

Rainer Klotzbücher

*Konzept zur rechnerintegrierten
Materialversorgung
in flexiblen Fertigungssystemen*

Rainer Klotzbücher

*Konzept zur rechnerintegrierten
Materialversorgung
in flexiblen Fertigungssystemen*

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



Carl Hanser Verlag München Wien

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

| | |
|----------------------|--|
| Tag der Einreichung: | 30. April 1991 |
| Tag der Promotion: | 03. Februar 1995 |
| Vorsitzender: | Prof. Dr.-Ing. F. Hofmann |
| Berichterstatter: | Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann apl. Prof. Dr.-Ing. W. Bär |

Die Deutsche Bibliothek - CIP - Einheitsaufnahme

Klotzbücher, Rainer:

Konzept zur rechnerintegrierten Materialversorgung in flexiblen
Fertigungssystemen / Rainer Klotzbücher. Hrsg. von Klaus
Feldmann. - München ; Wien : Hanser, 1995

(Fertigungstechnik - Erlangen ; 48)

Zugl.: Erlangen, Nürnberg, Univ., Diss., 1995

ISBN 3-446-18412-0

NE: GT

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

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

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

© Carl Hanser Verlag München, Wien 1995

Herstellung: Gruner Druck GmbH, Erlangen-Eltersdorf

Printed in Germany

Vorwort

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

Herrn Professor Dr.-Ing. K. Feldmann, dem Leiter des Lehrstuhls für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik am Institut für Fertigungstechnik, danke ich für die wohlwollende Förderung dieser Arbeit.

Herrn apl. Professor Dr.-Ing. habil. W. Bär, Lehrstuhl für Regelungstechnik der Universität Erlangen-Nürnberg, danke ich für die Übernahme des Korreferats. Für die engagierte Unterstützung bei der Betreuung von Studien- und Diplomarbeiten möchte ich meinen Dank einerseits Herrn apl. Professor Dr.-Ing. habil. W. Bär, Lehrstuhl für Regelungstechnik am Institut für Elektrotechnik, und andererseits Herrn Professor Dr.-Ing. F. Hofmann, Lehrstuhl für Betriebssysteme am Institut für mathematische Maschinen und Datenverarbeitung, aussprechen.

Ferner gilt mein Dank allen Kolleginnen und Kollegen, Studenten und wissenschaftlichen Hilfskräften, die durch ihre Unterstützung zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Rainer Klotzbücher

Konzept zur rechnerintegrierten Materialversorgung in flexiblen Fertigungssystemen

- Inhaltsverzeichnis -

| | | |
|----------|--|----|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 2 | Grundlagen | 2 |
| | 2.1 Funktions-Modell der rechnerintegrierten Produktion | 2 |
| | 2.2 Aufbau flexibler Fertigungssysteme | 6 |
| | 2.3 Werkstattsteuerung bei flexiblen Fertigungssystemen | 9 |
| | 2.4 Materialflußsteuerung - Stand der Technik | 14 |
| 3 | Informationssystem zur Materialflußsteuerung | 26 |
| | 3.1 Hilfsmittel der Informatik zur Systemplanung | 26 |
| | 3.2 Anforderungen an ein integriertes Informationssystem zur rechnergeführten Materialflußsteuerung | 29 |
| | 3.3 Funktions - Modell der Materialflußsteuerung | 32 |
| 4 | Abstraktes Systemmodell flexibler Fertigungssysteme | 37 |
| | 4.1 Beschreibungsmodell für den Materialfluß | 38 |
| | 4.2 Objekte des Materialflusses | 38 |
| | 4.3 Materialfluß in Abhängigkeit von der Art der Flußobjekte | 44 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 5 | Strategien und Daten zur rechnergeführten Materialflußsteuerung | 47 |
| 5.1 | Bedarfsplanung | 50 |
| 5.1.1 | Ausgangslage und Problemstellung | 50 |
| 5.1.2 | Auftragsgesteuerte Bedarfsplanung für Material | 51 |
| 5.1.3 | Auftragsgesteuerte Bedarfsplanung für Materialflußhilfsmittel | 62 |
| 5.2 | Flußplanung | 67 |
| 5.2.1 | Ausgangslage und Problemstellung | 67 |
| 5.2.2 | Flußplanung bei korrespondierenden Ver-/Entsorgungsbedarfen | 68 |
| 5.2.3 | Flußplanung bei separaten Ver-/Entsorgungsbedarfen | 78 |
| 5.3 | Flußeinheitenbildung | 80 |
| 5.3.1 | Ausgangslage und Problemstellung | 80 |
| 5.3.2 | Aufbau einer Materialflußeinheit | 80 |
| 5.3.3 | Regeln zur Flußeinheitenbildung | 82 |
| 5.3.4 | Bildung von Transport- und Bereitstellungseinheiten | 93 |
| 5.4 | Flußveranlassung und -überwachung | 97 |
| 6 | Ablaufstruktur einer rechnergeführten Materialflußsteuerung | 103 |
| 6.1 | Funktionsablauf bei plangemäßigem Fertigungsablauf | 103 |
| 6.2 | Funktionsablauf bei nicht plangemäßigem Fertigungsablauf | 111 |
| 7 | Anwendung und Realisierung | 121 |
| 7.1 | Materialflußsteuerung anhand einer Modellanlage | 121 |
| 7.2 | Programmsystem zur Materialflußsteuerung | 134 |
| 8 | Zusammenfassung | 148 |
| 9 | Literaturverzeichnis | 150 |

1 Einleitung

Im Rahmen der fertigungstechnischen Rationalisierung wurden in den letzten Jahren erhebliche Anstrengungen zur rechnergeführten Steuerung von flexiblen Fertigungssystemen, Transporteinrichtungen und Lagern unternommen [50,76,101]. Bezüglich der vertikalen Integration dieser automatisierten Systeme zu einem Gesamtsystem entstanden zahlreiche Strategien und Konzepte. Stellvertretend kann die Konzeption der belastungsorientierten Fertigungssteuerung am IFA Hannover [93], die Konzeption einer simultanen Termin- und Kapazitätsplanung von KANG [54], das verteilte Planungssystem für flexible Fertigungssysteme von FISCHER [28], etc. genannt werden.

Das zentrale Anliegen dieser Arbeiten ist der Entwurf von lokalen Belegungsplanungssystemen zur Werkstattsteuerung, die eine Verteilung der Fertigungsaufträge auf die Teilsysteme eines flexiblen Fertigungssystems unter Erreichung bestimmter Ziele wie minimale Durchlaufzeiten, minimale Bestände, etc. vornehmen sollen. Die Schaffung einer durchgängigen Verfahrenskette für den Fertigungsauftragsfluß von der Produktionsplanung/-steuerung über die Werkstattsteuerung bis zur Fertigung stellt hierbei eine der wichtigsten zu erfüllenden Randbedingungen dar. Als zentrale Voraussetzung für die entworfenen Planungssysteme wird die Verfügbarkeit von Material und Fertigungshilfsmitteln in der geplanten Menge und zum geplanten Termin genannt. Die Sicherstellung der Verfügbarkeit mittels geeigneter Konzeptionen zur Steuerung des Materialflusses wird im Rahmen der genannten Arbeiten jedoch nicht betrachtet. Bezüglich dieser horizontalen Integration, worunter eine durchgängige Verfahrenskette für den Auftragsfluß zur Ver-/Entsorgung von Fertigungssystemen von der Belegungsplanung über die Materialflußsteuerung [26] bis zu Transport und Lagerung verstanden wird, bestehen nur wenige integrative Ansätze. In der industriellen Anwendung wird die Materialversorgung vorwiegend von zentralen PPS-Systemen veranlasst. Eine Einbindung der genannten lokalen Belegungsplanungssysteme in Abläufe zur Materialversorgung ist nicht gegeben.

Ziel dieser Arbeit ist die Konzipierung eines integrierten, rechnergeführten Systems zur Materialflußsteuerung für flexible Fertigungssysteme in Teilefertigung und Montage, d.h. zur Steuerung des Flusses von Material, Paletten, etc. zwischen Einzelsystemen (Ver-/Entsorgung mit/von Arbeitsgegenständen). Unter integriert wird hier sowohl die Integration aller Teilaufgaben der Materialflußsteuerung zu einem geschlossenen Ganzen als auch die Integration der Materialflußsteuerung selbst in das betriebliche Umfeld verstanden.

2 Grundlagen

2.1 Funktions - Modell der rechnerintegrierten Produktion

Die Materialflußsteuerung ist eine Teilaufgabe der Werkstattsteuerung. Die Werkstattsteuerung bzw. Materialflußsteuerung wird im folgenden anhand eines allgemeinen, nach funktionslogischen Aspekten gegliederten Unternehmensmodells [18,19] in die rechnerintegrierte Produktion eingeordnet (Bild 1). Beim Materialfluß ist zu unterscheiden zwischen dem außerbetrieblichen, dem innerbetrieblichen und dem Materialfluß am Arbeitsplatz selbst. Der innerbetriebliche Materialfluß und seine Steuerung sind Gegenstand der Betrachtungen dieser Arbeit (Bild 1). Materialflüsse im Unternehmen werden über den Informationsweg Vertrieb, Produktionsplanung, Werkstattsteuerung hervorgerufen [91]. Im weiteren werden die für das

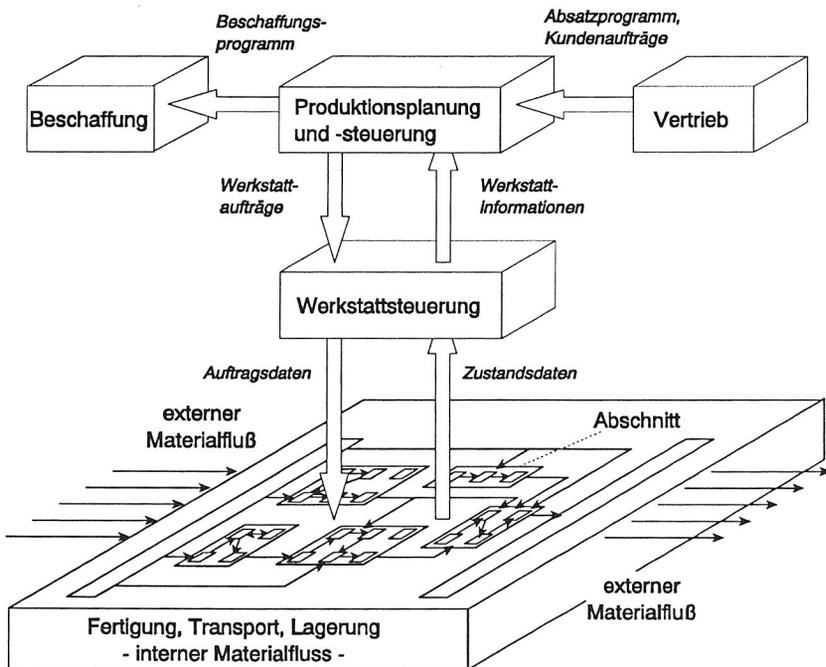


Bild 1: Funktionen und Materialflußbereiche im Unternehmen

Thema Materialflußsteuerung relevanten Teilfunktionen Produktionsplanung und -steuerung und Produktionsausführung (Werkstattsteuerung, Fertigung, Transport, Lagerung) dargestellt. Die **Produktionsplanung und -steuerung** [22,31,36,65,73] weist die Hauptfunktionen Produktionsprogrammplanung, Mengenplanung, Termin- und Kapazitätsplanung, Auftragsveranlassung, Auftragsüberwachung sowie Datenverwaltung auf. Die Produktionsprogrammplanung legt das zukünftige Programm an zu produzierenden Erzeugnissen in zeitlicher und mengenmäßiger Hinsicht fest. Die Mengenplanung dient der Ermittlung des zu fertigenden und zu beschaffenden Materials, d.h. der Sekundärbedarfe, nach Art und Menge, um das geplante Produktionsprogramm termingerecht ausführen zu können. Als Hauptaufgaben sind damit die Bildung des Beschaffungsprogramms und des Fertigungsprogramms zubenennen. Die Termin- und Kapazitätsplanung führt eine terminliche und kapazitätsmäßige Einplanung des Fertigungsprogramms auf der Basis von zu Kapazitätsgruppen zusammengefaßten Fertigungssystemen durch. Die Teilfunktion Datenverwaltung der Produktionsplanung umfaßt die Speicherung und Verarbeitung aller zur Produktionsplanung notwendigen Daten, z.B. Kunden-, Beschaffungs- und Fertigungsaufträge bzw. -fortschrittsdaten, Bestände, Kapazitäten, etc.

Als **Produktionsausführung** wird die Gesamtheit aller Tätigkeiten, die unmittelbar oder mittelbar der Erzeugnisherstellung dienen, bezeichnet. Sie läßt sich in die Teilfunktion Werkstattsteuerung und in die folgenden operativen Teilfunktionen untergliedern (vgl. [5,18,19]):

- Teilfunktion **Fertigung**:
 - Aufträge und NC-/RC-Programme übernehmen und verwalten
 - Steuerung der Fertigungseinrichtungen sowie Testen und Optimieren derselben bzw. manuelles Ausführen der Aufträge
 - Betriebsdaten erfassen, verarbeiten und melden (Maschinendaten, Produkt-IST-Daten)
- Teilfunktion **Transport**:
 - Transportaufträge übernehmen, verwalten, disponieren (Personal, Fahrzeuge, Beladung)
 - Transporteinrichtungen steuern (z.B. Fahrzeugsteuerung/Fahrtwegoptimierung bei einem FTS) und/oder manuelles Ausführen (z.B. Beladen, Entladen, etc.) der Aufträge
 - Betriebsdaten erfassen, verarbeiten und melden (Maschinendaten, Transportabbild)
- Teilfunktion **Lagerung**:
 - Lageraufträge übernehmen, verwalten und disponieren (Personal, Fahrzeuge, Lagerorte)
 - Lagereinrichtungen steuern und/oder manuelles Ausführen der Aufträge (Einlagern von Gütern, Kommissionieren von räumlich-mengenmäßigen Einheiten, etc.)
 - Betriebsdaten erfassen, verarbeiten und melden (Bestände, Bewegungsdaten)

Im Rahmen der **Werkstattsteuerung** (kurzfristig orientierte Funktion) sind die Planungsergebnisse (terminiertes Fertigungsprogramm) der mittelfristig orientierten Funktionen (Termin- und Kapazitätsplanung) zu detaillieren und unter Beachtung der aktuellen Situation in der Werkstatt durchzusetzen. Unter Werkstatt wird ein verantwortlicher Bereich - organisatorische Einheit - für die Produktionsausführung verstanden. Die Werkstattsteuerung besitzt im allgemeinen einen Spielraum zur Disposition bzw. Optimierung der Arbeitsabläufe in der Werkstatt. Optimierungskriterien der Werkstattsteuerung bzw. der Produktionsplanung sind die maximale Auslastung der Organisationseinheiten, die Erreichung minimaler Liegezeiten bzw. Bestände und Durchlaufzeiten [52,92]. Zur Erreichung optimaler Lösungen der Werkstattsteuerung werden ihre Aufgaben in Haupt- und Nebenaufgaben gegliedert. Die zentrale Aufgabe ist die Verteilung der Fertigungsaufgaben auf die Systeme zur Durchführung des Fertigungsprozesses. In Abhängigkeit von der vorgenommenen Aufgabenverteilung wird die Lösung anderer Probleme der Werkstattsteuerung wie die Steuerung des Materialflusses bestimmt [98]. Dementsprechend wird die Werkstattsteuerung in die Hauptfunktionen Fertigungsauftragssteuerung und die Nebenfunktion Materialflußsteuerung aufgesplittet (Bild 2).

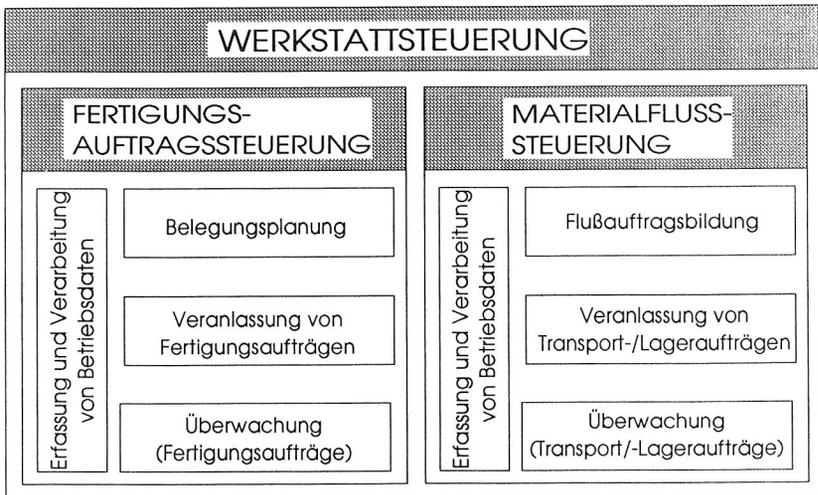


Bild 2: Teilfunktionen der Werkstattsteuerung

Die **Fertigungsauftragssteuerung** umfaßt alle organisatorischen Tätigkeiten zur Sicherstellung eines geordneten Fertigungsablaufs. Die wichtigste Aufgabe ist hierbei die Belegungsplanung, d.h. die Festlegung einer Auftragsreihenfolge über den Organisationseinheiten der Fertigung. Zu den weiteren Aufgaben gehört die Veranlassung und Überwachung der Auftragsbearbeitung (operative Teilfunktionen) sowie die Erfassung aller zur Belegungsplanung und zur Überwachung notwendigen Informationen. Die Belegungsplanung bestimmt maßgeblich die Anforderungen an die Materialflußsteuerung, da durch sie der Bedarf an Arbeitsgegenständen bezüglich des Termins, der Menge und des Ortes vorbestimmt ist.

Die **Materialflußsteuerung** hat als primäre Aufgabe für die Einhaltung des durch die Belegungsplanung festgelegten Fertigungsablaufs durch rechtzeitige Veranlassung der Bereitstellung des "richtigen" Objekts zum "richtigen" Zeitpunkt in der "richtigen" Menge am "richtigen" Ort zu sorgen [11,31]. Für sie ergeben sich damit folgende Teilaufgaben [58]:

- Bildung von Flußaufträgen zur Versorgung der Organisationseinheiten mit den benötigten Arbeitsgegenständen zum "richtigen" Zeitpunkt in der "richtigen" Menge
- Bildung von Flußaufträgen zur Entsorgung der Organisationseinheiten von den nicht mehr benötigten Arbeitsgegenständen, so daß
 - die Produkte einer Organisationseinheit zum "richtigen" Zeitpunkt anderen Organisationseinheiten) zur Verfügung stehen und
 - nicht mehr benötigte Paletten, etc. und Material anderen Organisationseinheiten zur Verfügung stehen, damit sie optimal genutzt werden können und damit die notwendigen Lager-/Pufferkapazitäten (Dimensionierung durch Anlagenplaner) bzw. die Bestände an Arbeitsgegenständen niedrig gehalten werden können.

Die genannten Aufgaben werden unter dem Begriff Flußauftragsbildung zusammengefaßt. Analog zur Fertigungsauftragssteuerung sind für die Materialflußsteuerung als weitere Aufgaben die Überwachung der Transport- und Lagerauftragsbearbeitung sowie die Erfassung aller zur (Fluß-) Auftragsbildung und Überwachung notwendigen Informationen anzugeben.

Durch die im vorhergehenden vorgenommene Aufteilung der Werkstattsteuerung in Haupt- und Nebenaufgaben und deren Untergliederung in Teilaufgaben wurde ein integriertes Modell der Werkstattsteuerung bzw. der Materialflußsteuerung geschaffen, das Grundlage und zugleich Voraussetzung für die Konzipierung einer integrierten, rechnergeführten Materialflußsteuerung ist.

2.2 Aufbau flexibler Fertigungssysteme

Flexible Fertigungssysteme lassen sich analog den Vorschlägen internationaler Normungsgremien für CIM-Modelle (station, cell, section/area, shop floor production [21,47]) in die vier Ordnungsebenen Fertigungsstation, Fertigungsabschnitt, Fertigungsbereich und Produktionssystem gliedern. In der Realität kann die Anzahl der Ordnungsebenen natürlich variieren, im Rahmen dieser Arbeit werden vier Ordnungsebenen als ausreichend angesehen. Die Fertigungsstation umfaßt die Arbeitsmittel zur Ausführung des Produktionsprozesses, dies schließt auch die Steuerung mit ein. Im einfachsten Fall kann die Steuerung durch die Arbeitskraft (Bediener) realisiert werden. Der Fertigungsabschnitt beinhaltet mehrere Fertigungsstationen sowie Transport-, Lager- und Informationssysteme zur Gewährleistung des Material- und Informationsflusses. Eine analoge Darstellung ergibt sich für den Fertigungsbereich. Flexible Fertigungssysteme sind bezüglich des Fertigungsablaufs nach dem Gruppenprinzip strukturiert [4,22]. Zu einer organisatorischen Einheit (Fertigungsabschnitt, -bereich) werden die Arbeitsmittel zusammengefasst, die zur Herstellung einer definierten Gruppe von Teilen, Baugruppen oder Erzeugnissen erforderlich sind.

Unter einem flexiblen Fertigungssystem der Teilefertigung (flexibles Bearbeitungssystem) versteht man die material- und informationsflußtechnische Integration mehrerer Bearbeitungsstationen zu einem automatisierten Gesamtsystem [40,68,88]. Die Integration von Werkzeugmaschine, Handhabungs- und optional Lager- und Prüfeinrichtungen bildet eine Bearbeitungsstation. Ein Abschnitt, in dem alle Werkzeugmaschinen, Werkzeuge und Vorrichtungen zusammengefasst sind, die zur Herstellung eines definierten Teilespektrums erforderlich sind, bildet ein flexibles Bearbeitungssystem. Flexible Fertigungssysteme der Montage (flexible Montagesysteme, Bild 3) und der Teilefertigung weisen eine ähnliche Strukturierung auf [69]. Ein oder mehrere Füge- (z.B. Industrieroboter, NC-Achsen, "Pick and Place"-Geräte), Handhabungs- und optional Prüf- und Lagereinrichtungen bilden eine Montagestation. Die Zusammenfassung mehrerer Montagestationen nach dem Gruppenprinzip unter Hinzunahme von Transport- und Lagereinrichtungen ergeben ein flexibles Montagesystem bzw. -abschnitt.

Die Flexibilität eines flexiblen Montagesystems liegt in der Fähigkeit unterschiedliche Varianten eines Produkts gleichzeitig oder nacheinander fertigen zu können (Variantenflexibilität [41]). Die Flexibilität eines flexiblen Bearbeitungssystems liegt in der Fähigkeit unterschiedliche Produkte gleichzeitig oder nacheinander fertigen zu können (Produktflexibilität [68]).

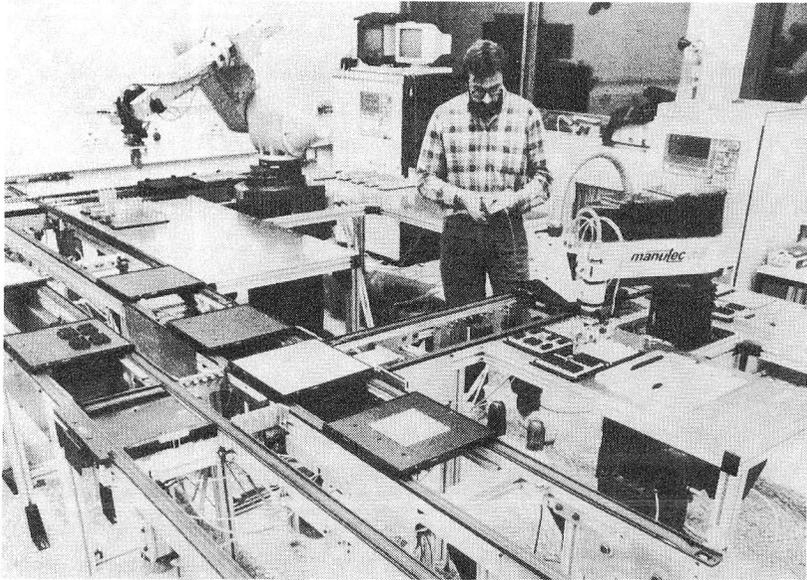


Bild 3: Flexibles Montagesystem mit Industrierobotern

Flexible Fertigungssysteme können neben Fertigungsstationen, die einander hinsichtlich der Arbeitsvorgänge zur Fertigung ergänzen, auch solche enthalten, die einander ersetzen. Aufgrund dieser Eigenschaft sowie der Fähigkeit unterschiedliche Produkte/Produktvarianten fertigen zu können, ergibt sich die Fähigkeit bei einer auftretenden Störung wie dem Ausfall einer Station flexibel reagieren zu können. Eine Reaktionsmöglichkeit liegt in der Verlagerung des auszuführenden Auftrags von der gestörten Station auf eine diese ersetzende Station. Eine andere Reaktionsmöglichkeit liegt im zeitlichen Vorziehen der Bearbeitung von Aufträgen, zu deren Bearbeitung die gestörte Station nicht benötigt wird. Bezüglich weiterer Flexibilitäts-eigenschaften von flexiblen Fertigungssystemen sei auf die Literatur [2,10,68,82] verwiesen. Für die Thematik Materialflußsteuerung sind die bereits genannten ausreichend (Bild 4).

Der Begriff Fertigungssystem läßt sich prinzipiell auf alle Hierarchieebenen des Produktionssystems anwenden. Im weiteren wird daher von flexiblen Fertigungsabschnitten gesprochen.

Flexible Fertigungsabschnitte sind bedingt durch ihre informations- und materialflußtechnische Integration abgeschlossene Systeme mit festen Schnittstellen zu ihrer Umwelt. Für den abschnittsinternen und den abschnittsübergreifenden Materialfluß werden separate Arbeitsmittel eingesetzt. Im Rahmen dieser Arbeit wird die Steuerung des abschnittsübergreifenden Materialflusses behandelt. Ob es sich bei einem flexiblen Fertigungsabschnitt um ein flexibles Fertigungssystem zur Leiterplattenbestückung [43], Kleinschützmontage [46], Rechnerastaturfertigung [13,42], etc. handelt, ist für das Thema abschnittsübergreifende Materialflußsteuerung ohne Belang, da diese Fertigungssysteme alle gleichartige abschnittsübergreifende Materialflußbeziehungen besitzen.

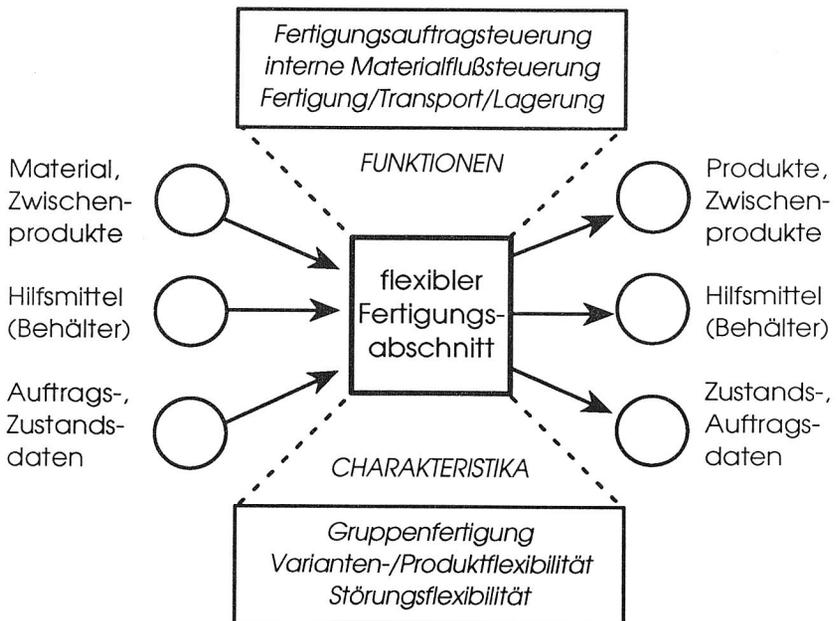


Bild 4: Modell eines flexiblen Fertigungssystems

2.3 Werkstattsteuerung bei flexiblen Fertigungssystemen

Aufgabe der Termin-/Kapazitätsplanung bzw. der Belegungsplanung im Rahmen der Werkstattsteuerung ist, die Fertigungsaufgaben auf die Organisationseinheiten (Station, Abschnitt) zur Fertigung zu verteilen. Dies stellt im allgemeinen ein Reihenfolgeproblem dar. Das entscheidende Merkmal dieses Reihenfolgeproblems ist die technologische Ablaufstruktur (Arbeitsvorgangsfolge, technologische Reihenfolge) und die organisatorische Ablaufstruktur (Auftragsfolge, organisatorische Reihenfolge) des zugrunde liegenden Fertigungsprozesses. Die technologische Reihenfolge determiniert die Folge von Arbeitsvorgängen die zur Herstellung eines bestimmten Produkts durchzuführen sind. Die Festlegung der technologischen Reihenfolge (Arbeitsplan) wird unter Berücksichtigung technologischer Notwendigkeiten durch die Arbeitsplanung vorgenommen. Die organisatorische Reihenfolge determiniert die Reihenfolge, in der eine bestimmte Organisationseinheit von den verschiedenen Aufträgen, d.h. den zu fertigenden Produkten, zeitlich nacheinander belegt wird. Die Auftragsreihenfolge wird unter Einhaltung der vorgegebenen technologischen Reihenfolge und unter Beachtung von weiteren Randbedingungen durch die Termin- und Kapazitätsplanung grob und durch die Belegungsplanung detailliert festgelegt. Zu diesen Randbedingungen sind vor allem die Fähigkeiten und die begrenzte Fertigungskapazität der Organisationseinheiten sowie zu berücksichtigende Transport-, Bereitstellungs-, Rüstzeiten, etc. zu zählen.

Die Ausprägungen der Belegungsplanung für einen flexiblen Fertigungsabschnitt reichen bei einem vorgegebenen Fertigungsprogramm, das grob terminiert ist und dessen einzelne Aufträge auf den Abschnitt als ganzes bezogen sind, von einer komplexen Reihenfolgeoptimierung bis zu einer einfachen Feinterminierung [1,13,20,24,42,46,86]. Bei einer komplexen Reihenfolgeoptimierung wird für das vorgegebene Fertigungsprogramm über die einzelnen Stationen eines Abschnitts unter Gesichtspunkten wie z.B. der Minimierung von Werkzeugrüstzeiten oder der Maximierung der Stationsauslastung eine optimale Auftragsreihenfolge ermittelt. Im Falle einer einfachen Feinterminierung erfolgt keine Reihenfolgeoptimierung, sondern nur eine zeitlich-detailliertere Einplanung des vorgegebenen Fertigungsprogramms auf der Basis der aktuellen Fertigungssituation. Dies kann mit oder ohne räumliche Detaillierung des Fertigungsprogramms auf die einzelnen Stationen eines Abschnitts geschehen. Trotz dieser sehr unterschiedlichen Ausprägungen der Belegungsplanung weisen flexible Fertigungsabschnitte eine einheitliche interne Steuerungsstrategie und Steuerungsstruktur auf. Flexible Fertigungsabschnitte werden nach dem "Schiebe"-Prinzip (der Produzent liefert seine Arbeit an

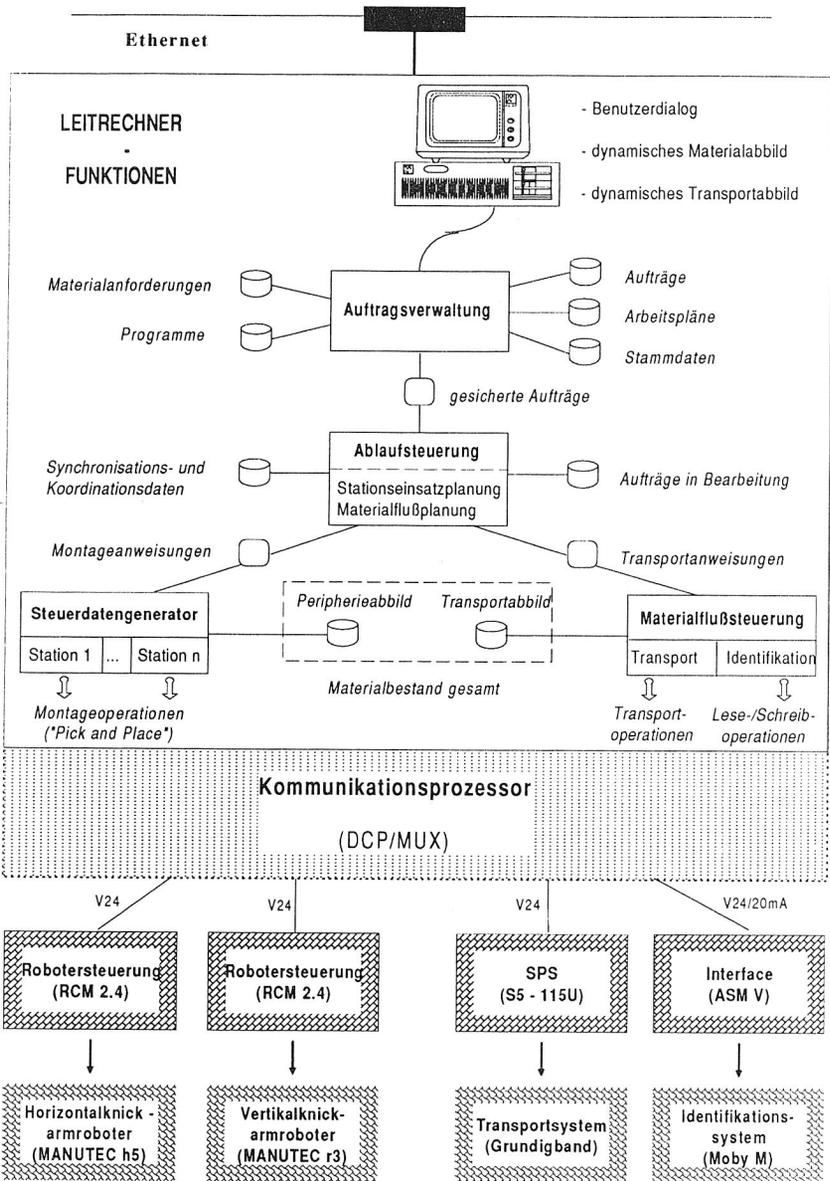


Bild 5: Steuerungsstruktur eines flexiblen Montagesystems mit Industrierobotern [57,87]

den Abnehmer) gesteuert. Das Charakteristikum ihrer Steuerungsstruktur ist das Vorhandensein eines zentralen Leitsystems zur Fertigungsauftragssteuerung - Leitrechner, oftmals auch als Zellenrechner bezeichnet [57] - mit einem unterlagerten Netzwerk von Gerätesteuern und von als Mensch-Maschine-Schnittstelle genutzten Rechnern [1,76,87,94]. Die abschnittsinterne Materialflußsteuerung, die Datenhaltung und die Betriebsdatenerfassung/-verarbeitung können zentralisiert im Leitsystem, verteilt auf das Leitsystem und die unterlagerten Ebenen oder nur verteilt auf die unterlagerten Ebenen realisiert sein. Für flexible Fertigungsabschnitte ist zu deren optimaler Flexibilitätsnutzung notwendig, daß das zentrale Leitsystem des jeweiligen Abschnitts die Entscheidungskompetenz bezüglich der Auftragsreihenfolgebildung und der Auftragsabwicklung innerhalb des vorgegebenen Fertigungsprogramms besitzt [25,34,35,83,102]. Desweiteren ist eine rechtzeitige Kenntnis der auszuführenden Aufträge erforderlich, so daß ausreichend Zeit für Belegungsoptimierungen bleibt [28,39,99,100] bzw. daß beim Auftreten von Störungen Aufträge (über andere Produkte/Produktvarianten) vorhanden sind, auf die im Rahmen der Fertigung ausgewichen werden kann.

In Bild 5 ist als Beispiel die Steuerungsstruktur eines flexiblen Industrieroboter-Montagesystems (Aufbau siehe Bild 3) dargestellt [57, 87]. Das Montagesystem besteht aus zwei Stationen, die durch ein Doppelgurt-Transfersystem miteinander verbunden sind. Bauteile und Produkte werden unter Einsatz einer universell verwendbaren Transportpalette und eines Palettenidentifikationssystems im System befördert. Die Steuerung dieses Montagesystems wurde mittels der drei-stufigen Steuerungshierarchie Leitrechner/Kommunikationsprozessor-/Gerätesteuerung realisiert. Der Leitrechner besitzt die Aufgaben Bedienerkommunikation, Auftragsselektion, Feinplanung, Auftragsfreigabe, Ablaufsteuerung, Steuerdatengenerierung für Industrieroboter/Transportsystem sowie zentrale Datenhaltung für das Montagesystem. Der Kommunikationsprozessor löst die bestehenden Echtzeitanforderungen bei der Datenübertragung zwischen Leitrechner und Gerätesteuern. Die Gerätesteuern führen die per Kommunikationsprozessor übermittelten Montage-/Transportoperationen des Leitrechners aus. Für eine auszuführende Operation werden entweder Parameter für ein lokal in der Gerätesteuerung vorhandenes Programm übermittelt oder das auszuführende Programm selbst.

Zur internen Steuerung eines flexiblen Fertigungsabschnitts werden aufgrund der bei diesem notwendigen zentralistischen Belegungsplanung und Koordination des Fertigungsablaufs Steuerungsstrategien nach dem "Zieh"-Prinzip (der Abnehmer holt seinen Bedarf beim Produzenten) nicht eingesetzt [12,29]. Zur Steuerung der Fertigung über mehrere Abschnitte hin-

gegen schon. Neben der konventionellen Strategie der Produktionssteuerung nach dem "Schiebe"-Prinzip kommt hier auch die Strategie der Produktionssteuerung nach dem "Zieh"-Prinzip in Form der Kanban-Strategie sowie Mischformen beider zur Anwendung [35,38,45,95,96].

In Bild 6 sind mehrere Varianten zur Produktionssteuerung für einen aus mehreren Abschnitten bestehenden, Erzeugnisse fertigenden Bereich einander gegenüber gestellt. Bei der Produktionssteuerung nach dem "Zieh"-Prinzip (verbrauchsorientierte Produktionssteuerung) ergibt sich ein reduzierter Funktionsumfang für ein zentrales PPS-System. Das zentrale PPS-System ist nur noch für die Ermittlung des Beschaffungsprogramms, die Abwicklung der Kundenaufträge und die hierfür notwendige Auftragsveranlassung/-überwachung sowie die zentrale Datenverwaltung zuständig. Die Auslösung der Fertigungsaufträge und die Materialversorgung erfolgt verbrauchsbezogen mittels einer Bestandsüberwachung der Lager. Bestandsführung/-überwachung sowie Auftragsveranlassung/-überwachung werden dezentral oder zentral per Rechner ausgeführt [33].

Bei der Produktionssteuerung gemäß dem "Schiebe"-Prinzip (auftragsorientierte Produktionssteuerung) wird im Rahmen der Produktionsplanung eine Mengenplanung nach dem MRP-Konzept (Manufacturing Resource Planning) vorgenommen [12,38]. Auf der Basis des Produktionsprogramms (Kundenaufträge und/oder Absatzprogramm) wird per Stücklistenauflösung der Bedarf an Rohmaterialien, Bauteilen, Baugruppen und Erzeugnissen ermittelt. Die zu fertigenden Komponenten werden desweiteren terminlich und kapazitätsmäßig eingeplant. Die Ausführung des so festgelegten Fertigungsprogramms und die Materialversorgung wird zentral veranlasst und überwacht. Die vorgenannten Aufgaben werden zentral von einem PPS-System wahrgenommen. Bestände an gefertigten Bauteilen und Baugruppen werden bei dieser Strategie nur durch eine Auftragszusammenfassung und Losgrößenbildung aufgebaut [72]. Zwischen den Fertigungsabschnitten vorhandene Lager für Bauteile oder Baugruppen dienen ausschließlich der zeitlichen Entkopplung der Fertigungsabschnitte.

"Schiebe"-Prinzip und "Zieh"-Prinzip können auf der gleichen Hierarchie-Ebene miteinander gekoppelt sein. Zum Beispiel alle Endmontage-Abschnitte werden auf der Basis der eingehenden Kundenaufträge gesteuert und alle vorgelagerten Abschnitte zur Fertigung von Bauteilen und Baugruppen verbrauchsbezogen. In diesem Fall reduziert sich der notwendige Funktionsumfang eines zentralen PPS-Systems. Mengenplanung, Termin-/Kapazitätsplanung und die Veranlassung und Überwachung des daraus resultierenden Fertigungsprogramms sind nur noch bezogen auf die Endmontage-Abschnitte auszuführen.

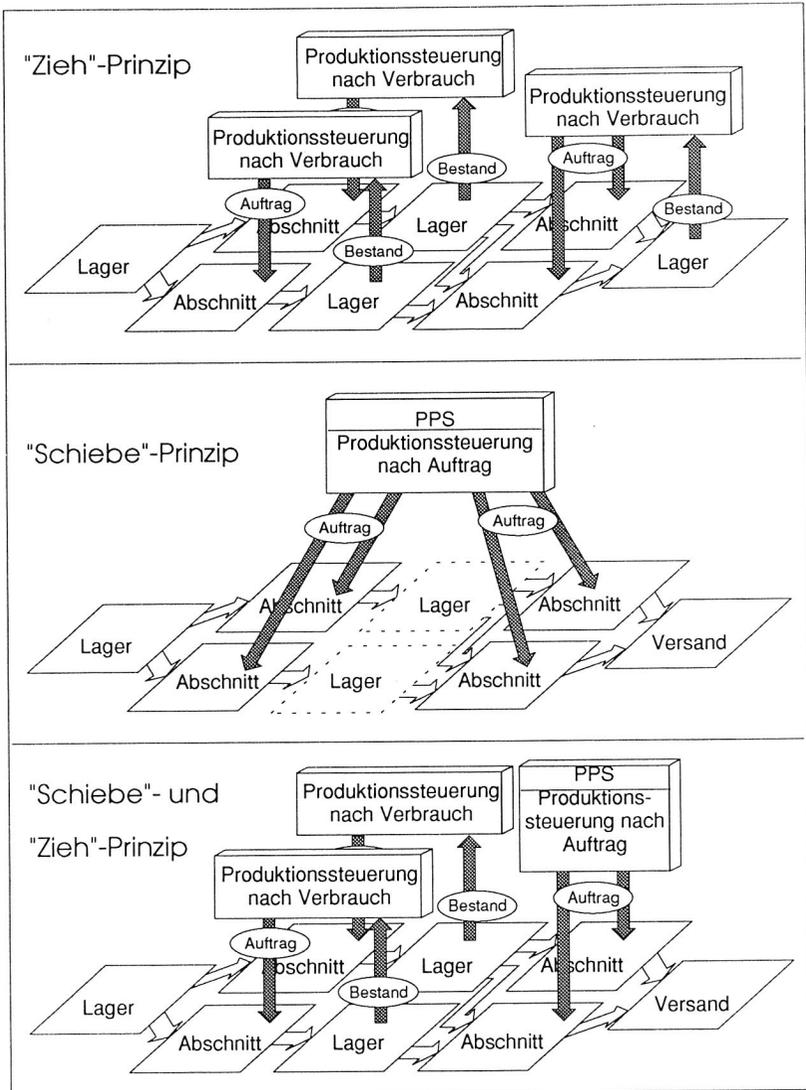


Bild 6: Varianten zur Produktionssteuerung

2.4 Materialflußsteuerung - Stand der Technik

Praxis-Beispiele zur Materialflußsteuerung

Beispiel 1, einen Bereich zur **Rechnertastatur-Fertigung** zeigt Bild 7. Die Tastaturfertigung besteht aus 3 Fertigungsabschnitten. Zentrales Element ist eine automatisierte, flexible Fertigungslinie, in der aus vorproduzierten Elementen (Membranplatte, Tastenknöpfe, Kalotten, etc.) Rechnertastaturen mit einer hohen Variantenzahl gefertigt werden. Die verschiedenen Tastaturelemente werden in den Vorfertigungsabschnitten programmorientiert in hohen Losgrößen gefertigt. Die Rechnertastaturen werden hingegen in der Tastatur-Linie in kleinen Losen gemäß den eingegangenen Kundenaufträgen gefertigt. Die Steuerung des Produktionsablaufs erfolgt nach dem "Schiebe"-Prinzip (Bild 8). Durch das PPS-System werden Fertigungsaufträge (Lose) nach erfolgter Termin- und Kapazitätsplanung den einzelnen Leit-systemen der Abschnitte zur weiteren Bearbeitung übergeben. Desweiteren veranlasst das PPS-System die Bereitstellung des Lagermaterials. Das PPS-System übergibt einem zentralen Lagerverwaltungssystem Aufträge (Materialart, Menge, Termin, Abschnitt) zur Materialversorgung. Diese sind hinsichtlich des Versorgungstermins auf den geplanten Bearbeitungsbeginn der Fertigungsauftragslose bezogen und hinsichtlich der Versorgungsmenge auf die Bedarfsmenge an Material der einzelnen Fertigungsauftragslose (auftragslosorientierte Versorgung). Die Aufträge zur Materialversorgung werden einmalig an das Lagerverwaltungssystem übergeben und sind damit nicht mehr veränderbar. Vom Lagerverwaltungssystem werden Auslagerungsauftragslisten, anhand derer das Lagerpersonal Kommissionierung und Auslagerung vornimmt, ausgedruckt. Ausgeführte Auslagerungsaufträge werden vom Lagerpersonal

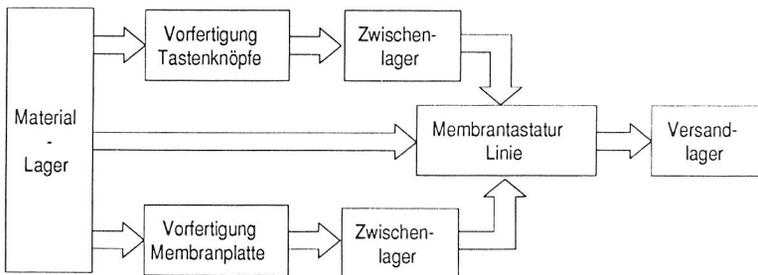


Bild 7: Materialfluß-Schema: Rechnertastatur-Fertigung (Beispiel 1)

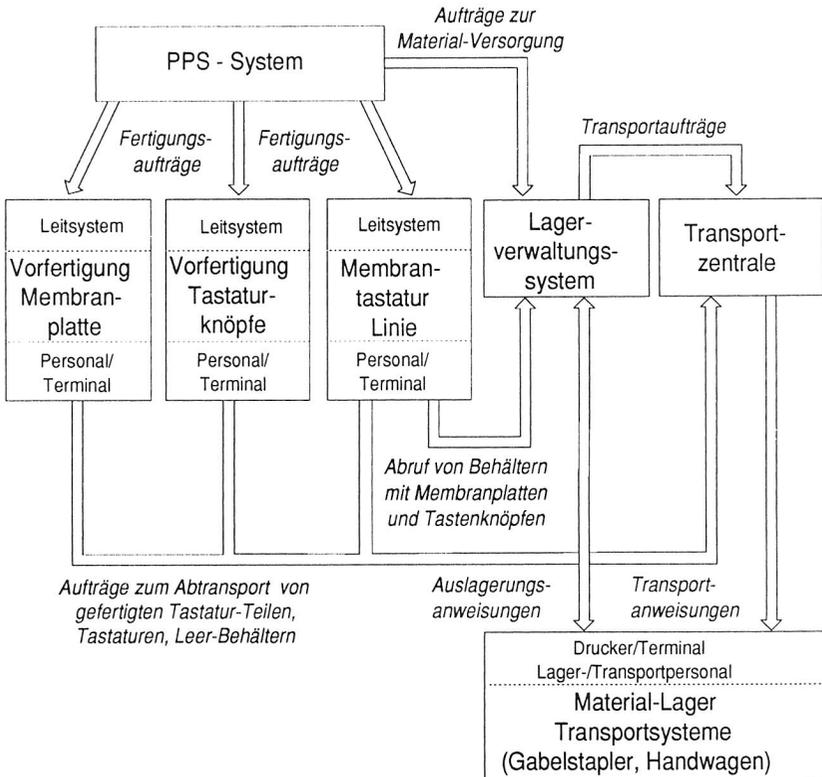


Bild 8: Materialflußrelevanter Informationsfluß: Rechner-tastatur-Fertigung (Beispiel 1)

per Terminaleingabe quittiert, quitierte Aufträge sodann als Transportaufträge an eine Transportzentrale weitergeleitet und dem Transportpersonal per Terminal angezeigt. Die Disposition der Transportaufträge und der Transport selbst erfolgt durch das Transportpersonal. Zur Eingabe von Abholaufträgen für gefertigte Produkte, leere Behälter, etc. sowie zur Eingabe von Versorgungsaufträgen mit gefertigten Teilen aus den Zwischenpuffern werden vom Personal vorhandene Bedien-/Überwachungs-Terminal genutzt. Versorgungsaufträge werden dann eingegeben, wenn einer der Behälter leer wird (bestandsorientierte Versorgung).

Beispiel 2, einen Bereich zur **Flachbaugruppenfertigung** zeigt Bild 9. Dieser Bereich besteht aus einem Lager und einem Fertigungsabschnitt zur flexiblen Flachbaugruppenfertigung.

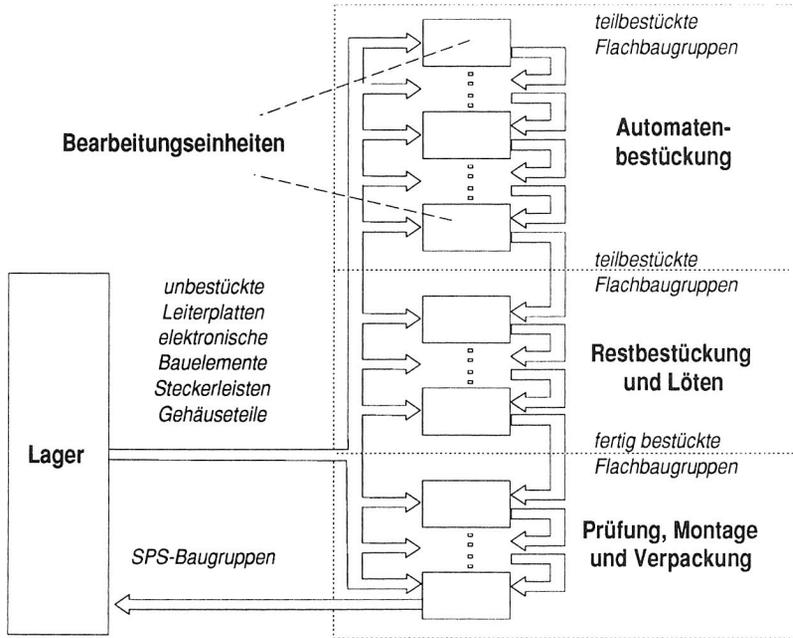


Bild 9: Materialfluß-Schema der Flachbaugruppen-Fertigung (Beispiel 2)

In diesem Abschnitt werden Baugruppen für speicherprogrammierbare Steuerungen in hoher Varianz (ca. 100 Typen) bei mittlerer Losgröße (50-500 Stück je Auftrag) gefertigt. Die Bearbeitungseinheiten sind durch ein fahrerloses Transportsystem flexibel verkettet. Die Flachbaugruppen werden in Gestalt von flexiblen Kassetten durch den Produktionsprozeß geschleust. Bild 10 zeigt die in Bezug auf den Materialfluß relevanten Informationsflüsse in der Flachbaugruppenfertigung. Bei Unterschreitung definierter Bestandsgrenzen oder bei vorliegen spezieller Kundenaufträge werden vom PPS-System Fertigungsaufträge an das zentrale Leitsystem der Flachbaugruppenfertigung erteilt. Das Leitsystem ordnet Kassetten mit unbestückten Leiterplatten (identifiziert durch Barcode-Schild) und Fertigungsaufträge einander zu. Das Leitsystem legt die Bearbeitungsreihenfolge der Kassetten unter dem Gesichtspunkt minimaler Durchlaufzeiten fest. Desweiteren erzeugt das Leitsystem Transportaufträge für die einzelnen Kassetten. Die Versorgung mit Leiterplatten, elektronischen Bauelementen, etc. erfolgt bestandsorientiert. Pro an einer Bearbeitungseinheit benötigtem Materialtyp sind jeweils mehrere volle Behälter als Mindestbestand definiert. Jeder zur Materialversorgung eingesetzte Behälter

ist mit einer Barcode-Karte versehen. Die Materialbereitstellung an den Bearbeitungseinheiten selbst wird vom eingesetzten Bedien- und Überwachungspersonal aus diesen Behältern vorgenommen (z.B. das Einsetzen von Bauelemente-Gurtmagazinen an den Bestückautomaten). Wird ein Behälter leer, so teilt das Personal dem zentralen Lagerverwaltungssystem eine Materialanforderung durch Scannen der Barcode-Karte (Informationen: Materialart, Menge) mit. Nach Zusammenstellung des angeforderten Materials in einem Behälter im Lager wird dem Transportleitsystem ein Auftrag übermittelt. Der Behälter wird vollautomatisch von einem FTS-Fahrzeug in festgelegte Regale in der Nähe der Bearbeitungseinheiten gebracht.

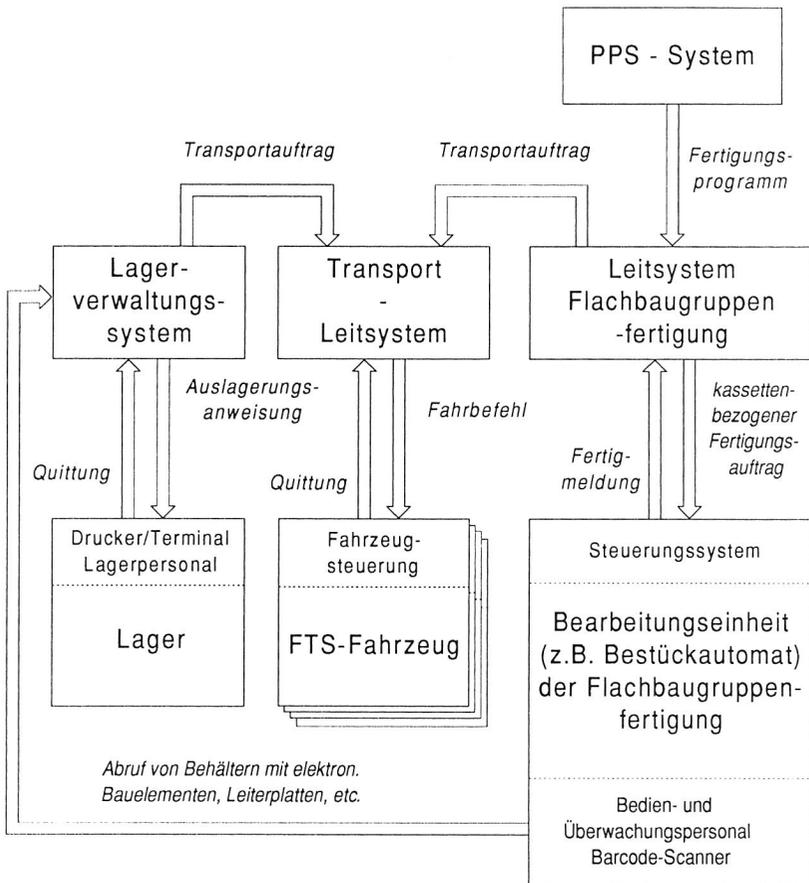


Bild 10: Materialflußrelevanter Informationsfluß: Flachbaugruppen-Fertigung (Beispiel 2)

Wie aus den vorhergehenden Beispielen zu ersehen ist, erfolgt die Steuerung des abschnittsübergreifenden Materialflusses einerseits bestandsorientiert durch das Bedienpersonal eines Fertigungsabschnitts mit Hilfsmitteln wie BDE-Terminal und Barcode-Scanner und andererseits auftragsorientiert durch PPS-Systeme. Auch eine direkte Bestandsüberwachung bzw. Feststellung der Unterschreitung einer Bestandsgrenze per Sensorik (z.B. ein induktiver Näherungsschalter mit dem ein minimaler Füllstand einer Staustrecke überwacht wird) mit anschließender Übermittlung eines vordefinierten Bereitstellungsauftrags wird angewandt.

Die Notwendigkeit eines Systems zur Materialflußsteuerung

Zur Produktionssteuerung auf der Fertigungsbereichsebene gelangt sowohl das "Schiebe" - Prinzip (auftragsorientierte Steuerung) als auch das "Zieh" - Prinzip (verbrauchsorientierte Steuerung) zum Einsatz. Die wesentlichen, eingesetzten Varianten der Materialflußsteuerung werden im weiteren getrennt nach auftrags- und verbrauchsorientierter Produktionsteuerung dargestellt und in Bezug auf ihren Einsatz für flexible Fertigungssysteme diskutiert.

Beginnen wird mit der Materialflußsteuerung bei **auftragsgesteuerter Produktionssteuerung**. Die Bereitstellung von Fremdmaterial (Fremdfertigungsteilen) wird zentral von einem PPS-System in Gestalt einer fertigungsprogrammbezogenen Vorausplanung (Beispiel 1) und/oder dezentral vom Bedienpersonal eines Abschnitts in Form einer behälterorientierten Bestandsüberwachung (Beispiel 2) vorgenommen. Die Veranlassung der Materialbereitstellung durch ein PPS-System geschieht auf der Grundlage des terminierten Fertigungsprogramms [12,29,38]. Hierbei werden per Stücklistenauflösung die Materialbedarfe bezogen auf den Termin und die Menge der einzelnen Auftragslose des Fertigungsprogramms bestimmt und einem im allgemeinen zentralen Lagerverwaltungssystem zur Veranlassung der Auslagerung und des Transports übergeben (Beispiel 1).

Die Problematik dieser Vorgehensweise liegt einerseits in der PPS-Systemen eigenen Betrachtung von Fertigungsauftragslosen und andererseits in der Aufgaben-Zentralisation in PPS-Systemen [3,16,62,75]. Für den geplanten Startzeitpunkt eines Fertigungsauftragsloses wird die Bereitstellung der gesamten Materialmenge veranlasst, die für dieses Auftragslos erforderlich ist. Dies ist aus Sicht des PPS-Systems (logisch-konsistenter Ablauf) notwendig um einen gesicherten Fertigungsablauf zu erreichen, führt aber je nach Losgröße zu hohen notwendigen Pufferkapazitäten der einzelnen Fertigungsabschnitte. PPS-Systeme weisen aufgrund der in ihnen zentralisierten Aufgaben träge Planungs- und Steuerungsabläufe auf [12,24,38,102].

Desweiteren bilden sie mit ihrer Umwelt keinen geschlossenen Regelkreis - teilweise aufgrund der mangelnden Reaktionsschnelligkeit und teilweise aufgrund ihrer Konzeption (reine Steuerung, keine Regelung)[12,34]. Eine Reaktion auf kurzfristig auftretende Störungen und Planabweichungen ist daher nicht möglich. Insbesondere erfolgt bei Terminverschiebungen von Fertigungsaufträgen wegen des hohen Aufwandes bei der Stücklistenauflösung keine Korrektur einer einmal erfolgten Planung der Materialbereitstellung. Die fehlende Reaktion auf kurzfristig auftretende Störungen und Planungsabweichungen führt zur Materialbereitstellung zum falschen Zeitpunkt (zu früh) und damit zum Auftreten von Überbeständen [100]. Das Auftreten von Überbeständen muß bei der Anlagenplanung durch eine ausreichende Dimensionierung der Pufferkapazität eines Abschnitts berücksichtigt werden, damit es bei Anlagenbetrieb nicht zu Fertigungsstörungen aufgrund von belegten Pufferkapazitäten kommt.

Um eine Materialbereitstellung zum richtigen Zeitpunkt zu erreichen bzw. um die notwendigen Pufferkapazitäten der Abschnitte gering zu halten, ist daher eine dezentrale, prozeßnahe Steuerung der Versorgung der Abschnitte notwendig. Die Versorgungssteuerung sollte hierbei angepasst an die konkreten Belange eines flexiblen Fertigungsabschnitts sein, d.h. die Versorgung sollte je nach Teileart fertigungsauftragsbezogen oder verbrauchsbezogen durchgeführt werden. Zum Beispiel können die zur Fertigung eines Produkts benötigten Standard- und Normteile verbrauchsbezogen und die notwendigen Variantenteile fertigungsauftragsbezogen bereitgestellt werden. Für flexible Fertigungssysteme ist eine auftragsbezogene Versorgung für Variantenteile in hohem Maße sinnvoll, denn einerseits sollen in einem flexiblen Fertigungsabschnitt zumeist eine mehr oder minder große Anzahl verschiedener Produkte bzw. Produktvarianten gefertigt werden, andererseits sollen die abschnittsinternen Puffer zur Aufwands- und Kostenminimierung möglichst klein konzipiert werden. Stehen nur kleine Puffer zur Verfügung, so ist es kaum möglich, sämtliche Einzelteile der verschiedenen Produktvarianten so vorrätig zu halten, daß sie bei Bedarf in ausreichender Menge zur Verfügung stehen. Außerdem bedingt eine hohe Variantenvielfalt das Risiko von Überbeständen, weshalb die Versorgung auf den tatsächlichen Fertigungsbedarf, d.h. auftragsbezogene Ermittlung über Objekt, Ort, Menge und Termin, auszurichten ist [23]. Der tatsächliche Fertigungsbedarf sollte daher auf der Basis der Ergebnisse der Belegungsplanung, die dezentral von den Leitsystemen der einzelnen Abschnitte ausgeführt wird, geplant bzw. ermittelt werden. Die Nutzung der Ergebnisse der Belegungsplanung - an Stationen eingeplante Arbeitsvorgänge eines Fertigungsauftrages - zur Terminierung der Materialbereitstellung ermöglichen eine terminlich detailliert abgestufte Bereitstellung und senken damit die in einem Abschnitt vorzusehenden

Pufferkapazitäten. Eine termingenaue Versorgung flexibler Fertigungsabschnitte und damit eine minimale Pufferkapazität für diese wird desweiteren noch erreicht, wenn die Versorgungssteuerung auf den tatsächlich zwischen den Lagern und Abschnitten beförderten, einzelnen Flußobjekten basiert. Ein derartiges Flußobjekt ist z.B. eine aus einem Transportbehälter und einer Anzahl von Transportgütern bestehende räumlich-mengenmäßige Einheit. Solche Einheiten werden im weiteren als Materialflußeinheiten bezeichnet. Wird die Materialversorgung auf der Grundlage von einzelnen gemäß dem Fertigungsbedarf notwendigen Materialflußeinheiten geplant und veranlasst, so erreicht man eine sehr termingenaue Versorgung, wodurch wiederum die für einen Abschnitt vorzusehenden Pufferkapazitäten klein gehalten werden können. Diese arbeitsvorgangs- und materialflußeinheitenbezogene Versorgungsplanung sollte je nach Materialtyp, Bedarfsort und den Gegebenheiten eines Fertigungsabschnitts entweder bezogen auf einen im Rahmen der Belegungsplanung eingeplanten Einzelauftrag oder gemeinsam über mehrere innerhalb eines Planungszeitraums eingeplante Fertigungsaufträge ausgeführt werden.

Um einen ordnungsgemäßen Fertigungsablauf zu gewährleisten, sind bei der Bedarfsplanung einerseits alle Restriktionen zu berücksichtigen, die hinsichtlich des Aufbaus (einzusetzende Magazinpalette, Montagebausatz) und der Inhaltsmenge (Behälterkapazität) der an einer Station bereitzustellenden Materialflußeinheiten bestehen, und andererseits alle Möglichkeiten, die hinsichtlich der Materialzusammenfassung für die Stationen eines Fertigungsabschnitts bestehen. Damit wird erreicht, daß die informationell gebildete Materialflußeinheit sich auch in der gewünschten Weise bilden läßt und daß die Kapazitäten der eingesetzten Behälter optimal genutzt werden. Mit dem Einsatz geeigneter Planungsstrategien ist desweiteren eine effiziente Reaktion auf eintretende Planungsabweichungen und Störungen zu gewährleisten.

Die Versorgung der Fertigungsabschnitte mit benötigten Leerbehältern z.B. zur Aufnahme der gefertigten Produkte wird im allgemeinen bestandsgesteuert vom Bedienpersonal veranlasst. Die Entsorgung von im Abschnitt entleerten und nicht mehr benötigten Behältern löst das Bedienpersonal ereignisbezogen aus. Die Übermittlung der entsprechenden Aufträge geschieht per Terminalanbindung an ein zentrales Lagerverwaltungssystem bzw. an einen zentralen Transport-Leitstand. In einigen Fällen wird das Vorhandensein zu entsorgender Behälter oder die Unterschreitung einer Bestandsgrenze für benötigte Behälter auch über induktive Näherungsschalter erfasst und daraufhin Liefer- oder Abholaufträge erteilt. Die Quellen und Senken der Leerbehälter sind zumeist statisch festgelegt. Eine Verteilung der Leerbehälter gemäß der aktuellen Bedarfssituation im Fertigungsbereich unterbleibt aus Aufwandsgründen bzw. weil

Spezial-Behälter eingesetzt werden, die nicht für unterschiedliche Teile verwendbar sind. Prinzipiell erlaubt eine bedarfsorientierte Behälter-Versorgung gegenüber einer bestandsorientierten das Vorsehen kleinerer Pufferkapazitäten für einen Fertigungsabschnitt.

Die Veranlassung des Flusses von Zwischenprodukten von Abschnitt zu Abschnitt wird zentral von einem PPS-System vorgenommen. Auf der PPS-Ebene ist jedes Zwischenprodukt Bestandteil des zugehörigen, höherwertigen Endprodukts. Bei der Veranlassung der Materialbereitstellung durch das PPS-System für Aufträge über das Endprodukt wird das Zwischenprodukt analog einer Bedarfsposition über Fremdmaterial behandelt. Auf der Materialfluß-Ebene werden die in einem Abschnitt gefertigten Zwischenprodukte entweder zu einem Zentrallager befördert oder zu einem Pufferlager, das dem die gefertigten Zwischenprodukte benötigenden Abschnitt vorgelagert ist. Die jeweilige Vorgehensweise kann generell festgelegt sein oder je nach aktueller Situation vom Bedienpersonal eines Abschnitts frei bestimmt werden.

Im allgemeinen veranlasst ein Anlagenbediener den Transport der in einem Abschnitt gefertigten Zwischenprodukte von diesem Abschnitt zum Nachfolger-Abschnitt ohne Berücksichtigung der aktuellen Fertigungssituation im Nachfolger-Abschnitt. Eine Synchronisation des Zwischenprodukt-Flusses in dem Sinne, daß z.B. bei Terminverschiebungen der Fertigungsaufträge im Nachfolger-Abschnitt eine rechnergeführte fallweise Pufferung der Zwischenprodukte in einem Lager vorgenommen wird, ist nicht gegeben. Auftretende Problemsituationen werden vom Bedienpersonal gelöst. Durch den steigenden Einsatz fahrerloser Transportsysteme sowie die zunehmende Automatisierung der Handlingvorgänge beim Materialtransport und durch die mit beiden verbundene Reduzierung des Bedienpersonaleinsatzes sind in hohem Maße Strategien zur rechnergeführten Flußkoordination bei auftretenden Planabweichungen erforderlich [63]. Zur adäquaten Koordination des Zwischenprodukt-Flusses hinsichtlich der Bestimmungs-orte gefertigter Zwischenprodukte und der Fertigungssituation in den einzelnen Abschnitten ist eine dezentrale Instanz zur Steuerung des Zwischenprodukt-Flusses zu fordern.

Bei **verbrauchsorientierter Produktionssteuerung** ist die gängige Materialbereitstellungsmethode der behälterweise Abruf von benötigtem Fremdmaterial und Zwischenprodukten durch Bedienpersonal, das die Bestände überwacht. Mittels Terminal und Barcode-Scanner wird eine datentechnische Verbindung zum zuständigen Lager geschaffen, das die Auslagerung und den Transport des benötigten Materials veranlasst. Die übermittelten Informationen sind der Bedarfsort, der benötigte Material-Typ und die erforderliche Materialmenge sowie der

einzusetzende Behälter. Bezüglich der Ver-/Entsorgungsweise von Leerbehältern besteht bei auftrags- und verbrauchsorientierter Produktionssteuerung kein Unterschied. Die bereits bei auftragsorientierter Produktionssteuerung unter dem Aspekt der Reduzierung der Pufferkapazitäten eines Abschnitts formulierten Anforderungen an die Materialversorgung flexibler Fertigungsabschnitte gelten auch bei verbrauchsorientierter Produktionssteuerung.

Die in der betrieblichen Realität eingesetzten Methoden zur Materialflußsteuerung wurden im vorstehenden diskutiert und der Bedarf an einem Informationssystem zur abschnittsübergreifenden Materialflußsteuerung, das auf der Basis der lokal in einem Abschnitt erfolgten Belegungsplanung Flußaufträge generiert, veranlasst und überwacht, abgeleitet. Die Anforderungen an ein solches Informationssystem sind weitgehend unabhängig davon, ob die Produktionssteuerung auftrags- oder verbrauchsgesteuert ist. Ein Unterschied besteht lediglich in der Steuerung des Zwischenprodukt-Flusses. Bei auftragsorientierter Produktionssteuerung sind in einem Abschnitt gefertigte Zwischenprodukte unter eventueller Nutzung eines Zwischenpuffers auf ein oder mehrere Abschnitte gemäß den diesen Abschnitten zugeteilten Fertigungsaufträgen zu verteilen. Bei verbrauchsorientierter Produktionssteuerung können benötigte Zwischenprodukte analog zu Fremdmaterial verbrauchs- oder fertigungsauftragsbezogen aus vorgelagerten Lagern abgerufen werden. Der notwendige Funktionsumfang eines Materialflußsteuerungssystems bei verbrauchsorientierter Produktionssteuerung ist eine Teilmenge des Funktionsumfangs eines Materialflußsteuerungssystems bei auftragsorientierter.

Software-Systeme zur Materialflußsteuerung

Materialflußsteuerungssysteme, die den gestellten Anforderungen genügen, d.h. die von der arbeitsvorgangs- und materialflußeinheitenbezogenen Planung der Ver-/Entsorgung flexibler Fertigungsabschnitte mit/von Fremdmaterial/Zwischenprodukten und Behältern bis zur Veranlassung und Überwachung der hierzu notwendigen Transport-/Lageraufträge reichen, fehlen.

Standard-Softwaresysteme zur Produktionsplanung und -steuerung weisen keine Funktionen zur geforderten arbeitsvorgangs- und materialflußeinheitenbezogenen Versorgungsplanung auf. Die Module zur Bereitstellungsplanung solcher Systeme erzeugen auf einzelne Fertigungsaufträge bezogene Auslagerungsaufträge bzw. Materialbelege [12,30,45].

Für manuelle und automatische Lager sind Standard-Softwaresysteme zur Lagerverwaltung und -steuerung eingesetzt. Die üblichen Module solcher Systeme sind Lagerauftragsverwal-

tung, Lagerbestandsführung, Lagerortsdisposition und Fahrbefehlgenerierung für Regalförderzeuge zur Einlagerung, Umlagerung sowie Kommissionierung von Gütern [7,11,31,50,53,80]. Die wesentlichen für die Materialflußsteuerung relevanten Schnittstellen sind der Einlagerungsauftrag und der Auslagerungs- bzw. Kommissionierauftrag sowie die Rückmeldung des Vollzugs dieser Aufträge. Im Kommissionierbereich wird bisher überwiegend mit manuellen oder teilautomatisierten Systemen gearbeitet, wobei das Greifen der zu entnehmenden Teile manuell erfolgt. Durch Einsatz automatisierter Förder- und Lagersysteme reduziert man die Wegezeiten beim Kommissionieren. Die Teile eines Auftrags werden bei flexiblen Fertigungsabschnitten im allgemeinen sortenrein in einen Behälter abgelegt. Für einen bestimmten Auftrag können z.B. mehrere Behälter mit unterschiedlichen Inhalten vom Kommissionierer unter Verwendung einer Palette zu einer Materialflußeinheit zusammengefasst werden, die dann geschlossen zum Bestimmungsort eines Auftrags befördert wird. Als Kommissionierhilfe werden dem Kommissionierer die für die einzelnen Teile-Typen jeweils zu verwendenden Behälter-Typen über Terminal oder über den ausgedruckten Kommissionierauftrag zur Verfügung gestellt [11]. Der Aufbau einer Materialflußeinheit wird hierbei nicht explizit vorher ermittelt, sondern ergibt sich durch die Ausführung der Kommissionierung. Die Auftragszusammengehörigkeit von Teilen und die maximalen Behälterkapazitäten werden vom Kommissionierer berücksichtigt. Zur Kommissionierung bei einheitlichem Sortiment, z.B. Teilen einheitlicher Größe, setzen sich immer mehr Kommissionierautomaten durch. Die zu entnehmenden Teile lagern hier sortenrein in Magazinschächten und werden auftragsgesteuert in umlaufende Behälter ausgeworfen [6,17,50]. Eine geordnete Bereitstellung von Teilen wird durch Kommissionierautomaten nicht realisiert. Diese erfolgt manuell und in einigen Fällen auch durch Industrieroboter. Per Industrieroboter werden Paletten nach einem rechnerintern abgelegten Abbild mit Teilen bestückt [8]. Derartige Systeme werden zumeist dezentral in den einzelnen Fertigungsabschnitten eingesetzt. Industrieroboterkommissioniersysteme werden überwiegend in Warenverteilsystemen eingesetzt [51,59]. Die Art und Weise in der ein Auftrag automatisch kommissioniert wird, ist in hohem Maße von der eingesetzten technischen Anlage abhängig. Eine unmittelbare Übertragung dieser Kommissionierstrategien für die materialflußeinheitenbezogene Versorgungsplanung zur Materialflußsteuerung ist daher nicht möglich.

Die Leitsysteme der einzelnen Abschnitte sind - insbesondere bei flexiblen Montagesystemen - überwiegend Individual-Softwaresysteme, die speziell für ein bestimmtes Montagesystem realisiert wurden. Bei flexiblen Bearbeitungssystemen werden auch Standard-Softwaresysteme in Form von Fertigungsleitständen/-systemen eingesetzt [37,66,84]. Die eingesetzten Softwa-

resysteme umfassen Module zur Belegungsplanung (Auftragsfeinplanung), zur Ablaufsteuerung, zur abschnittsinternen Materialflußsteuerung und zur Verwaltung von Fertigungsdaten (Arbeitspläne, NC-/RC-Programme, Auftragszustände, Orts-, Zustands- und Bestandsinformationen über Werkzeuge, etc.) [41,56,64,76]. Die abschnittsinterne Materialflußsteuerung betrifft die Erzeugung der Transportaufträge für alle zwischen den Stationen und Puffern eines Abschnitts zu bewegenden Flußobjekten (Werkstück, Werkstückträger, Werkzeug, etc.) [71]. Nach außen gerichtete Funktionen zur Planung, Veranlassung und Überwachung der Versorgung basierend auf einzelnen, zu befördernden Materialflußeinheiten fehlen.

Stand der Forschung

Im universitären Bereich liegt der Schwerpunkt bisheriger Arbeiten auf der internen Steuerung flexibler Fertigungssysteme (Abschnitte) [32,54,60,70,76]. GROHA [32] stellt das Konzept eines universellen Fertigungszellenrechners vor. Im Rahmen dessen stellt er Anforderungen an eine Schnittstelle zu einem übergeordneten Materialflußsteuerungssystem.

BECKER [9] entwirft ein Pflichtenheft für ein EDV-Konzept zur Materialflußsteuerung von Fließfertigungen hoher Fertigungstiefe. Der Schwerpunkt der Betrachtungen liegt auf der Produktionssteuerung unter Einsatz dispositiver Zwischenlager. Die Materialbereitstellung wird hierbei konventionell durch ein PPS-System veranlasst.

SCHMITZ-MERTENS [83] fordert in seiner Arbeit eine Dezentralisierung von Entscheidungskompetenzen vom PPS-System auf das Leitsystem flexibler Fertigungssysteme. Unter anderem wird auch eine Dezentralisierung der Bereitstellungsplanung gefordert. Neue Konzeptionen für diese werden jedoch nicht vorgestellt.

KONZ [61] stellt ein Montageleitsystem vor, das einen auftragsbezogenen Materialabruf für eingeplante Fertigungsaufträge beinhaltet. Der Materialabruf erfolgt komplett über alle Bedarfspositionen des Auftrags. Aspekte wie eine Untergliederung des Abrufs in mehrere Teilabrufe gemäß den Ausführungsterminen der Arbeitsvorgänge oder eine Bedarfszusammenfassung auf der Basis von Materialflußeinheiten, etc. werden nicht betrachtet.

Im Rahmen eines Sonderforschungsbereiches an der Universität Stuttgart [90] wurde für die Serienmontage ein Montagesteuerungsverfahren mit simultaner Mengen- und Terminplanung entwickelt. Zur Minimierung der Liegezeiten und Bestände wird hierbei im zentralen Verfah-

renspunkt bestandsoptimale Sekundärbedarfsermittlung die Auftragsmenge jeweils auf die Kapazität der eingesetzten Transportbehälter aufgerundet. Eine allgemeingültige, variable Bedarfszusammenfassung gemäß Bedarfsort, Bedarfstermin und/oder beliebig definierbaren Materialflußeinheiten findet nicht statt. Die fehlende Einbindung lokaler Leitsysteme läßt nur teilweise eine Übertragung des Konzepts auf die Materialversorgung flexibler Fertigungssysteme zu.

Zur Aufdeckung von Fehlmengen, die aufgrund von Ausschuß oder inkonsistenter PPS-Vorgaben entstehen können, schlägt SCHLECHTRIEM [81] eine Mengendifferenzanalyse zwischen Fertigungsaufträgen und Beständen an Zwischenprodukten vor. Die Analyse erfolgt einmal pro Nacht über ein in ein PPS-System eingebundenes Analyseprogramm und liefert Korrekturhinweise zur manuellen Verarbeitung im Rahmen der Disposition. Das vorgeschlagene Verfahren ist beschränkt auf Zwischenprodukte und läßt Terminverzüge im Transport-/Lagerbereich und Auftragsreihenfolgeoptimierungen durch lokale Leitsysteme außer Betracht.

MANNCHEN [87] stellt ein Verfahren zur rechnergeführten Bildung von Ladeeinheiten für Versandbereiche vor, das allerdings wegen der angenommenen Voraussetzung beliebiger Freiheitsgrade hinsichtlich des Ladeeinheitenaufbaus nicht auf die Bildung von Materialflußeinheiten zur Versorgung flexibler Fertigungsabschnitte übertragbar ist.

Als Resumee ist festzuhalten, daß bisherige Arbeiten nur Randbereiche der abschnittsübergreifenden Materialflußsteuerung bei flexiblen Fertigungssystemen berühren. Insbesondere sind keine integrierten Konzepte zur arbeitsvorgangs- und materialflußeinheitenbezogenen Materialflußsteuerung auf der Basis von dezentral erfolgten Belegungsplanungen vorhanden. Gegenstand dieser Arbeit ist die Konzipierung eines Informationssystems für eine derartige, rechnergeführte Materialflußsteuerung hinsichtlich der notwendigen Funktionen, Verfahren, Daten und Abläufe. Wesentliche Aspekte sind hierbei die Integration der Teilaufgaben der Materialflußsteuerung zu einem geschlossenen Ganzen und die Integration der Materialflußsteuerung in das betriebliche Umfeld (lokale Belegungsplanungssysteme, Transport- und Lagersysteme).

3 Informationssystem zur Materialflußsteuerung

Die Konzipierung des Informationssystems zur Materialflußsteuerung wurde auf der Basis einer bestimmten systemtechnischen Methodik vorgenommen. Die wesentlichen Elemente dieser werden im nächsten Abschnitt dargestellt. Im weiteren werden die Anforderungen, die an das Informationssystem unter dem Aspekt der Integration und der Prozeßnähe bestehen, diskutiert und daraus ein funktionslogisches Modell für das Informationssystem abgeleitet.

3.1 Hilfsmittel der Informatik zur Systemplanung

Im Rahmen der Systemplanung gilt es sowohl die Umwelt des zu gestaltenden Systems als auch das entworfene System selbst hinsichtlich ihrer Aufbaustruktur, d.h. der bestehenden Ordnungsbeziehungen, und Ablaufstruktur, d.h. der bestehenden Flußbeziehungen, zu beschreiben [14,74,77,79]. Die Beschreibung der Ordnungsbeziehungen erfolgt in dieser Arbeit mittels eines relationalen Datenmodells. Die Beschreibung der Flußbeziehungen geschieht mittels hierarchischer, auf Petrinetzen basierender Netze.

Relationales Datenmodell [15,48]

Im Mittelpunkt der Datenmodellierung stehen die Objekte des betrachteten Systems, ihre Eigenschaften sowie ihre Beziehungen zu anderen Objekten. Die Objekte werden beschrieben durch ihre Eigenschaften, auch Attribute genannt. Eine Beziehung bzw. Relation stellt einen Zusammenhang zwischen zwei oder mehreren Objekten dar. Mit diesen Relationen werden die Ordnungsbeziehungen des Systems erfaßt. Im folgenden werden die im Relationenmodell gebräuchlichen und in dieser Arbeit benötigten Begriffe eingeführt. Seien A_1, A_2, \dots, A_n die Namen von Mengen, $W(A_1), W(A_2), \dots, W(A_n)$ (mit $W(A_i) = \{ a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ij}, \dots \}$) die zugehörigen Wertebereiche. Eine Relation R ist dann als Untermenge des Kartesischen Produktes der Wertebereiche dieser Mengen zu verstehen. Eine Relation R kann als Tabelle mit n Spalten dargestellt werden. Eine Zeile wird Tupel genannt. Die Namen von Mengen A_i heißen in relationaler Terminologie auch Attribute und die $a_{ij} \in A_i$ heißen Attributwerte, Attributausprägungen oder Einträge. Attribute, die ein Tupel eindeutig identifizieren, heißen Primärschlüssel und werden durch Unterstreichen kenntlich gemacht. Die im Text verwendete Klammernotation dient zur Darstellung der Relationen auch ohne Aufzählung von einzelnen Tupeln:

Relationenname (Primärschlüssel, weitere Attribute)

Petrinetze [49,78,97,104]

Als Petrinetze soll die Klasse der Kanal/Instanzen-Netze eingesetzt werden. Diese zeigen aus welchen Komponenten ein System aufgebaut ist und zwischen welchen Komponenten wie geartete Flußbeziehungen bestehen. Im folgenden werden die Grundlagen der Kanal/Instanzen-Netze kurz erläutert. Bild 11 zeigt eine grobe Darstellung des Funktionssystems Unternehmen als Kanal/Instanzen-Netz unter dem Aspekt der für die Produktionsausführung relevanten

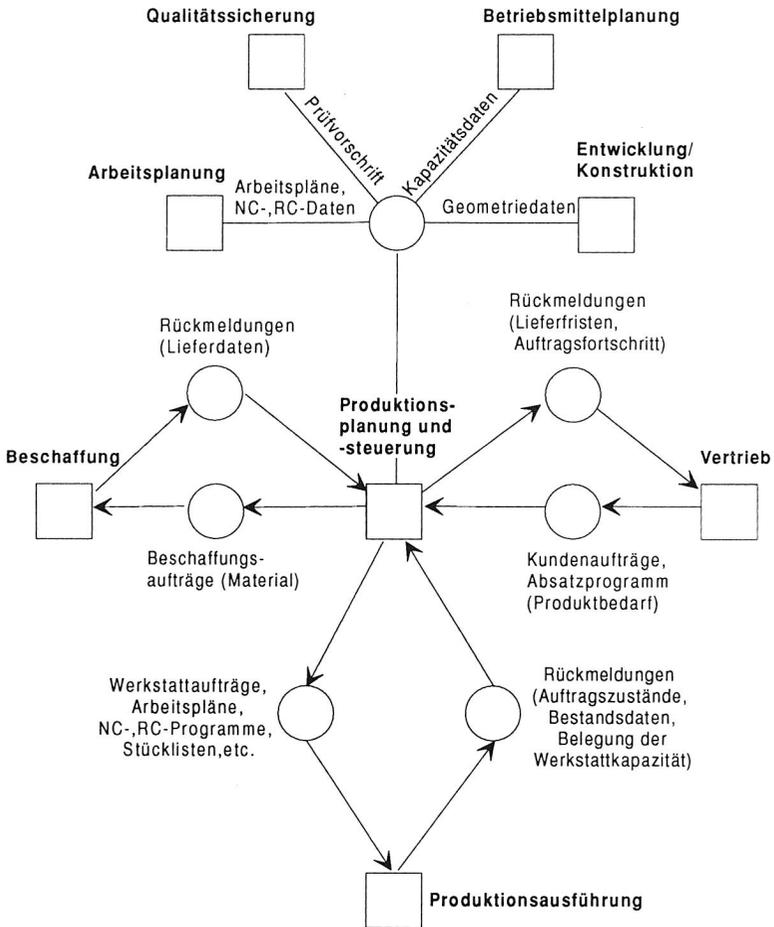


Bild 11: Informationsflußbeziehungen der Unternehmens-Teilfunktionen als Petri-Netz

Informationsflüsse. Rechtecke, Kreise und Pfeile bilden die Darstellungselemente eines derartigen Netzes. Rechtecke bezeichnen die aktiven Systemteile - Instanzen -, Kreise die passiven Systemteile - Kanäle - ; Pfeile (gerichtete Kanten) kennzeichnen die Beziehungen zwischen diesen Systemteilen. Systemteile, die Objekte erzeugen, transportieren und/oder verändern können, sind aktive Systemteile (Instanzen). Systemteile, die Objekte aufnehmen, Zustände annehmen und/oder Objekte sichtbar machen können, sind passive Systemteile. Anschriften an Kanälen können sowohl die Kanäle selbst als auch die in den Kanälen vorhandenen Objekte beschreiben. Die Beschriftung der Instanzen kann einerseits auf die aktiven Systemteile und andererseits auf die von diesen zu erfüllenden Aufgaben hinweisen. Ein Kanal/Instanzen-Netz kann sukzessive verfeinert werden, d.h. es kann wiederum in ein Netz zerlegt werden. Bedingung hierbei ist, daß es zwischen dem neuen Netzteil und seiner Umgebung nur Verbindungen gibt, die im ursprünglichen Netz schon bestanden (Bild 12). Über die Methode der Verfeinerung stellen Kanal/Instanzen-Netze ein Mittel zur Beschreibung der Abläufe in einem System von sehr geringer bis zu sehr hoher Detaillierung auf einer informellen Ebene dar.

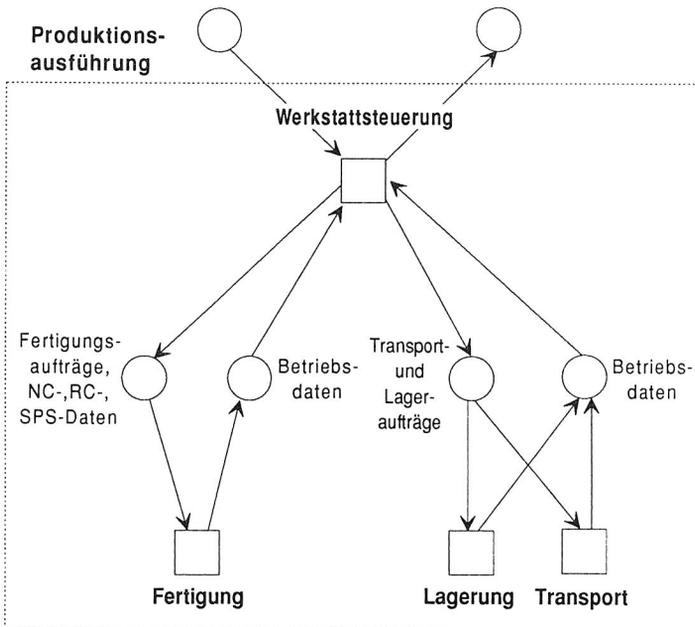


Bild 12: Detaillierung der Instanz Produktionsausführung aus Bild 15

3.2 Anforderungen an ein integriertes Informationssystem zur rechnergeführten Materialflußsteuerung

Ziel ist es ein Materialflußsteuerungssystem mit der in Abschnitt 2 vorgestellten bzw. geforderten Funktionalität zu entwerfen. Die zentralen System-Anforderungen sind seine Integration in das betriebliche Umfeld und seine Stabilität und Flexibilität gegenüber demselben.

Anforderungen aus Sicht der Integration des Informationssystems zur Materialflußsteuerung in das betriebliche Umfeld

Das Umfeld der Materialflußsteuerung sind die anderen Teilfunktionen zur Produktionsausführung. Bei der Belegungsplanung (Fertigungsauftragssteuerung) wird für eine bestimmte Menge von Fertigungsaufträgen eine zeitliche Bearbeitungsreihenfolge - Belegungsplan - über die zur Verfügung stehenden Stationen eines Abschnitts festgelegt. Damit im Rahmen der Fertigungsauftragssteuerung die einzelnen Fertigungsaufträge des Belegungsplans zur Bearbeitung durch die Stationen freigegeben werden können, muß die Bereitstellung der Bedarfsobjekte im Abschnitt gesichert sein, d.h. die Materialflußsteuerung hat die Aufgabe die erfolgte oder nicht erfolgte Bereitstellung in Form von Informationen über den Versorgungsgrad und die eventuell veränderte Terminsituation eines Belegungsplans zurückzumelden.

Der Materialfluß zwischen den Stationen und Lagersystemen eines Abschnitts bzw. zwischen den Abschnitten und Lagersystemen eines Fertigungsbereichs vollzieht sich in räumlich-mengenmäßigen Einheiten - Materialflußeinheiten -, wobei diese insbesondere bei automatisierter Fertigung bestimmten Restriktionen unterliegen. Zur Bereitstellung von Rohteilen, Bauteilen und Baugruppen werden Werkstückträger in Form von transportablen Magazinpaletten, etc. eingesetzt [86, 101]. Um eine kurzfristige Versorgung bzw. minimale Pufferkapazitäten der Abschnitte realisieren zu können (siehe Abschnitt 2.4), muß die Materialflußsteuerung auf Materialflußeinheiten bezogene Flußaufträge bilden. Diese Bildung muß auf der Grundlage der festgelegten Verwendungszwecke der Magazine und Paletten geschehen. Zur Sicherstellung eines geordneten Fertigungsablaufs sind desweiteren alle zur Durchführung der Auslagerung (Kommissionierung) notwendigen Auftragsinformationen zu generieren und zu übermitteln. Zu einer z.B. von einem Lagersystem zu einem Abschnitt zu befördernden Materialflußeinheit gehören prinzipiell auch immer die diese Materialflußeinheit beschreibenden Informationen in Form von Lieferpapieren. Im Zuge des steigenden Einsatzes automatisierter

Materialflußsysteme [27,50] wie Fahrerloser Transportsysteme [85,101], Systeme zur automatischen Identifikation von Behältern und Paletten (Barcode, mobile Datenträger, etc., die eine Einheit mit der eingesetzten Palette bilden), etc. gehen Materialflußeinheit und die zugehörigen, diese Materialflußeinheit beschreibenden Informationen getrennte Wege. Die zu befördernde Materialflußeinheit wird im Materialfluß über eine Paletten-/Behälternummer identifiziert und am Ziel (z.B. Abschnitt) den über ein Kommunikationsnetz übermittelten, diese Materialflußeinheit beschreibenden, rechnerinternen "Lieferpapieren" zugeordnet.

Allgemein gilt daher: Zur Durchführung des Transports, der Ein- und Auslagerung von Objekten in den jeweiligen Systemen sind vollständige Auftragsinformationen zu generieren und bei Auftragserteilung den Transport- und Lagersystemen zu übermitteln.

Anforderungen aus Sicht der Stabilität gegenüber dem betrieblichen Umfeld

Stabilität betrifft das Verhalten gegenüber Störungen, d.h. dem Auftreten ungeplanter, unerwarteter Ereignisse im Sinne der Materialflußsteuerung. Derartige Ereignisse können z.B. der ganze oder teilweise Ausfall von Fertigungs-/Transport-/Lagereinrichtungen sein, die wiederum zu Terminverzug oder gar zu Umplanungsverfahren der Belegungsplanung und damit zu veränderten Bedarfen führen. Die betriebliche Realität, das Auftreten von Störungen im Fertigungsprozeß, der Mehrverbrauch von Material, das Auftreten von besonders dringenden Fertigungsaufträgen, muß für die Materialflußsteuerung als Normalfall gelten, d.h. muß von ihr ohne Probleme aufzuwerfen gehandhabt werden können. Ausdruck dieser Realität ist, daß ein einmal erstellter Belegungsplan durch die Fertigungsauftragssteuerung wieder geändert werden kann. Ein weiterer Aspekt der Realität liegt darin, daß bei der Bearbeitung eines Auftrags mehr Material verbraucht wird (z.B. Ausschuß) als geplant war. Auch die Durchführung von Transport, Ein- und Auslagerung von Materialflußeinheiten selbst ist mit Störungen behaftet. Bezüglich dieser Funktionen sind Termin- und Mengenabweichungen vorstellbar. Auch hier besteht für die Materialflußsteuerung die Aufgabe den Arbeitsablauf zu sichern, und sei es nur dadurch, daß eine Informationsflußkette zwischen Transport-/Lagersystemen und Belegungsplanungssystemen hergestellt wird. Zwischen einem Materialflußsteuerungssystem und diesen einzelnen Systemen sind daher eindeutige Regeln festzulegen, welche Maßnahmen im Falle von Störungen (d.h. ein erteilter Auftrag wird nicht oder teilweise nicht in der vorgegebenen Weise durchgeführt) Auftraggeber und -nehmer zu ergreifen haben. Diese Regeln sind insbesondere bei rechnergeführter Materialflußsteuerung wichtig, da die Fähigkeit des Rechners im Gegensatz zum Menschen auf die Ausführung vordefinierter Regeln beschränkt ist.

Durch die immer stärkere Aufgabenübertragung an die realtechnischen Systeme wird die Einflußnahme der menschlichen Flexibilität auf die Korrektur einer eventuell unzureichenden formalen Organisation geschwächt, so daß die Bemühungen um die Gestaltung einer der Aufgabenstellung adäquaten Organisation verstärkt werden müssen. Aus diesen Anforderungen ergibt sich die zentrale Forderung, daß zur Sicherstellung eines geordneten Fertigungsablaufs das Informationssystem zur Materialflußsteuerung (Regler) und die Transport-/Lagersysteme (Regelstrecke) einen Regelkreis bilden müssen, wobei die Führungsgrößen für das Informationssystem von den Ver- und Entsorgungsbedarfe besitzenden Systemen erzeugt werden.

Anforderungen aus Sicht der Flexibilität des Materialflußsteuerungssystems gegenüber unterschiedlichen Einsatzfeldern

Flexibilität kennzeichnet das Verhalten unter unterschiedlichen bzw. sich ändernden Umfeldbedingungen. Alle in einem bestimmten Zeitintervall auftretenden oder vorhersehbaren Umweltänderungen lassen sich als eine Menge differierender Kombinationen von Umweltbedingungen auffassen für die das zu entwerfende Informationssystem zur Materialflußsteuerung geeignet sein soll. Für die Materialflußsteuerung ist eine Flexibilität, d.h. Unabhängigkeit von

- der Art und Weise der Fertigungsauftragssteuerung (z.B. der eingesetzten Planungsalgorithmen) sowie der Durchführung von Fertigung, Transport und Ein-/Auslagerung und der hierfür eingesetzten Mittel,
- der Art des zu ver- und entsorgenden Materialflußobjekte

zu fordern. Sie soll einsetzbar für den Strukturtyp flexibles Fertigungssystem sein, d.h. das Informationssystem zur Materialflußsteuerung muß sich auf die jeweiligen, in einem konkreten Fertigungsbereich bestehenden Anforderungen konfigurieren lassen.

Anforderungen aus Sicht der Prozeßnähe

Für die zur Materialflußsteuerung einzusetzenden Methoden ist zu fordern, daß diese zeitunkritischer Natur sein müssen. Hieraus resultiert im Gegenzug die Forderung an die Arbeits-, Produktions- und Betriebsmittelplanung, die zur Materialflußsteuerung benötigten Informationen (Stücklisten, Arbeitspläne, etc.) in bedarfsgerechter Form zur Verfügung zu stellen (siehe Abschnitt 5). Anforderungen unter dem Aspekt der Systemrealisierung werden, da diese nicht Gegenstand der Arbeit ist, hier nicht diskutiert.

3.3 Funktions - Modell der Materialflußsteuerung

Für die Konzipierung einer rechnergeführten Materialflußsteuerung sind die zum Ablauf der Fertigung notwendigen Informationsflüsse als zu berücksichtigende Randbedingungen zu erfassen. Da wie in Abschnitt 2.4 dargelegt wurde, die notwendigen Funktionen eines Materialflußsteuerungssystems bei verbrauchsorientierter Produktionssteuerung eine Teilmenge der bei auftragsorientierter Produktionssteuerung notwendigen Funktionen sind, wird eine auftragsorientierte Ausführung der Produktionssteuerung für die Modellbildung zu Grunde gelegt.

In Bild 15 wurden die prinzipiell als Randbedingungen zu berücksichtigenden Informationsflüsse dargestellt. Das Produktionsplanungs- und steuerungssystem erstellt für einen bestimmten Planungszeitraum ein Fertigungsprogramm (Produkt, Menge, Planungszeitraum), plant dieses termin- und kapazitätsmäßig grob ein (Fertigungsabschnitt, Produkt/Zwischenprodukt, Menge, Termin) und teilt die einzelnen Fertigungsaufträge (Abschnitts-Auftrag: Produkt bzw. -Zwischenprodukt, Menge, Termin) des Programms den jeweiligen Abschnitten eines Bereichs zur Ausführung zu. Jeder Fertigungsabschnitt führt eine Feinplanung (Belegungsplanung) nach ihm eigenen Optimierungskriterien und unter Berücksichtigung bestimmter Randbedingungen durch (vgl. Abschnitt 2). Ergebnis dieser Feinplanung ist ein Belegungsplan (Bild 14), der eine Zuordnung auszuführender Fertigungsaufträge zu Fertigungsstationen enthält (Station, Zwischenprodukt, Menge, Termin). Im Zuge der mehrstufigen Planung der Auftragsreihenfolge tritt eine Aufspaltung des ursprünglichen, produktbezogenen Fertigungsauftrags in zwischenproduktbezogene Teilaufträge ein, wobei einem Produkt ein bestimmter Arbeitsplan (Arbeitsvorgangs-Gesamtfolge) zugeordnet ist und einem Zwischenprodukt desselben eine bestimmte Arbeitsvorgangs-Teilfolge oder ein bestimmter Arbeitsvorgang dieses Arbeitsplans.

Versorgungsbedarfe bestehen als direkte Folge der festgelegten Bearbeitungsreihenfolge. Sie müssen im voraus durch das Informationssystem zur Materialflußsteuerung auf Basis des Belegungsplans ermittelt werden, um rechtzeitig Versorgungsvorgänge einleiten zu können. Entsorgungsbedarfe sind die direkte Folge der Durchführung von Fertigungs- und Lagervorgängen. Sie werden dem Materialflußsteuerungssystem nach ihrem Entstehen mitgeteilt. Mittels der von den einzelnen Fertigungsabschnitten erstellten Belegungspläne und der von Fertigungsabschnitten und Lagersystemen übermittelten Entsorgungsbedarfe sind vom Informationssystem zur Materialflußsteuerung Aufträge zur Ver-/Entsorgung der Teilsysteme eines Fertigungsbereichs zu erzeugen und diese den jeweils zur Auftragsdurchführung erforderlichen

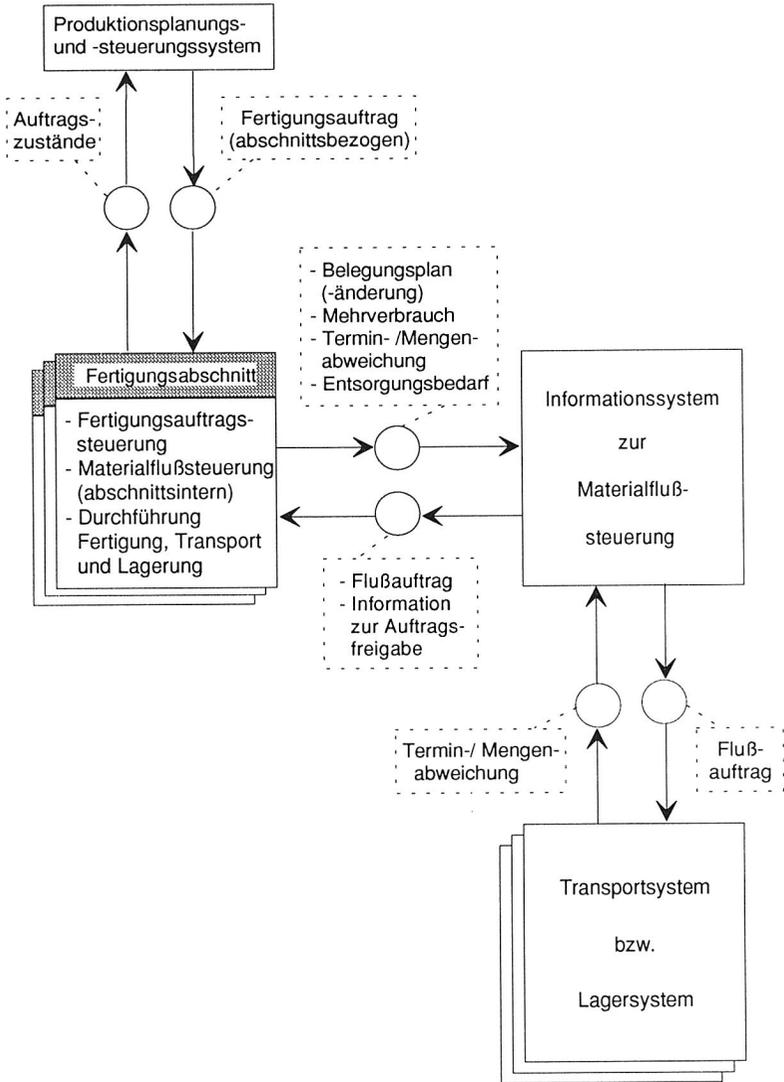


Bild 13: Zu berücksichtigende Randbedingungen für den Entwurf eines Informationssystems zur Materialflußsteuerung

| Belegungsplan | | | | | | |
|-----------------|----------------|----------------|-------|--------|-------------------------|----------------------------------|
| Positionsnummer | Stationsnummer | Auftrag | | | | |
| | | Auftragsnummer | Menge | Termin | Produkt/Zwischenprodukt | |
| | | | | | Sachnummer | Arbeitsplan/Arbeitsvorgangsfolge |
| | | | | | | Arbeitsplannummer |

Bild 14: Informationsgerüst eines Belegungsplans

Teilsystemen desselben mitzuteilen. Ein solcher Auftrag, im weiteren als Flußauftrag bezeichnet, muß mindestens Angaben bezüglich der Quelle, der Senke, des Transportmediums, der Materialflußeinheit und des Termins des Materialflusses enthalten. Die zentrale Funktion eines Informationssystems zur Materialflußsteuerung ist die Bildung dieser Flußaufträge. Sie läßt sich untergliedern in die folgenden Teilfunktionen:

- **Bedarfsplanung:** Planung der Versorgungsbedarfe bezüglich Bedarfsort, Bedarfsobjekt, Bedarfsmenge und Bedarfstermin
- **Flußplanung:** Festlegung der Quellen, Senken und Transportmedien zur Erfüllung der Ver- und Entsorgungsbedarfe, d.h. die Lösung der Fragen "Woher soll ein benötigtes Objekt kommen ?" und "Wohin soll ein nicht oder nicht mehr benötigtes Objekt gehen ?"
- **Flußeinheitenbildung:** Generierung der Flußauftragsinformation auf Basis der zu transportierenden, der einzulagernden oder der auszulagernden Materialflußeinheiten

Eine zentrale Anforderung an ein Informationssystem zur Materialflußsteuerung ist, daß diese mit den Transport-/Lagersystemen einen Informationsregelkreis bilden. Ein Informationsregelkreis läßt sich allgemein aus den Funktionen Planung, Veranlassung, Überwachung, Betriebsdatenerfassung/-verarbeitung und Durchführung zusammensetzen [74,79].

Planung umfaßt alle Vorgänge zum Festlegen von Zielen, zum Erstellen der Beschreibungen von Maßnahmen zur Erreichung von Zielen und zum Festlegen des Ablaufs dieser Maßnahmen. Als eine solche Maßnahme kann z.B. die Erteilung von Transport-, Lageraufträgen, etc.

aufgefaßt werden. Endergebnis der Planung ist ein unter bestimmten Randbedingungen (den Planungsvoraussetzungen), z.B. auf Basis bestimmter Werte der Betriebsdaten, erstellter Plan, der ausgeführt werden soll. **Veranlassung** umfaßt alle Vorgänge zur Bearbeitung eines Plans, d.h. zum Auslösen der in ihm festgelegten Maßnahmen nach festgelegten Regeln. **Überwachung** umfaßt alle Vorgänge zum Feststellen der Erfüllung eines Plans bzw. dessen Maßnahmen oder des Zustands eines Systems im Hinblick auf die Einhaltung von Sollwerten. **Betriebsdatenerfassung und -verarbeitung** umfaßt alle Vorgänge, die erforderlich sind, um Betriebsdaten in gebrauchsfähiger Form für den Ort der Verwendung bereitzustellen.

Aus Vorgaben (Führungsgröße) erstellt die Funktion Planung aufgrund einer bestimmten Planungsbasis einen Maßnahmenplan zur Erreichung dieser Vorgaben. Die Funktion Veranlassung sorgt mittels regel- und terminorientierter Auslösung der Maßnahmen bei der Teilfunktion Durchführung für die Planausführung. Die Funktion Durchführung (z.B. Transport, Ein- Auslagerung) bildet die Regelstrecke in diesem Regelkreis, auf die als Stellgröße die ausgelösten Maßnahmen einwirken. Ihre Aufgabe ist es ausgehend von einem Startzustand durch Aus- führung des Maßnahmenplans den gewünschten Zielzustand zu erreichen. Zur Zielkontrolle werden Durchführungs-IST-Informationen (Regelgröße) erfaßt und zu aussagekräftigen Informationen über die Erfüllung des Maßnahmenplans sowie die aktuelle Gültigkeit (Korrektheit) der Planungsbasis verdichtet. Die Funktion Überwachung führt den SOLL/IST-Wertver- gleich bezüglich dieser Informationen aus und schließt den Regelkreis bei Plan- bzw. Pla- nungsbasisabweichung über die Funktion Planung (Korrektur des Maßnahmenplans) und bei Plan- bzw. Planungsbasisübereinstimmung über die Funktion Veranlassung (weitere Veran- lassung von Maßnahmen). Im Rahmen der Funktion Planung kann allerdings auch schon eine prinzipielle Führungsabweichung erkannt werden, die von unzulässigen Führungsvorgaben herrührt. Ein Beispiel hierfür ist die Übergabe des zu versorgenden Belegungsplans zu einem so späten Zeitpunkt an das Informationssystem zur Materialflußsteuerung, daß eine rechtzeiti- ge Versorgung prinzipiell nicht mehr möglich ist (die notwendige Transportzeit ist größer als die zur Verfügung stehende Zeitspanne zur Versorgung).

Bild 15 zeigt die Materialflußsteuerung als "Informations-Regler". Die Produktionsausfüh- rung insgesamt läßt sich als ein Funktionsnetz aus den informationellen (Informationsfluß) Funktionen Planung, Veranlassung, Überwachung, Betriebsdaten Erfassung und Verarbeitung und den materiellen (Materialfluß) Funktionen Fertigung, Transport und Lagerung begreifen.

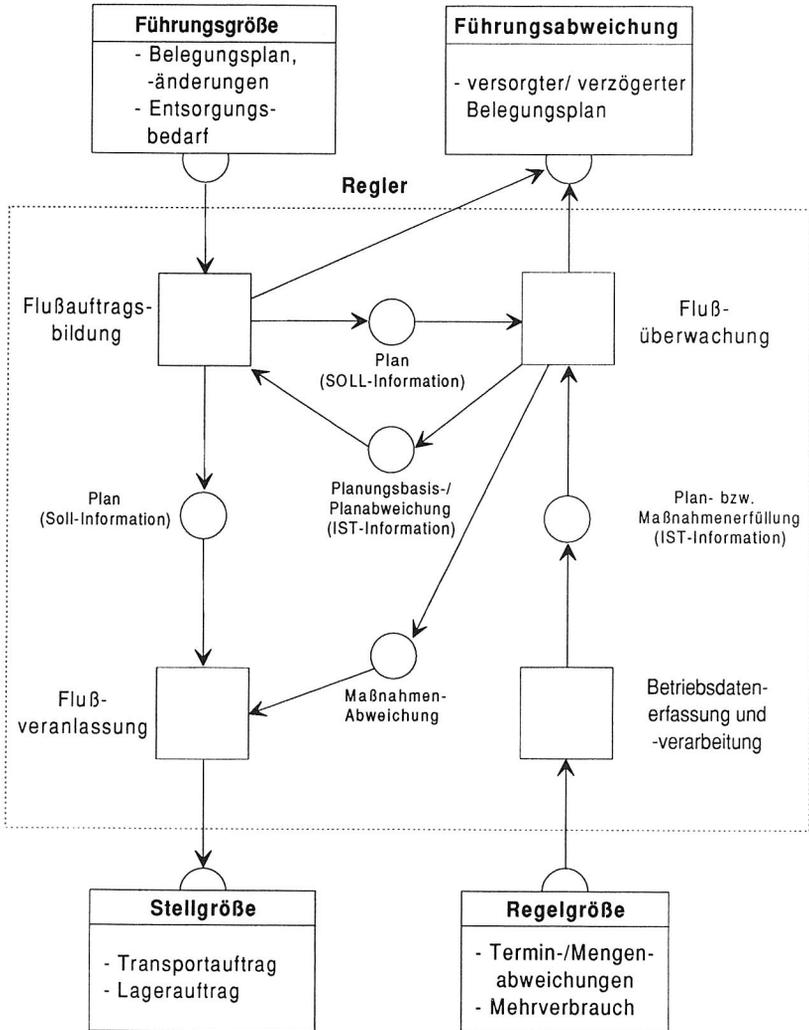


Bild 15: Funktionslogisches Modell der Materialflußsteuerung

4 Abstraktes Systemmodell flexibler Fertigungssysteme

Zum Entwurf eines Strukturmodells flexibler Fertigungssysteme bzw. eines Umweltmodells für die Materialflußsteuerung wird der Materialfluß modelliert (Bild 16). Der Materialfluß besitzt die Bestimmungsstücke Quelle, Senke, Transportmedium, Objekt, Menge, Termin. Ein Materialfluß entspricht der Beförderung eines Objektes einer bestimmten Menge von einer Quelle über ein Transportmedium zu einer Senke zu einem bestimmten Termin.

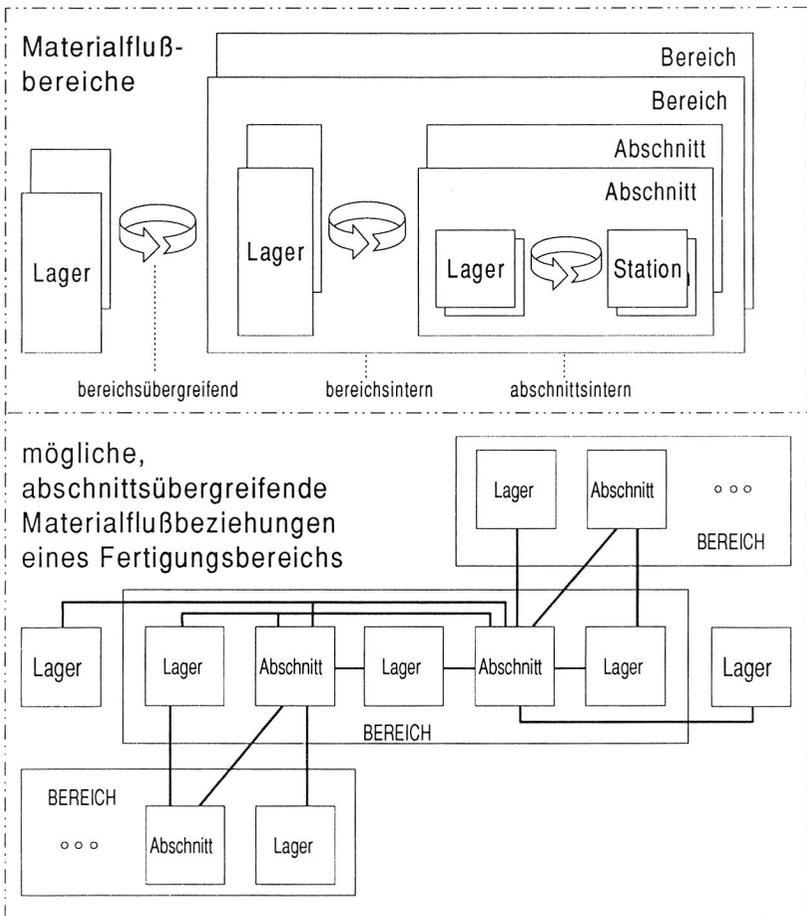


Bild 16: Materialflußbeziehungen flexibler Fertigungssysteme

4.1 Beschreibungsmodell für den Materialfluß

Der Materialfluß im Produktionssystem läßt sich gemäß der vorliegenden Organisationshierarchie (siehe Abschnitt 2.2) in den bereichsübergreifenden Materialfluß, den bereichsinternen Materialfluß, den abschnittsinternen Materialfluß und den stationsinternen, transport- bzw. lagersysteminternen Materialfluß gliedern (Bild 16). Unter dem Blickwinkel Materialflußsteuerung sind alle auftretenden, abschnittsübergreifenden Materialflüsse zu betrachten. Die abschnittsübergreifenden Materialflußbeziehungen eines Fertigungsbereichs setzen sich aus den bereichsinternen und den bereichsübergreifenden Materialflußbeziehungen seiner Abschnitte zusammen. In Bild 16 sind - neben den Materialflußbereichen im Produktionssystem - die prinzipiell möglichen abschnittsübergreifenden Materialflußbeziehungen eines Fertigungsbereichs dargestellt. Der stationsinterne und der abschnittsinterne Materialfluß ist zumeist mit jeweils eigenen technischen Systemen realisiert. Zur Realisierung des bereichsinternen und -übergreifenden Materialflusses werden häufig Lagersysteme (z.B. zentrales Zwischenlager) und Transportsysteme gemeinsam genutzt. Zwischen den eingesetzten technischen Materialflußsystemen bestehen klar definierte Schnittstellen, deren Verwendungszweck abhängig vom Materialflußobjekt und von der Materialflußrichtung ist. In Bild 17 sind die prinzipiell möglichen Schnittstellen eines Fertigungsabschnitts beispielhaft als Petri-Netz modelliert. Der Materialfluß zwischen zwei Fertigungs-/Lagersystemen kann je nach dem zu befördernden Gut über unterschiedliche Transportsysteme erfolgen. Ein Abschnitt kann mehrere Schnittstellen zum gleichen Transportsystem besitzen - getrennte Schnittstellen für Ver-/Entsorgung oder getrennte Schnittstellen je nach zu ver-/entsorgender Station oder Guttyp.

4.2 Objekte des Materialflusses

Im Rahmen dieser Arbeit sind als Objektklassen für den Materialfluß Fremdmaterial (Fremdfertigungsteile), Zwischenprodukte bzw. Produkte und Materialflußhilfsmittel zu betrachten. Diese Materialfluß-Objekte werden im allgemeinen unter Einsatz von Materialflußhilfsmitteln (Palette, Behälter, etc.) als räumlich-mengenmäßigen Einheiten -Materialflußeinheiten - zwischen Fertigungs- und/oder Lagersystemen befördert. Eine Materialflußeinheit kann entweder aus einem einzelnen Gut bzw. Materialflußhilfsmittel oder aus einem Materialflußhilfsmittel, welches eine bestimmte Menge von Gütern oder wiederum

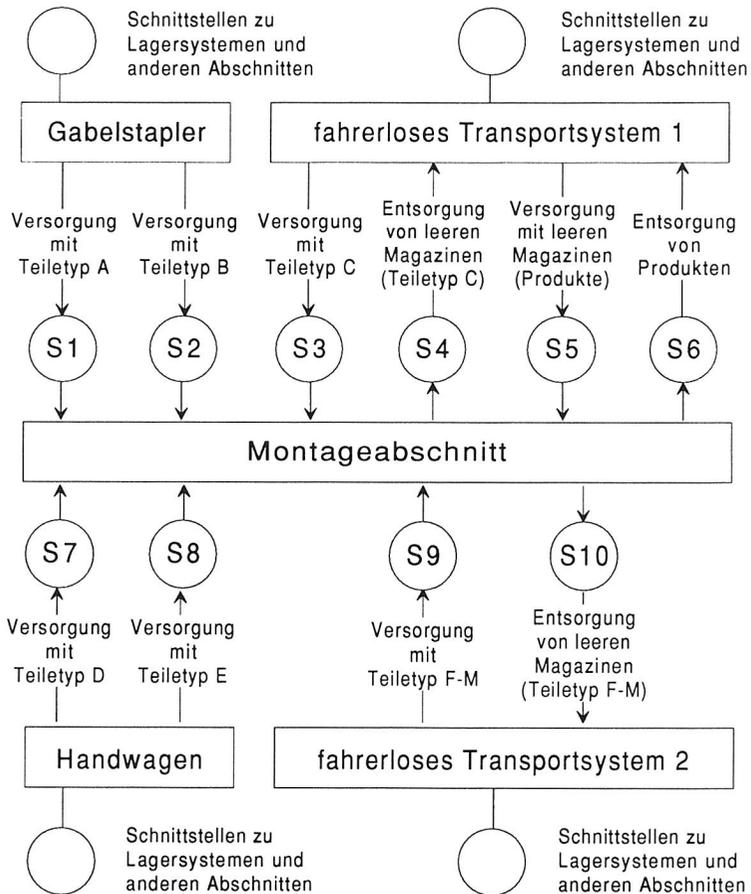


Bild 17: Materialflußmodell als Petri-Netz (Schnittstellen S1-S10: Bahnhöfe für Fahrerlose Transportsysteme bzw. Materialübergabepätze)

Materialflußeinheiten trägt, bestehen (Bild 18). Güter treten in der Regel in mehreren, unterschiedlichen Packformen als Packgut auf. Die Schraube als elementares Objekt unterschiedlicher Packformen wird als Elementargut bezeichnet. Packgut zeichnet sich dadurch aus, daß es bezüglich des Materialflusses von einer Quelle zu einer Senke nicht auflösbar ist. Materialflußeinheiten treten in verschiedenen Ausprägungen auf; dieses sind Lager-, Transport-, Bereitstellungs- und Entsorgungseinheiten.

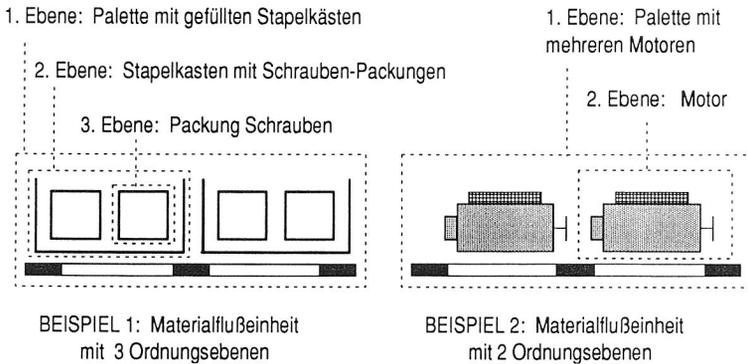


Bild 18: Beispiele für den Aufbau von Materialflußeinheiten

Bild 19 zeigt ein abstraktes Modell für den Einheitenfluß im Fertigungsbereich. An Stationen benötigte Objekte werden diesen in Bereitstellungseinheiten zur Verfügung gestellt. Zur Bildung von Bereitstellungseinheiten verwendete Bereitstellungshilfsmittel, besitzen neben den allgemeinen Aufgaben eines Materialflußhilfsmittels oft noch die Aufgabe, Objekte so zu positionieren, daß diese während des Fertigungsprozesses eine definierte Lage besitzen. Die Bildung von Bereitstellungseinheiten ist dann nicht notwendig, wenn das benötigte Objekt z.B. aufgrund seiner Packform bereits einer Bereitstellungseinheit entspricht. Dieses ist z.B. der Fall, wenn elektronische Bauteile in Form von Gurtmagazinen (Packgut) an einer Bestückstation verwendet werden. Bereitstellungseinheiten können vor dem Transport im Lagersystem oder erst nach dem Transport im Abschnitt gebildet werden. Werden die Bereitstellungseinheiten für die einzelnen Stationen vor dem Transport im Lager gebildet, so können Bereitstellungseinheiten, die für gleiche oder unterschiedliche Stationen in einem Abschnitt bestimmt sind, unter Verwendung eines Transporthilfsmittels zu einer Transporteinheit zusammengefasst werden. Diese wird zum jeweiligen Abschnitt befördert und die einzelnen Bereitstellungseinheiten innerhalb des Abschnitts verteilt. Erfolgt keine Zusammenfassung von Bereitstellungseinheiten im Lager, so sind gebildete Bereitstellungseinheiten und beförderte Transporteinheiten identisch. Die Transporteinheit ist die Materialflußeinheit, die als räumlich-mengenmäßige Einheit von einer Quelle an ein Transportsystem und von diesem an eine Senke übergeht. Ein Transportsystem kann mehrere Transporteinheiten gleichzeitig von einer Quelle zu einer oder mehreren Senken befördern, z.B. ein Flurförderzeug mit mehreren Ladeplätzen.

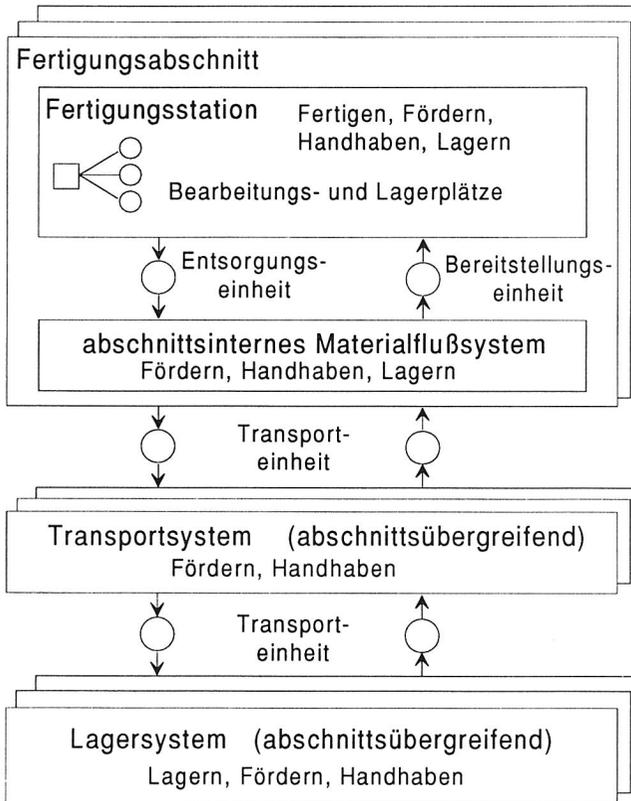


Bild 19: Einheitenfluß im Fertigungsbereich

Während der Fertigung an einer Station entstandene Teile, Baugruppen und Erzeugnisse (Produkte) und leere Magazine und Paletten verlassen die Station in Form von Entsorgungseinheiten. Alle Objekte verlassen einen Abschnitt in Form von Transporteinheiten. Solche Transporteinheiten können mit den Entsorgungseinheiten der Stationen identisch sein oder durch Umladen von Entsorgungseinheiten auf ein für den abschnittsübergreifenden Transport notwendiges Materialflusshilfsmittel entstanden sein oder durch eine völlig neue Kommissionierung entstanden sein. Transporteinheiten, die einen Fertigungsabschnitt verlassen, können für einen anderen Abschnitt (gleicher oder anderer Fertigungsbereich) oder für ein Lagersystem (bereichsintern oder bereichsübergreifend) bestimmt sein.

Mit dem vorgestellten Modell der Materialflüßeinheiten wurde der reale Materialfluß für das entworfene Informationssystem zur rechnergeführten Materialflußsteuerung abstrahiert.

Der Aufbau einer Materialflüßeinheit selbst ist von vielerlei Einflüssen abhängig, wichtige Einflüsse sind die Organisation im Fertigungsbereich (Ort der Kommissionierung, Art der Kommissionierung, etc.), die Beschaffenheit der Transport- und Lagermittel (Tragkraft, Beschleunigung, Geometrie, etc.), die Beschaffenheit der Materialflußhilfsmittel (Aufnahmekapazität, Geometrie, etc.) und die Beschaffenheit (Geometrie, Stapelfähigkeit, etc.) des Flußgutes selbst. Diese Einflußfaktoren werden bei der Betriebsmittelplanung berücksichtigt, was dazu führt, daß der Aufbau einer Materialflüßeinheit für einen bestimmten Anwendungsbereich mehr oder minder stark vorbestimmt ist. Ein Anwendungsbereich ist durch bestimmte Materialfluß-Quellen und Materialfluß-Senken, zwischen denen über bestimmte Transportmedien Güter ausgetauscht werden, definiert. Für ein Gut das an einer bestimmten Senke benötigt wird, wird zur Aufnahme desselben zu beliebigen Zeitpunkten der gleiche Materialflußhilfsmittel-Typ verwendet, d.h. die Beziehung zwischen aufzunehmendem Gut und aufnehmendem Materialflußhilfsmittel ist zeitinvariant. Freiheitsgrade bezüglich des Aufbaus einer Materialflüßeinheit bestehen einerseits hinsichtlich der Struktur derselben, d.h. der Zusammensetzung von Materialflußhilfsmitteln und Gütern, und andererseits hinsichtlich der Inhaltsmenge an Gütern einer Materialflüßeinheit.

Die prinzipiellen Klassen von Materialflüßeinheiten sind die folgenden:

- Materialflüßeinheiten mit festgelegter Struktur und festgelegter Gutmenge; z.B.: An einer Station werden Scheiben während der Fertigung auf einer Spezialpalette (Materialflußhilfsmittel) benötigt. Diese Spezialpalette ermöglicht es, daß ein Handhabungsgerät die Scheiben in der richtigen Position (die im Roboterprogramm festgelegt ist) vorfindet und sie nacheinander von der Palette abheben kann. Diese Palette muß immer die gleiche Inhaltsmenge und Struktur aufweisen, wenn keine spezielle Sensorik zur Teileerkennung eingesetzt wird, da das Handhabungsgerät sonst ins "Leere" greift.
- Materialflüßeinheiten mit festgelegter Struktur und variabler Gutmenge, wobei ein Zusammensetzungsverhältnis hinsichtlich der Inhaltsmengen an unterschiedlichen Gütern festgelegt sein kann; z.B.: Teile an einer Station werden in einem bestimmten, zeitlich gleich bleibenden Verhältnis zueinander verbraucht. Sie werden auf einer Palette als Montagebausatz bereitgestellt. Die Palette enthält nur Vielfache dieses Bausatzes.
- Materialflüßeinheiten mit variabler Struktur und variabler Gutmenge

Materialflüßeinheiten mit festgelegter Struktur setzen sich zu beliebigen Zeitpunkten jeweils aus den gleichen Materialflüßhilfsmitteln und Gütern zusammen. Die Inhaltsmenge an Gütern kann hierbei fest oder variabel sein. Bild 20 zeigt den Aufbau derartiger Materialflüßeinheiten als einen aus Knoten und Kanten bestehenden Strukturbaum.

Materialflüßeinheiten mit variabler Struktur setzen sich zu unterschiedlichen Zeitpunkten aus unterschiedlichen Materialflüßhilfsmitteln und Gütern zusammen. Die Inhaltsmenge an Gütern ist hierbei variabel. Materialflüßeinheiten können sortenrein (nur gleichartige Güter enthaltend) oder nicht sortenrein sein.

Je höher der Automatisierungsgrad insbesondere der Handhabung in den Fertigungsabschnitten und Lagersystemen ist, desto geringer sind im allgemeinen die Freiheitsgrade bezüglich des Aufbaus von Materialflüßeinheiten, d.h. desto mehr Materialflüßeinheiten besitzen eine festgelegte Struktur und/oder sind sortenrein [89,103]. Für automatisierte Fertigungsstationen/-abschnitte gilt in der Regel, daß die in ihnen eingesetzten bzw. verbrauchten Arbeitsgegenstände in Gestalt sortenreiner Materialflüßeinheiten oder Materialflüßeinheiten mit festgelegter Struktur benötigt werden bzw. daß die in ihnen nicht mehr benötigten Arbeitsgegenstände diese ebenso in Gestalt derartiger Materialflüßeinheiten verlassen (gefertigte Produkte bilden sortenreine Materialflüßeinheiten).

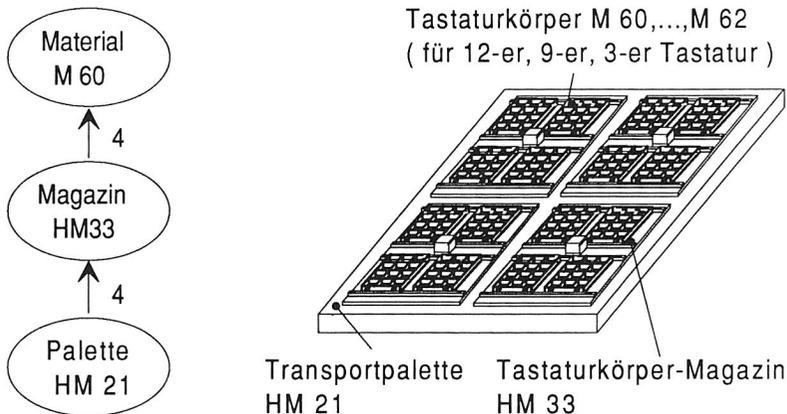


Bild 20: Aufbau von Materialflüßeinheiten festgelegter Struktur

4.3 Materialfluß in Abhängigkeit von der Art der Flußobjekte

Der Materialfluß soll unter dem Blickwinkel der Ver- und Entsorgung der Abschnitte eines Fertigungsbereichs mit bzw. von Objekten sowohl hinsichtlich der prinzipiell bestehenden Ver-/Entsorgungsbedarfe als auch hinsichtlich der Vorbestimmtheit der Materialfluß-Quellen bzw. -Senken analysiert werden. Zur Analyse werden die Materialflüsse nach den Objektklassen Fremdmaterial, Produkten und Materialflußhilfsmitteln betrachtet.

Bei **Fremdmaterial** ist zwischen der Versorgung eines Abschnitts mit benötigten Fremdmaterialien und der Entsorgung von nicht mehr benötigten Fremdmaterialien zu unterscheiden. Entsorgungsbedarfe (Ort, Menge, Termin) entstehen vorwiegend bei einem Produktwechsel in einem Abschnitt aufgrund der begrenzten Lagerkapazität desselben. Ihr Auftreten kann geplant, d.h. Teil des Organisationsprinzips des Abschnitts, sein oder ungeplant, d.h. eine Störung im Abschnitt, sein. An einer Station benötigtes Fremdmaterial fließt ausgehend von ein oder mehreren Lagersystemen (Eingangslager), unter Umständen über weitere Lagersysteme (dezentral) auf Abschnitts- und/oder Stationsebene zur Station. Nicht mehr benötigte Fremdmaterialien fließen den umgekehrten Weg zurück. Für den Fremdmaterial-Fluß gilt demnach folgende Ordnungsrelation:

- Für einen bestimmten Objekttyp besteht bei vorliegendem Versorgungsbedarf bzw. Entsorgungsbedarf eine bestimmte Versorgungs-Quelle bzw. Entsorgungs-Senke.

Produkte bzw. Zwischenprodukte fließen von einem Anfangs-Abschnitt über weitere Abschnitte zu einem End-Abschnitt, wobei die einzelnen Fertigungsabschnitte durch Lagersysteme entkoppelt sein können. Der Produkt-Fluß ist auf der Ebene der Abschnitte gerichtet und schleifenfrei (Gruppenfertigung, vgl. Abschnitt 2), auf der Ebene der Stationen können auch Rückkopplungen (insbesondere bei der Teilefertigung) auftreten. Bei verbrauchsgesteuerter Produktionssteuerung erfolgt in jedem Fall eine Zwischenlagerung der Produkte/Zwischenprodukte. Bei auftragsgesteuerter Produktionssteuerung kann eine Zwischenlagerung für einen bestimmten Produkttyp grundsätzlich, grundsätzlich nicht oder fallweise erfolgen. Eine Zwischenlagerung kann aufgrund von einer verzögerten Fertigungsauftragsbearbeitung in den mit Zwischenprodukten zu versorgenden Abschnitten, die z.B. durch Maschinenausfälle hervorgerufen wurde, notwendig werden. Mit dieser fallweisen Zwischenlagerung wird ein Materialstau in den Abschnitten bzw. eine Blockade dieser vermieden. Der wesentliche Unterschied zwischen auftrags- und verbrauchsorientierter

Produktionssteuerung ist, daß durch die Auftragsorientierung in einem Abschnitt gefertigte Zwischenprodukte einem bestimmten Fertigungsauftrag im Nachfolger-Abschnitt zugeordnet sind. Dies ist im Rahmen der Flußplanung zu berücksichtigen. Erfolgt beim Übergang hingegen eine Zwischenlagerung, so sind die Entsorgung des einen und die Versorgung des anderen Fertigungsabschnitts getrennte Materialfluß-Vorgänge. In diesem Fall gilt die bereits für Fremdmaterial formulierte Ordnungsrelation.

Erfolgt beim Übergang vom einen zum anderen Abschnitt keine Zwischenlagerung in einem abschnittsübergreifenden Lagersystem, so entspricht die Entsorgung eines Abschnitts von gefertigten Zwischenprodukten der Versorgung anderer Fertigungsabschnitte mit den zur Fertigung von Zwischenprodukten höherer Produktnähe benötigten Zwischenprodukten niederer Produktnähe, d.h. Versorgung und Entsorgung sind zwei Sichtweisen ein und desselben Materialfluß-Vorgangs. Es gilt demnach:

- Für einen bestimmten Objekttyp besteht bei vorliegendem Versorgungsbedarf eine bestimmte Versorgungs-Quelle, bei vorliegendem Entsorgungsbedarf hingegen bestehen ein oder mehrere mögliche Entsorgungs-Senken.

Materialflußhilfsmittel unterliegen dem Kreislauf (Bild 21) Lagerung, Einsatz, Lagerung, usw., wobei der Einsatz den Transport und die Lagerung von Fremdmaterial, Produkten und aber auch von Materialflußhilfsmitteln selbst umfaßt. Sie scheiden bei Beschädigung aus dem Kreislauf aus. Materialflußhilfsmittel treten in zwei Zustandsformen auf, als leere Materialflußhilfsmittel während ihrer Lagerung und als beladene während ihres Einsatzes. Für ein bestimmtes Materialflußhilfsmittel kann sich der Kreislauf

- entweder vollständig innerhalb eines Fertigungsabschnitts oder Lagersystems vollziehen (Beispiel: die Kommissionierung der Bereitstellungseinheiten für die Stationen eines Fertigungsabschnitts findet in demselben statt, die dazu benötigten Bereitstellungshilfsmittel sind fester Bestandteil des Abschnitts),
- oder zwischen zwei Systemen (Fertigungsabschnitt, Lagersystem) vollziehen (Beispiel: die Materialflußhilfsmittel, in denen ein Fertigungsabschnitt die Zwischenprodukte seines Vorgängerabschnitts erhält, gehen wieder an diesen zurück),
- oder zwischen einer Gruppe von Fertigungsabschnitten und einem Lagersystem, wobei eine Gruppe im allgemeinen von allen durch ein gemeinsames Transportsystem verbundenen Abschnitten gebildet wird, vollziehen (Beispiel: universell einsetzbare Materialflußhilfsmittel in Gestalt modularer Paletten-/Magazinsysteme).

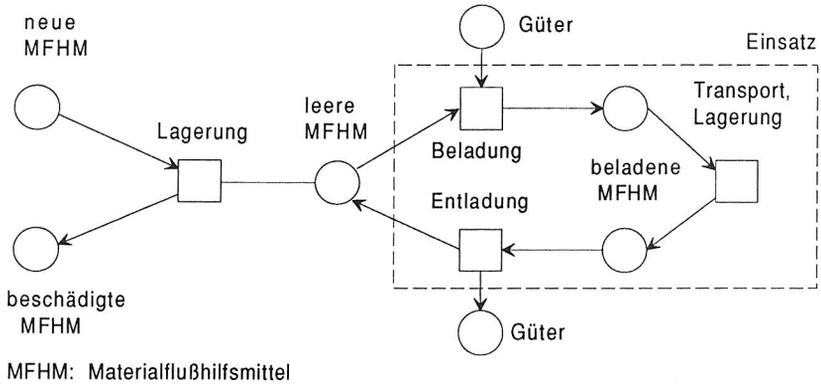


Bild 21: Materialflußhilfsmittel-Kreislauf

Bei Materialflußhilfsmitteln ist zwischen der Versorgung und Entsorgung eines Abschnitts mit bzw. von Materialflußhilfsmitteln zu unterscheiden, wobei die Ver-/Entsorgungsbedarfe an Materialflußhilfsmitteln durch die Ver-/Entsorgungsbedarfe an Fremdmaterial und Produkten bzw. Zwischenprodukten verursacht werden. Ein Versorgungsbedarf an Fremdmaterial, Zwischenprodukten, etc. kann, da im allgemeinen diese zum Transport und zur Bereitstellung an der Station von Materialflußhilfsmitteln aufgenommen wird, einen Entsorgungsbedarf an leeren Materialflußhilfsmitteln zur Folge haben. Ein Entsorgungsbedarf an Produkten, etc. kann, da im allgemeinen diese zur Entsorgung und zum Transport von Materialflußhilfsmitteln aufgenommen werden, einen Versorgungsbedarf an leeren Materialflußhilfsmitteln erzeugen. Ob ein derartiger Ver-/Entsorgungsbedarf an Materialflußhilfsmitteln für einen bestimmten Abschnitt tatsächlich auftritt, hängt einerseits davon ab, inwieweit diese zur Aufnahme unterschiedlicher Arbeitsgegenstände fähig sind, und andererseits davon, inwieweit eine solche Mehrfachverwendung von Materialflußhilfsmitteln im Sinne der Steuerungsstrategie eines Abschnitts festgelegt bzw. erwünscht ist. Im Bereich der Teilefertigung sind oft die Materialflußhilfsmittel für die Bereitstellung der Rohteile identisch mit denen für die Entsorgung der Fertigteile, d.h. hier existieren keine Ver-/Entsorgungsbedarfe. Für Materialflußhilfsmitteln gilt folgende Ordnungsrelation:

- Für einen bestimmten Objekttyp gibt es bei vorliegendem Versorgungsbedarf bzw. Entsorgungsbedarf entweder eine einzelne oder eine Gruppe von möglichen Versorgungs-Quellen bzw. Entsorgungs-Senken.

5 Strategien und Daten zur rechnergeführten Materialflußsteuerung

Auf der Basis des in Abschnitt 4 entworfenen Systemmodells werden die unter dem Aspekt des plangemäßen Fertigungsablaufs (kein Auftreten von Störungen, Belegungsplanänderungen, etc.) für eine rechnergeführte Materialflußsteuerung notwendigen Daten (gemäß dem Relationenmodell aus Abschnitt 3) und anzuwendenden Methoden festgelegt.

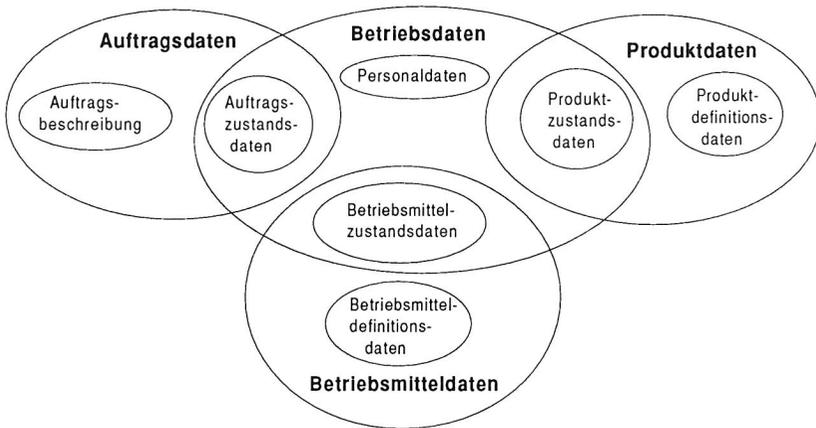


Bild 22: Allgemeine Informationsklassen

Der Informationsfluß wird orientiert an den Objektklassen Auftrag, Produkt und Betriebsmittel betrachtet (Bild 22). **Auftragsdaten** sind die Auftragsbeschreibung und die Auftragszustandsdaten. **Produkt- bzw. Betriebsmitteldaten** sind alle Daten, die im Lebenszyklus eines Produkts bzw. Betriebsmittels zu seiner Beschreibung entstehen. Sie können in Definitions- und Zustandsdaten eingeteilt werden. Die Produkt-Definitionsdaten legen die Eigenschaften, die Struktur, die Art der Fertigung, die Qualitätsmerkmale, etc., die das Produkt haben soll fest (Stücklisten, Arbeitspläne, etc.). Die Produkt-Zustandsdaten sind Daten, die die Eigenschaften, die Struktur, die Qualitätsmerkmale, etc. die das Produkt tatsächlich, aufgrund des Fertigungsprozesses, besitzt, beschreiben. Die Betriebsmittel-Definitionsdaten beschreiben die prinzipiellen Eigenschaften, Kennwerte, etc. die ein Betriebsmittel besitzt (Aufnahmekapazität von Paletten, Zeitwerte für Transportvor-

gänge, etc.). Die Betriebsmittel-Zustandsdaten beschreiben die jeweils aktuellen Zustände der Betriebsmittel im Produktionsprozeß (Stationsauslastung, Materialbestände, etc.).

Die Materialflußsteuerung bzw. ihre Teilfunktionen lassen sich als eine Funktion auffassen, die INPUT-Auftragsdaten (z.B. Belegungsplan) unter Zuhilfenahme von Betriebsmittel- und Produkt-Daten in OUTPUT-Auftragsdaten (z.B. Flußaufträge) umwandelt (Bild 23). Der Fluß von Auftragsdaten, Betriebsmittel- und Produktzustandsdaten weist in der Regel einen funktionsauslösenden Charakter (bewirkt Tätigkeiten der Materialflußsteuerung) auf, der Fluß von Betriebsmittel- und Produkt-Definitionsdaten hingegen nicht.

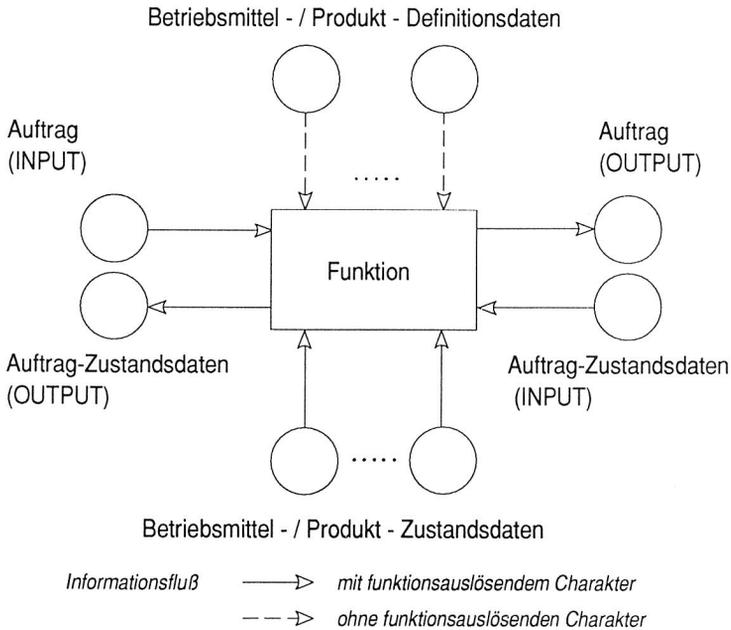


Bild 23: Modell einer Teilfunktion der Materialflußsteuerung

Die Hauptfunktion der Materialflußsteuerung ist die Flußauftragsbildung mit den Teilfunktionen Bedarfsplanung, Flußplanung und Flußeinheitenbildung. Bild 24 zeigt hierzu den prinzipiellen Auftragsfluß bei vorliegendem Belegungsplan und Entsorgungsbedarfen. Die Bedarfsplanung umfaßt die Festlegung der Versorgungsbedarfe der Abschnitte/Stationen

hinsichtlich Bedarfsort, Bedarfsgut, Bedarfsmenge und Bedarfstermin. Fertigungsabschnitte müssen mit Material und Materialflußhilfsmitteln versorgt und von Produkten, von nur zeitweilig benötigten (bei abschnittsübergreifender Nutzung) Materialflußhilfsmitteln und entsorgt werden. Entsorgungsbedarfe werden über die Funktion Betriebsdatenerfassung/-verarbeitung der Materialflußsteuerung ermittelt. Die dargestellten Ver-/Entsorgungsbedürfnisse können miteinander korrespondieren, d.h. das Entsorgungsbedürfnis eines Systems entspricht dem Versorgungsbedürfnis eines anderen Systems, z.B. der Output (Produkte) eines Abschnitts ist der Input eines anderen. Die Festlegung der Quellen, Senken und Transportmedien für auftretende Ver-/Entsorgungsbedürfnisse und die Zuordnung korrespondierender stellt die Funktion Flußplanung dar. Durch Bedarfsplanung und Flußplanung werden die Materialflüsse in zeitlicher, räumlicher und mengenmäßiger Hinsicht bestimmt. Der tatsächliche Aufbau des Flußobjekts - der zwischen Quelle und Senke zu befördernden Transporteinheit - ist davon unberührt. Die Bildung der an der Senke benötigten Transporteinheiten auf informatorischer Ebene, d.h. die Erzeugung von Kommissioniervorschriften, ist Aufgabe der Funktion Flußeinheitenbildung. Über die Funktion Flußveranlassung werden die jeweils betroffenen Quellen, Senken und Transportmedien beauftragt.

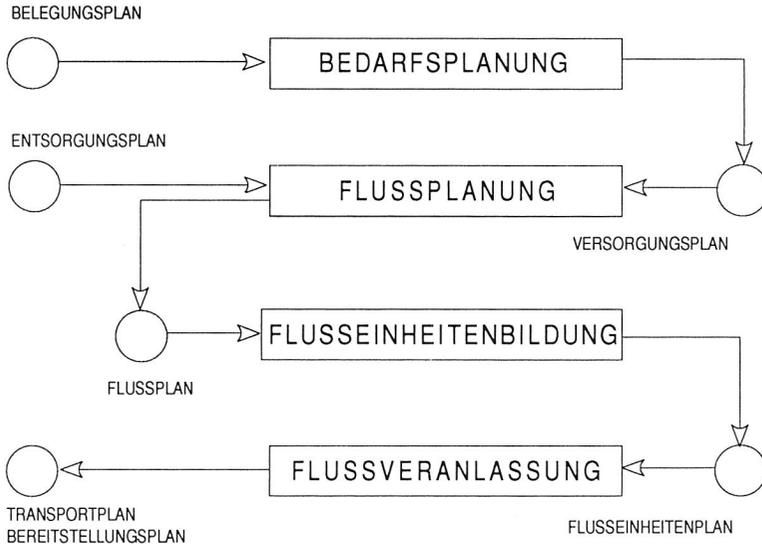


Bild 24: Auftragsfluß zur Materialflußsteuerung

5.1 Bedarfsplanung

5.1.1 Ausgangslage und Problemstellung

Die Versorgungsbedarfe flexibler Fertigungssysteme können grundsätzlich auftragsgesteuert, bestandsgesteuert oder zeitgesteuert ermittelt werden. Bei der **auftragsgesteuerten Ermittlung** wird aus Auftrags-(Belegungsplan), Produkt- und Betriebsmittel-Definitionsdaten (Arbeitspläne, Stücklisten) ein mengen- und terminmäßiger Bedarf an Objekten abgeleitet. Möglich ist diese Strategie bei allen Objekten für die definierte Bedarfsmengen im Rahmen der genannten Daten angebar sind. Sinnvoll ist diese Strategie für alle Objekte, die temporär und in wechselnder Menge benötigt werden. Bei der **bestandsgesteuerten Ermittlung** wird vom Planer/Bediener eine Bestandsgrenze pro Bedarfsobjekt festgelegt. Der Bestand wird überwacht, aus dem Unterschreiten der Bestandsgrenze wird ein Bedarf abgeleitet. Diese Strategie zeichnet sich im Vergleich zur Auftragssteuerung durch einen geringeren Aufwand aus. Möglich ist diese Strategie bei allen Objekten für die der Bestand geführt wird. Sinnvoll ist diese Strategie für alle Objekte, die ständig und mit konstantem Bedarf benötigt werden oder wenn der Bedarf nicht auftragsgesteuert ermittelt werden kann. Bei der **zeitgesteuerten Ermittlung** wird für die Bedarfsobjekte vom Planer/Bediener eine Versorgungsmenge pro Zeitintervall festgelegt. Prinzipiell möglich ist diese Strategie für alle Bedarfsobjekte. Trotz des geringen Planungsaufwands ist sie jedoch nur für Objekte mit einem sehr konstanten Bedarf zu empfehlen. Sie bietet sich auch dann an, wenn die beiden erstgenannten Strategien nicht anwendbar sind.

Welche Strategie für welches Bedarfsobjekt eingesetzt werden soll, ist vom konkreten Anwendungsfall abhängig. Im Rahmen eines Informationssystems zur Materialflußsteuerung sind alle Strategien zur Verfügung zu stellen. Das Informationssystem ist bei der Inbetriebnahme auf die Erfordernisse des konkreten Fertigungsbereichs zu konfigurieren, d.h. den Objekten sind dann bestimmte Bedarfsermittlungsmethoden zur Versorgung zuzuordnen. Der Schwerpunkt wird hierbei, um einen störungsarmen, gesicherten Fertigungsablauf und niedrige Bestände zu erreichen bzw. die Pufferkapazitäten niedrig dimensionieren zu können, auf der auftragsgesteuerten Strategie liegen. In den weiteren Abschnitten sollen die zur auftragsgesteuerten Bedarfsplanung notwendigen Daten und anzuwendenden Methoden für die unterschiedlichen Klassen von Bedarfsobjekten im Detail dargelegt werden.

5.1.2 Auftragsgesteuerte Bedarfsplanung für Material

Die Basis einer auftragsgesteuerten Versorgungsplanung bilden die Auftragsdaten und die produktdefinierenden Daten, anhand derer der Objektbedarf abgeleitet wird. Auftragsdaten sind die Belegungspläne der einzelnen Abschnitte. In ihnen werden den einzelnen Stationen Aufträge bzw. Arbeitsvorgänge zugeordnet (Belegungsplanung). Ein Fertigungsauftrag bezieht sich auf eine bestimmte Anzahl gleichartiger Produkte, d.h. für eine Station werden mehrere gleichartige Arbeitsvorgänge in einem eingeplant. Bei der Belegungsplanung wird eine Auftragsverteilung jeweils über einen bestimmten Planungszeitraum, dessen Dauer nicht unbedingt von Planungslauf zu Planungslauf konstant bleibt [28,35,57], erstellt. Eine allgemeine Belegungsplan-Datenstruktur besitzt folgendes Aussehen:

BELEGUNGSPLAN

(*ABSCHNITT, FERTIGUNGS-AUFTRAG-NR, AUSFÜHRUNGSORT, ARBEITSPLAN, ARBEITSVORGANG, AVO-ANZAHL, AVO-DAUER, AVO-TERMIN*)

| | |
|-------------------------------------|--|
| <i>ABSCHNITT:</i> | identifiziert den Ersteller einer Belegungsplan-Position |
| <i>FERTIGUNGS-AUFTRAG-NR:</i> | identifiziert eine einzelne Belegung (Fertigungsauftrag) des Belegungsplans |
| <i>AUSFÜHRUNGSORT:</i> | Angabe der Station oder des Abschnitts an der ein Fertigungsauftrag bzw. der zugehörige Arbeitsvorgang auszuführen ist |
| <i>ARBEITSPLAN, ARBEITSVORGANG:</i> | identifiziert den auszuführenden Arbeitsvorgang (AVO) eines Arbeitsplans |
| <i>AVO-ANZAHL:</i> | Angabe wie oft der angegebene Arbeitsvorgang auszuführen ist und damit die Anzahl der zu fertigenden Objekte |
| <i>AVO-DAUER/ AVO-TERMIN:</i> | Angabe der Dauer und des Startzeitpunkts eines Arbeitsvorgangs am Ausführungsort |

Produktdefinierende Daten zur Versorgungsplanung sind Stücklisten, die angeben aus welchen Objekten ein Erzeugnis sich zusammensetzt. Stücklisten gibt es in der betrieblichen Realität in vielfältigen Formen (z.B. Baukasten-, Struktur-, Mengen-Stückliste, etc.). Die Versorgungsplanung kann in Analogie zur Funktion Mengenplanung der Produktionsplanung in den Schritten Bruttobedarfsermittlung, Nettobedarfsermittlung und Versorgungsrechnung bzw. Bestellrechnung ausgeführt werden. Die dabei einzusetzenden Methoden weichen jedoch gravierend von den im allgemeinen zur Mengenplanung eingesetzten ab.

Bruttobedarfsermittlung

Bei der Bruttobedarfsermittlung wird der Bedarf (Bedarfsort, Bedarfsgut, Bruttobedarfsmenge, Bedarfstermin) an Arbeitsgegenständen für einen Belegungsplan ohne Berücksichtigung der Bestände der Abschnitte errechnet. Im Rahmen der Mengenplanung werden zur Bruttobedarfsermittlung komplexe, zeitaufwendige Stücklisten-Auflösungsverfahren eingesetzt (Baustufen-, Renetting-, Dispositionsstufen-Verfahren, etc. [12,45,61]). Für eine kurzfristige Materialflußsteuerung sind diese zur Bedarfsermittlung nicht einsetzbar, hier werden einfache, schnelle Verfahren benötigt. Das einfachste Verfahren zur Bestimmung des Bruttobedarfs ist das abschnittsbezogene Festhalten der benötigten Materialart und Materialmenge eines jeden Arbeitsvorgangs eines Arbeitsplans als Stückliste. Als benötigte Objekte eines Arbeitsvorgangs tauchen in dieser Stückliste nur die Materialien (Fremdmaterial, Zwischenprodukte) auf, die jeweils von außerhalb eines Abschnitts zu beschaffen sind. Eine Baugruppe, die in einem Abschnitt gefertigt wird und dann im gleichen Abschnitt durch Hinzufügen weiterer Bauteile eine Baugruppe höherer Fertigungsstufe ergibt, ist nicht in dieser Stückliste enthalten. Über eine derartige Stückliste kann auf den Bruttobedarf eines für eine eingeplanten Arbeitsvorgangs direkt zugegriffen werden. Die Relation *ARBEITSVORGANG_MATERIAL* zeigt die Struktur der Stückliste:

ARBEITSVORGANG_MATERIAL

(*ARBEITSPLAN, ARBEITSVORGANG, MATERIAL, MENGE*)

MATERIAL: identifiziert einen Materialtyp

MENGE: Verbrauchsmenge für den genannten Materialtyp

Betrachtet man die Relation *ARBEITSVORGANG_MATERIAL* als Stammdatum eines Fertigungsabschnitts, so ist es Aufgabe der Betriebsmittelplanung diese zu erstellen, betrachtet man sie hingegen als veränderbar (Änderung von Produkten, Fertigung neuer Produkte), so fällt die Aufgabe der Arbeitsplanung zu. Insbesondere bei flexiblen Fertigungssystemen ist letztere Betrachtungsweise aufgrund der hier verstärkt möglichen Einbringung neuer Produkte bzw. -varianten angemessen (produktdefinierendes Datum). Die Bruttobedarfsermittlung bzw. die Versorgungsplanung als ganzes kann getrennt nach Stationen oder Stationsgruppen erfolgen. Dies wird davon bestimmt, ob Material in einem Abschnitt für mehrere Stationen gemeinsam gelagert wird, ob eine Kommissionierung für Stationen stattfindet, etc. Letztlich gilt festzuhalten, daß die Art der Versorgungsplanung ein unveränderliches, einen konkreten Abschnitt charakterisierendes Datum ist (Be-

triebsmittel-Definitionsdatum). Ein oder mehrere Stationen bilden bezüglich ein oder mehrerer Materialtypen einen Bereich, für den die Bedarfsermittlung gemeinsam erfolgt:

STATION_STATIONSGRUPPE/M (*STATION, MATERIAL, STATIONSGRUPPE*)

STATIONSGRUPPE_ABSCHNITT (*STATIONSGRUPPE, ABSCHNITT*)

STATION_ABSCHNITT (*STATION, ABSCHNITT*)

Mit dem Auftragsdatum *BELEGUNGSPLAN*, dem Produkt-Definitionsdatum *ARBEITSVORGANG_MATERIAL* und den Betriebsmittel-Definitionsdaten *STATION_STATIONSGRUPPE/M*, etc. kann die Bruttobedarfsermittlung ausgeführt werden. Den Bedarfsort erhält man über die Attribute *STATION* und *STATIONSGRUPPE*, den Bedarfstermin über den Beginnstermin (*AVO-TERMIN*) des das jeweilige Material benötigenden Arbeitsvorgangs, das Bedarfsgut über *MATERIAL* und die Bedarfsmenge über *AVO-ANZAHL* und *MENGE*. Führt man die Bruttobedarfsermittlung mittels der genannten Informationen, so entsteht für jede einzelne Position des Belegungsplans pro benötigtem Materialtyp je ein Bruttobedarf (Bedarfsort, Bedarfsgut, Bedarfsmenge, Bedarfstermin).

Nettobedarfsermittlung

Die Nettobedarfsermittlung ergibt den Bedarf an Arbeitsobjekten unter Berücksichtigung der verfügbaren Bestände, d.h. der Nettobedarf ist gleich dem Bruttobedarf minus dem verfügbaren Bestand. Die zu berücksichtigenden Bestände sind die Bestände, die zum Beginnzeitpunkt des betrachteten Belegungsplans bzw. zum Endzeitpunkt des vorangegangenen voraussichtlich verfügbar, d.h. nicht bereits für einen Arbeitsvorgang eingeplant, sein werden. Sie entstehen durch Bestellungen, die über den eigentlichen Bedarf, z.B. aufgrund festgelegter Versorgungsmengen, hinausgehen. Die jeweils verfügbaren Bestände werden hinsichtlich Bestands- bzw. Bedarfsort (Station bzw. Stationsgruppe), Materialtyp, Bestandsmenge, Zeitpunkt des Bestandes und Bestell- bzw. Versorgungsposition, aus der ein verfügbarer Bestand resultiert, geführt und bei Inanspruchnahme zur Bruttobedarfsdeckung jeweils aktualisiert:

VERFÜGBARER_BESTAND/M

(*BEDARFSORT, MATERIAL, ZEITPUNKT*, *VERSORGUNGSPLAN-POSITION*,
MENGE)

Versorgungsrechnung

Die Nettobedarfe sind zu geeigneten Bestell- bzw. Versorgungsmengen zusammenzufassen. Im Rahmen der Mengenplanung (bzw. Materialwirtschaft) wird als Bestellmenge diejenige Menge bezeichnet, die unter Berücksichtigung von wirtschaftlichen und beschaffungstechnischen Gesichtspunkten als anzufordernde Menge pro Bedarfsfall festgelegt wird [11,31,36]. Zur Festlegung von unter diesen Aspekten optimalen Bestellmengen gibt es eine Vielzahl von Methoden, bei denen die optimale Bestellmenge meist durch eine Gegenüberstellung von Beschaffungs- und Lagerkosten ermittelt wird. Derartige Berechnungsverfahren spielen bei der Versorgungsplanung im Rahmen der Materialflußsteuerung keine Rolle. Um eine korrekte, am aktuellen Geschehen orientierte Bedarfsplanung zu erreichen, sind vielmehr die Restriktionen, die hinsichtlich des Vorliegens der Bedarfsgüter an den Versorgungs-Quellen und des Aufbaus von Materialflußeinheiten (festgelegte Struktur und Inhaltmenge) bestehen, bei der Ermittlung der Versorgungsmengen zu berücksichtigen. Da der Begriff Bestellrechnung in der Mengenplanung eine feste Bedeutung besitzt, soll hier von einer Versorgungsrechnung gesprochen werden.

Das an einem Bedarfsort benötigte Material kann an der Materialfluß-Quelle (z.B. Lager-system) in unterschiedlichen Packformen vorliegen. Zur Befriedigung eines Bedarfs können unterschiedliche Packgüter (Packgut: Material einer bestimmten Packform) verwendet werden. Die Bedarfsmenge an Material stimmt im allgemeinen nicht mit der Packeinheit eines Packguts überein. Packgut wird bei der Kommissionierung an der Materialfluß-Quelle nicht angebrochen. Es ist daher zu ermitteln, welche Packgüter in welcher Menge (als Vielfaches der Packeinheit) am jeweiligen Bedarfsort benötigt werden. Zur optimalen Auslastung der Materialflußhilfsmittel, aus handhabungstechnischen oder organisatorischen Gründen kann der Aufbau der an eine Senke zu liefernden Transporteinheit bzw. Bereitstellungseinheit vorbestimmt sein (siehe Abschnitt 4). Hierbei können folgende Restriktionsvarianten in Bezug auf die Inhaltmenge auftreten:

- für ein Materialflußhilfsmittel ist eine feste Inhaltmenge oder eine Mindest-Inhaltmenge an Material vorgegeben
- eine Materialflußeinheit muß unterschiedliche Materialtypen in exakt vorgegebener Menge enthalten
- eine Materialflußeinheit muß unterschiedliche Materialtypen in einem vorgegebenen Zusammensetzungsverhältnis enthalten

Die genannten Restriktionen können sich auf die komplette Transport- oder Bereitstellungseinheit oder nur auf eine Zwischeneinheit derselben beziehen. Um die Versorgung der Abschnitte auf der Basis einzelner Materialflüßeinheiten veranlassen zu können, sind alle bestehenden Restriktionen bei der Ermittlung der Versorgungsmengen zu beachten.

Aufgrund der gemachten Ausführungen sind die folgenden Verfahren zur Versorgungsrechnung, der Ermittlung von Versorgungsobjekt und Versorgungsmenge, notwendig:

A) Versorgungsrechnung bei fest vorgegebener Versorgungsmenge

Für einen bestimmten Materialtyp an einem bestimmten Bedarfsort (Station bzw. Stationsgruppe) wird eine bestimmte Versorgungseinheit in einer festen Menge als Versorgungsobjekt bzw. Versorgungsmenge festgelegt:

BESITZT_FESTE_VERSORGUNGSMENGE/M

(MATERIAL, BEDARFSORT, VERSORGUNGSEINHEIT, FESTE-MENGE)

AUFBAU_VERSORGUNGSEINHEIT/M

(VERSORGUNGSEINHEIT, MATERIAL, PACKGUT, PACKEINHEIT, INHALTSFAKTOR)

Als Versorgungseinheit kann ein einzelnes Bauteil (Versorgungseinheit bestehend aus einem Materialtyp der Packeinheit und des Inhaltsfaktors eins), ein Bauteil in unterschiedlichen Packformen (Packgut/Packeinheit mit Inhaltsfaktor gleich eins) oder eine Kombination aus mehreren, unterschiedlichen Bauteil-Typen in bestimmten Packformen und einem bestimmten Zusammensetzungsverhältnis auftreten. Über das Medium Versorgungseinheit ist der im vorhergehenden angesprochene mögliche, starre Aufbau von Materialflüßeinheiten für die Versorgungsrechnung abgebildet. Die festgelegte Versorgungsmenge kann z.B. der maximalen Kapazität des zur Gut-Bereitstellung eingesetzten Magazins entsprechen.

Zur Ermittlung der Versorgungsmengen bei Versorgungseinheiten über einen Materialtyp sind die Bedarfe nach Bedarfsort, Materialtyp und Bedarfstermin zu sortieren. Es ergibt sich pro Bedarfsort und Materialtyp eine Bedarfsliste mit p Bedarfsfällen, wobei der Bedarfstermin des i-ten Bedarfsfalls zeitlich vor dem Bedarfstermin des (i+1)-ten Be-

darfsfalls liegt. Es ist für jeden Bedarfsfall i mit der Bedarfsmenge $BM_x(i)$ an Material x zu überprüfen, ob in Abhängigkeit vom verfügbaren Bestand $B_x(i-1)$ an Material x eine Versorgungsmenge in Höhe der für das Material x festgelegten Menge FM_V an Versorgungseinheiten (Packeinheit P_x , Inhaltsfaktor IF_x) in Anspruch zu nehmen ist.

Der verfügbare Bestand kommt aufgrund des Bestehens von festen Versorgungsmengen und von Packeinheiten zustande, die im allgemeinen nicht den benötigten Bedarfsmengen in allen Bedarfsfällen entsprechen. Da Bestand und Bruttobedarf durch die Nettobedarfsermittlung abgeglichen werden, ist der verfügbare Bestand für alle benötigten Materialtypen beim ersten Bedarfsfall im Rahmen der Versorgungsrechnung gleich null. Der Verlauf von Versorgungsmenge (bezogen auf den jeweiligen Typ von Versorgungseinheit) und verfügbarem Bestand (bezogen auf den jeweiligen Materialtyp) über der Zeit bzw. von Bedarfsfall zu Bedarfsfall läßt sich mit folgenden Gleichungen beschreiben:

$$VM_V(i) = \begin{cases} 0 & \text{für } B_x(i-1) \geq BM_x(i) \\ FM_V & \text{für } B_x(i-1) < BM_x(i) \end{cases}$$

$$B_x(i) = B_x(i-1) - BM_x(i) + VM_V(i) * IF_x * P_x \quad \text{mit } B_x(1) = 0$$

Je nach der Höhe von aktueller Bedarfsmenge, verfügbarem Bestand und festgelegter Versorgungsmenge kann die Versorgungsmenge zur Deckung mehrerer Bedarfe ausreichen und sich damit eine zeitliche Raffung der Bedarfe ergeben oder nicht.

Zur Versorgungsrechnung bei mehreren Materialtypen pro Versorgungseinheit (Typ) sind die Bedarfe an Materialtypen, die eine Versorgungseinheit bilden, gemeinsam zu betrachten, d.h. es ist eine zeitlich sortierte Bedarfsliste pro Bedarfsort und pro Typ von Versorgungseinheit zu bilden. Jeder Bedarfsfall i dieser Liste entspricht einem Bedarf an einem zur Versorgungseinheit gehörenden Material x . Wird bei der Versorgungsrechnung für den Bedarfsfall i an Material x eine Versorgungsmenge in Höhe der festgelegten Versorgungsmenge FM_V an Versorgungseinheiten oder eines Vielfachen davon für eine Bedarfsdeckung herangezogen, so entstehen für alle anderen zur Versorgungseinheit von Material x gehörenden Rest-Materialien r gemäß dieser Versorgungsmenge und den entsprechenden, definierten Packeinheiten P_r und Inhaltsfaktoren IF_r zum gleichen Bedarfstermin (Bedarfsfall i) verfügbare Bestände $B_r(i)$. Für die Versorgungsmenge an Versorgungseinheiten und den resultierenden verfügbaren Bestand an Material gilt:

$$VM_V(i) = \begin{cases} 0 & \text{für } B_x(i-1) \geq BM_x(i) \\ FM_V & \text{für } B_x(i-1) < BM_x(i) \end{cases}$$

$$B_x(i) = B_x(i-1) - BM_x(i) + VM_V(i) * IF_x * P_x \quad \text{mit } B_x(1) = 0$$

$$B_r(i) = B_r(i-1) + VM_V(i) * IF_r * P_r \quad \text{mit } B_r(1) = 0$$

Ein Materialtyp der beim Bedarfsfall i Restmaterial war, kann beim Bedarfsfall i+1 Bedarfsmaterial sein. Zur aktuellen und korrekten Berechnung ist der verfügbare Bestand für jeden Materialtyp einer Versorgungseinheit bei jedem Bedarfsfall zu ermitteln.

B) Versorgungsrechnung bei vorgegebener Mindest-Versorgungsmenge

Für einen bestimmten Materialtyp an einem bestimmten Bedarfsort wird eine minimal zulässige Versorgungsmenge bezogen auf eine bestimmte Versorgungseinheit (*AUFBAU_VERSORGUNGSEINHEIT/M*) festgelegt:

BESITZT_MINDEST_VERSORGUNGSMENGE/M

(*MATERIAL, BEDARFSORT, VERSORGUNGSEINHEIT, MINDEST-MENGE*)

Die Versorgungsrechnung erfolgt analog A), wobei jeder Bedarf (Ort, Gut, Menge, Termin) mindestens durch die minimal zulässige Versorgungsmenge MM_V an Versorgungseinheiten gedeckt wird. Liegt die Bedarfsmenge über der minimal zulässigen Versorgungsmenge MM_V , so wird die Versorgungsmenge $VM_V(i)$ an Versorgungseinheiten so gewählt, daß diese exakt der Bedarfsmenge entspricht bzw. diese minimal überschreitet (im Falle, daß die Bedarfsmenge kein ganzzahliges Vielfaches der Versorgungseinheit $IF_x * P_x$ ist). Versorgungsmenge und verfügbarer Bestand für den Bedarfsfall i errechnen sich wie folgt:

$$VM_V(i) = \begin{cases} 0 & \text{für } B_x(i-1) \geq BM_x(i) \\ MM_V & \text{für } B_x(i-1) < BM_x(i) \leq \\ & MM_V * IF_x * P_x \\ [[BM_x(i) + P_x - 1] \text{ div } P_x + & \text{für } B_x(i-1) < BM_x(i) > \\ IF_x - 1] \text{ div } IF_x & MM_V * IF_x * P_x \end{cases}$$

$$B_x(i) = B_x(i-1) - BM_x(i) + VM_V(i) * IF_x * P_x \quad \text{mit } B_x(1) = 0$$

$$B_r(i) = B_r(i-1) + VM_V(i) * IF_r * P_r \quad \text{mit } B_r(1) = 0$$

C) Versorgungsrechnung bei variabler Versorgungsmenge

Für einen bestimmten Materialtyp an einem bestimmten Bedarfsort wird die Versorgungsmenge pro Bedarfsfall als Vielfaches der ihm zugeordneten Versorgungseinheit (*AUFBAU_VERSORGUNGSEINHEIT/M*) bestimmt:

$$\text{BESITZT_VARIABLE_VERSORGUNGSMENGE/M} \\ (\text{ MATERIAL, BEDARFSORT, VERSORGUNGSEINHEIT })$$

Bei diesem Verfahren kann prinzipiell (bedingt durch die Existenz unterschiedlicher Versorgungseinheiten/Packformen) eine Überschreitung der Bedarfsmenge in Höhe der jeweiligen Versorgungseinheit minus eins (z.B. bei Bedarfsmenge gleich eins) auftreten. Sind Inhaltsfaktor und Packeinheit einer Versorgungseinheit gleich eins, so entspricht die Versorgungsmenge exakt der Nettobedarfsmenge. Dies entspricht einer einzelauftragsbezogenen Versorgungsplanung. Für Versorgungsmenge und verfügbaren Bestand gilt:

$$VM_V(i) = \begin{cases} 0 & \text{für } B_x(i-1) \geq BM_x(i) \\ [[BM_x(i) + P_x - 1] \text{ div } P_x + \\ \quad IF_x - 1] \text{ div } IF_x & \text{für } B_x(i-1) < BM_x(i) \end{cases}$$

$$B_x(i) = B_x(i-1) - BM_x(i) + VM_V(i) * IF_x * P_x \quad \text{mit } B_x(1) = 0$$

$$B_r(i) = B_r(i-1) + VM_V(i) * IF_r * P_r \quad \text{mit } B_r(1) = 0$$

D) Versorgungsrechnung bei Existenz unterschiedlicher Packformen eines Materials

Stehen für einen Materialtyp mehrere Packformen (z.B. Kleinteile in Packeinheiten zu 50, 100, 250) zur Auswahl, so sind die entsprechenden Packgüter so zusammenzustellen, daß einerseits eine möglichst geringe Anzahl an Packeinheiten ausgewählt wird und andererseits die Überschreitung der Bedarfsmenge möglichst gering ist. Um eine Packeinheit sinnvoll auswählen zu können, müssen alle Bedarfsfälle, die zeitlich nahe zusammen liegen, gemeinsam betrachtet werden, d.h. es muß eine Zeitrasterung der Bedarfsfälle vorgenommen werden. Da bei mehreren Packformen prinzipiell - unabhängig von der Auswahlstrategie - eine Überschreitung der Bedarfsmenge in Höhe der kleinsten Packeinheit minus eins entstehen kann, ist es sinnvoll und ausreichend für die Auswahl der

Packgüter eine minimale Bedarfsüberschreitung in Höhe dieses Werts zu fordern. Zur Versorgungsrechnung ist es notwendig zu wissen, welche Packformen bezüglich eines Materials bestehen bzw. zur Befriedigung eines Bedarfs für einen bestimmten Bedarfsort herangezogen werden sollen. Die an einem Bedarfsort zulässigen Packformen eines Materials gibt die Relation *BESITZT_WÄHLBARE_VERSORGUNGSMENGE/M* an:

$$\begin{aligned} & \textit{BESITZT_WÄHLBARE_VERSORGUNGSMENGE/M} \\ & (\textit{MATERIAL, BEDARFSORT, VERSORUNGSEINHEIT, ZEITINTERVALL}) \end{aligned}$$

Bei dem im folgenden vorgestellten Verfahren zur Packgut-Auswahl beinhaltet eine Versorgungseinheit (*AUFBAU_VERSORUNGSEINHEIT/M*) genau einen Materialtyp des Inhaltsfaktors eins. Die Nettobedarfe werden nach Bedarfsort, Materialtyp und Bedarfstermin sortiert, wobei eine Zusammenfassung von Nettobedarfen gemäß dem jeweils definierten Zeitintervall erfolgt. Für jeden resultierenden Bedarfsfall *i* wird eine Packgut-Kombination nach folgendem Verfahren bestimmt:

- Schritt 1: Berücksichtigen des verfügbaren Bestandes für den Bedarfsfall *i*; ist der Bestand ausreichend zur Deckung der Bedarfsmenge, so kann zum nächsten Bedarfsfall übergegangen werden, wobei der verfügbare Bestand zu aktualisieren ist; ist kein ausreichender Bestand vorhanden, so wird die Bedarfsmenge um den Bestand reduziert und zu Schritt 2 übergegangen:

$$RBM_x(i) = BM_x(i) - B_x(i-1)$$

- Schritt 2: Ermittlung der Versorgungseinheit/Packeinheit aus der Menge der zur Verfügung stehenden ($P_{x,v1}, P_{x,v2}, \dots, P_{x,vv}$) bzw. eines Vielfachen davon, die in minimaler Anzahl in der Restbedarfsmenge $RBM_x(i)$ enthalten ist und gleichzeitig die Restbedarfsmenge nicht überschreitet:

$$\begin{aligned} 0 < \min \{ [RBM_x(i) \text{ div } P_{x,v1}], [RBM_x(i) \text{ div } P_{x,v2}], \\ \dots [RBM_x(i) \text{ div } P_{x,vv}] \} * P_{x,vmin} \leq RBM_x(i) \\ VM_{x,vmin}(i) = RBM_x(i) \text{ div } P_{x,vmin} \end{aligned}$$

- Schritt 3: Ermittlung der aus Schritt 2 folgenden Restbedarfsmenge:

$$RBM_x(i) := RBM_x(i) - VM_{x,vmin}(i) * P_{x,vmin}$$

- Schritt 4: Wiederholen von Schritt 2 und 3 solange bis entweder die Restbedarfsmenge gleich null ist oder man bei der kleinsten Packeinheit angelangt ist; besteht nach Betrachtung der kleinsten Packeinheit noch ein Restbedarf, so ist die Versorgungsmenge (bezogen auf Packeinheiten) um eins zu erhöhen; als Ergebnis des Verfahrens ergibt sich ein Tupel von Versorgungsmengen, die auf die ausgewählten Versorgungseinheiten/Packeinheiten ($P_{x,A1}, P_{x,A2}, P_{x,AA}$) bezogen sind:

$$\underline{VM}_V(i) = \{ VM_{x,A1}(i), VM_{x,A2}(i), .. VM_{x,AA}(i) \}$$

Für den Verlauf von Versorgungsmenge und verfügbarem Bestand gilt:

$$\underline{VM}_V(i) = \begin{cases} 0 & \text{für } B_x(i-1) \geq BM_x(i) \\ \{ VM_{x,A1}(i), VM_{x,A2}(i), \\ \dots VM_{x,AA}(i) \} & \text{für } B_x(i-1) < BM_x(i) \end{cases}$$

$$B_x(i) = \begin{cases} B_x(i-1) - BM_x(i) & \text{für } B_x(i-1) \geq BM_x(i) \\ B_x(i-1) - BM_x(i) + \\ \sum_{n=1}^a VM_{x,An} * P_n & \text{für } B_x(i-1) < BM_x(i) \end{cases}$$

mit $B_x(1) = 0$

Bei der hier vorgenommenen Betrachtung flexibler Fertigungssysteme wird die Art und Weise der Bestimmung von Versorgungsgut und Versorgungsmenge als durch die Betriebsmittelplanung vorgegebener Teil der Versorgungsstrategie eines Fertigungsabschnitts angesehen, wobei für einen bestimmten Materialtyp an einem bestimmten Bedarfsort genau eine Strategie definiert ist. Der Ablauf einer auftragsgesteuerten Versorgungsplanung über einen bestimmten Belegungsplan ist in Bild 25 dargestellt. Zu einem Belegungsplan wird ein stationsbezogener Bruttobedarfsplan erzeugt, wobei für jeden im Belegungsplan genannten Auftrag für jeden benötigten Materialtyp ein Bedarf entsteht. Unter Beachtung der verfügbaren Bestände und der bestehenden Station-Material-Zuordnung wird aus dem Bruttobedarfsplan ein bedarfsortbezogener (eventuell stationsgruppenbezogene) Nettobedarfsplan erstellt (Nettobedarfermittlung). Dieser Nettobedarfsplan wird einer Versorgungsrechnung unterzogen, bei der Versorgungseinheit und Versorgungsmenge für jeden Bedarf nach den unterschiedlichen, im vorhergehenden vorgestellten Strategien zur Versorgungsrechnung bestimmt werden.

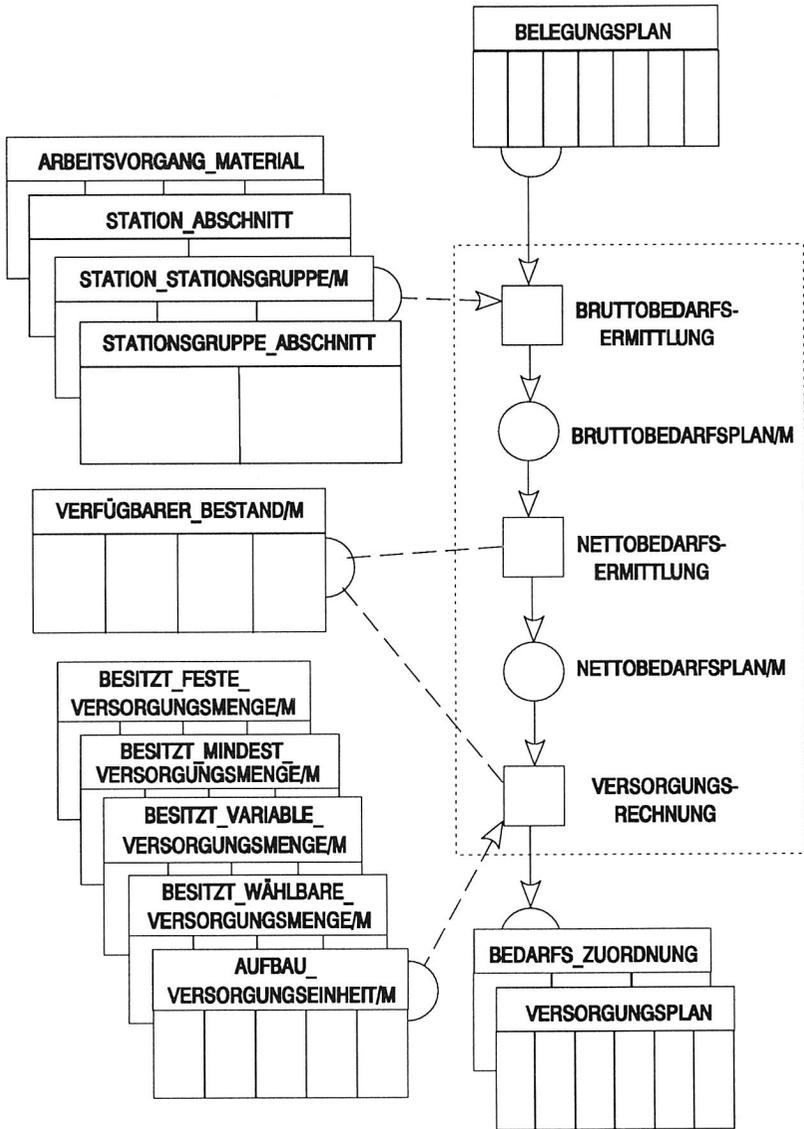


Bild 25: Auftragsgesteuerte Bedarfsplanung für Material

Am Ende dieser Rechnung können verfügbare Bestände, d.h. geplante, nicht vollständig zur Bedarfsdeckung verwendete Versorgungsmengen, übrig bleiben. Diese werden in die Relation *VERFÜGBARER_BESTAND* eingetragen und können damit bei einer Versorgungsplanung (Nettobedarfermittlung) über weitere, nachfolgende Belegungspläne berücksichtigt werden. Das Endergebnis eines Zyklusses zur Versorgungsplanung bildet der folgende Versorgungsplan:

VERSORGUNGSPLAN

(*POSITION, BEDARFSORT, VERSORGUNGSEINHEIT, BEDARFSAUSSLÖSUNG, OBJEKT-KLASSE, VERSORGUNGSTERMIN, VERSORGUNGSMENGE*)

Das Attribut *BEDARFSAUSSLÖSUNG* (auftrags-/bestands-/zeitgesteuert) wurde aufgenommen, um den Versorgungsplan universell, d.h. einsetzbar für alle Bedarfsplanungsvarianten, zu gestalten. Über die gesamte Bedarfsplanung wird der Bezug zwischen bedarfsauflösender Belegungsplan-Position und bedarfsdeckender Versorgungsplan-Position festgehalten (Relation *BEDARFS_ZUORDNUNG*). Dies dient einer schnellen Reaktion auf Störungen bei der Bearbeitung von Transport- und Lageraufträgen (siehe Abschnitt 6.2):

BEDARFS_ZUORDNUNG

(*VERSORGUNGSPLAN-POSITION, ABSCHNITT, FERTIGUNGS-AUFTRAG-NR*)

5.1.3 Auftragsgesteuerte Bedarfsplanung für Materialflußhilfsmittel

In den Fertigungsabschnitten besteht grundsätzlich auch ein Versorgungsbedarf an Materialflußhilfsmittel. Materialflußhilfsmittel dienen der Aufnahme von Material und Produkten (primäre Bedarfsobjekte). Der Versorgungsbedarf an einem bestimmten Materialflußhilfsmittel-Typ ist einerseits abhängig von den Entsorgungsbedarfen an von diesem Materialflußhilfsmittel-Typ aufzunehmenden Produkten und andererseits abhängig vom durch den Materialverbrauch verursachten Bestand an Materialflußhilfsmitteln (siehe Abschnitt 4). Dies ist der Fall, wenn der gleiche Materialflußhilfsmittel-Typ sowohl zur Versorgung als auch zur Entsorgung eingesetzt wird. Die Basis einer auftragsbezogenen Bedarfsplanung für Materialflußhilfsmittel ist, daß die Entsorgungsbedarfe an primären Objekten, um

eine rechtzeitige Bereitstellung von Materialflußhilfsmitteln zu deren Entsorgung zu ermöglichen, auftragsbezogen ermittelbar sind. Für Produkte ist dies prinzipiell möglich. Materialflußhilfsmittel lassen sich nach ihrer Verwendungsart in zwei Klassen einteilen:

- ein Materialflußhilfsmittel-Typ wird innerhalb eines Fertigungsabschnitts wiederverwendet, d.h. durch den Verbrauch primärer Objekte in einem Fertigungsabschnitt frei werdende Materialflußhilfsmittel werden für Entsorgungsvorgänge in diesem eingesetzt
- ein Materialflußhilfsmittel-Typ wird innerhalb eines Fertigungsabschnitts nicht wiederverwendet, d.h. durch den Verbrauch primärer Objekte frei werdende Materialflußhilfsmittel verlassen - aus ablauforganisatorischen, zeitlichen, konstruktiven, etc. Gründen - ohne Aufnahme von zu entsorgenden Objekten den Fertigungsabschnitt

Um den Bedarf an Materialflußhilfsmitteln, die wiederverwendet werden, auftragsbezogen planen zu können, muß sowohl der aus den Entsorgungsbedarfen an Produkten resultierende Bedarf an Materialflußhilfsmitteln als auch der aus den Versorgungsbedarfen an Material resultierende voraussichtliche Bestand an Materialflußhilfsmitteln berechnet und die sich ergebenden Bedarfe mit den Beständen typbezogen abgeglichen werden. Die Berechnung der voraussichtlichen Bestände an Materialflußhilfsmittel setzt die Kenntnis des Aufbaus der Transporteinheit, mit der Material für einen Abschnitt geliefert wird, sowie des Verbrauchsverhaltens im Abschnitt voraus. Das Verbrauchsverhalten im Fertigungsabschnitt bestimmt den Zeitpunkt ab dem die Materialflußhilfsmittel einer Transporteinheit leer sein werden. Für das Verbrauchsverhalten spielt die Organisation der Bereitstellung, Entsorgung, Lagerung und des Transports eine entscheidende Rolle, wobei sich für diese keine allgemeingültige Aussage treffen läßt. Eine Vorhersage des Verbrauchsverhaltens ist daher nicht möglich und damit auch eine Planung der voraussichtlichen Bestände. Der Versorgungsbedarf an Materialflußhilfsmitteln, die in einem Abschnitt wiederverwendet werden, muß bestands- oder zeitgesteuert ermittelt werden.

Der Versorgungsbedarf an einem nicht wiederverwendeten Materialflußhilfsmittel-Typ ergibt sich direkt aus den Entsorgungsbedarfen an Produkten, die von diesem aufzunehmen sind. Kennt man den Entsorgungsbedarf an primären Objekten, so kann die Anzahl der zur Entsorgung notwendigen Materialflußhilfsmittel über die Aufnahmekapazität desselben berechnet werden. Eine einfache Bestimmung des Versorgungsbedarfs an Materialflußhilfsmitteln ist nur unter der Voraussetzung, daß ein Materialflußhilfsmittel zu einem Zeitpunkt jeweils zur Aufnahme gleichartiger Objekte (sortenreine Materialfluß-

einheit) eingesetzt wird, möglich. Die Kapazität eines Materialflußhilfsmittels wird bezogen auf den jeweils aufzunehmenden Objekttyp als Betriebsmittel-Definitionsdatum festgelegt. Ist die genannte Voraussetzung nicht gegeben, so muß zur Errechnung der Versorgungsbedarfe eine Aussage über die Anzahl an unterschiedlichen Objekten, die von ein und demselben Materialflußhilfsmittel zu einem Zeitpunkt aufgenommen werden können, getroffen werden. Dies erfordert den Einsatz geometrischer Volumenmodelle zur Beschreibung der Aufnahmeobjekte und der Kapazität der Materialflußhilfsmittel. Die Bestimmung der von einem Materialflußhilfsmittel aufzunehmenden Objekte aus einer vorliegenden Objekt-Menge mittels solcher Volumenmodelle ist sehr rechenzeitaufwendig (siehe Abschnitt 5.3) und daher mit dem Ziel einer kurzfristigen und aktuellen Materialflußsteuerung nicht vereinbar. Der Versorgungsbedarf ist also bestands- oder zeitgesteuert zu ermitteln. Für Produkte von flexiblen Fertigungsabschnitten ist die genannte Voraussetzung jedoch zumeist gegeben (siehe Abschnitt 4). Für diesen Fall wird im weiteren ein Verfahren zur auftragsbezogenen Bedarfsplanung vorgestellt. Kennt man den Arbeitsvorgang der ein Produkt erzeugt, so lassen sich mittels des Belegungsplans (Arbeitsvorgang, Arbeitsvorgangs-Dauer) Entsorgungsmenge und -termin des Produkts bestimmen. Als Information wird zu jedem Produkt eines Abschnitts der ihn erzeugende Arbeitsvorgang benötigt:

ARBEITSVORGANG_PRODUKT

(ARBEITSPLAN, ARBEITSVORGANG, PRODUKT, MENGE)

Die Attributwerte der Relation *ARBEITSVORGANG_PRODUKT* sind eine Teilmenge der Attributwerte der Relation *ARBEITSVORGANG_MATERIAL*. Die Relation *ARBEITSVORGANG_PRODUKT* muß nur Einträge bezüglich der Produkte, für die der Bedarf an Materialflußhilfsmitteln auftragsgesteuert ermittelt werden soll, enthalten.

Zur Berechnung der Versorgungsmenge an Materialflußhilfsmitteln eines Typs ist die Anzahl (Kapazität des Materialflußhilfsmittels) der zu entsorgenden Objekte, für die jeweils ein Materialflußhilfsmittel-Exemplar erforderlich ist, anzugeben. Der Versorgungstermin (Zeitpunkt zu dem die Bereitstellung erfolgt sein muß) eines Materialflußhilfsmittels entspricht entweder dem Entsorgungstermin des ersten von diesem Materialflußhilfsmittel aufzunehmenden Objektes (z.B. jedes einzelne Produkt wird an einer Fertigungsstation direkt nach seiner Erzeugung in ein der Entsorgung dienendes Magazin abgelegt) oder dem des letzten (z.B. jeweils nach Fertigung einer gewissen Stückzahl an Produkten ist

ein Magazin zur Entsorgung erforderlich). Da die jeweils für die Materialflußhilfsmittel festgelegten Kapazitäten nicht zwangsweise vollständig genutzt werden (Anzahl der pro Bedarfsfall zu entsorgenden Objekte ist zumeist kein Vielfaches der festgelegten Kapazität), entstehen ungenutzte - verfügbare -Kapazitäten. Solche Rest-Kapazitäten eines Materialflußhilfsmittels können für später zu entsorgende Objekte eingesetzt werden. Dies ist allerdings nur innerhalb eines gewissen Zeitraums möglich, da Materialflußhilfsmittel mit den zu entsorgenden Objekten beladen werden und dann den Fertigungsabschnitt verlassen. Ordnet man jedem Entsorgungsobjekt-Typ einen Materialflußhilfsmittel-Typ zu, der das Objekt zur Entsorgung aufnehmen soll, und charakterisiert den Materialflußhilfsmittel-Typ hinsichtlich der Anzahl (Kapazität) an aufnehmbaren Objekten pro Exemplar dieses Typs und hinsichtlich des Zeitraums innerhalb dessen Restkapazitäten genutzt werden können sowie hinsichtlich der Bestimmungsweise des Versorgungstermins, so sind alle benötigten Informationen zu einer auftragsbezogenen Bedarfsplanung gegeben.

Die Transporteinheit, in der die zu entsorgenden primären Objekte den Fertigungsabschnitt verlassen, kann prinzipiell mehrere Ebenen an Materialflußhilfsmitteln aufweisen (Schachtelstruktur: mehrere Produkte in einem Magazin, mehrere Magazine auf einer Palette). Das Materialflußhilfsmittel zur Aufnahme der primären Objekte ist direkt von diesen abhängig, wobei sie zusammen eine Zwischeneinheit der Transporteinheit bilden. Die Bestimmung aller zum Transport des Versorgungsgutes Materialflußhilfsmittel eventuell einzusetzen den Materialflußhilfsmittel geschieht ebenso wie für das Versorgungsgut Material im Rahmen der Flußeinheitenbildung (siehe Abschnitt 5.3). Die Materialflußhilfsmittel-Versorgung wird durch folgende Informationen definiert:

MATERIALFLUSSHILFSMITTEL_VERSORGUNG

(BEDARFSORT, ENTSORGUNGSOBJEKT, VERSORGUNGSEINHEIT, AUFNAHMEZEIT, TERMINBESTIMMUNG)

AUFBAU_VERSORGUNGSEINHEIT/MFHM

(VERSORGUNGSEINHEIT, MATERIALFLUSSHILFSMITTEL, KAPAZITÄT, INHALTSFAKTOR)

VERFÜGBARE_MFHM_KAPAZITÄT

(BEDARFSORT, ENTSORGUNGSOBJEKT, MATERIALFLUSSHILFSMITTEL, REST-KAPAZITÄT, ZEITPUNKT)

Pro festgelegter Anzahl (*OBJEKTAZAHL*) an Entsorgungsobjekten ergibt sich je eine Versorgungseinheit als Versorgungsmenge, wobei der Versorgungstermin entweder orientiert am ersten oder am letzten Objekt (*TERMINBESTIMMUNG*) gemäß der Objektanzahl bestimmt wird. Sich ergebende Rest-Aufnahmekapazitäten werden nur innerhalb der für einen Objekttyp an einem Bedarfsort definierten Aufnahmezeit genutzt. Die Versorgungsrechnung (Bild 26) erfolgt bezogen auf den Bedarfsort der zu entsorgenden Objekte. Hierzu ist aufgrund der Bedarfsort-Varianten auch die Kenntnis der organisatorischen Struktur der Abschnitte notwendig. Ergebnis ist ein Versorgungsplan (s. Abschnitt 5.1.2):

VERSORGUNGSPLAN

(*POSITION, BEDARFSORT, VERSORGUNGSEINHEIT, BEDARFSAUFLÖSUNG, OBJEKT-KLASSE, VERSORGUNGSTERMIN, VERSORGUNGSMENGE*)

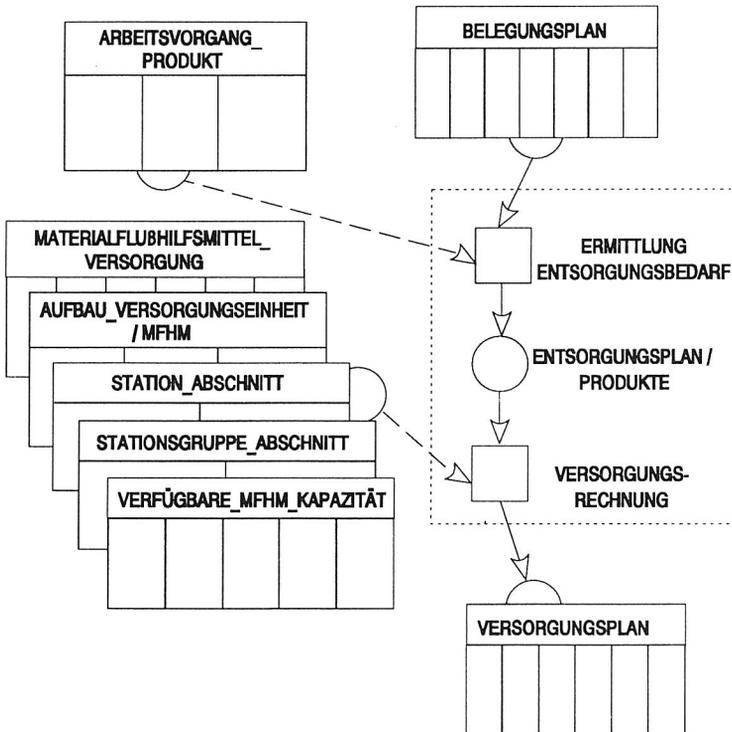


Bild 26: Auftragsgesteuerte Bedarfsplanung für Materialflußhilfsmittel

5.2 Flußplanung

5.2.1 Ausgangslage und Problemstellung

Um Flußaufträge zur Veranlassung des Materialflusses erzeugen zu können, müssen für bestehende Entsorgungsbedarfe Senken zur Aufnahme der Entsorgungsobjekte und für im Rahmen der Bedarfsplanung ermittelte Versorgungsbedarfe Quellen zur Abgabe der Versorgungsobjekte ermittelt werden. Desweiteren sind Transportmedien zur Beförderung der Objekte zu bestimmen. Bestehende Entsorgungsbedarfe werden von den Fertigungsabschnitten dem Informationssystem zur Materialflußsteuerung übermittelt. Entsorgungs- und Versorgungsbedarfe (siehe Abschnitt 5.1) lassen sich allgemein darstellen als:

VERSORGUNGSPLAN

(*POSITION, BEDARFSORT, VERSORGUNGSEINHEIT, BEDARFSAUSLÖSUNG, OBJEKT-KLASSE, VERSORGUNGSTERMIN, VERSORGUNGSMENGE*)

ENTSORGUNGSPLAN

(*POSITION, BEDARFSORT, TRANSPORTEINHEIT, OBJEKT-KLASSE, OBJEKT-IDENTIFIKATION, ENTSORGUNGSTERMIN*)

Jedes Tupel der Relationen *VERSORGUNGSPLAN* bzw. *ENTSORGUNGSPLAN* entspricht einem Ver- bzw. Entsorgungsbedarf. Der Versorgungstermin entspricht dem Zeitpunkt, bis zu dem ein bestimmtes Objekt in einer bestimmten Menge an einem bestimmten Bedarfsort für einen Einsatz verfügbar sein muß. Der Entsorgungstermin kennzeichnet den Zeitpunkt, ab dem das zu entsorgende Objekt - Transporteinheit - an einem bestimmten Ort zur weiteren Verwendung zur Verfügung steht. Der Entsorgungstermin eines Bedarfs ist entweder gleich dem Zeitpunkt, zu dem einem Informationssystem zur Materialflußsteuerung/Flußplanung dieser mitgeteilt wird, oder liegt nach diesem Zeitpunkt (in der Zukunft). Das Objekt eines Entsorgungsbedarfs entspricht einer Transporteinheit, die zum Zeitpunkt der Flußplanung bereits gebildet ist oder bis zum Entsorgungstermin in einer vordefinierten Art und Weise gebildet sein wird. Zur Flußplanung müssen die zu entsorgenden Objekte informationstechnisch beschrieben werden. Der Aufbau einer Transporteinheit muß der Flußplanung mitgeteilt werden. Derartige Aufbaubeschreibungen werden in Abschnitt 5.3 vorgestellt. Über das Attribut *OBJEKT-IDENTIFIKATION* werden Behälternummern, Identifikationskennungen von Werkstückträgern, etc., die eine zu entsorgende

Transporteinheit (z.B. Palette mit Inhaltsgut) identifizieren, erfaßt. Diese Kennzeichen werden z.B. bei Übergabe einer Transporteinheit von einem Transportsystem an einen Abschnitt/Lagersystem automatisch gelesen und dem den Abschnitt/Lagersystem steuernden Rechnersystem übermittelt. Dieses bestimmt die zu einem Kennzeichen gehörenden "Lieferpapiere" (im Rechner gespeicherte Informationen) und nimmt die zugehörigen Objekte in den verfügbaren bzw. aktuellen Bestand des Abschnitts/Lagersystems auf. Objekt-Identifikationen wie Behälternummern, etc. ermöglichen einen beleglosen Materialfluß und eine automatisierte Bestandsführung. Zur Materialflußsteuerung sind sie als einen Entsorgungsbedarf identifizierendes Kennzeichen aufzunehmen und bei der Veranlassung von Flußaufträgen den jeweils betroffenen Senken und Transportmedien mitzuteilen.

Die Diskussion des Materialflusses in Abschnitt 4 zeigte, daß die Entsorgung eines Abschnitts und die Versorgung eines anderen Abschnitts bezüglich des gleichen Objekttyps hinsichtlich der Zeit und der eingesetzten Mittel entweder separate Materialflußvorgänge oder ein und derselbe Materialflußvorgang sind. Beim Fremdmaterial-Fluß gibt es nur separate Materialflußvorgänge (Versorgungs-Quelle und Entsorgungs-Senke sind jeweils Lagersysteme). Liegt eine verbrauchsorientierte Produktionssteuerung vor, so gilt das auch für den Produktfluß. Bei auftragsorientierter Produktionssteuerung können Abschnitte hinsichtlich des Produktflusses über Lagersysteme entkoppelt sein (separate Ver-/Entsorgungsvorgänge) oder nicht (korrespondierende Ver-/Entsorgung). Für die Objektklasse Materialflußhilfsmittel kann sowohl eine separate Ver-/Entsorgung als auch eine korrespondierende Ver-/Entsorgung gegeben sein. Im weiteren wird daher von separaten und korrespondierenden Ver-/Entsorgungsbedarfen gesprochen. Korrespondierende Ver-/Entsorgungsbedarfe müssen zusammengefaßt werden. Es darf für sie nicht sowohl ein Entsorgungs- als auch ein Versorgungsvorgang veranlaßt werden. An einem bestimmten Bedarfsort liegt bezüglich eines bestimmten Objekttyps unabhängig vom zeitlichen Auftreten des Bedarfs entweder der eine oder der andere Fall vor.

5.2.2 Flußplanung bei korrespondierenden Ver-/Entsorgungsbedarfen

Für Materialflußhilfsmittel ist im Rahmen der Fertigungsorganisation festgelegt, daß in ein oder mehreren Abschnitten bestehende Entsorgungsbedarfe den in ein oder mehreren Abschnitten bestehenden Versorgungsbedarfen zuzuordnen sind. Die Abschnitte (Quellen und Senken) bilden bezüglich eines bestimmten Bedarfsobjekts (Typ) einen gemeinsamen Flußbereich. Korrespondierende Bedarfe an Materialflußhilfsmitteln eines bestimmten Typs sind über die Bedarfsmenge zuzuordnen. Jeder Entsorgungsbedarf entspricht einer Transporteinheit mit vordefinierter Struktur und Inhaltsmenge (z.B. einem einzelnen Behälter oder einer Transportpalette mit vier Kleinteile-Behältern). In den Konfigurationsdaten zur Bedarfsplanung (*AUFBAU_VERSORGUNGSEINHEIT/MFHM*) ist die Basisgröße Versorgungseinheit so festzulegen, daß sie der Inhaltsmenge an Materialflußhilfsmitteln der Transporteinheit entspricht, die innerhalb eines bestimmten Flußbereichs als Entsorgungsobjekt auftritt. Ein Versorgungsbedarf ist damit hinsichtlich der Versorgungsmenge immer ein ganzzahliges Vielfaches eines Entsorgungsbedarfs bzw. der einem Entsorgungsbedarf zugeordneten Transporteinheit.

Die in einem Flußbereich über einen Zeitraum auftretenden Ent- und Versorgungsmengen an Materialflußhilfsmitteln müssen nicht unbedingt exakt übereinstimmen. Die Entsorgungsmengen in einem Zeitraum können die Versorgungsmengen im gleichen Zeitraum übersteigen, in einem späteren Zeitraum kann es umgekehrt sein. Für den notwendigen Zeit-Mengen-Ausgleich läßt sich hinsichtlich der Fertigungsorganisation vereinbaren, daß eine Zwischenlagerung der Entsorgungsobjekte bis zum Auftreten eines Versorgungsbedarfs prinzipiell an der jeweiligen Entsorgungs-Quelle oder in einem separaten Lagersystem stattfindet, oder daß ein separates Lagersystem zeitabhängig für nicht zuordenbare Bedarfe genutzt wird. Bei der letzteren Variante werden, wenn Entsorgungs- und Versorgungsbedarfe einander nicht innerhalb einer bestimmten Zeitspanne zugeordnet werden können, die zugehörigen Materialflußhilfsmittel in einem bestimmten Lagersystem zwischengelagert bzw. aus diesem abgerufen. Ist prinzipiell eine Zwischenlagerung zu entsorgender Materialflußhilfsmittel vor einer erneuten Verwendung vorgesehen, so sind Ver- und Entsorgungsvorgänge separate Materialflußvorgänge (s. Abschnitt 5.2.3). Korrespondierende Bedarfe an Produkten bestehen nur bei Vorliegen einer auftragsorientierten Produktionssteuerung. Die gefertigten Produkte eines Vorgänger-Abschnitts sind einem bestimmten Fertigungsauftrag, der in einem Nachfolger-Abschnitt auszuführen ist, zugeord-

net. Korrespondierende Bedarfe an Produkten sind daher über den gemeinsamen Bezug zu einem Fertigungsauftrag zu bestimmen. Der Bezug eines Versorgungsbedarfs zum Fertigungsauftrag wird bei auftragsgesteuerter Bedarfsplanung festgehalten (*BEDARFS_ZUORDNUNG*) und steht damit zur Verfügung. Ein Abschnitt, der einen Entsorgungsbedarf dem Informationssystem zur Materialflußsteuerung mitteilt, muß dies unter Angabe des bedarfsauslösenden Fertigungsauftrages (*TRANSPORTEINHEITEN_ZUORDNUNG*) tun. Alle Teile/Baugruppen, die für ein bestimmtes Endprodukt über mehrere Stufen (Abschnitte) gefertigt werden, weisen die Fertigungsauftragsnummer dieses Endprodukts auf. Bei auftragsgesteuerter Produktionssteuerung kennzeichnet eine Fertigungsauftragsnummer alle für ein Endprodukt über mehrere Abschnitte zu fertigenden Teile oder Baugruppen.

Mit den folgenden Relationen lassen sich dann Ver-/Entsorgungsbedarfe auftragsbezogen einander zuordnen:

BEDARFS_ZUORDNUNG

(*VERSORGUNGSPLAN-POSITION, ABSCHNITT, FERTIGUNGS-AUFTRAG-NR*)

TRANSPORTEINHEITEN_ZUORDNUNG

(*ENTSORGUNGSPLAN-POSITION, ABSCHNITT, FERTIGUNGS-AUFTRAG-NR*)

Da die Anzahl gefertigter Produkte pro Auftrag die Inhaltmenge einer einzelnen, zu entsorgenden Transporteinheit übersteigen kann, sind in der Regel einem Versorgungsbedarf ein oder mehrere Entsorgungsbedarfe zuzuordnen. Den Entsorgungsbedarfen eines Abschnitts an einem bestimmten Produkttyp stehen die im Rahmen der auftragsgesteuerten Bedarfsplanung ermittelten Versorgungsbedarfe eines oder mehrerer Abschnitte gegenüber, wobei über den Auftrag eine eindeutige Zuordnung besteht. Für diesen Produkttyp bilden die beteiligten Abschnitte einen Flußbereich mit einer Quelle und mehreren Senken.

Ebenso wie für Materialflußhilfsmittel kann für zu entsorgende Produkte eine Zwischenlagerung notwendig werden. Maschinenausfälle in einem Fertigungsabschnitt führen zu einer Verschiebung des Bearbeitungsbeginns eingeplanter Fertigungsaufträge. In Vorgänger-Abschnitten gefertigte und für diese Fertigungsaufträge bestimmten Teile und Baugruppen müssen in solchen Fällen zwischengelagert werden, bis sie benötigt werden. Zu entsorgende Produkte können bis zum Auftreten des zugehörigen Versorgungsbedarfs entweder

prinzipiell an der Entsorgungs-Quelle oder in einem separaten Lagersystem zwischengelagert werden oder in Abhängigkeit von der Höhe der Auftragsverzögerung in einem separaten Lagersystem. Ist grundsätzlich eine Zwischenlagerung gefertigter Produkte vor ihrer weiteren Verwendung in nachfolgende Fertigungsabschnitten vorgesehen, so sind Ver-/Entsorgung separate Materialflußvorgänge (siehe Abschnitt 5.2.3).

Für Materialflußhilfsmittel und Produkte bestehen gleichartige Korrespondenzvarianten:

- Die zu entsorgenden Objekte eines Abschnitts verbleiben in diesem, bis ein korrespondierender Versorgungsbedarf auftritt (Korrespondenzvariante: "Zwischenlagerung an der Entsorgungs-Quelle").
- Die zu entsorgende Objekte eines Abschnitts werden, wenn nicht innerhalb eines bestimmten Zeitraums ein Versorgungsbedarf auftritt, in einem separaten Lagersystem zwischengelagert. In einem Abschnitt benötigte Objekte werden, wenn nicht innerhalb eines gewissen Zeitraums einen korrespondierender Versorgungsbedarf auftritt, aus dem genannten Lagersystem abgerufen (Korrespondenzvariante: "fallweise Zwischenlagerung in einem separaten Lager")

Die im vorhergehenden aufgezeigten Abhängigkeiten sind in den folgenden Relationen abgebildet:

KORRESPONDIERENDE_BEDARFE

(OBJEKT, FLUSSBEREICH, AUFTRAGSBEZUG, KORRESPONDENZVARIANTE,
ZWISCHENLAGER)

GEHÖRT_ZU_FLUSSBEREICH

(ORT, ORTSKLASSE, FLUSSBEREICH)

Ein Flußbereich wird durch mehrere Orte (Fertigungsabschnitte), die für einen bestimmten Objekttyp eine bestimmte Korrespondenzvariante aufweisen, gebildet. Jeder als Ort genannte Fertigungsabschnitt ist entweder eine Quelle oder eine Senke (Ortsklasse). Für jeden Objekttyp ist festzulegen, ob es einen abschnittübergreifenden (Objektklasse Produkte) oder nur einen abschnittsinternen Bezug (Objektklasse Materialflußhilfsmittel) zu einem Fertigungsauftrag besitzt.

Bisher wurde die Korrespondenz von Bedarfen in mengenmäßiger Hinsicht diskutiert, Bedarfe müssen aber auch in zeitlicher Hinsicht korrespondieren. Um einen Entsorgungsbedarf zur Deckung eines Versorgungsbedarfs heranziehen zu können, muß die Zeitspanne zwischen Versorgungs- und Entsorgungstermin dieser Bedarfe mindestens dem zur Durchführung des Materialflusses zwischen Quelle und Senke erforderlichen Zeitraum entsprechen. Dieser als Versorgungsdauer bezeichnete Zeitraum besteht aus folgenden Anteilen:

- Zeit für informationelle Tätigkeiten (z.B. Auftragsplanung und -veranlassung), der als Quelle/Senke/Transportmedium beteiligten Abschnitte, Lager-/Transportsysteme
- Zeit für die Auslagerung (Transport, Kommissionierung) der benötigten Objekte an der Quelle, d.h. im Fertigungsabschnitt oder Lagersystem
- Zeit für die Beförderung der Objekte durch ein Transportsystem von der Quelle zur Senke (Wegzeit zwischen Quelle und Senke)
- Zeit für die Einlagerung (Übernahme, Bereitstellung an der Station) der Objekte an der Senke, d.h. im Fertigungsabschnitt oder Lagersystem

Die angegebenen Zeiten sind abhängig von der organisatorischen und räumlichen Struktur der Quellen/Senken/Transportmedien der Materialflüsse, der bestehenden Auftragslast in diesen, den Fluss-Objekten selbst, etc. Eine exakte Bestimmung dieser Zeitanteile ist aufgrund der Vielfalt an Einflußfaktoren und deren gegenseitige Beeinflussung nicht möglich. Um den Aufwand zur Erfassung der Zeitanteile in Grenzen zu halten, wird eine Festlegung von Durchschnittswerten für diese vorgeschlagen:

- die Zeit für informationelle Tätigkeiten wird als ein Quelle-, Senke- bzw. Transportmedium-spezifischer Parameter abgebildet
- die Zeit zur Auslagerung der benötigten Objekte wird als ein Quelle- und Objekt-spezifischer Parameter (Berücksichtigung unterschiedlicher Auslagerungsdauern für unterschiedliche Versorgungseinheiten) abgebildet
- die Zeit für die Objekt-Beförderung wird durch einen Quelle- und Senke-spezifischen Parameter abgebildet
- die Zeit für die Einlagerung der Objekte an der Senke wird als Senke-spezifischer Parameter abgebildet

Da der Materialfluß zwischen einer Quelle und einer Senke für einen bestimmten Objekttyp von genau einem Transportmedium realisiert wird (siehe Abschnitt 4.2.1), kann die Versorgungsdauer als ein Quelle-/Senke-/Objekt-spezifischer Durchschnittswert, der sich aus den Durchschnittswerten der genannten Zeitanteile zusammensetzt, aufgefaßt werden:

BESITZT_VERSORGUNGSDAUER
(QUELLE, SENKE, OBJEKT, VERSORGUNGSDAUER)

BESITZT_TRANSPORTMEDIUM
(QUELLE, SENKE, OBJEKT, TRANSPORTMEDIUM)

Der Versorgungstermin charakterisiert den Zeitpunkt, zu dem ein Objekt an der Senke benötigt wird. Ein Objekt kann einen gewissen Zeitraum vor seinem Versorgungstermin zu seiner Senke befördert werden. Die Höhe dieses Zeitraums wird bestimmt vom Wunsch nach einem gesicherten Fertigungsablauf einerseits und nach einer geringen, notwendigen Aufnahmekapazität der Senke andererseits. Einer Senke wird daher als Betriebsmittel-Definitionsdatum eine erwünschte, Objekt-spezifische Vorlaufzeit hinsichtlich der Versorgung mit Objekten zugeordnet:

BESITZT_VORLAUFZEIT
(SENKE, OBJEKT, VORLAUFZEIT)

Für die Zuordnung korrespondierender Bedarfe an Produkten gilt grundsätzlich, daß jeder bestehende Versorgungsbedarf innerhalb eines gewissen Zeitraums durch entstehende Entsorgungsbedarfe gedeckt wird. Ist dies nicht der Fall, d.h. konnte einem Versorgungsbedarf bis zum Zeitpunkt Versorgungstermin minus Versorgungsdauer minus Vorlaufzeit kein korrespondierender Entsorgungsbedarf zugeordnet werden, dann sind die Planungsvorgaben, die die einzelnen Fertigungsabschnitte vom Produktionsplanungs- und -steuerungssystem erhalten haben, nicht korrekt aufeinander abgestimmt. Dies entspräche einem systematischen Fehler bei der Belegungsplanung bzw. Termin- und Kapazitätsplanung, der bei der Flußplanung erkannt aber nicht behoben werden kann. Versorgungsdauer und Vorlaufzeit bilden die bei der Termin-/Kapazitätsplanung minimal zu berücksichtigende Übergangszeit zwischen zwei Fertigungsabschnitten. Die Verfügbarkeit von Materialflußhilfsmitteln für auftretende Versorgungsbedarfe wird durch eine angemessene Anzahl von in einem Flußbereich umlaufenden Materialflußhilfsmitteln sichergestellt.

Bei Vorliegen der Korrespondenzvariante "Zwischenlagerung an der Entsorgungs-Quelle" läßt sich auf Basis der Informationen *KORRESPONDIERENDE_BEDARFE*, *GEHÖRT_ZU_FLUSSBEREICH* und *BESITZT_TRANSPORTMEDIUM* zu jedem Versorgungsbedarf (*VERSORGUNGSPLAN*, *BEDARFS_ZUORDNUNG*) ein oder mehrere Entsorgungsbedarfe (*ENTSORGUNGSPLAN*, *TRANSPORTEINHEITEN_ZUORDNUNG*) zu seiner Deckung bestimmen, wobei *BESITZT_VERSORGUNGSDAUER* und *BESITZT_VORLAUFZEIT* den zeitlichen Rahmen hierfür festlegt. Für einen Versorgungsbedarf muß spätestens zum Zeitpunkt Versorgungstermin minus Versorgungsdauer minus Vorlaufzeit ein Versorgungsvorgang veranlasst werden, um einen ordnungsgemäßen Fertigungsablauf zu gewährleisten. Bei Vorliegen der Korrespondenzvariante "fallweise Zwischenlagerung in einem separaten Lagersystem" werden zur Flußplanung noch weitere zeitliche Entscheidungskriterien zur Nutzung des Zwischenlagers benötigt (Bild 27). Es stellt sich die Frage, ab welchem Zeitpunkt das Zwischenlager zur Aufnahme der Objekte bestehender Entsorgungsbedarfe bzw. zur Abgabe der Objekte für bestehende Versorgungsbedarfe eingesetzt werden soll.

Der Entsorgungstermin charakterisiert den Zeitpunkt, ab dem ein Objekt an einer Quelle verfügbar, d.h. abholbar, ist. Wird das Objekt nicht innerhalb eines gewissen Zeitraums abgeholt, kann eine Blockade der Quelle zustande kommen. Dies führt zum Wunsch nach einer möglichst frühzeitigen Entsorgung. Da zur Aufwandsminimierung unnötige - zu einem Versorgungsbedarf kann im Laufe der Zeit ein korrespondierender Versorgungsbedarf auftreten -Zwischenlagerungen möglichst vermieden werden sollen, besteht andererseits der Wunsch nach einer möglichst späten Entsorgung. Der für die Entsorgung erforderliche Zeitraum - Entsorgungsdauer - selbst besteht aus folgenden Zeit-Anteilen:

- Zeit für informationelle Tätigkeiten (z.B. Auftragsplanung und -veranlassung), der als Quelle/Transportmedium beteiligten Abschnitte, Lager- und Transportsysteme
- Zeit für die Auslagerung (Transport, Übergabe) der zu entsorgenden Objekte an der Quelle, und bzw. oder Zeit für die Bereitstellung von Transportleistung (z.B. Anfahrzeit eines Flurförderzeugs), je nachdem ob diese Vorgänge zeitlich seriell bzw. parallel ausgeführt werden

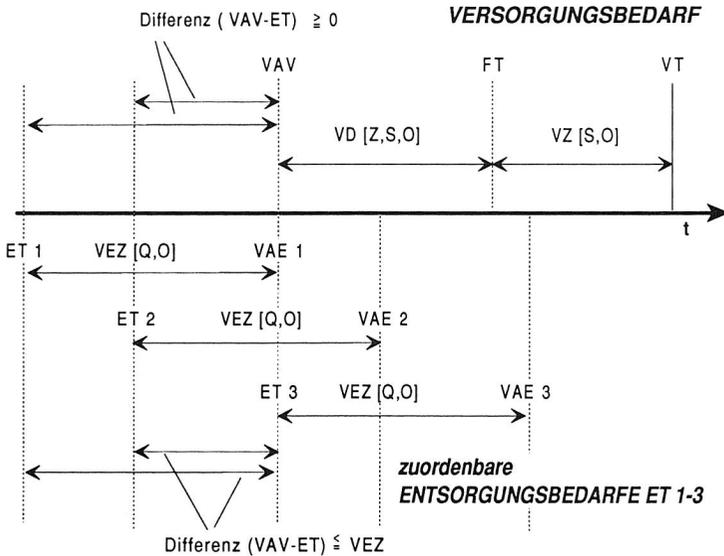
Die Entsorgung einer Quelle kann frühestens zum Zeitpunkt Entsorgungstermin plus Entsorgungsdauer abgeschlossen sein. Als Entscheidungskriterium für die Zwischenlagerung der Objekte eines Versorgungsbedarfs wird für jedes Entsorgungsobjekt einer Quelle

eine durchschnittlich zulässige, über die normale Entsorgungsdauer hinausgehende Verzögerungszeit definiert:

$$BESITZT_VERZÖGERUNGSZEIT$$

$$(\underline{QUELLE, OBJEKT, VERZÖGERUNGSZEIT})$$

Durch Addition dieser Verzögerungszeit zum Entsorgungstermin ergibt sich der Zeitpunkt, zu dem die Entsorgung der Quelle mit dem jeweils definierten Zwischenlager als Senke spätestens veranlaßt sein muß. Ist bis zu diesem Zeitpunkt keine Bestimmung eines korrespondierenden Versorgungsbedarfs zu einem Entsorgungsbedarf möglich gewesen,



Versorgungsbedarf (Senke S, Objekt O, Versorgungstermin VT, ...)
 Entsorgungsbedarf (Quelle Q, Objekt O, Entsorgungstermin ET, ...)
 Transportmedium T, Zwischenlager Z

VD, VZ Versorgungsdauer, Vorlaufzeit
 ED, VEZ Entsorgungsdauer, Verzögerungszeit
 VT, FT, ET Versorgungstermin, Flußtermin, Entsorgungstermin
 VAV bzw. VAE spätestes Veranlassungstermin der Ver- bzw. Entsorgung

Bild 27: Korrespondierende Entsorgungsbedarfe zu einem Versorgungsbedarf bei "fallweiser Zwischenlagerung"

so ist das jeweils definierte Lagersystem (Zwischenlager) als Entsorgungs-Senke zu verwenden. Kann einem Versorgungsbedarf bis zum Zeitpunkt Versorgungstermin minus Vorlaufzeit minus Versorgungsdauer kein korrespondierender Entsorgungsbedarf zugeordnet werden, so ist das entsprechende Zwischenlager (definiert durch das benötigte Objekt und den Bedarfsort desselben) als Versorgungs-Quelle zu verwenden. Im Rahmen dieser Terminkontrolle (Berechnung spätester Veranlassungstermin) wird als Versorgungs-Quelle bei Materialflußhilfsmitteln das Zwischenlager des Flußbereichs und bei Produkten der Fertigungsabschnitt der als Quelle eines Flußbereichs definiert wurde, verwendet. Für die Objektklasse Produkte wird bei Eintreten des dargestellten Falls geschlossen, daß die benötigten Objekte im Zwischenlager gepuffert wurden.

Ist zum Zeitpunkt der Flußplanung zu einem vorliegenden Versorgungsbedarf über das Objekt O kein Entsorgungsbedarf über dieses Objekt O vorhanden, so ist gemäß den im vorhergehenden vorgestellten Regeln zu überprüfen, ob der spätestens notwendige Veranlassungstermin für einen separaten Versorgungsvorgang mit dem definierten Zwischenlager des Flußbereichs als Quelle bzw. Senke aktuell erreicht ist. Wenn dies der Fall ist, ist der entsprechende Versorgungsvorgang anzustoßen. Ist dies nicht der Fall, so muß die Überprüfung des Veranlassungstermins - in gewissen Zeitabständen -solange wiederholt werden, bis entweder für die betreffenden Bedarfe separate Flußvorgänge eingeleitet sind oder korrespondierende Bedarfe aufgetreten sind. Ein Versorgungsbedarf korrespondiert hierbei in zeitlicher Hinsicht mit einem Entsorgungsbedarf nur dann (Bild 27),

- wenn die Zeitdifferenz zwischen Versorgungstermin (Versorgungsbedarf einer Senke S) und Entsorgungstermin (Entsorgungsbedarf einer Quelle Q) - Zeitpunkt zu dem die Entsorgungsobjekte abholbereit sind - mindestens der Summe von Versorgungsdauer und Vorlaufzeit entspricht und
- wenn die Zeitdifferenz zwischen dem spätestens zulässigen Veranlassungstermin der Versorgung und dem spätestens zulässigen Veranlassungstermin der Entsorgung größer oder gleich null ist.

Insgesamt sagen die vorgestellten Regeln aus, daß Ent-/Versorgungsbedarfe einander nur dann zugeordnet werden, wenn der späteste Veranlassungstermin des Versorgungsbedarfs und der Entsorgungstermin nicht um mehr als die festgelegte Verzögerungszeit differieren.

Der zeitliche Ablauf der Flußplanung wird wesentlich durch den Ablauf der Materialflußsteuerung insgesamt bestimmt. Beide Abläufe werden in Abschnitt 6.1 vorgestellt.

Ergebnis der Flußplanung ist ein Flußplan, der die auszuführenden separaten (Zwischenlager als Quelle/Senke) oder korrespondierenden Ver-/Entsorgungsvorgänge enthält:

FLUSSPLAN

(*POSITION, QUELLE, SENKE, TRANSPORTMEDIUM, FLUSS-ART, BEDARFSAUFLÖSUNG, FLUSS-OBJEKT, OBJEKT-IDENTIFIKATION, AUFTRAGSBEZUG, OBJEKT-KLASSE, BEDARFSTERMIN, FLUSS-TERMIN, FLUSS-MENGE*)

Die einzelnen Positionen des Flußplans sind aus ein oder mehreren Positionen des Ver-/Entsorgungsplans hervorgegangen. Das Attribut *FLUSS-ART* bezeichnet die Art des Materialflusses, d.h. separate Versorgung, separate Entsorgung und korrespondierende Ver-/Entsorgung, wobei das Attribut *FLUSS-TERMIN* den Zeitpunkt angibt, zu dem ein Fluß abgeschlossen sein muß. Bei separater Versorgung und korrespondierender Ver-/Entsorgung auftragsgesteuert ermittelter Bedarfe entspricht der Flußtermin dem Versorgungstermin minus der erwünschten Vorlaufzeit. Wurden die Versorgungsbedarfe hingegen bestands- oder zeitgesteuert bestimmt, so wird im Rahmen der Bedarfsplanung als Versorgungstermin der aktuelle Planungszeitpunkt ("sofort") festgelegt. Der zugehörige Flußtermin ergibt sich dann als aktueller Zeitpunkt plus Versorgungsdauer (frühestens möglicher Abschluß der Versorgung). Bei separater Entsorgung ist der Flußtermin gleich dem Entsorgungstermin plus der erlaubten Verzögerungszeit. Die genannten Ver-/Entsorgungstermine beziehen sich auf die ursprünglichen Bedarfe aus dem Ver-/Entsorgungsplan (sie werden im Flußplan als *BEDARFSTERMIN* geführt). Jedes einzelne Tupel der Relation stellt einen zu veranlassenden und auszuführenden Materialfluß dar. Ein solches wird im weiteren als Flußauftrag bezeichnet.

In Bild 28 sind alle zur rechnergeführten Flußplanung bei korrespondierenden Bedarfen notwendigen Informationen angegeben. Da der Wertebereich des Attributs *BEDARFSORT* nicht identisch mit den Wertebereichen der Attribute *ORT*, *QUELLE* und *SENKE* zu sein braucht, ist auch die Kenntnis der organisatorischen Struktur des Fertigungsbereichs (*STATION_ABSCHNITT*, *STATION_STATIONSGRUPPE/M*, etc.) erforderlich.

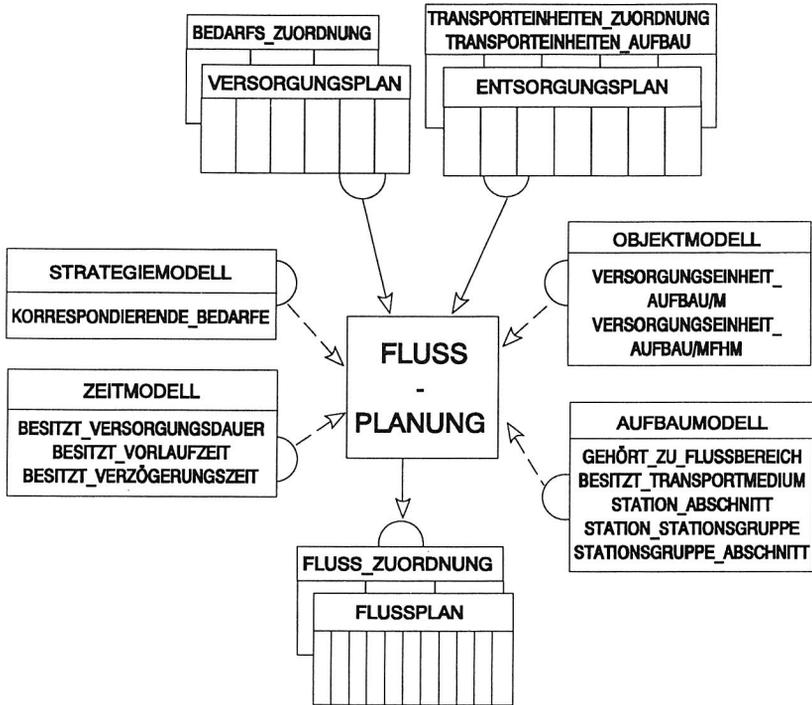


Bild 28: Betriebsmittel-Definitionsdaten und Auftragsdaten zur Flußplanung korrespondierender Bedarfe

5.2.3 Flußplanung bei separaten Ver-/Entsorgungsbedarfen

Nach Abschnitt 4 gibt es für einen separaten Ver- bzw. Entsorgungsbedarf bezogen auf einen bestimmten Objekttyp genau eine Versorgungs-Quelle bzw. Entsorgungs-Senke. Zur rechnergeführten Flußplanung ist die Kenntnis dieser Beziehungen notwendig:

SEPARATE_ENTSORGUNG

(*ENTSORGUNGSOBJEKT, ENTSORGUNGSBEREICH, SENKE, AUFTRAGSBEZUG*)

SEPARATE VERSORGUNG

(*VERSORGUNGSOBJEKT, VERSORGUNGSBEREICH, QUELLE,*
AUFTRAGSBEZUG)

Bereiche zur Ver-/Entsorgung für einen Objekttyp können einzelne Stationen, Stationsgruppen, Abschnitte oder der gesamte Fertigungsbereich sein. Die zugehörigen Entsorgungs-Senken bzw. Versorgungs-Quellen sind Fertigungsabschnitte bzw. abschnitts-/bereichsübergreifende Lagersysteme.

Das Entsorgungsobjekt eines separaten Bedarfs entspricht einer Transporteinheit, die im allgemeinen zum Zeitpunkt der Mitteilung des Entsorgungsbedarfs bereits physisch gebildet ist oder bis zum als Entsorgungstermin genannten Zeitpunkt in einer durch den jeweiligen Bedarfsort vordefinierten Art und Weise gebildet sein wird. Zur Ermittlung der zu einem Entsorgungsbedarf gehörenden Entsorgungs-Senke ist also die Kenntnis des Aufbaus bzw. des Inhalts einer Transporteinheit notwendig (siehe Abschnitt 5.3). Für die Versorgungsobjekte wird die physische Bildung (Kommissionierung) der Transporteinheiten durch die jeweils zugeordnete Versorgungs-Quelle vorgenommen. In einem Lagersystem kann die Kommissionierung einer Transporteinheit erst nach Erhalt des entsprechenden Auftrags des Materialflußsteuerungssystems erfolgen oder bereits vorher. Letzteres ist dann möglich, wenn eine Transporteinheit, die an einer Station benötigt wird, immer eine festgelegte Struktur und Inhaltsmenge aufweist (siehe Abschnitt 4).

Das einzusetzende Transportmedium kann nach Ermittlung der Quelle/Senke eines Ver-/Entsorgungsbedarfs direkt der in Abschnitt 5.2.2 eingeführten Relation *BESITZT_TRANSPORTMEDIUM* entnommen werden. Mit dem im vorstehenden definierten Relationen kann jedes Tupel aus der Relation *VERSORGUNGSPLAN* bzw. *ENTSORGUNGSPLAN* in ein Tupel der Relation *FLUSSPLAN* aus Abschnitt 5.2.2 überführt werden. Der Fluß-Termin bei separater Ver- bzw. Entsorgung wird analog zu Abschnitt 5.2.2 berechnet.

5.3 Flußeinheitenbildung

5.3.1 Ausgangslage und Problemstellung

Aufgabe der Flußeinheitenbildung ist, Kommissioniervorgaben für Materialfluß-Quellen (z.B. Lagersysteme) zu erzeugen. Auf informatorischer Ebene sind die an der jeweiligen Quelle zu kommissionierenden Transport- bzw. Bereitstellungseinheiten für die Materialfluß-Senken Abschnitt bzw. Station (s. Abschnitt 4) zu bilden. Das Ergebnis der Flußplanung, die Flußaufträge (*FLUSSPLAN*) sind unter Berücksichtigung der einzusetzenden Materialflußhilfsmittel bzw. der Restriktionen hinsichtlich des Aufbaus von Transport- bzw. Bereitstellungseinheiten, die bei der Betriebsmittelplanung festgelegt wurden, zu Transporteinheiten-bezogenen Flußaufträgen zusammenzufassen. Für eine Flußeinheitenbildung wird einerseits eine prinzipielle Beschreibung des Aufbaus von Materialflußeinheiten und andererseits eine Beschreibungsregel für die Art und Weise in der Materialflußeinheiten für eine bestimmte Senke zu bilden sind benötigt.

5.3.2 Aufbau einer Materialflußeinheit

Der Aufbau einer Materialflußeinheit (Bild 29) läßt sich als Baum darstellen. Die Wurzel entspricht dem äußersten, zur Bildung der Materialflußeinheit herangezogenen Materialflußhilfsmittel. Die Blätter entsprechen dem Elementargut, das es zu kommissionieren gilt. Von jedem Blatt führt eine Kante zu einem Knoten, der einem Packgut (Elementargut einer bestimmten Packform) oder einem Materialflußhilfsmittel entspricht. Alle weiteren Knoten des Baumes entsprechen Materialflußhilfsmitteln, die zur Bildung von Zwischeneinheiten erforderlich sind. Bild 29 zeigt eine Materialflußeinheit samt zugehörige Baum. Zur Identifizierung eines jeden Knotens im Baum, sind diese durchnummeriert. Neben diesen Nummern beinhaltet ein Knoten die Angabe der Bezeichnung des entsprechenden Objektes und eine Mengenangabe. Bei Blattknoten besagt diese Mengenangabe, wie oft das Elementargut im direkt übergeordneten Materialflußhilfsmittel oder Packgut vorkommt. Bei den restlichen Knoten besagt die Mengenangabe, wie oft die Zwischeneinheit, die durch das Materialflußhilfsmittel des Knotens gebildet wird, bzw. der zum Knoten gehörende Teilbaum in dem direkt übergeordneten Materialflußhilfsmittel vorkommt. Mittels der Relation *FLUSSEINHEITEN_AUFBAU* läßt sich nun der Aufbau einer beliebigen Materialflußeinheit beschreiben, indem der zugehörige Baum nachgebildet wird:

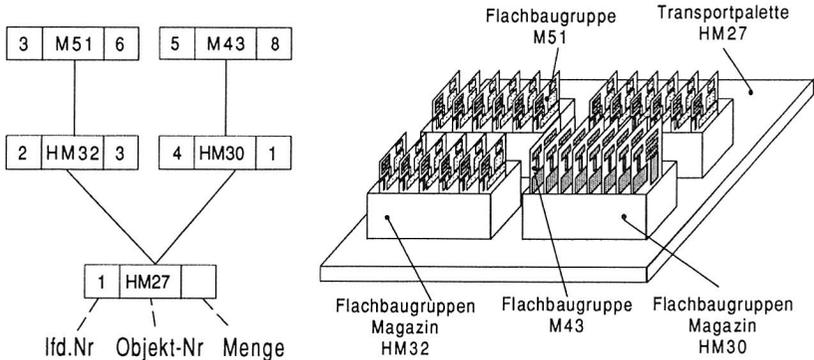


Bild 29: Aufbau einer Materialflußeinheit

FLUSSEINHEITEN_AUFBAU

(*MFE-NR, K-NR, OBJEKT, VK-NR, MENGE*)

MFE-NR: kennzeichnet die Aufbaubeschreibung einer bestimmten Materialflußeinheit

K-NR: kennzeichnet einen Knoten im Baum

OBJEKT: zum Knoten (*K-Nr*) gehörendes Elementargut/Packgut/Materialfluhilfsmittel

VK-NR: Vaterknoten; Nummer des im Baum direkt übergeordneten Knotens

MENGE: Angabe, wie oft der bis zum Knoten gebildete Teilbaum in dem direkt übergeordneten Objekt (Gut bzw. Materialfluhilfsmittel) vorkommt

Für den Aufbau der Materialflußeinheit aus Bild 29 ergibt sich mit dieser Relation:

FLUSSEINHEITEN_AUFBAU

(*MFE-Nr, K-Nr, OBJEKT, VK-NR, MENGE*)
 { (3, 1, HM27, --, ---),
 (3, 2, HM32, 1, 3),
 (3, 3, M51, 2, 6),
 (3, 4, HM30, 3, 1),
 (3, 5, M43, 1, 8), }

Aufbaubeschreibungen nach der Relation *FLUSSEINHEITEN_AUFBAU* sind die Informationen, die zur Durchführung von Ein- und Auslagerungsvorgängen den Quellen und Senken als Lagerauftragsbeschreibung mitzuteilen sind.

5.3.3 Regeln zur Flußeinheitenbildung

Als Ausgangsbasis für die anschließende Diskussion der Regeln zur Flußeinheitenbildung, wird eine Menge von Flußaufträgen, für die Materialflußeinheiten zu bilden sind, als gegeben betrachtet. Die Auswahl der jeweils zu bearbeitenden Flußaufträge geschieht unter zeitlichen Gesichtspunkten. Diese werden in Abschnitt 6.1 dargestellt.

Je nach dem Grad der Vorbestimmtheit des Aufbaus einer Materialflußeinheit bestehen an die Flußeinheitenbildung unterschiedliche Anforderungen. Die Flußeinheitenbildung läßt sich nach diesem einteilen in:

- Bildung von Materialflußeinheiten mit festgelegter Struktur und festgelegter Gutmenge
- Bildung von Materialflußeinheiten mit festgelegter Struktur und variabler Gutmenge
- Bildung von Materialflußeinheiten mit variabler Struktur und variabler Gutmenge

Festgelegte Struktur bedeutet, daß eine Materialflußeinheit, die bestimmte Güter enthält, zu beliebigen Zeitpunkten immer die gleichen Gut-Materialflußhilfsmittel-Beziehungen besitzt, ihr Aufbau also für gleichartige Güter gleichartig ist. Einer Materialflußeinheit, die für gleichartige Güter zu unterschiedlichen Zeitpunkten unterschiedliche Gut-Materialflußhilfsmittel-Beziehungen besitzt, ist eine variable Struktur zu eigen. Für einen Materialfluß sind bestimmte Hilfsmittel (Paletten, Magazine) einzusetzen, die einerseits vom Gut selbst und andererseits von den eingesetzten technischen Materialfluß-Systemen abhängen, wobei für ein an einem bestimmten Ort benötigtes Gut immer der gleiche Materialflußhilfsmittel-Typ eingesetzt wird (vgl. Abschnitt 4). Die Art der Flußeinheitenbildung ist also spezifisch für einen an einem bestimmten Bedarfsort benötigten Gut-Typ.

Bildung von Materialflußeinheiten mit festgelegter Struktur und Gutmenge

Für einen bestimmten Bedarfsort ist der Aufbau der Materialflußeinheiten für Güter sowohl hinsichtlich der Gut-Materialflußhilfsmittel-Beziehungen (Struktur) als auch der Mengen an aufzunehmenden Objekten (Gutmenge) fest vorgegeben. Die Gutmenge ist hier unabhängig von der Bedarfsmenge. Derartige Materialflußeinheiten werden bei der Bedarfsplanung (Versorgungsrechnung) in Form von Versorgungseinheiten (vgl. Abschnitt 5.1) berücksichtigt, d.h. als Versorgungseinheit bestellt. Damit beinhaltet der Wertebereich

des Attributs *FLUSS-OBJEKT* der Relation *FLUSSPLAN* den Wertebereich des Attributs *VERSORGUNGSEINHEIT* der unterschiedlichen Relationen *AUFBAU_VERSORGUNGSEINHEIT*. Ordnet man jeder definierten Versorgungseinheit eine Aufbaubeschreibung analog der Relation *FLUSSEINHEITEN_AUFBAU* zu, so ist die Flußeinheitenbildung vollständig beschrieben. Zur Flußeinheitenbildung sind daher folgende Informationen (Betriebsmittel-Definitionsdaten) ausreichend:

FLUSSEINHEIT_SOLL_AUFBAU

(*BEDARFSORT*, *SOLL-MFE*, *K-NR*, *SOLL-OBJEKT*, *VK-NR*, *SOLL-MENGE*)

VERSORGUNGSEINHEIT_SOLL-MFE

(*VERSORGUNGSEINHEIT*, *SOLL-MFE*)

BEDARFSORT: Bedarfsort der Materialflußeinheit (*SOLL-MFE*)

SOLL-MFE: kennzeichnet die Aufbaubeschreibung, die eine bestimmte Materialflußeinheit für einen bestimmten Bedarfsort haben soll

K-NR: kennzeichnet einen Knoten im Baum

VK-NR: identifiziert den im Baum direkt übergeordneten Knoten (Vaterknoten) eines Knotens (*K-NR*)

SOLL-OBJEKT: zum Knoten (*K-Nr*) gehörendes Gut bzw. Materialflußhilfsmittel

SOLL-MENGE: Angabe, wie oft der bis zum Knoten gebildete Teilbaum im direkt übergeordneten Objekt (z.B. Materialflußhilfsmittel) vorkommen soll

Zu jedem einzelnen Flußauftrag des Flußplans läßt sich mit diesen Informationen ein auf Materialflußeinheiten bezogener Flußauftrag - Flußeinheitenauftrag - erstellen. Die Gesamtheit dieser wird als Flußeinheitenplan bezeichnet:

FLUSSEINHEITENPLAN

(*MFE-AUFTRAG-NR*, *QUELLE*, *SENKE*, *TRANSPORTMEDIUM*, *FLUSS-ART*, *BEDARFSAUSLÖSUNG*, *MFE-NR*, *OBJEKT-IDENTIFIKATION*, *AUFTRAGSBEZUG*, *OBJEKT_KLASSE*, *BEDARFSTERMIN*, *FLUSS-TERMIN*)

FLUSSEINHEITEN_AUFBAU

(*MFE-NR*, *K-NR*, *OBJEKT*, *VK-NR*, *MENGE*)

Ein Flußeinheitenauftrag wird durch ein Tupel der Relation *FLUSSEINHEITENPLAN* und durch alle sich auf eine bestimmte Materialflußeinheit (*MFE-NR*) beziehenden Tupel der Relation *FLUSSEINHEITEN_AUFBAU* vollständig beschrieben (Bild 30).

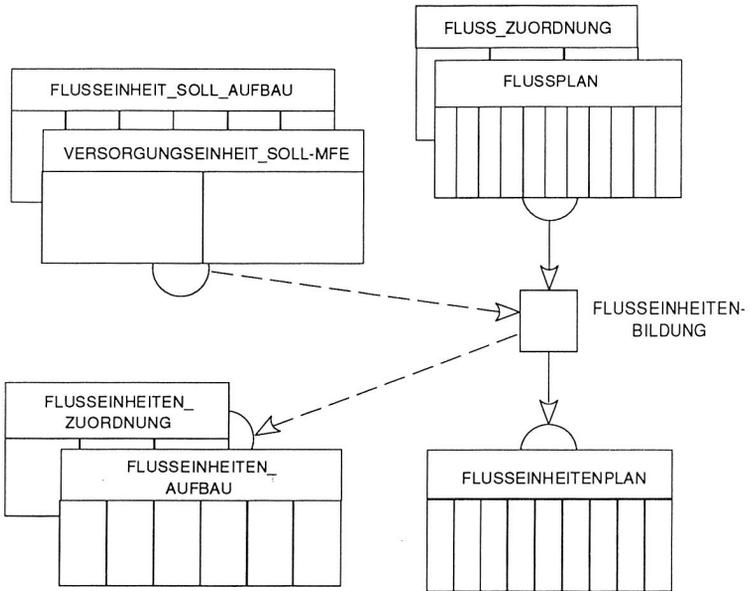


Bild 30: Betriebsmittel-Definitionsdaten und Auftragsdaten zur Bildung von Materialflußeinheiten festgelegter Struktur und Gutmenge

Bildung von Materialflußeinheiten mit festgelegter Struktur und variabler Gutmenge

Für einen bestimmten Bedarfsort kann es erforderlich sein, Güter in immer gleich strukturierten Materialflußeinheiten, aber mit unterschiedlichen, von der Bedarfsmenge abhängigen Gutmengen bereitzustellen. Derartige, in ihrer Struktur festgelegte Materialflußeinheiten können ein oder mehrere Gut-Typen enthalten. Das letztere ist der Fall, wenn eine bestimmte mengenmäßige Zusammensetzung unterschiedlicher Güter erwünscht ist (z.B. Montagebausätze: alle Teile um einen Montagevorgang auszuführen bzw. Vielfache davon sind auf einer Palette untergebracht). Diese Güter bilden bezüglich des jeweiligen Zusammensetzungsverhältnisses eine Versorgungseinheit, die mehrfach in einer Materialflußeinheit enthalten sein kann. Die Anzahl der aufnehmbaren Versorgungseinheiten wird durch die Aufnahmekapazität der eingesetzten Materialflußhilfsmittel angegeben. Für

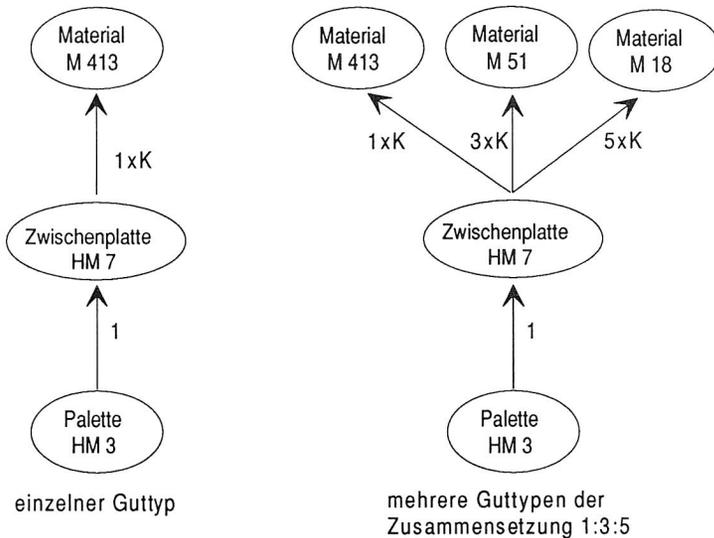
sortenreine (ein Gut-Typ) Materialflußeinheiten gilt das Analoge. Zur Aufbaubeschreibung derartiger Materialflußeinheiten (Bild 31) kann weiterhin die Relation `FLUSSEINHEIT_SOLL_AUFBAU` verwendet werden, wobei die Soll-Menge für alle Knoten die Materialflußhilfsmittel repräsentieren gleich eins und für die die Güter repräsentieren gleich der erwünschten Zusammensetzung derselben ist (bei nur einem Gut-Typ gleich eins). Für jede strukturell festgelegte Materialflußeinheit ist die Kapazität zur Aufnahme des jeweiligen Typs von Versorgungseinheit bzw. Gut als Betriebsmittel-Definitionsdatum festzulegen. Die zugehörigen Relationen lauten:

FLUSSEINHEIT_SOLL_AUFBAU

(BEDARFSORT, SOLL-MFE, K-NR, SOLL-OBJEKT, VK-NR, SOLL-MENGE)

VERSORGUNGSEINHEIT_SOLL-MFE/K

(VERSORGUNGSEINHEIT, SOLL-MFE, KAPAZITÄT)



K: maximale Aufnahme-Anzahl bezogen auf die jeweilige Versorgungseinheit

Bild 31: Materialflußeinheiten fester Struktur und variabler Gutmenge

Die in einem Flußauftrag genannte Fluß-Menge bezieht sich auf das jeweilige Fluß-Objekt - Versorgungseinheit -, damit kann die Anzahl bzw. die Gutmenge der benötigten Materialflußeinheiten eines Typs (*SOLL-MFE*) durch einfaches Aufsummieren der Fluß-Mengen aller Flußaufträge mit gleichem Fluß-Objektyp unter Berücksichtigung der Kapazität dieses Typs von Materialflußeinheit errechnet werden.

Aus ein oder mehreren Flußaufträgen entsteht hierbei eine Flußeinheit bzw. ein Flußeinheitenauftrag. Die zu diesem Auftrag gehörende Aufbaubeschreibung erhält man aus der definierten Soll-Aufbaubeschreibung (*FLUSSEINHEIT_SOLL_AUFBAU*) durch Multiplikation des Gut-Knotens bzw. der Gut-Knoten mit der errechneten Summe der Fluß-Mengen. Der resultierende Fluß-Termin (Abschlußzeitpunkt des Flußvorgangs) entspricht dem frühesten Termin der zu einem Flußeinheitenauftrag zusammengefaßten Flußaufträge.

Bildung von Materialflußeinheiten mit variabler Struktur und variabler Gutmenge

Um logische Bereitstellungs- und Transporteinheiten bei variabler Struktur und Gutmenge bilden zu können sind Regeln zur Beantwortung folgender Fragen für einen bestimmten Flußauftrag notwendig:

- Welche Materialflußhilfsmittel sind zur Aufnahme eines bestimmten Objekts geeignet bzw. sollen eingesetzt werden ?
- Welche Materialflußhilfsmittel werden zur Bereitstellung von Gütern an den Fertigungsstationen benötigt ?
- Welche Materialflußhilfsmittel werden für den Transport von Objekten in und für die Übergabe an Fertigungsabschnitte und Lagersysteme benötigt ?

Die Materialflußhilfsmittel mit denen ein bestimmtes Gut von einer Quelle an ein Transportsystem übergeben, zu einer Senke transportiert, an diese übergeben und gegebenenfalls an einer Station bereitgestellt wird, sind nach Abschnitt 4 für ein an einer bestimmten Senke benötigtes Gut als Ergebnis der Betriebsmittelplanung statisch festgelegt. Bei der Flußeinheitenbildung sind Güter gemäß den Aufnahmekapazitäten der Materialflußhilfsmittel zu Materialflußeinheiten zusammenzufassen, wobei zu unterscheiden ist, ob sortenreine oder nicht sortenreine Materialflußeinheiten am Bedarfsort benötigt werden.

A) Flußeinheitenbildung für sortenreine Materialflußeinheiten

In bestimmten Anwendungsfällen ist es erwünscht sortenreine Materialflußeinheiten, d.h. Materialflußeinheiten, die nur einen Gut-Typ enthalten, zu bilden (vgl. Abschnitt 4.2.2). Die Verteilung der Güter auf Materialflußhilfsmittel erfolgt nach bestimmten Regeln, die besagen, welches Gut von welchem Materialflußhilfsmittel aufzunehmen ist und wie groß die Aufnahmekapazität eines solchen Materialflußhilfsmittels ist. Durch die Aufnahme von Gut durch ein Materialflußhilfsmittel entsteht entweder bereits eine Materialflußeinheit oder aber eine Zwischeneinheit, die auf ein anderes Materialflußhilfsmittel zu laden ist. Zu Zwischeneinheiten sind ebenfalls Regeln anzugeben, die besagen, von welchem Materialflußhilfsmittel die Zwischeneinheit aufzunehmen ist und wie groß dessen Aufnahmekapazität ist. Da die Zwischeneinheiten im Gegensatz zu den Gütern erst gebildet werden, können sich diese Regeln jedoch nicht direkt auf diese Einheiten beziehen. Statt dessen beziehen sie sich auf das, zur Bildung der Zwischeneinheit verwendete Materialflußhilfsmittel. Dieses entspricht einer Klassifizierung der Zwischeneinheiten: Alle die Einheiten sind in der gleichen Klasse, die das gleiche, äußerste Materialflußhilfsmittel besitzen. Es wird sich im weiteren noch zeigen, daß diese Klassifikation zu verfeinern ist.

Die Kapazität eines Materialflußhilfsmittels bezogen auf ein bestimmtes Objekt kann einerseits über die Abmessungen von Objekt und Materialflußhilfsmittel jedesmal bei der Flußeinheitenbildung errechnet werden oder einmalig im Rahmen der Betriebsmittelplanung errechnet und als Betriebsmittel-Definitionsdatum festgelegt werden. Unter dem Aspekt eines möglichst schnellen Ablaufs der Vorgänge zur Flußeinheitenbildung bzw. zur Materialflußsteuerung insgesamt wird die zweite Variante für sinnvoll gehalten. Die Berechnung der Kapazität selbst erfolgt üblicherweise durch Approximation des Ladevolumens des Materialflußhilfsmittels und der aufzunehmenden Objekte über Quader (Länge, Breite, Höhe) einer definierten Lage [62, 73]. Die Beziehungen zwischen Materialflußhilfsmittel, aufzunehmendem Objekt und Kapazität eines Materialflußhilfsmittels lassen sich mittels folgender Relationen beschreiben:

WIRD_AUFGENOMMEN_VON
(*BEDARFSORT, OBJEKT, MFHM*)

BESITZT_LADEKAPAZITÄT
(*MFHM, OBJEKT, KAPAZITÄT*)

OBJEKT: Identifiziert das aufzunehmende Gut oder Materialflußhilfsmittel

MFHM: Identifiziert das aufzunehmende Materialflußhilfsmittel (MFHM)

KAPAZITÄT: Menge in der das Materialflußhilfsmittel das Objekt aufnehmen kann

Das gleiche Materialflußhilfsmittel kann bei der Verteilung auf andere Materialflußhilfsmittel verschiedenartig behandelt werden. Es wird, je nachdem wie es beladen ist, von einem anderen Materialflußhilfsmittel in unterschiedlichen Mengen aufgenommen. Ein prinzipiell stapelbarer Behälter kann durch die Art der Beladung (z.B. Gut steht über den Behälterrand hinaus) seine Stapelfähigkeit verlieren. Beladene Materialflußhilfsmittel müssen also bezüglich ihrer weiteren Aufnahme durch Materialflußhilfsmittel klassifiziert werden. Eine allgemeine Klassifikationsmöglichkeit ist die Einteilung der beladenen Materialflußhilfsmittel bzw. aller aufzunehmenden Objekte in folgende unterschiedliche Klassen im Hinblick auf den Ladezustand eines Objektes:

- (A) das aufzunehmende Objekt ist stapelbar, d.h. eine Verteilung mehrerer Objekte (z.B. beladene Materialflußhilfsmittel) auf den Raum bzw. das Volumen eines Materialflußhilfsmittels ist möglich
- (B) das aufzunehmende Objekt ist nicht stapelbar aber eine Verteilung mehrerer Objekte auf die Fläche eines Materialflußhilfsmittels ist möglich
- (C) das aufzunehmende Objekt läßt sich nicht mit anderen aufzunehmenden Objekten auf ein und demselben Materialflußhilfsmittel zusammenfassen

Die Ladezustand eines Gut-Typs ist eindeutig. Der Ladezustand, den ein beladenes Materialflußhilfsmittel aufweist, hängt von der aufgenommenen Menge an Objekten ab. Zu jedem Materialflußhilfsmittel kann ein Mengenbereich (Ober-/Untergrenze) für jeweils ein bestimmtes, aufzunehmendes Objekt angegeben werden, innerhalb dessen das Materialflußhilfsmittel einen bestimmten Ladezustand aufweist. Die bisherigen Relationen sind unter Berücksichtigung der Eigenschaft Ladezustand zu erweitern:

WIRD_AUFGENOMMEN_VON

(BEDARFSORT, OBJEKT, OBJEKT-LADEZUSTAND, MFHM, MFHM-LADEZUSTAND)

BESITZT_LADEKAPAZITÄT

(MFHM, MFHM-LADEZUSTAND, OBJEKT, OBJEKT-LADEZUSTAND, MAXIMUM, MINIMUM)

MAXIMUM/ MINIMUM: kennzeichnen den Bereich (minimale bis maximale Objektanzahl) in dem ein Materialflußhilfsmittel einen bestimmten Ladezustand aufweist

Die Relationen sind wie folgt zu lesen. Für einen bestimmten Bedarfsort ist ein bestimmtes Objekt (Gut oder Materialflußhilfsmittel) eines bestimmten Ladezustands (stapelbar, flächenmäßig verteilbar, nur einzeln aufnehmbar) von einem bestimmten Materialflußhilfsmittel aufzunehmen, wobei das Materialflußhilfsmittel nach Beladung einen bestimmten Ladezustand aufweisen soll. Die Relation *BESITZT_LADEKAPAZITÄT* beschreibt, in welchem Mengenbereich ein Materialflußhilfsmittel, das nach seiner Beladung einen bestimmten Ladezustand besitzen soll, Objekte (Gut, beladenes Materialflußhilfsmittel) eines bestimmten Ladezustands aufnimmt.

| | | | | |
|---|---|---|--|---|
| Auswahl eines beliebigen Flußauftrags (FLUSSPLAN) | | | | |
| Ermitteln des Guts und des zugehörigen Ladezustands für den aktuellen Flußauftrag (AUFBAU_VERSORGUNGSEINHEIT/ M, etc.) | | | | |
| Suche eines zur Gut-Aufnahme geeigneten Materialflußhilfsmittels (mittels Gut, Ladezustand und WIRD_AUFGENOMMEN_VON) | | | | |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">J</td> <td style="width: 90%; text-align: center;">Materialflußhilfsmittel in Relation WIRD_AUFGENOMMEN_VON vorhanden?</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">N</td> </tr> </table> | | J | Materialflußhilfsmittel in Relation WIRD_AUFGENOMMEN_VON vorhanden? | N |
| J | Materialflußhilfsmittel in Relation WIRD_AUFGENOMMEN_VON vorhanden? | N | | |
| Auswahl aller sich auf dieses Gut beziehender Flußaufträge mit der gleichen Senke Bildung von Zwischeneinheiten über die zugehörigen Güter gemäß der zulässigen Kapazität (MAXIMUM, MINIMUM) des Materialflußhilfsmittels Ergebnis: n Zwischeneinheiten mit maximaler Inhaltsmenge, eine Zwischeneinheit mit geringerer Inhaltsmenge (Rest) | Erzeugen von Flußeinheiten-Aufträgen je nach Menge des Guts (Einzeltransport) und des zugehörigen FLUSSEINHEITEN_AUFBAU | | | |
| Suche eines zur Aufnahme dieser Art von Zwischeneinheit geeigneten Materialflußhilfsmittels (mittels OBJEKT, LADE_ZUSTAND und WIRD_AUFGENOMMEN_VON) | | | | |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">J</td> <td style="width: 90%; text-align: center;">Materialflußhilfsmittel in Relation WIRD_AUFGENOMMEN_VON vorhanden ?</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">N</td> </tr> </table> | | J | Materialflußhilfsmittel in Relation WIRD_AUFGENOMMEN_VON vorhanden ? | N |
| J | Materialflußhilfsmittel in Relation WIRD_AUFGENOMMEN_VON vorhanden ? | N | | |
| Zusammenfassung aller Zwischeneinheiten, wobei neue Zwischeneinheiten entstehen Ergebnis: n Zwischeneinheiten mit maximaler Inhaltsmenge, eine Zwischeneinheit mit geringerer Inhaltsmenge (Rest) | Erzeugen von Flußeinheiten-Aufträgen je nach Menge an Zwischeneinheiten (Materialflußeinheit) und des zugehörigen FLUSSEINHEITEN_AUFBAU | | | |
| Bis keine Zwischeneinheiten mehr vorhanden sind bzw. entstehen | | | | |
| Bis alle Flußaufträge bearbeitet sind | | | | |

Bild 32: Flußdiagramm für die Bildung sortenreiner Materialflußeinheiten

Bild 33 zeigt das Vorgehen zur Einheitenbildung mittels den entworfenen Relationen und Bild 34 das Funktionsmodell der Flußeinheitenbildung.

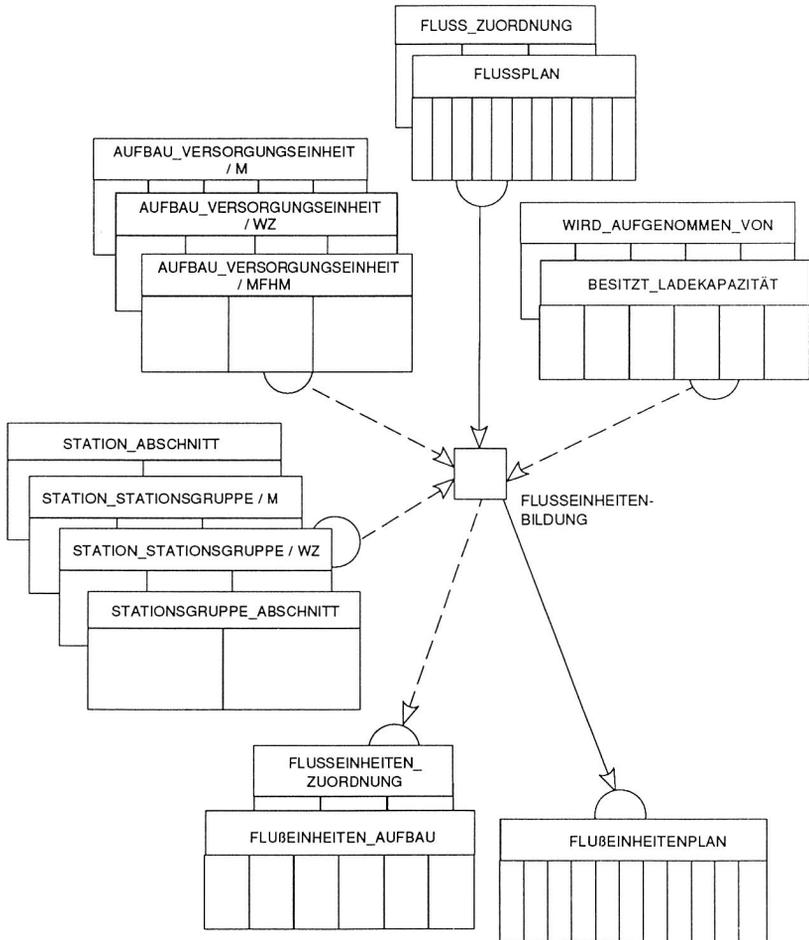


Bild 33: Funktionsmodell zur Bildung sortenreiner Materialflußeinheiten

B) Flußeinheitenbildung für nicht-sortenreine Materialflußeinheiten

Um unterschiedliche, ungleichartige Objekte in ein und demselben Materialflußhilfsmittel aufnehmen zu können, sind Informationen darüber notwendig, wieviel Platz von verschiedenen Objekten innerhalb ein und demselben Materialflußhilfsmittel beansprucht wird. Ziel

ist im allgemeinen die aufzunehmenden Objekte unter möglichst hoher Ladevolumennutzung auf einem Materialflußhilfsmittel unterzubringen. Die Anzahl der möglichen Aufnahmeobjekte eines Materialflußhilfsmittels - die prinzipielle Stapelfähigkeit vorausgesetzt - hängt von den Volumina der Aufnahmeobjekte, dem Ladevolumen des Materialflußhilfsmittels sowie der Reihenfolge, in der die Objekte auf das Ladevolumen verteilt werden, ab. Die erzielbare Ladevolumennutzung besitzt kein absolutes sondern nur ein relatives Maximum. Bei einer bestimmten Konstellation von Aufnahmeobjekten kann die maximal erreichbare Volumennutzung z.B. 50% sein, bei einer anderen dagegen höher oder niedriger liegen. Diese Problemstellung wird in der Literatur [44,55,67] als Stauraumproblem bezeichnet. Zur Lösung wurde insbesondere für das Einsatzgebiet rechnergestützte Versandeinheitenbildung [67] eine Reihe von Algorithmen entworfen, die jedoch alle einen hohen Berechnungsaufwand bzw. Berechnungsdauer besitzen und damit für eine kurzfristige Versorgung von Fertigungsabschnitten nicht geeignet sind. Die Entwicklung von Algorithmen zur Flußeinheitenbildung über unterschiedliche Gut-Typen bei optimaler Ladevolumennutzung stellt einen Problemkreis von hoher Komplexität dar, der den Rahmen dieser Arbeit verläßt und daher nicht vertieft wird.

Darüber hinaus wird das an einer Station bereitzustellende Gut zumindest bezüglich der obersten Materialflußhilfsmittel-Ebene einer Materialflußeinheit sortenrein bereitgestellt (siehe auch Abschnitt 4). Mehrere Materialflußhilfsmittel, die unterschiedliche Guttypen enthalten, können unter Einsatz eines weiteren Materialflußhilfsmittels zu einer Materialflußeinheit zusammengefasst werden. Die aufzunehmenden Materialflußhilfsmittel (z.B. Kleinteile-Behälter) und das Materialflußhilfsmittel (Palette) zu ihrer Aufnahme sind konstruktiv aufeinander abgestimmt, d.h. alle aufzunehmenden Materialflußhilfsmittel besitzen die gleichen Elemente zur Lagefixierung (z.B. Stifte) im Aufnahme-Materialflußhilfsmittel und zumeist auch die gleiche oder gleichartige räumliche Gestalt (Beispiel: siehe Bild 29 auf Seite 81). Da die einzelnen Materialflußhilfsmittel zur Aufnahme unterschiedlicher Guttypen vorgesehen sind, sind ihre Elemente zur Lagefixierung des Guts spezifisch je nach Guttyp. Aus diesem Grund werden diese Materialflußhilfsmittel über unterschiedliche Bezeichner identifiziert. Mit den bisher vorgestellten Verfahren können derartige (gleiche oder gleichartige räumliche Gestalt) Materialflußhilfsmittel nicht zu einer Materialflußeinheit zusammengefasst werden. Zur Bildung von Materialflußeinheiten aus Objekten mit gleicher oder gleichartiger räumlicher Gestalt wird im weiteren ein Verfahren vorgestellt. Alle Objekte (Gut oder Materialflußhilfsmittel), die von einem

bestimmten Materialflußhilfsmittel aufgenommen werden sollen, werden hinsichtlich ihrer räumlichen Gestalt als gleich betrachtet. Sie werden alle der gleichen Formklasse zugeordnet. Jeder Formklasse entspricht ein Quader definierter Länge, Breite, Höhe und Lage, der alle aufzunehmenden Objekte bezüglich ihrer räumlichen Gestalt approximiert. Die Ladekapazität eines Materialflußhilfsmittels zur Aufnahme dieser Objekte wird bezogen auf die Formklasse angegeben, d.h. jedes aufzunehmende, unterschiedliche Objekt wird hinsichtlich der Belegung der Ladekapazität gleich behandelt. Je ähnlicher die einer Formklasse zugeordneten Objekte in Bezug auf ihre Gestalt sind, desto höher ist die Ladevolumennutzung. Die folgende Relationen enthalten alle Informationen, die zur Bildung von Materialflußeinheiten über gestaltähnliche Objekte notwendig sind:

WIRD_AUFGENOMMEN_VON

(BEDARFSORT, OBJEKT, OBJEKT-LADEZUSTAND, MFHM, MFHM-LADEZUSTAND)

BESITZT_LADEKAPAZITÄT

(MFHM, MFHM-LADEZUSTAND, FORMKLASSE, MAXIMUM, MINIMUM)

BESITZT_FORMKLASSE

(OBJEKT, OBJEKT-LADEZUSTAND, FORMKLASSE, MAXIMUM, MINIMUM)

Ist die Formklassen-Methode auf Grund einer angestrebten maximalen Ladevolumennutzung nicht ausreichend, so ist sowohl die informationelle als auch die physische Bildung (Kommissionierung) nicht-sortenreiner Materialflußeinheiten vom Personal im Lager auszuführen. Hierzu werden Informationen über die jeweils einzusetzenden Materialflußhilfsmittel und über die jeweils zusammenzufassenden Objekte benötigt. Zur Beschreibung der für ein Objekt an einem Bedarfsort benötigten Materialflußhilfsmittel läßt sich, die bereits bei der sortenreinen Flußeinheitenbildung vorgestellte Relation *WIRD_AUFGENOMMEN_VON*, verwenden:

WIRD_AUFGENOMMEN_VON

(BEDARFSORT, OBJEKT, MFHM)

Zu jedem Flußauftrag werden gemäß der Relation *WIRD_AUFGENOMMEN_VON* die benötigten Materialflußhilfsmittel bestimmt und daraus eine Aufbaubeschreibung nach der Relation *FLUSSEINHEITEN_AUFBAU*. Das Personal an der Quelle bildet mit diesen Vor-

gaben dann eigenständig Materialflußeinheiten. Diese Kommissioniervorgaben besitzen den gleichen formalen Aufbau (*FLUSSEINHEITENPLAN*, *FLUSSEINHEITEN_AUFBAU*) wie die bei Flußeinheitenbildung für sortenreine Materialflußeinheiten erstellten Flußeinheitenaufträge. Anwendbar ist dieses Verfahren auch bei sortenreinen Materialflußeinheiten. Es ist die reduzierteste Form einer rechnergeführten Flußeinheitenbildung.

5.3.4 Bildung von Transport- und Bereitstellungseinheiten

Bei der Flußeinheitenbildung sind Flußaufträge (Ausgangsdaten der Flußplanung) bzw. die ihnen zugeordneten Güter auf informationeller Ebene zu Transport-/Bereitstellungseinheiten zusammenzufassen, wobei eine Bereitstellungseinheit im allgemeinen eine Teilmenge einer Transporteinheit ist. Die Kommissionierung, der an einer Fertigungsstation benötigten Bereitstellungseinheit kann entweder an der Quelle (Lagersystem) oder an der Senke (Fertigungsabschnitt) erfolgen. Bereitstellungseinheiten müssen damit nur dann gebildet werden, wenn die Materialfluß-Senke eine Fertigungsstation ist und die Kommissionierung der Bereitstellungseinheit an der Quelle erfolgt. Für ein bestimmtes Gut an einer bestimmten Senke ist der Kommissionierort (Quelle, Senke) als Betriebsmittel-Definitionsdatum festgelegt. Bereitstellungseinheiten sind stationsbezogen zu bilden, Transporteinheiten dagegen können abschnitts- oder bedarfsortbezogen (Stationsgruppen oder Station) gebildet werden. Sind für ein Gut bzw. Flußauftrag Bereitstellungseinheiten zu erstellen, so müssen daher bei der Flußeinheitenbildung zuerst Bereitstellungseinheiten ermittelt und dann diese zu Transporteinheiten zusammengefaßt werden. Bei der direkten Transporteinheitenbildung (einstufig: keine Bereitstellungseinheitenbildung notwendig) ist für ein an einer bestimmten Senke erforderliches Versorgungsobjekt eine bestimmte Art der Flußeinheitenbildung auszuführen. Hierbei kann jede der entworfenen Arten (A: Bildung von Materialflußeinheiten mit fester Struktur und Gutmenge, B: Bildung von Materialflußeinheiten mit fester Struktur und variabler Gutmenge, C: Bildung von sortenreinen Materialflußeinheiten mit variabler Struktur und Gutmenge, D: Bildung von Materialflußeinheiten über gestaltähnliche Objekte, E: Bildung von Kommissioniervorgaben) einer Versorgungsobjekt/Senke-Kombination zugeordnet sein kann. Die Transporteinheitenbildung kann über einen Fertigungsabschnitt als ganzes oder getrennt nach dem jeweiligen Bedarfsort (Station, Stationsgruppe) erfolgen. Bei der indirekten Transporteinheitenbildung (zweistufig: erst Bereitstellungs- und dann Transporteinheiten) besteht die Möglichkeit die Bereitstel-

lungseinheitenbildung und die anschließenden Transporteinheitenbildung in verschiedener Art auszuführen. Insbesondere besteht die Möglichkeit für automatisierte Fertigungsstationen (vgl. Abschnitt 4), die im allgemeinen mit sortenreinen Bereitstellungseinheiten oder Bereitstellungseinheiten mit fester Struktur zu versorgen sind, solche zu generieren und im Rahmen der Transporteinheitenbildung, bei der zumeist Freiheitsgrade hinsichtlich der Zusammenfassung unterschiedlicher Objekte bestehen, das Verfahren "Bildung von Materialflußeinheiten über gestaltähnliche Objekte" anzuwenden. Für eine bestimmte Senke, die mit einem bestimmten Objekt-Typ (Versorgungseinheit) zu versorgen ist, ist die Art der Flußeinheitenbildung eindeutig vorgegeben:

ART_DER_FLUSSEINHEITENBILDUNG

(SENKE, VERSORGUNGSEINHEIT, FA-UMFANG, BE-BILDUNG, TE-BILDUNG, TE-BEREICH)

FA-UMFANG: Flußauftrags-abhängige (getrennt für einzelne Flußaufträge) oder Flußauftrags-unabhängige Flußeinheitenbildung

BE-BILDUNG: Art der Bereitstellungseinheit-Bildung ("keine", "A", "B", "C", "D", "E")

TE-BILDUNG: Art der Transporteinheiten-Bildung ("A", "B", "C", "D", "E")

TE-BEREICH: Bildungsbereich für Transporteinheiten ("Bedarfsort", "Abschnitt")

Bild 35 zeigt den Ablauf der Flußeinheitenbildung. Die zu behandelnden Flußaufträge sind nach der für sie zutreffenden Art der Flußeinheitenbildung zu sortieren und gemäß der jeweiligen Art durchzuführen. Ergebnis der Flußeinheitenbildung ist ein im wesentlichen analog dem Flußplan aufgebauter Flußeinheitenplan sowie eine Aufbaubeschreibung der jeweils an einer Senke bereitzustellenden Materialflußeinheit:

FLUSSEINHEITENPLAN

(MFE-AUFTRAG-NR, QUELLE, SENKE, TRANSPORTMEDIUM, FLUSS-ART, BEDARFSAUSLÖSUNG, MFE-NR, OBJEKT-IDENTIFIKATION, AUFTRAGSBEZUG, OBJEKT-KLASSE, BEDARFSTERMIN, FLUSS-TERMIN)

FLUSSEINHEITEN_AUFBAU

(MFE-NR, K-NR, OBJEKT, BEDARFSORT, VK-NR, MENGE)

KOMMISSIONIER_HINWEIS

(MFE-NR, MFE-ART, K-NR, BILDUNGSBEREICH)

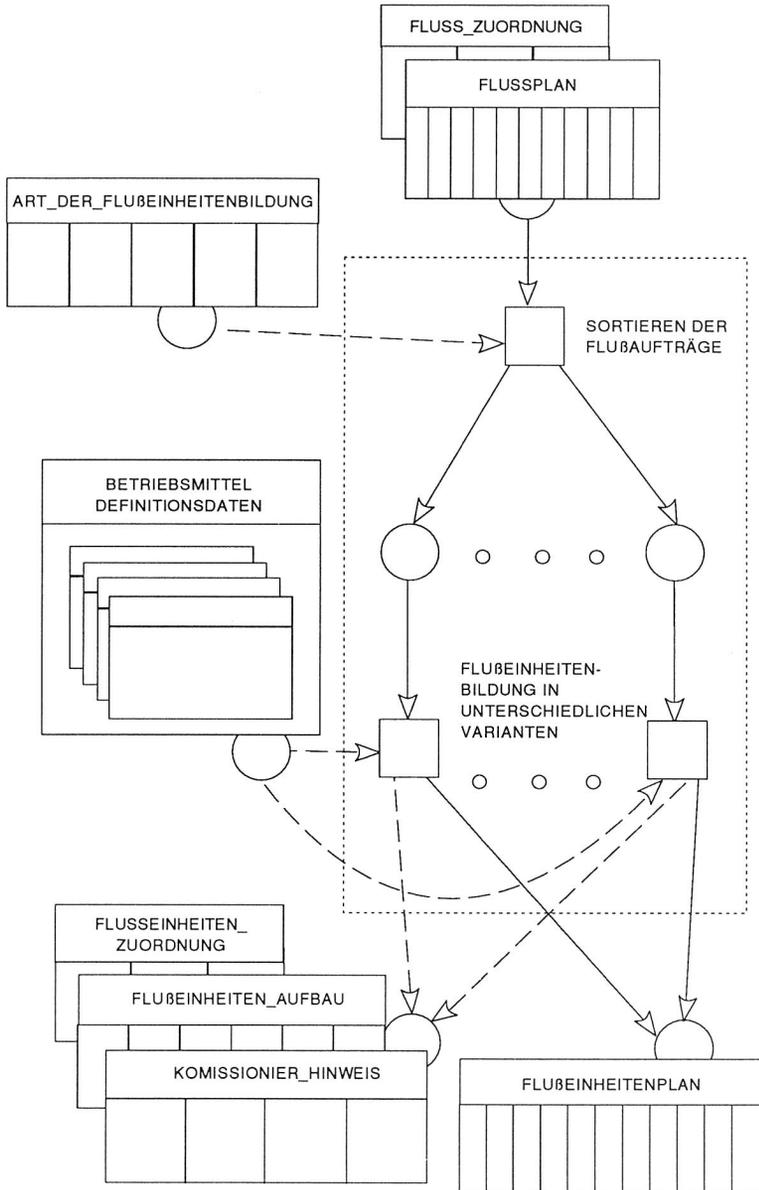


Bild 34: Vorgehensweise zur Transport- und Bereitstellungseinheitenbildung

Da in einer Materialflußeinheit bei der Flußeinheitenbildung durch das Materialflußsteuerungssystem bzw. durch die Quelle Objekte für unterschiedliche Bedarfsorte (Station bzw. Stationsgruppe) in einem Fertigungsabschnitt zusammengefaßt werden können, muß zu jedem Objekt einer Flußeinheit der zugehörige Bedarfsort festgehalten werden (Attribut *BEDARFSORT* der Relation *FLUSSEINHEITEN_AUFBAU*). Damit kann der Senke eine vollständige Information über den Inhalt einer Materialflußeinheit und den Bestimmungsort der in ihr enthaltenen Objekte gegeben werden. Aufgrund der Varianten bezüglich des Detaillierungsgrades der Aufbaubeschreibung für Materialflußeinheiten wird jede Flußeinheit hinsichtlich der Art und Weise der vorzunehmenden Kommissionierung charakterisiert (Relation *KOMMISSIONIER_HINWEIS*). Das Attribut *MFE-ART* kennzeichnet die Art der Vorgaben für eine zu erstellende Materialflußeinheit:

- "logisch gebildete Transporteinheit": die Kommissionierung ist exakt gemäß der übermittelten Flußeinheitsaufbaubeschreibung an der Quelle vorzunehmen;
- "logisch gebildete Bereitstellungseinheit mit Vorgaben bezüglich der einzusetzenden Materialflußhilfsmittel": an der Quelle ist eine Bereitstellungseinheit exakt nach der Flußeinheitsaufbaubeschreibung zu kommissionieren; die Beschreibung der Bereitstellungseinheit als Teilbaum der Flußeinheitsaufbaubeschreibung wird identifiziert durch die Ausprägungen der Attribute *MFE-NR* und *K-NR* der Relation *KOMMISSIONIER_HINWEIS*; diese Bereitstellungseinheit darf im weiteren mit anderen Objekten zu einer Transporteinheit zusammengefaßt werden, wobei der festgelegte Bildungsbereich ("Abschnitt-bezogen", "Bedarfsort-bezogen") und die durch die Flußeinheitsaufbaubeschreibung vorgegebenen Materialflußhilfsmittel zu beachten sind;
- "Gut mit Vorgaben bezüglich der einzusetzenden Materialflußhilfsmittel": bei der Kommissionierung an der Quelle darf dieses Gut mit anderen Objekten unter Einhaltung der definierten Materialflußhilfsmittel und des Bildungsbereichs zu einer Transporteinheit zusammengefaßt werden;

Mit der Relation *KOMMISSIONIER_HINWEIS* ist die Art und Weise, in der ein bestimmter Flußeinheiten-Auftrag (*MFE-AUFTRAG-NR*, *FLUSSEINHEITENPLAN*) bzw. die zugehörige Materialflußeinheit (*MFE-NR*, *FLUSSEINHEITEN_AUFBAU*) bei der Kommissionierung an der Quelle zu behandeln ist, eindeutig vorgegeben. In den Relationen *FLUSSEINHEITENPLAN*, *FLUSSEINHEITEN_AUFBAU* und *KOMMISSIONIER_HINWEIS* ist das vollständige Wissen, das die Materialflußsteuerung über einen auszuführenden Materialflußvorgang besitzt, konzentriert.

5.4 Flußveranlassung und Flußüberwachung

Flußveranlassung

Durch die Funktionen Bedarfsplanung, Flußplanung und Flußeinheitenbildung werden die Materialflüsse in einem Fertigungsbereich in ihrer zeitlichen, räumlichen und mengen- bzw. einheitenmäßigen Dimension (Relation *FLUSSEINHEITENPLAN, FLUSSEINHEITEN_AUFBAU*) festgelegt. Im Rahmen der Funktion Flußveranlassung sind alle im Flußeinheitenplan festgelegten Materialflüsse bzw. Flußaufträge den für die Ausführung zuständigen Systemen in entsprechender Form zuzuteilen. Ein Materialfluß läßt sich einteilen in das Auslagern der zu befördernden Objekte an der Quelle, die Beförderung dieser Objekte mittels eines Transportmediums von der Quelle zur Senke und das Einlagern dieser Objekte an der Senke. Alle beteiligten Systeme - Quelle, Transportmedium, Senke - müssen zur Durchführung ihrer Aufgaben mit Informationen versorgt werden. Je nach Art des Materialflusses bestehen hierbei unterschiedliche Anforderungen:

- separate Versorgung: Die jeweilige Quelle ist mit der Bereitstellung der Materialflußeinheiten an der Senke zu beauftragen (Bereitstellungsauftrag). Die Bereitstellung umfaßt einerseits die informationelle (falls nicht durch die Flußeinheitenbildung vorgegeben) und physische Bildung von Transporteinheiten (Auslagerung) und andererseits die Beauftragung des jeweiligen Transportmediums mit der Beförderung der gebildeten Transporteinheiten zur Senke. Eine direkte Beauftragung des Transportmediums im Rahmen der Flußveranlassung würde zu einem hohen Aufwand hinsichtlich der zeitlichen Koordination von Quelle und Transportmedium führen, dem kein adäquater Vorteil gegenüber steht. Die jeweilige Senke ist über die Ankunft und den Aufbau der Materialflußeinheiten zu informieren (Flußinformation).
- separate Entsorgung und korrespondierende Ver-/Entsorgung: Das jeweilige Transportmedium ist mit der Beförderung der Transporteinheit zu beauftragen (Transportauftrag) und die jeweilige Senke über den Aufbau derselben zu informieren (Flußinformation).

Zur Ausführung der Flußaufträge müssen detaillierte Vorgaben über Quellen und Senken der Materialflüsse gemacht werden. Bei den im Rahmen der Flußauftragsbildung jeweils genannten Quellen und Senken handelt es sich um Stationen, Stationsgruppen, Abschnitte

oder Lagersysteme. Ein Transportsystem und ein Abschnitt bzw. Lagersystem können ein oder mehrere gemeinsame Materialfluß-Schnittstellen (z.B. Andockstationen für Flurförderzeuge) besitzen (vgl. Abschnitt 4). Bezüglich Ver- und Entsorgung können getrennte Schnittstellen bestehen. Je nach dem zu versorgenden bzw. zu entsorgenden Ort (Station, Stationsgruppe) innerhalb eines Abschnitts oder dem Ent-/Versorgungsobjekt selbst kann der Materialfluß über unterschiedliche Schnittstellen erfolgen:

BESITZT_SCHNITTSTELLE

(QUELLE, SENKE, OBJEKT, SCHNITTSTELLE-QUELLE, SCHNITTSTELLE-SENKE)

An die Quellen/Senken/Transportmedien zu übermittelnde Informationen sind (Bild 35):

TRANSPORTPLAN

(MFE-AUFTRAG-NR, EXT-AUFTRAG-NR, SCHNITTSTELLE-QUELLE, TRANSPORTMEDIUM, SCHNITTSTELLE-SENKE, MFE-NR, OBJEKT-IDENTIFIKATION, FLUSS-TERMIN)

BEREITSTELLUNGSPLAN

(MFE-AUFTRAG-NR, EXT-AUFTRAG-NR, SCHNITTSTELLE-QUELLE, TRANSPORTMEDIUM, SCHNITTSTELLE-SENKE, MFE-NR, FLUSS-TERMIN)

FLUSSINFORMATIONSPLAN

(MFE-AUFTRAG-NR, EXT-AUFTRAG-NR, SENKE, MFE-NR, OBJEKT-IDENTIFIKATION, FLUSS-TERMIN)

, wobei für jeden Bereitstellungsauftrag (ein Tupel der Relation *BEREITSTELLUNGSPLAN*) und für jede Flussinformation (ein Tupel der Relation *FLUSSINFORMATIONSPLAN*) auch die entsprechenden, eine Materialflußeinheit charakterisierenden Tupel der Relation *FLUSSEINHEITEN_AUFBAU* zu übermitteln sind. Zu einem Bereitstellungsauftrag gehört desweiteren der jeweils einer Materialflußeinheit zugeordnete Kommissionierhinweis (ein Tupel der Relation *KOMMISSIONIER_HINWEIS*). Einem Transportauftrag (ein Tupel der Relation *TRANSPORTPLAN*), dessen Transporteinheit ein sie identifizierendes Kennzeichen (Objekt-Information in Form z.B. einer Behälternummer) besitzt, braucht eine Aufbaubeschreibung derselben nicht beigegeben zu werden. Um korrekte Flußinformationen an die jeweiligen Senken übermitteln zu können, muß dem Informationssystem zur Materialflußsteuerung nach der Kommissionierung einer Transporteinheit deren Aufbau, insofern er nur teilweise bei der Flußeinheitenbildung

vorgegeben war oder er gegenüber diesen Vorgaben abweicht, und ein eventuell für sie verwendetes Identifikationskennzeichen (*OBJEKT-IDENTIFIKATION*) mitgeteilt werden.

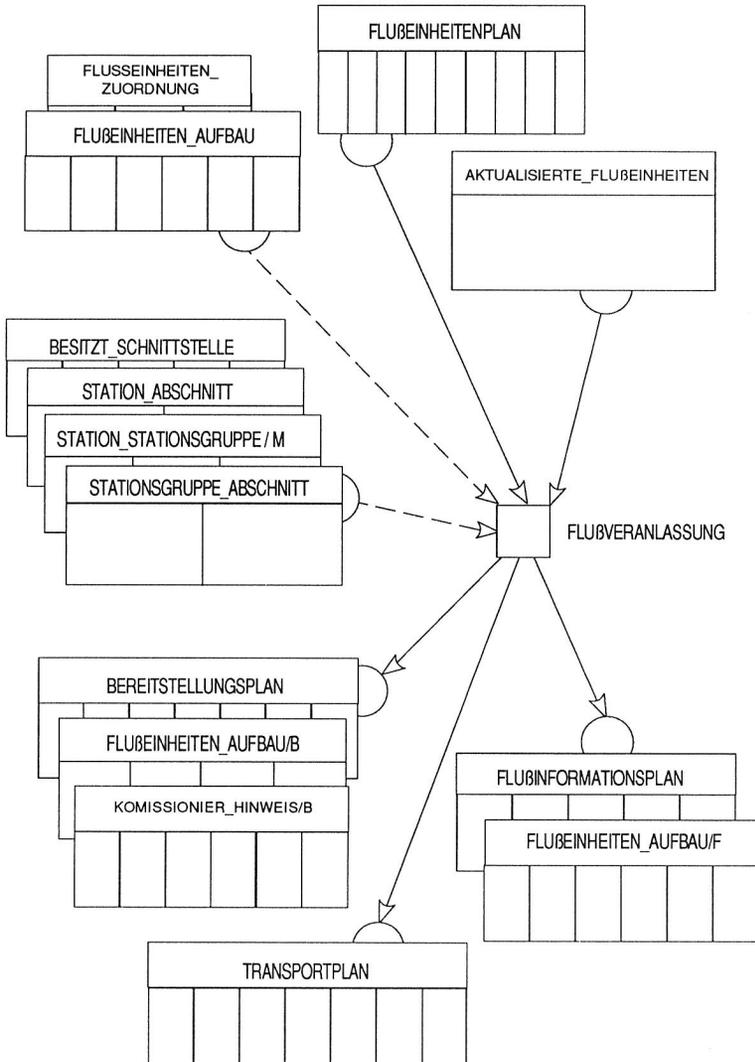


Bild 35: Funktionsmodell der Flußveranlassung

Betriebsdatenerfassung und -verarbeitung

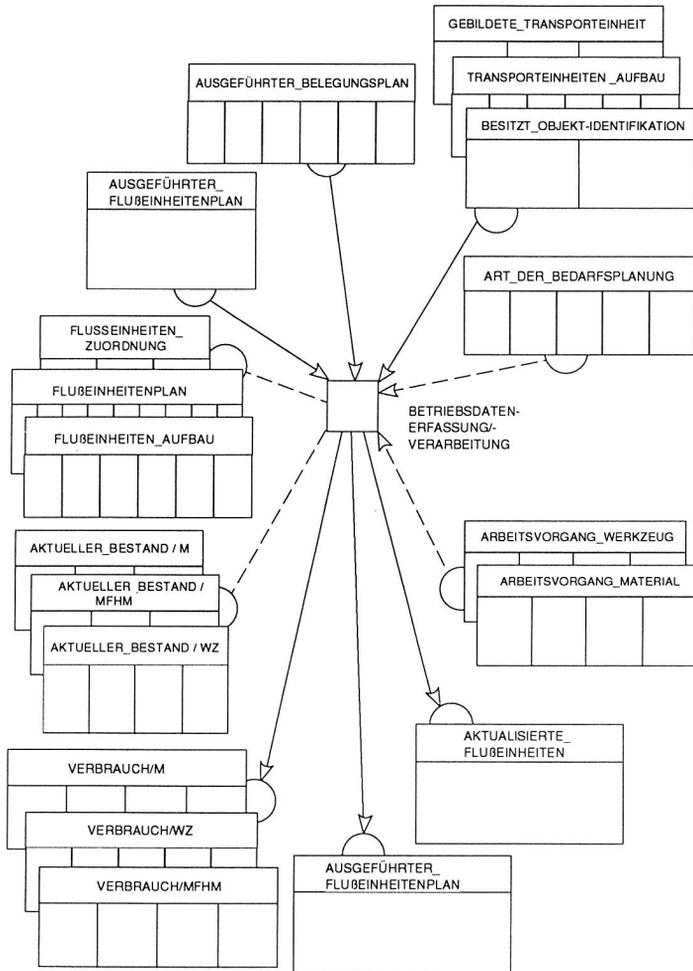


Bild 36: Funktionsmodell Betriebsdatenerfassung/-verarbeitung

Aufgabe (Bild 36) dieser Teilfunktion der Materialflußsteuerung ist es Betriebsdaten in Gestalt von Rückmeldungen über ausgeführte Aufträge/Auftragszustände und von Meldungen über den Verbrauch/Mehrverbrauch an Arbeitsgegenständen entgegenzunehmen,

sie zu verdichten und den anderen Teilfunktionen der Materialflußsteuerung zur Verfügung zu stellen. Zu den zentralen Aufgaben zählt die Führung der Bestände und der Flußeinheiten-Daten. Zur bestandsgesteuerten Bedarfsplanung wird der aktuelle Bestand und die jeweils aufgetretenen Verbräuche an Objekten bezogen auf die unterschiedlichen Bedarfsorte benötigt. Im Rahmen der Betriebsdatenverarbeitung sind die aktuellen Bestände auf Basis der Rückmeldungen über ausgeführte Transport- und Bereitstellungsaufträge sowie ausgeführte Belegungsplan-Positionen (Fertigungsaufträge) zu führen. Über die als ausgeführt gemeldeten Belegungsplan-Positionen wird mittels einer Bruttobedarfsermittlung der Verbrauch an Material errechnet und die Bestände aktualisiert. Aufgrund eines erteilten Bereitstellungsauftrags (Flußveranlassung) wird die an einer Senke benötigte Transporteinheit an der Quelle gemäß den übermittelten Vorgaben (*FLUSSEINHEITEN_AUFBAU/B*) kommissioniert. Da diese Vorgaben den Aufbau einer Transporteinheit nicht in allen Fällen vollständig festlegen, muß die Quelle den Aufbau der gebildeten Transporteinheit dem Informationssystem zur Materialflußsteuerung mitteilen. Besitzt eine Transporteinheit ein sie eindeutig identifizierendes Kennzeichen (z.B. Behälternummer), so ist auch dieses, um einen beleglosen Materialfluß zu ermöglichen, mitzuteilen. Im weiteren sind die Flußeinheiten-Informationen (*FLUSSEINHEITEN_ZUORDNUNG*, *FLUSSEINHEITENPLAN*, *FLUSSEINHEITEN_AUFBAU*) zu aktualisieren.

Flußüberwachung

Bei plangemäßigem Fertigungsablauf, d.h. kein Auftreten von Änderungen des Belegungsplans, Verzögerungen beim Transport, etc., beschränkt sich die Aufgabe der Flußüberwachung auf die Ermittlung des Auftragsfortschritts. Für einen mit Arbeitsgegenständen zu versorgenden Belegungsplan ist in Abhängigkeit von den ausgeführten Flußeinheitenaufträgen zu bestimmen, in welchem Maße dieser Belegungsplan aktuell versorgt bzw. ausführbar ist. Diese Information wird den jeweiligen Fertigungsabschnitten als Rückmeldung auf den Auftrag einen Belegungsplan zu versorgen zur Verfügung gestellt. Auf Basis derselben können dann in den Fertigungsabschnitten im Rahmen der Fertigungsauftragssteuerung die einzelnen Positionen eines Belegungsplans zur Ausführung freigegeben bzw. diese veranlaßt werden (Bild 37). Hierzu werden für einen als ausgeführt gemeldeten Flußeinheitenauftrag (*MFE-AUFTRAG-NR*, Bereitstellung- oder Transportauftrag), die Zugangsmengen an Objekten (festgelegt im *FLUSSEINHEITEN_AUFBAU*) ermittelt. Diese Zugangsmengen werden als freier Bestand für zu versorgende Belegungsplan-Positionen

betrachtet. Im weiteren wird der Bruttobedarf der Belegungsplan-Positionen ermittelt, die eine Zuordnung zu diesem ausgeführten Flußeinheitenauftrag (FLUSSEINHEITEN_-ZUORDNUNG) besitzen, und vom freien Bestand subtrahiert. Um eine Belegungsplan-Position als versorgt melden zu können, müssen in der Regel mehrere Flußeinheitenaufträge (MFE-AUFTRAG-NR) ausgeführt werden. Nach Ausführung des dargestellten Berechnungsschema für einen ausgeführten Flußeinheitenauftrag bleiben für ein oder mehrere Belegungsplan-Positionen unerfüllte Bedarfe (Nettobedarfe) übrig. Diese werden bezogen auf die jeweilige Belegungsplan-Position geführt und bei dem nächsten als ausgeführt gemeldeten Flußeinheitenauftrag berücksichtigt. Über die gesamte Flußauftragsbildung wird hierzu (und zur Terminüberwachung, s. Abschnitt 6) die Zuordnung bedarfsauslösende Belegungsplan-Position zu den jeweils erstellten Aufträgen (Versorgungsbedarf, Flußauftrag, Flußeinheitenauftrag) mitgeführt.

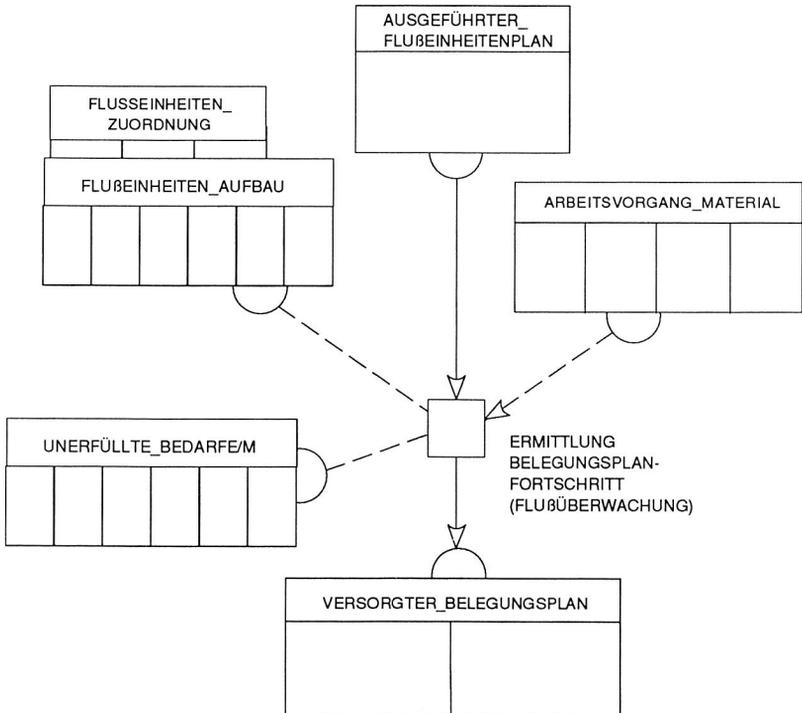


Bild 37: Flußüberwachung bei plangemäßigem Fertigungsablauf

6 Ablaufstruktur des Informationssystems zur Materialflußsteuerung

In Abschnitt 5 wurden für einen plangemäßen Fertigungsablauf die prinzipiell anzuwendenden Methoden und hierzu notwendigen Informationen zur Bedarfsplanung, Flußplanung, Flußeinheitenbildung, Flußveranlassung und Flußüberwachung definiert. Die logischen und zeitlichen Beziehungen der Teilfunktionen der Materialflußsteuerung zueinander als Resultat der äußeren Ereignisse (Auftreten eines neuen Belegungsplans, einer Belegungsplanänderung, einer Transportverzögerung, etc.) bilden die Funktionsablaufstruktur eines Informationssystems zur Materialflußsteuerung. In diesem Abschnitt werden die als Reaktion auf die äußeren Ereignisse entworfenen, notwendigen Funktionsabläufe eines Informationssystems beschrieben.

6.1 Funktionsablauf bei plangemäßigem Fertigungsablauf

Die Festlegung des Funktionsablaufs wird maßgeblich von der Frage nach dem sinnvollen bzw. notwendigen Zeitpunkt der Flußauftragsbildung und -veranlassung beeinflusst. Um einen gesicherten Fertigungsablauf zu erreichen und den Quellen und Transportmedien einen Dispositionsspielraum für ihre eigenen Aufgaben zu erhalten, ist eine möglichst frühzeitige Flußauftragsbildung und Flußveranlassung anzustreben. Zu diesen Aufgaben zählen z.B. die Bildung von Ladeeinheiten für Fahrzeuge. Unter dem Aspekt der Minimierung der durchzuführenden Transporte müssen Transport- und Bereitstellungsaufträge einen gewissen Zeitraum im voraus den Quellen und Transportmedien für die Ladeeinheitenbildung bekannt sein.

Störungen im Fertigungsprozeß oder Änderungen des Fertigungsprogramms (Eilaufträge) durch die Produktionsplanung ergeben eine Änderung der Belegungspläne und führen damit zur Notwendigkeit, daß die Materialflußsteuerung ihre jeweils erstellten Vorgaben wieder ändert. Nur so kann eine rechtzeitige Versorgung der Fertigungsabschnitte sichergestellt und eine zu frühe Versorgung derselben - mit dem Ergebnis einer Belegung der Pufferkapazität der Fertigungsabschnitte und eines Auftretens von Überbeständen - vermieden werden. Je nach der Zeitspanne, die die Flußauftragsbildung bzw. Flußveranlassung

im voraus erfolgt, müssen interne (Versorgungsplan, Flußplan, etc.) und/oder externe Vorgaben (Transport-, Bereitstellungsauftrag, etc.) im Rahmen der Materialflußsteuerung korrigiert werden.

Eine Änderung bereits erteilter Transport- und Bereitstellungsaufträge bedeutet einen hohen Koordinationsaufwand und zeitlichen Aufwand einerseits zwischen dem Informationssystem zur Materialflußsteuerung und den Quellen/Transportmedien und andererseits in diesen selbst. Auch die Korrektur interner Vorgaben aufgrund von Belegungsplanänderungen stellt einen hohen Aufwand hinsichtlich der Zeit und der hierfür zu speichernden, notwendigen Informationen dar. Um die notwendige Korrektur interner und externer Vorgaben zu minimieren, ist eine möglichst kurzfristige Veranlassung aber auch Bildung von Aufträgen durch ein Materialflußsteuerungssystem anzustreben, wobei die Randbedingung des gesicherten Fertigungsablaufs und des erforderlichen Dispositionsspielraums einzuhalten sind. Hierzu wurde folgende Strategie für die Funktionskette Bedarfsplanung, Flußplanung, Flußeinheitenbildung und Flußveranlassung entworfen:

- Die Belegungsplan-Positionen werden in Gruppen gemäß ihren Ausführungsterminen (*AVO-TERMIN*) einer Bedarfsplanung (Brutto-, Nettobedarfsermittlung und Versorgungsrechnung) unterzogen. Fällt der Ausführungstermin einer Belegungsplan-Position in einen vorgegebenen, bedarfsortspezifischen Auswahlhorizont (Betriebsmittel-Definitionsdatum), so wird über alle Belegungsplan-Positionen, die zum gleichen Fertigungsabschnitt wie diese gehören und die innerhalb eines ebenfalls vorgegebenen, bedarfsortspezifischen Auswahlzeitraums liegen, eine gemeinsame Bedarfsplanung ausgeführt.
- Zu jedem resultierenden Versorgungsbedarf wird im Rahmen der Flußplanung die für ihn einzusetzende Quelle (*SEPARATE_VERSORGUNG*, *KORRESPONDIERENDE_BEDARFE*, etc.), das für ihn einzusetzende Transportmedium (*BESITZT_TRANSPORTMEDIUM*) sowie dessen spätestens notwendiger Veranlassungstermin (*BESITZT_VERSORGUNGSDAUER*, *BESITZT_VORLAUFZEIT*) bestimmt. Bei korrespondierenden Bedarfen - mehrere Quellen zu einem Versorgungsbedarf - wird eine vorläufige Quelle unter dem Aspekt des frühesten - aus allen Quellen-Alternativen - "spätestens notwendigen Veranlassungstermins" ermittelt (d.h. die Quelle aus allen Alternativen, für die - für den betreffenden Versorgungsbedarf - die Summe aus Versorgungsdauer und Vorlaufzeit maximal ist). Die einzelnen Versorgungsbedarfe wer-

den wiederum in Gruppen gemäß ihrem ermittelten, spätestens notwendigen Veranlassungstermin zur weiteren Bearbeitung (Fortsetzung der Flußplanung, Flußeinheitenbildung und -veranlassung) freigegeben. Fällt der ermittelte Veranlassungstermin eines Versorgungsbedarfs in einen vorgegebenen Planungshorizont, so werden alle Versorgungsbedarfe mit der gleichen Quelle/Senke-Kombination wie dieser, die innerhalb eines definierten Planungszeitraums liegen, für die weitere Auftragsbildung freigegeben. Planungshorizont und Planungszeitraum sind Quelle-/Senke-spezifische Betriebsmittel-Definitionsdaten.

- Die Flußeinheitenbildung und Flußveranlassung erfolgt geschlossen für die Menge aller zu einem Zeitpunkt erhaltenen Flußaufträge (von der Flußplanung).

Auswahlhorizont, -zeitraum, Planungshorizont und -zeitraum sind durch folgende Relationen definiert:

BESITZT_AUSWAHLZEITEN

(SENKE, AUSWAHLHORIZONT, AUSWAHLZEITRAUM)

BESITZT_PLANUNGSZEITEN

(QUELLE, SENKE, PLANUNGSHORIZONT, PLANUNGSZEITRAUM)

Durch Auswahlhorizont und Auswahlzeitraum wird eine Senke-spezifische, grobe Vorauswahl der zu bearbeitenden Belegungsplan-Positionen getroffen. Der Auswahlzeitraum eröffnet die Möglichkeit mehrere Belegungsplan-Positionen gemeinsam einer Bedarfsplanung zu unterziehen, welches z.B. zur sinnvollen Versorgungsrechnung für auswählbare Versorgungsmengen erforderlich ist (vgl. Abschnitt 5.1.2). Wird der Auswahlzeitraum bei diesem Verfahren zu null gesetzt, so wird für jede Belegungsplan-Position der Versorgungsbedarf einzeln ermittelt.

Die Versorgungsbedarfsauswahl gemäß dem Veranlassungstermin dient der Berücksichtigung der unterschiedlichen (Quelle-/Senke-/Objekt-spezifischen) Versorgungsdauer und (Senke-/Objekt-spezifischen) Vorlaufzeit der einzelnen Bedarfe. Über den Quelle-/Senke-spezifischen Planungshorizont werden den Quellen und Transportmedien die von denselben auszuführenden Transport- und Bereitstellungsaufträge in ausreichender Zeit im voraus

erteilt (gesicherter Fertigungsablauf). Der Quelle-/Senke-spezifische Planungszeitraum erlaubt die Steuerung des Auftragsvorrats (Dispositionsspielraum) der einerseits geschlossenen einer Flußeinheitenbildung unterzogen wird und andererseits den Quellen und Transportmedien in einem zur Durchführung zugeteilt wird. Je geringer der Dispositionsspielraum im Rahmen der Flußeinheitenbildung und der Durchführung von Transport- und Bereitstellungsaufträgen ist, desto kleiner kann der Planungszeitraum definiert werden. Werden die in einem Fertigungsabschnitt benötigten Arbeitsgegenstände ausschließlich in Gestalt von Transporteinheiten festgelegter Struktur und Inhaltsmenge bereitgestellt und wird jede dieser Transporteinheiten einzeln zu ihrer Senke befördert (fahrerloses Flurförderzeug mit einem Standplatz), so kann der Planungszeitraum zu null gesetzt werden. Jeder Versorgungsbedarf entspricht dann einem Auftrag über eine komplette Transporteinheit und kann einzeln der weiteren Auftragsbildung unterzogen und individuell veranlasst werden. Ein kleiner Planungszeitraum reduziert die Wahrscheinlichkeit, daß aufgrund von Belegungsplanänderungen bereits erteilte Transport- und Bereitstellungsaufträge zu korrigieren sind. Bei flexiblen Fertigungssystemen besitzen Transporteinheiten häufig eine festgelegte Struktur und Inhaltsmenge; die Beförderung der Transporteinheiten erfolgt in der Regel jedoch nicht einzeln; der zu definierende Planungszeitraum ist daher im allgemeinen ungleich null.

Mittels der vorgestellten Auswahlmechanismen ist bei geeigneter Definition der Auswahl- und Planungszeiten eine kurzfristige Flußauftragsbildung und -veranlassung zu erreichen.

Bei der Festlegung geeigneter Auswahl- und Planungszeiten ist, um einen sinnvollen und korrekten Ablauf der Auswahlstrategien sicherzustellen, die Abhängigkeit der Auswahlzeiten von den Planungszeiten zu beachten. Der Auswahlhorizont bzw. der Auswahlzeitraum einer Senke S_j , die über beliebige Transportmedien mit den Quellen Q_j , $j=1, \dots, k$, verbunden ist, muß mindestens dem Planungshorizont bzw. dem Planungszeitraum für alle diese Quelle-/Senke-Kombinationen entsprechen:

$$\begin{aligned} \text{Auswahlhorizont}(S_j) &\geq \\ &\geq \max \{ \text{Planungshorizont}(Q_1, S_j), \dots, \text{Planungshorizont}(Q_k, S_j) \} \\ &\text{und} \\ \text{Auswahlzeitraum}(S_j) &\geq \\ &\geq \max \{ \text{Planungszeitraum}(Q_1, S_j), \dots, \text{Planungszeitraum}(Q_k, S_j) \} \end{aligned}$$

Bezüglich des Planungshorizonts für eine Senke S_i , die Objekte O_n , $n=1, \dots, m$, von einer Quelle Q_j erhält, besteht folgende Restriktion:

$$\begin{aligned} & \text{Planungshorizont}(Q_j, S_i) \geq \\ & \geq \max \left\{ \begin{array}{l} [\text{Versorgungsdauer}(Q_j, S_i, O_1) + \text{Vorlaufzeit}(S_i, O_1)], \\ \dots [\text{Versorgungsdauer}(Q_j, S_i, O_m) + \text{Vorlaufzeit}(S_i, O_m)] \end{array} \right\} \end{aligned}$$

Den entworfenen Funktionsablauf unter Einbezug der beschriebenen Auswahlstrategien zeigen die Bilder 38, 39 und 40. Um eine übersichtliche Darstellung zu ermöglichen, sind in diesen Petri-Netzen alle Kanäle, die Betriebsmittel- und Produkt-Definitionsdaten repräsentieren, weggelassen. Dies sind Daten, die durch die Materialflußsteuerung nicht verändert werden, und deren Fluß keine Funktion der Materialflußsteuerung auslöst. Sie können den in den vorhergehenden Abschnitten definierten Funktionsmodellen entnommen werden. Aufgezeigt wird vielmehr der Auftrags- und Betriebsdaten-Fluß bei plangemäßigem Fertigungsablauf.

Bild 38 zeigt die Flußbeziehungen auf Ebene der Teilfunktionen der Materialflußsteuerung, wobei alle Varianten der Bedarfsplanung (auftragsgesteuert, bestandsgesteuert, zeitgesteuert) integriert sind. Zu den für die Ausführung der Teilfunktionen in Abschnitt 5 bereits genannten, notwendigen Informationen kommen nun noch Informationen hinzu, die den internen Zustand der Materialflußsteuerung (zeitbezogen) charakterisieren. Die im Bild 38 genannten, aktuellen Bestände an im Rahmen der Materialflußsteuerung erstellten, unerfüllten Vorgaben sind einerseits zur Bearbeitung mehrerer aufeinanderfolgender Belegungspläne und andererseits zur Reaktion auf Belegungsplanänderungen, Mehrverbräuche, etc. erforderlich (siehe Abschnitt 6.2). Die bei der Flußauftragsbildung erstellten Flußeinheiten-Informationen (*FLUSSEINHEITENPLAN*, *FLUSSEINHEITEN_AUFBAU*, *FLUSSEINHEITEN_ZUORDNUNG*) werden zur Aktualisierung des Bestandes an Arbeitsgegenständen, zur Ermittlung des Belegungsplanfortschritts, etc. benötigt. Sie werden daher in Form eines aktuellen Bestandes geführt. Da im Rahmen der Flußplanung nicht alle in einem erhaltenen Versorgungsbedarfe geschlossen zu Flußaufträgen transformiert werden, müssen die jeweils unbearbeiteten Versorgungsbedarfe geführt werden, bis für diese Flußaufträge erstellt sind.

In Bild 39 wurde die Funktion auftragsgesteuerte Bedarfsplanung detailliert, in Bild 40 die Funktion Flußplanung.

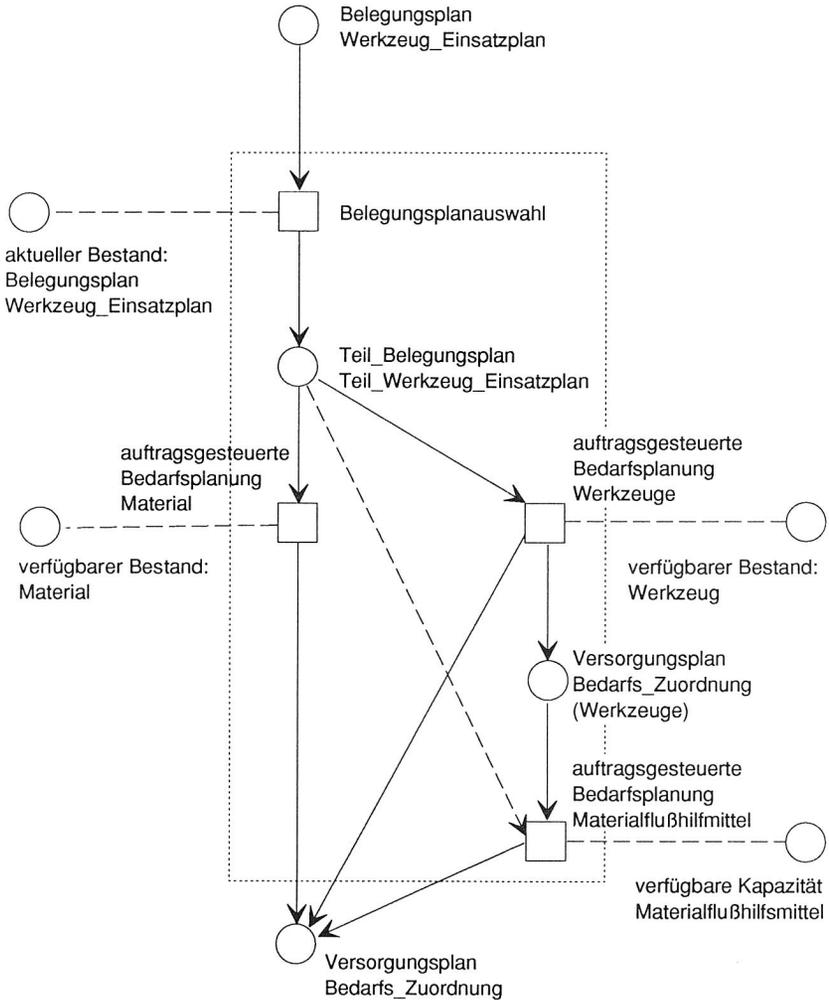


Bild 39: Funktionsablauf der auftragsbezogenen Bedarfsplanung

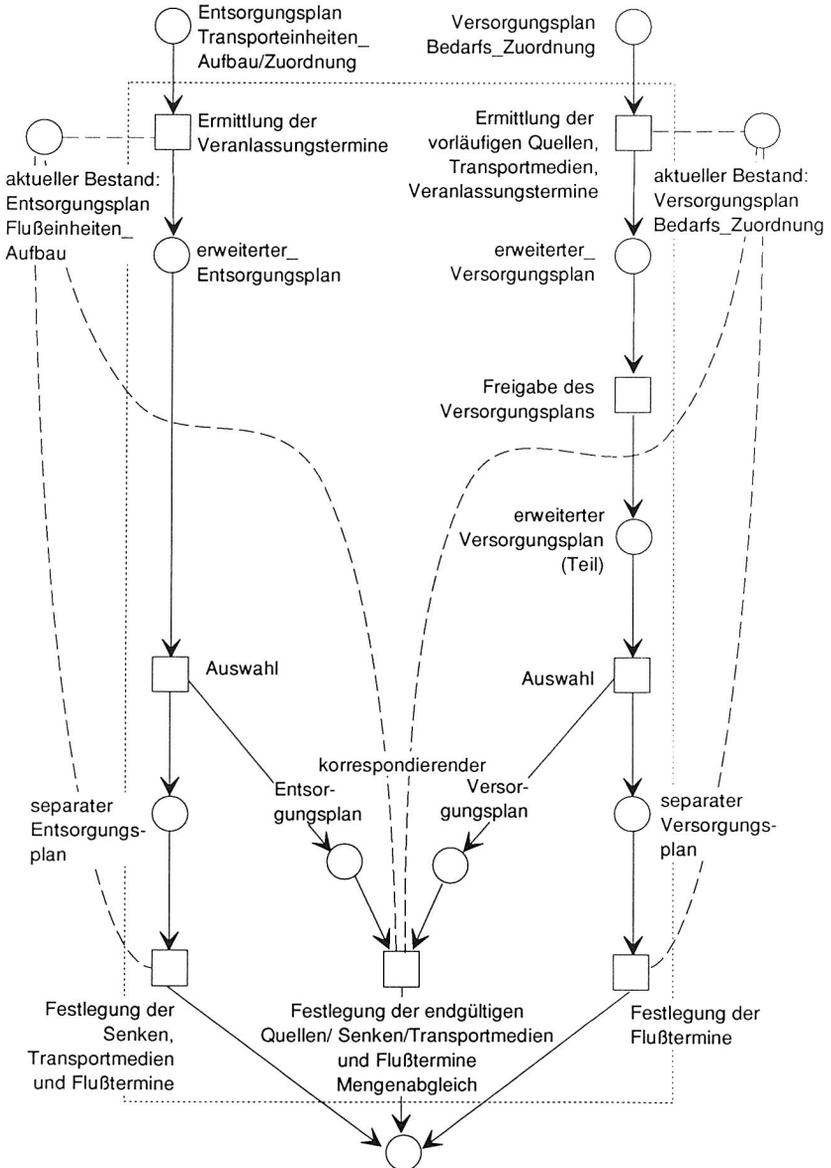


Bild 40: Funktionsablauf der Flußplanung

6.2 Funktionsablauf bei nicht plangemäßigem Fertigungsablauf

Im folgenden werden nun die bei einem von der Planung abweichenden Fertigungsablauf einzusetzenden Strategien festgelegt. Dieser ist charakterisiert dadurch, daß die erteilten Aufträge des Informationssystems zur Materialflußsteuerung nicht entsprechend den Vorgaben ausgeführt werden und/oder daß die einzelnen Fertigungsabschnitte die dem Materialflußsteuerungssystem zwecks Versorgung übergebenen Belegungspläne (z.B. aufgrund von Maschinenstörungen) verändert werden.

Funktionsablauf zur Behandlung von Planabweichungen/Planungsbasisabweichungen

A) Zeitliche Abweichungen vom festgelegten Plan (Flußeinheitenplan)

Durch Ausfälle der bzw. in den mit der Ausführung der Bereitstellungsaufträge betrauten Systeme (Quellen, Transportmedien) kann die termingerechte Versorgung der Fertigungsabschnitte verzögert werden. Derartige Verzögerungen sind, wenn sie durch die beauftragte Quelle oder das beauftragte Transportmedium erkannt werden, dem Informationssystem zur Materialflußsteuerung zu melden bzw. durch dieses selbst in Form einer zeitlichen Überwachung der Auftragsausführung zu ermitteln.

Die Überwachung der Auftragsausführung wird realisiert, indem kontrolliert wird, ob jeder erteilte Auftrag zu seinem Soll-Endtermin (Flußtermin) als ausgeführt rückgemeldet wird. Ist ein Auftrag zu diesem nicht ausgeführt, so wird eine Auftragsmahnung erstellt und der jeweils zuständigen Quelle/Transportmedium übermittelt (Bild 41). Auf diese Mahnung hin hat die Quelle bzw. das Transportmedium die Störung zu beheben und eine Mitteilung bezüglich der voraussichtlichen Verzögerungszeit dem Informationssystem zur Materialflußsteuerung zu machen. Maßnahmen (im Rahmen der Materialflußsteuerung), um verzögerte Aufträge (Transport) zu beschleunigen, gibt es nicht. Für erkannte bzw. gemeldete Auftragsverzögerungen ist daher zu bestimmen, ob sie den ordnungsgemäßen Ablauf der Fertigung in den Fertigungsabschnitten gefährden, d.h. ob die Bereitstellung der benötigten Arbeitsgegenstände zu den geplanten Ausführungsterminen der Belegungsplanpositionen (Fertigungsaufträge) nicht eingehalten wird. Aus den Verzögerungen bei der Bereitstellung sich ergebende Ausführungsverzögerungen für Belegungsplanpositionen sind den jeweiligen Fertigungsabschnitten zu melden, um dort im Rahmen der Fertigungsauftragssteuerung rechtzeitig Umplanungen (z.B. Vorziehen von Belegungsplanpositionen,

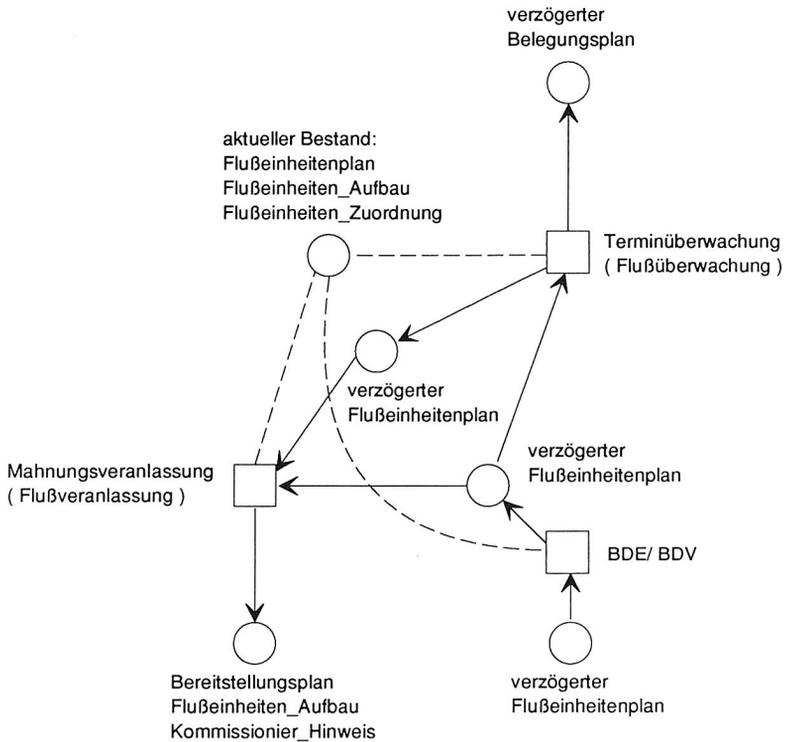


Bild 41: Funktionsablauf bei Terminabweichungen

Wiederholung der Belegungsplanung) durchführen zu können. Bei einer gemeldeten Auftragsverzögerung (Bereitstellungs-, Transportauftrag) ist der Fertigungsablauf dann gefährdet, wenn die eingetretene Verzögerung des Flußtermins (Soll-Endtermin des Bereitstellungsauftrags) so groß ist, daß der eigentliche Versorgungstermin (Flußtermin plus Vorlaufzeit) nicht eingehalten wird. Dies hat zur Folge, daß ein oder mehrere der von diesem Auftrag zu versorgenden Belegungsplan-Positionen nicht zum gewünschten Termin ausführbar sind. Führt die eingetretene Verzögerung zur Nichteinhaltung des Versorgungstermins (*BEDARFSTERMIN, FLUSSEINHEITENPLAN*), so werden die jeweils betroffenen Belegungsplan-Positionen über die bei der Flußauftragsbildung festgehaltene Zuordnung Belegungsplan-Position zu Flußeinheiten-Auftrag (*FLUSSEINHEITEN_ZUORDNUNG*) ermittelt. Die Ausführungstermine (*AVO-TERMIN*) aller einem sich verzögernden Flußein-

heiten-Auftrag zugeordneten Belegungsplan-Positionen werden gemäß der gemeldeten Verzögerung verschoben und dem betroffenen Fertigungsabschnitt übermittelt (Bild 41).

VERZÖGERTER_FLUSSEINHEITENPLAN

(MFE-AUFTRAG-NR, NEUER-FLUSS-TERMIN)

VERZÖGERTER_BELEGUNGSPLAN

(ABSCHNITT, FERTIGUNGS-AUFTRAG-NR, NEUER-AVO-TERMIN)

B) Mengenabweichungen vom festgelegten Plan

Die an einer Quelle gebildete Transporteinheit kann von dem im Rahmen der Flußauftragsbildung erstellten Vorgaben abweichen. Ursachen können falsch übermittelte Vorgaben an die Kommissionierung und Fehler bei der Kommissionierung selbst sein. Resultat ist, daß die gebildete Transporteinheit zwar mit der an der Quelle erstellten Inhaltsbeschreibung übereinstimmt, aber nicht mit den Vorgaben, oder daß Vorgaben und Inhaltsbeschreibung übereinstimmen, aber nicht die gebildete Transporteinheit mit den Vorgaben bzw. ihrer Inhaltsbeschreibung. Die Inhaltsbeschreibung einer gebildeten Transporteinheit (*TRANSPORTEINHEITEN_AUFBAU*) wird dem Materialflußsteuerungssystem durch die Quelle übermittelt. Auf Basis dieser ist im Rahmen der Flußüberwachung die Übereinstimmung mit den erstellten Vorgaben (*FLUSSEINHEITEN_AUFBAU*) zu kontrollieren. Der Abgleich zwischen gelieferter Transporteinheit und den durch die Flußveranlassung an die Senke übermittelten Flußinformationen (Inhaltsbeschreibung) ist vom Personal an der jeweiligen Senke auszuführen. Erkannte Abweichungen sind dem Informationssystem zur Materialflußsteuerung zu melden.

In beiden Fällen kann eine Über- oder Unterschreitung der Soll-Inhaltsmengen auftreten. Sowohl eine Mengenüberschreitung als auch eine Mengenunterschreitung führt dazu, daß die Basis der Bedarfsplanung in Gestalt der als verfügbar (zur Planung) angenommen Bestände an Material, Werkzeugen und Materialflußhilfsmittel nicht mehr stimmt bzw. daß Bedarfsplanungen, die zeitlich vor dem Erkennen bzw. der Mitteilung einer Mengenabweichung stattgefunden haben, auf Grundlage falscher verfügbarer Bestände erfolgten. Die Mengenunterschreitung kann zur Unterversorgung ein oder mehrerer Belegungsplan-Positionen führen. Je nach Höhe der Mengenüberschreitung können bereits geplante Aufträge (errechnete Versorgungsbedarfe) oder auch schon erteilte Aufträge (überflüssig)

werden. Bei erkannter oder mitgeteilter Mengenüberschreitung ist daher die Bedarfsplanung ab dem aktuellen Zeitpunkt zu wiederholen. Mengenüberschreitungen gefährden den Fertigungsablauf im Gegensatz zu Mengenunterschreitungen nicht unmittelbar. Sie bewirken Überbestände bzw. eine Reduzierung der Pufferkapazitäten eines Fertigungsabschnitts, wobei je nach Dauer und Höhe derselben auch Platzprobleme in einem Fertigungsabschnitt die Folge sein können. Bei erkannter Mengenüberschreitung ist daher flexibel zu reagieren. Je nach Höhe der Mengenüberschreitung wird für ein bestimmtes Bedarfsgut, das an einem bestimmten Bedarfsort benötigt wird, entweder die Bedarfsplanung wiederholt oder die Überschreitungsmenge in den verfügbaren Bestand aufgenommen:

NOTWENDIGE_NEUPLANUNG

(*BEDARFSGUT, BEDARFSORT, MAX-ÜBERSCHREITUNGSMENGE*)

In dieser Relation wird definiert, daß für ein an einem bestimmten Bedarfsort benötigtes Bedarfsgut die Versorgungsplanung dann wiederholt wird, wenn eine eingetretene Mengenüberschreitung größer als eine definierte, maximal zulässige Überschreitungsmenge ist.

Neben der Über-/Unterschreitung von im Flußeinheitenplan festgelegten Versorgungsmengen führt auch ein durch Ausschußproduktion verursachter Mehrverbrauch an Arbeitsgegenständen zu Abweichungen vom (geplanten) verfügbaren Bestand (Planungsbasisabweichung). Durch einen Mehrverbrauch an Arbeitsgegenständen für eine bestimmte Belegungsplan-Position können zeitlich später eingeplante Belegungsplan-Positionen unterversorgt sein. Aufgetretene Mehrverbräuche müssen in den jeweiligen Fertigungsabschnitten erfasst und dem Informationssystem zur Materialflußsteuerung gemeldet werden. Für einen Mehrverbrauch wird eine Neuplanung der Versorgung durchgeführt, wobei das Resultat zusätzliche Versorgungsbedarfe und verzögerte Belegungsplan-Positionen sein können.

Die Neuplanung der Versorgung wird bei Mengenüber-/unterschreitung und Mehrverbrauch bezogen auf den zugehörigen Objekttyp und Bedarfsort notwendig. Für sie werden die jeweils aktuellen Bestände an Arbeitsgegenständen benötigt. Diese sind im Rahmen der Betriebsdatenverarbeitung (BDV) zu führen. Der Zu- und Abgang an Arbeitsgegenständen wird auf Basis der Rückmeldungen über ausgeführte Transport- und Bereitstellungsaufträge (*AUSGEFÜHRTER_FLUSSEINHEITENPLAN*) und der Aufbaubeschreibungen der Transporteinheiten (*FLUSSEINHEITEN_AUFBAU*) in den aktuellen Bestand

aufgenommen. Der Verbrauch an Arbeitsgegenständen, die auftragsbezogen ermittelt werden, wird auf Grundlage der als ausgeführt gemeldeten Belegungsplan-Positionen (*AUSGEFÜHRTER_BELEGUNGSPLAN*) berücksichtigt. Für jede als ausgeführt gemeldete Belegungsplan-Position wird deren Bruttobedarf an Arbeitsgegenständen errechnet und vom aktuellen Bestand abgezogen. Die prinzipielle Vorgehensweise zur Neuplanung ist folgende:

A) alle betroffenen (Bedarfsort, Objekttyp) unbearbeiteten Versorgungsbedarfe (aktueller Bestand: *VERSORGUNGSPLAN, BEDARFS_ZUORDNUNG*) werden storniert bzw. gelöscht;

B) alle Arbeitsgegenstände, die noch nicht ausgeführten Flußeinheiten-Aufträgen (aktueller Bestand: *FLUSSEINHEITEN_PLAN, FLUSSEINHEITEN_AUFBAU*) zugeordnet sind (geplante Versorgungsleistungen), werden terminbezogen und mit Bezug zum jeweiligen Flußeinheiten-Auftrag in den verfügbaren Bestand aufgenommen (unter Berücksichtigung des neuzuplanenden Bedarfsorts und Objekttyps); die bisher gültigen Beziehungen Flußeinheiten-Auftrag zum Fertigungsauftrag eines Abschnitts (aktueller Bestand: *FLUSSEINHEITEN_ZUORDNUNG*) werden aufgehoben, wenn die zugehörige Flußeinheit keine weiteren, für den gleichen Bedarfsort bestimmten Objekte enthält;

C) ab der letzten als ausgeführt gemeldeten Belegungsplan-Position (Fertigungsauftrag) wird die Brutto- und Nettobedarfsermittlung bezogen auf den betroffenen Bedarfsort und Objekttyp (bei Versorgungseinheiten mit unterschiedlichen Gütern sind mehrere Objekttypen möglich, siehe Abschnitt 5.1) wiederholt; im Rahmen der Nettobedarfsermittlung wird für Bruttobedarfe, die durch verfügbare Bestände gedeckt sind, einerseits die Zuordnung bedarfsauslösende Belegungsplan-Position und bedarfsdeckender Flußeinheiten-Auftrag neu erstellt (*FLUSSEINHEITEN_ZUORDNUNG*) und in den aktuellen Bestand aufgenommen und andererseits die durch sie vollständig versorgten Belegungsplan-Positionen ermittelt;

D) über alle resultierenden Nettobedarfe wird eine Versorgungsrechnung ausgeführt

E) die bestimmten Versorgungsbedarfe werden der Flußplanung, Flußeinheitenbildung und Flußveranlassung unterzogen, wobei bei der Flußplanung alle nicht einzuhaltenden

Versorgungstermine erkannt und die sich damit verzögernden Belegungsplan-Positionen errechnet werden müssen;

F) alle bei der Nettobedarfsermittlung nicht in zur Bedarfsdeckung in Anspruch genommenen, verfügbaren Bestände stellen Überbestände (Mengenüberschreitung) dar; für sie wird überprüft, ob sie einer kompletten Materialflußeinheit bzw. einem kompletten Flußeinheiten-Auftrag entsprechen; ist dies der Fall, so erfolgt die Stornierung des Flußeinheiten-Auftrags; ist dies nicht der Fall, so bleiben sie verfügbare Bestände; eine Änderung der Inhalte und/oder Termine von einmal erteilten Aufträgen unterbleibt einerseits aufgrund der kurzfristigen Auftragsbildung und -veranlassung und andererseits aufgrund des Änderungsaufwands bei der Kommissionierung an der Quelle, wobei ersteres letzteres ermöglicht;

Der rechtzeitige Ausgleich von Mehrverbrauchen, Mengenüber- und Unterschreitungen sowie das Erkennen von sich verzögernden Belegungsplan-Positionen wird maßgeblich durch die Qualität der Betriebsdatenerfassung und -verarbeitung in den Fertigungsabschnitten selbst bestimmt. Eine frühzeitige Mitteilung erkannter Mengenüberschreitungen, -unterschreitungen und Mehrverbrauche stellt die Grundvoraussetzung dar, um im Rahmen der Materialflußsteuerung sinnvolle Maßnahmen einleiten zu können. Hierzu werden diese bezogen auf den jeweiligen Bedarfsort benötigt:

MENGENUNTERSCHREITUNG

(POSITION, BEDARFSORT, OBJEKT, MENGE)

MENGENÜBERSCHREITUNG

(POSITION, BEDARFSORT, OBJEKT, MENGE)

MEHRVERBRAUCH

(POSITION, BEDARFSORT, OBJEKT, MENGE)

In Bild 42 ist der Auftrags- und Betriebsdaten-Fluß, der einerseits Plan-/Planungsbasisabweichungen charakterisiert und der andererseits zur Reaktion auf diese erforderlich ist, dargestellt. Eine Detaillierung der darin enthaltenen Funktion Umplanung bringt Bild 43.

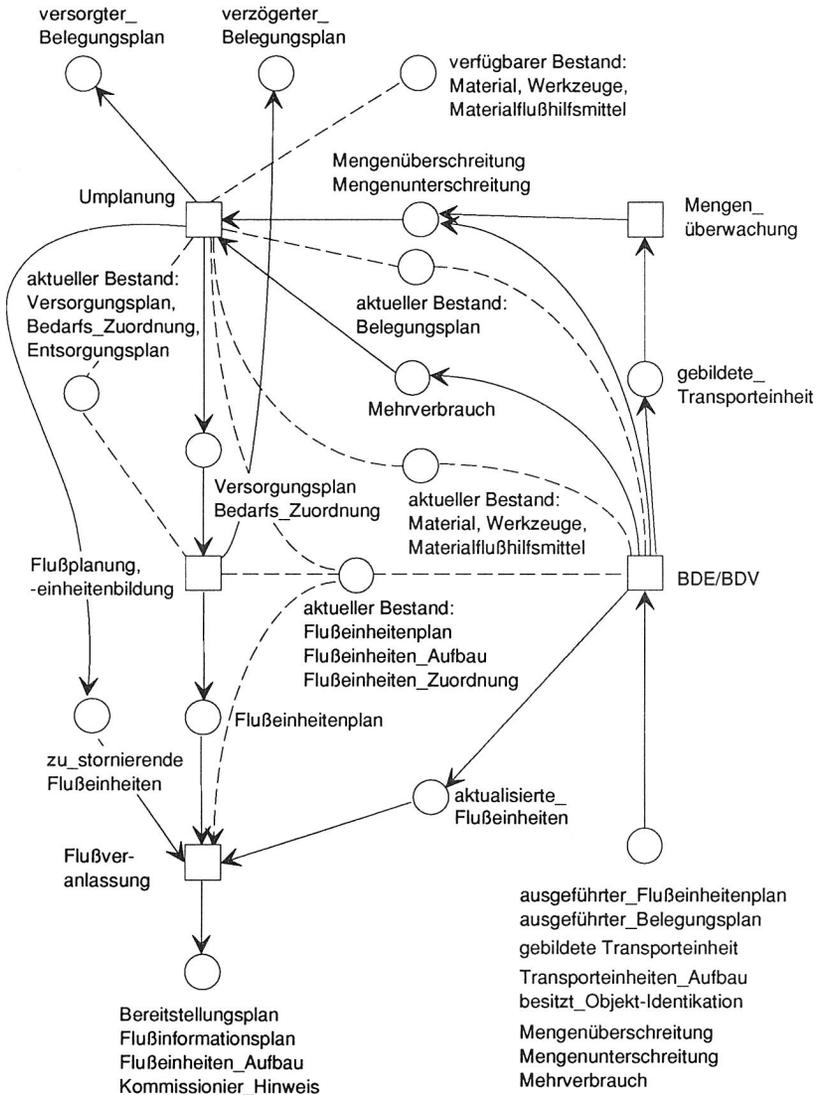


Bild 42: Funktionsablauf bei Mengenüber-/unterschreitung und Mehrverbrauch

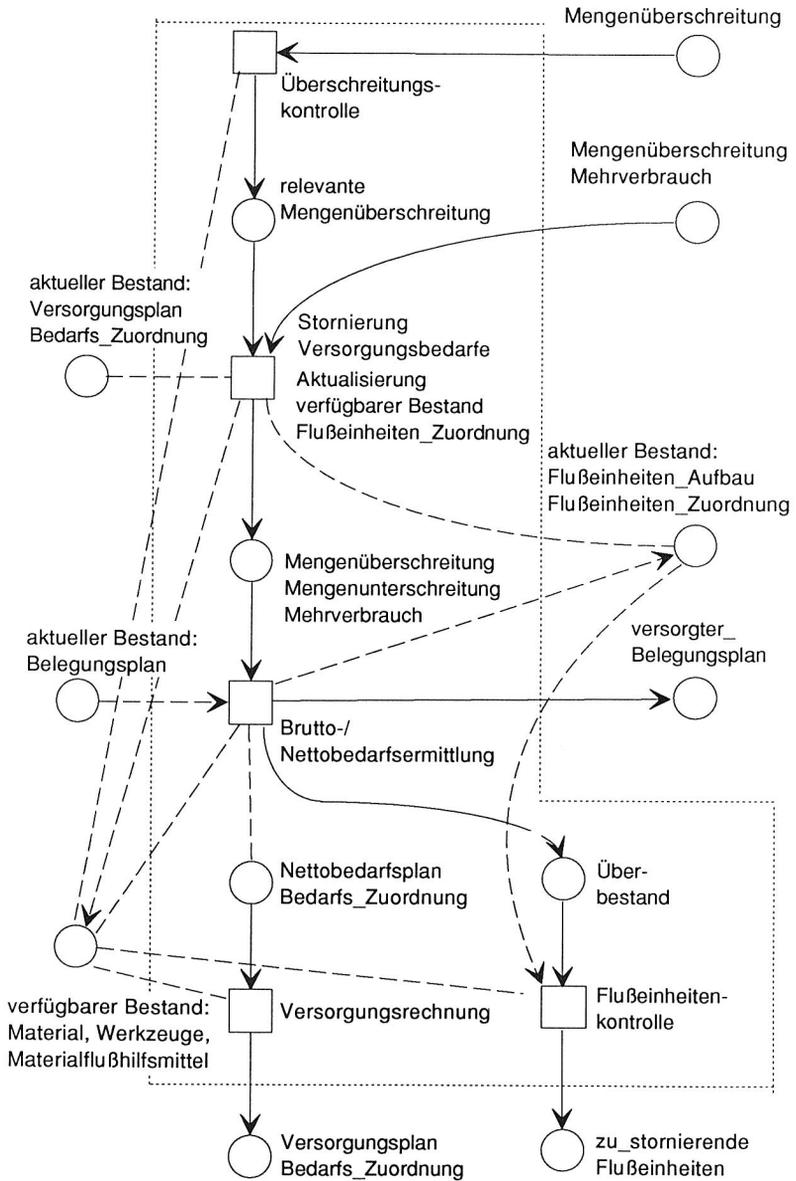


Bild 43: Funktion Umplanung

Funktionsablauf zur Behandlung von Belegungsplanänderungen

Änderungen eines einmal erstellten Belegungsplans sind das Ergebnis von Umplanungen bei der Belegungsplanung in den Fertigungsabschnitten aufgrund eingetretener Störungen im Fertigungsprozeß oder von durch die Produktionsplanung vorgenommenen Änderungen im Fertigungsprogramm (z.B. Eilauftrag). Die prinzipiell möglichen Typen von Änderungen sind das zeitliche Verschieben einer bereits existierenden, d.h. eingeplanten, Belegungsplan-Position, das Einfügen einer neuen Belegungsplan-Position und das Stornieren einer bereits existierenden Belegungsplan-Position. Um im Rahmen der Belegungsplanung eine neue Position in einen erstellten Belegungsplan aufnehmen zu können, müssen aufgrund der begrenzten Fertigungskapazität ein oder mehrere dessen Positionen entweder zeitlich verschoben und/oder storniert werden. In der Regel betreffen daher Belegungsplanänderungen nicht eine Einzelposition, sondern eine Gruppe von Positionen:

BELEGUNGSPLAN_ÄNDERUNG

(*ABSCHNITT, FERTIGUNGS-AUFTRAG-NR, ÄNDERUNGSART, STATION, ARBEITSPLAN, ARBEITSVORGANG, AVO-ANZAHL, AVO-DAUER, AVO-TERMIN*)

ÄNDERUNGSART: kennzeichnet einen Fertigungsauftrag als mit den angegebenen Daten "Hinzuzufügen" oder "Zu Ersetzen" oder "Zu Stornieren"

Je nach dem Zeitpunkt des Auftretens der Belegungsplanänderung können aufgrund des Auswahlhorizonts bei auftragsgesteuerter Bedarfsplanung Belegungsplan-Positionen noch unbearbeitet sein, Flußeinheiten-Aufträge bereits erteilt sein, oder aufgrund des Planungshorizonts bei der Flußplanung Versorgungsbedarfe schon erstellt, aber noch nicht weitergegeben sein. Für alle Belegungsplan-Positionen, deren Bearbeitung im Rahmen der Flußauftragsbildung bereits begonnen wurde, muß eine Aktualisierung der erstellten Vorgaben, d.h. eine Neuplanung der Versorgung, vorgenommen werden, wobei sich die Neuplanung auf alle Bedarfsorte eines Fertigungsabschnitts, die von Änderungen berührt werden, bezieht. Die Neuplanung erfolgt (Bild 44) analog zur Neuplanung bei Planabweichung.

Durch die im vorhergehenden aufgezeigten Reaktionsmechanismen auf Plan-/Planungsbasisabweichungen und Belegungsplanänderungen ist eine ereignisorientierte, aktuelle Steuerung des Materialflusses (Versorgung der Fertigungsabschnitte) sichergestellt.

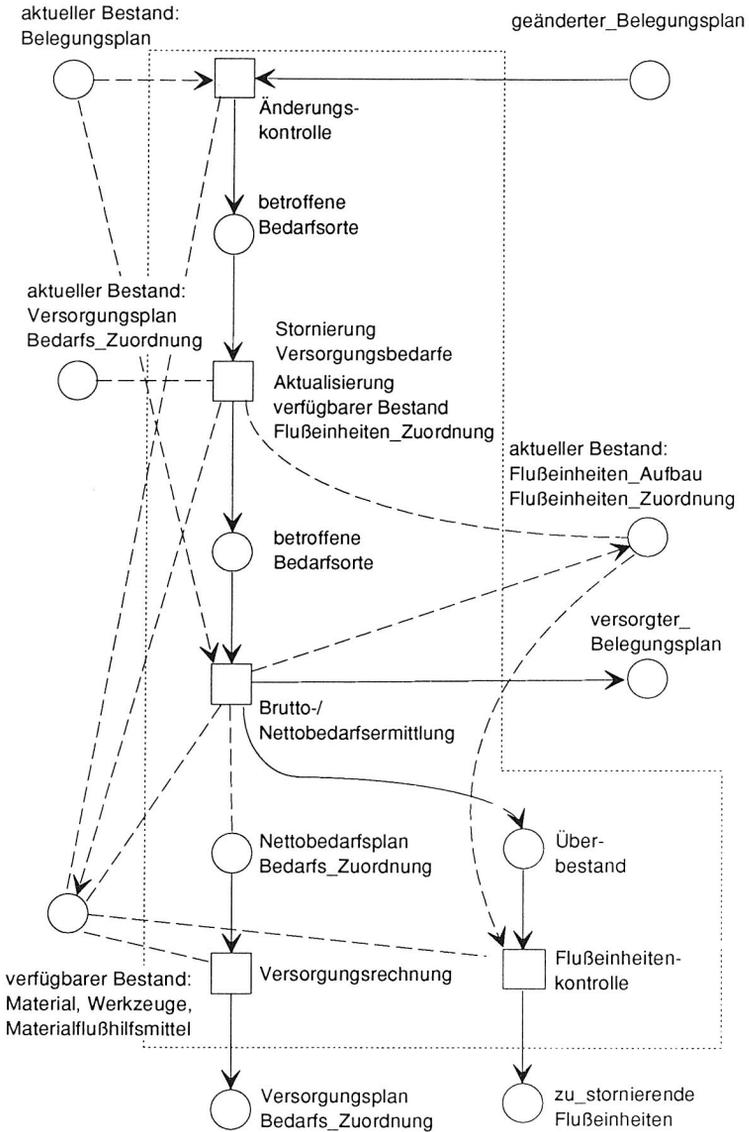
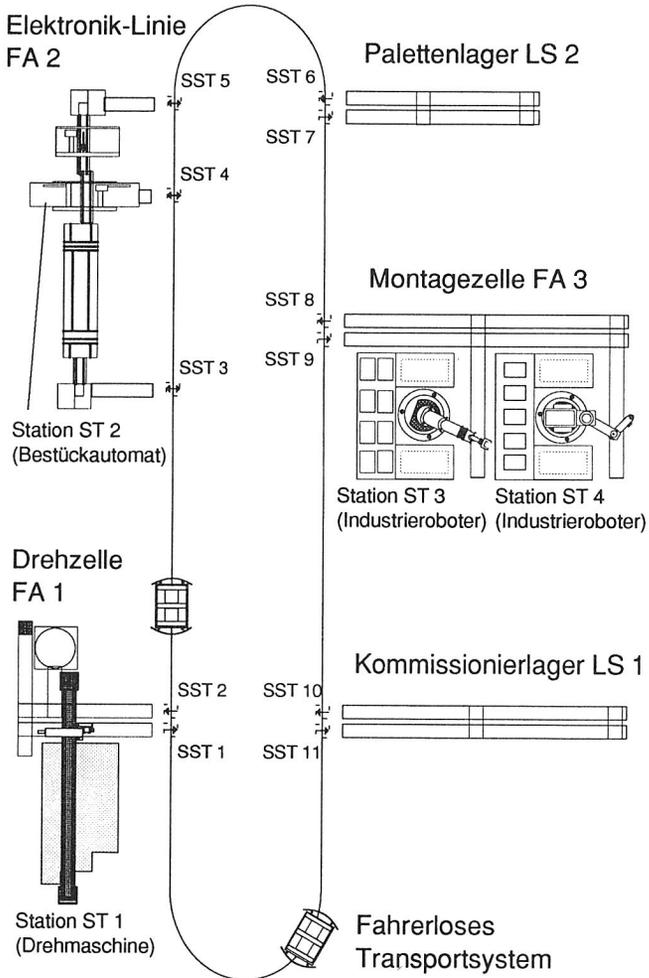


Bild 44: Neuplanung aufgrund von Belegungsplanänderungen

7 Anwendung und Realisierung

7.1 Materialflußsteuerung anhand einer Modellanlage



FA: Fertigungsabschnitt, LS: Lagersystem, ST: Station, SST: Schnittstelle

Bild 45: Flexibel automatisierter Fertigungsbereich (Produktion eines Modell-Telefons)
- Modellanlage am Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung, UNI Erlangen

Der Einsatz des konzipierten Steuerungssystems wird im weiteren anhand der in Bild 45 dargestellten Modellanlage [27,57,87] beschrieben. Die Modellanlage dient ausschließlich zur Simulation unterschiedlicher Versorgungsanforderungen und wurde daher ohne Beachtung technologischer Randbedingungen zusammengestellt. Sie besteht aus einer Drehzelle, einer Elektronik-Linie, einer Montagezelle, einem Paletten- und einem Kommissionierlager. In ihr werden unterschiedliche Varianten eines Modell-Telefons, das aus einem Telefongehäuse, diversen Elektronik-Baugruppen, einer Tastatur, etc. in jeweils unterschiedlichen Varianten besteht, produziert. In der Drehzelle (Drehmaschine mit Industrieroboter für automatisierten Werkstückwechsel und Palettenpeicher) und in der Elektronik-Linie (Bestückautomat mit Lötanlage) werden unterschiedliche SMD-Flachbaugruppen gefertigt, die in der Montagezelle zusammen mit weiteren Elementen (Telefongehäuse, Tastatur, etc.) zu einem Modell-Telefon montiert werden. Neben der Komplettmontage des Modell-Telefons beinhaltet die Montagezelle noch die Vormontage (Tastaturfertigung) der hierzu notwendigen Tastaturvarianten.

Das Kommissionierlager dient als Eingangslager. In ihm werden die in den einzelnen Fertigungsabschnitten benötigten Fremdmaterialien (SMD-Bauelemente, Platinen, Tasten, Tastaturkörper, Flachbaugruppen, etc.) gemäß deren Anforderungen manuell kommissioniert und mittels eines fahrerlosen Transportsystems automatisch zu den jeweiligen Bedarfsorten befördert. Die Bereitstellung der Objekte an den Stationen erfolgt in Magazinen, die im Kommissionierlager bestückt werden. Für die Beförderung dieser bestückten Magazine (Tastaturkörper-Magazin, Platinen-Magazin, etc.) und aller anderen Objekte zwischen den Fertigungsabschnitten/Lagersystemen wird eine in ihren Abmessungen standardisierte Transportpalette verwendet. Das eingesetzte fahrerlose Flurförderzeug kann bis zu vier solcher Transportpaletten gleichzeitig aufnehmen. Nach Verbrauch der in den Magazinen/Paletten enthaltenen Teile fließen diese zum Kommissionierlager zurück. Das Palettenlager dient einerseits als Zwischenlager für die in Drehzelle und Elektronik-Linie produzierten Teile (SMD-Flachbaugruppen), sofern kein aktueller Bedarf an diesen in der Montagezelle existiert, und andererseits als Ausgangslager für die Produkte (Modell-Telefon) der Montagezelle.

Bild 46 zeigt den Aufbau eines Teils der zwischen den unterschiedlichen Quellen und Senken der Modellanlage ausgetauschten Materialflußobjekte bzw. Transporteinheiten. Aufgrund der weitgehend automatisierten Fertigung in den einzelnen Zellen bzw. der Linie sind die Transporteinheiten sortenrein und besitzen teilweise überdieses hinaus eine feste, vordefinierte Struktur und Inhaltmenge (vgl. Abschnitt 4.2). Die wesentlichen Flußobjekte bzw. Transporteinheiten (Bild 46) sind:

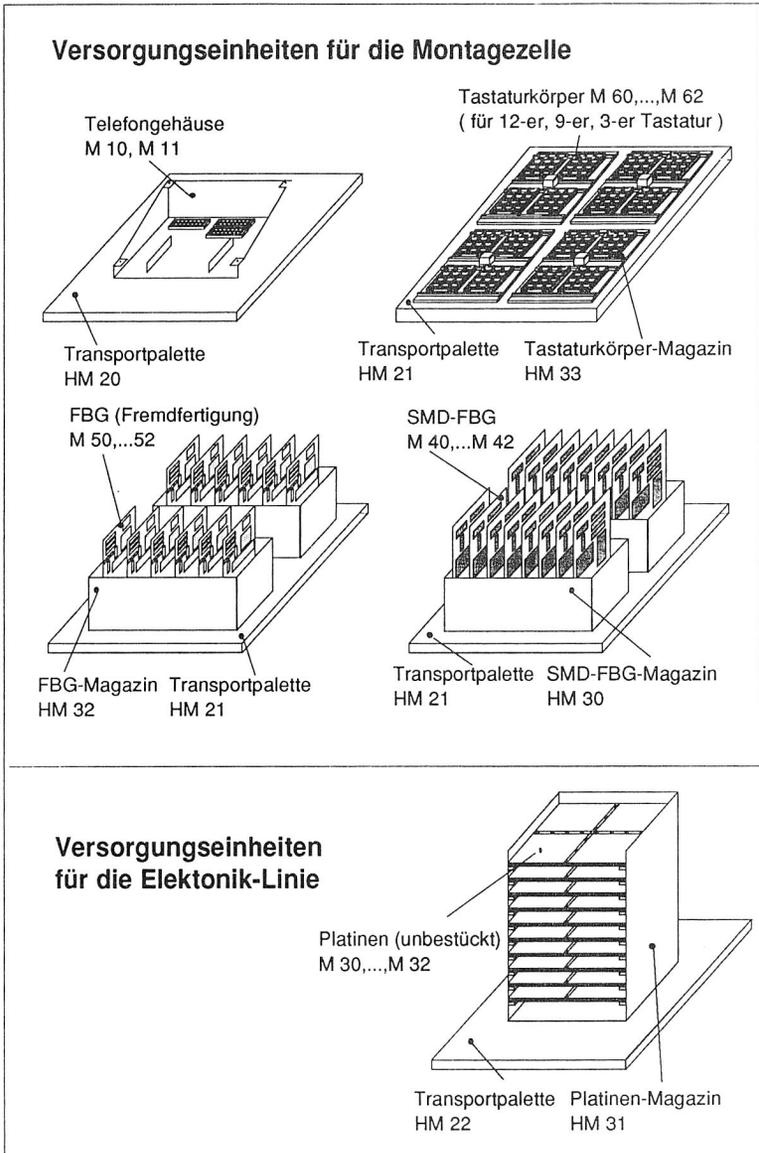
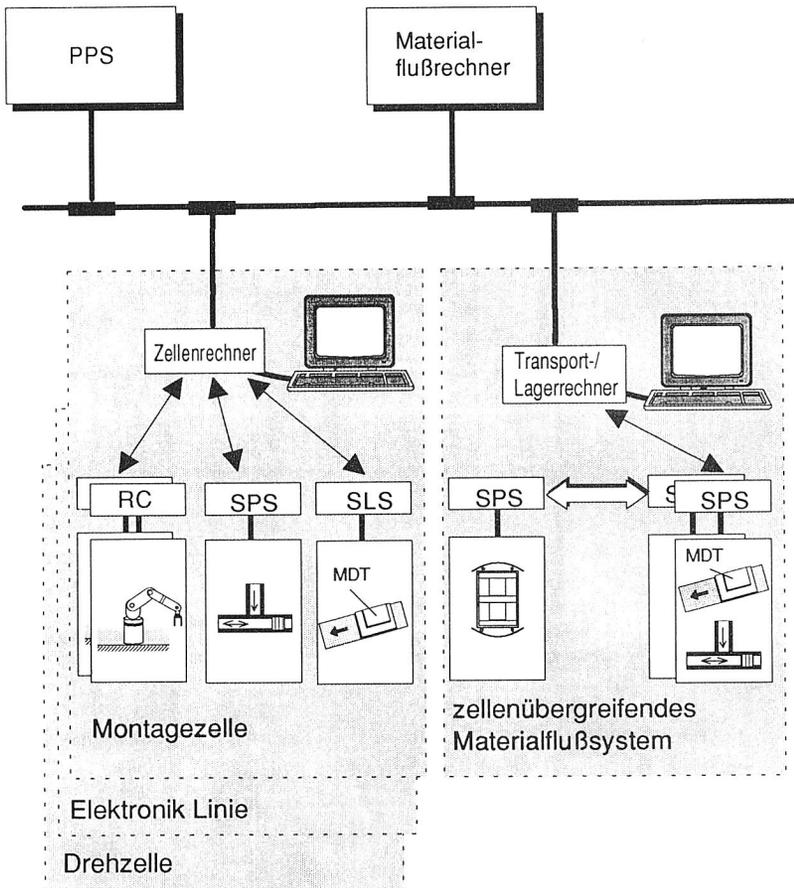


Bild 46: Transporteinheiten im Bereich "Modell-Telefon-Fertigung"

| Quelle | Flußobjekt bzw. Transporteinheit | Senke |
|--------------------|---|--|
| Kommissionierlager | Dreh-Rohteile auf einer Transportpalette | Drehzelle |
| Kommissionierlager | SMD-Bauelemente in einem Gurtmagazin auf einer Transportpalette, Platinen (unbestückt) in einem Magazin auf einer Transportpalette | Elektronik-Linie |
| Kommissionierlager | FBG (fremder Fertigung) in Magazinen auf einer Transportpalette, Tastaturkörper in Magazinen auf einer Transportpalette, Tasten in Magazinen auf einer Transportpalette, Telefongehäuse auf einer Transportpalette | Montagezelle |
| Palettenlager | leere SMD-FBG-Magazine auf einer Transportpalette | Elektronik-Linie |
| Palettenlager | SMD-FBG in einem Magazin auf einer Transportpalette | Montagezelle |
| Elektronik-Linie | SMD-FBG in einem Magazin auf einer Transportpalette | Montagezelle oder Palettenlager |
| Elektronik-Linie | leere Transportpalette (für Gurtmagazine), leeres Platinen-Magazin auf einer Transportpalette | Kommissionierlager |
| Montagezelle | leere SMD-FBG-Magazine auf einer Transportpalette | Elektronik-Linie oder Palettenlager |
| Montagezelle | leere FBG-Magazine auf einer Transportpalette, leere Tastaturkörper-Magazine auf einer Transportpalette, leere Tasten-Magazine auf einer Transportpalette, leere (Dreh-Fertigteile-) Transportpaletten | Kommissionierlager |
| Montagezelle | Modell-Telefon auf einer Transportpalette | Palettenlager |
| Drehzelle | Dreh-Fertigteile auf einer Transportpalette | Montagezelle |

Die Steuerungsstruktur der vorgestellten Modellanlage zeigt Bild 47. Im folgenden werden die wesentlichen Informationsflüsse zwischen den Steuerungskomponenten der Modellanlage unter dem Aspekt der Materialflußsteuerung skizziert. Durch den PPS-Rechner erfolgt eine grobe Termin-/Kapazitätsplanung für die zu fertigenden Produkte (Modell-Telefon) auf der Basis der einzelnen Fertigungsabschnitte (Abstimmung SMD-FBG-Bestückung und Montage des Modell-Telefons, etc.). Der PPS-Rechner teilt das ermittelte Fertigungsprogramm in Gestalt von Teilprogrammen zur Bestückung von SMD-Flachbaugruppen (FBG), zur Fertigung von Drehteilen und zur Montage von Modell-Telefonen den Zellenrechnern (Elektronik-Linie, Drehzelle, Montagezelle) zu. Jedes Teilprogramm umfaßt mehrere Fertigungsaufträge über unterschiedliche Produkt-Varianten mit einem gemeinsamen Start- bzw. Endtermin. Die Zellenrechner der einzelnen Abschnitte führen über die erhaltenen Teilprogramme eine Belegungsplanung gemäß ihren jeweiligen Optimierungskriterien (Drehzelle: Minimierung Werkzeugwechsel, Elektronik-Linie: Minimierung des Wechsels der SMD-Gurtmagazine am

Bestückautomaten, Montagezelle: Maximierung der Stationsauslastung und Minimierung der Pufferung von Vormontageprodukten) aus, generieren Aufträge sowie Auftragsinformationen für ihre unterlagerten Steuerkomponenten, koordinieren und überwachen den Auftragsablauf. Das Resultat der Belegungsplanung, der Belegungsplan, wird von den einzelnen Zellenrechnern dem Materialflußrechner übermittelt.



- RC: Robotersteuerung
- SPS: speicherprogrammierte Steuerung
- SLS/MDT: Schreib- und Lesestation / mobiler Datenträger

Bild 47: Steuerungsstruktur des Bereichs "Modell-Telefon-Fertigung"

Der Materialflußrechner

- bestimmt für die erhaltenen Belegungspläne die Versorgungsbedarfe an Arbeitsgegenständen (Telefongehäuse, Platinen, FBG, SMD-Bauelemente, Tastaturkörper, SMD-FBG-Magazine zur Aufnahme gefertigeter SMD-FBG, etc.) gemäß den bestehenden Restriktionen hinsichtlich des Aufbaus der Versorgungseinheiten an diesen (Bedarfsplanung),
- nimmt Mitteilungen über in den Abschnitten bestehende Entsorgungsbedarfe (gefertigte SMD-FBG und Dreh-Fertigteile, leere Transportpaletten, leere Magazine, etc.) entgegen,
- legt die für Ver-/Entsorgungsbedarfe heranzuziehenden Quellen/Senken fest bzw. ordnet einem Versorgungsbedarf (z.B. SMD-FBG für die Montagezelle) einem korrespondierenden Entsorgungsbedarf (z.B. produzierte SMD-FBG aus der Elektronik-Linie) zu (Flußplanung),
- generiert auf Transporteinheiten (1x Transportpalette HM21 + 1x Tastaturkörper-Magazin + 8x 3-er Tastatur) bezogene Flußaufträge bzw. bestimmt die Materialflußhilfsmittel (Transportpaletten, Magazine), die bei der Kommissionierung an der Quelle für ein an der Senke benötigtes Gut zu verwenden sind (Flußeinheitenbildung)
- und teilt die aus den Flußaufträgen resultierenden Transport-bzw. Bereitstellungsaufträge mit den zugehörigen Auftragsinformationen (Flußeinheiten-Aufbau, Kommissionierhinweise) dem Transport-/Lagerrechner zur Ausführung zu (Flußveranlassung).

Durch den Transport-/Lagerrechner werden die Transportaufträge einem freien Flurförderzeug zugeordnet und der eigentliche Transportvorgang angestoßen. Bereitstellungsaufträge werden dem Personal des Kommissionierlagers über ein Terminal (Transport-/Lagerrechner) angezeigt. Das Lagerpersonal stellt die jeweils gemäß den Informationen eines Bereitstellungsauftrages benötigte Transporteinheit zusammen und quittiert dem Transport-/Lagerrechner die Auftragsausführung unter Angabe des Identifikationskennzeichens der gebildeten Transporteinheit. Die Auswahl eines Flurförderzeugs zum Transport der vom Lagerpersonal gebildeten Transporteinheit zum jeweiligen Bestimmungsort und der Anstoß des Transportvorgangs erfolgt durch den Transport-/Lagerrechner. Die ausgeführten Transport- und Bereitstellungsaufträge werden dem Materialflußrechner rückgemeldet. Dieser ermittelt die damit versorgten und ausführbaren Belegungsplan-Positionen und teilt dies dem betroffenen Zellenrechner mit.

Durch eine Überwachung der Auftragsausführung erkennt der Materialflußrechner zeitliche und mengenmäßige Abweichungen bei der Auftragsausführung (siehe Abschnitt 6.2), ermittelt die dadurch verursachte Verzögerung des geplanten Bearbeitungsbeginns einzelner Belegungsplan-Positionen und stellt diese Informationen den Zellenrechnern zur Verfügung. Die Zellenrechner können die Kenntnis der sich verzögernden Bearbeitungsbeginns der Belegungsplan-Positionen zur Umdisposition nutzen. Durch die Erfassung und Verarbeitung von Änderungsmitteilungen (Belegungsplan) und aufgetretenen Störungen (Mehrverbrauch, etc.) gemäß der in Abschnitt 6.2 festgelegten Ablaufstrukturen zur Materialflußsteuerung wird eine hohe Aktualität und Prozeßnähe für den Materialflußrechner sichergestellt. Mit dem Einsatz des entworfenen Informationssystems zur Materialflußsteuerung wird insgesamt eine kurzfristige, auftragsbezogene (Belegungsplan) Versorgung von Drehzelle, Montagezelle und Elektronik-Linie mit beliebigen (Material und Materialflußhilfsmittel) erforderlichen Objekten auf Basis von Transporteinheiten erreicht. Einerseits durch die Auftragsbezogenheit der Planungen des Materialflußrechners und andererseits durch die Ausrichtung der gebildeten Flußaufträge auf einzelne Transporteinheiten ergibt sich die Konsequenz, daß - verglichen mit der Materialversorgung durch einen dem Fertigungsprozeß hinsichtlich der Planungsaktualität fernen PPS-Rechner (vgl. Abschnitt 2.4) - das Auftreten von Überbeständen in einer Zelle/Linie vermieden wird bzw. die Höhe der für eine Zelle/Linie benötigte Pufferkapazität zur Aufnahme von Material und Materialflußhilfsmitteln reduziert wird.

Die zentrale Arbeitsgrundlage für den Materialflußrechner bilden die in Abschnitt 5 festgelegten Produkt- und Betriebsmittel-Definitionsdaten. Diese repräsentieren die einen Fertigungsbereich charakterisierenden Materialfluß-Beziehungen und ermöglichen dem Materialflußrechner eine Generierung von Transport- und Bereitstellungsaufträgen. In Bild 48-52 ist ein Auszug der die Modellanlage kennzeichnenden Definitionsdaten in der zu ihrer Festlegung erforderlichen Reihenfolge angegeben. In den zur Planung der Bedarfe an Material und Materialflußhilfsmitteln erforderlichen Produkt-Definitionsdaten (Bild 48) sind die für die einzelnen Arbeitsvorgänge eines Arbeitsplans notwendigen Materialien und die von diesen Arbeitsvorgängen erzeugten Produkte benannt (siehe Abschnitt 5.1). Bei der Bedarfsplanung und Flußeinheitenbildung (Erzeugung von Kommissioniervorschriften, siehe Abschnitt 5.3) durch den Materialflußrechner sind auch die Restriktionen, die hinsichtlich des Aufbaus der an den einzelnen Stationen der Zellen bzw. der Linie benötigten Materialflußeinheiten bestehen, zu berücksichtigen. Diese Restriktionen führen zu den in Bild 49-50 angegebenen Betriebsmittel-Definitionsdaten. Das Zustandekommen dieser wird an einigen Beispielen erläutert:

- SMD-Bauelemente (M70,...,M90) liegen im Kommissionierlager als Gurtmagazine (Packgut P70.1) in unterschiedlichen Packeinheiten vor. Es ist vorgesehen die am Bestückautomaten (Station 2) benötigten SMD-Gurtmagazine auftragsgesteuert einzeln auf einer Transportpalette (HM23) für die Elektronik-Linie bereitzustellen. Für die Bedarfsplanung ist jeweils ein komplettes SMD-Gurtmagazin als Versorgungseinheit pro Bedarfsfall zu betrachten (feste Versorgungsmenge). Im Rahmen der Flußeinheitenbildung sind Transporteinheiten festgelegter Inhaltmenge und Struktur zu erzeugen.
- Flachbaugruppen (M50,...,M52) für die Montagezelle (Telefonmontage an Station 4) werden ebenso auftragsbezogen in magazinierte Form (6 FBG pro Magazin HM32) bereitgestellt. Die zur Beförderung einzusetzende Transportpalette (HM21) kann zwei dieser Magazine aufnehmen. Da diese FBG nicht in jedes Telefongehäuse eingebaut werden, soll die Versorgung je nach aktueller Bedarfsituation mit ein oder zwei komplett gefüllten FBG-Magazinen (mit je 6 FBG) erfolgen. Für die Bedarfsplanung ergibt sich damit eine Versorgungseinheit von 6 FBG bei variabler Versorgungsmenge. Die zu bildenden Transporteinheiten besitzen eine variable Inhaltmenge und Struktur, d.h. bei der Flußeinheitenbildung/-veranlassung werden Bereitstellungsaufträge für das Kommissionierlager über Transporteinheiten mit - in Abhängigkeit von den aktuell bestehenden Versorgungsbedarfen - ein oder zwei kompletten FBG-Magazinen generiert.

| ARBEITSVORGANG_MATERIAL | | | |
|---|----------------|------|---|
| (<u>ARBEITS_</u> , <u>ARBEITS_</u> , MATERIAL, MENGE) | | | |
| <u>PLAN</u> | <u>VORGANG</u> | | |
| : | : | : | : |
| APL 21 | AVO 1 | M 51 | 1 |
| APL 21 | AVO 1 | M 72 | 3 |
| APL 21 | AVO 1 | M 74 | 1 |
| APL 21 | AVO 2 | M 83 | 1 |
| APL 21 | AVO 2 | | |
| : | : | | |
| APL 43 | AVO 2 | | |
| APL 43 | AVO 2 | | |
| APL 43 | AVO 2 | | |
| : | : | | |

| ARBEITSVORGANG_PRODUKT | | | |
|--|----------------|------|---|
| (<u>ARBEITS_</u> , <u>ARBEITS_</u> , PRODUKT, MENGE) | | | |
| <u>PLAN</u> | <u>VORGANG</u> | | |
| APL 20 | AVO 2 | M 40 | 1 |
| APL 21 | AVO 2 | M 42 | 1 |
| : | : | : | : |

Bild 48: Produkt-Definitionsdaten zur Materialflußsteuerung



Festlegung des Aufbaus der Versorgungseinheiten

| AUFBAU_VERSORGUNGSEINHEIT/M | | | | |
|-----------------------------|-------------------|----------|--------------|-----------|
| (<u>VERSORGUNGS-</u> | <u>MATERIAL</u> , | PACKGUT, | PACKEINHEIT, | INHALTS-) |
| EINHEIT | | | | FAKTOR |
| M-VE 1 | M 10 | M 10 | 1 | 1 |
| M-VE 3 | M 40 | M 40 | 1 | 8 |
| M-VE 6 | M 60 | M 60 | 1 | 4 |
| M-VE 9 | M 70 | P 70 | 50 | 1 |
| M-VE 29 | M 90 | P 90 | 30 | 1 |
| M-VE 30 | M 30 | P 30 | 4 | 1 |
| M-VE 33 | M 50 | M 50 | 1 | 6 |
| .. | .. | .. | .. | .. |



Festlegung der Art der Bedarfsplanung

| ART_DER_BEDARFSPLANUNG | | | | |
|------------------------|-----------------|---------------|-------------------|------------------|
| (<u>BEDARFSORT.</u> | <u>OBJEKT</u> , | OBJEKTKLASSE, | BEDARFSAUSLÖSUNG, | BEDARFSTYP) |
| ST 4 | M 10 | "F-MATERIAL" | "AUFTRAG" | "FESTE MENGE" |
| ST 4 | M 40 | "PRODUKT" | "AUFTRAG" | "FESTE MENGE" |
| ST 2 | M 30 | "F-MATERIAL" | "AUFTRAG" | "VARIABLE MENGE" |
| ST 2 | HM 30 | "MFHM" | "AUFTRAG" | "VARIABLE MENGE" |
| .. | .. | .. | .. | .. |



Festlegung der Basisdaten zur Strategie "auftragsbezogene Bedarfsplanung" bei Bedarfstyp "feste Menge" / "variable Menge"

| BESITZT_VARIABLE_VERSORGUNGMENGE/M | | |
|------------------------------------|--------------------|----------------------|
| (<u>MATERIAL.</u> | <u>BEDARFSORT.</u> | VERSORGUNGSEINHEIT) |
| M 30 | ST 2 | M-VE 30 |
| M 50 | ST 4 | M-VE 33 |

| BESITZT_FESTE_VERSORGUNGMENGE/M | | | |
|---------------------------------|--------------------|--------------|---------|
| (<u>MATERIAL.</u> | <u>BEDARFSORT.</u> | VERSORGUNGS- | MENGE) |
| | | EINHEIT | |
| M 10 | ST 4 | M-VE 1 | 1 |
| M 40 | ST 4 | M-VE 3 | 1 |
| M 60 | ST 3 | M-VE 6 | 1 |
| M 70 | ST 2 | M-VE 9 | 1 |
| M 90 | ST 2 | M-VE 29 | 1 |
| .. | .. | .. | .. |

Bild 49: Festlegung der Materialflußobjekte in mengenmäßiger Hinsicht: Betriebsmittel-Definitionsdaten zur Bedarfsplanung



Festlegung der Art der Flusseinheitenbildung

| ART_DER_FLUSSEINHEITENBILDUNG | | | | | |
|--|---------|---------|-----|--------------|--|
| (SENKE, VERSORGUNGSEINHEIT, BE-BILDUNG, TE-BILDUNG, TE-BE-BEREICH) | | | | | |
| ST 4 | M-VE 33 | "KEINE" | "C" | "BEDARFSORT" | |
| ST 4 | M-VE 1 | "KEINE" | "A" | "BEDARFSORT" | |
| ST 4 | M-VE 3 | "KEINE" | "A" | "BEDARFSORT" | |
| .. | .. | .. | .. | .. | |



Festlegung der Basisdaten zur Strategie "feste Struktur/variable Menge"

| WIRD_AUFGENOMMEN_VON | | | | | | |
|----------------------|----------|-----------------------|--------|---------------------|--|--|
| (BEDARFSORT) | (OBJEKT) | (OBJEKT-LADE-ZUSTAND) | (MFHM) | (MFHM-LADE-ZUSTAND) | | |
| ST 4 | M 50 | "A" | HM 32 | "B" | | |
| ST 4 | HM 32 | "A" | HM 21 | "B" | | |

| BESITZT_LADEKAPAZITÄT | | | | | |
|-----------------------|---------------------|----------|-----------------------|-----------|-----------|
| (MFHM) | (MFHM-LADE-ZUSTAND) | (OBJEKT) | (OBJEKT-LADE-ZUSTAND) | (MAXIMUM) | (MINIMUM) |
| HM 32 | "B" | M 50 | "A" | 6 | 1 |
| HM 21 | "B" | HM 32 | "B" | 2 | 1 |
| HM 22 | "B" | HM 31 | "B" | 1 | 1 |
| .. | .. | .. | .. | .. | .. |



Festlegung der Basisdaten zur Strategie "feste Struktur/feste Menge"

| VERSORGUNGSEINHEIT_SOLL-MFE | | | | | |
|--------------------------------|-------|--|--|--|--|
| (VERSORGUNGSEINHEIT, SOLL-MFE) | | | | | |
| M-VE 1 | MFE 1 | | | | |
| M-VE 3 | MFE 2 | | | | |
| M-VE 9 | MFE 3 | | | | |

| FLUSSEINHEITEN_SOLL_AUFBAU | | | | | |
|----------------------------|------------|--------|---------------|---------|--------------|
| (BEDARFSORT) | (SOLL-MFE) | (K-NR) | (SOLL-OBJEKT) | (VK-NR) | (SOLL-MENGE) |
| ST 4 | MFE 1 | 1 | HM 20 | -- | 1 |
| ST 4 | MFE 1 | 2 | M 10 | 1 | 1 |
| ST 2 | MFE 3 | 1 | HM 23 | -- | 1 |
| ST 2 | MFE 3 | 2 | P 70.1 | 1 | 1 |
| ST 2 | MFE 3 | 3 | M 70 | 2 | 50 |
| .. | .. | .. | .. | .. | .. |

Bild 50: Festlegung der Materialflußobjekte in struktureller Hinsicht: Betriebsmittel-Definitionsdaten zur Flusseinheitenbildung

- In der Montagezelle (an Station 4) benötigte SMD-Flachbaugruppen (M40,...,M42) werden in der Elektronik-Linie jeweils in 8-er Gruppen gefertigt und magaziniert (HM30). Die zur automatischen Beförderung mit einem fahrerlosen Flurförderzeug eingesetzte Palette (HM21) nimmt genau ein Magazin auf. Eine weitere Kommissionierung findet nicht statt. Als Versorgungseinheit sind daher 8 FBG bei fester Versorgungsmenge definiert. Die zu bildenden Transporteinheiten weisen eine festgelegte Inhaltsmenge und Struktur auf.
- Zur Magazinierung der gefertigten SMD-FBG in der Elektronik-Linie ist diese mit entsprechenden Magazinen (HM30) zu versorgen. Pro 8 gefertigten SMD-FBG wird ein Magazin benötigt. Die eingesetzte Transportpalette (HM21) nimmt ein Magazin auf. Die hieraus resultierenden Betriebsmittel-Definitionen sind ebenso wie die im vorhergehenden besprochenen in Bild 49 und 50 enthalten.

Mit Hilfe der Betriebsmittel-Definitionsdaten aus Bild 51 löst der Materialflußrechner die Fragen "Woher soll ein benötigtes Objekt kommen ?" und "Wohin soll ein zu entsorgendes Objekt gehen ?" (Flußplanung, siehe Abschnitt 5.2). Für Telefongehäuse (M10) ist die Einleitung separater Versorgungsvorgänge mit dem Kommissionierlager als Quelle vereinbart. Da leere FBG-Magazine (HM32) und Tastaturkörper-Magazine (HM33) im Kommissionierlager bestückt werden und nur zur Bereitstellung von FBG und Tastaturkörpern in der Montagezelle eingesetzt werden, ist eine separate Entsorgung mit dem Kommissionierlager als Senke definiert. In der Elektronik-Linie gefertigte SMD-FBG (M40) werden je nach aktueller Bedarfssituation in der Montagezelle entweder im Palettenlager zwischengelagert oder direkt zur Montagezelle zum Einbau ins Telefongehäuse befördert. Für leere SMD-FBG-Magazine (HM30) aus der Montagezelle gilt das entsprechende (entweder Zwischenlagerung im Palettenlager oder Beförderung zum Bedarfsort Elektronik-Linie). In beiden Fällen ist daher eine dynamische Zuordnung von bestehenden Ver- und Entsorgungsbedarfen, d.h. eine Zuordnung korrespondierender Bedarfe, durch den Materialflußrechner vorzunehmen (siehe Bild 51). Als weitere den Fertigungsbereich kennzeichnende Betriebsmittel-Definitionsdaten sind in Bild 51 die jeweils bei Ver-/Entsorgungsvorgängen zu verwendenden Schnittstellen (FTS-Bahnhöfe) der Quellen/Senken zum Transportmedium, das einzusetzende Transportmedium, etc. angegeben. Zur Bestimmung geeigneter Endtermine der Auftragsausführung und zur rechtzeitigen Auftragsveranlassung durch den Materialflußrechner werden Angaben über Versorgungsdauer, Vorlaufzeiten, etc. benötigt (Bild 52). Die Anzahl der Relationen-Einträge aus Bild 51 und 52 läßt sich durch eine Zusammenfassung von Objekten zu Objektgruppen bzw. Orten zu Ortsgruppen verringern. Da dies jedoch keine prinzipielle Änderung der Definitionsdaten darstellt, wurde aus Komplexitätsgründen hierauf verzichtet.



**Festlegung der Struktur des Fertigungsbereichs
(Basisdaten der Flussplanung)**

| BESITZT_SCHNITTSTELLE | | | | | |
|---|------|-------|--------|--|--------|
| (QUELLE, SENKE, OBJEKT, SCHNITTSTELLE-, SCHNITTSTELLE-) | | | | | |
| | | | QUELLE | | SENKE |
| LS 1 | FA 2 | M 50 | SST 10 | | SST 3 |
| LS 1 | FA 2 | M 70 | SST 10 | | SST 4 |
| LS 2 | FA 2 | HM 30 | SST 6 | | SST 5 |
| LS 1 | FA 3 | M 30 | SST 10 | | SST 9 |
| FA 3 | LS 1 | M 30 | SST 8 | | SST 11 |

| BESITZT_TRANSPORTMEDIUM | |
|-------------------------------------|----------------|
| (QUELLE, SENKE, OBJEKT, TRANSPORT-) | |
| | MEDIUM |
| LS 1 | FA 2 M 50 TS 1 |
| LS 1 | FA 2 M 70 TS 1 |
| LS 1 | FA 2 M 90 TS 1 |
| LS 1 | FA 3 M 11 TS 1 |
| : | : |

| STATION_ABSCHNITT | |
|----------------------|------|
| (STATION, ABSCHNITT) | |
| ST 1 | FA 1 |
| ST 2 | FA 2 |
| ST 3 | FA 3 |
| ST 4 | FA 3 |



**Festlegung des Zeitmodells für den Fertigungsbereich
(Basisdaten der Flussplanung)**

| BESITZT_VERSORGUNGSDAUER | | | | |
|---------------------------------------|------|-------|--|----------|
| (QUELLE, SENKE, OBJEKT; VERSORGUNGS-) | | | | |
| | | | | DAUER |
| LS 1 | FA 2 | M 50 | | 18 [min] |
| LS 1 | FA 3 | M 30 | | 25 [min] |
| FA 2 | FA 3 | M 40 | | 5 [min] |
| LS 2 | FA 3 | M 40 | | 10 [min] |
| LS 1 | FA 3 | M 10 | | 15 [min] |
| LS 1 | FA 3 | M 60 | | 18 [min] |
| LS 2 | FA 2 | HM 30 | | 8 [min] |
| FA 3 | FA 2 | HM 30 | | 5 [min] |

| BESITZT_VORLAUFZEIT | | | |
|------------------------------|------|--|---------|
| (SENKE, OBJEKT, VORLAUFZEIT) | | | |
| FA 3 | M 30 | | 2 [min] |
| FA 2 | M 50 | | 5 [min] |
| FA 3 | M 10 | | 0 [min] |
| .. | .. | | .. |

| BESITZT_VERZÖGERUNGSZEIT | | | |
|---------------------------------|-------|--|---------|
| (QUELLE, OBJEKT, VERZÖGERUNGS-) | | | |
| | | | ZEIT |
| FA 2 | HM 23 | | 3 [min] |
| FA 2 | M 40 | | 5 [min] |
| FA 3 | HM 30 | | 5 [min] |
| : | : | | : |

Bild 51: Festlegung des Materialflusses in räumlich-zeitlicher Hinsicht: strategieunabhängige Betriebsmittel-Definitionsdaten zur Flußplanung



Festlegung der Art der Flussplanung

| ART_DER_FLUSSPLANUNG | | |
|--|-------|--------------------|
| (QUELLE , OBJEKT , FLUSSPLANUNGSTYP) | | |
| / SENKE | | |
| FA 3 | HM 32 | *SEPARAT* |
| FA 3 | HM 33 | *SEPARAT* |
| FL 1 | M 40 | *KORRESPONDIEREND* |
| FL 2 | HM 30 | *KORRESPONDIEREND* |
| .. | .. | .. |



Festlegung der Basisdaten zur Strategie "Korrespondierende Bedarfe"

| KORRESPONDIERENDE_BEDARFE | | | | |
|---|-------|----------|--------------------|------|
| (OBJEKT, FLUSS- , AUFTRAGS-, KORRESPONDENZ- , ZWISCHEN) | | | | |
| BEREICH | BEZUG | VARIANTE | | |
| | | | -LAGER | |
| M 40 | FL 1 | EXTERN | *ZWISCHENLAGERUNG* | LS 2 |
| M 41 | FL 1 | EXTERN | *ZWISCHENLAGERUNG* | LS 2 |
| M 42 | FL 1 | EXTERN | *ZWISCHENLAGERUNG* | LS 2 |
| HM 30 | FL 2 | INTERN | *ZWISCHENLAGERUNG* | LS 2 |
| .. | .. | .. | .. | .. |

| GEHÖRT_ZU_FLUSSBEREICH | | |
|------------------------------|----------|------|
| (ORT, ORTSKLASSE, BEREICH) | | |
| FA 2 | "QUELLE" | FL 1 |
| FA 3 | "SENKE" | FL 1 |
| FA 3 | "QUELLE" | FL 2 |
| FA 2 | "SENKE" | FL 2 |
| .. | .. | .. |



Festlegung der Basisdaten zur Strategie "Separate Bedarfe"

| SEPARATE_VERSORGUNG | | | |
|---|-------|------|--------|
| (OBJEKT, BEREICH, QUELLE , AUFTRAGS-) | | | |
| | BEZUG | | |
| M 10 | FA 3 | LS 1 | INTERN |
| M 60 | FA 3 | LS 1 | INTERN |
| M 30 | FA 3 | LS 1 | INTERN |
| M 50 | FA 3 | LS 1 | INTERN |
| .. | .. | .. | .. |

| SEPARATE_ENTSORGUNG | | | |
|---------------------------------------|-------|------|------|
| (OBJEKT, BEREICH, SENKE, AUFTRAGS-) | | | |
| | BEZUG | | |
| HM 32 | FA 3 | LS 1 | KEIN |
| HM 33 | FA 3 | LS 1 | KEIN |
| HM 23 | FA 2 | LS 1 | KEIN |
| HM 31 | FA 2 | LS 1 | KEIN |
| .. | .. | .. | .. |

Bild 52: Festlegung des Materialflusses in räumlich-zeitlicher Hinsicht: strategieabhängige Betriebsmittel-Definitionsdaten zur Flußplanung

7.2 Programmsystem zur Materialflußsteuerung

Das entworfene Informationssystem zur rechnergeführten Materialflußsteuerung wurde einerseits als Teilfunktion eines Steuerungssystems für eine automatisierte Montagezelle [57,87] und andererseits als eigenständiges, modular aufgebautes Programmsystem realisiert.

Realisierung der Materialflußsteuerung als Teilfunktion eines Montagezellenrechners

Im Rahmen eines Entwicklungsprojektes für ein Programmsystem zur rechnergeführten Steuerung einer Montagezelle wurden die Teilfunktionen bestandsgesteuerte Bedarfsplanung, Flußveranlassung, Flußüberwachung und Betriebsdatenerfassung/-verarbeitung als Programmmodule eines Montagezellenrechners realisiert. Auf der Basis eines Beschreibungsmodells für die zelleninternen Materialflußeinheiten, einer arbeitsvorgangsbezogenen Stückliste und einer Erfassung aller Zugänge an Materialflußeinheiten werden die Bestände an Material und Materialflußhilfsmitteln geführt und überwacht. Bei Unterschreitung eines vordefinierten Mindestbestandes an Material oder Materialflußhilfsmitteln wird ein Versorgungsauftrag über eine vordefinierte Materialflußeinheit erstellt und an ein externes Lagersystem übermittelt. Bei Überschreitung eines vordefinierten Maximalbestandes an Materialflußhilfsmitteln wird ein Abholauftrag für ein zellenübergreifendes Transportsystem erzeugt.

Als Realisierungsumgebung wurde ein AT-kompatibler Personalcomputer mit dem Betriebssystem XENIX (ein UNIX-Derivat) und der Programmiersprache C verwendet [57].

Realisierung der Materialflußsteuerung gemäß dem Funktionsumfang nach Bild 53 als eigenständiges, modular aufgebautes Programmsystem

Als Entwicklungsumgebung wurde ein AT-kompatibler Personalcomputer mit dem Betriebssystem DOS und der Programmiersprache TURBO C genutzt. Aufgrund der für das Informationssystem notwendigen Multi-Tasking-Fähigkeit des Betriebssystems wurde das Betriebssystem CDOS für den eigentlichen Einsatz des Informationssystems verwendet. Unter dem Betriebssystem DOS mit der Programmiersprache TURBO C erstellte Programme sind auf dem Multi-Tasking-fähigen Betriebssystem CDOS vollständig ablauffähig.

| | |
|---|--|
| BEDARFS- PLANUNG | Bedarfsobjekt: Material / Produkte / Materialflußhilfsmittel |
| | Bedarfsbereich: Station / Stationsgruppe / Abschnitt |
| | Bedarfsmenge: feste / mindest / variable / wählbare Versorgungsmenge pro Versorgungseinheit |
| <p>Auftragsgesteuerte Bedarfsplanung mit Neuplanung bei Belegungsplan-Änderungen, Planungskorrektur bei Mehrverbrauch, Unterschreitung der Versorgungs-Sollmengen</p> <hr/> <p>Bestandsgesteuerte Bedarfsplanung</p> | |
| FLUSSPLANUNG | Planungsbereich: Abschnitte / Lager |
| | Planungsobjekte: Material / Produkte / Materialflusshilfsmittel |
| <p>Generieren von Flussaufträgen für separate Ver-/Entsorgungsbedarfe</p> <hr/> <p>Generieren von Flussaufträgen für korrespondierende Ver-/Entsorgungsbedarfe gemäß Strategie "Lagerung an der Quelle" / " Fallweise Lagerung im Lager"</p> | |
| FLUSSEINHEITEN -BILDUNG | Bildungsbereich: Station / Stationsgruppe / Abschnitt |
| | Bildungsweise: auftragsabhängig / auftragsunabhängig |
| Bildung von Bereitstellungseinheiten festgelegter Struktur und Inhaltsmenge | Bildung von Bereitstellungseinheiten festgelegter Struktur und variabler Inhaltsmenge |
| Bildung von sortenreinen Bereitstellungseinheiten | Bildung von Transporteinheiten über gestaltähnliche Objekte |
| FLUSSVERANLASSUNG | FLUSSÜBERWACHUNG |
| <p>Detaillierung der Quellen und Senken für Flussaufträge</p> <hr/> <p>Veranlassung von Bereitstellungs- und Transportaufträgen</p> | <p>Überwachung der Bereitstellausführung</p> <hr/> <p>Ermittlung versorgter und sich verzögernder Fertigungsaufträge</p> |
| BETRIEBSDATENERFASSUNG/-VERARBEITUNG | |
| <p>flusseinheitenbezogene Bestandsführung: Material / Materialflußhilfsmittel</p> <ul style="list-style-type: none"> - retrograde Abgangsbuchung über rückgemeldete Arbeitsgang-Ausführung - Zugangsbuchung über rückgemeldete Flussauftrags-Ausführung - Abgangsbuchung über gemeldete Mehrverbräuche (Objekt-/Arbeitsgang-bezogen) <hr/> <p>Zustandsverwaltung von Belegungsplan / Versorgungsplan / Bedarfszuordnung / Entsorgungsplan / Flußeinheitenplan / Flusseinheitenzuordnung / Flusseinheitenaufbau</p> | |

Bild 53: Funktionsumfang des konzipierten Materialflußsteuerungssystems

Bild 53 zeigt das entwickelte Programmsystem zur Materialflußsteuerung mit seinen einzelnen Modulen und den zwischen diesen bestehenden Daten-Schnittstellen. Neben den eigentlichen Kernmodulen Bedarfsplanung, Flußplanung und Materialflußeinheitenbildung des Programmsystems wurden noch Module zur Simulation der Umgebungssysteme (lokale Zellenrechner, Transport- und Lagerrechner, etc.) des Programmsystems und zur Konfiguration des Programmsystems für einen bestimmten Fertigungsbereich entwickelt.

Das Bedarfsplanungsmodul berechnet für den jeweils aktuellen Belegungsplan die zugehörigen Versorgungsbedarfe an Arbeitsgegenständen (Versorgungsplan). Die Berechnung der Versorgungsbedarfe basiert auf den für die einzelnen Arbeitsgegenstände an den zugehörigen Bedarfsorten festgelegten Versorgungsstrategien (Relationen *BESITZT_FESTE_VERSOR-GUNGSMENGE*, etc.; siehe Abschnitt 5) und auf den für die einzelnen Produkte bzw. Arbeitsvorgänge definierten Bedarfsermittlungs-Stücklisten (Relationen *ARBEITSVORGANG_-MATERIAL*, etc.; siehe Abschnitt 5). Das genannte Modul enthält Prozeduren zur Bedarfsrechnung einerseits bei plangemäßigem Fertigungsablauf und andererseits bei nicht plangemäßigem Fertigungsablauf, wie dem Auftreten von Mehrverbrauchen an Arbeitsgegenständen bei der Fertigung, dem Eintritt einer Mehranlieferung von Arbeitsgegenständen und der Stornierung von einzelnen Belegungsplan-Positionen. Im Flußplanungsmodul wurden die Strategien korrespondierende und separate Versorgung realisiert. Das Modul "Materialflußeinheitenbildung" umfasst die in Abschnitt 5 dargestellten Varianten Bildung von Materialflußeinheiten mit fester Struktur und Inhaltmenge, von sortenreinen Materialflußeinheiten, etc.

Zur Simulation und zum Funktionstest der Kernmodule wurden Module zur Simulation der Belegungsplanung, der Anlieferung der Objekte an den Bedarfsorten und der Ausführung der eingeplanten Arbeitsvorgänge geschaffen. Mit dem ersteren wird die Eingangsgröße "Belegungsplan" und mit den beiden letzteren insbesondere die Eingangsgrößen "Mehranlieferung", "Mehrverbrauch" und "Stornierung Belegungsplan-Position" für die Kernmodule generiert.

Desweiteren wurde ein Modul zur Erstellung der zur Materialflußsteuerung notwendigen Konfigurationsdaten wie Aufbau-, Objekt-, Fluß- und Zeitmodelle, Planungsstrategien, Bedarfsermittlungs-Stücklisten, etc. gemäß den in Abschnitt 5 definierten Relationen implementiert. Diese Daten müssen nur für diejenigen Material- und Materialflußhilfsmittel-Typen (Sachnummer-bezogen) definiert werden, für die eine Flußsteuerung erfolgen soll.

Zur Visualisierung der von den Kernmodulen bestimmten Versorgungsbedarfe, Flußaufträge, Materialflußeinheiten, etc. dient das Modul "Ergebnisdarstellung".

Die im vorstehenden aufgeführten Module sind alle - mit Ausnahme der Kernmodule Bedarfsplanung, Flußplanung und Materialflußeinheitenbildung - interaktiv, d.h. kommunizieren mit dem Bediener des Materialflußsteuerungssystems. Die Informationseingabe und -ausgabe erfolgt über standardisierte Bildschirmmasken. Die einzelnen interaktiven Module werden im folgenden in der Reihenfolge vorgestellt, die der Bediener zur Inbetriebnahme des realisierten Informationssystems für einen bestimmten Fertigungsbereich einhalten muß:

Konfigurationsmodul

Der erste Schritt im Rahmen der Inbetriebnahme besteht in der Erstellung der zur Bedarfsplanung erforderlichen Konfigurationsdaten (Betriebsmittel-Definitionsdaten). Der strukturelle Aufbau des betrachteten Fertigungsbereichs, d.h. die Zuordnung von Stationen zu Stationsgruppen, etc., ist durch den Bediener als Aufbaumodell anzugeben (Bild 54). Alle im Fertigungsbereich als Versorgungseinheit zu betrachtenden Materialflußobjekte sind hinsichtlich ihrer Zusammensetzung in Form eines Objektmodells zu beschreiben (Bild 54).

Den betrachteten Fertigungsbereich kennzeichnende Quellen, Senken, Transportmittel und Übergabeorte und ihre Relationen zueinander sind im Flussmodell zu definieren (Bild 55). Für das Materialflußsteuerungssystem zu Grunde zu legende Versorgungsdauern, Vorlaufzeiten, etc. sind im Zeitmodell des Fertigungsbereichs festzulegen (Bild 55).

Alle im Rahmen des Objektmodells definierten Materialflußobjekte sind durch den Bediener hinsichtlich der für sie an den Bedarfsorten geltenden Versorgungsstrategien (feste Versorgungsmenge, variable Versorgungsmenge, etc.; siehe Abschnitt 5) in Form einer sogenannten "Materialliste" zu charakterisieren (Bild 56). Ebenso sind in Abhängigkeit von Bedarfsort und Materialflußobjekt die vom Informationssystem zur Materialflußsteuerung anzuwendenden Strategien zur Flußplanung (Bild 56) und zur Flußeinheitenbildung (Bild 57-58) vorzugeben.

Die Konfigurationsdaten werden über Masken eingegeben, im Rechner gespeichert und stehen damit allen anderen sie benötigenden Modulen zur Verfügung. Das Modul "Konfigurationsdaten-Erstellung" ermöglicht die interaktive Neuerstellung, Änderung, Löschung und Anzeige von Konfigurationsdaten.

| | | | |
|---|---|---------------------|-----------|
| FAU | Konfiguration: Fertigungsbereich | FAPS | |
| Funktionsauswahl | | | |
| AM: Haupt Anz. Neu Dir Laden Speich. <input type="button" value="Edit"/> Loeschen | | | |
| Aufbaumodell | | | |
| Anzahl Datensaeetze : 000048 | | | |
| Systemkomponente : FL03 | | | |
| Komponententyp : FLUSSBEREICH | | | |
| Bezeichnung : FLUSSBEREICH VON SMD-FBG | | | |
| Aufbau Flussbereich/Abschnitt | | | |
| Stationen | Stationstyp | Stationsbezeichnung | Abschnitt |
| ST02 | QUELLE | FBG-BESTUECKUNG | FA02 |
| ST04 | SENKE | FBG-EINBAU | FA03 |
| - | - | | |

| | | | | |
|---|---|---------------|---------|-------------|
| FAU | Konfiguration: Fertigungsbereich | FAPS | | |
| Objektmodell | | | | |
| OM: Haupt Anz. Neu Dir Laden Speich. <input type="button" value="Edit"/> Loeschen | | | | |
| Anzahl Datensaeetze : 000031 | | | | |
| V-Einheit-Nr / Material-ID : V00015 / M00100 | | | | |
| AUFBAU VERSORGUNGSEINHEIT | | | | |
| V-Einheit-Nr | Material-ID | Inhaltsfaktor | Packgut | Packeinheit |
| V00015 | M00100 | 00015 | - | 00001 |
| V00015 | M00200 | 00015 | - | 00001 |
| V00015 | M00300 | 00015 | - | 00001 |
| V00015 | M00400 | 00015 | - | 00001 |
| V00015 | M00500 | 00015 | - | 00001 |
| < UP / DN > | | | | |

Bild 55: Menü zur Manipulation (Editieren, Anzeigen, etc.) des Aufbaumodells eines Fertigungsbereichs

| | | |
|---|---|-------------|
| FAU | Konfiguration: Fertigungsbereich | FAPS |
| Funktionsauswahl | | |
| FM: Haupt Anz. Neu Dir Laden Speich. Edit Loeschen | | |
| Flussmodell | | |
| Anzahl Datensätze : 000043 | | |
| Quelle : LS01 | | |
| Senke : FA02 * Wildcard | | |
| V-Einheit-Nr / Material-ID : V00013 / M00050 | | |
| Definitionen | | |
| Transportmittel : TS01 | | |
| Übergabeort (Quelle) : SST10 | | |
| Übergabeort (Senke) : SST03 | | |

| | | | | |
|---|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| FAU | Konfiguration: Fertigungsbereich | FAPS | | |
| Funktionsauswahl | | | | |
| ZM: Haupt Anz. Neu Dir Laden Speich. Edit Loeschen | | | | |
| Zeitmodell | | | | |
| Anzahl Datensätze : 000023 | | | | |
| Modelltyp : QUELLE-SENKE-OBJEKT * Wildcard | | | | |
| Quelle : LS01 | | | | |
| Senke : FA03 | | | | |
| V-Einheit-Nr / Material-ID : * | | | | |
| Definitionen | | | | |
| Versorgungsdauer in min | Vorlaufzeit in min | Verzögerungszeit in min | Planungshorizont in min | Planungszeitraum in min |
| 00018 | 00003 | 00000 | 00060 | 00030 |

Bild 56: Menü zur Manipulation (Speichern, Editieren, Löschen, etc.) des Zeit- und Flussmodells für einen Fertigungsbereich

| | | | |
|---|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| FAU | Konfiguration: MFE-Bildung | FAPS | |
| Funktionsauswahl | | | |
| MFE:: Haupt Anz. Neu Dir Laden Speich. Edit Loeschen | | | |
| Strategie-Definition | | | |
| Anzahl Datensätze : 000018 | | | |
| BE-Strategie : F - KEINE MFE-BILDUNG | | | |
| TE-Strategie : D - BILDUNG VON MFE ÜBER FORMKLASSEN | | | |
| Gültig für | | | |
| System-komp. | Komponenten-bezeichnung | V-Einheit-Nr/ Material-ID | Material-bezeichnung |
| FL04 | FLUSSBEREICH FA03-BT-1 | V00150 / M00050 | FBG 0 |
| FL04 | FLUSSBEREICH FA03-BT-1 | V00151 / M00051 | FBG 1 |

| | | | | |
|---|-----------------------------------|------------------------------|--------------------|-------------------|
| FAU | Konfiguration: MFE-Bildung | FAPS | | |
| Funktionsauswahl | | | | |
| MFE:: Haupt Anz. Neu Dir Laden Speich. Edit Loeschen | | | | |
| TE-Strategie A | | | | |
| Anzahl Datensätze : 000007 | | | | |
| Systemkomponente : FL05 | | V-Einheit-Nr : V00013 | | |
| TE-Definition | | | | |
| Knoten-Nr | V-Knoten-Nr | Soll-Objekt | Bezeichnung | Soll-Menge |
| 001 | --- | H00025 | PALETTE HM25 | 00001 |
| 002 | 001 | H00035 | MAGAZIN HM35 | 00001 |
| 003 | 002 | M00100 | TASTENTYP A | 00015 |
| 004 | 001 | H00035 | MAGAZIN HM35 | 00001 |
| 005 | 004 | M00200 | TASTENTYP B | 00015 |
| < UP / DN > | | | | |

Bild 58: Menü zur Manipulation (Speichern, Editieren, Löschen, etc.) der Strategie-Festlegungen zur Materialflüßeinheitenbildung

| FAU | Konfiguration: MFE-Bildung | FAPS | | | | |
|--|-----------------------------------|-------------|--------|---------|-------------|-----------|
| Funktionsauswahl | | | | | | |
| MFE:: Haupt Anz. Neu Dir Laden Spelch. <input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Loeschen"/> | | | | | | |
| TE-Strategie D | | | | | | |
| Anzahl Datensätze : 000018 | | | | | | |
| Systemkomponente : FL05 | | | | | | |
| MFHM-Definition | | | | | | |
| OBJEKT NR | Bezeichnung | Form-klasse | Anzahl | MFHM NR | Form-klasse | Kapazität |
| H00032 | MAGAZIN HM32 | 010 | 00001 | H00021 | 020 | 00002 |
| H00036 | MAGAZIN HM36 | 010 | 00001 | H00021 | 020 | 00002 |
| H00037 | MAGAZIN HM37 | 010 | 00001 | H00021 | 020 | 00002 |
| H00021 | PALETTE HM38 | 020 | 00001 | - | - | - |

| FAU | Konfiguration: MFE-Bildung | FAPS | | |
|--|-----------------------------------|-------------|--------------|-----------|
| Funktionsauswahl | | | | |
| MFE:: Haupt Anz. Neu Dir Laden Spelch. <input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Loeschen"/> | | | | |
| BE-Strategie C | | | | |
| Anzahl Datensätze : 000014 | | | | |
| Systemkomponente : FL05 | | | | |
| MFHM-Definition | | | | |
| OBJEKT NR | Bezeichnung | MFHM NR | Bezeichnung | Kapazität |
| M00050 | FBG 0 | H00032 | MAGAZIN HM32 | 00006 |
| M00051 | FBG 1 | H00036 | MAGAZIN HM36 | 00006 |
| M00052 | FBG 2 | H00037 | MAGAZIN HM37 | 00006 |
| M00040 | SMD-FBG 0 | H00031 | MAGAZIN HM31 | 00008 |
| < UP / DN > | | | | |

Bild 59: Menü zur Detail-Definition der Strategien "Bildung von Materialflüßeinheiten mittels Formklassen" und "Bildung von sortenreinen Materialflüßeinheiten"

Simulationsmodul

Als letzter Inbetriebnahmeschritt müssen Bedarfsermittlungs-Stücklisten und Belegungspläne entweder manuell vom Bediener erstellt oder aus anderen Systemen übernommen werden. Für alle Produkte, die im Fertigungsbereich hergestellt werden, sind entweder dem Programmsystem Bedarfsermittlungs-Stücklisten über eine Datei-Schnittstelle zur Verfügung zu stellen, oder sind vom Bediener auf Arbeitsplan-/Arbeitsvorgang sich beziehende Bedarfsermittlungs-Stücklisten zu definieren (Bild 59). In diesen sind die für einen Arbeitsvorgang benötigten Objekte hinsichtlich Typ, Menge, etc. beschrieben sowie die Arbeitsvorgangsdauer.

Das Modul "Belegungsplanung-Simulation" ermöglicht dem Bediener die interaktive Neudefinition, Änderung, Löschung, Speicherung, etc. von Standard-Belegungsplänen (Bild 60). Desweiteren gestattet das implementierte Modul dem Bediener einen Standard-Belegungsplan aufzurufen, dessen Termingerüst zeitlich zu verschieben, sowie diesen Standard-Belegungsplan mit verschobenen Termingerüst an das Bedarfsplanungsmodul zur Bearbeitung zu übergeben. Über das zeitliche Verschieben von Standard-Belegungsplänen kann der Bediener einfach zeitlich fortschreitende Belegungspläne generieren und mit diesen das Bedarfsplanungsmodul beaufschlagen. Bei geeigneter Definition der Standard-Belegungspläne lassen sich unterschiedlichste Ausgangssituationen für das Materialflußsteuerungssystem hervorrufen. Mit dem Simulationsmodul wird desweiteren in der Betriebsphase des Informationssystems sowohl die Anlieferung von Objekten an Abschnitten/Stationen gemäß den durch das Materialflußsteuerungssystem errechneten Versorgungsbedarfen, Flußaufträgen und Materialflußeinheiten simuliert als auch die Ausführung der in den Belegungsplänen aufgeführten Arbeitsvorgänge hinsichtlich des Verbrauchs an Objekten. Die Module erlauben dem Bediener insbesondere eine Generierung der Ereignisse Mehranlieferung und Mehrverbrauch einer Menge von Objekten sowie Stornierung einer Belegungsplan-Position. Diese Ereignisse werden den Materialflußsteuerungsmodulen übermittelt, die dann ein oder mehrere der folgenden Aktionen durchführen: Korrektur der Bestände, Korrektur des Versorgungsplans, Bestimmung nicht durchführbarer Arbeitsvorgänge bzw. Belegungsplan-Positionen (vgl. Abschnitt 6.2).

Über ein weiteres Modul erfolgt für den Bediener eine Visualisierung der Ergebnisse des Zyklusses Bedarfsplanung, Flußplanung und Flußeinheitenbildung. Die jeweils aktuell bestehenden Bestände und die aktuell durch die Programmmodule errechneten bzw. korrigierten Versorgungsbedarfe, Flußaufträge, Materialflußeinheiten, etc. werden angezeigt (Bild 61-62).

| FAU | Simulation: Belegungsplanung | FAPS | | | |
|---|------------------------------|--------------------|--------|---|------------------------|
| Funktionsauswahl | | | | | |
| BP: Haupt <input type="checkbox"/> Anz. <input type="checkbox"/> Neu <input type="checkbox"/> Dir <input type="checkbox"/> Laden <input type="checkbox"/> Speich. <input type="checkbox"/> Edit <input type="checkbox"/> Loesch. <input type="checkbox"/> Versch. <input type="checkbox"/> Time | | | | | |
| Belegungsplan-Positionen | | | | | |
| NR | STATION | ARBEITSGANG | ANZAHL | S | TERMIN |
| 000051 | FA01/ST01 | APL002/AVO001 | 000050 | B | Di 03.12.1990 10:30:00 |
| 000052 | FA02/ST02 | APL012/AVO001 | 000032 | B | Di 03.12.1990 10:31:00 |
| 000053 | FA03/ST04 | APL033/AVO001 | 000001 | B | Di 03.12.1990 10:31:00 |
| 000054 | FA03/ST03 | APL020/AVO001 | 000001 | B | Di 03.12.1990 10:31:00 |
| 000055 | FA03/ST04 | APL030/AVO001 | 000001 | B | Di 03.12.1990 10:35:00 |
| 000056 | FA03/ST03 | APL021/AVO001 | 000001 | B | Di 03.12.1990 10:35:00 |
| 000057 | FA03/ST04 | APL032/AVO001 | 000001 | S | Di 03.12.1990 10:39:00 |
| Funktionsauswahl | | | | | |
| AP: Haupt <input type="checkbox"/> Anz. <input type="checkbox"/> Neu <input type="checkbox"/> Dir <input type="checkbox"/> Laden <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Speich. <input type="checkbox"/> Edit <input type="checkbox"/> Loesch. <input type="checkbox"/> Mat | | | | | |
| Arbeitsplan | | | | | |
| ARBEITSPLAN-/ARBEITSGANG-NUMMER : APL043/AVO002 | | | | | |
| Arbeitsgang-Dauer | | | | | |
| AVO-DAUER in Sekunden : 00120 Sekunden | | | | | |
| Bedarfsermittlungs-Stückliste | | | | | |
| Material-ID | Material-Bezeichnung | Stuecklisten-Menge | | | |
| M00010 | TELEFON-GEHAEUSE TG1 | 000001 | | | |
| M00050 | FBG F0 | 000001 | | | |
| M00052 | FBG F2 | 000001 | | | |

Bild 60: Menü zur Manipulation (Editieren, Anzeigen, Terminieren, Verschicken, etc.) von Belegungsplänen und Bedarfsermittlungsstücklisten

| FAU | | Ergebnisdarstellung: MFE-Bildung | | | | FAPS |
|--|--------------|----------------------------------|--------------|-------|------------------------|------|
| Funktionsauswahl | | | | | | |
| ERGEBNIS: Haupt Übersicht Einzelauftrag Materialflußeinheit | | | | | | |
| Übersicht Flussaufträge | | | | | | |
| MFE-NR | SENKE/SST-S | TM | QUELLE/SST-Q | T / S | END-TERMIN | |
| 000032 | ST02 / SST03 | TS01 | LS01 / SST10 | F / E | Di 03.12.1990 10:31:00 | |
| 000033 | ST02 / SST04 | TS01 | LS01 / SST10 | F / E | Di 03.12.1990 10:31:00 | |
| 000034 | ST04 / SST09 | TS01 | LS01 / SST10 | F / V | Di 03.12.1990 10:35:00 | |
| 000035 | ST04 / SST09 | TS01 | ST02 / SST05 | Z / V | Di 03.12.1990 10:35:00 | |
| 000036 | ST04 / SST09 | TS01 | LS01 / SST10 | F / V | Di 03.12.1990 10:35:00 | |
| 000037 | ST04 / SST09 | TS01 | LS01 / SST10 | F / V | Di 03.12.1990 10:39:00 | |
| 000038 | ST01 / SST02 | TS01 | LS01 / SST10 | F / V | Di 03.12.1990 10:43:00 | |

| FAU | | Ergebnisdarstellung: Bedarfsplanung | | | | FAPS |
|--|---------|-------------------------------------|--------|------|------------------------|------|
| Funktionsauswahl | | | | | | |
| ERGEBNIS: Haupt Versorgungsplan A-Bestand V-Bestand | | | | | | |
| Versorgungsbedarfe | | | | | | |
| Nr. | Mat.-ID | Material-Bezeichnung | Anz | BO | BEDARFSTERMIN | |
| 00211 | M00032 | PLATINE P3 | 000016 | ST02 | Di 03.12.1990 10:31:00 | |
| 00212 | M00070 | SMD-WIDERSTAND 3,3K | 005000 | ST02 | Di 03.12.1990 10:31:00 | |
| 00213 | M00010 | TELEFON-GEHAUSE TG1 | 000001 | ST04 | Di 03.12.1990 10:35:00 | |
| 00214 | M00040 | SMD-FBG S1 | 000008 | ST04 | Di 03.12.1990 10:35:00 | |
| 00215 | M00052 | FBG F2 | 000008 | ST04 | Di 03.12.1990 10:35:00 | |
| 00216 | M00061 | TASTATURKOERPER TK2 | 000004 | ST03 | Di 03.12.1990 10:35:00 | |
| 00217 | M00011 | TELEFON-GEHAUSE TG2 | 000001 | ST04 | Di 03.12.1990 10:39:00 | |
| 00218 | M00050 | FBG F0 | 000006 | ST04 | Di 03.12.1990 10:39:00 | |
| < UP / DN > | | | | | | |

Bild 61: Übersichts-Menü zur Darstellung der Ergebnisse des Zyklusses Bedarfsplanung, Flußplanung und Materialflußeinheitenbildung

8 Zusammenfassung

Zur optimalen Nutzung der Flexibilität flexibler Fertigungssysteme werden zunehmend Planungskompetenzen vom PPS-System auf das einzelne, lokale Leitsystem eines flexiblen Fertigungssystems verlagert und damit die Autonomie flexibler Fertigungssysteme erhöht. Die Versorgung dieser autonomen Einheiten mit Material wird allerdings weiterhin überwiegend zentral vom PPS-System veranlasst. Dies hat in hohem Maße eine zu frühe Materialbereitstellung und damit hohe Bestände und hohe notwendige Pufferkapazitäten in den Fertigungssystemen zur Folge. Durch den Einsatz von Materialflußsteuerungssystemen auf dezentraler Ebene, die auf der Basis der lokal in den Fertigungssystemen erfolgten Belegungsplanung deren Ver-/Entsorgung einerseits arbeitsvorgangsbezogen und andererseits bezogen auf einzelne Materialflußeinheiten planen, veranlassen und überwachen, kann dies vermieden werden. Integrierte Konzeptionen für derartige Materialflußsteuerungssysteme fehlen.

Ziel dieser Arbeit war daher die Konzipierung eines Informationssystems zur rechnergeführten Materialflußsteuerung bei flexiblen Fertigungssystemen unter den Aspekten der Integration der Materialflußsteuerung in das betriebliche Funktionsumfeld, der Integration aller Teilfunktionen der Materialflußsteuerung, und der Erreichung einer möglichst kurzfristigen Ver-/Entsorgung flexibler Fertigungssysteme mit/von Material und Materialflußhilfsmitteln. Auf der Basis eines funktionslogischen und eines strukturellen Modells der rechnerintegrierten Produktion wurde die Aufgabe Materialflußsteuerung mit ihren Beziehungen zum betrieblichen Aufgabenumfeld spezifiziert (Abschnitt 2).

Zur Planung von Systemen stellt die Systemtechnik eine Reihe von Methoden zur Verfügung. Das im Rahmen dieser Arbeit verwendete Instrumentarium (Funktionsanalyse, relationales Datenmodell, Petri-Netz) wurde in Abschnitt 3 vorgestellt. Unter Zuhilfenahme dieses Instrumentariums wurden die Anforderungen, die an ein Informationssystem zur Materialflußsteuerung unter dem Blickwinkel der Integration, der Stabilität und Flexibilität sowie der Prozeßnähe zu stellen sind, aufgezeigt und ein funktionslogisches Modell ("Informations-Regler") der Materialflußsteuerung abgeleitet.

Für den Entwurf eines Informationssystems zur Materialflußsteuerung ist es erforderlich, den Materialfluß hinsichtlich der ihn bestimmenden Elemente zu modellieren. Hierzu wurde ein abstraktes Systemmodell flexibler Fertigungssysteme und ein Modell für die jeweils zu beför-

dernden Objekte - Materialflußeinheiten (räumlich-mengenmäßige Zusammenfassung von Objekten) - entworfen. Die bestehenden Beziehungen zwischen den Materialfluß-Bestimmungsstücken Quelle, Senke, Transportmedium, Objekt, Menge und Termin wurden erfasst bzw. definiert (Abschnitt 4).

Auf dieser Grundlage wurden Informationsfluß- bzw. Funktionsmodelle für die Teilfunktionen Bedarfsplanung, Flußplanung, Flußeinheitenbildung, Flußveranlassung, Flußüberwachung und Betriebsdatenerfassung/-verarbeitung der Materialflußsteuerung erstellt. Jede einzelne Teilfunktion wurde hinsichtlich der für ihre Ausführung anzuwendenden Methoden und der hierzu erforderlichen Daten charakterisiert (Abschnitt 5). Die Struktur des Informationssystems zur Materialflußsteuerung ergibt sich aus den als Reaktion auf äußere Ereignisse erforderlichen Funktionsabläufen. Dies sind z.B. die Mitteilung eines zu versorgenden Belegungsplans, eines entstandenen Mehrverbrauchs, etc. Für den plangemäßen Fertigungsablauf wurde ein Funktionsnetz, das die Ermittlung der Versorgungsbedarfe auf der Basis der Belegungspläne der einzelnen Fertigungssysteme, die Festlegung der Quellen, Senken, Transportmedien, Termine und Materialflußeinheiten ermittelter Versorgungsbedarfe und bestehender Entsorgungsbedarfe sowie die Veranlassung und Überwachung der Aufträge zur Realisierung des Materialflusses umfasst, entwickelt. Der nicht plangemäße Fertigungsablauf wurde durch die Definition von Funktionsketten zur Erkennung von und zur Reaktion auf Plan-/Planungsbasisabweichungen berücksichtigt (Abschnitt 6). Solche Abweichungen sind z.B. Verzögerungen in der Durchführung der Materialbereitstellung, Änderung eines Belegungsplans, etc.

Anhand einer exemplarischen Anwendung wurde der Einsatz und die Funktionsweise des konzipierten Steuerungssystems aufgezeigt (Abschnitt 7). Das entworfene Informationssystem zur Materialflußsteuerung wurde in Form eines modular aufgebauten Programmsystems realisiert (Abschnitt 7). Teilfunktionen desselben wurden darüber hinaus als Programmmodule eines dezentralen Steuerungssystems für Montagezellen realisiert. Gegenüber dem Stand der Technik wird durch die entwickelten allgemeinen Beschreibungsmodelle für Flußvorgänge und Materialflußeinheiten eine flexible Konfiguration des Programmsystems auf die jeweils bestehenden, spezifischen Versorgungsbedürfnisse eines Fertigungssystems ermöglicht. Desweiteren wird eine kurzfristige, ereignisorientierte, arbeitsvorgangs- und materialflußeinheitenbezogene Ver-/Entsorgung flexibler Fertigungssysteme erreicht. Bei geeigneter Konfiguration des Programmsystems werden damit die für flexible Fertigungssystemen vorzuziehenden Pufferkapazitäten reduziert, die Werkstattbestände minimiert sowie die Überbestände, die bei einer durch PPS-Systeme veranlassten Versorgung auftreten, vermieden.

9 Literaturverzeichnis

1. Aldinger, L.:
Leitstandunterstützte kurzfristige Fertigungssteuerung bei Einzel- und Kleinserienfertigung. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 1985
2. Autorengruppe:
Bausteine flexibler Fertigungssysteme. In: Produktionstechnik auf dem Weg zu integrierten Systemen. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1987, S.119-164
3. Autorengruppe:
Produktionsmanagement als Schlüssel für den Unternehmenserfolg. In: Wettbewerbsfaktor Produktionstechnik. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1990, S.75-107
4. AWF (Ausschuß für wirtschaftliche Fertigung, Hrsg.):
Flexible Fertigungsorganisation am Beispiel von Fertigungsinseln. Eschborn, 1984
5. Bärmreuther, B.; Fischer, H.; Klotzbücher, R.; Scheller, J.; Schrödel, O.:
Die Standardisierung von Datenschnittstellen in der Montageautomatisierung. Informatik-Spektrum (1989), H.12, S.312-320.
6. Backmerhoff, W.:
Beitrag zur Automatisierung von Kommissioniersystemen. Dissertation, TU Berlin, 1987
7. Bauer, P.:
Planung und Auslegung von Palettenlagern. Springer Verlag, Berlin - Heidelberg, 1985
8. Baumeister, K.:
Kommissioniersystem mit Roboter- und Mehrstückgreifer. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 1988
9. Becker, J.:
Architektur eines EDV-Systems zur Materialflußsteuerung. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 1987
10. Bötzwow, H.:
Die Fertigungsinsel als Konzept zur Einführung flexibler Automation in mittelständischen Industriebetrieben der Einzel- und Kleinserienfertigung. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1988
11. Budde, R.:
Materialfluß und Lagerung: Ein Leitfaden zum Planen und Verwirklichen richtiger Materialfluß- und Lagersysteme. Rustral Verlag, Nürnberg, 1989
12. Busch, U.:
Entwicklung eines PPS-Systems. Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1987
13. Buxbaum, H.-J.; Hidde, A.:
Produktionsabhängige Zellensteuerung als Erweiterung des linienbezogenen, flexiblen Fabrikautomatisierungskonzepts. PKI Tech. Mitt. 1/89, S.121-131
14. Chestnut, H.:
Methoden der Systementwicklung. Hanser Verlag, München - Wien, 1973
15. Codd, E.F.:
A relational model for large shared data banks. Comm. ACM, Vol.13 (1970), No.6, S.377-387

16. Dangelmeier, W.; Kühnle, H.; Mussbach-Winter, U.:
Die Grenzen von PPS-Systemen. Beschaffung aktuell 10/89 ,S.42-45
17. Derr, W.; Jung, W.:
Kommissionierereinrichtung, ein wesentlicher Lösungsschritt bei der Lagerautomatisierung. Siemens Energie & Automation, 1986, H.4, S.66-68
18. DIN:
DIN-Fachbericht 15 - Normung von Schnittstellen für die rechnerintegrierte Produktion (CIM); Standortbestimmung und Handlungsbedarf. Beuth Verlag, Berlin-Köln, 1987
19. DIN:
DIN-Fachbericht 20 - Normung von Schnittstellen für die rechnerintegrierte Produktion (CIM); Fertigungssteuerung und Auftragsabwicklung. Beuth Verlag, Berlin-Köln, 1989
20. Erdlenbruch, B.:
Grundlagen neuer Auftragssteuerungsverfahren für die Werkstattfertigung. Dissertation, Universität Hannover, 1984
21. ESPRIT Project Nr 688:
Open System Architecture for CIM. CIM-OSA Reference Architecture Specification
22. Eversheim, W.:
Organisation in der Produktionstechnik, Band 4 Fertigung und Montage. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1981
23. Eversheim, W.; Jansen, M.; Peffehoven, K.H.:
Montageorientierte Materialwirtschaft. VDI-Z 126 (1984), Nr.4, S.95-98
24. Eversheim, W.; Schmitz-Mertens, H.-J.; Wieggershaus, U.:
Organisatorische Integration flexibler Fertigungssysteme in konventionelle Werkstattstrukturen. VDI-Z 131 (1989), Nr.8, S.75-78
25. Eversheim, W.; Kiesewetter, S. A.; Dobberstein, M.:
Produktion adaptierbar steuern. Industrieanzeiger 39 (1990), S.12-15
26. Feldmann, K.:
Gesicherte Prozesse im Regelkreis: Automatisierter Materialfluß steigert Produktivität. VDI-Nachrichten (1989), Nr.44, S. 31
27. Feldmann, K.:
Materialfluß und Informationsverarbeitung. In: Praxis der Montageautomatisierung 90, VDI-Berichte 871, S.1-14, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1990
28. Fischer, H.:
Verteilte Planungssysteme zur Flexibilitätssteigerung der rechnerintegrierten Teilefertigung. Dissertation, Universität Erlangen, 1990
29. Förster, H.-U.; Hirt, K.:
PPS für die flexible Automatisierung, Optimale Steuerung einer Werkstatt mit Flexiblen Fertigungszellen. Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1988
30. Förster, H.-U.:
Marktspiegel, PPS-Systeme auf dem Prüfstand. Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1989
31. Glaser, H.:
Material- und Produktionswirtschaft. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1986

32. Groha, A.:
Universelles Zellenrechnerkonzept für flexible Fertigungssysteme. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 1988
33. Haase, R.:
Werkstattsteuerung mit KANBAN-System. CAD/CAM/CIM, Juni 1989, Hanser Verlag
34. Habich, M.:
Koordination autonomer Fertigungsinseln durch ein adaptiertes PPS-Konzept. Zwf 84 (1989), H.2, S.74-77
35. Habich, M.:
Handlungssynchronisation autonomer, dezentraler Dispositionscentren in flexiblen Fertigungsstrukturen. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, 1990
36. Hackstein, R.:
Produktionsplanung und -steuerung. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1984
37. Hars, A.; Scheer, A.-W.:
Entwicklungsstand von Leitständen. VDI-Z 132 (1990), Nr.3, S.20-26
38. Helberg, P.:
PPS als CIM-Baustein. Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1987
39. Henderson, M.J.:
Economical computer integrated manufacturing. In: Proceedings of the 5th International Conference on Flexible Manufacturing Systems, 3. - 5.11.1986, Stratford-upon-Avon, S.167-178, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 1987
40. Herrscher, A.:
Flexible Fertigungssysteme: Entwurf und Realisierung prozebnaher Steuerungsfunktionen. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 1982
41. Hesselbach, J.:
Roboter in flexiblen Montagesystemen. VDI-Z 131 (1989), Nr.8, S.89-92
42. Hidde, A.; Marx, U.:
Realisierung eines modernen Mechanisierungs- und Steuerungskonzeptes am Beispiel der Membrantastatur-Fertigungslinie. PKI Tech. Mitt. 1/1988, S.89-97
43. Hierl, R.:
Rationelle Leiterplattenfertigung im Elektronikwerk Amberg. engineering & automation 13 (1991), H.2, S.46-49
44. Hinxman, A.I.:
The trim-loss and assortment problems: a survey. European Journal of Operational Research 5, 1980
45. Hirt, K.:
PPS beim Einsatz flexibler Fertigungssysteme. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 1990
46. Hußmann, W.; Mau, W.:
Losgröße eins in der Kleinschützfertigung. Zwf 83 (1988), H.11, S.547-549
47. ISO TC184/SC5/W1-N82:
ISO Technical Report 10314, Part 1/2, Reference Model for Shop Floor Production; 1989

48. Jackson, G. A.:
Entwurf relationaler Datenbanken. Hanser Verlag, München - Wien, 1989
49. Janzen, F.; Kath, H.; Möhrle, M.; Seifert, H.-J.:
Petri-Netze in der Produktionstechnik. ZwF 84 (1989), Nr.3, S.141-145
50. Jünemann, R.:
Transport-, Lager- und Kommissioniersysteme für die 90-er Jahre. Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1990
51. Jünemann, R.; Pater, H.G.:
Robotereinsatz für Materialflüßaufgaben insbesondere in Warenverteilssystemen
Kommtech '86, Essen, 1986
52. Jünemann, R.; Klöpffer, H. J.:
Reduzieren der Durchlaufzeit als logistische Herausforderung. Logistik (1988) Nr.5/6,
S.80-84
53. Jünemann, R.:
Trends in Materialflüßsystemen. Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1991
54. Kang, M.:
Entwicklung eines Werkstattsteuerungssystems mit simultaner Termin- und Kapazitätsplanung. Hanser-Verlag, München-Wien, 1987
55. Keber, R.:
Stauraumprobleme bei Stückguttransporten. Wissenschaftliche Berichte des Instituts für
Fördertechnik der Universität Karlsruhe, Heft 17, 1985
56. Kern, S.; Ruffing, T.; Scheer, A.-W.:
Planungs-/Steuerungssysteme für Fertigungsinseln. ZwF 84 (1989), Nr.12, S.696-700
57. Klotzbücher, R.; Scheller, J.:
Steuerungssystem für Zellenrechner zur Lösung von Flexibilitätsanforderungen in der
Montageautomatisierung. Die Maschine (dima), 1988, Nr.7/8, S.65-68 u. Nr.10, S.18-22
58. Klotzbücher, R.:
Materialverwaltung und -versorgung. In: CIM-Technologietransfer-Seminar "Flexible
Fertigungszellen für Teilefertigung und Montage", Erlangen, 16.3.1990
59. Koch, R.:
Palettieren und Kommissionieren mit Industrierobotern. Kommtech '86, Essen, 1986
60. Kohen, E.:
Adaptierbare Steuerungssoftware für flexible Fertigungssysteme. VDI-Verlag, Düsseldorf,
1982
61. Konz, H.-J.:
Steuerung der Standplatzmontage komplexer Produkte. Dissertation, RWTH Aachen, 1989
62. Kühnle, H.:
PPS-Prinzipien auf dem Prüfstand. CE Magazin (1989), Juli/August, S.14-20 und
September, S.20-24
63. Kuhn, A.:
Systeme zur Materialflüßsteuerung. Fachtagung Informationssysteme in der Logistik,
25.4.1985, Darmstadt

64. Kupec, T.:
Fertigungssteuerung für flexible Fertigungssysteme. In: Die neue Fabrik, Sonderpublikation 1991, Verlag Moderne Industrie, S.36-39
65. Ley, W.:
Entwicklung von Entscheidungshilfen zur Integration der Fertigungshilfsmitteldisposition in EDV-gestützte Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme. Dissertation, RWTH Aachen, 1984
66. Lippe, J.:
Bringt die nächste Leitstand-Generation die Integration. Zwf 85 (1990),Nr.12,S.616-620
67. Mannchen, K.:
Rechnergestützte Verfahren zur Bildung von Ladeeinheiten. Wissenschaftliche Berichte des Instituts für Fördertechnik der Universität Karlsruhe, Heft 28, 1989
68. Mertins, K.:
Steuerung rechnergeführter Fertigungssysteme. Hanser Verlag, München-Wien, 1985
69. Milberg, J.; Groha, A.:
Der Zellengedanke als Strukturierungsprinzip im Materialfluß flexibler Fertigungssysteme. Zwf 81 (1986), H.12, S. 682-687
70. Nauheimer, K.:
Entwicklung und Realisierung einer ereignisorientierten, rechnergestützten Steuerung für den Werkstückfluß in mehrstufigen, automatisierten Fertigungssystemen. Wissenschaftliche Berichte des Instituts für Fördertechnik der Universität Karlsruhe, Heft 26, 1988
71. Nedeljkovic, V.; Ebner, C.:
Rechner steuert Produktionszelle. In: Die neue Fabrik, Sonderpublikation 1991, Verlag Moderne Industrie, S.81-85
72. Nieß, P.S.; Jabbusch, M.B.:
JIT, Logistik, CIM - Neue betriebswirtschaftliche Konzepte für die Produktionsplanung und -steuerung in mittelständischen Unternehmen der Fertigungsindustrie. VDI-Z 131 (1989), Nr.4, S. 10-19
73. Nissing, T.:
Beitrag zur Entwicklung eines dezentralen Produktionsplanungs- und -steuerungssystems auf der Basis verteilter Datenbestände. Dissertation, RWTH Aachen, 1982
74. Patzak, G.:
Systemtechnik - Planung komplexer innovativer Systeme. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 1982
75. Pfeiffer, T.; Köppe, D.:
Integration und Kommunikation. Industrieanzeiger 79 (1989), S.36-39
76. Pritschow, G. (Hrsg.):
Leit- und Steuerungstechnik in flexiblen Produktionsanlagen. Hanser Verlag, Wien, 1991
77. Rasmussen, J.:
The Role of Hierarchical Knowledge Representation in Decisionmaking and System Management. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. SMC-15, No.2, March 1985, pp.234-243

78. Reising, W.:
Systementwurf mit Netzen. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 1985
79. Ropohl, G.:
Systemtechnik - Grundlagen und Anwendung. Hanser Verlag, München-Wien, 1975
80. Rupper, P.; Scheuchzer, R.H.:
Lager- und Transport-Logistik. Verlag Industrielle Organisation, Zürich 1988
81. Schlechtriem, G.: Modellgestützte Analyse des Materialflusses als Basis eines Qualitätsregelkreises Disposition - Qualitätslenkung. Dissertation, RWTH Aachen, 1991
82. Schmidt, F.:
Konzeption und Einsatzplanung flexibel automatisierter Montagesysteme. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 1991
83. Schmitz-Mertens, H.-J.:
Entwicklung eines Steuerungskonzepts für Systeme mit heterogener Fertigungsstruktur. Dissertation, RWTH Aachen, 1988
84. Schönheit, M.; Wiegershaus, U.:
Flexible Fertigung. VDI-Z 131 (1989), Nr.9, S.49-65
85. Schulze, L.:
FTS-Praxis: Fahrerlose Transportsysteme. Resch Verlag, Gräfelfing, 1985
86. Soliman, M.:
Rechnerunterstützte Optimierung des Betriebsmittelflusses in flexibel automatisierten Fertigungen. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1987
87. Sommer, E.; Scheller, J.:
Hierarchisches Steuerungskonzept für flexible Montagezellen. atp 31 (1989), Nr.4, S.166-173
88. Tuffentsamer, K. (Hrsg.):
Flexibles Fertigungssystem: Beiträge zur Entwicklung des Produktionsprinzips. VCH, Weinheim, 1988
89. VDI:
Werkstückträger für die automatisierte Fertigung und Montage. VDI-Berichte Nr. 708, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1988
90. Warnecke, H.-J.:
Flexible Montagesteuerung. In: Ergebnisbericht Forschungsbereich SFB 158 "Die Montage im flexiblen Produktionsbetrieb", Universität Stuttgart, 1989
91. Wiendahl, H.-P.:
Grundgesetze der Logistik, "fördern und heben" (1989) Nr.4, S.289-296
92. Wiendahl, H.-P.:
Beeinflussbarkeit von Durchlaufzeiten, Beständen, Leistung und Termintreue mit Hilfe von PPS-Systemen. In: VDI-Berichte Nr.490, S.85-91, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1983
93. Wiendahl, H.-P.:
Belastungsorientierte Fertigungssteuerung. Hanser Verlag, München-Wien, 1987

94. Wiendahl, H.-P.:
Dezentrale Anlagenbelegungsplanung und Materialflußsteuerung in der automatisierten Variantenmontage. In: VDI-Berichte Nr.871, S.133-147, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1990
95. Wildemann, H.:
Flexible Werkstattsteuerung nach japanischen KANBAN-Prinzipien. Seminar der Gfmd (Gesellschaft für Management und Technologie) in Böblingen, 8.-9.3.1983
96. Wildemann, H.:
Flexible Werkstattsteuerung durch Integration von japanischen KANBAN-Prinzipien. CW-Publikationen, München, 1984
97. Winkler, P.:
Anforderungsbeschreibung mit Netzmodellen. Automatisierungstechnische Praxis, atp 28 (1986), H.1 S.32-39 und H.2 S.94-98
98. Wirth,S.; Rudolph, K.:
Gestaltungslösungen integrierter Fertigungen. VEB Verlag Technik, Berlin, 1986
99. Witte, K.-W.:
Die Montage effizient steuern. VDI-Z 132 (1990), Nr.11, S. 66-72
100. Witte, K.-W.:
Rechnerintegrierte Planungs- und Steuerungssysteme steigern Montageeffizienz. In: Praxis der Montageautomatisierung 1990. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1990, S.149-175
101. Wünsche, H.-J.:
Fahrerlose Transportsysteme als Materialflußlösung in flexiblen Montagesystemen. In: VDI-Berichte Nr.871, S.99-111, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1990
102. Zell, M.; Herterich, R.:
Dezentrale Fertigungssteuerung - Neue Ansätze zur interaktiven Steuerung teilautonomer Bereiche der Einzel- und Kleinserienfertigung. VDI-Z 131 (1989), Nr.5, S. 19-25
103. Zipse, T.:
Konzeption und Auswahl modularer Magazinpaletten. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 1987
104. Zuse, K.:
Petri-Netze aus der Sicht des Ingenieurs. Vieweg Verlag, Braunschweig-Wiesbaden, 1980

Lebenslauf

| | |
|--------------|---|
| Persönliches | Rainer Klotzbücher geb. am 27. Mai 1958 in Creglingen Eltern: Ewald Klotzbücher Elfriede Klotzbücher, geb. Stoll |
| Schulbildung | 1964 bis 1968 Volksschule in Creglingen 1968 bis 1977 Gymnasium Weikersheim 1977 Abschluß: Abitur |
| Studium | 1977 bis 1984 Studium der Elektrotechnik an der Universität Erlangen-Nürnberg 1984 Abschluß: Diplom |
| Berufspraxis | 1982-1983 Werkstudent bei SIEMENS AG, Erlangen 1984 bis 1986 Software-Entwickler in der Abteilung Systemtechnische Entwicklung bei SIEMENS AG, Erlangen 1986 bis 1991 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik der Universität Erlangen-Nürnberg Leitung: Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann seit 1991 Systemplaner bei ALCATEL SEL AG, Gunzenhausen |

Reihe

Fertigungstechnik

Erlangen

Band 1

Andreas Hemberger

Innovationspotentiale in der rechnerintegrierten Produktion durch wissensbasierte Systeme

208 Seiten, 107 Bilder. 1988. Kartoniert.

Band 2

Detlef Classe

Beitrag zur Steigerung der Flexibilität automatisierter Montage-systeme durch Sensorintegration und erweiterte Steuerungskonzepte

194 Seiten, 70 Bilder. 1988. Kartoniert.

Band 3

Friedrich–Wilhelm Nolting

Projektion von Montagesystemen

201 Seiten, 107 Bilder, 1 Tabelle. 1989.

Kartoniert.

Band 4

Karsten Schlüter

Nutzungsgradsteigerung von Montagesystemen durch den Einsatz der Simulationstechnik

177 Seiten, 97 Bilder. 1989. Kartoniert.

Band 5

Shir–Kuan Lin

Aufbau von Modellen zur Lageregelung von Industrierobotern

168 Seiten, 46 Bilder. 1989. Kartoniert.

Band 6

Rudolf Nuss

Untersuchungen zur Bearbeitungsqualität im Fertigungssystem Laserstrahlschneiden

206 Seiten, 115 Bilder, 6 Tabellen. 1989. Kartoniert.

Band 7

Wolfgang Scholz

Modell zur datenbankgestützten Planung automatisierter Montageanlagen

194 Seiten, 89 Bilder. 1989. Kartoniert.

Band 8

Hans–Jürgen Wißmeier

Beitrag zur Beurteilung des Bruchverhaltens von Hartmetall–Fließpreßmatrizen

179 Seiten, 99 Bilder, 9 Tabellen. 1989. Kartoniert.

Band 9

Rainer Eisele

Konzeption und Wirtschaftlichkeit von Planungssystemen in der Produktion

183 Seiten, 86 Bilder. 1990. Kartoniert.

Band 10
Rolf Pfeiffer
Technologisch orientierte Montageplanung am Beispiel der Schraubtechnik
216 Seiten, 102 Bilder, 16 Tabellen. 1990. Kartoniert.

Band 11
Herbert Fischer
Verteilte Planungssysteme zur Flexibilitatssteigerung der rechnerintegrierten Teilefertigung
201 Seiten, 82 Bilder. 1990. Kartoniert.

Band 12
Gerhard Kleineidam
CAD/CAP : Rechnergestutzte Montagefeinplanung
203 Seiten, 107 Bilder. 1990. Kartoniert.

Band 13
Frank Vollertsen
Pulvermetallurgische Verarbeitung eines ubereutektoiden verschleißfesten Stahls
XIII + 217 Seiten, 67 Bilder, 34 Tabellen. 1990. Kartoniert.

Band 14
Stephan Biermann
Untersuchungen zur Anlagen- und Prozediagnostik fur das Schneiden mit CO₂- Hochleistungslasern
VIII + 170 Seiten, 93 Bilder, 4 Tabellen. 1991. Kartoniert.

Band 15
Uwe Geißler
Material- und Datenfluß in einer flexiblen Blechbearbeitungszelle
124 Seiten, 41 Bilder, 7 Tabellen. 1991. Kartoniert.

Band 16
Frank Oswald Hake
Entwicklung eines rechnergestutzten Diagnosesystems fur automatisierte Montagezellen
XIV + 166 Seiten, 77 Bilder. 1991. Kartoniert.

Band 17
Herbert Reichel
Optimierung der Werkzeugbereitstellung durch rechnergestutzte Arbeitsfolgenbestimmung
198 Seiten, 73 Bilder, 2 Tabellen. 1991. Kartoniert.

Band 18
Josef Scheller
Modellierung und Einsatz von Softwaresystemen fur rechnergefuhrte Montagezellen
198 Seiten, 65 Bilder. 1991. Kartoniert.

Band 19
Arnold vom Ende
Untersuchungen zum Biegeumformen mit elastischer Matrize
166 Seiten, 55 Bilder, 13 Tabellen. 1991. Kartoniert.

Band 20
Joachim Schmid
Beitrag zum automatisierten Bearbeiten von Keramikgu mit Industrierobotern
XIV + 176 Seiten, 111 Bilder, 6 Tabellen. 1991. Kartoniert.

- Band 21
Egon Sommer
Multiprozessorsteuerung für kooperierende Industrieroboter in Montagezellen
188 Seiten, 102 Bilder. 1991. Kartoniert.
- Band 22
Georg Geyer
Entwicklung problemspezifischer Verfahrensketten in der Montage
192 Seiten, 112 Bilder. 1991. Kartoniert.
- Band 23
Rainer Flohr
Beitrag zur optimalen Verbindungstechnik in der Oberflächenmontage (SMT)
186 Seiten, 79 Bilder. 1991. Kartoniert.
- Band 24
Alfons Rief
Untersuchungen zur Verfahrensfolge Laserstrahlschneiden und –schweißen in der Rohkarosseriefertigung
VI + 145 Seiten, 58 Bilder, 5 Tabellen. 1991. Kartoniert.
- Band 25
Christoph Thim
Rechnerunterstützte Optimierung von Materialflußstrukturen in der Elektronikmontage durch Simulation
188 Seiten, 74 Bilder. 1992. Kartoniert.
- Band 26
Roland Müller
CO₂ – Laserstrahlschneiden von kurzglasverstärkten Verbundwerkstoffen
141 Seiten, 107 Bilder, 4 Tabellen. 1992. Kartoniert.
- Band 27
Günther Schäfer
Integrierte Informationsverarbeitung bei der Montageplanung
195 Seiten, 76 Bilder. 1992. Kartoniert.
- Band 28
Martin Hoffmann
Entwicklung einer CAD/CAM –Prozeßkette für die Herstellung von Blechblegteilen
149 Seiten, 89 Bilder. 1992. Kartoniert.
- Band 29
Peter Hoffmann
Verfahrensfolge Laserstrahlschneiden und –schweißen : Prozeßführung und Systemtechnik in der 3D–Laserstrahlbearbeitung von Blechformteilen
186 Seiten, 92 Bilder, 10 Tabellen. 1992. Kartoniert.
- Band 30
Olaf Schrödel
Flexible Werkstattsteuerung mit objektorientierten Softwarestrukturen
180 Seiten, 84 Bilder. 1992. Kartoniert.
- Band 31
Hubert Reinisch
Planungs- und Steuerungswerkzeuge zur impliziten Geräteprogrammierung in Roboterzellen
XI + 212 Seiten, 112 Bilder. 1992. Kartoniert.

Band 32

Brigitte Bärnreuther

**Ein Beitrag zur Bewertung des Kommunikationsverhaltens
von Automatisierungsgeräten in flexiblen Produktionszellen**
XI + 179 Seiten, 71 Bilder. 1992. Kartonierte.

Band 33

Joachim Hutfless

**Laserstrahlregelung und Optikiagnostik in der Strahlführung
einer CO₂-Hochleistungslaseranlage**
175 Seiten, 70 Bilder, 17 Tabellen. 1993. Kartonierte.

Band 34

Uwe Günzel

**Entwicklung und Einsatz eines Simulationsverfahrens für operative
und strategische Probleme der Produktionsplanung und -steuerung**
XIV + 170 Seiten, 66 Bilder, 5 Tabellen. 1993. Kartonierte.

Band 35

Bertram Ehmann

**Operatives Fertigungscontrolling durch Optimierung auftragsbezogener
Bearbeitungsabläufe in der Elektronikfertigung**
XV + 167 Seiten, 114 Bilder. 1993. Kartonierte.

Band 36

Harald Kolléra

**Entwicklung eines benutzerorientierten Werkstattprogrammiersystems
für das Laserstrahlschneiden**
129 Seiten, 66 Bilder, 1 Tabelle. 1993. Kartonierte.

Band 37

Stephanie Abels

**Modellierung und Optimierung von Montageanlagen
in einem integrierten Simulationssystem**
188 Seiten, 88 Bilder. 1993. Kartonierte.

Band 38

Robert Schmidt-Hebbel

**Laserstrahlbohren durchflußbestimmender
Durchgangslöcher**
145 Seiten, 63 Bilder, 11 Tabellen. 1993. Kartonierte.

Band 39

Norbert Lutz

**Oberflächenfeinbearbeitung keramischer Werkstoffe mit
XeCl-Excimerlaserstrahlung**
187 Seiten, 98 Bilder, 29 Tabellen. 1994. Kartonierte.

Band 40

Konrad Gramp

**Rechnerunterstützung bei Test und Schulung an
Steuerungssoftware von SMD-Bestücklinien**
178 Seiten, 88 Bilder. 1995. Kartonierte.

Band 41

Martin Koch

**Wissensbasierte Unterstützung der Angebotsbearbeitung
in der Investitionsgüterindustrie**
169 Seiten, 68 Bilder. 1995. Kartonierte.

Band 42

Armin Gropp

**Anlagen- und Prozeßdiagnostik beim Schneiden mit einem
gepulsten Nd:YAG-Laser**
160 Seiten, 88 Bilder, 7 Tabellen. 1995. Kartonierte.

Band 43
Werner Heckel
**Optische 3D-Konturerfassung und on-line Biegewinkelmessung
mit dem Lichtschnittverfahren**
149 Seiten, 43 Bilder, 11 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 44
Armin Rothhaupt
**Modulares Planungssystem zur Optimierung
der Elektronikfertigung**
180 Seiten, 101 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 45
Bernd Zöllner
Adaptive Diagnose in der Elektronikproduktion
195 Seiten, 74 Bilder, 3 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 46
Bodo Vormann
**Beitrag zur automatisierten Handhabungsplanung
komplexer Blechbiegeteile**
126 Seiten, 89 Bilder, 3 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 47
Peter Schnepf
Zielkostenorientierte Montageplanung
144 Seiten, 75 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 48
Rainer Klotzbücher
**Konzept zur rechnerintegrierten Materialversorgung
in flexiblen Fertigungssystemen**
156 Seiten, 62 Bilder. 1995. Kartoniert.