

cand. prod. Halil Ibrahim Koruca
Matr.-Nr.: 0732436

**Exemplarischer Vergleich ausgewählter Verfahren der
Arbeitssteuerung mit Hilfe des Simulationsverfahrens FEMOS**

- Diplomarbeit -
Nr.: 04894003

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing.
Gert Zülch

Mitbetreuender wiss. Mitarbeiter: Dr.-Ing. Thomas Grobel
Dipl.-Ing. Bernd Brinkmeier

Karlsruhe, 15.3.1995

Diplomarbeit

für Herrn cand. mach. Halil Ibrahim Koruca,
Matr.-Nr. 732436
Schlachthausstr. 12, 76131 Karlsruhe

Exemplarischer Vergleich ausgewählter Verfahren der Arbeitssteuerung mit Hilfe des Simulationsverfahrens FEMOS

Zur Steuerung von Produktionssystemen sind neben den konventionellen Verfahren, wie beispielsweise der Betriebsauftragssteuerung oder der belastungsorientierten Auftragsfreigabe nach dem Schiebeprinzip seit längerer Zeit auch Steuerungen nach dem Ziehprinzip, wie z.B. die Kanban-Steuerung in der Diskussion. Durch derartige Konzepte sollen in erster Linie die Reagibilität der Unternehmen gegenüber dem Markt erhöht und gleichzeitig die betriebsorganisatorischen Parameter verbessert werden. Das Kanban-Prinzip kann aber nur dann sinnvoll eingesetzt werden, wenn eine Reihe von Voraussetzungen erfüllt sind.

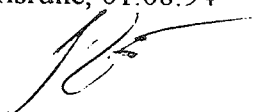
In letzter Zeit wurde mit der Steuerung durch Leistungsratenvereinbarung am Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation ein Verfahren entwickelt, das die Vorteile des Ziehprinzips beinhaltet, aber in seiner Anwendbarkeit wesentlich flexibler als die Kanban-Steuerung ist.

Im Rahmen der Diplomarbeit sollen an einem exemplarischen Fallbeispiel verschiedene Verfahren der Arbeitssteuerung gegenübergestellt werden. Hierzu steht das am ifab entwickelte Simulationsverfahren FEMOS zur Verfügung, in dem die Auftragsabwicklung unter Anwendung einer Kanban-Steuerung (nach dem Ziehprinzip), einer Betriebsauftragssteuerung nach dem Schiebeprinzip und einer Steuerung mit Leistungsraten abgebildet und untersucht werden kann.

Als Fallbeispiel kann das Modell einer Fahrradfertigung dienen, für das geeignete Gestaltungsvarianten zu entwickeln sind. Diese Gestaltungsvarianten beziehen sich einerseits auf die Struktur der Fertigung, andererseits auf die Struktur der Belastung. So soll die Eignung der genannten Verfahren bzgl. verschiedener Strukturformen sowie bei einer quantitativen und qualitativen Variation der Systembelastung untersucht werden.

Betreuer:	Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. G. Zülch
Mitbetreuender wissenschaftlicher Mitarbeiter:	Dr.-Ing. Th. Grobel Dipl.-Ing. B. Brinkmeier

Karlsruhe, 01.08.94



0	Einleitung.....	i
1	Einführung in Produktionssysteme	1
1.1	Stellung der Produktionssteuerung im Produktionsunternehmen	1
1.2	Einordnung der Arbeitsvorbereitung	5
1.3	Aufgaben und Ziele der Fertigungssteuerung	7
1.4	Tendenzen in der Organisationsgestaltung.....	12
1.4.1	Veränderungen in der Ablauforganisation.....	13
1.4.2	Veränderungen in der Aufbauorganisation.....	14
2	Produktionssteuerungsverfahren	16
2.1	Grundlagen der Produktionssteuerungsverfahren	16
2.2	Entwicklungstendenz der Produktionssteuerung	18
2.2.1	Bestimmung der Fertigungssteuerungsprinzipien, -strategien und -verfahren ..	21
2.3	Betriebsauftragssteuerung.....	26
2.4	Kanban-Steuerung	28
2.4.1	Anforderungen an die Produkte bzw. Teile	29
2.4.2	Anforderungen an Produktionseinheiten.....	30
2.5	Leistungsratenvereinbarung	30
2.5.1	Einleitung und Problemstellung.....	30
2.5.2	Definition und Merkmale der Leistungsratenvereinbarung	30
2.5.3	Vereinbarungsdauer.....	33
2.5.4	Planzeitabschnitt	33
3	Simulationsverfahren.....	34
3.1	Allgemeines über Simulation.....	34
3.1.1	Begriffsdefinition und Abgrenzung.....	34
3.1.2	Einsatzgebiet und Nutzeffekte der Simulation in de Produktion.....	38
3.2	Das Simulationsverfahren Femos	39
3.3	Modellierung eines Produktionssystems	42
4	Simulation einer Fahrradfabrik	45

4.1	Basismodell (S-1) der Fahrradfabrik.....	45
4.1.1	Auftragsarten.....	47
4.1.2	Auftragsspektrum	48
4.1.2.1	Kundenaufträge.....	48
4.1.2.2	Kaufaufträge (Beschaffungsaufträge).....	49
4.1.3	Durchlaufplan, Arbeitsgängenzeiten und Betriebsmittelzuordnung	51
4.1.4	Arbeitszeiten beim Modell	54
4.1.5	Kostenmodellierung bei FEMOS.....	55
4.1.5.1	Personalkosten beim Modell.....	57
4.2.6	Belastung des Systems	58
4.2	Struktur 2 (S-2) als Variante der Fahrradfabrik	61
4.3	Struktur 3(S-3) als Variante der Fahrradfabrik.....	63
4.4	Struktur 4 (S-4) als Variante der Fahrradfabrik	66
5	Vergleich der Ergebnisse und Interpretation des Systems	68
5.1	Bewertungskennzahlen des Produktionssystems.....	68
5.1.1	Zielerreichungsgrad Auslastung (ZAU).....	70
5.1.2	Zielerreichungsgrad Auftragsbestand (ZBE).....	70
5.1.3	Zielerreichung Durchlaufzeitgrad (DLG).....	70
5.1.4	Zielerreichungsgrad Durchlaufzeitabweichung.....	71
5.2	Interpretation der Ergebnisse	72
5.2.1	Vergleich der Ergebnisse bei der Betriebsauftragssteuerung für unterschiedliche Varianten.....	72
5.2.2	Vergleich der Steuerungsverfahren Betriebsauftragssteuerung und Kanban- steuerung.....	75
5.2.3	Vergleich der Belastung zwischen Engpaß- und Überbelastung	77
5.2.4	Vergleich zwischen Betriebsauftragssteuerung und Leistungsrate- vereinbarung bei Überbelastung	81
5.2.5	Vergleich zwischen täglicher Konstante und geänderten Stückzahlen der Fahrradtypen bei normaler Belastung	82
6	Zusammenfassung.....	83

0 Einleitung

Um Marktchancen zu nutzen und langfristig im Wettbewerbsprozeß bestehen zu können, ist es für ein Unternehmen von grundlegender Bedeutung, Veränderungen auf den Absatz- und Beschaffungsmärkten, aber auch Tendenzen in den rechtlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen rechtzeitig zu erkennen und seine Unternehmensstrategie darnach auszurichten. Der verschärfte Wettbewerb zwingt Unternehmen verstärkt zur Effektivität von Produktionsbetrieben. Mit traditionellen Produktionsstrukturen kann man Kundenwünsche in der heutigen Zeit bezüglich Lieferzeit, Lieferfähigkeit, Liefertreue, Lieferflexibilität und Informationsflexibilität nicht befriedigen (vgl. ZÄPFEL 1993, S. 21).

Damit stellen sich für die Unternehmen die folgenden Herausforderungen:

- Schaffen einer wirtschaftlichen Produktion trotz kurzer Lieferzeiten und Variantenvielfalt,
- Sicherstellung des wirtschaftlichen Erfolgs eines Produktprogramms trotz kürzerer Produktentwicklungszeiten und -lebenszyklen.

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, versucht man vor allem drei miteinander verbundene Vorgehenweisen zu realisieren:

- Die einzelnen Bereiche der Leistungserstellung, welche die computergestützte Konstruktion (CAD), computergestützte Arbeitsplanung (CAP), computergestützte Produktionsplanung und -steuerung (PPS-System) und das computergestützte Fertigen in Teilfertigung und Montage (CAM-Systeme) umfaßt, sind durch den Einsatz von Computern und spezieller Software zu unterstützen.
- Die Teilbereiche (PPS-, CAD-, CAP-, CAM-Systeme) sind durch Informations- und Kommunikationstechnologien zu einem Gesamtsystem zu vereinen, also eine computerintegrierte Produktion bzw. CIM-System ist zu schaffen.
- Die technologischen Entwicklungen führen zu einer neuen Fertigungsorganisation. So werden z.B. neue Organisationsformen in der Teilefertigung eingeführt, welche die bei der Werkstattfertigung üblichen langen Durchlaufzeiten und hohen Lagerbestände reduzieren helfen, indem der Fertigungsablauf segmentiert wird (vgl. ZÄPFEL 1993, S. 21).

Die Betriebe werden durch neue Organisationsformen wie z.B. betriebliche Strukturierungen und Steuerungsverfahren beeinflußt. Die Planung solcher Strukturen und Steuerung ist deshalb äußerst komplex, weil viele Einflußgrößen zu berücksichtigen sind. Dabei ist sicher, daß die Produktions-

planung und -steuerung zukünftig in beiden Grundfunktionen und in der Produktionssteuerung unterschiedlichen Anforderungen gerecht werden muß, um mit den organisatorischen und strukturellen Veränderungen in Betrieben Schritt zu halten. Mit der Organisation in der Fertigung wird sich die Produktionssteuerung in Zukunft beschäftigen müssen. Eine vermehrte Segmentierung bis zur "Fraktalen Fabrik" (vgl. WARNECKE 1992) stellt die Steuerung vor neue Aufgaben.

Auch die Organisation in autonomen Arbeitsgruppen und die Steuerung kleiner Regelkreise überlagerter kaskadierter Produktionssteuerung hat für die PPS Anforderungen zur Folge, die sich teilweise nur noch mit Hilfe von Simulationsläufen untersuchen und bewerten lassen. Die wichtigste Forderung an die PPS-Systeme wird damit in Zukunft wohl die Simulationsfähigkeit sein, das heißt die Möglichkeit, innerhalb spezieller PPS-Module unterschiedliche Fertigungsstrukturen und Steuerungsstrategien alternativ gegenüberzustellen und zu bewerten oder diese Aufgabe mit durch Schnittstellen verbundene Simulationsprogramme zu lösen.

In dieser Diplomarbeit wird der Einfluß der Strukturen und Steuerungsverfahren in den Produktionsbetrieben exemplarisch verglichen. Dabei hilft das Simulationsverfahren FEMOS. Ergebnisse der Steuerungsstrategie werden erläutert. Als Fallbeispiel dient das Modell einer Fahrradfertigung, wofür geeignete Gestaltungsvarianten zu entwickeln sind.

1 Einführung in Produktionssysteme

1.1 Stellung der Produktionssteuerung im Produktionsunternehmen

Bei der Lösung einer komplexen Aufgabe muß zuerst festgestellt werden, wie diese im System einzuordnen ist. Es ist sehr wichtig, sich Randbedingungen vor Augen zu führen, denen diese Aufgabe unterliegt.

Zunächst soll die Stellung der Produktion im Bereich eines Unternehmens eingeordnet werden (vgl. Abb. 1.1). Nach dieser Einordnung sind Ziele und Aufgaben der Produktionssteuerung zu begrenzen.

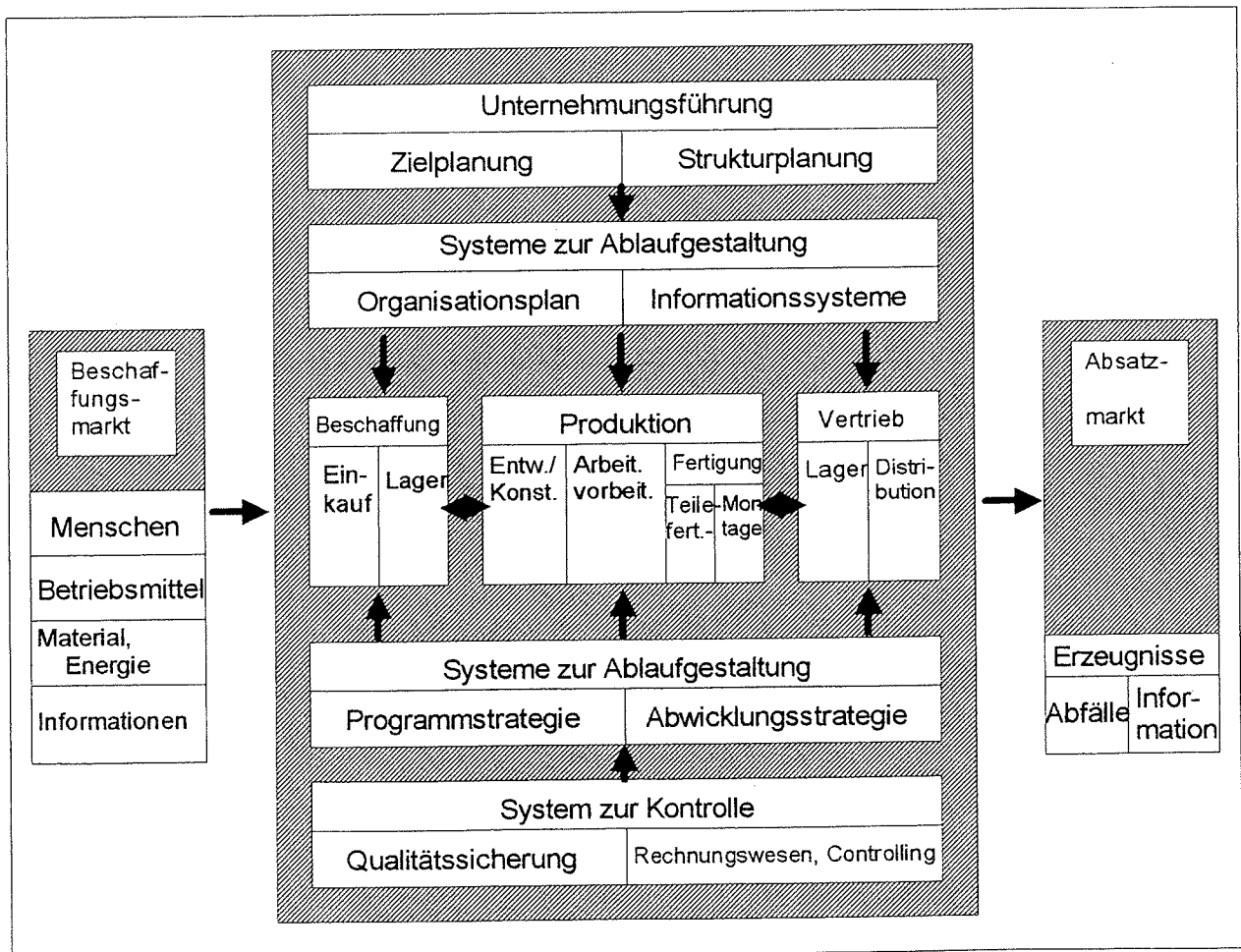


Abb. 1.1: Modellhafter Aufbau eines Betriebes
 (in Anlehnung an Wiendahl 1983; ZÜLCH 1993, S. 2-9)

Nachfolgend werden die Bereiche eines Betriebes näher beschrieben, die nur bei der Abwicklung von Kundenaufträgen direkt beteiligt sind.

Beschaffung:

Beschaffungen betreffen Mengen, die aufgrund einer Bestellung oder eines Auftrages zur Eigenfertigung an einem bestimmten Termin einem Bestand hinzugefügt werden (REFA AMPS 1993, S. 114).

Die Aufgabe der Beschaffung im Unternehmen besteht darin, alle für den Leistungserstellungsprozeß erforderlichen Güter und Dienstleistungen bereitzustellen. Dabei kann man folgende Kategorien von Gütern unterscheiden:

- Güter, die erforderlich für die Aufnahme der Produktion sind,
- Güter, die für die laufende Durchführung der Produktion benötigt werden und
- Güter, aus denen die Produkte hergestellt werden.

Um einen reibungslosen Produktionsablauf zu gewährleisten, müssen die Terminverzögerungen und Qualitätsmängel durch das Beschaffungswesen ausgeglichen werden (vgl. WARNECKE 1993, S. 194).

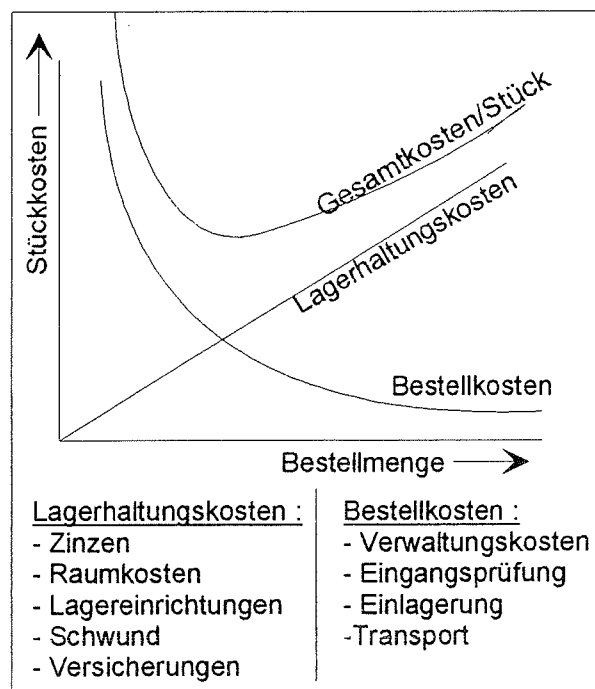


Abb. 1.2: Eingangsgrößen für die Bestimmung optimaler Beschaffungsgrößen (WARNECKE 1993, S. 213)

Mit Hilfe der folgenden Andler'schen Losgrößenformel kann eine wirtschaftliche Losgröße bestimmt werden:

$$L = (200 \cdot K_b \cdot M / K_s \cdot p)^{1/2}$$

mit: L Wirtschaftliche Losgröße

K_b fixe Bestellkosten (Bestellabwicklung, Wareneingang)

M Jahresbedarf

K_s Stückkosten

p Lagerhaltungskosten

Die Beschaffung hat eine hohe Verantwortung Aufgabe für die Kostenminimierung von Produkten, durch die Bestellung von Teilen. In Abb. 1.2 ist die Beziehung zwischen Stücklisten und Bestellmenge für die Ermittlung der optimalen Gesamtkosten/Stück dargestellt.

Produktion:

"Zur Produktion gehören alle Bereiche eines Unternehmens, die an der Herstellung von Erzeugnissen mittelbar und unmittelbar beteiligt sind. Diese sind

- die Entwicklung sowie gegebenenfalls die Projektierung und Angebotsbearbeitung,
- die Beschaffung von Material auf dem Markt bzw. im eigenen Unternehmen,
- die Fertigung, z.B. unterteilt sich in Fertigungsorganisation und weiter in Vor- und Teilefertigung, Montage, Instandhaltung und innerbetrieblicher Transport sowie die Fertigungsorganisation und
- das Qualitätswesen" (REFA AMPS 1993, S. 12).

Weitere ausführliche Erklärungen werden im Kapitel 1.2 angeführt.

Vertrieb:

Der Verkauf betrifft Mengen, die aufgrund einer Bestellung oder eines Auftrages zur Eigenfertigung an einem bestimmten Termin produzierte Erzeugnisse geliefert werden.

Werden die Hauptaufgaben eines Betriebes hierarchisch gegliedert, so entstehen Aufgabenbereiche, wie sie in ihren Grundzügen in Abb. 1.3 dargestellt sind.

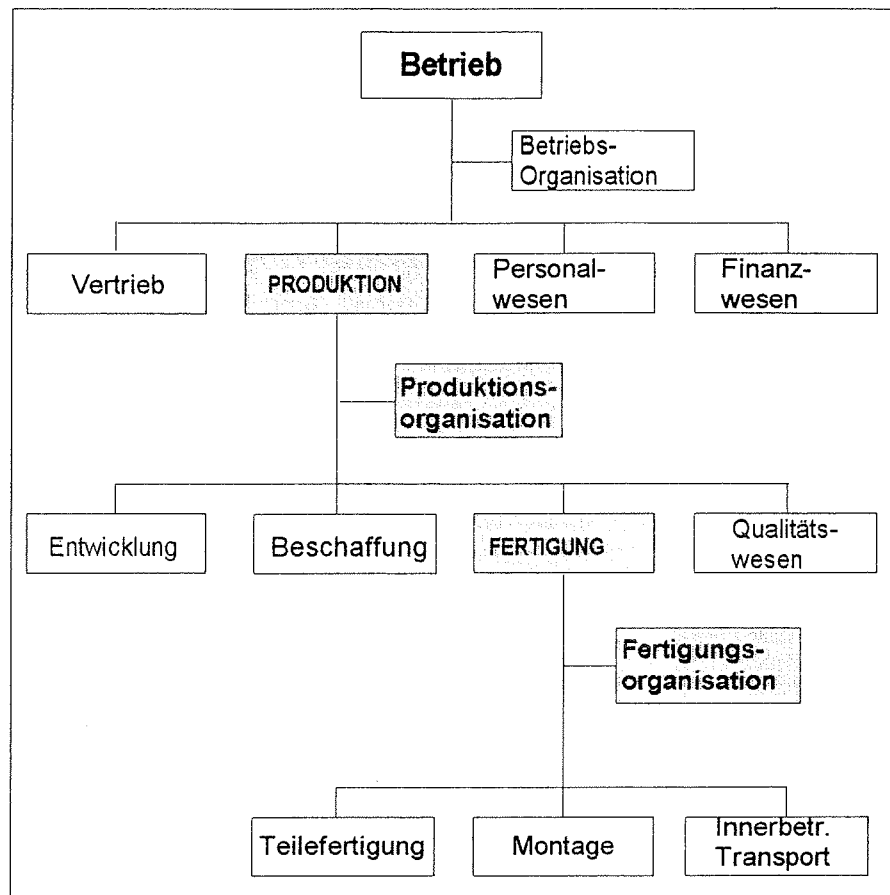


Abb. 1.3: Betriebs-, Produktions-, Fertigungsorganisation
(REFA MLPS 1991, S. 15)

"Produktionsorganisation umfaßt für die Bereiche Entwicklung, Beschaffung, Fertigung und Qualitätswesen die Ziel-, die Ablauf-, und die Mittelplanung, die Makrogestaltung der Arbeitssysteme, die Steuerung der Aufgabendurchführung und die dazu erforderliche Datenermittlung" (REFA MLPS 1991, S. 16).

Die Fertigungsorganisation umfaßt für die Teilefertigung, Montage und den innerbetrieblichen Transport.

- Die Datenermittlung und Gestaltung der Arbeitssysteme (Arbeitsstudium),
- die Kapazitäts-, die Material-, die Informations- und die Ablaufplanung (Fertigungsplanung) sowie
- das Veranlassen, Überwachen und Sichern der Programm- und Auftragsdurchführung (Fertigungssteuerung).

Ihre Ziele sind Wirtschaftlichkeit bei menschengerechten Arbeitsbedingungen (REFA MLPS 1991, S. 16).

Organisieren wird in dieser Methodenlehre als Oberbegriff für Planen, Gestalten und Steuern verstanden.

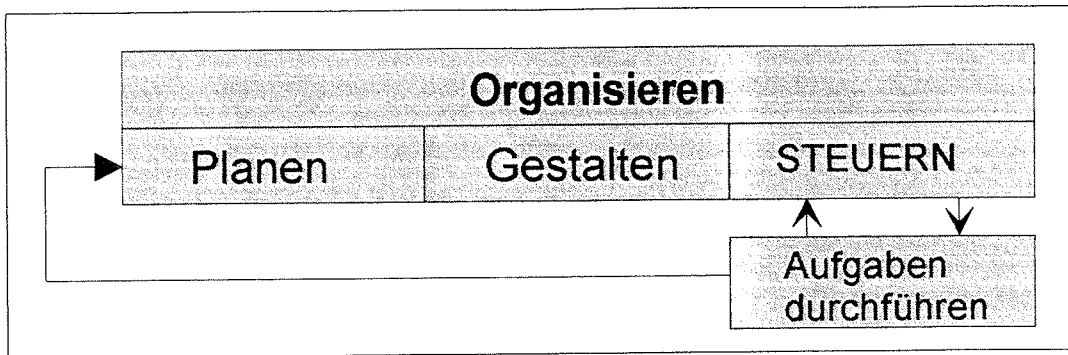


Abb. 1.4: Organisieren der Aufgabendurchführung (REFA MLPS 1991, S. 14)

1.2 Einordnung der Arbeitsvorbereitung

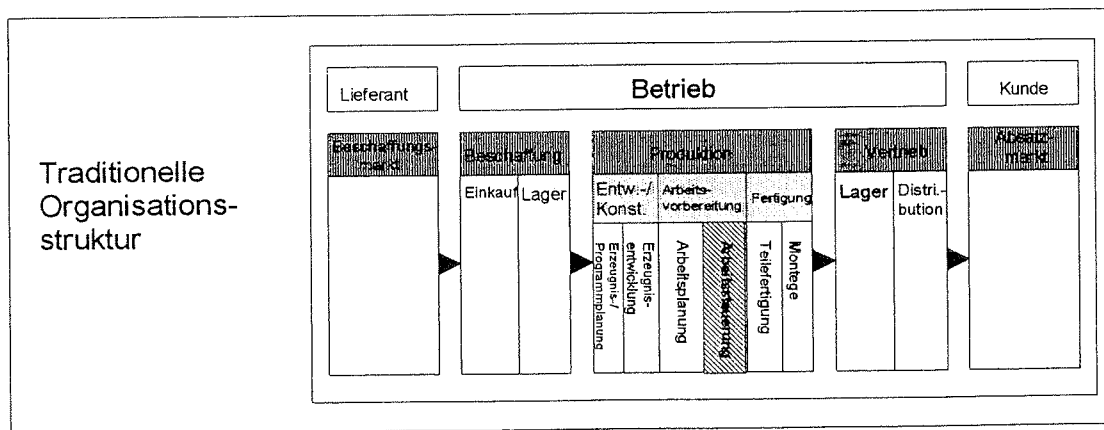


Abb. 1.5: Einordnung der Arbeitssteuerung in der Produktion (in Anlehnung an Wiendahl 1983, ZÜLCH 1993, S. 2-9)

Der Begriff Produktion wird in der Praxis und in der Literatur allgemein in die folgenden Bereiche (vgl. Abb. 1.5).

- Entwicklung/Konstruktion
- Arbeitsvorbereitung

- Fertigung/Montage

gefaßt.

Um ein Erzeugnis einzeln oder seriell herzustellen, muß das Produkt entwickelt und konstruiert werden. Nach dieser Phase bereitet man sich vor, alle technischen und organisatorischen Aufgaben zu erfüllen, die zur Herstellung von Erzeugnissen in der Fertigung oder Montage erforderlich sind.

Der Ausschuß für Wirtschaftliche Fertigung (AWF) hat die Aufgabe der Arbeitsvorbereitung wie folgt definiert:

"Die Arbeitsvorbereitung umfaßt die Gesamtheit aller Maßnahmen einschließlich der Erstellung aller erforderlichen Unterlagen und Betriebsmittel, die durch Planung, Steuerung und Überwachung für die Fertigung von Erzeugnissen ein Minimum an Aufwand gewährleisten" (AWF 1960, S. 35).

"Die Arbeitsplanung umfaßt alle einmalig auftretenden Planungsmaßnahmen, welcher unter ständiger Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit die fertigungsgerechte Gestaltung eines Erzeugnisses oder die ablaufgerechte Gestaltung einer Dienstleistung sichern" (WIENDAHL 1989, S. 145).

Die Arbeitssteuerung umfaßt alle aus der Arbeitsvorbereitung (Arbeitsvorbereitung ist als Oberbegriff der Arbeitsplanung und -steuerung zu verstehen) hervorgegangenen Funktionen, die für eine Arbeitsplanung entsprechende Auftragsabwicklung erforderlich sind. In diesem Zusammenhang hat die Arbeitssteuerung im Grundsatz auch die Funktionen, die im Rahmen der Produktionsbereiche Konstruktion, Arbeitsplanung, Beschaffung und Fertigung ausgeführt werden, aus organisatorischer Sicht zu erfassen und in die technische Auftragsabwicklung zu integrieren (GRAF 1991, S. 22).

Innerhalb der Arbeitsplanung sind im wesentlichen folgenden Frage zu beantworten:

- Was soll gefertigt oder geleistet werden (Art der Erzeugnisse)?
- Wie soll gearbeitet werden (Auswahl der organisatorischen Abläufe und technische Verfahren)?
- Womit soll gearbeitet werden (Material, Menge und mit welchen Arbeitsmitteln sowie Art und Anzahl der Arbeitskräfte)?

Innerhalb der Arbeitssteuerung stellen sich folgenden Fragen:

- Welche Erzeugnisse sollen in welchen Mengen (Losgröße) und in welchen Zeitabschnitten gefertigt werden?

- Wann müssen die Arbeitsaufträge, das benötigte Material, die Arbeitsmittel und die Arbeitskräfte bereitgestellt sein?
- Wie soll die fristgemäße und termingerechte Arbeitsverteilung auf die einzelnen Arbeitsgruppen oder Arbeitsplätze vorgenommen werden?

Die Arbeitssteuerung hat demnach die Aufgabe, das vom Verkauf vorgegebene Erzeugnisprogramm entsprechend den in der Arbeitsplanung festgelegten "optimalen" Abläufen abzuwickeln. Beim Ausfall eines Betriebsmittels muß die Arbeitssteuerung durch verschiedene Maßnahmen getroffen werden. Zeitliche Verschiebung, Ausweichen auf andere Arbeitsplätze oder Auswärtsverlagerungsorgane dafür, daß die zugesagten Termine und Kosten dennoch eingehalten werden (vgl. WIENDAHL 1989, S. 146).

1.3 Aufgaben und Ziele der Fertigungssteuerung

Fertigungssteuerung ist die Summe aller Maßnahmen, damit

- die richtigen Produkte
- in der richtigen Menge
- in der erforderlichen Qualität
- zum richtigen Zeitpunkt
- am richtigen Ort

in der Produktion zur Verfügung stehen (vgl. SAINIS 1985, S. 561).

Die Durchlaufzeit (DLZ) enthält in der Praxis einen sehr hohen Anteil an Liegezeit, nämlich ca. 60-95 %. Aus diesem Grund liegen in der Fertigung hohe Bestände an Rohteilen und Halbzeugen. Das hat eine verhältnismäßig hohe Kapitalbindung zur Folge (vgl. SAINIS 1985, S. 561).

Um diese Kapitalbindung zu senken, ist die Hauptaufgabe der Fertigungssteuerung, den Fertigungsprozeß so zu beeinflussen, daß die Liegezeiten minimiert werden und dadurch die Kapitalbindung gesenkt wird (vgl. SAINIS 1985, S. 561).

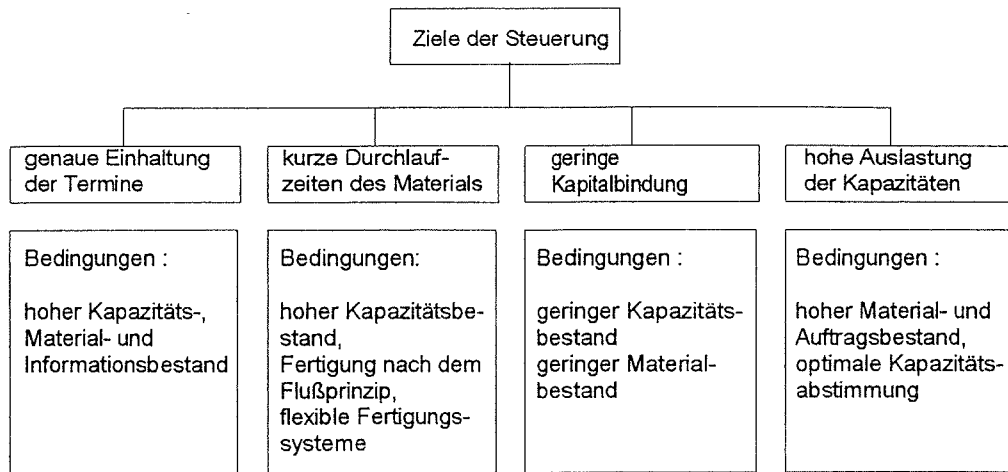


Abb. 1.6: Ziele der Arbeitssteuerung (REFA MLPS 1991, S. 40)

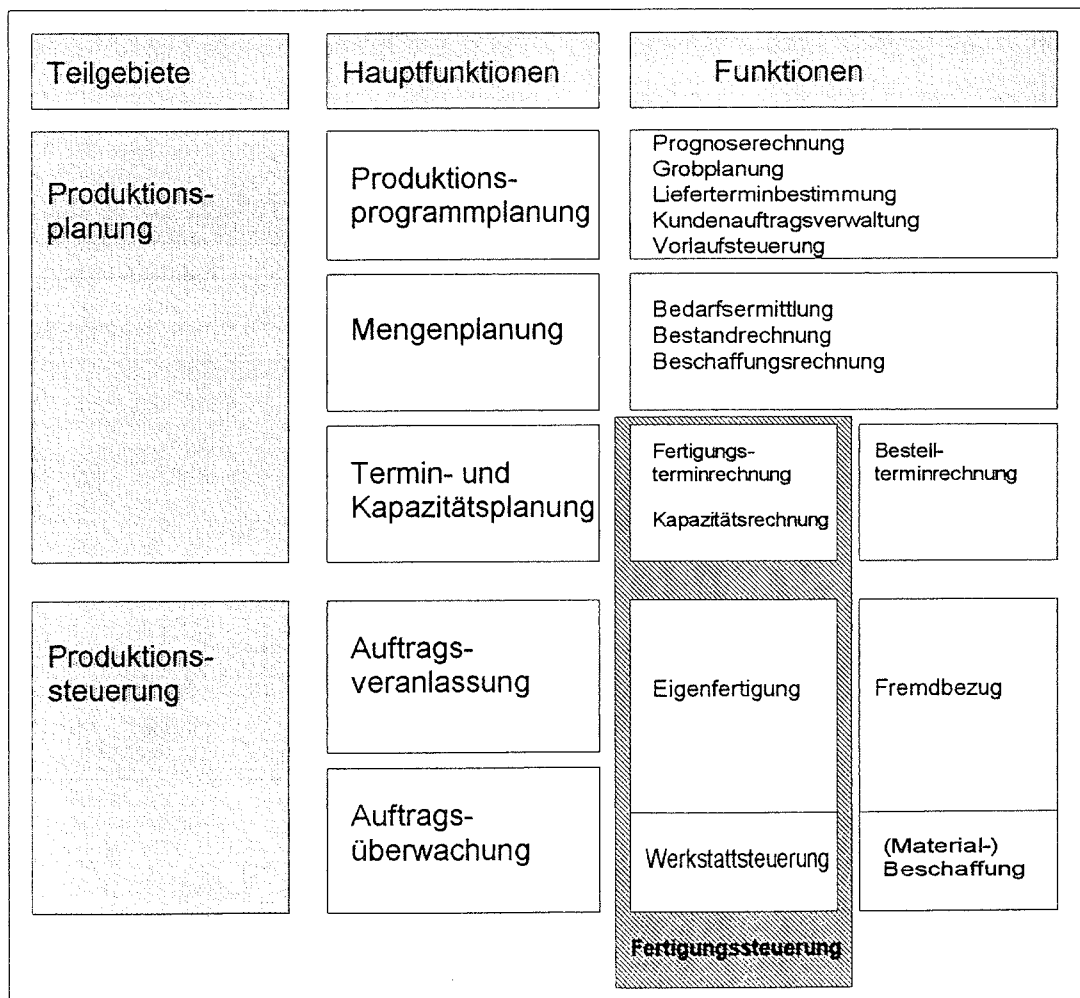


Abb. 1.7: Funktionen der Fertigungssteuerung in der Produktionsplanung und -steuerung (GRAF 1991; S. 23, in Anlehnung an, ZÜLCH 1989, S. 153)

Nach REFA 1993 umfaßt die Fertigungssteuerung die Veranlassung, Überwachung und Sicherung der durchzuführenden Aufträge. Unter Auftrag wird ein nach Menge, Zeit und Termin festgelegter Werkstattauftrag verstanden. Die Aufgaben der Fertigungssteuerung können in zwei Bereiche untergliedert werden, nämlich in Auftragsvorbereitung und Werkstattsteuerung (Vgl. Abb. 1.8).

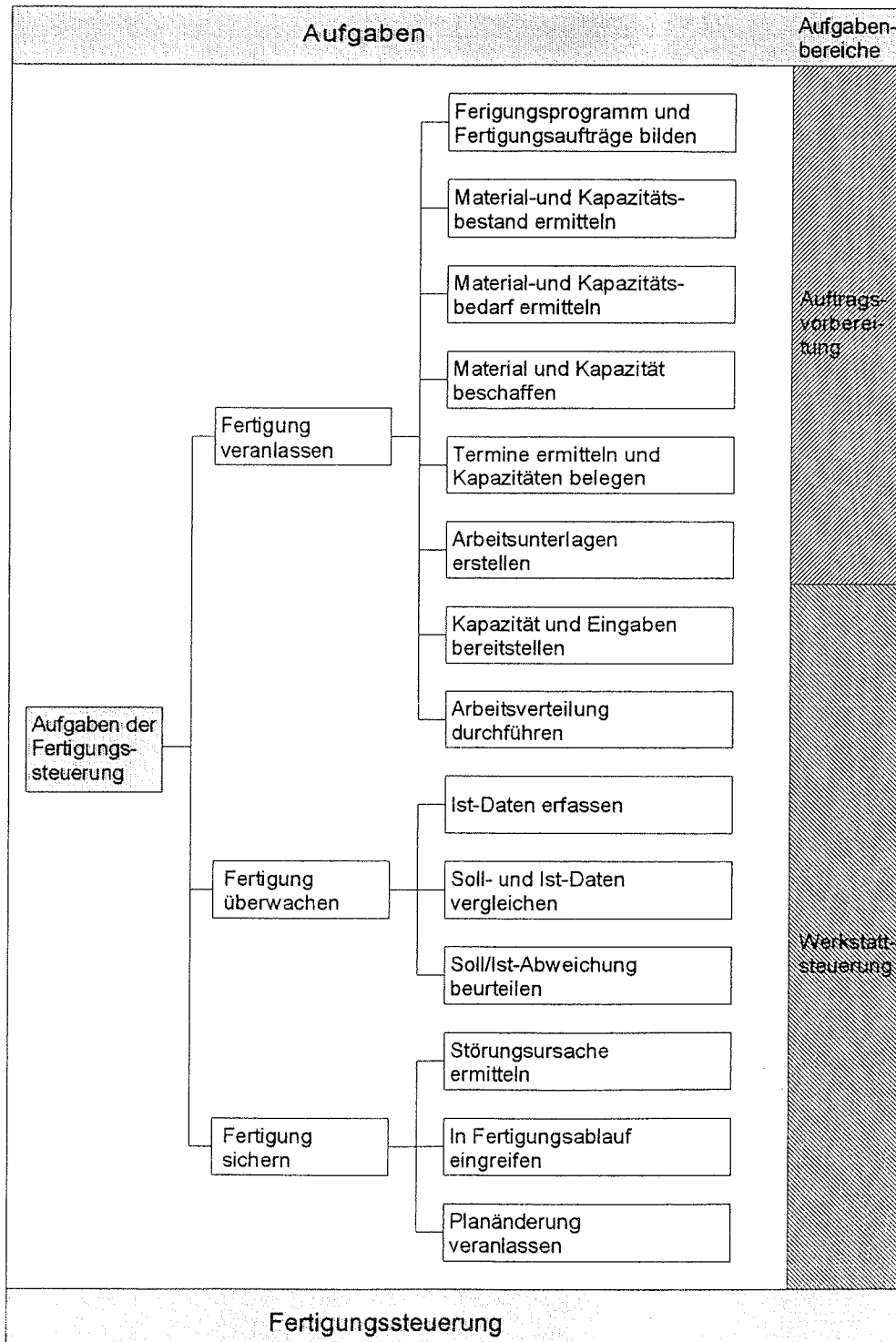


Abb. 1.8: Aufgaben der Fertigungssteuerung (REFA AMPS 1993, S. 33)

Der planende Anteil der Fertigungssteuerung umfaßt die Mengen- und Terminplanung.

Bei der Terminplanung wird wie folgt unterschieden in :

- die auftragsbezogene Terminplanung und
- die anlagenbezogene Terminplanung.

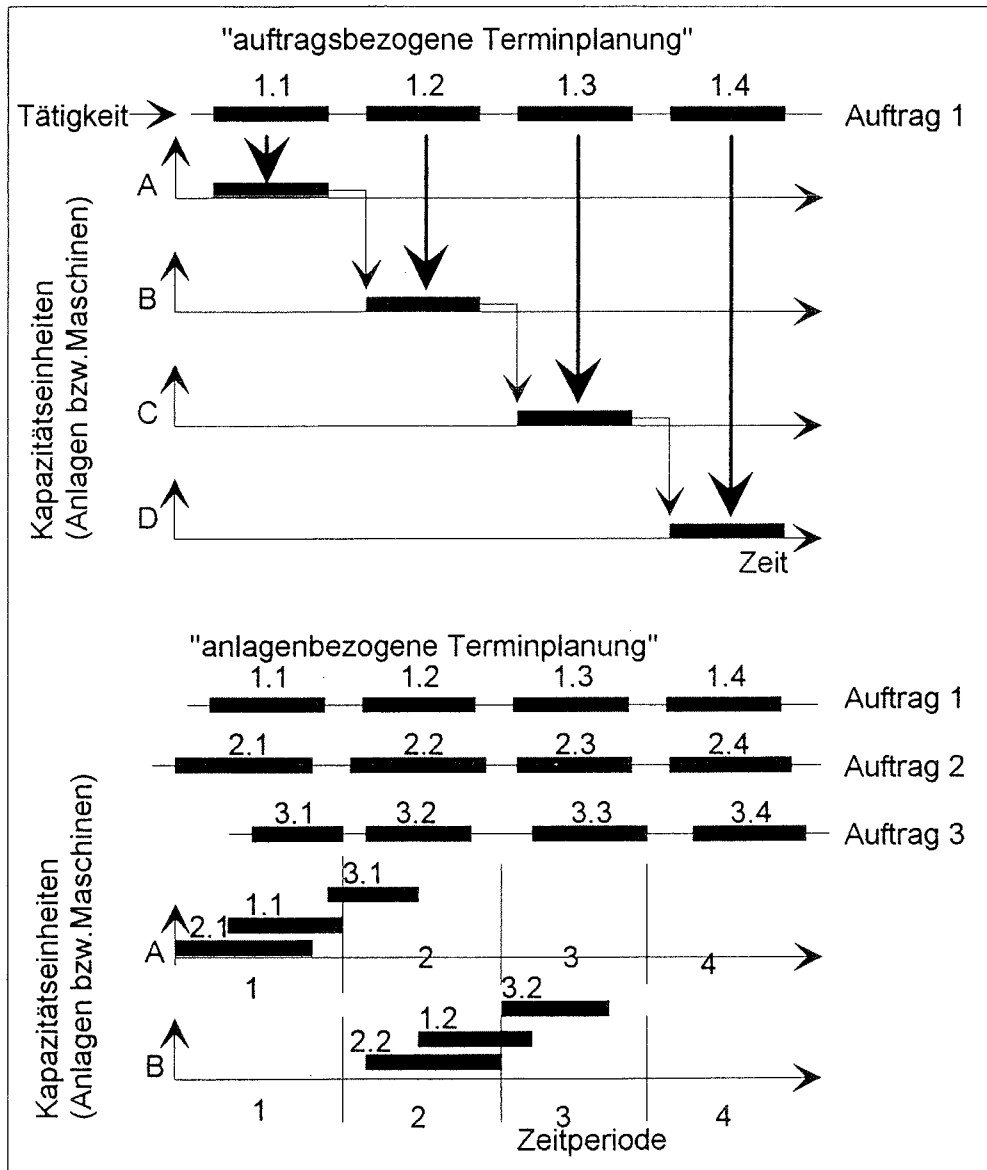


Abb. 1.9: Auftrags- und anlagenbezogene Terminplanung (WIENDAHL 1989, S. 239)

Die Terminplanung hat die Aufgabe, die Fertigungsaufträge entsprechend den verfügbaren Kapazitäten zu planen.

Bei der auftragsbezogenen Terminplanung werden die Start- bzw. Endtermine der Fertigungsaufträge errechnet. Das Zeitraster (Monat, Woche, Tag, Stunde) kann eingestellt werden.

Im Rahmen einer anlagenbezogenen Terminplanung werden die Termine für die einzelnen Arbeitsgänge der verschiedenen Fertigungsaufträge festgelegt und die einzelnen Arbeitsgänge entsprechend der im Arbeitsplan vorgesehenen Kapazitätseinheiten eingeplant. Die Mengenplanung erfasst und berechnet die in einer Periode benötigten Teile.

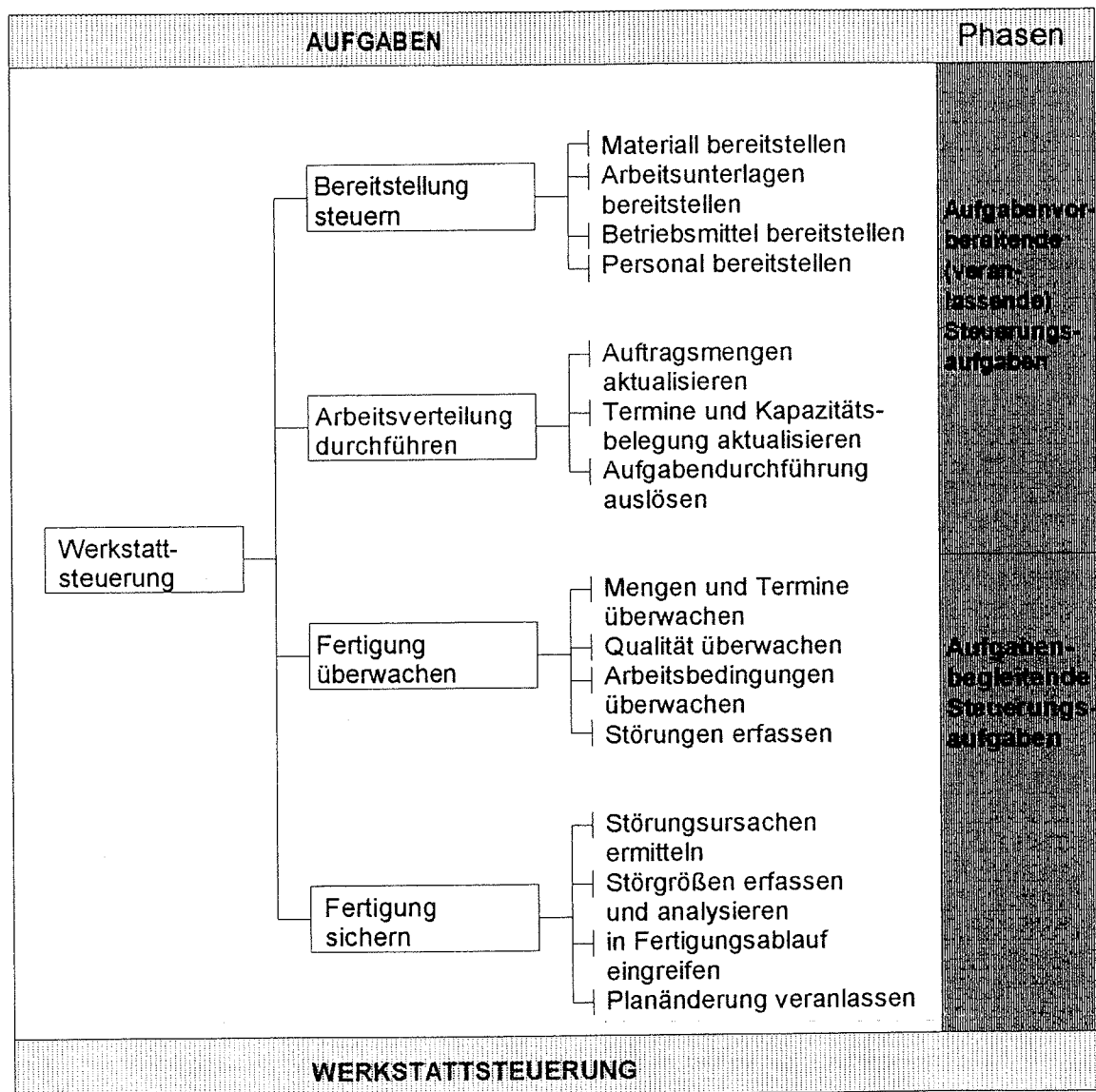


Abb. 1.11: Aufgaben der Werkstattsteuerung (REFA AMPS 1993, S. 202)

Werkstattsteuerung in der Fertigungssteuerung:

Der kundenorientierte Fertigungsbetrieb muß in der Lage sein, schnell und flexibel auf seinen Markt zu reagieren, indem er sich durch organisatorische Maßnahmen eine entsprechende Form der Organisation aufgebaut. Er braucht ein Werkstattsteuerungssystem, das in der Lage ist, sich den wechselnden Aufgaben mindestens genauso schnell und effektiv anzupassen (vgl. MERTINS 1992, S. 41).

Die Werkstattsteuerung soll gewährleisten, daß die Vorgaben von Fertigungsplanung und Auftragsvorbereitung bei der Fertigung bestmöglich realisiert werden. Sie dient damit der menschengerechten und wirtschaftlichen Durchführung der Arbeitsaufgaben sowie der qualitätsgerechten und pünktlichen Fertigung von Teilen, Gruppen und Erzeugnissen (vgl. REFA AMPS 1993, S. 201).

Um die vorgegebenen Ziele zu erreichen, muß die Werkstattsteuerung die Arbeitsabläufe im Werkstattbereich dadurch regeln, daß sie das Bereitstellen von Menschen, Betriebsmitteln, Material und anderen erforderlichen Systemeingaben sowie das Durchführen der Arbeitsaufgaben veranlaßt, überwacht und sichert. Die Aufgabe der Werkstattsteuerung erfolgt im Zuge der Auftragsabwicklung unmittelbar nach der Auftragsvorbereitung (vgl. REFA AMPS 1993, S. 32).

Die Aufgabe, die Werkstatt zu steuern, umfaßt die Planung der zeitlichen Reihenfolge der einzelnen Operationen, die Fertigstellung eines Auftrages Bedingungen wie Termin, Mengen und Qualität. Dazu zählt die Verteilung der Arbeitsgänge und Arbeitsgangfolgen auf die gegebenen sowie nach Prüfung der tatsächlichen Verfügbarkeit allen dessen, was zur Ausführung erforderlich ist, die Freigabe der zugeteilten "Teilaufträge" und die planmäßige Veranlassung der Operationen. Desweiteren zählt die Kontrolle, ob die Route eingehalten und das Ziel erreicht wird, dazu.

1.4 Tendenzen in der Organisationsgestaltung

In traditioneller Weise richtet sich die Aufbauorganisation an den betrieblichen Funktionen Beschaffung, Produktion und Absatz aus. Die weitere Aufgabenteilung orientiert sich dann ausschließlich an den zur Erfüllung der Produktionsfunktionen erforderlichen Verrichtungen, nicht aber an den Objekten der betrieblichen Leistungserstellung (vgl. ZÜLCH, GROBEL 1993, S. 6).

Mit traditionellen Produktionsstrukturen kann man die Wünsche des Kunden und Forderungen des Marktes in der heutigen Zeit nicht befriedigen. Um diese Marktforderungen zu erfüllen, werden neue Organisationsformen entwickelt und neue Steuerungsverfahren und -strategien angewandt.

Nach diesen Feststellungen bzgl. der traditionellen Organisationsstrukturen müssen die technischen Veränderungen und Rationalisierungsmaßnahmen im organisatorischen Bereich eingesetzt werden, um den Wünschen des Kunden und damit auch die Herausforderung des Unternehmens zu erfüllen.

Die technischen und organisatorischen Entwicklungen führen zu neuen Fertigungsorganisationen. "Die Schwächen der konventionellen Auftragsabwicklung werden vermieden, in dem eine Abkehr von arbeitsteiligen Strukturen erfolgt" (vgl. GROBEL 1993, S. 18). Dafür braucht man eigenverantwortliche, dezentralisierte Strukturen, die sich am Prozeß der Auftragsabwicklung orientieren (vgl. GROBEL 1993, S. 18).

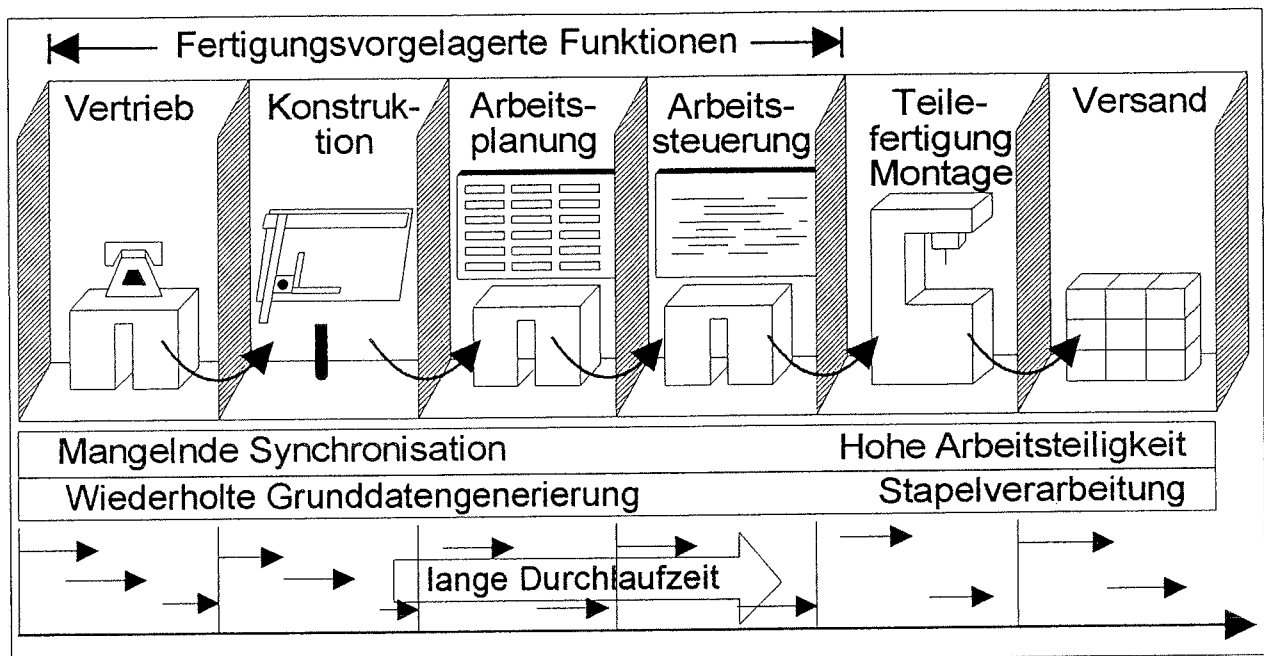


Abb. 1.12: Schwachstellen der konventionellen Auftragsabwicklung
(GROBEL 1993, S. 18 in Anlehnung an KOEPFER 1991, S. 5)

1.4.1 Veränderungen in der Ablauforganisation

Die Ablauforganisation beschreibt hierbei die Art und logische Reihenfolge der Teilschritte der Auftragsbearbeitung und kann in sog. Durchlaufplänen beschrieben werden. In der Ablauforganisation können drei Veränderungen berücksichtigt werden (vgl. GROBEL 1992, S. 17):

- Verschiebung der Funktionen

Der Zeitpunkt der Durchführung einer Funktion oder Funktionskette, bezogen auf die Bearbeitung des Gesamtauftrages, wird verändert, indem Funktionen beispielsweise im Ablauf vorgezogen werden (GROBEL 1992, S. 17).

- Verschwinden von Funktionen

Durch Realisierung einer Rechnerunterstützung können personelle Aufgaben verschwinden. Derartige Veränderungen zeigen sich lediglich punktuell an einer Stelle im Durchlaufplan.

- Parallelisierung der Auftragsbearbeitung

Die verschiedenen ähnlichen Arbeitsinhalte werden unter einem Arbeitsinhalt zusammengefaßt; oder spezielle Funktionen werden im Auftragablauf nach vorne gezogen. Durch Zusammenfassung oder Verschiebung von Funktionen kann eine Parallelisierung der Auftragsbearbeitung erreicht werden. Damit können mehrere Aufträge parallel abgearbeitet werden (vgl. GROBEL 1993, S. 17).

1.4.2 Veränderungen in der Aufbauorganisation

Die Aufbauorganisation eines Produktionssystems kann nach bestimmten Kriterien verändert werden. Diese Veränderungen können z.B. durch eine Erzeugnissorientierung oder Funktionsorientierung gekennzeichnet sein. Die Abbildung 1.14 skizziert die Grundtypen von Organisationsstrukturen und die Entwicklungs-tendenzen zu neuen dedizierten Steuerungssystemen.

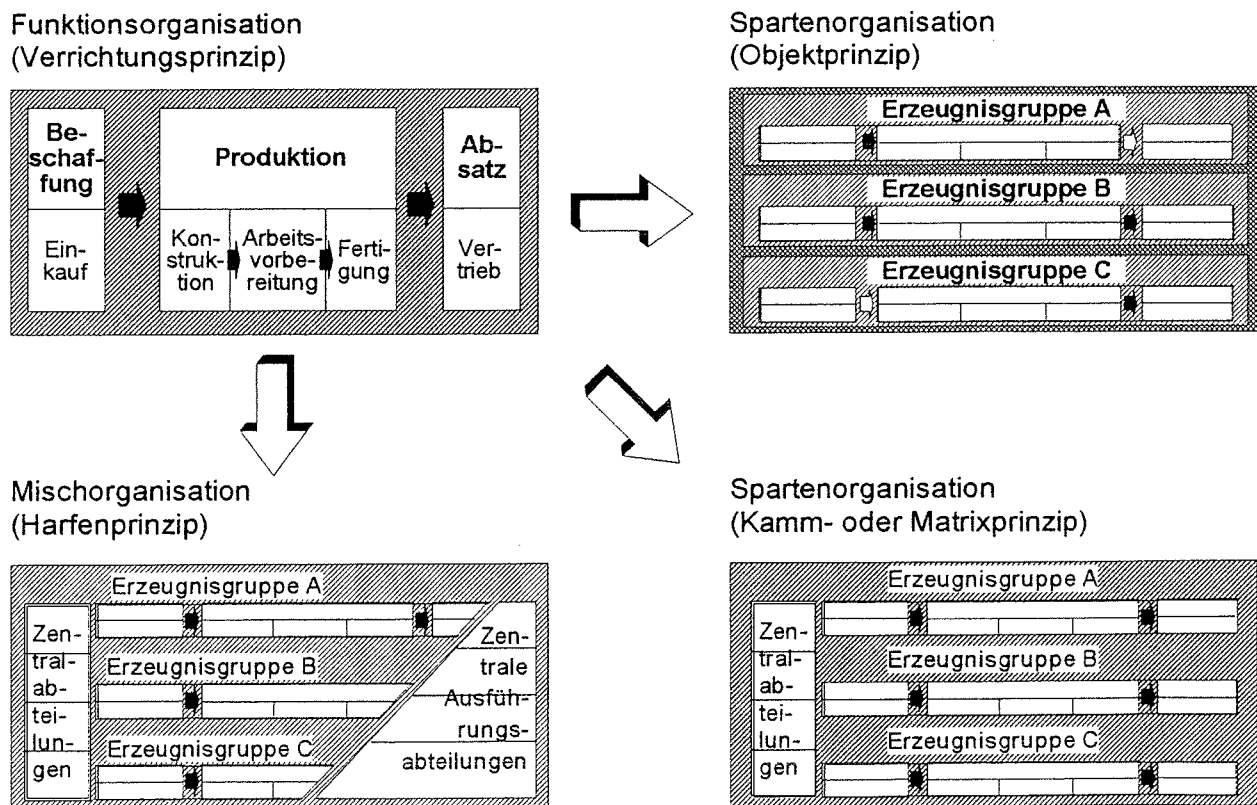


Abb. 1.14: Alternative Organisationsstrukturen in diversifizierten Unternehmen (in Anlehnung von ZÜLCH, GROBEL 1992, S. 7)

- Funktionsorientierte Produktionssysteme

Die Mitarbeiter der Abteilungen sind nur für bestimmte Funktionen qualifiziert. Sie sind nur zuständig für bestimmte Arbeitsgänge bzw. Funktionen.

- Erzeugnisorientierte Produktionssysteme

Die Realisierung ergebnisbezogener Produktionssegmente stellt eine konsequente Zusammenfassung verschiedener Funktionen der Auftragsbearbeitung entlang der logistischen Kette der Produktion dar, wobei die Einheiten ergebnisbezogen gestaltet werden (vgl. GROBEL 1992, S.18).

- Veränderung der Form der Aufbauorganisation

Bei der Gestaltung der Organisationsstruktur kann es von Vorteil sein, wenn verschiedene Funktionen in einer Zentralstelle bearbeitet werden, während andere Funktionen in Linieneinheiten verbleiben (vgl. GROBEL 1992, S. 18). Die Zentralisierung kann für Ausführungsfunktionen zweckmäßig sein, die direkt dem Produktionsfortschritt dienen, und zwar immer dann, wenn hierfür größere Investitionen notwendig sind, die von einer Erzeugnisgruppe allein nicht getragen werden können.

Ablauforganisatorisch muß hier die Frage geklärt werden, nach welchen Regeln konkurrierende Fertigungssegmente die zentrale Ausführungsstelle mit Aufträgen belasten sollen (ZÜLCH, GROBEL 1992, S. 7).

- Veränderung von Übergangszeiten

Die Übergangszeit kann durch Zusammenfassung von Standorten oder Abteilungen und durch die Beschleunigung des Datentransfers zwischen zwei Abteilungen verkürzt werden (vgl. GROBEL 1992, S. 19).

2 Produktionssteuerungsverfahren

2.1 Grundlagen der Produktionssteuerungsverfahren

Auf die Produktion eines Unternehmens wirken ständig wechselnde Einflüsse des Absatz- und Beschaffungsmarktes, des technischen Fortschrittes in den Produkten und Produktionsverfahren sowie des sozialen Umfeldes. Eine wachsende Typenvielfalt, sinkende Lebensdauer der Produkte am Markt und kleinere Losgrößen der Produkte sind die Folge.

Bei den Zielgrößen der Fertigungssteuerung stehen heute kurze Durchlaufzeiten, hohe Termintreue und geringe Halbfabrikatbestände (vgl. Abb. 2.1) im Vordergrund, während die früher sehr hoch bewertete Auslastung in Folge des permanenten Rationalisierungseffektes deutlich in den Hintergrund zurückgetreten ist (WIENDAHL 1983, S. 85).

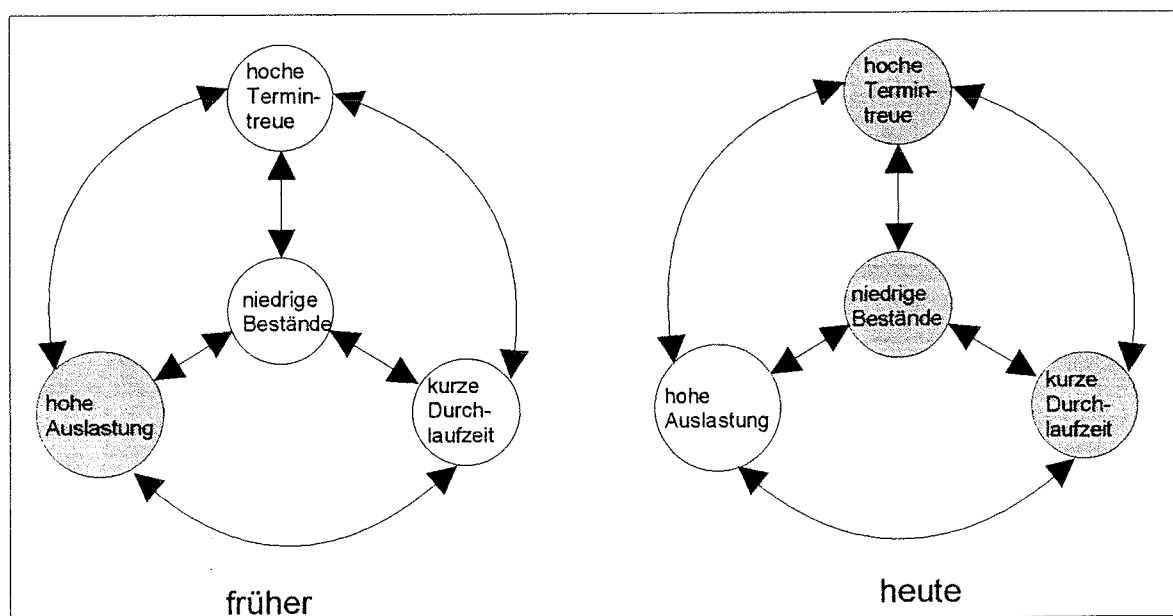


Abb. 2.1: Gewichtungverschiebung bei den Zielgrößen der Fertigungssteuerung (WIENDAHL 1983, S. 85)

Die Durchlaufzeit eines Auftrages "wird durch die Zeitspanne zwischen dem Eintreffen eines Auftrages im System und der Beendigung des letzten Arbeitsgangs definiert" (GROBEL 1993, S. 86). Da die Durchlaufzeit neben dem Preis und Qualität der wichtigste Wettbewerbsfaktor für die Konkurrenzfähigkeit eines Unternehmens ist (EVERSHEIM 1990, S. 59), ist sie für eine Bewertung des Produktionssystems unerlässlich.

Die prinzipiellen Zusammenhänge zwischen Durchlaufzeit, Leistung und Bestand sind in Abb. 2.3 dargestellt. Trägt man über dem Bestand die mittlere Durchlaufzeit und die mittlere Leistung eines Arbeitssystems auf, erkennt man, daß es einen angemessenen Wert für den Bestand gibt, oberhalb dessen die Leistung nicht mehr wächst, weil alle Arbeitsplätze ausgelastet sind. Die Durchlaufzeit entwickelt sich jedoch proportional zum Bestand weiter. Unterhalb des angemessenen Bestandwertes sinkt zwar die Durchlaufzeit weiter ab, nun jedoch auf Kosten der Auslastung und damit der erbrachten Leistung. Fragt man nach der Mindestdurchlaufzeit, ergibt sich das theoretische Minimum aus der mittleren Bearbeitungszeit plus mittlerer Transportzeit. Dies bedeutet jedoch in der Praxis eine auf Null sinkende Leistung und damit keine Auslastung. Das praktische Minimum ergibt sich, wenn die im Produktionsprogramm geförderte Leistung gerade erreicht wird (vgl. WIENDAHL 1984, S. 6).

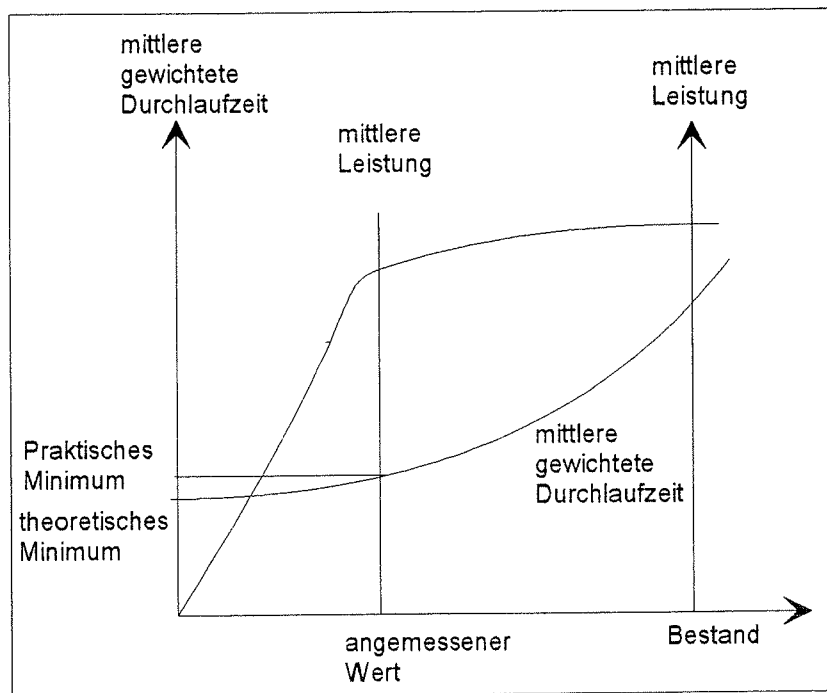


Abb. 2.3: Prinzipieller Zusammenhang zwischen Durchlaufzeit, Leistung und Bestand in der Fertigung (WIENDAHL 1984, S. 17)

2.2 Entwicklungstendenz der Produktionssteuerung

Die Abbildung 2.4 zeigt die Beziehung zwischen der Fertigungssteuerung und den CIM-Bereichen. Im CIM-Konzept muß die Datenintegration gewährleistet werden, so daß die Daten der unterschiedlichen Bereiche z.B. Materialwirtschaft, Kapazitätsterminierung, Kapazitätsabgleich, Fertigungssteuerung, Konstruktion, Instandhaltung und Qualitätssicherung für die gemeinsame Nutzung zur Verfügung stehen. Es gibt eine Trennung zwischen dispositiver Fertigungssteuerung

und technischer Prozeßsteuerung. Es wäre durch eine Auflösung dieser Differenzierung möglich, erforderliche Steuerimpulse über abgerufene Aufträge an Lager- und Transportsteuerung zu geben. Im CIM-Konzept sind PPS und CAD/CAM verknüpft (Abb. 2.4) (Vgl. WILDEMANN 1988a, S. 75). Die Verknüpfung der Produktionselemente in den Produktionskonzepten ist das Ziel der rechnerunterstützten Fertigungssteuerung.

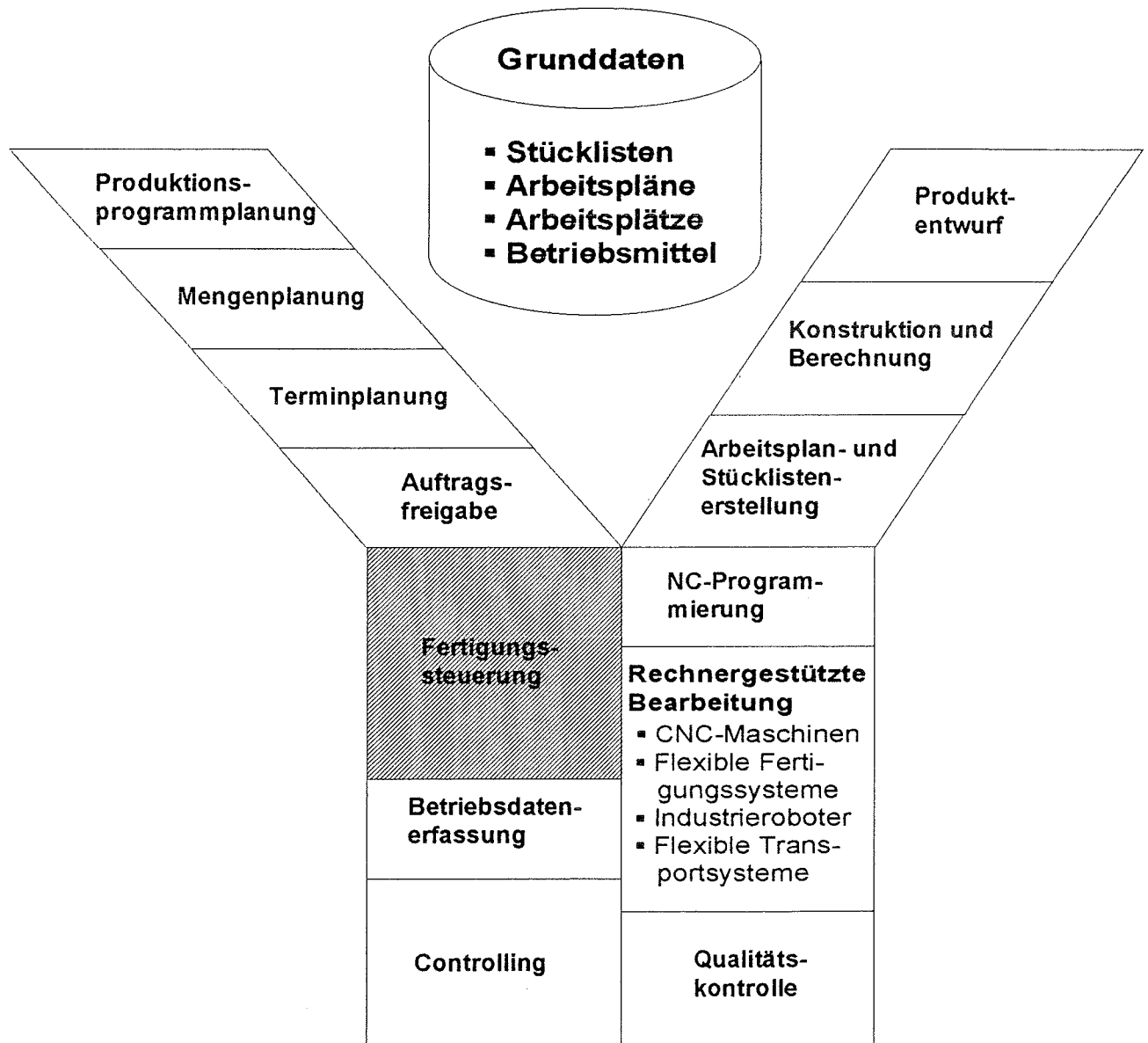


Abb. 2.4: Verknüpfung von PPS und CAD/CAM im CIM-Konzept. (Quelle: WILDEMANN 1988a, S. 75)

"Im Mittelpunkt der betriebsorganisatorischen Bemühungen in Forschung und Praxis steht gegenwärtig die Verwirklichung logistischer und rechnerintegrierter Produktionskonzepte" (ZÜLCH 1989, S. 58). Eine einheitliche Datenbank für alle CIM-Bereiche ist in dem heute vorzufindenden technischen Umfeld allerdings noch nicht realisierbar. Bestehende Systeme für die

Produktionsplanung, die Fertigungssteuerung, die Konstruktion und die anderen CAx- Komponenten bauen jeweils auf einer eigenen Datenbasis auf. Dies gilt sowohl für die meisten Eigenentwicklungen als auch besonders für die Standardsoftwaresysteme (BECKER 1992, S. 12).

"Entsprechend der Sichtweisen verläuft die Integration im Produktionsbereich im Prinzip in zwei Richtungen" (ZÜLCH 1989, S. 58).

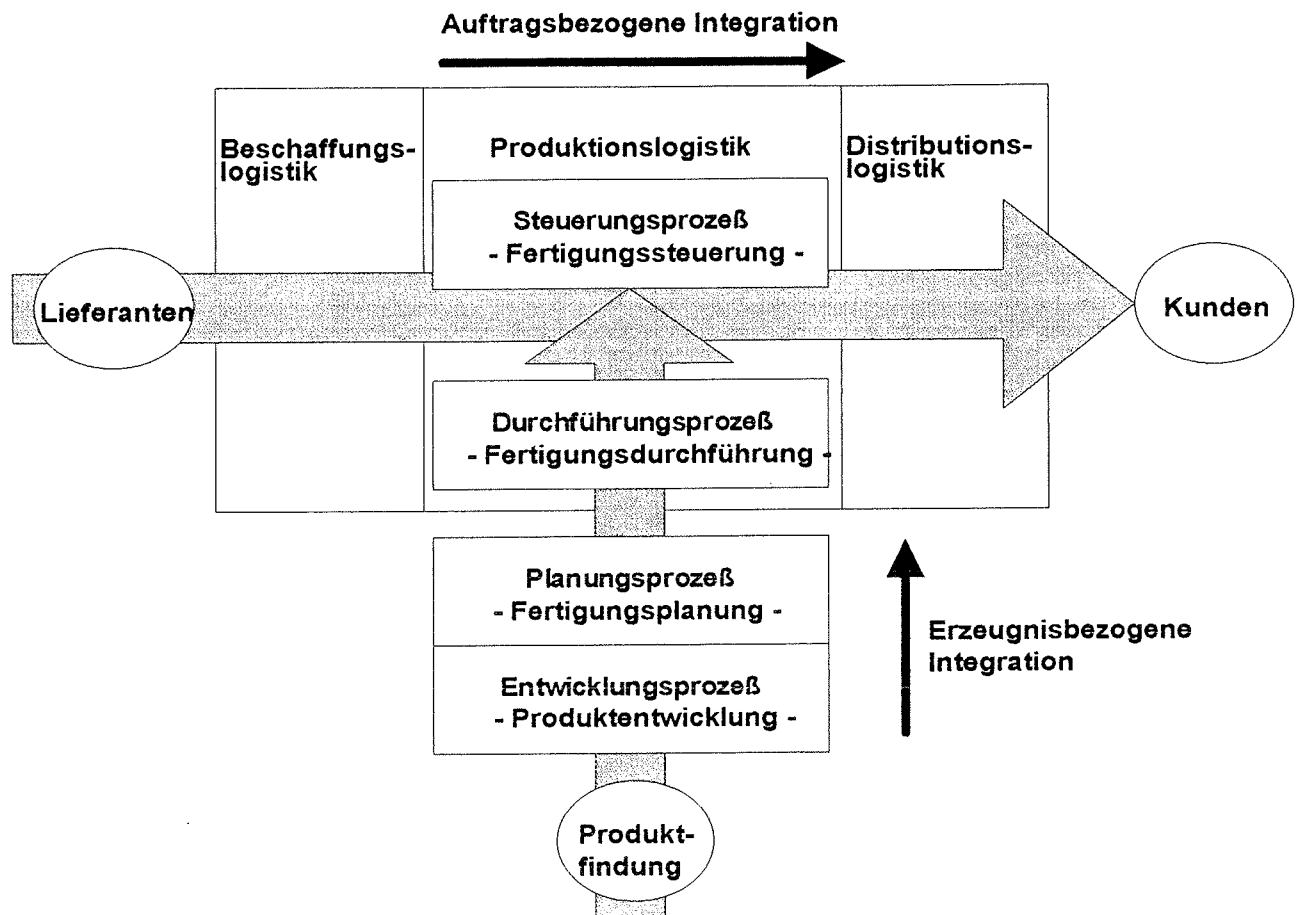


Abb. 2.5: Integrationsrichtungen im Produktionsbereich (ZÜLCH 1989, S. 58)

Die erste Integrationsrichtung betrifft den Durchlauf von Kundenaufträgen von der Lieferung der Einzelteile über Bearbeitung, Montage bis zur Auslieferung zum Kunden. Der Schwerpunkt ist darin zu sehen, den Weg durch Beschaffung, Produktion und Betrieb möglichst optimal zu gestalten. Eine Produktionsverzögerung wegen fehlender Produkte sollte nach Möglichkeit vermieden werden. Dabei muß die zweite Integrationsrichtung, die über die Entwicklung und Planung eines Produktes verläuft, berücksichtigt werden. In der Entwicklung und Planung eines Produktes ist die Kapitalbindung noch sehr gering. Dennoch sollte auch diese Integrationsrichtung im Produktionsbereich zeitlich optimiert werden, da durch früheres Erscheinen eines Produktes auf dem Markt Vorteile erzielt werden.

Beide Integrationsrichtungen im Produktionsbereich treffen beim Steuerungsprozeß der Fertigung aufeinander. Deshalb müssen die erzeugnisbezogenen oder auftragsbezogenen Daten verknüpft werden. Dies hat zur Folge, daß die Produktionssteuerung und hier im besonderen die Steuerung der Fertigung zentraler Bestandteil aller Produktionskonzepte ist (nach ZÜLCH 1989, S. 58).

2.2.1 Bestimmung der Fertigungssteuerungsprinzipien, -strategien und -verfahren

"Aus der bei der Disposition von Mengen, Terminen und Kapazitäten angewandten Methoden lassen sich für die Fertigungssteuerung drei grundsätzliche Prinzipien ableiten:

- Betriebsauftragssteuerung,
- Durchsatzsteuerung und
- Zwangssteuerung" (SAINIS 1985, S. 561).

Um die Ziele der Fertigungssteuerung zu verwirklichen, müssen entsprechende Strategien angewandt werden (vgl. ZÜLCH 1989, S. 59). Zunächst aber seien die Begriffe in einer übersichtlichen Darstellung (vgl. Abb. 2.6) aufgezeigt.

Die Analyse von Wildemann (vgl. WIENDAHL 1987, S. 321) stellt im Ergebnis dar, daß die Wahl des Steuerungsverfahrens maßgeblich durch das Ablaufprinzip im jeweiligen Fertigungssegment bestimmt wird und daß einzelne Steuerungsverfahren nur für bestimmte Fertigungsstrukturen geeignet sind und dabei vor allem von der Anzahl gefertigter Varianten und der Stückzahl pro Variante abhängig sind (vgl. die Erweiterung bei ZÜLCH 1989, S. 59).

In Abb. 2.7 (vgl. SAINIS 1985, S. 562) ist dargestellt und beschrieben, daß die Varianz der Erzeugnisse, die Wiederholhäufigkeit der Aufträge, die Streuung der Durchlaufzeiten und das Verhältnis von Durchlaufzeit zur Lieferzeit wesentliche Einflußgrößen für die Wahl eines geeigneten Steuerungsprinzips sind.

Je nach Steuerungsprinzip können verschiedene Strategien angewendet werden. Parameter dieser Steuerungsstrategien sind - wie nachfolgend noch zu zeigen sein wird - die Veranlassungslogik, die Auftragsgröße sowie die Reihenfolge der Aufträge. Je nach Steuerungsverfahren können eine oder auch mehrere Strategien vereinbart werden. Beispiele für Steuerungsverfahren sind die Auftragsterminierung, die belastungsorientierte Auftragsfreigabe, das Kanban-Prinzip sowie die Prozeßsteuerung (vgl. zur Erläuterung die Übersichten bei WIENDAHL 1989, S. 253).

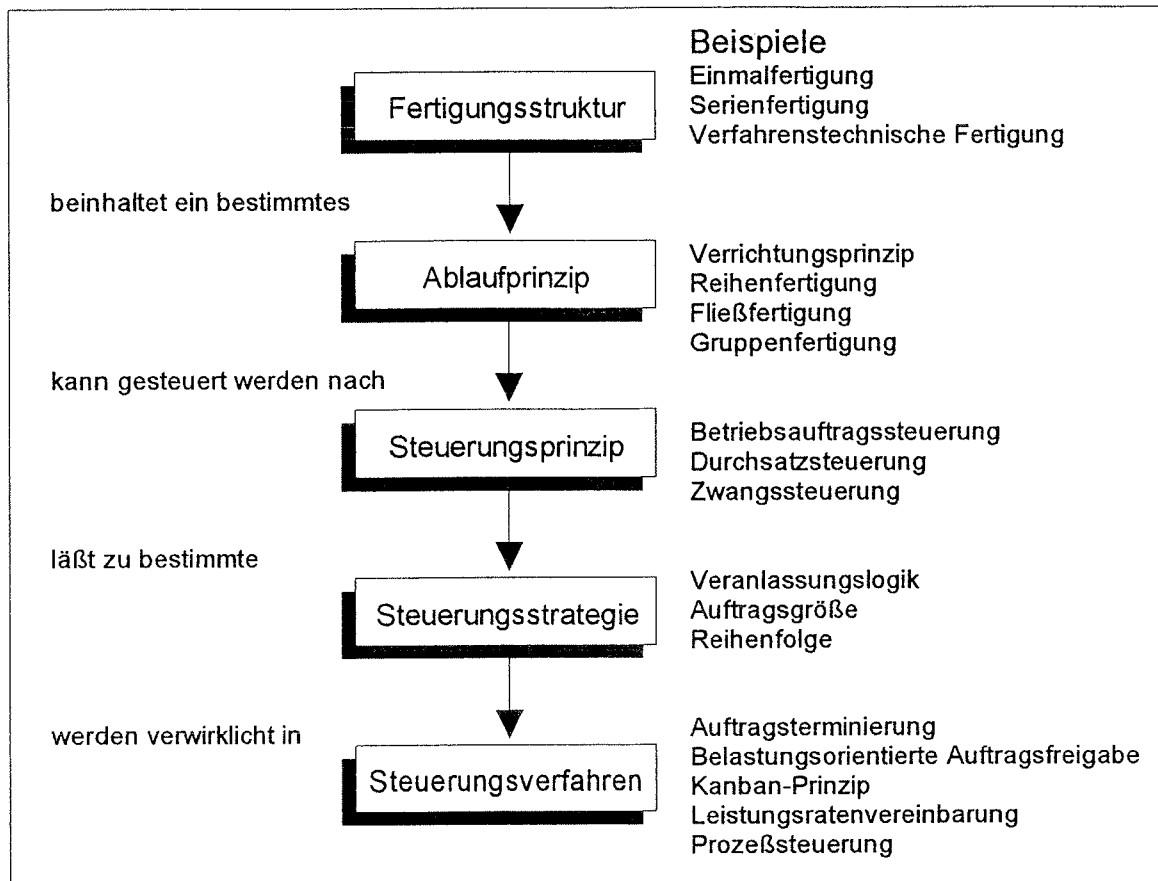


Abb. 2.6 Abgrenzung von Steuerungsprinzip, -strategie und -verfahren
(ZAHN 1990; ZÜLCH, S. 160)

Die drei Steuerungsparameter - Auftragsgröße, Reihenfolge und Veranlassungslogik - können unabhängig voneinander verändert werden. Diese werden im Modellraum eingerichtet und in diesem strategischen Steuerungsraum können alle bekannten Steuerungsstrategien im Grundsatz durchgeführt werden (vgl. ZÜLCH 1989, S. 61).

Ausgangspunkt des strategischen Ansatzes ist die Fertigung exakt nach dem vom Kunden bzw. Vertrieb vorgegebenen Produktionsprogramm, aus dem das Fertigungsprogramm abgeleitet wird.

- Die Auftragsgröße entspricht genau dem erforderlichen Nettobedarf; dieser ergibt sich bekanntlich aus dem Abgleich des Bruttobedarf mit den vorhandenen Beständen.
- Die vorgegebene Reihenfolge des Produktionsprogramms wird in keiner Weise verändert.
- Die Veranlassung der Fertigungsaufträge richtet sich genau nach vorausgerechneten Terminen, die sich ihrerseits aus dem gewünschten Liefertermin und den geplanten Vorlaufzeiten gemäß Fristenplan ergeben.

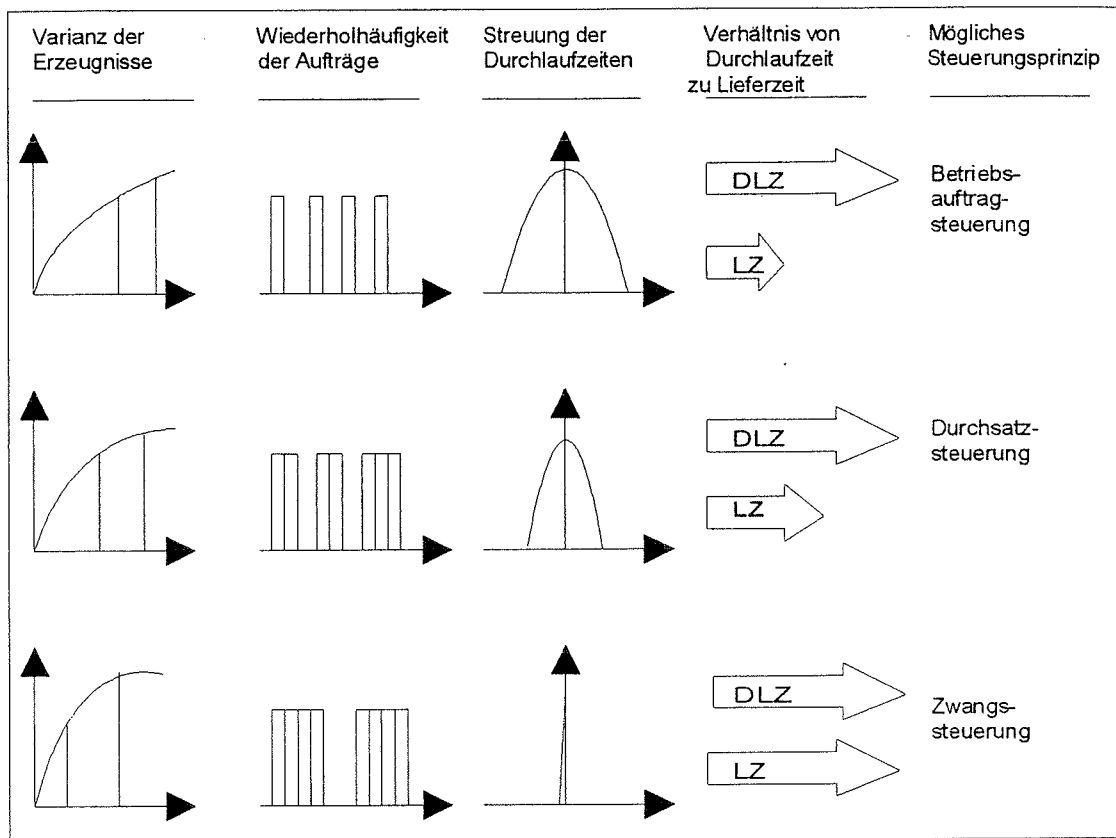


Abb. 2.7: Bestimmungsgrößen des Steuerungsprinzips
(ZÜLCH 1989, S. 160; in Anlehnung an SAINAS 1985, S. 562)

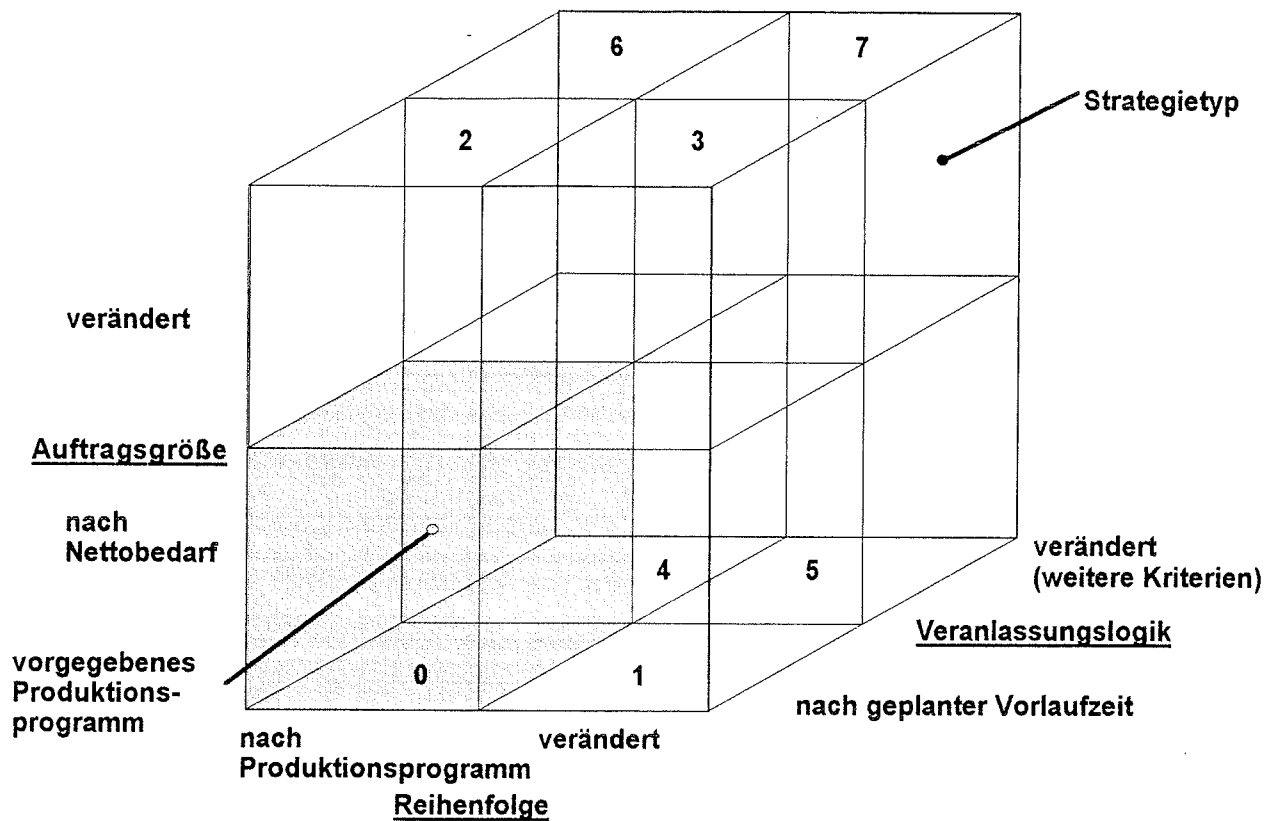


Abb. 2.8: Strategietypen im strategischen Steuerungsraum
(ZÜLCH 1989, S. 61)

Wenn man im strategischen Steuerungsraum einen Strategietyp auswählt, dann weisen alle Parameter (Achsen) nur zwei Ausprägungen auf. Daraus können acht Teilräume im strategischen Steuerungsraum aufgezeichnet werden, die jeweils zur Charakterisierung der Strategietypen dienen können (vgl. ZÜLCH 1989, S. 61). In Abb. 2.9 werden einzelne Strategien der Fertigungssteuerung den Strategietypen zugeordnet (vgl. ZÜLCH 1989, S. 62).

Die Verfahren der Fertigungssteuerung sind von der Anzahl der gefertigten Varianten und der Stückzahlen je Variante abhängig. In Abb. 2.10 sind traditionelle und neuere Verfahren der Fertigungssteuerung dargestellt.

Insbesondere in Unternehmen, die eine Diversifizierungsstrategie verfolgen, werden sich nahezu zwangsläufig unterschiedliche Fertigungsstrukturen herausbilden, die durch verschiedenartige Infrastrukturen gekennzeichnet sind. Darüber hinaus kann es sich zeigen, daß für die verschiedenen Fertigungsstrukturen auch jeweils andere Steuerungsstrategien in Betracht kommen (ZÜLCH 1989, S. 58).

Strategische Parameter	Strategietyp							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Veranlassung	nach geplanter Vorlaufzeit				verändert			
Auftragsgröße	nach Nettobedarf		verändert		nach Nettobedarf		verändert	
Reihenfolge	nach Produktionsprogramm	verändert	nach Produktionsprogramm	verändert	nach Produktionsprogramm	verändert	nach Produktionsprogramm	verändert
Steuerungsstrategien	Programm-fertigung	Kapazi-tätstermi-nierung (Ver-schieben)	Auswärts-vergabe	Techno-logische Losfer-tigung	Bela-stungs-orientierte Auftrags-freigabe	Leistungs-raten-Verein-barung	Los-splittung (Strecken)	Bestell-punkt-rechnung
	Durch-lauftermi-nierung	Prioritäts-regeln		Fertigung "optima-ler" Los-größen	Über-lappung	Hand-werks-mäßige Fertigung	Chargen-fertigung	Ver-brauchs-orientierte Fertigung
	Fort-schritts-zahlen-Konzept	Reihen-folge-optimie-rung		Rüsto-ptimie-rung				Kanban-/Pendel-karten-Prinzip

Abb. 2.9: Zuordnung von Steuerungsstrategien zu Strategietypen. (ZÜLCH 1989, S. 62)

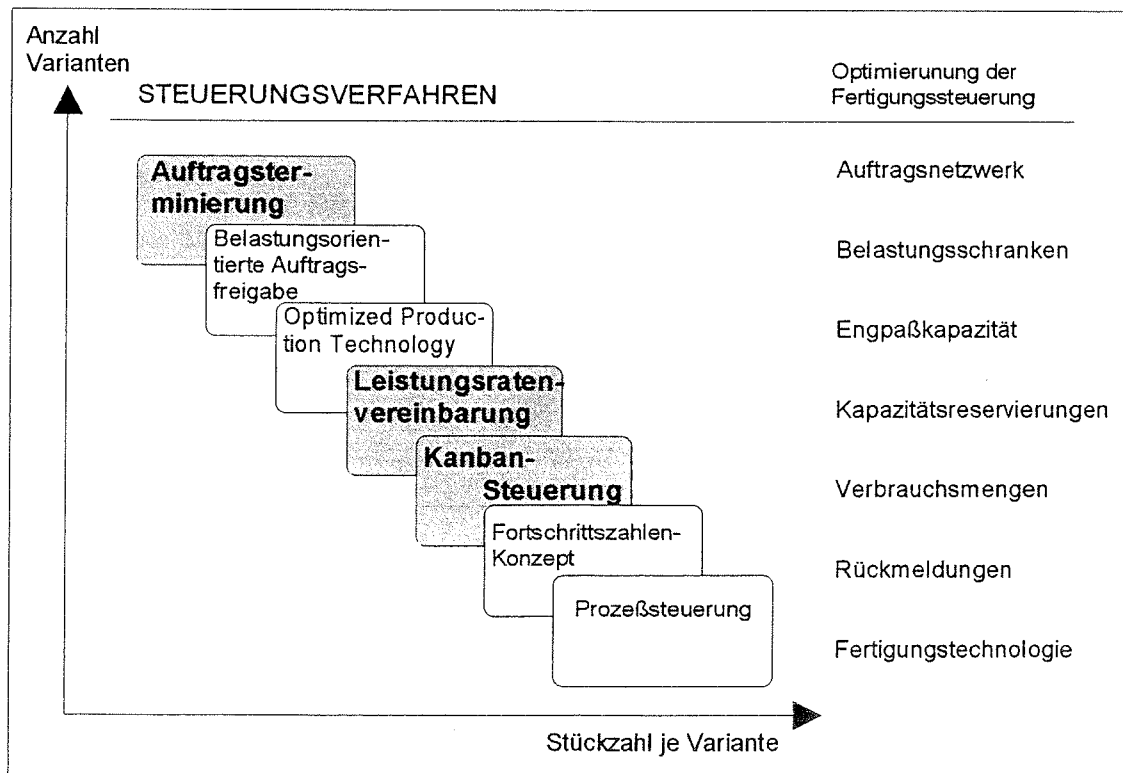


Abb. 2.10: Verfahren der Fertigungssteuerung (ZÜLCH 1989, S. 59; in Anlehnung an WIENDAHL 1987, S. 321)

Im folgenden sollen drei Konzepte der Fertigungssteuerung - Betriebsauftragssteuerung, Kanban-Steuerung, Leistungsvereinbarung - beschrieben werden, die auch im Rahmen dieser Arbeit verwendet werden.

2.3 Betriebsauftragssteuerung

Die Betriebsauftragssteuerung oder Auftragsterminierung ist die traditionelle Form der Steuerung für die Einzel- bis zur Serienfertigung. Der Fertigung werden Betriebs- oder Fertigungsaufträge mit Mengen und Terminangaben von der zentralen Arbeitssteuerung vorgegeben (vgl. SAINIS 1985, S. 561). "Hauptmerkmal der Betriebsauftragssteuerung ist die Bildung von Dispositionsaufträgen, die Vorgabe dieser Aufträge in die Fertigung und die Überwachung der in der Disposition festgelegten Termine" (SAINIS 1985, S 561).

Die Betriebsauftragssteuerung folgt in der Anstoßlogik dem Prinzip der Schiebelogik (vgl. Abb. 2.11). "Die Aufträge werden nach den in der Disposition festgelegten Terminen und Mengen in die Produktionsröhre geschoben" (SAINIS 1985, S. 561). Man spricht hierbei vom Schiebeprinzip (Puschprinzip) oder von der Schiebelogik. Fehlende Synchronisation von Input und Output führt zur Bildung von Beständen in der Röhre. Was heute als Output die Fertigung verläßt, hat mit dem, was in die Fertigung eingesteuert wird, nichts zu tun (vgl. SAINIS 1985, S 562; GRAF 1991, S. 49).

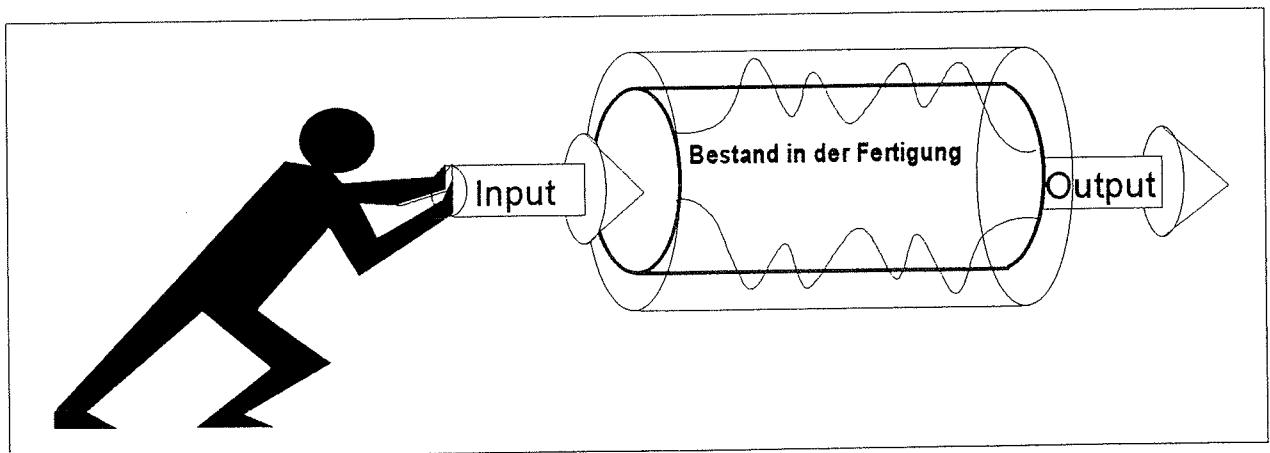


Abb. 2.11: Fertigungssteuerung nach dem Schiebeprinzip
(nach MÜLLER 1988, S. 133)

Demgegenüber wird bei der kundenanonymen Produktion aufgrund von Absatzerwartungen ein Verkaufsprogramm aufgestellt und nach Abstimmung mit der Terminsteuerung und Materialdisposition als Produktionsprogramm festgelegt.

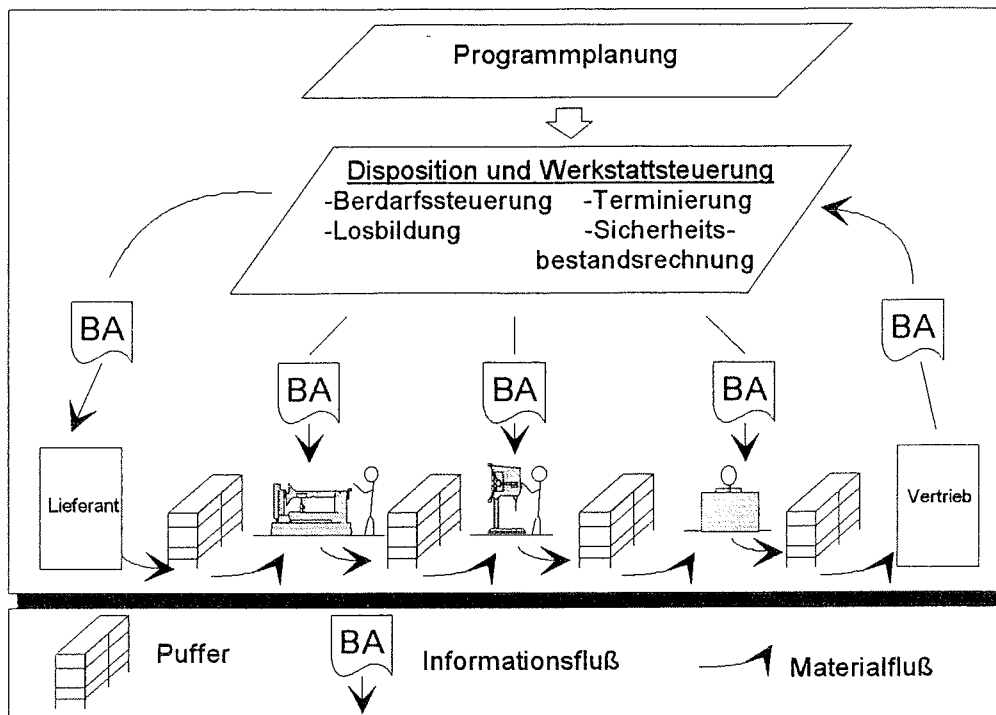


Abb. 2.12: Informations- und Materialfluß bei der Betriebsauftragssteuerung (vgl. AUGUSTIN 1990, S. 58)

Das Produktionsprogramm besteht aus den Kunden- bzw. Lageraufträgen. Im ersten Schritt gilt es nun, aus diesen Gesamtaufträgen, auf Basis der Stücklisten, im Rahmen der sog. Disposition zwischen den Teilen eigener Fertigung und den zugekauften Teilen und Gruppen zu unterscheiden. Unter Berücksichtigung der Bestände werden so die Eigenfertigungsteile zu Betriebs- oder Fertigungsaufträgen und die Zukaufteile zu Beschaffungsaufträgen.

Die Terminplanung der Eigenfertigungsteile läuft in den Schritten Durchlaufterminierung, Kapazitätsanpassung, Belastungsabgleich und Feinplanung ab. Als Informationen stehen die Arbeitspläne, die Übersicht über die Kapazitäten, die Übergangszeiten zwischen den einzelnen Kapazitätsgruppen sowie die Übersicht über die Restbelastung aus den in Arbeit befindlichen Aufträgen zur Verfügung.

Aufgabe der Disposition ist es, die Menge und die Endtermine der Betriebs- und Beschaffungsaufträge als Basis der eigentlichen Fertigungsterminplanung und -steuerung zu errechnen.

2.4 Kanban-Steuerung

Das Verfahren zur Verwirklichung des Ziehprinzips stellt die Steuerung mit Hilfe des Kanban-Verfahrens dar. Wenn der benötigte Output aus der Fertigungsrohre gezogen und sofort durch einen entsprechenden Input ersetzt wird, spricht man vom Ziehprinzip (Pullprinzip) oder von der Ziehlogik (vgl. Abb. 2.13). Was heute aus der Fertigung geliefert wird, wird heute auch wieder in die Fertigung eingelastet (SAINIS 1985, S. 562). Hierdurch entsteht ein Regelkreis, der dafür sorgt, daß der Bestand in der "Fertigungsrohre" (Umlaufbestand) konstant bleibt (vgl. GRAF 1991, S. 50).

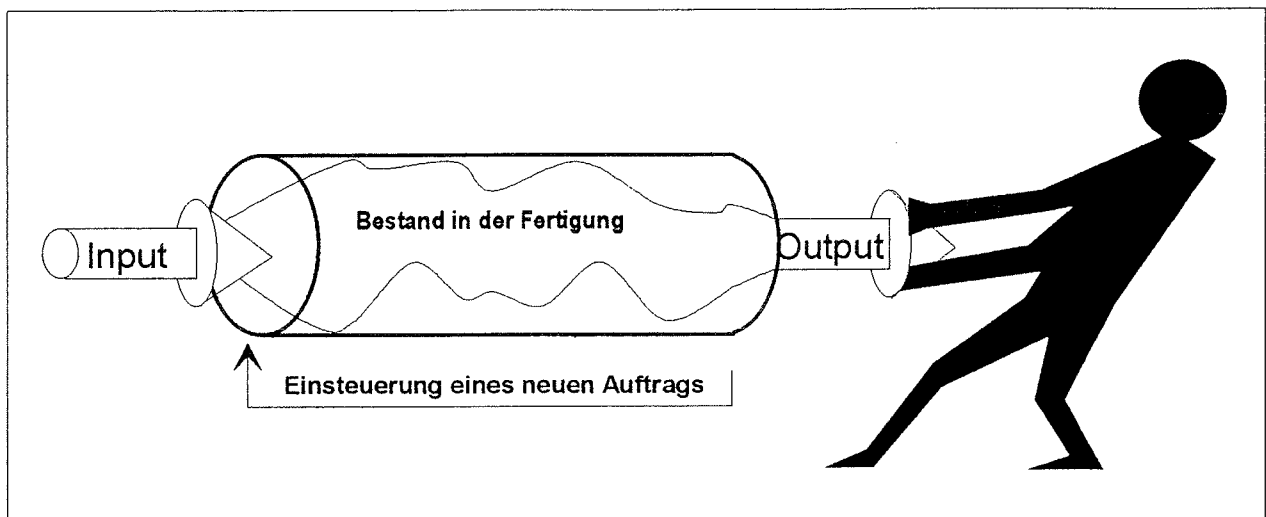


Abb. 2.13: Fertigungssteuerung nach dem Ziehprinzip
(nach MÜLLER 1988, S. 134)

Auf der Werkstattebene spricht man auch vom Holsystem, wenn jene Mitarbeiter, welche Material benötigen, selbst dafür Sorge tragen, daß diese rechtzeitig am Arbeitsplatz bereitstehen (vgl. REFA MLPS 1985, S. 349; GRAF 1991, S. 50).

Ein wesentliches Ziel der Kanban-Steuerung ist es, den Bestand an Teilen und Material in der Produktion zu reduzieren bzw. auf einem niedrigen Niveau zu halten. Damit soll einerseits das Ziel einer niedrigen Kapitalbindung und somit niedrigen Kapitalbindungskosten und andererseits eine hohe Transparenz des Produktionsprozesses erreicht werden (vgl. KOFFER 1987, S. 185).

Die Produktion nach dem Kanban-Prinzip benötigt eine einfache Produktionsstruktur und eine verhältnismäßig große Anzahl von gleichen Teilen. In einem Betrieb werden zwischen einzelnen Arbeitsgängen oder Produktionseinheiten kleine Lager (Puffer) eingerichtet. Von diesem Puffer werden die zu bearbeitende Teile oder Baugruppen zum Betriebsmitteln abgeholt, deren Stückzahl mit Hilfe von Kanban-Karte informiert wird.

Grundsätzlich kann die Kanban-Karte in zwei Gruppen gegliedert werden:

- Die Transport-Kanban-Karte, welche den Materialfluß vom Ausgangslager der vorgelagerten zum Eingangslager der nachgelagerten Produktionseinheit auslöst.
- Die Produktions-Kanban-Karte, welche zwischen dem Ausgangslager einer Produktionseinheit und den Arbeitsplätzen umläuft, beauftragt die produzierenden Stellen, den entnommenen Inhalt des Behälters "so schnell als möglich" zu ersetzen.

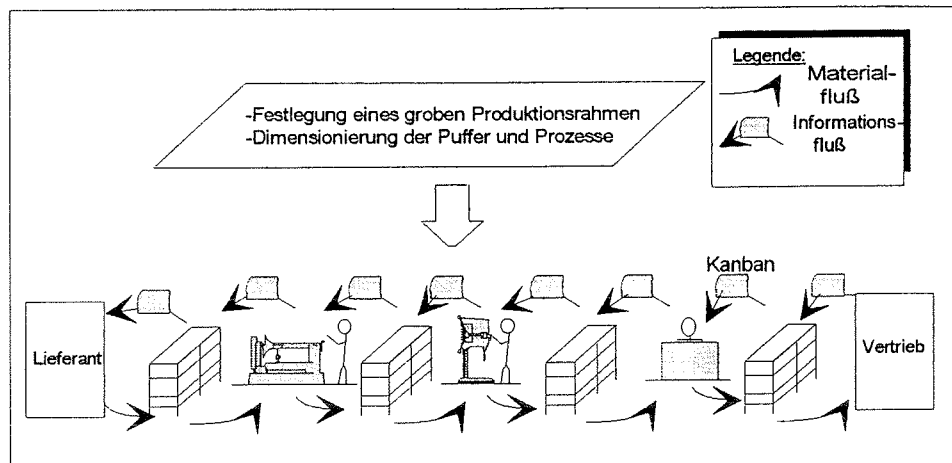


Abb. 2.14: Informations- und Materialfluß bei der KANBAN-Steuerung
(vgl. AUGUSTIN 1990, S. 59)

Nach dem Kundenauftrag wird die Menge des gewünschten Produkts abgeholt. Die letzte Produktionseinheit wird von der Abholung der Transportlosgröße mit Hilfe der Kanban-Karte informiert. Dann wird die Kanban-Karte in den Produktionsbereich zurückgegeben, um die Produktionseinheiten zu informieren. Anlieferungen von Zulieferanten können ebenfalls mit Hilfe der Kanban-Steuerung (Transport-Kanban) gesteuert und überwacht werden.

2.4.1 Anforderungen an die Produkte bzw. Teile

Die Anwendung der Kanban-Prinzipien erfordert einen stetigen Bedarf der Teile bzw. Produkte über einen längeren Zeitraum (1 Monat), so daß ein täglich identischer Produktionsprozeßplan gerechtfertigt ist. Darüberhinaus sollte das Produktionsprogramm über einen längeren Zeitraum (1 Jahr) weitgehend unverändert beibehalten werden (vgl. KOFFER 1987, S. 192).

Die Teile oder Materialien, die mit Hilfe von Kanban gesteuert werden, sollten eine hohe Qualität aufweisen. Die Forderungen nach einem geringen Bestand, kurzen Übergangszeiten, störungsfreiem sowie regelmäßigem Ablauf des Produktionsprozesses und gleich großer Mengen an verwendbaren Teilen in den Behältern unterstreichen die Forderung nach hoher Qualitätssicherheit. Andernfalls sind häufige Nacharbeiten erforderlich, die den kontinuierlichen Materialfluß stören. Ein wesentliches

Kanban-Prinzip besteht darin, daß von den Arbeitern nur "Gut-Teile" zur Abholung bereitgestellt werden dürfen. Die Qualitätsverantwortung ist also auf die produzierenden Mitarbeiter übertragen.

2.4.2 Anforderungen an Produktionseinheiten

An den Produktionseinheiten müssen übersichtliche und gut zugängliche Pufferlager eingerichtet werden, die entsprechenden Raum in der Produktion beanspruchen.

Das Transportsystem muß leistungsfähig sein, um bei sinkenden Losgrößen den steigenden Transportfrequenzen gerecht werden zu können. Aufeinanderfolgende Kanban-Regelkreise sollten räumlich nahe beieinander liegen (vgl. KOFFER, S.192).

Die Arbeit an Kanban-Produktionseinheiten erfordert ein vielseitig ausgebildetes und höher qualifiziertes Personal, um einen flexiblen Personaleinsatz zu ermöglichen und die Mitarbeit bei Quality-Circles zu erleichtern (vgl. KOFFER, S.193).

Entstehen Produktionsrückstände gegenüber dem Tagesplan und reichen vorgehaltene Kapazitäten nicht aus, um diese noch am selben Arbeitstag aufzuholen, so sind Arbeitskräfte von anderen Produktionseinheiten oder Arbeitsplätzen einzusetzen und/oder Überstunden bzw. der Einsatz von Zeitarbeit erforderlich.

2.5 Leistungsratenvereinbarung

2.5.1 Einleitung und Problemstellung

Eine freie Konkurrenz verzichtet auf steuernde Maßnahmen, so daß verschiedene Abnehmer beliebig auf die Kapazitäten des Produzenten zugreifen können. Alternativ kann der Zugriff zeitlich begrenzt sein, indem bestimmte Perioden vereinbart werden, in denen der Lieferant für einen speziellen Abnehmer tätig wird.

2.5.2 Definition und Merkmale der Leistungsratenvereinbarung

Die Kapazität (vgl. REFA LEX 1992, S. 146) ist das Leistungsangebot von Kapazitätsstellen innerhalb einer bestimmten Zeitspanne, in der Leistung erbracht wird, die wir als Leistungszeit bezeichnen. Die Kapazität kann wie folgt berechnet werden,

Kapazität = Leistungsangebot · Leistungszeit.

Zur Änderung der Kapazität gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten:

- Veränderung des Leistungsangebots einer Produktionseinheit,
- Veränderung der Zeit, in der die Leistung erbracht wird.

Die Leistungsrate (LR) ist eine Regelgröße bei der Ablaufsteuerung für dezentrale Strukturen. Sie legt jeweils den Zeitanteil fest, den eine Kapazität einer nachfolgenden Kapazität in einem Planungszeitabschnitt zur Verfügung stellt (ZÜLCH, GROBEL 1992, S. 17).

Bei der Steuerung mit Leistungsrate wird für einen bestimmten Zeitraum (die Leistungsperiode) ein festes Kapazitätswolumen (die Leistungsrate) festgelegt, das vom Lieferanten für den Abnehmer bereitgestellt wird. Die Leistungsratevereinbarung wird als Koordinationsmethode gewählt. Das Ziel der Leistungsratevereinbarung ist die Gewährleistung eines fließenden im Systems und eines reibungslosen Ablaufs im Gesamtsystem. Dies bedeutet, daß die Engpässe im System das Gesamtsystem steuern müssen. Dadurch bilden sich vor einem Engpaß keine riesigen Warteschlangen.

Welche Größen werden im Rahmen der Leistungsratevereinbarung festgelegt? Die Leistungsrate legt für eine Kapazität (Leistungserbringer) fest, wieviele Zeiteinheiten der Kapazität im Planungszeitabschnitt (in einer definierten Periode) für die nachfolgende Kapazität (Nachfolger, Leistungsforderer) verwendet werden. Dies bedeutet, daß die maximal leistbare Kapazität des Leistungserbringers im Planungszeitabschnitt feststehen muß. Die gesamte vereinbarte Leistung kann dann 100 % des maximalen Kapazitätsbestandes nicht übersteigen.

Unter Fertigungssegmenten werden produktorientierte Organisationseinheiten der Produktion verstanden, die mehrere Stufen der logistischen Kette eines Produkts umfassen und mit denen eine spezifische Wettbewerbsstrategie verfolgt wird (WILDEMAN 1988, S. 296).

Aus betriebswirtschaftlichen oder technischen Gründen kann es sinnvoll sein, nicht alle Produktionsfunktionen in die Fertigungssegmente zu integrieren (vgl. ZÜLCH, GROBEL 1992, S.15). Hierbei kann zwischen Zentraleinheiten und Fertigungssegmenten unterschieden werden. In Zentraleinheiten können bestimmte Arbeitsgänge für die Fertigungssegmente durchgeführt werden. Für die Segmente werden in der Zentraleinheit Planzeiten reserviert und kombiniert.

Die Steuerung nach Leistungsrate kann nach Zieh- oder Schiebepinzipien klassifiziert werden (vgl. Abb. 2.15; 2.16).

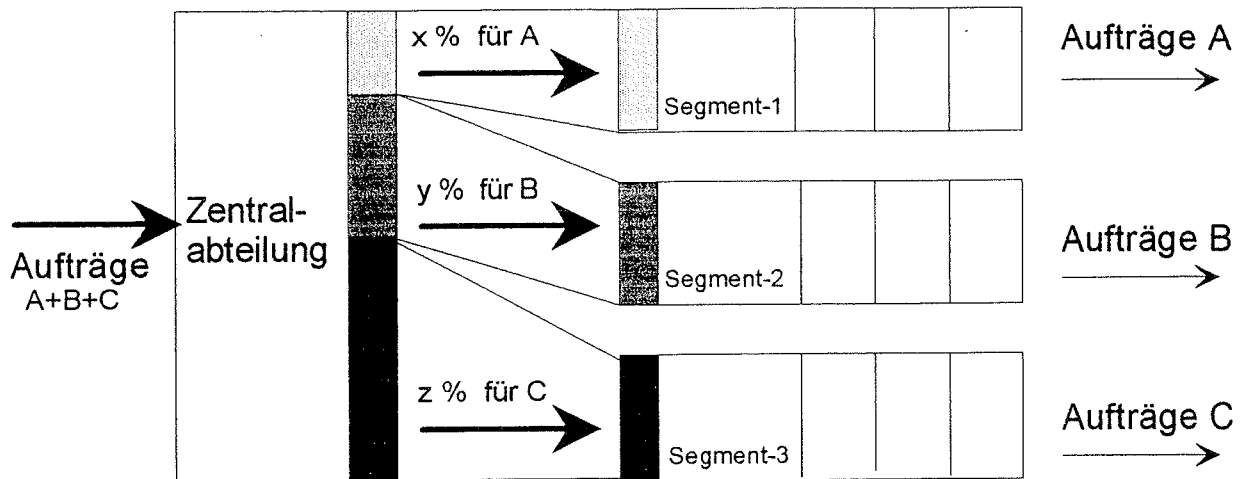


Abb. 2.15: Übergang von einer Zentraleinheit zu drei Segmenten im Ziehprinzip

Bei der Leistungsratevereinbarung wird festgelegt, wieviel Prozent der Zeit die Zentralabteilung Aufträge bearbeitet, die nach ihr Segment A zu bearbeiten hat und wieviel Prozent der Zeit die Zentralabteilung Aufträge bearbeitet, die Segment B und C zu bearbeiten hat. Diese Prozentsätze bezeichnet man als Leistungsrate bei der Zentralabteilung für Nachfolger Segment A, Segment B und Segment C.

In der Zentraleinheit werden innerhalb eines Planungszeitabschnittes Leistungsrate (Kapazitäten) für die nachfolgenden Produktionssegmente vereinbart. Entsprechend der vereinbarten Leistungsrate werden die Aufträge bearbeitet.

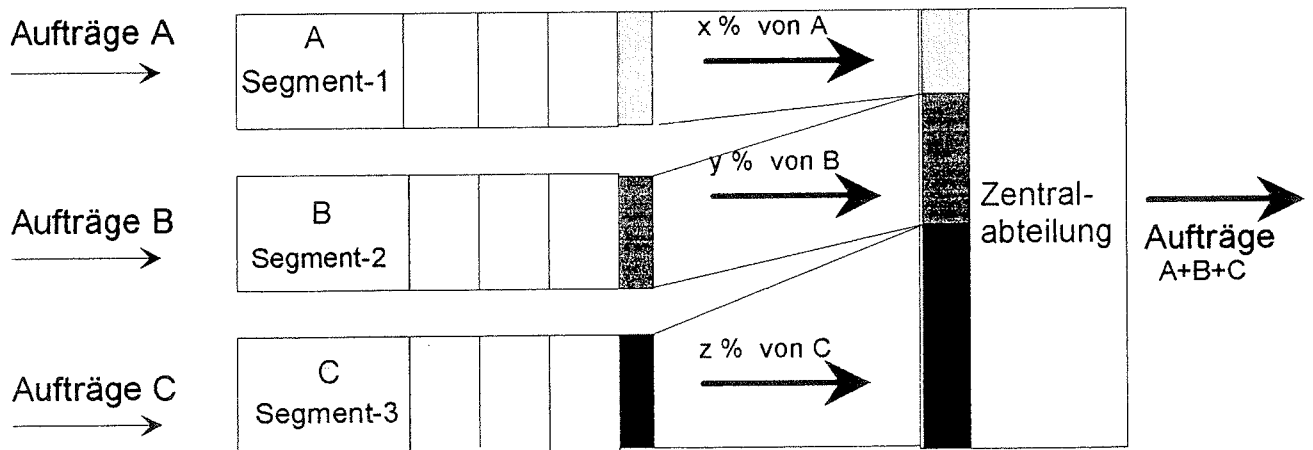


Abb. 2.16: Übergang von drei Segmenten in eine Zentralabteilung im Schiebprinzip

Bei der Leistungsratevereinbarung nach dem Schiebprinzip wird festgelegt, wieviel Prozent der Zeit die Zentralabteilung Aufträge bearbeitet, die vor ihr Segment A, Segment B und Segment C zu bearbeiten hat. Diese Prozentsätze bezeichnet man als Leistungsrate bei der Zentralabteilung für

Segment A , Segment B bzw. Segment C. In diesem Beispiel ist die Zentralabteilung Dienstnehmer für die Dienstgeber Segment A, B und C.

2.5.3 Vereinbarungsdauer

Die Vereinbarungsdauer ist der Zeitraum, in dem die vereinbarte Leistungsrate Gültigkeit besitzt. Nach der Vereinbarungsdauer wird die Leistungsrate neu festgelegt. Die Leistungsrate gilt eine bestimmte Zeitspanne und wird dann neu festgelegt, oder sie gilt so lange, bis ein bestimmtes Ereignis (z.B. Überschreiten einer Bestandsgrenze) eintritt.

2.5.4 Planzeitabschnitt

Unabhängig davon gibt es eine Zeitspanne, in der die Leistungsrate erfüllt werden muß. Diese Zeitspanne bezeichnet man als Planungszeitabschnitt.

Der Planungszeitabschnitt (PZA) ist also der Zeitraum, auf den sich die Erfüllung der vereinbarten Leistungsrate bezieht. Dieser Zeitraum ist Gegenstand der Leistungsratevereinbarung. Er kann frei gewählt werden. Am Ende eines Planungszeitabschnittes sollen die Leistungsrate wie vereinbart erfüllt sein. Innerhalb eines Planungszeitabschnittes kann die Erfüllung der Leistungsrate vorgeschrieben (fest vereinbart) oder freigestellt sein.

3 Simulationsverfahren

3.1 Allgemeines über Simulation

3.1.1 Begriffsdefinition und Abgrenzung

Die VDI-Richtlinie (vgl. VDI 1983, Richtlinie 3633) definiert Simulation als "Nachbildung eines dynamischen Prozesses in einem Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind". Für Witte ist die Simulation "eine Vorgehensweise zur Analyse von Systemen" (vgl. WITTE 1990), während Mertens auf den experimentellen Charakter der Simulation abhebt und feststellt, daß die Simulation eine besondere Form des Experiments ist (MARTENS 1982). Abb. 3.1 zeigt die gemeinsamen Merkmale der vielfältigen Ansätze zur Bestimmung des Simulationsbegriffs.

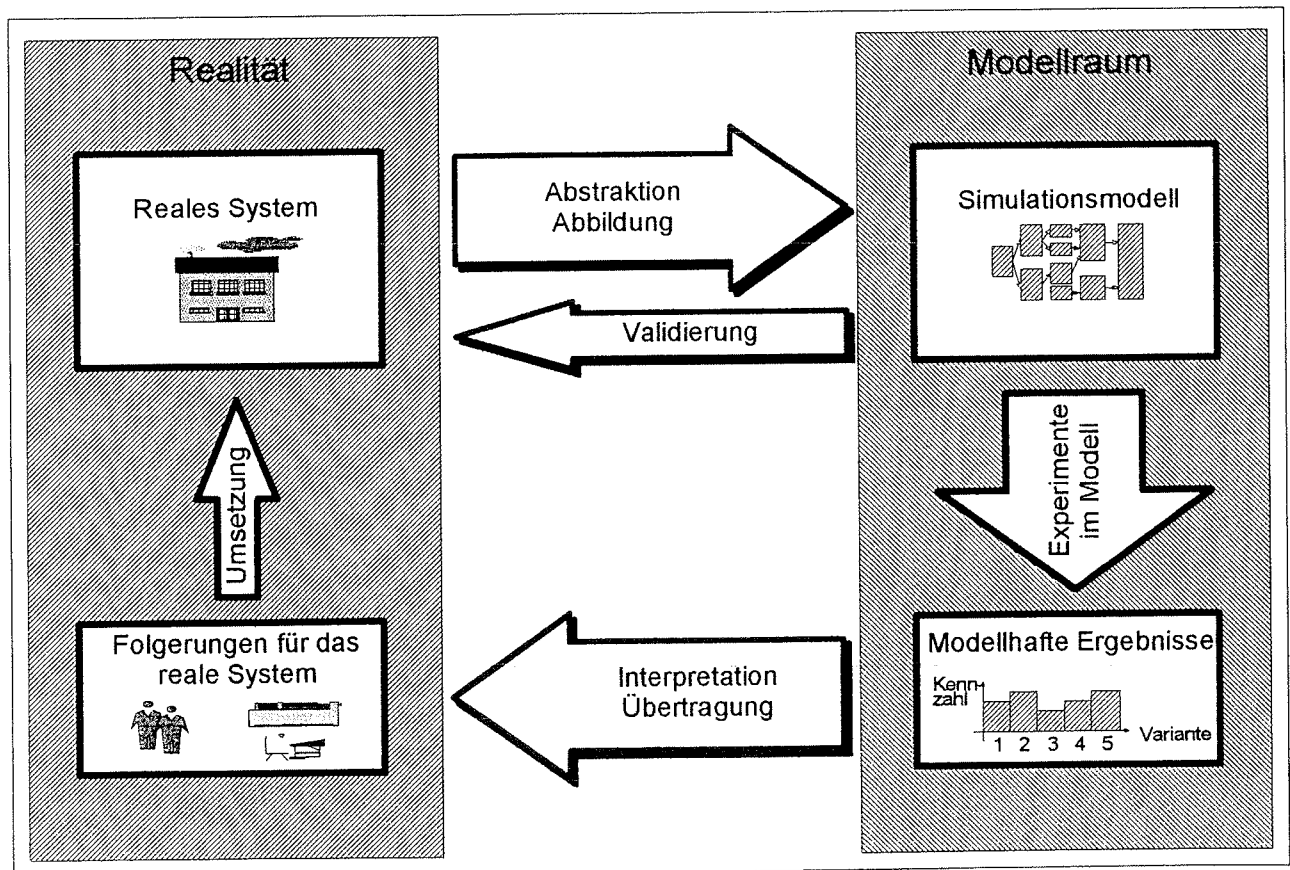


Abb. 3.1: Prinzip einer simulationsgestützten Bewertung von Produktionssystemen (nach VDI 1983)

Experimente können anhand eines Simulationsmodells eines realen Systems durchgeführt werden und aus den Ergebnissen der Experimente Rückschlüsse auf das Verhalten und die Eigenschaften des realen Systems gezogen werden.

Das Begriffsverständnis der Modelle wird von Mayer klassifiziert. Es kann zwischen anschaulich - ikonischen Modellen (z.B. Landkarten), Analogmodellen gegenständlicher Art (wie z. B. Windkanalversuchen) und abstrakt-symbolischen (z. B. mathematischen Modellen) Modellen unterschieden werden. Die Mathematischen Modelle nennt man auch Experimentier- oder Simulationsmodelle (vgl. MAYER 1990; GÜNZEL 1993, S. 4).

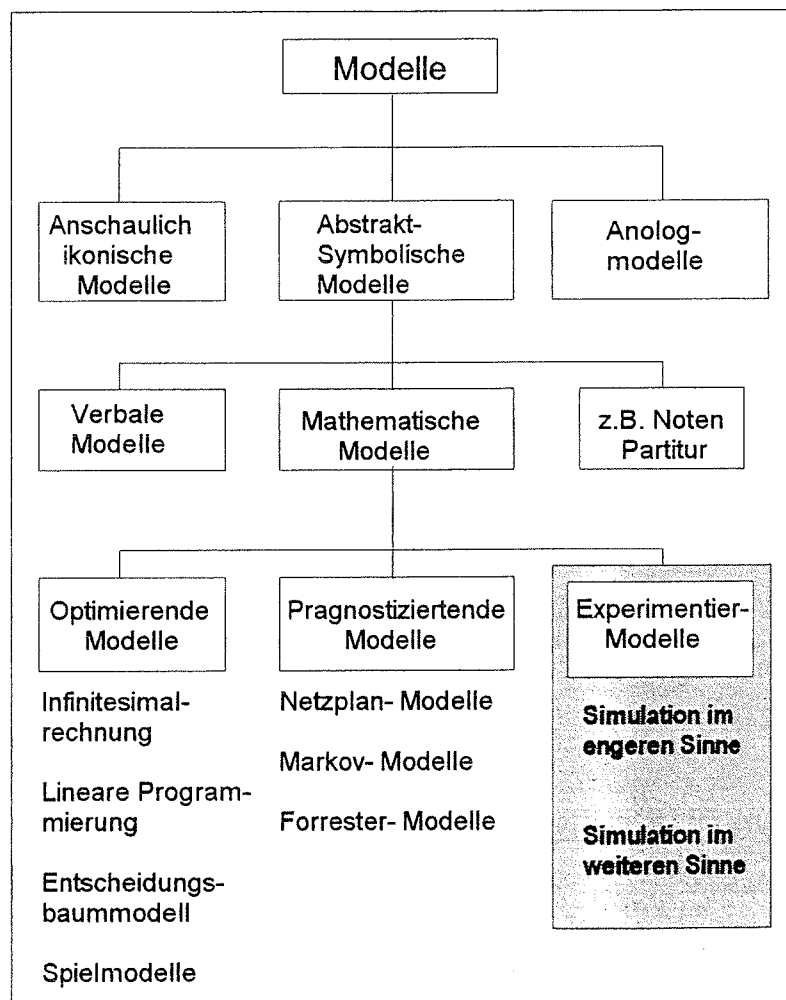


Abb. 3.2: Systematik der Modelle (nach MAYER 1990, S.117)

PPS- Regelkreis und Simulationstypen

In den letzten Jahren betrachtet man die PPS- System als Prozeß, die den Gesamtkomplex Planung, Steuerung und Fertigung als vermarschter Regelkreis abbildet.

Der PPS- Regelkreis besteht aus vier Teilkomponenten, dem PPS- System, dem Durchführungssystem, dem Diagnosesystem und dem Betriebsdatenerfassungssystem.

Dieses Regelkreismodell ist in Abb. 3.3 zur Veranschaulichung der Überlegungen zur „PPS-Simulation“ dargestellt. Das Durchführungssystem dient im Gesamtsystem als Regler. Das Verhalten des Durchführungssystems wird über die Betriebsdatenerfassung (BDE) und ein Diagnosesystem als Analyse- Instrument überwacht. Dessen Ergebnisse kehren zum PPS-System als Regelgrößen zurück.

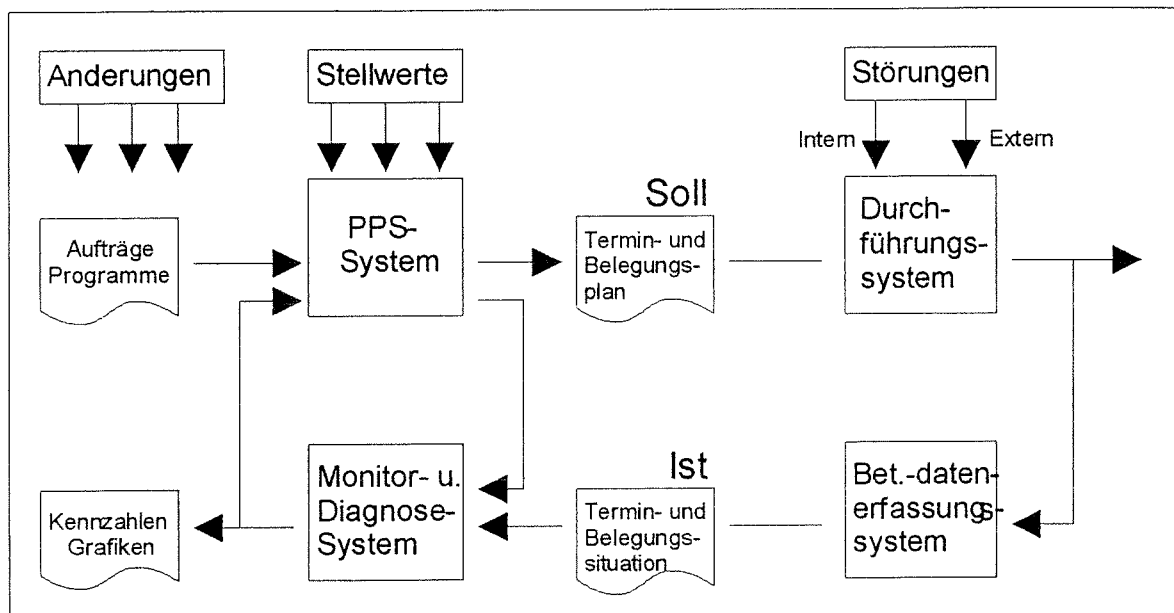


Abb. 3.3: PPS- Regelkreis
(WIENDAHL 1990, S. 631)

Simulationsmodelle lassen sich in zwei Klassen des Simulationseinsatzes im Bereich der Produktionsplanung und -steuerung allgemein in zwei Simulationstypen einteilen.

PPS- Simulation im weiteren Sinne

Simulationstyp 1 (nach Wiendahl) umfaßt nur das PPS-System von diesen Komponenten. Für moderne PPS-Verfahren ist dieser Simulationstyp gut geeignet. Unter diesen Typ lassen sich z.B. KANBAN-Verfahren mit einer konventionellen Produktionsplanung einordnen (vgl. GÜNZEL 1993, S.15).

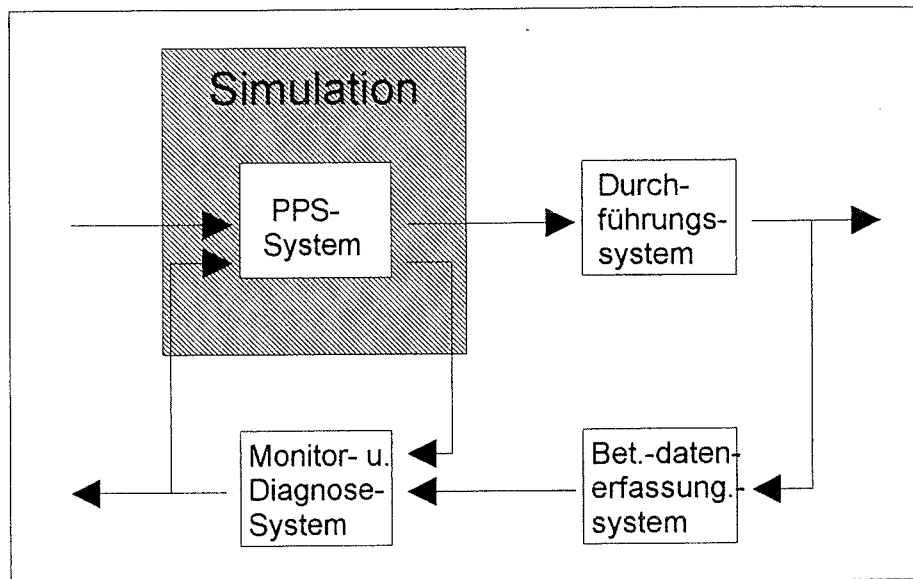


Abb. 3.4: PPS-Simulation im weiteren Sinne
(GÜNZEL 1993, S.14).

PPS- Simulation im engeren Sinne

Simulationstyp 2 umfaßt sowohl die Modellierung der Aufgaben des PPS-Systems als auch die Simulation des Durchführungsystems.

Der Aufgabenbereich eines Simulationsmodells im engeren Sinne wird im Vergleich zum Simulationstyp im weiteren Sinne erweitert. Dieser Simulationstyp hat eine zusätzliche Aufgabe, die im Durchführungssystem besteht. Ihre Anwendungsmöglichkeiten werden durch das Durchführungssystem gegenüber Simulationstyp 1 vergrößert.

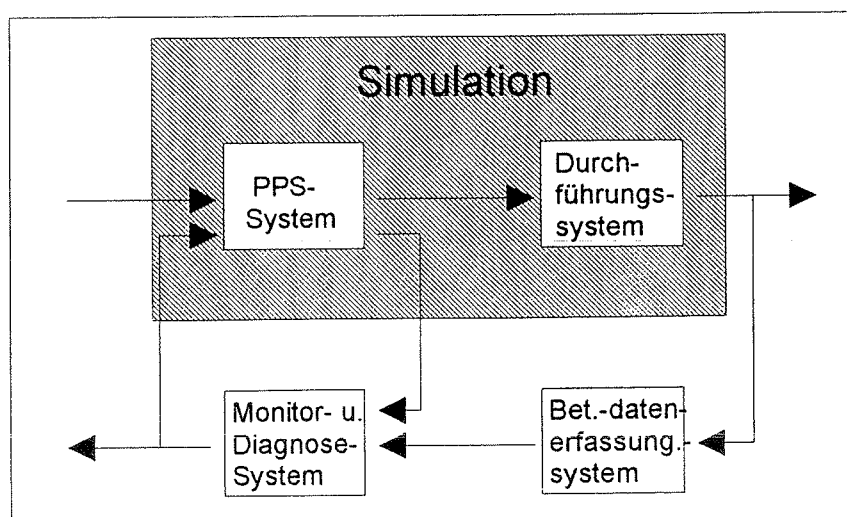


Abb. 3.5: PPS- Simulation im engeren Sinne
(GÜNZEL 1993, S.16).

Diese PPS-Simulation vom Typ 2 kommt in der betrieblichen Praxis bisher kaum zur Anwendung. Aber die Funktionen eines PPS-Systems sowie das Verhalten des betrachteten Produktionssystems können hinreichend genau abgebildet und implementiert werden (vgl. GÜNZEL 1993, S. 16).

3.1.2 Einsatzgebiet und Nutzeffekte der Simulation in de Produktion

Allgemein läßt sich sagen, daß die digitale Rechnersimulation immer dort allgemein angewendet wird (vgl. GÜNZEL 1993, S. 10),

- wo alternative mathematische, exakte analytische Berechnungs- und Planungsverfahren nicht ausreichen,
- wo es prinzipiell oder aus Kostengründen nicht möglich oder zu gefährlich ist, am realen System Experimente zur Bestimmung der gewünschten Erkenntnisse durchzuführen,
- wo das Verhalten eines Gesamtsystems von übergreifenden, komplexen Wirkzusammenhängen einzelner Teilsysteme, deren Eigenschaften bekannt sind, bestimmt wird oder
- wo das zeitdynamische Verhalten eines Systems zu untersuchen ist.

Üblicherweise wird grob unterschieden zwischen Simulationsmodellen zur Planung oder Entwicklung neuer Anlagen und Produkte sowie solchen zur Analyse, Optimierung oder Unterstützung des Betriebs bestehender Systeme. Eine eindeutige Trennung ist dabei oft nicht möglich, da sich Simulationsmodelle meist für beide Aufgabenbereiche nutzen lassen (vgl. GÜNZEL 1993, S. 10)

Maßnahmen wie die Einführung von Konzepten und Werkzeugen der rechnerintegrierten Produktion sind mit einem hohen Unternehmensrisiko verbunden. Daher ist eine perspektive Abschätzung möglichen Auswirkungen unverzichtbar. Ein Wirtschaftlichkeitsnachweis ist besonders dann erforderlich, wenn die in Frage kommenden Maßnahmen mit Investitionen verbunden sind. Allerdings sind zur Zeit noch keine Methoden verfügbar, die die komplexen Wirkzusammenhänge zu einem umfassenden Wirtschaftlichkeitsnachweis einbeziehen (vgl. GROBEL 1992, S. 22).

Einer der wichtigsten Vorteile von Simulationsverfahren ist die Berücksichtigung des dynamischen Systemverhaltens bei der Beurteilung. Gerade hier zeigen sich diejenigen Auswirkungen neuer Strukturen, die mit anderen Methoden nur unzureichend erfaßt werden können. Alle relevanten Eigenschaften des Systems werden in einem Rechnermodell berücksichtigt, welches Aussagen darüber macht, wie die Ist-Situation des Produktionssystems systematisch aufbereitet werden kann.

Diese Analyse liefert wichtige Erkenntnisse über das reale System und dessen Schwachstellen (vgl. GROBEL 1992, S. 23).

Die Simulation liefert quantifizierte Aussagen, die zwar mit gewissen Unsicherheiten behaftet sind, jedoch - verglichen mit reinen Schätzwerten - als wertvoll gelten können. Die Analyse im Modellraum erspart den Eingriff in das reale System und somit einen Großteil an Kosten. Wenn das Produktionssystem erst einmal modelliert wurde, ist es relativ einfach, Varianten nach bestimmten Zielkriterien zu entwickeln oder zu untersuchen. Auch Nachbesserungen an einzelnen Varianten sind auf einfache Weise möglich (vgl. GROBEL 1992, S. 23).

Der Einsatz von Simulationsverfahren hat allerdings auch Nachteile. So ist der Aufwand für die Modellierung eines Systems sehr hoch. Gerade der zeitliche Aufwand für die Erfassung von Arbeitsinhalten in den produktionsvorbereitenden Bereichen darf nicht unterschätzt werden. Da die Modellkomplexität sinnvoll beschränkt werden sollte, sind bestimmte Einschränkungen bei der Erstellung des Modells notwendig. Selbst die Gestaltung der Oberfläche eines Simulationsverfahrens erfordert ein tiefgreifendes Fachwissen über die Simulation als Verfahren. Nur so kann das Instrument Simulation sinnvoll genutzt werden. Auch sollten die numerischen Ergebnisse auf keinen Fall überbewertet werden. Die durch Erkenntnisse im Modellraum gewonnenen Ergebnisse sollten mit dem Ausgangszustand verglichen werden. Die Simulation ermöglicht es, Tendenzen aufzuzeigen und zu quantifizieren. Prozentgenaue Aussagen erlaubt die Simulation hingegen nicht (vgl. GROBEL 1992, S. 24).

Der Einsatz eines Simulationsverfahrens liefert einen wesentlichen Beitrag zum Systemverständnis und zur Systembewertung komplexer dynamischer Systeme. Der Nutzeffekt einer Simulationsstudie ist gewöhnlich weit höher als deren Kosten.

3.2 Das Simulationsverfahren Femos

Ein Verfahren, das den genannten Anforderungen bzgl. einer Quantifizierung der Auswirkungen der in Abschnitt 2 genannten Veränderungen genügt, wurde am Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation (ifab) der Universität Karlsruhe mit dem Simulationsverfahren FEMOS entwickelt und seit längerer Zeit auch in der Praxis eingesetzt (vgl. GROBEL 1992, S. 25).

Die Grundlage des Simulationsverfahren stellt eine Datenbasis dar, in der alle zur Simulation erforderlichen Systemelemente und -beziehungen in allgemeiner Form strukturiert abgelegt sind (vgl. Abbildung 3.2.1 und GROBEL 1992, S. 25).

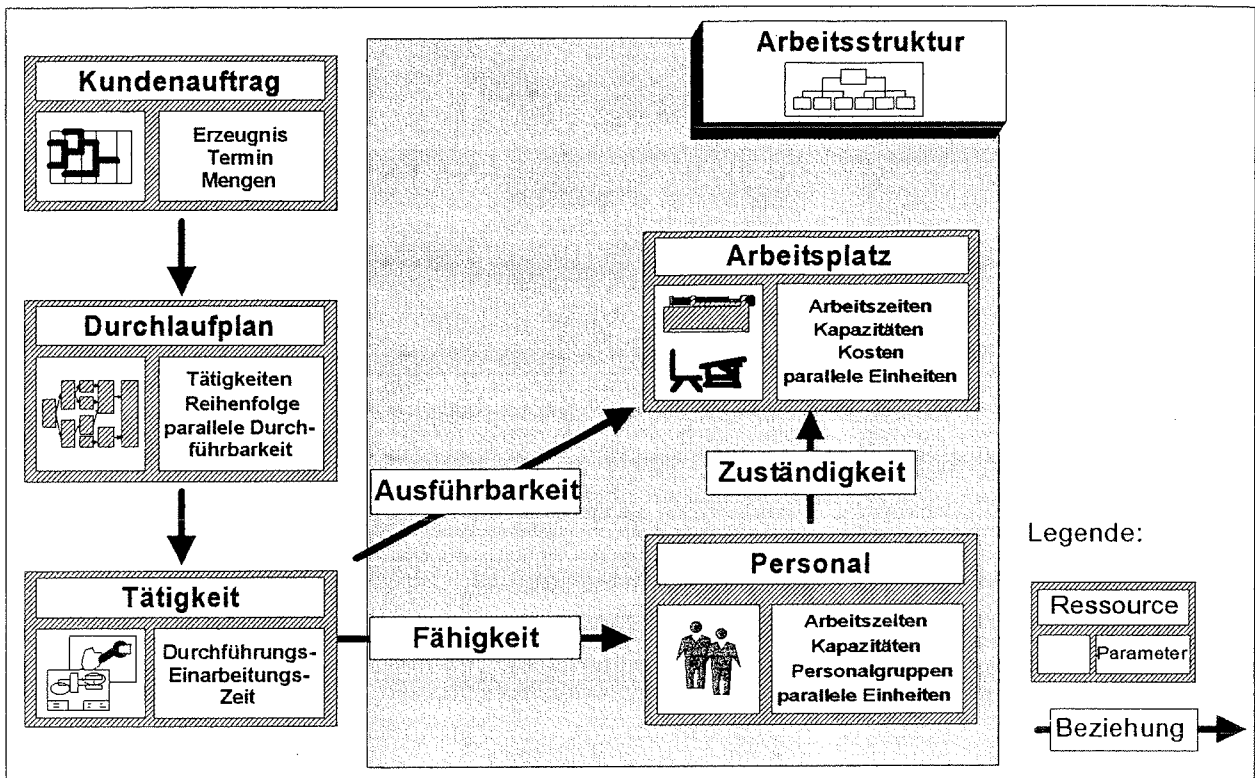


Abb. 3.6: FEMOS: Ressourcen und Beziehungen
(GROBEL 1992, S. 25)

Mit dem Simulationsverfahren wird der Durchfluß von Kundenaufträgen durch das Produktionssystem untersucht, in dem die Bearbeitung der Aufträge an den verschiedenen Organisationseinheiten nachgebildet wird. Die einem Kundenauftrag zugeordneten Bearbeitungsvorgänge sind in sog. Durchlaufplänen vereinbart. Die Durchlaufpläne umfassen alle zur Bearbeitung eines Auftrags notwendigen Funktionen (verkettet zu Arbeitsplänen) in ihrer logischen Reihenfolge; sie sind somit Vorganggraphen vergleichbar. Sie beinhalten aber auch weitergehende Informationen wie z.B. die Möglichkeiten einer parallelen Bearbeitung einer Funktion oder der überlappenden Bearbeitung verschiedener Funktionen.

Für die Durchführung einer Funktion müssen verschiedene Ressourcen zur Verfügung stehen, die durch die Organisationsstruktur festgelegt werden. Die Organisationsstruktur wird durch zwei Elemente und drei Beziehungen beschrieben (GROBEL 1992, S. 26): Zum einen basiert sie auf Organisationseinheiten (im Sinne von Arbeitsplätzen) und Mitarbeitern. Zum anderen wird die Organisationsstruktur gebildet durch die Zuordnung von Funktionen bzw. von Erzeugnissen zu Organisationseinheiten, die sog. "Ausführbarkeit" und die Zuordnung von Mitarbeitern zu Organisationseinheiten, die sog. "Zuständigkeit", die den Einsatzbereich des Mitarbeiters beschreibt (vgl. ERNST 1991, S. 14). Neben der "Zuständigkeit" benötigt der Mitarbeiter eine bestimmte "Fähigkeit" (Aufgabenbereich, vgl. ERNST 1991, S. 14) zur Durchführung einer Funktion.

Das Simulationsverfahren FEMOS besteht aus drei unabhängigen Programmblöcken (vgl. Abb. 3.1).

- Modellierer (FEIN)
- Simulator (FSIM)
- Auswerter (FAUS)

Der Modellierer FEIN ermöglicht die Abbildung des zu untersuchenden Produktionssystems in das rechnerinterne Modell, in dem die Daten des abzubildenden Systems interaktiv über Masken eingelesen werden. Hierbei kann der Benutzer Namen für die verschiedenen Systemelemente frei vergeben, wodurch die Modelltransparenz erheblich verbessert wird.

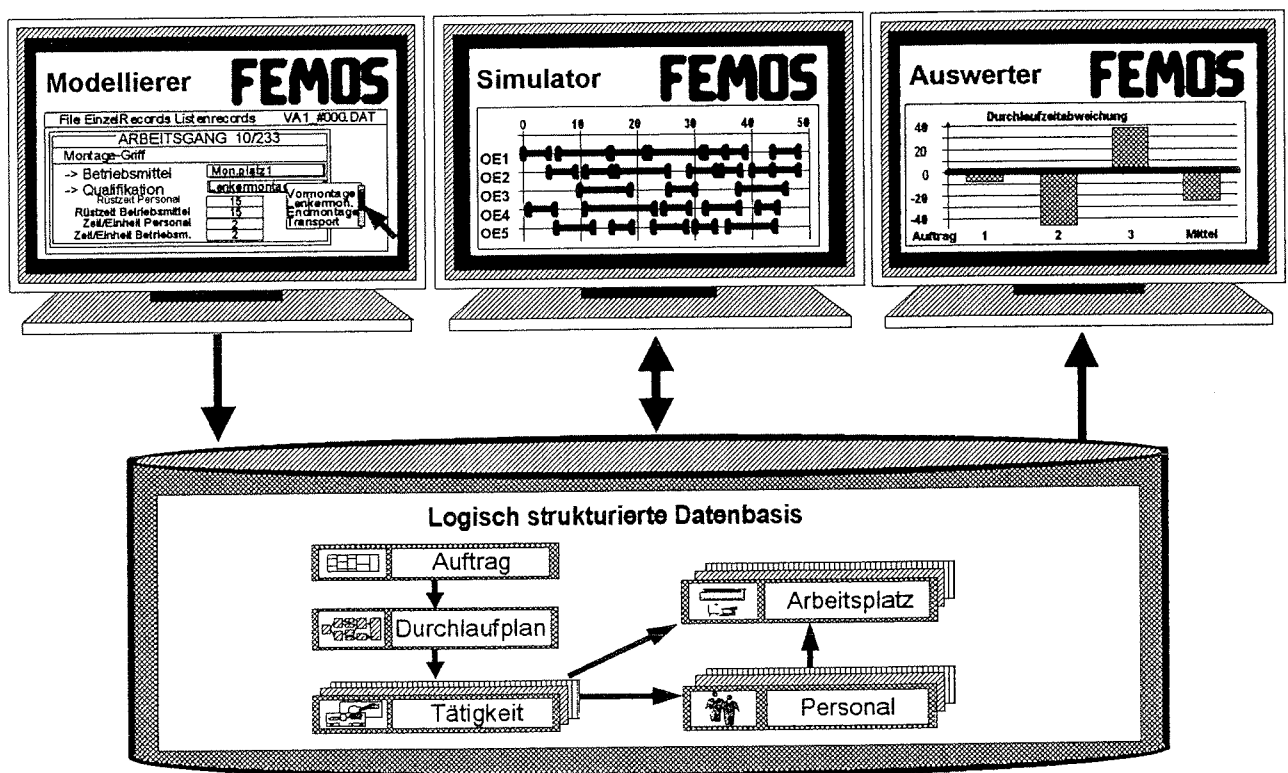


Abb. 3.7: Aufbau des Simulationsverfahrens FEMOS
(in Anlehnung an GROBEL 1992, S. 25)

Der Simulator FSIM bildet den Auftragsdurchlauf durch das System ggf. unter der Anwendung verschiedener Strategien der Fertigungsstruktur (vgl. z.B. GRAF 1991, S. 25) nach. Hierbei kann die Auftragsabarbeitung nach verschiedenen Kriterien "online" animiert werden, was insbesondere für eine schnelle Kontrolle des Systemverhaltens (vgl. GROBEL 1991, S. 25) und zur Optimierung von Varianten von Vorteil ist.

Der Ausgabeteil FAUS ermöglicht eine Auswertung der Simulationsläufe nach verschiedenen betriebsorganisatorischen Kriterien. Die Ergebnisse können entweder grafisch dargestellt oder zur weiteren Bearbeitung in Dateien abgespeichert werden. Aufbauend auf diesen Dateien kann eine weitere Verarbeitung der Ergebnisse in Tabellenkalkulationsprogrammen erfolgen. Durch das ASCII-Format der Dateien und spezielle Ausgabeformate der Daten ist eine Import marktgängige Tabellenkalkulations- oder Statistikprogramme möglich.

Die Grundlage des Simulationsverfahrens FEMOS bildet die oben dargestellte logisch strukturierte Datenbasis, in der die zur Beschreibung eines Produktionssystems notwendigen Daten in allgemeiner, strukturierter Form definiert sind und redundanzfrei abgelegt werden. Modellierer, Simulator und Ausgabeteil greifen über definierte Schnittstellen auf diese Datenbasis zu.

3.3 Modellierung eines Produktionssystems

Die Modellierung des Produktionssystems kann man in verschiedene Stufen einteilen: (vgl. GROBEL 1992, S 34)

- Analyse und Erfassung der verschiedenen Strukturen des realen Produktionssystems. Die zu analysierenden und erfassenden Strukturen sind: Erzeugnis-, Auftrags-, Organisations- und Fertigungsstrukturen.
- Übertragung der zuvor erhaltenen Daten in einen Modellwert, der an die Anforderungen des Simulationsverfahrens angepaßt ist. Hierbei müssen die in der Datenbasis des Simulationsverfahrens festgelegten Objekte und Restriktionen quantitativ beschrieben werden.

Das Modell der Erzeugnisstruktur

Das Modell der Erzeugnisstruktur umfaßt die Vielfalt der in einem Produktionssystem herzustellenden Erzeugnisse. Die Erzeugnisstruktur wird hierzu als Prozeßstruktur modelliert, in dem sie in Durchlaufplänen beschrieben wird. Man nennt Durchlaufpläne auch "Arbeitspläne" oder "Fristenpläne", die als gerichtete Graphen definiert sind (GROBEL 1993, S. 62).

Das Modell der Auftragsstruktur

Das Modell der Auftragstruktur beinhaltet die Struktur der Belastung des Produktionssystems. Daraus werden die Anzahl der Aufträge, die Verteilung der Zeitpunkte

des Eintreffens der Aufträge im System und die Verteilung der Aufträge auf verschiedene Erzeugnisse verstanden (GROBEL 1993, S. 63).

Das Model der Organisationsstruktur

Das Modell der Organisationsstruktur wird auch als Modell der Aufbaustruktur beschrieben. Dieses Modell wird durch die Beziehungen zwischen Funktionen, Mitarbeitern und Organisationseinheiten bestimmt (BRINKMEIER 1992, S. 9). Es umfaßt den maximalen Gestaltungsraum für die Definition von Organisationsstrukturen, der durch die Zuordnung von Funktionen und Mitarbeitern zu Organisationseinheiten und die Kapazitäten der Einheiten aufgespannt wird (GROBEL 1993, S. 64).

Für die Modellierung des Produktionssystems werden demnach die folgenden Eingaben benötigt (vgl. GROBEL, BRINKMEIER 1994, S. 7):

- Personal mit Fähigkeiten und Kompetenzen für bestimmte Arbeitsplätze
- Arbeitszeiten
- Arbeitsplätze/Betriebsmittel
- Material/Lager
- Arbeitsabläufe mit Bearbeitungszeiten
- Durchlaufpläne
- Auftragsstruktur

Die Simulation selbst erfolgt durch die Belastung der Produktionsstruktur mit den vorgegebenen Aufträgen und die Nachbildung der Auftragsbearbeitung im Rechner. Während der Simulation werden die für die Auswertung notwendigen Informationen als Protokolle abgelegt (GROBEL 1992, S. 31).

Dateneingabe

Die Modelldaten werden über einen interaktiven Modellierer in die Datenbasis des Simulationsverfahrens eingegeben. Hierdurch wird das rechnerinterne Modell des Produktionssystems aufgebaut (GROBEL 1992, S. 31).

Analyse des Ausgangszustands

Das Ausgangsmodell gibt die Möglichkeit, die Modellvarianten zu vergleichen. Damit kann die Aussagegenauigkeit über die Produktionssystemalternativen erhöht werden.

Simulation der Varianten

Die Simulation der Varianten erfolgt wie beim modellierten Ausgangszustand durch die Nachbildung der Bearbeitung der Aufträge im rechnerinternen Modell des Produktionssystems. Hierbei kann man in der Regel auf das Auftragspektrum des Ausgangszustandes zurückgreifen, auf das die Planungslösungen ausgelegt wurden.

Auswertung der Simulationsergebnisse

Bei der Auswertung des Simulationsverfahrens werden die vom Simulator aufgezeichneten Protokolldaten ausgewertet und die Kennzahlen zur Beschreibung des dynamischen Systemverhaltens berechnet, um eine Bewertung von Planungslösungen zu ermöglichen (GROBEL 1992, S.32).

4 Simulation einer Fahrradfabrik

Im Rahmen dieses Kapitels werden der Ausgangszustand (S-1) und verschiedene Varianten einer Fahrradfabrik vorgestellt und analysiert, die mit Hilfe von FEMOS simuliert werden. Bei der Beurteilung der Fahrradfabrik dienen die Simulationsergebnisse dazu, die Auslastung, Termintreue, Herstellungskosten u.s.w. der einzelnen Varianten exemplarisch zu vergleichen. Um eine Simulation durchführen zu können, muß ein Modell des Produktionssystems erstellt werden, wobei versucht wird, ein möglichst realistisches Abbild bestehender Systemstrukturen zu erreichen.

Hierbei muß allerdings beachtet werden, daß eine vollständige Übereinstimmung des realen Systems mit dem abstrakten Modell bis ins kleinste Detail weder möglich noch sinnvoll ist, das Modell durch Abstraktion und Idealisierung aus dem realen System hervorgegangen und jede Datenerfassung mit Unsicherheiten verbunden ist (GROBEL 1992, S. 34).

4.1 Basismodell (S-1) der Fahrradfabrik

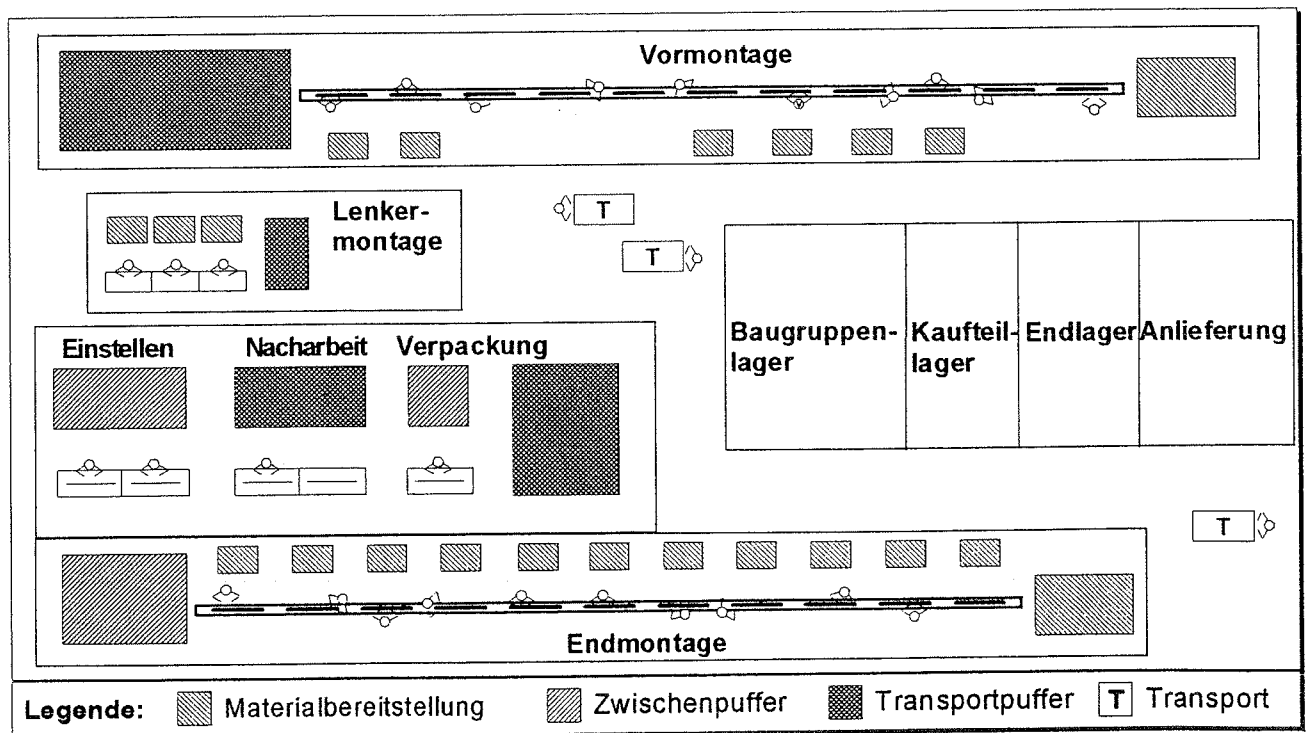


Abb. 4.1: Layout des Ausgangszustands (S-1) einer Fahrradfabrik (in Anlehnung an GROBEL, BRINKMEIER 1994, S. 3)

Die Basis der Fahrradfabrik umfaßt grundsätzlich drei Hauptbereiche: Lenkermontage (LM), Vormontage (VM), Endmontage (EM) sowie Transportmittel (TR) (vgl. Abb. 4.1).

Die Abbildung 4.2 zeigt übersichtlich Aufbau- und Ablaufstrukturen der Ausgangssituation und Personal- und Betriebsmittelstundensätzen. Die Ablaufstruktur repräsentiert die logische Aufeinanderfolge von Arbeitsgängen eines Arbeitsplans. Die einfache Struktur verbindet die verschiedenen Arbeitsgänge in der Linie ohne Verzweigung bzw. Zusammenführung.

Lenkermontage (LM)

Die Lenkermontage umfaßt nur einen Arbeitsgang. Danach werden die Erzeugnisse von einem Transportmittel (TR) in das Baugruppenlager (LENKKPL-xx) geliefert. In dem Bereich von Lenkermontage (LM) stehen drei Arbeitsplätze zur Verfügung und drei gleich qualifizierte Mitarbeiter arbeiten parallel an den Arbeitsplätzen (LM) (siehe Abbildung 4.1).

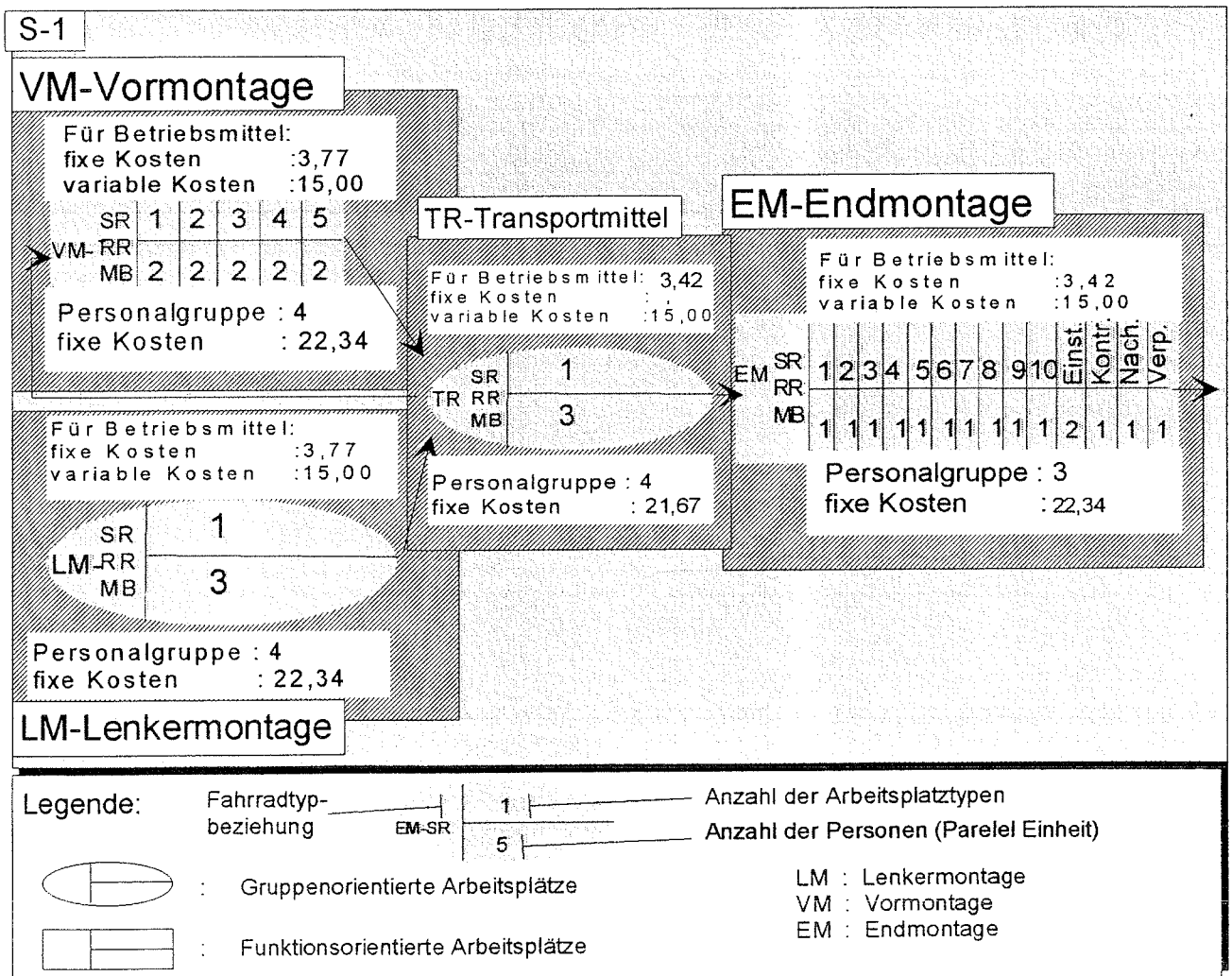


Abb. 4.2: Organisationsstruktur des Ausgangszustand (S-1) der Fahrradfabrik

Vormontage (VM)

Die Vormontage umfaßt insgesamt acht Arbeitsgänge. Jeweils 10 Baugruppen werden von einem Transportmittel (TR) zum Bereich Vormontage (VM) geliefert und bereitgestellt (Bereitstellung KI). Die Mitarbeiter der Vormontage führen jeweils einen bestimmten Arbeitsgang aus. Nach der Bearbeitung der Baugruppen werden diese durch ein Transportmittel (TR) in das Baugruppenlager transportiert.

Im Bereich der Vormontage (VM) stehen fünf Arbeitsplätze zur Verfügung, an denen jeweils zwei Mitarbeiter arbeiten. Die Mitarbeiter sind je nach Arbeitsplätze unterschiedlich qualifiziert (siehe Abb. 4.2).

Endmontage (EM)

Die Endmontage umfaßt insgesamt 23 Arbeitsgänge. Als Loßgröße werden je 10 Stück Lenker- und vormontierten Baugruppen durch ein Transportmittel (TR) zum Bereich Endmontage (EM) geliefert und bereitgestellt (Ki).

In der EM stehen den 15 Mitarbeitern 14 Arbeitsplätze zur Verfügung (2 Mitarbeiter beim Einstellen). Die Baugruppen des Fahrrads werden nach dem Flußprinzip an den Betriebsmitteln bearbeitet. Die Mitarbeiter sind entsprechend den jeweiligen Arbeitsplätzen zu qualifizieren (siehe Abb. 4.2).

4.1.1 Auftragsarten

Mit dem Modellierer von FEMOS können *Kundenaufträge* und *Kaufaufträge* abgebildet werden. Hierbei ordnet der Modellierer den Aufträgen Mengeneinheiten zu. Allgemein kann man Aufträge in drei Untergruppen aufgliedern:

- Beschaffungsaufträge,
- Produktionsaufträge (Fertigungs- und Transportmittelaufträge),
- Vertriebsaufträge.

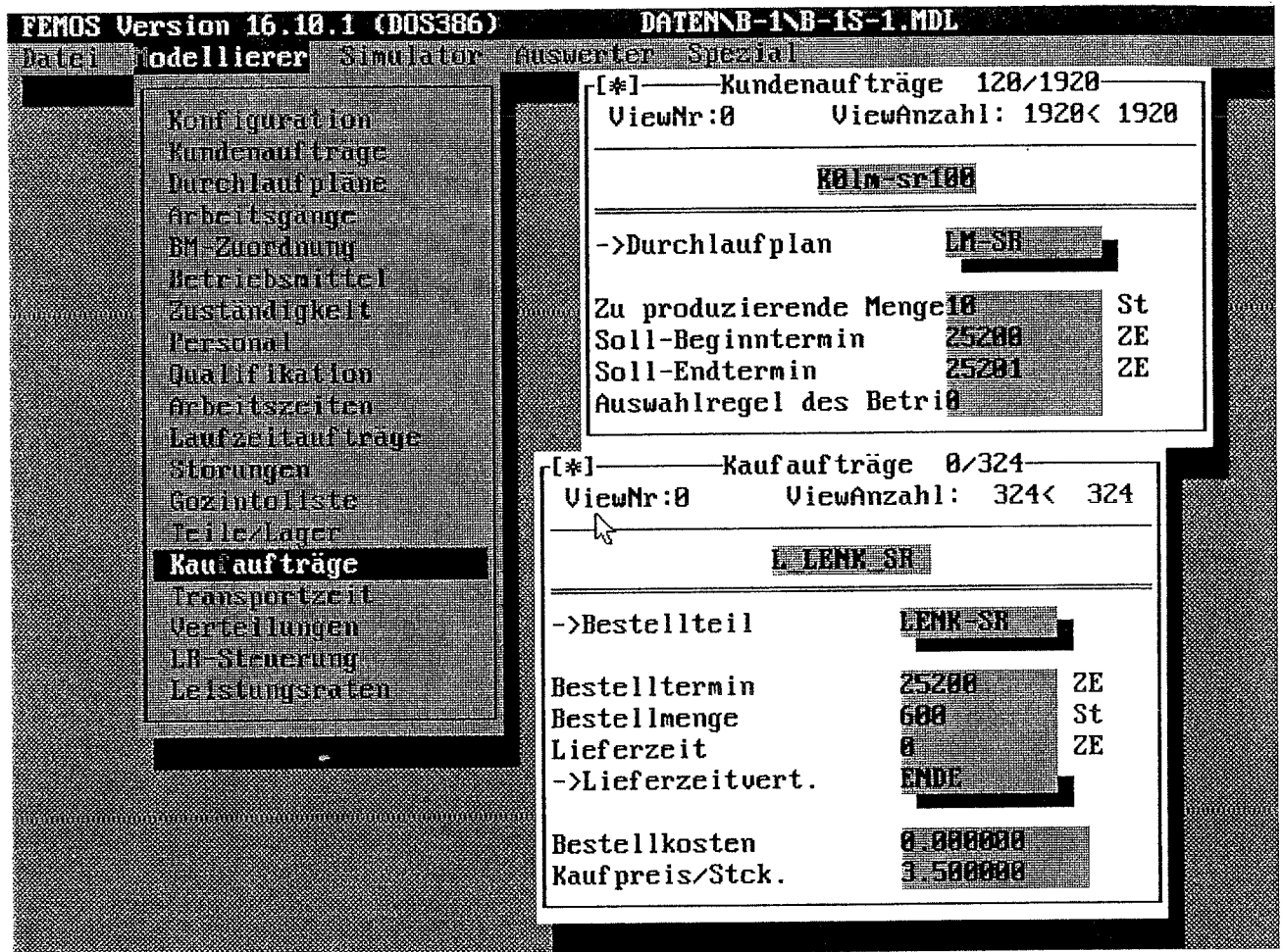


Abb. 4.3: Eingabefenster von FEMOS für Kundenaufträge und Kaufaufträge

Die Durchlaufpläne (vgl. Abb. 4.4) stellen dar, an welchem Betriebsmittel die jeweiligen Arbeitsgang ausgeführt wird. Die Durchlaufpläne werden im Menüpunkt *Kundenaufträge* zugeordnet.

4.1.2 Auftragsspektrum

4.1.2.1 Kundenaufträge

Bei FEMOS wurden Produktionsaufträge (Fertigungs- und Transportaufträge) und Vertriebsaufträge (Verkaufsaufträge) im Menüpunkt *Kundenaufträge* eingegeben.

Produktionsaufträge:

Die Produktionsaufträge werden über den Menüpunkt Kundenaufträge eingegeben, wobei in gesamte System eine Losgröße 10 abgebildet wird. Diese Aufträge werden zu Beginn eines jeden Tages eingelastet.

Durchlaufplan	LM-xx/VM-xx/EM-xx (Nach Baugruppe)
zu produzierende Menge	10
Soll-Beginn Termin	25200 s
Soll-End Termin	25201 s

Vertriebsaufträge:

Diese Aufträge werden am Ende einer jeden Periode in den letzten 1 1/2 Stunde eingelastet. Mit diesem Auftrag wird die produzierten SR (Standard-Rad) und RR (Rennrad) und MB (Mountain Bike) von Endlager zum Kunden geliefert.

Durchlaufplan	VERK-xx (Nach Ezeugnisse)
zu produzierende Menge	50
Soll-Beginn Termin	370000 s
Soll-End Termin	370001 s

4.1.2.2 Kaufaufträge (Beschaffungsaufträge)

Die Mengeneinheiten für die Fahrradfertigung (Stücklistenzahl), die in einer Periode gebraucht werden, werden am Anfang jeder Periode geliefert.

Als Beispiel kann der Kaufauftrag von LENK_SR (Lenker für Standard-Rad) Abbildung 4.3 betrachtet werden. Die Kaufauftragsdaten sind unten dargestellt.

L_LENK_SR

Bestellteil	LENK-SR
Bestelltermin	25.000 s
Bestellmenge	600
Lieferzeit	0 s
Lieferzeitvert.	ENDE
Bestellkosten	0.000 DM
Kaufpreis/Stck.	3,500 DM

Kaufaufträge müssen für alle Teile und in jeder Periode im Menüpunkt *Kaufaufträge* eingegeben werden.

Die Stücklisten (vgl. Abb. 4.4) werden für die unterschiedliche Fahrradtypen unten mit Preisen dargestellt.

Standardrad			Rennrad			Mountain Bike		
Teil	Anz	Preis	Teil	Anz	Preis	Teil	Anz	Preis
LENK-SR	1	3,50	LENK-RR	1	3,85	LENK-MB	1	4,50
VORB-SR	1	4,35	VORB-RR	1	5,00	VORB-MB	1	7,15
LKST-SR	1	2,30	LKST-RR	1	3,05	LKST-MB	1	3,25
KLNG-SR	1	1,20	KLNG-RR	1	0,85	KLNG-MB	1	1,20
BRGR-SR	1	2,50	BRGR-RR	2	3,55	BRGR-MB	2	4,80
GNGS-SR	1	2,30	GNGS-RR	1	3,10	GNGS-MB	2	4,50
GRFF-SR	2	1,00	GRFF-RR	2	1,25	GRFF-MB	2	1,50
Lenkermontage		18,15	Lenkermontage		25,45	Lenkermontage		37,70
RAMN-SR	1	90,00	RAMN-RR	1	110,00	RAMN-MB	1	125,00
GABL-SR	1	15,00	GABL-RR	1	25,00	GABL-MB	1	35,00
TRLA-SR	1	11,65	TRLA-RR	1	13,65	TRLA-MB	1	16,80
SAST-SR	1	1,75	SAST-RR	1	1,75	SAST-MB	1	1,85
DEKO-SR	1	1,20	DEKO-RR	1	1,50	DEKO-MB	1	1,80
Vormontage		119,60	Vormontage		151,90	Vormontage		180,45
BRMS-SR	1	9,25	BRMS-RR	2	12,50	BRMS-MB	2	17,20
VRAD-SR	1	16,30	VRAD-RR	1	28,90	VRAD-MB	1	32,37
HRAD-SR	1	22,95	HRAD-RR	1	36,36	HRAD-MB	1	40,17
UMWF-SR	1	14,75	UMWF-RR	1	16,30	UMWF-MB	1	18,90
KTBL-SR	1	3,20	KTBL-RR	1	5,50	KTBL-MB	1	7,50
KTTE-SR	1	5,55	KTTE-RR	1	6,30	KTTE-MB	1	7,30
PDAL-SR	2	6,50	PDAL-RR	2	7,25	PDAL-MB	2	7,50
DYNM-SR	1	2,20	DYNM-RR	1	4,80	DYNM-MB	1	5,70
SCWF-SR	1	2,30	SCWF-RR	1	3,80	SCWF-MB	1	4,20
RKLI-SR	1	2,05	RKLI-RR	1	3,80	RKLI-MB	1	4,50
SCBL-SR	2	4,85	SCBL-RR	2	5,25	SCBL-MB	2	5,51
GPTR-SR	1	9,50	GPTR-RR	1	8,79	GPTR-MB	1	12,50
KSCH-SR	1	2,20	KSCH-RR	1	3,80	KSCH-MB	1	4,60
STTL-SR	1	4,50	STTL-RR	1	9,50	STTL-MB	1	9,50
VERP-SR	1	4,80	VERP-RR	1	4,80	VERP-MB	1	4,80
Endmontage		122,25	Endmontage		182,65	Endmontage		212,46
Summe Standardrad		260,00	Summe Rennrad		360,00	Summe Mountain Bike		430,61

Abb. 4.4: Stücklisten für die Fahrradtypen der Fahrradfertigung (GROBEL 1994, S. 5)

4.1.3 Durchlaufplan, Arbeitsgangzeiten und Betriebsmittelzuordnung

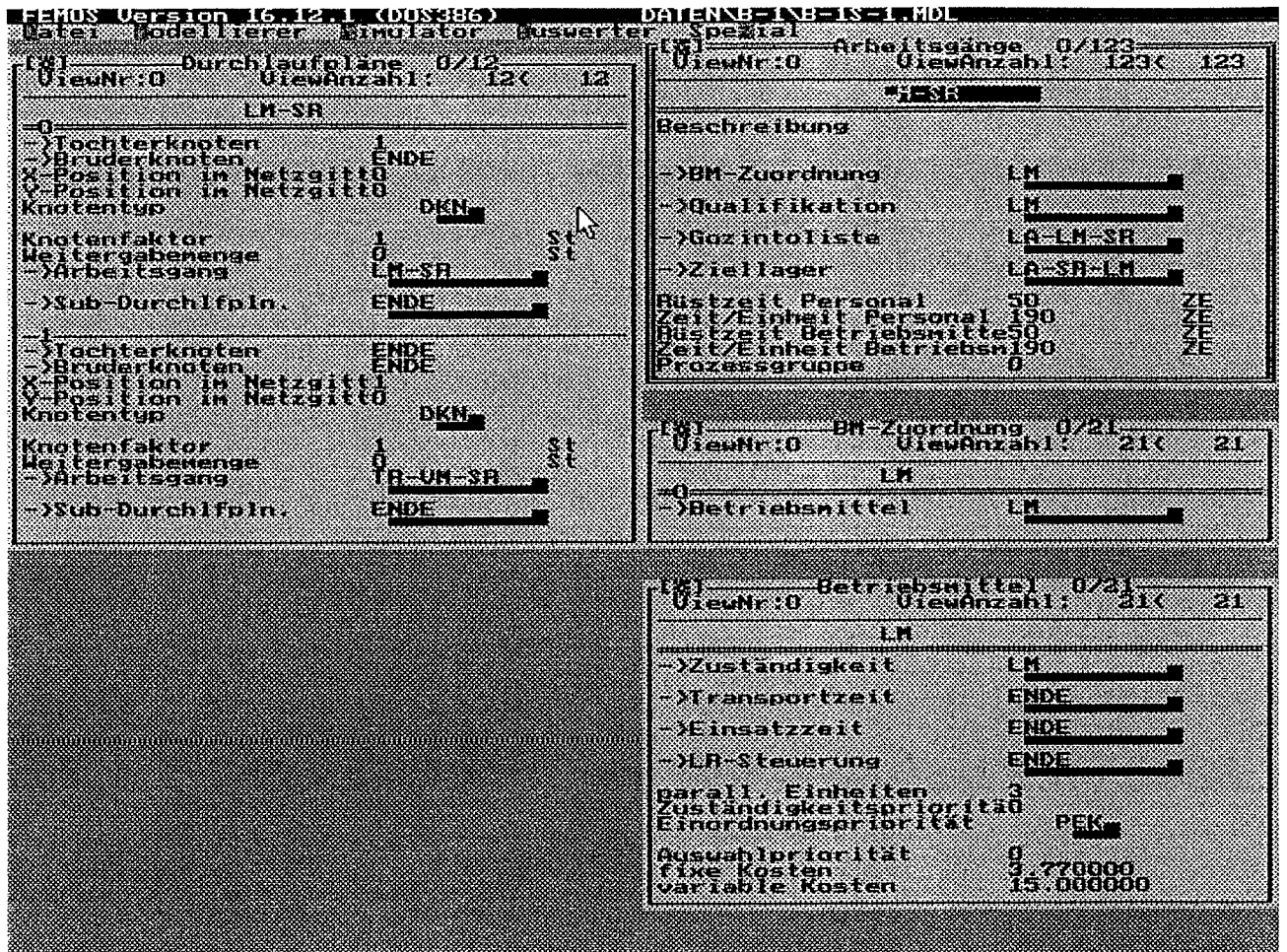


Abb. 4.5: Eingabefenster fur Durchlaufplane, Arbeitsgangzeiten und Betriebsmittelzuordnung

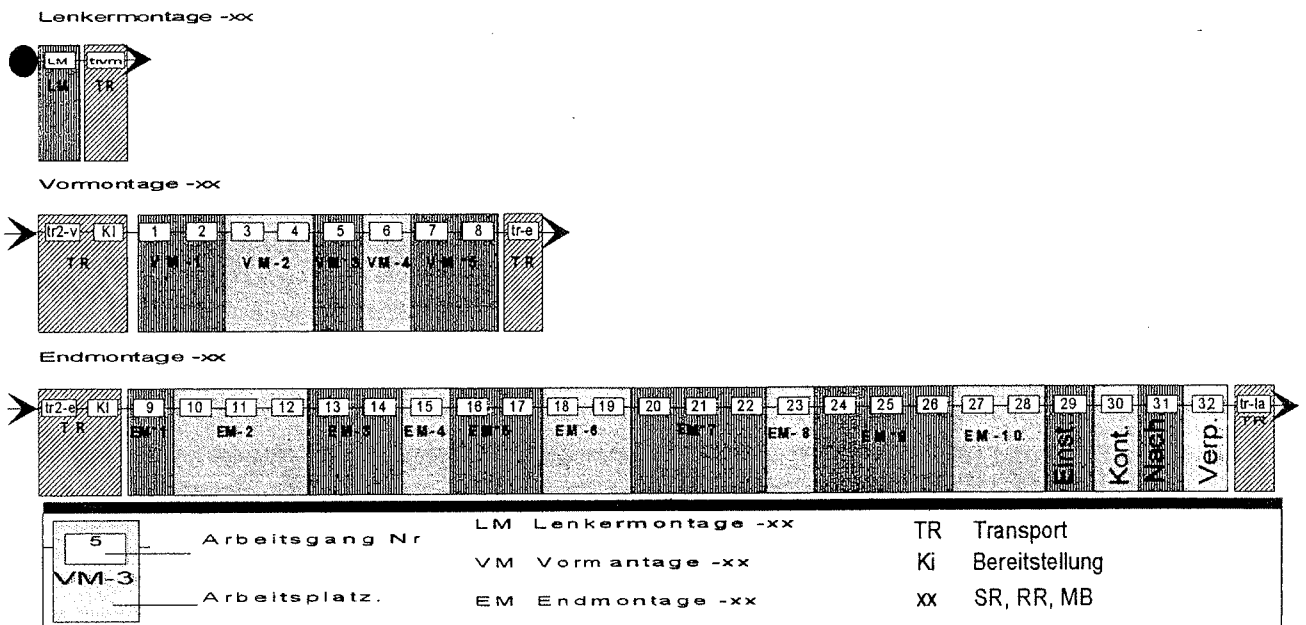


Abb. 4.6: Durchlaufpläne mit der Arbeitsgängen der Arbeitsplätze

S-1- Ausgangszustand---						
Arb.platz	Nr.	ARBEITSGANG	Zeit pro Einheit (s)			
		LENKERMONTAGE (LM)	SR	RR	MB	Kapazität
LM		Summe der Lenkermontage	240	370	310	
			600	500	400	
		Für eine Woche	144000	185000	124000	453000
		Kapazität je Mitarbeiter in einer Woche				145000
		theoretische Kapazitätsbedarf				3,1
		VORMONTAGE (VM)	SR	RR	MB	
VM-1	1	Rahmen und Gabel bearbeiten	20	20	20	
	2	Tretlager vorarbeiten	150	150	150	
VM-2	3	Lenkkopf vorarbeiten	120	120	120	
	4	Montage der Beleuchtungskabel	60	60	60	
VM-3	5	Montage des Tretlagers	160	170	180	
VM-4	6	Montage von Rahmen&Gabel	160	160	160	
VM-5	7	Montage der Sattelstuetze	40	40	40	
	8	Dekoration	100	120	150	
		Summe der Vormontage	810	840	880	
			600	500	400	
		Fuer eine Woche	486000	420000	352000	1258000
		Kapazität je Mitarbeiter in einer Woche				145000
		theoretische Kapazitätsbedarf				8,7
Arb.platz		ENDMONTAGE (EM)	SR	RR	MB	
EM-1	9	Montage des Lenkers	70	70	100	
EM-2	10	Montage der Bremszughüllen	9	18	18	
	11	Montage der Gangzughüllen	9	18	18	
	12	Montage der Schutzbleche	72	72	72	

EM-3	13	Montage der Lichter	38	38	38	
	14	Montage der Bremsen	38	57	104	
EM-4	15	Montage des Gepäckträgers	90	90	130	
EM-5	16	Montage des Dynamos	30	30	30	
	17	Montage des Vorrades	50	50	70	
EM-6	18	Montage des Umwerfers	40	80	90	
	19	Montage der Gangzüge	10	20	20	
EM-7	20	Montage der Bremszüge	10	20	20	
	21	Montage der Hinterrades	50	50	70	
	22	Montage des Kettenblattes	30	30	30	
EM-8	23	Bremsen einstellen	60	120	150	
EM-9	24	Montage der Kette	20	20	20	
	25	Montage der Pedale	30	30	60	
	26	Montage des Kettenschutzes	20	20	40	
EM-10	27	Lampen Verbinden	30	30	30	
	28	Montage des Sattels	40	40	80	
Einstelle n	29	Umwerfer einstellen	120	180	180	
Kontrolle	30	Endkontrolle	85	102	127	
Nacharb.	31	Ausbesserungen	85	102	127	
Verpack.	32	Verpackung	100	100	100	
		Summe der Endmontage	1136	1387	1724	
			600	500	400	
		Für eine Woche	681600	693500	693500	2068600
						145000
		theo. Kapazitätsbedarfin Anzahl der Mitarb				14,3

Abb. 4.7: Bearbeitungszeiten der Arbeitsgänge in der Lenker- Vor- und Endmontage

Die Durchlaufpläne der Baugruppen und deren Arbeitsgänge müssen im Menüpunkt *Durchlaufpläne* und *Arbeitsgänge* (vgl. Abb. 4.5) eingegeben und mit Bearbeitungszeiteinheiten (vgl. Abb. 4.6; Abb. 4.7) zugeordnet werden. Bearbeitungszeiten werden gleich für alle alternativen Fahrradfabriken eingegeben.

	Standardrad(SR)	Rennrad (RR)	Mountain Bike (MB)
Lenker montage (LM)	240	370	310
Vormontage (VM)	810	840	880
Endmontage (EM)	1136	1387	1724
SUMME (Zeiteinheit s)	2186	2597	2914
Transport VM	480	480	480
(pro Los) EM	960	960	960
Lager	300	300	300
Bereitstellung LM	0	0	0
(pro Los) VM	360	360	360
EM	600	600	600

Abb. 4.8: Bearbeitungszeiten für Bereiche

4.1.4 Arbeitszeiten beim Modell

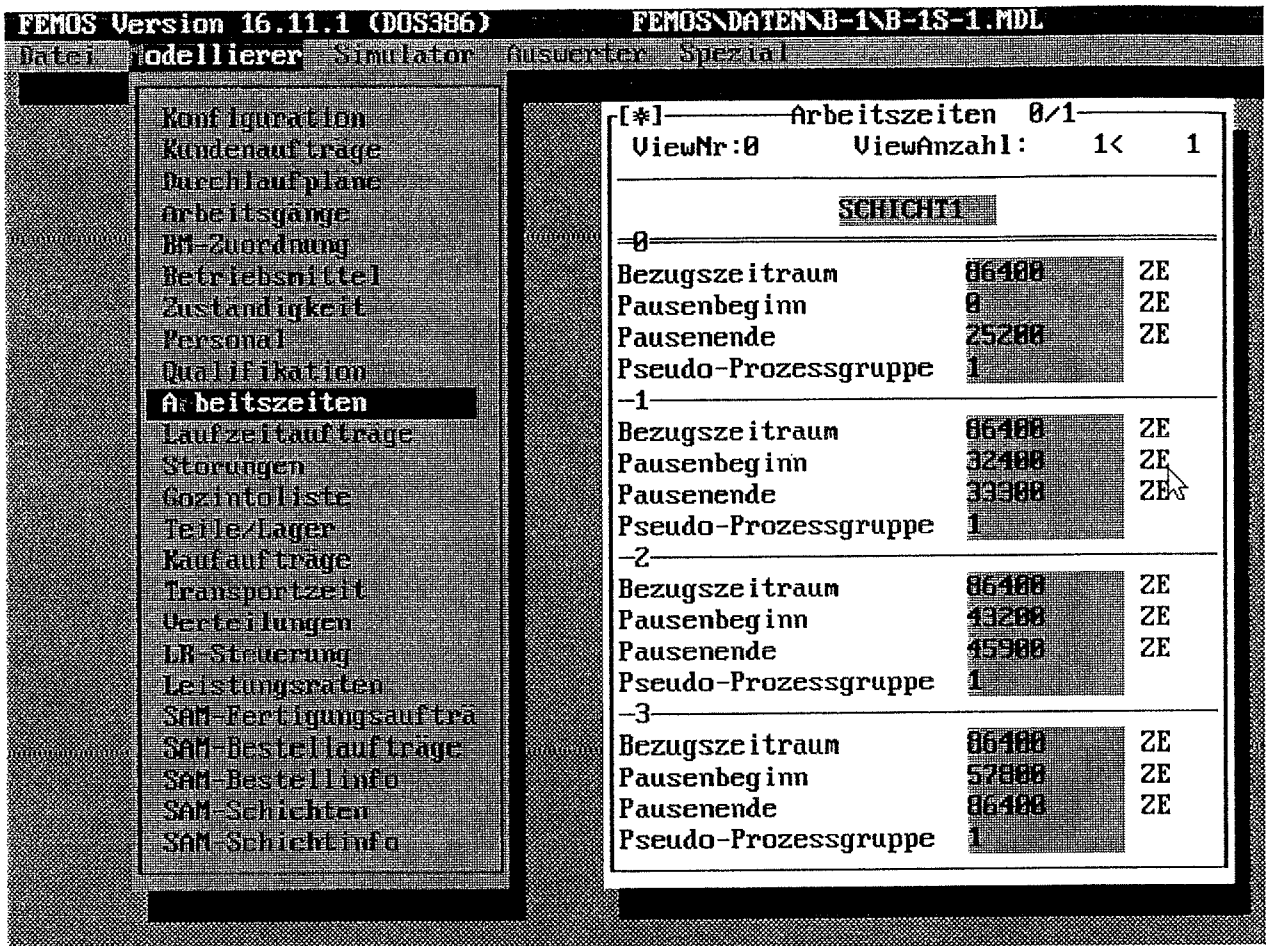


Abb. 4.9: Eingabemaske für Arbeitszeiten des Modellierers

	1.WOCHE				
Zeit	1.Tag	2.Tag	3.Tag	4.Tag	5.Tag
0	0	86400	172800	259200	345600
PAUSE					
07:00	25200	111600	198000	284400	370800
Arbeitszeit...					
09:00	32400	86400	172800	259200	345600
PAUSE					
09:15	33300	119700	206100	292500	378900
Arbeitszeit...					
12:00	43200	129600	216000	302400	388800
PAUSE					
12:45	45900	132300	218700	305100	391500
Arbeitszeit...					
16:00	57800	144200	230600	317000	403400
PAUSE					
24:00:00	86400	172800	259200	345600	432000

Abb. 4.10: Arbeitszeit für eine Woche bzw. eine Periode

Der Menüpunkt *Arbeitszeiten* werden die Pausezeiten Abb. 4.9 Abb. 4.10 abgebildet.

4.1.5 Kostenmodellierung bei FEMOS

Kosten des direkten Bereichs werden bei FEMOS über die Bezugsgrößen Zeit und Stückzahl berechnet. Kosten entsteht durch die verwendeten Ressourcen. Jeder Arbeitsgang holt sich die Teile, die abgearbeitet werden müssen, die durch die Gozintoliste identifiziert werden. Personal- und Betriebsmittelkosten können ebenfalls über einen entsprechenden Arbeitsgang ermittelt werden. Die Zinskosten für gebundenes Kapital werden erst nach Bestimmung der Bestände durch den Simulationsablauf ermittelt, in dem der Baum vom Endteil bis zum Kaufteil zurückverfolgt wird. Die Gesamtkosten werden den entstehenden Teilen des Arbeitsganges zugerechnet und in ein definiertes Ziellager aufgenommen.

Die richtige Erfassung der Kosten setzt eine Zweckentsprechende Einteilung der Kostenarten voraus (vgl. Abb. 4.13). Bei der Bildung von Kostenarten können folgende Einteilungskriterien berücksichtigt werden: Einteilung der Kostenarten nach Produktionsfaktoren nach Kostenstellen oder nach dem Kostenträger. Bei der Kostenarteneinteilung hat sich heute die faktororientierte Einteilung durchgesetzt (vgl. KILGER 1992, S. 192). In Abbildung 4.13 sind beispielhaft die Möglichkeiten der Modellierung für die von WARNEKE; BULLUNGER und HICHERT (1981, S. 30) aufgeführten Kostenarten dargestellt (vgl. BRINKMEIER, GROBEL 1993, S. 10).

Ressourcen in FEMOS	Kostenattribut	Abbildungsmöglichkeit	Beispiele	natürliche Kostenarten
Personal	Personalstundensatz	←	Löhne	Arbeitskosten
			Gehält	
Betriebsmittel	fixe Kosten	←	Abschreibungen	Kapitalkosten
	variable Kosten		Zinsen	
Teile/Lagerplatz	Teilewert	←	Rohstoffe	Materialkosten
	kalkul. Zinssatz		Hilfs-u. Betriebsst	
Kaufaufträge	Bestellkosten	←	Transportleistung	Fremdleistungskosten
	Kaufpreis		Reperaturen	
	nicht modelliert	←	Steuern	Kosten der menschlichen Gesellschaft
			Beiträge	

Abb. 4.11: Beispiel für die Abbildungsmöglichkeiten von Kostenarten im Simulationsverfahren FEMOS (BRINKMEIER, GROBEL 1993, S. 10).

Personal

Als Kostenattribut für das Personal wird ein Personalstundensatz modelliert, in dem z.B. Löhne und Gehälter, die entsprechend auf Stundenbasis heruntergebrochen werden, abgebildet werden (GROBEL, BRINKMEIER 1994, S. 7).

Betriebsmittel

Bei der Abbildung von Betriebsmittelkosten lassen sich fixe und variable Kosten unterscheiden. In den fixen Kosten können Abschreibungen, Zinsen für die Finanzierung bis hin zu Kosten für den

Flächenbedarf berücksichtigt werden. Die variablen Kosten berücksichtigen die während der Laufzeit des Betriebsmittels anfallenden Kosten bis hin zu laufzeitabhängigen Wartungskosten.

FEMOS unterteilt die Kosten schon von Beginn an in Personal-, Betriebsmittel- und Materialkosten. Dies ist zwar umständlich bei der Modellierung der Prozesskette, ermöglicht dafür gezielte Analysen durch den Auswerter. "Die Darstellung der Kostengrößen findet für einzelne Betriebsmittel, Personaltypen oder Teile statt, wodurch eine gezielte Analyse ermöglicht wird" (vgl. BRINKMEIER, GROBEL 1993, S. 16). Deshalb werden bei FEMOS die Kosten nicht kostenstellenbezogen sondern ressourcenbezogen erfaßt (vgl. Abb. 16).

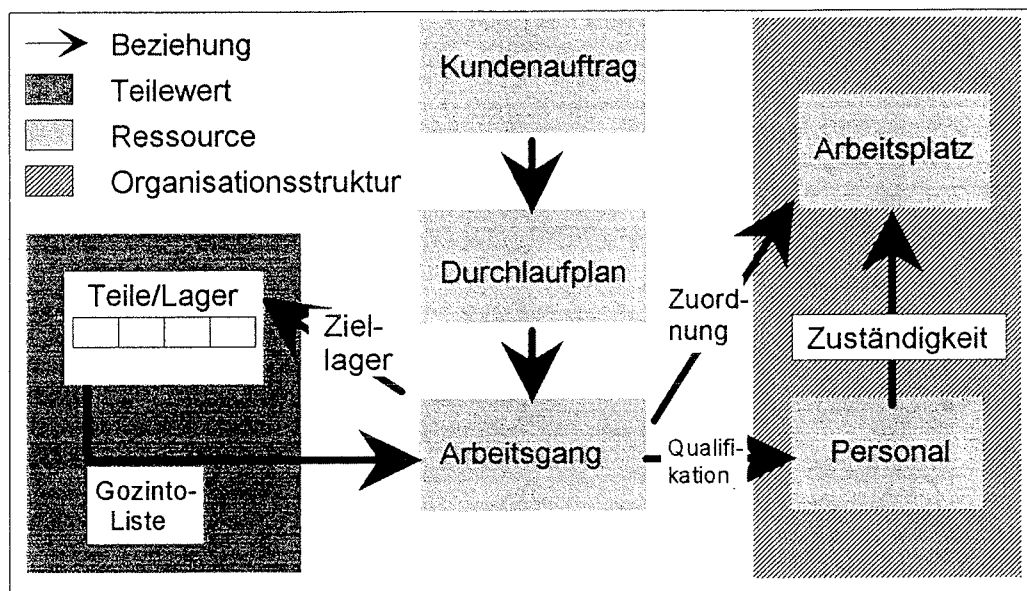


Abb. 4.12: Aufbau von Ressourcen und Beziehungen in FEMOS
(in Anlehnung an GROBEL 1992, S. 25)

4.1.5.1 Personalkosten beim Modell

Die Lohngruppe von Mitarbeitern, die in Abb. 4.12 dargestellt werden, werden nach der Qualifikation der Mitarbeitern festgelegt. Für alle Varianten der Fahrradfabrik werden die entsprechenden Lohngruppen für die entsprechenden Arbeiten in dieser Tabelle festgelegt.

Lohngruppe	Standard Löhne Montage	incl. 80 % Lohnnebenkosten	Anzahl der Mitarbeiter	Tätigkeiten
1	11,52 DM	20,74 DM		
2	11,52 DM	20,74 DM		
3	12,04 DM	21,67 DM	4	Verpackung (1), Transport(2),Bereitstellung (1)
4	12,41 DM	22,34 DM	23	Lenkermontage (3), Vormontage (10), Endmontage (10)
5	12,85 DM	23,13 DM		
6	13,42 DM	24,16 DM	4	Gangschaltung einstellen (2), Endkontrolle (1), Nachbearbeitung (1)
7	14,15 DM	25,47 DM		
8	15,11 DM	27,20 DM		
9	16,11 DM	29,00 DM		
10	17,07 DM	30,73 DM		
11	18,08 DM	32,54 DM		
12	19,09 DM	34,36 DM		

Abb. 4.13: Zuordnung des Personals zu Lohngruppen

4.2.6 Belastung des Systems

Anzahl der Aufträge			Starttermin	Endtermin
davon				
Eigenfertigung	120 Standardrad (pro Tag 12 Lose)		Mo. 25200	25201
	100 Rennräder (pro Tag 10 Lose)		25200	25201
	80 Mountain Bikes (pro Tag 8 Lose)		25200	25201
Verkauf	12 Sale(SR-pro Woche 600 St.je Los 50)		Fr. 370000	370001
	10 Sale(RR-pro Woche 500 St.je Los 50)			
	8 Sale(MB-pro Woche 400 St.je Los 50)			
Einkauf	81 Einlagerungsaufträge (jedes Montag)		Mo. 25200	25201

Abb. 4.14: Normale Belastung des Systems

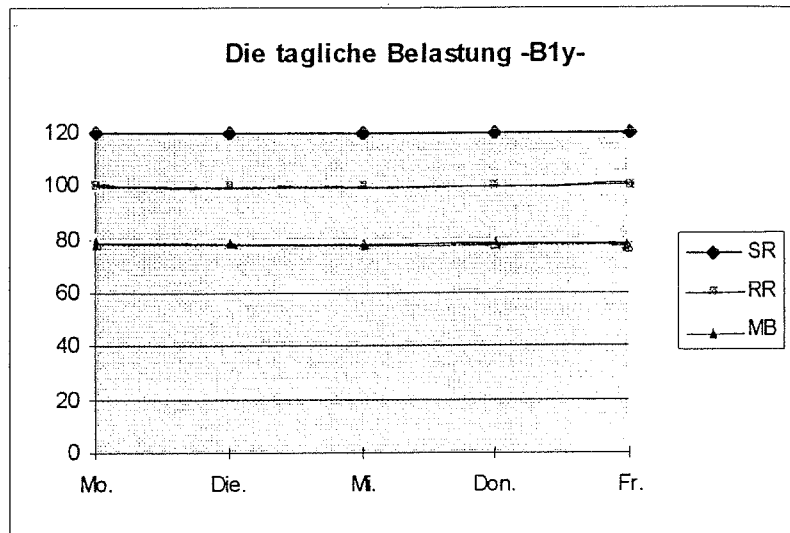


Abb. 4.15: Die tägliche normale Belastung -B1y-

Bxy, Kxy, LR-xy

B Betriebsauftragssteuerung

K Kanban-Steuerung

LR Leistungsratevereinbarung

x Belastungsart

y Variante der Fabrik

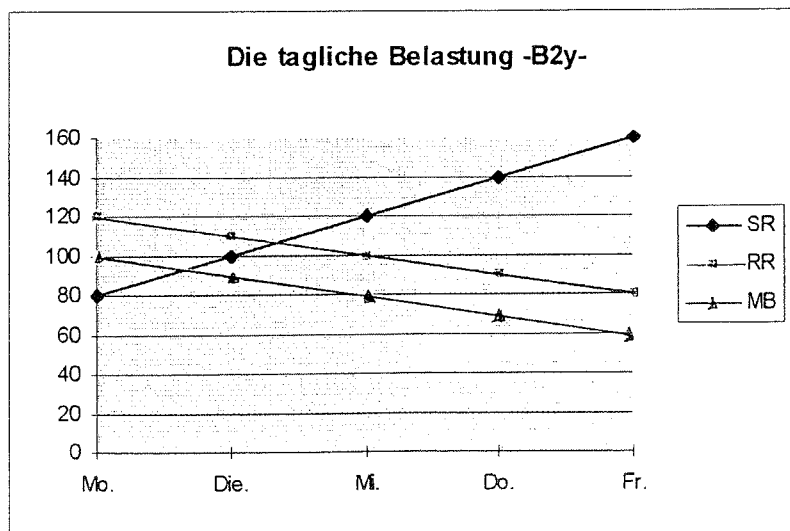


Abb. 4.16: Die tägliche geänderte Stückzahl von unterschiedlichen Fahrradtypen bei normaler Belastung -B2y-

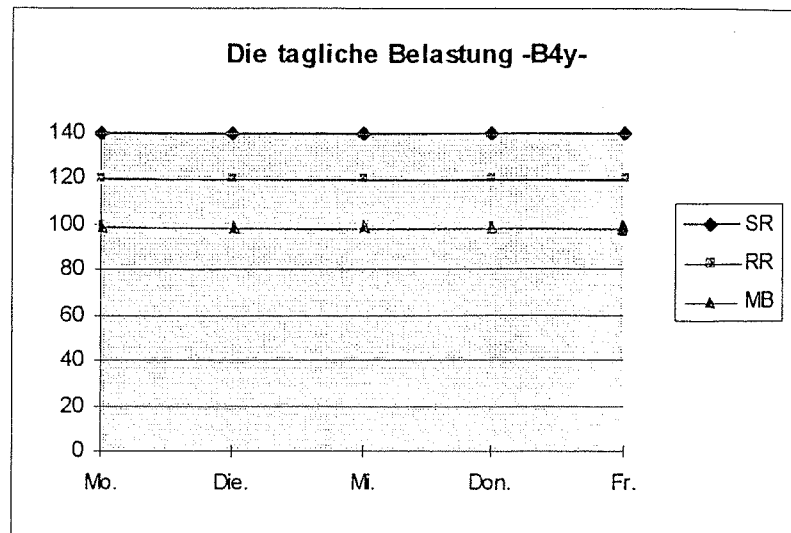


Abb. 4.17: Die tagliche Überbelastung -B4y-

Erzeugnis- und Produktionsstruktur ist unten dargestellt:

Erzeugnis	Monatsproduktion	Tagesproduktion	Montagezeiten (s)	Materialkosten [DM]
Standardrad	2400 Stück	120 Stück	240 + 810 + 1136	259
Rennrad	2000 Stück	100 Stück	370 + 840 + 1387	360
Mountain Bike	1600 Stück	80 Stück	310 + 880 + 1724	430,61

Produktionsstruktur	Segment	Anzahl Arbeitsplät.	Anzahl Mitarbeiter
	LM	1	3
	VM	5	10
	EM	14	15
	Transport u. Bereitstellung	1	3
			<u>31</u>

Abb. 4.18: Allgemeine Erzeugnisinformation

4.2 Struktur 2 (S-2) als Variante der Fahrradfabrik

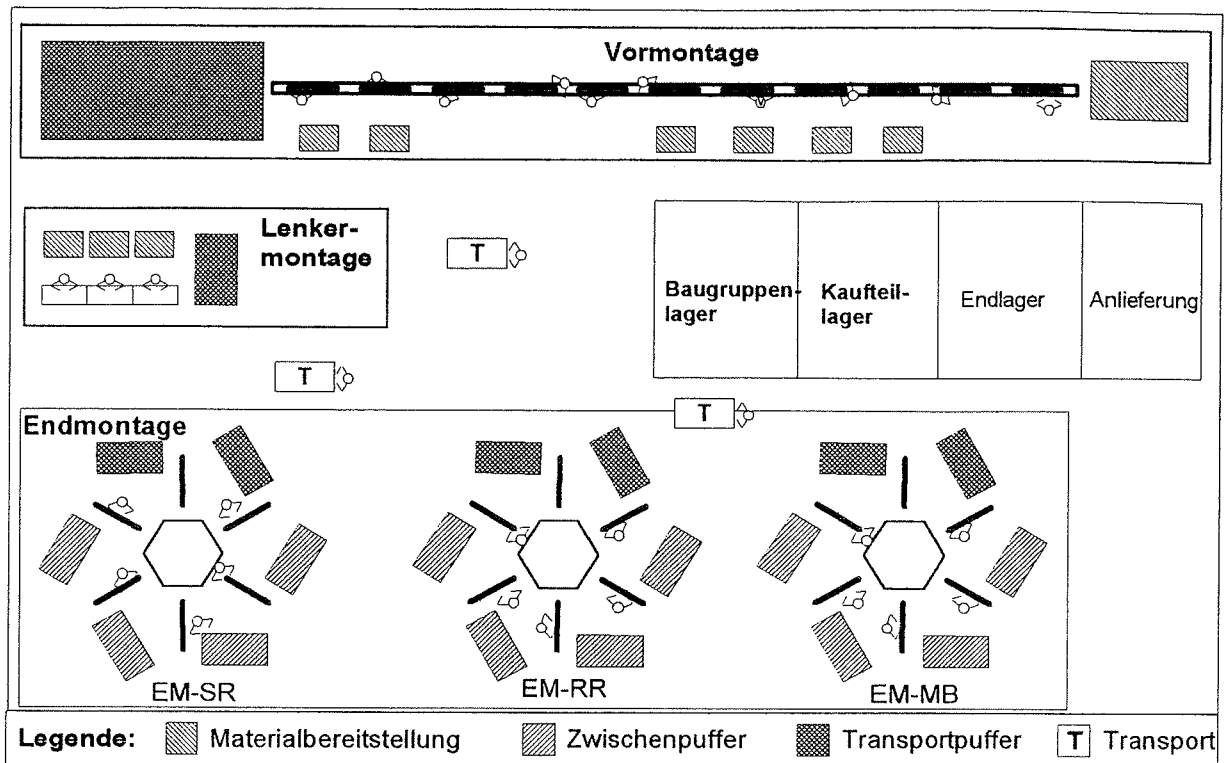


Abb. 4.19: Layout der Varianten für Fahrradfabrik (S-2)

Diese Variante (S-2) hat das Ziel, in der Endmontage ergebnisorientierte Gruppenarbeit anzuwenden. Bei den anderen Varianten kann man folgende Eigenschaften unterscheiden:

- Alle Mitarbeiter der Endmontage (EM) haben gleiche Qualifikation.
- Die Mitarbeiter werden in der Endmontage (EM) je nach Erzeugnisorientierung gruppiert und in jeder Gruppe sind die Mitarbeiter nur zuständig für die anfallenden Arbeitsgänge eines Erzeugnisses.

Lenker- und Vormontage (LM und VM):

Die Arbeitsplätze in diesen Bereichen werden wie im Ausgangszustand (S-1) nicht geändert. LM und VM haben funktionsorientierte Qualifikation. D.h. alle Mitarbeiter werden nach Arbeitsplätzen qualifiziert und haben unterschiedliche Qualifikationen und sie sind nur bestimmten Arbeitsgängen zuständig. Arbeitsplätze werden nach Flußprinzipien verrichtet (vgl. Abb. 4.19, Abb. 4.20).

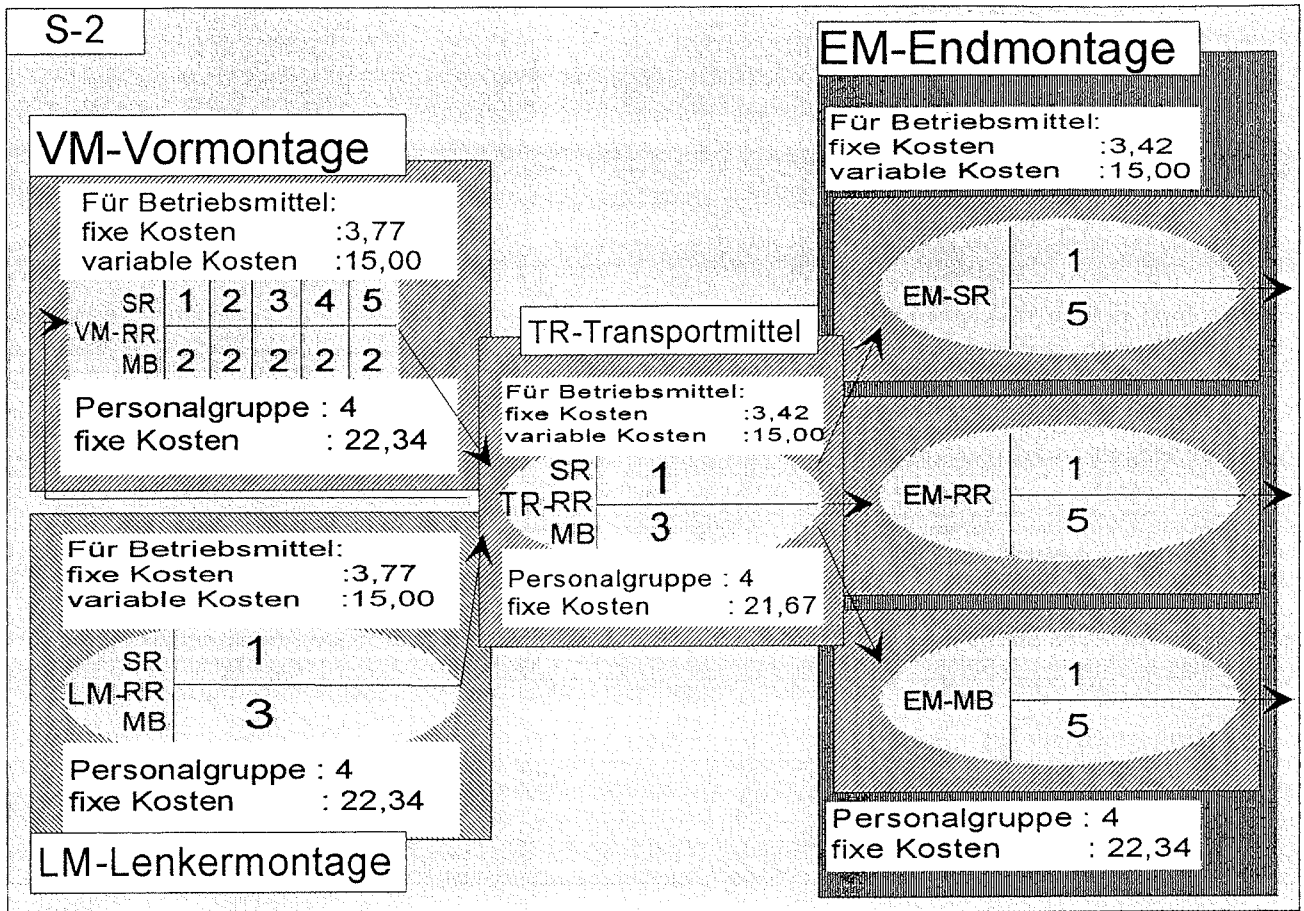


Abb. 4.20: Organisationsstruktur der Fahrradfabrik (Variante S-2)

Abbildung 4.20 zeigt die Organisationsstruktur von (S-2):

- die Bereiche Lenkermontage, Vormontage und Endmontage mit deren Betriebsmitteln und Personalanzahl,
- Betriebsmittel- und Personalkosten (fixe und variablen Kosten),
- Qualifikation der Mitarbeiter und deren Aufgabenbereich,
- Personalkosten und -gruppe.

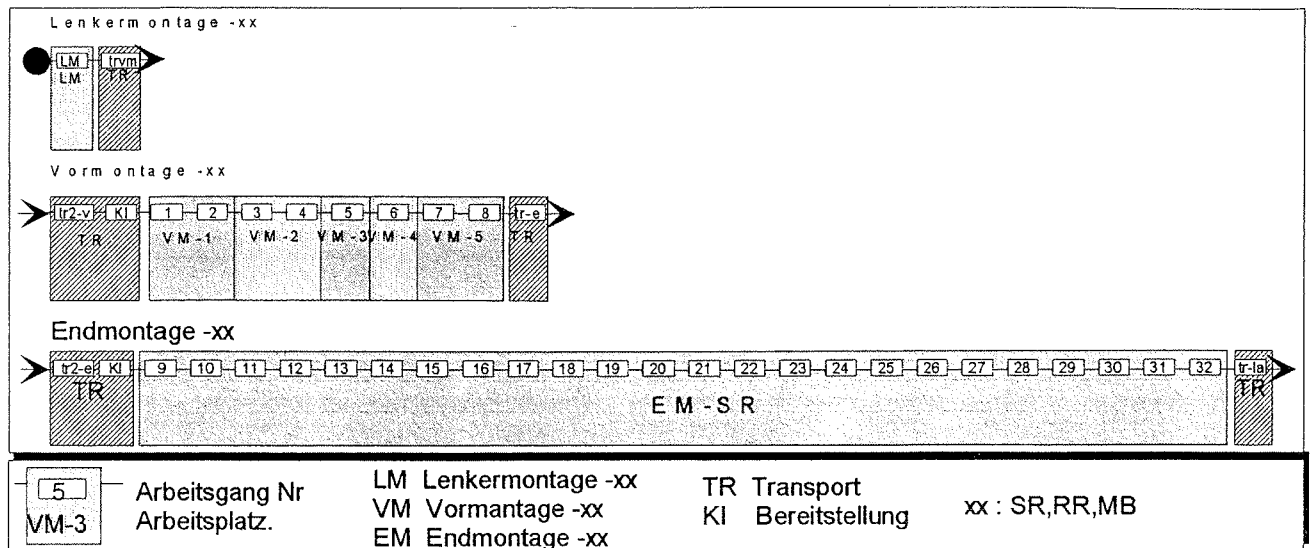


Abb. 4.21: Durchlaufpläne mit den Arbeitsgängen der Arbeitsplätze für (S-2)

In der Abb. 4.21 wird dargestellt:

- Ablaufstruktur der Baugruppen und
- Zuständigkeit der Gruppen bzw. Mitarbeiter für bestimmte Arbeitsgänge.

Bei der Endmontage werden die Arbeitsgänge von allen Mitarbeitern einer Gruppe durchgeführt.

4.3 Struktur 3(S-3) als Variante der Fahrradfabrik

Das Layout der Fahrradfabrik der Variante (S-3) (vgl. Abb. 4.22) unterscheidet sich wesentlich vom Ausgangszustand (S-1).

Lenker- und Vormontage(LM/VM):

Die Arbeitsgänge von Lenker- und Vormontage werden in Gruppen zusammengeführt. Alle Mitarbeiter haben gleiche Qualifikation und sind zuständig für die Lenker- und Vormontage.

Endmontage (EM):

Die Arbeitsgänge der EM werden grundsätzlich in zwei Bereiche unterteilt:

- Zusammensetzung der Teile: In diesen Bereichen werden die Teile, die für die Endmontage gebraucht werden, zusammengebaut. Die Arbeitsplätze sind je nach Erzeugnissen orientiert.

Die Mitarbeiter werden in der Erzeugnisbereich je nach Betriebsmittel in drei Qualifikationsgruppen eingeteilt.

- Die Nacharbeit NA-EM umfaßt die folgende Arbeitsgänge, Einstellen, Kontrolle, Nacharbeit und Verpackung. Diese Arbeitsgänge werden für alle Erzeugnisse nach Gruppenarbeitsprinzipien durchgeführt. Die Mitarbeiter haben die gleiche Qualifikation.

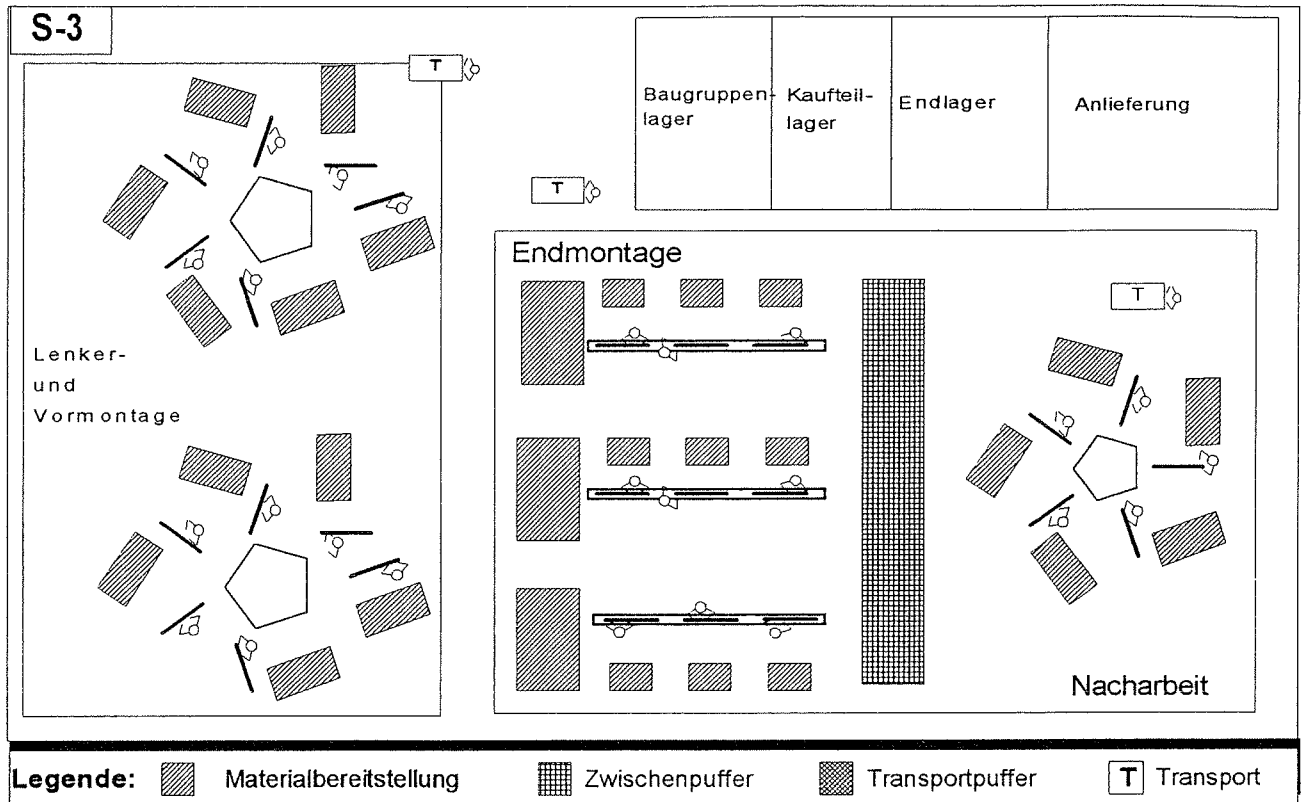


Abb. 4.22: Layout der Variante Fahrradfabrik (S-3)

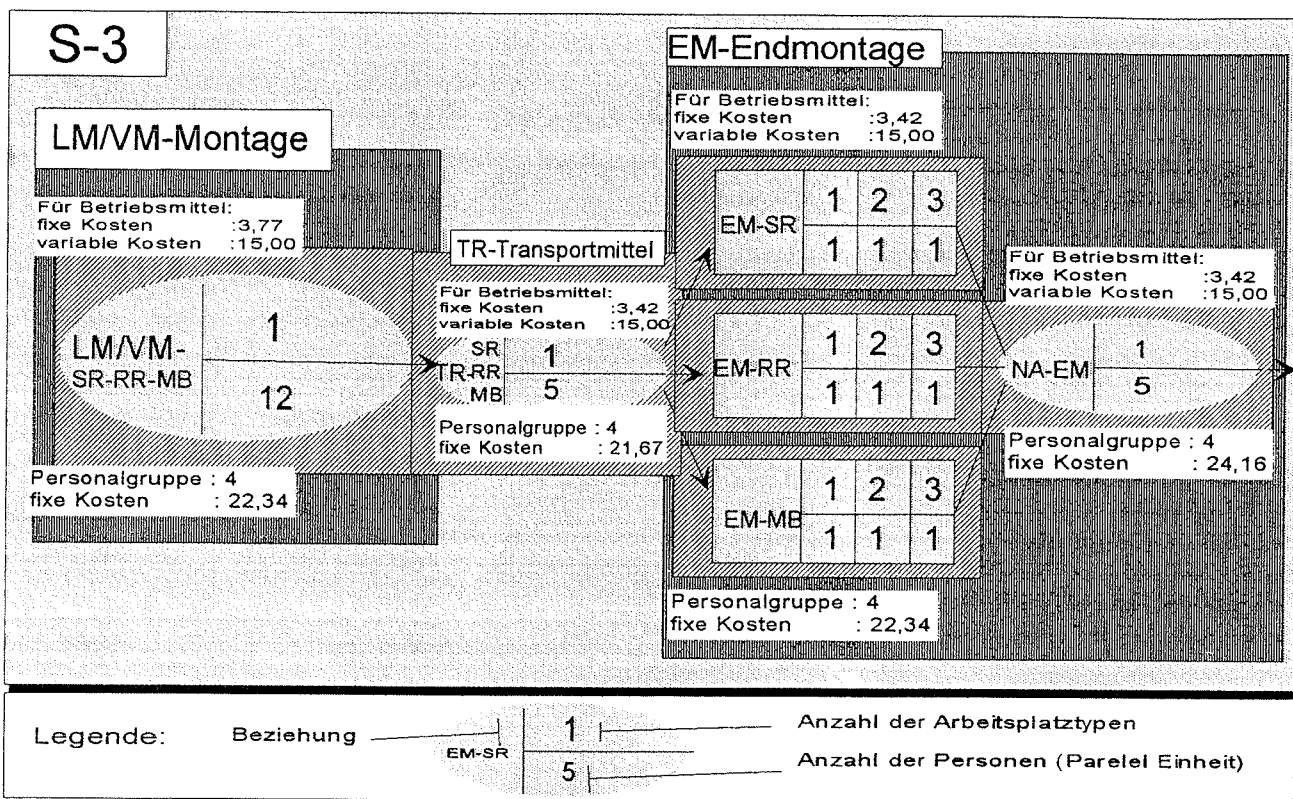


Abb. 4.23: Organisationsstruktur der Fahrradfabrik (Variante S-3)

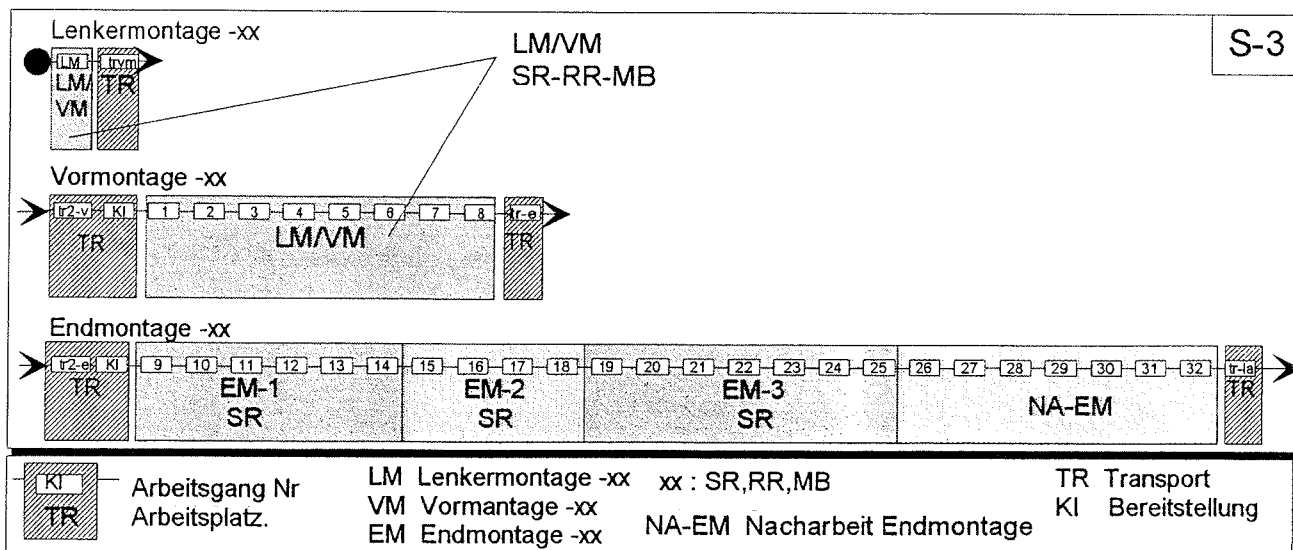


Abb. 4.24: Durchlaufpläne mit den Arbeitsgängen der Arbeitsplätzen für (S-3).

4.4 Struktur 4 (S-4) als Variante der Fahrradfabrik

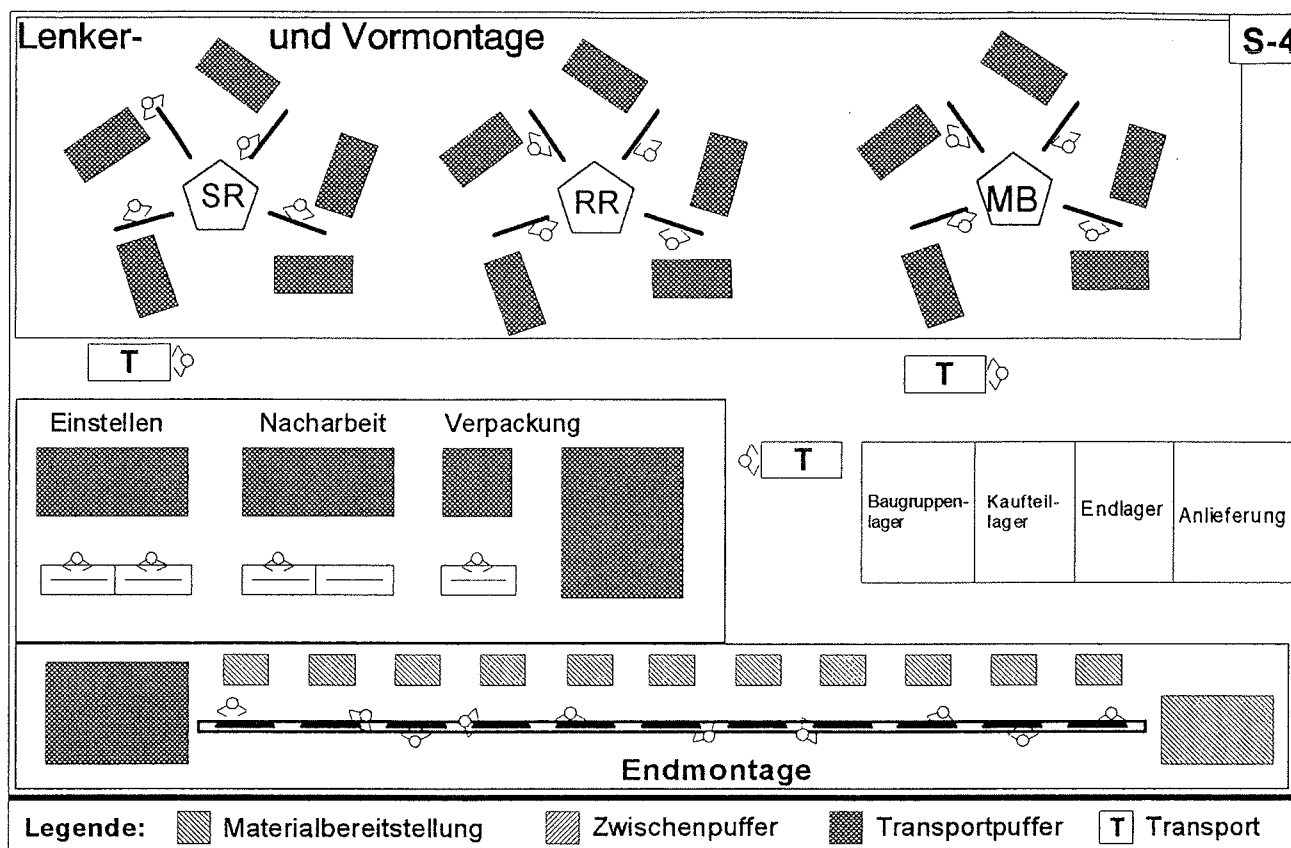


Abb. 4.25: Layout der varianten Fahrradfabrik S-4

Lenker- und Vormontage (LM/VM):

Bei der Varianten S-4 werden Lenker- und Vormontage (LM/VM) zusammengeführt. Es ist eine ergebnisorientierte Gruppenarbeit geplant. Die Arbeitsgänge für Lenker- und Vormontage werden für das Standardrad (SR), Rennrad (RR) und Mountain Bike (MB) von vier gleich qualifizierten Mitarbeitern ausgeführt. Danach werden die Lenker- und vormontierten Erzeugnisse von einem Transportmittel (TR) nach bestimmten Losgrößen zum Baugruppenlager transportiert (Tr) und bereitgestellt (Ki).

Endmontage (EM):

Die Arbeitsplätze werden nach Flußprinzipien eingeteilt. Die Mitarbeiter werden je nach Arbeitsplatz qualifiziert. Sie sind nur zuständig für bestimmte Arbeitsgänge (siehe Abb. 4. 26) in der Endmontage (EM). Die Endmontage (EM) ist gleich dem Ausgangszustand (S-1).

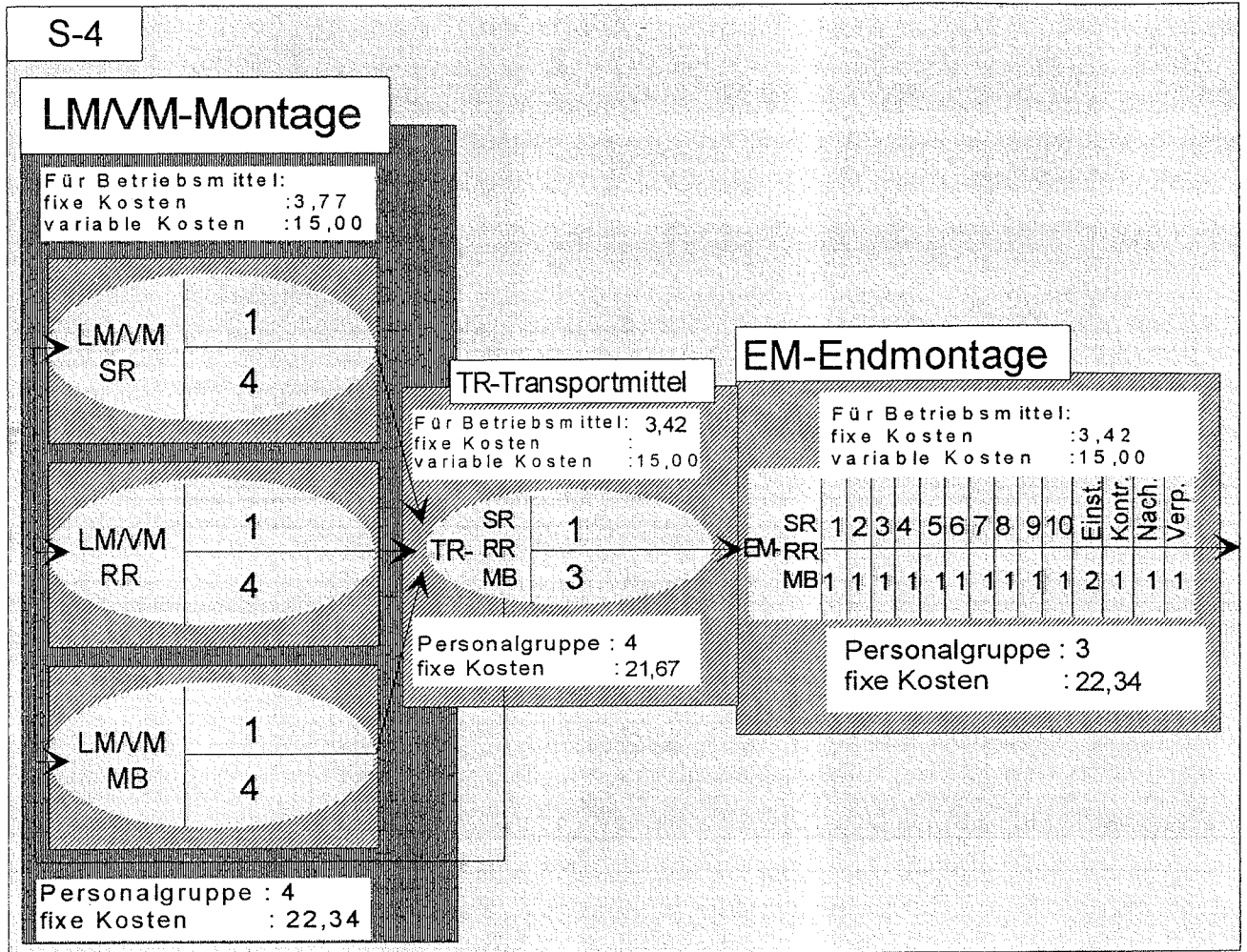


Abb. 4.26: Organisationsstruktur der Fahrradfabrik (Variante S-4)

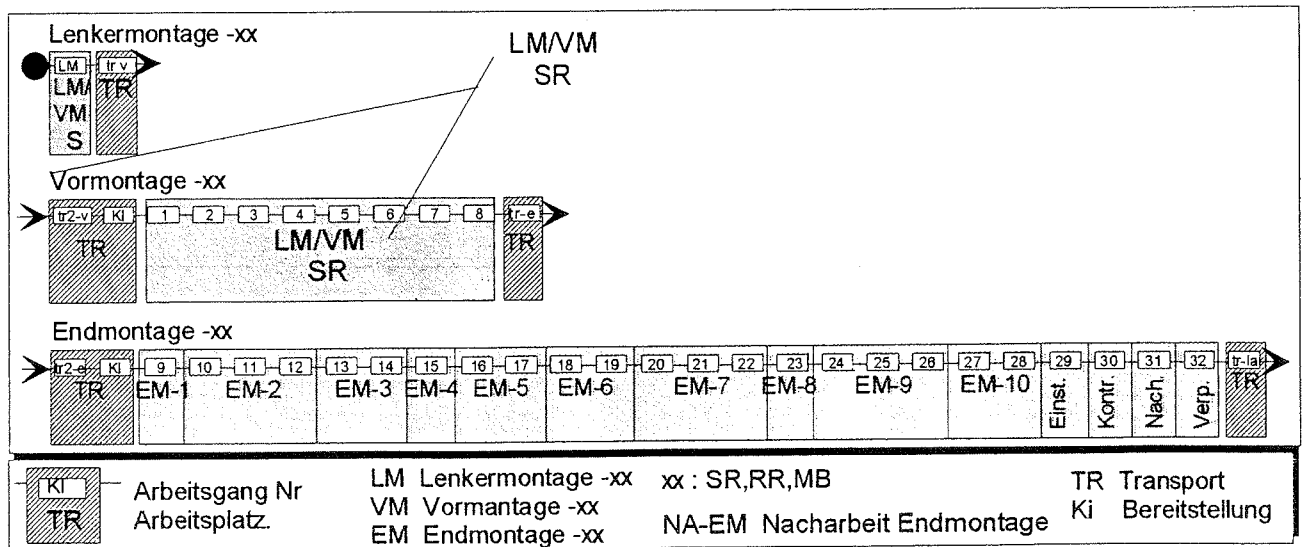


Abb. 4.27: Durchlaufpläne mit der Arbeitsgängen der Arbeitsplätze für S-4

5 Vergleich der Ergebnisse und Interpretation des Systems

Im folgenden Kapitel werden an exemplarischen Fallbeispielen verschiedene Verfahren der Arbeitssteuerung gegenübergestellt und verglichen. Als Fallbeispiel dient das vorgestellte Modell der Fahrradfertigung, für das geeignete Gestaltungsvarianten zu untersuchen sind. Daran werden einerseits das Steuerungsverfahren und andererseits die Belastung des Systems untersucht. Dazu wird die Reaktion des Systems betrachtet, um zu einer Schlußfolgerung über das Produktionssystem zu kommen.

Die Gestaltungsvarianten (S-1, S-2, S-3, S-4) wurden in Kapitel 4 und das Steuerungsverfahren in Kapitel 2 ausführlich erläutert. Die Belastungsreaktion der Gestaltungsvarianten wird mit unterschiedlichen Steuerungsverfahren untersucht. Ausgangszustand (B-1) ist das engpaßbelastete System. Danach wird das System in einer Höhe von 20 % Belastungen (Kundenaufträgen) und Kaufaufträge im Vergleich zum Ausgangszustand überbelastet.

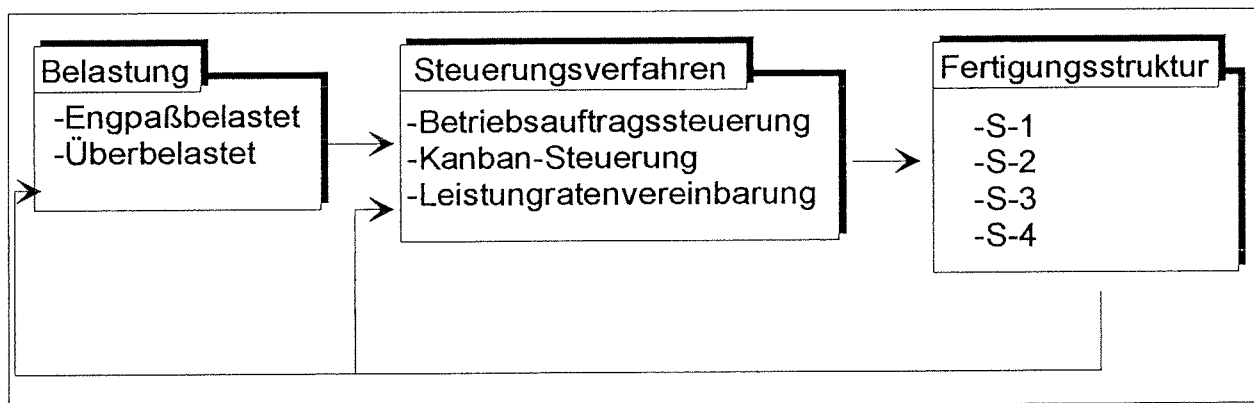


Abb. 5.1: Auswahlmöglichkeit der Produktionssystemen

5.1 Bewertungskennzahlen des Produktionssystems

Anhand welcher Kriterien soll ein Produktionssystem bewertet werden, damit man einen richtigen Vergleich erstellen, und am Ende der Simulationsperiode die Ergebnisse, die Eigenschaften des Produktionssystems offenlegen kann.

"Für die Bewertung von Produktionssystemen ist es üblich, die logistischen Kenngrößen Durchlaufzeit, Termintreue, Auslastung und Bestände heranzuziehen" (BRINKMEIER 1992, S.12). Diese Kenngrößen müssen durch den Auswerter normiert werden, einen einheitlichen Wertebereich besitzen und gleichsinniges Verhalten aufweisen. Daraus ergeben sich die vier Zielerreichungsgrade Durchlaufzeit (ZDZ), Durchlaufzeitabweichung (ZDA), Auslastung (ZAU) und Bestände (ZBE).

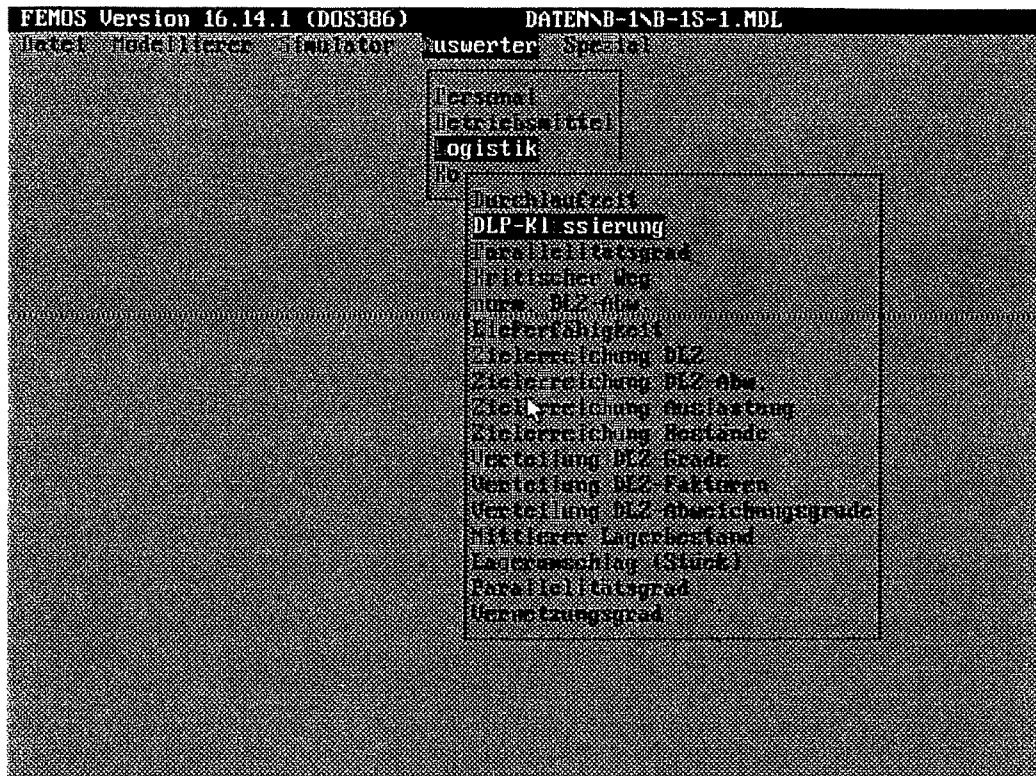


Abb. 5.2: FEMOS Menüpunkt: Auswertung der Simulationsergebnisse

Weitere Bewertungskennzahlen sind im Kapitel Menüpunkt "Auswertung" am Ende der Simulation dargestellt und einzusehen.

"Die Zielgrößen sollen dimensionslos sein und einen einheitlichen Wertebereich besitzen, wobei ein steigender Wert einen zunehmenden Grad der Annäherung an einen Idealzustand angeben soll. Darüber hinaus sollten die Zielgrößen auf einem gemeinsamen Modell basieren und unabhängig sein, um Redundanzen zu vermeiden" (GROBEL 1993, S. 83).

Die Zielerreichungsgrade dienen einer Optimierung des Auftragsflusses durch das Produktionssystem. Daraus können die Zielerreichungsgrade "Durchlaufzeitgrad", "Durchlaufzeitabweichungsgrad" und "Auslastung der Mitarbeiter und Bestände" abgeleitet werden. Die Zielerreichungsgrade sind auf einer Skala von 0 - 100 % dimensionslos normiert, wobei 100% das Erreichen eines Idealwertes bedeutet.

Diese Zielerreichungsgrade sind in den Arbeiten von BRINKMEIER (1992, S.12) und GROBEL (1993, S. 82) definiert und ausführlich beschrieben und werden im folgenden nur kurz vorgestellt.

5.1.1 Zielerreichungsgrad Auslastung (ZAU)

Das Verhältnis der genutzten zu der theoretisch vorhandenen Kapazität wird "Zielerreichungsgrad Auslastung" genannt (vgl. GROBEL 1993, S. 91). Die Kennzahl Auslastung zeigt also die Inanspruchnahme der Kapazitäten (Personal, Betriebsmittel) durch das System in einem bestimmte Zeitraum und wird durch folgende Gleichung beschrieben (vgl. GROBEL 1993, S. 90).

$$\text{ZAU} = \frac{\text{KAB}}{\text{TKB}}$$

ZAU Zielerreichungsgrad Auslastung

KAB Im Auswertungszeitraum abgearbeitete Kapazität

TKB Theoretischer Kapazitätsbestand

5.1.2 Zielerreichungsgrad Auftragsbestand (ZBE)

Die Zahl der im Mittel im Produktionssystem wartenden Aufträge nennt man "Auftragbestand". "Die Zielgröße Auftragsbestand erlaubt eine Aussage über den mittleren zeitlichen Kapazitätsbestand der im System wartenden Aufträge. Als Sollwert des Auftragsbestands kann ein Mindest-Auftragsbestand definiert werden, der berücksichtigt, daß die Aufträge während ihrer Bearbeitung in einer Organisation vorhanden sein müssen" (GROBEL 1993, S. 91). Für die Berechnung des Zielerreichungsgrad Auftragsbestand gilt folgende Formel:

$$\text{ZBE} = \frac{\text{MBE}}{\text{MBE} + \text{WBE}}$$

ZBE Zielerreichungsgrad Auftragsbestand

MBE Mindestbestand

WBE wartender Bestand

5.1.3 Zielerreichung Durchlaufzeitgrad (DLG)

Die Durchlaufzeit ist die Zeit, die das Produktionssystem ab dem Eintreffen des Auftrages benötigt, bis alle zur Fertigstellung des Erzeugnisses nötigen Arbeitsgänge abgeschlossen sind (vgl. GROBEL 1993, S. 86).

Die Durchlaufzeit ist definiert als "...die Soll-Zeit für die Erfüllung eigener Aufgabe in einem bestimmten Arbeitssystem oder die Dauer von Arbeitsgängen oder Informationen zum Durchlaufen bestimmter Arbeitssysteme (vgl. REFA MLPS 1985, S. 219).

Für die Ermittlung des Zielerreichungsgrades Durchlaufzeit kann der Durchlaufzeitgrad für einen Auftrag aus Division der simulierten Durchlaufzeit durch die Minstdurchlaufzeit errechnet werden (vgl. GROBEL 1993, S. 89).

$$DLG_k = \frac{DLM_k}{DLS_k}$$

DLG _k	Durchlaufzeitgrad des Auftrags k
DLM _k	Minstdurchlaufzeit des Auftrags k
DLS _k	Simulierte Durchlaufzeit des Auftrags k

5.1.4 Zielerreichungsgrad Durchlaufzeitabweichung

Bei der Definition der Zielgröße Zielerreichungsgrad läßt sich feststellen, daß die Termintreue bezüglich eines Solltermins bestimmt werden kann, der über die Minstdurchlaufzeit definiert wird und damit ist "... eine Aussage über Durchlaufzeitgrad erlaubt, wie stark die Durchlaufzeiten um die mittlere Durchlaufzeit der Aufträge streuen" (vgl. GROBEL 1993, S. 89).

"In der Berechnung der Zielgröße gehen sowohl positive als auch negative Abweichungen der simulierten Durchlaufzeit von einer sog. korrigierten Soll- Durchlaufzeit ein. Die korrigierte Soll-Durchlaufzeit erhält man, in dem man aus dem Wert des Zielerreichungsgrades Durchlaufzeit durch die Bildung des Kehrwertes einen Verspätungsfaktor berechnet, mit dem für jeden Auftrag die Länge des kritischen Weges multipliziert wird." (GROBEL 1993, S. 90).

Definitionen und Berechnung der Durchlaufzeitabweichung kann bei GROBEL (1993 S. 90) nachgelesen werden.

5.2 Interpretation der Ergebnisse

5.2.1 Vergleich der Ergebnisse bei der Betriebsauftragssteuerung für unterschiedliche Varianten

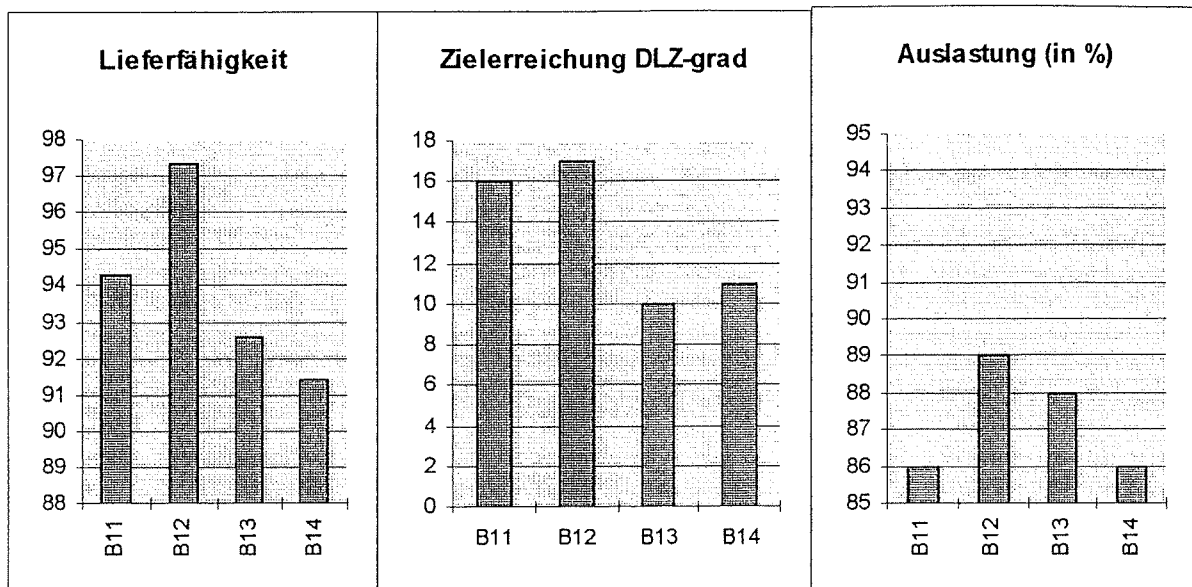


Abb. 5.3: Die Kennzahlen der Engpaßbelastung

Die Fahrradfabrikvarianten (S-1), (S-2), (S-3), (S-4) werden zuerst nach der Betriebsauftragssteuerung - Bxy - gesteuert und auf Engpaß belastet. In Abbildung 5.1 ist zu sehen, daß die Betriebsauftragssteuerung mit der Engpaßbelastung beim ergebnisorientierten Konzept [Bx2] bzgl. der logistischen Kenngrößen die besten Ergebnisse im Vergleich zum anderen Varianten ergibt. Ursache ist, der Unterschied zu anderen Varianten, daß EM (Endmontage) nach Erzeugnisse und Gruppenarbeit orientiert ist (vgl. Abb. 4.20, Abb.4.21).

Den gruppenorientierten Fertigungsstrukturen ist gemeinsam, daß die Fertigungseinrichtungen nicht verrichtungsorientiert, sondern nach den zu bearbeitenden Teilen strukturiert und angeordnet sind. Fertigungsähnliche Teile werden dazu in sogenannten Teilefamilien zusammengefaßt und in Gruppen von Arbeitssystemen bearbeitet. Die Fertigung nach dem Verrichtungsprinzip ist dagegen durch einen geringen Lagerumschlag, hohe Bestände und lange Durchlaufzeiten mit einem hohen Liegezeitanteil gekennzeichnet.

Soll ein Vergleich von diesen Varianten anhand dieser Ergebnisse durchgeführt werden, besteht die Schwierigkeit, daß sie eine unterschiedliche Zielsetzung erkennen lassen: Durchlaufzeit und Auftragsbestände sollten minimiert, Auslastung und Termintreue maximiert werden.

Die Varianten der Fahrradfabrik werden zusätzlich mit der anderen Kennzahlen verglichen, um sie besser interpretieren zu können. Produktionsunternehmen sichern ihre Wettbewerbsfähigkeit dadurch, daß sie Produkte kostengerecht und mit kurzen Lieferzeiten anbieten. Die Lieferzeit ist in der Regel geringer als die für Leistungserstellung notwendige Herstellungszeit. Dies ist im Einzelfall abhängig von der Absatzstruktur der Unternehmung.

Eine kurzfristige Lieferfähigkeit kann sich auch aus der Vorhaltung von Rohmaterialien sowie von Zwischen- und Fertigprodukten ergeben. Dieses Umlaufvermögen verursacht jedoch Kapitalbindungskosten (vgl. Abb. 5.2).

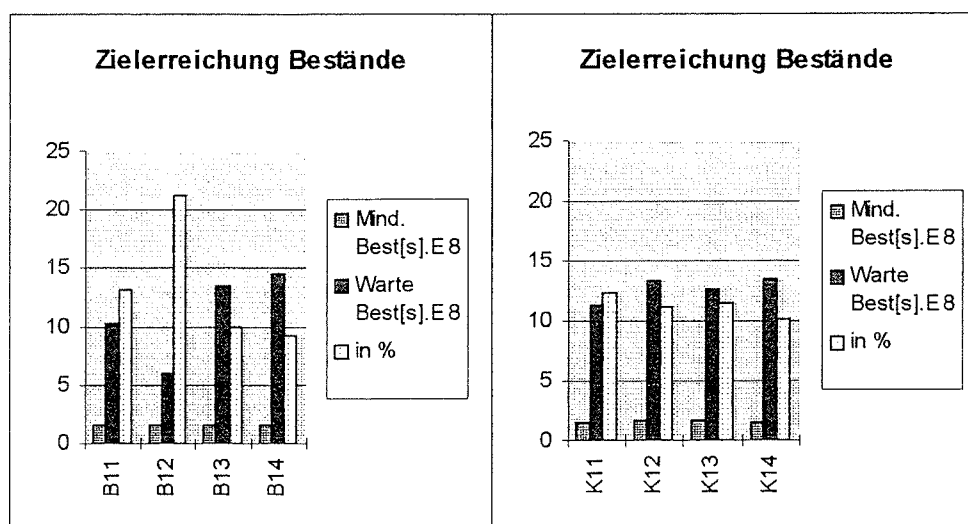


Abb. 5.4: Vergleich der Zeilerreichung Bestände bei Betriebsauftragssteuerung -Bly- und Kanbansteuerung -Kly-

Aus der Möglichkeit der Vorhaltung eines Kapazitätsangebotes (=Anlagenvermögen) und von Beständen (=Umlaufvermögen) zur Aufrechterhaltung einer kurzfristigen Lieferfähigkeit ergibt sich ein Optimierungsproblem, für das im konkreten Fall eine Lösung gefunden werden muß.

Wenn die betriebswirtschaftlichen Wirkungen der Durchlaufzeitreduktion untersucht werden, können sie in zwei Gruppen untergeteilt werden;

- Kosteneinsparungen und
- Umsatzsteigerung.

Kosteneinsparungen ergeben sich bei reduzierten Durchlaufzeiten durch

- verminderte Kapitalbindungskosten im Umlaufvermögen,
- verminderten Lagerraum,

- gestiegene Arbeitsproduktivität.

Durchlaufzeitenreduktionen bewirken neben Kosteneinsparungen über eine gestiegene Wettbewerbsfähigkeit auch Umsatzsteigerungen. Kürzung der Durchlaufzeiten ermöglicht eine schnelle Reaktion auf Kundenwünsche und eine hohe Lieferfähigkeit. Sie wirken sich somit positiv auf die die Wettbewerbsfähigkeit aus.

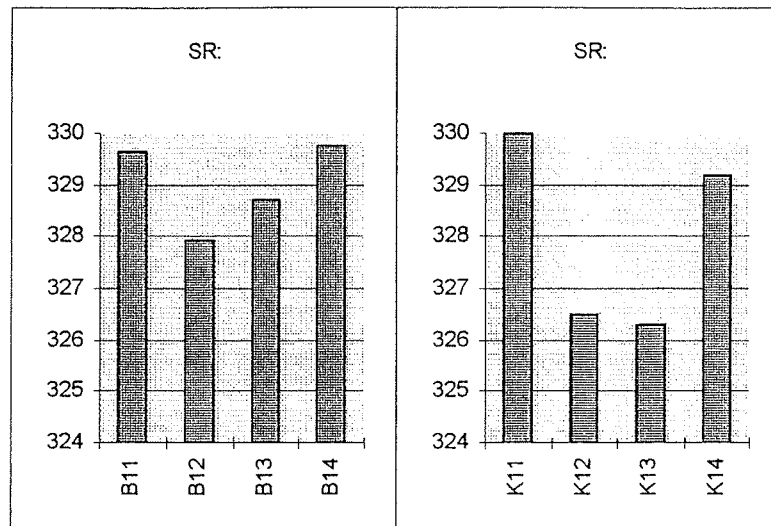


Abb. 5.5: Herstellkosten des Standardrad (SR) bei unterschiedlichen Steuerungsverfahren

Die Forderung eines Produktionsunternehmens einerseits kostengünstig zu produzieren, andererseits hohe Qualität zu erzeugen, bedeutet für viele immer noch einen Widerspruch in sich. Aber bei Simulationsmodellen kann man über die Qualität der Produkten nichts aussagen. Die Abb. 5.3 zeigt, daß das Standardrad und auch andere Fahrradtypen bei [K12 und K13] im Vergleich zu anderen Modellen kostengünstig hergestellt werden kann (vgl. Abb. 5.3).

5.2.2 Vergleich der Steuerungsverfahren Betriebsauftragssteuerung und Kanban-steuerung

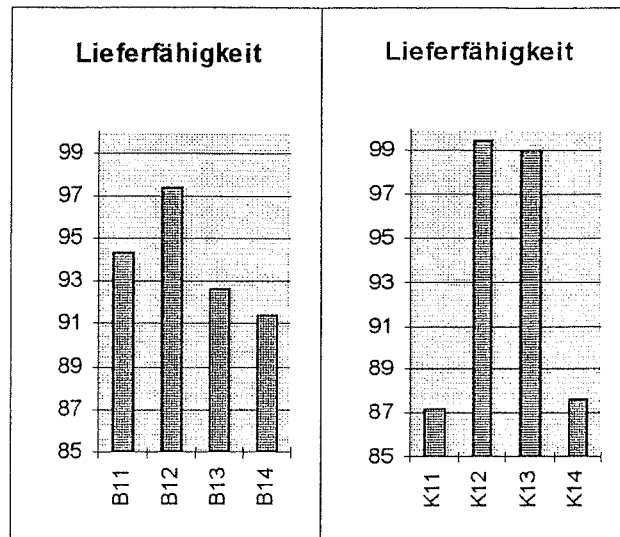


Abb. 5.6: Lieferfähigkeit bei der Betriebsauftrags- und Kanban-steuerung

Wird der Vergleich weiter geführt, sieht man, daß die Lieferfähigkeit bei -K12- und -K13- die gewünschten Kundenauftragszahl erreicht. Damit werden die Auslastung (vgl. Abb. 5.7) und abgearbeitete Aufträge- DLP (vgl. 5.8) gesteigert. Wird das durchschnittlich gebundene Kapital verglichen, bekommt man ein überraschendes Ergebnis bei der Kanban-steuerung (vgl. Abb. 5.10).

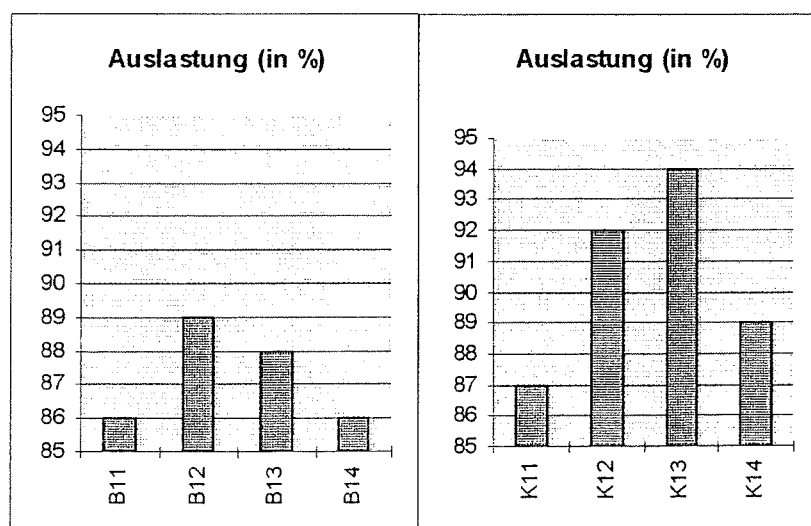


Abb. 5.7: Auslastung der Betriebsauftrags- und Kanban-steuerung

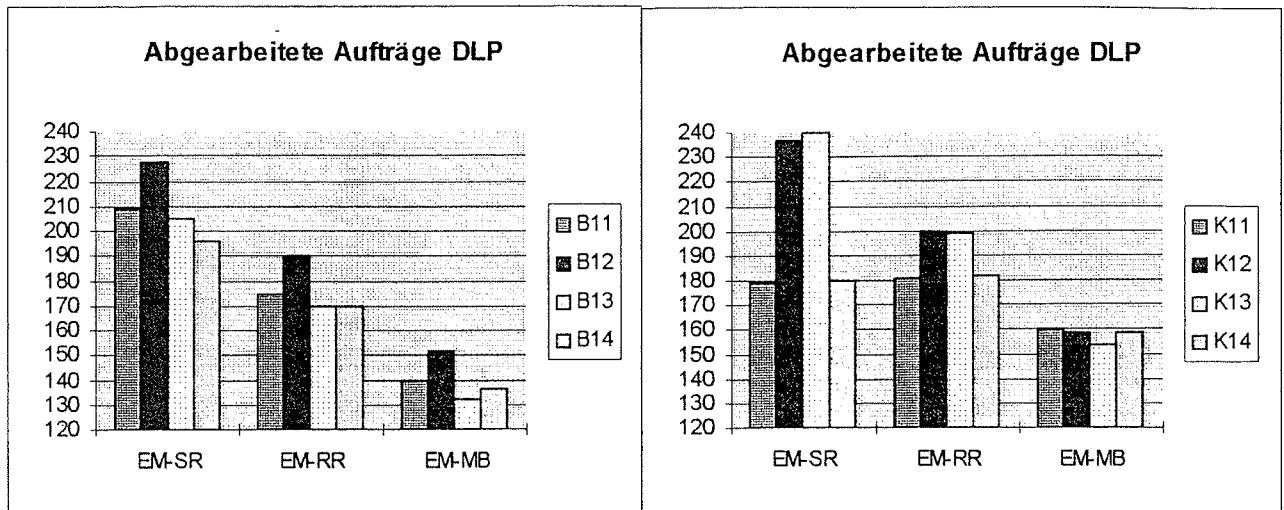


Abb. 5.8: Abgearbeitete Aufträge nach Fahrradtypen
Vergleich zwischen Betriebsauftragssteuerung und Kanban-Steuerung

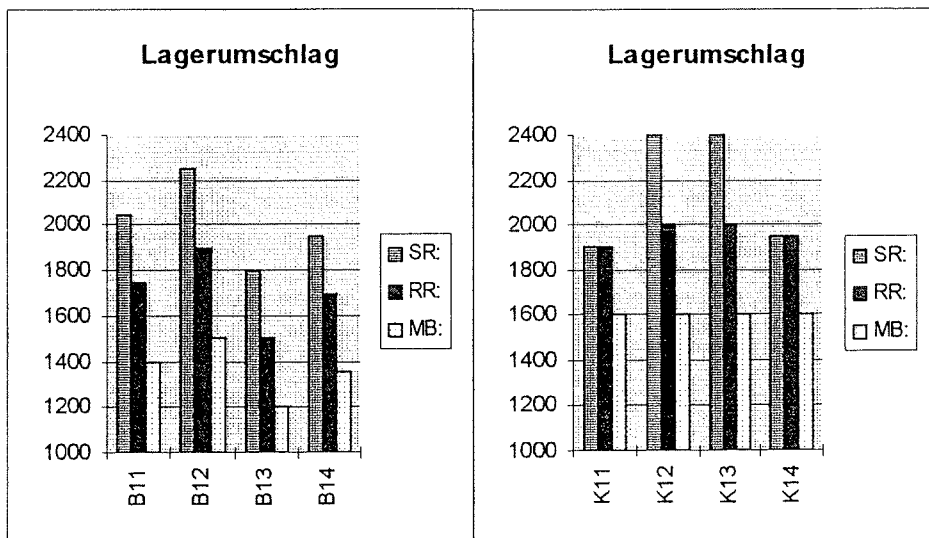


Abb. 5.9: Lagerumschlag zwischen Betriebsauftragssteuerung und Kanban-Steuerung

Die Abbildung 5.9 zeigt, daß bei -K12- und -K13- die Kundenwünsche im geplanten Zeitraum erfüllt werden können. Dafür steigt die durchschnittlich gebundene Kapital besonders bei Kanbansteuerung (-Kxy-) ziemlich stark (vgl. Abb.5.10).

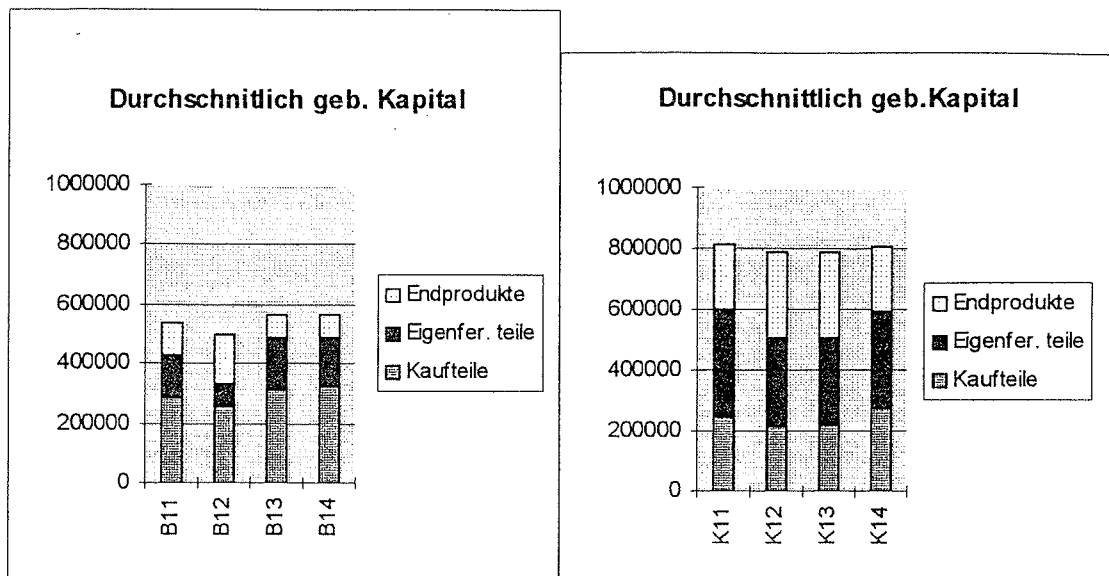


Abb. 5.10: Durchschnittlich gebundenen. Kapital bei Betriebsauftrag- (Bxy) und Kanben-Steuerung (Kxy)

Daher muß ein Produktionsunternehmer bei Anwendung der Kanban-Steuerung berücksichtigen, daß trotz Erhöhung der Lieferfähigkeit sein durchschnittlich gebundenen Kapital erhöht wird.

5.2.3 Vergleich der Belastung zwischen Engpaß- und Überbelastung

Um die Belastungsreaktion der Varianten und Verfahren zu untersuchen, werden die Kundenstückzahlen um 20 % erhöht. D.h. die Kundenauftragszahl wird von 1920 auf 2304 gesteigert. Dagegen bleiben Betriebsmittel und Personalbestand konstant wie bei der normaler Belastung.

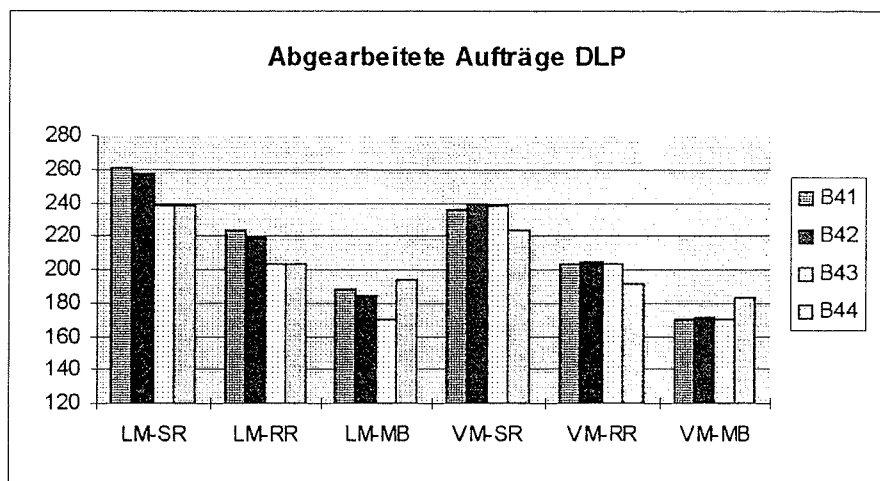
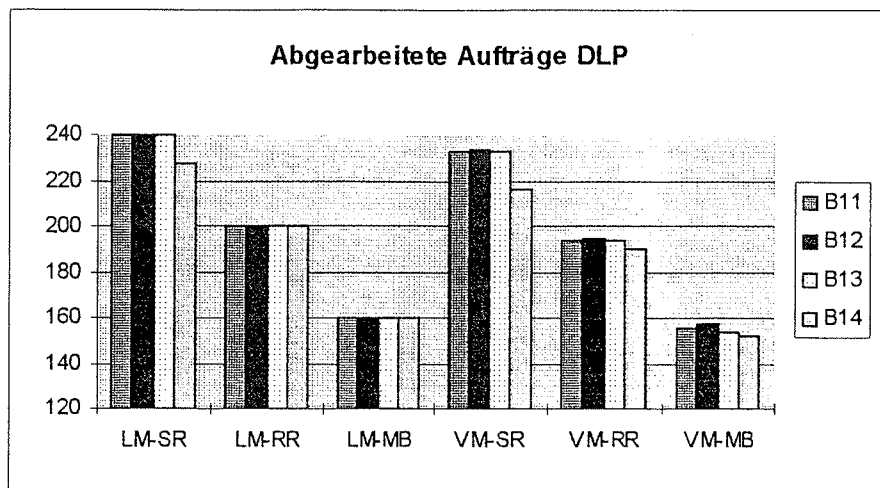


Abb. 5.11: Vergleich der abgearbeitete Aufträge für die Fahrradtype zwischen normaler Belastung und Überbelastung

Aus Abb. 5.11 ist zu erkennen, daß abgearbeitete Aufträge von Lenker - und vormontierte Baugruppezahl gestiegen sind. Aber Verkaufsstückzahlen steigen nicht wie bei normaler Belastung (vgl. Abb. 5.9). Die Auslastung (vgl. Abb. 5.11) ist bei beiden Verfahren vergleichbar.

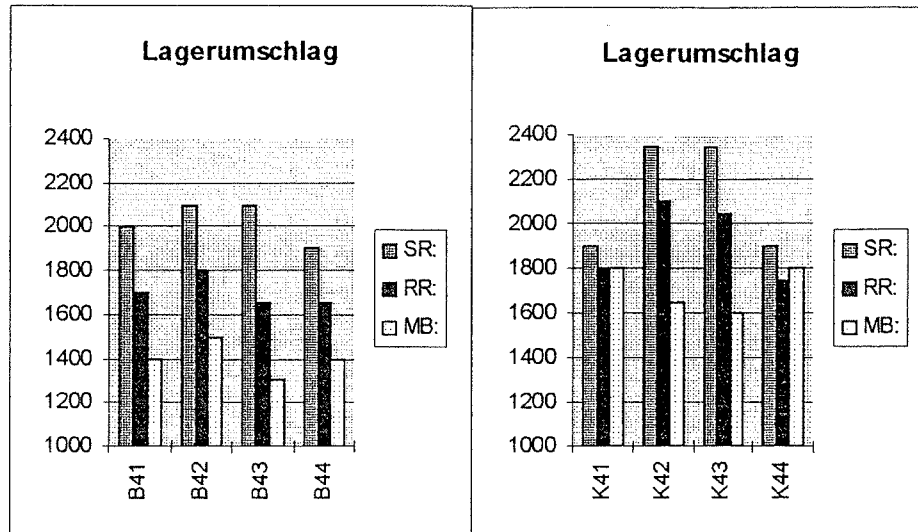


Abb. 5.12: Vergleich des Lagerumschlag für die Überbelastung bei Betriebsauftragssteuerung und Kanban-Steuerung

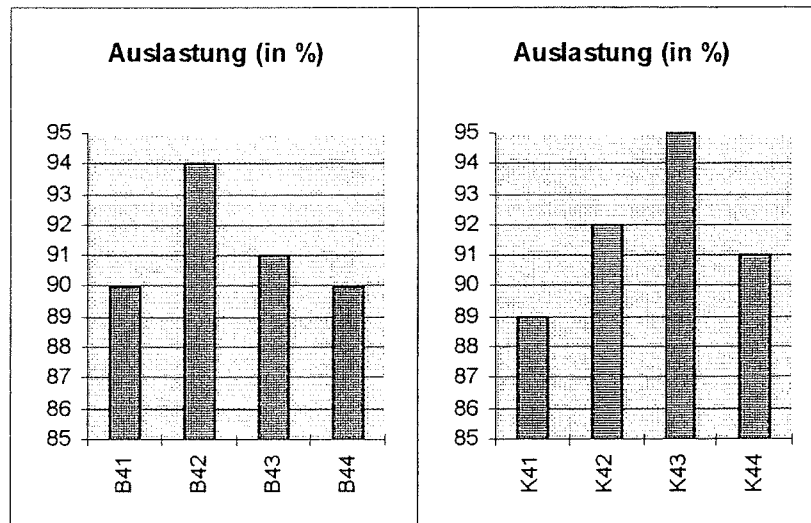


Abb. 5.13: Vergleich der Auslastung für die Überbelastung bei Betriebsauftragssteuerung und Kanban-Steuerung

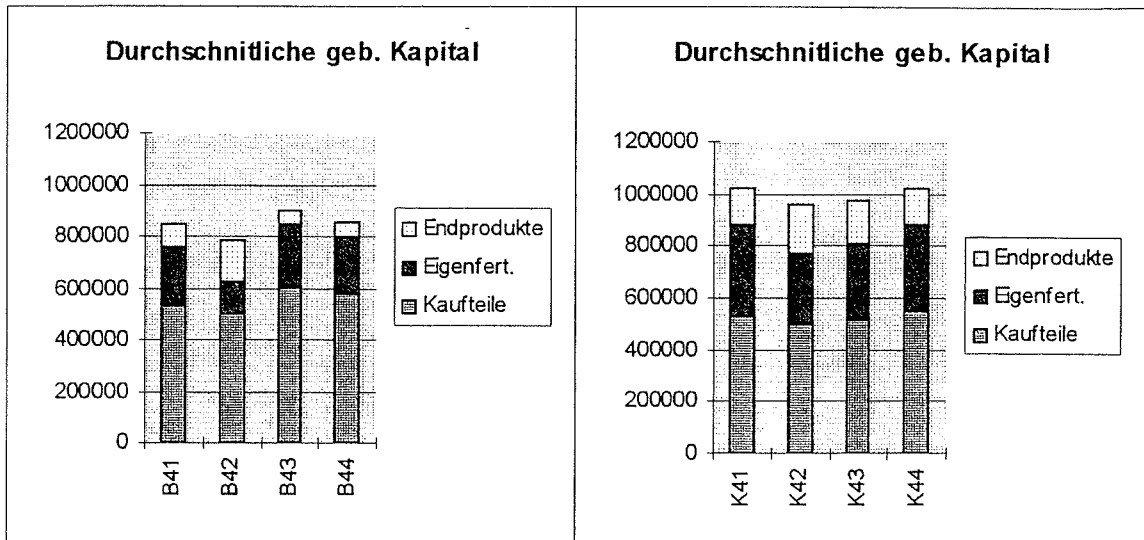


Abb. 5.14: Durchschnittlich gebundenes Kapital bei Betriebsauftragssteuerung und Kanbansteuerung

Das durchschnittlich gebundene Kapital steigt im Vergleich der Überbelastung zur normaler Belastung bei der Betriebsauftragssteuerung um ca. 60 %, während sie bei der Kanban-Steuerung um ca. 20 % zunimmt. Als Ursache kann ausgeführt werden, daß der Wartebestand bei der Kanban-Steuerung nur in einem geringen Menge steigt und bei der Betriebsauftragssteuerung sich mehr als verdoppelt (vgl. Abb. 5.14).

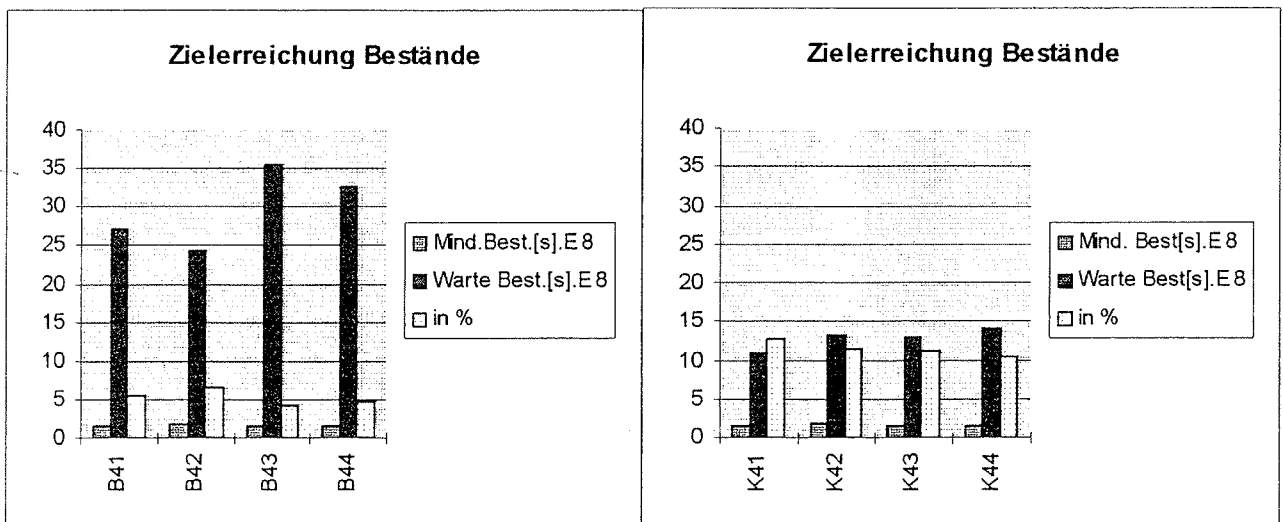


Abb. 5.15: Vergleich der Zielerreichung Bestände für die Überbelastung bei Betriebsauftragssteuerung und Kanbansteuerung

5.2.4 Vergleich zwischen Betriebsauftragssteuerung und Leistungsratenvereinbarung bei Überbelastung

In diesem Kapitel wird untersucht, ob durch Anwendung der Leistungsratenvereinbarung die abgearbeitete Aufträge für die simulierte Fahrradfabrik erhöht werden kann. Bei dieser Variante der Fahrradfabrik wird die Koordination durch das Transportsystem (TR) durchgeführt. Dabei wird eine Vereinbarungsdauer festgelegt, für das Transportsystem den verschiedenen Betriebsmitteln und Bereichen zu einem bestimmten Anteil (Angabe in Prozentsätze) zugeordnet wird.

Die Simulationsergebnisse zeigen, daß die Leistungsratenvereinbarung zur Steuerung der Fahrradfabrik normalerweise nicht geeignet ist. Bei den Fahrradfabrikvarianten 3 und 4 konnte eine geringe Steigerung der abgearbeiteten Aufträge (DLP) beobachtet werden (vgl. Abb. 5.16). Hierbei wird die Leistungsratenvereinbarung mit der Betriebsauftragssteuerung verglichen.

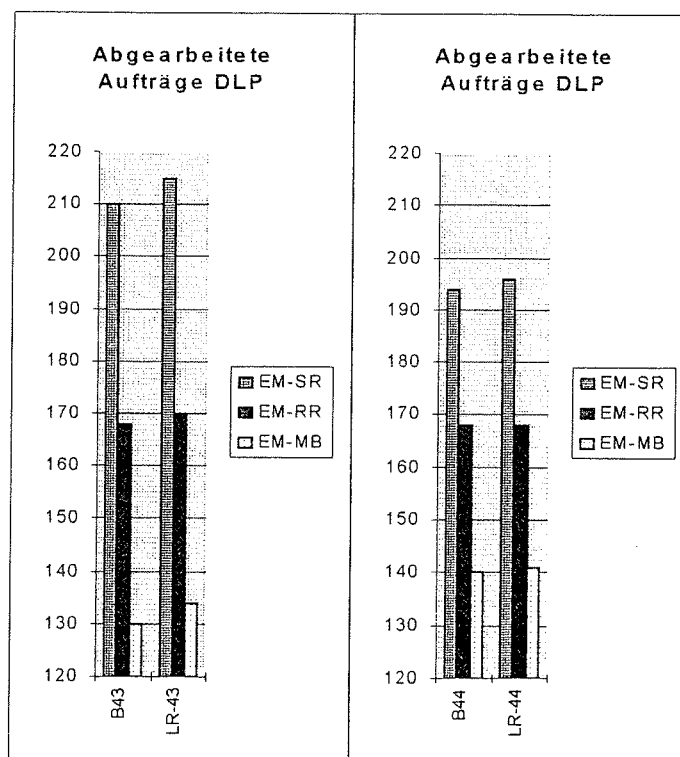


Abb. 5.16: Vergleich der abgearbeiteten Aufträge zwischen Betriebsauftragssteuerung -B43- und Leistungsratenvereinbarung -LR-43-

Es ist wichtig festzuhalten, daß das Ergebnis der Leistungsratenvereinbarung sehr stark von den Konfigurationsdaten der Vereinbarungsdauer und der Rate abhängt. Ein Beispiel ist in Abbildung 5.17 dargestellt: das Ergebnis verschlechtert sich, wenn bei konstanten Raten (Verkauf: 65, EM-SR: 20, EM-RR: 10, EM-MB: 5) die Vereinbarungsdauer (von 1000 auf 2000) auf Schiebeprinzip geändert wird. Deswegen ist bei der Festlegung der Konfiguration besondere Sorgfalt erforderlich.

Abb. 5.17 zeigt die Zielerreichungsbestände, die bei der Leistungsratesteuerung im Vergleich zur Betriebsauftragsteuerung gesteigert ist (vgl. Abb. 5.17).

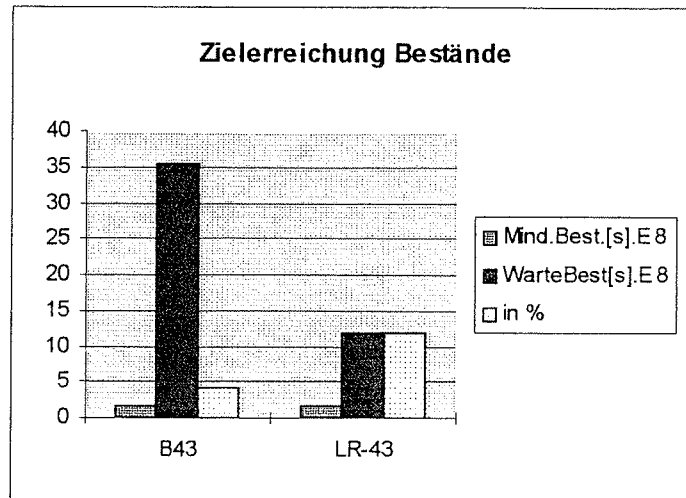


Abb. 5.17: Vergleich der Zielerreichung Bestände zwischen Betriebsauftragssteuerung und Leistungsratevereinbarung

5.2.5 Vergleich zwischen täglicher Konstante und geänderten Stückzahlen der Fahrradtypen bei normaler Belastung

In diesem Vergleich wird die Anzahl der täglich hergestellten Fahrräder konstant gehalten, jedoch ist die Aufteilung zwischen verschiedenen Fahrradtypen variabel. Wie in (Abb. 4.16, Abb. 4.17 und Abb. 4.18) zu sehen, werden vom Standardrad am Montag 80 Stück hergestellt und die Anzahl wird bis zum Freitag auf 160 Stück erhöht. Gleichzeitig sinken die Stückzahlen der anderen Fahrradtypen: vom Rennrad werden anfangs 100 und am Freitag noch 60 Stück, für das Mountain Bike gehen die Stückzahlen von 120 auf 60 zurück.

Wenn wir die Simulationsergebnisse für Lieferfähigkeit, Auslastung und Durchlaufzeit mit der Simulation für konstant gehaltene Typstückzahlen vergleichen, können wir sehen, daß die Zielerreichungsgrade sich kaum unterscheiden. Die Unterschiede sind kleiner als 1 %. Bei den abgearbeiteten Aufträgen sind kleine Unterschiede erkennbar (vgl. Abb. 5.18). Die geringen Unterschiede liegen darin begründet, daß die Summe der täglich hergestellten Fahrräder konstant bleibt und diese Fahrräder ähnliche Auftragsbestandszeiten haben.

Auch bei den Herstellungskosten und den gebundenen Kapitalkosten können keine wesentlichen Unterschiede festgestellt werden.

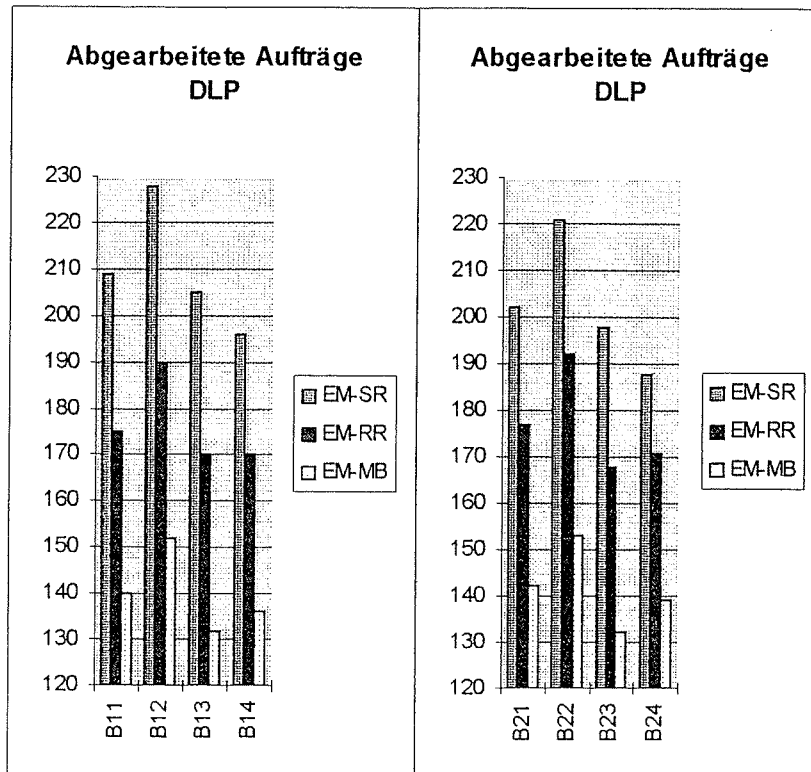


Abb. 5.18: Unterschied der abgearbeiteten Aufträge bei der normalen Belastung zwischen täglich konstanter -B1y- und geänderter Stückzahlen -B2y-

6 Zusammenfassung

Zur Beurteilung von Produktionssystemen wird mit Hilfe von Simulationsverfahren FEMOS ein Konzept vorgestellt, daß die Abbildung unterschiedlicher Fertigungsstrukturen und Steuerungsstrategien erlaubt. Dieses Simulationsverfahren bildet somit ein Hilfsmittel, um im konkreten Fall eine geeignete Steuerungsstrategie für Fertigungssegmente zu bestimmen und betriebliche Ziele bestmöglichst zu erreichen.

Zum Vergleich der unterschiedlichen Steuerungsverfahren wurde eine Fahrradfabrik simuliert, die drei verschiedene Fahrradtypen herstellt. Daher können die im folgenden getroffenen Aussagen nur für diese Fabrik gelten.

Zunächst wurde die Fabrik mit der Betriebsauftragssteuerung simuliert. Bei der Betriebsauftragssteuerung ist das gebundene Kapital niedrig. Die Lieferfähigkeit ist in Abhängigkeit von der gewählten Fabrikvariante besser oder schlechter als bei der Kanban-Steuerung.

Die Kanban-Steuerung, die für die zweite Simulationsreihe als Grundlage diente, ist besonders für Überbelastungssysteme geeignet. Hier erhöht sich die Kapitalbindung weniger stark als bei anderen Steuerungsverfahren. Außerdem wird bei den Varianten 3 und 4 eine Lieferfähigkeit von beinahe 100% erreicht.

Zum Abschluß erfolgte die Simulation der Fahrradfabrik mit der Leistungsratevereinbarung. Es ist festzustellen, daß die Ergebnisse sehr stark von der Konfiguration der Vereinbarungsdauer und der Rate abhängt. Die Umsetzung dieses Verfahrens für Simulationssysteme ist kompliziert, weil eine Optimierung der obengenannten Konfigurationsdaten z.Z. bei FEMOS nicht möglich ist. Das Modell kann um Optimierungsstrategien und für Schichtarbeit erweitert werden.

7 Litheraturverzeichnis

ASIM- Arbeitskreis für Simulation in Fertigungstechnik (Hrsg.):

Leitfaden für Simulationsanwender in der Fertigung

Arbeitsgemeinschaft Simulation in der Gesellschaft für Informatik.

o.O. 1987.

AUGUSTIN, Siegfried:

Arbeitssteuerung.

Karlsruhe Uni, Vorl. SS. 1990.

(Lehrstuhl und Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation)

Ausschuß für wirtschaftliche Fertigung (AWF):

Begriffserklärungen Fertigungsplanung- und -steuerung.

In: Mitteilung des Ausschusses für wirtschaftliche Fertigung e. V.,

München, 35 (1960)9.

BECKER, Jörg:

Einbindung der Fertigungssteuerung in ein CIM-Informationssystem.

In: CIM-Management,

München, 8(1992)3, S. 9-15

ERNST, Wolfgang:

Beitrag zur Planung der Personalstruktur im Fertigungsbereich.

Karlsruhe Uni, Diss. 1991.

(Forschungsberichte aus dem Institut für Arbeitswissenschaft und

Betriebsorganisation der Universität Karlsruhe, Band 1)

EVERSHEIM, Walter:

Organisation in der Produktionstechnik.

Band 3: Arbeitsvorbereitung.

Düsseldorf: VDI-Verlag, 2. Auflage 1989.

GRAF, Karl-Robert:

Systematische Untersuchung von Einflußgrößen einer Fertigungssteuerung nach dem Zieh- und Schiebeprinzip.

Karlsruhe Uni, Diss. 1991.

(ifab Schriftenreihe des Instituts für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation der Universität Karlsruhe, Band 2)

GROBEL, T., BRINKMEIER, B:

Auswirkungen organisatorischer Veränderungen auf die Ertragssituation eines Serienfertigers.

Karlsruhe Uni, Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation, 1994.
(Pub.-Nr. 0224005)

GROBEL, Thomas:

Simulation der Organisation rechnerintegrierter Produktionssysteme.

Karlsruhe Uni, Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation, 1992.

(ifab Schriftenreihe des Instituts für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation der Universität Karlsruhe, Band 3)

GROBEL, Thomas:

Analyse der Einflüsse auf die Aufbauorganisation von Produktionssystemen.

Karlsruhe Uni, Diss. 1993.

(ifab Schriftenreihe des Instituts für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation der Universität Karlsruhe, Band 6)

GOTTSCHALCK, Jürgen:

Die Steuerung der Großserienfertigung mit reduzierten Kapazitätsreserven.

München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1993.

(Darmstädter Forschungsberichte für Konstruktion und Fertigung)

GÜNZEL, Uwe:

Entwicklung und Einsatz eines Simulationsverfahrens für operative und strategische Probleme der Produktionsplanung und -steuerung.

Hrsg.: FELDMANN, Klas.

München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1993.

KOFFLER, Jürgen R.:

Neuere Systeme zur Produktionsplanung und -steuerung.

Hrsg.: HEINHOLD, M..

München, 1987.

(Hochschulschriften zur Betriebswirtschaftslehre)

MEYER, M.:

Operations Research - Systemforschung: eine Einführung in die praktische Bedeutung.

Stuttgart: Fischer Verlag, 3. Auflage 1990.

MARTENS, P.:

Simulation.

Stuttgart: Poeschel, 2. Aufl, 1982.

MÜLLER, Joachim:

Erfahrungen beim Einsatz der Methoden "Auftragsfreigabe mit Belastungsschranke (ABS)"
in der Werkstattsteuerung.

In : Fertigungssteuerung II.

Hrsg.: ADAM, Dieter.

Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler, 1988, S. 131-147.

REFA MLPS:

REFA- Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation (Hrsg.):

Methodenlehre der Planung und Steuerung.

Teil 3: Durchlaufzeit- und Terminermittlung, Arbeitsunterlagen, Werkstattsteuerung.

München: Carl Hanser Verlag, 4. Auflage, 1985.

REFA LEX:

REFA- Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation (Hrsg.):

Lexion der Betriebsorganisation.

München: Carl Hanser Verlag, 1993.

REFA MLPS:

REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation (Hrsg.):

Methodenlehre Planung und Steuerung, Teil 1.

München: Carl Hanser Verlag, 1991

REFA AMPS:

Fachbuchreiche Betriebsorganisation.

Ausgewählte Methoden der Planung und Steuerung

München: Carl Hanser Verlag, 1993.

SAINIS, P:

Die neuste Tendenzen der Fertigungssteuerung und ihre Anwendung in der Praxis.

In: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung,

München, 80(1985)12, S. 561-566.

VDI-Richtlinie - 3633

Düsseldorf: VDI-Verlag, 1983.

WARNECKE, Hans-Jürgen:

Die Frakte Fabrik.

Berlin: Springer-Verlag, 1992.

WARNECKE, Hans-Jürgen:

Der Produktionsbetrieb 1.

Organisation, Produkt, Planung.

Berlin: Springer-Verlag, 1993.

WILDEMANN, Horst:

Die modulare Fabrik: Kundenahe Produktion durch Fertigungssegmentierung.

München: gfmt, 1988.

WILDEMANN, Horst:

Produktionssynchrone Beschaffung.

München: gfmt Verlags KG, 1988.

(=1988a)

WILDEMANN, Horst:

Einführungstrategien für "Just in Time" -Produktions und -Beschaffung.

In: Management-Zeitschrift Industrielle Organisation,

Zürich, 57(1988)9, S. 371-374.

WIENDAHL, Hans-Peter:

Statisch orientierte Fertigungssteuerung.

Hannover Uni, Institut für Fabrikanlagen, 1984.

(Fachdokumentation zum IFA-Seminar 1984)

WIENDAHL, Hans-Peter:

Grundlagen neuer Verfahren der Fertigungssteuerung.

Statistisch Orientierte Fertigungssteuerung.

Hannover Uni, Institut für Fabrikanlagen, 1984.

WIENDAHL, Hans-Peter:

Beeinflußbarkeit von Durchlaufzeiten, Beständen, Leistung und

Termintreue mit Hilfe von PPS- Systemen.

Düsseldorf: VDI-Verlag, 1983, S. 85- 91.

(VDI-Berichte, 490)

WIENDAHL, Hans-Peter:

Betriebsorganisation für Ingenieure.

München, Wien: Carl Hanser Verlag, 3. Auflage 1989.

WIENDAHL, Hans-Peter:

Grundlagen eines modellorientierten Expertensystems zur kurzfristigen Fertigungs-
Ablaufdiagnose.

In : Expertensysteme in der Produktion.

Hrsg.: WILDEMAN, Horst.

München: gfmt Verlags KG, 1987, S. 297-321.

WITTE, T.:

Lexikon der Wirtschaftsinformatik.

Hrsg. MERTENS, P..

Berlin: Springer-Verlag, 2. Auflage 1990.

ZÄPFEL, Günther:

Betriebswirtschaftliche Grundlagen moderner Produktionsstrukturen.

Hrsg.: MILLING, Peter; ZÄPFEL, Günther.

Berlin; 1993.

ZÜLCH, Gert:

Systematisierung von Strategien der Fertigungssteuerung.

In: Organisationsstrategie und Produktion.

Hrsg.: ZAHN, Erich.

München: gfmt Verlags KG, 1990, S. 151-178.

(Hochschulgruppe Arbeits- und Betriebsorganisation HAB, Forschungsbericht 2)

ZÜLCH, Gert:

Materialsammlung zur Vorlesung Produktionswirtschaftliches Controlling.

Karlsruhe Uni, Vorl. SS 1994.

(Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation)

ZÜLCH, Gert

Der Strategische Steuerungsraum -

Ein Ansatz zur Systematisierung von Strategien der Fertigungssteuerung.

In: VDI- Zeitschrift,

Düsseldorf, 131(1989)5, S. 58-65

ZÜLCH, Gert:

Materialsammlung zur Vorlesung Betriebsorganisation I

Karlsruhe Uni, Vorl. SS. 1993.

(Lehrstuhl und Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation)

ZÜLCH Gert, GROBEL Thomas

Analyse von Produktionssystemen mit Hilfe von Simulation

In : VDI- Zeitschrift

Düsseldorf, 132(1990)10, S. 176-183

ZÜLCH, Gert; GROBEL, Thomas:

Schlanke Produktion - eine Herausforderung an die Organisationsplanung.

In: Produktion im Umbruch - Herausforderungen an das Management.

Hrsg.: NEDEß, Christian.

St. Gallen: gfmt-Gesellschaft für Management und Technologie, 1993, S. 387-427.

(Hochschulgruppe Arbeits- und Betriebsorganisation HAB, Forschungsbericht 5)

Erklärung zur Diplomarbeit

Ich versichere, daß ich die Arbeit mit dem Thema

"Exemplarischer Vergleich ausgewählter Verfahren der Arbeitssteuerung mit Hilfe der Simulationsverfahren FEMOS"

selbständig und nur mit den angegebenen Hilfsmitteln angefertigt habe und alle Stellen, die dem Wortlaut oder dem Sinne nach anderen Werken entnommen sind durch Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht habe.

15.03.1995
Datum


Unterschrift