

**WORKSHOP**  
**MODELLE UND INFORMATIONSVERRARBEITUNG**

**Paderborn**  
**16. März 1998**

W. Dangelmaier

**Modelle der Produktionsplanung und -steuerung**

**HEINZ NIXDORF INSTITUT**

## 1 Aufgabenstellung

Eine Produktions(teil)aufgabe - also ein Arbeitsvorgang - ist definiert durch Input-/Output-Objekt, Verrichtung, Betriebsmittel, Raum und Zeit [KOSI73]. Damit definiert die für die Erfüllung eines Produktionsprogramms erforderliche Menge an Arbeitsvorgängen die für dieses Produktionsprogramm erforderliche technische Kapazität. Darüberhinaus spezifizieren Aufträge über die Durchführung einzelner Arbeitsvorgänge die Menge und die Termine dieser Aufgabendurchführung sowie die dabei geltenden Konditionen; sie bestimmen so den zeitlichen Kapazitätsbedarf in einem bestimmten Zeitabschnitt [WITT73]. Dieser zeitliche Kapazitätsbedarf quantifiziert insbesondere den Bedarf an Inputobjekten, also allen Materialien, aber auch alle erforderlichen Betriebsmittel wie Werker, Maschinen, Fördermittel, Lagermittel, Hilfsstoffe usw. [DaRo93]. Eine Produktion<sup>1</sup> ist damit eine Abfolge von Zuordnungen zum Zwecke des Leistungsvollzugs. Diese Zuordnungen selbst sowie die Abfolge der Zuordnungen sind innerhalb gegebener Grenzen Gegenstand von Anstrengungen, die Produktion hinsichtlich gegebener Ziele optimierend auszurichten.

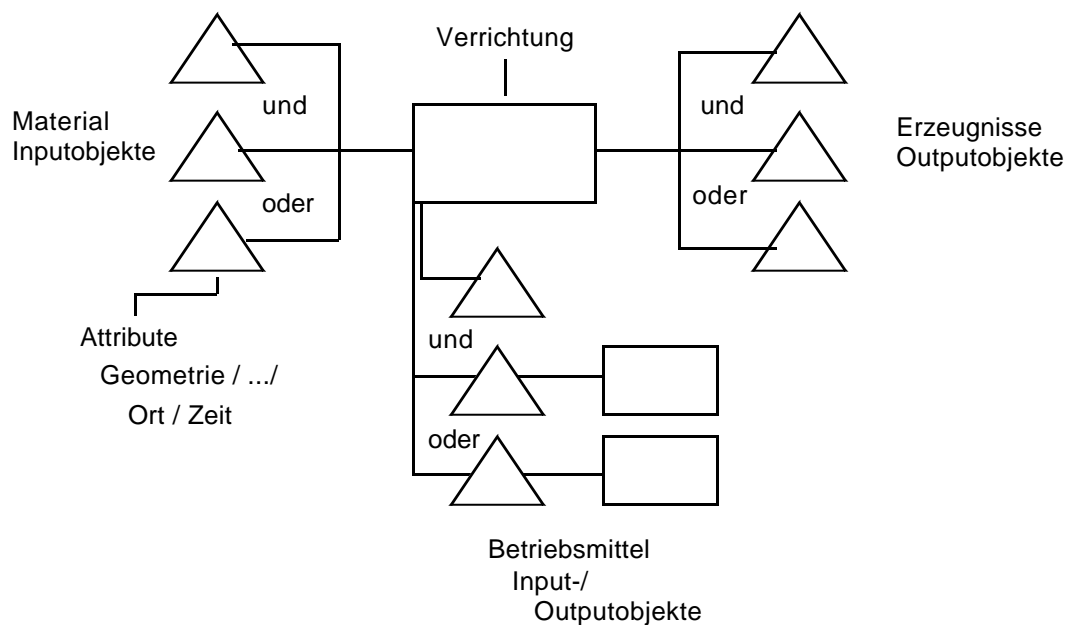


Bild 1: Zuordnungen im Produktionsprozeß

Die Produktionsplanung<sup>2</sup> hat zur Aufgabe, die Produktionsaufgabe so in Teilaufgaben zu zerlegen, daß in einem strukturierenden Ansatz Organisation erst möglich wird und derartige Zuordnungen über einen längeren Zeitraum festgelegt werden können. So ist z. B. festzulegen, ob Druckluft, Wasser, Strom usw. im Ring, Stern, Netzwerk usw. organisiert werden. Hier

1. „Technisch, organisatorisch (und kostenrechnerisch) selbständige Allokationen von Potential- und Mittelfaktoren zu Produktionszwecken bezeichnet man als Produktionssystem“. ([KERN79], Sp. 1605); „Ein ökonomisches System heißt ein Produktionssystem, wenn es innerhalb eines bestimmten Zeitraumes ... aus Gütern besteht und Güter produziert und ... eine Umgebung besitzt, aus der es Güter entnehmen und an die es Güter abgeben kann.“ ([KERN79], Sp. 1557).

sind „Elemente gleicher Klassen“ topologisch zu ordnen. Es ist zu entscheiden, welche Betriebsmittel ortsfest sind und welche nicht - hier sind Zuordnungen zwischen „Elementen verschiedener Klassen“ zu treffen (Maschine - Ort). Vergleichbar ist die Zuordnung „Maschine - Anschluß am Spänekanal“ oder „Werker - Maschine“ zu sehen.

Abhängig von der Organisationsform bleiben für eine konkrete Produktionsteilaufgabe nur gewisse Zuordnungen offen, die im Arbeitsplan abhängig vom vorliegenden Outputobjekt festgelegt werden müssen: Alle Produktionsfaktoren (Mensch, Maschine, Material) müssen am Ort des Leistungsvollzugs zusammentreffen.

- Baustellenfertigung: Inputobjekt -> Outputobjekt ortsfest; Werker, Maschinen, Werkzeuge, Hilfsmittel beweglich
- Linienfertigung: Inputobjekt -> Outputobjekt beweglich; Werker, Maschinen, Werkzeuge, Hilfsmittel ortsfest
- Werkstattfertigung: Inputobjekt -> Outputobjekt beweglich; Werker, Werkzeug lokal beweglich; Maschine ortsfest
- ...

Die Produktionssteuerung hat zur Aufgabe, die Abfolge der Produktionsteilaufgaben - und damit die temporäre Zuordnung von Produktionsfaktoren - so festzulegen und vorzugeben, daß einerseits das Produktionsprogramm erfüllt wird, andererseits im Produktionsprozeß<sup>1</sup> eine gegebene Zielsetzung (z. B. „kürzeste Durchlaufzeiten“) unter Beachtung der Grenzen der (technischen und) zeitlichen Kapazität erreicht wird. Der zeitliche Kapazitätsbedarf wird durch eine hinsichtlich des Produktionsprogramms zu frühe Produktion an das Kapazitätsangebot angepaßt. Nur im Ausnahmefall werden Zuordnungen zum Inputobjekt (Material -> Ausweichmaterial) oder zum Betriebsmittel (Maschine -> Ausweichmaschine) durch Alternativzuordnungen ersetzt: Die einzige Variable der Produktionssteuerung ist die Abfolge der angesprochenen Zuordnungen.

#### Produktionsplanung und -steuerung verwenden Modelle:

2. Die Produktionsplanung umfaßt alle einmalig zu treffenden Maßnahmen bzgl. der Gestaltung des Erzeugnisses, der Aufstellung der Arbeitspläne und der Planung der Betriebsmittel [AWF60]. Produktionssteuerung soll hier nach der Definition von AWF [AWF60] alle Maßnahmen umfassen, die zur Durchführung eines Auftrages im Sinne der Produktionsplanung erforderlich sind. Sie umfaßt damit auch die Tätigkeiten, die in Betrieben mit mehrstufiger Linienfertigung unter den Begriffen „Disposition“ und „Planung“ zusammengefaßt werden. Schneider [SCHN96] definiert: Eine Produktionssteuerungsaufgabe ist die Aufgabe, für ein vorgegebenes Produktionssystem vorausschauend Solldaten über die qualitative, quantitative und zeitliche Zuordnung der Elemente eines Produktionssystems, die in sich und mit den Ausgangsdaten konsistent sind, für einen definierten, zielgerichteten Produktionsprozeß festzulegen (evtl. unter Berücksichtigung gewisser Ziele) und dem Produktionsprozeß vorzugeben und evtl. festzustellen, ob Inkonsistenzen vorliegen.
1. „Der Produktionsprozeß ist eine zeitliche Folge von Erzeugungen und Verbräuchen bzw. Nutzungen wirtschaftlicher Güter und setzt sich aus einer Vielzahl von Einzelprozessen zusammen, die eine Umwandlung bzw. Umformung realer Gegebenheiten (Stoff, Energie, Information) oder eine Veränderung ihrer Koordinatenwerte im Raum-Zeit-Kontinuum (Transport, Lagerung) bewirken ...“ ([KERN79], Sp. 1597); „Das im Bereiche eines Produktionssystems ablaufende Geschehen ist ein mehrdimensionales Phänomen und wird mit der Bezeichnung Produktionsprozeß belegt ...“ ([KERN79], Sp. 1608).

Ein Modell ist ein bewußt konstruiertes Abbild der Wirklichkeit, das auf der Grundlage einer Struktur-, Funktions- oder Verhaltensanalogie zu einem entsprechenden Original eingesetzt bzw. genutzt wird, um eine bestimmte Aufgabe zu lösen, deren Durchführung am Original nicht oder zunächst nicht möglich oder zweckmäßig ist [KLBU75].

Diese Definition bringt die Intension, die in der Produktionsplanung und -steuerung mit dem Einsatz von Modellen verfolgt wird, hervorragend zum Ausdruck: Der Ablauf in der Produktion soll an einem Modell, nicht am Original für einen bestimmten Zeitraum erprobt und in einem Plan festgehalten werden, der seinerseits dem Original als Handlungsrichtlinie übermittelt wird.

Nach Stachowiak [STA73] läßt sich der Modellbegriff durch die drei Merkmale *Abbildung*, *Verkürzung*, *Pragmatik* beschreiben. Das Abbildungsmerkmal besagt, daß ein Modell immer das Abbild von etwas - von einem Original, das selbst wieder ein Modell sein kann - ist. Die Abbildung wird durch eine Zuordnung zwischen den Attributen des Modells und denen des Originals realisiert. Mit dem Verkürzungsmerkmal wird die Tatsache bezeichnet, daß bei einer Modellerstellung immer nur dem Modellersteller relevant erscheinende Eigenschaften des Originals erfaßt werden. Nur in Kenntnis aller Attribute des Modells und der des Originals läßt sich die Verkürzung und die davon betroffenen Attribute überhaupt feststellen. Unter dem pragmatischen Merkmal von Modellen ist zu verstehen, daß Modell und Original einander nicht per se zugeordnet sind. Vielmehr wird die Zuordnung von Modell und Original durch die Fragen „Für wen?“, „Wann?“ und „Wozu?“ relativiert, da ein Modell immer von einem erkennenden oder modellbenutzenden Subjekt innerhalb gewisser Zeitspannen zu einem ganz bestimmten Zweck für ein Original eingesetzt wird.

## 2 Geometriemodelle

Derartige Modelle werden in der Produktionsplanung und -steuerung üblicherweise nicht benutzt. Über die Identifikation kann ein Verweis zu einer CAD-Beschreibung hergestellt werden (siehe z. B. [ABE90]).

## 3 Ortsmodelle

Da von vornherein kein Standort gegenüber einem anderen ausgezeichnet ist, wählt man zur Zerlegung in Standorte innerbetrieblich üblicherweise eine regelmäßige Unterteilung mittels eines Planungsrasters. Es entsteht eine endliche Anzahl von Rasterpunkten oder Rasterflächen, die sowohl die möglichen Standorte als auch die Längen- und Flächeneinheit definieren. Vor allem überbetrieblich wählt man beliebige Koordinatensysteme [DAN86]

## 4 Zeitmodelle

Die Zeit ist der Ablauf des Geschehens, die Aufeinanderfolge von Ereignissen (s. [WAH78])<sup>1</sup>. Wenn man die Aufeinanderfolge von Ereignissen in einem Fertigungssystem darstellen will, wenn man die zeitliche Distanz dieser Ereignisse zueinander und die Veränderung von Zuständen ausdrücken will, um sie als Planwerte vorgeben und überwachen zu können, dann benötigt

---

1. Zur Diskussion der Zeit s. insbesondere die Ausführungen in [RIE91].

man eine Vorstellung von der Zeit: Ein Zeitmodell ist erforderlich, um Ereignisse/Zustände als Teil eines Plans auffassen und sie der Realität vorgeben und überwachen zu können. Die Zeitbeschreibung wird hierzu zweckmäßigerweise in eine mathematische Form gebracht. Dies wird erreicht durch die Definition einer Zeitmenge, deren Elemente die Zeitpunkte („Termine“) darstellen (s. dazu [Pic75]):

Ein Tupel  $(T, \leq)$  nennt man eine Zeitmenge (einen Zeitstrahl, eine Zeitachse), wenn  $T$  eine Menge  $U$  bezeichnet und  $\leq$  eine vollständige Ordnungsrelation von  $T$  ist.

Eine solche Zeitmenge kann eingeschränkt werden: Es bezeichne  $(T, \leq)$  eine gegebene Zeitmenge. Für eine beliebige Menge  $U$  betrachtet man die von  $(T, \leq)$  induzierte Ordnungsstruktur  $(T', \leq')$ , die gegeben ist durch  $T' := T \cap U$  und  $\leq' \subset T' \times T': T' \leq' T'' \Leftrightarrow T' \leq T''$ .  $(T', \leq')$  wird als Einschränkung der Zeitmenge auf die Menge  $U$  bezeichnet.

Gegebenenfalls kann die Zeitmenge begrenzt werden. Es sei definiert:

$$T^T := \{T'' : T'' \in T \wedge T'' < T\}$$

$$T^T = (T^T, < T) \text{ Vergangenheit von } T$$

$$T_T := \{T'' : T'' \in T \wedge T < T''\}$$

$$T_T = (T_T, > T) \text{ Zukunft von } T$$

$$T_{T,T} := \{T'' : T'' \in T \wedge T \leq T'' < T'\}$$

$$T_{T,T} = \{T_{T,T}, \leq, T, T'\} \text{ Zeitintervall (Zeitraum) zum Startzeitpunkt } T \text{ und Endzeitpunkt } T'.$$

Bezeichnet  $\mathbf{R}$  die Menge der reellen Zahlen,  $[a, b]$  ein abgeschlossenes Intervall aus  $\mathbf{R}$  und  $\leq$  jeweils die übliche Ordnungsrelation in diesen Mengen, dann sind  $(\mathbf{R}, \leq)$  und  $([a, b], \leq)$  Zeitmengen. Die Zeitmenge  $\mathbf{R}$  und jede Einschränkung auf ein Intervall davon nennt man eine kontinuierliche Zeitmenge. Eine kontinuierliche Zeitmenge  $\mathbf{R}$  gibt die Wirklichkeit völlig exakt wieder und erlaubt eine beliebig genaue Einordnung eines Ereignisses<sup>1</sup> (exakte Justierung), da jeder Zeitabschnitt beliebig unterteilt werden kann. In der Produktionsplanung und -steuerung ist eine derart genaue Vorgabe in der Regel nicht gewünscht, weil dann die Planung eine nicht erreichbare Genauigkeit vorgaukelt. Bereits übergeordnete Ebenen würden in diesem Fall exakt planen, ohne einen Dispositionsspielraum vorzusehen, der durchaus notwendig ist, um bestehende Unsicherheiten aufzufangen und nicht planmäßig verlaufende Prozesse wieder zu justieren. Darüber hinaus sind in dem künstlichen System „Fabrik“ nicht beliebig viele Ereignisse zu beobachten. Man beschränkt daher die Zeitmenge auf ausgewählte Zeitpunkte, zieht die Ereignisse auf diese zusammen und erhält ein diskretes Zeitmodell (Zeitaster). Ereignisse, die in der Realität zu beliebig verteilten Zeitpunkten zwischen den ausgewählten Zeitpunkten des Zeitmodells stattfinden, können nur zu diesen Zeitpunkten geplant und verbucht werden. Ideal wäre es, die Zeitpunkte eines Zeitmodells auf Beginn und Ende von Arbeitsvorgängen zu legen. Dann müßte das Planungsergebnis, das ja erst erarbeitet

1. Damit wird angenommen, daß in der Welt unendlich viele Ereignisse geschehen und die Einordnung eines Ereignisses immer beliebig exakt erfolgen kann. Ansonsten wäre die Definition einer solchen Zeit sinnlos. Anwendung könnte ein solches kontinuierliches Zeitmodell z. B. in einer Raffinerie finden.

werden soll, a priori bekannt sein. Zwar ist dies z. B. bei getakteten Produktionseinrichtungen für die möglichen Outputereignisse der Fall, aber nicht die Regel. Deshalb muß – weil a priori nichts besseres bekannt ist – zumindest für die Vergleichbarkeit nach außen abschnittsweise eine äquidistante, regelmäßige Unterteilung möglich sein.

Es sei  $N$  die Menge der ganzen Zahlen einschließlich der Null und  $\leq$  wieder die übliche Ordnungsrelation, dann ist  $(N, \leq)$  und jede Einschränkung davon eine diskrete Zeitmenge. Der Abstand zwischen zwei aufeinander folgenden Zeitpunkten ist hier „1“; er definiert das nicht unterteilbare Maß des Abstandes zwischen zwei Ereignissen (Zeitdauer im diskreten Zeitmodell in Zeitabschnitten)<sup>1</sup>. Als Einheit ist jede beliebige Vereinbarung wie Tage, Stunden, Sekunden, Takte, Geburtstage usw. denkbar. Innerhalb einer Zeitmenge  $U$ ,  $U \subset N$  kann in keinem Fall bei der Planung ein feinerer Zeitabschnitt generiert werden – sonst war dieser a priori vorhanden. Wenn man sagt: „Nach 1,5 Stunden Bearbeitungszeit am 27.11. ist das Teil X fertig“, heißt das bei einem diskreten Zeitmodell mit dem Zeitabschnitt „Tag“ nicht „1,5 Stunden nach Beginn 27.11.“, auch wenn man am 27.11. so weiter macht, wie man am 26.11. aufgehört hat. Man kontrolliert z. B. erst am 27.11. abends. Werden die 1,5 Stunden z. B. als 8.30 Uhr interpretiert, war a priori ein feinerer Zeitabschnitt als „Tag“ vorhanden. Die 1,5 Stunden Bearbeitungszeit sind somit nur ein Anteil an der am 27.11. verfügbaren „Kapazität“ von z. B. 8 Stunden.

Der Kalender ist das einem Material/Betriebsmittel, einem Arbeitsvorgang, einer Klasse oder einem Knoten zugeordnete Zeitmodell, das die jeweilige dispositive/operative Existenz bestimmt. Nur innerhalb ihres Kalenders sind Produktionsfaktoren, Arbeitsvorgang bzw. Klasse definiert; nur innerhalb des durch den Kalender definierten Bereichs kann ein Input-/Output-Strom stattfinden. Außerhalb des Kalenders ist keine Aussage möglich.

Basis eines jeden Kalenders ist entweder  $R$  bzw.  $N$  oder die für ein Modell gültige Menge  $U$ , auf die alles referenziert wird (z. B. „Gregorianischer Kalender“ oder „Fabrikkalender“).

Der Planungshorizont stellt den Ausschnitt aus einem Kalender dar, der in einem Planungslauf gefüllt bzw. aktualisiert wird (Reichweite der Planung; Planungszeitraum).

Der Planungszyklus definiert die Zeitpunkte eines Kalenders, zu denen (in der Regel periodisch wiederholt) eine Neuplanung oder Aktualisierung einer Planung vorgenommen wird (auch Planungsperiode, -intervall).

Analog zur Planung kann ein Zeitpunkt für die Rückmeldung und dazu ein bestimmter Rückmeldezeitraum vereinbart werden.

Der Stichtag ist der Zeitpunkt, dem bei einem Planungslauf die aktuellen Zeitwerte zugeordnet werden (in der Regel der „Heute-Termin“).

Bild 2 zeigt den Zusammenhang von Ereignissen der realen Welt („Zur Schule gehen“), dem physikalischen Prozeß, der der Umwelt zur Zuordnung dieser Ereignisse zu allgemein zugänglichen und (überall) einheitlichen Ereignissen dient und einem Kalender, der sich auf diesen

1. Damit können in einem Zeitmodell alle Zeitpunkte miteinander verglichen oder zueinander ins Verhältnis gesetzt werden, ohne daß sich der Bezugsmaßstab ändern würde.

physikalischen Prozeß abstützt.

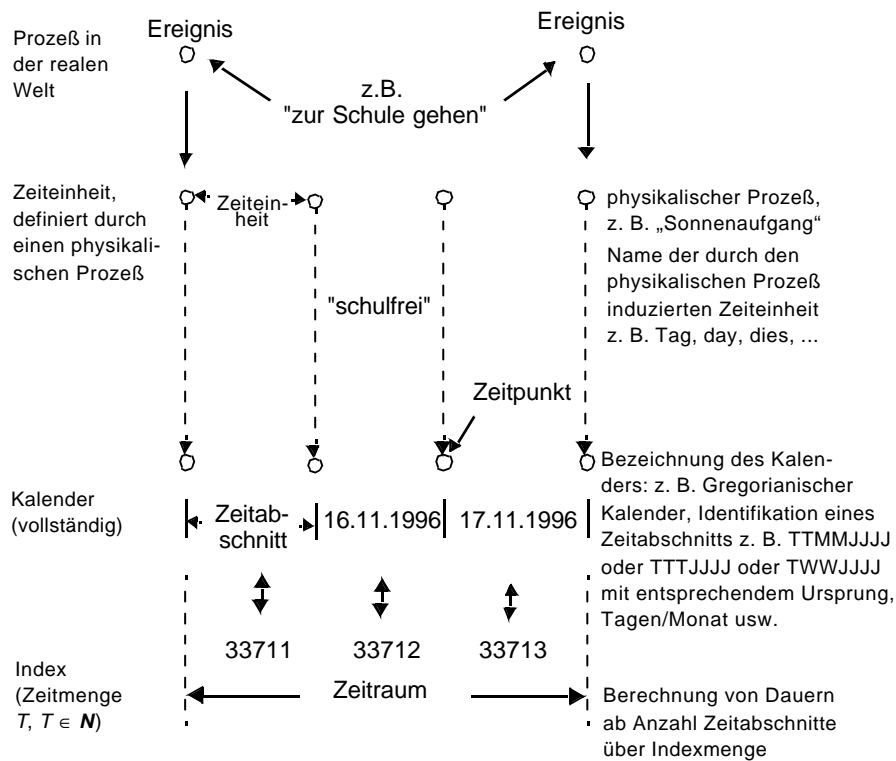


Bild 2: Ereignisse, physikalischer Prozeß und Kalender

In Bild 2 wird von einer 1 : 1-Zuordnung von Zeiteinheit und Zeitabschnitt des Kalenders ausgegangen. Außerdem ist der Kalender vollständig in dem Sinne, daß jedem Ereignis des physikalischen Prozesses auch ein Zeitabschnitt zugeordnet wird. Bild 3 zeigt ein Beispiel, bei dem zwischen Zeiteinheit, Zeitabschnitt und den Ereignissen des physikalischen Prozesses keine 1 : 1-Zuordnung mehr besteht.

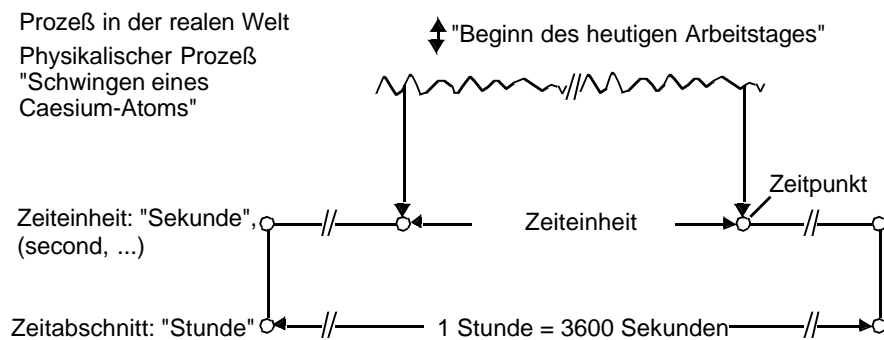


Bild 3: Physikalischer Prozeß, Zeiteinheit und Zeitabschnitt

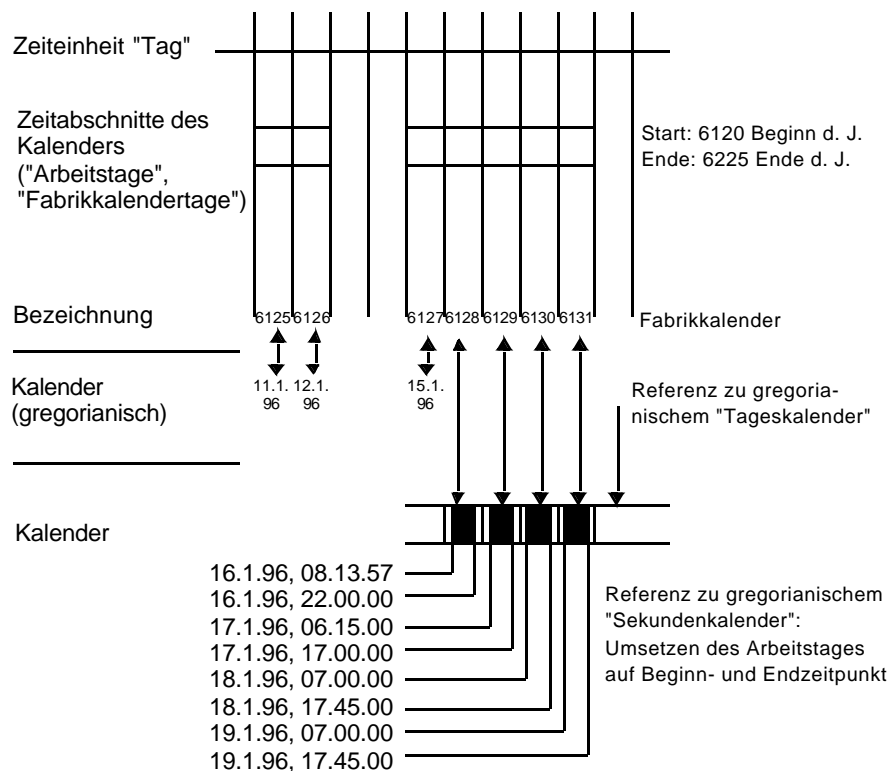


Bild 4: Zuordnung von Zeitabschnitten bei nicht vollständigen Kalendern

Um eine Vergleichbarkeit unterschiedlicher Kalender herzustellen, wird als Referenzbasis immer  $R_+$  oder eine Menge  $N$  (sinnvollerweise  $\subset N$ ) definiert, auf die dann alle anderen Kalender referenzieren. Eine quasi-kontinuierliche Zeitmenge, wie z. B. der Gregorianische Kalender, ist als Referenzbasis am besten geeignet, da hier prinzipiell kein Kalender Zeitpunkt ansprechen kann, die im Gregorianischen Kalender nicht plaziert werden könnten. Die Identifikation der Zeitpunkte und -abschnitte erfolgt über entsprechende Benennungen oder Indizes (z. B. Gregorianischer Kalender, Werkskalender).

Wenn Ereignisse im Verhältnis zur Anzahl der definierten Zeitabschnitte vergleichsweise selten auftreten, dann läßt sich der Zeitpunkt der Ereignisse explizit mit Terminen modellieren<sup>1</sup> (Teil A wechselt von Zustand A in Zustand B am 11.11.1911).

Wenn dagegen im Verhältnis zur Anzahl definierter Zeitabschnitte Ereignisse häufig auftreten, dann bietet sich ein Zeitlistenmodell an, in dem ein Zeitpunkt über Abzählen bzw. Zuordnen zu einem Referenz-Kalender ermittelt wird (s. z. B. [KKR73]).

1. Die Zeitangabe „11.11.1911“ ist dabei ein Zeitpunkt! Man kann sich darauf einigen, als 11.11.1911 alles von 11.11.1911, 00.00 Uhr bis 11.11.1911, 23.59 Uhr zu verstehen, aber man muß dann definieren, wo hier die Werte des Tagesrasters verbucht werden sollen: 11.11.1911, 00.00 Uhr oder 12.11.1911, 00.00 Uhr (Anfang Zeitabschnitt/Ende Zeitabschnitt), andere Chancen bestehen nicht (s. FE-Klasse).

Teil A / von Zustand A

→ nach Zustand B / Stichtag 11.11.1995

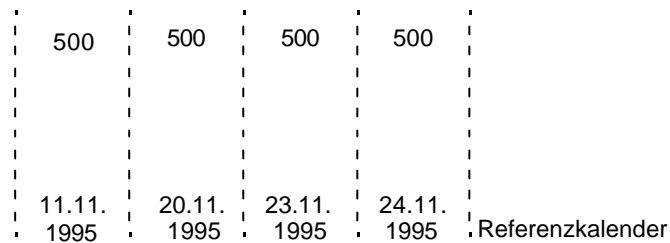


Bild 5: Zeitlistenmodell – Beispiel

Unterschiedlich detaillierende Planungsebenen werden unterschiedlich detaillierte Kalender vorsehen. Üblicherweise sind diese Kalender in einer Planungshierarchie hierarchisch aufeinander aufgebaut. Innerhalb einer Ebene wird üblicherweise in fernerer Zukunft mit größerem Zeitraster gearbeitet. Die Grenze für die Planung in der Zukunft stellt dabei der Planungshorizont dar. Gegebenenfalls werden die Kalender von Planungszyklus zu Planungszyklus zeitlich fortgeschrieben.

## 5 Modelle zur Darstellung von Produktionsteilaufgaben und deren Abfolgen

Heute übliche Modelle zur Darstellung des Produktionsablaufs sind ergebnisorientiert: Arbeitsplan, Erzeugnisstruktur (Darstellung z. B. als entity-relationship-Diagramme) und Netzplan sind Graphen mit nur einer Elementklasse. Die heute immer mehr Verbreitung findenden Stellen-Transitionsnetze sind bipartite Graphen. Eine für die Produktion geeignete Form eines solchen Graphen zeigt Bild 6.

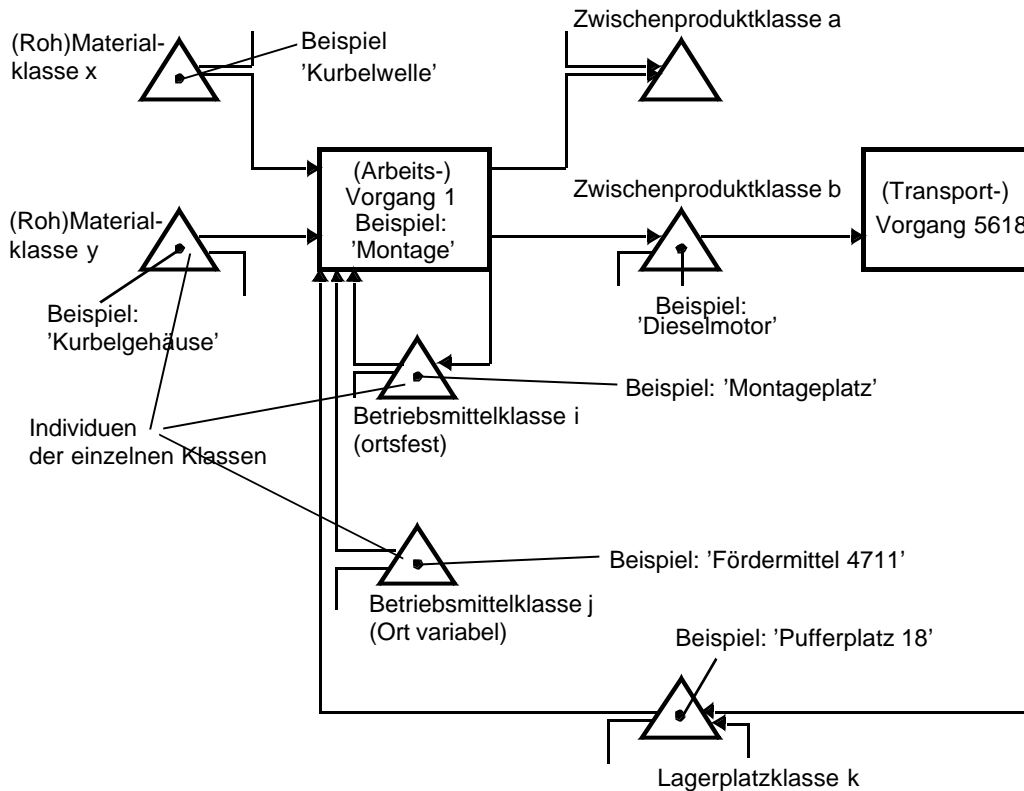


Bild 6: Zuordnung von Materialien, Betriebsmitteln und Vorgängen in einem Produktionsnetzwerk

Eine detaillierte Aufstellung von Ablaufmodellen siehe z. B. [FAH95].

- **Erzeugnisgliederung**

Die Erzeugnisgliederung veranschaulicht die Zusammensetzung eines Erzeugnisses aus Gruppen, Teilen und ggf. Rohstoffen (F-Elementklassen). Die Erzeugnisgliederung stellt somit vor allem den Zusammenhang der FE-Klassen (Baugruppen, Teile und) Material, nicht aber die FV-Klassen und die Fertigungsmittel dar.

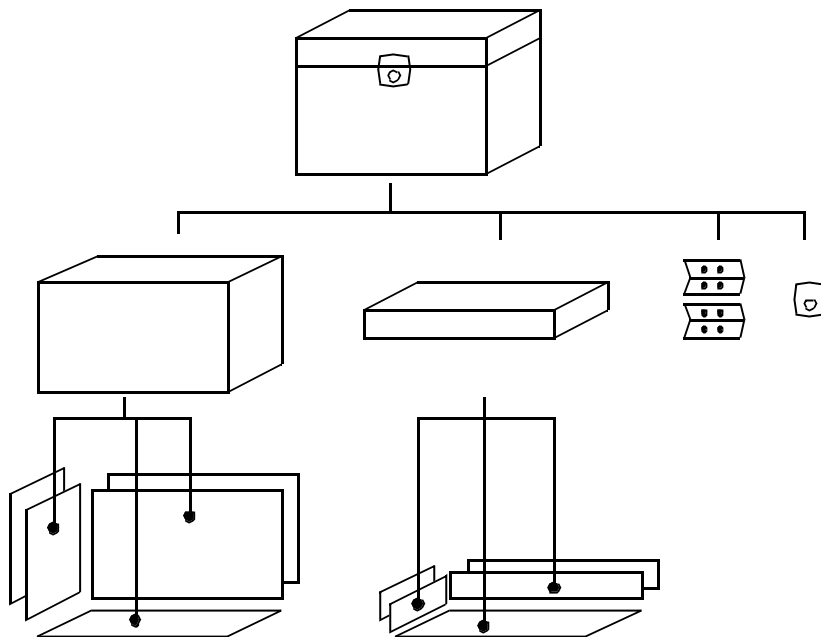


Bild 7: Beispiel einer Erzeugnisgliederung

Im folgenden sind die im Zusammenhang mit der Erzeugnisgliederung verwendeten Begriffe definiert:

Erzeugnisse sind in sich geschlossene, aus einer Anzahl von Gruppen und/oder Teilen bestehende funktionsfähige Gegenstände (z. B. Maschinen, Geräte) als Fertigungs-Endergebnisse (DIN 6789).

Gruppen sind in sich geschlossene, aus zwei oder mehr Teilen und/oder Gruppen niederer Ordnung bestehende Gegenstände (DIN 6789).

Teile sind Gegenstände, die nicht zerlegbar sind (DIN 6789).

Material ist der Sammelbegriff für Rohstoffe, Werkstoffe, Halbzeuge, Hilfsstoffe, Betriebsstoffe, Teile und Gruppen, die zur Fertigung eines Erzeugnisses erforderlich sind (DIN 2815).

Der Rohstoff ist das Ausgangsmaterial, aus dem ein Teil (Ersatzteil) erstellt wird.

Wiederholteile sind Teile, die in verschiedenen Gruppen eines Erzeugnisses und/oder in verschiedenen Erzeugnissen wiederkehren (DIN 6789).

Varianten eines Erzeugnisses, einer Gruppe oder eines Teils sind die Veränderungen der Grundauführung, die durch Weglassen oder Hinzufügen von Einzelteilen hinsichtlich Gestalt, Beschaffenheit und Eigenschaften entstehen.

**- Gesichtspunkte für die Ordnung von Erzeugnisgliederungen**

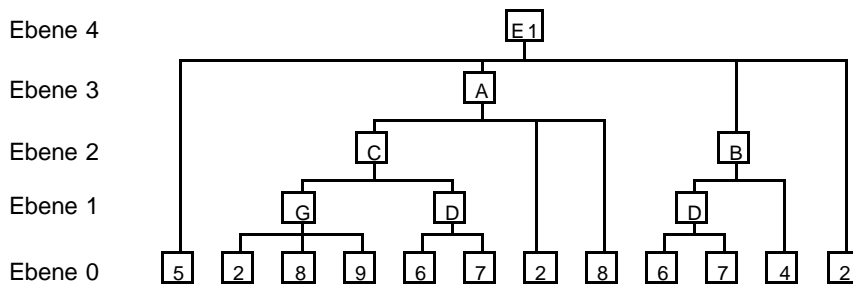
Üblicherweise wird die Erzeugnisstruktur entsprechend der geplanten Anwendung geordnet (Topologische Ordnung; s. z. B. [DMü73]).

Die Ordnung nach Dispositionsebenen/Bedarfsermittlungsebenen ordnet Teile und Gruppen derjenigen Ebene zu, in der sie ausgehend von der Rohmaterialebene zum erstenmal verwendet werden.

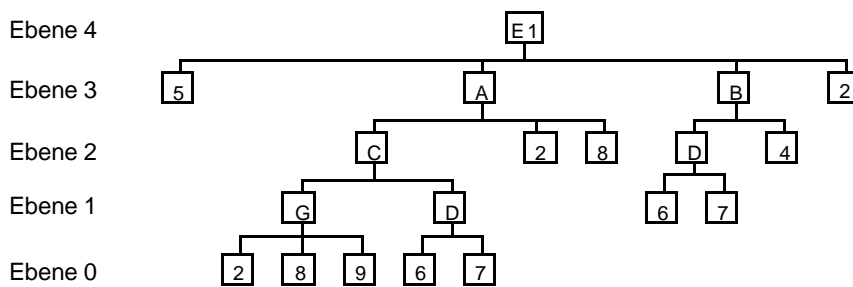
Die Ordnung nach Fertigungsebenen/-stufen kennzeichnet den fertigungstechnischen Ablauf der Einzelteilerfertigung, Gruppen- und Endmontage.

Die Ordnung nach Funktionsebenen/Auflösungsebenen stellt alle Teile und alle Rohstoffe auf jeweils eine Auflösungsebene. Sie kennzeichnet die zur Erstellung einer Baugruppe notwendigen Montageschritte (DIN 6789).

**Gliederung nach Funktionsebenen**



**Gliederung nach Fertigungsebene**



**Gliederung nach Bedarfsermittlungsebene**

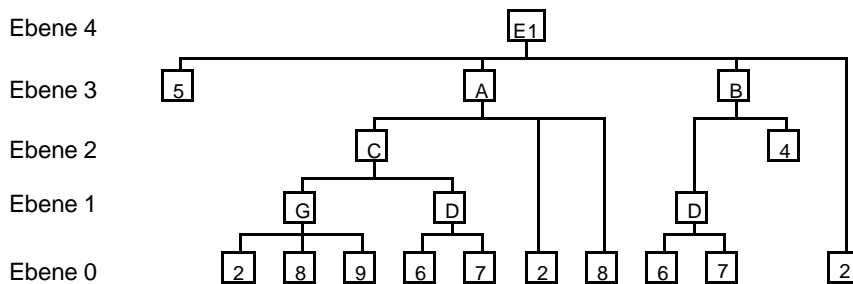


Bild 8: Ordnungsgesichtspunkte für Erzeugnisgliederungen

Dispositionsebenen werden zur Planung einer gemeinsamen Herstellung für alle Verwendungen, Fertigungsebenen für die verwendungsgerechte Bereitstellung verwendet. Die Auflösungsebene zeigt den Fortschritt im Montageprozeß.

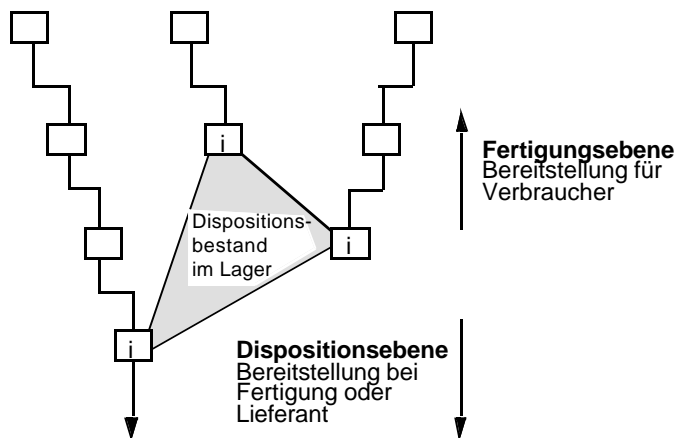


Bild 9: Fertigungs- und Dispositionsebene

#### - Stückliste/Teilverwendungsnachweis

Die Stückliste gibt – ausgehend vom Erzeugnis oder einer Baugruppe – in einer analytischen Sortierfolge an, welche Gruppen und Einzelteile mit welcher Anzahl enthalten sind. Beim Teilverwendungsnachweis verläuft die Sortierfolge in umgekehrter Richtung, also synthetisch von unten nach oben. Er gibt an, in welchen Baugruppen ein Einzelteil enthalten ist. Vor allem bei der Mehrfachverwendung von Teilen und Baugruppen ist er eine notwendige Unterlage für den Änderungsdienst.

+ Darstellungsformen

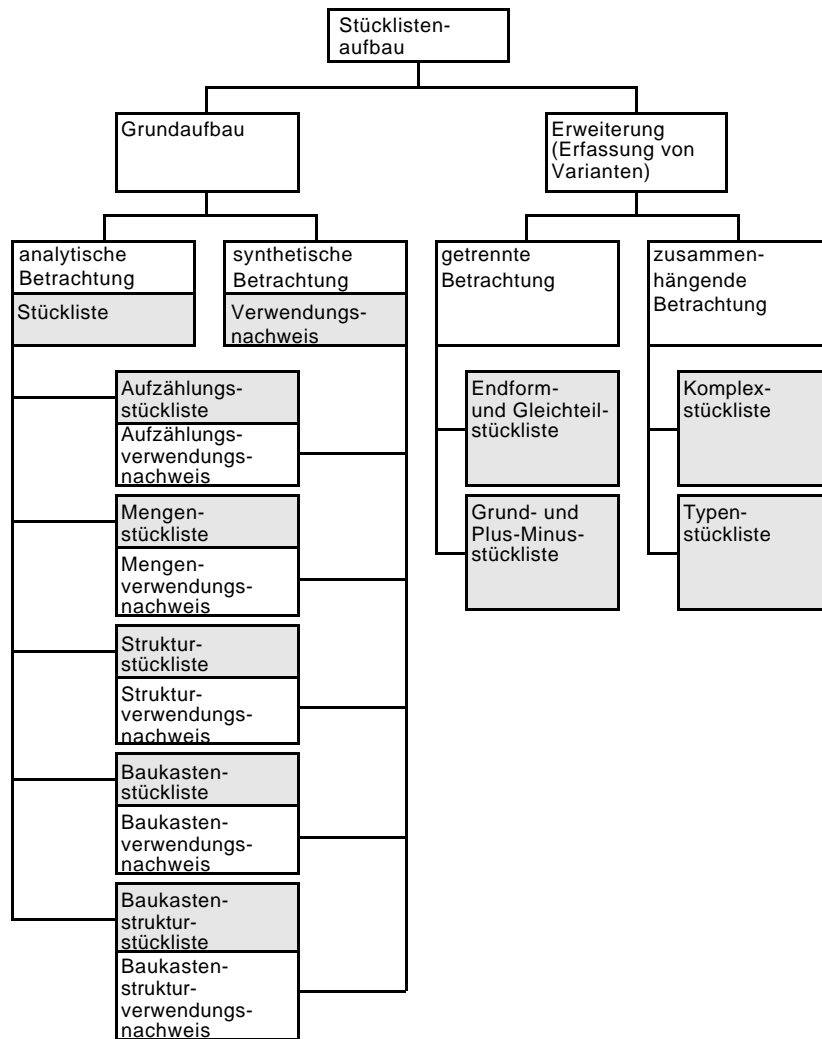


Bild 10: Unterteilung der Stücklisten nach ihrem Aufbau (s. [REF75])

Die Struktur des Erzeugnisses wird in der Stückliste bzw. im Teileverwendungsnachweis in unterschiedlichen Formen dargestellt. Sie erläutert ein gemeinsames Beispiel, dessen Struktur Bild 11 zeigt:

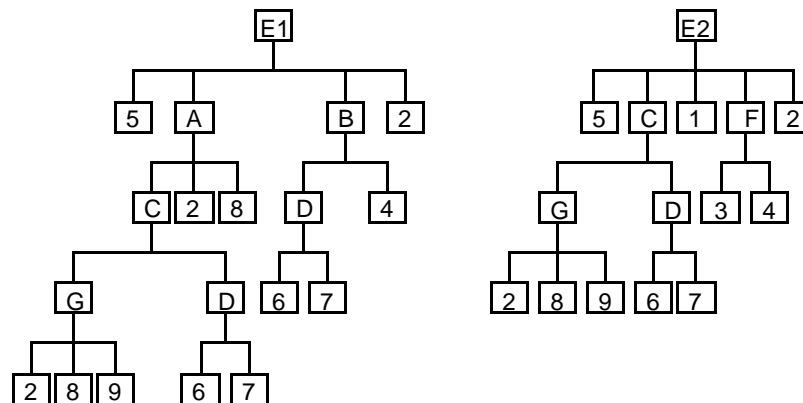


Bild 11: Erzeugnisbeispiele

++ Mengen(-übersicht)

Die Mengen(-übersichts)-Stückliste ist die einfachste Form eines Stücklistenaufbaus (Bild 12). Sie gibt keinerlei Hinweise auf die Erzeugnisstruktur und stellt lediglich ein Verzeichnis der vorkommenden Einzelteile mit ihren Mengenangaben dar. Jedes F-Element erscheint auch bei mehrfachem Vorkommen im Erzeugnis nur einmal in der Stückliste. Für die Kalkulation ist die Mengen(-übersichts)-Stückliste gut geeignet, da aus ihr direkt der Teilebedarf pro Erzeugnis abzulesen ist.

Der Übersichts-Teileverwendungsnachweis gibt alle direkten und indirekten Verwendungen einer Baugruppe, eines Teiles oder eines Materials in allen übergeordneten Baugruppen bis hin zum Erzeugnis an. Er eignet sich deshalb besonders für die Materialdisposition, aber auch für die Kostenrechnung. Beschaffungsschwierigkeiten können in ihren Auswirkungen auf bestimmte Erzeugnisse untersucht werden, veränderte Kosten, wie Lohnerhöhungen oder Materialpreis- steigerungen, ihren Einfluß auf die Kalkulation sofort zeigen.

Erzeugnis E1 besteht aus	
Teil-Nr.	Menge
2	10
4	4
5	2
6	18
7	6
8	6
9	4

Erzeugnis E2 besteht aus	
Teil-Nr.	Menge
1	2
2	10
3	4
4	4
5	2
6	18
7	2
8	6
9	4

Bild 12: Mengen(-übersichts)-Stückliste

++Struktur

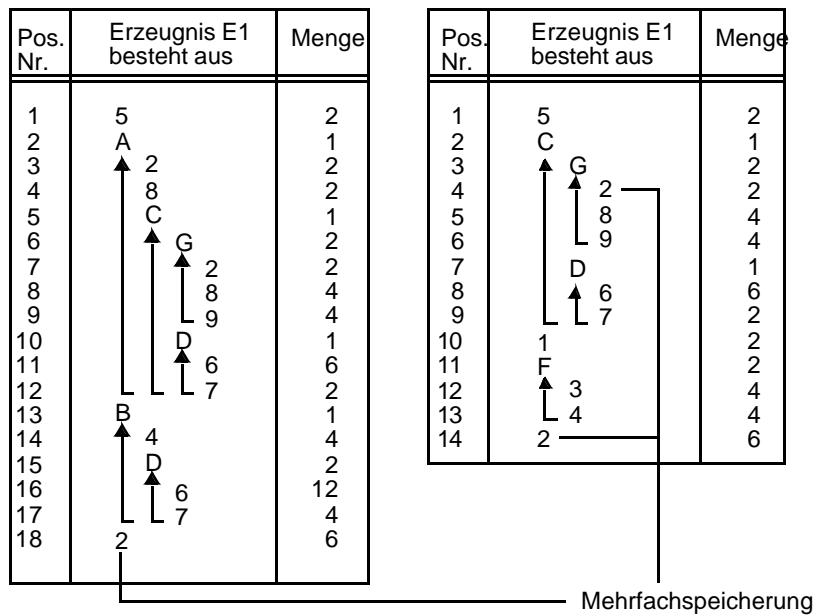


Bild 13: Struktur-Stückliste

Die Struktur-Stückliste (Bild 13) gibt in fortlaufender Folge die gesamte Fertigungsstruktur eines Erzeugnisses mit allen Baugruppen und Einzelteilen an. Die angegebenen Mengen beziehen sich auf ein Stück des im Stücklistenkopf bezeichneten Erzeugnisses. Wenn die Struktur-Stückliste nicht zu umfangreich ist, zeigt sie übersichtlich die Zusammensetzung eines Erzeugnisses. Bei mehrfacher Verwendung von Wiederholteilen und Baugruppen erscheinen diese auch mehrfach in der Stückliste. Damit ist die Strukturstückliste ein nach Fertigungsebenen sortierter Baum (vgl. [DMÜ73]). Dies erfordert einen höheren Aufwand für den Änderungsdienst und die Ermittlung des Nettobedarfs. Bei der Verarbeitung mit EDV-Anlagen wird für jedes Erzeugnis eine Stückliste gespeichert. Bei häufiger Wiederholteilverwendung erhöht sich der Speicheraufwand wegen der mehrfachen Speicherung der betreffenden Teile.

Der Struktur-Teilverwendungsnachweis gibt an, in welchen Untergruppen, Gruppen und Enderzeugnissen ein Teil enthalten ist. Im Gegensatz zur Struktur-Stückliste ist hier das Teil der maßgebliche Begriff. Bei komplexen technischen Änderungen leistet der Struktur-Teilverwendungsnachweis wertvolle Hilfe.

++Baukasten

Die wiederholte Ausführung der Gruppen und Einzelteile über mehrere Strukturstufen kann mit der Baukasten-Stückliste vermieden werden. Sie enthält je Baugruppe nur die Gruppen und Einzelteile, die unmittelbar in die im Stücklistenkopf angegebene Baugruppe eingehen (Bild 14). Die Baukasten-Stückliste kann nach Dispositions- oder Auflösungsebenen sortiert werden.

Erz. E1 best. aus	Menge	Erz. E2 best. aus	Menge
B	1	C	1
A	1	F	2
2	6	1	2
5	2	2	6
		5	2

Gr. B best. aus	Menge	Gr. C best. aus	Menge	Gr. D best. aus	Menge
D	2	D	1	6	6
4	4	G	2	7	2

Gr. E best. aus	Menge	Gr. F best. aus	Menge	Gr. G best. aus	Menge
C	1	3	2	2	1
2	2	4	2	8	2
8	2			9	2

Bild 14: Baukasten-Stückliste

Die Mengenangaben beziehen sich nur auf die im Stücklistenkopf bezeichnete Gruppe, nicht aber auf das Enderzeugnis. Je Baugruppe gibt es nur eine Stückliste, womit der Speicheraufwand, vor allem bei Wiederholteilverwendung, auf ein Mindestmaß verringert wird. Entsprechend gering ist der Aufwand bei Änderungen.

Ein Nachteil der Baukastenform ist die größere Anzahl der Stücklisten und die fehlende Übersicht über die Struktur des Erzeugnisses. Es können jedoch aus den Baukasten-Stücklisten alle anderen Stücklistenformen hergeleitet werden. Die Baukasten-Stückliste bzw. diese Art der Stücklisten-Organisation führt zum Gozintographen, einem Graphen, der alle Teile, Baugruppen usw. genau einmal enthält und alle Verwendungen aufzeigt. Entsprechende Mehrfachverwendungen vorausgesetzt, ist der Gozintograph eines Unternehmens ein einziger zusammenhängender gerichteter Graph.

Erz. 01 best. aus	Menge	Erz. 02 best. aus	Menge
5	2	5	2
A	1	C	1
↑ 2	2	1	2
↑ B	2	F	2
↑ C	1	↑ 4	4
B	1	↑ 3	4
2	6	2	6

Bild 15: Baukasten-Struktur-Stückliste

Der Gozintograph wird durch die Menge  $K$  seiner Knoten und die Menge  $B$  der Kanten zwischen diesen Knoten definiert:  $G: = \{K, B\}$ ;  $K: = \{k_1; k_2, \dots, k_m\}$ ;  $B: = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ . Ein nach Dispositionsebenen sortierter Gozintograph ist zum Erzeugnis sortiert, sozusagen „erzeugnisbündig“, ein nach Funktionsebenen sortierter Gozintograph dagegen „rohmaterialbündig“.

Der Teileverwendungsnachweis in Baukastenform enthält nur die direkten Verwendungen eines Teiles in den nächsten übergeordneten Baugruppen. Er zeigt sofort die Auswirkungen auf die nächsthöhere Baugruppe bei technischen Änderungen, Beschaffungsschwierigkeiten oder Preisänderungen.

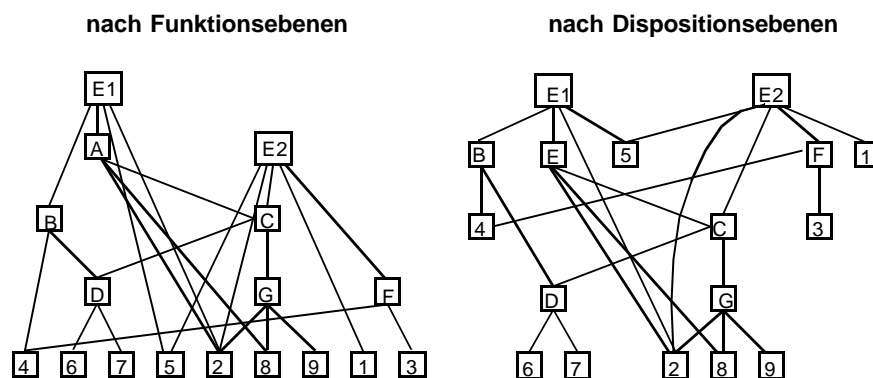


Bild 16: Gozintograph der Erzeugnisse aus Bild 10

#### + Varianten-Stückliste

Besondere Probleme bereitet die Berücksichtigung von Varianten. Sie können auf jeder Strukturstufe auftreten. Ein eigener Stücklistensatz für jede Variante ist nicht sinnvoll, wenn dadurch Änderungsdienst und Disposition erschwert werden und ein hoher Speicheraufwand erforderlich wird. Man verwendet daher Varianten-Stücklisten in den Formen:

- Varianten-Stückliste mit Gleichteilesatz
- Plus-Minus-Stücklisten
- Varianten-Stückliste mit mehreren Mengenfeldern.

Die Varianten-Stückliste mit Gleichteilesatz besitzt neben einer Stückliste mit den allen Varianten gemeinsamen Baugruppen und Teilen, dem Gleichteilesatz, weitere Stücklisten mit den Variantenteilen (Bild 17), in denen auf die betreffende Baugruppe im Gleichteilesatz hingewiesen wird. Eine Gleichteilestückliste bietet sich z. B. bei einer Montage an, die in einer ersten Montagestufe kundenunabhängige Rumpferzeugnisse (z. B. „Rumpfmotoren“) erstellt.

Bei der Plus-Minus-Stückliste werden die Varianten durch die Angabe von Entfall- und Zusatzteilen gebildet. Die Teile sind der Basisvariante in der Grundstückliste (oder Standard-Stückliste) aufgelistet. Im Prinzip stellt hier jede Variante einen Umbau der Basisvariante dar. Die Einführung neuer Varianten ist mit dieser Darstellungsform besonders problemlos.

Die Varianten-Stückliste mit mehrere Mengenfeldern oder Typen-Stückliste hat für jede Variante eine eigene Mengenspalte. Die Variante wird durch die Mengenangabe in der ihr zugewiesenen Spalte gekennzeichnet. So lassen sich auch Farbvarianten darstellen. Bild 18 zeigt eine „offene“ Varianten-Stückliste, bei der die einzelnen Ausprägungen von Entscheidungen an anderen Stellen in der Erzeugnisstruktur abhängen (s. [SAP95]).

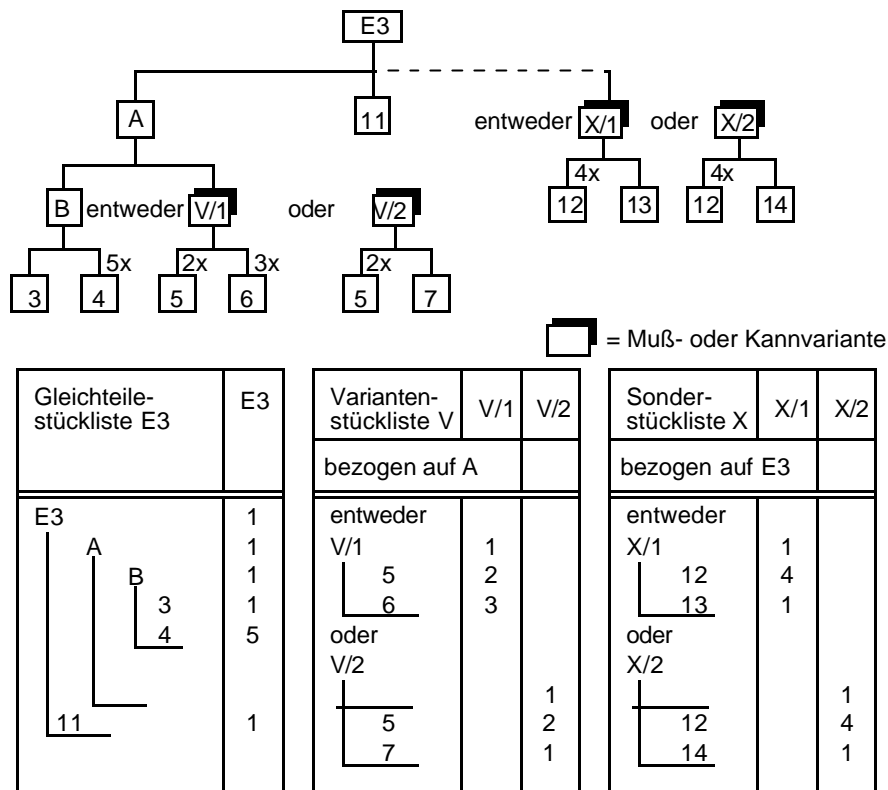


Bild 17: Varianten-Stückliste mit Gleichteilesatz

Die aufgeführten Stücklistenformen besitzen alle organisatorische und verarbeitungsspezifische Besonderheiten. Maschinelle Verarbeitung und Verwendungszweck können eine bestimmte Art der Darstellungsform erfordern. Die Gleichteile-Stückliste wird insbesondere dann eingesetzt, wenn auch so gefertigt wird. Dies ist z. B. bei der Montage von Rumpfmotoren, die kundenspezifisch komplettiert werden, der Fall. Die Plus-Minus-Stückliste unterstützt besonders eine Fertigung, die komplette Erzeugnisse nach Kundenwünschen ändert. Lediglich die Variantenstückliste mit mehreren Mengenfeldern unterstützt eine Fertigung, bei der von vornherein Varianten in ihrer Endform entstehen.

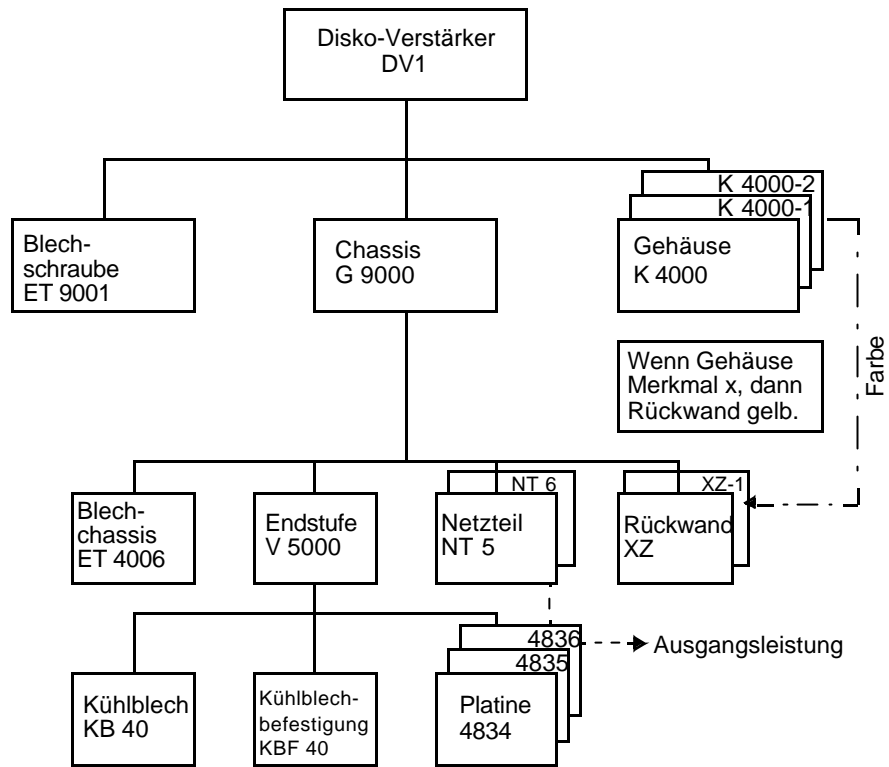


Bild 18: Offene Varianten

• **Arbeitsplan**

Ein Arbeitsplan zeigt für die Erstellung eines F-Elements, das als eine einzelne Fertigungsstufe in einer Stückliste beschrieben wird, die Zuordnung zu den einzelnen Fertigungsmitteln ((Arbeits-)Vorgänge) und deren Reihenfolge. Damit zeigt ein Arbeitsplan im wesentlichen nur die Arbeitsvorgänge. Angegebene Input-/Outputobjekte sind nur das Ausgangsmaterial und das Fertigteil des gesamten Arbeitsplans. In der Teilefertigung ist der Arbeitsplan häufig eine lineare Sequenz von (Arbeits-)Vorgängen. In der Regel erfolgt die Zuordnung lediglich zu einem Fertigungsmittel (s. Bild 19). Gegebenenfalls werden Alternativ-Fertigungsmittel und Alternativ-Arbeitspläne angegeben.

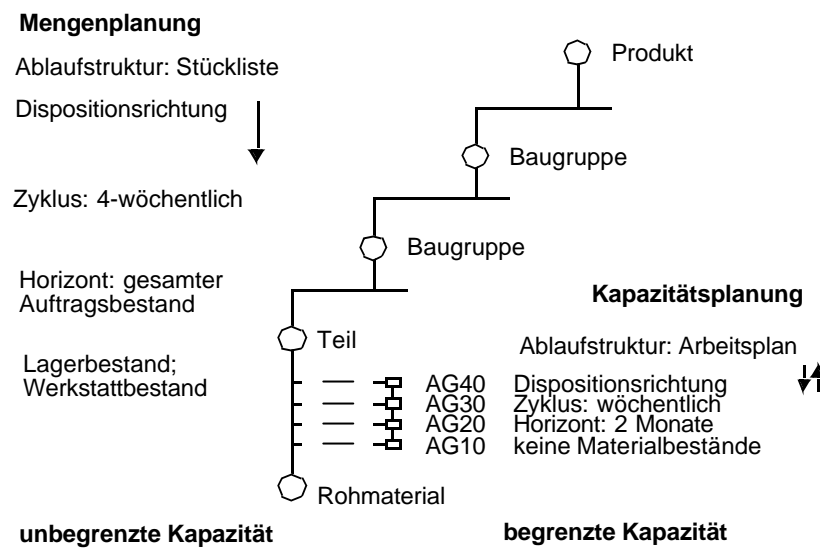


Bild 19: Erweiterung der Stückliste/Erzeugnisstruktur um Arbeitspläne

Im Arbeitsplan ist die Vorgangsfolge zur Fertigung eines Teils, einer Gruppe oder eines Erzeugnisses beschrieben. Dabei sind mindestens das verwendete Material sowie für jeden Arbeitsvorgang der Arbeitsplatz, die Fertigungsmittel, die Vorgabezeiten und ggf. die Lohngruppe angegeben.

Ein (Arbeits-)Vorgang ist ein zeiterforderndes Geschehen. Seine Durchführung erfordert im allgemeinen die Bereitstellung von Fertigungsmitteln und verursacht dadurch Kosten.

• **Netzplan**

Ein Netzplan ist eine mit Anfangs- und Endterminen bewertete Ablaufstruktur. Als Ablaufstruktur wird hier ein Graph  $G$  verwendet, der durch die Menge  $E$  seiner Elemente (Knoten) und die Menge  $B$  der Beziehungen (Kanten) zwischen diesen Elementen definiert ist. Allgemein gilt  $G: = \{E, B\}$ ;  $E: = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ ;  $B: = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ .

Wenn  $E$  und  $B$  endliche Mengen sind, spricht man von einem endlichen Graphen. Da die einzelnen Beziehungen mit einer Richtungsangabe und ggf. mit einer Zahlenangabe bewertet werden, hat man einen gerichteten und bewerteten Graphen vorliegen. Dieser Graph kann wieder topologisch geordnet werden.

Bei Vorgangspfeiltechnik ist der Arbeitsvorgang den Kanten, bei Vorgangsknotentechnik den Knoten zugeordnet. Ereignisknotentechnik ordnet den Knoten Ereignisklassen zu, die aber nur einmal instanziiert werden.

Ein Netzplan zeigt vor allem die Folge der einzelnen Arbeitsvorgänge und deren terminliche Lage im Gesamtablauf auf. Material- und Fertigungsmitelesatz stehen nicht im Vordergrund.

• **Petri-Netze**

Petri-Netze charakterisieren Prozesse durch die möglichen Zustände und Ereignisse in einer Ablaufstruktur (Ereignisse → aktive Prozesselemente; Voraussetzung: Gültigkeit bestimmter Prozeßzustände; Ergebnis: Veränderung bestimmter Prozeßzustände). Die Beschreibung des Prozeßablaufs erfolgt über nacheinander eingenommene Prozeßzustände (s. z. B. [LES87]). Bild 20 zeigt ein Beispiel für die Darstellung als Petri-Netz.

Ein allgemein markiertes Petri-Netz PN ist definiert  $PN: = \{P, A, F, V, K, M, m_0\}$

- $P: = \{p\}$  Menge der Plätze bzw. Stellen (Systemzustand, Systembedingungen)
- $A: = \{a\}$  Menge der Transitionen;  $A \cap P = \emptyset$
- $F: (P \times A \times P) \rightarrow \{0, 1\}$  Flußrelation
- $V: F \rightarrow N$  Kantenbewertung
- $K: P \rightarrow N$  Platzkapazität
- $M: P \rightarrow N$  Menge der zulässigen Platzmarkierungen
- $m_0 \in M$  Anfangsmarkierung

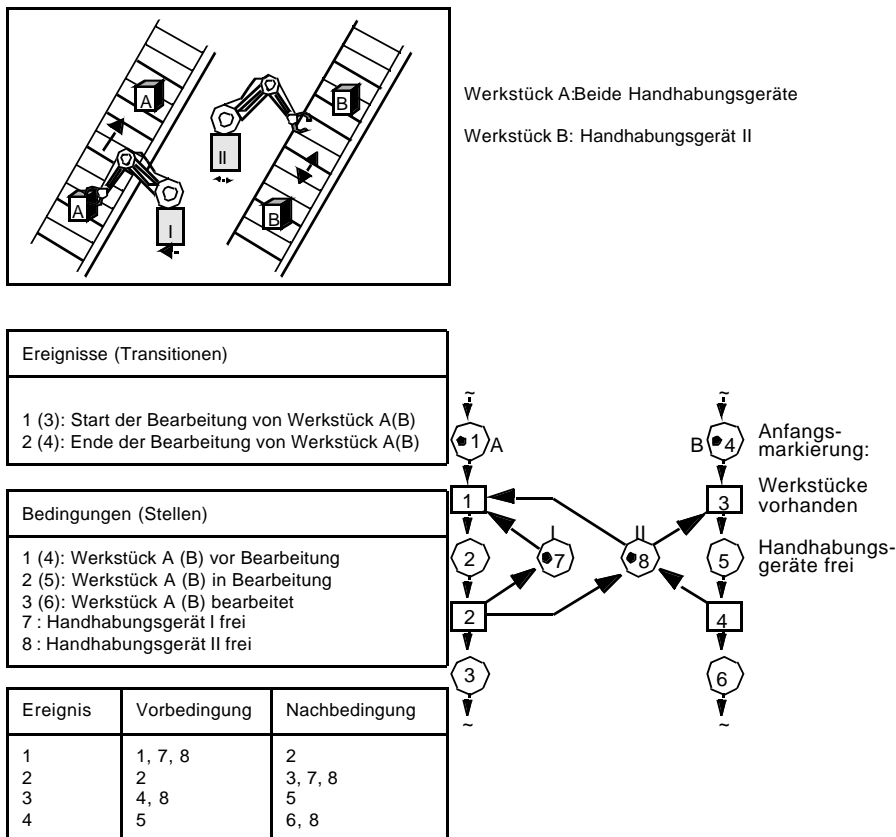


Bild 20: Beispiel für ein Petri-Netz

Die Ablaufstruktur des Petri-Netzes kann topologisch geordnet werden. Eine Markierung  $m \in \mathbf{M}$  eines Petri-Netzes ist eine Abbildung  $m: \mathbf{P} \rightarrow \mathbf{N}$ , die jedem Platz eine Anzahl  $n \geq 0$  Marken zugeordnet und den augenblicklichen Prozeßzustand kennzeichnet. Die maximale Anzahl von Marken in einem Platz wird durch die Platzkapazität ( $k$ ) festgelegt.

Eine Transition ist im allgemeinen schalt- oder arbeitsfähig, wenn gilt:

- Die Eingangsplätze enthalten jeweils so viele Marken, wie die Vielfachheit der sie verbindenden Kanten angibt.
- Die Ausgangsplätze können die anfallenden Marken bei Einhalten der Platzkapazitäten aufnehmen.

Über die ständige Veränderung der Markierung beim Schalten der Transitionen wird die ergebnisabhängige Abarbeitung der jeweiligen Aktionen gesteuert.

Im allgemeinen Fall ändert eine Transition  $a$  eine Markierung  $m$  in eine neue Markierung  $m'$  gemäß

$$p \in \mathbf{P} : m'(p) = \begin{cases} m(p) - V(p, a), & \text{wenn } (p, a) \in (\mathbf{P} \times \mathbf{A}) \\ m(p) + V(a, p), & \text{wenn } (a, p) \in (\mathbf{A} \times \mathbf{P}) \\ m(p), & \text{sonst} \end{cases}$$

Eine Modifikation der Schaltregeln für bestimmte Kantentypen zeigt Bild 21.

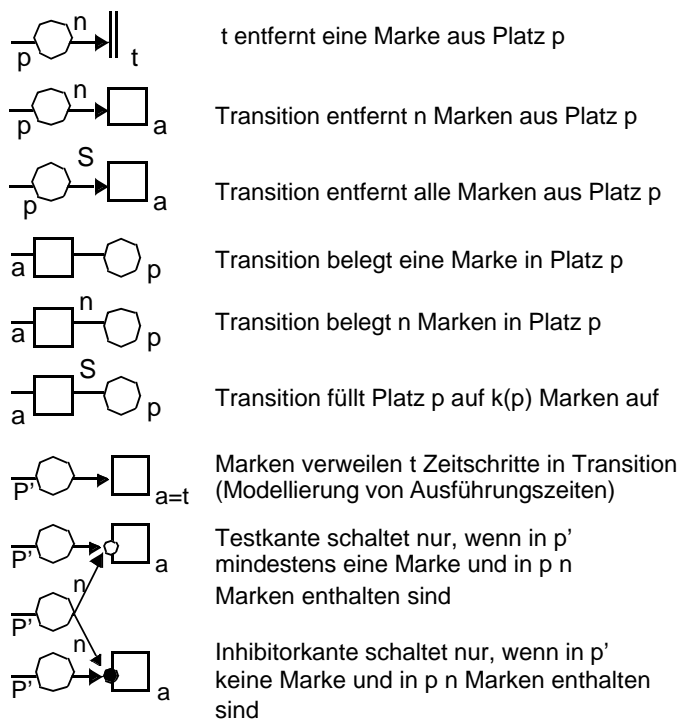


Bild 21: Spezielle Schaltregeln

Ein gefärbtes Petri-Netz PNC stellt eine Abbildung mehrerer allgemeiner Petri-Netze mit unterschiedlicher Struktur in einem Netz dar:

$$PNC := (P, A, F, C, V, K, M, m_0)$$

$P := \{p\}$	Menge der Plätze
$A := \{a\}$	Menge der Transitionen
$C := \{c\}$	Menge der Markenfarben
$F: (P \times A) \cup (A \times P) \rightarrow \{0, 1\}$	Flußrelation
$V: (F \times C) \rightarrow N$	farbenabhängige Kantenbewertung
$K: (P \times C) \rightarrow N$	Platzkapazität
$M: (P \times C) \rightarrow N$	zulässige Markierung
$m_0 \in M$	Anfangsmarkierung.

Petri-Netze sind als Ablaufstruktur für Entscheidungsprozesse mit nebenläufigen, vom Prozeßzustand abhängigen Regeln oder Operationen bzw. abhängig auszuwählender Regeln geeignet. Der Arbeitsfortschritt wird hier weniger durch ein gegebenes Zeitschema als durch Arbeitsergebnisse bestimmt.

## 6 Methoden zur Produktionsplanung und -steuerung

Im Rahmen von Produktionsplanung und -steuerung muß über die inhaltliche Ausfüllung der in Bild 1 und Bild 6 gezeigten Zusammenhänge der Produktionsprozeß so weit definiert werden, daß der Leistungsvollzug im realen Ablauf ohne Fehler und Störungen möglich ist. Dazu müssen Strukturen definiert, die einzelnen Objekte und Beziehungen geeignet dimensioniert und Abläufe antizipiert werden.

Die heute angebotenen Methoden zur Planung und Steuerung reichen von der Betrachtung des globalen Produktionsnetzes über das Werk, die Abteilung, die einzelne Station bis zum Einzelarbeitsplatz, behandeln Transport, Lager und Bearbeitung, gehen von unterschiedlichsten Detaillierungsgraden der Aufgaben- und Zeitgliederung aus. Sie sollen im folgenden nach Strukturierung, Dimensionierung und Berechnung von Flüssen diskutiert werden.

Grundsätzlich sind hier Bewertungs-/Zielfunktionen erforderlich. Liegen stetige Modelle vor (was meist nicht der Fall ist und in den wenigsten Fällen der Wirklichkeit entspricht (siehe z. B. Losgröße, Optimierung von Produktionsprogrammen mit ganzzahligen Stückzahlen!)), dann können Optimierungsprobleme über Differentiation gelöst werden: Bei der Losgröße [DAWA97] müssen z. B. die Gesamtkosten aus Auflegungs- und Lagerkosten, beim Steiner-Weber-Problem [BLOE70] die Gesamttransportkosten als Summe einer Vielzahl von Transportkosten zu einzelnen Standorten minimiert werden. Existiert eine Vielzahl zulässiger

Lösungen, sind diese über genetische Algorithmen, Simulated annealing, Dynamische Optimierung, Branch and Bound zu erzeugen. Wahrscheinlichkeiten oder unscharfe Urteile sind ebenfalls generell zu berücksichtigende Sachverhalte. Die Veränderung der Umwelt kann über Spieltheorie und Szenariotechnik erfaßt werden.

- **Strukturierung**

Aufgabe der Strukturierung ist die Definition der in Bild 1 gezeigten Klassen und Elementen und deren Beziehungen in einem Netzwerk (Festlegung der Kunden-/Lieferantenbeziehung, Zuordnung zu Lager und Transportmittel, Auswecharbeitsvorgänge usw.). Einziger fest vorgegebener Fixpunkt dieser Strukturierung ist üblicherweise eine Menge von Endprodukten bzw. von Produktionsprogrammen (Die in einem Logistiknetzwerk nicht unbedingt Endknoten darstellen müssen!). Die Definition der einzelnen Prozeßstufen bzw. von Arbeits-, Transport- und Lagervorgängen gehört bereits zum Aufgabengebiet von Produktionsplanung und -steuerung. Dazu sind sowohl die betrachteten Unternehmen in geeignete Teilmengen wie Werke, Linien, Stationen und Arbeitsplätze zu gliedern (siehe z. B. [REF91, BUL86, GOT89, FRE92]) als auch die Produktionsaufgabe sinnvoll zu partitionieren (siehe z. B. [ROT91, HOH79]), die Standorte von Werken und Betriebsmitteln festzulegen und anschließend eine zeitlich definierte Zuordnung dieser beiden Teilmengen zu schaffen (von der Zuordnung eines Produkts/Aggregats zu einem Werk (siehe z. B. [ITT94, HEN84]) für die gesamte Produktlebenszeit über die Leistungsabstimmung (siehe z. B. [DALE91A, DALE91B, DALE93 93, GOE78]) bis hin zur fallweisen, in der Produktionssteuerung festgelegten und nur für einen Arbeitsvorgang gültigen Zuordnung eines Aufgabenelements zu einem Arbeitsplatz (siehe z. B. [ZIE89, TAL86])). Die Bestimmung der erforderlichen beweglichen Einsatzfaktoren wie Material, Werkzeuge, Fördermittel, Werker usw. ist ebenso Teil dieser Zuordnung wie z. B. eine Make-or-buy-Entscheidung oder die Festlegung der Produktionstiefe.

Die Gestaltung/Strukturierung des Produktionsnetzwerks als Gruppierung von Elementen gleicher Klasse zu Organisationseinheiten kann heute ebenso wie die Zerlegung der Produktionsaufgabe zwar durch einzelne Prinzipien und Beispiele (siehe z. B. [WIL91, SKI74, SCH83, WTH92, FRE90, SCH89]), aber letztlich nicht algorithmisch unterstützt werden. Zur endgültigen Bestimmung müssen immer Alternativen getestet und bewertet werden. Dies gilt für die Gestaltung einzelner Produktionslinien (siehe z. B. [BAC86, TEM, SWZ90]) ebenso wie für die Organisation des Werkzeugwesens (siehe z. B. [BOR90, OV91]), die Bereitstellung des Materials auf einer mitlaufenden Kommissionierpalette oder an der Linie (siehe z. B. [OV91, DAN93]), die Festlegung der Zählpunkte und der Bestandsverantwortung/-übergänge oder die Festlegung des auf der jeweiligen Planungsebene erforderlichen Zeitmodells (z. B. Festlegung der Anzahl der Arbeitstage/Jahr auf Werksebene; Festlegung des Schichtmodells auf Werkerebene (siehe z. B. [LEY91])).

Erst die Zuordnung von Betriebsmittel und Produktionsaufgabe ist Algorithmen zugänglich. Eine solche ggf. algorithmisch unterstützte Zuordnung erfolgt zunächst über die Kombination bzw. den Vergleich geeignet verschlüsselter Leistungsmerkmale/-attribute und die anschließende (kostenmäßige) Bewertung der einzelnen Strukturalternativen (siehe z. B. [ROT91, HOH79]; siehe auch Projekt „VISION LOGISTIK, Arbeitsfeld Bewertung der Logistikleistung). So sind Aufgaben algorithmisch unterstützt Betriebsmitteln zuzuordnen (siehe z. B. [AND90, ZON83]), Betriebsmittel (Werke, Linien, Stationen (Maschinen, Lager, Förderstrecken)) an Standorten zu plazieren (Standortplanung, Anordnungsplanung; siehe z. B. [MUT61,

FRA74, DAN86, DAN90)], Erzeugnisse Lagerplätzen zuzuweisen (siehe z. B. [LÖN71, BAC80]), die Sequenz des Auftragsmixes (siehe z. B. [DALE91A, FEI83]) usw. festzulegen.

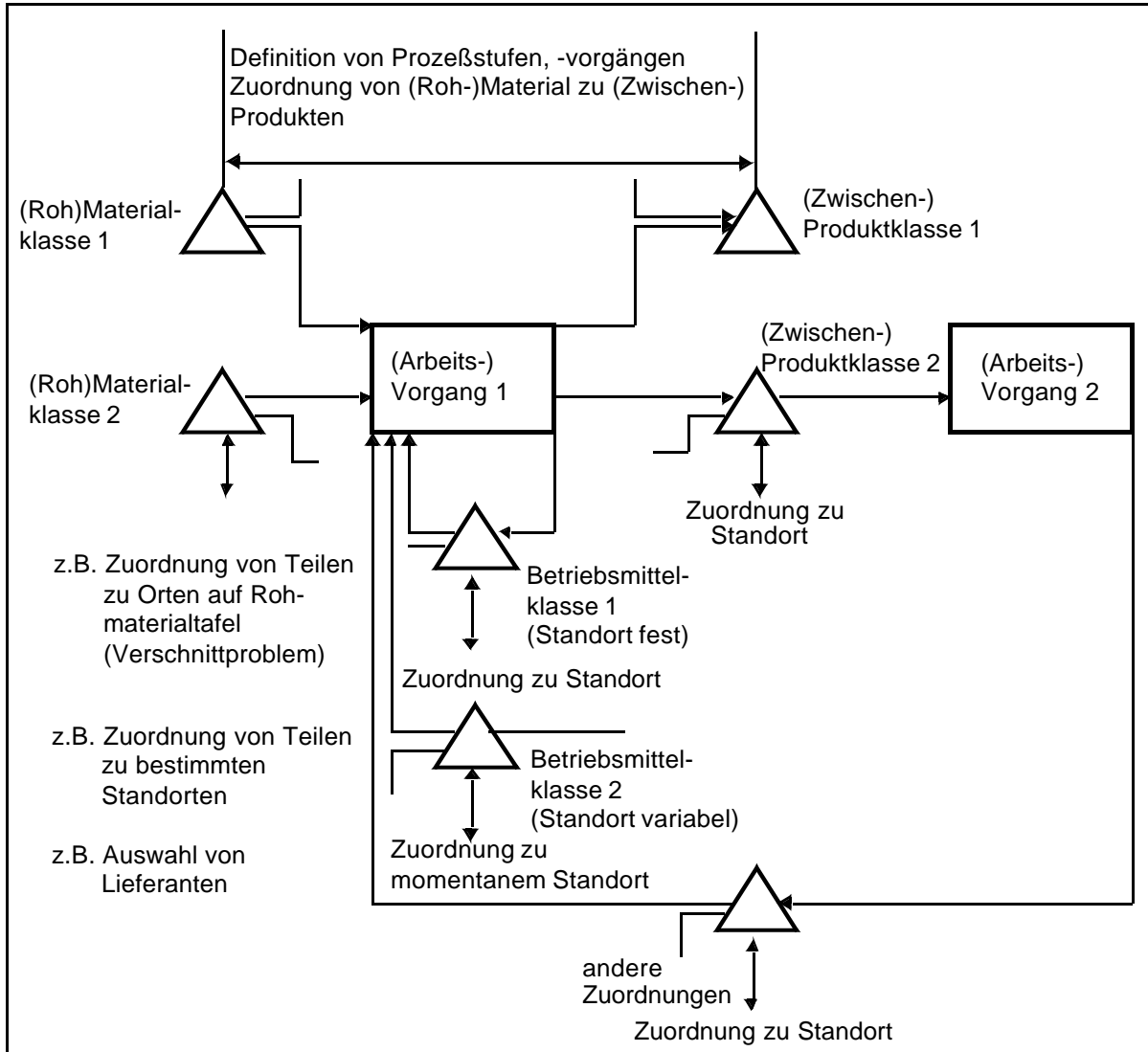


Bild 22: Festlegung der Strukturen in einem Logistiknetzwerk

#### r Elemente gleicher Klasse

##### Probleme

- Losgrößenbildung (Stück zu Auftrag)
- Ausweichtarbeitsvorgänge (Arbeitsvorgang zu Arbeitsvorgang)
- Definition von Prozeßstufen (Objekte zu Prozeßstufe)
- Untergliederung in Organisationseinheiten

##### Methoden

- Differentiation*
- Clusteranalyse*
- Topologische Sortierung*

## r Elemente unterschiedlicher Klasse

## Probleme

- Festlegung der Kunden-Lieferanten-Struktur
- Zuordnung von Lagern, Förderhilfsmitteln und Lagergut
- Standortsuche (über-/innerbetrieblich)
- Zuordnung von Produkten zu Werken, Abteilungen, ...
- Zuordnung von Arbeitsvorgängen zu Arbeitsplätzen
- Zuordnung von Werker und Zeitmodell („Schichtmodell“)

## Methoden

- Differentiation*
- Clusteranalyse*
- Enumeration*

## r (Statische) Aufteilungen

## Problemen

- Stückzahlmäßige Aufteilung Kunden-Lieferanten-Struktur
- ...
- anteilmäßige Aufteilung wie Elemente unterschiedlicher Klassen

## Methoden

- lineare Optimierung*
- ganzzahlige Optimierung*

• **Dimensionierung**

Hier ist zunächst festzulegen, für welche Einheit (Stück, Los, Gebinde, usw.) und Dimension (Stück / Anzahl Transporte, Volumen, Gewicht, usw.) eine Dimensionierung durchgeführt werden soll. Es handelt sich also um eine beliebige Gruppe (siehe Strukturierung), deren Elemente einer anderen Klasse zugewiesen werden sollen, wobei die Anzahl der Elemente dieser zweiten Klasse festzulegen ist.

Bei für die jeweilige Untersuchung gegebener Struktur setzt eine Dimensionierung eine entsprechende Betrachtung der Zeit voraus: Sollen Betriebsmittel (Unternehmen, Werke, Linien, Stationen, Arbeitsplätze) in ihrer Anzahl und in ihrem Leistungsvermögen dimensioniert werden, so muß dazu der über der Zeit kumulierte Arbeitsinhalt/Leistungsbedarf betrachtet werden (z. B. Losgrößendimensionierung, Festlegung des Auftragsmixes [GRE89, HAC89]); entsprechend ist bei Puffer-/Lagerplätzen der Platzbedarf als kumulierte Differenz zwischen Zu- und Abgang zu betrachten (Umlaufbestände, Rüst- und Störpuffer; siehe z. B. [WIL80, STE77, WAR75]). So verstanden bedeutet Dimensionierung die Festlegung der oberen und unteren Restriktionen für alle in Bild 1 angesprochenen Klassen und Beziehungen. Abhängig vom Untersuchungszweck und dem davon abhängig gewählten Zeitmodell kann diese Betrachtung einerseits so vereinfachen, daß eine quasi statische Betrachtung lediglich eine mengenmäßige Aufteilung von Aufgaben-/Objektmengen zu Betriebsmitteln ergibt oder andererseits so detaillieren, daß der Durchlauf eines einzelnen Individuums verfolgt (z. B. wie die langfristige Aussage „Anzahl Fahrzeuge/Tag“ als „Typen/Motoren/Tag“ mit isolierten Eigenschaften je Klasse präzisiert („davon 60 % Viertürer“), um im kurzfristigen Bereich durch die expliziten Eigenschaften eines Individuums, das einem bestimmten Arbeitsplatz zugeordnet

wird, ersetzt zu werden (siehe z. B. [LEO93, GOE78, EID90])) und bereits eine detaillierte Simulation vorgenommen werden kann (siehe z. B. [DABE88, DABE89]). Methodisch zwischen diesen beiden Polen liegt z. B. die Warteschlangentheorie, die einen nach bestimmten statistischen Gesetzmäßigkeiten aufgebauten Input- und Outputstrom voraussetzt und in der Regel nur für isolierte Puffer-/Bedienplätze angewandt wird (siehe z. B. [RUI67, GRO84]).

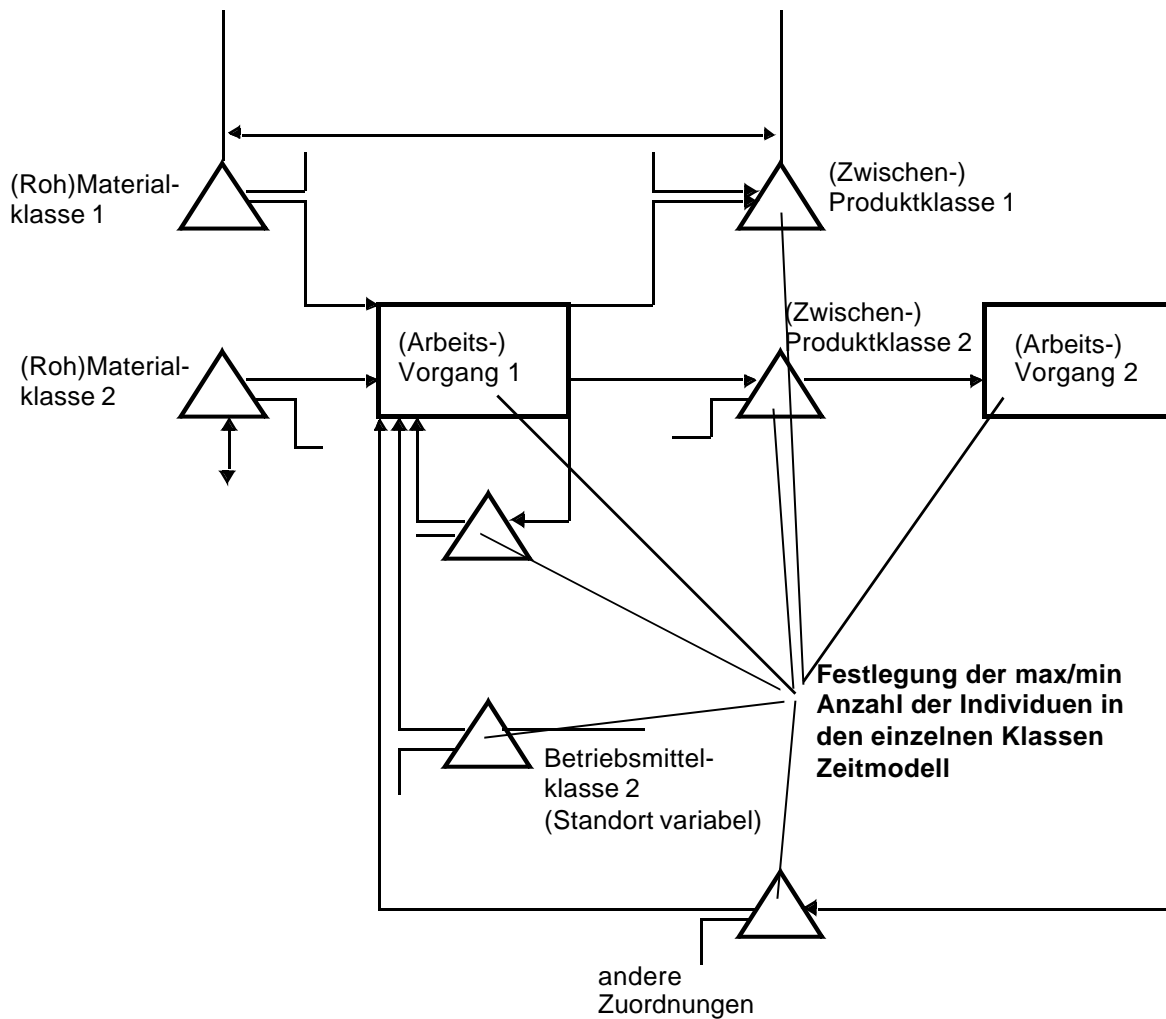


Bild 23: Festlegung der Dimensionen in einem Logistiknetzwerk

r Elemente gleicher Klasse / unterschiedlicher Klasse / (statische) Aufteilungen

Probleme

Dimensionierung von Beständen (Material-, Betriebsmittelbestände)

Dimensionierung von Puffern (Material-, Betriebsmittelpuffer)

Methoden

Differenzbildung

Simulation/Warteschlangentheorie

Enumeration

## • Steuerung/Berechnung von Flüssen

ie Produktionssteuerung schließlich regelt den Ablauf der in Bild 6 angesprochenen Individuen durch das von Klassen und Beziehungen aufgespannte Netzwerk.

Hier sind die Fälle zu unterscheiden:

- Modelle ohne Restriktionen
- Modelle mit Restriktionen / Zeitabschnitt > Arbeitsvorgangsdauer
- Modelle mit Restriktionen / Zeitabschnitt < Arbeitsvorgangsdauer

Bild 24 zeigt diesen Zusammenhang

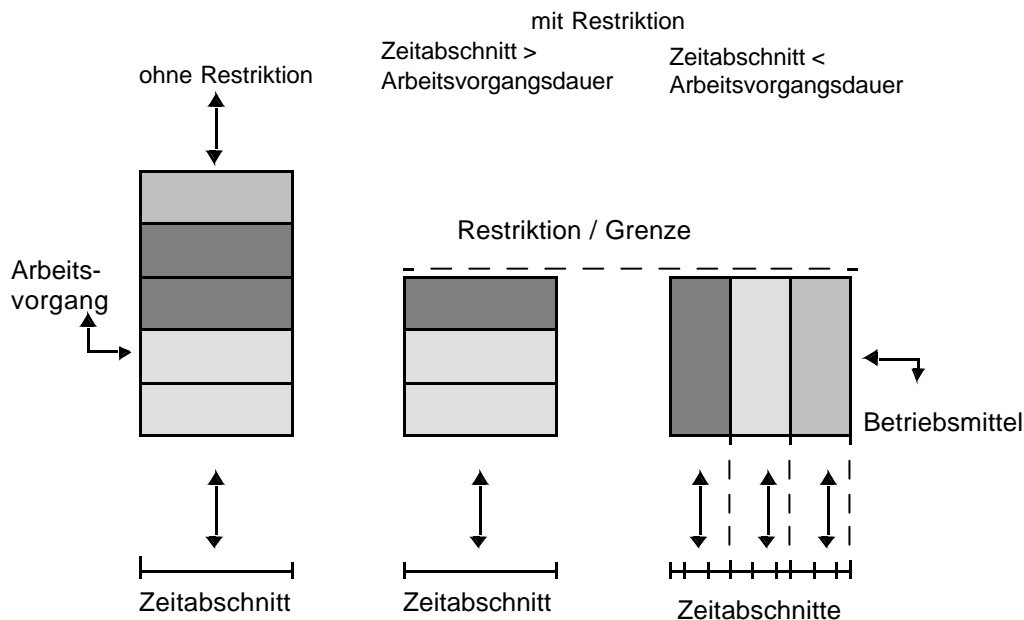


Bild 24: Flüsse - Zuordnung von Arbeitsvorgängen, Betriebsmitteln und Zeitabschnitten

### + Modelle ohne Restriktionen

Die Grundstruktur der in der Literatur (siehe z. B. [DAN92, DRE93, DASW90]) behandelten und in der betrieblichen Praxis eingesetzten PPS-Systeme entspricht dem Ansatz des 'Manufacturing Resource Planning (MRP II)'. (Fast) alle Systeme folgen einem Sukzessivplanungskonzept (siehe [FOX83, DAKM89, DAWA97]), das in den Schritten Primärbedarfsplanung, Mengenplanung, Terminplanung und Produktionssteuerung abläuft.

Diese Grundstruktur ist vor allem erzeugnis-/objektzentriert, da sie fast ausschließlich die mengenmäßige Bereitstellung von Materialien, Teilen, Baugruppen, Erzeugnissen usw. betrachtet, aber die für die Beurteilung der Durchführbarkeit eines Plans entscheidenden Kapazitäten der eingesetzten Ressourcen fast unberücksichtigt lässt (siehe [MER91, FOX83]). So werden in Mengen- und Terminplanung Durchlaufzeiten verwendet, die Schätzwerte für Lie-

gezeiten, Transporte und Bearbeitung darstellen. Diese Zeit definiert den 'Dispositionsspielraum' und führt nicht selten zu organisatorisch bedingten Wartezeiten von über 90 %: Die Dauer eines Auftrags, die als Sequenz der Arbeitsvorgänge Ergebnis der Planung sein sollte, wird somit der Planung vorgegeben und vom Fertigungssteuerungssystem durchgesetzt (siehe [Fox83]). Gesamtdurchlaufzeitbestimmend ist immer die Mengenplanung.

Die Berechnung von Flüssen von Erzeugnissen und Materialien über der Zeit ist die Aufgabe der Mengenplanung (siehe Bild 25 und Bild 26).

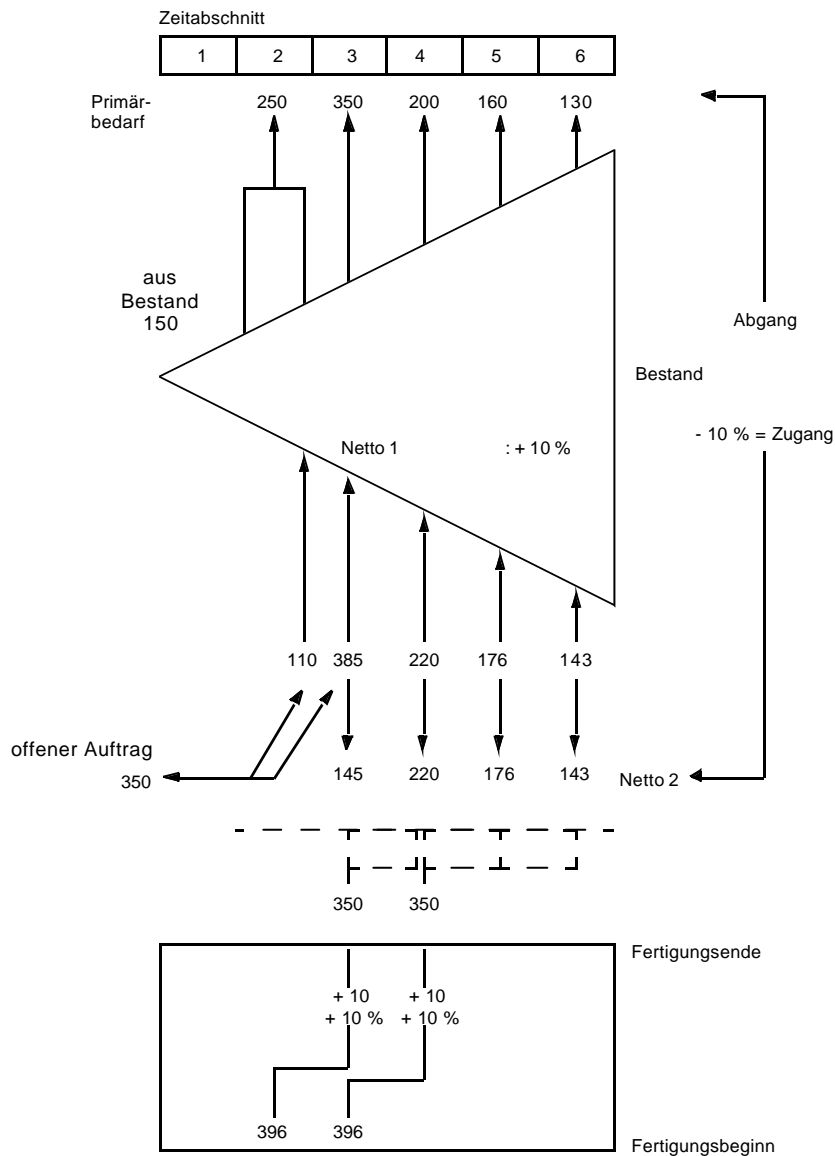


Bild 25: Zeitabschnittswise Bedarfsermittlung – Beispiel: Losgrößen/Zuschläge (I)

Zuschläge für Schwund, Ausschuß, Nacharbeit, Rüsten usw. können spezifisch definiert werden. Bild 25 zeigt ein Beispiel, in dem sowohl bei der Bestandsführung als auch während des Produktionsprozesses von Mindermengen ausgegangen wird. Zusätzlich wird hier nach einer vorgegebenen Losgröße ( $Q = 350$  Stück) gruppiert; der Zeitabschnitt ist kleiner als der Bestell-

zyklus. Die Produktion liefert hier demnach in anderer Menge (früher und mit anderen Lieferabständen) ab, als das Lager bestellt hat und verursacht damit einen von Null verschiedenen Lagerbestand.

Erzeugnis F2  
 Losgröße: 350 Stück  
 Berücksichtigung von Zuschlägen  
 Verfügbar zum Stichtag: 150 Stück  
 offene Aufträge: 1 / 350 Stück in Zeitabschnitt 1  
 Vorlaufzeit: 2 Zeitabschnitte

Zeitabschnitt		1	2	3	4	5	6
Primärbedarf			250	350	200	160	130
Bruttobedarf resultierend							
Lagerbestand	150	150	0	0	0	0	0
Netto 1			100	350	200	160	130
Ausschuß 10%			110	385	220	176	143
offene Aufträge		350					
Netto 2				145	220	176	143
Bestand resultierend		465	215	180	295	135	5

geplante Aufträge - Ende			350	350		
Einrichtezuschlag 10%			360	360		
Fertigungszuschlag 10%			396	396		
geplante Aufträge - Start	396	396				

Strukturbeziehung		
Stückliste	Baugruppe	Menge
F2	B1	2

Zeitabschnitt		1	2	3	4	5	6
Primärbedarf							
Bruttobedarf resultierend		792	792				

Bild 26: Zeitabschnittsweise Bedarfsermittlung – Beispiel: Losgrößen/Zuschläge (II)

Systeme zur Produktionsplanung und -steuerung („Disposition“) bei (Groß-) Serienfertigung modifizieren den Ansatz des MRP II häufig, ohne dabei die genannten Probleme zu vermeiden. Meist wird vom langfristigen Vertriebsprogramm ausgehend eine vielstufige, immer mehr Produkt und Termin spezifizierende Steuerungshierarchie durchlaufen, die aber vielfach nur auf das Endprodukt zielt (siehe z. B. [BMW, WLH85, VORW]). Die mengen- und terminmäßige Berücksichtigung von Baugruppen („Aggregaten“), Teilen (eigen- und fremdgefertigt) sowie Materialien erfolgt einstufig/synthetisch für einen Zeithorizont von einigen Monaten. Sicherheits- und Umlaufbestände werden implizit über die Vorlaufzeit eingestellt, die in einem Fortschrittszahlenkonzept den Strom von Teilen und Materialien regelt (siehe z. B. [HE179,

WEB84]).

Heute gibt es Ansätze, die direkt auf die Belegung der Endmontagelinie durch den Kunden abzielen (siehe z. B. [GRA92]). Wieder andere Konzepte gehen von einem für einen längeren Zeitraum (z. B. 20 Arbeitstagen) absolut unveränderlichen Fertigungsprogramm aus (siehe z. B. [BMW93]). Ein Sonderfall der Bedarfsrechnung stellt z. B. die Netzplantechnik dar (Stückzahl 1, nur in einem Zeitabschnitt Bedarf, „kein“ Bestand).

r Berechnung von Flüssen

Probleme

Berechnung von Aufträgen und Terminen

Berechnung resultierender Bestände

Methoden

MRP II

Netzplantechnik

Verfahren der Bedarfsschätzung

Verbrauchsorientierte Verfahren

+ Modelle mit Restriktionen / Zeitabschnitt > Arbeitsvorgangsdauer

Diese Verfahren werden in der Praxis häufig als „Freigabe-Verfahren“ bezeichnet: Sie begrenzen die Anmeldung von Kapazitätsbedarf beim Fertigungsmittel auf eine vorgegebene Höchstgrenze.

**Fall 1:** Zeitverschiebung von Arbeitsvorgang zu Arbeitsvorgang  $\geq 1$  Zeitabschnitt

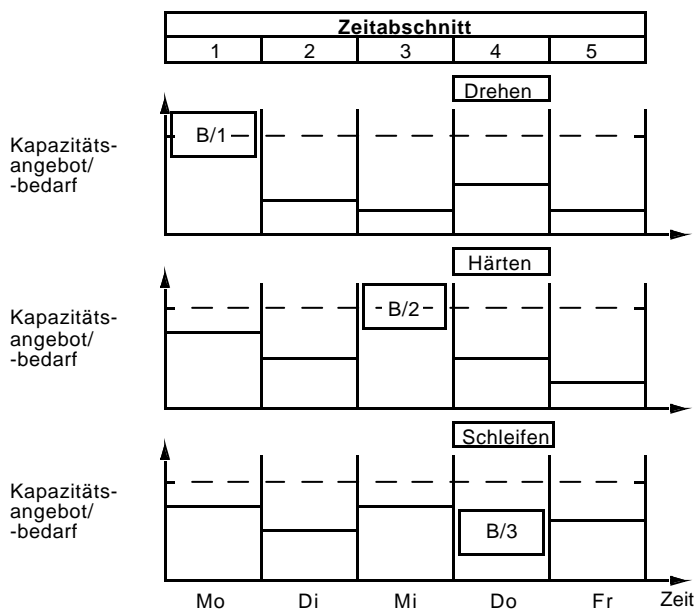


Bild 27: Summarische Einlastung

Solche Verfahren arbeiten nach einem einheitlichen Schema (auftragsorientiert): Die Einlastung eines Auftrags mit allen seinen Arbeitsvorgängen erfolgt, wenn für alle Arbeitsvorgänge Kapazität bereitgestellt werden kann. Dabei kann es sich um lückenlos aneinanderschließende Zeitabschnitte (Dauer des Auftrags = Anzahl der Arbeitsvorgänge in Zeitabschnitten) oder um eine Sequenz von Zeitabschnitten wie in Bild 27 handeln. In Bild 27 gibt es innerhalb des Tages keine Aussage über eine Reihenfolge.

Die Einlastungsreihenfolge verwendet beliebige Auftragsprioritäten (s. z. B. [CAP, CSS]).

**Fall 2:** Abzinsung des Kapazitätsbedarfs auf eine einzige Periode („Belastungsorientierte Auftragsfreigabe“ (BOA); s. [WNL95, BEC80]).

Es wird vorausgesetzt, daß die Ablieferungszeitpunkte aller Aufträge (aus MRP) bekannt sind. Mittels Durchlaufterminierung können die Fertigungsbeginnzeitpunkte der Arbeitsvorgänge berechnet werden. Das Material für die Aufträge ist verfügbar und die verplanbaren Kapazitäten der Fertigungsmittel in der entsprechenden Planperiode (Zeitabschnitt) sind bekannt (Kapazitätsangebot pro Periode und Fertigungsmittel  $\gg$  Kapazitätsbedarf eines Auftrags; Dauer des Arbeitsvorgangs  $\ll$  Periodendauer). Die vorhandene Belastung der Fertigungsmittel in der entsprechenden Planperiode ist durch Rückmeldung bekannt.

Den Ablauf der Durchführung in 3 Schritten zeigt Bild 28.

#### 1. Bestimmung des Auftragsvorrats

- Fertigungszeitpunkte berechnen für alle nicht freigegebenen Aufträge.
- Alle Aufträge mit Plan-Endzeitpunkt des 1. Arbeitsvorgangs, der kleiner als die Terminalschranke ist, gelten als dringende Aufträge (die Terminalschranke ist der höchstzulässige Vorgriff über Planperiode hinaus, der dem Verfahren vorgegeben wird).
- Alle anderen Aufträge gelten nicht als dringend.

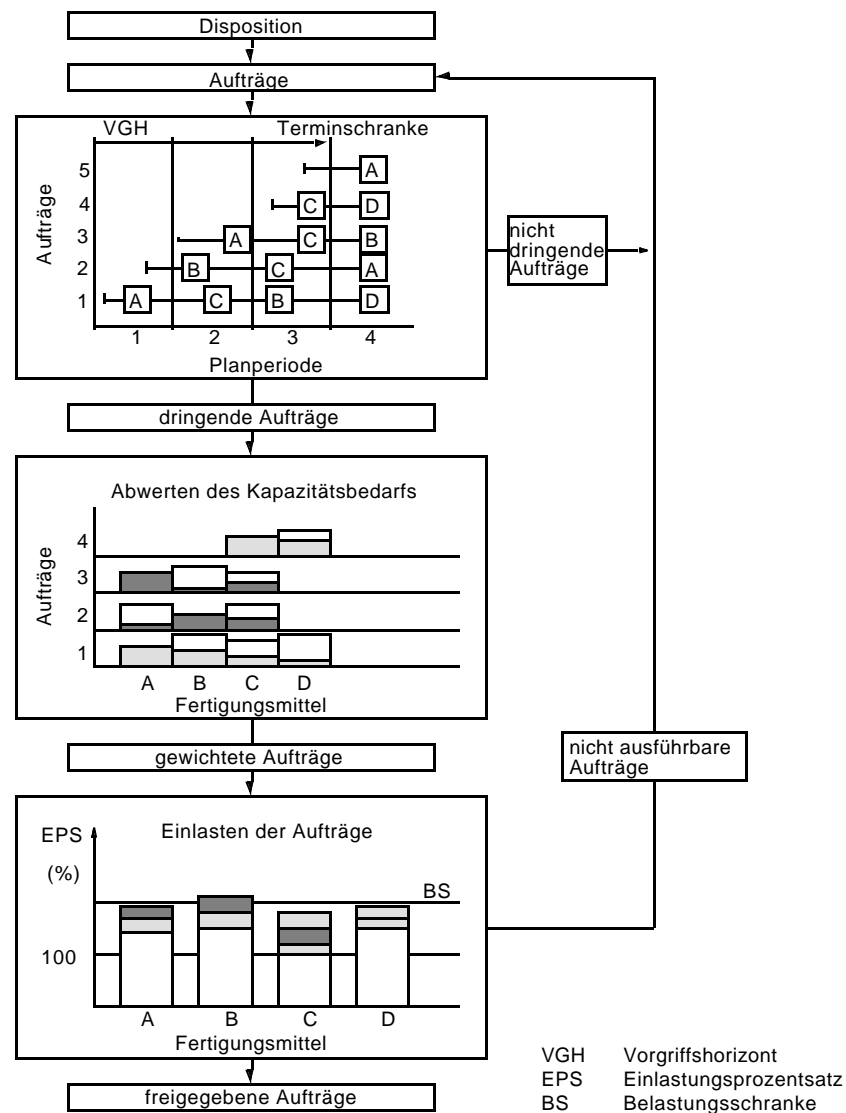


Bild 28: Vorgehensweise bei der belastungsorientierten Auftragsfreigabe

- Abwertung des Kapazitätsbedarfs der (Arbeits-)Vorgänge  
Aus dem Einlastungs-Prozentsatz (*EPS*) wird der Abwertungsfaktor (*ABFA*) berechnet:

$$ABFA := \left( \frac{1}{EPS} \right)^{(AG - 1)}$$

- Einlastung der Aufträge mit abgewertetem Kapazitätsbedarf je Arbeitsvorgang in die betrachtete Periode, sortiert nach Plan-Startzeitpunkt.  
Falls auf allen von einem Auftrag angesprochenen Fertigungsmitteln die bisherige Belastung kleiner als die Belastungsschranke ist, wird der Auftrag eingeplant („Freigabe“). Ansonsten muß der Auftrag zurückgestellt werden.

Bild 29 zeigt die Herleitung des Einlastungsprozensatzes über Kapazitätsangebot und Durchlaufzeit.

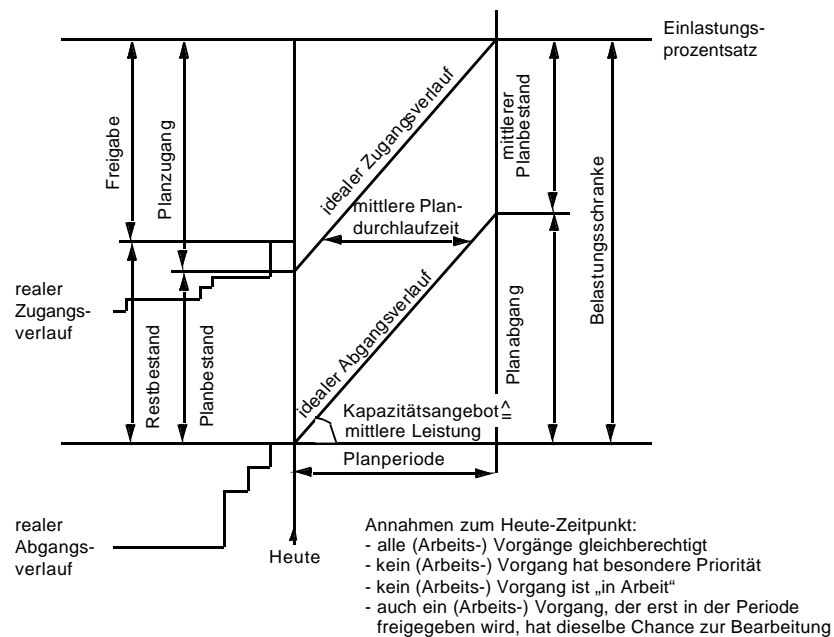


Bild 29: Herleitung des Einlastungsprozentsatzes

Alle Auftragsfreigabeverfahren sorgen in Verbindung mit einem MRP-Verfahren für die Übersichtlichkeit in der Fertigung. Allerdings zielen diese Freigabeverfahren auf den Ausgang des Wareneingangslagers. Bestimmend für die Gesamt-Durchlaufzeit ist damit immer die Zeitrechnung der Mengenplanung. Was verkürzt bzw. beeinflusst wird, ist lediglich die Durchlaufzeit durch die Teilefertigung, nicht durch das gesamte Fertigungssystem, das auch Wareneingang/Wareneingangslager und Vertriebslager umfaßt.

#### r Berechnung von Flüssen

##### Probleme

Zuordnung einer Anzahl von Arbeitsvorgängen zu Betriebsmittel und Zeitabschnitt

##### Methoden

*Prioritätsregelverfahren*

*Enumeration*

+ Modelle mit Restriktionen / Zeitabschnitt < Arbeitsvorgangsdauer

Die kurzfristige Steuerung befaßt sich vor allem mit der Reihenfolge der einzelnen Objekte/Batches in der Montage, der Reihenfolge der Fertigungslose in der Teilefertigung, der Abrufsteuerung zum Lieferanten sowie der Transport- und Lagersteuerung bis zur Bereitstellung an der Linie (siehe z. B. [LEO93]).

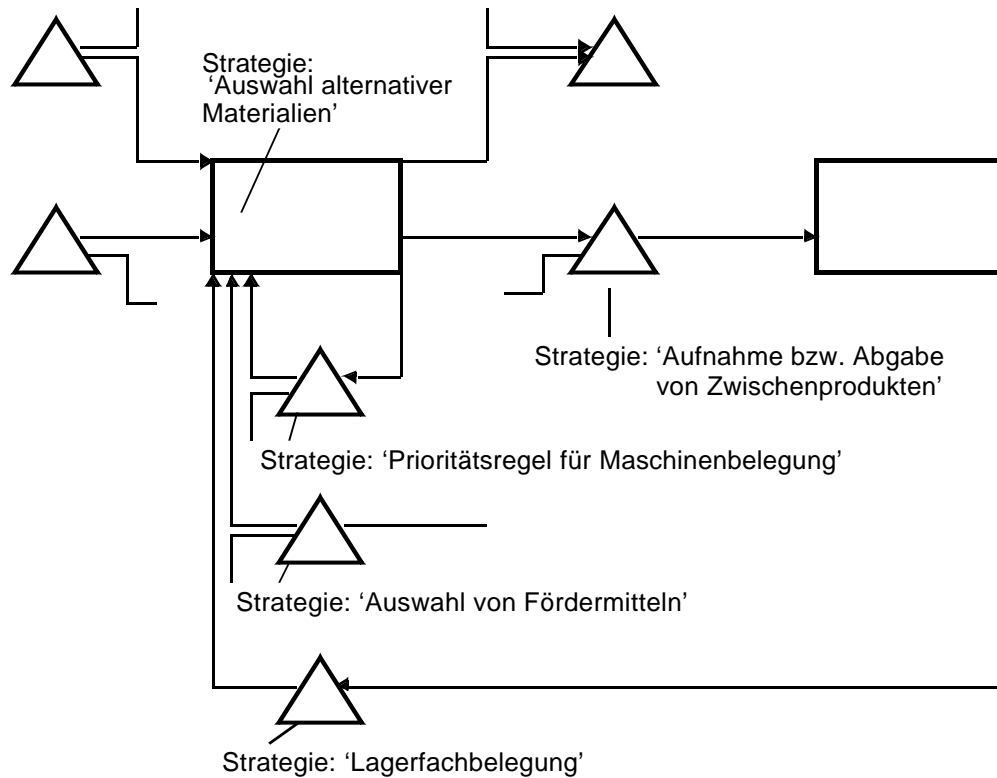


Bild 30: Festlegung der Steuerungs-/Ablaufstrategien in einem Logistiknetzwerk

Ein Beispiel für eine Reihenfolgeplanung (zyklisch / betriebsmittelorientiert; siehe [DAWA97]) zeigt Bild 31.

a. Situation am Dienstag

Tabelle 1': Warteschlange für Dienstag

DREHEREI	B/1	
HÄRTEREI		
SCHLEIFEREI		

Tabelle 2'

Alle (Arbeits-) Vorgänge, bei denen gilt:  
 - Vorgänger-(Arbeits-)vorgang noch nicht eingeplant  
 - Starttermin aus Durchlaufterminierung später als heute

Tabelle 3': Belegung für Dienstag

DREHEREI	B/1		
HÄRTEREI			
SCHLEIFEREI			
	Dienstag	Mittwoch	

b. Situation am Mittwoch

Diese Situation stellt den angesprochenen neuen Freigabezyklus dar.

Tabelle 1'': Warteschlange für Mittwoch

DREHEREI		
HÄRTEREI		B/2
SCHLEIFEREI		

Tabelle 2''

Alle (Arbeits-)Vorgänge, bei denen gilt:  
 - Vorgänger(Arbeits-)vorgang noch nicht eingeplant  
 - Starttermin aus Durchlaufterminierung später als heute

Tabelle 3'': Belegung für Mittwoch

DREHEREI			
HÄRTEREI		B/2	
SCHLEIFEREI			
	Mittwoch	Donnerstag	

Bild 31: Vorgehensweise bei der Betriebsmittelbelegung

Simultanplanungsverfahren (siehe z. B. [CRE93, DAKM89, GRE89, HAC89]) vereinigen die Problematik der Bedarfsrechnung für Materialien (MRP II) und den Bedarf an Betriebsmitteln (Reihenfolgeplanung für gegebene Aufträge) und vermeiden so die Nachteile des MRP II-Konzepts (siehe [DAWA97, SCHN96]).

#### r Berechnung von Flüssen

##### Probleme

Berechnung von Belegungen von Betriebsmitteln bzw. die Reihenfolge von Arbeitsvorgängen auf Betriebsmitteln

##### Methoden

*Prioritätsregelverfahren/Schedulingverfahren/Losgrößenverfahren*

*Enumeration*

*Lineare Optimierung*

#### Literatur

- ABE90 Abeln, O.: Die CA...-Techniken in der industriellen Praxis. München: Hanser 1990
- AND90 Anders, N.; Schaele, M.; Prack, K.-W.: AVOGEN - wissensbasierte Generierung von Arbeitsvorgangsfolgen. VDI-Z 132 (1990) 4, S. 49-52.
- AWF60 AWF: Begriffserklärungen Fertigungsplanung - Fertigungssteuerung. Mitt. d. Ansatz f. wirtschaftliche Fertigung e. V. 35 (1960) Nr. 9.
- BAC80 Bachers, R.; Dangelmaier, W.; Steffens, H.: Ein Beitrag zur Berechnung von Isochronen im Hochregallager. FhG-Berichte (1980) 1, S. 25-28.
- BAC86 Bachers, R.: Endmontagelinie der AUDI NSU AG. Alternative Konzepte. Stuttgart: FhG - IPA 1986.
- BEC80 Bechte, W.: Steuerung der Durchlaufzeit durch belastungsorientierte Auftragsfreigabe bei Werkstattfertigung. Hannover: Diss. Univ. 1980.
- BLOE70 Bloech, J.: Optimale Industriestandorte. Würzburg: Physica 1970.
- BMW o. V.: Planungskonzept der BMW AG. München: BMW.
- BMW93 o. V.: Ablaufkonzept im Werk Spartanburg. München: BMW 1993.
- BOR90 Borejdo, A.: Computerunterstützte Werkzeugplanung rationalisiert die Arbeitsvorbereitung. Werkstatt und Betrieb 123 (1990) 5, S. 355-358.
- BUL86 Bullinger, H. J. (Hrsg.): Systematische Montageplanung. Handbuch für die Praxis. München: Hanser 1986.
- CAP o. V.: IBM System /360 und System /370, Kapazitätsplanung und Arbeitsgangterminierungs-System (CAPOSS) Programmbeschreibung. IBM-Form STI 12-3098-0.

- CSS Capacity Planning and Operation Sequencing System-Extended. (CAPOSS-E)-  
Programmbeschreibung Band 1: Planungssystem. IBM-Form SH 12-5422.
- DABE88 Dangelmaier, W.; Becker, B.-D.: Steuerung in der Simulation von Fertigungsprozessen mit Stückgutcharakter. In: Feldmann, K.; Schmidt, B.: Simulation in der Fertigungstechnik, S. 253-274. Berlin: Springer 1988.
- DABE89 Dangelmaier, W.; Becker, B.-D.: Decision Table Support for the Controls in Simulation of Manufacturing Processes. SCS (Hrsg.): Proceedings of the European Simulation Conference '89. Bonn: SCS 1989.
- DAKM89 Dangelmaier, W.; Keller, A.; Mussbach-Winter, U.; Wiedenmann, H.: Kapazitätsorientierte Auftragsbildungsverfahren. ZwF 84 (1989) 12, S. 676-680.
- DALE91A Dangelmaier, W.; Leopold, N.: Verlustzeiten minimieren. Getaktete Montagelinien planen und steuern mit Hilfe eines Programmsystems. Maschinenmarkt 97 (1991) 41, S. 34-39.
- DALE91B Dangelmaier, W.; Leopold, N.: Verlustzeiten minimieren. Getaktete Montagelinien planen und steuern mit Hilfe eines Programmsystems. Maschinenmarkt 97 (1991) 41, S. 34-39.
- DALE93 Dangelmaier, W.; Leopold, N.: Senkung von Verlustzeiten in getakteten Montagelinien. Maschinenbau 22 (1993) 6-7, S. 24-26.
- DAN86 Dangelmaier, W.: Algorithmen und Verfahren zur Erstellung innerbetrieblicher Anordnungspläne. Berlin, Heidelberg: Springer 1986.
- DAN90 Dangelmaier, W.: Interaktive Anordnungsplanung: Ein Weg zu einem besseren Materialfluß. Fördertechnik 59 (1990) 5, S. 24-28.
- DAN92 Dangelmaier, W.: Strategien der Fertigungssteuerung im Leistungsvergleich. ZwF 87 (1992) 2, S. 84-89.
- DAN93 Dangelmaier, W.: Organisation der Prozeßkette Teile bei der BMW AG. Paderborn, München 1993.
- DARo90 Dangelmaier, W.; Roth, H.-P.: Optimierung der Fertigungsplanung durch Verfahrensteilung. ZwF 88 (1993) 2, S. 87-90.
- DASW90 Dangelmaier, W.; Stahl, W.; Wiedenmann, H.: Fertigungssteuerung - ein Konzept für die Zukunft der flexiblen Fertigung. FhG-Berichte (1990) 2, S. 4-15.
- DAVo90 Dangelmaier, W.; Vollmer, E.: Integration of Planning and Simulation in Strategic Enterprise Planning. In: Schmidt, B. (Hrsg.): Modelling and Simulation. S. 395-400. Proceedings of the 1990 European Simulation Multiconference. Nürnberg: Society for Computer Simulation International 1990.
- DAWA97 Dangelmaier, W.; Warnecke, H.-J.: Fertigungslenkung. Planung und Steuerung des Ablaufs der diskreten Fertigung. Berlin: Springer 1997.

- DMÜ73 Dörfler, W.; Mühlbacher, J.: Graphentheorie für Informatiker. Berlin: de Greyter 1973.
- DRE93 Drexl, N.; Günther, H.-O.; Fleischmann, B.; Stadtler, H.; Templemeier, H.: Konzeptionelle Grundlagen kapazitätsorientierter PPS-Systeme. Kiel: Manus-kripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel, Nr. 315, 1993.
- EID90 Eidusser, R.; Meindl, E.; Metze, H.: Reihenfolgeoptimierung mit Methoden der "künstlichen Intelligenz". CIM Management (1990) 1.
- FAH95 Fahrwinkel, U.: Methode zur Modellierung und Analyse von Geschäftsprozessen zur Unterstützung des Business Process Reengineering. Paderborn: Heinz Nixdorf Institut 1995.
- FEI83 Feil, N.; Schulz, R.: Karossenbau - ein logistisches Bindeglied zwischen Lackiererei und Montage in einem Unternehmen der Automobilbranche. Dortmund: 4. Inst. Logistik Kongress 1983.
- FOX83 Fox, R. E.: OPT vs. MRP. Inventories and Production Magazines 1983/84, Parts 1-4.
- FRA74 Francis, R.J.; White, J.A.: Facility layout and location. Englewood Cliffs: Prentice Hall 1974.
- FRE90 French, W. L.; Bell, C. H.: Organisationsentwicklung. Bern/Stuttgart: Paul Haupt 1990.
- FRE92 Frese, E. (Hrsg.): Aufbauorganisation. Aufgabenanalyse. Sp. 207-235. Handwörterbuch der Organisation. Stuttgart: Poeschel 1992.
- GOE78 Görke, M.: Rechnerunterstütztes Verfahren zur Leistungsabstimmung von Mehrmodell-Montagesystemen. Mainz: Krausskopf 1978.
- GOT89 Gottschalk, E.: Rechnergestützte Produktionsplanung und -steuerung. Berlin: VEB Verlag Technik 1989.
- GRA92 Grabmeir, R.: Grobkonzept für die Kundenauftragseinstellung der BMW AG. München: BMW 1992.
- GRE89 Greiner, T.: Ein Algorithmus zur Kapazitätsorientierten Bildung von Losen. Berlin: Springer 1989.
- GRO84 Grosseschallau, W.: Materialflußregelung. Modelle und Verfahren zur Analyse und Berechnung von Materialflußsystemen. Berlin, Heidelberg: Springer 1984.
- HAC89 Hachtel, G.: Entwicklung eines bestandsorientierten Fertigungssteuerungssystems für die Großserienfertigung am Beispiel des Automobilbau. Berlin: Springer 1989.
- HEI79 Heinemeyer, W.: Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. Sp. 427. Stuttgart: Poeschel 1979.

- HEN84 Hengstenberg, R.: Verfahren zur saisonalen Belegung mehrerer gegeneinander austauschbarer Linien an unterschiedlichen Standorten. Esslingen 1984.
- HOH79 Hoheisel, W.: Rechnerunterstützte Arbeitsplanerstellung mit Kleinrechnern, dargestellt am Beispiel der Blechbearbeitung. Berlin: Springer 1979.
- ITT94 ITT TEVES Automotive: Konzept zur Kapazitäts- und Investitionsplanung. Frankfurt 1994.
- KERN79 Kern, W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. 1. Aufl. Stuttgart: Poeschel, 1979.
- KKR73 Krampe, H.; Kubat, J.; Runge, W.: Bedienungsmodelle. Ein Leitfaden für die praktische Anwendung. München: Oldenbourg 1973.
- KLBU75 Klaus, g.; Buhr, M. (Hrsg.): Philosophisches Wörterbuch. 11. Aufl. Leipzig: Verlag Enzyklopädie 75.
- KOSI73 Kosiol, E.: Aufgabenanalyse. In: Grochla, E. (Hrsg.): Handwörterbuch der Organisation. Stuttgart: Poeschel 1973.
- LEO93 Leopold, N.: Wildwasser der Endmontage. mi Sonderpublikation 1993.
- LES87 Leszak, M.; Eggert, H.: Petri-Netz-Methoden und -Werkzeuge. Berlin, Heidelberg: Springer 1987.
- LEY91 Leybold AG: Konzept einer Fertigungslinie zur Herstellung von Turbo-Molekularpumpen. Köln 1991.
- LÖN71 Lönneker, W.: Modelle für ein Handelslager: Wareneingang und Transport; Kommissionierung und Versand. Rationeller Handel 1971, Heft 7.
- MER91 Mertens, P.: Integrierte Informationsverarbeitung, Band 1: Administrations- und Dispositionssysteme in der Industrie. 8. Aufl. Wiesbaden: Gabler 1991.
- MUT61 Muther, R.: Systematic layout planning. Boston: Industrial Education Institute 1961.
- OV91 o. V.: Planungsunterstützung Motorenwerk Chemnitz. Stuttgart: FhG-IPA 1991.
- PIC75 Pichler, F.: Mathematische Systemtheorie: dynamische Konstruktionen. Berlin: de Gruyter 1975
- REF75 REFA (Hrsg.): Methodenlehre der Planung und Steuerung. München: Hanser 1975.
- REF91 REFA (Hrsg.): Methodenlehre der Betriebsorganisation. Planung und Steuerung. München: Carl Hanser 1991.
- RIE91 REFA-IE (Hrsg.): IE-Offensive "Logistik und Produktivität". Deutsches IE-Jahr-

- buch 1991. Darmstadt: REFA-AKIE 1991.
- ROT91 Roth, H.-P.: Ein Beitrag zur Planung und Optimierung der Verfahrensteilung in der Fertigung. Berlin, Heidelberg: Springer 1991.
- RUI67 Ruiz-Pala, E.; Avila-Beloso, K: Wartezeit und Warteschlange. Meisenheim/Glan: Anton Hain 1967.
- SAP95 o. V.: SAP System R/3 Release 2.0. Walldorf: SAP AG 1995.
- SCH83 Schmenner, R. W.: Every factory has a life cycle. Harvard Business Review (1983), March/April S. 121-129.
- SCH89 Schmidt, G.: Methoden und Techniken der Organisation. 8. Auflage. Giessen 1989.
- SCHN96 Schneider, U.: Ein formales Modell und eine Klassifikation für die Fertigungssteuerung - Ein Beitrag zur Systematisierung der Fertigungssteuerung. Paderborn: Heinz Nixdorf Institut 1996.
- SKI74 Skinner, W.: The focused factory. Harvard Business Review (1974), May/June, S. 113-121.
- STA73 Stachowiak, H.: Allgemeine Modelltheorie. Berlin: Springer 1973.
- STE77 von Stetten, R.: Auslegung von Störungspuffern in kapitalintensiven Fertigungslinien. Stuttgart: Diss. Univ. 1977.
- SWZ90 Schweizer, M.: Entwicklungstendenzen in der Montage mit Industrierobotern. Fördertechnik 59 (1990) 1, S. 26-29.
- TAL86 Talbot, F. R.; Patterson, J. H.; Gehrlein, W. V.: A comparative Evaluation of Heuristic Line Balancing Techniques. Management Science 32 (1986), S. 430-454.
- TEM Tempelmeier, H.: Leistungsanalyse für flexible Fertigungssysteme mit begrenzten lokalen Pufferplätzen.
- VORW o. V.: Planungskonzept der Fa. Vorwerk Elektrogeräte. Wuppertal.
- WAH78 Wahrig, G. (Hrsg.): Deutsches Wörterbuch. Gütersloh: Bertelsmann 1978.
- WAR75 Warnecke, H. J.; von Stetten, R.: Puffer gegen Störungen in automatischen Fertigungslinien. wt 65 (1975) 11, S. 677-682.
- WEB84 Weber, H.: Fortschrittszahlenkonzept der Fordwerke. Köln: Ford 1984.
- WIL80 Wilhelm, K. G.: System zur Planung des Umlaufbestandes in Betrieben mit Großserienfertigung. Berlin: Springer 1980.

- WIL91 Wildemann, H.: Die modulare Fabrik. Kundennahe Produktion durch Fertigungssegmentierung. St. Gallen: GFMT-Verlag 1992.
- WITT73 Witte, E.: Ablauforganisation. In: Grochla, E. (Hrsg.): Handwörterbuch der Organisation. Stuttgart: Poeschel 1973.
- WNL95 Wiendahl, H.-P.: Produktionsplanung und -steuerung im Wandel. ZwF 90 (1995) 2, S. 82-86.
- WTH92 Wirth, S.: Rechnergeführte Fertigungssegmentierung. Methodik und Werkzeuge zur simultanen Fabrikstrukturierung. VDI-Bericht 949. Düsseldorf: VDI-Verlag 1992.
- ZIE89 Ziegler, H.: Produktionsablaufplanung und -steuerung bei Mehrproduktfließlinien. In: Kistner, K.-P., u. a. (Hrsg.): Operations Research Proceedings 1989. Berlin: Springer 1989.
- ZON83 Zons, K.-H.: Rechnerunterstützte Ermittlung von Arbeitsvorgangsfolgen auf der Basis von bearbeitungstechnologischen Grundlagen. Aachen: Dr.-Ing. Diss. TH 1983.