



TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

DISSERTATION

KAPAZITÄTS- STEIGERUNG UND DURCHLAUFZEIT OPTIMIERUNG MITTELS  
STEUERUNGSART SOWIE STRUKTURELLER ÄNDERUNG EINES KOMPLEXEN  
FLEXIBLEN MONTAGE SYSTEMS

Ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades  
eines Doktors der technischen Wissenschaften unter der Leitung von

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. DDr. h.c. Branko Katalinic  
E311  
Institut für Fertigungstechnik

eingereicht an der Technischen Universität Wien  
Fakultät für Maschinenbau

von

Dipl.-Ing. Berislav Ljoljic  
Matr. Nr. 972634  
Paulasgasse 15/1/20 1110 Wien

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Berislav Ljoljic'.

Wien, im Juli 2003

Diese Dissertation haben begutachtet:

.....

## *Danksagung*

*Hiermit möchte ich mich bei Herrn. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. tech. DDr.h.c Branko Katalinic für die hervorragende Betreuung während der Erarbeitung der Dissertation herzlich bedankt. Ihm sei sehr herzlich gedankt für Motivation, Begleitung und Diskussion während meiner Arbeit sowie seiner Art, Lehrveranstaltungen zu halten, die maßgeblich dazu beigetragen hat, mein Interesse für diesen Themenkreis zu wecken. Ebenso bin ich meinem Koreferenten Univ. Prof. Dr. Manfred Gronalt für die Zweitbegutachtung der Arbeit zu Dank verpflichtet.*

*Ein weiterer Dank gilt all jenen, die mich bei der Korrektur dieser Arbeit unterstützt haben.*

*Besonderen Dank gebühren meine Frau Sanja, meine Töchter Marija und meine Eltern ohne deren Verständnis die vorliegende Dissertationsarbeit nicht hätte entstehen können.*

# VORWORT

Konkurrenzfähigkeit insbesondere in Rahmen der Globalisierung ist für Produktionsunternehmen zu einem überlebenswichtigen Ziel geworden. Dies äußert sich vor allem in den unternehmerischen Bestrebungen die Produktlebenszyklen zu verkürzen sowie einen höheren Diversifikationsgrad zu erreichen. Just – in - Time –Produktion und kleinere Losgrößen sind ebenfalls für dieses Ziel unabkömmlich.

Um diese Anforderungen erfüllen zu können, und dadurch auf dem internationalen Markt konkurrenzfähig zu sein, geht man heute über zur flexiblen Automatisation. Es ist generell zu beobachten, dass die heutigen Produktionssysteme immer komplexer werden und sich in ihrer Investition erheblich vergrößern.

Bei der genauen Analyse der Produktentstehung innerhalb eines Fertigungsunternehmens ist ersichtlich, dass die Automatisierung im Bereich der Fertigung schon wesentlich fortgeschritten ist, jedoch in der Montage noch sehr niedrig ist. Aus diesem Grund stellt die Montage das Rationalisierungspotential der Zukunft dar.

Die Montage wurde erst sehr viel später als mögliches Rationalisierungspotential entdeckt. Wegen der Vielfalt der dort anfallenden Tätigkeiten war man auch sehr lange der Meinung, dass sich Montageaufgaben nur sehr schwer und sehr aufwendig automatisieren lassen. Hinzu kam noch als erschwerendes Problem, dass nicht nur stabile, formfeste Teile zu montieren sind, sondern auch Gummiringe, Schläuche, Dichtungen und viele andere biegeschlaffe Teile wie Kabel, Drähte und Federn. Die Fähigkeiten der menschlichen Hand und das Geschick, mit solchen Teilen umzugehen, traute man mechanischen Einrichtungen nicht zu. Aber montiert wird immer, denn die wenigsten Teile werden so benutzt, wie sie aus der zerspanenden Fertigung kommen. In den meisten Fällen ist es erforderlich, sie in einem nachfolgenden, mehr oder weniger aufwendigen, präzisen und komplizierten Arbeitsgang zu einer Baugruppe zusammenzufügen. Dann werden sie verpresst, verschraubt, geschweißt, geklebt, geprüft und danach als Ganzes entnommen und abgelegt. Diese Aufgaben waren bis vor wenigen Jahren ausschließlich den manuellen Tätigkeitsbereichen vorbehalten.

Die heutigen Montageanlagen sind speziell angefertigt System, die nur für den geforderten Fall Anwendung finden. Um die Funktionsfähigkeit und Effizienz eines zukünftigen Montagesystems zu sichern, ist es notwendig schon während der Planung des Systems die wichtigsten Komponenten, wie z. B. Informations-, Material-, und Energieflüsse zu definieren bzw. bei bestehenden System zu analysieren und deren Strukturen und Abläufe näher zu erfassen.

Ein Unternehmen ist immer mehr gezwungen, seine Prozesse optimal zu planen und zu gestalten. Dabei hat sich die Rechnersimulation in vielen Fällen gut bewährt. Sei es, dass es sich um Anlagen- und Werkstättenplanung, Materialflussoptimierung oder Fertigungssteuerung handelt, hat sich in letzten Jahren die diskrete rechnerunterstützte Simulation zum unabdingbaren und nicht zu übersehenden Werkzeug zur komplexen, globalen Analyse von Fertigungsprozessen entwickelt.

In einer betrieblichen Praxis ist sie aber bei der komplexen mehrkriteriellen Optimierung der Fertigungsprozessen noch nicht ausreichend genug genutzt und begrenzt sich oft nur auf eine Überprüfung der vorgeschlagenen Lösung und „manuelle Optimierung“ durch Parameteränderung in einer relativ engeren Wartespanne, die aus den Erfahrungen entsteht. Bei einer komplexen Mehrparameteranalyse, die die immer steigenden Ansprüche an die

Qualität des Fertigungsprozesses erzwingen, bekommt man aber leicht eine große Menge von Varianten, die durch Kombination von Eingangsparametern entstehen können. Die Findung eines globalen Optimums sowie die effiziente Nutzung der Simulation sind von nur mit Hilfe von modernen Optimierungsverfahren möglich.

Bei der simulationsgestützten Optimierung handelt es sich darum, die beste Parameterkombination aus dem vorgegebenen mehrdimensionalen diskreten Lösungsraum zu ermitteln. Bei der Optimierung werden die einzelnen Parameterwerte (wie z. B. Anzahl der Maschinen und Mitarbeiter, Länge des Transportbandes, Puffergröße, Losgröße, Auftragsreihenfolge, usw.) schrittweise geändert. Für jede Alternative wird ein Simulationslauf durchgeführt, das Simulationsergebnis bewertet und mit dem früheren Wert verglichen. Die Optimierung läuft so lange, bis man einen Extremwert (globales Optimum) bekommt. Eine Bewertung der Variantegüte hat durch eine so genannte kriterielle Zielfunktion zu erfolgen, in der quantitative (z. B. Fertigungskosten, der Durchsatz, bzw. die Durchlaufzeit) sowie auch qualitative Ausgangsparameter des Fertigungsprozesses berechnet werden können. Je nach dem Projekt, den Erfahrungen und Anforderungen des Nutzers, bzw. nach den Möglichkeiten der Datengewinnung und – Auswertung usw. ist diese Funktion anders nachzubilden.

Die vorliegende Arbeit präsentiert ein neues Simulationsmodell, das mit Hilfe einer Computersimulation erstellt wurde. Die Grundlage dafür ist ein bereits vorhandenes komplexes flexibles Montagesystem für die Montage von Geräteelektromotoren. Es sei noch angemerkt, dass dieses Simulationsmodell mit seinen Untersuchungen einen ersten Schritt auf dem Gebiet der Simulation bzw. Analyse dieses Motorenmontagesystems darstellt. Dies ermöglicht Anwendung der Simulationsbasierten Software für die Kapazitätssteigerung, des Erweiterungssystems und die Optimierung des Systemparameters.

Autor

# INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG.....	VII
SUMMARY .....	VIII
1. EINFÜHRUNG .....	1
1.1. Neue Produktionskonzepte.....	1
1.2. Weltvermarktung.....	2
1.3. Megatrends in Vertrieb, Handel und Gesellschaft .....	3
1.4. Megatrends in der Produktionstechnik .....	8
1.4.1. Integration.....	9
1.4.2. Flexibilität.....	10
1.4.3. Intelligenz .....	11
2. INNERBETRIEBLICHE LOGISTIK UND OPTIMIERUNG VON PRODUKTIONSABLÄUFEN .....	13
2.1. Der Logistikbegriff .....	13
2.2. Prozessorientierung in der Logistik .....	15
2.3. Netzwerkmodelle.....	15
2.4. Logistische Prozesse .....	18
2.5. Supply Chain Management .....	19
2.5.1. Die Ziele von SCM .....	20
2.5.1. Zielsetzung des Supply Chain Controlling.....	21
2.6. Ziele der Logistik.....	21
2.6.1. Logistikleistung.....	22
2.6.2. Logistikkosten.....	22
2.6.2.1. Gesamtkosten.....	22
2.6.2.2. Zielkonflikt .....	23
2.7. Just – in - time Logistik.....	24
3. INTEGRIERTE PRODUKTIONSSYSTEME .....	26
3.1. Die Evolution von CIM.....	26
3.2. Die CIM Idee (Definition).....	28
3.3. Komponenten der Rechnerintegrierten Produktion .....	29
3.3.1. Rechnerunterstütztes Konstruieren (CAD – Computer Aided Design) .....	30
3.3.2. Rechnerunterstützte Arbeitsplanung (CAP-Computer Aided Planning).....	31
3.3.3. Rechnerunterstützte Fertigung (CAM-Computer Aided Manufacturing).....	31
3.3.4. Rechnerunterstützte Qualitätssicherung (CAQ - Computer Aided Quality Assurance) .....	31
3.3.5. Produktionsplanung und -steuerung (PPS).....	32
4. PRODUKTIONS- PLANUNG UND STEUERUNG .....	33
4.1. Produktionsplanung (Grobplanung) .....	36
4.2. Maschinenbelegungsplanung (Mittelfristplanung).....	36
4.3. Ablaufplanung .....	36
4.4. Ablaufsteuerung.....	37
4.5. Schwachstellen der Planung in FFS.....	37
4.5.1. Belegung der Maschinen mit Aufträgen.....	38
4.6. Entscheidungsprobleme des Personals .....	38
4.7. Allgemeine Methoden zur Unterstützung der Produktionsplanung und Steuerung .....	38

4.7.1. Expertensysteme in der Produktion .....	38
4.7.2. Hierarchische Produktionsplanung .....	39
4.7.3. Simulation .....	40
4.7.4. Just – In - Time (JIT), KANBAN .....	41
4.7.5. Leitstandkonzept .....	42
5. FLEXIBLE FERTIGUNGSSYSTEME .....	46
5.1. Fertigungskonzepte .....	46
5.2. Definitionen flexibler Fertigungssysteme .....	48
5.3. Flexibilitätsformen in FFS .....	49
5.3.1. Komponentenbezogene Flexibilitätsformen .....	49
5.3.1.1. Flexibilitätsformen bezogen auf eine Systemkomponente des FFS .....	50
5.3.1.2. Flexibilitätsformen bezogen auf mehrere Systemkomponenten des FFS .....	52
5.4. Komponenten Flexibler Fertigungssysteme .....	52
5.4.1. Technisches System .....	53
5.4.1.1. Bearbeitungssystem .....	54
5.4.1.2. Werkstückversorgungssystem .....	55
5.4.1.3. Werkzeugversorgungssystem .....	56
5.4.2. Bedienersystem .....	56
5.4.3. Informationssystem .....	57
5.5. Vor- und Nachteile von FFS .....	59
6. MODELLBILDUNG UND SIMULATION .....	61
6.1. Einführung .....	61
6.1.1. Untersuchungen und Optimierungen wirtschaftlicher Prozesse .....	61
6.1.2. Anwendungsgebiete der Modellierung und Simulation .....	62
6.1.3. Nutzen von Simulationsuntersuchungen .....	63
6.2. Grundbegriffe der Simulationstechnik .....	64
6.2.1. Systeme .....	64
6.2.2. Modelle .....	66
6.2.3. Simulation .....	68
6.3. Der Aufbau von Simulationsmodellen .....	69
6.4. Möglichkeiten Nachteile und Grenzen der Modellbildung und Simulation .....	75
7. FLEXIBLE MONTAGESYSTEME UND AUFBAU VON MONTAGEMASCHINEN .....	76
7.1. Montageautomatisierung -optimale Produktionsstandorts .....	77
7.2. Allgemeine Montage .....	78
7.3. Produktgestaltung in der Montagetechnik .....	80
7.3.1. Produktaufbau .....	81
7.3.2. Montageerweiterte ABC – Analyse .....	82
7.3.3. Analyse typischer Montageprozesse .....	84
7.3.4. Aufbaustrukturen flexibel automatisierter Montagesysteme .....	85
7.4. Automatische Montagestationen .....	86
7.5. Einstationen – Montagemaschinen .....	87
7.6. Mehrstationen – Montagemaschinen .....	87
7.7. Montagemaschinensysteme .....	88
7.8. Verkettung von Montagemaschinen zu Montagelinien .....	91
8. COMPUTERSIMULATION EINES FLEXIBLEN MOTORMONTAGE SYSTEMS .....	93
8.1. Plan und Beschreibung der Motormontage .....	94
8.2. Pflichtenheft des flexiblen Motorenmontagesystems .....	96
8.3. Systemkomponentenauflistung .....	102
8.4. Arena .....	105
8.4.1. Bauen von Modellen und das Beispiel: Das generelle Arbeitsmodell .....	105

8.4.2. Blockdiagramm – Modelle .....	115
8.4.2.1. Die Blockfunktionen.....	115
8.4.2.2. Die Operations- Blöcke.....	116
8.4.2.3. Die Transfers- Blöcke.....	117
8.4.2.4 Die Hold Blöcke.....	117
8.4.2.5. Einige SIMAN Attribute und Variable.....	118
8.4.2.6. Einige SIMAN Systemstatusvariable Variable .....	118
8.4.2.7. Einige SIMAN Zufallsverteilungen.....	118
8.4.2.8. Blöcke Rahmenbedingungen von Blöcken.....	119
8.5. Die Submodelle des flexiblen Motormontagesystems .....	119
8.5.1 Das Durchgangs– Submodell.....	119
8.5.2. Das Verzweigungs- Submodell.....	120
8.5.3. Das Vereinigungs- Submodell .....	120
8.5.4. Das Tränungs- Submodell.....	121
8.6. Steuerungsstrategien .....	121
8.6.1. Palettenanzahl .....	122
8.6.2. Just – In - Time (JIT), KANBAN Steuerungsstrategie .....	123
8.6.3. CONWIP Steuerungsstrategie .....	126
8.6.4. Computersimulation eines flexiblen Parallelen Systems .....	131
9. BIONIC ASSEMBLY SYSTEMS: DESIGN UND PLANUNG DER NEXT - GENERATION VON SELBST - ORGANISIERENDEN KOMPLEXEN FLEXIBLEN MONTAGE SYSTEMEN .....	132
9.1. Darstellung des Problems.....	133
9.2. Struktur und Entwurf des Systems .....	135
9.2.1. Systemkomponenten .....	135
9.2.2. Layout des Bionic Montage Systems.....	136
9.3. Kommunikation.....	136
9.4. Basis Algorithmus der Kommunikation zwischen Roboter und Montagestation	138
9.5. Planungsstrategien .....	139
9.6. Bionic Montage Systeme als logisches Ergebnis der Evolution von Montage Systemen .....	139
9.7. Grundsätzliche Merkmale des Bionic Montage Systems .....	140
10. SCHLUSSBEMERKUNG UND AUSBLICK.....	146
11. LITERATURVERZEICHNIS .....	147
12. ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	154
13. TABELLENVERZEICHNIS.....	157

## ZUSAMMENFASSUNG

Flexible Fertigungssysteme (FFS) sowie Flexible Montage Systeme stellen die effizienteste und sofisticierteste Form heutiger auf CIM-Lösungen basierter Produktionssysteme dar. Die FFS -Abläufe sind sehr komplex. In Störfällen muss der Operator (Entscheidungsträger) in relativ kurzer Zeit ein durchführbares Alternativszenario auswählen, das größere Maschinenstillstände (die sich auf die Effizienz der Flexiblen Montage Systeme sehr stark auswirken) verringert. Die zur Verfügung stehende Zeit ist zu kurz, um eine Optimierung durchzuführen. Um den Operator (Entscheidungsträger) bei der Entscheidung unterstützen zu können, sollen Software eingebaut werden, welche imstande sind, bei den Notfällen in kürzester Zeit eine schnellere Alternative und bei der Planung eine qualitative Lösung zu ermitteln.

Die vorliegende Dissertation erfasst diese Aufgabestellung. Das Ziel ist es, dass durch den Einsatz von Simulation, die Qualität der erzeugten Pläne zu erhöhen, bei den Fertigungskosten zu sparen und die Auslastung von Ressourcen zu optimieren.

Im ersten Abschnitt wurde über Neue Produktionskonzepte eine Übersicht gegeben. In den zweiten Abschnitt wurden über: Logistik als Strategie zur Optimierung der Produktion, Integrierte Produktionssysteme, Produktions- Planung und Steuerung, Flexible Fertigungssysteme, Flexible Montagesysteme und Modellbildung und Simulation eine Übersicht zusammengefasst.

Der dritte Abschnitt diskutiert den Schwerpunkt dieser Forschung. Die vorliegende Arbeit präsentiert ein neues Simulationsmodell, das mit Hilfe einer Computersimulation erstellt wurde. Die Grundlage dafür ist ein bereits vorhandenes komplexes flexibles Montagesystem für die Montage von Geräteelektromotoren. Es sei noch angemerkt, dass dieses Simulationsmodell mit seinen Untersuchungen einen ersten Schritt auf dem Gebiet der Simulation bzw. Analyse dieses Motorenmontagesystems darstellt. Dies ermöglicht Anwendung der Simulationsbasierten Software für die Kapazitätssteigerung, des Erweiterungssystems und die Optimierung des Systemparameters.

Ein besonderes Augenmerk soll dabei auf: Maschinenausfälle, Palettenanzahl, Parallele Montagesysteme, gelenkt werden. Die erste Untersuchung wird anhand von Maschinenausfällen stattfinden. Es werden zwei Arten von Maschinenausfällen festgestellt werden können. Ein Totalausfall und ein Teilausfall. Bei einem Totalausfall wird das gesamte System in den Stillstand versetzt werden, bei einem Teil Ausfall werden nur einzelne Maschinen hin und wieder ausfallen.

Die zweite Untersuchung wird darin bestehen den Einfluss der Palettenanzahl auf die Durchlaufzeit der Motoren zu analysieren.

Bei einer weiteren Analyse wird die Anzahl von Stationen im System verdoppelt.

Anhand dieses Simulationsmodells sollen dann wesentliche Antworten auf das Systemverhalten gefunden werden. Die Simulation wurde mittels ARENA, eines des komfortabelsten und auf dem Markt aktuellsten Softwarepakets, erprobt.

Im letzten Abschnitt werden die Schlussfolgerungen angerissen, die sich aus dieser Forschung ergeben.

## SUMMARY

Flexible manufacturing systems (FMS) as well as flexible assembly systems (FAS) represent the most efficient and most sophisticated form of production systems based on CIM solutions. The FMS processes are very complex. In malfunction situation the operator (decision-maker) must select a feasible alternative scenario in relatively short time. This scenario should reduce greater machine deadlocks. This affects very strongly the efficiency of the flexible assembly system. While the available time is too short, an optimization could not be carried out by the operator alone. Thus decision support software should be installed which is capable of providing alternative scenarios in shortest time and by planning to give a qualitative solution.

This thesis includes this problem setting. The aim of this work is to increase the quality of the produced plans, economize the production costs and to optimize the exploitation of resources through the use of simulation.

In the first section an overview of new production concepts is given. The second section handles the following problems: logistics as a strategy for the optimization of the production, integrated production systems, production planning and control, flexible manufacturing systems, flexible assembly systems, design of simulation models and simulation.

The third section is the main part of this work. It presents a simulation model which was made with the help of a computer simulation. The basis for the model is one existing complex flexible assembly system for the assembly of electrical motors. Presented simulation model represents a first step of the simulation and analysis of this motor assembly system. On the basis of that model it is possible to examine capacity fluctuation, possible expansion of the system and the optimization of the system parameters.

A special attention should be made on: machine failures, pallet number, and parallel's assembly systems. The first examination treated machine failures. Two types of machine failures can be established: partial and total. By total failure the complete system will be interrupted, by partial failure only single machines will be interrupted.

The second examination consists of analysis of influence of the pallet number on the flow time of the motors.

Further analysis is made with doubled number of stations in the system.

With this simulation model essential answers of the system behaviour should be found. The simulation was made using ARENA, one of the most sophisticated simulation software on the market.

Last section summarises the essential research results.

# 1. EINFÜHRUNG

## 1.1. Neue Produktionskonzepte

In den letzten Jahren stehen die Industrieunternehmen einer immer komplexeren und sich immer schneller wandelnden Geschäftswelt gegenüber. Dieser Wandel schlägt sich in Form eines veränderten Wettbewerbs nieder. Ohne Innovationen sind industrielle Produktionsprozesse auf Dauer nicht wettbewerbsfähig. Außerdem führt eine strikte Trennung von Konstruktion und Produktion in Verbindung mit Konzepten des Lean Managements zu einem Innovationsverlust in den Unternehmen und zu relevanten Qualitätseinbußen bei Produkt und Prozess.

Statt nach billigen Fertigungsstätten im Ausland zu suchen, sollte das Management sich zwingen, darüber nachzudenken, wie durch Innovationen an Produkt und Prozess eine internationale Wettbewerbsfähigkeit erreicht werden kann.

### a) Ziel neuer Produktionskonzepte

Die Komplexität soll verringert und diszipliniert werden, ohne jedoch die Funktionalität des Systems einzuschränken. Herkömmliche flexible Systeme besitzen eine geringe Störungstoleranz. Bei nahezu allen auftretenden Störungen sind Benutzereingriffe erforderlich. Die Systeme sind daher nicht immer verfügbar. Es wird also nach noch flexibleren Systemen gesucht, die aber andererseits auch besser zu beherrschen sein sollten.

Entscheidend dafür sei auch ein veränderter Umgang mit der menschlichen Arbeitskraft, nicht mehr ihre weitestgehende Automatisierung und Kanalisierung sei das Ziel der Unternehmensgestaltung, sondern vielmehr die Nutzung der Produktivitätspotentiale der Mitarbeiter durch ganzheitliche Aufgabenzuschnitte, höhere Qualifikationen und Abbau der Kontrolle.

### b) Gründe

Der Druck auf die Unternehmen hat sich weiter erhöht: Die Konkurrenzsituation auf internationalen Märkten und die Veränderung der Nachfragestrukturen erfordern grundlegende Einschnitte.

Die extrem hohe Arbeitslosigkeit zwingt die Unternehmen zu Neuerungsprozessen zugunsten der Beschäftigten.

Außerdem führen neue Technologien am Markt zu steigender Innovationsdynamik:

- kurze Produktlebenszyklen,
- sinkende Losgrößen,
- wachsende Variantenvielfalt.

Dadurch können systematische Strukturen durch die besseren technologischen Grundlagen leichter realisiert werden.

Die Übersättigung der Märkte führt weiterhin dazu, dass Geschwindigkeit der zentrale Wettbewerbsfaktor wird. Die permanente Veränderung der Marktsituation veranlasst viele Unternehmen ihre Produktion nach Kundenbedarf auszurichten. Durch den Druck in die Diversifikation von Produkten, ist es daher wesentlich riskanter, die Produktion im Vorfeld konkreter Kundenbestellungen durchzuführen.

Ein weiterer Aspekt der heutigen Zeit ist die Umschichtung vom Gütersektor zum Dienstleistungssektor. Dies zwingt wiederum Unternehmen dazu, flexibler zu sein.

Durch die permanenten politischen Veränderungen, vor allem in Zeiten der Europäischen Union und des Falls des Eisernen Vorhangs, entstehen neue Märkte und somit neue Anforderungen an die Unternehmen.

Zusätzlich führen heutzutage schnell abwechselnde Trends dazu, dass sich Unternehmen möglichst rasch an neue Gegebenheiten anpassen müssen. Beispiele für Fabrikkonzepte die diesen Anforderungen gerecht werden sind die schnelle und die kooperative Fabrik.

Wie schon erwähnt, erkennen die Unternehmen, dass eine sinkende Automatisierung und gezieltes „Human Resource Management“ den Anforderungen der Gegenwart besser standhalten kann.

Mehr und mehr muss man sich von der Vorstellung der Planbarkeit von komplexen Produktionen verabschieden. Die prozessorientierte Sichtweise wird in den Mittelpunkt gerückt.

## 1.2. Weltvermarktung

In der modernen Kommunikationsgesellschaft stellen Grenzen und Entfernungen immer weniger Hindernisse auf dem Weg der allgemeinen Internationalisierung dar. Nationale Märkte werden nun dadurch Teil des allgemeinen Weltmarktes, so dass geschlossene, klassische Nationalmärkte kaum mehr existieren. Der heutige Markt ist wie nie zuvor dynamisch und turbulent geworden. Dies stellt neue Maßstäbe für die Unternehmen, die jetzt unter größerem Druck des größer gewordenen Marktes stehen und neue effiziente Wege suchen müssen, um technisch und wirtschaftlich gute Produkte auf den Markt zu liefern. Dies löste einige spürbare Trends aus.

Die ständig wachsende Komplexität der Fertigungssysteme vergrößert die Zeitschere bezüglich Reaktionszeit (Abb. 1.1.). Eine Verkürzung der Reaktionszeit durch kürzere Auftragsabwicklung und hohe Lieferbereitschaft ist daher erstrebenswert. Schnelle Anpassung des Systems auf die sich ständig ändernden Marktanforderungen garantiert, dass die Produkte am Markt Erfolg haben werden. Denn es muss nicht immer so sein, dass die technisch besten Produkte immer gewinnen. Besonders dann nicht, wenn sie mit Verspätung am Markt erscheinen. Den Kampf am Markt gewinnen nicht die technisch absolut besten, sondern die wirtschaftlich stärksten, d.h. entsprechend guten und preisgünstigen Produkte. Dies erfordert vom Hersteller ständige Marktforschung oder relevante diesbezügliche Informiertheit.

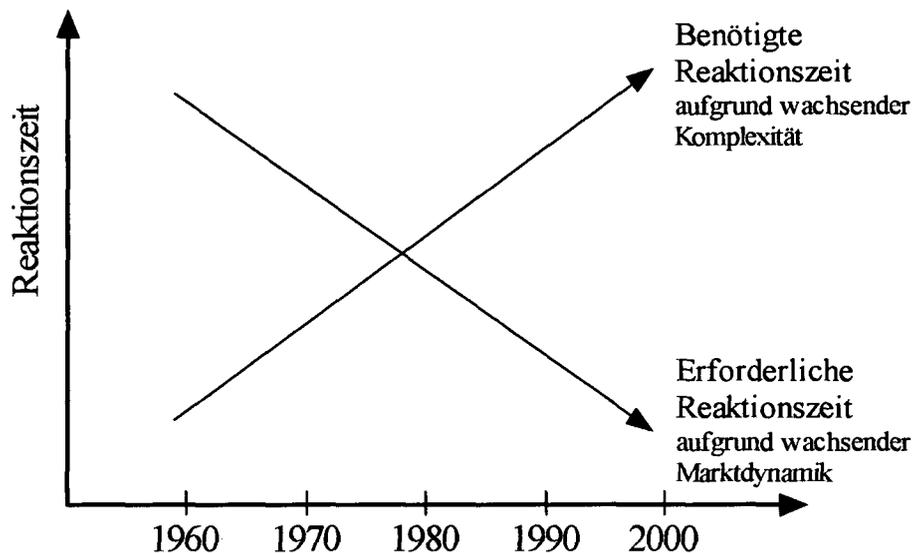


Abb. 1.1. Die Zeitschere bezüglich Reaktionszeit [König 1997]

Von den vier technologischen Phasen der Produktentstehung (Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, mechanische Fertigung und Montage) weist die Montage einen niedrigeren Automatisierungsgrad auf als die restlichen drei Phasen. Sie nimmt deshalb äußerst viel Arbeitskraft in Anspruch. Dies stellt einen wichtigen Konkurrenzfaktor für die Billiglohnländer, wohin die Produktion immer häufiger verlegt wird, im Kampf gegen die westlichen Herstellern dar. Die einzig mögliche Antwort der westlichen Industrieländer ist die Verringerung des Arbeitskraftanteils am Gesamtproduktwert. Dies kann man erreichen indem man in der hochautomatisierten Fertigungsphase komplexere Teile fertigt, die in der arbeitsintensiven Montagephase leichter zusammenzustellen sind. Dadurch wurde ein neuer Trend in der Herstellung ausgelöst, d.h. dass Produkte neuer Generationen aus immer weniger, aber komplexeren Teilen bestehen. Der Trend, arbeitsintensive Fertigung in Billiglohnländer zu verlegen, hat schwerwiegende soziale Auswirkung auf die westliche Gesellschaft, denn viele Betriebe werden im Westen aufgelöst. Dies führt zur Steigerung der Arbeitslosigkeit und zu einer allgemeinen Verarmung. Die Arbeiter werden aber nicht nur ihrer Arbeitsstellen beraubt, sondern auch ihres Rechtes auf die Mitwirkung in der Schöpfungskette. Die Folgen dieses Trends werden sich erst in der Zukunft in ihrem ganzen Ausmaß zeigen.

### 1.3. Megatrends in Vertrieb, Handel und Gesellschaft

#### Vorbei ist die Zeit der Main – Stream – Trends

In einer Zeit unerwarteter Situationen und gesellschaftlicher Umbrüche unterliegen Handel und Industrie immer stärker der Notwendigkeit, Trends frühzeitig zu erkennen und in strategische Maßnahmen umzusetzen. Trends entstehen aus substantiellen Veränderungen von Werten und Phänomenen oder durch strukturellen Wandel.

Megatrends sind breit angelegte und länger wirkende Veränderungen von geistigen Strömungen in der Gesellschaft, wobei jeder Trend nur ein Teil des Ganzen ist. Seit über 20 Jahren gibt es keine Massenbewegung der Konsumentennachfrage und des Verbraucherverhaltens mehr. Statt eines kräftigen Grundstroms bestehen heute verschiedene

Trends nebeneinander. Es zeigen sich Verflechtungen, Mosaik, ja sogar Widersprüche und Gegenläufigkeiten. Überspitzt könnte man sagen, es gibt keinen Trend ohne Gegentrend.

### **Trendforschung ist keine Prozentforschung**

Bei der Auswertung von statistischem Material treten vergangene Entwicklungen zutage. Wird der Verlauf extrapoliert, kann dies zumeist keine sicheren Zeitreihen ergeben, um zukünftige Entwicklungen abzulesen. Aber die Tabellen können den Grundverlauf sichtbar machen. Aus wissenschaftlicher Sicht kann ein Trend als die Grundrichtung einer statistisch erfassbaren Entwicklung definiert werden. Trendforschung darf jedoch nicht auf eine reine Prozentforschung reduziert werden, denn sie umfasst die Vorhabdefinition künftiger Fakten, die Erahnung aufkommender Akzente und die Aufzeichnung erkennbarer Entwicklungen sowie die Warnung vor Fehlentwicklungen. Der Trendforscher selbst übernimmt als "Rüttelmaschine" und "Aggressor" eine aufklärerische Funktion, die nicht nur darin liegt, neue Strömungen aufzuzeigen, sondern mit diesen Ergebnissen auch auf Konfrontationskurs zu gehen.

Um Trends herausfiltern zu können, ist eine Situationsanalyse der Gegenwart erforderlich.

#### **a) Trend: Arbeitslosigkeit und "New Work"**

##### *Die dritte Revolution ist fällig*

Die strukturelle Sockelarbeitslosigkeit ist mit jeder Rezession kontinuierlich gestiegen. Mit einer vorläufig dauerhaften Arbeitslosenquote von sicherlich 8 bis 10 % ist zu rechnen. Die Gesellschaft spaltet sich in drei Gruppen: Reiche Erben und Großverdiener (10 %), gute und ausreichende Verdiener (75 bis 80 %) und Transferabhängige (10 bis 15 %). Die Welt braucht "New Work", was nicht gleichbedeutend mit neuen Jobs, sondern mit einer neuen Konstruktion der Arbeit ist. Nach der ersten Revolution, die den Schwerpunkt der Arbeit von der Landwirtschaft auf die Produktion verlagerte, und der zweiten Verschiebung in Richtung Dienstleistungsgesellschaft ist inzwischen die dritte Revolution fällig, denn auch der heutige Dienstleistungsbereich kann nicht mehr genügend Arbeitsplätze bieten.

Eine Vielzahl von Lösungsansätzen wird heute heiß diskutiert und teilweise bereits realisiert. Für den Handel beinhaltet das Entstehen neuer Gesellschaftsstrukturen mit viel freier Zeit, jedoch nicht im Sinne der "klassischen" Freizeit, sondern als "neue" Freizeit mit weniger Geld für den einzelnen, dass neue Angebotsformen entstehen werden: Neue und mehr Formen des Do it yourself, Verkauf von Halb(-fertig-) Fabrikaten, Ausbau des Werterhaltungshandels, neue Chancen für Kleinpreisgeschäfte und Versender,

Sonderpostenverkäufer und Discounter. Gerade die letzteren, die Discounter, werden die Gewinner der Situation sein. Auch aus einem anderen Grund. In "besseren Kreisen" ist es inzwischen chic, nach Schnäppchen zu jagen, preiswert einzukaufen, zu "handeln" und den Preis zu drücken.

## **b) Trend: Dienstleistung als beherrschender Wirtschaftsfaktor**

### *Beschäftigungsschub durch outsourcing*

Unter Ökonomen gilt Dienstleistung als das Produkt der Zukunft. Der tertiäre Sektor mit einem Wachstumspotential von geschätzten 38 % bis zum Jahr 2010 ist eine wesentliche Kraft im Zuge der Beschäftigung von Arbeitslosen und könnte zum Ausgleich des Verlustes von Arbeitsplätzen in der Industrie beitragen. Die Dienste der postindustriellen Gesellschaft lassen sich einteilen in nicht-kommerzielle Dienste (z.B. Schulen), quasi-kommerzielle Dienste (z.B. Vereine) und kommerzielle Dienste.

Aufgrund der weltweiten Reorganisationswelle werden sich die Industrieunternehmen stärker auf ihr Kerngeschäft konzentrieren und insbesondere durch outsourcing Tätigkeiten wie Werbung, EDV, Logistik und Buchhaltung auslagern. Gerade im Bereich Information/Medien/EDV wird sich eine Vielzahl neuer Dienstleistungsjobs entwickeln. Das größte Arbeitsplatzpotential dürfte in Europa jedoch bei den hausnahen Dienstleistungen liegen. Auch Handelsunternehmen müssen dienstleistungsorientierte Strategien entwickeln. Dazu zählen beispielsweise Service-Erweiterungen, wie Post-Shops, Reisebüros, Kopierservice, Reparaturdienste, Reinigungen, Kommunikationszentren. Die Umsetzung dieser Strategien ist auf der Basis von Eigenregie oder partnerschaftlichen Kooperationslösungen möglich. Im Groß- und Einzelhandel gibt es auch den Trend zur Trennung des Verkaufs von Waren und Dienstleistungen im Sinne des outsourcing. Es wird zu strategischen Allianzen und Joint Ventures mit Dienstleistungsspezialisten kommen (müssen).

## **c) Trend: Multimedia und Datenautobahnen**

### *Digitaltechnik ermöglicht die multimediale Revolution*

Die Mikroelektronik wird als Basistechnologie und Innovationsmotor die Telekommunikation in den nächsten Jahren revolutionieren. Grundlage dieser Veränderung bilden Weiterentwicklungen im Ausbau des digitalen Mobilfunks, der Digitalisierung der analogen Vermittlungsstellen der Telekom-Gesellschaften, der Digitalisierung der Netz-Infrastruktur und der Aufbau von Breitbandnetzen für Datenmassen.

Die Digitaltechnik, mit deren Hilfe sich jede Art von Information (Bilder, Töne, Zahlen, Buchstaben) in Bits zerlegen lässt, macht die multimediale Revolution erst möglich.

Der Nutzung von Datenautobahnen wird auch in Europa eine große Zukunft vorausgesagt. Unter Datenautobahnen versteht man elektronische Netzwerke, mit denen neben Daten, Zahlen und Texten auch Bilder, Videos und Töne übertragen werden können.

Datenautobahnen sind die Voraussetzung für audiovisuelle Medienverbundsysteme, auch als Multimedia bezeichnet, da sie den Transport von riesigen Datenmassen bewältigen können. Diese technologische Vision wird nicht nur die Medienlandschaft verändern, sondern auch dem Handel neue Möglichkeiten des Kundenkontakts bieten.

Da die stark expandierenden Branchen – Computertechnik, Telekommunikation, Konsumelektronik incl. "Spiele", Verlagswesen und die Unterhaltungselektronik – zusammenwachsen werden, hat der Kampf um die besten Positionen im Geschäft mit Multimedia und Datenautobahnen eine Vielzahl von Fusionen und Kooperationen ausgelöst. Neue, alles umfassende Geräte machen das Wohnzimmer zur medialen Schaltzentrale.

Multimedia wird auf den Handel sowie die Werbe-/Druck- und Freizeitindustrie einen starken und auf die anderen Branchen einen spürbaren Einfluss ausüben. Wichtig für den Handel ist zum einen das Arbeiten zu Hause, besonders für Dienstleistungen und Teilzeitarbeit, zum anderen das Einkaufen von zu Hause aus. Voraussetzung ist eine Umstellung in den Köpfen der Verbraucher zur Akzeptanz des Kaufs am Fernseher.

Diese Technik ermöglicht neue Angebotsformen, wie Tele-Shopping (ausgewählte Produkte werden bundesweit verkauft), Tele - Direct (Hersteller verkaufen an den Endverbraucher), Home - Order (als Verkaufsmedium dient der Versandkatalog per Bildschirm oder CD-ROM) und Home - Shopping (regionaler Verkauf beim Händler, der die Ware abends anliefert).

Multimedia und Datenautobahnen verändern nicht nur die Art zu kommunizieren, sondern auch die Lebens- und Arbeitsweise des Menschen. Die totale Kommunikationsmöglichkeit bietet beispielsweise Vorteile durch: Beschleunigung der Produktentwicklung (verbesserte Kommunikation, verkürzte Forschungs- und Entwicklungszyklen), Beschleunigung interner Verwaltungsabläufe, Reduzierung des Verkehrs sowie bessere Verkehrssteuerung, Simulation und Visualisierung (abstrakte Modelle werden verständlicher), Entwicklung neuer Berufsbilder (Bildschirmdesigner, Videodigitalisierer, Multimedia-Programmierer, Netzwerkmanager, Kommunikationsberater etc.) und Schaffung neuer Arbeitsplätze.

Multimedia beinhaltet: Integrative Verwendung verschiedener Medientypen, interaktive Nutzung in Form von Eingreifen und Verändern, digitale Technik als Basis der Anwendungen.

Technisch kann die Entwicklung in drei Stufen gegliedert werden, die sich zeitweilig überlappen. Inwieweit die Online- und Breitbandangebote zu einem Umsatzrückgang bei Offline - Medien bis zum Jahr 2010 führen könnten.

Die bis vor kurzem noch getrennten Technologien und Industrien – Computer- und Unterhaltungselektronik, Telekommunikation, Medien und Verlagswesen – verschmelzen zu einem Mega-Markt und neue Marktsegmente entstehen.

#### **d) Trend: Lernformen von morgen**

##### *Lebenslanges Lernen ein Muss*

Der Trend im Multimedia-Geschäft geht in Richtung "Inhalte plus Unterhaltung" (Information/Education und Entertainment). Der Buchhandel ergänzt sein Sortiment um elektronische Titel. Anspruchsvolle CD-ROM-Titel erobern immer größere Marktanteile im Verlags- und Buchhandelsbereich. Mittlerweile sind 75 % der neu ausgelieferten PCs mit einem CD-ROM-Laufwerk ausgestattet. Interaktive Bildung per Tele-Computer oder Online aus dem Internet sowie von Intranets ist im Vormarsch. Traditionelle Methoden können den großen Bedarf heute nicht mehr in der erforderlichen Effizienz decken. Tele-Learning mit modernen Kommunikationstechniken eröffnet einen zukunftsweisenden Weg.

#### **e) Trend: Das Jahrhundert der Global Player**

##### *Die 20 größten Unternehmen der Welt erwirtschafteten mehr als die 80 ärmsten Länder insgesamt.*

Der globale Wettbewerb wird immer härter. Durch die grenzenlose Mobilität von Finanzkapital und Produktionsmitteln werden die Produktionsstätten ähnlich mobil wie die Güter. Es wird zunehmend weniger nationale Produkte geben. Als Motor der Globalisierung fungieren die Ost-Öffnung und die EU-Erweiterung. Beschleunigt wird der Prozess von sinkenden Kommunikations- und Transportkosten, freiem Kapitalmarkt, Angleichung der Rechtsvorschriften, Fortschritten in der Mikroelektronik und der schnelleren Verbreitung wissenschaftlicher Neuerungen. Klare Gewinner der Globalisierung sind die Schwellenländer der Dritten Welt. Vor 10 Jahren erwirtschafteten die Entwicklungsländer noch 34 % des Weltsozialprodukts, heute erreichen sie bereits 40 %, und für die Mittel des nächsten Jahrzehnts prognostiziert der Internationale Währungsfonds fast 50 %.

Im Zuge der Globalisierung mutiert Arbeit zur Ware, die weltweit immer schneller neu verteilt wird. Die rasante Umverteilung von Arbeit, Macht und Wohlstand lässt alte Arbeitsplätze schneller verschwinden, als neue entstehen können. Es besteht die Gefahr, dass weltweit eine Ein-fünftel-Gesellschaft (20 : 80) entsteht, die aus 20 % Hochqualifizierten besteht, die alle für die Weltwirtschaft notwendigen Waren und Dienstleistungen erbringen und 80 % eigentlich "überflüssiger" Weltbevölkerung. Einem sozialen Beben könnte dann das politische folgen!

### **1.4. Megatrends in der Produktionstechnik**

Die Industrialisierung und technische Entwicklung der letzten zwei Jahrhunderte brachten die Erfüllung vieler Ideen mit sich, die man ohne diese technologische Unterstützung auch heute nur für Utopie halten würde. Großen Aufschwung erfuhr die Technologie in der zweiten Hälfte unseres Jahrhunderts. Die Produkte, die während des zweiten Weltkrieges

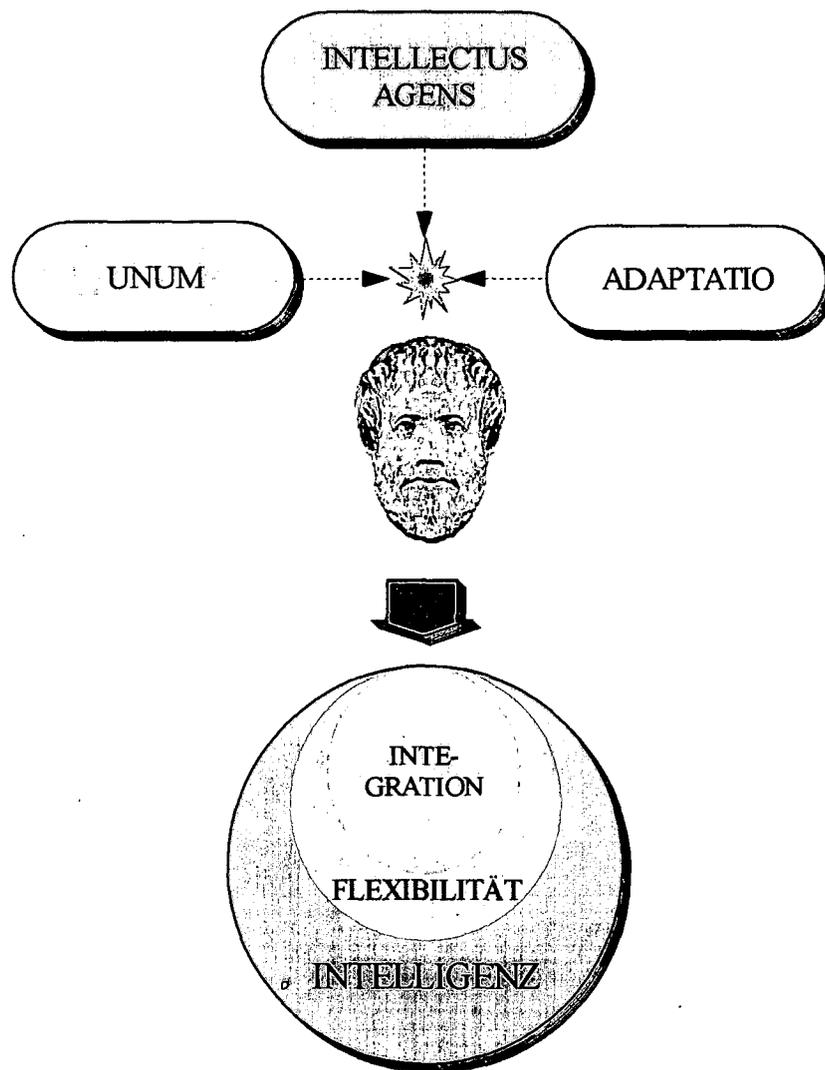
entwickelt wurden und die Welt aus der Kriegskrise zum Wirtschaftswachstum führten, sind folgende [Katalinic 1996a]:

- Radar,
- Jet - Engine (Düsenantrieb),
- V2-Rakete,
- Atombombe,
- Digitalcomputer,
- schwerer Bomber B29.

Dieses Wachstum dauerte bis zu den 70-er Jahren. Nach dieser Zeit suchte man neue Technologien, um dem Abflauen des Wirtschaftswachstums entgegenzutreten. Diesmal konnte man kein konkretes Produkt eindeutig erkennen, wie es vor fünfzig Jahren der Fall gewesen war. Es sind eher einige Strategien, die das zukünftige Wachstum garantieren könnten. Es wird versucht, drei bedeutende Ideen in die Technik zu übertragen (Abb. 1.2). Die Vernunft (*intellectus agens*), Anpassung (*adaptatio*), und das Eine (*unum*) sind schon seit der griechischen Zeit zum Denkgut geworden. Obwohl es heutzutage unnütz erscheinen mag, über diese Begriffe und ihre Bedeutung zu reden, da sie als Selbstverständlichkeit gelten, sei an dieser Stelle kurz erwähnt, daß sie in vielen Lebensbereichen unter verschiedenen Formen bekannt sind. In der Technik spiegeln sie sich in einigen aktuellen Strategien wider:

- (Künstliche) **Intelligenz** (*intellectus agens*),
- **Flexibilität** (*adaptatio*),
- **Integration** (*unum*).

Die Einbringung dieser Ideen ist zu allen Zeiten in der Technik erkennbar, für die deutlich effiziente Anwendung musste jedoch die notwendige technologische Entwicklung abgewartet werden. Diese drei Strategien sind in den letzten Jahrzehnten unumkehrbare Megatrends der Automatisierung der Produktion geworden. Auf dieser Welle schwimmen wir ins diese Jahrtausend.



*Abb. 1.2. Einbringung einiger mächtiger Ideen in die Technik [Celar 1997]*

#### 1.4.1. Integration

Um 1970 (Abb. 1.3.) erkannten die Betriebe, dass die Durchlaufzeiten einzelner Produkte in der Produktion ein bedeutender Wettbewerbsfaktor sind. Um Konkurrenzfähig zu bleiben müssen die vier technologischen Phasen in der Produktion möglichst kurze Zeit beanspruchen. Die vier typischen technologischen Phasen in der Produktion [Katalinic 96]: Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, mechanische Fertigung und Montage eines Auftragsdurchlaufes sind in der klassischen Produktion informationstechnisch gesehen überwiegend voneinander getrennte Bereiche gewesen. Durch die Computerintegration der vier Phasen erreichte man, dass es möglich ist in jeder der vier Phasen der Produktentstehung auf einen gemeinsamen Fluss der Informationen zuzugreifen.

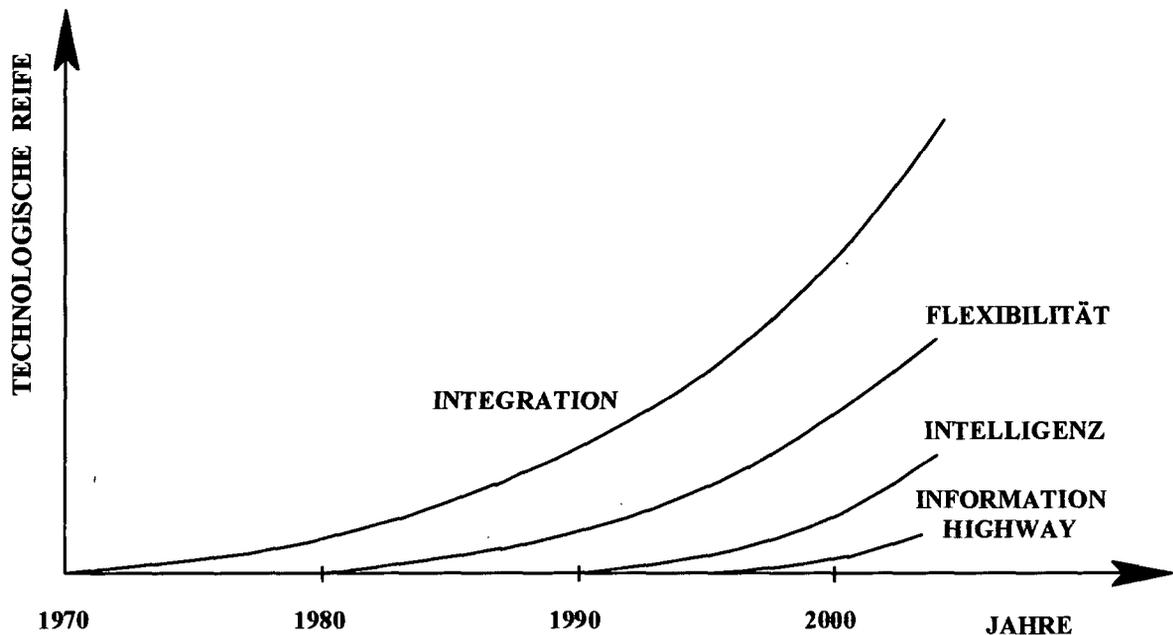


Abb. 1.3. Megatrends in der Produktionstechnik [Katalinic 96]

Die Integration ermöglicht, über die Effekte isolierter Einzelmaßnahmen hinaus, eine Reduzierung und Harmonisierung, [VDI 1999] der Kommunikationsschnittstellen. Dadurch können vorhandene Informationen effizienter genutzt und Entscheidungen in allen Aufgabenbereichen durch Bereitstellung relevanter Informationen verbessert werden. Dies hat die Durchlaufzeit des Produktes in der Produktion eindeutig verkürzt. Die Integration der vier technologischen Phasen bei der Vermarktung des Produktes hat schnelleres Reagieren auf die Marktanforderungen ermöglicht. Die Entwicklung dieses Megatrends der Automation hat 1970 [Katalinic 96] mit isolierten Lösungen begonnen und es wird erwartet, dass in 20 bis 30 Jahren diese Entwicklung mit fast vollständig integrierten Lösungen beendet wird. Man benötigte fast zwanzig Jahre, um nennenswerte, durchgehende, vollintegrierte Lösungen zu schaffen. Die Computer werden als universell einsetzbare informationsverarbeitende Maschinen für die Unterstützung der Produktionsabläufe eingesetzt. Die Integration hat in informationstechnischer Hinsicht enorme Verbesserungen gebracht. Der wichtigste Vorteil solcher Systeme ist in der Verkürzung der Reaktionszeit auf die Markterfordernisse zu sehen. Computerintegration, ist als bedeutendster und weitreichendster Megatrend in der Technik in der ersten Hälfte des diesen Jahrhunderts zusehen.

#### 1.4.2. Flexibilität

Der Megatrend Integration kann die entstandenen Anforderungen an die Produktion in modernen Betrieben alleine nicht erfüllen. Als direkte Folge der Einführung der Computerintegration haben die Produkte eine immer kürzere Lebensdauer, andererseits sind die neuen Produktionsmaschinen und -systeme immer komplexer, teurer und langlebiger. Bei dem Entwurf von Produktionssystemen müssen diese Tendenzen in Betracht gezogen werden. Man versucht die Produktionssysteme so auszulegen, dass sie gleichzeitig für

größere Produktspektren und für längeren Einsatz vorgesehen sind; das bedeutet, mit gleichem System und möglichst wenigen Änderungen an ihm, weiterproduzieren zu können. Ein Produktionssystem soll möglichst kostengünstig ausgestattet sein, deshalb ist die Anzahl der gemeinsamen Ressourcen mehrerer Maschinen (z.B. Werkzeuge) begrenzt. Um mit diesem System noch zufriedenstellende Produktionsergebnisse zu erreichen, ist es notwendig die bestehenden Ressourcen intelligent geplant und flexibel einzusetzen. Heute versteht man unter Flexibilität mehrere und oft widersprüchliche Inhalte. Die Flexibilität hilft dem Produktionssystem dabei, ein vorgegebenes Ziel durch softwaremäßige Strategien trotz hardwaremäßig begrenzter Ressourcen zu erreichen.

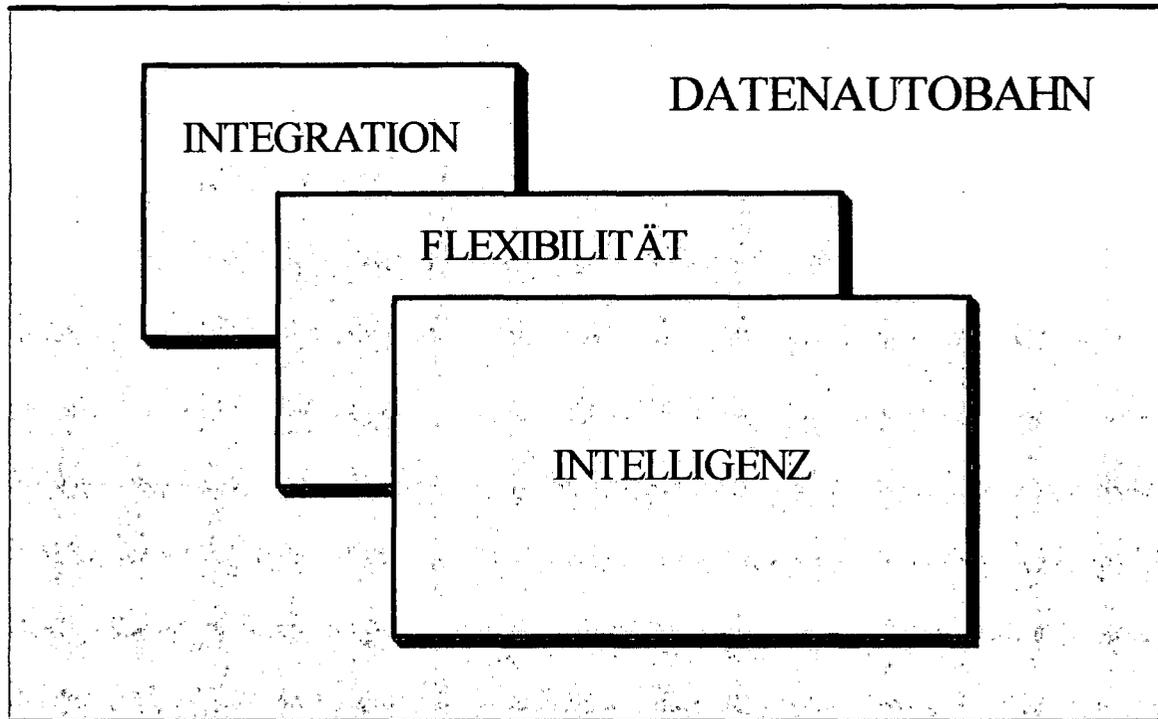
### 1.4.3. Intelligenz

Integration und Flexibilität haben dafür gesorgt, dass die Durchlaufzeiten des Produktes verkürzt worden sind und die Produktionssysteme ein breiteres Produktspektrum produzieren können. Solche Lösungen sind komplex. Sie verursachen durch ihre Komplexität das Auftauchen von nicht relevanten Daten im System. Diese Daten waren bis jetzt im automatischen Verfahren zu betreuen. Die Komplexität der Lösungen stellt für die Automatik eine Barriere dar. Die Idee der menschenleeren Fabriken hat sich nur als Utopie erwiesen [Katalinic 1996a]. Das Funktionieren der Produktion und ihre Effizienz hängen von der Qualität der Problemlösungen ab. Man versucht die Qualität der Problemlösungen durch die folgenden drei Maßnahmen zu verbessern [Nanasi 1996]:

- Einbeziehung der Erfahrungen aus der Vergangenheit,
- aktuelles Wissen über den Systemzustand und
- Einbeziehung der aktuellen Umgebungseinflüsse.

Diese Erfahrungen und dieses Wissen kommen direkt oder indirekt von Menschen. Bei der Problemlösung mit dem Computer versucht man aus diesem Grund die Problemlösungskomponente ähnlich dem menschlichen Problemlösungsverhalten aufzubauen. Im Vordergrund stehen die Vernunft und der Verstand. Sie ermöglichen einem, das Wissen in Form von Daten zu besitzen und durch die Kombination dieser Daten zu neuen Erkenntnissen zu gelangen. Man versucht das menschliche Lösungsverhalten in Form von Software nachzubilden, um dem Entscheidungsträger ein effizientes Mittel zur Lösung von komplexen Konfliktsituationen zur Verfügung zu stellen. Solche Art von Intelligenz wird als Künstliche Intelligenz bezeichnet. Die Methoden der Künstlichen Intelligenz stellen heutzutage ein mächtiges Mittel zur Unterstützung des Menschen bei der Bewältigung von immer komplexeren Aufgaben dar. Die Entwicklung aller dieser Bereiche geht in Richtung Intelligenzsteigerung [Nanasi 1996].

Zu diesen drei Megatrends ist auch die obengenannte Datenautobahn (Information-Highway) zu zählen (Abb. 1.4.). Der Einsatz des Information Highways erfordert Integration, einen hohen Grad an Flexibilität und eine Intelligenz der Produktionssysteme. Der Einsatz ermöglicht die bessere Nutzung und Anwendung dieser drei internen Megatrends. Sie wurden in vernetzten Bereichen effizienter eingesetzt und gewinnen damit an Bedeutung. Der Datenautobahntrend ist noch neu und in der Produktionstechnik noch wenig angewandt.



*Abb. 1.4. Vier Megatrends [Nanasi 1996]*

## 2. INNERBETRIBLICHE LOGISTIK UND OPTIMIERUNG VON PRODUKTIONSABLÄUFEN

### 2.1. Der Logistikbegriff

Die Logistik kann als bereichsübergreifende Strategie zur Optimierung der Produkterstellung bezeichnet werden. Um die eingangs erwähnten Ziele der Logistik zu erreichen, muss der Einsatz von Personal, Material, Information, Betriebsmittel und Energie geplant, gesteuert und kontrolliert werden. Das heißt, sämtliche Unternehmensbereiche sind von der bereichsübergreifenden Logistikstrategie betroffen. Teilbereiche der Logistik, wie Beschaffungslogistik, Distributionslogistik, Entsorgungslogistik, Transportlogistik, Informationslogistik, Anlagenlogistik und Instandhaltungslogistik unterstützen die Zielerreichung.

Unter Logistik versteht man im weitesten Sinne die physische Versorgung eines Unternehmens mit Ressourcen, d. h. mit Gütern, Dienstleistungen und Informationen.

Die Logistik soll sicherstellen, dass die:

- richtigen Produkte und Informationen in den,
- richtigen Mengen in den,
- richtigen Zuständen zu den,
- richtigen Zeitpunkten,
- auf möglichst wirtschaftliche Weise an den,
- richtigen Ort gelangen.

Im Gegensatz zur mathematischen Logistik, deren Begriff sich aus dem griechischen Wort „Logistika“ herleitet, was soviel wie „praktische Rechenkunst“ bedeutet, kommt der Begriff der betrieblichen Logistik vom französischen Verb „loger“ - was soviel wie unterbringen, unterstützen, versorgen, bereitstellen bedeutet.

Der Militärwissenschaftler Henri Jomini (1779 - 1869) führte den Begriff einerseits zur Bezeichnung aller für die Versorgung militärischer Truppen mit Waffen, Munition, Verpflegung und Bekleidung und andererseits für alle für das Transportwesen der Streitkräfte notwendigen Tätigkeiten ein. Die militärische Bedeutung des Begriffes hat sich bis heute erhalten.

Auch für einen modernen Produktionsbetrieb ist die Versorgung mit Material und Informationen von entscheidender Bedeutung für den Erfolg: In einem integrierten und kontrollierten Flusssystem sollen die Transport-, Handhabungs-, Fertigungs-, Prüf-, Lagerungs- und Umschlagvorgänge aller Güter vom Lieferanten durch den Betrieb bis zum Kunden gesteuert und koordiniert werden.

Eine Aufgliederung der Anforderungen an die Logistik ermöglicht eine Konkretisierung der im Unternehmensalltag wahrzunehmenden Aufgaben:

- Auftragsabwicklung,
- Materialwirtschaft,
- Verpackung,
- Transport.

Die in der Literatur auftauchenden Begriffe wie Distributionslogistik, Marketinglogistik, innerbetriebliche Logistik, zwischenbetriebliche Logistik, Verpackungslogistik, Citylogistik, Verkehrslogistik, technische Logistik, Instandhaltungslogistik, Industrielogistik, usw. sind derart vielfältig und in der Literatur begrifflich nicht eindeutig festgelegt, dass es zu Auffassungsunterschieden kommen kann.

Logistik kann am besten anhand des in der Einleitung erwähnten Wertschöpfungsprozesses beschrieben werden. Es geht dabei um den inner- und außerbetrieblichen Materialfluss und Informationsfluss, also um die Aufgaben und Systeme der Logistik, die innerbetriebliche Logistik (Produktionslogistik), die zwischenbetriebliche Logistik (Logistiknetzwerke), sowie um Logistikkennzahlen und Logistikkosten.

Abb. 2.1. zeigt die prinzipiellen Verläufe des Material- und Informationsflusses durch einen Produktionsbetrieb. Als Wertschöpfungsprozess oder Wertschöpfungskette wird die betriebliche Leistungserstellung mit allen Funktionen von der Beschaffung über die Entwicklung, Arbeitsvorbereitung und Produktion bis zum Vertrieb verstanden.

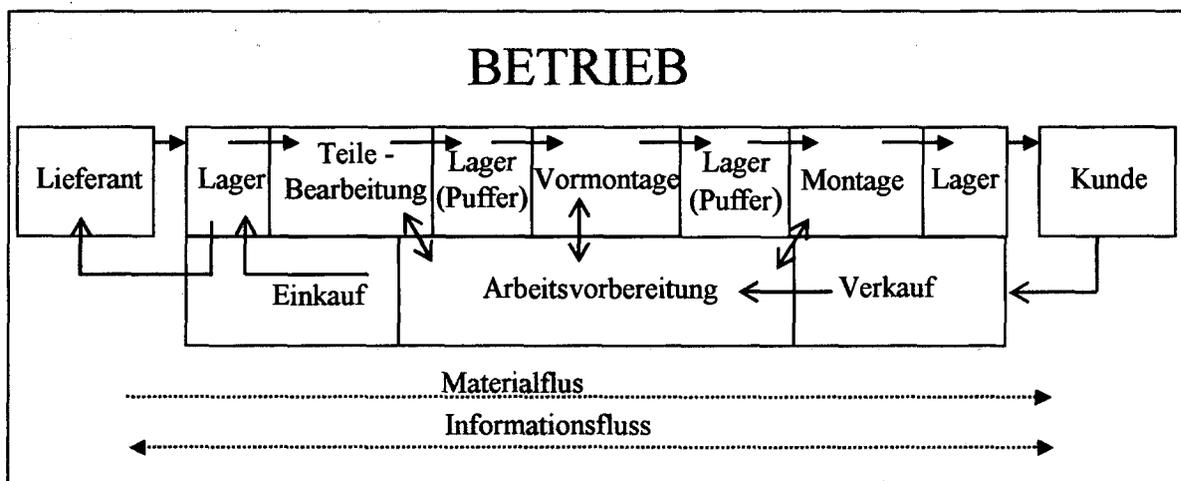


Abb. 2.1. Wertschöpfungskette

Im Folgenden werden die wichtigsten Logistikbegriffe näher erläutert, um die Thematik „Logistik“ einordnen zu können.

### LOGISTIK

ist die Gestaltung des Material- und Informationsflusses aus ganzheitlicher Sicht in Richtung eines wirtschaftlichen Optimums.

Zwischenbetrieblich	Innerbetrieblich
<ul style="list-style-type: none"><li>• Logistiknetzwerke</li><li>• Transport/Distribution</li><li>• Supply-Chain-Management</li><li>• Efficient Consumer Response</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Beschaffung/Einkauf</li><li>• Lagerung/Kommissionierung</li><li>• Arbeitsvorbereitung</li><li>• Produktion</li><li>• Verkauf/Kunde</li></ul>

Tab. 2.1. Definition der Logistik

## 2.2. Prozessorientierung in der Logistik

Die Logistik ist, ähnlich wie das Personalwesen und das Finanzwesen, eine Querschnittsfunktion im Unternehmen. Das Problem aller Querschnittsfunktionen besteht darin, dass eine Vielzahl von Beziehungen existiert, an denen, falls eine ganzheitliche Optimierung versäumt wird, Reibungen entstehen.

Die in Abb. 2.2. dargestellten Lagersysteme, Kommissioniersysteme, Bereitstellungssysteme, Informationssysteme, Planungs- und Steuerungssysteme sind Logistikelemente, die einzeln betrachtet und auch optimiert werden können. Allerdings reicht die Erklärung einzelner Logistikelemente für eine ganzheitliche Betrachtungsweise nicht aus, da auch die Beziehungen zwischen den Elementen berücksichtigt werden müssen.

## 2.3. Netzwerkmodelle

Der Fluss - Begriff, der eine zentrale Bedeutung in der Logistik hat, kommt aus der Strömungsmechanik. Bei einer Flüssigkeit, die in einem Leitungsrohr von einem Querschnitt A, der Quelle, zu einem Querschnitt B, der Senke, fließt, wird die Flussstärke oder kurz der Fluss in *Mengeneinheiten pro Zeiteinheit (ME/ZE)* ausgedrückt. Ein stationärer Fluss ist im Zeitablauf konstant; für ihn gilt, dass der Zufluss in A gleich dem Abfluss in B und gleich dem Fluss an jedem Querschnitt im Rohr ist. Für einen dynamischen, d.h. zeitlich sich ändernden Fluss gilt diese Beziehung im zeitlichen Mittel.

Durch Verbindung mehrerer solcher Leitungsstücke an Knoten erhält man ein Leitungsnetz, das als Schnittstellen zur Außenwelt mehrere Quellen und Senken besitzen kann, die ebenfalls als Knoten gelten. Für den Fluss im Netzwerk, der sich aus den Flüssen in den einzelnen Leitungsstücken zusammensetzt, gilt das Prinzip der Flusserhaltung: In jedem Knoten ist (im Mittel) die Summe aller (systeminternen und -externen) Zuflüsse gleich der Summe aller Abflüsse. Das Leitungsnetz wird nun abstrahiert zu einem Netz aus Knoten und Pfeilen. Der Fluss in einem Pfeil kann Kosten und Erlöse verursachen. Er wird in seiner Stärke durch die Kapazität des Pfeils begrenzt.

Diese Struktur lässt sich unmittelbar auf ein Logistik-System übertragen: Die Flüsse stellen Transport-, Produktions- oder Umschlagprozesse für bestimmte Güter dar, die Knoten Lager, Puffer oder Umschlagpunkte. In den Quellen besteht ein Güterangebot, in den Senken ein Bedarf. Man beachte, dass ein stationäres Flussmodell keine Lagerbestände erfassen kann. Denn wegen der Flusserrhaltung bleibt der Bestand in jedem Lagerknoten konstant. Nur ein dynamischer Fluss kann durch temporäre Ungleichheit von Zu- und Abfluss dort Bestände aufbauen und abbauen.

Im Netzwerkflussmodell kann man nicht nur die fließenden Mengen, z.B. Transporthund Produktionsmengen, betrachten, sondern auch die *Durchlaufzeiten* (DLZ), die eine ME von einem Punkt im Netzwerk zu einem anderen benötigt. Zwischen den DLZ und dem Fluss besteht ein wichtiger Zusammenhang, der den Bestand im betrachteten Netzabschnitt, auch „Pipeline-Bestand“ oder *Work in Process (WIP)* genannt, einbezieht. Er lässt sich am oben betrachteten Beispiel des Leitungsrohrs verdeutlichen: Bei stationärem Fluss hat während einer DLZ von A nach B genau die dem WIP zwischen A und B entsprechende Menge den Querschnitt B passiert. Daher gilt (im Mittel)

$$\text{Fluss} = \text{WIP}/\text{DLZ} \text{ oder } \text{WIP} = \text{Fluss} \cdot \text{DLZ}.$$

Bei gegebenem Fluss sind somit WIP und DLZ proportional. Dies entspricht der physikalischen Tatsache, dass die Fließgeschwindigkeit in einem dünneren Rohr höher ist als in einem dickeren.

Das Flussmodell wird auch in neueren Softwaresystemen für das SCM zur graphischen Beschreibung der Supply Chain benutzt. Es stellt eine aggregierte Betrachtungsweise dar, die die einzelnen fließenden Objekte, z.B. Fahrzeuge oder Produktionsaufträge, zum Fluss zusammenfasst. Für eine Einzelerfassung der Bewegung dieser Objekte, etwa zum Zweck einer kurzfristigen Steuerung, gibt es andere Netzwerkmodelle. Zum Beispiel betrachtet man für die Tourenplanung ein Straßennetz mit Fahrzeiten für jeden Pfeil und den genauen zeitlichen Ablauf der Fahrten einzelner Fahrzeuge, in der Werkstattsteuerung ein Netz von Arbeitsstationen, an denen jeweils einzelne Aufträge bearbeitet werden. In einem Netzplan werden die einzelnen Aktivitäten eines Projekts, ihre Dauer und ihre Vorgänger – Beziehungen dargestellt. Er dient nicht zur Planung fließender Mengen im Logistiksystem, sondern zur zeitlichen Abstimmung einzelner Aktivitäten.

Die genannten Modelle erlauben eine Optimierung der logistischen Aufgaben. Die Bestimmung optimaler Flüsse in beliebigen, auch sehr großen Netzen, bei linearen Kosten und Erlösen ist mit Standard-Software auf Basis der linearen Programmierung oder spezieller Netzwerkfluss - Verfahren [Domschke 2002] relativ einfach und schnell durchführbar. Netzwerkflussmodelle sind auch einsetzbar für die Gestaltung des Netzes selbst, also des logistischen Systems, indem man den Fluss durch bestimmte Knoten und Pfeile mit fixen Kosten für die Schaffung der entsprechenden Einrichtungen belegt.

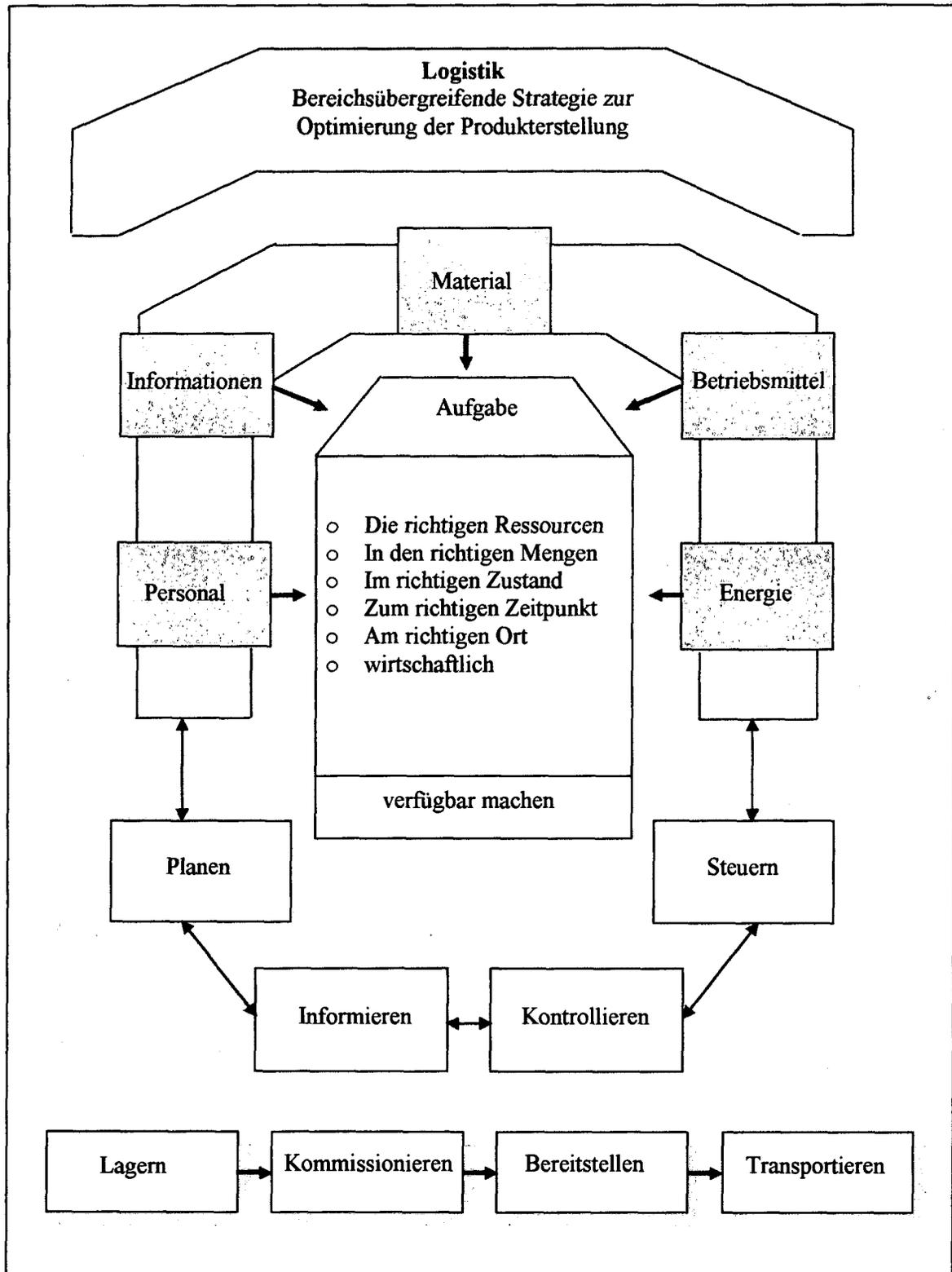


Abb. 2.2. Logistik als bereichsübergreifende Strategie

## 2.4. Logistische Prozesse

Als logistische Prozesse wurden bereits Transport, Lagerung, Umschlag und Kommissionierung abgegrenzt. Eine wichtige Hilfsfunktion dafür hat die Verpackung. Hinzu kommen die zur Steuerung notwendigen IK-Prozesse.

### ○ Transportprozesse

*Außerbetriebliche Transporte* treten auf der Beschaffungsseite von den Lieferanten zum Unternehmen und auf der Distributionsseite von dort zu den Kunden auf, außerdem zwischen den unterschiedlichen Betriebsstandorten eines Unternehmens sowie in der Entsorgung. Als Transportmittel kommen Kfz, Bahn, Flugzeug, Binnen- und Seeschifffahrt in Frage. Oft werden Transporte ein oder mehrmals an Umschlagpunkten (UP) unterbrochen. Dadurch können zum einen mehrere Transportaufträge (Sendungen) mit unterschiedlichen Versand- oder Empfangsorten über große Entfernungen gebündelt und so die Transportkosten gesenkt werden. Zum anderen ist am UP ein Wechsel des Transportmittels im kombinierten Verkehr möglich.

*Innerbetrieblicher Transport oder Fördern* findet zwischen Produktionsstellen, Lagern und dem Wareneingang und -ausgang statt. Einen Überblick über die Fördertechniken und ihren Einsatzbereich gibt [Jünemann 1998].

### ○ Umschlag

Umschlagprozesse sind das Be- und Entladen von Transportmitteln, das Sortieren sowie das Ein- und Auslagern. Sie verbinden die einzelnen Transportabschnitte bei unterbrochenem Verkehr sowie den außerbetrieblichen Transport mit dem innerbetrieblichen Materialfluss.

Die Umschlagprozesse an einem UP müssen so gestaltet sein, dass sie die unerwünschten Effekte des gebrochenen Transports, zusätzliche Kosten und Durchlaufzeiten durch den Umschlag, in akzeptablen Grenzen halten. Dazu dienen einheitliche Ladebehälter wie Wechselbrücken und Container, die sich im Güterverkehr auf allen Transportmitteln weitgehend durchgesetzt haben. Im Wareneingang und -ausgang lassen sich die Umschlagprozesse durch Abstimmung einheitlicher Ladungsträger, z.B. Paletten oder Behälter, mit den Lieferanten bzw. Kunden vereinfachen.

### ○ Kommissionieren

Kommissionieren bedeutet das Zusammenstellen von Lagerartikeln zu Aufträgen, die jeweils bestimmte Mengen verschiedener Artikel verlangen. Da diese Mengen kleiner sind als die artikelreinen Lagereinheiten (z.B. ganze Paletten), müssen sie aus Anbruch-Einheiten entnommen werden. Die Aufträge betreffen entweder Material für eine Produktionsstelle oder es sind Kundenaufträge, die in den Versand gehen. Es existiert eine große Vielfalt von Kommissioniertechniken.

### ○ Lagerprozesse

Lagerprozesse sind das Einlagern, die Lagerung und das Auslagern. Die Techniken dazu müssen aufeinander abgestimmt sein. Durch die Wahl des Lagerplatzes beim Einlagern wird die Fahrzeit für das Ein- und Auslagern beeinflusst. Als Einlagerungsstrategien werden außer der chaotischen Lagerung auch Einteilungen des Lagers in Artikelzonen

benutzt, die darauf abzielen, den häufig umgeschlagenen Artikeln Plätze mit kürzeren Anfahrzeiten zuzuweisen. Die Lagerung selbst stellt keine eigene Aktivität dar. Die Lagerdauer und die Höhe des Bestandes der einzelnen Artikel werden durch die Steuerung der vor- und nachgelagerten Transport- und Produktionsprozesse bestimmt.

- Verpackung

Die Verpackung hat neben der Schutzfunktion für das verpackte Gut wichtige logistische Funktionen: Sie soll eine einfache Handhabung bei Umschlag und Kommissionierung und eine gute Raumausnutzung für Transport und Lagerung, z.B. durch geeignete Abmessungen und Stapelfähigkeit, ermöglichen. Außerdem kann die Verpackung Informationen über das verpackte Gut, den Empfangsort und den Transportweg tragen, insbesondere in elektronisch lesbarer Form, z.B. als Barcode. Der Verpackungsprozess ist in der Regel in den Produktions- oder in den Kommissionierungsprozess integriert. Die Verpackung verursacht ihrerseits logistische Aufgaben im Rahmen der Entsorgung, insbesondere das Recycling von Packstoffen und von Mehrwegverpackungen.

- IK - Prozesse

Informationen werden für die Planung und Steuerung aller Prozesse in der Logistikkette benötigt. Ausgangsinformationen sind die Kundenaufträge und Absatzprognosen, aus denen in verschiedenen Planungsschritten interne Aufträge für Produktion, Transport und Beschaffung abgeleitet werden.

Die Auftragsabwicklung muss für die termingerechte Durchführung der freigegebenen Aufträge sorgen. Dazu benötigen alle beteiligten Stellen entsprechende Informationen. Vorauseilende Informationen dienen der Vorbereitung der Auftragsbearbeitung, z.B. des Empfangs und Umschlags eines Transports; begleitende Informationen geben Anweisungen für die Ausführung, eine typische nachteilige Information ist die Fakturierung. Schließlich sind Rückmeldungen über den Auftragsfortschritt von Bedeutung. Planung, Steuerung und Auftragsabwicklung erfordern Informationen über den aktuellen Zustand der Logistikkette, insbesondere Bestände, Auftragsfortschritt und verfügbare Kapazitäten. Eine elektronische Erfassung dieser Informationen am Ort der Entstehung erfolgt durch die betriebliche Datenerfassung (BDE), bei logistischen Prozessen oft in Form einer mobilen Datenerfassung, für die laufende unternehmensweite Verfügbarkeit sorgen die Systeme des Enterprise Resource Planning (ERP).

## **2.5. Supply Chain Management (SCM)**

Über das Supply Chain Management existieren die unterschiedlichsten Auffassungen. Eine sehr allgemeine Definition beschreibt das SCM als einen organisatorisch und informationstechnologisch geprägten Ansatz zur Gestaltung und Koordination logistischer Netzwerke.

Dies geschieht durch:

- Identifizierung und Gestaltung der Supply Chains eines Netzwerkes (über- und zwischenbetriebliche Organisation),

- Interne Ausrichtung des Unternehmens auf die Supply Chains (innerbetriebliche Organisation und Schnittstellengestaltung),
- Verkürzung der Distanz zu Lieferanten, Handelspartnern, Kunden, Öffentlichkeit sowie zwischen Unternehmensstandorten durch informationstechnologische Vernetzung und,
- Intensivierung der Planung durch Ausdehnung des Betrachtungsraumes (Lieferanten, Kunden und andere logistische Partner) und Einsatz intelligenter Planungsmethoden und -algorithmen.

Starkes Gewicht lag in der Vergangenheit auf den Aspekten der DV-technischen Vernetzung sowie der Intensivierung der Planung. Hierbei ist wichtig, festzuhalten, dass die aktuelle Begriffsauffassung von SCM als Bezeichnung für Softwaretools, die eine optimierende Planung und Steuerung von vernetzten Geschäftspartnern auf der Basis moderner Algorithmen bzw. Kommunikationsprinzipien unterstützen, besteht.

### **2.5.1. Die Ziele von SCM**

Man stelle sich vor, es würde gelingen, die Prozesse unternehmensübergreifenden zu optimieren in Analogie zur kostensübergreifenden Optimierung eines einzelnen Unternehmens. Welches Zeit- und Ertragspotential!

Ziele der unternehmensübergreifenden Supply Chain sind:

- die Verkürzung der Durchlaufzeit,
- die Verkürzung der Cash – to – Cash - Zyklen,
- die Senkung der Lagerkosten.

Diese Ziele werden über die gesamte Logistikkette verfolgt, um ein Gesamtoptimum für alle Beteiligten zu realisieren. Als Folge werden kürzere Lieferzeiten, eine verbesserte Marktstellung, eine höhere Flexibilität der beteiligten Unternehmen und ein geringeres Risiko von Überproduktion erreicht.

Auf diese Weise kann die gesamte Prozesskette

- gleichzeitig beschleunigt werden, wenn der Markt anzieht und,
- gleichzeitig gebremst werden, wenn der Marktbedarf sinkt.

### **2.5.2. Zielsetzung des Supply Chain Controlling**

Supply Chain Controlling hat die Zielsetzungs-, Planungs- und Kontrollaufgaben der Führungsteilsysteme, denen die logistischen Aktivitäten obliegen, koordinierend zu unterstützen.

Zur Koordination gehört vor allem, dass das Unternehmensoberziel festgelegt und präzisiert wird bzw. die Unternehmensziele bekannt sind und diese bis zu den Subzielen des Supply Chain Management aufgeschlüsselt werden.

Empirische Untersuchungen belegen, dass Unternehmen eine große Anzahl von Zielen in unterschiedlicher Reihenfolge anstreben.

In marktwirtschaftlichen Unternehmen steht im besonderen die Sicherung eines anhaltenden (langfristigen) Unternehmenserfolgs im Vordergrund der ökonomischen Zielvorstellungen.

Unternehmensprozesse - wie Beschaffungs-, Produktions-, Lager- und Vertriebsprozesse etc.- können auf Dauer nur aufrechterhalten werden, wenn finanzielle Mittel, in ausreichendem Maße zur Verfügung steht und durch den Absatz der Produkte und Dienstleistungen über den Markt mit einer entsprechenden Verzinsung werden können. Die laufende Durchführung der leistungswirtschaftlichen Prozesse muss also jeweils finanziert werden.

Aus dieser Sicht lassen sich als weitere Oberziele die Liquidität, d. h. die Fähigkeit, jederzeit den Zahlungsverpflichtungen nachkommen zu können, und eine angemessene Verzinsung des eingesetzten Kapitals (das auch einen Ausgleich für eingegangene Unternehmensrisiken (widerspiegelt) ansehen.

Die eindeutige Ableitung der Sub- bzw. Unterziele aus den Oberzielen macht einer Kenntnis der Ursache -Wirkungs-Zusammenhänge notwendig.

Aus der Sicht des Supply Chain Controlling ist zu klären, welche Oberziele im Unternehmen bestehen und durch welche Subziele das Lieferkettenmanagement diese Oberziele beeinflussen kann.

### **2.6. Ziele der Logistik**

Das allgemeine ökonomische Ziel der Effizienz bedeutet für die Logistik, dass die Kosten der logistischen Prozesse für die jeweilige Leistung minimal und ihre Leistung bei den jeweiligen Kosten maximal sein sollen. Die ganzheitliche und kundenorientierte Sicht der Logistik erfordert, dass dabei die gesamten Kosten des betrachteten Logistiksystems, z.B. der Logistikkette, und die gesamte Leistung für die Kunden beachtet werden. Außerdem haben ökologische Ziele für die Logistik eine wachsende Bedeutung.

### 2.6.1. Logistikleistung

Output der logistischen Prozesse ist die bedarfsgerechte Bereitstellung von Gütern für Kunden. Dies betrifft bei Betrachtung der gesamten logistischen Kette eines Unternehmens dessen Kunden. Ein Denken in Lieferanten-Kunden-Beziehungen wird aber in der Logistik für alle Prozesse gefordert, so dass auch beliebige logistische Subsysteme an (ggf. internen) Kunden auszurichten sind. Eine monetäre Bewertung der logistischen Leistung fällt schwer, da sie den Wert aus Sicht des Kunden ausdrücken müsste. Eine andere Bewertung erfolgt über den Liefer-Service, der üblicherweise durch die vier Kriterien Lieferzeit, -zuverlässigkeit, - Qualität und -flexibilität definiert wird [Pfohl 2000].

Die *Lieferzeit* ist die Zeit von der Auftragserteilung bis zur Bereitstellung der Ware beim Kunden. Sie wird durch die DLZ der zur Kunden - Auftragsabwicklung notwendigen Prozesse und somit durch die Bevorratungsstrategie (Festlegung der auftragsorientierten und der anonymen Prozesse) bestimmt.

Die *Lieferqualität* beschreibt zum einen die Übereinstimmung der Lieferung mit dem Auftrag bzgl. Art und Menge, zum anderen den Zustand der Ware im Hinblick auf Beschädigungen, Verschmutzung, usw.

Die *Lieferflexibilität* ist die Fähigkeit, auf Kundenwünsche hinsichtlich der Art der Auftragserteilung, der Liefermodalität (z.B. Verpackung, Ladungsträger, Transportmittel, Tageszeit) und der Information über laufende Aufträge einzugehen.

Der Lieferservice als Bewertungskriterium der Logistikleistung ist mehr-dimensional und nur teilweise quantifizierbar. Er kann eine große Wirkung auf das Nachfrageverhalten der Kunden haben, die sich aber kaum formalisieren lässt. Deshalb ist eine gemeinsame Optimierung von Logistikleistung und -kosten nicht möglich. Sinnvoll ist eine Festlegung des angestrebten Lieferservices im Rahmen der strategischen Zielplanung und eine Minimierung der Kosten zur Erreichung dieses Ziels.

### 2.6.2. Logistikkosten

Die zwischen den Elementen eines Logistiksystems bestehenden Interdependenzen sind auch bei den Kosten vorhanden, die durch diese Elemente verursacht werden. Die Senkung der Kosten in einem logistischen Teilsystem kann zu einem Ansteigen der Kosten in anderen Teilsystemen und - wenn die Kostensenkung geringer ist als die Kostensteigerungen - zu einem Kostenanstieg für das gesamte Logistiksystem führen. So könnte eine Transportkostensenkung ohne Berücksichtigung einer damit möglicherweise verbundenen Kostensteigerung bei der Verpackung oder Lagerhaltung ein Ansteigen der Auslieferungskosten zur Folge haben.

#### 2.6.2.1. Gesamtkosten

Das Gesamtkostendenken fordert deshalb die Erfassung aller für eine Logistikkentscheidung relevanten Logistikkosten.

Abb. 2.3. gibt einen Überblick über die Logistikgesamtkosten. Sie setzen sich zusammen aus den Auftragsabwicklungskosten, den Transportkosten, den Versandkosten, den Lagerkosten, den Verpackungskosten, sowie den Fehlmengenkosten und den Loskosten.

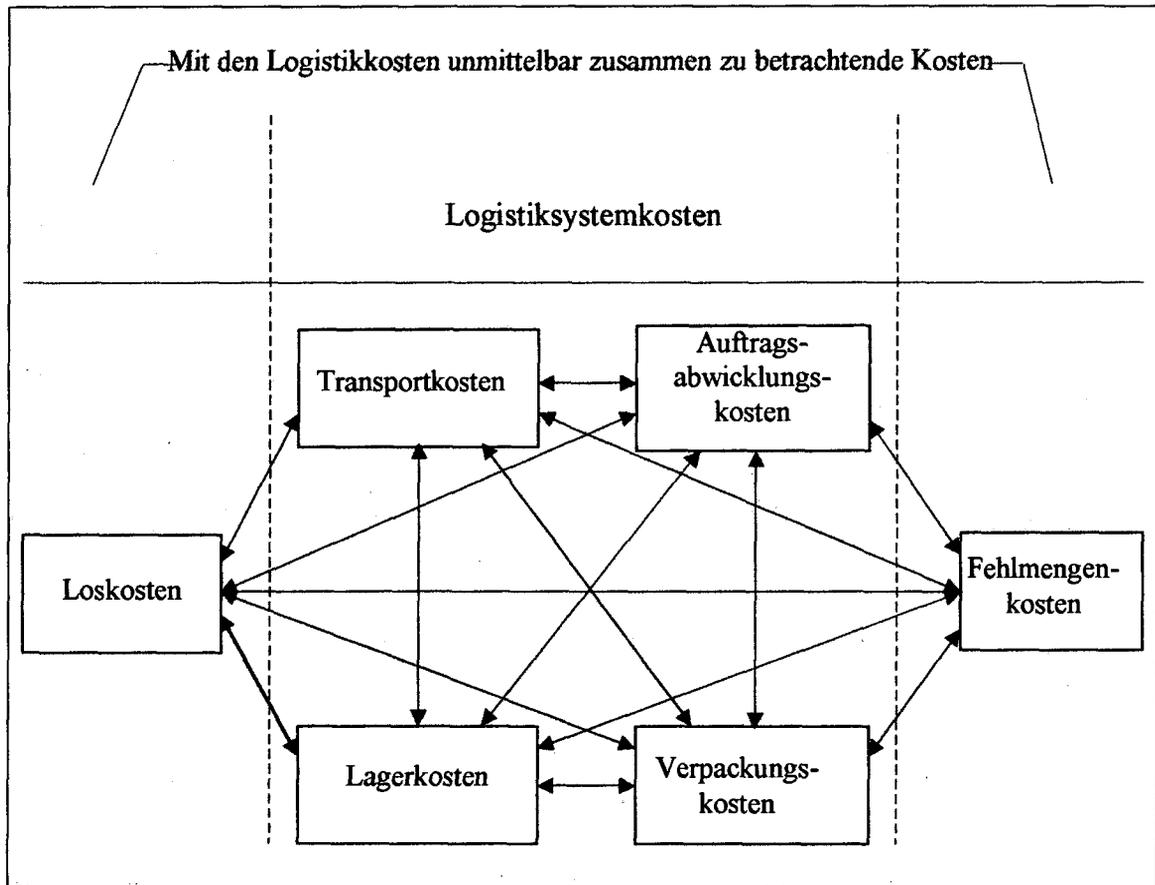


Abb. 2.3. Kostenstruktur in der Produktion

Unter *Fehlmengenkosten* werden Kosten verstanden, die durch einen zu geringen Servicegrad entstehen. Das können entgangene Deckungsbeiträge für nicht verkaufte Produkte und verlorene Kunden sein, aber auch Kosten für Betriebsunterbrechungen oder außerplanmäßiges Umrüsten.

Unter *Loskosten* werden entweder die Rüstkosten (bei Produktionslosen) oder die stückzahlunabhängigen Bestellkosten (bei Bestellung) verstanden.

#### 2.6.2.2. Zielkonflikt

Das Gesamtkostendenken ist gerade bei den Logistikkosten von großer Bedeutung, da es gerade hier eine Vielzahl von Kostenkonflikten gibt, deren Kenntnis Voraussetzung für logistisches Denken ist. Beispiele hierfür sind in Tab. 2.1. angegeben:

Kostensenkungen im Bereich	bewirken	Kostensteigerungen im Bereich
Transportwesen	↔	Lagerstände
Verpackung	↔	Transportschäden
Auftragsabwicklung	↔	Transport
Einkauf	↔	Lagerstände
Lagerhaltung	↔	Produktion

Tab. 2.2. Kostenkonflikte in der Logistik

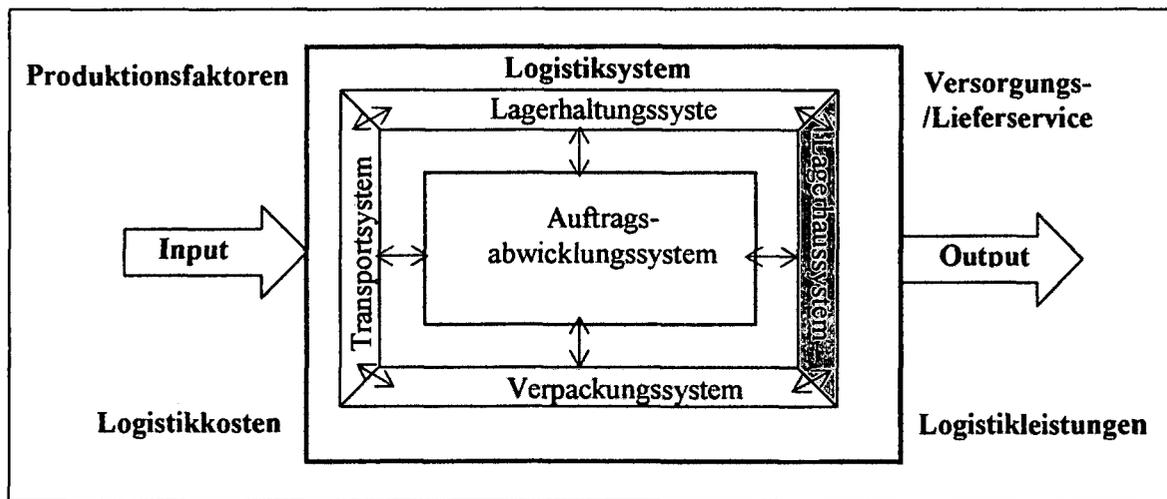


Abb. 2.4. Funktionelle Abgrenzung von Logistiksystemen

Die Logistikkosten können durch den bewerteten Einsatz der Produktionsfaktoren im Logistiksystem dargestellt werden. Kosten sind als Systeminput aus betriebswirtschaftlicher Sicht immer nur dann gerechtfertigt, wenn ihnen entsprechende Leistungen als Systemoutput gegenüberstehen. Wie aus Abb. 2.4. hervorgeht, ist logistisches Denken nicht nur Kosten- sondern auch Leistungsdenken. Das bedeutet, dass bei hohen Logistikkosten auch eine entsprechende Logistikleistung gefordert wird.

### 2.7. Just – in - time Logistik

Die *Just-in-time (JIT) Logistik (Steuerung)* [Wildemann 2001] ist ein spezielles Konzept zur Steuerung des Material- und Produktflusses in der Logistikkette, das in der japanischen Automobilindustrie entwickelt wurde und ab 1980 in den USA und in Europa Verbreitung fand.

Die Grundidee besteht darin, die aufeinanderfolgenden Produktions- und Transportprozesse so zu synchronisieren, dass jeder Prozess das Material genau dann bereitstellt, wenn der jeweilige Nachfolge - Prozess es benötigt, also „just in time“.

Im Idealfall ist dann kein Lagerbestand zwischen den Prozessen notwendig, man hat eine „bestandslose“ Logistikkette oder nur sehr geringe Pufferbestände. Das Work in Prozess (WIP) besteht dann (fast) nur aus dem Material in Bearbeitung oder im Transport, die DLZ reduzieren sich auf die reinen Bearbeitungs- und Transportzeiten. Diese Effekte - geringe Bestände, kurze DLZ und entsprechend kurze Lieferzeiten - sind die wesentlichen Vorzüge des JIT - Konzepts.

Realisiert wird es durch eine Steuerung nach dem Holprinzip (Pull - Steuerung). Dabei darf ein Prozess nur auf Anforderung des Nachfolgeprozesses aktiv werden („auf Abruf“) und dann jeweils nur eine geringe Menge produzieren bzw. transportieren, maximal für einen Tagesbedarf.

Dies bedeutet z. B. für eine JIT - gesteuerte Produktionslinie mit mehreren Produkten, dass jedes Produkt jeden Tag zu produzieren ist und somit häufige Produktwechsel anfallen. Die JIT Logistik(Steuerung) ist sowohl für die Produktion als auch für die Beschaffung anwendbar, ebenso für unternehmensübergreifende Prozessketten.

✓ Eine mögliche Form der Realisierung für mehrstufige Produktion ist das japanische Kanban - System [Wildemann 1999].

Die JIT - Zulieferung von Material ist in der Automobilindustrie verbreitet. Die JIT - Steuerung ist nicht universell einsetzbar, sondern an eine Reihe von Voraussetzungen gebunden:

- Standardmaterial oder -produkte, mit gleichmäßigem Bedarf ,
- Fließorganisation der Produktion mit abgestimmten Kapazitäten,
- keine nennenswerten Rüstkosten und -zeiten bei Produktwechsel,
- Kapazitätsreserven und hohe Zuverlässigkeit,
- Fehlerquote nahe null,
- kurze Lieferfristen in der Beschaffung.

Die Anforderungen an das Produktionssystem kann man durch strategische Gestaltungsmaßnahmen herstellen, die aber erhebliche Investitionen erfordern können, z. B. durch Segmentierung der Produktion nach verwandten Produkten, Automatisierung von Rüstvorgängen und qualitätssichernde Maßnahmen.

Die Voraussetzungen für die Beschaffung können durch strategische Kooperation mit den Lieferanten erreicht werden. Das JIT - Konzept ist somit in erster Linie ein strategisches Konzept: Die Logistikkette ist so zu gestalten, dass eine bestandsarme Steuerung des Güterflusses möglich ist.

### 3. INTEGRIERTE PRODUKTIONSSYSTEME

#### 3.1. Die Evolution von CIM

Bisher war ein wesentlicher Teil der industriellen Fertigung auf Menge ausgerichtet, auf die Großserienfertigung standardisierter Erzeugnisse. Heute werden Fertigungskonzepte gefordert, mit denen oft wechselnden Losgrößen unterschiedlicher Produkte wirtschaftlich zu fertigen sind. Der Markt reagiert oft unvorhersehbar. Der Käufer verlangt heute dieses und morgen jenes Produkt stärker und macht dadurch die Prognose fast unmöglich. Deshalb muss der Hersteller schneller auf diese Änderungen reagieren, muss das Produkt produzieren, das der Käufer abnimmt, muss schnell lieferfähig sein und trotzdem zu Weltmarktpreisen verkaufen.

Hierzu bedarf es neuer Fertigungskonzepte, denn die vorhandenen sind noch nach den früheren, heute nicht mehr aktuellen Anforderungen ausgelegt und in vielen Fällen zu teuer. Die industrielle Evolution von CIM erfolgte in diesen 5 Phasen, welche in der Abb. 3.1. dargestellt sind.

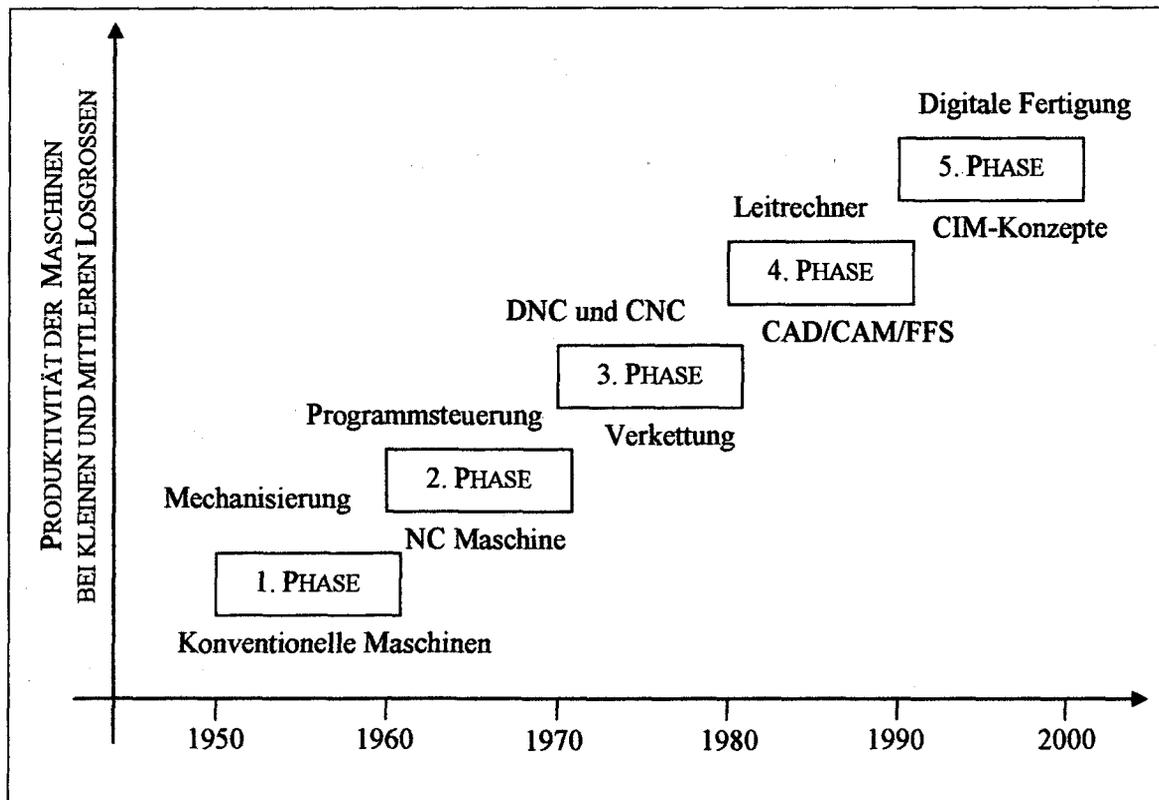


Abb. 3.1. Die 5 Phasen von konventionell bis CIM [Kief 1998]

In der 1. Phase, in der Zeit von 1950 bis 1960, waren in Europa über 90% der Fertigungseinrichtungen zerstört, unbrauchbar oder demontiert.

Der Bedarf an allen Produkten war groß, die Nachfrage zunehmend, der Lebenszyklus der Produkte war entsprechend lang. Die Investitionsplanung für diese Maschinen war problemlos, die alten Investitionsregeln waren noch gültig, die Automatisierung von Kleinserien spielte noch keine Rolle.

In der **2. Phase**, in der Zeit von 1960 bis 1970, wurden schon viel „Nachkriegsmaschinen“ durch neuere, modernere ersetzt, die Produktion erweitert, rationalisiert. Der internationale Wettbewerb bei Import und Export wurde spürbar. Neue Produkte kamen auf den Markt.

In der **3. Phase**, in der Zeit von 1970 bis 1980, wechselte der Verkäufermarkt zum Käufermarkt und die Elektronik begann ihren unaufhaltsamen Einzug in alle Bereiche der Fertigungstechnik. Der Lebenszyklus vieler Produkte wurde kürzer, die Fertigungsstückzahlen schrumpften, die Varianten kamen schneller und vielfältiger auf den Markt. Die alten Produktionseinrichtungen der 1. und 2. Phase waren zwar noch technisch in Ordnung, aber nicht mehr ausgelastet, andere überlastet, viele nicht mehr wirtschaftlich.

In der **4. Phase**, in der Zeit von 1980 bis 1990, entstanden in den U.S.A. die ersten Verkettungen mehrerer NC – Maschinen, Komplettlösungen, völlig neue Konzepte für mittlere und kleinere Serien.

Heute befinden wir uns in der **5. Phase**. Man musste feststellen, dass schnellere Maschinen und automatische Transportsysteme zwar einen besseren Materialfluss bewirkten, dafür traten aber die Probleme beim Datenfluss um so deutlicher zutage. Die bessere Nutzung der vorhandenen Werkstückdaten und eine schnelle automatische Datenübertragung zwischen allen fertigungsvorbereitenden Abteilungen und Produktion – und Montageeinrichtungen wurde zur Hauptforderung der 5. Phase.

Also, in den Phasen 1 und 2 konzentrieren sich die Rationalisierungsanstrengungen vorwiegend auf die Erhöhung der Hauptzeiten durch die Reduzierung der Nebenzeiten. Dies erreichte man durch:

- höhere Schnittleistungen der Werkzeuge,
- höhere Spindelleistungen der Maschinen,
- automatischen Werkzeugwechsel und
- automatischen Werkstückwechsel.

Diese Ratio-Reserven waren bald ausgeschöpft. Deshalb richten sich die Bemühungen in den Phasen 3 und 4 auf die weitere Verringerung auf die Nebenzeiten durch:

- Verlagerung der Rüstzeiten in die Hauptzeiten,
- Reduzierung der Wartezeiten,
- Reduzierung der Ausfallzeiten,
- unterbrechungslosen Programmwechsel,
- automatische Werkzeugverwaltung und Zubringung,
- automatische Eingabe der Werkzeug-Korrekturwerte vom Voreinstellgerät in die CNC (Computer Numerical Control) Maschine,
- automatische Werkstückzubringung.

All diese Automatisierungsmaßnahmen erfüllen gleichzeitig die wichtigsten Voraussetzungen für eine weitergehende Verminderung der Maschinen- Stillstandszeiten, z.B. durch:

- einen unbeaufsichtigten Durchlaufbetrieb nach Feierabend in den Nachtstunden,
- die Überbrückung der Pausenzeiten,
- den personalarmen Betrieb in der 3. Schicht.

In der 5. Phase steht die Vernetzung der Rechner im Mittelpunkt. Diese sehr aufwendigen Bemühungen haben einen ernsten Hintergrund, denn neben der Kostenstruktur und der Produktqualität wird die Zeit zu einem immer entscheidenderen Wettbewerbsfaktor. Dies betrifft sowohl den Zeitbedarf für die Entwicklung neuer Produkte, als auch die Durchlaufzeit vom Auftrag [Kief 1998].

### 3.2. Die CIM Idee (Definition)

Computer Integrated Manufacturing bezeichnet die integrierte Informationsverarbeitung für betriebswirtschaftliche und technische Aufgaben eines Industriebetriebes. Häufig wird CIM als Rechnerintegrierte Produktion bezeichnet. CIM ist eine komplexe Strategie. Dadurch sind die Definitionsansätze ziemlich unterschiedlich. [ATMOS 1999] bringt folgende Definitionsansätze vor:

Unter CIM versteht man die informationstechnische Verknüpfung der mit der Fertigung zusammenhängenden Betriebsbereiche eines Unternehmens [BMFT 2000].

Unter CIM versteht man das Zusammenführen von planerisch/kaufmännischen Funktionen, die traditionell von den Begriffen Produktionsplanung und Steuerung abgedeckt werden, mit den technisch orientierten Funktionen der Konstruktion, Entwicklung und der computerunterstützten Fertigung [Philips GmbH].

CIM ist nicht als ein bestimmtes Hardware- oder Softwareprodukt zu verstehen, es ist vielmehr ein Konzept, das die vielen Bereiche, die zum Fertigungsprozeß gehören, wie Produktionsplanung und -steuerung, Zeit- und Betriebsdatenverarbeitung, Logistik usw. organisatorisch näher zusammenbringt und integriert [Siemens Nixdorf Computer AG].

Nachdem die Geschäftsprozesse des Fertigungsunternehmens verstanden und optimiert worden sind, ist CIM die Anwendung der Informationstechnologie, um Produktivität und Flexibilität des Unternehmens zu erhöhen [IBM].

Vom Ausschuss für wirtschaftliche Fertigung wird CIM folgendermaßen definiert [AWF 2001]:

CIM beschreibt den integrierten EDV-Einsatz in allen mit der Produktion zusammenhängenden Betriebsbereichen. CIM umfasst das informationstechnologische Zusammenwirken zwischen CAD, CAP, CAM, CAQ und PPS. Hierbei soll die Integration der technischen und organisatorischen Funktionen zur Produkterstellung erreicht werden. Dies bedingt die gemeinsame, bereichsübergreifende Nutzung einer Datenbasis.

Aus den obigen Definitionen ist ersichtlich, dass die Informationsverarbeitung neben der Prozesstechnologie zum wichtigsten Faktor im Herstellungsprozess eines Produktes wird. CIM ist, anders ausgedrückt, die informationstechnische Infrastruktur zur Unterstützung des Produkterzeugungsprozesses.

Die Einführung des CIM-Konzeptes in den Betrieb bringt folgende Vorteile [Ranky 2000, Rembold 1994]:

- Entwicklungskosten können um 15-30% gesenkt werden,
- Gesamte Durchlaufzeit kann um 30-60% gesenkt werden,
- Produktqualität kann um das 2-5 fache gesteigert werden,
- Produktivität der Produktionsprozesse kann um 40-70% gesteigert werden,

- Betriebszeit kann im Verhältnis zur Produktivität um das 2-3 fache gesteigert werden,
- Produktivität der Ingenieure und Manager kann um das 5-35 fache gesteigert werden,
- Lagerbestände können um 30-60% gesenkt werden.

Der Markterfolg eines Betriebes hängt davon ab, wie gut ein CIM-System eingesetzt und betrieben wird. CIM ist kein Allheilmittel für jedes Fertigungsproblem; CIM muß für die jeweilige Aufgabe geeignet sein und sich wirtschaftlich rechtfertigen lassen. In vielen Fertigungssituationen wird CIM aus diesem Grund lediglich Teilprobleme der Gesamtfunktion lösen. Man muß versuchen, diese Teillösungen in ein funktionsfähiges Fertigungssystem zu integrieren.

### **3.3. Komponenten der Rechnerintegrierten Produktion**

CIM ist die völlige Integration aller rechnerunterstützten Tätigkeiten in einem Produktionsbetrieb. Der Schwerpunkt des Begriffes liegt bei der Integration aller Automatisierungsinselfn in eine umfassende Struktur, aber mit klarer Aufgabentrennung. Ein solches Konzept setzt ein einheitliches Kommunikationssystem voraus (LAN = Local Area Network).

CIM bezeichnet demnach den Rechnerverbund aller in der Fertigung und den an der Produktionsvorbereitung beteiligten Abteilungen. Die Aufgabe von CIM besteht darin, dass die einzelnen CA – Rechner die benötigten Daten ohne Verzögerung untereinander austauschen. Aus dieser direkten Datenverbindungen ergibt sich auch der zeitliche und wirtschaftliche Vorteil von CIM: Wartezeiten werden vermieden, Verarbeitungszeiten werden kürzer, auftragsrelevante Daten können jederzeit und an jeder Stelle erfragt werden. Daraus lassen sich beispielsweise auch exakte Angaben über Lieferzeiten und Preise eines Auftrages innerhalb kurzer Zeit ermitteln.

CIM beginnt bei der Verkaufs und Marketingabteilung. So kann z. B. ein zentraler Rechner in Verkaufsaußenstellen automatisch nach eingegangenen Aufträgen abfragen, diese nach Typ, Größe, Stückzahl, Optionen und Sonderwünschen sortieren und speichern. Am nächsten Morgen kann der Verkaufsleiter den Auftragseingang feststellen, überprüfen, bei Bedarf korrigieren und die Fertigungsfreigabe an das PPS erteilen. Dieses hat vorher bereits untersucht, ob das erforderliche Material in ausreichender Menge im Lager verfügbar ist, ob nachbestellt werden muss oder ob einzelne Kunden wegen eventueller Teillieferungen anzusprechen sind. Auch die erforderliche Maschinenkapazität ist schon überprüft und mit der verfügbaren verglichen worden. In Zweifelsfällen kann sofort nachgefragt und geklärt werden.

Zum besseren Verständnis soll der Informationsverbund der CA – Techniken der Prinzipskizze aufklärt werden (Abb. 3.2.).

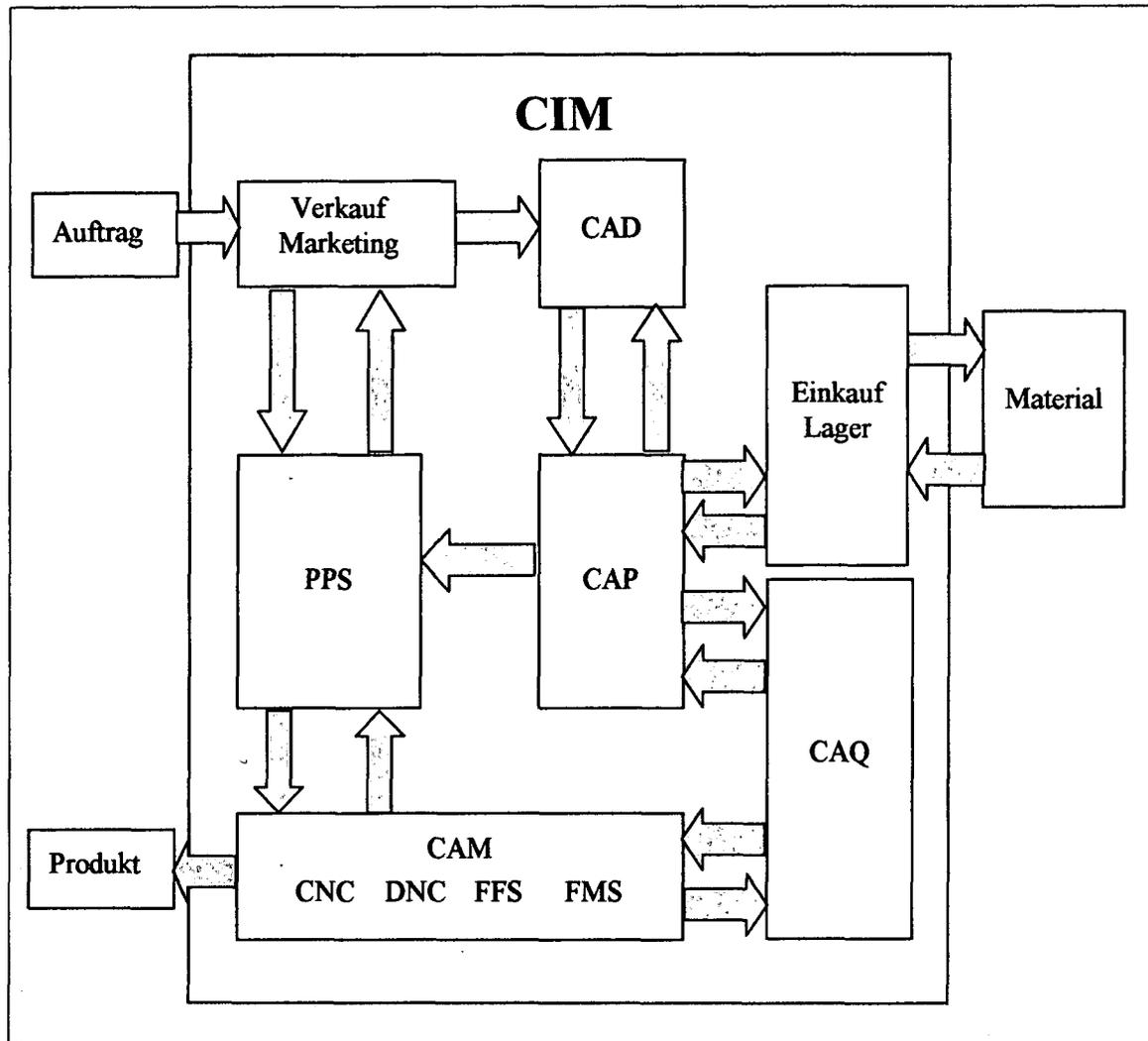


Abb. 3.2. CA - Techniken im Informationsverbund [Kief 1998]

### 3.3.1. Rechnerunterstützte Konstruieren (CAD – Computer Aided Design)

CAD ist umfassende Rechnerunterstützung für alle Aufgaben von Entwicklung (CAE) und Konstruieren (CAD). Die Leistungsfähigkeit von CAD – Systemen wird allzu oft unterschätzt. Sie sind nicht nur als „elektronisches Zeichenbrett“ anzusehen, sondern können alle technischen Kenndaten wie Festigkeit, Gewicht, statische und dynamische Eigenschaften und viele andere Werte berechnen. Für ein Getriebe lassen sich beispielsweise sämtliche Einzelteile separat darstellen, herausziehen und die geometrischen Daten für die NC – Programmierung bereitstellen. Änderungen, Modifikationen oder Verbesserungen sind mit CAD schnell realisierbar.

Aufträge mit Modifikationen oder Änderungswünsche an Standardprodukten müssen über die Konstruktionsabteilung einfließen. Da wird auf Machbarkeit geprüft, konstruiert, berechnet und in Einzelkomponenten zerlegt. Vom CAD – System kann auch der Einkauf über erforderliche Bestelländerungen, neuen Stoffbedarf oder andere Besonderheiten informiert werden. Neukonstruktionen, die den Liefertermin wesentlich beeinflussen, werden dementsprechend speziell behandelt. So muss z. B. vor Auftragsfreigabe geklärt sein, ob der Kunde den verlängerten Liefertermin akzeptiert.

### **3.3.2. Rechnerunterstützte Arbeitsplanung (CAP-Computer Aided Planning)**

CAD ist umfassende Rechnerunterstützung für alle Aufgaben von der Fertigungsvorbereitung. Dazu gehören in wesentlichen die Erstellung und Verwaltung von Arbeitsplänen und NC – Teileprogrammen, Zeitberechnungen und Kapazitätsbelegungen, sowie die Einsatzplanung von Handhabungs- und Transportmitteln. Nach der Fertigungsfreigabe übernimmt das CAP – System das Erstellen der Fertigungsaufträge und die Auftragsabwicklung.

Erweiterte CAP – Systeme übernehmen auch die Lagerbestandsführung und Material – Disposition. Vom CAQ – System erhält das CAP – System Hinweise und Daten bezüglich Qualitätstaten, technischer Mängel oder Sperrvermerke.

Da in diesem System alle zeitbedarfs- und kostenrelevanten Daten verfügbar sind, kann es auch Auskunft geben über Verkaufspreise und Lieferzeiten. Bei Unterschreitung der festgelegten Mindestbestände erfolgt Bedarfsmeldung an den Einkauf. Nachdem unser Musterauftrag das CAP – System passiert hat, ergeht Anweisung an das PPS.

### **3.3.3. Rechnerunterstützte Fertigung (CAM-Computer Aided Manufacturing)**

CAM (Computer Aided Manufacturing) beinhaltet die EDV-Unterstützung zur technischen Steuerung und Überwachung der Betriebsmittel im Fertigungs- und Montageprozess, d. h. die direkte Steuerung von Bearbeitungsmaschinen, Handhabungsgeräten sowie Transport- und Lagermaschinen.

Computerunterstützte Fertigungssysteme bestehen aus Werkzeug- und Handhabungsmaschinen, bei denen Computer Wege- und Schaltinformationen übertragen und in Form von Anweisungen entsprechende Bewegungs- und Schaltfunktionen auslösen. Die Steuerung erfolgt über das NCProgramm, das als detaillierter Arbeitsplan, der über die Informationsfunktion hinaus auch Anweisungsfunktionen erfüllt, verstanden werden kann. Ausgangsinformationen sind Geometriedaten (wie Festlegung von Schneidwegen eines Werkzeugs), Technologiedaten (z. B. Einspann- oder Schnittwerte), Werkzeug- und Betriebsmitteldaten sowie Werkstoffdaten.

### **3.3.4. Rechnerunterstützte Qualitätssicherung (CAQ-Computer Aided Quality Assurance)**

CAQ ist die umfassende Rechnerunterstützung für Aufgaben der Qualitätssicherung. Bei einem CAQ-System handelt es sich dementsprechend um ein System zur Datenverarbeitung, das ganz oder überwiegend zur Unterstützung von Tätigkeiten, Verfahren und Methoden des QM verwendet wird. Dieses System stellt somit eine Rechnerunterstützung für die Bereiche QM dar, welches Qualitätsplanung, Qualitätslenkung, QM Darlegung und Qualitätsverbesserung beinhaltet.

Durch die Computerunterstützung werden dabei die Möglichkeiten zur Vollerhebung und zur Verfeinerung statistischer Methoden verbessert. Allerdings macht die alleinige Nutzung eines CAQ - Systems keinen Sinn. Seine Stärken kann CAQ nur im Zusammenspiel mit anderen Komponenten ausspielen. Dazu ist eine Integration der CAQ mit anderen Computersystemen im Fertigungsbereich, insbesondere zur Betriebsdatenerfassung (BDE) und ggf. zur Außendienstverwaltung, erforderlich.

CAQ ist also nur ein kleiner Baustein eines komplexen Systems. Die Aufgabe eines CAQ - Systems ist die Ursachenermittlung bei Abweichungen durch die Auswertung von Basisdaten und Gegensteuerung.

Das wesentliche Ziel des Einsatzes von CAQ - Systemen ist es, Informationen zu erfassen, aufzubereiten und als Information an geeigneter Stelle wieder zur Verfügung zu stellen. Hierdurch wird die Kenntnis über die Produkt- und Prozessqualität verbessert. Weiterhin wird dem Management ein Instrument an die Hand gegeben, welches umfassende Informationen über die Qualitätslage im Unternehmen bietet. Dadurch können Entscheidungen schneller und effizienter durchgeführt werden.

Unter dem zeitlichen Aspekt können als weitere Ziele die Flexibilisierung von Durchlaufzeiten und Umrüstung, die Reduzierung von Planungs- und Nebenzeiten und die erhöhte Termintreue angeführt werden.

Auf die Aufwands- und Kostenseite führen eine Reduzierung der Sicherheits- und Durchlaufbestände, ein rationeller Personal und Betriebsmitteleinsatz, geringere Informations- und Dokumentationsaufwendungen und geringere Fehlleistungsaufwendungen zu Einsparung betrieblicher Ressourcen. Wesentlich ist natürlich auch die Qualitätssteigerung der Produkte und Prozesse.

### **3.3.5. Produktionsplanung und -steuerung (PPS)**

PPS, die detaillierter im Kapitel 4 beschrieben wird, sind rechnerunterstützte System zur Organisatorischen Planung, Steuerung und Überwachung der Produktionsabläufe während der gesamten Auftragsabwicklung, wobei Mengen, Termine und Kapazitätsaspekte berücksichtigt werden.

## 4. PRODUKTIONSPLANUNG UND STEUERUNG

Die Produktionsplanung und Steuerung (PPS) ist die betriebswirtschaftliche CIM-Komponente. Der *Ausschuss für Wirtschaftliche Fertigung (AWF)* verwendet in seinen begrifflichen Empfehlungen für CIM – Bausteine folgende Definition für PPS:

PPS bezeichnet den Einsatz rechnerunterstützter Systeme zur organisatorischen Planung, Steuerung und Überwachung der Produktionsabläufe von der Angebotsbearbeitung bis zum Versand unter Mengen-, Termin- und Kapazitätsaspekten.

PPS umfasst somit den gesamten Produktionszyklus von der Angebotslegung bis zum Versand. Innerhalb dieses Zyklus unterscheidet man zwei Phasen (Abb. 4.1.):

- Die Produktionsplanung,
- Die Produktionssteuerung.

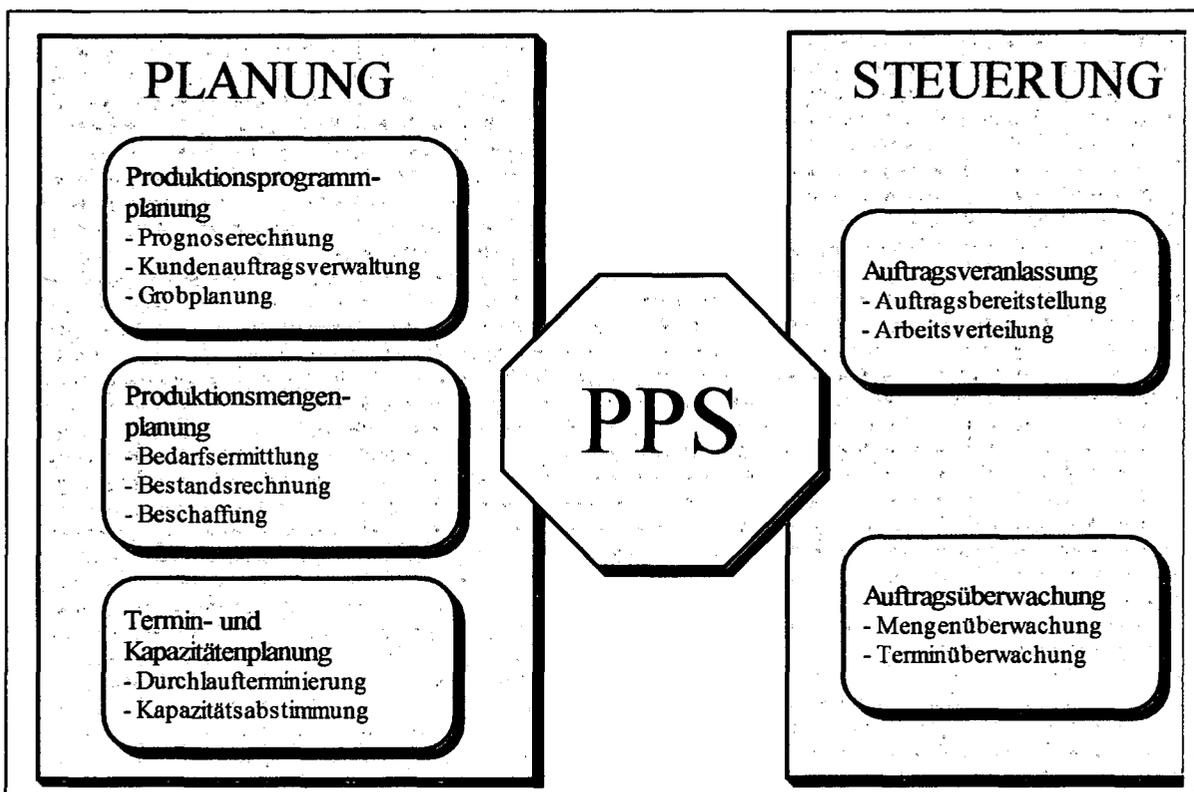


Abb. 4.1. PPS - Funktionen [Weck 2001]

Ziel der Planung ist es, den Produktionsablauf des FFS so zu organisieren, dass die höchste Produktivität des FFS bei der Bearbeitung eines ständigen Stroms von Werkstücken bzw. Fertigungsaufträgen erreicht wird [Katalinic 1990]. Höchste Produktivität bedeutet, dass ein Maximum an Werkstücken in vorgegebener Zeit unter Berücksichtigung aller Systemengpässe und der Verfügbarkeit aller Fertigungsmittel bearbeitet wird.

Wie Abb. 4.1. zeigt, sind im Rahmen der Produktionsplanung folgende Aufgaben lösen:

- **Programmplanung:** Bestimmung der zu produzierenden Endprodukte nach Art, Menge und Termin,
- **Mengenplanung:** Bestimmung der zur Produktion nötigen Teile und Baugruppen,
- **Terminplanung:** Überprüfung der für die geplanten Fertigungsaufträge notwendigen Arbeitsgänge auf ihre zeitliche und kapazitätsmassige Realisierbarkeit.

In Rahmen der Produktionssteuerung sind folgende Aufgaben zu lösen:

- **Auftragsveranlassung:** Freigabe der geplanten Fertigungs- und Bestellaufträge und Bestimmung der Bearbeitungsreihenfolge der Fertigungsaufträge auf den einzelnen Arbeitsplätzen,
- **Auftragüberwachung:** Laufende Überwachung der freigegebenen Aufträge hinsichtlich Termin und Menge.

Die Integration der kommerziellen Funktionen in CIM-Konzept ist noch nicht abgeschlossen, und eine strategische Einbindung ist noch nicht vorhanden [Nanasi 1996]. In Abb. 4.2. ist die neue Einbindung der Planung an die Fertigung dargestellt, die gleichzeitig Produktionsplanung und -steuerung wie auch Daten- und Wissensverarbeitung ermöglicht. Sie erlaubt auch die Rückkopplung von Informationen bezüglich der Fertigung, ihre Verarbeitung und Verfügbarkeit bei weiteren Planungsverfahren. Im Rahmen des FFS versuchte man eine Plattform für die Einbindung von PPS - Systemen in Form mehrerer Planungsmodule zu schaffen. An die Einbindung knüpfte man folgende Erwartungen [Nanasi 1996]:

- Arbeitsplangenerierungssysteme auf Basis von Entscheidungstabellen und wissensbasierten Systemen,
- Benutzerfreundlichkeit,
- erhöhte Flexibilität,
- Branchenunabhängigkeit und
- modularen Aufbau.

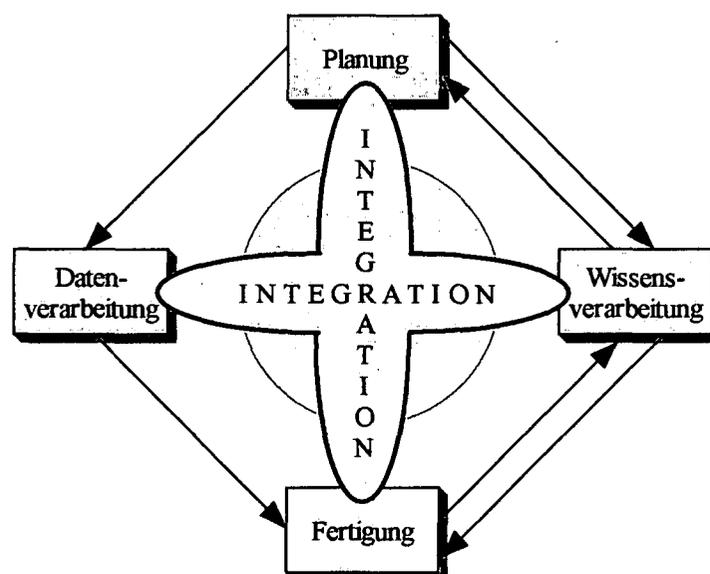


Abb. 4.2. Planung und Fertigung in Intelligent Manufacturing Systems [Warnecke 1996]

In Abb. 4.3. sieht man die PPS - Struktur eines FFS. Aus der Sicht des FFS lässt sich die Planung in drei große Bereiche (Module) gliedern [Katalinic 1990], [VDI 2000], [Nanasi 1996]:

- Produktionsplanung (Grobplanung),
- Maschinenbelegungsplanung,
- Ablaufplanung.

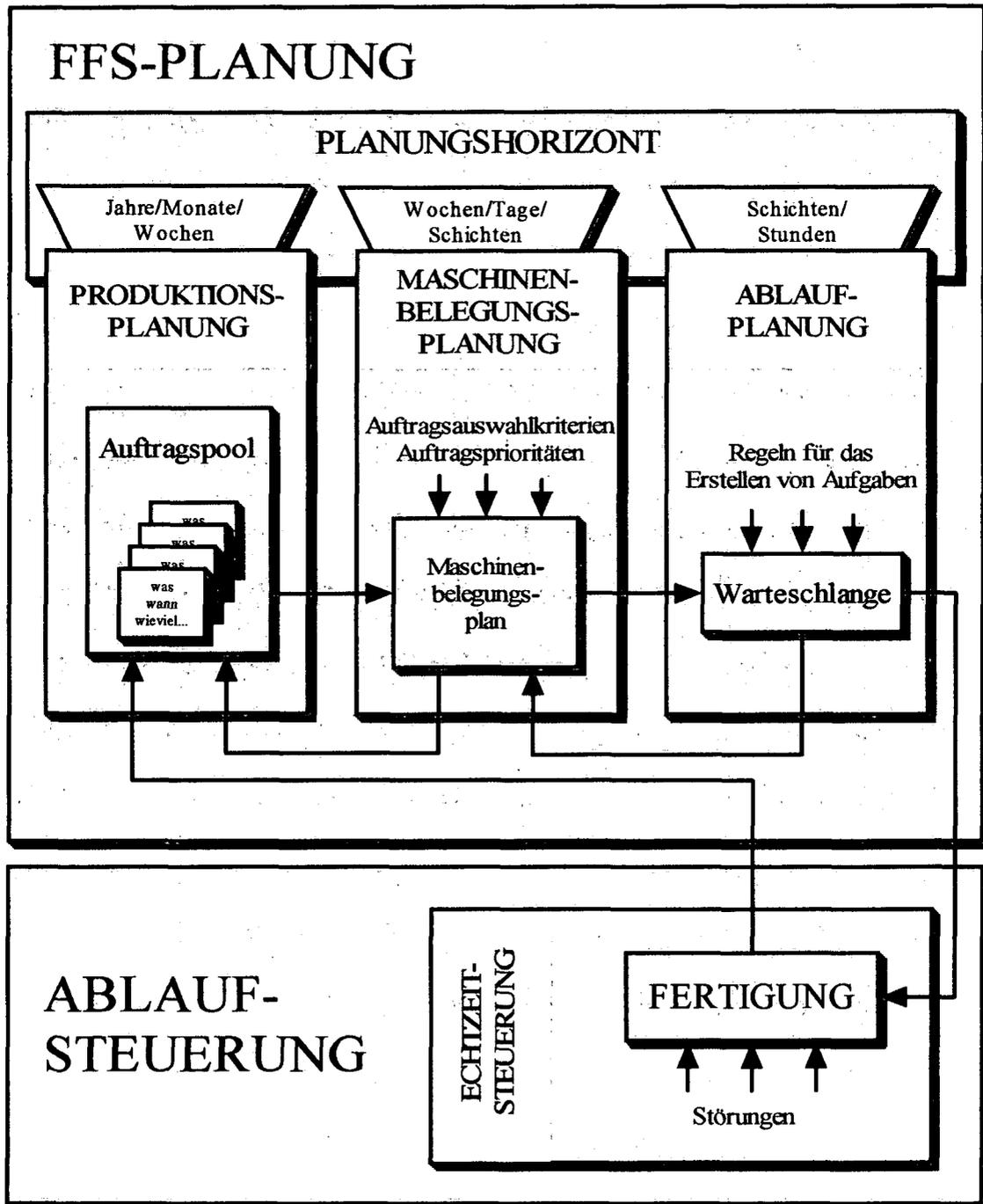


Abb. 4.3. PPS - Struktur des FFS [Nanasi 1996]

#### 4.1. Produktionsplanung (Grobplanung)

Die Produktionsplanung (Grobplanung) deckt eine weite Vorausschau von mehreren Wochen bis wenigen Monaten und Jahren ab. In der Produktionsplanung wird z.B. die Entscheidung über Annehmen oder Ablehnen eines potentiellen Auftrags getroffen.

Der Bedarf des Marktes muss im Wesentlichen mit der zur Verfügung stehenden Systemkapazität abgeglichen werden. Auf dieser Stelle werden die Entscheidungen über Systemumrüsten getroffen.

#### 4.2. Maschinenbelegungsplanung (Mittelfristplanung)

Die Maschinenbelegungsplanung (Mittelfristplanung) ist für den Zeitraum weniger Aufträge zuständig, was im allgemeinen mehrere Schichten bis wenige Tagen und Wochen umfasst. Hier werden aufgrund aktueller Kapazitätssituationen einzelner Systemkomponenten und Prioritäten einzelner Aufträge die Entscheidungen über die Verplanung von Aufträgen getroffen.

Im Anschluss an die meist aufwendige Planungsvorbereitung und Analyse in der Produktionsplanung findet die Maschinenbelegungsplanung, an deren Anfang eine Vorauswahl geeigneter Aufträge steht, statt. Daraufhin werden technisch mögliche Planungsvarianten für die Funktionsbereiche Bearbeiten, Lagern und Transportieren aufgestellt, so dass ein objektiver Vergleich der erarbeiteten Aufträge untereinander möglich ist. Bei diesem Vergleich müssen die einzelnen Aufträge vor allem nach Kosten, aber auch bezüglich des Ist- und Sollzustandes des FFS ausgewertet werden. Die Maschinenbelegungsplanung ist nach [Katalinic 90] eine der wichtigsten Aufgaben von PPS – Systemen.

#### 4.3. Ablaufplanung

Die Ablaufplanung (kurzfristige Planung) ist eng mit der Ablaufsteuerung verknüpft. Hier wird der Zeitraum der nächsten Stunden bis wenigen Schichten behandelt. Das Resultat der Ablaufplanung ist die Feststellung einzelner Tätigkeiten für das Personal, sowie die Sicherstellung aller benötigten Ressourcen wie Maschinen, Werkzeuge, Transportsystem und Vorrichtungen.

Die Ablaufplanung stellt wegen der großen Anzahl der zu bearbeitenden Daten eine aufwendige Planungstätigkeit dar. Jeder Auftrag wird im Laufe der Maschinenbelegungsplanung zuerst einer Maschine zugewiesen und im weiteren in viele kleinere Aufgaben zerlegt. Jede Aufgabe ist als unteilbare Tätigkeit zu verstehen. Es handelt sich hier grundsätzlich um das Verteilen von Aufgaben an die Systemkomponenten. Zu diesem Zeitpunkt ist die Prioritätsvergabe bei der endgültigen Ablaufplanerstellung noch nicht festgelegt. Die Ablaufplanung muss anhand eines ausgewählten Szenarios des FFS-Ablaufes die Reihenfolge, den Beginn und die Zeitdauer der einzelnen Aktivitäten (Werkzeugvorbereitung, Betriebsmittelvorbereitung, Bearbeitung, Umrüsten der Maschinen, Transport usw.) berechnen und anschließend festlegen. So wird für jede Systemkomponente eine Warteschlange von Aufgaben erstellt.

Die wichtigsten Aufgaben der FFS-Planung sind in Tab. 4.1. dargestellt:

Planungsebene	Planungsaufgaben
Produktionsplanung	Auswahl des Planungsmodus Auftragsdiagnostik Betriebsmittelverwaltung
Maschinenbelegungsplanung	Verplanen von Aufträgen Warteschlangen von Aufträgen aufbauen Einsatz der Auftragsauswahlkriterien
Ablaufplanung	Warteschlangen von Aufgaben aufbauen

Tab. 4.1. Die wichtigsten Aufgaben der FFS-Planung [Nanasi 1996]

#### 4.4. Ablaufsteuerung

Die Ablaufsequenzen, die als Vorgabe für die Ablaufsteuerung dienen, werden durch die Maschinenbelegungsplanung festgelegt. Die Ablaufsteuerung übernimmt die Sollzustände des Systems und steuert dadurch das Personal, das Transportsystem und die Maschinen und versucht das System entsprechend den Planungsvorgaben zu führen. Die Schnittstelle zwischen Maschinenbelegungsplanung und Ablaufsteuerung, durch die Vorgaben für die Ablaufsteuerung und die Rückmeldungen an die Maschinenbelegungsplanung erfolgen, sind die Warteschlangen, die durch die Maschinenbelegungsplanung aufgebaut, durch die Ablaufplanung in die Aufgaben transformiert und von der Ablaufsteuerung abgebaut werden. Die Rückmeldungen beziehen sich auf den Erfolg oder den Misserfolg der Durchführung einzelner Aufgaben.

#### 4.5. Schwachstellen der Planung in FFS

Im FFS stößt man aus der Sicht der Planung auf zahlreiche Schwachstellen und Begrenzungen. Diese können in wenigen Punkten erwähnt werden [Nanasi 1996]:

- Aufgrund der Komplexität der FFS gibt es keine grundsätzlichen, allgemein anwendbaren Planungsmethoden, die sich auf wenige relevante Daten stützen. Deshalb führen heutige Planungsmethoden zu einer umfangreichen Informationsverarbeitung,
- Mangelnde Anpassbarkeit von Standardprogrammen an die konkrete betriebliche Situation,
- Die PPS - Systeme sind entweder reine Host-Systeme oder reine Fertigungsleitsysteme. Die Verteilung der PPS - Funktionen auf die einzelnen FFS-Komponenten mit klaren Funktionsschnittstellen ist erst in Ansätzen vorhanden.

Daraus ergibt sich geringe Übereinstimmung zwischen den vom PPS - System berechneten Plänen und dem tatsächlichen Verlauf der Fertigung. Die Gründe für die Abweichung liegen vor allem darin, dass ungeplante Ereignisse auftreten oder Annahmen über die Fertigungssituation nicht zutreffen [Kurbel 1999].

Die wichtigsten Schwachstellen der FFS-Planung stellen die Optimierung der Maschinenbelegung und die Entscheidungsprobleme dar [Nanasi 1996].

#### **4.5.1. Belegung der Maschinen mit Aufträgen**

Das Problem der Maschinenbelegung besteht darin, die gesamte Produktionsmenge einer im FFS zu fertigenden Produktart auf mehrere alternative Arbeitspläne aufzuteilen. Grundlage dieses Problems ist der Tatbestand, dass für mindestens eine Produktart mehrere alternativ und/oder kombiniert einsetzbare Arbeitspläne bekannt sind, nach denen die Werkstücke dieser Produktart im FFS bearbeitet werden. Jeder Arbeitsplan beinhaltet einen bestimmten Weg der Werkstücke durch das FFS und führt zu einer spezifischen Belastung der Ressourcen. Für die weiteren Überlegungen kommt es nicht auf die Reihenfolge der Bearbeitungsvorgänge innerhalb eines Arbeitsplans an, sondern lediglich auf die Bearbeitungszeiten eines Werkstücks pro Durchlauf durch das gesamte FFS. Die Lösung dieses Problems besteht aus der Optimierung der Maschinenbelegung innerhalb der FFS-Planung [Nanasi 1996].

#### **4.6. Entscheidungsprobleme des Personals**

Die Flexibilität eines FFS beinhaltet eine gewisse Freiheit bei der Annahme von Fertigungsaufträgen. Diese Verschiedenheit der zugelassenen Aufträge verursacht, dass jeder Auftrag einmalig ist und dadurch auch einmalig behandelt werden muss. Die meisten Aufträge weisen aber Ähnlichkeiten auf, die es ermöglichen, sie nach gewissen Kriterien zu behandeln. Da die Anzahl der Kriterien ziemlich hoch ist und deren Anwendung von Fall zu Fall unterschiedlich ist, wurde das Treffen einer Entscheidung zum schwierigen Problem. Die Verantwortung für das korrekte und effiziente Funktionieren des FFS sowie auch für getroffene Entscheidungen trägt die dafür zuständige Person. Als zuständige Person ist der Operator, der den gesamten FFS-Ablauf betreut, zu verstehen. Die Entscheidungsprobleme treten meistens erst dann auf, wenn sich der Operator nicht auf seinem Arbeitsplatz befindet. Sein Vertreter kann, die vom Operator intuitiv gelösten Probleme, oft nicht zufrieden stellend lösen.

Die Begrenzungen der Planung in FFS versucht man mit dem Übergang zu den intelligenten Planungsmethoden zu eliminieren. Diese IMS - Planungsmethoden bieten neue Möglichkeiten zur effizienteren Lösung von diesen Problemen.

#### **4.7. Allgemeine Methoden zur Unterstützung der Produktionsplanung und Steuerung**

##### **4.7.1. Expertensysteme in der Produktion**

Im Bereich der Produktionsplanung und Steuerung wird Expertensystem – Technologie hauptsächlich in der Fertigungssteuerung eingesetzt. Im Rahmen eines Fertigungsleitstands können die Planung der Auftragsreihenfolge, die Überwachung des Fertigungsvollzugs und das Einleiten von Gegenmaßnahmen bei Auftreten von Störungen z. B. mit Hilfe eines Expertensystems erfolgen. Darüber hinaus können Expertensysteme die Kontrolle der Produktqualität übernehmen [Borkowski, Geis 1998].

Die Definition des Expertensystems [Puppe 1999]:

*Expertensysteme sind Programme, mit denen das Spezialwissen und die Schlussfolgerungsfähigkeit qualifizierter Fachleute auf eng begrenzten Aufgabengebieten nachgebildet werden soll. Dabei gehen wir vorläufig von der Vorstellung aus, dass Experten ihre Problemlösungen aus Einzelkenntnissen zusammensetzen, die sie selektieren und in passender Anordnung verwenden.*

Das Gebiet der Expertensysteme ist die Lösungssuche bei nur teilweise festgelegten Situationen. Sie benützen normalerweise zur Lösung solcher Probleme eine Kombination formaler Methoden und verwenden semantische Informationen, die Auskunft über die Zustände nach der Lösung der nächsten Konfliktsituation geben. Für bestimmte Fälle wie beispielsweise Schach oder Roboterbewegungen in einer komplexen Umgebung bringt diese Methode befriedigende Ergebnisse. Die Planung und die Steuerung von FFS fällt in die gleiche Problemklasse.

Den Anteil der PPS - Anbieter, die innerhalb ihrer Software die Expertensystem-Technologie nutzen, zeigt Abb. 4.4.

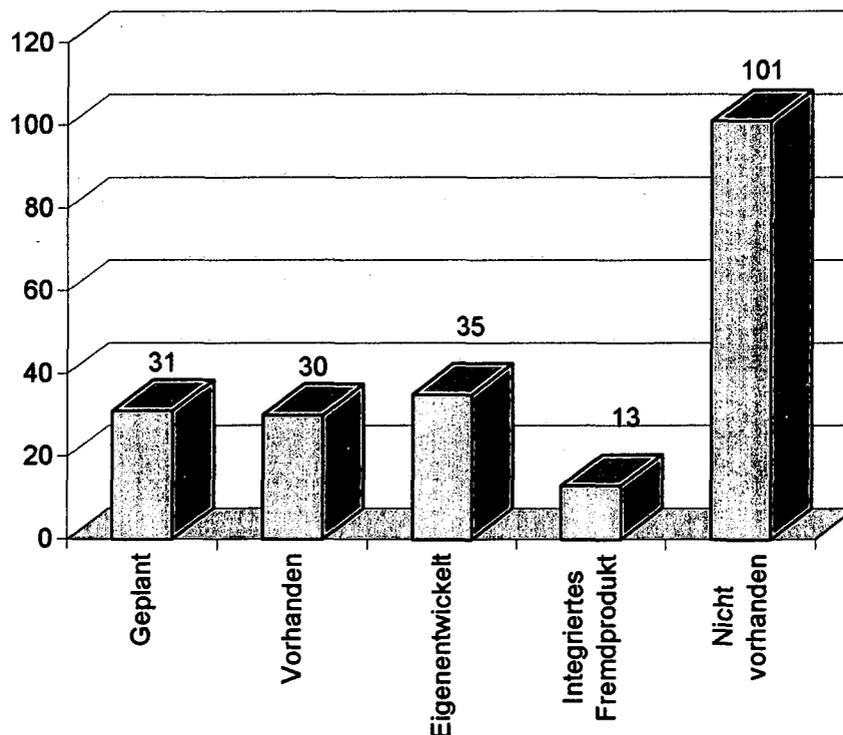


Abb. 4.4. Einsatz von Expertensystemen in PPS - Systemen [Fandel 1997]

#### 4.7.2. Hierarchische Produktionsplanung

Das Grundmodell der hierarchischen Produktionsplanung basiert auf einer Hierarchisierung von Planungsentscheidungen anhand der gemeinsamen Eigenschaften der zu produzierenden Güter. Als Planungskriterium können beispielsweise die relevanten Kosten des Produktionsvollzugs dienen [Fandel 1997].

Die Vorteile des hierarchischen Ansatzes lassen sich folgendermaßen erklären [Fandel 1997]:

- Das ursprünglich komplexe Problem der Produktionsplanung wird in Teilprobleme zerlegt, die einen einfachen Problemumfang aufweisen,
- Die Unterteilung in Entscheidungsebenen entspricht der organisatorischen Struktur der Betriebe,

So genannten Vorteilen des Konzepts stehen auch einige Nachteile gegenüber:

- Die Ablaufplanung als Entscheidungsebene fehlt in dem Konzept,
- Im linearen Optimierungsmodell der Entscheidungsebene werden die Rüstkosten nicht betrachtet.

Laut Marktstudie [Fandel 1997] ist die hierarchische Produktionsplanung bei 45,5% der angebotenen PPS - Systemen vorhanden (Abb. 4.5.).

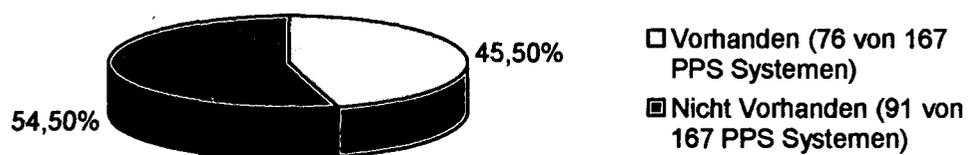


Abb. 4.5. Hierarchische Produktionsplanung in PPS - Systemen [Fandel 1997]

#### 4.7.3. Simulation

Die Simulation [Fandel 1997] bietet sich als Entscheidungsunterstützung für die computergestützte Produktionsplanung und Steuerung an, da sich durch den Zugriff auf relevante Daten alternative Entscheidungssituationen durchspielen lassen. Basierend auf einem „Modell der Fabrik im Rechner“ kann der Produktionsfluss simuliert werden.

Die Simulation ist als ein zielgerichtetes Experimentieren an wirklichkeitsnachbildenden Modellen zu verstehen. Dabei werden die Realitätsstrukturen, Aktionen und möglichen Reaktionen in einem Modell festgehalten und der dynamische Ablauf simuliert.

Die praktische Anwendbarkeit von Simulationen für die computergestützte Produktionsplanung und Steuerung ist abhängig von den folgenden Faktoren:

- Sinnvolle Zerlegung des Gesamtproblems in Einzelprobleme,
- Realitätsnahe Annahmen,
- Hinreichende Genauigkeit der geforderten Daten,
- Vorhandene Lösungsmethoden.

Die notwendigen Voraussetzungen für den Einsatz der Simulation sind einerseits das Personal, andererseits die Lösungsalgorithmen und schließlich das EDV – Instrumentarium. Erst durch die stark gestiegene Leistungsfähigkeit von PCs und Workstations ist beispielsweise der Einsatz der Simulation in Rahmen einer dezentralen Werkstattsteuerung möglich geworden. Dynamische betriebliche Abläufe können in sehr kurzer Rechenzeit durchgespielt werden

In knapp 80% der PPS - Systemen wird die Simulation eingesetzt (Abb. 4.6.).

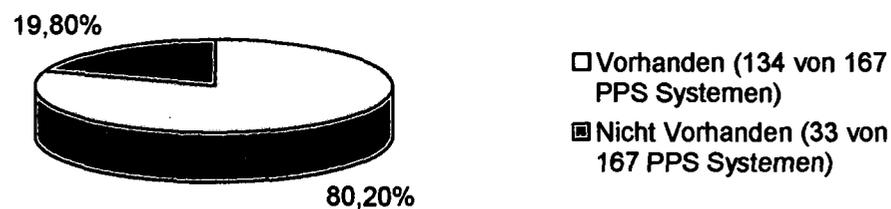


Abb. 4.6. Simulation in PPS - Systemen [Fandel 1997]

#### 4.7.4. Just – In - Time (JIT), KANBAN

Unter dem Just –In - Time (JIT) - Prinzip versteht man die Bereitstellung von Materialien zum spätesten möglichen Zeitpunkt, sodass die Erzeugnisse gerade noch rechtzeitig fertig werden. Zu jeder Zeit soll auf allen Stufen der Beschaffung, Fertigung und Distribution nur so viel und nur dann beschafft, produziert und verteilt werden wie unbedingt nötig.

Just-In-Time (JIT) hat im wesentlichen folgende Ziele:

- Verringerung der Materialbestände,
- Verringerung der Durchlaufzeiten,
- Erhöhung der Arbeitsproduktivität,
- Erhöhung der Flexibilität bezüglich der kurzfristigen Lieferbereitschaft.

Die Steuerung des Materialflusses durch Just-In-Time (JIT) kann mit Hilfe von Karten bzw. Schildern (Kanbans) erfolgen, die an die Materialbehälter angehängt werden. Man spricht in diesem Fall von dem Kanban - System. Die Steuerung mit Hilfe der Kanbans ist informationstechnisch eine - aber nicht die einzige - Möglichkeit, das Just-In-Time (JIT) - Prinzip zu verwirklichen. Denkbar wäre zum Beispiel auch eine Realisation mittels E - Mail [Fandel 1997].

Laut Marktstudie [Fandel 1997] ist JIT-/Kanban-System in 57,5% der angebotenen PPS - Systemen vorhanden (Abb. 4.7.).

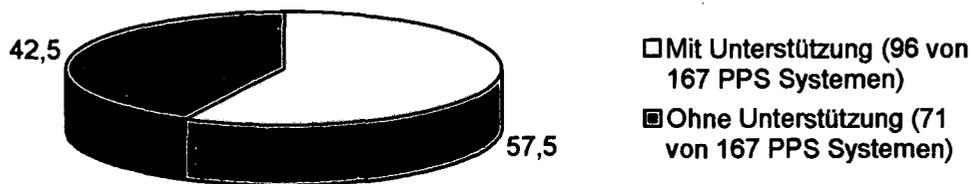


Abb. 4.7. JIT-/Kanban - System in PPS - Systemen [Fandel 1997]

**4.7.5. Leitstandskonzept**

Eine der Methoden zur Unterstützung der Produktionsplanung und -steuerung ist das Leitstandskonzept [Fandel 1997]. Das Leitstandskonzept ermöglicht es auch, Teilaufgaben der Produktionsplanung und -steuerung aus den monolithischen, zentralistischen PPS - Systemen herauszulösen und auf eigenen Rechnersystemen dezentral und effizienter zu bearbeiten [Kurbel 1999], [Tempelmeier 2000], [Fandel 1997].

Da dieses Konzept für komplexe Fertigungssysteme äußerst wichtig ist, wird darauf detailliert eingegangen. Der Leitstand ist der Fertigung übergeordnet und dient somit als Bindeglied zwischen der Planung und der Durchführung des Produktionsablaufs (Abb. 4.8.).

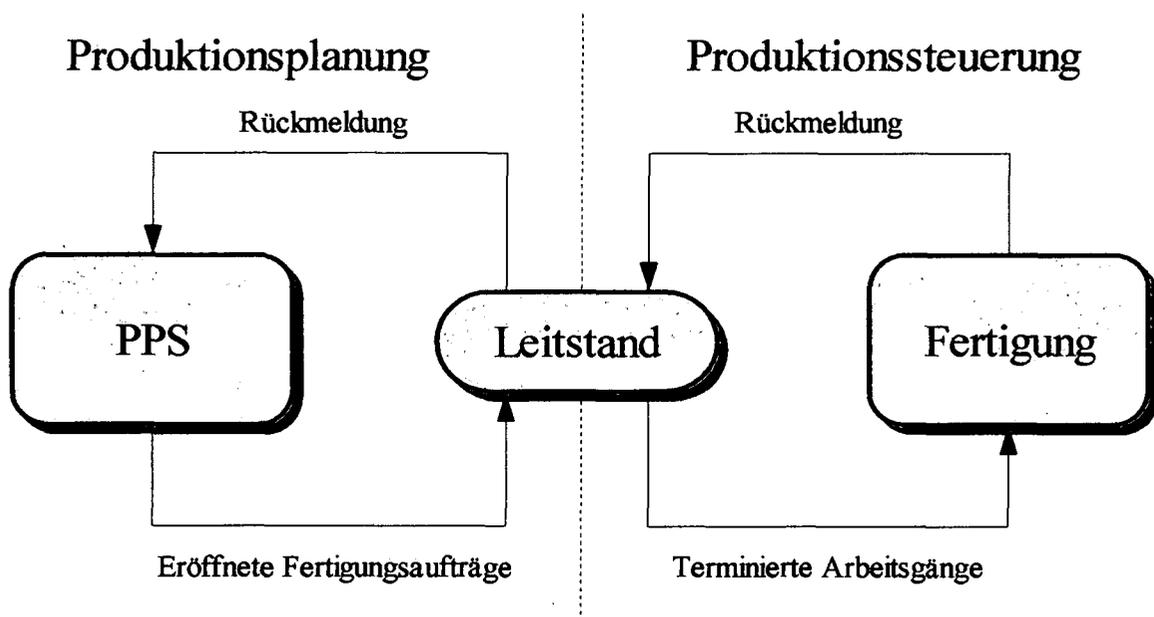


Abb. 4.8. Leitstand in PPS [Kurbel 1999]

Das Leitstandskonzept ist ein Instrument der Produktionssteuerung, genauer der Feinterminierung im Rahmen der Reihenfolge- und Maschinenbelegungsplanung, das zur optimalen Steuerung eingesetzt werden kann. Bei diesem Konzept werden die Funktionen Auftragsverwaltung, Auftragsfortschrittsüberwachung und Kapazitätsbelegung von einer zentralen Stelle - dem Fertigungsleitstand - durchgeführt.

Die konventionelle (manuelle) Leitstand war ohne EDV - Unterstützung, während heutzutage ein nicht EDV - gestützter Leitstand kaum denkbar wäre. Die Rolle von Karten, Belegen, Hängetaschenordnern und Plantafeln übernimmt die EDV-Ausrüstung.

Das konventionelle Leitstandskonzept hat eine Reihe von Nachteilen. Die Arbeitskräfte sind durch das Umstecken der Belege auf Plantafeln sehr stark mit Routinearbeiten belastet. Durch die manuellen Rückmeldungen sind die Planungen nicht immer auf dem aktuellen Stand, da die Betriebsdaten erst mit gewissen Verzögerungen erfasst werden.

Unter Fertigungsleitstand „versteht man eine organisatorische Instanz in der Aufbauorganisation, welche für die Fertigungssteuerung, insbesondere unter terminlichen Gesichtspunkten, und die Fortschrittkontrolle in einem Produktionsunternehmen zuständig ist“ [Kurbel 1999].

In Normalfall steht ein Leitstandsystem in einem organisatorischem und technischen Umfeld, in dem auch andere Anwendungssysteme betrieben werden und zu dem organisatorische und technische Schnittstellen bestehen. In einer Untersuchung in der Praxis wurde festgestellt, dass mehr als 95% der elektronischen Leitstände zusammen mit einem PPS -System eingesetzt werden.

Für das Zusammenspiel von PPS - System und Leitständen sind verschiedene Variante denkbar. Im Abb. 4.9. sind mehrere Grundformen des Zusammenwirken zwischen PPS - System und Leitständen skizziert.

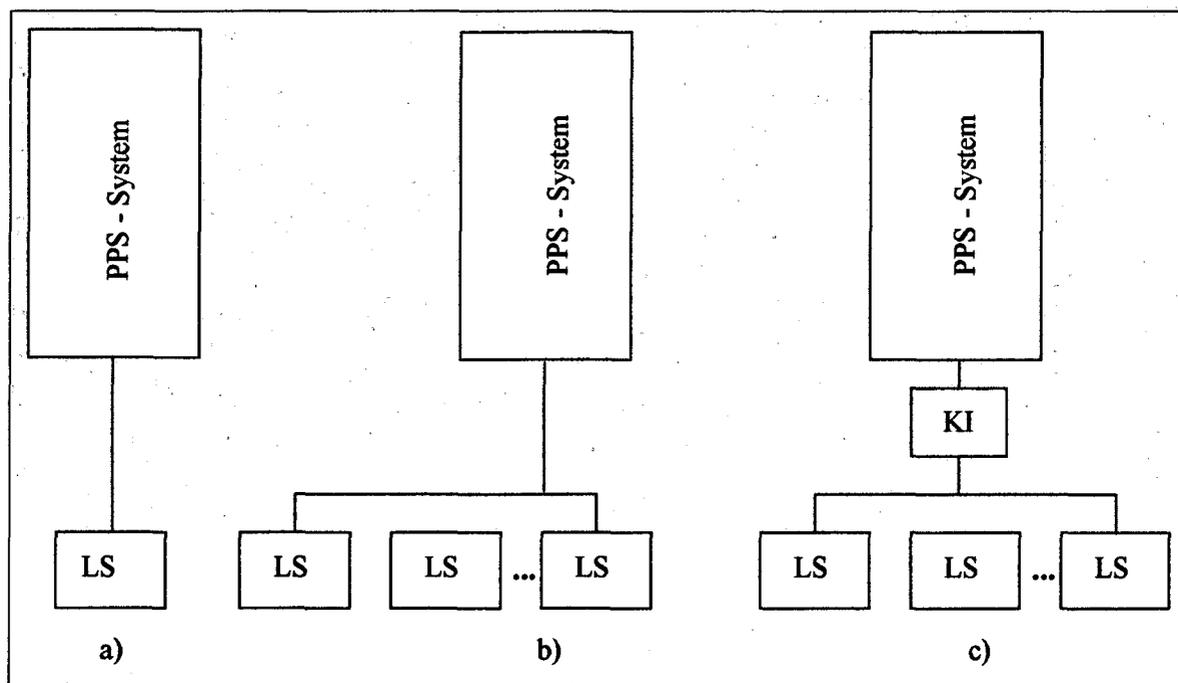


Abb. 4.9. Zentrales PPS – System und Dezentrale Leitstände

**Fall a)** kann in kleineren Fertigungsbetrieben praktiziert werden. Hier übernimmt ein Leitstand die gesamten Fertigungssteuerungsaufgaben. Die Aufgaben des PPS – Systems gehen bis zur Schnittstelle „Auftragsfreigabe“. An den Leitstand wird der gesamte Arbeitsvorrat für einen Feinplanungsabschnitt übergeben. Das PPS – System erhält Rückmeldungen über die Fertigstellung von Fertigungsaufträgen oder Arbeitsgängen.

**Fall b)** zeigt die Situation in größeren Unternehmen, in denen aus aufbauorganisatorischen und technischen Gründen der Fertigungsbereich nicht mit einem Leitstand abgedeckt werden kann. Die Schnittstellen verändern sich gegenüber den Fall a) in mehrfacher Hinsicht. An einen einzelnen Leitstand wird nun nur der Teil der Arbeitsgänge übergeben, der in den Zuständigkeitsbereich (z. B. Werkstatt) fällt.

Bei mehreren Leitständen muss eine Koordination der dezentralen Planungen und Aktivitäten und eine angemessene Informationsversorgung erfolgen. In der Abbildung ist unterstellt, dass dies vom PPS – System geleistet wird.

Die Abstimmung zwischen mehreren Leitständen kann deshalb häufig nur so erfolgen, dass eine zentrale Informationsverwaltung in PPS – System verwirklicht wird. Das heißt beispielsweise, dass alle Start – und Endtermine, Statusangaben, Planänderungen etc., die Arbeitsgänge betreffend, im PPS – System geführt und dorthin rückgemeldet werden.

Wenn alle Steuerungs- und Koordinationsfunktionen im PPS – System angesiedelt sind, besteht die Gefahr, dass die Dispositionsspielräume in den Leitstandssystemen relativ stark eingeschränkt werden. Im Extremfall dient der Leitstand nur noch als Visualisierungsinstrument.

**Fall c)** beschreibt eine Struktur, bei der die Koordinationsfunktionen im PPS – System und auf dezentralen Leitständen übertragen wird. Auf der Seite des PPS – System bleibt die Schnittstelle wie im Fall a). Die Abstimmung der Leitstände untereinander regelt der Koordinationsknoten.

Die Koordination kann entweder hierarchisch organisiert sein oder die Leitstände gleich geordnet behandeln. In ersten Fall übernimmt ein Knoten übergeordnete Funktionen, denen sich die anderen Knoten unterordnen müssen.

Bei der Gleichordnung ist es grundsätzlich möglich, auf eine deduzierte Koordinationsinstanz zu verzichten und die Abstimmung direkt von den Leitständen ausführen zu lassen. Die Koordination erfolgt dann über ein Netz und kann sich eines Hilfsmittels z. B. einer gemeinsamen Datenbank bedienen. Alternativ ist ein direktes Programm – Programm – Kommunikation möglich, bei der ein Leitstand Änderungen, die andere Leitstände betreffen, diesen direkt mitteilt.

Die Aufgaben des elektronischen Leitstandes sind [Tempelmeier 2000], [Fandel 1997]:

- die Wirtschaftlichkeit, Flexibilität und Transparenz des Fertigungsablaufs zu verbessern,
- den Auftragsdurchlauf sichtbar zu machen,
- die Belegungsalternative rasch durchzurechnen,
- die Engpasssituationen schnell zu erkennen,
- die Auswertungen (Reports) durchzuführen.

Heutige Entwicklungstendenzen zeigen, dass die Vorteile der elektronischen Leitstände resultiert einerseits aus ihre Funktionalität: die von den PPS – Systemen bis dahin

vernachlässigte Fertigungssteuerung erfährt eine wirksame Unterstützung, ohne dass die nötige Flexibilität verloren geht.

Zum andern sind es die Benutzerfreundlichkeit, die einfache und effektive Handhabung und die Mächtigkeit der Planungs- und Anzeigefunktionen, die zur Verbreitung beitragen.

Angesichts der unbestreitbaren Vorteile wird allerdings manchmal vergessen, dass Leitstandsoftware und Hardware nur Hilfsmittel sind.

Voraussetzung für eine wirkungsvolle Fertigungssteuerung ist ein geeigneter Aufbau und Ablauforganisation. Nur wenn die organisatorischen Voraussetzungen stimmen, kann ein elektronischer Leitstand seinen Nutzen entfalten.

Mit der wachsenden Verbreitung der Leitstandsysteme steigen auch die Anforderungen der Anwender.

Die Ergebnisse einer Marktstudie [Fandel 1997], zeigen den Einsatz des Leitstandkonzepts in den 167 auf dem Markt befindlichen PPS - Systemen (Abb. 4.10).

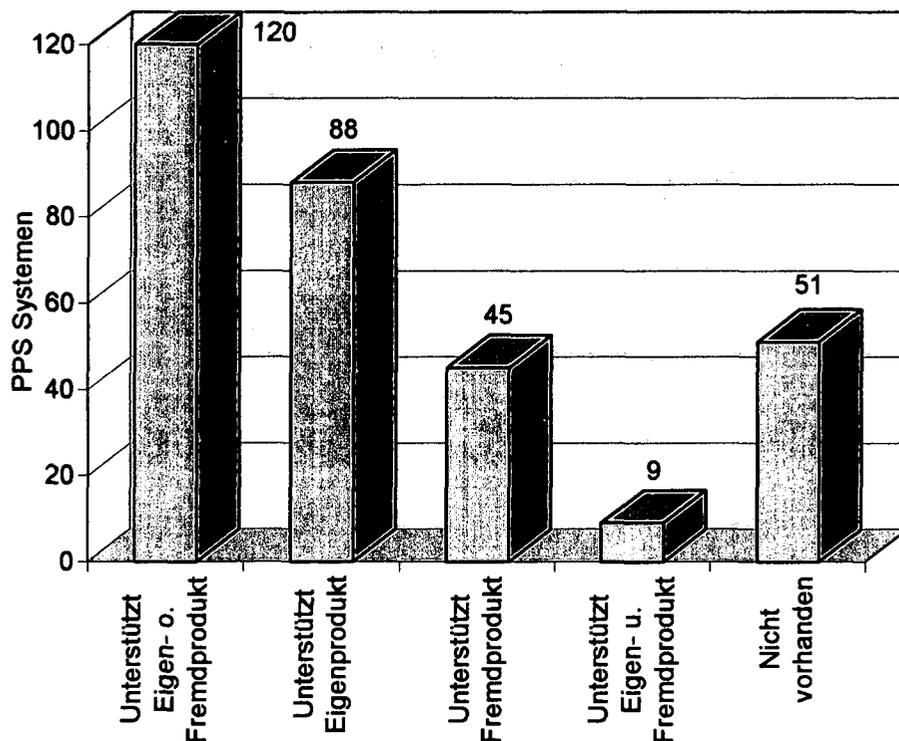


Abb. 4.10. Einsatz eines Leitstandkonzepts in PPS - Systemen [Fandel 1997]

## 5. FLEXIBLE FERTIGUNGSSYSTEME

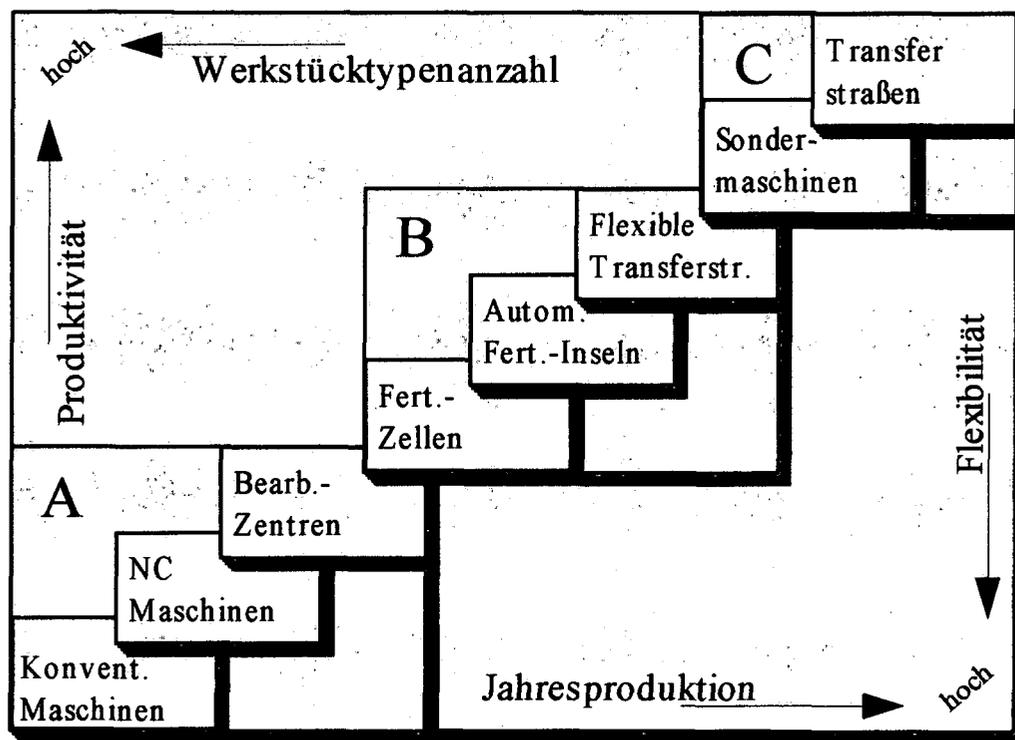
Ein flexibles Fertigungssystem (FF –System; FFS) ist ein Produktionssystem, das aus einer Menge von ersetzenden und/oder ergänzenden numerisch gesteuerten Maschinen besteht, die durch ein automatisiertes Transportsystem miteinander verbunden werden.

Flexible Fertigungssysteme sind keine neuen Maschinen, sondern eine Kombination bereits verfügbarer Maschinen mit mechanischen und elektronischen Zusatzeinrichtungen zur Automatisierung des Fertigungsablaufes für kleinere und mittlere Losgrößen.

### 5.1. Fertigungskonzepte

Moderne Fertigungssysteme verwenden im wesentlichen die in Abb. 5.1. dargestellten Fertigungskonzepte:

- a) Fertigung auf Einzelmaschinen,
- b) Flexible Fertigungskonzepte,
- c) Weitgehend starre Fertigungseinrichtungen.



Legende:

- A) Fertigung auf Einzelmaschinen
- B) Flexible Fertigungskonzepte
- C) Weitgehend starre Fertigungseinrichtungen

Abb. 5.1. Einsatzbereiche unterschiedliche Fertigungskonzepte [Kief 1998]

Die Grundlage für den Einstieg in die flexibel automatisierte Fertigung bilden Bearbeitungs- und Drehzentren. Diese verfügen über mehrere Bearbeitungsverfahren und einen automatischen Werkzeugwechsel und ermöglichen ein hauptzeitparalleles Rüsten. Die Überwachung des Fertigungsprozesses erfolgt teilweise durch den Bediener der Maschine, teilweise automatisch.

In der Tab. 5.1. sieht man den Vergleich der 9 wichtigsten Fertigungskonzepte für die spannende Bearbeitung.

Konzept	Einsatzgebiet	Maschinentyp	Steuerung	Werkstück Handhabung
<b>Konventionelle Universal Maschinen</b>	sehr vielseitig bei begrenzter Teile Komplexität	verschiedene, je nach Aufgabe	keine, erfordert gute Fachkräfte	manuell
<b>Einzelne, Unverkettete NC Maschinen</b>	kleine Stückzahlen begrenzte Teilevielfalt	Fräsmaschinen Drehmaschinen Nibbelmaschinen Bohrmaschinen	NC, CNC und SPS	manueller Werkstück und Werkzeugwechsel
<b>Bearbeitungszentren</b>	Fertigbearbeitung in einer oder zwei Aufspannungen, Häufig wechselnde Teile	Schleifzentren Drehzentren Nibbelmaschinen Bearbeitungszentren	CNC mit erweiterten Funktionen	Automat. WstW. WzgW. mittels Roboter, Palettenwechsler und Wzg. - Magazin
<b>Flexible Fertigungszelle</b>	Serienfertig. Bei mittl. Losgrößen für ein begrenztes Teilspektrum	WZM mit vergröß. Wst. - Speicher und erweitertem Werkzeug - Speicher	CNC mit großem Programmspeicher und Überwachungs-einrichtungen	Palettenbahnhof oder sortierter Wst. - Vorrat
<b>Flexible Fertigungsinsel</b>	Versch. Maschinen zur Bearbeitung von Wst. ähnlicher Geometrie	Unterschiedliche, vorwiegend sich ergänzende Maschinen	Manuelle und gesteuerte Maschinen nach Bedarf	Manuell oder mit einfachen Transportmitteln
<b>Flexible Fertigungssysteme</b>	Teilfamilien in mittleren Stückzahlen und großer Vielfalt	Mehrere gleiche oder unterschiedliche WZM zur Komplettbearbeitung in 1 oder 2 Aufspanne	CNC + DNC+ Leitrechner + Planungsrechner	Wst. - Transportsystem, ungetaktete Fertigung, minimaler Personalbedarf
<b>Flexible Transferstrasse</b>	Größere Serien mit vielen Varianten	Sondermaschinen und NC - Maschinen kombiniert und verkettet	SPS CNC Leitsystem	Getakteter Durchlauf mit der Mögliche. Maschinen zu umgehen
<b>Sondermaschinen - Einzweckmaschinen</b>	Größere Serien, keine oder nur geringe Varianten, spezielle Bearbeitungen	Speziell ausgelegte Maschine mit mechan. Automatisierungszusätzen	SPS, evtl. mit speziellen Sensoren	Prinzip der Rundtaktmaschine mit automatischem Werkstückwechsel
<b>Konventionelle Transferstrasse</b>	Großserien, seltener Auftragswechsel l. Produkte mit langem Lebenszyklus	Meistens Sondermaschinen Einzelmaschine und Spezialmaschinen	SPS mit Überwachungseinrichtungen	Gemeins. Getaktete, starre Transporteinrichtung ohne Umgehungsmöglichkeit

Tab. 5.1. Vergleich der 9 wichtigsten Fertigungskonzepte für die spannende Bearbeitung

## 5.2. Definitionen flexibler Fertigungssysteme

Abhängig von den Systemkomponenten (Bearbeitungsmaschinen, -zentren, Roboter etc.), die man miteinander verknüpft, entstehen unterschiedliche Bauarten von flexiblen Produktionssystemen. Nach [Tempelmeier 2000], [ATMOS 1999] und [Nanasi 1996] unterscheidet man folgende Erscheinungsformen flexibler Fertigungssysteme:

### ○ **Bearbeitungszentren**

Sie sind NC – Maschinen mit hohem Automatisierungsgrad und mit mindestens drei translatorischen bahngesteuerten Maschinenachsen. Meist werden die drei linearen Achsen durch eine oder zwei rotatorische ergänzt, um die Mehrseitenbearbeitung zu ermöglichen. Sie beherrschen mehrere unterschiedliche Bearbeitungsverfahren wie bohren, fräsen, ausdrehen, Gewinde schneiden, reiben.

### ○ **Flexible Fertigungszelle**

Sie entsteht durch die räumliche Zusammenfassung eines Bearbeitungszentrums mit einer Spannstation, sowie maschinenunabhängigen Werkstückspeichereinrichtungen (Zentralpuffer) und einem automatischen Werkstücktransportsystem, wodurch eine längere bedienerlose Fertigung möglich ist.

### ○ **Flexibles Fertigungssystem**

Ein flexibles Fertigungssystem (FFS) besteht aus einer Gruppierung von mehreren dieser hoch automatisierten Maschinen, die unabhängig voneinander gleiche oder ähnliche Werkstücke möglichst komplett bearbeiten.

Sie sind durch ein gemeinsames, automatisches Werkstücktransport und Zuführsystem miteinander verbunden. Sämtliche Vorgänge in einem FFS werden durch einen Fertigungsleitreechner zentral gesteuert, der oft in eine Rechnerhierarchie eingebettet ist. Das FFS ist in der Lage Werkstücke eines bestimmten Werkstückspektrums in frei wählbarer Reihenfolge ohne nennenswerte Verzögerungen durch Systemumrüstvorgänge zu bearbeiten.

### ○ **Flexible Transferstrasse**

Sie besteht aus einer werkstückseitigen Verknüpfung von mehreren NC – Maschinen und anderen Bearbeitungseinheiten nach dem Linienprinzip, alle Teile durchlaufen die einzelnen Stationen in einer festen Reihenfolge und werden mit aufeinander folgenden, unterschiedlichen Programmen bearbeitet. Die Bearbeitungsvorgänge in den einzelnen Maschinen können durch das NC – Programm in Grenzen verändert werden.

### ○ **Flexibles Fertigungsverbundsystem**

Flexible Fertigungsverbundsysteme bestehen aus *Fertigungszellen* und *Fertigungsinseln*, sowie aus *Einzelmaschinen* und manuellen *Verrichtungsplätzen*. Unter einer flexiblen Fertigungsinsel versteht man einen abgegrenzten Werkstattbereich mit mehreren Werkzeugmaschinen und anderen Einrichtungen, um an einer begrenzten Auswahl von Werkstücken alle erforderlichen Arbeiten durchführen zu können. Diese Werkstücke müssen fertigungstechnische Ähnlichkeiten aufweisen.

Das Wesentliche einer Fertigungsinsel ist die räumliche und organisatorische Zusammenfassung der Maschinen und Fertigungsmittel zur möglichst vollständigen

Bearbeitung dieser Teilefamilien. Die in Fertigungsinseln beschäftigten Menschen planen, entscheiden und kontrollieren die durchzuführenden Arbeiten weitgehend selbst. Sie haben mehr Verantwortung für die vorhandenen Fertigungsmittel.

Die wirtschaftlichen Vorteile der Fertigungsinsel sind: reduzierte Gemeinkosten, weniger Papier, kürzere Entscheidungswege, kein Planungsvorlauf. Nachteilig ist, dass in Fertigungsinsel meistens eine Maschinen – Überkapazität besteht und die vorhandenen Maschinen deshalb weniger benutzt werden.

Aus einigen Literaturquellen, [Kusiak 2000] und [Tempelmeier 2000], sind auch andere Begriffe zur Kennzeichnung flexibler Produktionssysteme bekannt. Aufgrund erhöhter Komplexität dieser Bauarten handelt es sich um flexible Produktionssysteme höherer Ordnung. Bekannt sind: *Flexible Manufacturing Group*, *Flexible Produktion System*.

### 5.3. Flexibilitätsformen in FFS

Das aus dem Lateinischen stammende Wort *Flexibilität* bedeutet im Deutschen *Beschaffenheit, Biogsamkeit, Elastizität* oder *Fähigkeit, sich an veränderte Umstände anzupassen* [Duden 2000].

Die Flexibilität ist ein Sammelbegriff für mehrere, unterschiedliche Eigenschaften de Systems dadurch wird sie in FFS in unterschiedlichen Formen, [Tempelmeier 2000] und [Salvendy 1998], umgesetzt. Die Komplexität eines FFS wird durch die angewandten Flexibilitätsformen bestimmt. Nicht alle unten beschriebenen Flexibilitätsformen können in einem FFS realisiert werden. Jedes System ist durch eine oder zwei Flexibilitätsformen dominiert und die übrigen spielen eine untergeordnete Rolle. Man unterscheidet zwischen Flexibilitätsformen, die sich auf eine oder auf mehrere Systemkomponenten des FFS beziehen.

#### 5.3.1. Komponentenbezogene Flexibilitätsformen

Flexibilität hat mehrere Erscheinungsformen, je nachdem, ob man nur eine oder mehrere Systemkomponenten betrachtet (Abb. 5.2.)

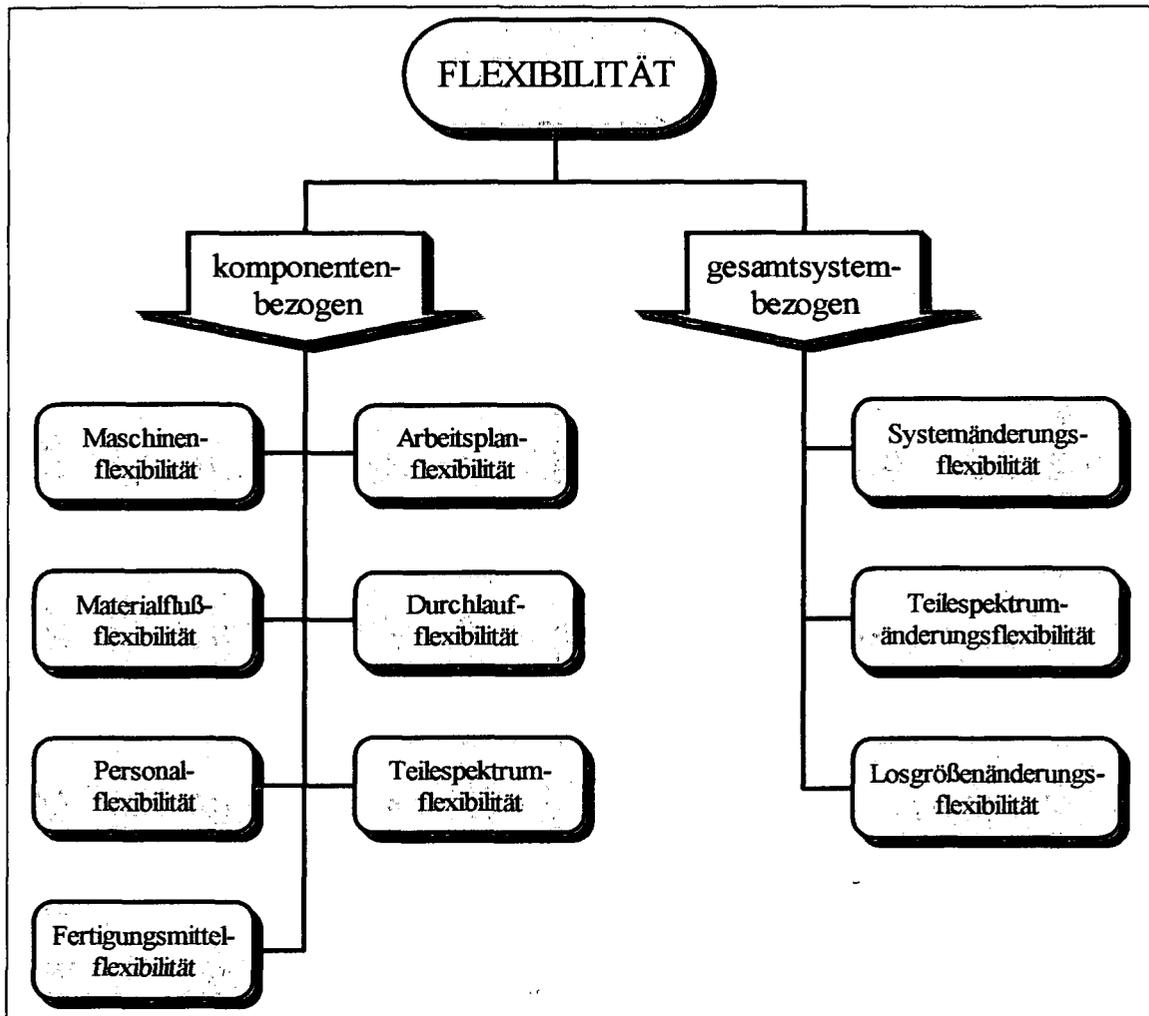


Abb. 5.2. FFS - Flexibilitätsformen

### 5.3.1.1. Flexibilitätsformen bezogen auf eine Systemkomponente des FFS

Auf eine Systemkomponente des FFS bezogene Flexibilitätsformen beschreiben die Möglichkeit einzelner Systemkomponenten, sich unterschiedlichen Anforderungen der Fertigung ohne Systemumrüsten anzupassen. Zu diesen Flexibilitätsformen zählt man auch die Arbeitsplanflexibilität, die sich auf ein Werkstück bezieht.

#### ○ **Maschinenflexibilität**

Die Maschinenflexibilität ist eine Eigenschaft einer Maschine. Sie beschreibt die Leichtigkeit mit der eine Maschine von einer Produktionsaufgabe (Arbeitsgang) auf eine andere umgestellt werden kann. In einem FFS wird dies durch den automatischen Werkzeugwechsel möglich.

#### ○ **Materialflussflexibilität**

Die Materialflussflexibilität ist die Fähigkeit des internen Materialflusssystems eines FFS, Werkstücke unterschiedlicher Typen beliebig im FFS zu bewegen und an den Maschinen zu positionieren. Eine hohe Materialflussflexibilität ermöglicht somit den frei wählbaren Materialfluss in einem FFS. Je höher die Materialflussflexibilität eines FFS ist, umso

effizienter können die Maschinen mit Werkstücken versorgt werden. Die Ausnutzung einer eventuell vorhandenen Maschinenflexibilität wird dann nicht durch Restriktionen des Materialflusssysteme behindert. Die Materialflussflexibilität kann durch die technische Ausgestaltung und das Layout der Fahrwege beeinflusst werden.

○ **Arbeitsplanflexibilität**

Ein Werkstück verfügt über Arbeitsplanflexibilität, wenn es nach unterschiedlichen technologischen Reihenfolgen (Arbeitsplänen) bearbeitet werden kann. Je größer die Arbeitsplanflexibilität der Werkstücke ist, umso besser lässt sich die Auslastung der Maschinen balancieren und umso größer wird die Produktionsmenge des FFS sein.

○ **Durchlaufflexibilität**

Durchlaufflexibilität eines FFS ist gegeben, wenn ein Werkstück mit einem technologisch fest vorgegebenen Arbeitsplan verschiedene physische Wege durch das FFS nehmen kann, weil z.B. mehrere ersetzende Maschinen alternativ zur Erledigung eines Arbeitsgangs verfügbar sind. Dies ist insbesondere bei Maschinenstörungen von Bedeutung. Durchlaufflexibilität ist eine Eigenschaft der im FFS zusammengefassten Maschinen. Sie hängt insbesondere von der Anzahl ersetzender Maschinen und der Möglichkeit ab, diese kurzfristig mit den benötigten Werkzeugen zu versorgen.

○ **Teilespektrumflexibilität**

Betrachtet man ein bestehendes FFS unter der Voraussetzung einer möglichen Erweiterung oder Umrüstung, dann kommt man zur Produktmixflexibilität. Sie betrifft die Menge der unterschiedlichen Werkstücktypen, die ohne größeres, mit einem Systemstillstand verbundenes Umrüsten des FFS bearbeitet werden können. Je größer diese Menge ist, umso geringer sind die notwendigen Lagerbestände, die zur Sicherstellung einer bestimmten Lieferzeit gegenüber den Abnehmern der Produkte bevorratet werden müssen. Denn alle produzierbaren Werkstücktypen können ohne umzurüsten, sofern ausreichend Kapazität zur Verfügung steht, bei Bedarf unverzüglich produziert werden. Produktmixflexibilität ist vor allem eine Eigenschaft der, in einem FFS zusammengefassten, Maschinen und ihrer Ausstattung mit Werkzeugen.

○ **Personalflexibilität**

Diese Flexibilität beschreibt die Möglichkeit, dass FFS auch mit verringerter Anzahl der Bediener auf kürzere oder längere Zeit (mannarme oder sogar mannlose Schicht) effizient weiter funktioniert

○ **Fertigungsmittelflexibilität**

Diese Forderung zielt darauf ab, das ein FFS so zu konzipieren, dass verschiedene Arbeitspläne mit vorgegebenen begrenzten Fertigungsmitteln (Werkzeuge, Werkstückpaletten, Werkzeugpaletten, Betriebsmittel, usw.) durchführbar sind. Die Werkzeuge sind z.B. zu teuer, um in größerer Anzahl als Reserve vorhanden zu sein. In Fällen, wo man auf die Zulieferung eines fehlenden Fertigungsmittels warten muss, wäre es wünschenswert, den Arbeitsplan so umgestalten zu können, dass die betroffene Operation ohne größere Gesamtverzögerung möglichst spät erfolgen kann.

### 5.3.1.2. *Flexibilitätsformen bezogen auf mehrere Systemkomponenten des FFS*

Auf mehrere Systemkomponenten des FFS bezogene Flexibilitätsformen beschreiben die Möglichkeit des FFS, durch die Änderungen einzelner Systemkomponenten den erwünschten Zustand zu erreichen.

#### ○ **Systemänderungsflexibilität**

Sie beschreibt ob und inwieweit die Anzahl der Systemkomponenten (Maschinen, Spannplätze, usw.) in einem FFS verändert (erhöht oder verringert) werden kann. Eine Erweiterung des FFS kann notwendig werden, wenn aufgrund einer Veränderung der Produktionsmengenanforderungen, eine Gruppe ersetzender Maschinen zum Engpass geworden ist und nun um eine oder mehrere Maschinen vergrößert werden muss. Eine Veränderung der FFS-Konfiguration wird aber auch dann erforderlich, wenn neue Produktarten mit anderen Arbeitsgängen in diesem FFS bearbeitet werden sollen oder, wenn aufgrund der Einstellung der Fertigung für bestimmte Produktvarianten einzelne Maschinentypen, insbesondere Spezialmaschinen, nicht mehr benötigt werden. In engem Zusammenhang damit steht die Umbauflexibilität eines Produktionssystems, welche die Möglichkeit beschreibt, bestimmte Systemkomponenten auszutauschen und das System damit an neue Produktionsaufgaben anzupassen. Systemänderungsflexibilität ist eine Eigenschaft des gesamten FFS. Sie wird durch eine vorausschauende Layoutplanung (Einplanung von Freiflächen für später zu installierende Maschinen) und modulare Hardware- und Softwarekonzeptionen gefördert.

#### ○ **Teilespektrumänderungsflexibilität**

Beschreibt man ein bestehendes FFS in kurzfristiger Perspektive ohne die Möglichkeit einer Erweiterung, aber unter Einbeziehung des Umrüstens, dann ergibt sich der Begriff der Teilespektrumänderungsflexibilität. Die Teilespektrumänderungsflexibilität betrifft die Menge der Produkte, die ohne Investitionen durch das FFS bearbeitet werden kann. Teilespektrumänderungsflexibilität ist deshalb eine Eigenschaft der Gesamtheit der Komponenten des FFS. Sie wird vor allem durch die technische Konzeption der Maschinen sowie das Ausmaß, in dem sie sich ersetzen bzw. ergänzen, beeinflusst. So kann davon ausgegangen werden, dass ein FFS mit ergänzenden Maschinen eine höhere Teilespektrumänderungsflexibilität aufweist als ein FFS, in dem vorwiegend ersetzende Maschinen zusammengefasst sind.

#### ○ **Losgrößenflexibilität**

Hierunter wird die Fähigkeit des FFS verstanden, auf verschiedenen Outputebenen wirtschaftlich zu arbeiten. Ein FFS mit hoher Losgrößenflexibilität hat eine flach verlaufende Stückkostenkurve.

## 5.4. **Komponenten Flexibler Fertigungssysteme**

Das gesamte FFS besteht aus mehreren Teilsystemen, deren Komponenten in Abb. 5.3. detailliert dargestellt sind.

Hier sind vor allem das technische System, das Bedienersystem und das Informationssystem.

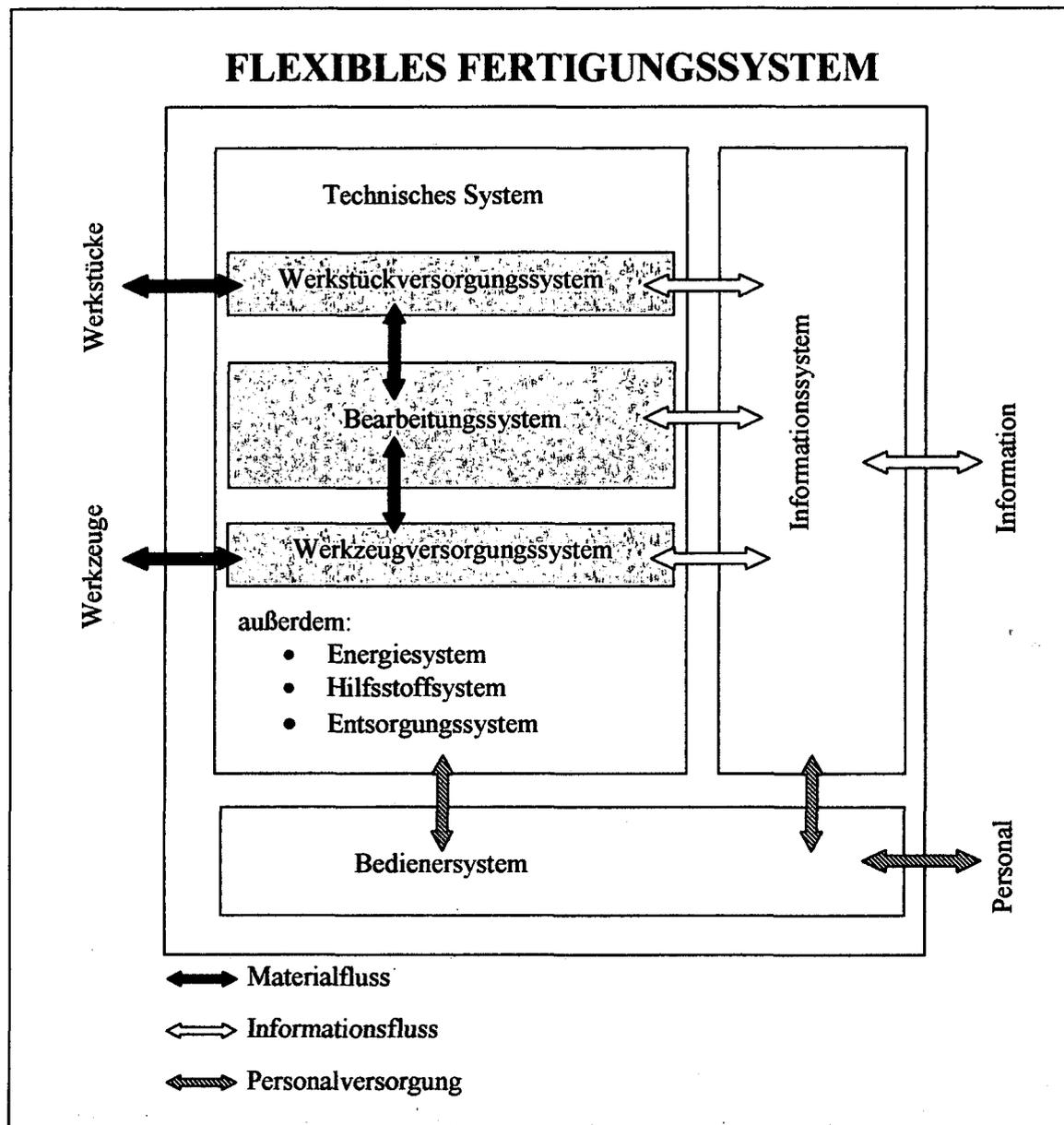


Abb. 5.3. Subsysteme eines FFS

#### 5.4.1. Technisches System

Das technische System besteht aus dem

- Bearbeitungssystem
- Werkstückversorgungssystem
- Werkzeugversorgungssystem

Hinzu kommen noch das Energiesystem, das Hilfssystem, dem Versorgung und Entsorgung und das Entsorgungssystem als spezielle unterstützende logistische Subsysteme (Abb. 5.4.).

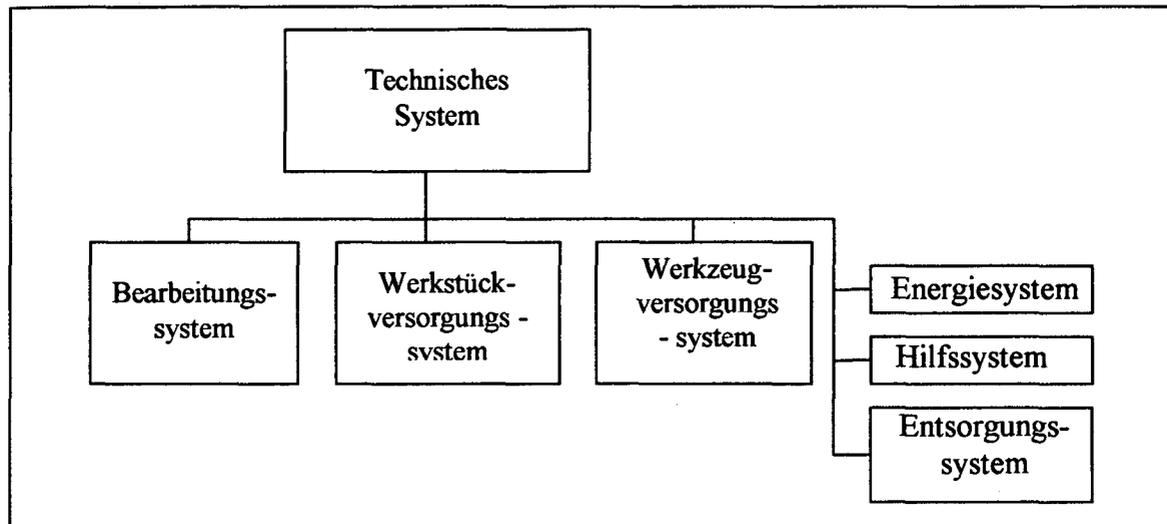


Abb. 5.4. Komponenten des technischen Subsystems eines FFS

#### 5.4.1.1. *Bearbeitungssystem*

Um eine Bearbeitungsmaschine in Betrieb zu setzen, muss man sie mit den notwendigen Informationen und dem notwendigen Material versorgen. Diese Versorgung ist über den Informations- und Materialfluss organisiert.

Durch den Materialfluss werden die Maschinen mit Werkzeugen, Werkstücken und Betriebsmitteln versorgt (Abb. 5.5.). Bei der Losweisen Fertigung wird das Material gruppenweise transportiert.

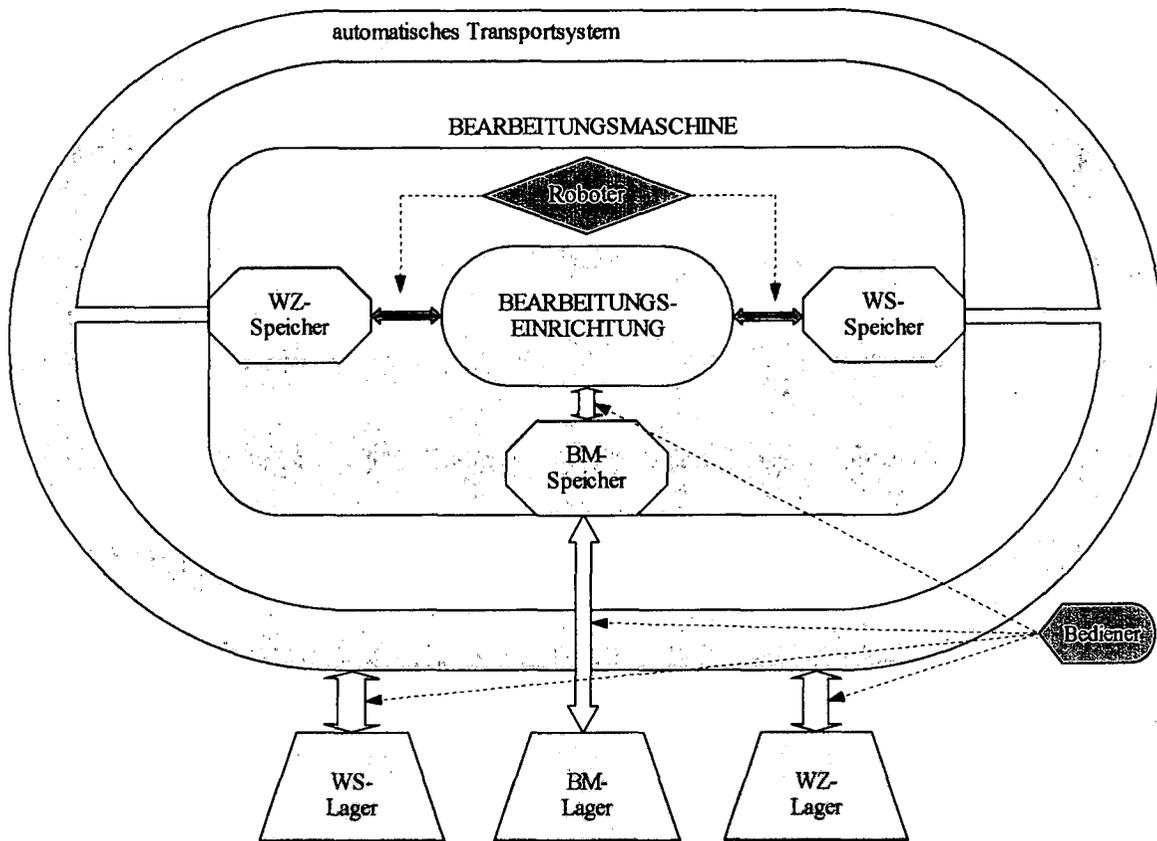


Abb. 5.5. FFS - Materialfluss

5.4.1.2. Werkstückversorgungssystem

Das Werkstückversorgungssystem besteht aus dem Transportsystem, dem Lagersystem, dem Bereitstellungssystem und dem Handhabungssystem (Abb. 5.6.).

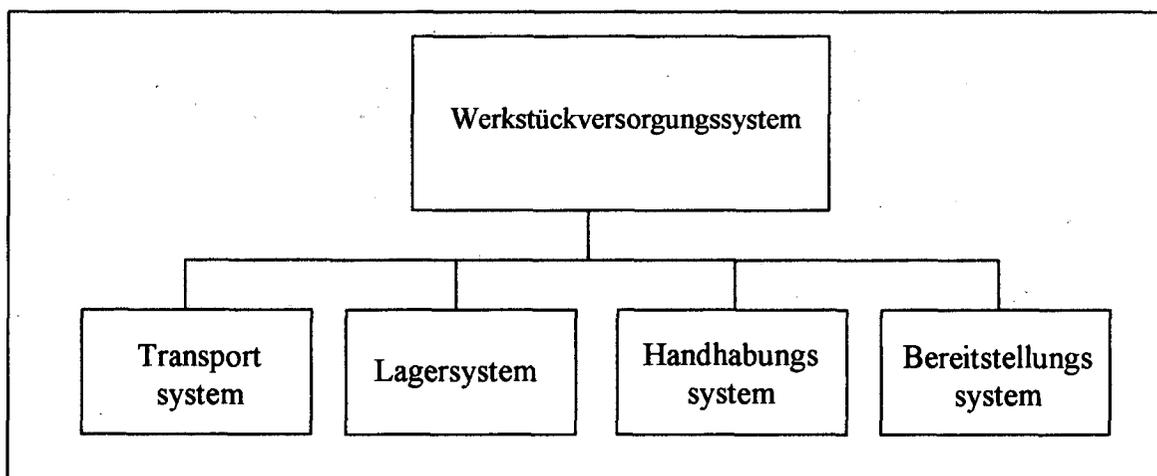


Abb. 5.6. Werkstückversorgungssystem

Das *Werkstücktransportsystem* hat die Aufgabe, die einzelnen Bearbeitungsstationen, das Lagersystem, und das Bereitstellungssystem miteinander zu verketteten. Innenverkettung

und Außenverkettung sind zwei Verkettungsarten die bei vielen FFS vorkommen. Bei Innenverkettung führt der Werkstückfluss durch den Arbeitsraum der Bearbeitungsmaschine, während er bei der Außenverkettung an der Bearbeitungsstation vorbeiführt. Das Prinzip von Innenverkettung wird vor allem bei Transferstrassen eingesetzt. In FFS werden die Bearbeitungsstationen aussenverkettet.

Das *Werkstücklagersystem* hat die Aufgabe, die Werkstücke, die auf Paletten aufgespannt sind, vor und nach den einzelnen Bearbeitungsvorgängen zu lagern.

Das *Werkstückbereitstellungssystem* hat die Aufgabe des Auf-, Um- und Abspannens der Werkstücke auf die bzw. von den Paletten.

Das *Werkstückhandhabungssystem* hat die Aufgabe, die Werkstücke und/oder Paletten und ihre Orientierung oder Position zwischen Bearbeitungs-, Transport- und Bereitstellungssystem definiert zu verändern. Ein typischer Handhabungsvorgang ist die Entnahme einer Palette aus einem maschinennahen Puffer und ihre Übergabe in den Bearbeitungsraum der Maschine.

#### 5.4.1.3. *Werkzeugversorgungssystem*

Im Werkzeugversorgungssystem werden wie bei Werkstückversorgungssystem die Aufgabe des Transports, der Bereitstellung, der Lagerung und der Handhabung von Werkzeugen wahrgenommen. An Hand von Versorgung der maschinennahen Werkzeugmagazine mit neuen Werkzeugen lassen sich zwei Arten von Werkzeugversorgungssystemen differenzieren: *dezentrale* Werkzeugversorgung und *zentrale* Werkzeugversorgung.

Bei der *dezentralen Werkzeugversorgung* werden von Zeit zu Zeit die maschinennahen Werkzeugmagazine durch manuelle Eingriffe umgerüstet. Diese Konzeption ist verbunden mit dem Verlust von Umrüstzeiten, weswegen es in der Praxis oft nicht realisierbar ist.

Bei der *zentralen Werkzeugversorgung* ist die Bestückung der maschinennahen Werkzeugmagazine ohne Unterbrechung des Bearbeitungsablaufs an einer Maschine möglich. Die Werkzeugversorgung wird bei dieser Konzeption mittels einem Werkzeugtransportsystem und Werkzeughandhabungssystem von einem zentralen Werkzeuglager erfolgen. In der Praxis kann aber der Fall eintreten, dass die Werkzeugversorgung zum Engpass des gesamten Systems wird.

#### 5.4.2. *Bedienersystem*

Zum Bedienersystem gehört das direkt zum Betrieb des FFS benötigte Personal. Das Bedienersystem hat die Aufgabe, die Werkstück- und Werkzeugbereitstellung, die Überwachung des Fertigungsablaufs, die Wartung und Instandhaltung der Anlagen sowie die Steuerung. Zum Beispiel wird sehr oft die Entscheidung dem Anlagenführer überlassen, welches Werkstück als nächstes zu einer Maschine transportiert und dort bearbeitet werden soll. Neben dem Anlagenführer zählen Aufspanner, Werkzeugeinrichter und Wartungskräfte zum Bedienersystem.

### 5.4.3. Informationssystem

Das Informationssystem (Abb. 5.7.) übernimmt alle Funktionen, die zur Steuerung und Überwachung des Fertigungsablaufs im FFS notwendig sind. Es gliedert sich in ein System zur kurzfristigen Planung und Steuerung und ein Datenverwaltungssystem.

Das *Datenverwaltungssystem* hat die Aufgabe, jederzeit alle im Zusammenhang mit der Planung und Steuerung der Werkstückbearbeitung in FFS benötigten Informationen in einer Datenbasis bereitzuhalten und bei Bedarf verfügbar zu machen.

Im *kurzfristigen Planungssystem und Steuerungssystem* sind die dispositiven und ausführenden Funktionen zusammengefasst, die den koordinierten Ablauf der Bearbeitungs-, Handhabungs- und Transportprozesse im FFS sicherstellen.

Das *Planungssystem* führt unter Berücksichtigung des aktuellen Zustands des FFS die Einlastung der vom übergeordnete Produktionsplanungs- und Steuerungssystem (PPS System) zur Bearbeitung freigegebenen Aufträge sowie ihre Zuordnung zu den Maschinen durch.

Das Steuerungssystem lässt sich in ein technisches und ein organisatorisches System unterscheiden.

Das *technische* Steuerungssystem gewährleistet z. B. die Übertragung der NC - Programme, die Steuerung des Material und Werkzeugversorgungssystem, die Synchronisation zwischen Maschinen und Transportsteuerung, sowie die Steuerung einzelner Maschinen.

Im Gegensatz dazu hat das *organisatorische* Steuerungssystem die Aufgaben der kurzfristigen Ablaufplanung und der Betriebsdatenerfassung.

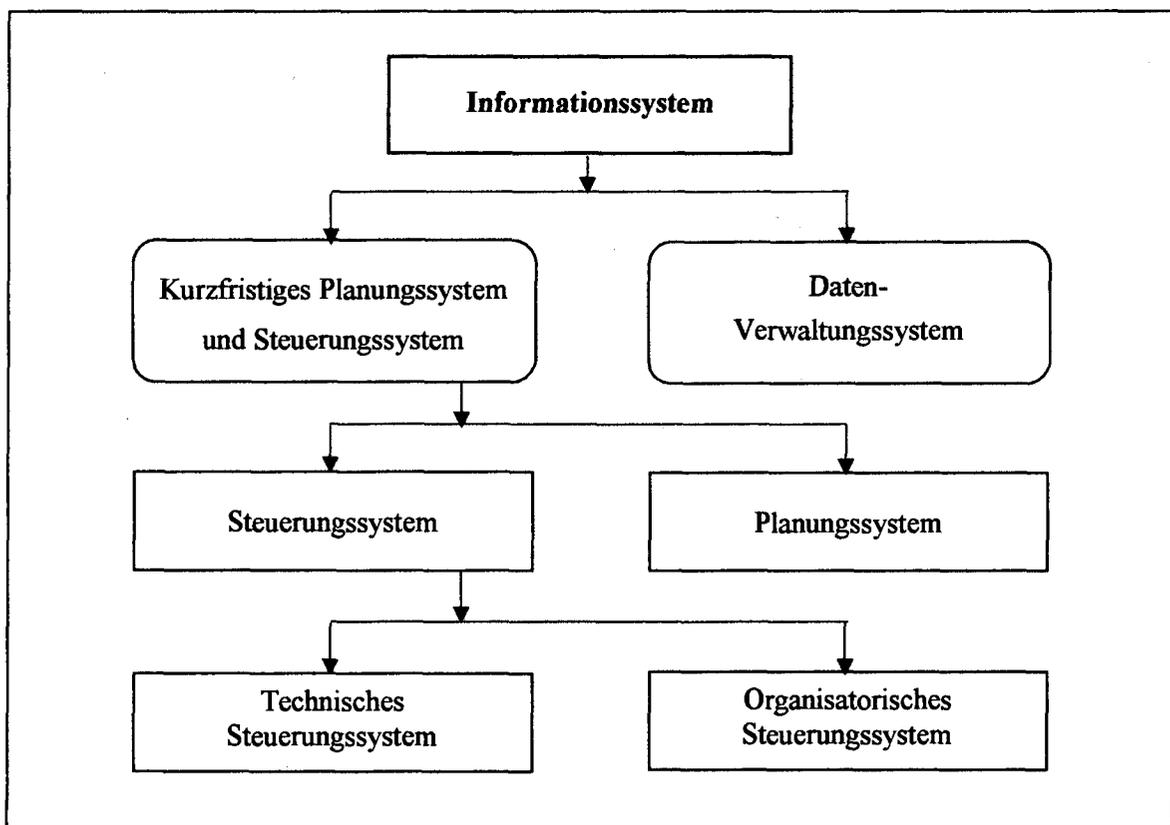


Abb. 5.7. Informationssystem

Komponenten eines Flexiblen Fertigungssystems können z.B. Lager für Roh- und Fertigteile, Lager für Spannmittel, Rüstplatz für Montage der Rohteile auf Paletten, Puffer für Rohteile, Fördersystem für Werkstücke, NC- bzw. CNC-Bearbeitungsmaschinen, Bearbeitungszentren, Werkzeuglager, Werkzeugvoreinstellung, Maschinensteuerungen, Werkzeugfördersysteme, usw. sein.

Bild 5.8. zeigt das Layout eines FFS, in dem mehrere CNC – Bearbeitungsmaschinen durch ein zentrales Werkzeugversorgungssystem mit Werkzeugkassetten versorgt werden. Die Werkzeugkassetten werden an einem Werkzeugrüstplatz voreingestellt und zum Einsatz an den Bearbeitungsmaschinen vorbereitet. Danach werden sie entweder in einem zentralen Hintergrundmagazin gelagert oder unmittelbar, da ihr Einsatzzeitpunkt kurz bevorsteht, zu einem maschinennahen Werkzeugmagazin transportiert. Der Transport der Werkzeugkassetten zu den Bearbeitungszentren erfolgt hier durch ein eigenes Werkzeugtransportsystem.

Aus dem Bild wird deutlich, dass bei der Planung einer solchen Werkzeugversorgung besonderes Augenmerk auf die Kapazität des Werkzeugtransportsystems zu legen ist, damit keine Verzögerungen in der Werkstückbearbeitung aufgrund verspätet bereitgestellter Werkzeuge auftreten. Rings um die mit der Rückseite zum Zentrum aufgestellten Bearbeitungsmaschinen sind zentrale Palettenspeicher platziert. Auf der linken Seite befinden sich zwei Spannstationen, die die Werkstückschnittstelle des FFS zur Umwelt darstellen.

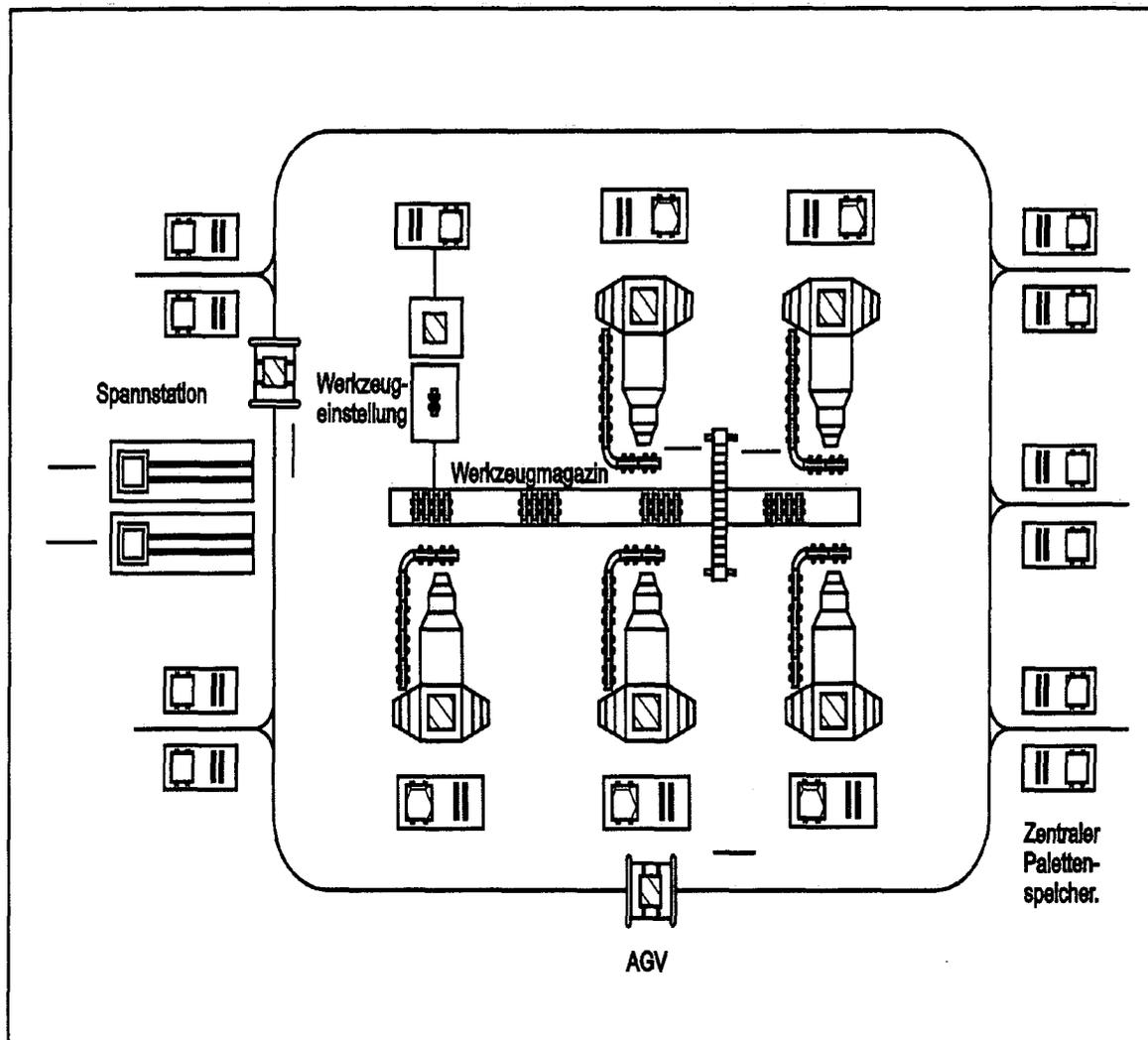


Abb. 5.8. FF-System mit zwei FTS-Fahrzeugen und einem zentralen Werkzeug-Hintergrund-Magazin [Tempelmeier 2000]

### 5.5. Vor- und Nachteile von FFS

Jedes FFS muss sich wirtschaftlich rechtfertigen lassen, was in der Regel schwierig ist. Oft ist die künftige Entwicklung der Fertigungsaufgaben, der zu bearbeitenden Werkstücke und des Produktspektrums nicht absehbar, und somit stehen keine geeigneten Parameter zur ökonomischen Einschätzung zur Verfügung. Zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit werden heute meistens statistische Verfahren, wie etwa eine Kostenvergleichsrechnung oder eine Nutzwertanalyse, eingesetzt [Rembold 1999]. Beide Verfahren setzen alternative Fertigungssysteme voraus.

Die wirtschaftlichen Vorteile flexibler Fertigungssysteme sind:

- Aktivierung der zeitlichen und technischen Nutzungsreserven durch die höhere Automatisierung,
- Steigerung der Produktivität durch schnelle Umrüstbarkeit auf wechselnde Fertigungsaufgaben,

- Verbesserung der Effektivität des Systems durch automatische Erfassung und Auswertung der Maschinen und Betriebsdaten,
- Reduzierung der Produktionsfläche durch Wegfall von Zwischenlagern und Arbeitsflächen an den Maschinen,
- Schnelles Reagieren auf Marktveränderungen,
- Anpassungsfähigkeit an geometrische und technologische Veränderungen der Werkstücke,
- Erweiterungsmöglichkeiten für neue Aufgaben.

Moderne FFS sind komplex, nicht linear und dynamisch geworden. Zur effizienten Planung und Steuerung von diesen Systemen braucht man deshalb neue Werkzeuge und Methoden.

## 6. MODELLBILDUNG UND SIMULATION

### 6.1. Einführung

#### 6.1.1. Untersuchungen und Optimierungen wirtschaftlicher Prozesse

Ein Hauptziel bei der Gestaltung und Steuerung von Produktionsprozessen ist die Maximierung der Wirtschaftlichkeit [Wien 2001, Jäger 1998].

Die komplexen Steuer- und Zielgrößen der Produktionsprozesse (Abb. 6.1.) beeinflussen sich in die Regeln gegenseitig und wirken teilweise sogar entgegengesetzt. Sie müssen deshalb im Zusammenhang analysiert und optimiert werden. Sehr hohe Anforderungen an die Analysetätigkeit sind die Folge.

Der Zeitfonds zur Durchführung von Analysen im Fertigungsbereich wird aufgrund des wachsenden Innovations- und Konkurrenzdruckes immer geringer. Schwachstellen in der technologischen Kette, in der Kostenplanung und in der Fertigungssteuerung müssen deshalb so zeitig wie möglich – am besten natürlich vor ihrem Wirksamwerden – entdeckt und beseitigt werden. Ein weiteres typisches Problem ist die nur mittelbare Zugänglichkeit der Untersuchungsobjekte.

Während grobe Analysen und Optimierungen von komplexen Systemen der Wirtschaft durch ein hohes Maß an menschlicher Intuition und Erfahrung erzielbar sind, erfordert die Feinabstimmung wesentlich genauere Methoden und Untersuchungswerkzeuge. Dazu bieten sich analytisch oder simulierend arbeitende Verfahren an.

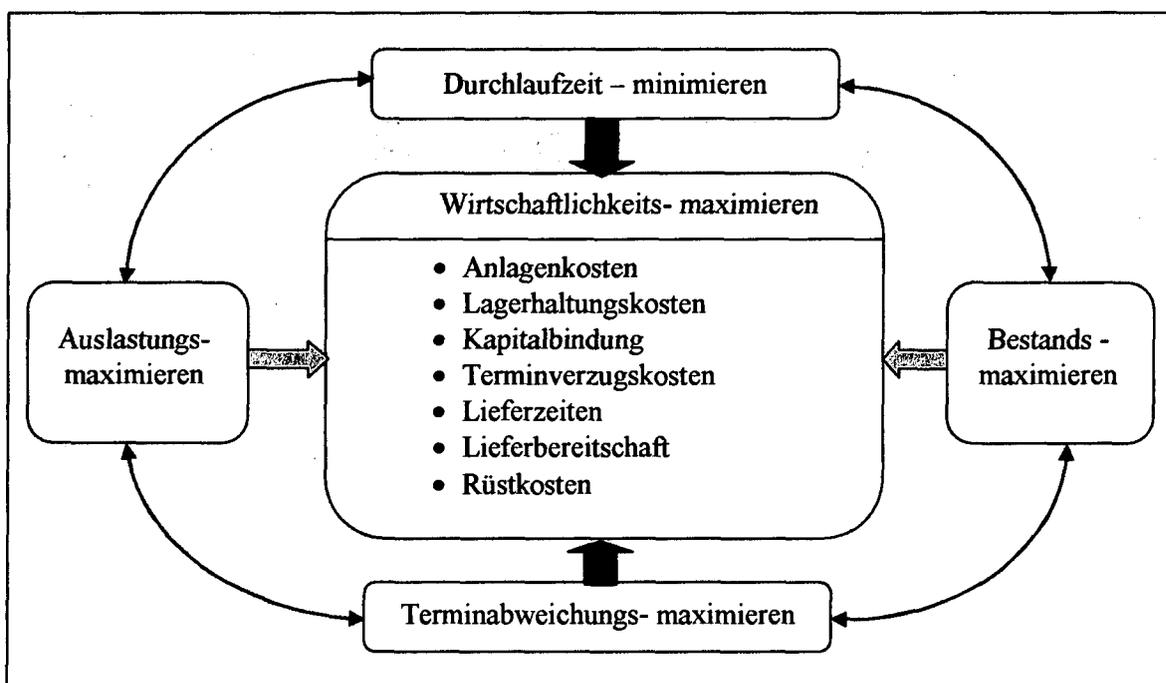


Abb. 6.1. Zielsystem zur Maximierung der Wirtschaftlichkeit in der Produktionsplanung und -steuerung (nach [Wien 2001])

**Analytische Verfahren** sind bereits seit längerer Zeit im Einsatz und basieren im wesentlichen auf Methoden der mathematischen Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung, der linearen Optimierung und anderen speziellen Verfahren der Operation Research. Kennzeichnend für analytische Verfahren ist die sehr starke Reglementierung der Beschreibung der konkreten Prozesse und Objekte. Bei einem Auftreten von zufälligen Einflussgrößen sind häufig nur ganz bestimmte Verteilungsfunktionen analysierbar. Beim gleichzeitigen Wirken mehrerer Zufallsgrößen ist meist keine analytische Methode mehr anwendbar.

**Simulierende Verfahren** beruhen auf:

- der Nachbildung und schrittweisen Berechnung von kontinuierlichen Prozessen durch Systeme von Differentialgleichungen (kontinuierliche Simulation), oder
- der Nachbildung und Analyse diskreter Prozesse durch algorithmische Modelle und deren Optimierung durch Experimentreihen (diskrete Simulation).

Da eine effiziente Durchführung der Berechnungen in der Regel nur maschinell erfolgen kann, sind simulierende Verfahren sehr eng mit der Entwicklung der Computertechnologie verbunden. Durch die Dezentralisierung der Rechentechnik und die Verfügbarkeit von Computern am Arbeitsplatz werden simulierende Verfahren in Zukunft immer mehr angewendet werden.

**6.1.2. Anwendungsgebiete der Modellierung und Simulation**

Die Entscheidung für ein bestimmtes Untersuchungsverfahren ist sehr an den Charakter des Untersuchungsobjektes und der zur Verfügung stehenden Kapazitäten gebunden. Im Einzelnen können aber die folgenden Systemeigenschaften eine Modellierung und Simulation ratsam erscheinen lassen (siehe Tab. 6.1.).

Systemeigenschaft	Beispiel
Das System ist nicht zugänglich oder nicht real existent. 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prozesse auf anderen Sternen, Planeten oder im Erdinneren</li> <li>• Hypothesen zu neuen Gesetzmäßigkeiten</li> <li>• neu zu entwickelnde Produkte oder Methoden</li> </ul>
Eine direkte Untersuchung würde eine unzumutbare Störung des Systems bedeuten. 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abläufe in ökologischen Systemen, in der Medizin (z.B. Gehirnfunktionen), oder in exemplarisch vorhandenen Gegenständen oder Prozessen (z.B. Geysir)</li> <li>• militärische Szenarien</li> </ul>

<p>Änderungen am System sind zu aufwendig, kritisch oder kostspielig.</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• komplexe oder neue Fertigungsprozesse</li> <li>• komplizierte technische Prozesse</li> <li>• geplante Umgestaltungen ökologischer Systeme</li> <li>• gravierende Einschnitte in gesellschaftlichen oder sozialen Strukturen</li> </ul>
<p>Das System ist zu schnell oder langsam.</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kernphysik,</li> <li>• langfristige Wetterentwicklung</li> <li>• geologische Vorgänge</li> </ul>

Tab. 6.1. Systemeigenschaften der Modellierung und Simulation

6.1.3. Nutzen von Simulationsuntersuchungen

In Abhängigkeit von den bereits diskutierten Gründen für eine Simulation sind vielfältige Auswertungen und Einsatzfälle für Simulationsuntersuchungen denkbar.

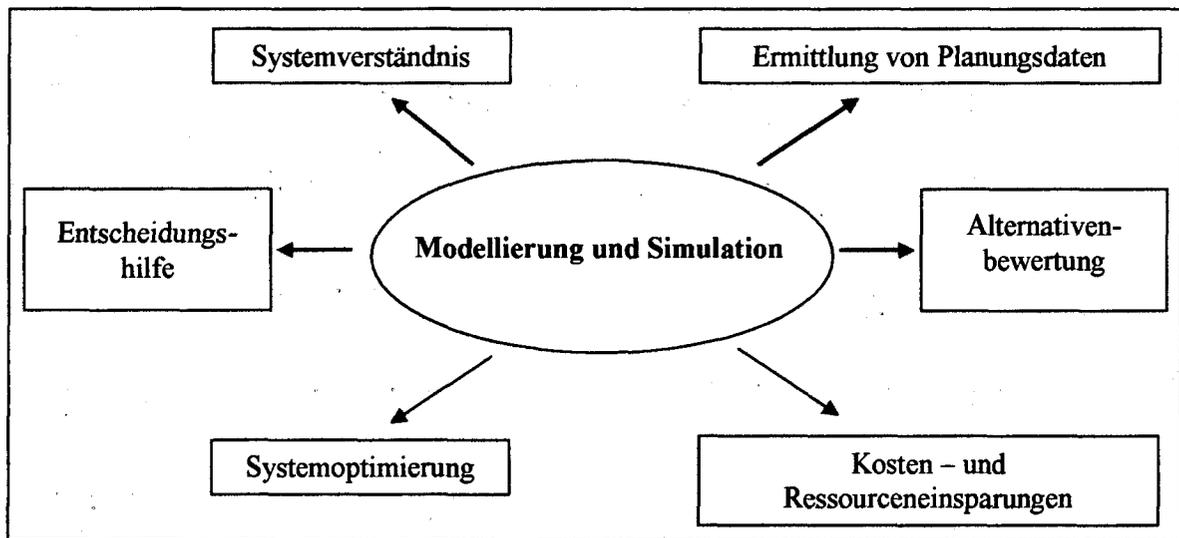


Abb. 6.2. Nutzen von Simulationsuntersuchungen

Im Bereich der Naturwissenschaften sind vor allem Modelle zum Systemverständnis und zur Abschätzung möglicher Reaktionen des Systems auf externe Einflüsse oder Modifikationen im Einsatz. Mit den Mitteln der Systemabgrenzung wird versucht, für Teilbereiche bislang unerforschter Systeme mathematische Formeln oder Gesetzmäßigkeiten zu entdecken.

In wirtschaftswissenschaftlich orientierten Anwendungsfällen sind die Gesetzmäßigkeiten des Verhaltens der einzelnen Systembestandteile in der Regel bekannt, so z.B. die allgemeinen Abläufe in der Fertigung oder der Warenwirtschaft. Als Problem und damit im Mittelpunkt des Forschungsinteresses stehen die vielfältigen Wechselwirkungen der Einzelobjekte.

Während zufällige Einflussfaktoren bei naturwissenschaftlichen Modellen im Rahmen einer korrekten Systemabgrenzung unter Umständen außer Acht gelassen werden können, führt die Vernachlässigung stochastischer Einflussgrößen in praxisnahen Modelluntersuchungen häufig zu falschen und irreführenden Ergebnissen. Die Durchführung und Auswertung von den Simulationsuntersuchungen in der Wirtschaftsinformatik ist deshalb sehr eng mit der mathematischen Statistik und Systemanalyse verbunden (Abb. 6.2.).

Die Modellierung und Simulation von Systemen ist einerseits Dienstleister für viele andere Wissenschaftszweige und -Richtungen, andererseits erfordert die Vielfalt der bei Modellierungs- und Simulationsexperimenten anfallenden Aufgaben eine massive Inanspruchnahme von Verfahren und Gesetzmäßigkeiten aus benachbarten Wissenschaftsbereichen, wie z.B. der Mathematik, Informatik oder Betriebswirtschaft.

Gerade die Entwicklung auf dem Sektor der Kommunikationstechnik und der Vernetzung lässt für zukünftige Entwicklungen auf dem Gebiet der Modellierung und Simulation noch sehr viel Raum für spannende neue Entwicklungen und Anwendungen.

In diesem Sinne ist die Simulationstechnik einer der Schlüsseltechnologien der Zukunft.

## 6.2. Grundbegriffe der Simulationstechnik

### 6.2.1. Systeme

Die Umwelt des Menschen besteht nicht nur aus einer Anhäufung von Einzelobjekten, sondern auch aus einem Netz von Beziehungen, das die Objekte untereinander verbindet. Ausschnitte aus dieser Gesamtmenge der Objekte und Beziehungen werden vom Menschen abgegrenzt und als *Systeme* bezeichnet.

Es kann sich um natürliche, technische oder – wird der Mensch selbst als Teil des Systems gesehen – soziale Systeme handeln. Oft sind die betrachteten Systeme komplex; ihre Struktur und ihr Verhalten sind nicht unmittelbar durchschaubar. Man denke beispielsweise an ökologische Systeme, an große Produktions- und Transportsysteme oder komplizierte elektronische Schaltungen. Wenn der Mensch einen Ausschnitt der Realität als System identifiziert, wendet er bereits implizite Kriterien an, nach denen er seine Beobachtungen bewertet und ordnet.

[J. W. Forrester] definiert ein System als eine Menge miteinander in Beziehung stehender Teile (Komponenten), die zu einem gemeinsamen Zweck interagieren.

Der Begriff des Zwecks scheint sich auf den ersten Blick nur auf künstlich geschaffene Systeme zu beziehen. Tatsächlich sind aber auch natürliche Systeme häufig erst dadurch zu verstehen, dass ihnen ein Zweck zugeschrieben wird. So betrachten wir z. B. ein Herz als ein System, das zur Aufrechterhaltung des Blutkreislaufs in einem Organismus dient.

Als Element eines Systems bezeichnet man eine nicht weiter unterteilbare oder als nicht weiter unterteilbar betrachtete Komponente des Systems.

Zwischen den Elementen eines Systems bestehen Beziehungen, die mathematisch durch zwei- oder mehrstellige Relationen dargestellt werden. Für das Systemverhalten sind speziell Interaktionsbeziehungen von Bedeutung.

Die Komplexität eines Systems hängen von der Anzahl der Elemente und Beziehungen und damit vom Verflechtungsgrad der Elemente ab. Je größer die Zahl der Beziehungen im Verhältnis zur Zahl der Elemente, desto höher der Verflechtungsgrad.

Nach Art der Beziehung eines Systems zu seiner Umgebung unterscheidet man offene und geschlossene Systeme. Ein offenes System hat mindestens eine Interaktionsbeziehung zu einem umgebenden System (einen Systemeingang oder -ausgang).

Geschlossen nennt man dagegen Systeme, die keine Interaktionsbeziehungen zu anderen Systemen haben.

Das Verhalten dieses Systems ist dann unabhängig von äußeren Einflüssen. Reale Systeme sind praktisch immer offen und können nur durch gedankliche Vereinfachung als geschlossene Systeme betrachtet werden.

Eine weitere Unterscheidung ergibt sich durch das Verhalten der Systeme in der Zeit. Im Gegensatz zu den statischen Systemen ändert sich bei dynamischen Systemen der Zustand im Zeitablauf.

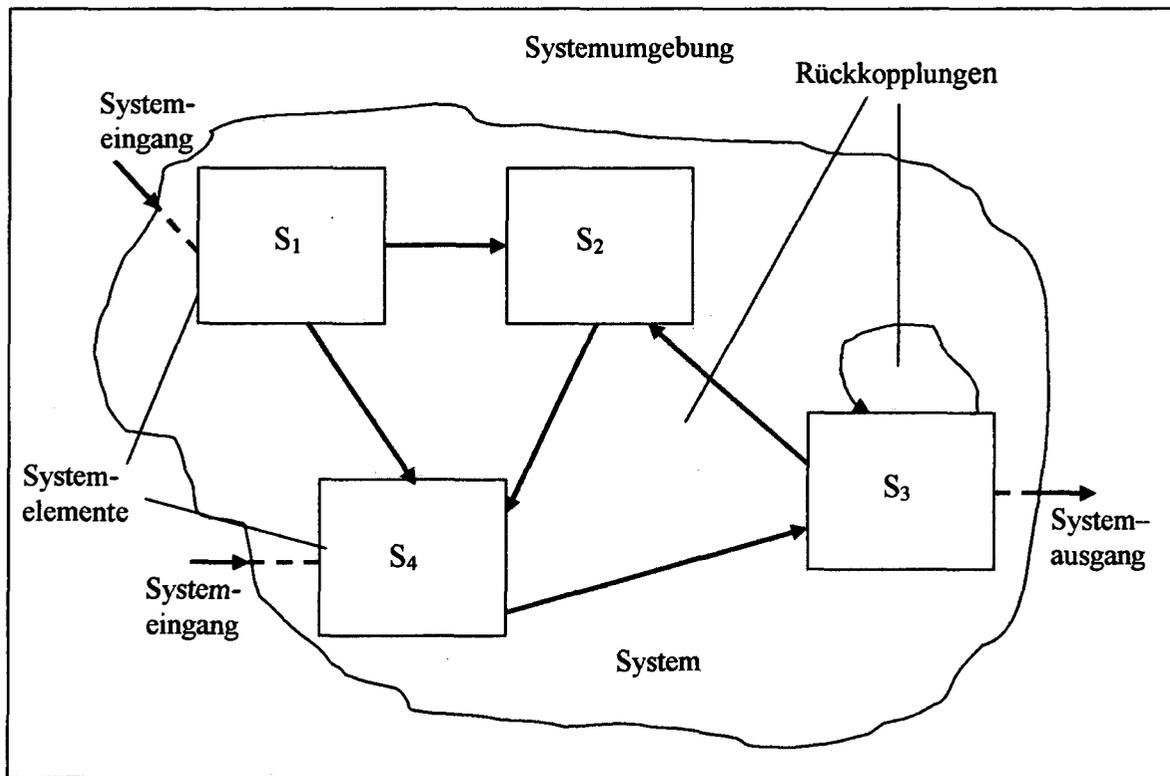


Abb. 6.3. Grundlegende Systembegriffe

Die dynamischen Systeme werden weiter eingeteilt in kybernetische und nichtkybernetische Systeme. Ein kybernetisches System ist dadurch gekennzeichnet, dass das Netz der Interaktionsbeziehungen Zyklen enthält. Die grundlegenden Systembegriffe sind in Abb. 6.3. zusammengefasst.

### 6.2.2. Modelle

Um Erkenntnisse über Systeme zu gewinnen, ist es meist sinnvoll, die Untersuchung nicht am System selbst vorzunehmen, sondern ein Modell zu bilden, das die wesentlichen Eigenschaften des Systems abbildet.

Durch den Vorgang der Modellbildung werden Systeme in Modelle abgebildet. Die Modelle sind selbst wiederum Systeme, die aber die Elemente und Relationen des Ursprungssystems in veränderter Weise darstellen.

Beim Übergang vom Ursprungssystem (Original) zum Modell findet eine Abstraktion und Idealisierung statt. Ein Modell stellt das Original also vereinfacht dar – dadurch erst wird die Untersuchung komplexer Systeme handhabbar. Da die Ergebnisse, die mit dem Modell erzielt werden, auf das Original übertragen werden sollen, ist eine ausreichend genaue Abbildung der wesentlichen Eigenschaften nötig. Welche Eigenschaften als wesentlich betrachtet werden, hängt von der Fragestellung und Zielsetzung der Untersuchung ab. Zu einem gegebenen System können mehrere unterschiedliche Modelle erstellt werden, abhängig von der Zielsetzung der Modellstudie und der subjektiven Sichtweise des Modellbildners.

Modelle können nach verschiedenen Kriterien klassifiziert werden:

- nach der Art der Untersuchungsmethode,
- nach dem Abbildungsmedium,
- nach der Art der Zustandsübergänge,
- nach dem intendierten Verwendungszweck.

#### **Klassifikation nach Art der Untersuchungsmethode**

Wenn Untersuchungen an einem Modell vorgenommen werden, so können Erkenntnisse entweder durch analytische Berechnung oder durch Simulation gewonnen werden.

Modelle mit analytischem Lösungsansatz erlauben es, in ein Gleichungssystem, das die vorhandenen Systembeziehungen widerspiegelt, bestimmte angenommene Werte einzusetzen und in einem geschlossenen Lösungsdurchlauf den zu ermittelnden Systemzustand direkt zu bestimmen.

In Simulationsmodellen dagegen wird der Modellzustand Schritt für Schritt fortgeschrieben, d. h. die Zwischenergebnisse der Berechnung besitzen eine Interpretation als Zwischenzustände des Originals. Aus diesem Grund eignen sich Simulationsmodelle besonders zur Veranschaulichung des Systemverhaltens. Analytische Untersuchungen sind außerdem wegen mathematischer Restriktionen auf Systeme mit relativ geringer Komplexität begrenzt.

#### **Klassifikation nach Abbildungsmedium**

Modelle müssen nicht notwendigerweise in einem Formalismus dargestellt werden. Auch informale Beschreibungen oder materielle Systeme können als Modelle dienen. Verbale Modelle und grafisch-deskriptive Modelle können wichtige Zwischenstufen bei der Entwicklung formaler Modelle darstellen.

Abb. 6.4. zeigt die Hierarchie der Abbildungsmedien. Der Vollständigkeit halber wurde hier auch die Unterscheidung nach der Untersuchungsmethode miteinbezogen.

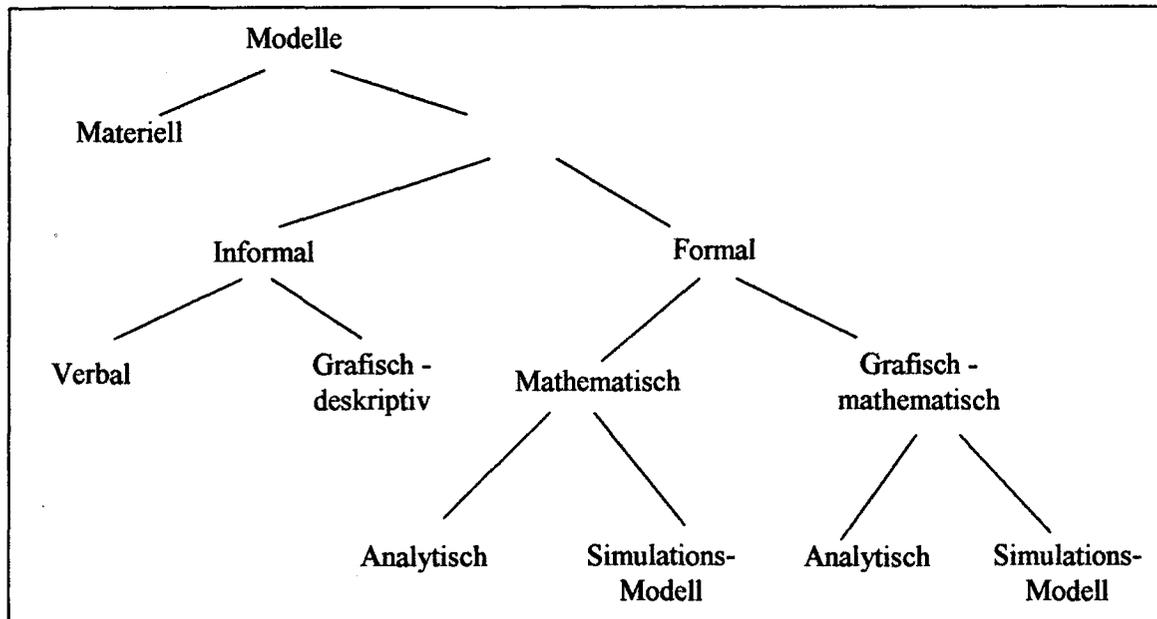


Abb. 6.4. Klassifikation nach Abbildungsmedium und Untersuchungsmethode

**Klassifikation nach Art der Zustandsübergänge**

Abb. 6.5. zeigt die Klassifikation von Modellen nach der Art der Zustandsübergänge.

Bei einem *statischen* Modell treten keine Zustandsänderungen auf.

Ein *dynamisches* Modell zeichnet sich dagegen durch die Zeitabhängigkeit des Modellzustandes aus.

Die Zustandsvariablen eines *kontinuierlichen* Modells lassen sich durch stetige Funktionen beschreiben. Bei einem *diskreten* Modell ändern sich die Werte der Zustandsvariablen dagegen sprunghaft zu bestimmten, auf der Zeitachse diskret verteilten Zeitpunkten.

*Deterministisch* heißt ein Modell, wenn seine Reaktion auf eine bestimmte Eingabe, ausgehend von einem bestimmten Zustand, eindeutig festgelegt ist. Wenn dies nicht der Fall ist, d. h. wenn sich Reaktionen des Modells nur durch Wahrscheinlichkeitsverteilungen beschreiben lassen, nennt man es *stochastisch*.

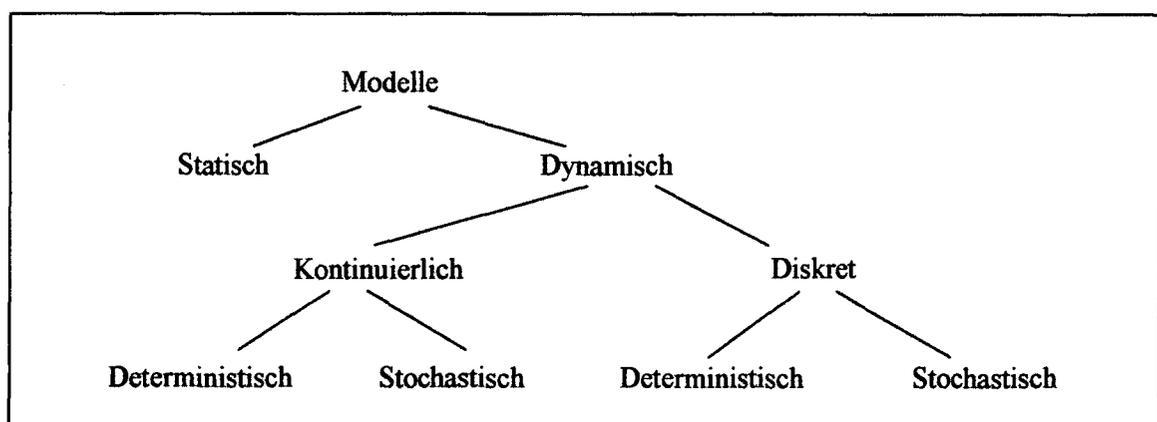


Abb. 6.5. Klassifikation nach Art der Zustandsübergänge

### Klassifikation nach Verwendungszweck

Der Verwendungszweck eines Modells ist durch die Fragestellung und Zielsetzung der Modellstudie festgelegt. Abhängig vom Verwendungszweck werden unterschiedliche Anforderungen an Modelle gestellt. Ein *Erklärungsmodell* muss die Struktur des Originalsystems so detailliert abbilden, dass es zur Erklärung des beobachteten Systemverhaltens herangezogen werden kann. Ein *Prognosemodell* dient dazu, künftige Systemzustände unter gegebenen (alternativen) Annahmen abzuschätzen. Es ist durchaus möglich, dass ein bestimmtes Modell als Prognoseinstrument nützlich ist, ohne das Systemverhalten zu erklären. Gestaltungsmodelle dienen als Entscheidungshilfe beim Entwurf von Systemen und der Maßnahmenauswahl in der Projektplanung. Optimierungsmodelle schließlich werden zur Ermittlung optimaler Systemzustände entwickelt. Beispielsweise kann ein Transportmodell mit dem Ziel entwickelt werden, Transportkosten zu minimieren (Abb. 6.6).

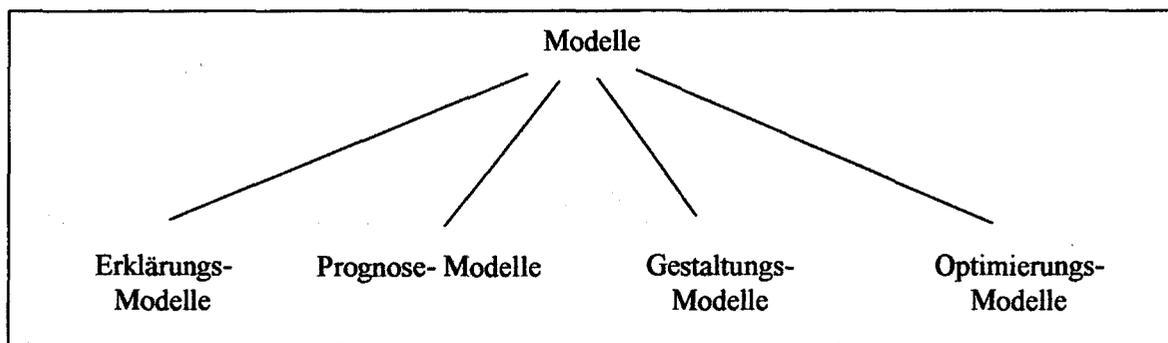


Abb. 6.6. Klassifikation nach Verwendungszweck

### 6.2.3. Simulation

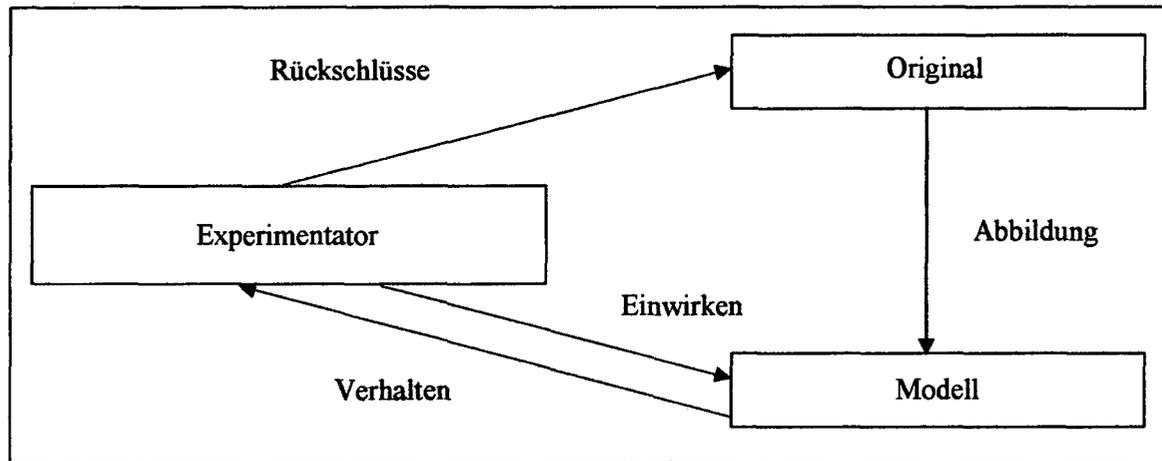
Man spricht ganz allgemein von Simulation, wenn bei der Systemanalyse ein Modell an die Stelle des Originalsystems tritt und Experimente am Modell durchgeführt werden.

Ist die hinreichend korrekte Abbildung zwischen Original und Modell gesichert, so kann man die Abläufe des realen, dynamischen Systems im Modell nachvollziehen und Kenntnisse über das Modellverhalten sammeln, die in gewissen Grenzen Rückschlüsse auf das Verhalten des Originals erlauben (Abb. 6.7.).

Bei vielen Prozessen, vor allem in betrieblichorganisatorischen Systemen (der Mikroebene), z. B. bei Abläufen in Produktions-, Transport- oder Lagerhaltungssystemen, ändert sich der Systemzustand nicht kontinuierlich, sondern diskret.

Diskrete Simulation, bedeutet, dass Zustandsänderungen innerhalb des Simulationsmodells zu diskreten Zeitpunkten erfolgen, d. h. das System wird nur für bestimmte Zeitpunkte gelöst.

Dagegen erscheint es bei physikalischen, biologischen oder medizinischen Systemen meist natürlich, dass sich Systemveränderungen kontinuierlich vollziehen, denn das Systemverhalten ist hier durch physikalische bzw. biologische Gesetze bestimmt, die in Form von Differentialgleichungen dargestellt werden können.



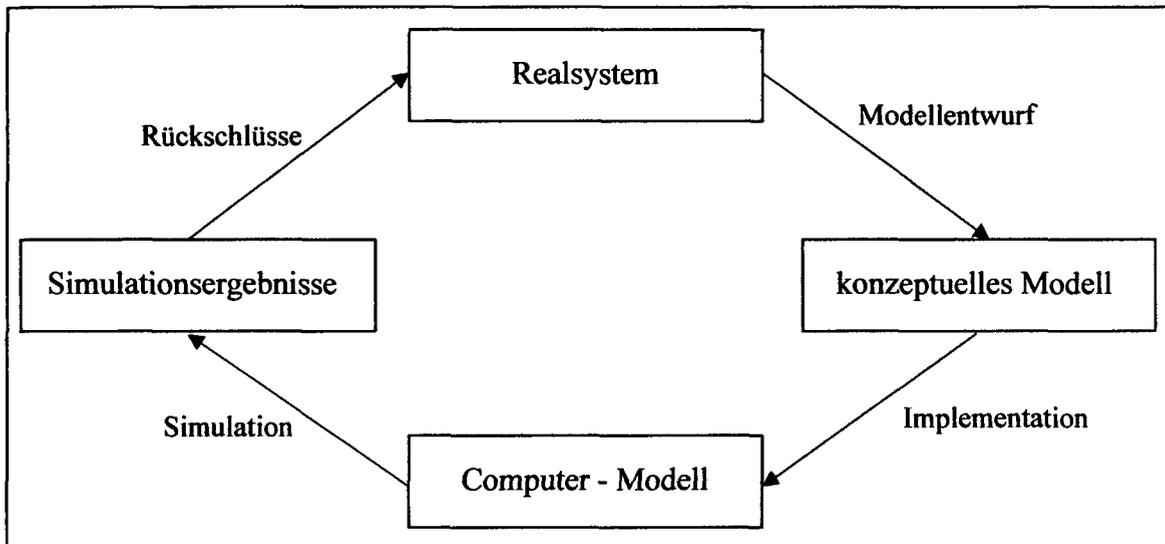
*Abb. 6.7. Beziehungen zwischen Objekt, Modell und Experimentator*

### 6.3. Der Aufbau von Simulationsmodellen

Durch Abstraktion und Idealisierung wird bei der Modellbildung die Komplexität des Originals reduziert. Im Folgenden wird vorausgesetzt, dass der Modellbildungsprozess von einem in der Realität vorgefundenen Original ausgeht (was etwa bei Gestaltungsmodellen nicht der Fall ist). Das Original wird als Realsystem bezeichnet.

Den Prozess der Modellbildung und Simulation kann man in mehrere Schritte aufteilen (Abb. 6.8). Zunächst wird ein konzeptuelles Modell entworfen. Dieses ist das Ergebnis des oben erwähnten Abstraktions- und Idealisierungsprozesses. Es handelt sich um ein rein gedankliches Modell, das zunächst nur in der Vorstellung des Modellentwicklers existiert. Beschreibungen des konzeptuellen Modells (z. B. in Form von umgangssprachlichen Texten, Modelldiagrammen, mathematischen Ausdrücken) sind unabhängig von der späteren Implementation des Modells als Computerprogramm.

Das letztere wird zur deutlichen Abgrenzung vom konzeptuellen Modell auch als Computer-Modell bezeichnet. Ist ein lauffähiges und korrektes Computer-Modell entwickelt, so kann die Simulation durchgeführt werden. Die so erhaltenen Simulationsergebnisse erlauben in gewissen Grenzen Rückschlüsse auf das Realsystem. Die Ermittlung dieser Grenzen ist Aufgabe der Modellvalidierung.



*Abb. 6.8. Schematische Darstellung der Modellbildung und Simulation*

Der gesamte Modellbildungsprozess ist in Abb. 6.9. dargestellt. Dabei kennzeichnen Rechtecke Aktivitäten des Modellentwicklers und Ellipsen deren Voraussetzungen bzw. Resultate.

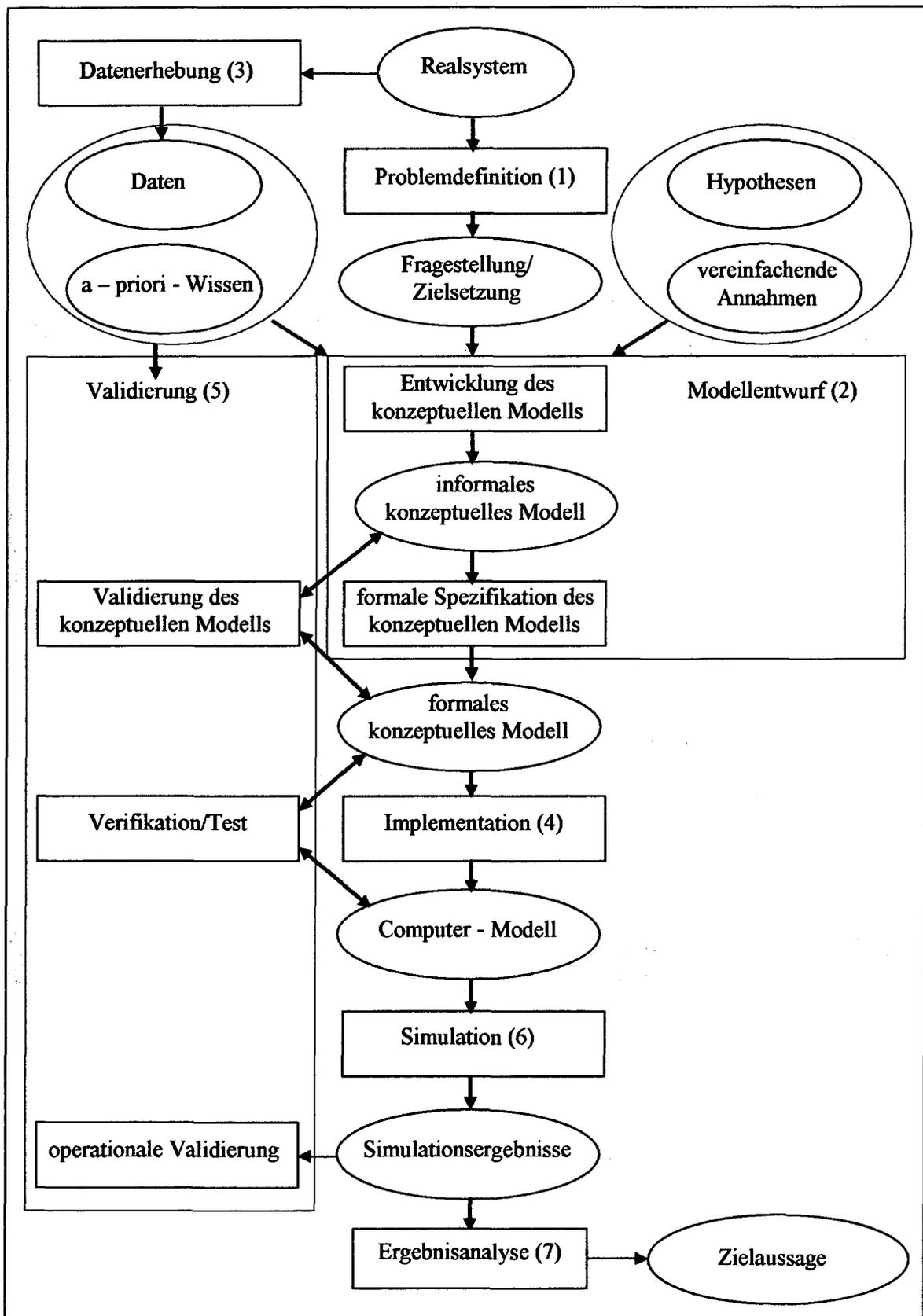


Abb. 6.9. Die Phasen des Modellbildungsprozesses

### **(1) Problemdefinition**

Am Anfang jeder Modellstudie sollte eine möglichst gründliche Problemdefinition stehen. Sie legt die zu untersuchenden Fragestellungen und zu erreichenden Ziele fest. Bei der genauen Problemabgrenzung muss dem Modellentwickler möglichst vollständig bewusst sein, unter welchem Blickwinkel er an die Problemstellung herangeht, da in diesem Anfangsschritt bereits eine Bandbreite von Lösungsmöglichkeiten abgesteckt wird.

Ist die Fragestellung der Untersuchung nicht eindeutig formuliert, so kann nicht zuverlässig entschieden werden, welche Systemkomponenten im Modell abzubilden sind und von welchen abstrahiert werden kann. Fehler, die in dieser frühen Phase gemacht werden, sind später nur mit großem Aufwand zu korrigieren, da hierzu die Modellstudie in der Regel wieder neu begonnen werden muss.

### **(2) Modellentwurf**

Der erste Schritt in der Phase des Modellentwurfs ist die Entwicklung des konzeptuellen Modells. Auf der Basis der Definition der Systemgrenzen wird eine erste Erfassung der Systemstruktur vorgenommen. In diesem ersten Abstraktionsschritt werden relevante Systemobjekte, ihre Attribute und Beziehungen ausgewählt und es wird entschieden, welche Systemaspekte für die zu untersuchende Fragestellung unwesentlich sind und unberücksichtigt bleiben können.

Die relevanten Systemgrößen und ihre Beziehungen werden zunächst informal beschrieben.

Auf dieser Grundlage erfolgt die Wahl eines geeigneten Modelltyps. Ein System kann abhängig von der gewählten Fragestellung und Betrachtungsweise meistens durch Modelle verschiedenen Typs (z. B. durch ein kontinuierliches oder ein diskretes Modell) dargestellt werden. So kann man die Abfertigung der Kunden an den Kassen eines Supermarktes als *diskreten* Prozess im Verlauf der Zeit ansehen.

Der nächste Schritt im Rahmen des Modellentwurfs ist die formale Spezifikation des konzeptuellen Modells, das ist eine exakte Beschreibung des Modells in einem geeigneten Formalismus. Voraussetzung für eine mathematische Darstellung ist die Quantifizierbarkeit der Systemgrößen, damit Gleichungen oder Entscheidungsregeln zur Beschreibung der Beziehungen dieser Größen aufgestellt werden können.

Im Rahmen des Abstraktions- und Idealisierungsprozesses macht der Modellentwickler schließlich bestimmte vereinfachende Annahmen, die sich ebenfalls im Rahmen der Validierung bewähren müssen.

Ergebnis der gesamten Modellentwurfsphase ist ein formales konzeptuelles Modell.

### **(3) Datenerhebung**

Da im Rahmen des Modellentwurfs genau festgelegt wird, welche Konstanten und Variablen das Modell enthält und wie diese quantifiziert werden. Daher ist dieser Schritt des Modellbildungsprozesses zeitlich parallel zur Entwurfsphase zu sehen. Es müssen Werte für Modellkonstanten, Anfangswerte oder Zeitreihen für Modellvariable sowie Verteilungstypen und -parameter für stochastische Modellgrößen ermittelt werden.

Die Datenerhebung kann einen beträchtlichen Teil des Aufwandes einer Simulationsstudie ausmachen. Beobachtungsdaten können prinzipiell als unausgewertete Zeitreihen in ein Modell einfließen (etwa zu Validierungszwecken). Häufiger werden die Daten jedoch zu statistischen Kennwerten (insbesondere Verteilungsparametern) aggregiert und in dieser

Form weiterverwendet. Dies hat den Vorteil, dass eine Verallgemeinerung gegenüber den speziellen Beobachtungsdaten erreicht wird.

#### **(4) Modellimplementation**

Das formale konzeptuelle Modell, das in der Entwurfsphase erstellt wurde, muss in ein ablauffähiges Computerprogramm überführt werden. In Abhängigkeit vom verwendeten Modelltyp und der zur Verfügung stehenden Hard- und Software ist die Wahl einer geeigneten Programmiersprache zu treffen. Prinzipiell ist die Verwendung allgemeiner höherer Programmiersprachen möglich.

Simulationssprachen unterstützen und erleichtern die Implementation eines bestimmten Modelltyps durch die Bereitstellung simulationsspezifischer Basisfunktionen wie Zeitführung, Zufallszahlenerzeugung usw., verfügen jedoch meist nicht über die Flexibilität allgemeiner höherer Programmiersprachen. Simulationspakete mit ähnlicher Funktionalität wie Simulationssprachen haben den Vorteil, dass dem Benutzer die volle Flexibilität der Basissprache erhalten bleibt. Andererseits erfordern sie aber umfassendere Programmierkenntnisse. Ergebnis der Modellimplementation ist das Computer-Modell, eine maschinell ausführbare Beschreibung des konzeptuellen Modells.

#### **(5) Modellvalidierung**

Bevor ein Modell für Simulationen eingesetzt wird, die entsprechende Experimente am Realsystem ersetzen sollen, muss seine *Validität* (Gültigkeit) überprüft werden. Die Bewertung des Modells bezüglich seiner Validität (Gültigkeitsnachweis, Modellvalidierung) verläuft parallel zu anderen Phasen des Modellbildungsprozesses.

Für die Modellvalidierung bieten sich die folgenden Stufen an:

- *Validierung des konzeptuellen Modells*

Dieser Schritt bezieht sich auf die Abbildung vom Realsystem auf das konzeptuelle Modell.

- *Modellverifikation*

Die Modellverifikation befasst sich mit der korrekten Abbildung des konzeptuellen Modells auf das Computer - Modell.

- *Operationale Modellvalidierung*

Dies ist die aufwendigste Phase der Validierung. In Simulationen mit dem Computer - Modell wird das dynamische Modellverhalten überprüft.

#### **(6) Simulation**

Mit dem lauffähigen und verifizierten Computer - Modell können nun Simulationen durchgeführt werden. Die Simulationsphase umfasst die Planung und Durchführung von Modellexperimenten. Ein Modellexperiment oder Simulationsexperiment besteht aus einem oder mehreren Simulationsläufen. In jedem Simulationslauf wird das dynamische Modellverhalten unter vorher festgelegten Bedingungen generiert. Dabei werden die Eingabewerte bzw. experimentellen Parameter von Lauf zu Lauf variiert. Die Auswahl dieser speziellen Werte gehört zur Planung eines Experiments. Für eine Untersuchung sind häufig mehrere Experimente mit strukturell unterschiedlichen Modellvarianten notwendig.

### (7) Ergebnisanalyse

Die Simulationsergebnisse geben auch nach einer geeigneten Aufbereitung noch keine direkte Antwort auf die Fragestellung der Modellstudie. Vielmehr ist eine umfassende und sorgfältige Ergebnisanalyse und -bewertung erforderlich, um eine Zielaussage zu gewinnen. Im Rahmen der Ergebnisanalyse werden z. B. die Simulationsdaten aus verschiedenen Läufen verglichen, um die Auswirkungen der Eingabewerte auf das Modellverhalten zu untersuchen. Bei stochastischen Modellen müssen die Wahrscheinlichkeitsverteilungen (bzw. deren Parameter) der Ausgabevariablen mit statistischen Methoden geschätzt werden.

Eine Bewertung der Ergebnisse erfolgt auf der Grundlage der ursprünglichen Fragestellung und Zielsetzung der Simulationsstudie.

### (8) Dokumentation

Parallel zu allen beschriebenen Phasen des Modellbildungsprozesses sollte eine umfassende Dokumentation erstellt werden. Sie hat den Zweck, die Kommunikation zwischen allen am Modellbildungsprozess beteiligten Personen zu unterstützen.

Die Dokumentation bildet auch die Arbeits- und Beurteilungsgrundlage für spätere Benutzer der Modelle. Sie sollte sich dabei keinesfalls nur auf das Computerprogramm, sondern auf die relevanten Ergebnisse aller Phasen der Modellstudie beziehen.

### (9) Einsatz in der Praxis

Beim Einsatz eines Modells in der Praxis ist zu beachten, mit welcher Fragestellung und Zielsetzung das Modell entwickelt wurde. *F. Maryanski* unterscheidet zwei grundlegende Zielrichtungen von Modellstudien: Bei sogenannten *classroom projects* wird die Modellentwicklung (z. B. im Ausbildungs- und Forschungsbereich) betont, wobei eine mehrmalige Anwendung des Modells nicht angestrebt wird. Der Nutzen solcher Projekte besteht im **Erkenntnisgewinn**, der sich als Folge der Modellentwicklung einstellt.

Im Gegensatz dazu steht bei den *practical applications* die Anwendung im Vordergrund.

Das Modell wird als mehrfach verwendbares Werkzeug entwickelt, das in der Praxis als **Entscheidungshilfe** dient.

Die Einführung eines Modells in die Planungspraxis ist an eine Reihe von Voraussetzungen

geknüpft. Neben einer besonders gründlichen Validierung ist auf die *Benutzerorientierung* des Modells Wert zu legen, da sie für die Annahme oder Ablehnung des Modells in der Praxis von großer Bedeutung sein kann.

#### **6.4. Möglichkeiten, Nachteile und Grenzen der Modellbildung und Simulation (Simulationstechnik)**

Die wichtigsten Argumente für die Simulationstechnik und ihre Hauptvorteile können wir mit den folgenden Punkten zusammenfassen:

- Mit Hilfe der Simulation steigen Entscheidungsqualität und Sicherheit,
- Simulation hilft gleichzeitig, wichtige Entscheidungen schneller zu finden,
- Die Aufwendungen für Simulationsstudien sind relativ niedrig (ca. unter 1% der Investitionssumme und unter 10% der Planungskosten),
- Simulation ist ein geeignetes Werkzeug bei der Beurteilung von unterschiedlichen Lösungsvarianten. Ein Experimentator kann mit verschiedenen Faktoren experimentieren,
- Zwang zur Kooperation – ein exaktes Simulationsmodell erfordert tiefe Kenntnisse über das modellierte Problem. Simulation erfordert eine Projektorganisation des Planungsprozesses bei dem das Problem aus mehreren Blickwinkeln betrachtet wird. Damit steigt die Qualität der Lösung,
- Breites Anwendungsgebiet der Simulation – Simulation ist relativ einfach einsetzbar für sehr viele Problemtypen. Gleichzeitig kann man komplexere Systeme in Modelle fassen als dies bei Anwendung analytischer Lösungsverfahren möglich ist,
- Die Simulation ist wesentlich flexibler, als auch universeller einsetzbar als analytische Modelle.

Zu den wichtigsten Nachteilen der Simulationstechnik gehören:

- Große Zeitanprüche für die Modellbildung, Datenerfassung und Vorbereitung,
- Die Zeitanprüche für die Modellbildung kann man reduzieren durch die Auswahl eines geeigneten Detaillierungsgrades und eines geeigneten Simulationswerkzeugs,
- Gegenwärtige Simulationssysteme sind oftmals noch nicht vollständig mit den betrieblichen Informationssystemen integrierbar,
- Es gibt viele „Wegwerfmodelle“. Problemspezifische Modelle werden nur selten bei der Lösung verwandter Probleme angewandt,
- Die Simulation kann nicht eine optimale Lösung gewährleisten. Das Ergebnis hängt relativ stark von der Erfahrung der Benutzer ab,
- Oftmals sehr problematische Verifizierung und Validierung eines Simulationsmodells und schwierige Bestimmung der Vertrauensbereiche der Aussagen aus der Simulation,
- Das Aufstellen und Betreiben von Simulationsmodellen kann hohe Rechenkosten mit sich bringen.

Simulation stößt auf ihre Grenzen vor allem in den folgenden Fällen:

- Bei zu kurzer Projektdauer und bei Zeitdruck,
- Bei sehr großen Systemen,
- Bei unsicheren Eingabedaten.

## 7. FLEXIBLE MONTAGESYSTEME UND AUFBAU VON MONTAGEMASCHINEN

Die gleichzeitige Entwicklung der Informationstechniken, die in der Produktionstechnik ihren Niederschlag in rechnergesteuerten Fertigungsabläufen, Maschinen und Organisationsformen findet, eröffnet die Möglichkeit, die Automatisierung nicht, wie in der Vergangenheit durch eine größere, starre organisierte Arbeitsteilung zu erkaufen, sondern auch komplexere Abläufe flexibel zu automatisieren.

Die Betrachtung eines Produktionsunternehmens ergibt eine Übersicht über den Automatisierungsgrad einzelner Bereiche. Dabei fehlt auf, dass die Automatisierung in der Teilefertigung wesentlich weiter fortgeschritten ist, als in der Montage und auch in der Konstruktion (Abb. 7.1.). Dies wird in [Milberg 2000] mit der Komplexität der Aufgabenstellung erklärt.

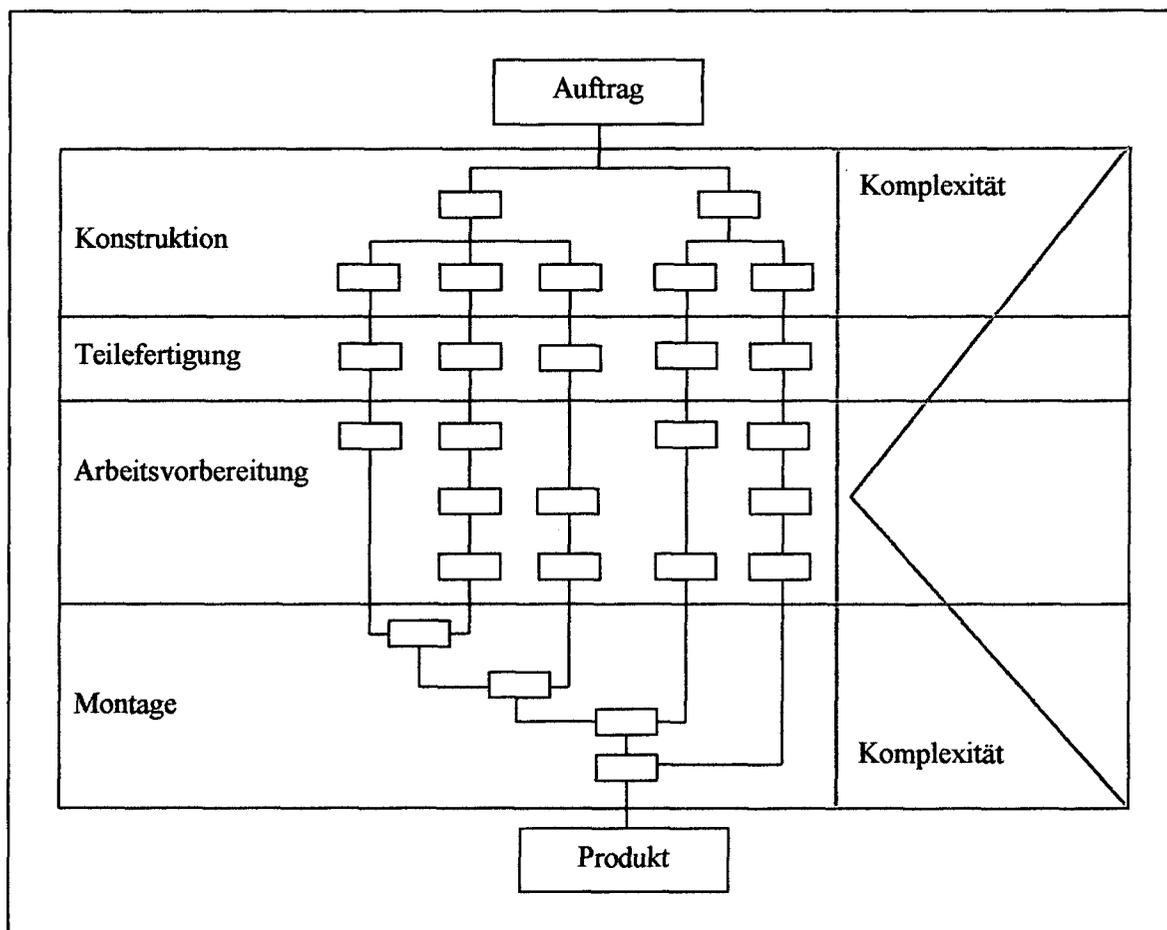


Abb. 7.1. Automatisierungsgrad der einzelnen Bereiche von Produktionsunternehmen [Milberg 2000]

Während in der Teilefertigung im Allgemeinen nur ein Einzelteil und häufig nur ein Formelement von einem Einzelteil an einem Arbeitsplatz bearbeitet werden, hat die Montage dem gegenüber die Aufgabe aus der Summe der unterschiedlichen Einzelteile das komplette Produkt zusammenzusetzen. Dies erfordert die unterschiedliche Handhabungs- und Prüfvorgänge, sowie eine Vielzahl von Fügeprozessen. Dazu kommt die Abhängigkeit

der Montage von der gelieferten Teilqualität und eventuell aufgetretener Terminüberziehungen in den vorgeschalteten Bereichen.

Als letzte Station im Auftragsdurchlauf wird die Montage daher zum Sammelbecken aller technischen und organisatorischen Fehler.

Aus diesen Gründen ist der Anteil an manuellen Tätigkeiten in der Montage, im Gegensatz zu anderen Fertigungsbereichen, überdurchschnittlich hoch und beträgt bei der Montage von Serienproduktionen zwischen 50% und 70% der Produktionskosten.

### 7.1. Montageautomatisierung – optimale Produktionsstandorts

Eine allgemein gültige Aussage zur Frage des optimalen Produktionsstandorts kann nicht gegeben werden, denn in Abhängigkeit von Branchen, Produkten, Fertigungsstrukturen und Märkten finden sich unterschiedliche Ausgangsbedingungen.

Während jedoch lange Zeit einheimische Produktionsstätten in Niedriglohnländer verlagert wurden, ist in jüngster Zeit wieder die Rückkehr von Produktionsstätten zu beobachten.

„Eine wichtige Rolle spielt dabei, dass durch die Verlagerung der Produktion das Produktions-Know-how verloren geht und die Entwicklung neuer Produkte gefährdet ist. Zudem ist durch die logistischen Umstände auswärtiger Produktion häufig nicht die notwendige Marktflexibilität möglich“ [Dinger 1999].

In [Lotter 1998] ist für ein nach montagetechnischen Gesichtspunkten gestaltetes Produkt ein Kostenvergleich zwischen manueller und automatisierter Montage in Deutschland und manueller Montage in einem Niedriglohnland durchgeführt.

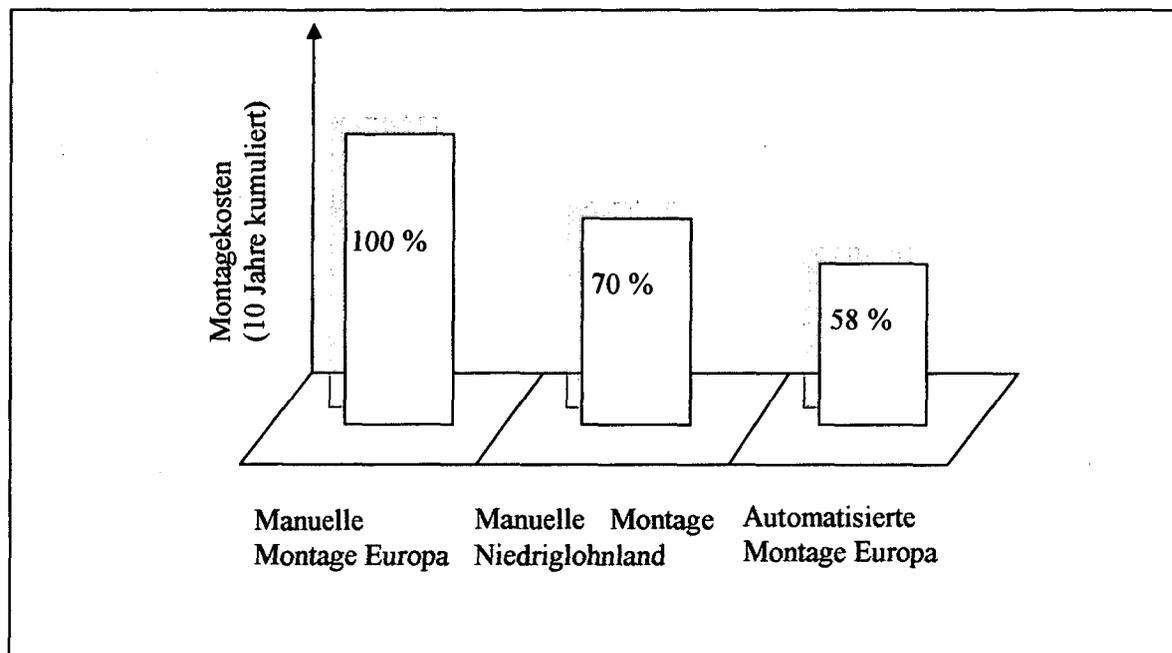


Abb. 7.2. Vergleich von Montagekosten

Bei einer Nutzungszeit von sechs Jahren, einer für Europa mit 4% und für das Niedriglohnland aufgrund der hohen Inflationsrate mit 8% angesetzten jährlichen

Personalkostenverteuerung ergeben sich die in Abb. 7.2. relativ angegebenen kumulierten Montagekosten.

Aus einer Vielzahl von Projektuntersuchungen ergibt sich danach, in Abhängigkeit von den Produkten und Produktionsstrukturen, dass bei einem Automatisierungsgrad (Anteil der automatischen Vorgänge an der Gesamtvorgangszahl) von ca. 50% eine Produktivität erreicht werden kann, die der Konkurrenz von Niedriglohnländern standhält.

Die Verlagerung automatisierter Montagesysteme in Niedriglohnländer ist wegen der Nichtverfügbarkeit hochqualifizierter Arbeitskräfte zur Bedienung und Instandhaltung der komplexen Anlagen und der eventuell gegebenen politischen und währungspolitischen Risiken derzeit keine diskutierte Alternative.

## 7.2. Allgemeine Montage

Industriell hergestellte Produkte bestehen in der Regel aus einer Vielzahl von Einzelteilen, hergestellt zu unterschiedliche Zeiten mit unterschiedlichen Fertigungsverfahren. Es ist Aufgabe der Montage, aus den Teilen ein Produkt höherer Komplexität mit vorgegebenen Funktionen, in einer bestimmten Zeit zusammenzubauen“ [Warnecke 1997]

*„Montage sind Vorgänge des Fügen [DIN 3593] und Funktionen der Werkstückhandhabung“ [VDI – Richtlinien 3239, 3240 und 3244]. Die Montage beinhaltet auch Tätigkeiten des Justieren und Kontrollieren, sowie die Durchführung von Hilfsfunktionen, wie Reinigen, Entgräten usw. (Abb. 7.3)*

**Fügen** ist das Zusammenbringen von zwei oder mehr Werkstücken geometrisch bestimmter, fester Form oder von ebensolchen Werkstücken mit formlosem Stoff. Dabei wird jeweils der Zusammenhalt örtlich geschaffen und im Ganzen vermehrt. (Abb. 7.4).

**Handarbeiten** ist das Schaffen, definierte Verändern oder vorübergehende Aufrechterhalten einer vorgegebenen räumlichen Anordnung von geometrisch bestimmten Körpern in einem Bezugskordinatensystem. Oder anders formuliert, wird der Begriff Handhaben als die Summe aus Zuführen, Orientieren, Positionieren und Fügen verstanden.

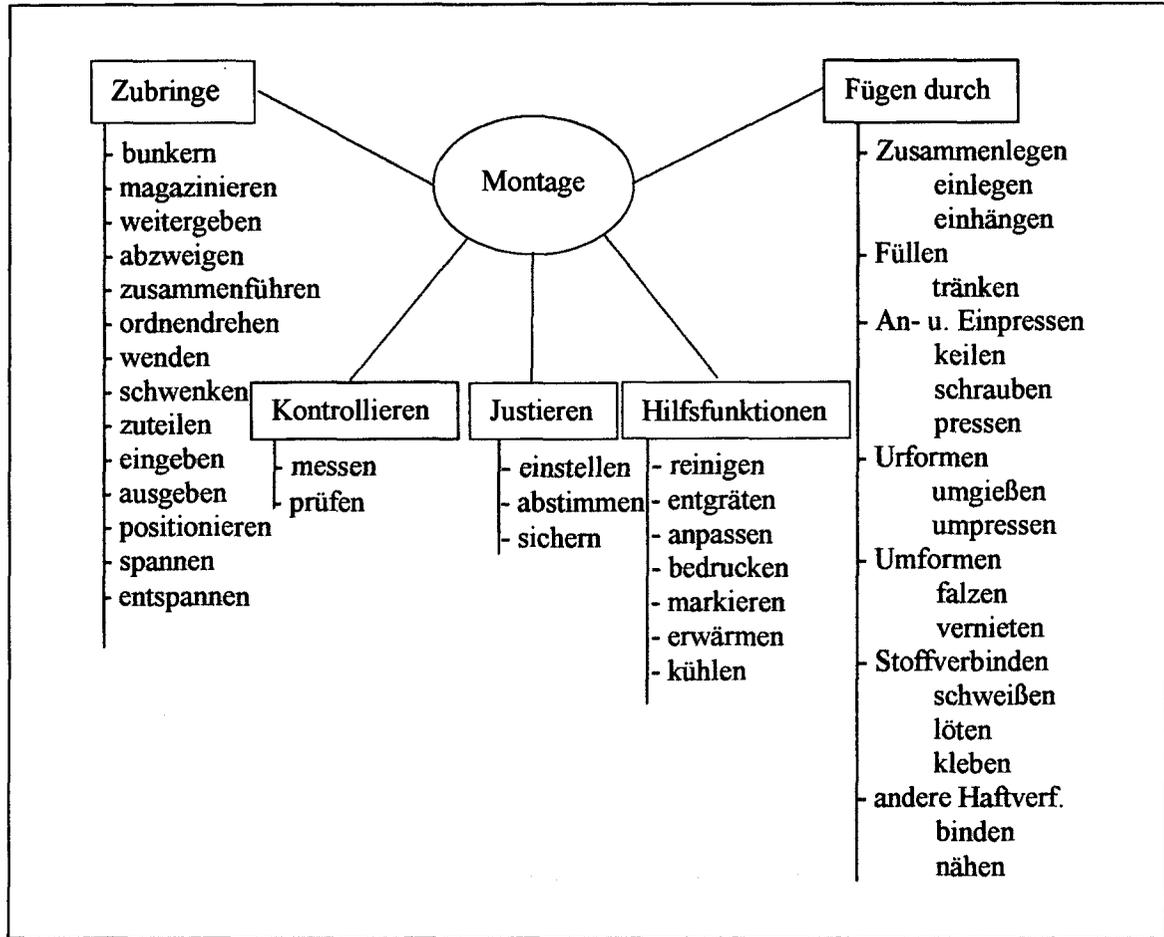


Abb. 7.3. Tätigkeitsgruppe beim Montieren [DIN 8593 – IPA Stuttgart]

In der industriellen Fertigung haben klassische Fertigungstechnologien, wie Zerspanen, Umformen usw., einen hohen Stand der Automatisierung erreicht. Einzelteile können kostengünstig hergestellt werden. Die Montage dagegen wird aufgrund des Zusammenwirkens vieler unterschiedlicher Aufgaben weitgehend manuell durchgeführt.

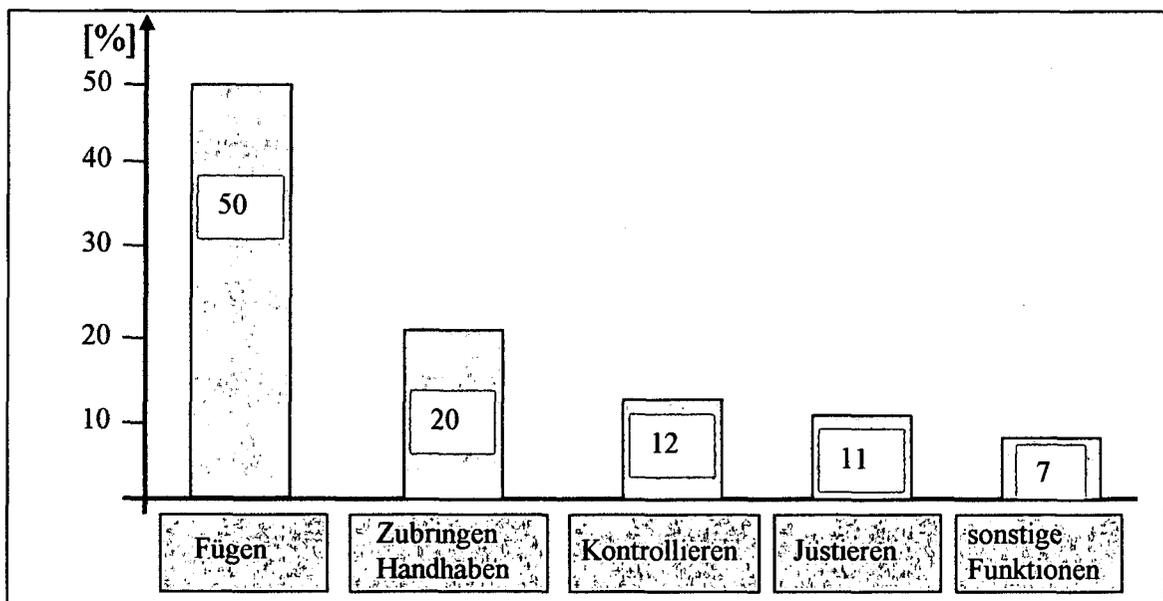


Abb. 7.4. Zeitliche Anteile der Montagevorgänge [Humanisierung des Arbeitslebens]

Die in den Herstellkosten eines Produktes enthaltenen Lohnkosten gliedert man nach folgenden Bestandteilen auf:

- Spanabhebende Fertigung,
- Spanlose Fertigung,
- Formateil Herstellung,
- Montage,
- Prüfen.

Es zeigt sich, dass die Montagearbeiten den teuersten Produktionsschritt darstellen.

Auch für die Planung von Rationalisierungsvorhaben in der Montage gilt:

Höhere Automatisierung und erweiterte Flexibilität steigern die Investitionskosten. Durch neue, rechnergestützte Planungsmethoden lassen sich Risiko und auch Umfang der Investitionen vermindern. Außerdem kann die Realisierungsphase von Rationalisierungsprojekten erheblich verkürzt werden. Dies kann durch Aufbau der Montagesysteme aus weitgehend standardisierten Komponenten (modulare Komponenten) und angepassten Automatisierungsgraden unterstützt werden.

### 7.3. Produktgestaltung in der Montagetechnik

Die Entwicklung eines Produktes wird durch die geforderte Produktionsfunktion geprägt. Mit der Konstruktion der Einzelteile und der Festlegung des Produktaufbaues sind die Fertigungsverfahren weitergehend vorbestimmt.

Im Abb. 7.5. ist ersichtlich, dass die Zuordnung von Kostenverantwortung und Kostenverursachung der wesentlichen Unternehmensbereiche von Konstruktion, Teilefertigung und Montage. Es wird deutlich, dass die Konstruktionsabteilung zwar nur einen Kostenanteil von 12% an den Herstellkosten verursacht, jedoch durch die Wahl von Werkstoff, Toleranzen, Abmessungen usw. weitgehend die Produktionsverfahren bestimmt und damit 75% der Herstellkosten verantwortet.

Kostenverursachung			
12 %	70 %	15 %	3 %
Konstruktion	Montage	Teilefertigung	Sonstiges
75 %		13 %	6 %
Kostenverantwortung			

Abb. 7.5. Kostenverantwortung – Kostenverursachung

Da die Montage der personalintensivste Abschnitt ist, kommt der montagegerechten Produktgestaltung eine besondere Bedeutung zu. Eine montagegerechte Produktgestaltung ist aber nicht nur die Voraussetzung für eine automatische Montage, sie ist die Basis einer wirtschaftlichen manuellen Montage. Ihre wichtigsten Ziele zeigen sich in der nächsten Abb. 7.6. Neben der Vereinfachungen und der damit verbundenen leichteren Beherrschung von Montagevorgängen, wird mit der montagegerechten Produktgestaltung auch eine größere Wiederholhäufigkeit von Montageprozessen trotz kleiner Losgrößen und einer Vielzahl von Produktvarianten erzielt.

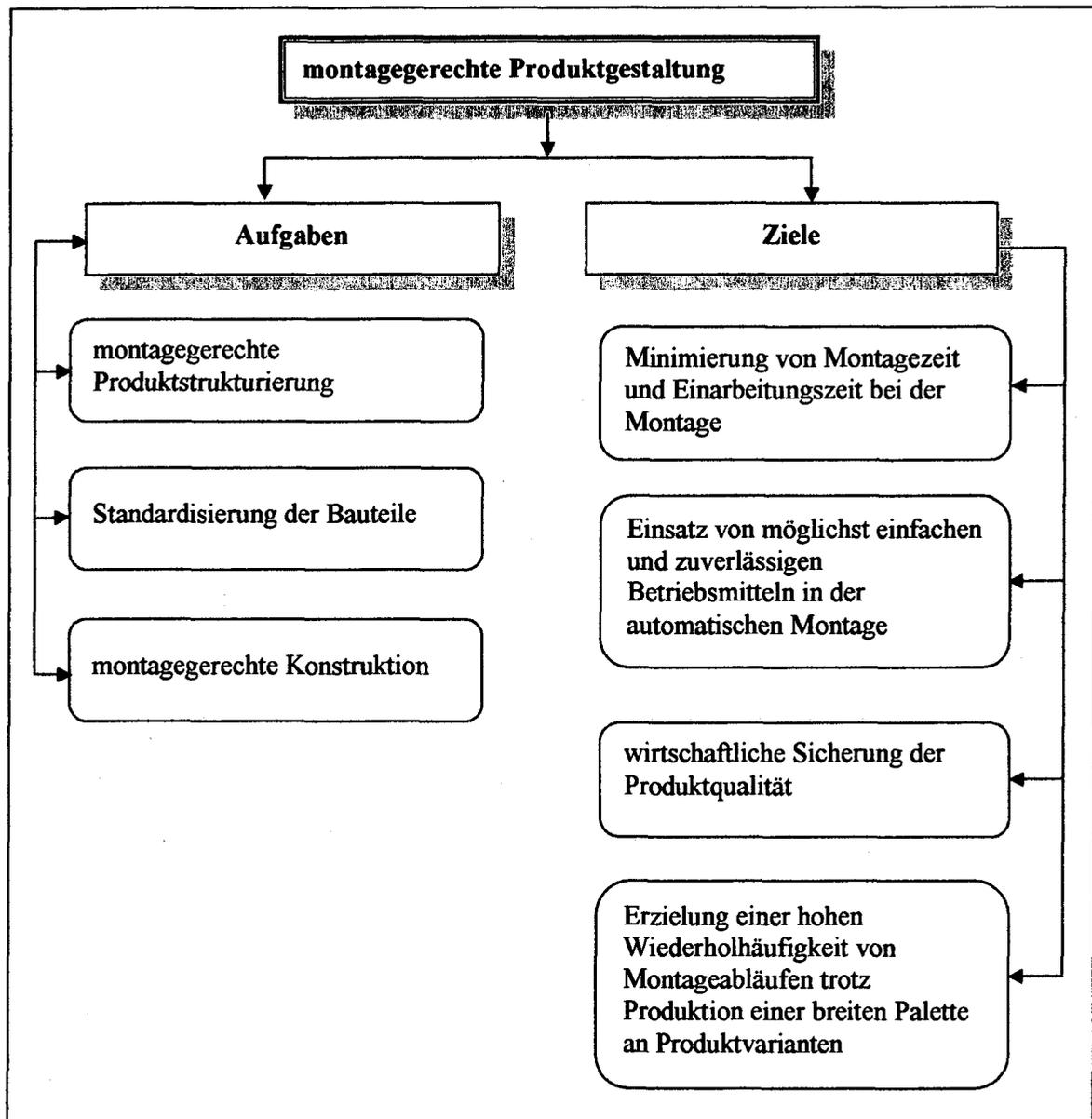


Abb.7.6. Ziele montagegerechte Produktgestaltung

### 7.3.1. Produktaufbau

Der Schwierigkeitsgrad einer Montage nimmt mit der Komplexität eines Produktes zu. Produkte mit geringer Anzahl von Teilen oder Montagevorgängen werden in der Regel an einem Montagearbeitsplatz fertig montiert.

Bei Produkten mit höherer Teilzahl müssen die Montagevorgänge dagegen untergliedert werden. Voraussetzung hierfür ist, dass ein Produkt so aufgebaut ist, dass Baugruppen vormontiert werden können. Die unten dargestellte Abb. 7.7. zeigt schematisch die dem Fortschritt der Montage entsprechende Untergliederung in Baugruppen von der Vormontage bis zur Endmontage.

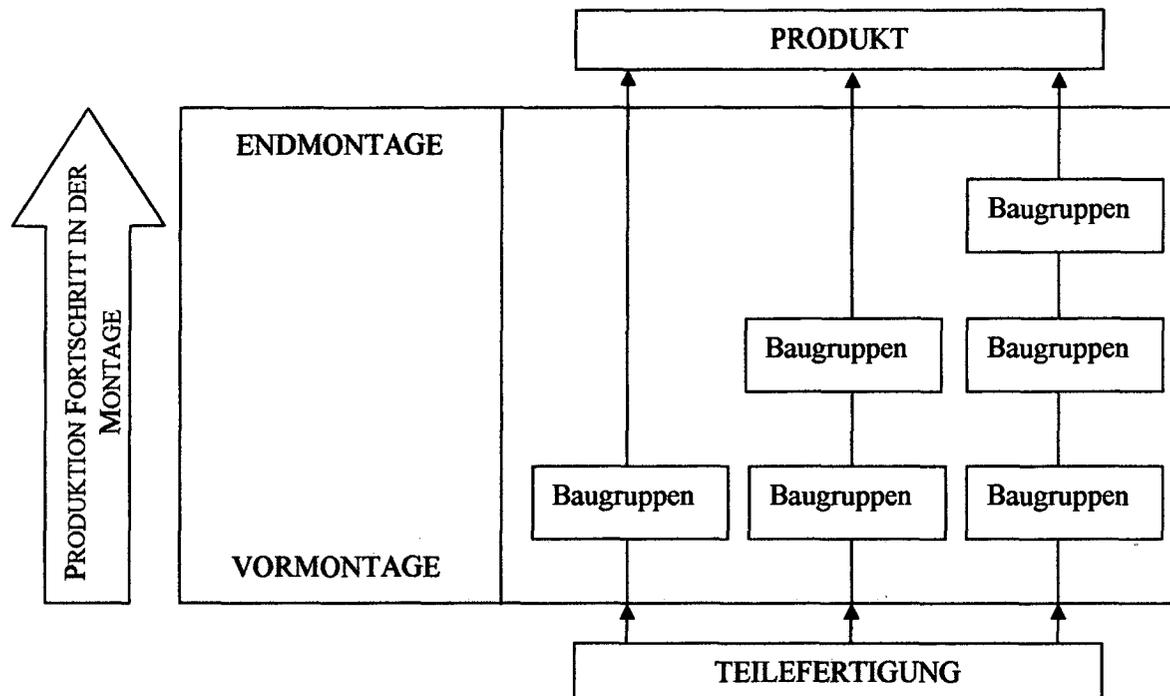


Abb. 7.7. Montageorientierte Produktgliederung in Baugruppen

Für die montagegerechte Gestaltung von Baugruppen und Endprodukten sind folgende Regeln zu beachten:

- Der gesamte Montageumfang muss durch entsprechende Baugruppenbildung in überschaubare Abschnitte untergliedert werden,
- Eine Baugruppe soll in sich so abgeschlossen sein, sodass die weitere Handhabung der Baugruppen wie ein Einzelteil erfolgen kann,
- Eine Baugruppe sollte möglichst wenige Verbindungen mit anderen Baugruppen aufweisen,
- Variantenabhängige Baugruppen sollten nicht mit variantenneutralen Baugruppen zusammengefasst werden. Variantenbaugruppen sollen möglichst gleiche Einbaubedingungen aufweisen.

### 7.3.2. Montageerweiterte ABC – Analyse

Jedes Produkt hat aufgrund seiner spezifischen Anforderungen seine eigene Gesetzmäßigkeit in der Produktgestaltung und daraus resultierende Fertigungsmethoden. Die größte Wirkung entfaltet die montagegerechte Gestaltung in der Entwurfsphase des Produktes. Ein fertig entwickeltes Produkt ist während seines Produktionszeitraumes nur noch mit großen Kosten änderungsfähig. Die montagegerechte Produktgestaltung ist aber nicht nur ein technisches, sondern auch ein organisatorisches und somit auch ein

Personalproblem. Es müssen daher einfache und einleuchtende Vorgehensweisen zur Verfügung stehen, und die im Stückkostendenken erzeugten Konstrukteure bei der montagegerechten Produktgestaltung zu unterstützen.

Eines dieser Hilfsmittel zur montagegerechten Gestaltung eines Produktes ist die montageerweiterten ABC – Analyse. Diese leitet sich von der in der Betriebswirtschaft und Wertanalyse allgemein bekannten ABC – Analyse ab. Der Grundgedanke lässt sich in der folgenden Frage ausdrückt:

Wie viel kostet ein Teil bzw. eine Baugruppe, bis die geforderte Funktion nach erfolgter Montage erreicht ist?

In der nächsten Abbildung (Abb. 7.8.) sind die sieben Grundsatzfragen – Basis der montageerweiterten ABC – Analyse aufgezeigt. Diese Grundsatzfragen erzwingen zur Beantwortung detaillierte Konzepte, die im Dialog zwischen Produktentwicklung und Fertigungsplanung zu erarbeiten sind. Keine der sieben Grundsatzfragen kann isoliert bearbeitet werden.

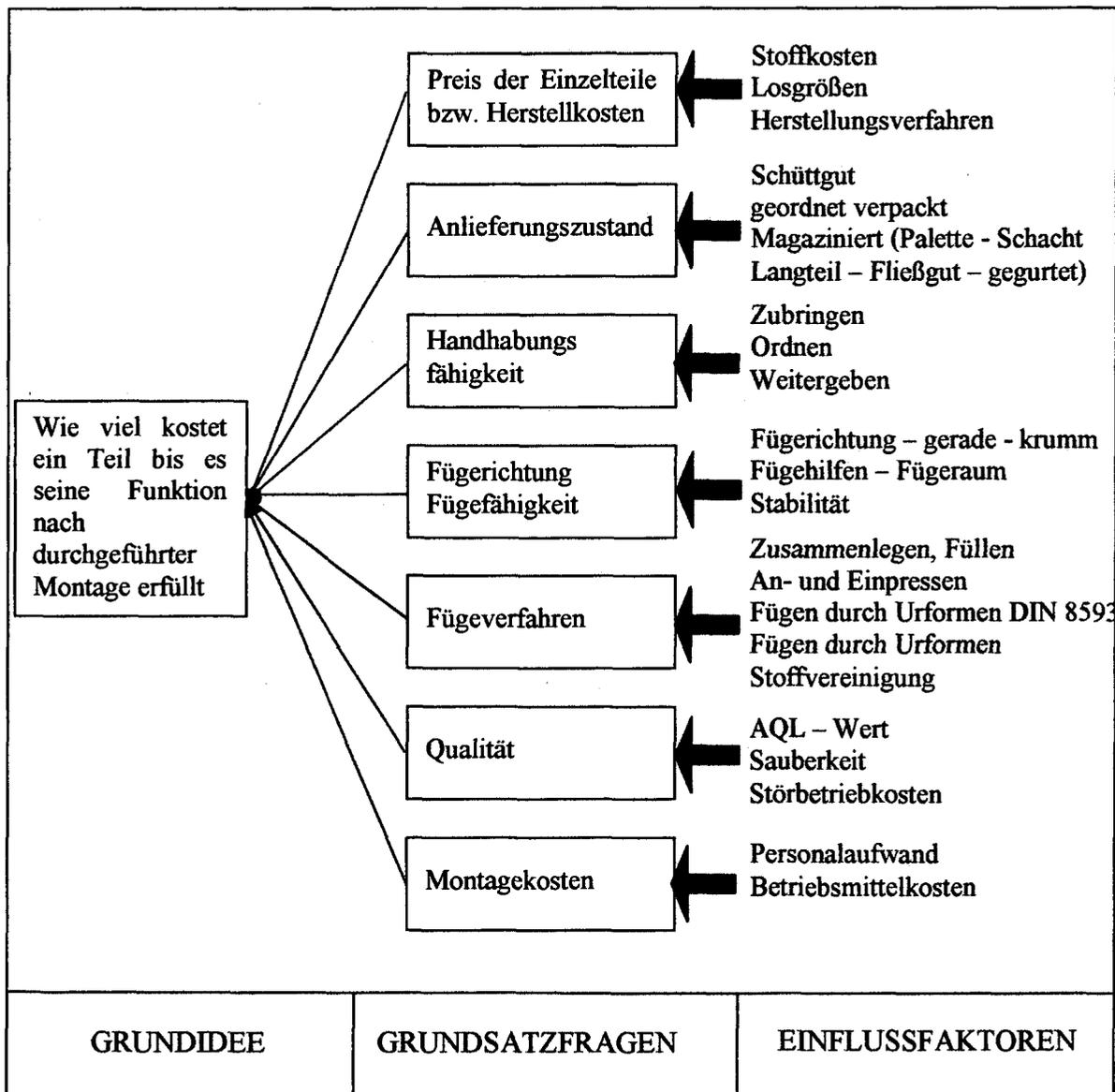


Abb. 7.8. Montageerweiterte ABC – Analyse

### 7.3.3. Analyse typischer Montageprozesse

*„Die methodische Erfassung von Montageprozessen, analog zu den in der Fertigungstechnik gebräuchlichen Methoden der Modellbildung ist aufgrund der Varianz der einzelnen Montageprozesse und der Vielzahl von Prozesskenngrößen bisher nicht durchgeführt worden“ [Enderle 1999].*

In [Milberg 2000] werden Ansätze vorgestellt, durch die Aufteilung des Gesamtmontageprozesses in lösbare Teilprobleme und die rechnergestützte Simulation der Einzelprozesse die Abläufe in der Planungsphase zu untersuchen und verschiedene Einflussparameter zu optimieren.

Die einzelnen Montagephasen hierbei sind (Abb. 7.9.):

- Zuführung: Die Zuführung umfasst das Einbringen von Füge und Fügehilfsteilen in den Arbeitsraum des Montagegeräts.
- Prüfphase: Das Prüfen umfasst die Kontrolle der Fügepartner und Fügehilfsteile auf Vorhandenes ein und auf Einhaltung charakteristischer, meist geometrischer Größen. Die Prüfung kann in die Zuführung integriert sein, d. h. die Prozesse finden parallel statt oder werden in einer separaten Vorrichtung durchgeführt.
- Positionierphase: Die Positionierung wird zunächst mit der Positioniergenauigkeit des Montagegeräts durchgeführt, wird eine genauere Position verlangt, so erfordert dies den Einsatz aktiver Fügehilfsmittel (Sensoren).
- Ansetzphase: Die Ansetzphase beginnt mit dem Einsetzen der Fügebewegung auftretenden ersten mechanischen Kontakt zwischen den Fügepartnern und ist beendet, sobald eine sichere Führung des bewegten Fügepartners gewährleistet ist. Unterstützt wird das Ansetzen häufig durch den Einsatz passiver Fügehilfsmittel konstruktiver Art, wobei die nötigen Kräfte zur Positionskorrektur durch geschickte Umlenkung dem Montageprozess selbst entnommen werden.
- Fügephase: Nach Abschluss der Ansetzphase umfasst die Fügephase die Durchführung aller weiteren Fügebewegungen bis zum Erreichen der endgültigen Relativlage der Fügepartner zueinander. Dabei sind einstufige, einachsige Bewegungen (z. B. Einlegen, Einpressen), und mehrstufige mehrachsige Vorgänge (z. B. Schrauben) möglich.
- Abschlussphase: Nach Beendigung des eigentlichen Fügevorgangs muss das Montagegerät einen „Rückhub“ ausführen und der montierte Bauteil aus dem Arbeitsbereich der Montagevorrichtung transportiert werden.

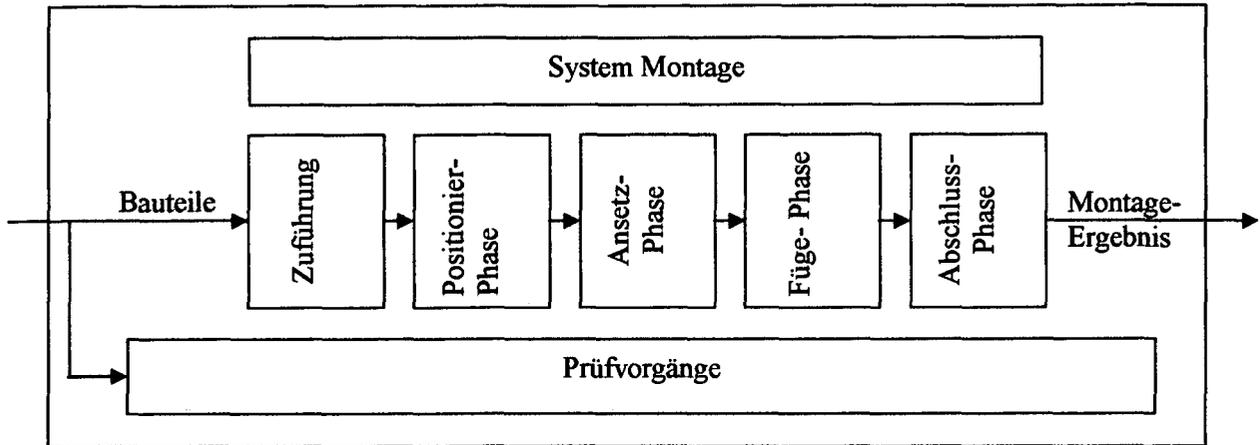


Abb. 7.9. Wirkungsplan des Montageprozesses [Enderle 1999]

### 7.3.4. Aufbaustrukturen flexibel automatisierter Montagesysteme

Aus der Analyse der erwarteten Kundenforderungen und des internationalen Wettbewerbs lassen sich die Anforderungen an die Montagesysteme ableiten. Abb. 7.10. zeigt eine allgemeine Zusammenstellung der wichtigsten Kriterien, die allerdings für jedes Unternehmen spezifiziert und quantifiziert werden müssen.

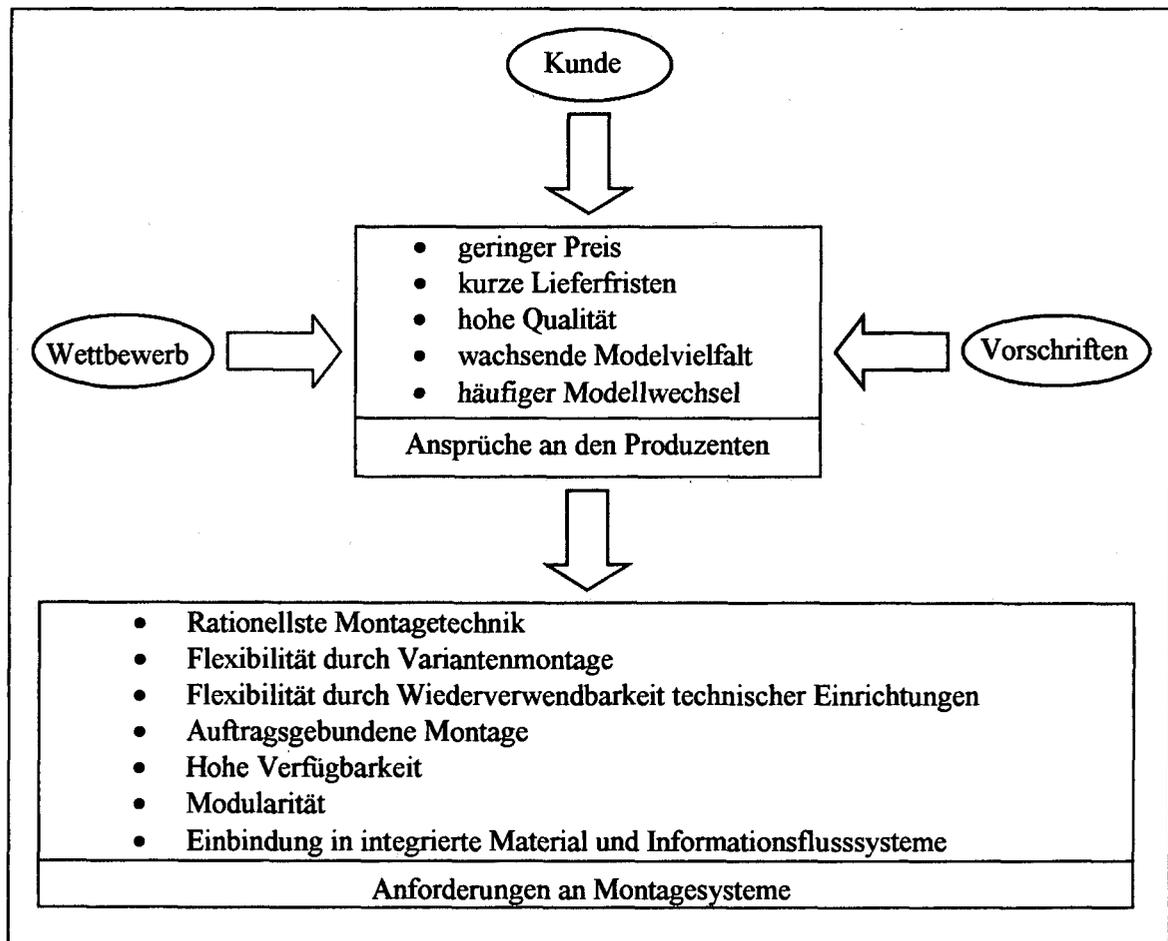


Abb. 7.10. Anforderung an Montagesysteme

Die Charakteristik der verschiedensten automatisierten Montagesysteme wird im Wesentlichen geprägt von der Ausführung der Montagestationen und der Ausführung der Verkettungsmittel.

Anhand dieser Einteilung werden im Folgenden die Aufbaustrukturen flexibel automatisierter Montagesysteme erläutert

#### 7.4. Automatische Montagestationen

Die Auseinandersetzung mit den Montageaufgaben und den Eigenschaften der zu montierenden Bauteile führt zur Gestaltung von Montagestationen, die sich prinzipiell aus einer Werkstückeingabe, den Bearbeitungseinheiten und einer Werkstückausgabe zusammensetzen. Die wichtigsten Komponenten einer automatischen Montagestationen sind:

- Fügeinrichtungen,
- Bewegungseinrichtungen,
- Zuführeinrichtungen,
- Speicher für Bauteile und Verbindungselemente,
- Sensoren,
- Transporteinrichtungen einschließlich Paletten,
- Steuersysteme.

Diese Komponenten werden benötigt, um Einzelteile oder Baugruppen in einer definierten Lage zum richtigen Zeitpunkt so bereitzuhalten, dass der Montagevorgang mittels der Fügeinrichtungen durchgeführt werden kann. Dabei können die meisten der in beschriebene Fügevorgänge zur Anwendung kommen. Bezeichnend dabei ist, dass Werkstücke und/oder Zusatzstoffe bewegt werden.

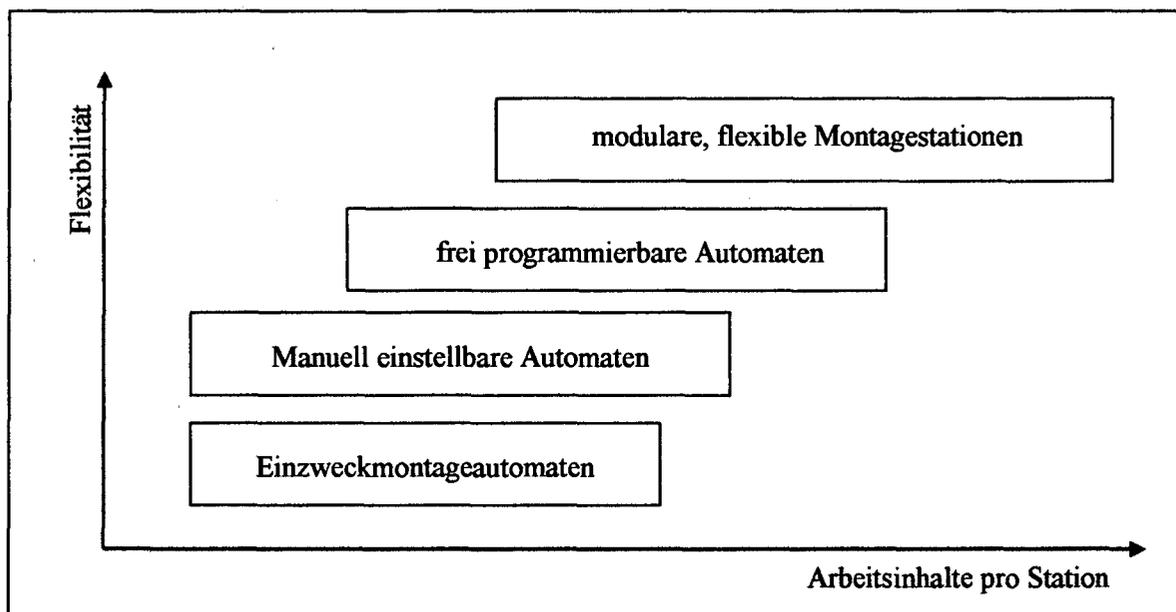


Abb. 7.11. Einteilung von Montagestationen

Mit den dafür erforderlichen Bewegungseinrichtungen, bei Ausrüstung mit Greifern oder Werkzeugen häufig Handhabungseinrichtungen genannt, lässt sich eine Einleitung von Montagestationen durchführen (Abb. 7.11.).

Einzweckmontageautomaten, bei denen die Bewegungen hinsichtlich Wegen und Winkeln mit kurvengetriebenen Bewegungseinrichtungen realisiert werden, weisen eine sehr geringe Flexibilität hinsichtlich einer Montage von Varianten oder einer Wiederverwendbarkeit von Betriebsmitteln für andere Aufgaben auf. Ihr Einsatz erstreckt sich auf die Montage von Produkten mit hohen Stückzahlen, geringen Montageumfängen, kleinen bis mittleren Abmessungen und Gewichten und sehr kurzen Taktzeiten.

Die mit solchen Automaten möglichen Rationalisierungsmassnahmen sind heute weitgehend durchgeführt und hier nicht weiter Gegenstand der Betrachtung.

Montagestationen, deren Handhabungseinrichtungen sich mittels manuell verstellbaren Anschlängen verändern lassen, bestehen meist aus pneumatischen, in seltenen Fällen auch aus hydraulischen Achsen. Die Wiederverwendbarkeit einzelner Einrichtungen und damit der Aspekt der hier untersuchten Flexibilitätsanforderungen ist bei diesen Montagestationen in einem gewissen Rahmen gegeben, jedoch ist die Möglichkeit der Variantenfertigung in kleinen Losen nur durch zeitaufwendiges manuelles Umrüsten in geringem Umfang möglich.

Die angestrebte Flexibilität, d. h. das umrüstfreie Montieren verschiedener Varianten (Variantenflexibilität) und die Wiederverwendung von Bauelementen zur Montage anderer Produkte (Nachfolgeflexibilität), ist bei der nächsten Klasse von Montageautomaten, die frei programmierbare Achsen aufweisen, sodass sich die Bewegung hinsichtlich Wegen und Winkeln oder mechanischem Eingriff frei programmieren und verändern lassen.

Die derzeit höchste Stufe der Flexibilität wird mit modularen, flexiblen Arbeitsstationen erreicht, bei denen elektrische, pneumatische und/oder mechanische Systeme zur Bewegungserzeugung eingesetzt werden. Der Entwurf dieser Systeme geht von dem Ansatz aus, dass während der Planung, der Inbetriebnahme und des Betriebs von Montageanlagen Änderungen am Produkt aufgrund zunehmender Funktionsumfänge, konstruktiver Verbesserungen und ständiger Kostenreduzierungsmaßnahmen die Regel sind und die Montagesysteme darauf schnell und unproblematisch reagieren müssen.

## **7.5. Einstationen – Montagemaschinen**

Unter Einstationen – Montagemaschinen sind Betriebsmittel zu verstehen, auf denen in einer Position alle notwendigen Montageoperationen durchgeführt werden. Diese sind geeignet zum Fügen von zwei bis maximal drei Teilen und in ihrer Leistung dadurch beschränkt, dass die einzelnen Vorgänge des Arbeitsablaufes weitgehend hintereinander durchgeführt werden müssen. Die montierte Baugruppe wird dabei nur ausgestoßen und nicht definiert abgelegt. Typische Einmaschinen – Montagemaschinen sind Beschraubungsautomaten der elektronischen Industrie.

## **7.6. Mehrstationen – Montagemaschinen**

Unter Mehrstationen – Montagemaschinen sind Betriebsmittel zu verstehen, auf denen eine Vielzahl von Operationen über eine Anzahl notwendiger Einzelstationen verteilt durchgeführt werden müssen. Solche Maschinen benötigen als Grundaufbau zur

Verkettung der einzelnen Stationen ein Transfersystem für die Werkstückträger. Abhängig von der Auswahl des Transfersystems entstehen Rundtakt – und Längstaktordnungen. Die Anzahl der Stationen ist abhängig von der Anzahl der durchgeführten Einzelarbeitsgänge, wie z. B. zuführen, fügen, bearbeiten, prüfen, justieren, ablegen usw. Die räumliche Anordnungsmöglichkeit der Einzelstationen bestimmt zusätzlich die Größenordnung des auszuwählenden Transfermittels. Es ist Vorsorge zu treffen, dass genügend Freiräume zwischen den einzelnen Stationen vorhanden sind, um bei Störungen einen leichten Zugang zum Störort zu haben und damit die Störursachenbeseitigung zu erleichtern. Die Stationszahl einer Montagemaschine bestimmt wesentlich die Verfügbarkeit und somit die Wirtschaftlichkeit, der konstruktive Aufbau der Werkstückträger legt oft schon die Ausführung von Montagemaschinen fest. Diese beiden Kriterien sind ein wesentlicher Bestandteil der Planung von automatisierten Montageeinrichtungen.

Die Gesamtverfügbarkeit eines Montageautomaten wird von den Einzelverfügbarkeiten der Teilzuführungsstationen wesentlich beeinflusst. Deshalb kommt ihrem konstruktiven Aufbau besondere Bedeutung zu.

Um Fehlmontage bei automatisierten Montagevorgängen zu vermeiden, ist die Integration von Prüfstationen üblich, die den Arbeitsstationen zur sofortigen Überprüfung des vorher durchgeführten Vorganges nachgeschaltet werden. Positive Ergebnisse bewirken dann die Freigabe. Negative Ergebnisse lassen sich wie folgt unterschiedlich verwerten:

- Sofort Abschaltprinzip

Eine Prüfstation, die nach dem Sofort – Abschaltprinzip arbeitet, setzt eine Montagemaschine unmittelbar nach dem Feststellen eines Fehlers still. Ort und Art des Fehlers können dann signalisiert werden. Von der Überwachungsperson ist die Ursache zu beseitigen und das Gerät neu einzuschalten. Dieses Verfahren hat den Nachteil, dass es zu häufigen Stillständen des Betriebsmittels kommt.

- Abschaltung der Maschine nach vorbestimmter Fehlerzahl in Reihe

Stellt die Prüfstation einen Fehler fest, wird das Betriebsmittel erst nach einer vorbestimmten Anzahl unmittelbar hintereinander auftretender Fehler „in Reihe“ erfolgen, ohne dass die Maschine stillgesetzt wird. Das heißt wenn z. B. die Zahl 3 festgelegt ist, können drei Fehler „in Reihe“ erfolgen, ohne dass die Maschine stillgesetzt wird. Dies hat zur Folge, dass die Stillstandszeiten vermindert werden, da sich in vielen Fällen, insbesondere in der Zuführtechnik, derartige Fehler nach ein oder zwei Takten selbst beheben. Voraussetzung hierzu ist die Fehlerspeicherung und ihre Zuordnung zu den betreffenden Werkstückträger bzw. Werkstücken.

- Fehlerspeicherung

In diesem Fall wird die Montagestation bei Erkennen eines Fehlers nicht stillgesetzt. Mit einer Fehlerspeicherung wird jedoch sichergestellt, dass Folgeoperationen nach dem Erkennen eines Fehlers nicht mehr durchgeführt werden und die schlecht oder vollkommen montierten Baugruppen beim Ausladen aus dem Betriebsmittel nach „gut“ und „schlecht“ unterschieden werden.

## 7.7. Montagemaschinensysteme

Das Baukastenprinzip ist ein Konstruktionsprinzip, das den Aufbau einer begrenzten oder unbegrenzten Zahl verschiedener Systeme aus einer Sammlung genormter Bausteine aufgrund eines Programms oder Baumusterplanes in einem bestimmten

Anwendungsbereich dargestellt. Eine Baueinheit ist eine in ihren Anschlussmassen, Baumerkmale und Kennwerten typisierte Baugruppe, die mit anderen Baueinheiten verschiedenartig kombiniert werden kann. Dieser Definition wurde lange Zeit nur die pneumatisch betriebene Baueinheit gerecht. Die einschlägige Industrie hat in den letzten Jahren auch für elektromotorisch betriebene Hochleistungsmontageeinrichtungen derartige Baukastenprinziplösungen erstellt, was zu einer erheblichen Verminderung des Planungs- und Konstruktionsaufwandes automatisierter Montagesysteme geführt hat.

Die Abb. 7.12. zeigt einen Teil der Grundbausteine von elektromotorisch – mechanisch betriebenen Montageautomaten. Die Basiselemente zum Aufbau solcher Rundtaktmaschinen sind die Rundtakteinheiten, die in unterschiedlichen Größen für 8, 12, 16 Stationen standardisiert sind. An die Grundeinheiten direkt angeflanscht sind die notwendigen Baueinheiten, wie Handarbeitsgeräte, Schraubenautomaten, Preiseinheiten, Prüfeinheiten, Dosieranlagen für Klebstoffe oder Schmiermittel usw..

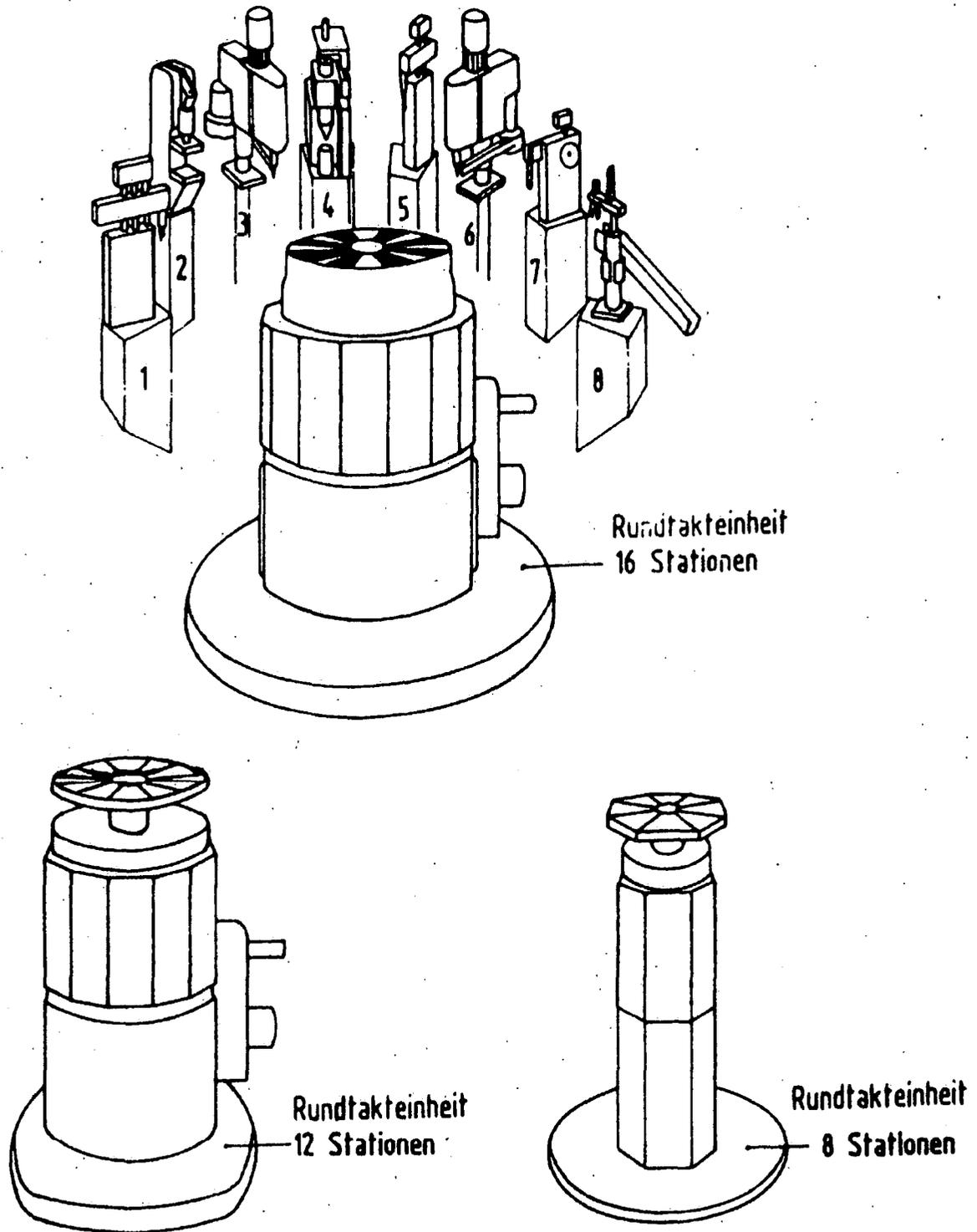


Abb. 7.12. Grundbausteine von Rundtaktmaschinen [Kief 1998]

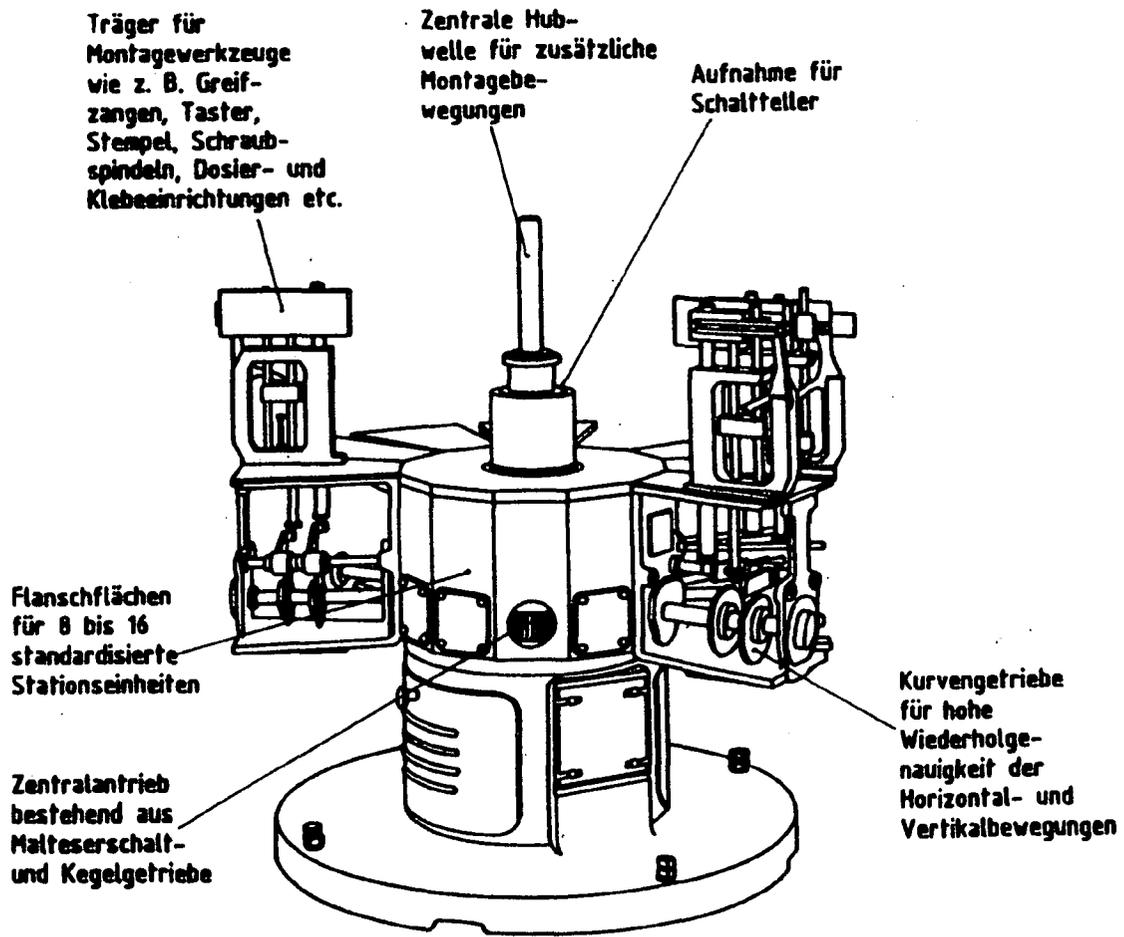


Abb. 7.13. Aufbau von Rundtaktmaschinen [Kief 1998]

## 7.8. Verkettung von Montagemaschinen zu Montagelinien

Das Verketteten von Montagemaschinen wird notwendig:

- wenn die Komplexität eines Produktes oder einer Baugruppe so groß ist, das die Aufgabe nicht mehr mit einer Einheit durchgeführt werden kann,
- wenn fertigungstechnische Bedingungen eine Aufteilung auf mehrere Maschine erfordern.

Die Komplexität der Montageaufgabe, die geforderte Leistung einer Montagelinie und technologische Randbedingungen bestimmen die notwendige Anzahl von Arbeitsstationen zur Erfüllung der Aufgabenstellung. Diese einzelnen Arbeitsstationen müssen zur Aufrechterhaltung des einmal erreichten, geordneten Zustandes der gefügten Teile miteinander verkettet werden. Die Verfügbarkeit sinkt mit steigender Arbeitsstationszahl und kürzeren Taktzeiten, was ein weiterer Grund zur Aufteilung der Arbeitsvorgänge auf mehrere Maschinen sein kann.

Die Verkettungssysteme unterscheiden sich in:

- Systeme mit Zeitzwang (starre Verkettung),
- Systeme ohne Zeitzwang (lose Verkettung)

In den letzten Jahren wurden für flexible Möglichkeiten verstärkt Verkettungssysteme aus modularen Baueinheiten aufgebaut. Dabei werden auf vorgegebenen, umlaufenden Grundpaletten, die für die Montageaufgaben erforderlichen Vorrichtungen, sowie eventuell notwendige Codiersysteme angebracht. Diese Werkstückträger dienen dann zur Aufnahme der Fügeteile und der Fügeteile als Montageplattform in den Stationen.

Eine starre Verkettung wird erreicht, wenn die Werkstücke oder Werkstückträger von einer zur anderen Maschine über ein Handhabungsgerät direkt übergeben werden. Eine starre Verkettung ist möglichst zu vermeiden.

Bei der losen Verkettung wird das Zwischenschalten von Transportsystemen notwendig. Das Transportsystem bewirkt eine Entkopplung der Maschinen untereinander und bei entsprechender Dimensionierung eine Pufferbildung. Entkopplung und Pufferbildung haben den wesentlichen Vorteil, dass Kurzstörungen an einzelnen Maschinen, abhängig von der Größe der Pufferbildung, nicht sofort zum Stillstand der gesamten Linie führen.

Störungen bei Montagemaschinen lassen sich in Kurzzeit und Langzeitstörungen untergliedern. Kurzzeitstörungen werden z. B. durch deformierte Teile in den Zuführgeräten ausgelöst. Ihre Dauer liegt in der Größenordnung von mehreren Sekunden bis zu einer Minute.

Langzeitstörungen sind in der Regel anlagenseitig bedingte Störungen im mechanischen oder steuerungstechnischen Aufbau einer Montagemaschine und können bis zu mehreren Stunden dauern. Abhängig von der Störortsignalisierung und dem Einsatz von geschultem Betreuungspersonal können Langzeitstörungen meistens innerhalb einer Minute behoben werden, woraus sich die bereits erwähnte Pufferkapazität von zwei Minute erklärt.

## 8. COMPUTERSIMULATION EINES FLEXIBLEN MOTORMONTAGE SYSTEMS

Der Stand der Technik wird in der heutigen Zeit durch die ständige Verkürzung der Produktlebenszyklen, der Erhöhung der Variantenvielfalt in einzelnen Unternehmen selbst, als auch unter den verschiedenen Unternehmen, sowie durch die Verkleinerung der Losgrößen und auch durch die Lieferung auf Bestellung („Just in Time“), geprägt.

Um diese Anforderungen erfüllen zu können, und dadurch auf dem internationalen Markt konkurrenzfähig zu sein, geht man heute über zur flexiblen Automatisierung. Es ist generell zu beobachten, dass die heutigen Produktionssysteme immer komplexer werden und sich in ihrer Investition erheblich verteuern.

Bei der genauen Analyse der Produktentstehung innerhalb eines Fertigungsunternehmens ist ersichtlich, dass die Automatisierung im Bereich der Fertigung schon wesentlich fortgeschritten ist, jedoch in der Montage noch sehr niedrig ist.

Die heutigen Montageanlagen sind speziell angefertigte Systeme, die nur für den geforderten Fall Anwendung finden. Um die Funktionsfähigkeit und Effizienz eines zukünftigen Montagesystems zu sichern, ist es notwendig schon während der Planung des Systems die wichtigsten Komponenten, wie z. B. Informations-, Material-, und Energieflüsse zu definieren bzw. bei bestehenden Systemen zu analysieren und deren Strukturen und Abläufe näher zu erfassen.

Neben den analytischen und klassischen Planungsmethoden, wird insbesondere die diskrete Computersimulation in der Planung von flexiblen Fertigungs- und Montagesystemen eingesetzt. Durch die Simulation können in kurzer Zeit nichtexistierende Modelle entwickelt werden, die auch für Schulungsaufgaben für das spätere Personal eingesetzt werden können. Aber auch konkurrenzfähige Alternativen können verglichen werden. Daneben sind die durch Simulation erbauten Modelle wesentlich universeller einsetzbar, als die analytischen Modelle.

Neben den genannten Vorteilen der Simulation gibt es natürlich auch Nachteile. Die Simulation kann zum Beispiel keine exakten Ergebnisse liefern. Ebenfalls können keine Probleme gelöst werden, denn die Simulation kann nur Informationen liefern.

Abgesehen von den wenigen Nachteilen, die auftauchen, hat sich die Simulation in der Praxis durchgesetzt. Sie wurde vor allem durch die Weiterentwicklung des Personalcomputers und der Erhöhung der Speicherfähigkeit der Chips, aber auch durch die Schaffung von geeigneten Software – Paketen, vorangetrieben. In dieser Arbeit wurde mit Hilfe der Computersimulation ein Simulationsmodell erstellt, welches ein bereits vorhandenes Montagesystem, welches Geräteelektromotoren zusammenbaut, abbildet. Anhand dieses Simulationsmodells sollen dann wesentliche Antworten auf das Systemverhalten gefunden werden.

Es sollen dabei die Maschinenausfälle, die Palettenanzahl bzw. der Wechsel von einer Variante zur nächsten, näher untersucht werden.

Dabei hat zur Durchführung der Simulation das Softwarepaket ARENA, das eines der komfortabelsten und aktuellsten auf dem Markt befindlichen Simulationssoftware einschließlich Animation darstellt.

## 8.1. Plan und Beschreibung der Motormontage

Das Kernsystem besteht aus Industrierobotern, Montagestationen, einem Transportsystem, Montagepaletten mit ID und Steuerungskomponenten. Die Montagestationen sind durch das automatische Transportsystem in mehrere Montagesubsysteme integriert.

Die Anlage stellt einen in sich geschlossenen Kreislauf dar. Es werden Paletten, die als Werkstückträger dienen mit Hilfe, von Förderbändern von einer Montagemaschine zur nächsten bewegt. Dort kann ein Teil des Motors hinzukommen dieser und/oder andere Teile, die zuvor bei einer Station hinzugefügt wurden und dort noch nicht montiert wurden, montiert werden.

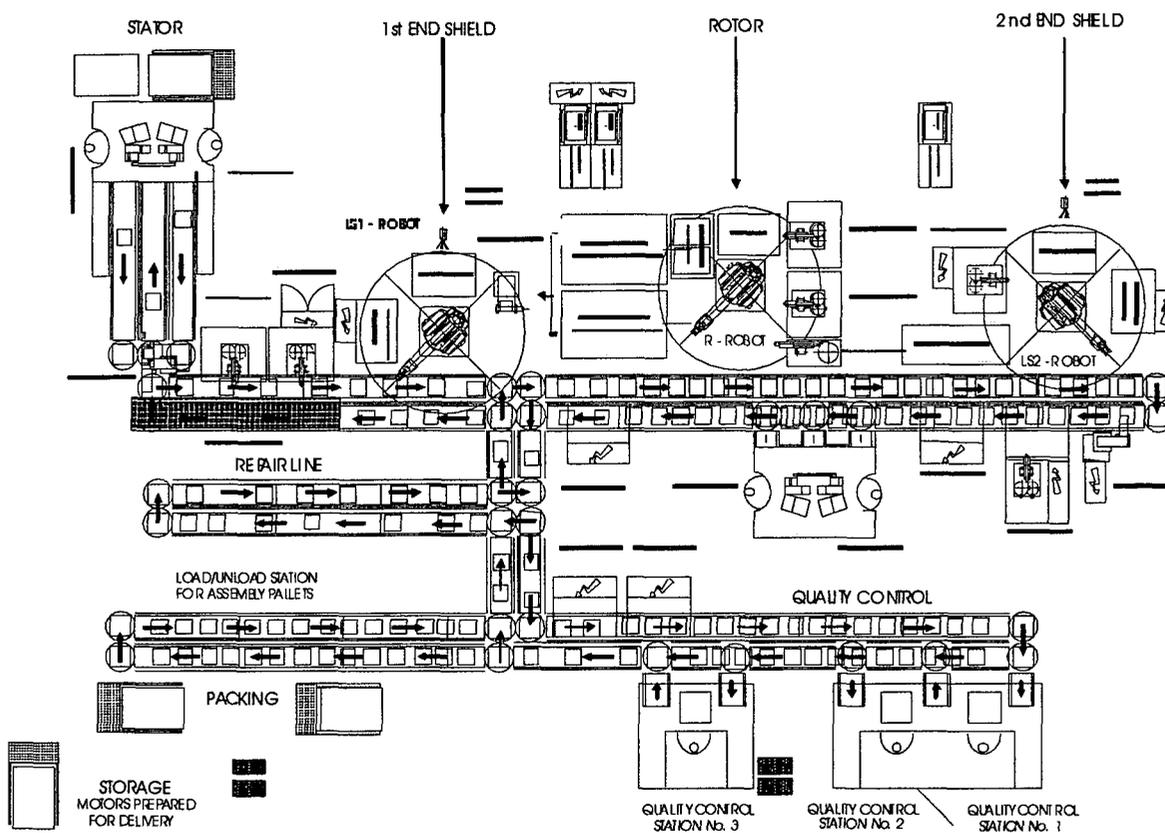


Abb. 8.1. Das flexible Motormontagesystem - Layout

Die einzelnen Montageschritte werden vor dem Verlassen der Maschine durch eine Inspektion auf ihre Richtigkeit überprüft. Ist ein Teil fehlerhaft oder wurde er nicht richtig montiert, so ist dies an der Palette zu vermerken, um später die Palette an einem Reparaturplatz vom Hauptkreislauf auszuschleusen. Dort werden die Fehler behoben und die Palette wird wieder dem Hauptfluss zugeführt. Nach dem Verlassen der Reparaturbahn wird die Palette mit den noch verbliebenen, bereits in Ordnung befindlichen und richtig montierten Teilen, solange durch die nachfolgenden Stationen geschleust, bis diejenige Station erreicht ist, bei der nächsten Montageschritt erforderlich ist um den begonnen Motor vervollständigen zu können. Nach der Entnahme von dem fertigmontierten Motor wird die Palette wieder an den Anfang gebracht und für die Montage des nächsten Motors verwendet.

Dem flexiblen vollautomatisierten Motormontagesystem steht ein automatisches Transportsystem zur Verfügung, über das der gesamte Materialfluss abgewickelt wird. Auf diesem Transportsystem bewegen sich die Paletten in Kreislauf.

Der Montagebetrieb beginnt bei Roboter 1 (LS 1). In dieser Montagezelle werden die Lagerschilder mit dem Roboter aus den Gitterboxen genommen und unter die Kamera transportiert. Unter dieser Kamera wird der Teil geprüft und die Lage dem Roboter mitgeteilt. Der Roboter entnimmt typenbezogen (Info von WT) das Lagerschild und setzt es in den WT ein. Anschließend wird mit dem Roboter der Bremsstopf entnommen, und zur Fettstation (R-00) gefahren.

Danach wird der gefettete Bremsstopf auf das Band gelegt. Hierauf wird die Palette mit dem Lagerschild durch den Wärmetunnel T-01-1 befördert, wo Bremsstopf erwärmt wird. Dabei erfolgt die Regelung der Temperatur manuell. Die Temperaturüberwachung erfolgt in der Nähe des Lagerschildes erreicht wurde, so wird die Palette im Tunnel solange blockiert, bis diese erreicht wird. Nach diesem Wärmetunnel folgt das STATOR Modul. Dabei wird bevor der STATOR am Arbeitsplatz in das Lagerschild montiert wird, er händisch dem Umlaufsystem zugeführt.

Während dieser Fahrt werden die Litzen abgelängt, abisoliert und mit dem Flachstecker verbunden oder der Stecker wird eingebracht und auf Lackreste überprüft.

Nach erfolgter Statorvorbereitung wird die Pakethöhe des STATORS gemessen und unter Kraft in das vorgewärmte Lagerschild eingesetzt. Danach erfolgt eine Inspektion, ob die montierten Distanzringe gut oder schlecht befunden werden.

Danach wird ein Wellenring eingesetzt. Dies erfolgt über zwei getrennte Zuführungen mit einem Handlungsgesetz. Hierauf erfolgt wieder die Beurteilung in einer eigenen Prüfung, ob der Arbeitsgang gut oder schlecht ist. Nach diesen Stationen folgt das Rotormodul. In diesem Modul wird der Rotor unabhängig vom Hauptsystemfluss gefertigt und anschließend der Rotor durch einen Roboter zu dem bereits montierten Lagerschild mit Stator und Distanzring(en) und Wellenring hinzugefügt. Zudem wird noch der Bremsstopf in diesem Modul montiert.

Dies erfolgt folgendermaßen der Bremsstopf mit Feder in eine Vorrichtung eingesetzt wird. Anschließend wird der Rotor durch den Roboter aus einer Pufferrutsche oder einem Transportgebäude entnommen und in Montage Vorrichtung oder in die Kerbvorrichtung eingesetzt. In der Montagevorrichtung wird der Bremsstopf gespannt und ein rotierender Stempel drückt von oben auf die Rotorwelle bis ein vorgegebenes Maß oder Widerstand erreicht wird. Danach wird ein Signal für das Aufziehen des Halteringes gesendet.

Nach den Empfang des Signals wird der Haltering aufgezoogen (welcher Haltering aufgezoogen wird sendet der Rotor). Anschließend wird der Stempel in die Endlage gefahren. Danach wird die Spannvorrichtung für den Bremsstopf gelöst. Danach wird der Kegellageranschlag gekerbt und beide Kugellager montiert.

Während dieser Bearbeitungszeit von der Montagevorrichtung holt sich der Roboter einen neuen Rotor. Hierauf entnimmt der Roboter einen fertigen Rotor, wendet den Greifer und setzt den neuen Rotor ein. Nach dieser Rotormontagebeschreibung wird der vorgefertigte Rotor am Montageplatz aus der Pufferrutsche entnommen und durch die Statorbohrung in das Lagerschild eingesetzt. Darauf wird die Druckfeder aus der Vereinzelung aufgenommen und in den Bremsstopf eingefügt.

Danach kommt das zu Beginn beschriebene Reparaturband, welchem eine Abfrage vorausgeht, ob die eintreffende Palette auszuschleusen ist oder nicht.

Nach dieser sehr wichtigen Station folgt im Montageprozess das Einpressen des Bremsbelages durch den Roboter. Dabei werden zwei Bremsbeläge pro Lagerschild verwendet. Bei diesem Roboter werden die Bremsbeläge dabei von der Montagezelle entnommen. Auch das zweite Lagerschild wird durch den Roboter von der Hubeinrichtung beim Wärmeofen entnommen. Jedoch zuvor werden die hier verwendeten Lagerschilder aus der Gitterbox durch den Roboter entnommen und unter die Prüfkamera transportiert. Unter der Kamera wird der Teil geprüft und die Lage dem Rotor mitgeteilt. Hierauf wird das Lagerschild durch den Roboter aufgenommen und im Wärmeofen abgelagert. Im Wärmeofen wird das Lagerschild aufgewärmt und danach dem Roboter zur Verfügung gestellt. Danach wird das Lagerschild gewendet und auf den STATOR mit Rotor gefügt.

Danach wird der Motor vom Werkstückträger eingesetzt und der Motor kann entspannt werden. Hierauf wird der Zuganker mit zwei getrennten Zuführungen mit einem Handlungsgesetz eingesetzt. Anschließend wird der Motor planparallel vorgespannt und anschließend verschraubt. Der vorgegebene Druck wird im Programm festgelegt. Auch der Zuganker wird verschraubt. Dieser Montageschritt kann dabei an zwei Plätzen erfolgen. Danach kommen einige Handarbeitsplätze, die je nach Type des Motors benötigt werden. Dabei wird vor dem Handarbeitsplatz immer eine Abfrage nach der Notwendigkeit der nächsten kommenden Station durchgeführt. Dabei wird ein Kondensator montiert und ein Ventilatorflügel angesetzt (typenabhängig).

Als nächste Stationen folgen die Prüfstationen. Die erste prüft das Axialspiel und Anschlussmaß, danach folgt die elektrische Prüfung mit oder ohne Messer (T – 10 & T – 11).

Danach folgt die Einschleifprüfung der Bremsbeläge. Dies erfolgt in der nächsten Station. Danach erreicht die Palette mit dem bereits fertig montierten Motor die Motorenabnahmezone.

Dort werden die Motoren von den Motoren gelöst und durch das Bedienungspersonal auf Beförderungswagen abgestellt. Danach werden alle Kennzeichnungen der Palette gelöscht und die Palette steht der neuen Motorenmontage wieder zur Verfügung. Darauf beginnt der Kreislauf wieder aufs neue bei Station LS-1.

## 8.2. Pflichtenheft des flexiblen Motorenmontagesystems

### 1. LS1 – MODUL ZELLE 1

<i>Systemkomponente:</i>	<i>LS1 – ROBOTER 1</i>
Beschreibung – Produktionsfunktionen:	Der Roboter muss Lagerschilder und Bremsstöpfe manipulieren können
Flexibilität:	Verschiedene LS und Bremsstöpfe
Prüfung:	Greifer Teil gegriffen oder nicht
Informationsfluss	LS – Type auf WT

<i>Systemkomponente:</i>	<i>LS1 – 002 Bildererkennung</i>
Beschreibung – Produktionsfunktionen:	
Flexibilität:	
Prüfung:	
Informationsfluss	

<i>Systemkomponente:</i>	<i>R – 00 Fettstation</i>
Beschreibung – Produktionsfunktionen:	Auflaufkeile im Bremsstopf fetten (nach Angaben von ATB)
Flexibilität:	Zwei Typen ohne Umrüsten
Prüfung:	
Informationsfluss	Typeninfo durch Roboter manuelle Prüfung über ZR auffordern (alle 700 Teile)

## 2. S – MODUL (Vormontage: STATOR)

<i>Systemkomponente:</i>	<i>STATOR</i>
Beschreibung – Produktionsfunktionen:	Händisch dem Umlaufsystem zuführen, hier werden die Litzen abgelängt, abisoliert und mit dem AMP – Flachstecker verbunden oder der Stecker eingebracht und auf Lackreste überprüft.
Flexibilität:	
Prüfung:	
Informationsfluss	Info von Zellenrechner (welcher STATOR Eingebracht werden soll)

<i>Systemkomponente:</i>	<i>S-03</i>
Beschreibung – Produktionsfunktionen:	STATOR aufnehmen Pakethöhe messen und unter Kraft ins Lagerschild einsetzen (5 – 50kg Toleranz +/- 10%)
Flexibilität:	Verschiedene Statordurchmesser und -höhen (Z – Achse frei programmierbar)
Prüfung:	Pakethöhe an einen Messpunkt (1/100 Auflösung)
Informationsfluss	IN: Programminfo (Statortyp) von WT OUT: Istwerte auf WT und ZR

## 3. R – MODUL ZELLE 2

(Vormontage: STATOR)

<i>Systemkomponente:</i>	<i>R – Robot 2:</i>
Beschreibung – Produktionsfunktionen:	Der Roboter muss sowohl Rotore (ganze Spektrum), Zwischenlagen ohne Grundgreiferwechsel manipulieren können und Paletten – Vermessung durchführen.
Flexibilität:	
Prüfung:	Greifer gegriffen oder nicht
Informationsfluss	Typenauswahl

<i>Systemkomponente:</i>	<i>R-02</i>
Beschreibung – Produktionsfunktionen:	Bremsstopf montieren
Flexibilität:	Zwei Typen ohne Umrüsten
Prüfung:	
Informationsfluss	Typeninfo durch Roboter

<i>Systemkomponente:</i>	<i>R-03</i>
Beschreibung – Produktionsfunktionen:	Haltering montieren (2 Vorrichtungen) 180 zueinander
Flexibilität:	Verschiedene Halteringtypen leicht und schnell Umrüsten
Prüfung:	
Informationsfluss	Typeninfo durch Roboter

<i>Systemkomponente:</i>	<i>R – 07 &amp; R – 08 Kugellageraufzieheinheit – II (Rasenmäher) Bestellung von Unternehmer</i>
Beschreibung – Produktionsfunktionen:	Kugellageranschlag kerben, beide Kugellager montieren
Flexibilität:	Ventilatorflügel
Prüfung:	
Informationsfluss	

#### 4. R – MODUL ZELLE 3

Roboter 3

<i>Systemkomponente:</i>	<i>ROBOTER 3</i>
Beschreibung – Produktionsfunktionen:	Der Roboter muss Rotore und Druckfedern ohne Greiferwechsel manipulieren können
Flexibilität:	
Prüfung:	Greifer gegriffen oder nicht Rotor richtig eingesetzt
Informationsfluss	Gut/Schlecht

<i>Systemkomponente:</i>	<i>R – 01 Feder entwirren und vereinzeln</i>
Beschreibung – Produktionsfunktionen:	
Flexibilität:	Verschiedene Typen ohne Umrüsten
Prüfung:	
<i>Systemkomponente:</i>	<i>R – 05 Rotor Prüfen</i>
Beschreibung – Produktionsfunktionen:	Abstand zwischen Kugellager und Bremsstopfposition prüfen
Flexibilität:	Verschiedene Wellen, Paketdurchmesser, Wellen, Paketlänge leicht wechselbar
Prüfung:	
Informationsfluss	Gut/Schlecht auf SPS (Zellenrechner)

#### 5. LS - 2 – MODUL ZELLE 4

Roboter 4

<i>Systemkomponente:</i>	<i>LS – 2 ROBOTER 4</i>
Beschreibung – Produktionsfunktionen:	Der Roboter muss Lagerschilde, Bremsbeläge und Zwischenlage ohne Grundgreiferwechsel manipulieren können
Flexibilität:	
Prüfung:	Greifer gegriffen oder nicht
<i>Systemkomponente:</i>	<i>LS1 – 002 Bilderkennung</i>

Beschreibung – Produktionsfunktionen:	
Flexibilität:	
Prüfung:	
Informationsfluss	

<i>Systemkomponente:</i>	<i>LS2 – 02</i>
Beschreibung – Produktionsfunktionen:	Bremsbelag einpressen (5 – 50kg) Zwei Bremsbeläge pro Lagerschild
Flexibilität:	Zwei Bremsbelagtypen
Prüfung:	In Position vorhanden (mit Wegmessung) +/- 0,3mm
Informationsfluss	Gut/Schlecht

<i>Systemkomponente:</i>	<i>LS – 01 Wärmeofen</i>
Beschreibung – Produktionsfunktionen:	Aufwärmen auf 40 -80 (+/- 10)°C Sicherheit der Lagerorientierung Zwei Typen in getrennten Umlauf
Flexibilität:	Regelung der Temperatur erfolgt manuell Mix von mindestens zwei unterschiedlichen Lagerschildtypen muss möglich sein
Prüfung:	Temperaturprüfung in LS - Nähe
Informationsfluss	Temperatur (maxi /min) Überwachung an Zellenrechner

## 6. LS2 – MODUL ZELLE 5

<i>Systemkomponente:</i>	<i>T – 03 ROBOTER 5</i>
Beschreibung – Produktionsfunktionen:	Der Roboter muss Lagerschilde manipulieren und fertige Motorwenden können
Flexibilität:	Verschiedene Lagerschilde und Motore
Prüfung:	Greifer gegriffen oder nicht
Informationsfluss	

## 7. T – MODUL ZELLE 4 (Montage – Transportsystem)

<i>Systemkomponente:</i>	<i>T – 01 – 01 Wärmetunnel</i>
Beschreibung – Produktionsfunktionen:	Aufwärmen auf 40 – 80 (+/- 10)°C
Flexibilität:	Regelung der Temperatur manuell Kein Umrüstvorgang für verschiedene WT
Prüfung:	Temperaturüberwachung in LS nahe
Informationsfluss	Temperaturüberwachung Zellenrechner

<i>Systemkomponente:</i>	<i>T-02</i>
Beschreibung – Produktionsfunktionen:	Wellenring einsetzen, Zwei getrennte Zuführung mit einem Handlungsgerät
Flexibilität:	Verschiedene Typen durch leichtes und schnelles Umrüsten, Unterschiedliche Höhenabgabepositionen ohne Umrüsten

Prüfung:	
Informationsfluss	Welche Type, Arbeitsgang Gut/Schlecht

<i>Systemkomponente:</i>	<i>T-04</i>
Beschreibung – Produktionsfunktionen:	Die Zuganker werden sortiert und vereinzelt, Zwei getrennte Zuführungen mit einem Handlungsgerät vor dem Einsetzen erfolgt das Benetzen mit Schraubensicherung (Eintauchtiefe der Schraube 4 – 5 mm)
Flexibilität:	Setzen des Min – Füllstandes sowie einer Warngrenze Bohrbild und Motorhöhe variabel über Programmvorgabe Zwei Schraubendurchmesser, unterschiedliche Schraubenlänge
Prüfung:	Kleberniveau, Schraube vorhanden, Greifgeber, Schraubenlänge überprüfen =1mm
Informationsfluss	Schraubentype von WT - Code

<i>Systemkomponente:</i>	<i>T – 05 und T - 06</i>
Beschreibung – Produktionsfunktionen:	Motor planparallel oder beweglich Druckplatte vorspannen (50 – 1000 kg), der vorgegebene Druck wird im Programm festgelegt. Die Zuganker werden verschraubt
Flexibilität:	Anzugsmoment, Bohrbild und Motorhöhe sind variabel über Programmvorgabe
Prüfung:	Drehmoment +/- 3% Gleichstrommotoren (Differenzlage) Sitz der Schrauben
Informationsfluss	IN: Motorsachnummer von WT, OUT: Gut/Schlecht welche Schraube auf WT), Istwerte auf ZR Vorgabewerte über ZR (Programm)

<i>Systemkomponente:</i>	<i>T – 07 &amp; T – 08 Handarbeitsplatz - Dialog</i>
Beschreibung – Produktionsfunktionen:	Kondensator montieren (typenabhängig) Ventilatorflügel ansetzen (typenabhängig)
Flexibilität:	
Prüfung:	
Informationsfluss	
<i>Systemkomponente:</i>	<i>T – 08 - 1</i>
Beschreibung – Produktionsfunktionen:	Ventilatorflügel aufpressen (typenabhängig) (50 – 150 kg). Die Motorwelle muss auf der Gegenseite abgestützt werden
Flexibilität:	Verschiedene Motorhöhen und Ventilatorflügelarten
Prüfung:	

Informationsfluss	
<i>Systemkomponente:</i>	<i>T-9 Prüfstation Nr. 1</i>
Beschreibung – Produktionsfunktionen:	Axialspiel und Anschlussmaß prüfen 81 – 50 kg) manuelle Einstellung
Flexibilität:	Alle Motorentypen
Prüfung:	Anschlussmaß auf LS Gewindeseite (Auflösung 1/100 mm), Axialspiel an beiden Seiten
Informationsfluss	Istwerte, Sollwertvorgabe über ZR
<i>Systemkomponente:</i>	<i>T – 10 &amp; T – 11 Prüfstation Nr. 2 - Handarbeitsplatz</i>
Beschreibung – Produktionsfunktionen:	Elektrische Prüfung mit oder ohne Messer
Flexibilität:	Alle Motorentypen
Prüfung:	Laut elektrischen Prüfplänen
Informationsfluss	Istwerte – Sollwerte über ZR
<i>Systemkomponente:</i>	<i>T – 11 – 1 Prüfstation Nr. 3 - Handarbeitsplatz</i>
Beschreibung – Produktionsfunktionen:	Einschleifstation für Bremsbeläge (Reibbeläge)
Flexibilität:	Alle Motorentypen
Prüfung:	Laut elektrischen Prüfplänen
Informationsfluss	

## 8. LINEARTRANSPORTSYSTEM UND STATIONEN

<i>Systemkomponente:</i>	<i>Lineartransportsystem - Montagelinie</i>
Beschreibung – Produktionsfunktionen:	Dem System steht ein automatisches Transportsystem zur Verfügung, über das der gesamte Materialfluss abgewickelt wird
Flexibilität:	Das System muss ohne ZR (ohne Störungseinfluss bzw. Umrüstung) über die Schreib und Lesestationen autark laufen. Ausschleusen von fehlerbehafteten Werkstücken, Wiedereinschluss für die Fortsetzung der Montage (teilweise Durchläufe) oder Neubestückung der Palette. Wahlweise einsetzen von Handarbeitsplätze Ausbaufähigkeit für Nebenlinien
Prüfung:	
<i>Systemkomponente:</i>	<i>Lineartransportsystem - STATOR</i>
Beschreibung – Produktionsfunktionen:	Dem System steht ein automatisches Transportsystem zur Verfügung, über das der gesamte STATOR – Materialfluss abgewickelt wird.
Flexibilität:	Das System muss ohne ZR (ohne Störungseinfluss bzw. Umrüstung) über die

	Schreib und Lesestationen autark laufen.
Prüfung:	
Informationsfluss	

<i>Systemkomponente:</i>	<i>Lineartransportsystem - Reparaturstrecke</i>
Beschreibung – Produktionsfunktionen:	Dem System steht ein automatisches Transportsystem zur Verfügung, über das der gesamte Reparatur – Materialfluss abgewickelt wird.
Flexibilität:	
Prüfung:	
Informationsfluss	

### 9. ZUSÄTZLICHE SYSTEMKOMPONENTEN

<i>Systemkomponente:</i>	<i>Werkstück - Hauptmaterialfluss</i>
Beschreibung – Produktionsfunktionen:	Werkstückträger des Hauptmaterialflusses mit Codiersystem (MDS 115)
Flexibilität:	Verschiedene LS - Typen
Prüfung:	
Informationsfluss	

<i>Systemkomponente:</i>	<i>Werkstückträger – STATOR – Materialfluss</i>
Beschreibung – Produktionsfunktionen:	Werkstückträger des Statormaterialflusses mit Codiersystem
Flexibilität:	Verschiedene STATOR - Typen
Prüfung:	
Informationsfluss	

<i>Systemkomponente:</i>	<i>Informationsträger</i>
Beschreibung – Produktionsfunktionen:	Informationsträger, Temperaturbeständigkeit von minus 80°C
Flexibilität:	
Prüfung:	
Informationsfluss	

<i>Systemkomponente:</i>	<i>Schreib – Lese Stationen</i>
Beschreibung – Produktionsfunktionen:	Schreib – Lese Stationen
Flexibilität:	
Prüfung:	
Informationsfluss	

### 8.3. Systemkomponentenaufstellung

<i>Systemkomponente:</i>	<i>Bezeichnung</i>
Bremsbelag einpressen	LS2 - 02
Bremstopf – Fett auftragen	R - 00
Bremstopf – Greifringposition prüfen	R - 05

Bremstopf montieren	R - 02
Distanzring montieren (0, 1 oder 2 stück)	T - 01
Druckfeder vereinzeln	R - 01
Haltering montieren	R - 03
Handarbeitsplatz (Kondensator montieren)	T - 07/T - 08
Bilderkennung	
Kugellageranschlag kerben, beide Kugellager montieren	R - 07/R - 08
Lineartransportsystem - Motor	
Handarbeitsplatz (Litzenbearbeitung)	
Motoren vorspannen und verschrauben	T - 05/T - 06
Pakethöhe messen und umsetzen	S - 03
Roboter 2	R - 2
Prüfstation - Axialspiel und Anschlussmaß	T - 09
Roboter 1	LS - 1
Roboter 3	R - 3
Roboter 4	LS - 2
Ventilatorflügel aufpressen	T - 08 - 1
Wärmeofen	LS - 2 - 01
Wellenring montieren	T - 02
Roboter 5	T - 03
Zuganker einsetzen	T - 04
Wärmetunnel über Förderband	T - 01 - 1
Handarbeitsplatz (Motor - Einschleifstation)	T - 10/T - 11
Lineartransportsystem - STATOR	
Lineartransportsystem - Reparaturstrecke	
Informationsträger	
Schreib - Lese Station	
Werkstückträger - Hauptmaterialfluss	
Werkstückträger - STATOR - Materialfluss	

Im Abb. 8.2. und Abb. 8.3. ist einen Standard - Drehstrommotor (ein Beispiel) und dessen Teile in der Montage Reihenfolge dargestellt.

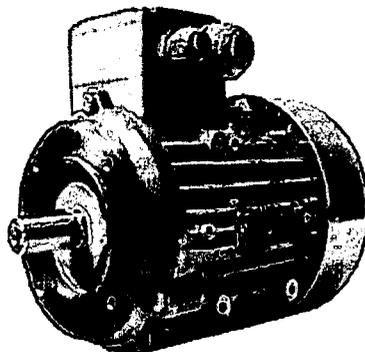
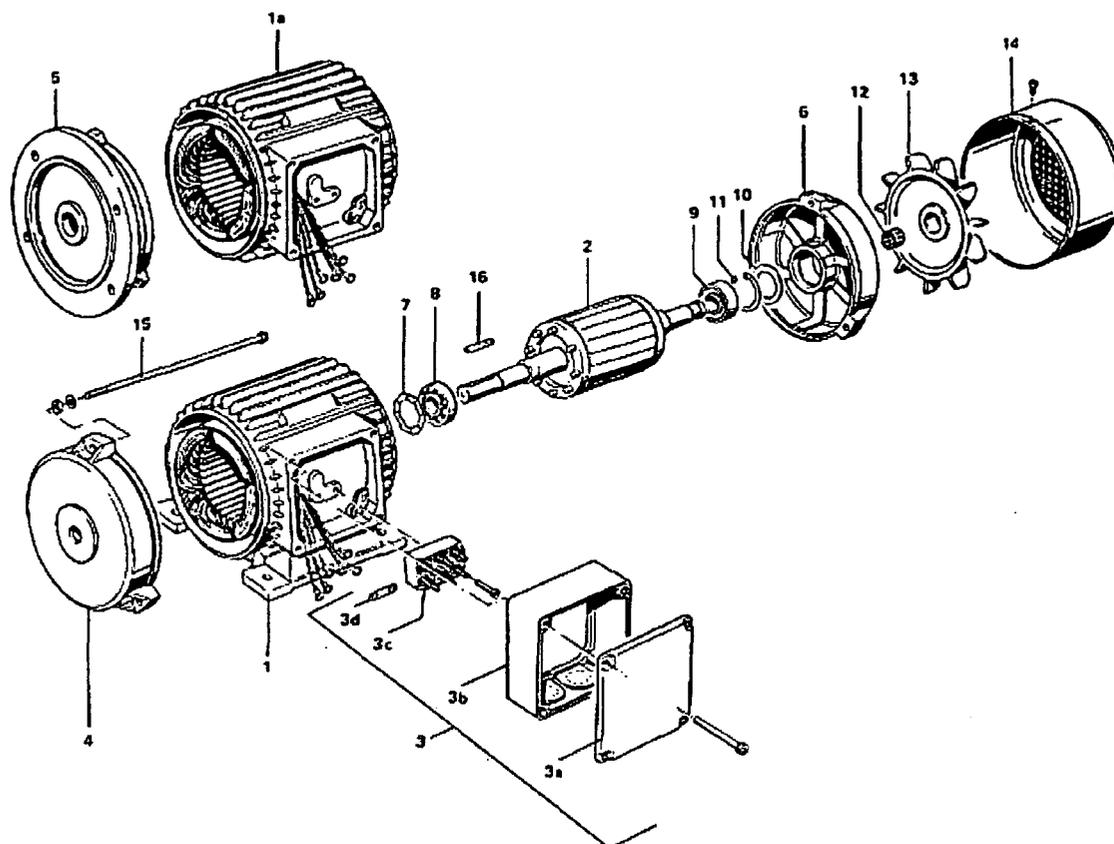


Abb. 8.2. Standard-Drehstrommotor - 2,2 kW- 940min [ATB Österreich, Antriebstechnik]



1. Fuß - Stator mit Blechpaket und Wicklung
- 1a. Flansch – Stator mit Blechpaket und Wicklung
2. Rotor
3. Klammernanordnung. Komplett
- 3a. Deckel
- 3b. Unterteil
  - Dichtung – Deckel/Unterteil
  - Dichtung – Unterteil/Ständer
- 3c. Klemmenplatte. Komplett
- 3d. Verbindungsbrücke
4. Lagerschild AS – IM B3
5. Flansch IM B5 oder IM B14
6. Lagerschild BS
7. Kugellager – Ausgleichscheibe
8. Kugellager AS
9. Kugellager BS
10. Passscheibe
11. Sicherungsring
12. Toleranzring BS
13. Ventilator
14. Schutzhaube
15. Befestigungsbolzen
16. Passfeder

*Abb. 8.3. Ersatzteilliste für Standard-Drehstrommotoren [ATB Österreich, Antriebstechnik]*

## 8.4. Arena

Der Arena – Anwenderführer beinhaltet Anleitungen für das Bauen, Laufen und Analysieren eines Modells in Arena. Das Arena System liefert einen Integrierten Modellrahmen für das Bauen eines Modells mit unterschiedlichen Ausprägungen von Details quer durch einen weiten Bereich von Anwendungen. Darüber hinaus sind alle für die Simulation beschreibenden Funktionen in einer einfachen Simulationsmodelumgebung integriert, z. B. Animation, Eingabedatenanalyse, Modellveränderungen und Ausgabedatenanalyse.

Diese Beschreibung von Arena beinhaltet verschiedene Kategorien von Benutzern:

- SIMAN Benutzer: Arena liefert eine integrierte Umgebung zum graphischen Bauen und Starten eines SIMAN Modells.
- Cinema Benutzer: Arena liefert einen integrierten Modellrahmen, zum Bauen von SIMAN Modellen und zum Animieren von diesen Modellen durch das Verwenden von Cinema Objekten. Diese Cinema Merkmale können auch zur Animation für andere Modelle, die auch Arena zugrundeliegen (im Allgemeinen Nicht – SIMAN Modelle), benützt werden.
- Arena Benutzer: Arena liefert einen Modellrahmen, zum Verwenden von Anwendung - Schablonen (Applikation Solution Templates (ASTs)), welche Modellkonstruktionen, die in bestimmten Anwendungsebenen betrachtet werden, unterstützen.

Zusätzlich unterstützt die Arena Professional Edition eine Schablone, welche in gewissen Bereichen der Industrie Anwendung findet.

Alle drei Kategorien von Benutzern verwenden eine allgemeine Umgebung innerhalb von Arena zum Bauen, Starten und Analysieren von Simulationsmodellen.

### 8.4.1 Bauen von Modellen und Das Beispiel: Das generelle Arbeitsmodell

Dieses Kapitel beschreibt den Grundvorgang in Arena ein Modell zu bauen. Es enthält auch einige Grundkonzepte, die darstellen, wie die Simulation eines Modells zum Laufen gebracht werden kann, und worauf zu achten ist. Dieses Kapitel beinhaltet zusätzlich ein Beispiel, anhand dessen das Modellbaukonzept von Arena erklärt wird.

Kunden erreichen (Arrive) das System, werden bearbeitet (Server), und zum Abschluss verlassen sie das System (Depart). Dieses allgemeine System kann viele verschiedenen Typen von Systemen darstellen.

Als Beispiel könnte angeführt werden, dass dieses System einen Ticket – Schalter auf einem Flughafen darstellt, an welchem Reisende (Kunden) ankommen, um Tickets vom Ticketverkäufer (Server) zu bekommen. Schließlich könnte dieses System eine Fräsmaschine präsentieren.

Um dieses System auf Arena zu modellieren, müssen wir folgende Aufgaben bearbeiten:

- a) Öffnen Sie ein Modellfenster und bringen sie eine Hauptmodellwerkzeugschablone in dieses Fenster,
- b) Plazieren und verbinden Sie die einzelnen Modelle, die das darstellen,
- c) Liefern Sie Datenwerte für die Module,

d) Zum Abschluss bringen Sie das System zum Laufen.

a) Öffnen Sie das Modellfenster und bringen eine Arenaschablone in das System:

Der erste Schritt beim Bau eines Modells in Arena ist das Öffnen eines neuen Modellfensters. Dies wird durch das Starten des Arena – Softwarepakets erreicht. Danach erscheint in hellgrauem Fenster mit einem horizontalen Balken am obersten Rand am Bildschirm. In dieser horizontalen Menüleiste befindet sich das Wort „Model“. Durch das Betätigen der Maustaste, während der Cursor sich auf dieser Menüauswahltaste befindet, erscheint ein vertikales Zwischenmenü (Pull – Down Menü) von Model (Abb. 8.4.). Innerhalb dieses Zwischenmenüs befindet sich „New“. Beim nochmaligen Betätigen der Maustaste erscheint das gewünschte Modellfenster (Abb. 8.5.).

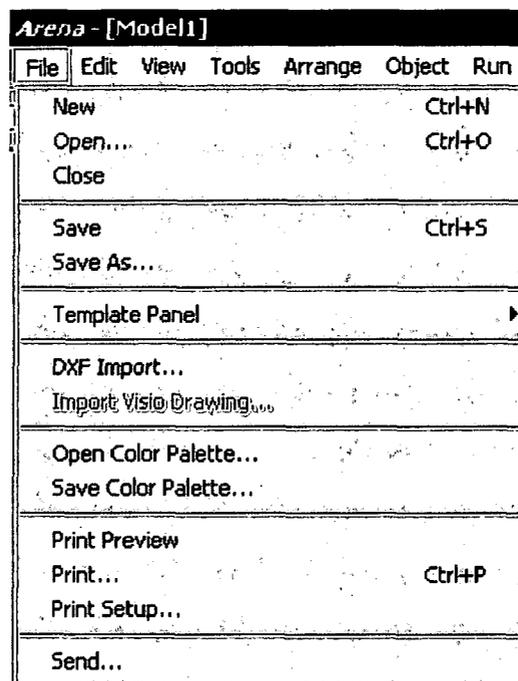


Abb. 8.4. Das Pull – Down Menü [Variables Guide, System Modelling Corporation, 1998]

Nachdem das Modellfenster geöffnet wurde, sollte die benötigte Schablonendatei in das Modellfenster zum Bauen des Modells hinzugeheftet werden. Beim Bauen des vorhin beschriebenen Modells verwendet man eine Arena – Schablone, die allgemein dienliche Modellschablone, die in einem weiten Bereich des Systems anwendbar ist. Die Arenaschablone ist in drei getrennte Fächer unterteilt. Das erste Arena Fach wird *common* genannt und beinhaltet die meisten grundsätzlich verwendeten Modelle in der Arenaschablone. Das zweite Fach wird *support* genannt und beinhaltet eine Sammlung von hoch flexiblen Modulen zur Vergrößerung der Modelmerkmale vom *common* Fach. Das dritte Fach wird *transfer* genannt und beinhaltet das Verwenden von Modulen, die die Beförderung von einem Punkt zum nächsten durch Arbeiter, Transportgerät, Förderband, usw. darstellt (Abb. 8.6.).

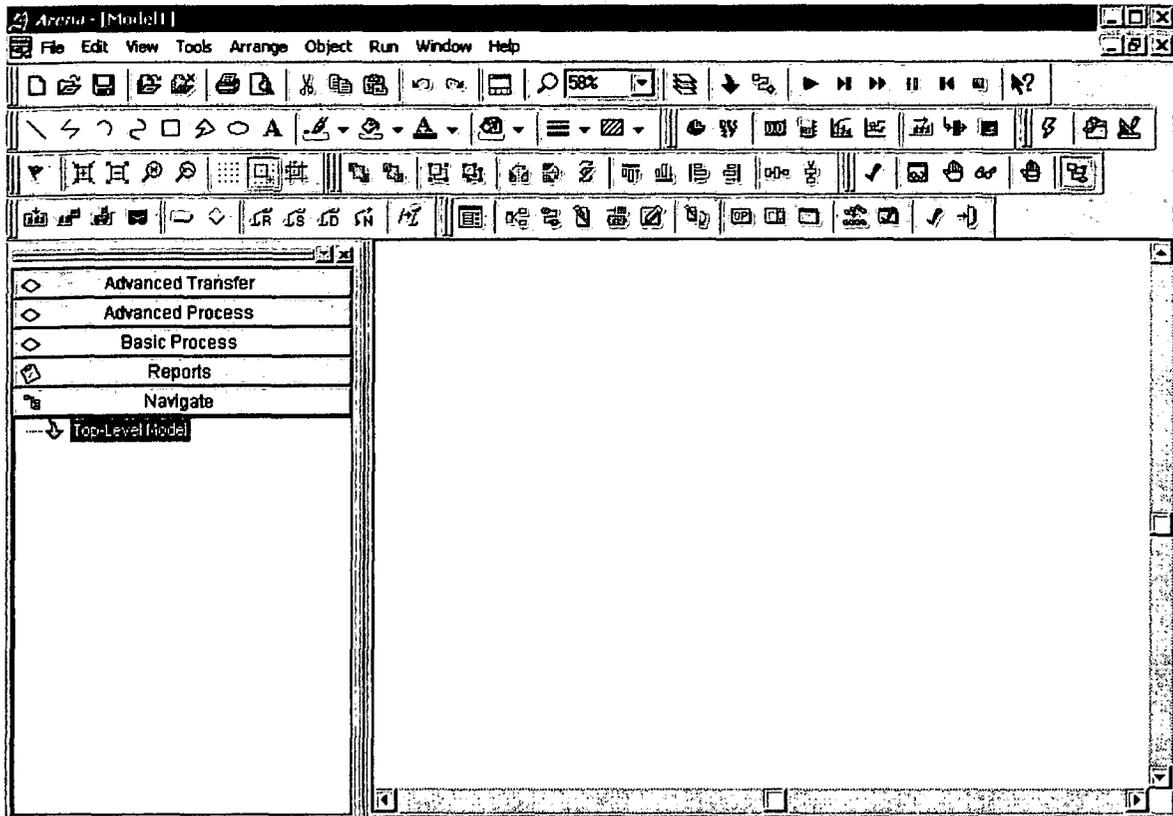


Abb. 8.5. Das Pull – Down Menü [Variables Guide, System Modelling Corporation, 1998]

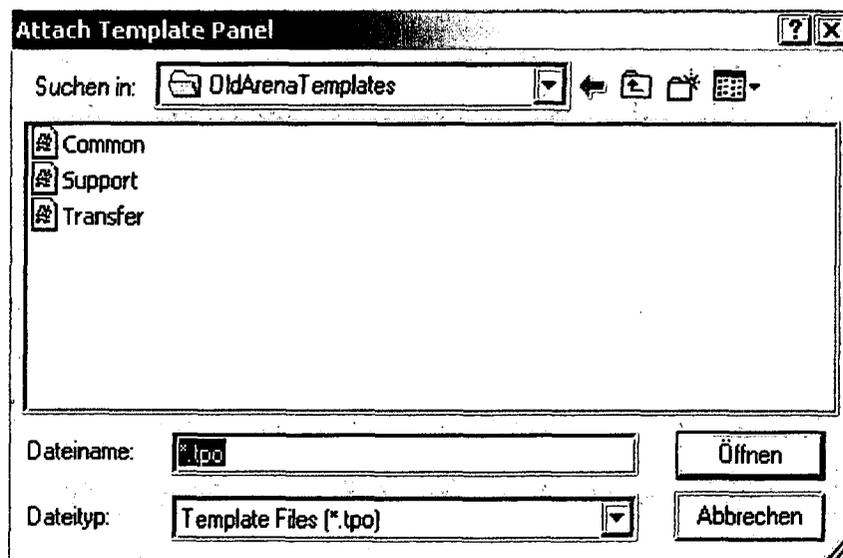


Abb. 8.6. Die ARENA – Modellschablone [Template Reference Guide, System Modelling Corporation, 1998]

Bei diesem Beispiel benötigen wir nur das *common* Fach. Dies wird so in das Arenafenster geheftet, dass man mit dem Pfeil der Maus zur Menüleiste hochfährt und dort dann das Fach *Template* anklickt. Danach erscheint eine Tabelle, in der nach Eintragen des Arenaverzeichnisses die Auswahl von Schablonen (*Template*) aus einer vertikalen Liste möglich ist. In diesem Beispiel benötigen wir das *common. tpo*. Aus diesem Grund klicken wir das *common* Fach an. Hierauf erscheinen die Bilder für jedes Modul im *common* Fach.

## b) Platzierung und Verbindung der Module

Nach erfolgter Aufrufung dieser Schablone, kann begonnen werden das Modell zu bauen. Um diesen Prozess zu modellieren, werden drei Module von dieser *common. tpo* Schablonefile benötigt. Nämlich Arrive, Server und Depart. Das Arrive Modul wird benützt, um den Ankunftsprozess des Systems zu präsentieren. Das Server Modul wird verwendet, um einen einfachen Arbeitsprozess zu modellieren, in welchem der Job der ankommt bearbeitet wird. Zum Abschluss wird das Depart Modul verwendet um den Modellabschluss von diesem System darzustellen.

Bilder (Icons) stellen diese drei Module dar, welche im rechten Eck des Bildschirms beim *common. Tap* zu finden sind. Um ein Modul im Arbeitsraum zu platzieren, muss zuerst ein Bild (Icon) angeklickt werden. Diese Aktion zeigt den Namen des Moduls in den Textbox am Kopf des Faches an und wechselt den Cursor zum Fadenkreuz. Danach bewegt man das Fadenkreuz zu einem Ort im Arbeitsraum, wo dann das Modul platziert werden möchte, und klickt dann die Maustaste um die Platzierung des Moduls zu vervollständigen. Zunächst wird das Arrive – Modul platziert.

An dieser Stelle bestehen verschiedene Möglichkeiten dieses Modul mit dem nächsten (in unserem Fall wäre es ein Server – Modul) zu verbinden. Grundsätzlich besteht die Möglichkeit der automatischen Verbindung oder der freihändigen Verbindung mit dem „Auto – Connect“ oder nur „Connect“. Neben der automatischen Übergabe (Connection) zwischen den Modulen kann auch ein Förderband (Conveyor) oder ein Segment oder ein „Free Transporter“ oder ein AGV (Automatic Guided Vehicle) verwendet werden. Die Entnahme des passenden Transportgerätes wird aus dem Template „transfer“ entnommen.

In unserem Beispiel verbinden wir die Blöcke mit dem Prozess durch Connect und anschließend mit dem Depart – Block. Dies erfolgt in der Form, dass diejenigen Punkte bei denen die Entities in die Blöcke kommen und bei denen sie wieder verlassen, verbunden werden. Diese Punkte werden auch „connection points“ genannt. Um die Verbindungen herstellen zu können muss von der Toolbar das Connector Icon aufgerufen werden. Das fertige Modell mit Förderbändern sieht wie in Abb. 8.7. dargestellt, aus.

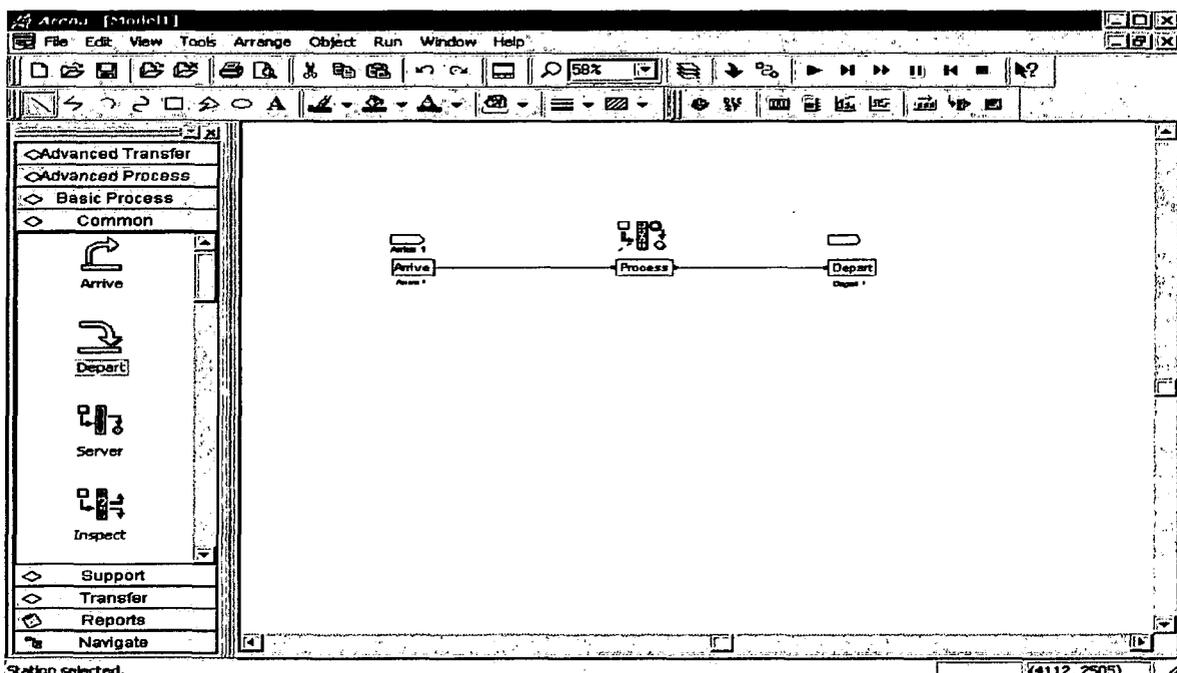


Abb. 8.7. Das Modell mit Förderbändern [Template Reference Guide, System Modelling Corporation, 1998]

c) Mit Daten die einzelnen Blöcke mit Daten versehen

Nachdem wir unser Modell gebaut haben, besteht der nächste Schritt in der Bestimmung der erforderlichen Daten für die einzelnen Operationen für jeden Block.

Sie können die Daten dadurch hinzufügen, indem sie den Rahmen des dargestellten Moduls zweimal anklicken und es erscheint eine Dialogbox. Zuerst beliefern wir das Arrive Modul. Die dazugehörige Dialogbox ist in Abb. 8.8. dargestellt.

Abb. 8.8. Die Arrive Dialogbox [Template Reference Guide, System Modelling Corporation, 1998]

Die Daten für das Arrive – Modul kontrollieren den Ankunftsprozess der Entities, welcher durch die Ankunftsstation, die Zeit für die erste Einbringung eines Entity in das System, die Zeit zwischen den Einbringungen, die Stapelgröße, usw. beschrieben wird. In der Dialogbox fällt auf, dass einige Felder grau gefärbt sind und die anderen weiß. Die grauen Felder zeigen an, dass diese Felder unbedingt mit Daten versehen werden müssen, um die Dialogbox schließen zu können. Zunächst werden wir die Station mit „Incoming“ benennen. Dies erfolgt dadurch, dass das graue Feld Station angeklickt wird und der gewünschte Name eingegeben wird.

Als nächstes wollen wir die Zeit zwischen den einzelnen Einbringungen angeben. Dabei können wir uns der generierten Verteilungen, die später noch dargestellt werden, bedienen. In diesem Fall verwenden wir eine Exponentialverteilung. Dabei klicken wir das Feld neben dem Hauptfeld an, das mit einem Dreieck versehen ist. Dabei erscheint ein Pull – Down Menü. Daraus wählen wir den Typ „Expo (Mean)“ und versehen diesen Ausdruck mit unseren Daten. Im untersten Feld unserer Dialogbox ist das Leave Data zu erkennen. In diesem Teil wird die Transportart charakterisiert.

In unserem Beispiel verwenden wir Connect und geben den Stationsnamen für unsere nächste zu erreichende Station an. Zuletzt können wir die Dialogbox schließlich. Dies erfolgt durch anklicken der Accept – Taste. Mit Cancel können wir aussteigen aus der Dialogbox. Danach können wir uns der Server Dialogbox widmen. Dabei müssen wir den Stationsnamen, die Verzögerungszeit und die Transportinformation zur nächsten Station angeben. Nachdem wir den Stationsnamen eingegeben haben, können wir erkennen, dass sich die Ressource automatisch mit dem Namen „Name R“ benennt. Danach können wir die Prozesszeit angeben. Dabei besteht durch ein Pull – Down Menü wieder die Möglichkeit aus dieser Liste die gewünschte Verteilung auszusuchen. Hierauf können wir die Transportinformation angeben. Dabei erfolgt der Transport direkt durch Connect zum Depart – Modul. Danach können wir wieder die Dialogbox durch das Accept – Feld schließen.

Zuletzt können wir das letzte Modul, das Depart – Modul mit Daten versehen. Die Dialogbox hat, wie ersichtlich fast dasselbe Aussehen wie die Dialogbox des Arrive – Blocks. Anders ist dabei, dass ein individueller Zähler Toggle, der die ankommenden Entities zählt, betätigt werden muss. Dabei wird über dem Depart – Modul beim Simulationslauf die gezählten Entities angezeigt. Danach können wir die Dialogbox wieder schließen.

#### d) Das Modell zum Laufen bringen

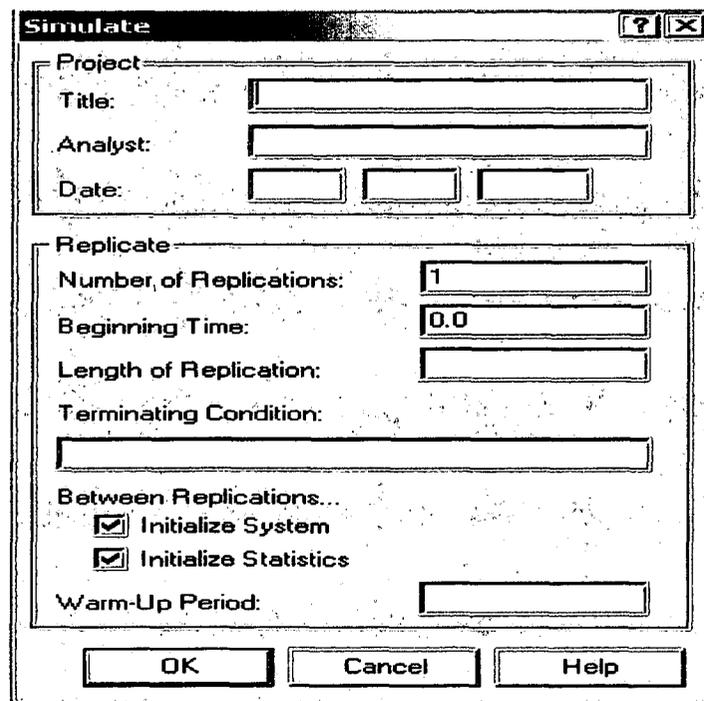


Abb. 8.9. Die Simulate Dialogbox [Template Reference Guide, System Modelling Corporation, 1998]

Jetzt haben wir das Model fertig, aber wir haben keine Daten, die den Simulationsablauf charakterisieren und kontrollieren.

Dazu müssen wir uns der Common Panel bedienen und dabei das Simulations – Modul auswählen. Wir klicken es aus der Menüliste an und platzieren es im Arbeitsraum. Danach können wir das „Simulate“ Module mit den passenden Daten versehen. Dabei wird die

Dialogbox durch zweimal anklicken aufgerufen. Danach kann der Titel für das Projekt, der Bearbeitername, das Datum und die Anzahl der Durchgänge angegeben werden (Abb. 8.9.)

Jetzt sind wir bereit unser Modellbeispiel zum Laufen zu bringen. Um dies zu tun, müssen wir am Run Panel klicken, um dieses Panel an die Vorderseite des Arbeitsraumes zu bringen. Dabei erscheint das Panel, welches in Abb. 8.10. dargestellt wird.

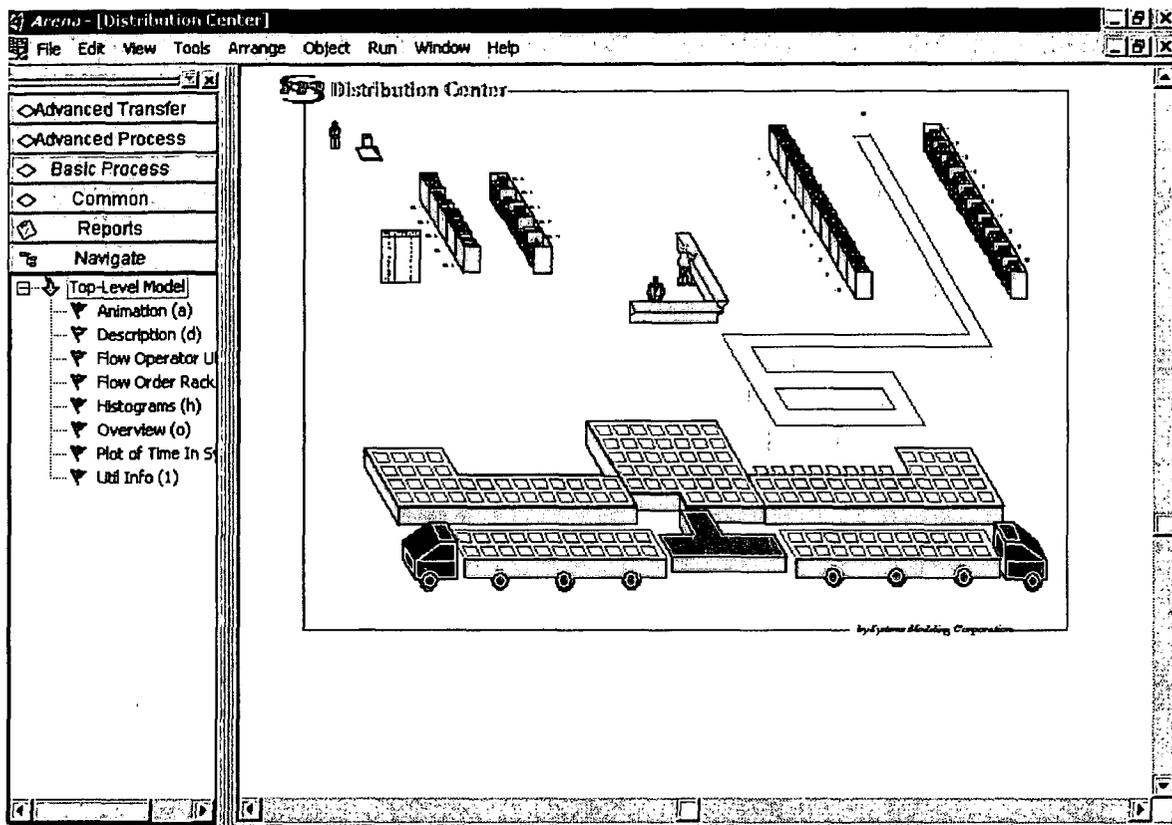


Abb. 8.10. Das Run Panel [Template Reference Guide, System Modelling Corporation, 1998]

Danach können wir die Go – Taste an der Spitze der Liste des Run Panels anklicken. Dieser Vorgang löst den Lauf der Simulation aus. Die Check message box zeigt dabei an, das Arena unser Model überprüft und unser Modell zur Ausführung vorbereitet.

Bei dem Bildschirm erscheinenden „Checking Model“ überprüft Arena unser gebautes Modell auf Fehler. Wird dabei ein Fehler entdeckt, wird eine „Warning Dialogbox“ am Bildschirm erscheinen (Abb.8.11.).

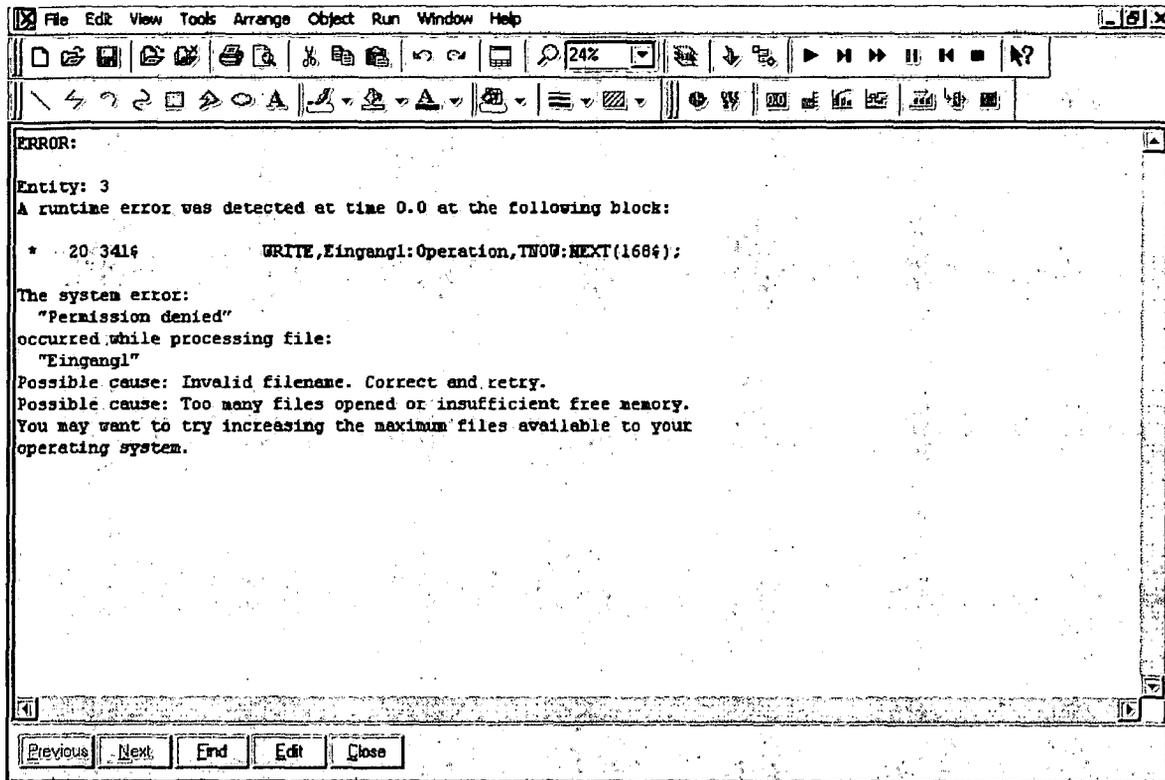


Abb. 8.11. Fehler/Warnings Dialog Box [Template Reference Guide, System Modelling Corporation, 1998]

Dabei können drei verschiedene Arten von Fehler angezeigt werden.

**Fehlerart 1:** Dieser Fehler wird beim Überprüfen des gebauten Modells entdeckt. Also bevor ein Simulationslauf stattfinden. Die dabei auftretenden Fehler können folgende sein: Auf einem grauen Feld, auf dem ein Wert eingegeben werden muss wurde, kein Wert angegeben oder es wurde unbekannte Identifikation verwendet,

**Fehlerart 2:** Diese Fehler treten bei der Kompilation des Modells und beim Verbinden vom SIMAN Modell und Experiment Modell zu einem Ausführungsprogramm auf.

**Fehlerart 3:** Beinhaltet dabei „Run – time“ Fehler.

Wird dabei durch Arena ein Fehler im Modell gefunden, so erfolgt eine Anzeige dieses Fehlers durch die vorhin genannte „Errors/Warning Dialog Box“ (Abb. 8.11.).

Dabei ist ersichtlich, dass bei mehreren Fehlern die Next und Previous Tasten aktiv sind. Durch das Betätigen der Find und Edit Taste kann der Fehler ausgeforscht werden und anschließend durch editieren verändert werden.

Nach erfolgreicher Fehlerbehebung kann jetzt die eigentliche Simulation durchgeführt werden. Doch bevor sie die Simulation starten, müssen Sie einige Run – Optionen oder die Animationsgeschwindigkeit spezifizieren; dies erfolgt durch das Verwenden der Setup und Speed taste.

#### a) SETUP

Wenn nichts besonders in der Setup Dialog Box angegeben wird, läuft die Animation des entwickelten Arena Modells in der bestehenden Arena Umgebung in dem Arbeitsraum.

Es bestehen bei Arena auch andere Möglichkeiten beim Animationslauf. Es kann auch ein Modell zum Laufen gebracht werden, das außerhalb von Arena entwickelt wurde und durch SIMAN kompiliert wurde. Es kann auch ein Animations- Playback – File angelegt werden, um die Animation zu wiederholen ohne das Modell erneut zum Laufen zu bringen. Dabei besteht die Möglichkeiten diese Optionen durch die Setup – Taste des Run Panels zu modifizieren, bevor der Animationslauf durchgeführt wird.

Dabei erscheint eine Setup Dialog Box, welche in Abb. 8.12. dargestellt wird. In dieser Dialogbox ist ersichtlich, dass der Run Typ entweder als „Simulation oder als „Playback“ spezifiziert werden kann. Falls ein Playbacktyp generiert wird, ist noch der File Name des Playbackfiles anzugeben. In dieser Dialogbox ist auch ersichtlich, dass es noch drei andere Tasten gibt. Es handelt sich dabei um folgende:

### 1) Animations- Taste

Die Animationstaste wird verwendet, um die Anzeige am Bildschirm beim Animationslauf an oder abzudrehen.

### 2) Run Programm – Taste

Die Laufprogrammtaste wird verwendet, um einen äußeren Simulationsprogrammfile zur Simulation auszuwählen.

### 3) Generate Playback File - Taste

Die generierte Playbacktaste kontrolliert die Erstellung eines Playbackfiles.

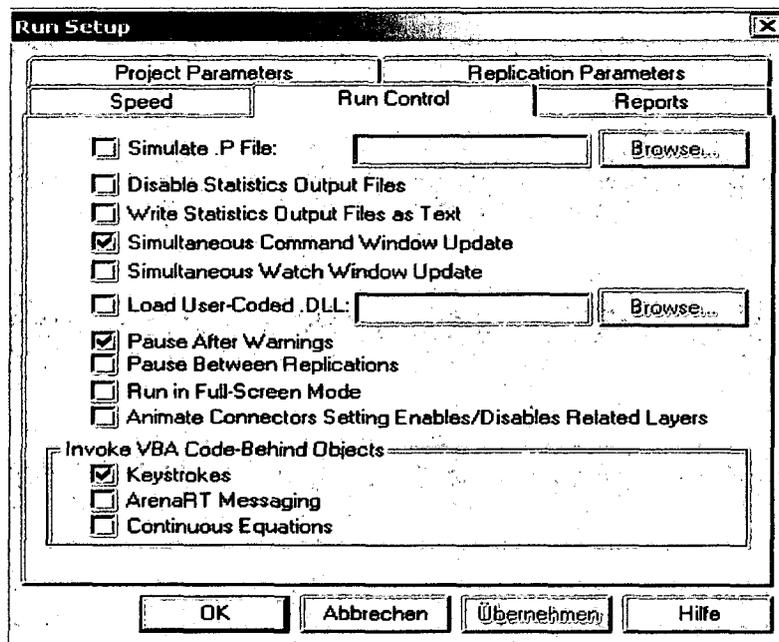


Abb. 8.12. Die Setup Dialogbox [Variables Guide, System Modeling Corporation, 1998]

### b) SPEED

In manchen Fällen ist es erwünscht, dass der Animationslauf schneller oder langsamer, als mit der von Arena initialisierten Geschwindigkeit, durchgeführt wird. Dies kann durch das Aufrufen einer Animations Speed Dialog Box erreicht werden (Abb. 8.13.). Dem Erscheinen der Animation Speed Dialog Box liegt das Betätigen der Speed Taste des Run Panels zugrunde.

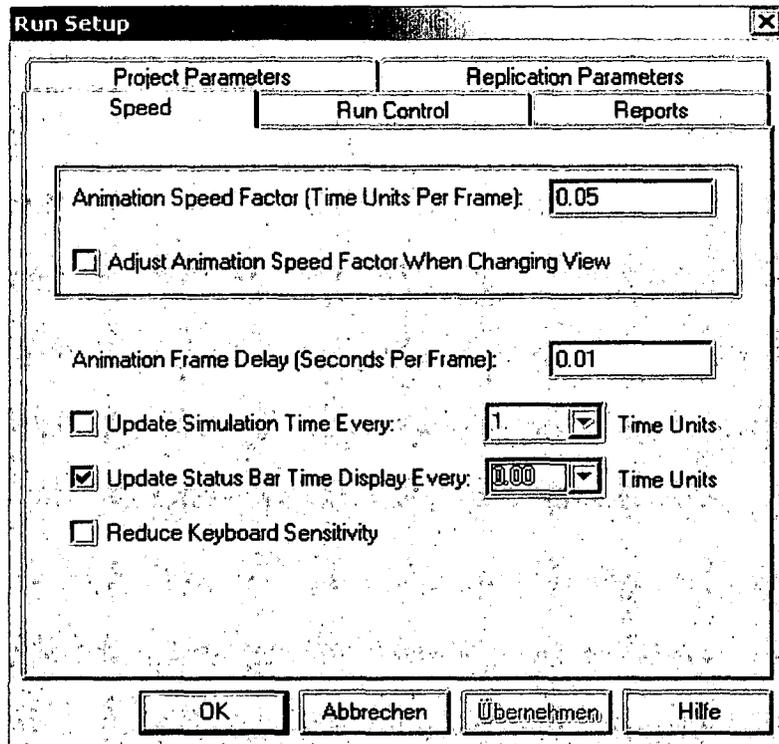


Abb. 8.13. Die Animation Speed Dialog Box [Variables Guide, System Modeling Corporation, 1998]

Die Animation in Arena beruht auf demselben Prinzip wie die Filmanimation. Arena erstellt die Animation durch das Erscheinen einer Serie von Rahmen. Jeder dieser Rahmen präsentiert eine neue und wenig veränderte Ansicht des Systems. Es gibt wie in der Animation Speed Dialog Box ersichtlich zwei Parameter, um die Geschwindigkeit der Animation zu regeln.

### 1) Scale Factor

Der Scale Factor ist die Simulationszeit der aufeinander folgenden Bildschirmupdates.

### 2) Frame Delay

Die Anzahl der Animationsfenster, welche pro Sekunde angezeigt werden, wird durch den zweiten Geschwindigkeitsparameter, der Frame Delay genannt wird, gekennzeichnet. Die Werte spezifizieren die aktuelle Zeit, die jedes Fenster am Bildschirm dargestellt wird. Wenn der Frame Delay auf Null gesetzt wird, wie es in Abb. 8.13. ersichtlich ist, erfolgt die Bestimmung der Frame Delay durch den Computer.

### 3) Minimum Advance

Dies ist ein zusätzlicher Parameter, welcher in der Speed Dialog Box spezifiziert werden kann. Dieser Parameter bestimmt das Aktualisieren der Empfindlichkeit der Simulationsuhr, welche in der Statusregion des Run Panels dargestellt ist.

Jetzt möchte ich noch einige Keyboard Interaktionen erklären, denn während des Simulationslaufes ist der Mouse cursor gesperrt und erscheint nicht am Bildschirm. In diesem Zustand können alle Interaktionen nur mit dem Keyboard gesteuert werden.

#### ○ Unterbrechen des Laufes durch die Escape taste

Die Escape taste versetzt den Mouse cursor wieder in einen aktivierten Zustand.

- *Verkleinern und Vergrößern*

Mit + und – kann man die Abbildung vergrößern oder verkleinern.

- *Geschwindigkeitskontrolle*

Mit > und < kann die Geschwindigkeit der Animation erhöht oder reduziert werden.

Zum Abschluss dieses Kapitels möchte ich noch auf die Möglichkeit des Überprüfens der Modellkomponenten während des Simulationslaufes hinweisen. Dies erfolgt über das View Window (Abb. 8.14.).

```

File Edit View Tools Arrange Object Run Window Help
[Toolbar icons]
33$ TALLY: Audit Customer Account.TotalCostPerEntity,
Diff.WaitCost + Diff.VACost + Diff.NVACost + Diff.TranCost + Diff.OtherCost,1;
58$ ASSIGN: Audit Customer Account.VATime=Audit Customer Account.VATime + Diff.VATime;
59$ TALLY: Audit Customer Account.VATimePerEntity,Diff.VATime,1;
63$ ASSIGN: Audit Customer Account.VACost=Audit Customer Account.VACost + Diff.VACost;
60$ TALLY: Audit Customer Account.VACostPerEntity,Diff.VACost,1;
21$ RELEASE: Senior Biller,1;
51$ STACK, 1:Destroy:NEXT(25$);
25$ ASSIGN: Audit Customer Account.NumberOut=Audit Customer Account.NumberOut + 1;
Audit Customer Account.WIP=Audit Customer Account.WIP-1:NEXT(2$);
;
; Model statements for module: Process 2
;
2$ ASSIGN: Key Bills into Computer.NumberIn=Key Bills into Computer.NumberIn + 1;
Key Bills into Computer.WIP=Key Bills into Computer.WIP+1;
103$ STACK, 1:Save:NEXT(75$);
75$ QUEUE, Key Bills into Computer.Queue;
74$ SEIZE, 1,VA: Billing Clerk,1:NEXT(73$);
73$ DELAY: MinutesToBaseTime(Triangular(2,3,9)),,VA:NEXT(119$);
For Help, press F1

```

Abb. 8.14. Das View Window [Variables Guide, System Modeling Corporation, 1998]

## 8.4.2. Blockdiagramm – Modelle

Bei dieser verwendeten Software bewegen sich Entities von Block zu Block, wo sie Veränderungen unterliegen. Diese Veränderungen werden durch Blockfunktionen bestimmt. Es werden verschiedene Arten von Blockfunktionen unterscheiden, wobei drei einer weiteren Unterteilung unterliegen. Die Blockfunktionen sind:

### 8.4.2.1. Die Blockfunktionen

OPERATION	Dieser Block wird zur Modellierung einer großen Zahl von später genannten Prozessen benutzt
-----------	---

TRANSFER	Dieser Block stellt Materialbewegungen zwischen den Stationen dar.
HOLD	Dieser Block unterbricht die Bewegung des Entity, wie im Systemstatus vorgesehen ist. Vor HOLD Blöcken muss immer Platz für mögliche Warteschlangen sein.
QUEUE	Dieser Block bereitet Platz für wartende Entities Er steht vor HOLD oder MATCH Blöcken
STATION	Dieser Block definiert die Schnittstellen zwischen Modellteilen und Transportsystemen.
BRANCH	Definiert Verzweigungen im Modell
PICK	Dieser Block wird benützt, um aus einer Reihe folgender QUEUE Blöcke zu wählen.
SELECT	Dieser Block wird verwendet, um zwischen Resources, die mit anschließenden OPERATION Blöcken in Verbindung stehen, zu wählen
MATCH	Dieser Block behält Entities in einer Reihe vorstehender QUEUE Blöcke bis Entities mit demselben Wert eines festgelegten Attributes in jeder QUEUE sind.

#### 8.4.2.2. Die Operations- Blöcke

##### Generelle Funktionen

ASSIGN	Weist Variablen und Attributen einen Wert zu
CREATE	Schafft eine Reihe (batch) von Ankünften im System
DELAY	Verzögert das Entity für eine festgelegte Zeitspanne
DETECT	Löst ein Statusereignis verbunden mit einer stetigen Variablen aus
EVENT	Löst ein spezielles Ereignis aus
FIND	Findet den Wert J bei festgelegten Bedingungen
SIGNAL	Sendet ein Signal, um die Verzögerung eines Entity zu beenden
SPLIT	Teilt eine Gruppe in ihre Bestandteile

##### Ressource Funktionen:

ALTER	Ändert die Kapazität einer Resource
RELEASE	Lässt Einheiten einer bestimmten Resource

##### Materialtransport Funktionen:

ACTIVATE	Setzt den Status eines bestimmten Transporters aktiv
EXIT	Verlässt ein bestimmtes Förderband
FREE	Verlässt einen bestimmten Transporter
HALT	Setzt den Status eines bestimmten Transporters inaktiv
START	Setzt den Status eines bestimmten Förderbandes aktiv
STOP	Setzt den Status eines bestimmten Förderbandes inaktiv

##### File Funktionen

COPY	Kopiert die Attribute eines Entity in einer bestimmten Warteschlange
REMOVE	Nimmt ein Entity aus einer bestimmten Warteschlange

SEARCH	Durch eine Warteschlange nach einem Entity, welches eine bestimmte Bedingung erfüllt
--------	--

#### Statische Funktionen

COUNT	Schafft einen bestimmten Zähler
TALLY	Hält die Beobachtung eines bestimmten Wertes fest

#### 8.4.2.3. *Die Transfer Blöcke*

##### Materialtransport Funktionen:

CONVEY	Befördert ein Entity zu einer bestimmten Station mittels eines Förderbandes. Die Transportzeit wird durch die Distanz zwischen den Stationen und der Geschwindigkeit des Förderbandes von ARENA automatisch errechnet.
ROUTW	Befördert ein Entity zu einer bestimmten Station. Die Transportzeit wird in einem Operanden der Station festgelegt.
TRANSPORT	Befördert ein Entity zu einer bestimmten Station. Die Transportzeit ist proportional zu der Entfernung zwischen den Stationen

#### 8.4.2.4. *Die HOLD Blöcke*

##### Bedienungsfunktionen:

SCAN	Hält ein Entity bis zur Erfüllung einer bestimmten Bedingung fest.
WAIT	Hält ein Entity bis zur Erfüllung eines Signals von einem SIGNAL Block fest.

##### Resource Funktionen:

SEIZE	Hält ein Entity fest, bis eine bestimmte Zahl von Einheiten einer Resource leer und dem Entity zugeordnet sind.
PREEMPT	Hält ein Entity fest, bis eine Einheit einer Resource für das Entity reserviert ist. Das Entity kann eine Resource sofort nach seinem Eintreten in das System für sich Voreinnehmen.

##### Materialtransport Funktionen

ACCESS	Hält ein Entity fest, bis eine bestimmte Zahl von einander folgenden Zellen eines Förderbandes leer ist und dem Entity zugeordnet wird.
REQUEST	Hält ein Entity fest, bis ein Transporter dem Entity zugeordnet ist und dessen momentanen Standpunkt erreicht hat.

Gruppen Funktionen:

COMBINE	Hält ein Entity fest, bis eine festgesetzte Anzahl von Entities in dem davor stehenden QUEUE Block vorhanden ist. Tritt dies ein werden die wartenden Entities zu einer Gruppe zusammengefasst. Ein Repräsentant für diese Gruppe wird geschaffen, die Original Entities werden zerstört.
GROUPE	Hält ein Entity fest, bis eine festgesetzte Anzahl von Entities in dem davor stehenden QUEUE Block vorhanden ist. Tritt dies ein werden die wartenden Entities zu einer temporären Gruppe geschaffen, die Original Entities werden jedoch behalten. Die Gruppe kann durch SPLIT Block wieder geteilt werden.

**8.4.2.5. Einige SIMAN Attribute und Variable**

A (N)	Attribut eines Entities.
M	Attribut eines Entities, die momentane Station enthalten.

Benutzerdefinierte Variablen:

X (N)	Globale Systemvariable N
S (N)	Statusvariable N
D (N)	Ableitung von SN
J	Integer Systemindexvariable
P (IP,IS)	Wert des Parameters IS im Parameterset IP

**8.4.2.6. Einige SIMAN Systemstatusvariable**

TNOW	Momentane Simulationszeit
NQ (N)	Anzahl von Entities in Wartenschlange
NR (N)	Anzahl der beschäftigten Einheiten der Resource N
NT (N)	Anzahl der beschäftigten Einheiten des Transporters N
MR (N)	Anzahl der Einheiten der Resource N
MT (N)	Anzahl der Einheiten des Transporters N

**8.4.2.7. Einige SIMAN Zufallsverteilungen**

RA (IS)	Eine Gleichverteilung zwischen 0 – 1 von Strom IS
EX (IP,IS)	Exponentialverteilung mit Parameterset IP
UN (IP,IS)	Gleichverteilung
RN (IP,IS)	Normalverteilung
GA (IP,IS)	Gammaverteilung
BE (IP,IS)	Betaverteilung
NP (IP,IS)	Poissonverteilung
DP (IP,IS)	Benutzerdefinierte diskrete Wahrscheinlichkeitsverteilung
CP (IP,IS)	Benutzerdefinierte stetige Wahrscheinlichkeitsverteilung

Tafelfunktionen:

TF (N, VAR)	Wert aus Tafel N abhängig von der unabhängigen Variablen VAR
-------------	--

**8.4.2.8. Rahmenbedingungen von Blöcken**

PROJECT	Erzeugt die Überschrift des Outputs
DICRETE	Definiert die Anzahl der Entities, Attribute und Files (queues)
TALLIES	Erzeugt Statistiken in diskreten Modellen
COUNTER	Erzeugt Zähler in diskreten Modellen
RESOURCES	Definiert die Resources
PARAMETERS	Definiert die Parameter
REPLICATE	Definiert Anzahl der Simulationsläufe und deren Beginn- und Endzeit
DSTAT	Erzeugt zeitabhängig Statistiken in diskreten Modellen
TRANCE	Verfolgt die Spur eines Entities im Modell

**8.5. Die Submodelle des flexiblen Motormontagesystems**

Bei der Erstellung des Simulationsmodells des flexiblen Motormontagesystems wurden zuerst für die markanten Stellen des Systems so genannte Submodelle zum leichtern Verständnis gebaut. Diese Submodelle sind:

- Das Durchgangs – Submodell,
- Das Verzweigungs- Submodell,
- Das Vereinigungs- Submodell,
- Das Tränungs- Submodell,

**8.5.1. Das Durchgangs – Submodell**

Bei diesem Modell ist ersichtlich, das vom Arrive – Block zur Maschine 1 und weiter zur Maschine 2 und anschließend zum Ende – Block ein einziges Förderband verwendet wird.

Dieser Ansatz ist für das Simulationsmodell wichtig, da das Modell ein einziges Förderband, das im Kreislauf angeordnet ist beinhalten (siehe Abb. 8.15.).

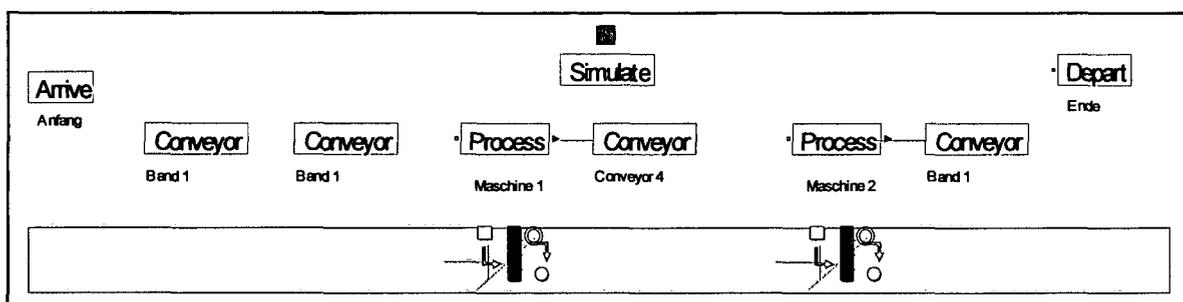


Abb. 8.15. Das Durchgangs- Submodell

### 8.5.2. Das Verzweigungs- Submodell

Dieses Submodell stellt eine weitere Teillösung des gesamten Modells dar. In diesem Submodell ist ersichtlich, dass ein so genannter „Choose“ – Block verwendet wird. Dieser Block stellt eine Verzweigung dar. Dabei wird durch das Vergleichen der Längen der Warteschlangen vor den beiden Maschinen 1 und 2 eine optimale Zuführung durch die Förderbänder 1 und 2 zu den Maschinen angestrebt. Dies erfolgt über die If –Anweisung, die in der Abb. 8.16. ersichtlich ist. Der zweite Ausgang des Choose – Block wird einfach mit „else“ angegeben. In diesem konkreten Beispiel wird ein Entity auf das Förderband 1 gesetzt, wenn die Länge der Warteschlange vor der Maschine 1 kleiner als die der Maschine 2 ist. Wenn die Warteschlange vor der Maschine 1 also größer oder gleich der Warteschlange vor der Maschine 2 ist, wird das Entity dem Förderband 2 übergeben. Dabei wird im Submodell die Else – Anweisung im Choose – Block verwendet.

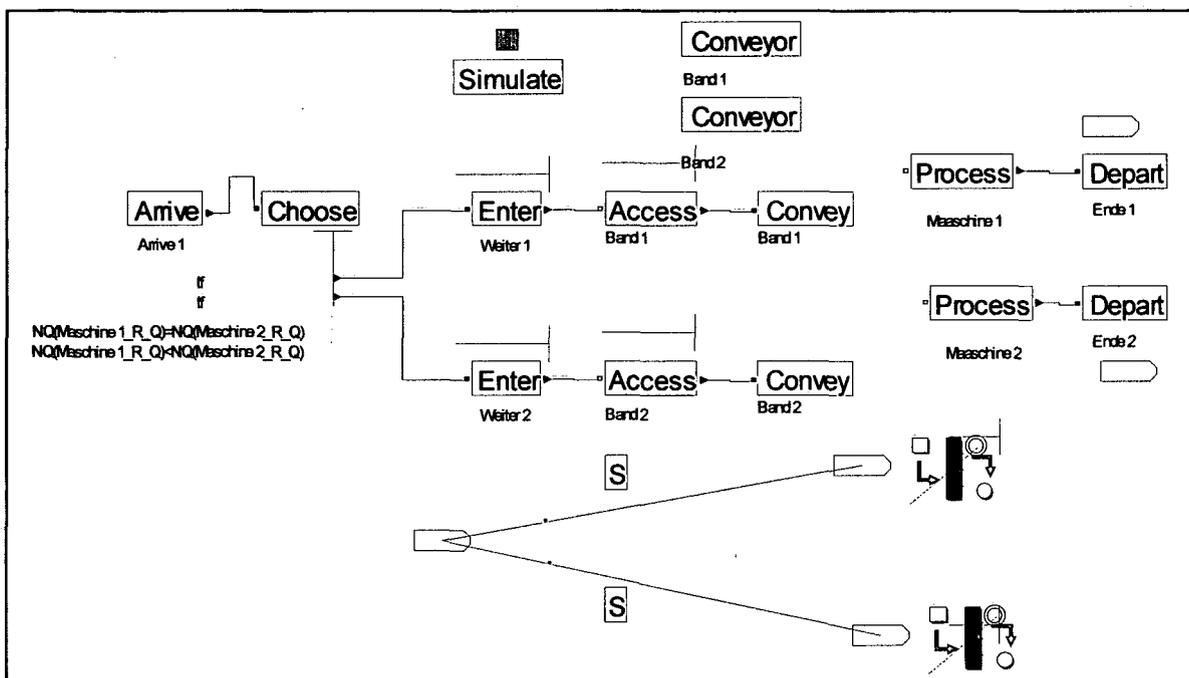


Abb. 8.16. Das Verzweigungs- Modell

### 8.5.3. Das Vereinigungs- Submodell

Dieses Submodell stellt ebenfalls ein wichtiges Detail im Simulationsmodell dar. Bei diesem Vereinigungsmodell werden drei Entityflüsse zu einem einzigen vereinigt. Dies erfolgt über der Verwendung des „Match“ und des „Batch“ Blockes. Dabei werden über die drei Arrive - Blöcke drei Entityflüsse aktiviert. Danach warten die Entity vor dem Match – Block, bis gleichzeitig drei verschiedene Entities vor dem Block vorhanden sind. Hierauf werden diese drei Entities durch den Batch – Block zu einem Entity zusammengesetzt. Dies ist in Abb. 8.17. ersichtlich. Dabei besteht durch das Zusammenlegen von mehreren Entities zu einem später die Möglichkeit diese wieder auseinander zu zerplatzen. Im nächsten Submodell wird auf diese Möglichkeit näher eingegangen.

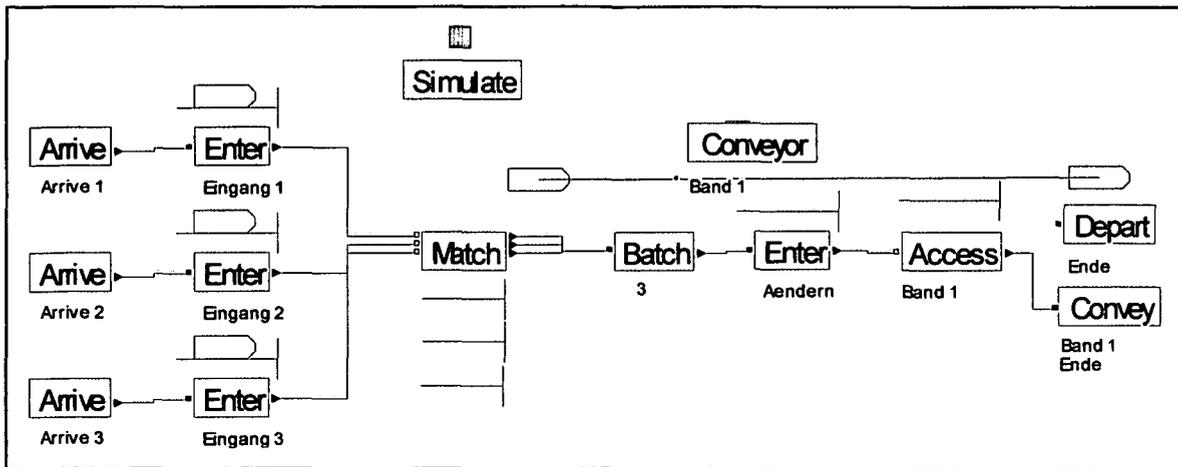


Abb. 8.17. Das Vereinigungs- Submodell

### 8.5.4. Das Tränungs- Submodell

Bei diesem Untermodell wird wie vorhin beschreiben das aus mehreren Entities zu einem Vereinigten wieder getrennt. Dies erfolgt über das so genante Split – Block. Bei diesem Modell wurde das Vereinigungs – Submodell verwendet und mit dem Trenndetail ausgebaut. Dabei fällt in Abb. 8.18. auf, dass ein „Split“ und anschliessend ein „Choose“ Block verwendet werden. Nachdem die Entities durch den Split – Block getrennt wurden, werden die verschiedenen Entities nach ihren Attributen durch den Choose – Block aufgeteilt. Ein Entityfluss fließt entlang einem Förderband (Band 1) zu der Maschine. Der andere Entityfluss geht gleich nach verlassen des Choosezweiges in das Depart – Modul Ende.

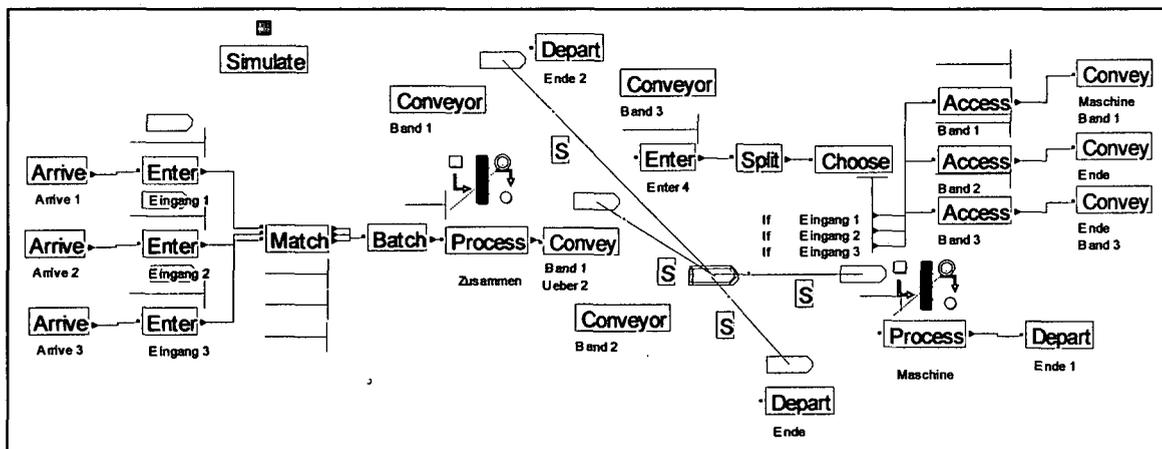


Abb. 8.18. Das Trennungs- Submodell

### 8.6. Steuerungsstrategien

Nachdem das Simulationsmodell fertig gestellt wurde (Abb. 8.19), kann nun mit der Entwicklung von Experimenten begonnen werden. Dabei sollte in dieser Arbeit nur auf die wesentlichen Faktoren, die das Verhalten des Simulationsmodells beeinflussen, eingegangen werden. Sie sollten nicht eine Nebenrolle spielen und nur einige Prozentpunkte des Simulationsergebnisses verändern. Bei dem auftretenden Verhalten des

Simulationsmodell sollten im Weiteren mögliche Steuerungsstrategien entwickelt werden, um eine möglichst optimale wirtschaftliche Gesamtlösung erreichen zu können.

Bei diesem Modell möchte ich auf drei Bereiche näher eingehen. Es stellt sich dabei die Frage: Wie verändert sich die Durchlaufzeit für einen gefertigten Motor, wenn man mögliche Szenarien einleitet?

Mögliche Szenarien sind der Einfluss von unterschiedlichen Palettenanzahlen oder der Wechsel des Motorentyps, das Auftreten eines oder mehreren Maschinenausfälle oder der Ausfall eines Bandes. Diese möglichen Einflüsse möchte ich in den nächsten Untergruppen näher analysieren.

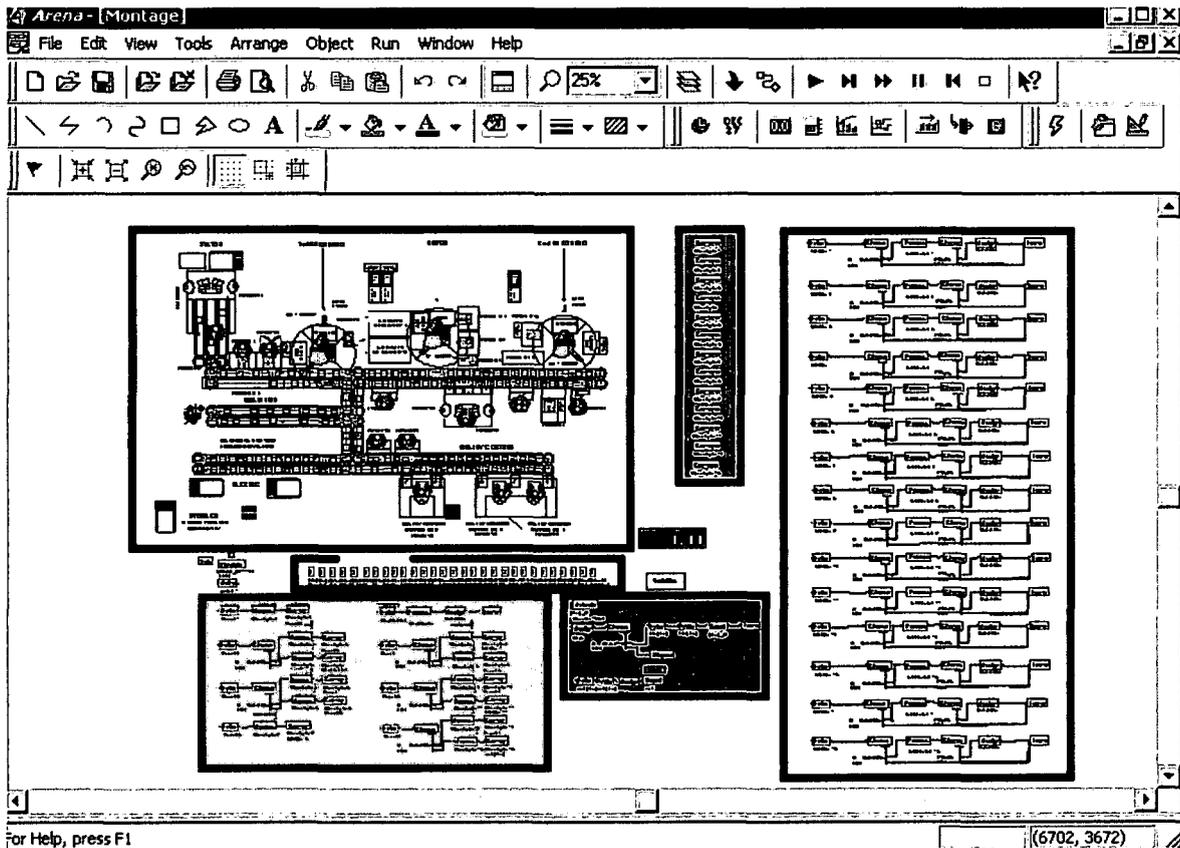


Abb. 8.19. Simulationsmodell eines flexiblen Motormontagesystems

### 8.6.1. Palettenanzahl

Die Palettenanzahl stellt eine wichtige Komponente bei den Veränderungen der Montagezeiten der fertigen Motoren dar. Daneben ist einfach zu erkennen, dass eine geringere Palettenanzahl eine Erhöhung der Durchlaufzeit eines Motors hervorruft. Aber auch eine Erhöhung der Palettenanzahl bringt eine Erhöhung dieser Durchlaufzeit. Dabei wirken sich vor allem das Einschleusen der Paletten von einem Nebenband auf das Hauptband, welches einen Kreislauf beschreibt, aus. Zwischen diesen beiden Palettenanzahlen liegt die „Optimale Palettenanzahl“. Um diese zu ermitteln, wurden verschiedene Simulationsläufe durchgeführt.

Dabei wurde in dieser Arbeit bei jedem Simulationslauf die Palettenanzahl ansteigend erhöht und diese Simulationsläufe auf 100 fertig gestellte Motoren bezogen. Die dabei gemessene Simulationszeit zeigt bei einer bestimmten Palettenanzahl ein Minimum an. Die

zu diesem Minimum zugehörige Palettenanzahl stellt die Optimale Palettenanzahl dar (Abb. 8.20.).

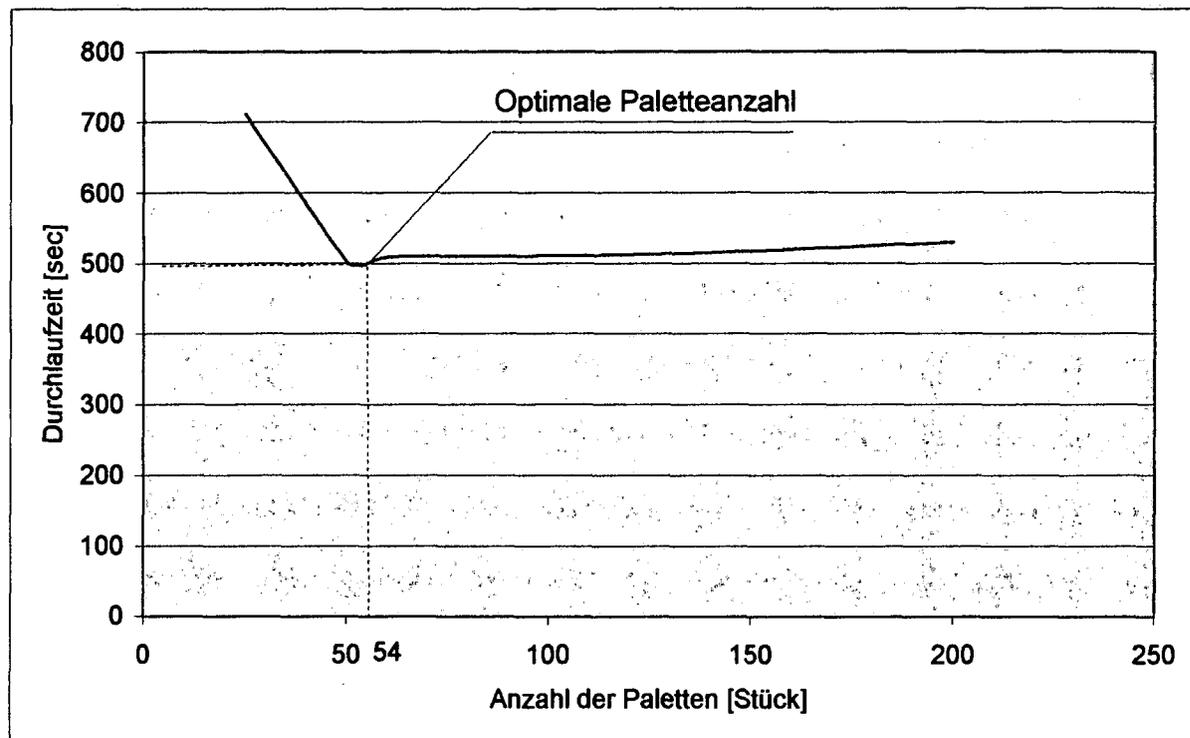


Abb. 8.20. Optimale Palettenanzahl

Varianten	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Anzahl der Paletten [Stück]	25	50	54	55	60	75	100	125	150	200
Durchlaufzeit [sec]	712	502	497	500	509	510	511	513	517	530

Tab. 8.1. Optimale Palettenanzahl – Ergebnisse

Dieses Diagramm zeigt, dass der Graph einer Parabel annähernd gleich kommt. Durch probieren wurde eine Optimale Palettenanzahl dieses speziellen, komplexen Systems und dieses speziellen Motorentypes bei Berücksichtigung einer bestimmten Fehleranzahl bei 54 Paletten festgestellt. Es zeigt sich auch, dass zu geringeren Palettenanzahlen hin die Kurve steiler ansteigt, als dies bei höheren Palettenanzahlen zu erkennen ist. Die Ursache lässt sich dabei aus den Auslastungsdiagrammen, die im Anhang angeführt sind, erkennen. Es zeigt sich, dass die Auslastung bei geringer Palettenanzahl wesentlich geringer ist, als bei höherer Palettenanzahl. Dieser Einfluss ist dominierend gegenüber dem, dass bei höherer Palettenanzahl der Anteil an fehlerhaften Motoren höher ist.

### 8.6.2. Just – In - Time (JIT), KANBAN Steuerungsstrategie

Unter dem Just – In - Time (JIT)-Prinzip versteht man die Bereitstellung von Materialien zum spätest möglichen Zeitpunkt, so dass die Erzeugnisse gerade noch rechtzeitig fertig

werden. Zu jeder Zeit soll auf allen Stufen der Beschaffung, Fertigung und Distribution nur so viel und nur dann beschafft, produziert und verteilt werden, wann unbedingt nötig.

Das japanische **Kanban - Prinzip** (Kanban bedeutet *Karte* oder *Schein*) ist ein weit verbreitetes und bekanntes verbrauchsgesteuertes System für überwiegend gleich bleibenden Materialfluss. Die Kanban - Karte ist ein Produktionssteuerungsinstrument, das Anweisungen zur Erzeugung, Förderung und Lagerung von Materialien bewirkt. Das Kanban Hol-System benutzt mehrere Kartensätze um den Arbeitsprozess zwischen den Stationen zu kontrollieren. Eine Fertigung findet nur dann statt, wenn das Rohmaterial vorhanden und ihm eine Kanban - Karte beigelegt ist, welche die Bearbeitung des Materials gestattet.

Abb. 8.21. zeigt einen solchen Regelkreis für eine Kanban - Karte. Jede Kanban - Karte, die zwischen den Arbeitsstationen eingesetzt ist, gibt das Material frei für die nächste Bearbeitungsstation und den Auftrag neues Material für die vorige Station zu liefern. Beispiel: Der Kartensatz 2 (zwischen Station 1 und 2) schickt einen Auftrag in die Warteschlange (vor Station 1) und gibt Order damit Rohmaterial in Arbeitsstation 1 bearbeitet wird und an Arbeitsstation 2 geliefert wird.

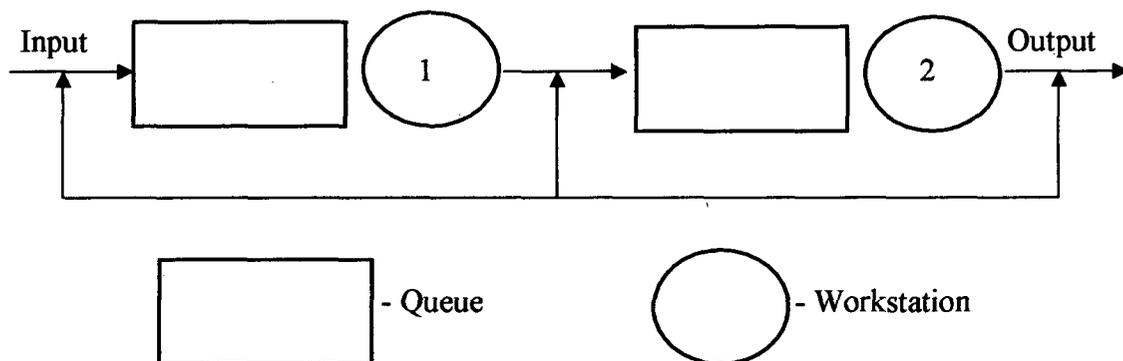


Abb. 8.21. Just - In - Time (JIT), KANBAN Steuerungsstrategie

Bei der Betrachtung dieser KANBAN Strategie möchte ich auf zwei Fälle eingehen.

#### a) Totalausfall

Bei einem Totalausfall wird das gesamte System in Stillstand versetzt. Dabei werden die Maschinen und die Förderbänder abgestellt. Danach können alle Paletten von den Maschinen und Bändern heruntergenommen werden. Die auf den Paletten montierten Teile werden von diesen abgeschraubt und anschließend kann ein erneuter Start, bei dem man dem System wieder die Paletten zuführt, erfolgen. Bei unserem Modell darstellen die Ergebnisse einen Totalausfall in der Tab. 8.2. und in Abb. 8.22.

Varianten	A (0;0)	B (60;60)	C (60;120)	D (120;60)	E (120;120)
Durchlaufzeit (15 min)	526	647	589	650	555
Durchlaufzeit (30 min)	519	946	647	895	658

Tab. 8.2. Totalausfall - Ergebnisse

In der Tab. 8.2. und Abb. 8.22. sind sowohl die Durchlaufzeiten die Variante von der 15 Minute und auch die Durchlaufzeiten die Variante von der 30 Minute aufgeleitet.

Für jede Variante werden folgende Daten angegeben:

- Die Zeit ersten Ausfall
- Die Zeit zwischen zwei Ausfälle.

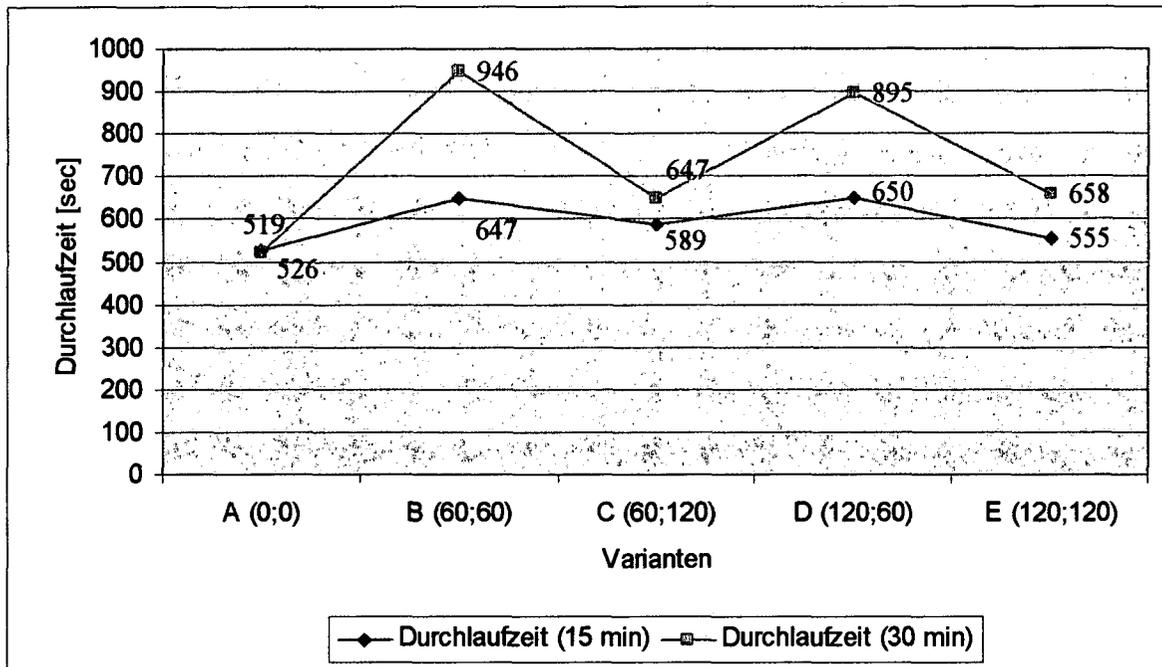


Abb. 8.22. Totalausfall – Durchlaufzeit

**b) Teilausfall**

Bei einem Teilausfall fallen nur einzelne Maschinen hin und wieder aus. Da bei dieser Art das völlige Entleeren der Bänder und Maschinen keine wirtschaftliche Bedeutung hätte, erfolgt der Ersatz der Maschine, die ausfällt, durch manuelle Überbrückung. Dabei übernimmt ein Arbeiter die Funktionen der Maschine. Dies erfolgt nur so lange, bis die ausgefallene Maschine, die in der Zwischenzeit repariert wird, wieder funktionsfähig ist. Es ist natürlich leicht vorstellbar, dass sich die Zeiten, bis die Motoren fertig gestellt sind, erhöhen werden (Tab. 8.3. und Abb. 8.23).

EXP (Mean)	NORM (Mean, St.Dev)	Ohne Ausfall	Durchlaufzeit EXP	Durchlaufzeit NORM	Durchlaufzeit OHNE
Exp (0)	Norm (0, 5)	Const.	551	506	489
Exp (1)	Norm (1, 5)	Const.	513	505	489
Exp (2)	Norm (2, 5)	Const.	561	534	489
Exp (5)	Norm (5, 5)	Const.	602	554	489
Exp (20)	Norm (20, 5)	Const.	973	917	489

Tab. 8.3. Teilausfall - Ergebnisse

In der Tab. 8.3. und Abb. 8.23. sind die Motordurchlaufzeiten Exponentiale (EXP) und Normale (NORM) Verteilungen von Ausfallzeitdauer aufgeleitet.

Für jede Verteilungsvariante werden folgende Daten angegeben:

- Die Verteilung von Ausfallzeitdauer beim Mittelwert 0,
- Die Verteilung von Ausfallzeitdauer beim Mittelwert 1,

- Die Verteilung von Ausfallzeitdauer beim Mittelwert 2,
- Die Verteilung von Ausfallzeitdauer beim Mittelwert 5,
- Die Verteilung von Ausfallzeitdauer beim Mittelwert 20,
- Zusätzlich für normale Verteilung 5 als Standard Deviation.

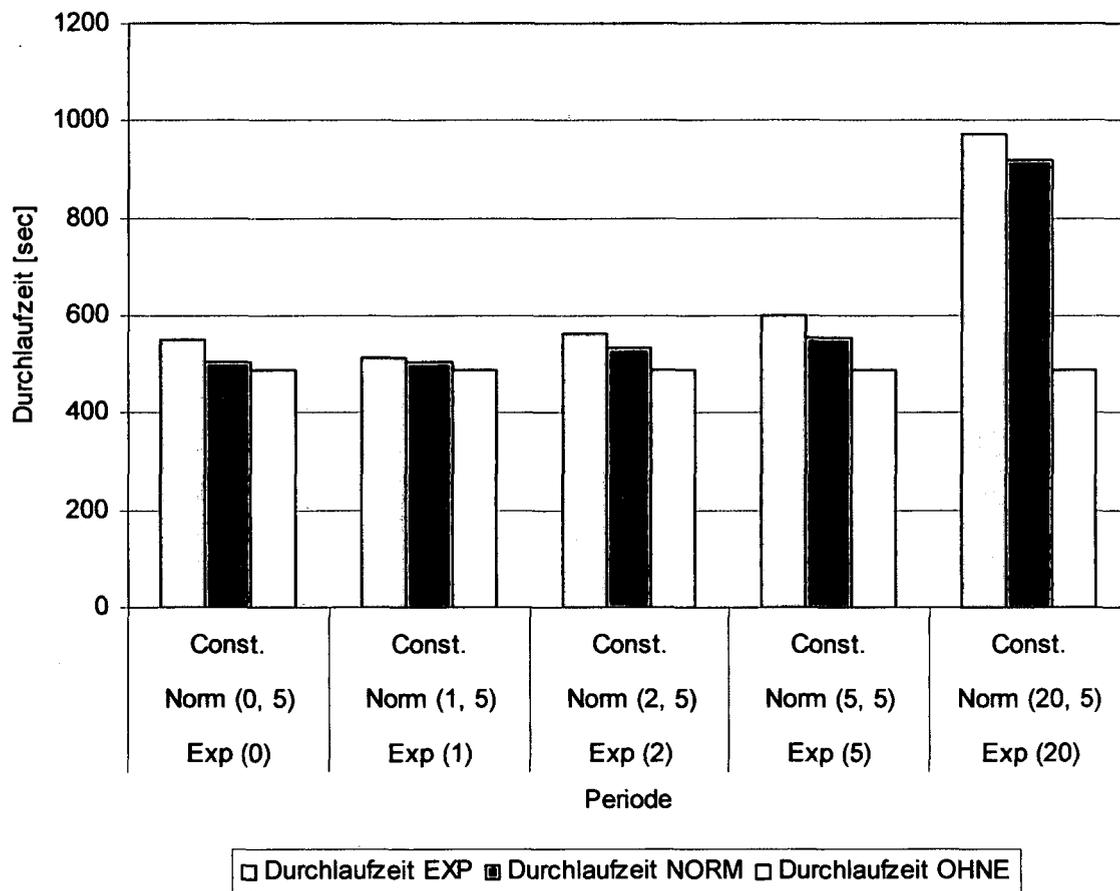


Abb. 8.23. Teilausfall – Durchlaufzeit

### 8.6.3. CONWIP Steuerungsstrategie

Im Gegensatz zu Kanban benutzt das **Conwip** (CONstant Work In Progress) Hol-System einen einzigen globalen Kartensatz um den Arbeitsprozess im System, egal wo, zu kontrollieren. Material wird beim Conwip System nur dann bereitgestellt, wenn eine Nachfrage danach herrscht. Das Rohmaterial erhält dann eine Karte, die es ermächtigt in das System zu gelangen und den gesamten Produktionsprozess zu durchlaufen.

Wenn das fertige Produkt das System verlässt, wird die Karte freigegeben, um es neuem Material zu ermöglichen in das System zu gelangen, falls eine Nachfrage vorliegt. Es ist zu beachten, dass der Arbeitsprozess nicht auf der Ebene einer einzelnen Arbeitstation überwacht wird. Der gesamte Arbeitsprozess im System ist eine Konstante (daher der Name Conwip); der gesamte Arbeitsaufwand für das Kartenlimit liegt irgendwo im System. Das Kanban System (Abb. 8.21.) verteilt die Arbeit zwischen jedem einzelnen

Paar von Arbeitsstationen, während das Conwip System (Abb. 8.24.) die Arbeit nur am Beginn des Systems verteilt.

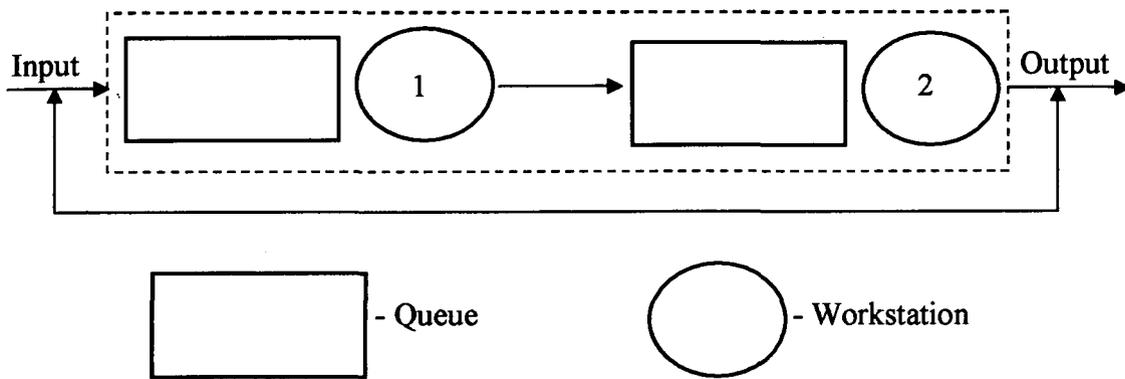


Abb. 8.24. CONWIP Steuerungsstrategie

Bei der Betrachtung dieser CONWIP Strategie möchte ich auch auf zwei Fälle eingehen und am Ende möchte ich die zwei Strategien miteinander vergleichen (Tabelle 8.6. und Tabelle 8.7. und auch Abb. 8.27. und Abb. 8.28.).

**a) Totalausfall**

Bei einem Totalausfall wird das gesamte System in Stillstand versetzt. Bei unserem Modell darstellen die Ergebnisse bei einem Totalausfall (CONWIP Steuerungsstrategie) in der Tab. 8.4. und in Abb.8.25.

Varianten	A (0;0)	B (60;60)	C (60;120)	D (120;60)	E (120;120)
Durchlaufzeit (15 min)	538	659	588	639	570
Durchlaufzeit (30 min)	537	1009	693	935	658

Tabelle 8.4. Totalausfall – Ergebnisse

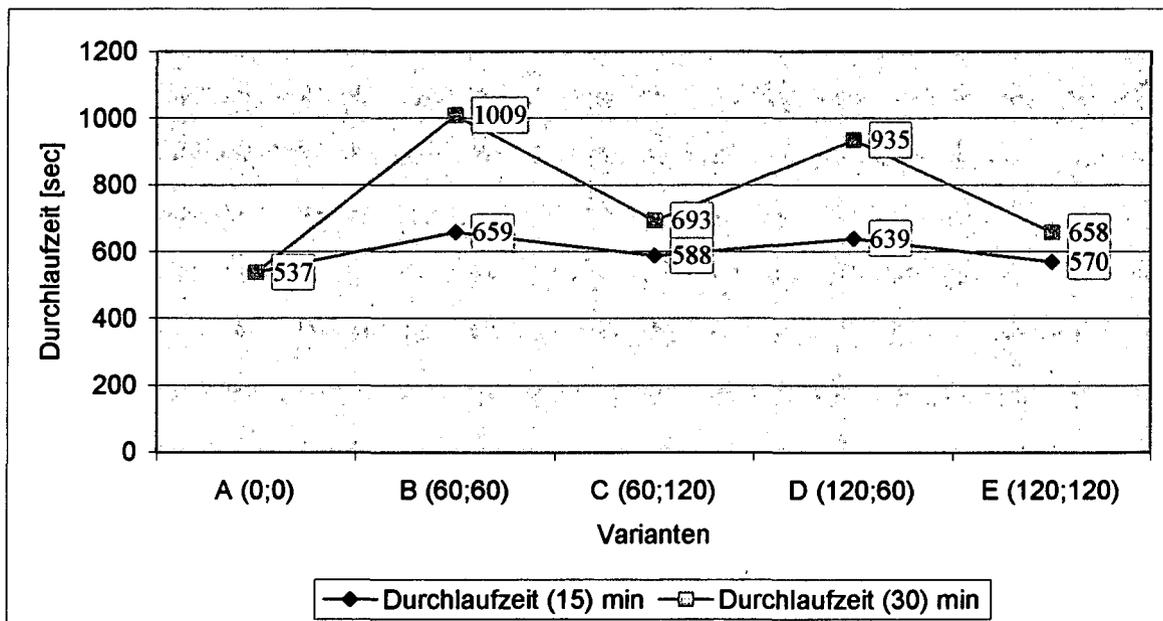


Abb. 8.25. Totalausfall – Durchlaufzeit

In der Tab. 8.4. und Abb. 8.25. sind sowohl die Durchlaufzeiten die Variante von der 15 Minute und auch die Durchlaufzeiten die Variante von der 30 Minute aufgeleistet.

Für jede Variante werden folgende Daten angegeben:

- Die Zeit ersten Ausfall,
- Die Zeit zwischen zwei Ausfälle.

### b) Teilausfall

Bei einem Teilausfall fallen nur einzelne Maschinen hin und wieder aus. Bei unserem Modell darstellen die Ergebnisse bei einem Teilausfall (CONWIP Steuerungsstrategie) in der Tab. 8.5. und Abb. 8.26.

<i>EXP (Mean)</i>	<i>NORM (Mean, St.Dev)</i>	<i>Ohne Ausfall</i>	<i>Durchlaufzeit EXP</i>	<i>Durchlaufzeit NORM</i>	<i>Durchlaufzeit OHNE</i>
Exp (0)	Norm (0, 5)	Const.	595	624	511
Exp (1)	Norm (1, 5)	Const.	601	660	511
Exp (2)	Norm (2, 5)	Const.	639	640	511
Exp (5)	Norm (5, 5)	Const.	604	742	511
Exp (20)	Norm (20, 5)	Const.	1218	1151	511

Tab. 8.5. Teilausfall – Ergebnisse

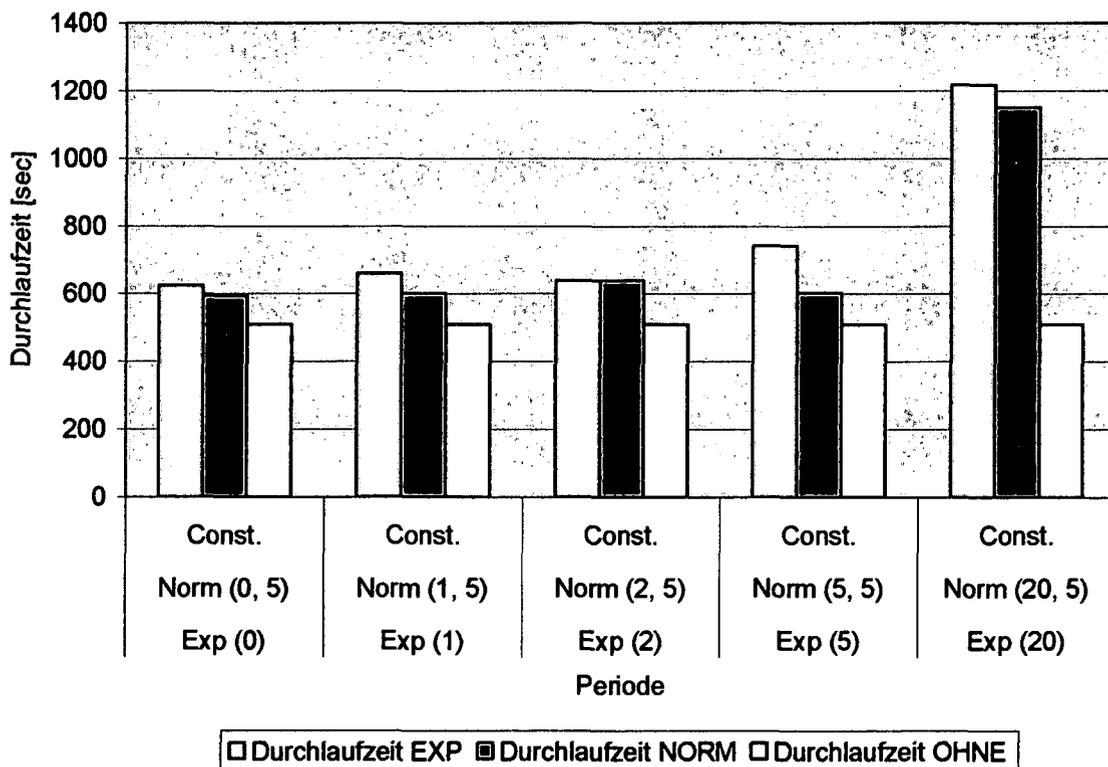


Abb. 8.26. Teilausfall - Durchlaufzeit

In der Tab. 8.5. und Abb. 8.26. sind die Motorendurchlaufzeiten Exponentiale (EXP) und Normale (NORM) Verteilungen von Ausfallzeitdauer aufgeleistet.

Für jede Verteilungsvariante werden folgende Daten angegeben:

- Die Verteilung von Ausfallzeitdauer beim Mittelwert 0,
- Die Verteilung von Ausfallzeitdauer beim Mittelwert 1,
- Die Verteilung von Ausfallzeitdauer beim Mittelwert 2,
- Die Verteilung von Ausfallzeitdauer beim Mittelwert 5,
- Die Verteilung von Ausfallzeitdauer beim Mittelwert 20,
- Zusätzlich für normale Verteilung 5 als Standard Deviation.

Varianten	A (0;0)	B (60;60)	C (60;120)	D (120;60)	E (120;120)
Durchlaufzeit (15 min) - Kanban	526	647	589	650	555
Durchlaufzeit (30 min) - Kanban	519	946	647	895	658
Durchlaufzeit (15 min) - Conwip	538	659	588	639	570
Durchlaufzeit (30 min) - Conwip	573	1009	693	935	658

Tab. 8.6. Totalausfall – KANBAN/CONWIP – Ergebnisse

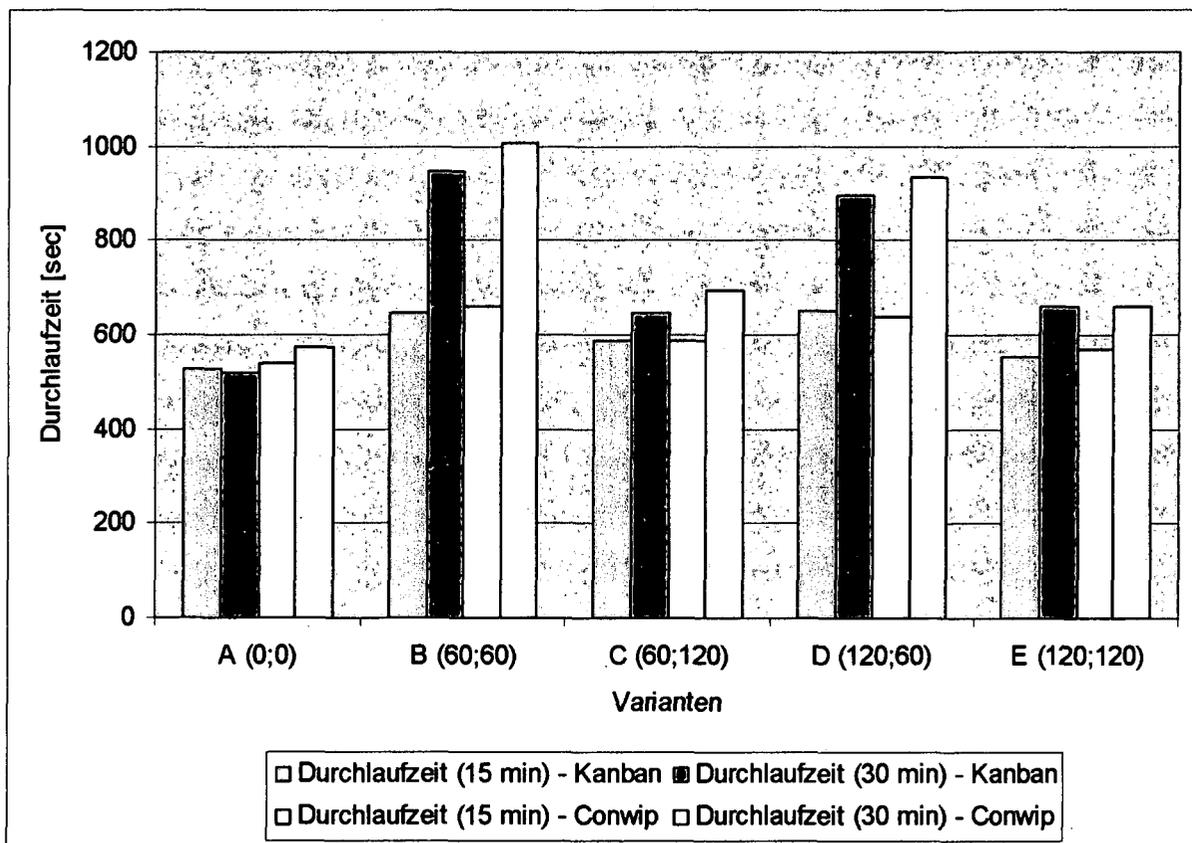


Abb. 8.27. Totalausfall – KANBAN/CONWIP

In der Tab. 8.6. und Abb. 8.27. sind die Durchlaufzeiten KANBAN Steuerungsstrategie also auch die Durchlaufzeiten CONWIP Steuerungsstrategie aufgeleitet.

Für jede Variante werden folgende Daten angegeben:

- Die Zeit ersten Ausfall,
- Die Zeit zwischen zwei Ausfälle.

EXP. (Mean)	NORM. (Mean, St.Dev)	Durchlaufzeit EXP. KANBAN	Durchlaufzeit NORM. KANBAN	Durchlaufzeit EXP. - CONWIP	Durchlaufzeit NORM. CONWIP
Exp (0)	Norm (0, 5)	506	551	595	624
Exp (1)	Norm (1, 5)	505	513	601	660
Exp (2)	Norm (2, 5)	534	561	639	640
Exp (5)	Norm (5, 5)	554	602	604	742
Exp (20)	Norm (20, 5)	973	917	1218	1151

Tab. 8.7. Teilausfall – KANBAN/CONWIP - Ergebnisse

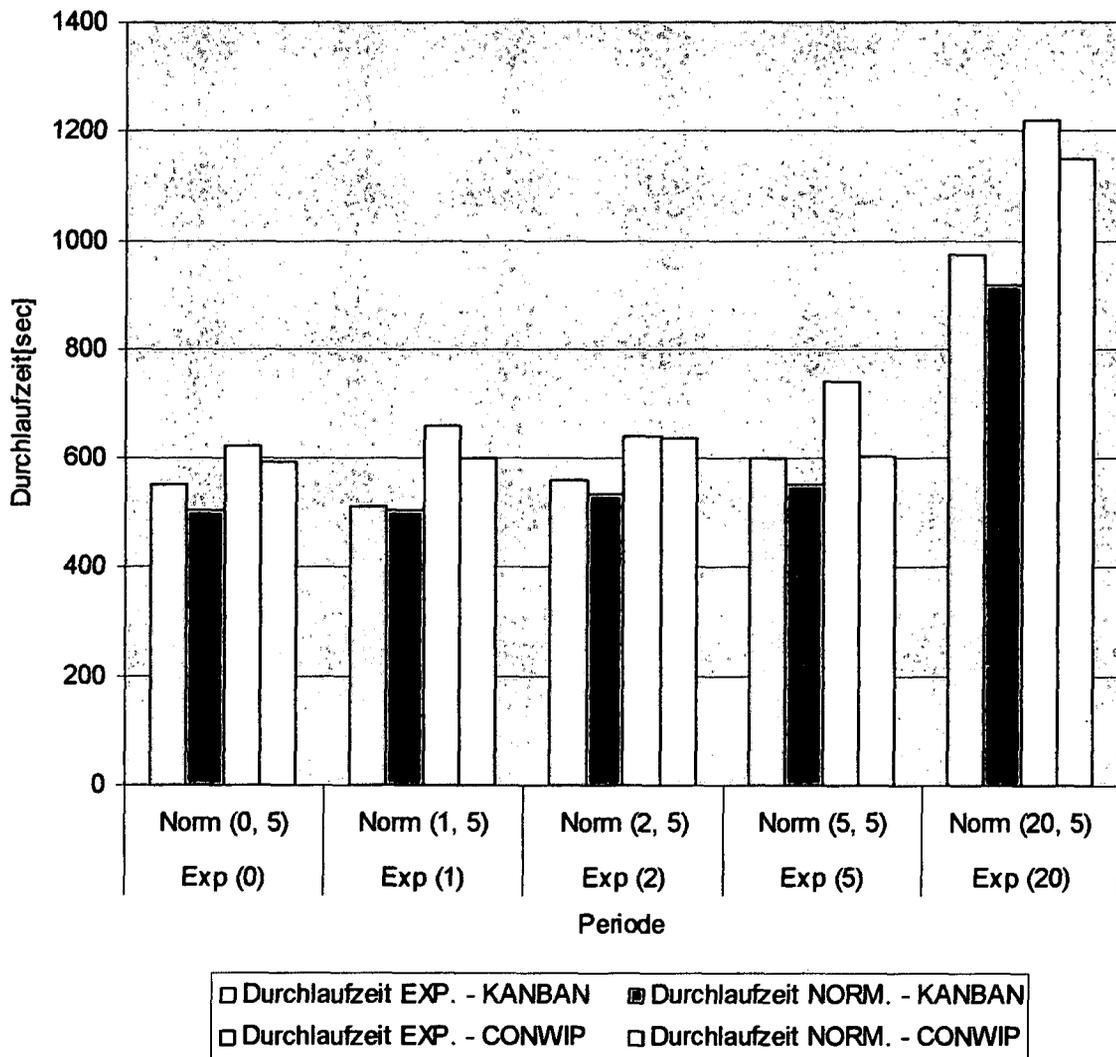


Abb. 8.28. Teilausfall – KANBAN/CONWIP

In der Tab. 8.7. und Abb. 8.28. sind die Motorendurchlaufzeiten Exponentiale (EXP) und Normale (NORM) Verteilungen von Ausfallzeitdauer aufgeleitet.

Für jede Verteilungsvariante werden folgende Daten angegeben:

- Die Verteilung von Ausfallzeitdauer beim Mittelwert 0,
- Die Verteilung von Ausfallzeitdauer beim Mittelwert 1,
- Die Verteilung von Ausfallzeitdauer beim Mittelwert 2,
- Die Verteilung von Ausfallzeitdauer beim Mittelwert 5,
- Die Verteilung von Ausfallzeitdauer beim Mittelwert 20,
- Zusätzlich für normale Verteilung 5 als Standard Deviation.

#### 8.6.4. Computersimulation eines flexiblen parallelen Systems

Die Simulation zeigt immer „was passiert wenn“ (what if). In diesem Abschnitt wurde versucht, die Anzahl von Stationen im System zu verdoppeln.

Es wird also die Anzahl der Stationen verdoppelt, um die Durchlaufzeit zu verkürzen (Tab. 8.8).

Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Durchlaufzeit [sec]	518	517	515	508	500	495	485	476	475	473	463	461	459	453	447	375

Tab. 8.8. Doppelte Stationen/Durchlaufzeit – Ergebnisse

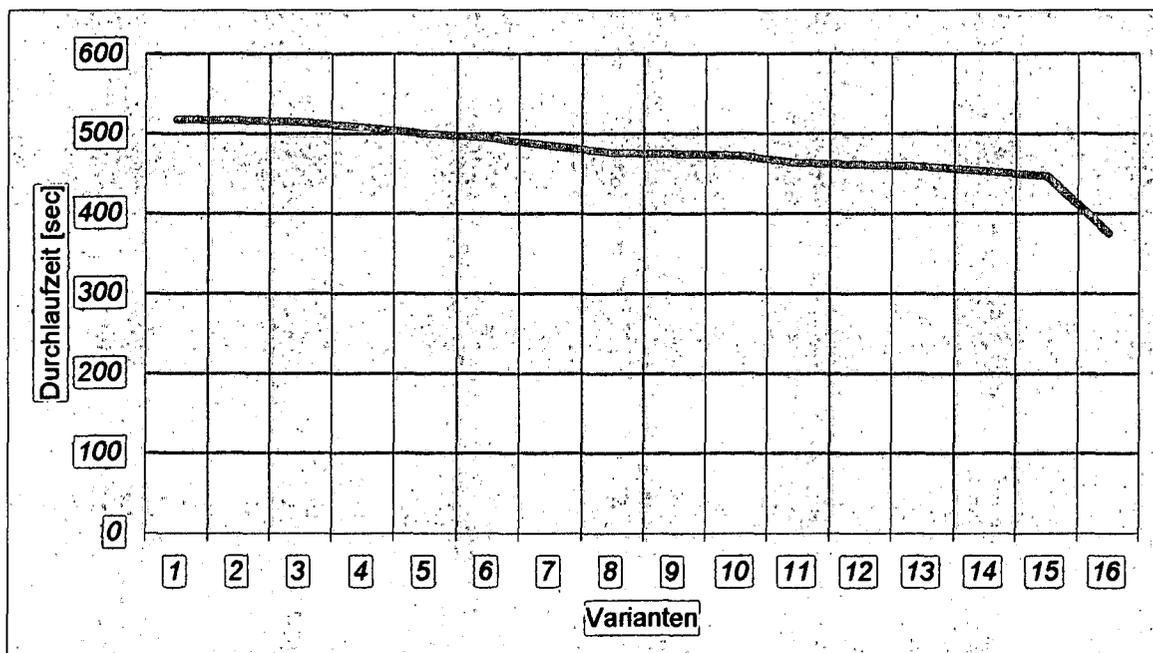


Abb. 8.29. Doppelte Stationen/Durchlaufzeit

Um eine erste Simulationsvariante zu bekommen beginnt man die Anzahl der Stationen im System zu verdoppeln.

Auf diese Weise beginnt man von der ersten bis zur letzten Station um eine Station zu duplieren. So das bekommt man 15 unterschiedlichen Simulationsvariante bzw. unterschiedliche Durchlaufzeiten.

Wie die *Abb. 8.29.* zeigt, wurde die Durchlaufzeit fast linear verkürzt, so dass man auch den Eindruck bekommt, dass dieses System auf zwei identische parallele Systeme aufgeteilt werden kann.

Aus dem Simulationsergebniss lässt sich erkennen, dass die durchschnittliche Montagezeit besonders stark von der Stationenanzahl, Fehlerwahrscheinlichkeit, Steuerungsstrategie, Palettenanzahl und den Typ des Motors beeinflusst wird. Für den meist montierten Typ der Elektromotoren wurde festgestellt, dass die optimale Palettenzahl je nach Bedingungen zwischen 50 und 55 liegt.

Dieses Komplexe flexible Motorenmontagesystem steht kurz vor der Inbetriebnahme und das Simulationsmodell dient als gute Basis für weitere Analysen und den Aufbau von alternativen möglichen effizienten Szenarien für die effiziente Steuerung der Montage (Kapitel 9 BioNIC Assembly Systems).

## 9. BIONIC ASSEMBLY SYSTEMS: DESIGN UND PLANUNG DER NEXT-GENERATION VON SELBSTORGANISIERENDEN KOMPLEXEN FLEXIBLEN MONTAGE SYSTEMEN

Moderne technische Produkte werden aus Einzelteilen zusammengesetzt. Die Anzahl der Teile kann in einem großen Bereich variieren - das Produkt kann aus nur einem einzelnen Teil, es kann aber auch aus mehreren tausend Teilen bestehen. Ein komplexes Produkt, das aus mehr als einem Teil aufgebaut ist kann mehrere unterschiedliche Funktionen mit höherer Komplexität ausführen als ein einfacheres Produkt. Einer der Trends in der Entwicklung moderner Technologien heutzutage ist die Erhöhung der Anzahl an komplexen Funktionen eines spezifischen Produktes.

Die Produktion von Teilen ist grundsätzlich vom Endprodukt unabhängig. So können z.B. mit derselben Werkzeugmaschine Teile für ein Auto oder für ein Flugzeug bearbeitet werden. Werkzeugmaschinen sind universell einsetzbare Maschinen in der Teileproduktion für ein beliebiges technisches Produkt. Das ist auch der Hauptgrund dafür, daß die Produktion von Einzelteilen den höchsten Automatisierungsgrad im gesamten Fertigungsablauf aufweist.

Das Zusammenfügen einfacher Teile zu einem komplexen Produkt, mit seiner Vielzahl verschiedenster Funktionen, ist eine der faszinierendsten Aufgaben in der Technik. Es scheint, also ob man aus wenigem ("beschränkte Intelligenz der Teile") mehr ("intelligentes Produkt") bekommt. Der Montageprozeß eines Produktes hängt sehr stark vom Produkt selbst ab. Aus der Sicht der Abhängigkeit des fertigen Produktes sind die Bearbeitung und die Montage der Teile zwei grundsätzlich verschiedene Aufgaben. Das Equipment für die Montage eines Produktes kann nicht für die Montage eines gänzlich verschiedenen Produktes verwendet werden. Das ist die hauptsächliche Barriere für eine signifikante Reduzierung der Produktionskosten durch eine großzügige Automatisierung des Montageprozesses. Das Niveau der Automatisierung bei der Montage ist deutlich niedriger als bei der Fertigung der Einzelteile.

Eine der Hauptrichtungen in der Forschung nach Möglichkeiten die Montage zu automatisieren ist, daß die Lösungen zur Montage selbst universeller werden.

Dieses Ziel wird auf zwei Ebenen verfolgt:

- a) Niveau der Montageeinheiten (Maschine, Roboter, end effectors, Sensoren, Transport System, usw.),
- b) Niveau des Montagesystems [*Kusiak 1989*], [*Katalinic 1999*], [*Ranky 1998*].

Hauptziele zur Steigerung der Automatisierung bei der Montage sind:

- die Reduzierung der Produktionskosten,
- Steigerung der Qualität des Produktes und Einführung eines integrierten Qualitätsmanagements mit höherer Effizienz,
- Steigerung der Produktivität,

- kürzere Laufzeiten,
- stärkere Nutzung der Maschinen und Stationen,
- schnelleres Ansprechen auf externe Einflüsse und Nachfrage.

Frühere Forschungen [Katalinic 1999] basierten auf der Initiative der Industrie und der Notwendigkeit die Produktionskosten einer flexiblen Massenfertigung von elektrischen Motoren deutlich zu senken. Die grundsätzliche Idee dahinter war die Reduzierung der Montagekosten durch die Einführung eines intelligenteren und flexibleren automatisierten Montageprozesses in Form eines Flexiblen Montage Systems. Basierend auf den Erfahrungen im Design und der Implementierung von komplexen Flexiblen Fertigungssystemen [Katalinic 1999], komplexen Montage Systemen [Katalinic 1999] und Experten Systemen [Park, Katalinic 1999] und Voraussetzungen der Industrie, wurde die Realisierung in mehreren Stufen durchgeführt.

## 9.1. Darstellung des Problems

Hauptaufgaben sind das Design einer Basis Struktur und die strategische Planung eines robusten, anpassungsfähigen, sich selbst organisierenden komplexen Flexiblen Montage Systems. Dies sollte unter folgenden Bedingungen und Einschränkungen geschehen:

- Just-in-Time: Dieses Konzept der Produktion sollte realisiert werden. Zu einem bestimmten Zeitpunkt muß das nach den Wünschen des Kunden gefertigte Produkt bereit zur Auslieferung sein.
- Produktpalette: Eine offene Produktpalette mit unterschiedlichsten Varianten, die sich laufend ändern können.
- Die Lebenszeit des Produktes ist kürzer als die Lebenszeit der Montage System.
- Losgröße bei der Montage: von einem einzigen bis zu einigen tausend Stück.
- Während der Montage eines Produktes können Fehler auftreten. Diese Fehler können sich im Bereich von einigen Prozenten von der Losgröße bewegen. Eine kontinuierliche Fehlerkorrektur muß während der gesamten Montage gewährleistet sein, um die vom Kunden gewünschte Anzahl von qualitativ hochwertigen Produkten zu erhalten.
- Um den Preis so niedrig wie möglich zu halten, werden Teile zugekauft. Die Qualität dieser Teile ist nicht immer 100%ig, sie variiert in etwa in einem Verhältnis von [schlechte Teile: gute Teile = (0 - einige) : 1000]. Aus diesem Grund muß die Qualitätskontrolle des Materialeingangs auf der Ebene der Montage Station organisiert werden.
- Möglichkeit Arbeiter für normale bzw. spezielle Montage Aufgaben zu integrieren (Reparatur, Inspektion, Versorgung mit Teilen, Rüstvorgänge, usw.).
- Produktpalette wird während der Lebenszeit des Systems laufend geändert.
- Montage Stationen: Die Anzahl und Art der Montage Stationen im System ist nicht konstant. Sie kann in einem großen Bereich variieren. Rüstvorgänge an den Stationen und die Versorgung mit Betriebsmittel und Teilen können letztlich auch manuell ausgeführt werden.

- Messungen und Qualitätskontrolle während der Montage: Während bzw. und/oder nach jeder signifikanten Montage Operation muß eine Qualitätskontrolle durchgeführt werden.
- Bediener: Intensive Arbeit des Bedieners ist für die normale Handhabung des Systems erforderlich. Auf den Bediener warten einige typische Aufgaben: Aufrüsten der Stationen, Sicherstellung und Unterstützung des Materialflusses im System, Korrekturen von Unterbrechungen während der Produktion, Bedienung des Leitrechners des Montage Systems.
- Montagepaletten: Der Materialfluss im Inneren des Systems wird durch mobile Roboter und Montagepaletten organisiert.
- Autonomie des Systems: Das System erlangt Unabhängigkeit. Das bedeutet, daß Störungen von außerhalb nur einem beschränkten, negativen Einfluß auf die Effizienz und Funktion des Systems ausüben.
- Arbeitsmodus: Das System hat zwei Arbeitsmodi: a) alle Stationen sind mit Aufträgen, die vom geplant wurden beschäftigt; b) das System ist mit planmäßigen Aufträgen vom Leitrechner des Systems versorgt, aber eine oder mehrere Station(en) und/oder Roboter sind ausgeschlossen.
- Werkstattpersonal: Das System ist in einer Art und Weise organisiert, die es ermöglicht, es mit einer unterschiedlichen Anzahl von Bedienungspersonal über einen kurzen Zeitraum zu betreiben.
- Diagnose: Das System sollte eine detaillierte und breitgefächerte Diagnose besitzen die auf die Aufträge des Systems, Produktionsmittel und den Zustand des Systems verweist.
- Prognosen: Das System sollte, für eine gewisse Zeit im voraus, die Fähigkeit besitzen, alternative Produktionsszenarien, basierend auf dem aktuellen Zustand des Systems zu entwickeln. Diese Zeitspanne kann frei gewählt werden.
- Interne Reserven des Systems: Im System sollten Reserven angesammelt werden, um störende Einflüsse von außen zu reduzieren.
- Schnittstelle zwischen dem System und seiner Umgebung: Der Informations- und Materialfluß zwischen dem System und seiner Umgebung hat so stattzufinden, daß jede einzelne Transaktion protokolliert wird, um später die Möglichkeit einer Rekonstruktion zu haben.
- Reaktionen des Systems: Das System hat sowohl unter normalen als auch unter kritischen Betriebsbedingungen flexibel und effizient zu reagieren.
- Optimierung des Produktionsprozesses: Um die Arbeit des Systems zu optimieren, hat das System die Möglichkeit sich das passendste Szenario aus einer Reihe alternativer Produktionsprozesse zu wählen.

## 9.2. Struktur und Entwurf des Systems

### 9.3.1. Systemkomponenten

Das sich selbst organisierende komplexe Montage System wird aus folgenden Basisteilen zusammengestellt:

- Montage Station (*Maschine für die Komplettierung einer Montageaufgabe*),
- Reparatur Station (*Es kann vorkommen, daß einige Produkte einer Losgröße während der Montage repariert werden müssen. Diese Reparaturarbeiten müssen vom Werkstattpersonal durchgeführt werden. Durch die Reparatur kann es zu Unterbrechungen bei der Montage kommen oder falls es möglich ist, wird die Reparatur nach Abschluß des letzten Montageschrittes durchgeführt. Im Falle größerer Abweichungen wird der Montagevorgang abgebrochen und das Produkt entfernt. Dies ist der Fall, wenn stärkere Beschädigung des Produktes vorliegen oder daß bei der abschließenden Qualitätskontrolle festgestellt wird, daß mechanische und/oder elektrische und/oder andere Parameter des Produktes die geforderten Qualitätskriterien nicht erfüllen.*),
- Station für Qualitätskontrolle (*Funktion: Die Qualitätskontrolle basiert auf Messungen der mechanischen und elektrischen Parameter des Produktes.*),
- Verpackungsstation (*Funktion: Entfernen und verpacken der guten Produkte für den Transport; zurücksetzen und neu starten der Montagepaletten*),
- Mobile Roboter (*kabellos gesteuerte Roboter sind das grundlegende Transportmittel für die Montage Paletten im System während eines Produktionszyklus. Jeder Transport-roboter muß eine Speicher- und Kommunikationseinheit besitzen.*).

*Die Hauptinformationen sind:*

- *Art und Nummer der Montagepalette,*
- *Status der Montage Palette,*
- *Art des zu montierenden Produktes,*
- *Stand der Montage des Produktes,*
- *Aktueller Stand der Qualität des Produktes,*
- *Montagepalette (Funktion: Die Montagepalette dient als Grundträger für die Produkte, die sich im Montagezyklus befinden. Die Paletten werden mittels kabelloser mobiler Roboter durch das System bewegt.)*,
- *Be- Entlade Station für Montage Paletten (Funktion: Einbringen neuer Montage Paletten in das System oder herausnehmen bereits existierender Paletten aus dem System),*
- *Paletten Pool (Funktion: Lagerung der Paletten),*
- *Lager für Teile und Komponenten (Funktion: Lagerung von Teilen und Komponenten).*

### 9.3.2. Layout des Bionic Montage Systems

Das Layout des Bionic Montage Systems wird in (Abb. 9.1.) dargestellt. Das System setzt sich aus zwei Subsystemen zusammen: dem Kernsystem und dem Versorgungssystem. Diese beiden Subsysteme sind durch eine Systemgrenze getrennt. Das Kernsystem ist der zentrale Teil des Montagesystems. Es beinhaltet alle Montage Stationen, mobile Roboter und Montagepaletten, die Reparaturstation und die Station für die Qualitätssicherung. Die Hauptaktivität des Kernsystems liegt in der Montage, der Qualitätskontrolle, und allfälliger Reparaturaufgaben. Das Versorgungssystem ist um das Kernsystem herum angeordnet. Die Hauptaktivität dieses Systems liegt in der Lagerung der Teile und Komponenten. Der Systemgrenze fällt die Aufgabe der Versorgung der Montagestationen mit den Teilen und Komponenten zu, die zusammengebaut werden sollen. Der Materialfluß über die Systemgrenze beinhaltet außerdem noch die Rüstvorgänge der Montagestationen. Der Palettenpool dient als Pufferspeicher für Montagepaletten für den Fall, daß eine Palette im Umlauf ist, die nicht universell für alle Produkte einsetzbar ist.

Der Hauptaustoß aus dem Kernsystem ist in Form von Fertigprodukten. Die Produkte verlassen das System über die Be- und Entladestation; und nach der Verpackung sind sie versandfertig um an den Kunden ausgeliefert zu werden. Der Ausstoß fehlerhafter Teile oder Teile, die nicht den ganzen Montagezyklus durchlaufen haben, bzw. Teile, die nicht repariert werden können, erfolgt ebenfalls über diese Station.

### 9.3. Kommunikation

Jedes einzelne Montagemodul oder Montagestation verfügt über zwei Kommunikationsverbindungen; eine vertikale Verbindung zum Zentralcomputer des Bionic Montage Systems und eine horizontale Verbindung zu den mobilen Robotern. Hauptaufgabe des Zentralrechners ist die allgemeine Planung der Produktion, die Versorgung des Systems mit Teilen, und die Synchronisation der Rüstvorgänge der einzelnen Stationen. Er ist auch zuständig für die Integration des Systems in den gesamten Fabrikkomplex. Die Rolle des Zentralrechners bei einem Bionic Montage System ist lange nicht so wichtig wie die des Zentralcomputers bei einem Flexiblen Montage System. Die horizontale Kommunikation zwischen den Montagestationen und den mobilen Robotern, die mit den Montagepaletten zwischen den einzelnen Stationen unterwegs sind, stellt den Kern der Selbstorganisation des Systems dar.

Die Montage Paletten werden mittels kabelloser mobiler Roboter durch das System transportiert. Nach jeder Montageoperation überprüft die Station die Qualität der gerade durchgeführten Arbeit. Wenn die Montage erfolgreich durchgeführt wurde, dann gibt die Montage Station diese Meldung an den Transportroboter weiter. Dieser Information kommt eine Schlüsselrolle bei der Suche nach Stationen zu, welche die nächste Montage Aufgabe beim selben Produkttyp durchführen können.

Die horizontale Kommunikation zwischen dem Kontrollsystem einer Montage Einheit und dem mobilen Roboter beinhaltet folgende Informationen: Palettentyp, Status der Paletten, Art des Produktes, Montagezustand des Produktes - die nächste Montage Aufgabe, die bei diesem Produkt durchgeführt werden muß; Qualitätsstatus des Produktes - wurde die letzte Montage Aufgabe an diesem Produkt erfolgreich durchgeführt. Falls dem nicht so ist, ist der Qualitätsstatus des Produktes negativ, und alle Montageeinheiten werden sich nicht für den Fehler verantwortlich zeigen, der ihnen offensichtlich unterlaufen ist. Für dieses Fall gibt es im System spezielle Reparatur Stationen. Hier warten die Roboter mit den Paletten

auf das Werkstattpersonal, das versuchen wird den Fehler zu beheben. Anschließend werden die Roboter mit den Paletten wieder zurückgeschickt um die Montageaufgabe zu beenden. Falls keine Reparatur möglich ist, wird das Produkt von der Palette genommen und ausgeschieden. Bei der Montagepalette erfolgt nun ein "reset" und sie wird als neue, aufnahmebereite Palette wieder ins System eingeschleust.

Nachdem das Produkt alle Montageoperationen und Tests erfolgreich durchlaufen hat, wird es von der Palette genommen und für den Transport verpackt. Beim Roboter und der Palette wird ein "reset" durchgeführt und beide werden als wieder verfügbar ins System eingeschleust.

## 9.4. Basis Algorithmus der Kommunikation zwischen Roboter und Montagestation

Der Basis Algorithmus der Kommunikation zwischen dem aktiven Roboter und den Stationen ist der Schlüsselteil dieses Arbeitsszenarios.

*Start*

{

*Roboterstatus nach der letzten Operation {Type der Montagepalette, Status der Palette, Art des Produktes, Nächster Montageschritt, Qualitätsstatus des Produkts}*

*wenn {Qualitätsstatus des Produkts ist negativ}*

*dann {Roboter muß zur Reparaturstation. Warten auf Werkmeister. Werkmeister versucht Produkt zu reparieren; wenn das nicht möglich ist, wird das Produkt aus dem System genommen und die Palette und der Transportroboter für den nächsten, oder einen neuen Montageinsatz vorbereitet. Ergebnis der Reparatur: Status der Montage und Qualitätsstatus}*

*wenn {Nächster Schritt: Verpackung}*

*dann {Roboter muß zur Be- und Entlade-Station}*

*wenn {Qualitätsstatus des Produkts ist positiv und nächste Operation ist Montage}*

*dann {Finde heraus welche Station(en) die nächste Montageoperation durchführen kann. Wenn es mehr als eine ist, finde heraus welche sich am besten eignet; unter Berücksichtigung von Warteschlangen oder Prioritäten}*

*wenn {Station wird ein- oder abgeschaltet}*

*dann {Umreihen der Warteschlangen von/zu alternativen Stationen}*

*wenn {Transportroboter kommt und Station ist besetzt oder es gibt bereits länger wartende Roboter mit gleicher oder höherer Priorität}*

*dann {Transportroboter muß in der Schlange vor der Station auf die nächste Operation warten}*

*wenn {Station ist frei und es gibt keine Roboter mit höherer Priorität in der Warteschlange}*

*dann {Andocken, Ausführen der Montageoperation, Überprüfung der Qualität des Montageergebnisses, Schreibe der neuen Status der Montage und der Qualität des Produkts, Abdocken}*

*Roboterstatus nach letzter Operation*

}

*End*

## 9.5. Planungsstrategien

Planungsstrategien wurden entworfen um maßgebende Ziele zu erfüllen: Just-in-Time Lieferung des Produktes gemäß den vom Kunden gewünschten Anforderungen. Planungsstrategien sind aufgabenorientiert um Bestellungen für einen bestimmten Kunden in einer akzeptablen Zeit zu erfüllen. Das wiederum bedeutet, - wenn ein Kunde verschiedene Mengen von unterschiedlichen Produkttypen bestellt, und all diese Produkte müssen montiert und für den Versand hergerichtet werden - daß alles zu einem bestimmten Termin (Jahr-Monat-Tag-Stunde-Minute) fertig zu sein hat.

Eines der Hauptprobleme bei der Planung ist den richtigen Zeitpunkt zu erwischen um das Bionic Montage System vom aktuellen auf den nächsten Produkttyp vorzubereiten und umzuschalten.

Die Planungsstrategien werden aus einer Kombination zweier einfacher Konzepte, die hier als vertikale und horizontale Intelligenz bezeichnet werden, realisiert. Die vertikale Intelligenz verleiht dem Bionic Montage System die Funktionalität eines zentralisierten Systems, was wiederum für die Definition der globalen Ziele des Bionic Montage Systems wichtig ist (Planung der Produktion, Abläufe der Bestellungen, Planung und Ausführung von Arbeiten für die Versorgung mit Betriebsmitteln, Rüstvorgänge der Stationen usw.). Die horizontale Intelligenz löst Problem auf der Ebene jeder einzelnen Montage Operation. Die horizontale Intelligenz zeichnet sich für ein sich selbst-organisierendes, funktionierendes System verantwortlich. Das Transportsystem kann die Transportbewegungen der Montage Paletten von einer beliebigen Station zu einer anderen beliebigen Station organisieren.

Intelligente Software Tools im Bionic Montage System unterstützen den Operator während:

- Diagnose: Diagnose der Montage Stationen, Diagnose der Ausrüstung, Diagnose der Auftragsausführung, Diagnose des Systems, usw.,
- Optimierung während der Ablaufplanung,
- Aufzeigen alternativer virtueller Szenarien,
- Optimierung während des planmäßigen Betriebs des Bionic Montage Systems,
- Auffinden von Lösungen in komplexen und chaotischen Situationen, usw.

## 9.6. Bionic Montage Systeme als logisches Ergebnis der Evolution von Montage Systemen

Die Entwicklung Biologischer Montage Systeme kann als Weiterentwicklung von klassischen Montage Systemen gesehen werden. Es ist möglich die Entwicklungslinie als eine dreistufige Metamorphose zu sehen; beginnend mit einem flexiblen Montage System dessen Paletten mittels Förderband transportiert werden und die eine einfache horizontale Kommunikation zwischen Paletten und Montage Station aufweist.

Diese horizontale Kommunikation ist das Rückgrat der Selbstorganisation des Systems. Die Einführung von mehr Freiheiten bei der Wegplanung von mobilen Robotern mit Montagepaletten einerseits und die aktive horizontale Kommunikation mit mehreren Stationen in Echtzeit andererseits, macht das System robust mit einem hohen Grad an

Selbst-Organisation. Diese Entwicklung kann man deutlich an Hand der drei Abbildungen (Abb.2-4) nachvollziehen.

## 9.7. Grundsätzliche Merkmale des Bionic Montage Systems

Die Hauptmerkmale des vorgestellten Bionic Montage Systems sind:

- Die variable Struktur des Systems; die Anzahl der Stationen kann von mindestens einer eines jeden Typus bis unendlich variieren.
- Das System ist in der Lage sich als "arbeiterfreundlich" zu organisieren. Es besitzt die Fähigkeit einerseits hoch automatisiert zu agieren, andererseits aber wiederum Arbeiter zu integrieren.
- Die Produktvielfalt und Losgröße variieren in einem weiten Bereich.
- Die Fähigkeit der Selbst-Organisation macht das System stark, gegenüber äußeren und inneren Störungen.
- Das variable und dynamische Layout des Systems kann zur Optimierung der Arbeitsszenarien und der Systemparameter verwendet werden.
- Das Bionic Montage System kann schnell auf Nachfragen des Master Planungssystems reagieren.

Das vorgestellte Konzept eines Biologischen Montage Systems ist das logische Ergebnis früherer Entwicklungen von Flexiblen Montage Systemen. Das Bionic Montagesystem hat eine ausgeprägtere Charakteristik der Selbst-Organisation, Robustheit und Anpassungsfähigkeit. Dieses Konzept ist dem eine analogen biologischen Fertigungssystems [Ueda 1997] sehr ähnlich. Das Hauptproblem ist der Konflikt zwischen dem "top-down" Konzept der Aufträge auf Fabrikebene und dem Bionic Montagesystem mit den horizontalen autonomen Eigenschaften der mobilen Roboter und Montagestationen. Das Konzept akzeptiert Variationen in der Struktur des Montagesystems. Die Implementierung zusätzlicher Montagestationen ohne Änderungen der Planungsstrategien und Szenarien kann die Kapazität des Systems erheblich erweitern. Dieses System ist in der Lage sich als "arbeiterfreundlich" zu organisieren. Es besitzt die Fähigkeit einerseits hoch automatisiert zu agieren, andererseits aber wiederum Arbeiter zu integrieren. Das variable Layout des Systems kann zur Optimierung der Arbeitsszenarien und der Systemparameter verwendet werden.

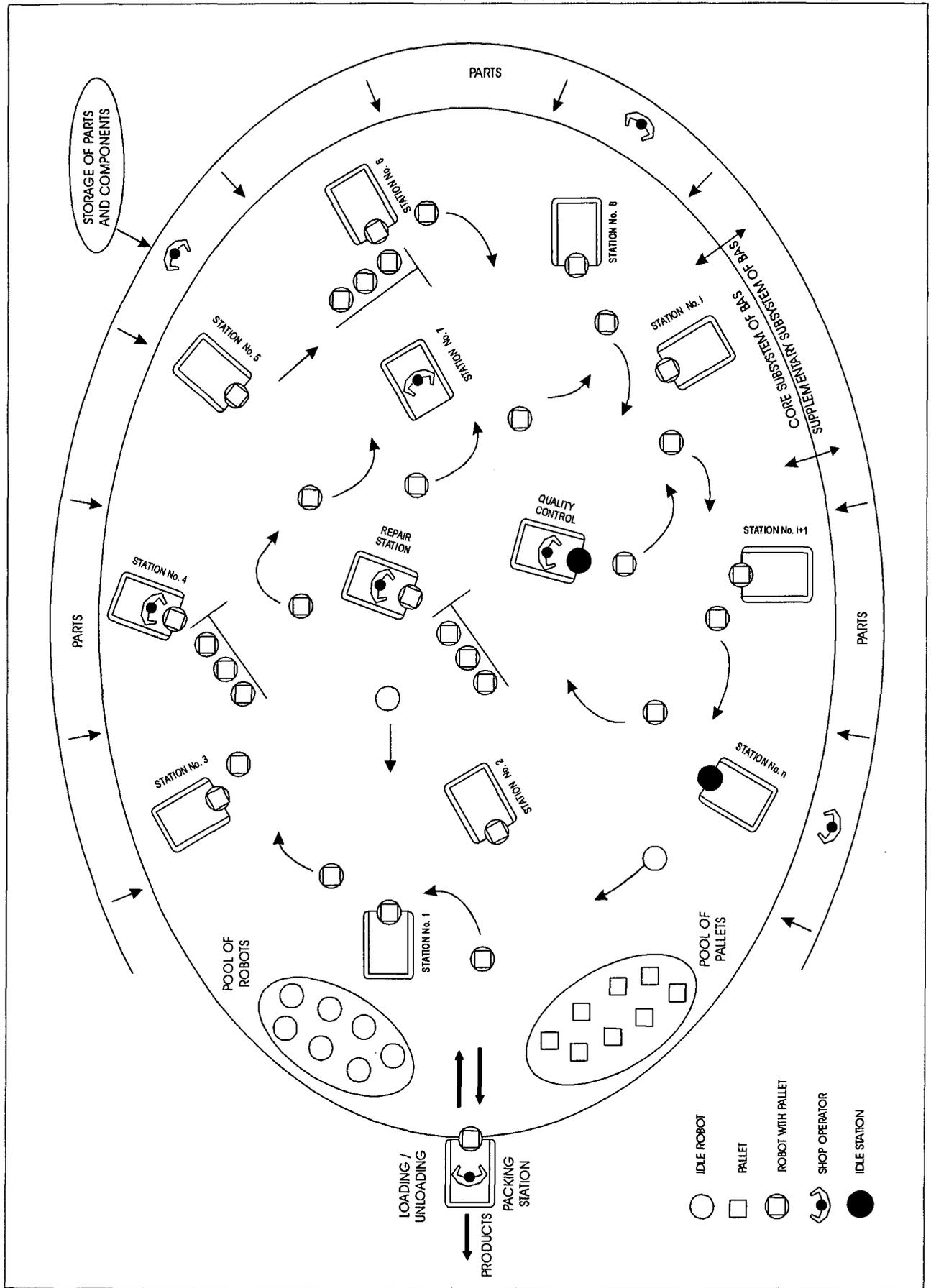


Abb. 9.1. Das Layout des Bionic Montage Systems

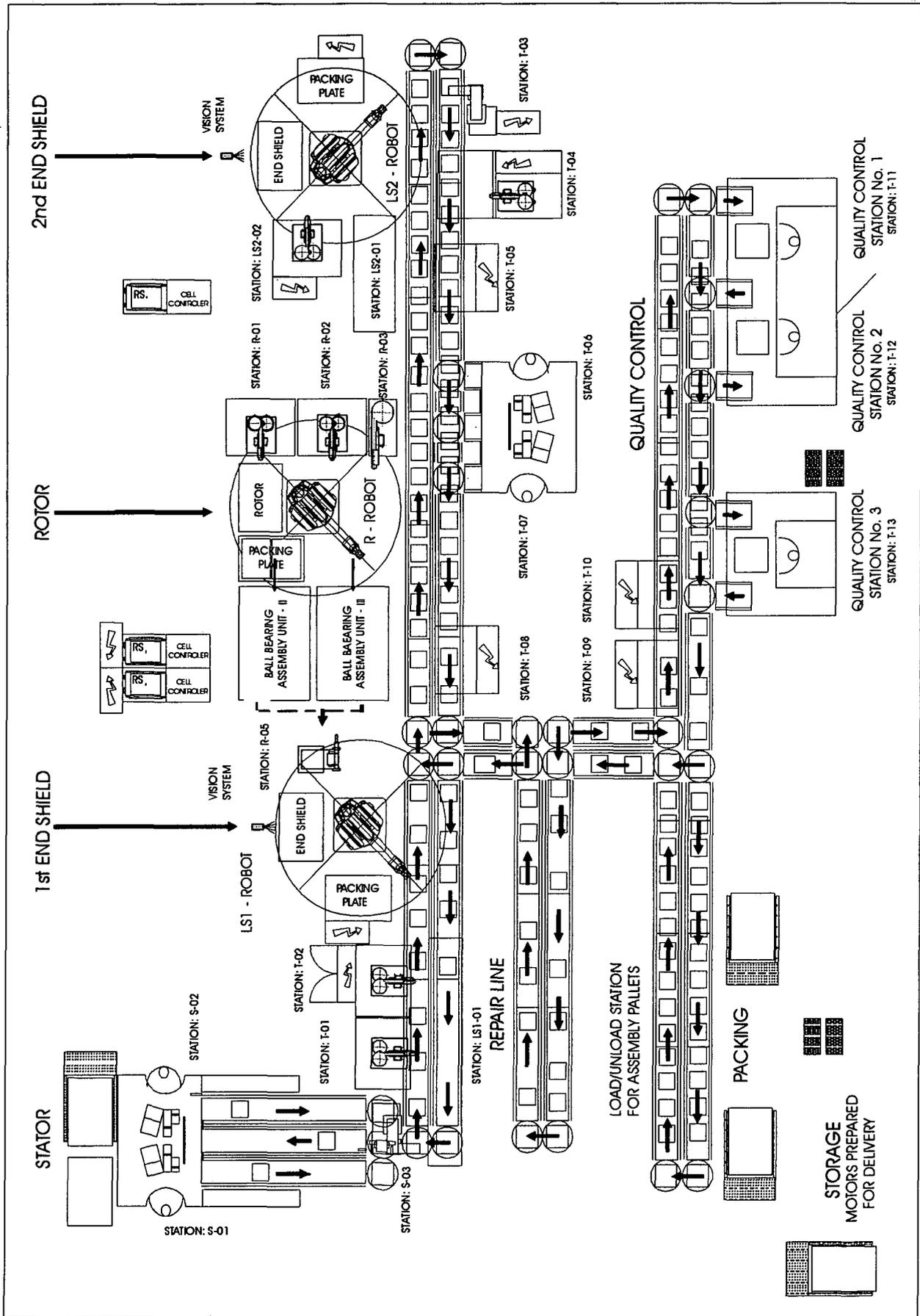


Abb. 9.2. Layout des flexiblen Montagesystems mit Gürtelförderanlage

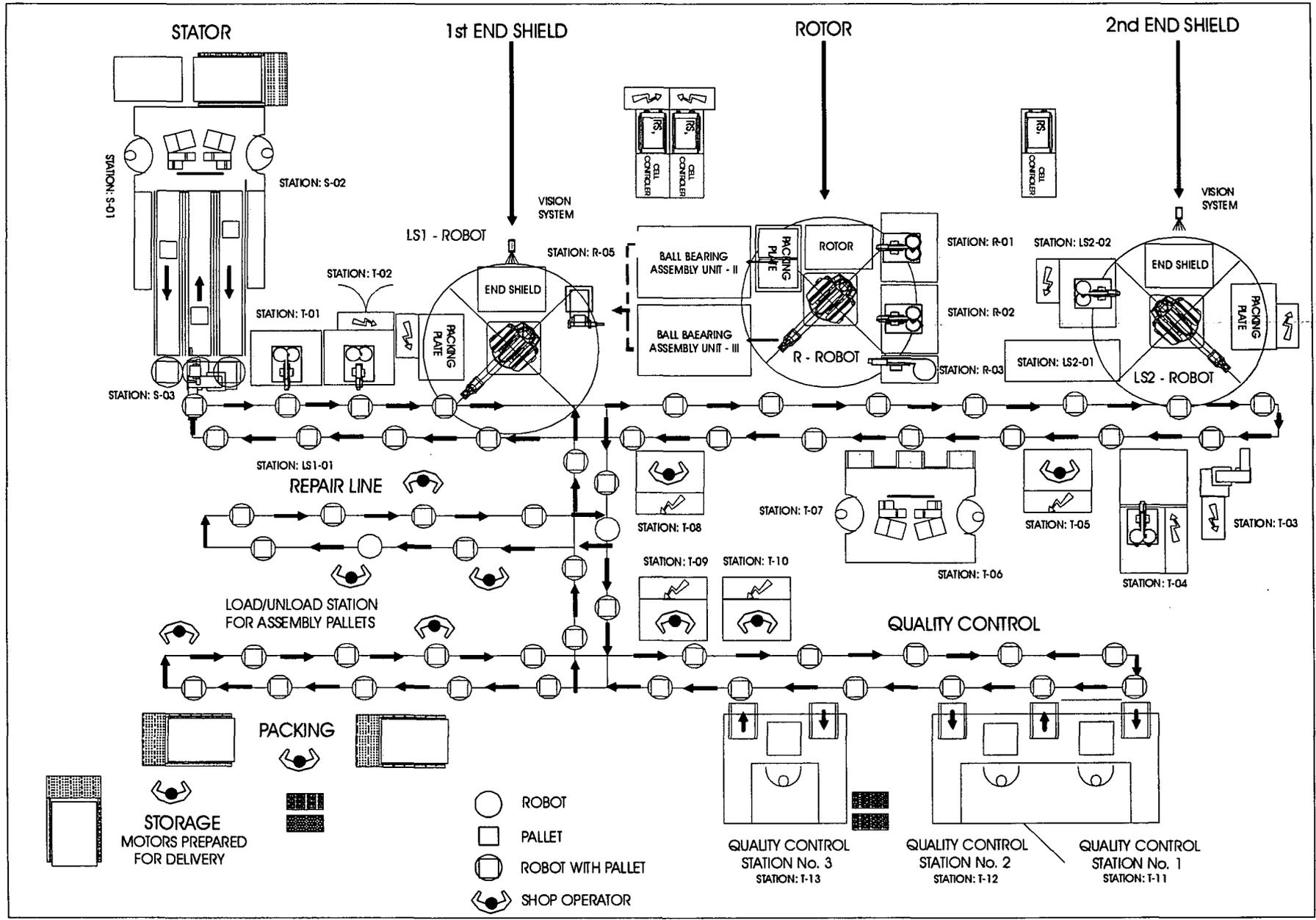


Abb. 9.3. Layout des flexiblen Montagesystems mit gebundenen mobilen Robotern

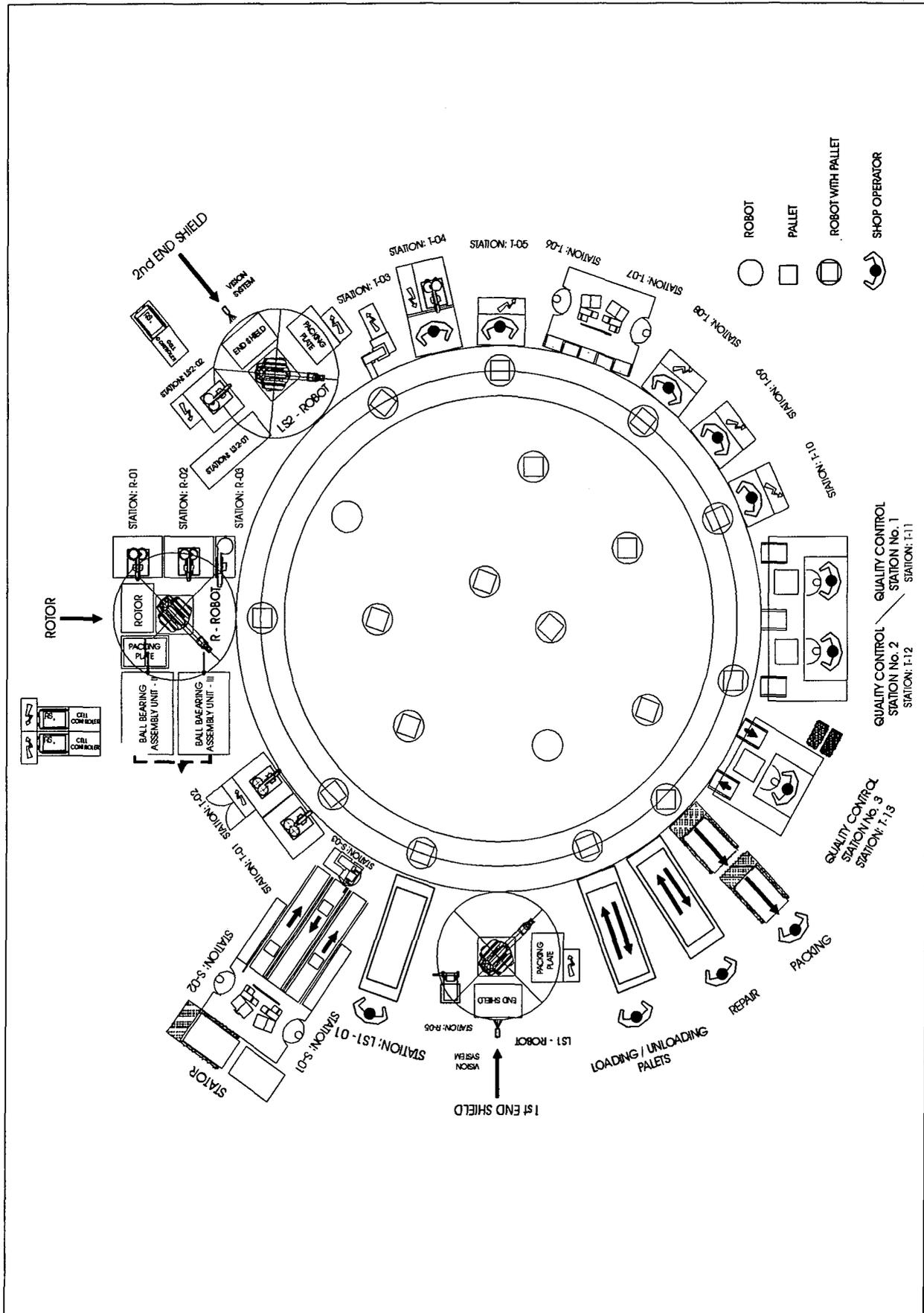


Abb. 9.4. Layout des flexiblen Montagesystems mit frei beweglichen mobilen Robotern

## 10. SCHLUSSBEMERKUNGEN UND AUSBLICK

In dieser Arbeit wurde, wie bereits in Vorwort erwähnt, ein Simulationsmodell anhand eines bereits bestehenden komplexen und flexiblen Montagesystems entwickelt. In diesem Simulationsmodell wurden 15 Stationen hinzugefügt. Dabei wurde meistens hinter einer Montagestation eine Inspektionsstation verwendet. Neben den Stationen und Förderbändern wurden auch die Betriebsdaten einzelne Subsysteme bzw. Stationen grafisch dargestellt. Es sind daher in Diagrammen, die Anzahl der Motoren, die Anzahl der Fehler sowie Auslastungen von besonders ausgewählten Stationen gestellt.

Mit der Erprobung dieses Modells bot sich die Möglichkeit, das Systemverhalten näher zu untersuchen. Folgende Untersuchungen des Systemverhaltens wurden durchgeführt.

Bei der ersten wurden die Maschinenausfälle betrachtet. Dabei wurde auf zwei Arten eingegangen: Totalausfall und Teilausfall.

Bei einem Totalausfall wird das gesamte System in Stillstand versetzt. Dabei werden die Maschinen und die Förderbänder abgestellt. Danach können alle Paletten von den Maschinen und Bändern heruntergenommen werden. Die auf den Paletten montierten Teile werden von diesen heruntergenommen und anschließend kann ein erneuter Start, bei dem man dem System wieder die Paletten zuführt, erfolgen. Bei einem Teilausfall fallen nur einzelne Maschinen hin und wieder aus. Da bei dieser Art das völlige Entleeren der Bänder und Maschinen keine wirtschaftliche Bedeutung hätte, erfolgt der Ersatz der Maschine, die ausfällt, durch manuelle Überbrückung. Dabei übernimmt ein Arbeiter die Funktionen der Maschine. Dies erfolgt nur so lange, bis die ausgefallene Maschine, die in der Zwischenzeit repariert wird, wieder funktionsfähig ist. Bei der Betrachtung dieser Untersuchung wurden zwei Strategien (KANBAN, CONWIP) miteinander verglichen.

Bei der zweiten Untersuchung wurde der Einfluss der Palettenanzahl auf die Durchlaufzeiten der Motoren untersucht. Ein Diagramm verdeutlicht den Zusammenhang zwischen der Palettenanzahl und der Simulationszeit, bei welchen 100 Motoren gefertigt worden sind. Dabei stellte sich ein parabelförmiger Verlauf ein. Das Minimum dieser Kurve drückt die Optimale Palettenanzahl aus. Diese liegt bei diesem System bei 54 Paletten. Diese so genannte Optimale Palettenanzahl hängt von einigen Parametern ab. Die Stationsanzahl, die Fehlerwahrscheinlichkeit und der Typ des Motors beeinflussen diese Kenngröße besonders stark.

Bei einer weiteren Analyse wurde die Anzahl von Stationen im System verdoppelt, das heißt dass auf diese Weise zwei parallele Montagesysteme im Ergebnis vorhanden waren.

So erhielt man 15 unterschiedliche Simulationsvarianten bzw. Durchlaufzeiten.

Es sei noch angemerkt, dass dieses Simulationsmodell mit seinen Untersuchungen einen ersten Schritt auf dem Gebiet der Simulation bzw. Analyse dieses Motorenmontagesystems darstellt. Dies ermöglicht Anwendung der Simulationsbasierten Software für die Kapazitätssteigerung, des Erweiterungssystems und die Optimierung des Systemparameters. Mit diesem Simulationsmodell könnten jetzt noch weitere Untersuchungen vorgenommen werden.

## 11. LITERATURVERZEICHNIS

- [ARENA]** (1998) Variables Guide, System Modeling Corporation. The Park Building 504, Beaver Street, Sewickley, USA, 1998
- [ARENA]** (1998) Template Reference Guide, System Modeling Corporation. The Park Building 504, Beaver Street, Sewickley, USA, 1998
- [ARENA]** (1998) Arena Users Guide, System Modeling Corporation. The Park Building 504, Beaver Street, Sewickley, USA, 1998
- [SIMAN V]** (1998) Siman V Reference Guide, System Modeling Corporation. The Park Building 504, Beaver Street, Sewickley, USA, 1998
- Abeln, O.** (1990). Die CA-Techniken in der industriellen Praxis, Handbuch der Computergestützten Ingenieur-Methoden, Hanser, Wien
- Balic, J.** (1996). Rechnerunterstützter Informationsfluß im Werkzeugbau, 7th International DAAAM Symposium, ISBN 3-901509-02-X, Editor B. Katalinic, pp 021 - 022, Wien, 17.-19. Oktober 1996
- Balic, J.**, (1999) Contribution to Integrated Manufacturing. Editor B. Katalinic, pp. 73-110, ISBN 3-901509-03-8.
- Banks, J.** (1996) Software for Simulation, Proceedings of the 1996 Winter Simulation Conference, ISBN 0-7803-3383-7, pp 31-38, Coronado, California, December 8-11, 1996
- Barbey, B.** (1992) Technikgestaltung in der flexibel automatisierten Serienmontage, VDI – Verlag, Düsseldorf
- Becker, B. D.; Schulte, J. W.** (1994). Simulation-based Integrated Planning and Control Systems for Manufacturing, Proceedings of the WORKSIMS'94, ISBN 974-8256-154, pp 34-38, Bangkok, Thailand, Nov. 9-11th 1994
- Breitenecker, F.; Kiss, C.; Lingl, M.; Salzman, M.** (1996) Einführung in den diskreten Simulator Micro Saint, Scriptum, Technische Universität Wien, Wien 1996.
- Breitenecker, F.** (1999) The Secret behind BDF- Integrationsverfahren in MATLAB/SIMULINK TU Wien, ARGESIM, Matlab-Seminar, Wien 1999.
- Buchmeister, B.; Polajnar, A.; Pandza, K.** (2002) Simulation Study of Impact of Resources' Downtimes on Shop Performance, International Journal of Simulation Modelling 1 (2002), Volume 1, pp 23-30, ISSN 1726-4529, Vienna
- Buchmeister, B.; Leber, M.; Palcic, I.** (2002) Influence of Frequency and Duration of Machine Downtime on Shop Efficiency, DAAAM International Scientific Book

- 2002, Editor Katalinic, B., pp 49-56, ISBN 3-901509-30-5, DAAAM International Vienna
- Centeno, M. A.** (1996) An Introduction to Simulation Modeling, Proceedings of the 1996 Winter Simulation Conference, ISBN 0-7803-3383-7, pp 15-22, Coronado, California, December 8-11, 1996
- Chan, F. T. S.; Smith, A. M.** (1992) Simulation Approach to Assembly Line Modification: A Case Study. Journal of Manufacturing Systems, Vol. 12/No. 3, Springer Verlag, Berlin Heidelberg
- Cus, F.** (1996) Die wichtigsten Funktionen des Produktionsmanagements, Proceedings of the 7th International DAAAM Symposium, ISBN 3-901509-02-X, Editor B. Katalinic, pp 091 - 092, Wien, 17.-19. Oktober 1996
- Diekmann, H.; Hellbrück, G.** (1991) Flexible Fertigungssysteme - von Projekten zu Produkten, Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung 86 (1991), Volume 5, pp 245-248, München 1991
- Doerner, K. F., Gronalt, M., Hartl, R. F., Reimann, M., Strauss, C.; Stummer, M.** (2002) SavingsAnts for the Vehicle Routing Problem, Application of Evolutionary Computing, 11-20, Springer, 2002
- Doerner, K. F., Gronalt, M., Hartl, R. F.; Reimann, M.** (2001) Optimizing Real Time Operations in Transportation with an Ant System, Preprints of Triennial Symposium on Transportation Analysis IV, June 13-19, Sao Miguel, Azores Islands, Portugal. p. 701-705, 2001
- Dorninger, C.; Janschek, O.; Olearczick, E.; Röhrenbacher, H.** (1990). PPS-Produktionsplanung und -steuerung, Konzepte, Methoden und Kritik, Ueberreuter, Wien
- Fandel, G.; François, P.; Gubitz, K.-M.** (1997) PPS-Systeme. Grundlagen, Methoden, Software, Marktanalyse, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 1997
- Feldmann, G.; Reinhart, G.** (1997). Simulation – Schlüsseltechnologie der Zukunft? Utz Verlag Wissenschaft, München
- Fishwick P. A.** (1995). Simulation Model Design And Execution, Building Digital Worlds, Prentice Hall, New Jersey
- Fritsche** DAAAM International Symposium, ISBN 80-233-0225-6, pp 118-119, Strbske Pleso, 9.-11. December 1991
- Glaser, H.; Geiger, W.; Rohde, V.** (1991). PPS – Grundlagen – Konzepte – Anwendungen. Gabler - Verlag, Wiesbaden
- Gronalt, M.; Mandl, C. E.** (1994) Arbeitsplangenerierung bei Auftragsfertigern, Information Management, 1994

- Gronalt, M. ; Schmid, M. (1992)** Simulationsuntersuchungen zur Evaluation der Kapazität eines neuen Fertigungssystems, Eine Fallstudie, OR Spektrum, 1992
- Gronalt, M.; Katalinic, B.; Schmid, M. (1991)** Engpassanalyse eines flexiblen Fertigungssystems mit Hilfe von Computersimulationen, Proceedings of the 2nd Chancen“, Tagungsband pp 199-200, ISBN 3-901509-00-3 & ISBN-86-435-0084-4, Universität Maribor, Technische Fakultät, 27-29. Oktober 1994, Slowenien
- Günther, H. O.; Gronalt, M.; Piller, F.; Zeller, R. (1994)** Computersimulation der Einlastungs- und Ablaufplanung in einem Hochautomatisierten System zur Bestückung von Leiterplatten, Dokumentation des Versuchslabors, Technical Report 19, TU-Berlin, 1994
- Hackstein, R. (1989)** Produktionsplanung und -steuerung (PPS), Ein Handbuch für die Betriebspraxis, VDI Verlag, Düsseldorf 1989
- Katalinic B., (1997)** Design Methodology of Scheduling Strategies and Scenarios of Complex Flexible Systems, Proceedings of the 29th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, pp 179-184, Osaka University, Japan, May 11-13, 1997
- Katalinic, B.; Celar, S. (1995c)** Computersimulation eines flexiblen Motorenmontagesystems, 6. Internationales DAAAM Symposium, Intelligent Manufacturing Systems, Tagungsband pp 167-168, ISBN 3-901509-01-1, Technische Universität Krakow, 26-28. Oktober 1995, Krakow, Polen
- Katalinic, B.; Celar, S. (1996f)** Discrete-event Based Computer Simulation of Complex Flexible Manufacturing Systems, Proceedings of the 13th International Conference BIAM'96, ISBN 953-6037-12-2, pp J-1 J-4, June 18-21 st, 1996, Zagreb, Croatia
- Katalinic, B.; Celar, S., (1994c)** Computersimulation für Optimierung der Struktur des FFS, 5. Internationales DAAM Symposium „Automation und Metrologie: Herausforderungen und Chancen“, Tagungsband pp 201-202, ISBN 3- 901509-00-3 & ISBN 86-435-0084-4, Universität Maribor, Technische Fakultät, 27-29. Oktober 1994, Maribor, Slowenien
- Katalinic, B.; Celar, S., (1996e)** Auslegungs- und Steuerungskonzept des flexiblen Systems für die Montage von Geräteelektromotoren, Proceedings of International Conference on Computer Integrated Manufacturing, CIM 96, Volume III, pp 199-206, May 14-17, 1996, Zakopane, Poland
- Katalinic, B.; Celar, S., (1996g)** Einsatz der Computersimulation für die Auslegung und Steuerung von FFS, Proceedings of the 7th International DAAAM Symposium, ISBN 3-901509-02-X, pp 203-204, Wien, 17.-19. Oktober 1996
- Katalinic, B. (1990)** Steuerungsstrategien des flexiblen Montagesystems, 5. Internationales DAAM - Symposium „Automation und Metrologie“: Herausforderungen und, **B. (1999)** Die Zukunft von PPS und Supply Chain. In: Logistik - Heute, Hun-Verlag, 5

- Katalinic, B.** (1990). *Industrieroboter und flexible Fertigungssysteme für Drehteile*, VDI Verlag, Düsseldorf
- Katalinic, B.** (1994a) *Complex Flexible Manufacturing Systems-Design of Control Structures and Scheduling Strategies*, Annals of CIRP, Manufacturing Systems, Vol. 23 (1994), No.1, pp 65-70, ISBN 0176-3377, WISSU Verlag, Aachen & Faculty Press International, Aachen 1994
- Katalinic, B.** (1996). *Intelligent Manufacturing Systems als logisches Ergebnis der Evolution von Produktionssystemen, Elektrotechnik und Informationstechnik*, ÖVE-Verbandszeitschrift, pp 249 - 252, Volume 4, Wien
- Katalinic, B.**, (1996b) *Design of Scheduling Structures and Strategies for Complex Flexible Manufacturing Systems*, International Conference on Computer Integrated Manufacturing, CIM 96, May 14-17, 1996. Poland
- Katalinic, B.; Celar, S.** (1994a). *Simulation als Werkzeug bei der Auslegung und Steuerung des FFS für Blechbearbeitung*, Proceedings of the 12th International Conference BIAM'94, ISBN 953-6037-03-3, pp E-9-E-12, Zagreb, 23.-24. Juni 1994
- Katalinic, B.; Fabian, E.** (1996c). *Konzept eines sophistizierten Manipulationssystems für komplexe logistische Aufgaben*, 7th International DAAAM Symposium, ISBN 3-901509-02-X, Editor B. Katalinic, pp 205 - 207, Wien, 17.-19. Oktober 1996
- Katalinic, B.; Nanasi, J.** (1994b). *Expertensysteme bei der intelligenten Steuerung von komplexen flexiblen Systemen*, Proceedings of the 12th International Conference BIAM'94, ISBN 953-6037-03-3, pp C-57 - C-60, Zagreb, 23.-24. Juni 1994
- Katalinic, B.; Nanasi, J.** (1994c). *Expertensystem für die Optimierung der Produktionsabläufe beim FFS*, Proceedings of the 5th International DAAAM Symposium, ISBN 3-901509-00-3, ISBN 86-435-0084-4, pp 203 - 204, Universität Maribor, 27.-29. Oktober 1994
- Katalinic, B.; Nanasi, J.** (1995b). *Datenstruktur zur Erhöhung der Intelligenz des FFS-Leitstands durch Anwendung von Expertensystemen*, Proceedings of the 6th International DAAAM Symposium, ISBN 3-901509-01-1, pp 169 - 170, Technische Universität Krakow, 26.-28. Oktober 1995
- Katalinic, B.; Nanasi, J.** (1996a). *Ein Expertensystem für die Ablaufplanung auf dem FFS-Leitstand*, Proceedings of the International Conference on CIM, VDI GA-CIM, pp 153 - 158, Volume II, Zakopane, 14.-17. Mai 1996
- Katalinic, B.; Nanasi, J.** (1996b). *Struktur eines Expertensystems für die strategischen Entscheidungen in FFS*, Proceedings of the 13th International Conference BIAM'96, ISBN 953-6037-12-2, pp C-01 - C-04, Zagreb, 18.-20. Juni 1996

- Katalinic, B.; Nanasi, J. (1996d).** Effizienzerhöhung von FFS durch Intelligente Vernetzung, 7th International DAAAM Symposium, ISBN 3-901509-02-X, Editor B. Katalinic, pp 207 - 208, Wien, 17.-19. Oktober 1996
- Katalinic, B.; Nanasi, J.; Celar, S. (1995a).** Der intelligente Leitstand - Integration von wissensbasierten Systemen und Simulation, Proceedings of the 40th Conference KoREMA, Zagreb, 19.-21. April, 1995
- Kernler, H. (1993).** PPS der 3. Generation: Grundlagen, Methoden, Anregungen, Hüthig-Verlag, Heidelberg
- King, C.B. (1996)** Taylor II Manufacturing Simulation Software, Proceedings of the 1996 Winter Simulation Conference, ISBN 0-7803-3383-7, pp 569-573, Coronado, California, December 8-11, 1996
- Kosko, B. (1995)** Fuzzy Logisch: Eine neue Art des Denkens. ECON Taschen - Buchverlag GmbH, Düsseldorf
- Kosturiak, J.; Gregor, M. (1995)** Simulation von Produktionssystemen, Springer-Verlag, Wien - New York 1995
- Kurbel, K. (1999)** Produktionsplanung und -steuerung. Methodische Grundlagen von PPS - Systemen und Erweiterungen, Oldenbourg Verlag, München Wien 1999
- Kusiak, A. (2000)** Computational Intelligence in Design and Manufacturing, John Wiley, New York, 2000
- Kusiak A.; Dagli, C. (1994)** Intelligent Systems in Design and Manufacturing, New York 1994
- Kusiak, A. (1990)** Intelligent Manufacturing Systems, Prentice Hall, New Jersey 1990
- Law, A.M.; McComas, M.G. (1996)** Total Support for Simulation Input Modeling, Proceedings of the 1996 Winter Simulation Conference, ISBN 0-7803-7, pp 588-593, Coronado, California, December 8-11, 1996
- Liebl, F. (1995).** Simulation - Problemorientierte Einführung, Oldenbourg Verlag, München, Wien
- Ljolic, B.; Katalinic, B.; Stuja, K. (2002)** Optimisation of Flexible Assembly System Using Simulation, International Journal of Simulation Modelling 1 (2002), Volume 1, pp 16-22, ISSN 1726-4529, Vienna
- Lotter, B. (1998)** Wirtschaftliche Montage, VDI - Braunschweig, Wiesbaden
- Milberg, J. (2000)** Simulation von Montageprozessen – Hilfsmittel der Montageplanung, ZwF – CIM, Sonderheft

- Pegden, C.D.; Davis, D.A.** (1992) ARENATM: A SIMAN/Cinema-based Hierarchical Modeling System, Proceedings of the 1992 Winter Simulation Conference, ISBN 0-7803-07987-4, pp 390-399, Arlington, Virginia, December 13-16, 1992
- Rametsteiner, W.** (1993). Algorithmen und Softwarefunktionen zur organisatorischen Prozeßführung in der flexiblen Automation komplexer Drehzellensysteme, Dissertation, TU Wien
- Reinhart, G.; Feldmann, K.** (1997). Simulation - Schlüsseltechnologie der Zukunft? Herbert Utz Verlag, München
- Rogers, R.V.; Zyda, M.** (1996) Modeling and Simulation Education: Is There a Need for Graduate Degrees in Modeling and Simulation?, Proceedings of the 1996 Winter Simulation Conference, ISBN 0-7803-3383-7, pp 1401-1406, Coronado, California, December 8-11, 1996
- Sauerbier, Th.** (1999.) Theorie und Praxis von Simulationssystemen; Vieweg-Verlag, Braunschweig, Wiesbaden
- Seliger, G.** (1989). Montage als Schwerpunkt produktionstechnischer Unternehmensstrategie. In: Montagetechnik Tagungsband, gmft Verlag, München
- Seliger, G.; Heinemeier, H.-J.; Gleue, V.; Wang, Y.** (1990). Integrierte Montageplanung - vom Produkt zum Anlagenlay - out. VDI Berichte 824: Rechnergestützte Fabrikplanung'90, Düsseldorf: VDI Verlag
- Tempelmeier, H.** (2000) Simulation mit SIMAN, Physical - Verlag - Heidelberg
- Tempelmeier, H.; Kuhn, H.** (1992). Flexible Fertigungssysteme, Entscheidungsunterstützung für Konfiguration und Betrieb, Springer-Verlag, Berlin
- Ueda, K.** (1996). Biological Manufacturing Systems and IMS Program, 7th International DAAAM Symposium, ISBN 3-901509-02-X, Editor B. Katalinic, pp 449 - 452, Wien, 17.-19. Oktober 1996
- Ueda, K.** (1999) Learning Approaches to Autonomous Robots in Biological Manufacturing Systems, Invited Paper, Annals of DAAAM for 1999 & Proceedings of 10th DAAAM International Symposium "Intelligent Manufacturing & Automation: Past - Present - Future" (Editor: B. Katalinic), pp. 559-561, ISBN 3-901509-10-0, Vienna, 21-23rd October 1999
- VDI-Richtlinie** (1999). Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen. Blatt 1: Grundlagen, Beuth - Verlag, Düsseldorf
- Weigl, K. H.** (1992) Graphische Simulation in der Fertigungstechnik: Verfahren zur Planung und Systemanalyse eines modularen flexiblen Fertigungssystems mit Hilfe der visuellen, interaktiven Computersimulation, Dissertation, TU Wien 1992

- Weigl, K. H.** (1993) Simulation in der Fertigungstechnik, Skriptum, Technische Universität Wien - IFT, Wien 1993
- Weigl, K. H.** (1996) Scheduling und Simulation - industrieller Einsatz mit modernen Werkzeugen, Proceedings of the 7th International DAAAM Symposium, ISBN 3-901509-02-X, Editor B. Katalinic, pp 477-478, Wien, 17.-19. Oktober 1996
- Westkämper, E.** (1994). Zertifizierung, Anstoß für ein Reengineering der Produktion, Sonderteil in Hanser Fachzeitschriften, Zertifizierung, pp 88 -93, Carl Hanser Verlag, München, November 1994
- Wiendahl, H.-P.; Fastabend, H.; Helms, K.; Jäger, M.** (1996). Zukünftige PPS-Systeme müssen Logistik-Netzwerke beherrschen. Industrie Management - Special „PPS Management“

## 12. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

<i>Abb. 1.1. Die Zeitschere bezüglich Reaktionszeit [König 1997]</i> .....	3
<i>Abb. 1.2. Einbringung einiger mächtiger Ideen in die Technik</i> .....	9
<i>Abb. 1.3. Megatrends in der Produktionstechnik [Katalinic 96]</i> .....	10
<i>Abb. 1.4. Vier Megatrends [Nanasi 1996]</i> .....	12
<i>Abb. 2.1. Wertschöpfungskette</i> .....	14
<i>Abb. 2.2. Logistik als bereichsübergreifende Strategie</i> .....	17
<i>Abb. 2.3. Gesamtkosten</i> .....	23
<i>Abb. 2.4. Funktionelle Abgrenzung von Logistiksystemen</i> .....	24
<i>Abb. 3.1. Die 5 Phasen von konventionell bis CIM [Kief 1998]</i> .....	26
<i>Abb. 3.2. CA - Techniken im Informationsverbund [Kief 1998]</i> .....	30
<i>Abb. 4.1. PPS - Funktionen [Weck 2001]</i> .....	33
<i>Abb. 4.2. Planung und Fertigung in Intelligent Manufacturing Systems [Warnecke 1997]</i> .....	34
<i>Abb. 4.3. PPS - Struktur des FFS [Nanasi 1996]</i> .....	35
<i>Abb. 4.4. Einsatz von Expertensystemen in PPS - Systemen [Fandel 1997]</i> .....	39
<i>Abb. 4.5. Hierarchische Produktionsplanung in PPS - Systemen [Fandel 1997]</i> .....	40
<i>Abb. 4.6. Simulation in PPS - Systemen [Fandel 1997]</i> .....	41
<i>Abb. 4.7. JIT-/Kanban - System in PPS - Systemen [Fandel 1997]</i> .....	42
<i>Abb. 4.8. Leitstand in PPS [Kurbel 1999]</i> .....	42
<i>Abb. 4.9. Zentrales PPS – System und Dezentrale Leitstände</i> .....	43
<i>Abb. 4.10. Einsatz eines Leitstandkonzepts in PPS - Systemen [Fandel 1997]</i> .....	45
<i>Abb. 5.1. Einsatzbereiche unterschiedliche Fertigungskonzepte [Kief, 1998]</i> .....	46
<i>Abb. 5.2. FFS – Flexibilitätsformen</i> .....	50
<i>Abb. 5.3. Subsysteme eines FFS</i> .....	53
<i>Abb. 5.4. Komponenten des technischen Subsystems eines FFS</i> .....	54
<i>Abb. 5.5. FFS – Materialfluss</i> .....	55
<i>Abb. 5.6. Werkstückversorgungssystem</i> .....	55
<i>Abb. 5.7. Informationssystem</i> .....	57
<i>Abb. 5.8. Beispiel eines ausgeführten FFS</i> .....	69
<i>Abb. 6.1. Zielsystem zur Maximierung der Wirtschaftlichkeit in der Produktionsplanung und -steuerung (nach [Wien 2001])</i> .....	61
<i>Abb. 6.2. Nutzen von Simulationsuntersuchungen</i> .....	63
<i>Abb. 6.3. Grundlegende Systembegriffe</i> .....	65
<i>Abb. 6.4.: Klassifikation nach Abbildungsmedium und Untersuchungsmethode</i> .....	67

<i>Abb. 6.5: Klassifikation nach Art der Zustandsübergänge</i> .....	67
<i>Abb. 6.6. Klassifikation nach Verwendungszweck</i> .....	68
<i>Abb. 6.7. Beziehungen zwischen Objekt, Modell und Experimentator</i> .....	69
<i>Abb. 6.8. Schematische Darstellung der Modellbildung und Simulation</i> .....	70
<i>Abb. 6.9. Die Phasen des Modellbildungsprozesses</i> .....	71
<i>Abb. 7.1. Automatisierungsgrad der einzelnen Bereiche von Produktionsunternehmen</i> .....	76
<i>Abb. 7.2. Vergleich von Montagekosten</i> .....	77
<i>Abb. 7.3. Tätigkeitsgruppe beim Montieren [DIN 8593 – IPA Stuttgart]</i> .....	79
<i>Abb. 7.4. Zeitliche Anteile der Montagevorgänge [Humanisierung des Arbeitslebens]</i> .....	79
<i>Abb. 7.5. Kostenverantwortung – Kostenverursachung</i> .....	80
<i>Abb. 7.6. Ziele montagegerechte Produktgestaltung</i> .....	81
<i>Abb. 7.7. Montageorientierte Produktgliederung in Baugruppen</i> .....	82
<i>Abb. 7.8. Montageerweiterte ABC – Analyse</i> .....	83
<i>Abb. 7.9. Wirkungsplan des Montageprozesses [Enderle 1999]</i> .....	85
<i>Abb. 7.10. Anforderung an Montagesysteme</i> .....	85
<i>Abb. 7.11. Einteilung von Montagestationen</i> .....	86
<i>Abb. 7.12. Grundbausteine von Rundtaktmaschinen</i> .....	90
<i>Abb. 7.13. Aufbau von Rundtaktmaschinen</i> .....	91
<i>Abb. 8.1. Das flexible Motormontagesystem – Layout</i> .....	94
<i>Abb. 8.2. Standard-Drehstrommotor - 2,2 kW- 940min</i> .....	103
<i>Abb. 8.3. Ersatzteilliste für Standard-Drehstrommotoren</i> .....	104
<i>Abb. 8.4. Das Pull – Down Menü [System Modelling Corporation]</i> .....	106
<i>Abb. 8.5. Das Pull – Down Menü [System Modelling Corporation]</i> .....	107
<i>Abb. 8.6. Die ARENA – Modellschablone [System Modeling Corporation]</i> .....	107
<i>Abb. 8.7. Das Modell mit Forderbändern [System Modeling Corporation]</i> .....	108
<i>Abb. 8.8. Die Arrive Dialogbox [System Modeling Corporation]</i> .....	109
<i>Abb. 8.9. Die Simulate Dialogbox [System Modeling Corporation]</i> .....	110
<i>Abb. 8.10. Das Run Panel [System Modeling Corporation]</i> .....	111
<i>Abb. 8.11. Fehler/Warnings Dialog Box [System Modeling Corporation]</i> .....	112
<i>Abb. 8.12. Die Setup Dialogbox [System Modeling Corporation]</i> .....	113
<i>Abb. 8.13. Die Animation Speed Dialog Box [System Modeling Corporation]</i> .....	114
<i>Abb. 8.14. Das View Window [System Modeling Corporation]</i> .....	115
<i>Abb. 8.15. Das Durchgangs- Submodell</i> .....	119
<i>Abb. 8.16. Das Verzweigungs- Modell</i> .....	120
<i>Abb. 8.17. Das Vereinigungs- Submodell</i> .....	121

<i>Abb. 8.18. Das Trennungs- Submodell.....</i>	<i>121</i>
<i>Abb. 8.19. Simulationsmodell eines flexiblen Motormontage Systems.....</i>	<i>122</i>
<i>Abb. 8.20. Optimale Palettenanzahl.....</i>	<i>123</i>
<i>Abb. 8.21. Just – In - Time (JIT), KANBAN Steuerungsstrategie.....</i>	<i>124</i>
<i>Abb. 8.22. KANBAN - Totalausfall/Durchlaufzeit.....</i>	<i>125</i>
<i>Abb. 8.23. KANBAN – Teilausfall/Durchlaufzeit.....</i>	<i>126</i>
<i>Abb. 8.24. CONWIP Steuerungsstrategie.....</i>	<i>127</i>
<i>Abb. 8.25. CONWIP - Totalausfall/Durchlaufzeit.....</i>	<i>127</i>
<i>Abb. 8.26. CONWIP – Teilausfall/Durchlaufzeit.....</i>	<i>128</i>
<i>Abb. 8.27. Totalausfall – KANBAN/CONWIP.....</i>	<i>129</i>
<i>Abb. 8.28. Teilausfall – KANBAN/CONWIP.....</i>	<i>130</i>
<i>Abb. 8.29. Doppelte Stationen/Durchlaufzeit.....</i>	<i>131</i>
<i>Abb. 9.1. Das Layout des Bionic Montage Systems (BAS).....</i>	<i>142</i>
<i>Abb. 9.2. Layout der flexiblen Montagesystems mit Gürtelförderanlage.....</i>	<i>143</i>
<i>Abb. 9.3. Layout des flexiblen Montagessystems mit gebundenen mobilen Robotern.....</i>	<i>144</i>
<i>Abb. 9.4. Layout des flexiblen Montagesystems mit frei beweglichen mobilen Robotern.....</i>	<i>145</i>

## 13. TABELLENVERZEICHNIS

<i>Tab. 2.1. Definition der Logistik.....</i>	<i>15</i>
<i>Tab. 2.2. Kostenkonflikte in der Logistik .....</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 4.1. Die wichtigsten Aufgaben der FFS-Planung [Nanasi 1996] .....</i>	<i>37</i>
<i>Tab. 5.1. Vergleich der 9 wichtigsten Fertigungskonzepte für die spannende Bearbeitung.....</i>	<i>47</i>
<i>Tab. 6.1. Systemeigenschaften der Modellierung und Simulation.....</i>	<i>63</i>
<i>Tab. 8.1. Optimale Palettenanzahl – Ergebnisse .....</i>	<i>123</i>
<i>Tab. 8.2. KANBAN / Totalausfall – Ergebnisse .....</i>	<i>124</i>
<i>Tab. 8.3. KANBAN / Teilausfall - Ergebnisse .....</i>	<i>125</i>
<i>Tab. 8.4. CONWIP / Totalausfall – Ergebnisse .....</i>	<i>127</i>
<i>Tab. 8.5. CONWIP / Teilausfall – Ergebnisse.....</i>	<i>128</i>
<i>Tab. 8.6. Totalausfall – KANBAN/CONWIP - Ergebnisse .....</i>	<i>129</i>
<i>Tab. 8.7. Teilausfall – KANBAN/CONWIP - Ergebnisse.....</i>	<i>130</i>
<i>Tab. 8.8. Doppelte Stationen/Durchlaufzeit – Ergebnisse .....</i>	<i>131</i>