheim, W.; Neuhausen, J.; Riedel, H.; Bilsing, T.: Variantenorientierte Konzeptentwicklung. VDI-Z Integrierte Produktion 143, Heft 11/12, S. 71-73, Springer-VDI, Düsseldorf, 2001
- [32] Feldmann, C.: Eine Methode für die integrierte rechnergestützte Montageplanung. Dissertation, iwv-Forschungsbericht, Band 104, Springer, Berlin, 1997
- [33] Feldmann, K.: Anforderungen an leistungsfähige Montagelösungen im globalen Wettbewerb. Tagungsband zum 1. IIR Montage-Forum, 28./29. Juni, Stuttgart, 2000

- [34] Feldmann, K.: Skriptum zur Vorlesung „Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik II“, FAPS, Erlangen, 2002
- [35] Feldmann, K.: Der Trend geht zu modularen Systemen. Der Konstrukteur 34, Heft 12, S. S4, Verlag für Technik und Wirtschaft (vtw), Mainz, 2003
- [36] Feldmann, K.; Göhringer, J.: Assembly Process. In: Salvendy, G. (Hrsg) Handbook of Industrial Engineering, 3rd Edition, Wiley&Sons, New York, US, 2000
- [37] Feldmann, K.; Licha, A.: Rationelle Montagestrukturen mit angepasster Automatisierung. Tagungsband zum VDI-Seminar „Auslegung und Betrieb flexibler Montagesysteme“, 26./27. Juni, Fürth, 2002
- [38] Feldmann, K.; Junker, S.: Development of New Concepts and Software Tools for the Optimization of Manual Assembly Systems. Annals of the CIRP, Vol. 52/1/2003, p. 1-4, 2003
- [39] Feldmann, K.; Slama, S.: Analyse, Klassifizierung und Bewertung innovativer Montagesysteme auf der Basis einer Marktanalyse. Tagungsband zum Fachseminar begleitend zur 17. Motek „Innovative Montagekonzepte zur Standort-sicherung“, 25. September, Sinsheim, 1998
- [40] Feldmann, K.; Slama, S.: Trend zu modularen Montagesystemen – Konzepte und Ergebnisse einer Marktuntersuchung. Tagungsband zum Fachseminar begleitend zur 18. Motek „Flexible Montagekonzepte hoher Produktivität“, 23. September, Sinsheim, 1999
- [41] Feldmann, K.; Slama, S.: Modulare reaktionsfähige Montagekonzepte für die variantenreiche Montage. Tagungsband zum Fachseminar begleitend zur 19. Motek „Flexible Montagekonzepte hoher Produktivität“, 20. September, Sinsheim, 2000
- [42] Feldmann, K.; Slama, S.: Highly Flexible Assembly – Scope and Justification. Annals of the CIRP, Vol. 50/2/2001, p. 489-498, 2001
- [43] Feldmann, K.; Slama, S.: Trend in der Montagetechnik – Herausforderungen an klein- und mittelständische Unternehmen. industrie-service.de, Heft 12, S. 12-13, Verlag für Technik und Wirtschaft, Mainz, 2001
- [44] Feldmann, K.; Slama, S.: Effizienzsteigerung in der Montage durch marktorientierte Strukturen und erweiterte Mitarbeiterkompetenz. wt Werkstattstechnik 91, Heft 8, S. 483-488, Springer-VDI, Düsseldorf, 2001
- [45] Feldmann, K.; Slama, S.: Produktivitätssicherung in der Montage durch rationelle Strukturen und angepasste Automatisierung. Tagungsband zum Fachseminar begleitend zur 21. Motek „Flexible Montagekonzepte hoher Produktivität“, 24. September, Sinsheim, 2002
- [46] Feldmann, K.; Slama, S.; Junker, S.: Umfrage zu modularen Montagesystemen 2000 bei ausgewählten, repräsentativen Herstellern von Montagesystemen. Unveröffentlichte Marktstudie, Juli/August, Erlangen, 2000
- [47] Feldmann, K.; Slama, S.; Junker, S.: Mit marktorientierten Strukturen zur effizienten Montage. wt Werkstattstechnik 92, Heft 9, S. 399-403, Springer-VDI, Düsseldorf, 2002
- [48] Feldmann, K.; Slama, S.; Lang, S.: Mitarbeiterkompetenz und Selbstorganisation in der Montage mit multimedialen Informationssystemen steigern. wt

- Werkstattstechnik 92, Heft 9, S. 404-410, Springer-VDI, Düsseldorf, 2002
- [49] Fichtmüller, N.: Flexibel montieren mit hybriden Montagesystemen. In: Milberg, J.; Reinhart, G. (Hrsg.): Innovative Montagesysteme, S. 1-19, Herbert Utz, München, 1995
  - [50] Fichtmüller, N.: Rationalisierung durch flexible, hybride Montagesysteme. Dissertation, iwv-Forschungsbericht, Band 95, Springer, Berlin, 1996
  - [51] Frauenfelder, M.: Modulare Hochleistungsmontagesysteme. Tagungsband zum VDI-Seminar „Auslegung und Betrieb flexibler Montagesysteme“, 07./08. Juni, Fürth, 2000
  - [52] Ganghoff, P.: Wissensbasierte Unterstützung der Planung technischer Systeme. Dissertation, wbk Forschungsberichte, Band 50, Karlsruhe, 1993
  - [53] Gloger, H.; Wagner, H.; Wingen, S.: Qualifizierung zur Montagefachkraft – die berufsbegleitende Ausbildung „Teilezurichter“ für un- und angeleitete Beschäftigte in der Montage. In: Feldmann et al. (Hrsg.): Montage strategisch ausrichten – Praxisbeispiele marktorientierter Prozesse und Strukturen, Springer, Berlin, 2004
  - [54] Grewal, S.; Tran, P.; Bhaskare, A.: Assembly Planning Software. Annals of the CIRP, Vol. 44/1995, p. 1-6, 1995
  - [55] Grunwald, S.: Methode zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung. Dissertation, iwv-Forschungsbericht, Band 159, Herbert Utz, München, 2001
  - [56] Hechl, C.: Personalorientierte Montageplanung für komplexe und variantenreiche Produkte. Dissertation, iwv-Forschungsbericht, Band 92, Springer, Berlin, 1995
  - [57] Heger, R.: Entwicklung eines Systems zur interaktiven Gestaltung und Auswertung von manuellen Montagetätigkeiten in der virtuellen Realität. Dissertation, IPA-IAO Band 273, Springer, Berlin, 1998
  - [58] Heilala, J.; Voho, P.: Agile and reconfigurable flexible semiautomatic assembly systems, 30th International Symposium on Robotics, p. 511-516, Tokyo, Japan, 1999
  - [59] Heilala, J.; Voho, P.: Modular reconfigurable flexible final assembly systems. Assembly Automation Volume 21, Number 1, p. 20-28, MCB University Press, Bradford, UK, 2001
  - [60] Höhler, C.: Realisierung von Montageanlagen mittels Standard-Modulen. Tagungsband zum VDI-Seminar „Auslegung und Betrieb modulare Montagesysteme“, 26./27. Juni, Fürth, 2002
  - [61] Höhler, C.: Aufbau von flexiblen und modularen Montageanlagen. Tagungsband zum VDI-Seminar „Auslegung und Betrieb flexibler Montagesysteme“, 25./26. Juni, Fürth, 2003
  - [62] Hoitsch, H.-J.: Produktionswirtschaft. Grundlagen einer industriellen Betriebswirtschaftslehre. 2. Auflage, Vahlen, München, 1993
  - [63] Holle, W.: Rechnerunterstützte Montageplanung. Carl Hanser, München, 2002
  - [64] Hon, K.; Lopez-Jaquez, F.: Configuration of Manufacturing Cells for Dynamic

- Manufacturing. Annals of the CIRP, Vol. 51/1/2002, p.391, 2002
- [65] Horz, T.: Entwicklung eines stückzahl-variantenflexiblen Montagesystems für die Serienmontage. Tagungsband zum VDI-Seminar „Auslegung und Betrieb flexibler Montagesysteme“, 25./26. Juni, Fürth, 2003
  - [66] IAO: Fraunhofer-Institut für Arbeitswissenschaft und Organisation (IAO), <http://www.produktionsmanagement.iao.fhg.de/tips/index1.htm>, Zugriffszeit: 02.02. 2002, 13:42h MEZ, 2002
  - [67] IAO: Fraunhofer-Institut für Arbeitswissenschaft und Organisation (IAO), <http://www.produktionsmanagement.iao.fhg.de/tips/index1.htm>, Datei: Folienpraesentation.ppt, Zugriffszeit: 23.01.2002, 17:05h MEZ, 2002
  - [68] ifab: Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation (ifab), <http://www.ifab.uni-karlsruhe.de>, Zugriffszeit: 27.10.2003, 22:16h MEZ, 2003
  - [69] ITPlan: ITPlan Planung und Informationstechnologie GmbH, <http://www.itplan.de/german/solution/workvis/>, Zugriffszeit: 02.02.2002, 13:43h MEZ, 2002
  - [70] Jonas, C.: Konzept einer durchgängigen, rechnergestützten Planung von Montageanlagen. Dissertation, iwv-Forschungsbericht, Band 145, Herbert Utz, München, 2000
  - [71] Jovane, F.; Koren, Y.; Boër, C.: Present and Future of Flexible Automation – Towards New Paradigms. Annals of the CIRP, Vol. 52/2/2003, p.543, 2003
  - [72] Junker, S.: Wandlungsfähige, modulare Montagestrukturen für die marktorientierte Produktion. Tagungsband zum Fachseminar begleitend zur 22. Motek „Flexible Montagekonzepte für die marktorientierte Produktion“, 25. September, Sinsheim, 2003
  - [73] Kapaun, H.: Konzeption modularer Montagesysteme als Voraussetzung für Wandlungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit. In: Witte, K.W.; Vielhaber, W. (Hrsg.): Flexible und wirtschaftliche Serienmontage, Shaker, Aachen, 2003
  - [74] Kaplan, R.; Norton, D.: The Strategy-Focused Organization – How Balanced Scorecard Companies Thrive in the New Business Environment. Harvard Business Scholl Pr., 2000
  - [75] Kaup, C.: Rechnerintegrierte Fertigung in Klein- und Mittelstandsunternehmen. Heinrich Vogel, Würzburg, 1994
  - [76] Kinkel, S.; Wengel, J.; Dreher, C.: Wer Produktion ins Ausland verlagert, verschenkt Verbesserungspotentiale im Inland. VDI-Z Integrierte Produktion 139, Heft 1/2, S. 18ff, Springer-VDI, Düsseldorf, 1997
  - [77] Kinkel, S.; Lay, G.: Internationale Präsenz der deutschen Investitionsgüterindustrie. In: Mitteilungen aus der Produktionsinnovationserhebung, Nr. 16 des Fraunhofer Instituts für Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe, 2000
  - [78] Konold, P.; Reger, H.: Angewandte Montagetechnik. Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden, 1997
  - [79] Krieger, A.: Prozessmodulare Plattform für hybride Montagesysteme. Tagungsband zum Fachseminar begleitend zur 19. Motek „Flexible Montagekonzepte hoher Produktivität“, 20. September, Sinsheim, 2000

- [80] Krüger, A.: Gestaltung stückzahlflexibler Montagesysteme. In: Reinhart, G. (Hrsg.): Stückzahlflexible Montagesysteme - Lösungen für eine bedarfsge-  
rechte Montage, iwB-Seminarberichte 42, Herbert Utz, S. 1.1-1.23, 04. Febru-  
ar, München, 1999
- [81] Krüger, T.; Schimmelpfeng, K; Schöfer, A.: Beschäftigungsorientierte Rationa-  
lisierung. industrie Management 14, Heft 4, S. 13-16, Gito, Berlin, 1998
- [82] Krug, H.: Montagekonzepte für eine variantenreiche Serienmontage. Ta-  
gungsband zum 16. Deutscher Montagekongress, mi, München, 2001
- [83] Krug, S.: Verkürzte Prozessketten durch flexible Komplettmontage. Tagungs-  
band zum VDI-Seminar „Auslegung und Betrieb flexibler Montagesysteme“,  
25./26. November, Erlangen, 1997
- [84] Krug, S.: Absatzsynchrone Auslegung hybrider und automatisierter Montage-  
systeme. Tagungsband zum Fachseminar begleitend zur 16. Motek „Flexible  
Montagekonzepte hoher Produktivität“, 24. September, Sinsheim, 1997
- [85] Krug, S.: Der Mensch im Mittelpunkt innovativer und wandlungsfähiger Pro-  
duktionssysteme. Tagungsband zum Fachseminar begleitend zur 18. Motek  
„Flexible Montagekonzepte hoher Produktivität“, 21. September, Sinsheim,  
1999
- [86] Kurfess, V.: Profitable Wachstumsstrategien für Unternehmen. In: Hünenberg,  
R.; Töpfer, A. (Hrsg.): Schriftreihe „Forum Marketing“. Gabler, Wiesbaden,  
1999
- [87] Lang, S.: Knowledge@Work – Effizienzsteigerung und Optimierung in der  
Montage mit Hilfe von EDV-basierten Mitarbeiterinformationssystemen. Ta-  
gungsband zum VDI-Seminar „Auslegung und Betrieb flexibler Montagesys-  
teme“, 25./26. Juni, Fürth, 2003
- [88] Lastra, J.; Tuokko, R.: Advances on Open Architecture Control for the Robot-  
ics Industry in the Assembly Applications Field. Proceedings of the 1st Interna-  
tional CAMT Conference - Current Trends in Manufacturing  
Wroclaw, Poland, 2002
- [89] Lay, G.; Schirrmeister, E.: Sackgasse Hochautomatisierung? Praxis des Ab-  
baus von Overengineering in der Produktion. In: Mitteilungen aus der Produk-  
tionsinnovationserhebung, Nr. 22 des Fraunhofer Instituts für Systemtechnik  
und Innovationsforschung, Karlsruhe, 2001
- [90] Licha, A.: Flexible Montageautomatisierung zur Komplettmontage flächenhaf-  
ter Produktstrukturen durch kooperierende Industrieroboter. Dissertation, Band  
138, Meisenbach, Bamberg, 2003
- [91] Lien, T. K.; Rasch, F.O.: Hybrid Automatic-manual Assembly Systems. Annals  
of the CIRP, Vol. 50/1/2001, p.21, 2001
- [92] Lipowski, J.: EDV-gestützte Informationsverarbeitungssysteme zur Control-  
lingunterstützung im Mittelstand, Arbeitsbericht an der TU Chemnitz, Lehrstuhl  
BWL III: Unternehmensrechnung und Controlling, Chemnitz, 2000
- [93] Lobov, A.; Lastra, J.; Tuokko, R.: Application of VR for the Control and Pro-  
gramming of Assembly Cells – Low Cost Assembly Cell Case Study. Proceed-  
ings of the 2nd European Workshop VR'MECH, Brussels, Belgium, 2001

- [94] Loferer, M.: Rechnergestützte Gestaltung von Montagesystemen. Dissertation, iwv-Forschungsbericht, Band 162, Herbert Utz, München, 2002
- [95] Lonni: Lonni Multi-Media-Dienste, <http://www.lonni.de/mais.htm>, Zugriffszeit: 02.02.2002, 13:42h MEZ, 2002
- [96] Lotter, B.: Wirtschaftliche Montage: Ein Handbuch für Elektrogerätetechnik, Bau- und Feinwerktechnik. VDI, Düsseldorf, 1986
- [97] Lotter, B.: Wirtschaftlicher Montieren – Hybride Montagesysteme Teil 1-3. Flexible Automation, Heft 1/99, S. 26-29; Heft 2/99, S. 12-14; Heft 3/99, S. 24-26, Henrich Publikationen, Gilching, 1999
- [98] Lotter, B.: Zukunftsweisende Systeme - Wirtschaftliche Montage variantenreicher Produkte. Schweizer Maschinenmarkt 36, S. 16-18, Vogel-Medien-Gruppe, Zürich, Schweiz, 1999
- [99] Lotter, B.: Sicherung der Montage am Standort Deutschland. Abschlusspräsentation des BMBF-Verbundprojektes „HYMOS – Hybride Montage-Systeme“, 11./12. März, Lahr/Schwarzwald, 1999
- [100] Lotter, B.; Schilling, W.: Manuelle Montage. VDI, Düsseldorf, 1994
- [101] Lotter, B.; Hartel, M.; Menges, R.: Manuelle Montage wirtschaftlich gestalten. Kontakt & Studium, Band 50, Expert, Renningen-Malmsheim, 1998
- [102] Lust: Firmeninformationen der Lust Antriebstechnik GmbH, Gewerbestraße 5-9, 35633 Lahnau (<http://www.lust-tec.de>), 2001
- [103] M-AIS: Lehrstuhl für Produktionssysteme (LPS) der Ruhr-Universität Bochum, <http://www.lps.ruhr-uni-bochum.de/Forschung/Arbeitsgruppe/Projektdetails.asp?ID=2> Zugriffszeit: 24.01.2002, 15:05h MEZ, 2002
- [104] Menge, M.: Ein Beitrag zur Beherrschung der Variantenvielfalt in der auftragsbezogenen Einzel- und Kleinserienfertigung komplexer Produkte. Dissertation, Schriftreihe des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik der TU Braunschweig, Vulkan, Essen, 2001
- [105] Milberg, J.: Virtuelle Produktion – Ablaufsimulation. iwv-Seminarbericht Nr. 46, Herbert Utz, München, 1999
- [106] Müller-Spanka, G.; Wagner, K.-P.: Marktorientierte Strategieentwicklung für kleine und mittelständische Unternehmen am Beispiel der Montage. Books on demand, Norderstedt, 2003
- [107] Müller-Spanka, G.; Wagner, K.-P.: Leitlinien zur Entwicklung und Implementierung einer Montagestrategie. In: Feldmann et al. (Hrsg.): Montage strategisch ausrichten – Praxisbeispiele marktorientierter Prozesse und Strukturen, Springer, Berlin, 2004
- [108] MTS: Modular, flexibel, wirtschaftlich. Flexible Automation Heft 4/98, S. 32-33, Henrich Publikationen, Gilching, 1998
- [109] Neugebauer, J.: Montage- und Handhabungstechnik – Trends und Zukunftspotentiale. wt Werkstattstechnik 89, Heft 4, S. 155-158, Springer-VDI, Düsseldorf, 1999
- [110] Nürnberger: Mittelstand: Rückgrat unserer Wirtschaft. Nürnberger Nachrichten, 9./10. November 2002, S. 8, 2002

- [111] Olbrich, W.: Absatzsynchrone Montage mit flexiblen, hybriden Montagesystemen. Fraunhofer IPA-Technologie-Forum „Kompaktmontage - Erfolgreiche Lösungen für die Montage in Deutschland“, 9. Dezember, Stuttgart., 1999
- [112] Pape, T.; Thoresen, K.: Development of Common Systems by Prototyping. In: Bjerknes, G.; Ehn, P.; Kyng, M. (Hrsg.): Computer and Democracy. Aldershot, Avebury, UK, 1989
- [113] Porter, M. E.: The Competitive Advantage of Nations. Harvard Business Press, Boston, US, 1990
- [114] Probst, G.; Raub, S.; Romhardt, K.: Wissen managen: Wie Unternehmen ihre wertvollste Ressource optimal nutzen. Gabler, Wiesbaden, 1997
- [115] Produktion: Der Mensch bleibt das Maß aller Dinge. Produktion, Nr. 37, 11. September, moderne industrie, Landsberg, 2003
- [116] Rampersad, H.: Concurrent design of product, process and robotic assembly system. Assembly Automation, Volume 15, Number 1, p. 21-28, MCB University Press, Bradford, UK, 1995
- [117] Reason, J.: Human Error. University Press, Cambridge, US, 1990
- [118] Redeker, G.; Rummel, J.; Schöfer, A.; Wolter, C.: Schnell informiert am Arbeitsplatz. QZ 43, Heft 2, S. 179-182, Carl Hanser, München, 1998
- [119] REFA – Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisationen e.V.: Methodenlehre der Planung und Steuerung, Teil 1: Grundbegriffe. Carl Hanser, München, 1985
- [120] REFA – Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisationen e.V.: Planung und Gestaltung komplexer Produktionssysteme: Methodenlehre der Betriebsorganisation. Carl Hanser, München, 1988
- [121] REFA – Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisationen e.V.: Planung und Gestaltung komplexer Produktionssysteme. Carl Hanser, München, 1990
- [122] Reinhard, C.: Mittelstand im Internetzeitalter. Institut für Mittelstandsforschung, IfM-Materialien Band 140, Bonn, 2000
- [123] Reinhart, G.: Bedarfsorientierte Montage mit flexiblen Systemen vermeidet Überkapazitäten. Maschinenmarkt, Heft 104, S. 56-61, Vogel-Medien-Gruppe, Würzburg, 1998
- [124] Reinhart, G.: Montagesysteme. wt Werkstattstechnik 91, Heft 8, S. 472, Springer-VDI, Düsseldorf, 2001
- [125] Reinhart, G.; Dürrschmidt, S.; Krüger, A.: Stückzahlflexible Montage- und Logistiksysteme – Integrierte Planung kapazitätsflexibler Systeme. wt Werkstattstechnik 89, Heft 9, S. 413-418, Springer-VDI, Düsseldorf, 1999
- [126] Reinhart, G.; Dürrschmidt, S.; Hirschberg, A.; Selke, C.: Wandel - Bedrohung oder Chance? industrie Management 68, Heft 5, S. 20-24, Gito, Berlin, 1999
- [127] Reinhart, G.; Dürrschmidt, S.; Krüger, A.: Stückzahlflexible Montage. Tagungsband zum 15. Deutscher Montagekongress, mi, München, 1999
- [128] Reinhart, G.; Berlak, J.; Weber, V.; Spangler, T.; Ermisch, A.; Stawinoga, C.: Multimediainformationen in der Kleinserienmontage. wt Werkstattstechnik 91, Heft 12, S. 780-784, Springer-VDI, Düsseldorf, 2001



- [129] Reitmeier, S.: Aktuelle Trends bei Montage- und Transfersystemen. Tagungsband zum VDI-Seminar „Auslegung und Betrieb flexibler Montagesysteme“, 07./08. Juni, Fürth, 2000
- [130] Röhrig, M.: Rationalisierung, die Arbeitsplätze rettet. VDI nachrichten, Nr. 39, S. 10, 1. Oktober, VDI, Düsseldorf, 1999
- [131] Röhrig, M.: Variantenbeherrschung mit hochflexiblen Produktionsendstufen. Dissertation, VDI, Düsseldorf, 2002
- [132] Rössner, J.: Entwicklung von Lösungskonzepten zur Modularisierung und Flexibilisierung von Montagesystemen. In: Witte, K.W.; Vielhaber, W. (Hrsg.): Flexible und wirtschaftliche Serienmontage, Shaker, Aachen, 2003
- [133] Ross, P.: Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades von Montageprozessen in der frühen Phase der Montageplanung. Dissertation, iwv-Forschungsbericht, Band 170, Herbert Utz, München, 2002
- [134] Samulat, G.: Chancen im eigenen Land. VDI-Z Integrierte Produktion 140, Heft 7/8, S. 6, Springer-VDI, Düsseldorf, 1998
- [135] Schäfer, G.: Integrierte Informationsverarbeitung bei der Montageplanung. Dissertation, Uni Erlangen, Carl Hanser, München, 1992
- [136] Scharf, P.; Vondran, S.; Lieske, O.: Computereinsatz bei der Planung von Produktionssystemen. VDI-Z Integrierte Produktion 143, Heft 9, S. 84-85, Springer-VDI, Düsseldorf, 2001
- [137] Scherff, K.: Optimierte Handarbeitsplätze ergänzen automatische Montageanlagen, Maschinenmarkt, Heft 104, S. 50-54, Vogel-Medien-Gruppe, Würzburg, 1998
- [138] Schmauch, E.; Slama, S.: Effizienzsteigerung durch agile, stufenweise erweiterbare Montagesysteme zur Herstellung komplexer Produkte. In: Wirth et al. (Hrsg.): Montage in Deutschland – marktorientiert, rationell, flexibel. Tagungsband, München, 17./18. September, 2003
- [139] Schönherr, M.: Wissen als humanorientierter Wettbewerbsfaktor. industrie Management 14, Heft 4, S. 30-33, Gito, Berlin, 1998
- [140] Scholl, R.; Slama, S.: Multimediale Informationssysteme für Kleinserien-Montagearbeitsplätze. In: Wirth et al. (Hrsg.): Montage in Deutschland – marktorientiert, rationell, flexibel. Tagungsband, München, 17./18. September, 2003
- [141] Scholz, W.: Modell zur datenbankgestützten Planung automatisierter Montageanlagen. Dissertation, Uni Erlangen, Carl Hanser, München, 1989
- [142] Schosnig, R.: MTM-special. Informationen der Deutschen MTM-Vereinigung e.V. S. 2-3, Online-Publikation, <http://www.dmtm.com>, Zugriffszeit: 23.11.2003, 22:53h MEZ, 2003
- [143] Schulz, H.; Kluge, J.; Zielke, A.: Einfach überlegen durch Restrukturierung und Wachstum. Branchenuntersuchung Maschinenbau, McKinsey Vortragsreihe – Vorstandskonferenz, 6. Oktober, Düsseldorf, 1995
- [144] Schuster, G.: Rechnergestütztes Planungssystem für die flexible automatisierte Montage. Dissertation, iwv-Forschungsbericht, Band 55, Springer, Berlin, 1992

- [145] Schwab, C.: Neues Rationalisierungsparadigma in der Montage? wt Werkstattstechnik 91, Heft 8, S. 500-501, Springer-VDI, Düsseldorf, 2001
- [146] Seliger, G.: Montagetechnik – Schwerpunkt produktionstechnischer Unternehmensstrategie. In: Krallmann, H. (Hrsg.): CIM – Expertenwissen für die Praxis, S. 81-96, Oldenbourg, München, 1990
- [147] Siltala, N.; Tuokko, R.; Lastra, J.; Ronkainen, H.: Advances in information system integration in final assembly and packaging. Proceedings of the Automation 03, p.413-418, Helsinki, Finland, 2003
- [148] Simon, M.: Rechnergestützte Planung von Anlagen für die variantenreiche Serienmontage. Dissertation, VDI Fortschrittsberichte, Reihe 20, Nr. 146, VDI, Düsseldorf, 1994
- [149] Slama, S.: Aktuelle Marktuntersuchungen von Montagesystemen mit Analyse und Bewertung. Tagungsband zum FAPS-TT-Seminar „Planung und Betrieb rationaler Montagesysteme“, 16. März, Erlangen, 1999
- [150] Slama, S.: The importance of modularity – Batch-size flexible assembly systems. Proceedings of the FlexLink-Seminar “Product Lifecycle Management and Easier Automation”, October 29, Paterspand, Turnhout, Belgium, 2002
- [151] Slama, S.; Krug, S.: Analyse, Klassifizierung und Bewertung innovativer Montagesysteme auf der Basis einer Marktanalyse. Tagungsband zum Fachseminar begleitend zur 17. Motek „Innovative Montagekonzepte zur Standortsicherung“, 25. September, Sinsheim, 1998
- [152] Slama, S.; Bauer, S.: Planungsleitfaden zur Auslegung hybrider Montagesysteme. In: Feldmann et al. (Hrsg.): Montage strategisch ausrichten – Praxisbeispiele marktorientierter Prozesse und Strukturen, Springer, Berlin, 2004
- [153] Slama, S.; Junker, S.; Horz, T.; Schmauch, E.: Konzeption und Betrieb agiler, hybrider Montagesysteme. In: Feldmann et al. (Hrsg.): Montage strategisch ausrichten – Praxisbeispiele marktorientierter Prozesse und Strukturen, Springer, Berlin, 2004
- [154] Slama, S.; Lang, S.; Scholl, R.: Multimediale Informationssysteme für Kleinserien-Montagearbeitsplätze. In: Feldmann et al. (Hrsg.): Montage strategisch ausrichten – Praxisbeispiele marktorientierter Prozesse und Strukturen, Springer, Berlin, 2004
- [155] Spath, D.: Bevorratungsarme Montage in hybriden Montagesystemen. Tagungsband zum 15. Deutschen Montagekongress, mi, München, 1999
- [156] Spath, D.; Baumeister, M.: Hybride Montagesysteme mit absatzsynchroner Materialbereitstellung. industrie Management 16, Heft 2, S. 35-38, Gito, Berlin, 2000
- [157] Spath, D.; Baumeister, M.: Synchronisation of material flow and assembly in hybrid and modular systems. Assembly Automation Volume 21, Number 2, p. 152-157, MCB University Press, Bradford, UK, 2001
- [158] Spath, D.; Gerlach, S.: Informationen für Teams in Montage und Produktion. wt Werkstattstechnik 93, Heft 9, S. 624-626, Springer-VDI, Düsseldorf, 2003
- [159] Stein, P.: Planung von an- und auslaufflexiblen Montagesystemen mit hoher Verfügbarkeit. Tagungsband zum Fachseminar begleitend zur 19. Motek „Fle-

- xible Montagekonzepte hoher Produktivität“, 20. September, Sinsheim, 2000
- [160] Steininger, F.: Vorteile eines integrierten Informationssystems in der Produktion. Tagungsband zum Fachforum „Informations- und Kommunikationssysteme zur Förderung von Produktivität, Flexibilität und Qualität in der Montage“, 13. Juni, Aachen, 2002
- [161] Steininger, F.: Gut informiert geht's einfach besser – Mitarbeiterinformationssysteme in der Praxis. Tagungsband zum VDI-Seminar „Auslegung und Betrieb flexibler Montagesysteme“, 25./26. Juni, Fürth, 2003
- [162] Tecnomatix: Informationen der Firma Tecnomatix, <http://www.tecnomatix.de/showpage.asp?page=548>; Zugriffszeit: 03.11.2003, 21:06h MEZ, 2003
- [163] Tönshoff, H.-K.: Investitionen - jetzt? wt Werkstattstechnik 93, Heft 11, S. 723, Springer-VDI, Düsseldorf, 2003
- [164] Töpfer, A.: Entwicklungsstufen, Ergebnisse und Erfolge umgesetzter Business Excellence. In: Business Excellence – Wie Sie Wettbewerbsvorteile und Wertsteigerung erzielen, S. 27-65, Frankfurt am Main, 2002
- [165] Tuokko, R.; Lastra, J.; Delamer, I.: Implementing a Plug and Play Factory for Electronics Production. Proceedings of the International Conference on Agile Manufacturing ICAM, December 4-6, Beijing, China, 2003
- [166] VDI-IAO: Personalkosten im Visier. Studie „Personalpolitik in schwierigen Zeiten“ der VDI nachrichten und Fraunhofer-Instituts IAO, VDI nachrichten, Nr. 34 vom 22. August, S.17, VDI, Düsseldorf, 2003
- [167] VDI: Der Mittelstand wandelt sich langsam zum König Kunde – Die Bedürfnisse und Eigenheiten des Mittelstandes stehen verstärkt im Brennpunkt des Interesses. VDI nachrichten, Nr. 47, S. 37, 22. November, VDI, Düsseldorf, 2002
- [168] Vielhaber, W.: Optimierung von Montagesystemen durch planungsbegleitende Wirtschaftlichkeitsrechnung. In: Witte, K.W.; Vielhaber, W. (Hrsg.): Flexible und wirtschaftliche Serienmontage, Shaker, Aachen, 2003
- [169] Vyatkin, V.; Lastra, J.: Architectural Foundations for Controls of Reconfigurable Manufacturing Systems. Proceedings of the 3rd International Symposium on Open Control Systems - Towards Modular Self-Organizing Re-Configurable Automation Systems, September 9-10, Helsinki, Finland, 2003
- [170] Wagner, K.-P.; Müller-Spanka, G.: Das Controlling auf dem Weg ins nächste Jahrtausend – Weichenstellung durch den Einsatz strategischer Wirtschaftlichkeitsbewertung. Controller-Magazin, Heft 6, VCW, Offenburg, 2000
- [171] Walther, J.: Trends in der manuellen Montage – Ergonomiegerechte Gestaltung von Arbeitsplätzen. Fraunhofer IPA-Technologie-Forum „Kompaktmontage - Erfolgreiche Lösungen für die Montage in Deutschland“, 9. Dezember, Stuttgart, 1999
- [172] Westkämper, E.: Modulare Produkte – Modulare Montage. wt Werkstattstechnik 91, Heft 8, S. 479-482, Springer-VDI, Düsseldorf, 2001
- [173] Westkämper, E.; Mersinger, M.; Stallkamp, J.; Klumpp, B.: Einsatz von Virtual Reality für industriennahe Applikationen. wt Werkstattstechnik 91, Heft 4, S. 211-213, Springer-VDI, Düsseldorf, 2001

- [174] Wiendahl, H.-P.: Ergebnisbericht der Vordringlichen Aktion „Beschäftigungsförderliche Rationalisierung“. FZKA-PFT-Bericht Nr. 201, Karlsruhe, 1999
- [175] Wiendahl, H.-P.: Beschäftigungswirksame Produktionskonzepte. Tagungsband zum 15. Deutscher Montagekongress, mi, München, 1999
- [176] Wiendahl, H.-P.: Innovative Technologien für die volumen- und variantenreiche Montage. Tagungsband zum 1. IIR Montage-Forum, 28./29. Juni, Stuttgart, 2000
- [177] Wiendahl, H.-P.; Röhrig, M.: Employment through Rationalisation. Proceedings of the 32nd International Seminar on Manufacturing Systems, May 24-26, Leuven, Belgium, 1999
- [178] Wiendahl, H.-P.; Röhrig, M.: Technik und Mensch im Wettstreit – Im interdisziplinären Verbund wird der wahre Vorteil des Mitarbeiters in der Produktion deutlich. UNI Magazin 01/00, Hannover, 2000
- [179] Wiendahl, H.-P.; Große-Heitmeyer, V.; Röhrig, M.: Human oriented production concepts – Highest flexibility in volumes and variants. Proceedings of the 4th International Conference on Engineering Design and Automation, July 30 - August 2, Orlando Florida USA, 2000
- [180] Wirth, U.; Vielhaber, W.; Mühlenbruch, H.; Große-Heitmeyer, V. (Hrsg.): Montage in Deutschland – marktorientiert, rationell, flexibel. Tagungsband, München, 17./18. September, 2003
- [181] Witte, K.W.: Ansatzpunkte für eine zukünftige Wirtschaftlichkeitsrechnung. Tagungsband zum Fachforum „Wirtschaftliche Montage – Im Spannungsfeld zwischen Marktturbulenz und Rationalisierung“, 29. November, Leonberg, 2001
- [182] Witte, K.W.: Effektive Information und Kommunikation – Erfolgsfaktor für eine variantenreiche Montage. Tagungsband zum Fachforum „Informations- und Kommunikationssysteme zur Förderung von Produktivität, Flexibilität und Qualität in der Montage“, 13. Juni, Aachen, 2002
- [183] Zäh, M.; Patron, C.; Weber, V.: Informationstechnische Integration von Mitarbeitern in der Produktion. industrie Management 19, Heft 6, S. 13-16, Gito, Berlin, 2003
- [184] Zeile, U.: Montagestrukturplanung für variantenreiche Serienprodukte. Dissertation, IPA-Bericht, Band 207, Springer, Berlin, 1995
- [185] Zülch, G.; Müller, R.; Schiller, E.F.: Simulationsunterstützte Planung von manuellen Montagesystemen. In: Zülch, G. (Hrsg.): Neue Methoden der Montageplanung – Rechnerunterstützte Verfahren für die Praxis. Universität Karlsruhe, Eigenverlag, 1998

## Summary

The aim of this dissertation was an efficiency increase in the area of assembly due to marked-oriented structures and an extended employee competence. In order to achieve a maximum of synergy effects, an integrated approach was chosen, which considers the planning, the structure or design and the operation of flexible assembly systems. Herein, the focus was always on small and midsize enterprises (SME).

First of all the evolution of production and assembly were represented. Then the conception and realization of a computer-assisted guide for planning volume flexible, worker-oriented assembly systems occurred in the first emphasis. In addition to the basics of assembly planning, it was shown, that it is necessary to support precisely the planner already in the early planning period with a software tool. The easy-to-use structure, the fast implementation and the simple control of the functions are essential advantages of the realized planning software planAs (planningAssistant). The planner is relieved of algorithm able activities. Due to understandable and objective rules suitable design-concepts for the desired assembly system are supplied. Aspects like the necessary volume output, the flexibility of the system, the efficiency of system alternatives and the employee orientation in the form of social compatibility are considered and evaluated. In this context it is important that on the one hand the user will always have the possibility to influence the decisions of the software and on the other hand he can always follow the way of the result evaluation.

An essential challenge of the presented work was the aim to have the possibility to realize the planned flexible and employee orientated assembly systems with suitable hardware. Therefore, innovative concepts for a versatile assembly system were developed in the second emphasis. In this context, the boundaries and the deficits of conventional assembly systems were pointed out. Further on the modular, hybrid system design was emphasized as an effective method to achieve a volume and variant flexible assembly system. The argument, the assignment of employees in the area of assembly in Germany as an high-wage location would be too cost intensive, could be disproved from the viewpoint of the necessary volume and variant flexibility and by consideration of an extended efficiency calculation. Consequently, the principle of the stepwise enlargement of assembly systems in combination with the usage of motivated employees turned out to be the favored strategy for an adapted automation. With the developed MAMOS assembly system (MAMOS means market oriented assembly structures) the configurations of assembly systems often occurring or be needed in SME are realizable at shortest time. Starting from a stand-alone workstation without accessibility to a work piece transfer for the beginning of series production, up to a complex system with active transfer elements and automatic modules for the maximum lot size, the adapted automatization is considered. The modular construction of the assembly system reduces the investment risk and the financial load in the beginning of the ramp-up. The implemented control concept adds essentially to the flexible system design because of its hot plug&produce ability. The achieved rationalization potential of the MAMOS assembly system was demonstrated in case studies.

The increasing complexity in the area of assembly due to highly integrated products with an increasing variation and the change of many companies from a parts to a sys-

tem supplier leads especially within SME to an enormous assembly related demand of information on the operational level. In order to benefit from the competence of the employees, even an a single part manufacturing, and to support their participation the assembly information have to be displayed currently, punctual and comprehensive at the workstation. The development of the multimedia employee information system IM@GE+ guarantees this fact (IM@GE means online assembly information system). To achieve a suitable assembly information system, extensive analyses and investigations have been carried out. Therefore even the requests from workers, quality management, order management and production planning were considered. The demands were summarized in a target specification.

The activities in the workstation can be carried out faster, more simply and more effectively by IM@GE+. The support for the assembly area consists of a visualization of manuals with significant pictures, text or video sequences. Additional quality relevant information and return information can be recorded with IM@GE+. The part scheduling and the connection of barcode scanners, transponder etc. are also possible. In this context the system is not only suitable for the operational assembly but also for adjuster and the maintenance because of the visualization of equipping and repair references. The clear user guidance, the easy maintenance and configuration as well as the small operating costs are essential advantages of software. The efficiency of IM@GE+ was proved by a study in the car supplier industry.

Finally it has to be noted, that it is essential whether and how the enterprises can fulfill the demands of the market due to a high flexibility with means of an innovative, humane centered work politics. The employees with their cognitive abilities, their flexibility, creativity and motivation become more and more the essential factor of production. A fast realization of innovations and an increasing productivity is gainable only this way. Clarify the results of this dissertation, it can be seen that - in spite of the contemporary needs - it can be produce economically in Germany further on. A company internal rationalization and an improve of employment must represent no contradiction, but can be more a synergy.

## Lebenslauf

Stefan Max Slama  
geboren am 20. Dezember 1971 in Nürnberg  
verheiratet, ein Kind

### Ausbildung

09/1978 - 07/1982	Grundschule Wandererstraße	Nürnberg
09/1982 - 07/1991	Helene-Lange-Gymnasium	Fürth/Bay.
11/1991 - 12/1997	Studium des Maschinenbaus, Fachrichtung Fertigungstechnik Abschluss: Dipl.-Ing. (Univ.)	Friedrich-Alexander-Universität (FAU) Erlangen-Nürnberg

### Auslandsaufenthalte

05/1996 - 09/1996	Industriepraktikum	TOX-Pressotechnik INC Addison, Illinois, USA
08/2002	Gastwissenschaftler	Tampere University of Technology Tampere, Finnland

### Berufstätigkeit

01/1998 - 02/2004	Wissenschaftlicher Assistent in der Gruppe Handhabungs- und Monta- getechnik	Lehrstuhl Fertigungsautomatisie- rung und Produktionssystematik (FAPS), Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann Universität Erlangen-Nürnberg
10/2000 - 12/2003	Oberingenieur und Gruppenleiter des Lehrstuhlbereichs Handha- bungs- und Montagetechnik	
seit 03/2004	Leiter Sonderprojekte und Assistent der Werksleitung	SUSPA Holding GmbH Altdorf b. Nürnberg





# Reihe Fertigungstechnik - Erlangen

[www.mb.uni-erlangen.de/diss](http://www.mb.uni-erlangen.de/diss)

**Band 1 - 52**

**Carl Hanser Verlag, München**

**ab Band 53**

**Meisenbach Verlag, Bamberg**

**45,-- Euro**

**Band 1: Andreas Hemberger**

**Innovationspotentiale in der rechnerintegrierten Produktion  
durch wissensbasierte Systeme**

208 Seiten, 107 Bilder. 1988.

**Band 2: Detlef Classe**

**Beitrag zur Steigerung der Flexibilität automatisierter Montagesysteme  
durch Sensorintegration und erweiterte Steuerungskonzepte**

194 Seiten, 70 Bilder. 1988.

**Band 3: Friedrich-Wilhelm Nolting**

**Projektiertung von Montagesystemen**

201 Seiten, 107 Bilder, 1 Tabelle. 1989.

**Band 4: Karsten Schlüter**

**Nutzungsgradsteigerung von Montagesystemen  
durch den Einsatz der Simulationstechnik**

177 Seiten, 97 Bilder. 1989.

**Band 5: Shir-Kuan Lin**

**Aufbau von Modellen zur Lageregelung von Industrierobotern**

168 Seiten, 46 Bilder. 1989.

**Band 6: Rudolf Nuss**

**Untersuchungen zur Bearbeitungsqualität  
im Fertigungssystem Laserstrahlschneiden**

206 Seiten, 115 Bilder, 6 Tabellen. 1989.

**Band 7: Wolfgang Scholz**

**Modell zur datenbankgestützten Planung  
automatisierter Montageanlagen**

194 Seiten, 89 Bilder. 1989.

**Band 8: Hans-Jürgen Wißmeier**

**Beitrag zur Beurteilung des Bruchverhaltens  
von Hartmetall-Fließpreßmatrizen**

179 Seiten, 99 Bilder, 9 Tabellen. 1989.

**Band 9: Rainer Eisele**

**Konzeption und Wirtschaftlichkeit  
von Planungssystemen in der Produktion**

183 Seiten, 86 Bilder. 1990.

**Band 10: Rolf Pfeiffer**

**Technologisch orientierte Montageplanung  
am Beispiel der Schraubtechnik**

216 Seiten, 102 Bilder, 16 Tabellen. 1990.

**Band 11: Herbert Fischer**

**Verteilte Planungssysteme zur Flexibilitätssteigerung  
der rechnerintegrierten Teilefertigung**

201 Seiten, 82 Bilder. 1990.

- Band 12: Gerhard Kleineidam  
**CAD/CAP: Rechnergestützte Montagefeinplanung**  
 203 Seiten, 107 Bilder. 1990.
- Band 13: Frank Vollertsen  
**Pulvermetallurgische Verarbeitung  
 eines übereutektoiden verschleißfesten Stahls**  
 XIII u. 217 Seiten, 67 Bilder, 34 Tabellen. 1990.
- Band 14: Stephan Biermann  
**Untersuchungen zur Anlagen- und Prozeßdiagnostik  
 für das Schneiden mit CO<sub>2</sub>-Hochleistungslasern**  
 VIII u. 170 Seiten, 93 Bilder, 4 Tabellen. 1991.
- Band 15: Uwe Geißler  
**Material- und Datenfluß  
 in einer flexiblen Blechbearbeitungszelle**  
 124 Seiten, 41 Bilder, 7 Tabellen. 1991.
- Band 16: Frank Oswald Hake  
**Entwicklung eines rechnergestützten Diagnosesystems  
 für automatisierte Montagezellen**  
 XIV u. 166 Seiten, 77 Bilder. 1991.
- Band 17: Herbert Reichel  
**Optimierung der Werkzeugbereitstellung  
 durch rechnergestützte Arbeitsfolgenbestimmung**  
 198 Seiten, 73 Bilder, 2 Tabellen. 1991.
- Band 18: Josef Scheller  
**Modellierung und Einsatz von Softwaresystemen  
 für rechnergeführte Montagezellen**  
 198 Seiten, 65 Bilder. 1991.
- Band 19: Arnold vom Ende  
**Untersuchungen zum Biegeumformen mit elastischer Matrize**  
 166 Seiten, 55 Bilder, 13 Tabellen. 1991.
- Band 20: Joachim Schmid  
**Beitrag zum automatisierten Bearbeiten  
 von Keramikguß mit Industrierobotern**  
 XIV u. 176 Seiten, 111 Bilder, 6 Tabellen. 1991.
- Band 21: Egon Sommer  
**Multiprozessorsteuerung für kooperierende  
 Industrieroboter in Montagezellen**  
 188 Seiten, 102 Bilder. 1991.
- Band 22: Georg Geyer  
**Entwicklung problemspezifischer Verfahrensketten  
 in der Montage**  
 192 Seiten, 112 Bilder. 1991.
- Band 23: Rainer Flohr  
**Beitrag zur optimalen Verbindungstechnik  
 in der Oberflächenmontage (SMT)**  
 186 Seiten, 79 Bilder. 1991.
- Band 24: Alfons Rief  
**Untersuchungen zur Verfahrensfolge Laserstrahlschneiden  
 und -schweißen in der Rohkarosseriefertigung**  
 VI u. 145 Seiten, 58 Bilder, 5 Tabellen. 1991.
- Band 25: Christoph Thim  
**Rechnerunterstützte Optimierung von Materialflußstrukturen  
 in der Elektronikmontage durch Simulation**  
 188 Seiten, 74 Bilder. 1992.
- Band 26: Roland Müller  
**CO<sub>2</sub>-Laserstrahlschneiden  
 von kurzglasverstärkten Verbundwerkstoffen**  
 141 Seiten, 107 Bilder, 4 Tabellen. 1992.
- Band 27: Günther Schäfer  
**Integrierte Informationsverarbeitung bei der Montageplanung**  
 195 Seiten, 76 Bilder. 1992.

Band 28: Martin Hoffmann  
**Entwicklung einer CAD/CAM-Prozeßkette  
für die Herstellung von Blechbiegeteilen**  
149 Seiten, 89 Bilder. 1992.

Band 29: Peter Hoffmann  
**Verfahrensfolge Laserstrahlschneiden und -schweißen :  
Prozeßführung und Systemtechnik in der 3D-Laserstrahlbearbeitung  
von Blechformteilen**  
186 Seiten, 92 Bilder, 10 Tabellen. 1992.

Band 30: Olaf Schrödel  
**Flexible Werkstattsteuerung mit objektorientierten Softwarestrukturen**  
180 Seiten, 84 Bilder. 1992.

Band 31: Hubert Reinisch  
**Planungs- und Steuerungswerkzeuge  
zur impliziten Geräteprogrammierung in Roboterzellen**  
XI u. 212 Seiten, 112 Bilder. 1992.

Band 32: Brigitte Bärnreuther  
**Ein Beitrag zur Bewertung des Kommunikationsverhaltens  
von Automatisierungsgeräten in flexiblen Produktionszellen**  
XI u. 179 Seiten, 71 Bilder. 1992.

Band 33: Joachim Hutfless  
**Laserstrahlregelung und Optikiagnostik  
in der Strahlführung einer CO<sub>2</sub>-Hochleistungslaseranlage**  
175 Seiten, 70 Bilder, 17 Tabellen. 1993.

Band 34: Uwe Günzel  
**Entwicklung und Einsatz eines Simulationsverfahrens für operative  
und strategische Probleme der Produktionsplanung und -steuerung**  
XIV u. 170 Seiten, 66 Bilder, 5 Tabellen. 1993.

Band 35: Bertram Ehmann  
**Operatives Fertigungscontrolling durch Optimierung  
auftragsbezogener Bearbeitungsabläufe in der Elektronikfertigung**  
XV u. 167 Seiten, 114 Bilder. 1993.

Band 36: Harald Kolléra  
**Entwicklung eines benutzerorientierten Werkstattprogrammiersystems  
für das Laserstrahlschneiden**  
129 Seiten, 66 Bilder, 1 Tabelle. 1993.

Band 37: Stephanie Abels  
**Modellierung und Optimierung von Montageanlagen  
in einem integrierten Simulationssystem**  
188 Seiten, 88 Bilder. 1993.

Band 38: Robert Schmidt-Hebbel  
**Laserstrahlbohren durchflußbestimmender Durchgangslöcher**  
145 Seiten, 63 Bilder, 11 Tabellen. 1993.

Band 39: Norbert Lutz  
**Oberflächenfeinbearbeitung keramischer Werkstoffe  
mit XeCl-Excimerlaserstrahlung**  
187 Seiten, 98 Bilder, 29 Tabellen. 1994.

Band 40: Konrad Gramp  
**Rechnerunterstützung bei Test und Schulung  
an Steuerungssoftware von SMD-Bestücklinien**  
178 Seiten, 88 Bilder. 1995.

Band 41: Martin Koch  
**Wissensbasierte Unterstützung der Angebotsbearbeitung  
in der Investitionsgüterindustrie**  
169 Seiten, 68 Bilder. 1995.

Band 42: Armin Gropp  
**Anlagen- und Prozeßdiagnostik  
beim Schneiden mit einem gepulsten Nd:YAG-Laser**  
160 Seiten, 88 Bilder, 7 Tabellen. 1995.

Band 43: Werner Heckel  
**Optische 3D-Konturerfassung und on-line Biegewinkelmessung  
mit dem Lichtschnittverfahren**  
149 Seiten, 43 Bilder, 11 Tabellen. 1995.

Band 44: Armin Rothhaupt  
**Modulares Planungssystem  
zur Optimierung der Elektronikfertigung**  
180 Seiten, 101 Bilder. 1995.

Band 45: Bernd Zöllner  
**Adaptive Diagnose in der Elektronikproduktion**  
195 Seiten, 74 Bilder, 3 Tabellen. 1995.

Band 46: Bodo Vormann  
**Beitrag zur automatisierten Handhabungsplanung  
komplexer Blechbiegeteile**  
126 Seiten, 89 Bilder, 3 Tabellen. 1995.

Band 47: Peter Schnepf  
**Zielkostenorientierte Montageplanung**  
144 Seiten, 75 Bilder. 1995.

Band 48: Rainer Klotzbücher  
**Konzept zur rechnerintegrierten Materialversorgung  
in flexiblen Fertigungssystemen**  
156 Seiten, 62 Bilder. 1995.

Band 49: Wolfgang Greska  
**Wissensbasierte Analyse und Klassifizierung von Blechteilen**  
144 Seiten, 96 Bilder. 1995.

Band 50: Jörg Franke  
**Integrierte Entwicklung neuer Produkt- und Produktionstechnologien  
für räumliche spritzgegossene Schaltungsträger (3-D MID)**  
196 Seiten, 86 Bilder, 4 Tabellen. 1995.

Band 51: Franz-Josef Zeller  
**Sensorplanung und schnelle Sensorregelung für Industrieroboter**  
190 Seiten, 102 Bilder, 9 Tabellen. 1995.

Band 52: Michael Solvie  
**Zeitbehandlung und Multimedia-Unterstützung  
in Feldkommunikationssystemen**  
200 Seiten, 87 Bilder, 35 Tabellen. 1996.

Band 53: Robert Hopperdietzel  
**Reengineering in der Elektro- und Elektronikindustrie**  
180 Seiten, 109 Bilder, 1 Tabelle. 1996.  
ISBN 3-87525-070-2

Band 54: Thomas Rebhan  
**Beitrag zur Mikromaterialbearbeitung mit Excimerlasern –  
Systemkomponenten und Verfahrensoptimierungen**  
148 Seiten, 61 Bilder, 10 Tabellen. 1996.  
ISBN 3-87525-075-3

Band 55: Henning Hanebuth  
**Laserstrahlhartlöten mit Zweistrahltechnik**  
157 Seiten, 58 Bilder, 11 Tabellen. 1996.  
ISBN 3-87525-074-5

Band 56: Uwe Schönherr  
**Steuerung und Sensordatenintegration für flexible Fertigungszellen  
mit kooperierenden Robotern**  
188 Seiten, 116 Bilder, 3 Tabellen. 1996.  
ISBN 3-87525-076-1

Band 57: Stefan Holzer  
**Berührungslose Formgebung mit Laserstrahlung**  
162 Seiten, 69 Bilder, 11 Tabellen. 1996.  
ISBN 3-87525-079-6

Band 58: Markus Schultz  
**Fertigungsqualität beim 3D–Laserstrahlschweißen  
von Blechformteilen**  
165 Seiten, 88 Bilder, 9 Tabellen. 1997.  
ISBN 3-87525-080-X

Band 59: Thomas Krebs  
**Integration elektromechanischer CA–Anwendungen  
über einem STEP–Produktmodell**  
198 Seiten, 58 Bilder, 8 Tabellen. 1997.  
ISBN 3-87525-081-8

Band 60: Jürgen Sturm  
**Prozeßintegrierte Qualitätssicherung  
in der Elektronikproduktion**  
167 Seiten, 112 Bilder, 5 Tabellen. 1997.  
ISBN 3-87525-082-6

Band 61: Andreas Brand  
**Prozesse und Systeme zur Bestückung  
räumlicher elektronischer Baugruppen (3D-MID)**  
182 Seiten, 100 Bilder. 1997.  
ISBN 3-87525-087-7

Band 62: Michael Kauf  
**Regelung der Laserstrahlleistung und der Fokusparameter  
einer CO<sub>2</sub>-Hochleistungslaseranlage**  
140 Seiten, 70 Bilder, 5 Tabellen. 1997.  
ISBN 3-87525-083-4

Band 63: Peter Steinwässer  
**Modulares Informationsmanagement  
in der integrierten Produkt– und Prozeßplanung**  
190 Seiten, 87 Bilder. 1997.  
ISBN 3-87525-084-2

Band 64: Georg Liedl  
**Integriertes Automatisierungskonzept  
für den flexiblen Materialfluß in der Elektronikproduktion**  
196 Seiten, 96 Bilder, 3 Tabellen. 1997.  
ISBN 3-87525-086-9

Band 65: Andreas Otto  
**Transiente Prozesse beim Laserstrahlschweißen**  
132 Seiten, 62 Bilder, 1 Tabelle. 1997.  
ISBN 3-87525-089-3

Band 66: Wolfgang Blöchl  
**Erweiterte Informationsbereitstellung an offenen CNC–Steuerungen  
zur Prozeß– und Programmoptimierung**  
168 Seiten, 96 Bilder. 1997.  
ISBN 3-87525-091-5

Band 67: Klaus–Uwe Wolf  
**Verbesserte Prozeßführung und Prozeßplanung  
zur Leistungs– und Qualitätssteigerung beim Spulenwickeln**  
186 Seiten, 125 Bilder. 1997.  
ISBN 3-87525-092-3

Band 68: Frank Backes  
**Technologieorientierte Bahnplanung für die 3D–Laserstrahlbearbeitung**  
138 Seiten, 71 Bilder, 2 Tabellen. 1997.  
ISBN 3-87525-093-1

Band 69: Jürgen Kraus  
**Laserstrahlumformen von Profilen**  
137 Seiten, 72 Bilder, 8 Tabellen. 1997.  
ISBN 3-87525-094-X

Band 70: Norbert Neubauer  
**Adaptive Strahlführungen für CO<sub>2</sub>-Laseranlagen**  
120 Seiten, 50 Bilder, 3 Tabellen. 1997.  
ISBN 3-87525-095-8

Band 71: Michael Steber  
**Prozeßoptimierter Betrieb flexibler Schraubstationen  
in der automatisierten Montage**  
168 Seiten, 78 Bilder, 3 Tabellen. 1997.  
ISBN 3-87525-096-6

Band 72: Markus Pfestorf  
**Funktionale 3D-Oberflächenkenngrößen in der Umformtechnik**  
162 Seiten, 84 Bilder, 15 Tabellen. 1997.  
ISBN 3-87525-097-4

Band 73: Volker Franke  
**Integrierte Planung und Konstruktion  
von Werkzeugen für die Biegebearbeitung**  
143 Seiten, 81 Bilder. 1998.  
ISBN 3-87525-098-2

Band 74: Herbert Scheller  
**Automatisierte Demontagesysteme und recyclinggerechte  
Produktgestaltung elektronischer Baugruppen**  
– Werkstoffverhalten, Wirkflächenreibung, Prozeßauslegung  
184 Seiten, 104 Bilder, 17 Tabellen. 1998.  
ISBN 3-87525-099-0

Band 75: Arthur Meßner  
**Kaltmassivumformung metallischer Kleinstteile**  
– Werkstoffverhalten, Wirkflächenreibung, Prozeßauslegung  
164 Seiten, 92 Bilder, 14 Tabellen. 1998.  
ISBN 3-87525-100-8

Band 76: Mathias Glasmacher  
**Prozeß- und Systemtechnik zum Laserstrahl-Mikroschweißen**  
184 Seiten, 104 Bilder, 12 Tabellen. 1998.  
ISBN 3-87525-101-6

Band 77: Michael Schwind  
**Zerstörungsfreie Ermittlung mechanischer Eigenschaften  
von Feinblechen mit dem Wirbelstromverfahren**  
124 Seiten, 68 Bilder, 8 Tabellen. 1998.  
ISBN 3-87525-102-4

Band 78: Manfred Gerhard  
**Qualitätssteigerung in der Elektronikproduktion durch Optimierung  
der Prozeßführung beim Löten komplexer Baugruppen**  
179 Seiten, 113 Bilder, 7 Tabellen. 1998.  
ISBN 3-87525-103-2

Band 79: Elke Rauh  
**Methodische Einbindung der Simulation  
in die betrieblichen Planungs- und Entscheidungsabläufe**  
192 Seiten, 114 Bilder, 4 Tabellen. 1998.  
ISBN 3-87525-104-0

Band 80: Sorin Niederkorn  
**Meßeinrichtung zur Untersuchung der Wirkflächenreibung  
bei umformtechnischen Prozessen**  
99 Seiten, 46 Bilder, 6 Tabellen. 1998.  
ISBN 3-87525-105-9

Band 81: Stefan Schuberth  
**Regelung der Fokuslage beim Schweißen mit CO<sub>2</sub>-Hochleistungslasern  
unter Einsatz von adaptiven Optiken**  
140 Seiten, 64 Bilder, 3 Tabellen. 1998.  
ISBN 3-87525-106-7

Band 82: Armando Walter Colombo  
**Development and Implementation of Hierarchical Control Structures  
of Flexible Production Systems Using High Level Petri Nets**  
216 Seiten, 86 Bilder. 1998.  
ISBN 3-87525-109-1

Band 83: Otto Meedt  
**Effizienzsteigerung bei Demontage und Recycling  
durch flexible Demontagetechnologien und optimierte Produktgestaltung**  
186 Seiten, 103 Bilder. 1998.  
ISBN 3-87525-108-3

- Band 84: Knuth Götz  
**Modelle und effiziente Modellbildung zur Qualitätssicherung in der Elektronikproduktion**  
 212 Seiten, 129 Bilder, 24 Tabellen. 1998.  
 ISBN 3-87525-112-1
- Band 85: Ralf Luchs  
**Einsatzmöglichkeiten leitender Klebstoffe zur zuverlässigen Kontaktierung elektronischer Bauelemente in der SMT**  
 176 Seiten, 126 Bilder, 30 Tabellen. 1998.  
 ISBN 3-87525-113-7
- Band 86: Frank Pöhlau  
**Entscheidungsgrundlagen zur Einführung räumlicher spritzgegossener Schaltungsträger (3-D MID)**  
 144 Seiten, 99 Bilder. 1999.  
 ISBN 3-87525-114-8
- Band 87: Roland T. A. Kals  
**Fundamentals on the miniaturization of sheet metal working processes**  
 128 Seiten, 58 Bilder, 11 Tabellen. 1999.  
 ISBN 3-87525-115-6
- Band 88: Gerhard Luhn  
**Implizites Wissen und technisches Handeln am Beispiel der Elektronikproduktion**  
 252 Seiten, 61 Bilder, 1 Tabelle. 1999.  
 ISBN 3-87525-116-4
- Band 89: Axel Sprenger  
**Adaptives Streckbiegen von Aluminium-Strangpreßprofilen**  
 114 Seiten, 63 Bilder, 4 Tabellen. 1999.  
 ISBN 3-87525-117-2
- Band 90: Hans-Jörg Pucher  
**Untersuchungen zur Prozeßfolge Umformen, Bestücken und Laserstrahllöten von Mikrokontakten**  
 158 Seiten, 69 Bilder, 9 Tabellen. 1999.  
 ISBN 3-87525-119-9
- Band 91: Horst Arnet  
**Profilbiegen mit kinematischer Gestalterzeugung**  
 128 Seiten, 67 Bilder, 7 Tabellen. 1999.  
 ISBN 3-87525-120-2
- Band 92: Doris Schubart  
**Prozeßmodellierung und Technologieentwicklung beim Abtragen mit CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung**  
 133 Seiten, 57 Bilder, 13 Tabellen. 1999.  
 ISBN 3-87525-122-9
- Band 93: Adrianus L. P. Coremans  
**Laserstrahlsintern von Metallpulver – Prozeßmodellierung, Systemtechnik, Eigenschaften laserstrahlgesinterter Metalkörper**  
 184 Seiten, 108 Bilder, 12 Tabellen. 1999.  
 ISBN 3-87525-124-5
- Band 94: Hans-Martin Biehler  
**Optimierungskonzepte für Qualitätsdatenverarbeitung und Informationsbereitstellung in der Elektronikfertigung**  
 194 Seiten, 105 Bilder. 1999.  
 ISBN 3-87525-126-1
- Band 95: Wolfgang Becker  
**Oberflächenausbildung und tribologische Eigenschaften excimerlaserstrahlbearbeiteter Hochleistungskeramiken**  
 175 Seiten, 71 Bilder, 3 Tabellen. 1999.  
 ISBN 3-87525-127-X
- Band 96: Philipp Hein  
**Innenhochdruck-Umformen von Blechpaaren: Modellierung, Prozeßauslegung und Prozeßführung**  
 129 Seiten, 57 Bilder, 7 Tabellen. 1999.  
 ISBN 3-87525-128-8

Band 97: Gunter Beitinger  
**Herstellungs- und Prüfverfahren  
für thermoplastische Schaltungsträger**  
169 Seiten, 92 Bilder, 20 Tabellen. 1999.  
ISBN 3-87525-129-6

Band 98: Jürgen Knoblach  
**Beitrag zur rechnerunterstützten verursachungsgerechten Angebotskalkulation von  
Blechteilen mit Hilfe wissensbasierter Methoden**  
155 Seiten, 53 Bilder, 26 Tabellen. 1999.  
ISBN 3-87525-130-X

Band 99: Frank Breitenbach  
**Bildverarbeitungssystem zur Erfassung der Anschlußgeometrie  
elektronischer SMT-Bauelemente**  
147 Seiten, 92 Bilder, 12 Tabellen. 2000.  
ISBN 3-87525-131-8

Band 100: Bernd Falk  
**Simulationsbasierte Lebensdauervorhersage  
für Werkzeuge der Kaltmassivumformung**  
134 Seiten, 44 Bilder, 15 Tabellen. 2000.  
ISBN 3-87525-136-9

Band 101: Wolfgang Schlögl  
**Integriertes Simulationsdaten-Management  
für Maschinenentwicklung und Anlagenplanung**  
169 Seiten, 101 Bilder, 20 Tabellen. 2000.  
ISBN 3-87525-137-7

Band 102: Christian Hinsel  
**Ermüdungsbruchversagen hartstoffbeschichteter  
Werkzeugstähle in der Kaltmassivumformung**  
130 Seiten, 80 Bilder, 14 Tabellen. 2000.  
ISBN 3-87525-138-5

Band 103: Stefan Bobbert  
**Simulationsgestützte Prozessauslegung  
für das Innenhochdruck-Umformen von Blechpaaren**  
123 Seiten, 77 Bilder. 2000.  
ISBN 3-87525-145-8

Band 104: Harald Rottbauer  
**Modulares Planungswerkzeug  
zum Produktionsmanagement in der Elektronikproduktion**  
166 Seiten, 106 Bilder. 2001.  
ISBN 3-87525-139-3

Band 105: Thomas Hennige  
**Flexible Formgebung von Blechen durch Laserstrahlumformen**  
119 Seiten, 50 Bilder. 2001.  
ISBN 3-87525-140-7

Band 106: Thomas Menzel  
**Wissensbasierte Methoden für die rechnergestützte Charakterisierung  
und Bewertung innovativer Fertigungsprozesse**  
152 Seiten, 71 Bilder. 2001.  
ISBN 3-87525-142-3

Band 107: Thomas Stöckel  
**Kommunikationstechnische Integration der Prozeßebe-  
ne in Produktionssysteme durch Middleware-Frameworks**  
147 Seiten, 5 Bilder, 5 Tabellen. 2001.  
ISBN 3-87525-143-1

Band 108: Frank Pitter  
**Verfügbarkeitssteigerung von Werkzeugmaschinen  
durch Einsatz mechatronischer Sensorlösungen**  
158 Seiten, 131 Bilder, 8 Tabellen. 2001.  
ISBN 3-87525-144-X

Band 109: Markus Korneli  
**Integration lokaler CAP-Systeme  
in einen globalen Fertigungsdatenverbund**  
121 Seiten, 53 Bilder, 11 Tabellen. 2001.  
ISBN 3-87525-146-6



Band 110: Burkhard Müller  
**Laserstrahljustieren mit Excimer-Lasern – Prozeßparameter und Modelle zur Aktorkonstruktion**  
128 Seiten, 36 Bilder, 9 Tabellen. 2001  
ISBN 3-87525-159-8

Band 111: Jürgen Göhringer  
**Integrierte Telediagnose via Internet zum effizienten Service von Produktionssystemen**  
178 Seiten, 98 Bilder, 5 Tabellen. 2001.  
ISBN 3-87525-147-4

Band 112: Robert Feuerstein  
**Qualitäts- und kosteneffiziente Integration neuer Bauelementetechnologien in die Flachbaugruppenfertigung**  
161 Seiten, 99 Bilder, 10 Tabellen. 2001.  
ISBN 3-87525-151-2

Band 113: Marcus Reichenberger  
**Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten alternativer Elektroniklote in der Oberflächenmontage (SMT)**  
165 Seiten, 97 Bilder, 18 Tabellen. 2001.  
ISBN 3-87525-152-0

Band 114: Alexander Huber  
**Justieren vormontierter Systeme mit dem Nd:YAG-Laser unter Einsatz von Aktoren**  
122 Seiten, 58 Bilder, 5 Tabellen. 2001.  
ISBN 3-87525-153-9

Band 115: Sami Krimi  
**Analyse und Optimierung von Montagesystemen in der Elektronikproduktion**  
155 Seiten, 88 Bilder, 3 Tabellen. 2001.  
ISBN 3-87525-157-1

Band 116: Marion Merklein  
**Laserstrahlumformen von Aluminiumwerkstoffen - Beeinflussung der Mikrostruktur und der mechanischen Eigenschaften**  
122 Seiten, 65 Bilder, 15 Tabellen. 2001.  
ISBN 3-87525-156-3

Band 117: Thomas Collisi  
**Ein informationslogistisches Architekturkonzept zur Akquisition simulationsrelevanter Daten**  
181 Seiten, 105 Bilder, 7 Tabellen. 2002.  
ISBN 3-87525-164-4

Band 118: Markus Koch  
**Rationalisierung und ergonomische Optimierung im Innenausbau durch den Einsatz moderner Automatisierungstechnik**  
176 Seiten, 98 Bilder, 9 Tabellen. 2002.  
ISBN 3-87525-165-2

Band 119: Michael Schmidt  
**Prozeßregelung für das Laserstrahl-Punktschweißen in der Elektronikproduktion**  
152 Seiten, 71 Bilder, 3 Tabellen. 2002.  
ISBN 3-87525-166-0

Band 120: Nicolas Tiesler  
**Grundlegende Untersuchungen zum Fließpressen metallischer Kleinstteile**  
126 Seiten, 78 Bilder, 12 Tabellen. 2002.  
ISBN 3-87525-175-X

Band 121: Lars Pursche  
**Methoden zur technologieorientierten Programmierung für die 3D-Lasermikrobearbeitung**  
111 Seiten, 39 Bilder, 0 Tabellen. 2002.  
ISBN 3-87525-183-0

Band 122: Jan-Oliver Brassel  
**Prozeßkontrolle beim Laserstrahl-Mikroschweißen**  
148 Seiten, 72 Bilder, 12 Tabellen. 2002.  
ISBN 3-87525-181-4

Band 123: Mark Geisel  
**Prozeßkontrolle und –steuerung beim Laserstrahlschweißen  
mit den Methoden der nichtlinearen Dynamik**  
135 Seiten, 46 Bilder, 2 Tabellen. 2002.  
ISBN 3-87525-180-6

Band 124: Gerd Eßer  
**Laserstrahlunterstützte Erzeugung metallischer Leiterstrukturen auf  
Thermoplastsubstraten für die MID-Technik**  
148 Seiten, 60 Bilder, 6 Tabellen. 2002.  
ISBN 3-87525-171-7

Band 125: Marc Fleckenstein  
**Qualität laserstrahl-gefügter Mikroverbindungen  
elektronischer Kontakte**  
159 Seiten, 77 Bilder, 7 Tabellen. 2002.  
ISBN 3-87525-170-9

Band 126: Stefan Kaufmann  
**Grundlegende Untersuchungen zum Nd:YAG- Laserstrahlfügen  
von Silizium für Komponenten der Optoelektronik**  
159 Seiten, 100 Bilder, 6 Tabellen. 2002.  
ISBN 3-87525-172-5

Band 127: Thomas Fröhlich  
**Simultanes Löten von Anschlußkontakten elektronischer Bauelemente  
mit Diodenlaserstrahlung**  
143 Seiten, 75 Bilder, 6 Tabellen. 2002.  
ISBN 3-87525-186-5

Band 128: Achim Hofmann  
**Erweiterung der Formgebungsgrenzen beim Umformen von  
Aluminiumwerkstoffen durch den Einsatz prozessangepasster Platinen**  
113 Seiten, 58 Bilder, 4 Tabellen  
ISBN 3-87525-182-2

Band 129: Ingo Kriebitzsch  
**3 - D MID Technologie in der Automobilelektronik**  
129 Seiten, 102 Bilder, 10 Tabellen. 2002.  
ISBN 3-87525-169-5

Band 130: Thomas Pohl  
**Fertigungsqualität und Umformbarkeit laserstrahlgeschweißter  
Formplatinen aus Aluminiumlegierungen**  
133 Seiten, 93 Bilder, 12 Tabellen. 2002  
ISBN 3-87525-173-3

Band 131: Matthias Wenk  
**Entwicklung eines konfigurierbaren Steuerungssystems für die  
flexible Sensorführung von Industrierobotern**  
167 Seiten, 85 Bilder, 1 Tabelle. 2002.  
ISBN 3-87525-174-1

Band 132: Matthias Negenandack  
**Neue Sensorik und Aktorik für Bearbeitungsköpfe  
zum Laserstrahlschweißen**  
116 Seiten, 60 Bilder, 14 Tabellen  
ISBN 3-87525-184-9

Band 133: Oliver Kreis  
**Integrierte Fertigung –  
Verfahrensintegration durch Innenhochdruck-Umformen, Trennen und  
Laserstrahlschweißen in einem Werkzeug sowie ihre tele- und multimediale Präsentation**  
167 Seiten, 90 Bilder, 43 Tabellen  
ISBN 3-87525-176-8

Band 134: Stefan Trautner  
**Technische Umsetzung produktbezogener Instrumente der  
Umweltpolitik bei Elektro- und Elektronikgeräten**  
179 Seiten, 92 Bilder, 11 Tabellen. 2002.  
ISBN 3-87525-177-6

Band 135: Roland Meier

**Strategien für einen produktorientierten Einsatz räumlicher  
spritzgegossener Schaltungsträger (3-D MID)**

155 Seiten, 88 Bilder, 14 Tabellen. 2002.

ISBN 3-87525-178-4

Band 136: Jürgen Wunderlich

**Kostensimulation – Simulationsbasierte Wirtschaftlichkeitsregelung  
komplexer Produktionssysteme**

202 Seiten, 119 Bilder, 17 Tabellen. 2002.

ISBN 3-87525-179-2

Band 137: Stefan Novotny

**Innenhochdruck-Umformen von Blechen aus Aluminium- und  
Magnesiumlegierungen bei erhöhter Temperatur**

132 Seiten, 82 Bilder, 6 Tabellen. 2002.

ISBN 3-87525-185-7

Band 138: Andreas Licha

**Flexible Montageautomatisierung zur Komplettmontage flächenhafter  
Produktstrukturen durch kooperierende Industrieroboter**

158 Seiten, 87 Bilder, 8 Tabellen. 2003.

ISBN 3-87525-189-X

Band 139: Michael Eisenbarth

**Beitrag zur Optimierung der Aufbau- und Verbindungstechnik  
für mechatronische Baugruppen**

207 Seiten, 141 Bilder, 9 Tabellen. 2003.

ISBN 3-87525-190-3

Band 140: Frank Christoph

**Durchgängige simulationsgestützte Planung von  
Fertigungseinrichtungen der Elektronikproduktion**

187 Seiten, 107 Bilder, 9 Tabellen. 2003.

ISBN 3-87525-191-1

Band 141: Hinnerk Hagenah

**Simulationsbasierte Bestimmung der zu erwartenden  
Maßhaltigkeit für das Blechbiegen**

131 Seiten, 36 Bilder, 26 Tabellen. 2003.

ISBN 3-87525-192-X

Band 142: Ralf Eckstein

**Scherschneiden und Biegen metallischer Kleinstteile –  
Materialeinfluss und Materialverhalten**

148 Seiten, 71 Bilder, 19 Tabellen. 2003.

ISBN 3-87525-193-8

Band 143: Frank H. Meyer-Pittroff

**Excimerlaserstrahlbiegen dünner metallischer Folien  
mit homogener Lichtlinie**

138 Seiten, 60 Bilder, 16 Tabellen. 2003.

ISBN 3-87525-196-2

Band 144: Andreas Kach

**Rechnergestützte Anpassung von Laserstrahlschneidbahnen  
an Bauteilabweichungen**

139 Seiten, 69 Bilder, 11 Tabellen. 2004.

ISBN 3-87525-197-0

Band 145: Stefan Hierl

**System- und Prozeßtechnik für das simultane Löten mit  
Diodenlaserstrahlung von elektronischen Bauelementen**

124 Seiten, 66 Bilder, 4 Tabellen. 2004.

ISBN 3-87525-198-9

Band 146: Thomas Neudecker

**Tribologische Eigenschaften keramischer Blechumformwerkzeuge-  
Einfluss einer Oberflächenendbearbeitung mittels Excimerlaserstrahlung**

166 Seiten, 75 Bilder, 26 Tabellen. 2004.

ISBN 3-87525-200-4

Band 147: Ulrich Wenger

**Prozessoptimierung in der Wickeltechnik durch innovative  
maschinenbauliche und regelungstechnische Ansätze**

132 Seiten, 88 Bilder, 0 Tabellen. 2004.

ISBN 3-87525-203-9

Band 148: Stefan Slama

**Effizienzsteigerung in der Montage durch marktorientierte  
Montagestrukturen und erweiterte Mitarbeiterkompetenz**

188 Seiten, 125 Bilder, 0 Tabellen. 2004.

ISBN 3-87525-204-7