

Lernziele

Die vorliegende Kurseinheit soll Sie mit Problemen der Produktionsplanung und -steuerung sowie des Vertriebs bekannt machen. Sie lernen die Unterstützung der Produktionsplanung und -steuerung sowie des Vertriebs durch ERP-Systeme kennen. APS-Systeme sowie MES werden charakterisiert. Die Funktionsweise und Architektur von CRM-Systemen werden kurz erläutert.

Nach dem Studium von Abschnitt 6.1 sollen Sie in der Lage sein, wichtige Grunddaten der Produktionsplanung und -steuerung anzugeben. Sie haben den Ablauf der Produktionsplanung und -steuerung verstanden. Sie können die Primärbedarfs-, die Mengen- sowie die Terminplanung beschreiben. Kenntnisse in verschiedenen Produktionssteuerungskonzepten sollen bei Ihnen vorhanden sein. Sie können die Instandhaltungsplanung für Maschinen beschreiben. Außerdem können Sie erklären, wie die Produktionsplanungs- und Steuerungsfunktionalität in ERP-Systemen umgesetzt wird. Sie sollen mit wesentlichen Konzepten von APS-Systemen sowie mit dem MES-Konzept vertraut sein.

Die Beschäftigung mit dem Inhalt von Abschnitt 6.2 befähigt Sie, wesentliche Funktionen und Prozesse im Vertrieb eines Unternehmens darstellen zu können. Nach dem Studium des Abschnitts kennen Sie wichtige Stammdaten des Vertriebs. Sie sollen in der Lage sein, die Unterstützung des Kundenkontakts, die Angebotsüberwachung, die Verkaufs- und Versandabwicklung sowie die Fakturierung zu beschreiben. Die Beschäftigung mit Abschnitt 6.2 wird Sie weiterhin dazu befähigen, den Einsatz von ERP- und CRM-Systemen im Vertrieb zu verstehen.

Die Übungsaufgaben innerhalb der Kurseinheit dienen der Überprüfung des erreichten Kenntnisstandes. Eine selbständige Bearbeitung der Aufgaben ist für das Erreichen eines tieferen Verständnisses des Stoffes unerlässlich. Einige der in dieser Kurseinheit behandelten Konzepte werden für Sie leichter verständlich sein, wenn Sie die praktischen Übungen am mySAP ERP-System im Rahmen der Einsendaufgaben durchführen. Ein Kurs über betriebliche Informationssysteme ohne praktische Übungen an einem ERP-System ist mit einem Tanzkurs ohne Tanzübungen vergleichbar. Im diesem Sinne möchten wir dazu ermutigen, sich an der Lösung der Einsendaufgaben zu beteiligen.

6.1 Funktionen und Prozesse im Produktionssektor

6.1.1 Einführung und Motivation

In den ersten fünf Kurseinheiten wurden betriebliche Informationssysteme unter den Gesichtspunkten

- Architektur,
- Konstruktion,
- Realisierungsmöglichkeiten von Anwendungssystemen

Produktions-
domäne

umfassend behandelt. Dabei wurde an vielen Stellen auf Beispiele aus der Produktionsdomäne zurückgegriffen. In diesem Abschnitt erfolgt nun eine systematischere Behandlung von Gegenständen der Produktionsplanung und -steuerung. Die Auswahl des Funktionsbereichs „Produktion“ hängt zum einen mit persönlichen Forschungsvorlieben zusammen. Andererseits können viele Probleme der Logistik- bzw. Dienstleistungsdomäne erfolgreich mit etablierten Methoden aus der Produktionsdomäne behandelt werden. In verallgemeinerter Sichtweise handelt es sich um Probleme, die darin bestehen, Aktivitäten unter Verwendung knapper Ressourcen so auszuführen, dass bestimmte betriebswirtschaftliche Ziele erreicht werden. Wir betrachten dazu das folgende Beispiel.

Beispiel 6.1.1 (Übertragbarkeit von Methoden auf andere Domänen)

Beim sogenannten Traveling-Salesman-Problem (TSP) [16] handelt es sich um das Problem, wie ein Handelsreisender eine Rundreise durch n Städte zu planen hat, so dass erstens jede Stadt genau einmal besucht wird und zweitens die zurückgelegte Gesamtstrecke minimal wird. TSP ist ein Standardproblem der Logistik. Das Problem aus der Logistikdomäne kann in ein äquivalentes Maschinenbelegungsplanungsproblem umformuliert werden. Gegeben sind n Lose, deren Bearbeitung auf einer Maschine reihenfolgeabhängige Umrüstzeiten erfordert. Das bedeutet, dass die Umrüstzeit nicht nur vom als nächstes zu bearbeitenden Los sondern auch vom vorher bearbeiteten Los abhängig ist. Die Bearbeitung der Lose soll so auf der Maschine vorgenommen werden, dass die Summe der Umrüstzeiten minimal wird. Methoden zur Lösung dieses Maschinenbelegungsproblems können somit zur Lösung von TSP-Instanzen verwendet werden und umgekehrt.

Wir betrachten ein weiteres Beispiel aus der Krankenhausdomäne.

Beispiel 6.1.2 (Dienstplanerstellung in Krankenhäusern) *Dienstpläne werden unter Verwendung einer Auktion erstellt [3]. Jede Krankenschwester bekommt für einen Monat eine bestimmte Menge von Punkten. Diese kann sie dazu verwenden, um für Schichten eingesetzt zu werden, die von ihr*

bevorzugt werden. Nachdem alle Angebote abgegeben worden sind, versucht ein Optimierungsmodell unter Berücksichtigung bestimmter Restriktionen die Schichten denjenigen Krankenschwestern zuzuordnen, welche die höchsten Gebote abgegeben haben. Die Schichten, die bei dieser Vorgehensweise übrig bleiben, werden denjenigen Krankenschwestern zugewiesen, die entweder im betreffenden Monat bisher zuwenig gearbeitet haben oder deren Punktevorrat zu gering ist. Ähnliche Verfahren sind aus der Produktionsdomäne für die Maschinenbelegungsplanung bekannt [4, 26].

Für eine vertiefte Behandlung von Entscheidungsmethoden in der Produktionsplanungs- und Steuerungsdomäne, insbesondere zur Simulation und zur Ablaufplanung, verweisen wir auf das Wahlpflichtmodul „Entscheidungsmethoden in unternehmensweiten Softwaresystemen“.

Entscheidungs-
methoden

6.1.2 Produktionsplanung und -steuerung

6.1.2.1 Übersicht und grundlegender Ablauf

Wir definieren zunächst den Begriff der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) in Anlehnung an [8].

PPS

Definition 6.1.1 (Produktionsplanung und -steuerung) *Die räumliche, zeitliche und mengenmäßige Planung, Steuerung und Kontrolle des Geschehens im Produktionsbereich wird als Produktionsplanung und -steuerung bezeichnet.*

Die für die Produktionsplanung typischen Entscheidungen lassen sich in lang-, mittel- und kurzfristige Ausstattungs-, Programm- und Prozessentscheidungen unterscheiden [8]. Operative Entscheidungen sind in Bezug auf das kurzfristige Produktionsprogramm, die bereitzustellenden Produktionsfaktoren und die durchzuführenden Produktionsprozesse zu treffen.

Ein typisches Unternehmen bearbeitet alle seine Kundenaufträge und Produkte unter Verwendung eines PPS-Systems oder der Produktionsplanungskomponenten seines ERP-Systems [22].

Die folgende Schrittfolge wird im Rahmen der rechnergestützten Produktionsplanung und -steuerung zur Bestimmung von Produktionsmengen und -terminen ausgeführt, wobei wir modellhaft von Serienfertigung ausgehen. Wir setzen voraus, dass ein mittelfristig aggregiertes Produktionsprogramm vorliegt. Dieses legt fest, welche Mengen für bestimmte Produktgruppen im nächsten Jahr in den einzelnen Monaten hergestellt werden.

PPS-Ablauf

1. **Planung der Primärbedarfe:** Im ersten Schritt werden kurzfristige Primärbedarfe, die zu bestimmten Terminen für den Versand zur Verfügung stehen müssen, auf Basis vorliegender Kundenaufträge sowie des Produktionsprogramms unter Berücksichtigung vorhandener Lagerbestände an Endprodukten geplant. Außerdem ist es erforderlich, die im Produktionssystem zur Verfügung stehende Kapazität mit dem Kapazitätsbedarf aus dem Produktionsprogramm abzustimmen.

Mengen-
planung

2. **Auflösung der Erzeugnisstruktur von Primärbedarfsteilen:** Unter Verwendung eines Stücklistenauflösungsverfahrens wird eine Auflösung der Erzeugnisstruktur vorgenommen.
3. **Ermittlung der Bruttobedarfe:** In diesem Schritt werden die Bedarfe an Baugruppen und Teilen auf der nächstniedrigeren Fertigungsstufe bestimmt. Da Zeit für Montageprozesse benötigt wird, sind Bedarfe auf der nächstniedrigeren Fertigungsstufe um die Vorlaufzeitverschiebung früher bereitzustellen.
4. **Ermittlung der Nettobedarfe:** In diesem Schritt werden von den in Schritt 3 ermittelten Bruttobedarfen die vorhandenen Lagerbestände und vordisponierten Bestände abgezogen. Als Ergebnis erhält man Nettobedarfe.
5. **Nettobedarfsbündelung:** Bei der Bündelung von Nettobedarfen handelt es sich um die Bildung von Losen. Wir verstehen in diesem Kurs unter einem **Los** die Zusammenfassung oder Teilung einer durch die Bedarfsermittlung festgelegten Menge, aus der ein Produktions- oder ein Bestellauftrag entsteht. Ein Los ist somit die Menge eines Teils, die zusammenhängend produziert wird. Zur Ermittlung geeigneter Losgrößen dienen Losgrößenheuristiken. Durch die Losbildung wird versucht, einen Kompromiss zwischen Umrüst- und Lagerhaltungskosten zu erzielen.

Los

Durch die Schrittfolge 1.-5. ist die mengenmäßige Bestimmung für eine feste Stufe der Produktionsaufträge abgeschlossen. Um alle Stufen zu erreichen, sind die Schritte 3.-5. iterativ zu wiederholen, bis die unterste Stufe abgearbeitet ist. Die Schritte 2.-5. werden als **Materialbedarfsplanung** oder **Mengenplanung** bezeichnet.

Termin-
planung

Anschließend muss der Start der Produktionsaufträge und ihrer Arbeitsgänge festgelegt werden. Der Vorgang wird als **Terminplanung** bezeichnet. Wir erhalten dafür die nachfolgende Schrittfolge:

1. **Durchlaufterminierung:** Die Arbeitsgänge der Lose werden unter Berücksichtigung des gewünschten Fertigstellungstermines geplant. Der Vorgang wird als Grobplanung bezeichnet. Dabei wird von unendlich großer Kapazität ausgegangen. Wenn die ermittelten Termine für die einzelnen Arbeitsgänge dazu führen, dass gewünschte oder einzuhaltende Fertigstellungstermine nicht eingehalten werden, können Maßnahmen wie Splittung der Lose und damit prinzipiell die Möglichkeit zur Beschleunigung durch Bearbeitung auf unterschiedlichen Maschinen ergriffen werden.
2. **Kapazitätsabgleich:** Falls sich in Schritt 1. eine sehr unterschiedlich genutzte Kapazität ergibt, insbesondere die zur Verfügung stehende Kapazität in einzelnen Perioden überschritten wird, ist diese durch einen Kapazitätsabgleich entsprechend zu glätten.

Obwohl der Kapazitätsbegriff intuitiv klar ist, geben wir der Vollständigkeit halber die nachfolgende Definition in Anlehnung an [1] an.

Kapazität

Definition 6.1.2 (Kapazität) *Kapazität ist das Leistungsvermögen einer wirtschaftlichen oder technischen Einheit in einem Zeitabschnitt.*

Häufig ist es nicht notwendig, dass alle Schritte der Terminplanung auch tatsächlich durchgeführt werden.

Die Primärbedarfs-, Mengen- und Terminplanung sind die wesentlichen Bestandteile der Produktionsplanung. An diese Planungsprozesse schließt sich die Produktionsdurchführung an, die durch die Produktionssteuerung beeinflusst wird. Hier ist wesentlich, dass wir nicht mehr von Planung im Sinne einer gedanklichen Vorwegnahme zukünftiger Handlungen sprechen, da die Produktionsaufträge nach der Auftragsfreigabe auch physisch im Produktionssystem vorhanden sind. Die nachfolgenden Schritte gehören zur Produktionssteuerung und zur Produktionsdurchführung:

Produktions-
steuerungProduktions-
durchführung

1. **Auftragsfreigabe:** Produktionsaufträge sind nach dem Kapazitätsabgleich sowohl mengen- als auch terminlich festgelegt und können gespeichert werden. Kurz vor Beginn der Produktion werden die Produktionsaufträge in das Produktionssystem eingelastet.
2. **Feinterminierung:** In diesem Schritt werden die Produktionsaufträge den Ressourcen zugeordnet sowie die Bearbeitungsreihenfolgen auf den Ressourcen festgelegt. Die Festlegung von Bearbeitungsreihenfolgen wird auch als Feinterminierung bezeichnet. Dabei werden im Gegensatz zur Grobterminierung endliche Kapazitäten berücksichtigt.
3. **Produktionsdurchführung:** Die Produktionsaufträge werden auf den Ressourcen der Produktionsstätten ausgeführt. Die Durchsteuerung der Produktionsaufträge durch das Produktionssystem erfolgt unter Verwendung von Produktionsdokumenten.
4. **Produktionsfortschrittskontrolle:** Die aus den Produktionsstätten eintreffenden Informationen werden gesammelt, um den Fortschritt der Bearbeitung der Produktionsaufträge unter terminlichen Gesichtspunkten zu kontrollieren und gegebenenfalls geeignete Maßnahmen zu ergreifen.

Bei dem skizzierten Konzept handelt es sich um ein phasenbezogenes Sukzessivplanungskonzept. Es stimmt in wesentlichen Bestandteilen mit dem Manufacturing-Resource-Planning (MRP II) [14] überein.

MRP II

In den Abschnitten 6.1.2.3 und 6.1.2.4 werden die einzelnen Produktionsplanungs- und Steuerungsprobleme genauer behandelt. Vorher ist es aber notwendig, wesentliche Grunddaten der Produktionsplanung und -steuerung einzuführen.

6.1.2.2 Grunddaten der Produktionsplanung und -steuerung

In den meisten PPS-Systemen sind die folgenden Grunddaten vorhanden [21, 17, 10]:

- Teile,
- Erzeugnisstrukturen,
- Arbeitsgänge,
- Arbeitspläne,
- Betriebsmittel und Arbeitsplätze,
- Fertigungsstrukturen.

Grunddaten stellen Stammdaten dar (vergleiche Abschnitt 1.1.2 für den Stammdatenbegriff), da sie sich relativ selten ändern. Wir erläutern der Reihe nach diese Daten. Die Endprodukte, in den vorausgegangenen Kurseinheiten auch einfach als Produkte bezeichnet, setzen sich aus Baugruppen zusammen. Jede Baugruppe besteht wiederum aus Einzelteilen. Einzelteile erhält man aus Rohmaterial. Um zu einer einheitlichen Sprachregelung zu kommen, definieren wir den Begriff des Teils.

Teil

Definition 6.1.3 (Teil) *Als Oberbegriff für Endprodukte, Baugruppen, Einzelteile sowie Rohmaterialien wird der Begriff Teil verwendet.*

Die nachfolgenden Daten werden typischerweise für ein konkretes Teil vorgehalten:

- Teilenummer,
- Teilebezeichnung,
- Teilebeschreibung,
- Teileart wie Endprodukt oder Baugruppe,
- Dispositionsart (vergleiche dazu Abschnitt 5.3.6.4),
- Wiederbeschaffungszeit.

Für die Produktion ist von Interesse, aus welchen Teilen sich ein konkretes Endprodukt zusammensetzt. Das führt zum Begriff der Erzeugnisstruktur, der wie folgt definiert ist.

Erzeugnisstruktur

Definition 6.1.4 (Erzeugnisstruktur) *Die Zusammensetzung eines Teils aus seinen Bestandteilen wird in der Erzeugnisstruktur festgehalten.*

Für die Darstellung von Erzeugnisstrukturen werden Bäume bzw. allgemeiner Graphen eingesetzt. Die Knoten der Bäume stellen die Teile dar. Die Kanten dienen zur Veranschaulichung des Sachverhalts, dass ein Teil aus anderen Teilen besteht. Mengenkoeffizienten werden an den Kanten abgetragen. Wir betrachten zur Veranschaulichung das nachfolgende Beispiel.

Beispiel 6.1.3 (Bäume für Erzeugnisstrukturen) *Wir greifen das Beispiel 1.1.1 aus Abschnitt 1.1.2 wieder auf. Ein Motorrad (MR) besteht aus Motor (M1) und Rahmen (R1). Der Motor setzt sich aus Motorblock (MB1) und Nockenwelle (NW1) zusammen. Gleichzeitig wird ein Rasenmäher (RM) betrachtet, der aus einem Motor (M2) besteht. Dieser Motor setzt sich ähnlich wie im Fall des Motorrads aus einem Motorblock MB2 sowie der bereits für das Motorrad verwendeten Nockenwelle NW1 zusammen. Diese Erzeugnisstrukturen sind in Abbildung 6.1 dargestellt. Die Bäume unter a) und b) beinhalten „besteht aus“-Kanten, während unter c) ein Baum abgebildet ist, der „geht ein in“-Kanten besitzt. Im Beispiel sind alle Mengenkoeffizienten 1.*

Übungsaufgabe 6.1 (Erzeugnisstruktur als ER-Modell) *Erzeugnisstrukturen drücken Beziehungen zwischen Teilen aus. Das lässt sich im Entity-Relationship-Modell als Beziehungstyp zwischen Entitäten vom Typ „Teil“ abbilden. Das Entity-Relationship-Modell enthält somit nur die Entität „Teil“ und die Beziehung der Teile untereinander. Ein Teil geht in ein anderes Teil mit einer bestimmten Menge ein. Dieses Teil hat somit eine „besteht-aus“-Beziehung zu den Teilen, aus denen es besteht. Stellen Sie die Erzeugnisstruktur in einem Entity-Relationship-Modell dar.*

Übungsaufgabe 6.2 (Erzeugnisstruktur als Datenbanktabelle) *Stellen Sie unter Verwendung des in Aufgabe 6.1 entworfenen Entity-Relationship-Modells die Erzeugnisstruktur des Motorrads und des Rasenmähers aus Beispiel 6.1.3 in Form einer Datenbanktabelle dar. Bestimmen Sie hierzu zuerst den Aufbau der Tabellen mit den Primärschlüsseln.*

Gozintographen dienen dazu, Bäume mit ‘besteht aus“-Kanten und Bäume mit „geht ein in“-Kanten zusammenzufassen. Knoten und Kanten, die in der Baumstruktur mehrfach auftreten, müssen so nur einmal dargestellt werden. Wir definieren den Begriff eines Gozintographen wie folgt.

Gozintograph

Definition 6.1.5 (Gozintograph) *Die Zusammensetzung von Teilen aus ihren Bestandteilen wird als Gozintograph bezeichnet. Bestandteile, die mehrfach auftreten, werden im resultierenden Graphen nur einmal aufgenommen.*

Wir zeigen den zu Beispiel 6.1.3 zugehörigen Gozintographen im nachfolgenden Beispiel.

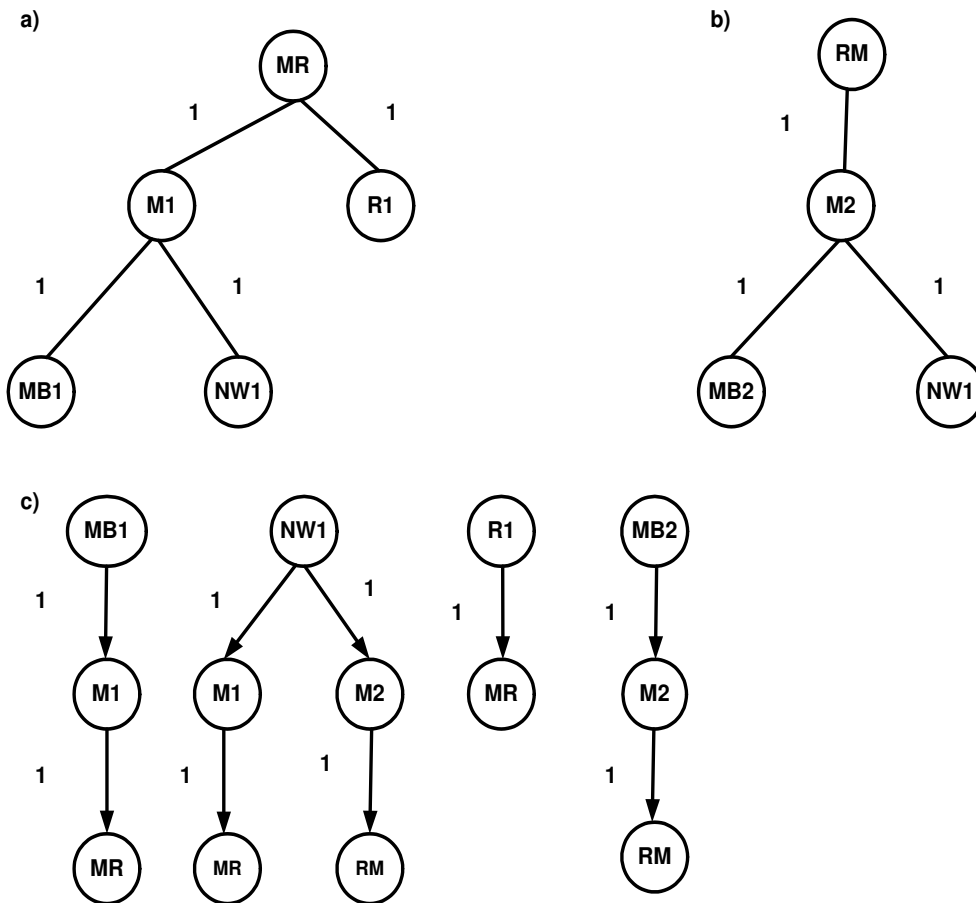


Abbildung 6.1: Darstellung von Erzeugnisstrukturen

Beispiel 6.1.4 (Gozintograph) Der Gozintograph ist in Abbildung 6.2 gezeigt. Im Gegensatz zu Abbildung 6.1 tritt in Abbildung 6.2 das Teil NW1 nur einmal auf.

Wir definieren den Begriff der Stückliste wie folgt.

Definition 6.1.6 (Stückliste) Die listenförmige Darstellung einer Erzeugnisstruktur mit Teilenummern und -bezeichnungen sowie den entsprechenden Mengenkoeffizienten wird als Stückliste bezeichnet.

Stückliste

Eine Stückliste beschreibt die Zusammensetzung eines Endprodukts oder eines anderen Teils aus seinen Bestandteilen. Stücklisten kommen bei Produktionsprozessen zum Einsatz, bei denen die Mengeneinheiten in Stück gemessen werden. Diese Art von Produktion wird auch als diskrete Produktion bezeichnet [21]. Wir betrachten dazu das folgende Beispiel.

Beispiel 6.1.5 (Diskreter Produktionsprozess) Eine diskrete Produktion liegt im Maschinenbau oder in der Automobilindustrie vor.

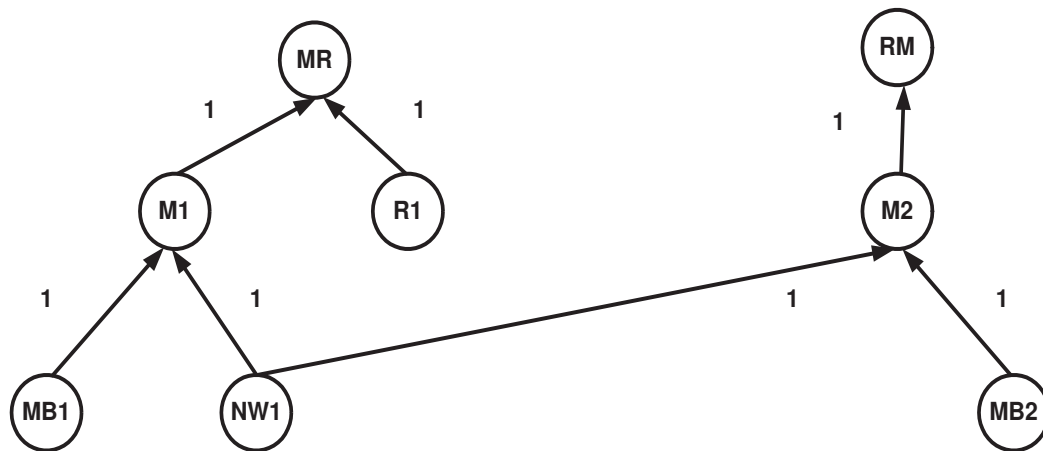


Abbildung 6.2: Gozintograph

Wir unterscheiden zwischen den nachfolgenden Formen von Stücklisten:

Formen von
Stücklisten

- Baukastenstückliste,
- Strukturstückliste,
- Mengenübersichtsstücklisten.

Wir erläutern der Reihe nach diese drei Formen von Stücklisten. **Baukastenstücklisten** sind einstufige Stücklisten. Sie beschreiben, wie sich ein Teil aus Teilen der nächsttieferen Stufe zusammensetzt. Wir betrachten dazu das folgende Beispiel.

Beispiel 6.1.6 (Baukastenstückliste) Wir zeigen die zum Motorrad aus Beispiel 6.1.3 zugehörige Baukastenstückliste in Tabelle 6.1.

Tabelle 6.1: Baukastenstückliste

Teil: Motorrad, Teile-Nr.: E-03			
Teile-Nr.	Teilebezeichnung	Maßeinheit	Menge
M1	Motor	St.	1
R1	Rahmen	St.	1

Übungsaufgabe 6.3 (SQL-Statement für Baukastenstückliste) Erstellen Sie auf Basis der Tabellen aus Aufgabe 6.2 ein SQL-Statement zum Erzeugen der Baukastenstückliste aus Tabelle 6.1 für das Motorrad.

Strukturstücklisten sind mehrstufige Stücklisten. Sie beschreiben im Gegensatz zu den Baukastenstücklisten die Zusammensetzung eines Teils aus Bestandteilen tieferer Stufen. Die gesamte Erzeugnisbaumstruktur wird als Liste abgebildet. Wir betrachten dazu das nachfolgende Beispiel.

Beispiel 6.1.7 (Strukturstückliste) Wir zeigen die zum Motorrad aus Beispiel 6.1.3 zugehörige Strukturstückliste in Tabelle 6.2.

Tabelle 6.2: Strukturstückliste

Teil: Motorrad, Teile-Nr.: E-03				
Stufe	Teile-Nr.	Teilebezeichnung	Maßeinheit	Menge
1	M1	Motor	St.	1
.2	MB1	Motorblock	St.	1
.2	NW1	Nockenwelle	St.	1
1	R1	Rahmen	St.	1

Mengenübersichtsstücklisten enthalten alle Bestandteile eines Teils. Im Gegensatz zur Strukturstückliste wird aber die hierarchische Erzeugnisstruktur nicht mehr abgebildet. Falls ein bestimmtes Teil in der Erzeugnisstruktur mehrfach vorkommt, werden die entsprechenden Anzahlen summiert. Daraus leitet sich der Name dieser Stücklistenform ab. Wir betrachten dazu das nachfolgende Beispiel.

Beispiel 6.1.8 (Mengenübersichtsstückliste) Wir zeigen die zum Motorrad aus Beispiel 6.1.3 zugehörige Mengenübersichtsstückliste in Tabelle 6.3.

Tabelle 6.3: Mengenübersichtsstrukturliste

Teil: Motorrad, Teile-Nr.: E-03			
Teile-Nr.	Teilebezeichnung	Maßeinheit	Menge
M1	Motor	St.	1
MB1	Motorblock	St.	1
NW1	Nockenwelle	St.	1
R1	Rahmen	St.	1

Erzeugnisvarianten spielen eine wichtige Rolle in vielen Industriezweigen. Die Anzahl der unterschiedlichen Varianten kann schnell sehr groß werden. Varianten werden durch geeignete Darstellungen in der Erzeugnisstruktur behandelt [21].

Arbeitsgänge dienen dazu, eine Produktionsaufgabe in Teilaufgaben zu zerlegen. In der Produktion wird zwischen eigentlichen Fertigungsarbeitsgängen und Montagearbeitsgängen unterschieden.

Jedem Eigenfertigungsteil ist ein Arbeitsplan zugeordnet. Wir definieren den Begriff des Arbeitsplans wie folgt [21].

Definition 6.1.7 (Arbeitsplan) *Die Vorschriften, nach denen Teile hergestellt werden, werden als Arbeitsplan bezeichnet. Ein Arbeitsplan enthält Arbeitsgänge.*

Ein Arbeitsplan besteht aus einem Kopf- und einem Rumpfteil. Im Kopfteil befinden sich typischerweise die nachfolgenden Daten:

- Arbeitsplannummer,
- zeitlicher oder stückzahlabhängiger Gültigkeitsbereich,
- Teil, auf den sich der Arbeitsplan bezieht,
- Teile, die in das dem Arbeitsplan zugeordnete Teil eingehen.

Der Rumpfteil des Arbeitsplans dient dazu, die den einzelnen Arbeitsgängen zugeordneten Daten vorzuhalten. Typischerweise werden die nachfolgenden Daten in einer Tabelle gespeichert:

- Arbeitsgangnummer,
- Betriebsmittel- bzw. Arbeitsplatzangaben,
- Rüstzeit,
- Bearbeitungszeit pro Mengeneinheit.

Die Arbeitsgangnummer dient zur Identifizierung des Arbeitsganges. Betriebsmittel und Arbeitsplätze werden häufig zu einem gemeinsamen Datenbestand zusammengefasst. Wichtige Betriebsmittel sind Maschinen. Wir betrachten das nachfolgende Beispiel für eine dreistufige Betriebsmittelhierarchie in der Halbleiterindustrie [26].

Beispiel 6.1.9 (Betriebsmittelhierarchie) *Halbleiterfabriken setzen sich aus Produktionsbereichen zusammen. Jeder Produktionsbereich besteht aus räumlich nahe zusammenliegenden Maschinengruppen. Eine einzelne Maschinengruppe umfasst funktionsgleiche Maschinen.*

Wir betrachten das folgende Beispiel für einen Arbeitsplan.

Tabelle 6.4: Arbeitsplan

STEP	STNFAM	PTIME	PTUNITS	PTPER
1	LASER_SCRIBE	25,92	min	lot
2	DIFF_SINK1	13,5	min	lot
3	OXIDE_1	253,8	min	lot
4	VAPOR_PRIME_OVEN	31,5	min	lot
5	CRIT_COAT	1,631	min	piece
6	STEPPER	0,394	min	piece
7	CRIT_DEV	2,176	min	piece
8	LEITZ_LITHO	0,54	min	piece
9	VWR_OVEN	0,88	min	piece
10	BRANSON	0,409	min	piece

Beispiel 6.1.10 (Arbeitsplan) In Tabelle 6.4 ist ein Ausschnitt eines Arbeitsplans zur Herstellung von integrierten Schaltkreisen zu sehen. Arbeitspläne können im Frontend-Bereich von Halbleiterfabriken bis zu 800 Arbeitsgänge umfassen. Die Spalte STEP dient zur Aufnahme der Arbeitsgangnummern. Mit STNFAM wird die Spalte für die Maschinengruppen bezeichnet. Die Spalte PTIME wird für die Bearbeitungszeiten verwendet. Die Spalte PTUNITS gibt die Maßeinheit für die Bearbeitungszeiten an. Schließlich gibt die Spalte mit Überschrift PTPER an, ob sich die Bearbeitungszeit auf ein Los oder auf einen einzelnen Wafer bezieht. Rüstzeiten werden nicht betrachtet. Wie bereits an anderer Stelle im Kurs beschrieben, besteht ein Los in der Halbleiterfertigung aus einer bestimmten Anzahl von Wafern. Ein Wafer ist eine Siliziumscheibe, auf der die Schaltkreise im Rahmen der Produktion aufgetragen werden [30].

Übungsaufgabe 6.4 (Arbeitsplan) Erstellen Sie einen Arbeitsplan zur Fertigung eines Motorrads aus Beispiel 6.1.3 mit folgenden weiteren Angaben. Im ersten Schritt erfolgt die Bereitstellung der Bauteile am Arbeitsplatz „Montage III“. Dieser Vorgang dauert 25 Minuten. Danach wird das Motorrad mit einer Dauer von 205 Minuten am Arbeitsplatz „Montage IV“ montiert. Für den ersten Arbeitsgang ist eine Rüstzeit von 18 Minuten und für den zweiten Arbeitsgang eine Rüstzeit von 10 Minuten vorgesehen.

Die Fertigung des Motors beginnt mit der Bereitstellung der Bauteile am Arbeitsplatz „Montage III“. Das dauert 15 Minuten bei einer Rüstzeit von 8 Minuten. Danach wird der Motor am selben Arbeitsplatz mit einer Dauer von 135 Minuten montiert. Zum Schluss müssen das Lagerspiel der Wellen und die Dichtigkeit des Motors überprüft werden. Beide Arbeitsgänge werden am Arbeitsplatz „Montage IV“ ausgeführt. Die Überprüfung des Lagerspiels der Wellen dauert 15 Minuten bei einer Rüstzeit von 10 Minuten. Für die Überprüfung der Dichtigkeit des

Motors werden 10 Minuten benötigt. Erstellen Sie auch für die Fertigung des Motors einen Arbeitsplan.

Unter der Fertigungsstruktur versteht man die Zuordnung von Arbeitsgängen zu Betriebsmitteln. Ein Arbeitsgang kann auf unterschiedlichen Maschinen ausgeführt werden. Umgekehrt kann eine Maschine typischerweise verschiedene Arbeitsgänge bearbeiten.

Fertigungs-
struktur

Zusätzlich zu den bereits behandelten Stammdaten sind die nachfolgenden Grunddaten von Interesse:

- Betriebskalender,
- Schichtkalender,
- Lieferantendaten,
- Kundendaten,
- Personal,
- Werkzeuge,
- Lagerdaten.

Wir erläutern der Reihe nach diese Grunddaten. Betriebskalender stellen Arbeits- und Nicht-Arbeitstage zur Verfügung. Falls im Unternehmen ein Schichtregime Anwendung findet, müssen Schichtkalender gepflegt werden.

Die Stammdaten der Lieferanten müssen vorgehalten werden. Wir unterscheiden zwischen Eigenfertigungs- und Fremdbezugsteilen. Informationen darüber, von welchem Lieferanten welches Fremdbezugsteil bezogen werden kann, müssen neben Mengen- und Qualitätseigenschaften abgelegt werden. Diese Informationen werden als Lieferstruktur bezeichnet. Liefer- und Zahlungsbedingungen werden durch Konditionen festgelegt.

Übungsaufgabe 6.5 (Lieferantendaten) *Erstellen Sie ein Entity-Relationship-Modell zur Ablage der angegebenen Lieferantendaten.*

Während die Lieferantendaten zur Beschreibung der Beziehungen zwischen Lieferanten und Fremdbezugsteilen verwendet werden, beschreiben Kundendaten die Beziehungen zwischen Kunden und Eigenfertigungsteilen. Genauso wie im Fall der Lieferantendaten legen Kundenstrukturen fest, welche Teile an welche Kunden geliefert werden. Außerdem sind Konditionen abzubilden.

Wie in Abschnitt 5.3.6.4 beschrieben, werden Personaldaten in den Personalwirtschaftsmodulen von ERP-Systemen vorgehalten. Personaldaten werden aber auch in der Produktionsplanung und -steuerung benötigt. Wir betrachten dazu das nachfolgende Beispiel.

Beispiel 6.1.11 (Nutzung von Personaldaten in der PPS) *Für die Kapazitätsplanung werden Daten über die zur Verfügung stehende Personalkapazität benötigt.*

Die Verfügbarkeit von Werkzeugen hat für die Kapazitätsplanung eine große Bedeutung. Aus diesem Grund müssen derartige Daten der Produktionsplanung und -steuerung zur Verfügung gestellt werden. Werkzeuge werden als Hilfsressourcen bezeichnet und infolgedessen gemeinsam mit den Betriebsmitteln verwaltet.

Die Lagerorte sind als Lagerdaten vorzuhalten. Unterschiedliche Lagerungsformen, die zum Teil unterschiedliche Ein- und Auslagerungsstrategien bedingen, sind abzubilden. Wir betrachten das nachfolgende Beispiel zu Lagerungsformen [21].

Beispiel 6.1.12 (Lagerungsformen) *Hochregallager und Palettenregale stellen unterschiedliche physische Lagerungsformen dar.*

Lagerdaten sind für die Produktionsplanung und -steuerung wichtig, da zum Beispiel die Kapazität von Zwischenlagern und die Lagerbestände in Verfahren der Produktionsplanung und -steuerung verwendet werden.

6.1.2.3 Produktionsplanung

Primärbedarfsplanung

Das Ziel der **Primärbedarfsplanung** besteht darin, einen groben Abgleich zwischen Absatz- bzw. Produktionsmengen und den tatsächlich vorhandenen Produktionskapazitäten vorzunehmen. Ausgehend von einem aggregierten mittelfristigen Produktionsprogramm, das auf Produktgruppenebene festlegt, welche Mengen der einzelnen Produktarten im nächsten Jahr bei einer Unterteilung in Monatsperioden hergestellt werden müssen, werden im Rahmen der Primärbedarfsplanung Produktionsstückzahlen für die einzelnen Produkte und Perioden auf Wochenbasis eines kurzfristigen Horizontes abgeleitet. Dabei werden auch bereits bekannte Kundenaufträge bzw. kurzfristige Prognosen für diese sowie vorhandene Lagerbestände an Endprodukten einbezogen. Die ermittelten Produktionsstückzahlen werden der verfügbaren Produktionskapazität gegenübergestellt. Falls die Kapazität ausreichend ist, kann mit der Auflösung der Erzeugnisstruktur fortgefahren werden. Andernfalls ist eine Erweiterung des Kapazitätsangebots vorzunehmen oder das aggregierte Produktionsprogramm ist geeignet anzupassen.

Erzeugnisstrukturauflösung

Eine **Auflösung der Erzeugnisstruktur** wird vorgenommen, um aus den durch die Ausprägung Menge und Termin beschriebenen Bedarfen eines übergeordneten Teils Bedarfe für untergeordnete Teile abzuleiten. Wir gehen im weiteren Verlauf der Einfachheit halber von Strukturstücklisten aus. Die Auflistung von Strukturstücklisten kann auf zwei unterschiedliche Art und Weisen organisiert werden [22]:

- im Rahmen des Fertigungsstufen-Verfahrens,

- innerhalb des Dispositionsstufen-Verfahren.

Das **Fertigungsstufen-Verfahren** geht davon aus, dass die Bedarfsberechnung für jedes Teil in der Reihenfolge der Fertigungsstufen erfolgt. Das hat zur Folge, dass bei Teilen, die in einer Stückliste auf unterschiedlichen Stufen vorkommen, der Bedarf mit den vorhandenen Beständen mehrfach abgeglichen werden muss. Unter Umständen sind dann die Bedarfe des Teiles auf höherer Stufe noch durch Lagerbestände gedeckt, während auf den tieferen Stufen zur Deckung der Bedarfe produziert werden muss. Das ist aber nicht sinnvoll, da Teile auf tieferen Stufen typischerweise zeitiger bereitgestellt werden müssen [22].

Fertigungs-
stufen

Beim **Dispositionsstufen-Verfahren** wird versucht, das Problem von identischen Teilen, die auf unterschiedlichen Fertigungsstufen auftreten, zu vermeiden. Dazu wird der Begriff der Dispositionsstufe eingeführt. Dieser ist wie folgt definiert.

Dispositions-
stufen

Definition 6.1.8 (Dispositionsstufe) *Die unterste Fertigungsstufe, in der das betrachtete Teil in einer beliebigen Erzeugnisstruktur vorkommt, wird als Dispositionsstufe dieses Teils bezeichnet.*

Die Bedarfsermittlung wird dann für die einzelnen Dispositionsstufen, mit der höchsten beginnend, durchgeführt. Ein Nachteil dieses Vorgehens besteht darin, dass für jedes Teil die Dispositionsstufe abzuspeichern ist und bei Verwendung des Teils auf einer niedrigeren Fertigungsstufe das Stufenmerkmal des Teils entsprechend geändert werden muss.

Wir bemerken, dass an Stelle der in Abschnitt 6.1.2.2 eingeführten Strukturstücklisten in der Praxis häufig auch **Dispositionsstücklisten** verwendet werden. Eine Dispositionsstückliste unterscheidet sich von einer Strukturstückliste dadurch, dass die Fertigungsstufen durch Dispositionsstufen ersetzt werden. Jede Strukturstückliste kann in eine zugehörige Dispositionsstückliste umgewandelt werden.

Dispositions-
stückliste

Durch die Stücklistenauflösung werden ausgehend von den Primärbedarfen für die Endprodukte Sekundärbedarfe für die Teile auf den niedrigeren Stufen gewonnen. Bisher wurden nur Mengen- aber keinerlei Terminaspekte betrachtet. Vorlaufzeiten dienen dazu, das durch die Stücklistenauflösung ermittelte Mengengerüst durch ein grobes Zeitraster zu verfeinern. Da für die Herstellung von Teilen eine bestimmte Zeit benötigt wird, müssen die in das Teil eingehenden Sekundärbedarfe bereits diese Zeit früher zur Verfügung stehen. Die benötigte Zeit wird als **Vorlaufzeit** bezeichnet. Der Vorgang der früheren Bereitstellung heißt **Vorlaufzeitverschiebung**. Wir betrachten dazu das folgende Beispiel.

Vorlaufzeit

Beispiel 6.1.13 (Vorlaufzeitverschiebung) *Der Motor aus Beispiel 6.1.3 benötigt zur Herstellung eine Woche. Daraus folgt, dass der Motorblock und die Nockenwelle, die beide in den Motor eingehen, eine Woche vorher als der Motor gebraucht werden.*

Die Vorlaufzeit kann im einfachsten Fall als Durchlaufzeit des Loses der höheren Fertigungsstufe berechnet werden. Die Durchlaufzeit ergibt sich als Summe der Rüstzeiten und Bearbeitungszeiten für die einzelnen Arbeitsgänge. Dazu kommen Warte- und Transportzeiten zwischen aufeinanderfolgenden Arbeitsgängen. Die Bearbeitungszeit hängt von der Losgröße ab. Viele der für die Berechnung der Durchlaufzeit notwendigen Informationen sind im Arbeitsplan zu finden, der dem Los zugeordnet ist. Für Warte- und Transportzeiten sind Schätzwerte zu verwenden.

Ausgehend von den Primärbedarfen werden über eine Stücklistenauflösung und die zugehörigen Mengenkoeffizienten für jede Stufe **Bruttobedarfe** berechnet. Diese Bedarfe können ergänzt werden durch Bedarfe, die in der Materialdisposition verbrauchsgesteuert ermittelt werden. Bei einer verbrauchsgesteuerten Disposition werden die Bedarfe auf Basis des in der Vergangenheit beobachteten Materialverbrauchs geschätzt. Für die Schätzung zukünftiger Bedarfe werden Prognoseverfahren verwendet. Außerdem können noch Bedarfe für Ersatzteile hinzukommen, deren Höhe auf Erfahrungswerten basiert. Die Bruttobedarfe für Endprodukte heißen Primärbedarfe, während die Bedarfsmengen derjenigen Teile, die direkt in ein übergeordnetes Teil eingehen, als **Sekundärbedarfe** bezeichnet werden.

Den **Nettobedarf** eines Teils erhält man dadurch, dass von den Bruttobedarfen die disponiblen Lagerbestände abgezogen werden. Vom Lagerbestand sind Sicherheitsbestände sowie Reservierungsbestände für geplante Aufträge abzuziehen. Man erhält auf diese Art und Weise den verfügbaren Lagerbestand. Falls in einer bestimmten Periode der Zugang einer bestellten Lieferung infolge einer Eigenfertigung oder eines Fremdbezugs erwartet wird, kann diese Lieferung als Bestellbestand bei der Nettobedarfsermittlung vom Bruttobedarf in der jeweiligen Periode abgezogen werden [22]. Das gilt auch für Zugänge infolge von Recycling. Nach Ermittlung des Nettobedarfs ist diesem noch ein Zusatzbedarf für Ausschuss zuzurechnen. Diesen Zusatzbedarf erhält man typischerweise, indem man den Nettobedarf mit einem erwarteten Ausschussfaktor multipliziert.

Wir betrachten folgendes Beispiel in Anlehnung an [22] zur Konkretisierung der Brutto- und Nettobedarfsrechnung.

Beispiel 6.1.14 (Brutto- und Nettobedarfsrechnung) *In Tabelle 6.5 wird eine detaillierte Brutto- und Nettobedarfsrechnung durchgeführt. Die Reservierung von 500 Stück wird in den Perioden 4 und 5 zu jeweils 250 Stück verfügbarem Lagerbestand.*

In der letzten Zeile von Tabelle 6.5 wurden aus den Nettobedarfen bereits Lose gebildet. Die Bildung von Losen reduziert die Rüstkosten. Gleichzeitig werden aber infolge zu früher Produktion Lagerkosten erzeugt. Zur Bestimmung von geeigneten Losgrößen werden in der betriebswirtschaftlichen Literatur viele Verfahren diskutiert. In die Praxis haben hingegen nur relativ wenige Modelle Eingang gefunden.

Tabelle 6.5: Schema einer Brutto- und Nettobedarfsrechnung

Periode	1	2	3	4	5	6
gesamter Sekundärbedarf einer Baugruppe	600	500	400	800	800	500
+ verbrauchsgesteuerter Bedarf	100	50	50	50	100	100
+ Primärbedarf (Ersatzteile)	50	50	50	50	50	50
= Bruttobedarf	750	600	500	900	950	650
Lagerbestand 2000						
- Sicherheitsbestand 200						
- Reservierungen 500						
= verfügbarer Lagerbestand 1300	1300	550		250	250	
Bestellbestand 900						
- erwarteter Ausschuss 90 (10%)						
- Zugänge aus Recycling		50			50	
= disponierbarer Bestellbestand 810			450	360		
= Nettobedarf	-	-	50	290	650	650
+ Zusatzbedarf für Ausschuss (10%)			5	29	65	65
erweiterter Nettobedarf	-	-	55	319	715	715
Losgrößenbestimmung	-	-	374	-	1430	-

Die **Durchlaufterminierung** ordnet den Arbeitsgängen der Produktionsaufträge Start- und Endtermine zu. Dabei wird die endliche Kapazität des Produktionssystems nicht berücksichtigt. Wir unterscheiden zwischen

Durchlauf-
terminierung

- Rückwärtsterminierung,
- Vorwärtsterminierung.

Bei einer **Rückwärtsterminierung** werden ausgehend vom geplanten Fertigstellungstermin des Endprodukts die Arbeitsgänge der höchsten Fertigungsstufe terminiert, d.h. späteste Starttermine ermittelt. Anschließend werden die Arbeitsgänge, die der nächsttieferen Fertigungsstufe zugeordnet sind, terminiert. Dabei werden die Bearbeitungszeiten der Arbeitsgänge sowie zusätzliche Pufferzeiten verwendet. Dieses Vorgehen wird iterativ wiederholt. Typischerweise können aber die Endprodukte nicht einzeln terminiert werden, da mit Dispositionsstufen gearbeitet wird oder eine Losbildung erfolgt ist. Das Vorgehen bei der Terminierung ist in diesem Fall prinzipiell ähnlich wie bei der Terminierung von unterschiedlichen Endprodukten. Durch die Dispositionsstufen und Losbildung werden aber Liegezeiten verursacht, da bestimmte Bedarfsmengen

Rückwärts-
terminierung

zu früh gefertigt werden und somit gelagert werden müssen. Wenn man von diesem Sachverhalt absieht, besitzt die Rückwärtsterminierung die Eigenschaft, dass die einzelnen Bestandteile des Endprodukts erst zum spätestmöglichen Zeitpunkt hergestellt werden.

Übungsaufgabe 6.6 (Rückwärtsterminierung I) *Nennen Sie Vor- und Nachteile der Rückwärtsterminierung.*

Übungsaufgabe 6.7 (Rückwärtsterminierung II) *Nehmen Sie eine Rückwärtsterminierung zur Fertigung eines Motorrads auf Grundlage der in Aufgabe 6.4 entworfenen Arbeitspläne vor. Wann muss die Fertigung des Motors beginnen, wenn das Motorrad um 16:00 Uhr fertiggestellt sein soll? Zu welchem Zeitpunkt muss der Rahmen für die Montage zur Verfügung stehen? Neben der Fertigung des Motors muss in derselben Dispositionsstufe der Rahmen kontrolliert werden. Dieser Vorgang dauert 30 Minuten. Pausenzeiten sind nicht zu berücksichtigen. Stellen Sie die Rückwärtsterminierung geeignet graphisch dar.*

Vorwärts-
terminierung

Eine **Vorwärtsterminierung** terminiert zunächst die Arbeitsgänge der niedrigsten Fertigungsstufe. Dabei werden den einzelnen Arbeitsgängen früheste Starttermine zugewiesen. Dieses Vorgehen wird iterativ für die Arbeitsgänge der folgenden Fertigungsstufe wiederholt. Bei der Vorwärtsterminierung entstehen selbst bei der Terminierung von einzelnen Endprodukten Liegezeiten. Wir betrachten dazu das nachfolgende Beispiel.

Beispiel 6.1.15 (Vorwärtsterminierung) *Wir nehmen vereinfacht an, dass der Motor aus Beispiel 6.1.3 lediglich durch Montage des Motorblocks und der Nockenwelle entsteht. Die Herstellung des Motorblockes benötigt weniger Arbeitsgänge als die der Nockenwelle und ist weniger zeitintensiv. Bei einer Vorwärtsterminierung werden somit Motorblöcke darauf warten, dass Nockenwellen fertiggestellt werden, um diese zu Motoren zu montieren.*

Übungsaufgabe 6.8 (Rückwärtsterminierung III) *Was geschieht, wenn im Beispiel 6.1.15 anstatt der Vorwärts- eine Rückwärtsterminierung angewendet wird?*

Eine Vorwärtsterminierung besitzt die Eigenschaft, dass die einzelnen Bestandteile des Endprodukts zum frühestmöglichen Zeitpunkt hergestellt werden.

Wir weisen darauf hin, dass Rückwärts- und Vorwärtsterminierung kombiniert eingesetzt werden können, um die Nachteile der beiden Terminierungsformen abzuschwächen und ihre Vorteile zu verstärken [21].

Als Ergebnis der Durchlaufzeitterminierung können späteste Starttermine im Falle einer Rückwärtsterminierung in der Vergangenheit liegen. Falls Vorwärtsterminierung angewandt wird, kann der geplante Fertigstellungstermin für das Endprodukt unter Umständen nicht eingehalten werden. In dieser Situation ist es sinnvoll, Maßnahmen zur Durchlaufzeitverkürzung durchzuführen.

Wir betrachten an dieser Stelle das Splitten von Losen und die Überlappung von Arbeitsgängen. Beim **Splitten von Losen** besteht die Grundidee darin, das Los in Teillose aufzuspalten. Diese können dann auf parallelen Maschinen gleichzeitig bearbeitet werden. Unter **Überlappen von Arbeitsgängen** versteht man, dass bei großen Losen mit dem Transport zu den Maschinen des nachfolgenden Arbeitsgangs nicht gewartet wird, bis das gesamte Los bearbeitet wurde, sondern vorher schon Teillose weitergegeben werden.

Splitten von Losen

Arbeitsgang-überlappung

Bei der Durchlaufterminierung wird die endliche Kapazität des Produktionssystems lediglich in Form von Puffern bei den Bearbeitungszeiten berücksichtigt. Infolgedessen können bestimmte Maschinen in einzelnen Perioden zu stark belastet werden. Das Kapazitätsangebot ist geringer als der Kapazitätsbedarf. Prinzipiell besteht in diesem Fall die Möglichkeit, das Kapazitätsangebot zu erhöhen oder den Kapazitätsbedarf an die verfügbare Kapazität anzupassen. Wir betrachten dazu das folgende Beispiel.

Beispiel 6.1.16 (Erhöhung des Kapazitätsangebots) *Die Einführung von Überstunden oder die kurzfristige Beschaffung einer weiteren Maschine an einem Engpass stellt eine Möglichkeit zur Vergrößerung des Kapazitätsangebots dar.*

Als **Kapazitätsabgleich** bezeichnet man die Anpassung des Kapazitätsbedarfs an das Kapazitätsangebot durch Terminverschiebungen. Die wesentliche Idee besteht darin, dass man für die einzelnen Perioden die fiktive Belastung der Maschinen ermittelt und diese der angebotenen Kapazität gegenüberstellt. Unter Verwendung verschiedener Kriterien werden dann Arbeitsgänge von Losen in frühere oder spätere Perioden verschoben, in denen die betreffende Maschine weniger stark ausgelastet ist. Man spricht von einer **Glättung des Kapazitätsgebirges** [21]. Da durch die Verschiebung von Arbeitsgängen auch unmittelbar vor- und nachgelagerte Maschinen betroffen sind, kann sich die kapazitive Situation in anderen Perioden auch für andere Maschinen verändern. Aus diesem Grund wird beim Kapazitätsabgleich häufig auf das Wissen von Produktionsplanern zurückgegriffen.

Kapazitätsabgleich

Wir beschäftigen uns nun mit der Frage, in welchen Situationen ein Produktionsplanungsverfahren zum Einsatz kommt. Unter **rollierender Planung** versteht man, dass eine Planung für einen Horizont

rollierende Planung

$$h := \tau_{\Delta} + \tau_{ah} \quad (6.1)$$

jeweils nach τ_{Δ} Zeiteinheiten erneut durchgeführt wird. Die Größe τ_{ah} stellt die Länge des Überlappungshorizontes dar. Neben der rollierenden Planung, die zeitgetrieben ist, wird häufig auch eine **ereignisgetriebene** Planung betrachtet, die im Falle von speziellen Ereignissen wie Eilaufträgen oder Ausfall einer wichtigen Engpassressource gestartet wird.

Infolge des rollierenden oder ereignisgetriebenen Ansatzes werden neue Pläne berechnet oder vorhandene Pläne angepasst. Im ersten Fall sprechen wir von einem **Neuaufwurf**, während der zweite Fall als Net-Change bezeichnet wird.

Neuaufwurf

In Abbildung 6.3 stellen wir zusammenfassend die Mengen- und Terminplanung in Anlehnung an das ARIS-Referenzmodell in Form einer EPK dar.

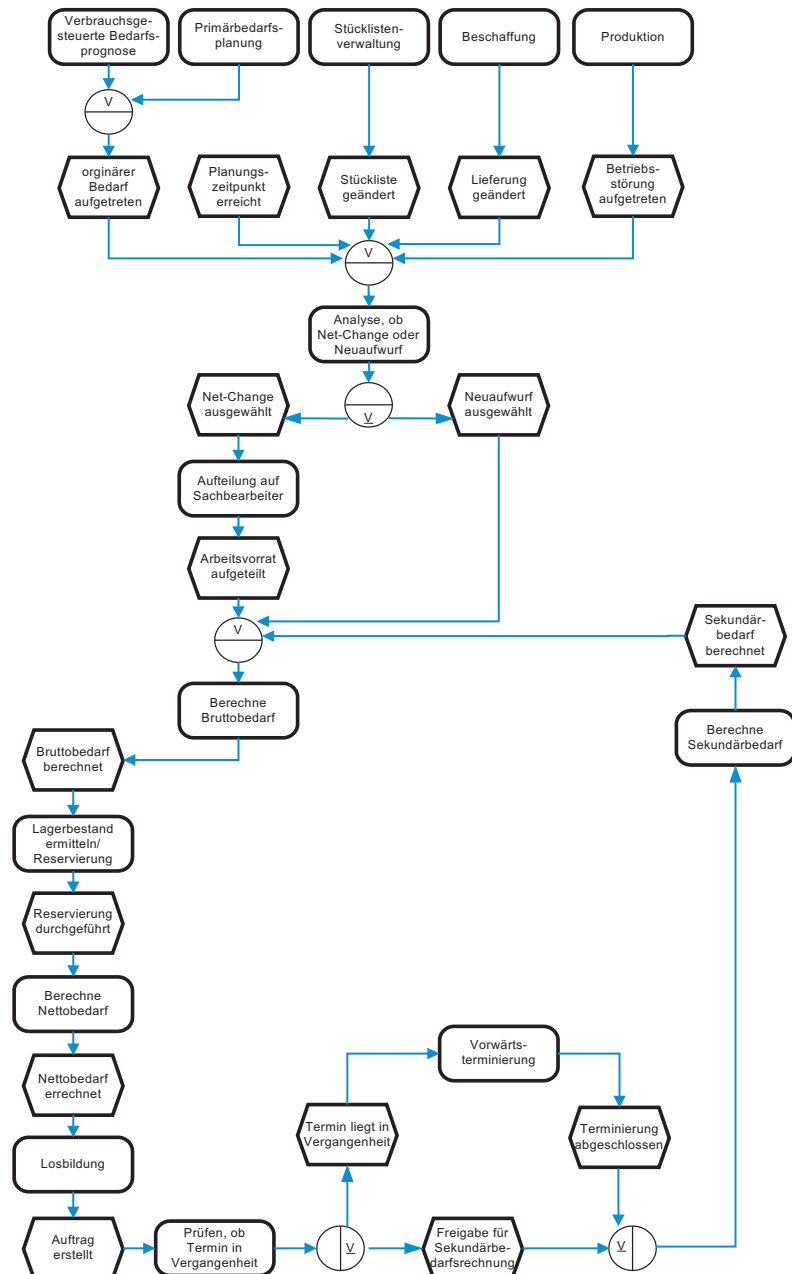


Abbildung 6.3: EPK zur Mengen- und Terminplanung [29]

In [8] werden Ansätze skizziert, die eine Unterteilung in Terminierung und anschließenden Kapazitätsabgleich vermeiden. Trotzdem ist die unzureichende Berücksichtigung endlicher Kapazitäten ein großes Problem von Produktionsplanungs- und Steuerungsmodulen in ERP-Systemen.

Übungsaufgabe 6.9 (Anpassung des Kapazitätsangebots) *Nennen Sie weitere Möglichkeiten für die Anpassung des Kapazitätsangebots an den Kapazitätsbedarf.*

6.1.2.4 Produktionssteuerung (Feinterminierung)

Für die einzusteuern den Produktionsaufträge wird im Rahmen der Produktionssteuerung festgelegt, auf welchen Maschinen zu welchem Zeitpunkt die Arbeitsgänge ausgeführt werden. Man spricht von Maschinenbelegungsplanung. Dabei ist die Reihenfolge der Lose auf einer Maschine so festzulegen, dass bestimmte Ziele erreicht werden. Die nachfolgenden Ziele sind möglich:

Ziele

- minimale Umrüstzeiten,
- minimale Verspätung der Lose,
- maximaler Durchsatz,
- maximale Kapazitätsauslastung,
- minimale Durchlaufzeiten.

Man erkennt, dass die genannten Ziele teilweise gegenläufig sind. So werden niedrige Durchlaufzeiten erreicht, wenn die Lose nicht lange vor den Maschinen auf Bearbeitung warten müssen. Umgekehrt führt diese Vorgehensweise nicht zu einer hohen Kapazitätsauslastung bzw. einem hohen Durchsatz. Man spricht vom „Dilemma der Ablaufplanung“ [21].

Konfliktäre
Ziele

Die Ablaufplanung beschäftigt sich mit der Zuteilung von Arbeitsgängen der Lose zu Maschinen. Nach erfolgter Zuteilung zu den Maschinen wird weiterhin eine Festlegung der Bearbeitungsreihenfolge auf den einzelnen Maschinen vorgenommen. Deterministische Ablaufplanungsprobleme sind dadurch gekennzeichnet, dass alle Daten diskret, deterministisch und vorab bekannt sind. Prinzipiell kann bei deterministischen Ablaufplanungsansätzen zwischen zwei Ausprägungen unterschieden werden:

Ablauf-
planung

- Anwendung von Ablaufplanungsansätzen auf einzelne Maschinengruppen, d.h. auf Gruppen paralleler Maschinen,
- Anwendung von Ablaufplanungsansätzen auf das gesamte Produktionssystem.

Algorithmen Lokale Suchverfahren wie Tabu-Search (vergleiche dazu die Ausführungen in Abschnitt 5.4.7.1) oder Methoden der gemischt-ganzzahligen Optimierung (siehe das Beispiel 1.2.19) können zum Einsatz kommen. Algorithmen für die Ablaufplanung werden detailliert im Modul „Entscheidungsmethoden in unternehmensweiten Softwaresystemen“ behandelt.

Prioritätsregeln In der Praxis werden häufig lediglich Prioritätsregeln zur Maschinenbelegung verwendet, da diese einfach zu implementieren sind. Sobald eine Maschine frei wird, wird aus der Menge der vor der Maschine auf Bearbeitung wartenden Lose das als nächstes zu bearbeitende ausgewählt. Wir bezeichnen die Ankunftszeit von Los $j, j \in \{1, \dots, J\}$ vor der Maschine mit r_j , den geplanten Fertigstellungstermin auf der Maschine mit d_j und das Gewicht, das dazu verwendet wird, die Wichtigkeit eines Loses auszudrücken, mit w_j . Außerdem wird die Bearbeitungszeit mit p_j bezeichnet. Die Prioritätsregel soll zum Zeitpunkt t angewandt werden. Dann sind die nachfolgenden Prioritätsregeln möglich:

- First-In-First-Out(FIFO)-Regel: Wähle das Los, das die längste Wartezeit vor der Maschine hat, d.h., suche j mit

$$\min(r_j | j \in \{1, \dots, J\}), \quad (6.2)$$

- gewichtete kürzeste Operationszeit (KOZ)-Regel: Wähle das Los, das die kürzeste gewichtete Bearbeitungszeit vor der Maschine hat, d.h., suche j mit

$$\max\left(\frac{w_j}{p_j} | j \in \{1, \dots, J\}\right), \quad (6.3)$$

- kürzeste Schlupfzeitregel: Wähle das Los, das die kürzeste Schlupfzeit bezüglich der Maschine hat, d.h., suche ein j mit

$$\min(d_j - p_j - t | j \in \{1, \dots, J\}). \quad (6.4)$$

Übungsaufgabe 6.10 (Prioritätsregeln) *Geben Sie für die in Tabelle 6.6 angegebenen Lose die Bearbeitungsreihenfolge zum aktuellen Zeitpunkt ($t=30$) unter Verwendung der KOZ-Regel an. Wie ändert sich die Bearbeitungsreihenfolge der Lose, wenn das Gewicht bei jedem Los auf Eins gesetzt wird? Geben Sie die Lose an, die nur verspätet fertig gestellt werden können. Stellen Sie die Bearbeitungsreihenfolge geeignet graphisch dar.*

Wir weisen darauf hin, dass es zusammengesetzte Prioritätsregeln gibt, bei denen die einzelnen Prioritätswerte additiv oder multiplikativ zusammengefasst werden. Diskrete ereignisorientierte Simulation wird typischerweise zur Auswahl von Prioritätsregeln verwendet.

Tabelle 6.6: Losdaten

Losnummer	Gewicht	Ankunftszeit	geplanter Fertigstellungstermin	Bearbeitungszeit
1	1	10	57	5
2	3	12	65	3
3	1	15	70	10
4	5	20	52	7
5	10	25	40	2
6	2	27	75	5
7	7	29	45	7
8	9	30	37	5
9	2	35	65	10
10	15	40	70	9

6.1.2.5 Produktionssteuerung (Kontrolle in der Produktion)

Voraussetzung für die Produktionsfortschritts- und Qualitätskontrolle ist die Betriebsdatenerfassung (BDE). BDE dient dazu, die in der Produktion anfallenden Daten zu sammeln. Dazu werden Barcodeleser oder Bildschirme verwendet. BDE-Funktionalität wird heute typischerweise nicht mehr durch ERP-Systeme sondern durch MES zur Verfügung gestellt. Wir betrachten das folgende Beispiel.

BDE

Beispiel 6.1.17 (BDE in der Halbleiterindustrie) *Wenn ein Los an einer Maschine seine Bearbeitung beendet hat, wird dies durch einen Barcodeleser an das MES gemeldet.*

Die durch BDE erhaltenen Daten werden dazu verwendet, den Produktionsfortschritt zu kontrollieren. Die Produktionsfortschrittskontrolle gibt dann für verspätete Produktionsaufträge Terminwarnungen aus. Für jedes Los werden der als letzter ausgeführte Arbeitsgang und zeitliche Meilensteine für den Durchlauf durch das Produktionssystem vorgehalten.

6.1.2.6 Maschineninstandhaltung

Wir unterscheiden zwischen ungeplanter und vorbeugender Instandhaltung. Maschinenausfälle führen zu ungeplanten Instandhaltungsmaßnahmen. Für die vorbeugende Instandhaltung existiert typischerweise ein Zeitfenster. Neben dem Zeitfenster kann auch eine bestimmte Anzahl von ausgeführten Arbeitsgängen als Kriterium herangezogen werden.

Maschinenbelegungs- und Instandhaltungsplanung müssen miteinander abgestimmt werden. Typischerweise wird zuerst der Maschinenbelegungsplan ermittelt werden. Wenn dieser Lücken enthält, können dort Instandhaltungsmaß-

nahmen eingefügt werden. Umgekehrt ist es aber auch möglich, im Fall großer Instandhaltungsintervalle zuerst den Instandhaltungsplan zu erzeugen [22].

6.1.3 Anwendungssysteme in der Produktion

Wir holen an dieser Stelle eine Behandlung der Produktionsplanungs- und Steuerungsfunktionalität, die typischerweise durch ERP-Systeme zur Verfügung gestellt wird, nach. Diese Funktionalität wurde in Abschnitt 5.3.6.4 bei der Behandlung von ERP-Systemen ausgespart. Anschließend führen wir APS-Systeme und MES ein, die helfen, zumindest partiell Schwächen von ERP-Systemen bei der Produktionsplanung und -steuerung auszugleichen.

6.1.3.1 Produktionsplanungs- und Steuerungsfunktionalität in ERP-Systemen

In Analogie zu den Ausführungen in Abschnitt 5.3.6.4 stellen wir die Produktionsplanungs- und Steuerungsfunktionalität am Beispiel von mySAP ERP dar.

mySAP
ERP

Die Produktionsplanung und -steuerung ist in mySAP ERP Bestandteil des Bereichs „Operations“. In SAP R/3 ist die Produktionsplanung und -steuerung in der Logistik angesiedelt. Die Produktionsplanung und -steuerung ist eng mit der Materialwirtschaft (vergleiche die Ausführungen in Abschnitt 5.3.6.4) verknüpft.

Sie basiert im ERP-System mySAP ERP auf dem MRP II-Konzept (vergleiche die Ausführungen in Abschnitt 6.1.2 dieser Kurseinheit). Die damit notwendigen Planungs- und Steuerungskomponenten verwenden eine gemeinsame Stammdatenverwaltung. Diese wird Produkt-Daten-Management (PDM) genannt [13].

In mySAP ERP werden Baukastenstücklisten verwendet. Informationen über das Erzeugnis werden im Stücklistenkopf vorgehalten. Die einzelnen Stücklistenpositionen enthalten Informationen über die Teile.

Arbeitsplätze werden in mySAP ERP definiert. Daten der Produktion werden durch Arbeitsplätze mit denen der Personalwirtschaft verknüpft. Für jeden Arbeitsplatz werden

- Kapazitätsdaten,
- Terminierungsdaten,
- Kalkulationsdaten,
- Angaben über Maschinen

vorgehalten. Einem Arbeitsplatz sind somit einzelne Mitarbeiter und Maschinen zugeordnet. Mitarbeiter und Maschinen können zu Gruppen aggregiert werden.

Die Produktion einzelner Teile wird durch Arbeitspläne beschrieben. Sie

beinhalten die einzelnen Arbeitsgänge, die Ressourcen, auf denen die Arbeitsgänge ausgeführt werden, sowie Informationen, die zur Qualitätsprüfung verwendet werden. Wir betrachten das nachfolgende Beispiel für den Einsatz von Arbeitsplänen in mySAP ERP.

Beispiel 6.1.18 (Einsatz von Arbeitsplänen) *Arbeitspläne werden zur Durchlaufterminierung und beim Kapazitätsabgleich verwendet.*

mySAP ERP unterstützt die Verwaltung von Produktionshilfsmitteln wie Maschinen und Werkzeuge [13].

SAP unterscheidet zwischen

- Absatz- und Produktionsgrobplanung,
- der eigentlichen Produktionsplanung,
- der plangesteuerten Disposition,
- Kapazitätsplanung,
- Fertigungssteuerung.

Teile der operativen Produktionsplanung erscheinen nicht unter der Kategorie „Produktionsplanung“, sondern werden als eigenständige Kategorie geführt. Anstelle des Begriffs „Produktionssteuerung“ wird Fertigungssteuerung verwendet. Das Problem der speziellen Begriffsbildungen ist typisch für viele ERP-Systeme. Die Inhalte dieser Kurseinheit sollen helfen, für jedes einzelne ERP-System eine Einordnung der angebotenen Produktionsplanungs- und Steuerungsfunktionalität vornehmen zu können.

Fertigungs-
steuerung

Die Absatz- und Produktionsgrobplanung dient in mySAP ERP dazu, eine lang- und mittelfristige Bedarfsplanung durchzuführen. Dabei kommen typischerweise Prognosetechniken zum Einsatz.

Unter Produktionsplanung versteht man im SAP-Sprachgebrauch die drei Funktionen

Produktions-
planung

- Programmplanung,
- Leitteileplanung,
- Langfristplanung.

Die **Programmplanung** wird zur Ermittlung und Verwaltung von Primärbedarfen verwendet. Absatz- und Produktionsmengen werden der vorhandenen Kapazität des Produktionssystems gegenübergestellt. Simulation wird eingesetzt, um verschiedene Produktionsprogramme bewerten zu können.

Unter **Leitteileplanung** versteht man ein Vorgehen, bei dem nur bestimmte Enderzeugnisse und wichtige Baugruppen mit verfeinerten Methoden geplant werden [22]. Wir betrachten dazu das folgende Beispiel.

Leitteile-
planung

Beispiel 6.1.19 (Leitteile) *Leitteile sind Teile, die viel kosten oder die bestimmte Engpassressourcen für die Produktion benötigen.*

Die Langfristplanung bewertet unter Verwendung von Methoden des Operations Research wie linearer Optimierung Planungsszenarien für einen langen Horizont auf einer aggregierten Ebene. Dabei wird die endliche Kapazität des Produktionssystems berücksichtigt. Die Langfristplanung gibt häufig einen Rahmen für die Programmplanung vor. Die Programmplanung verfeinert die Vorgaben der Langfristplanung im Rahmen eines rollierenden hierarchischen Ansatzes.

An die Produktionsplanung im Sprachgebrauch der SAP AG schließt sich plangesteuerte unmittelbar die **plangesteuerte Disposition** an. Unter plangesteuerter Disposition werden wesentliche Schritte der Mengenplanung aus Abschnitt 6.1.2.1 bzw. 6.1.2.3 verstanden. Auf die Mengenplanung folgt die Terminplanung. Diese wird in mySAP ERP im Rahmen der sogenannten Kapazitätsplanung durchgeführt.

Durch mySAP ERP wird zusätzlich eine Distributionsplanung ermöglicht. Das Ziel der Distributionsplanung besteht in einer günstigen Verteilung der Produktion und Lagerhaltung unter produktions- und absatzwirtschaftlichen Gesichtspunkten im Falle einer Produktion an mehreren Standorten [13]. Im mySAP ERP-System wird ein Distributionsnetzwerk gepflegt, in dem Kunden mit den entsprechenden Auslieferlagern erfasst sind.

Nach der Kapazitätsplanung erfolgt die Fertigungssteuerung. Diese basiert auf Fertigungsaufträgen. Fertigungsaufträge entstehen entweder automatisch aus Plan- und Montageaufträgen oder können manuell durch einen Anwender eröffnet werden. Nach der Eröffnung des Fertigungsauftrages wird dieser zur Bearbeitung freigegeben. Anschließend werden die Arbeitspapiere gedruckt. Der Fertigungsauftrag wird bearbeitet. Die Auftragsrückmeldung beinhaltet Informationen zu produzierten Mengen, Ausschuss, Produktionszeiten.

ERP-Systeme haben häufig Schwierigkeiten, die endliche Kapazität des Produktionssystems bei der Entscheidungsfindung geeignet zu berücksichtigen. Gründe dafür sind zum einen in der ungeeigneten, wenig flexiblen Abbildung von Stamm- und Bewegungsdaten in ERP-Systemen zu sehen. Gleichzeitig ist festzustellen, dass die in ERP-Systemen vorhandene Funktionalität zur Produktionsplanung zu stark am MRP-II-Konzept mit seinem sukzessiven Planungsansatz ausgerichtet ist. Aufgrund dieser Schwächen wurden APS-Systeme eingeführt. Wir untersuchen derartige Anwendungssysteme im nachfolgenden Abschnitt 6.1.3.2.

Häufig sind die für die Produktionssteuerung vorhandenen Daten in ERP-Systemen nicht feingranular genug. In der Folge hat das zur Entwicklung von MES geführt, die als Bindeglied zwischen ERP-Systemen und dem eigentlichen Produktionsprozess anzusehen sind. Wir beschäftigen uns deshalb in Abschnitt 6.1.3.3 dieser Kurseinheit mit solchen Anwendungssystemen.

6.1.3.2 Advanced-Planning-and-Scheduling-Systems

Advanced-Planning-and-Scheduling-Systeme (APS-Systeme) beschäftigen sich mit Entscheidungsunterstützungsaktivitäten im Supply-Chain-Management (SCM) auf der strategischen, taktischen und operativen Ebene [19, 12]. Der SCM-Begriff wird dabei wie folgt definiert [13].

SCM

Definition 6.1.9 (SCM) *SCM ist ein strategisches Konzept, das darauf abzielt, die Geschäftsprozesse, die entlang einer Lieferkette vom Rohstofflieferanten bis zum Endverbraucher auftreten, effizient und kostengünstig zu gestalten. Das Ziel des SCM besteht darin, eine Zusammenarbeit der beteiligten Unternehmen zur gemeinsamen, bestmöglichen Gestaltung aller inner- und überbetrieblicher Material-, Informations- und Geldflüsse zu koordinieren.*

APS-Systeme können als Erweiterung von ERP-Systemen aufgefasst werden, da ERP-Systeme typischerweise nicht in der Lage sind, die für eine Lieferkette typischen Entscheidungsprobleme in ihrer Gesamtheit zu lösen. Wir definieren zunächst den APS-Begriff in Anlehnung an [13].

APS

Definition 6.1.10 (APS-System) *Ein Anwendungssystem, das die Produktionsplanung mit Methoden des Operations Research und der Künstlichen Intelligenz unter Berücksichtigung von endlichen Kapazitäten des Produktionssystems durchführt, wird als APS-System bezeichnet.*

APS sind wichtig für die standortübergreifende Bedarfsprognose und die Produktionsplanung im Rahmen des Supply-Chain-Managements.

Die wichtigsten Merkmale von APS-Systemen sind nach Fleischmann [11]:

- integrierte Planung der gesamten Lieferkette,
- Optimierung basierend auf mathematischen Modellen und Algorithmen, die entweder exakt oder heuristisch sind,
- Anwendung eines hierarchischen Planungsansatzes, der das Gesamtplanungsproblem zunächst in eine Reihe von kleineren, weniger komplexen Unterproblemen zerlegt und diese dann den unterschiedlichen Ebenen der Hierarchie zuordnet.

Standardsoftwaresysteme, die Entscheidungsprobleme für das Lieferkettenmanagement lösen, werden von verschiedenen Anbietern vertrieben. Entsprechend der Supply-Chain-Matrix [23, 2] kann aber eine gemeinsame Funktionalität identifiziert werden. Die nachfolgenden Module bzw. Komponenten sind typisch für alle APS-Produkte:

APS-
Module

- strategisches Design des Produktions- bzw. Lieferantennetzwerkes,
- Bedarfsplanung,

- Lieferkettennetzwerkplanung,
- Produktionsplanung und detaillierte Ablaufplanung,
- externer Einkauf/Beschaffung,
- Auftragserfüllungspotential/Verfügbarkeitsüberprüfung,
- Transportplanung.

Planungsab-
lauf in Lie-
ferketten

Der typische Planungsablauf in Lieferketten, der auch in Abbildung 6.4 dargestellt ist, sieht wie folgt aus:

1. Im ersten Schritt wird eine **strategische Planung des Produktions- bzw. Lieferantennetzwerkes** durchgeführt. Die Anzahl der notwendigen Werke und Vertriebszentren, ihr Ort und ihre Kapazität, die Zuordnung von Produktgruppen zu Werken und von Kunden zu Vertriebszentren sowie die Transportbeziehungen zwischen den unterschiedlichen Knoten der Lieferkette werden bestimmt. Dabei wird versucht, ökonomische Zielsetzungen für einen langen Zeitraum zu erfüllen. Aus diesem Grund spricht man von strategischer Netzwerkplanung. Für die Netzwerkplanung werden typischerweise mathematische Optimierungsmodelle verwendet. Aufgrund der möglichen Datenaggregation und der geringen Anzahl von Entscheidungsvariablen sind diese relativ leicht zu lösen.
2. Aufbauend auf den Ergebnissen der strategischen Netzwerkplanung werden im zweiten Schritt **Bedarfsplanungen** durchgeführt. Bedarfsvorhersagen sind auf den unterschiedlichen Ebenen der APS-Hierarchie anzutreffen. Langfristige Bedarfsvorhersagen bilden die Grundlage für die strategische Netzwerkplanung. Mittelfristige Bedarfsvorhersagen sind notwendig, um Einkauf, Produktion und Vertrieb aufeinander abzustimmen. Auch im Kurzfristbereich ist eine Bedarfsvorhersage im Fall einer Produktion auf Lager sinnvoll. Statistische Bedarfsvorhersagetechniken unter Verwendung historischer Daten wie exponentielle Glättung oder gleitende Mittelwerte [21] bilden die methodische Basis einer Bedarfsvorhersagekomponente. Die so ermittelten Bedarfe werden dann von den Planern unter Verwendung ihres Expertenwissens angepasst.
3. Aufbauend auf den Ergebnissen der strategischen Netzwerkplanung und der Bedarfsplanung wird im dritten Schritt eine **Lieferkettennetzwerkplanung** durchgeführt. Auf Basis von Optimierungstechniken werden die Mengen, die produziert, transportiert und eingekauft werden müssen, bestimmt. Dabei wird das Ziel verfolgt, Kapazitäten effektiv auszunutzen, Bestände abzubauen und die Kundenzufriedenheit zu erhöhen.

4. Aufbauend auf der Mengenplanung der Lieferkettennetzwerkplanung werden im Rahmen der **Produktionsplanung** und der **detaillierten Ablaufplanung** Produktionsaufträge erzeugt, die den zeitlichen Anforderungen von Kundenaufträgen genügen. Die durch APS-Systeme bereitgestellten Lösungsverfahren berücksichtigen die endlichen Kapazitäten des jeweiligen Produktionssystems. Typische Zielsetzungen der detaillierten Ablaufplanung bestehen in der Minimierung der Verspätung von Kundenaufträgen, in der Minimierung von Durchlaufzeiten sowie in der Maximierung des Durchsatzes. Diese Ziele stehen teilweise im Konflikt miteinander. In der akademischen Ablaufplanungsliteratur werden eine Vielzahl von exakten und heuristischen Lösungsverfahren vorgeschlagen (vergleiche dazu [28, 7]). Die Verfahren basieren auf einfachen Prioritätsregeln, lokalen Suchverfahren, Simulation, Constraint-Programming oder gemischt-ganzzahligen Optimierungsformulierungen.
5. Der **externe Einkauf** ist wichtig für die detaillierte Ablaufplanung. Die Hauptaufgabe des Einkaufs besteht in der Festlegung von Einkaufsmengen, der Auswahl geeigneter Lieferanten und in der Initiierung von entsprechenden Kaufaufträgen.
6. Bei der Ermittlung des Auftragserfüllungspotentials wird versucht abzuschätzen, ob eingehende Kundenaufträge mit Produkten auf Lager oder bereits eingesteuerten Produktionsaufträgen befriedigt werden können. Weiterhin sind Kundenanfragen, die sich auf die Lieferung eines bestimmten Produkts unter Mengen-, Zeit- und Ortsgesichtspunkten beziehen, zu beantworten. Beim **Available-to-Promise (ATP)** überprüft man, ob eine bestimmte Lieferung basierend auf Lagerbeständen getätigt werden kann. **Capable-to-Promise (CTP)** untersucht, ob die vorhandene Kapazität ausreicht, um weitere Kundenaufträge zu befriedigen oder ob bereits geplante Produktionsaufträge entsprechend vergrößert werden können.
7. Unter einem **Transport** verstehen wir im Lieferkettenmanagement die Bewegung von Gütern zwischen den unterschiedlichen Knoten einer Lieferkette. Material fließt von den Lieferanten zu den Werken. Umgekehrt werden Güter von den Werken zu den Vertriebszentren bewegt. Im Langfristbereich muss ein Design des Transportnetzwerkes vorgenommen werden. Im Mittelfristbereich beschäftigt sich Transportplanung mit der optimalen Ausnutzung von Transportressourcen. Im kurzfristigen Bereich besteht die Aufgabe der Transportplanung in der Bestimmung von Liefertouren, der Beladung von Fahrzeugen und der Ablaufplanung für Transporte. Für die Transportplanung werden typischerweise lokale Suchverfahren eingesetzt.

Viele der für die Planungsalgorithmen in APS-Systemen notwendigen Stammdaten liegen bereits in den ERP-Systemen des jeweiligen Unternehmens vor.

Stammdaten
für APS

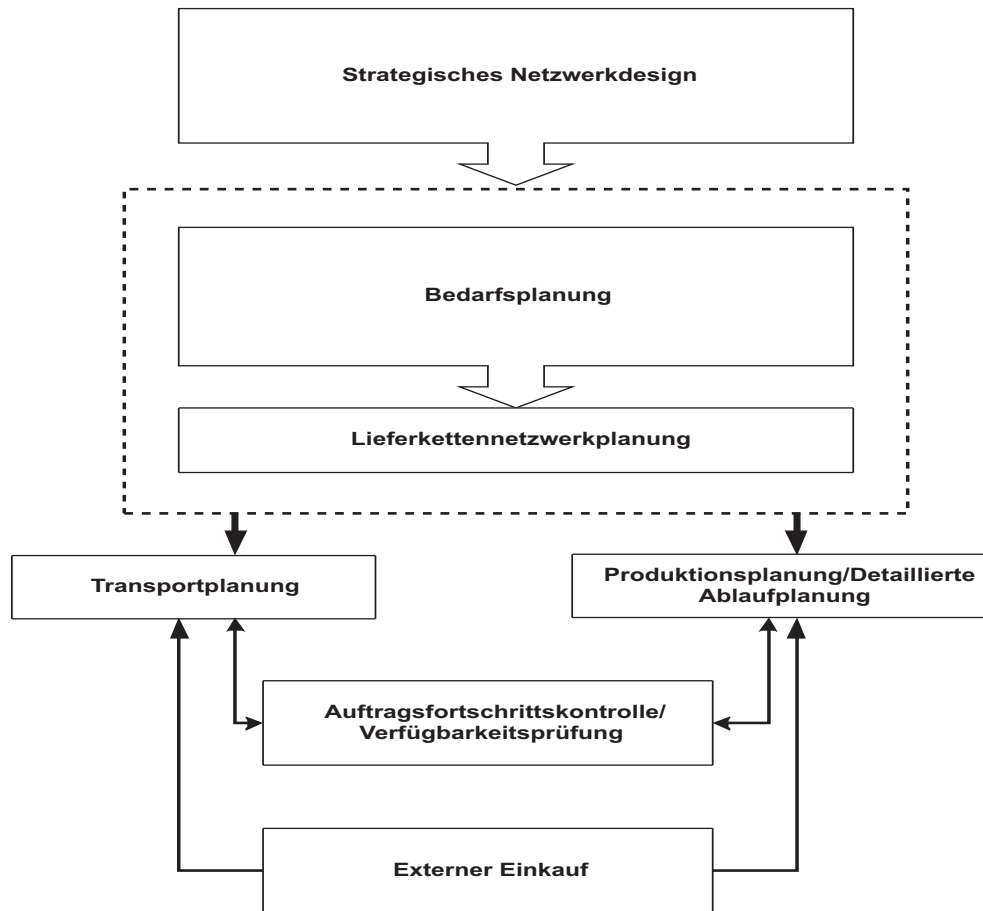


Abbildung 6.4: Planungsebenen in einem APS-System (in Anlehnung an [12])

Die in den ERP-Systemen vorgehaltenen Daten werden über Kopplungsarchitekturen den APS-Systemen zugänglich gemacht. Im Sinne der Ausführungen in Abschnitt 3.5 liegt dabei typischerweise eine ereignis- oder datenorientierte Kopplung vor. Algorithmen in APS-Systemen, insbesondere für die detaillierte Ablaufplanung, benötigen aber Daten feinerer Granularität als sie durch die ERP-Systeme zur Verfügung gestellt werden. Diese Daten werden produktseitig in speziellen Datenmodellen, sogenannten Produktionsprozessmodellen, vorgehalten. Weiterhin ist eine entsprechend feingranulare Abbildung von Betriebsmitteln und den durch sie angebotenen Kapazitäten im APS-System notwendig.

In ERP-Systemen werden Mengen- und Terminplanung unabhängig voneinander ausgeführt. Unter Verwendung von Stücklisten berechnet das ERP-System die notwendigen Mengen für die einzelnen Produktionsstufen (vergleiche dazu auch die Ausführungen in Abschnitt 6.1.2.3 dieser Kurseinheit). Produktionsaufträge werden als Ergebnis der Mengenplanung an das Terminierungsmodul übergeben. Dort werden ein Kapazitätsabgleich vorgenommen und Termine für die Produktionsaufträge unter Verwendung von Arbeitsplänen festgelegt. Stück-

listen und Arbeitspläne werden als eigenständige Grunddaten betrachtet.

Im Gegensatz zu dieser sequentiellen Vorgehensweise werden in APS-Systemen Mengen- und Terminplanung unter Berücksichtigung endlicher Kapazitäten der einzelnen Produktionssysteme simultan durchgeführt. Infolgedessen wird eine Stammdatenrepräsentation benötigt, die sowohl Stücklisten als auch Arbeitspläne über alle Stufen des jeweiligen Produkts umfasst. Das führt zum Begriff des Produktionsprozessmodells. Dieser Begriff ist wie folgt definiert.

Produktions-
prozess-
modell

Definition 6.1.11 (Produktionsprozessmodell) *Ein Produktionsprozessmodell besteht aus Operationen zur Abbildung einzelner Produktionsstufen. Jede Operation setzt sich aus Aktivitäten zusammen. Den Aktivitäten sind die zu ihrer Ausführung notwendigen Betriebsmittel zugeordnet.*

Ein Produktionsprozessmodell beschreibt somit, wie ein Produkt durch eine Folge von Arbeitsgängen aus den Ausgangsmaterialien hergestellt wird.

Wir geben das folgende Beispiel für ein Produktionsprozessmodell in Anlehnung an [12] an.

Beispiel 6.1.20 (Produktionsprozessmodell) *Die dem Beispiel zugrundeliegende Erzeugnisstruktur ist in Abbildung 6.5 gezeigt. Das Endprodukt P erhält man durch Montage von Teil M1 und der Baugruppe S. Diese Baugruppe entsteht aus der Komponente C und dem Teil M2. Komponente C wiederum entsteht aus dem Teil M3. Der Produktionsprozess besteht aus den Operationen für die Produktion der Komponente C, der Baugruppe S und dem Endprodukt P. Die ersten beiden Operationen verlangen jeweils genau eine Aktivität, während die dritte Operation die Aktivitäten P1, P2 und P3 erfordert, von denen P1 und P2 parallel, aber vor P3, ausgeführt werden müssen.*

Weitere Details zur Abbildung von Stammdaten für die Produktion in betriebswirtschaftlichen Standardsoftwaresystemen, insbesondere auch APS-Systemen, werden in Spezialveranstaltungen behandelt.

In diesen Spezialveranstaltungen wird insbesondere das APS-System SAP APO der SAP AG behandelt. SAP APO setzt auf die Stammdaten im ERP-System SAP R/3 bzw. mySAP ERP auf und wird typischerweise gemeinsam mit SAP R/3- bzw. mySAP ERP-Systemen betrieben. Die Kopplung von SAP R/3 bzw. mySAP ERP und SAP APO erfolgt durch den Betrieb eines entsprechenden Datenmodells im Hauptspeicher, das als **LiveCache** bezeichnet wird. Die Kopplung von SAP APO und dem LiveCache erfolgt über BAPIs. Für Details zu SAP APO verweisen wir auf [5, 6]. Die Nutzung von SAP APO zur Lösung eines praktischen Problems ist in [20] beschrieben.

SAP APO

APS-Systeme zielen auf die Lösung von Planungsaufgaben einer gesamten Lieferkette ab. Ihre Entwicklung wurde stark durch die innerhalb des ERP-Rahmens nicht lösbar Probleme vorangetrieben. Die für den ERP-Ansatz typischen Probleme in der Produktionssteuerung wurden bereits Ende der 80er,

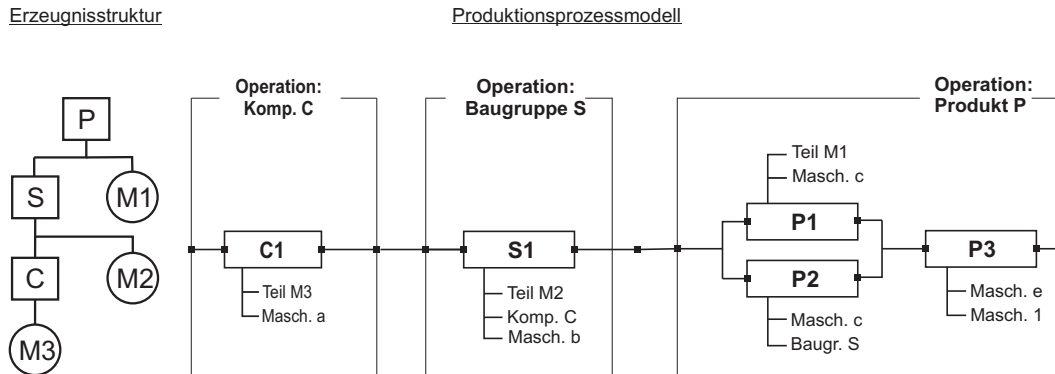


Abbildung 6.5: Beispiel für ein Produktionsprozessmodell [12]

Anfang der 90er Jahre in der Prozessindustrie und der elektronischen Industrie erkannt und führten zur Entwicklung von Manufacturing-Execution-Systems (MES). Im nachfolgenden Abschnitt beschreiben wir deshalb MES für die Produktionssteuerung in Halbleiterfabriken.

6.1.3.3 Manufacturing-Execution-Systems

MES, auch als Produktionsmanagement- oder Werkstattsteuerungssysteme bezeichnet, sind an der Schnittstelle zwischen den ERP-Systemen und den eigentlichen Systemen zur Durchführung der Produktion angesiedelt [15, 18, 27]. Wir definieren den MES-Begriff wie folgt.

Definition 6.1.12 (MES) *Unter einem MES wird ein Anwendungssystem verstanden, das aus einer Menge von integrierten Hard- und Softwarekomponenten besteht, die zum Managen der Produktion vom Einsteuern bis zur Fertigstellung des Produktionsauftrages dienen. MES konzentrieren sich somit auf den eigentlichen Produktionsdurchführungsprozess.*

Ein MES ist Voraussetzung für die vertikale Integration aller informationsverarbeitenden Systeme eines Unternehmens an einem bestimmten Standort. Ein MES ermöglicht neben der vertikalen Integration auch die horizontale Integration im Falle mehrerer Produktionsstandorte.

In Abbildung 6.6 wird die Einbettung von MES in einen standortübergreifenden Kontext eines Halbleiterfertigungsunternehmens gezeigt. Wir beschränken uns in diesem Kurs vereinfachend auf diesen speziellen Fall [25]. Viele der Aussagen sind aber auf andere Branchen übertragbar.

Es liegt, historisch bedingt, häufig eine heterogene MES-Systemlandschaft vor. Die MES liefern Daten an die jeweiligen ERP-Systeme und an standortübergreifende Standardinformationsstrukturen. Auf die standortübergreifenden Strukturen greift dabei, im Fall der Halbleiterindustrie mit den Subsystemen Frontend zur Erzeugung von Chips auf Siliziumscheiben und Backend

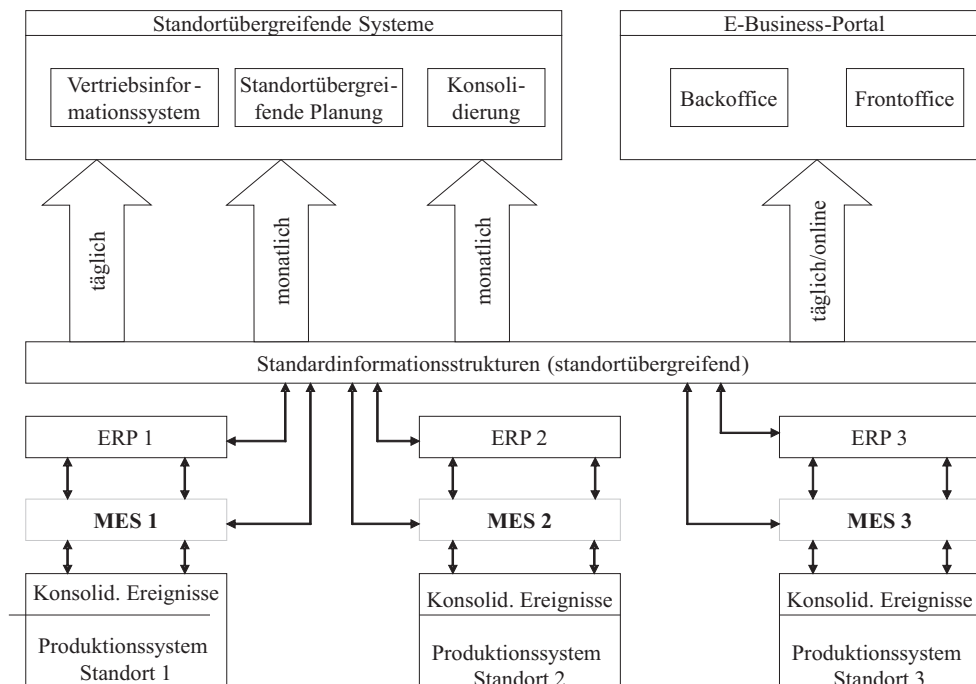


Abbildung 6.6: Standortübergreifende Einbettung mehrerer MES

zum Test und zur Montage der einzelnen Chips, das standortübergreifende Vertriebsinformationssystem, Managementinformationssysteme, standortübergreifende Planungs- und Konsolidierungssysteme sowie ein E-Business-Portal zu.

Die unterschiedlichen MES kommunizieren über Bussysteme und Middleware mit den Maschinensteuerungen wie Stations- und Zellenkontroller und erhalten auf diese Art und Weise die notwendigen Daten in Echtzeit. Die Werker sind für den Start von Bearbeitungsvorgängen auf den Maschinen und den Transport von Losen zuständig, während die Datenerfassung und das Bereitstellen von Bearbeitungsvorschriften automatisiert ist. Es ist wesentlich, dass vom MES nur Ereignisse auf einer konsolidierten Ebene betrachtet werden, d.h., die von den Maschinensteuerungen gelieferten Ereignisse werden klassifiziert, bevor sie an das MES geliefert werden.

Die **vertikale Integration** der Systeme eines Standortes wird durch ein Vorhalten und Verändern der in Tabelle 6.7 angegebenen Daten in Echtzeit ermöglicht. Kundenaufträge werden im ERP-System vorgehalten. Es werden Arbeitspläne auf einem kostenstellengenauen Level für die den Aufträgen zugrundeliegenden Produkte abgebildet. Kundenaufträge werden zunächst in Lose untersetzt, die dann an das MES übergeben werden. Im MES liegen arbeitganggenaue Arbeitspläne für die Produkte vor. Das MES hat die Aufgabe, dafür zu sorgen, dass sich die Arbeitspläne in vollständiger Übereinstimmung mit der Situation in der Produktion befinden.

Die Schnittstelle zwischen ERP-System und MES wird schmal gestaltet. Es wird deutlich, dass ein MES typischerweise im Vergleich zum ERP-System Daten von deutlich feinerer Granularität und größerer zeitlicher Aktualität vorhält. Höherwertige Algorithmen und Verfahren zur Produktionssteuerung wie diskrete ereignisorientierte Simulation [30] und genetische Algorithmen [28] zur Maschinenbelegungsplanung können nur unter Benutzung der in einem MES vorgehaltenen Daten erfolgreich betrieben werden. In [24] wird gezeigt, wie genetische Algorithmen unter Verwendung von Stamm- und Bewegungsdaten aus einem MES zur Maschinenbelegungsplanung verwendet werden können.

Stammdaten
für MES

In Tabelle 6.7 ist ein Beispieldatengengerüst für im ERP-System und im MES vorzuhaltende Daten für eine Halbleiterfabrik an einem Standort, in der anwendungsspezifische Schaltkreise hergestellt werden, angegeben. Der standortübergreifende Austausch von MES-Daten erfolgt durch die standortübergreifenden Informationsstrukturen (vergleiche hierzu Abbildung 6.6) und geeignete Konvertierungsmethoden. Wenn Lose der Halbleiterindustrie an mehreren unterschiedlichen Standorten bearbeitet werden, wird beim Übergang von einem Werk zum anderen lediglich die Beschreibung der elektrischen Eigenschaften, der Losstatus und eine Qualitätsbeschreibung übertragen. Arbeitspläne werden für jeden Standort separat erstellt.

Tabelle 6.7: Datenhaushalt eines MES für den Produktionsprozess in der Halbleiterindustrie

Datenart	Beschreibung
Stammdaten	<ul style="list-style-type: none"> - Maschinen - Zusammenfassen von Maschinen zu Maschinengruppen - Technologien - Produkte - Arbeitspläne - arbeitgangbezogene Betriebsmittellisten - reihenfolgeabhängige Umrüstzeiten - Ersatzmaschinen
Bewegungsdaten	<ul style="list-style-type: none"> - zeitliche und qualitative Eigenschaften eines Loses (auszuführender Arbeitsgang pro Los, Loszustand) - aktueller Zustand der einzelnen Ressourcen

Aus Tabelle 6.8 wird deutlich, dass ein MES im Vergleich zu ERP-Systemen feingranulare Daten enthält.

Anforderungen
an MES

Die folgenden funktionalen Anforderungen an MES sind von der Manufacturing-Execution-Systems-Association (MESA) [15] herausgearbeitet worden:

Tabelle 6.8: Mengengerüst für Daten im ERP-System und im MES

Datenart	Beschreibung
ERP-System	<ul style="list-style-type: none"> - 30 - 50 Maschinenkostenstellen - 300 - 500 verfügbare Endprodukte - ein Arbeitsplan pro Produkt, der den Aufwand pro Kostenstelle akkumuliert ausweist - 20 - 50 Prototypen für neue Produkte, beauftragt mit höherer Dringlichkeit und intensiverer Überwachung während der Fertigung
MES	<ul style="list-style-type: none"> - 200 - 250 Einzelmaschinen, 50 unterschiedliche Maschinentypen - 150 - 200 Arbeitspläne - 250 - 450 Arbeitsgänge pro Arbeitsplan - 1250 verschiedene Arbeitsgänge, gleiche Arbeitsgänge können bis zu 30 mal in einem Arbeitsplan vorkommen - 1000 - 1500 Lose

- Verfolgung des Zustandes der Betriebsmittel wie Maschinen, Werkzeuge und Lose,
- Qualitätsdatenmanagement,
- Feinplanung,
- Wartungsmanagement,
- Personalmanagement.

Die Verfolgung des Zustands der Betriebsmittel und Lose wird in Tabelle 6.9 genauer dargestellt. Die Kernfunktionalität des Qualitätsmanagements wird in Tabelle 6.10 erläutert.

Die Feinplanung umfasst die Ablaufplanung und die Belegung von Maschinen mit Losen unter Verwendung von Prioritätsregeln. Bei der Ablaufplanung werden auf Basis eingeschränkt vorhandener Ressourcen und unter Berücksichtigung spezieller Prozessbedingungen Bearbeitungsaktivitäten unter Vorgabe eines Zeithorizontes den Ressourcen zugeordnet (vergleiche dazu [28] sowie die Ausführungen in Abschnitt 1.2). Wir unterscheiden zwischen der Erstellung eines Grob Ablaufplanes für Terminvorgaben zur Festlegung von Meilensteinen für Lose und der Ermittlung eines detaillierten Ablaufplans. Ein detaillierter Ablaufplan ordnet Lose bestimmten Maschinen zu (Aufteilungsentscheidung) und legt im zweiten Schritt die Reihenfolge der Lose auf einer konkreten Maschine fest.

Feinplanung

Im Gegensatz dazu wird bei der Belegung von Maschinen mit Prioritätsregeln

Tabelle 6.9: Verfolgung des Los- und Betriebsmittelzustandes

Funktion	Beschreibung
Steuerung der Lose	Fluss der Lose wird gesteuert (Stoppen von Losen, Reaktion auf Ausschuss und Nacharbeit)
Betriebsdatenerfassung	Erfassung aller von den Betriebsmitteln erzeugten Betriebsdaten (automatisiert oder durch eine graphische Benutzeroberfläche)
Tracking der Lose	Status von Losen anzeigen
Ressourcenzuteilung und Statusfesthaltung	verknüpft Produkte, Arbeitspläne, Arbeitsgänge und Aggregationen von Arbeitsgängen mit Maschinen, legt die möglichen Ressourcenstatus fest und speichert diese
Informationssteuerung	stellt die für den Produktionsprozess notwendigen Anweisungen zur Verfügung
Leistungsanalyse	Umsetzung und Aggregation der in Echtzeit ermittelten Produktionsdaten in Auswertungen

die Belegungsentscheidung erst dann getroffen, wenn eine Maschine zur Bearbeitung zur Verfügung steht. Aus der Menge der zur Bearbeitung bereitstehenden Lose wird das als nächstes zu bearbeitende ausgewählt. Die Prioritätsregelverfahren arbeiten somit räumlich und zeitlich isoliert (vergleiche dazu auch die Ausführungen in Abschnitt 6.1.2.4).

Instandhaltung

Die Nutzung von Betriebsmitteln wird für vorbeugende Instandhaltungszwecke (Preventive Maintenance (PM)) und Sofortwartung als Reaktion auf unvorhergesehene Maschinenausfälle durch das MES aufgezeichnet.

Weiterhin gehört zu den Aufgaben eines MES im Personalmanagement die Aufzeichnung von Personaleinsatzdaten nach Zeit und Tätigkeit für Abrechnungszwecke und Kostenrechnung.

Tabelle 6.10: Qualitätsmanagement

Funktion	Beschreibung
Prozessanalyse	Erkennen von Trends wie Ausbeuteverbesserung und Entdeckung von Ursachen für Abweichungen von Qualitätsstandards der Lose
Prozesskontrolle	Überwachung der Einhaltung aller Qualitätsparameter bezüglich Produkt und Produktionsanlagen durch statistische Prozesskontrolle (SPC) sowie graphische Aufbereitung

Die Ausführungen zu MES sind in weiterführenden Lehrveranstaltungen zu

vertiefen. In diesem Kurs soll lediglich gezeigt werden, dass neben ERP-Systemen weitere Anwendungssysteme notwendig sind, um eine effiziente Produktionssteuerung durchzuführen.

Übungsaufgabe 6.11 (Planungs- und Dispositionssystem) Ordnen Sie APS-Systeme und MES den in Kurseinheit 1 eingeführten Begriffen „Planungssystem“ und „Dispositionssystem“ zu. Begründen Sie Ihre Entscheidung.

6.2 Funktionen und Prozesse im Vertrieb

6.2.1 Einführung und Motivation

Neben der Produktionsdomäne ist der Vertrieb der zweite betriebliche Funktionsbereich, der zur Illustration der Anwendung von betrieblichen Informationssystemen dienen soll. Wir definieren den Begriff Vertrieb in Anlehnung an [13] wie folgt.

Definition 6.2.1 (Vertrieb) *Die Abwicklung des Verkaufs und der damit verbundenen operativen Prozesse über die verschiedenen Absatzwege eines Unternehmens wird als Vertrieb bezeichnet.*

Vertrieb

Die wichtigsten operative Prozesse im Vertrieb sind die Erfassung und Bearbeitung von Bestellungen, Lieferungen, Rücknahmen sowie Fakturierungen. Die in Definition 6.2.1 eingenommene Sichtweise beinhaltet im Wesentlichen den Distributionsgedanken. Die meisten ERP-Systemen unterstützen durch die von ihnen bereitgestellten Funktionen diese Sichtweise des Vertriebs.

Es ist aber möglich, Vertriebsaktivitäten als Bestandteil des Marketings aufzufassen. Dazu definieren wir zunächst den Marketingbegriff in Anlehnung an [13].

Marketing

Definition 6.2.2 (Marketing) *Maßnahmen, die daraufhin ausgerichtet sind, den Absatz von betrieblichen Produkten zu sichern, werden als Marketing im engeren Sinne bezeichnet. Maßnahmen zur Erreichung dieses Ziels werden in Produkt- und Programm- sowie Preis-, Distributions- und Kommunikationspolitik eingeteilt.*

Die wichtigsten operativen Prozesse bei dieser weiter gefassten Vertriebsdefinition sind die umfassende Unterstützung des Kundenkontakts sowie die Angebotsüberwachung. Derartige Funktionalität wird typischerweise nicht in ERP-Systemen, sondern in speziellen Marketinginformationssystemen für das Customer-Relationship-Management (CRM) angeboten. In Anlehnung an [13] wird der CRM-Begriff wie folgt definiert.

Definition 6.2.3 (CRM) *Die Identifikation, Gewinnung und Erhaltung von Kunden erfolgt im Rahmen des CRM. Die Kundenbindung soll als Ergebnis des CRM durch die Koordination der Kundenkontakte über alle Kanäle, Geschäftsbereiche, Abteilungen und geographischen Gebiete hinweg verstärkt werden.*

Im Vergleich zu anderen betriebswirtschaftlichen Funktionsbereichen wie Finanz- und Rechnungswesen, Personalwirtschaft und Produktion sind die Marketingprozesse weniger gut strukturiert. Unternehmen versuchen, auf diesem Gebiet durch individuelle Lösungen Wettbewerbsvorteile zu erreichen [13].

6.2.2 Wichtige Funktionen und Prozesse im Vertrieb

In diesem Abschnitt stellen wir zunächst Stammdaten für den Vertrieb vor. Anschließend beschreiben wir die Unterstützung des Kundenkontakts. Wir führen im nächsten Schritt die Angebotsüberwachung sowie die Verkaufsabwicklung ein. Versandabwicklung und Fakturierung werden diskutiert.

6.2.2.1 Stammdaten für den Vertrieb

Kunden-
stamm

Basisdaten für den Vertrieb sind der Kunden- und Teilestamm [13]. Wir beginnen zunächst mit der Beschreibung des Kundenstammes. Der Kundenstamm dient der Verwaltung der Daten für Geschäftspartner. Drei Gruppen von Daten sind interessant:

1. allgemeine Daten,
2. Daten mit Bezug zur Buchhaltung,
3. vertriebsbereichsbezogene Daten.

Wir betrachten das folgende Beispiel für allgemeine Daten des Kundenstammes.

Beispiel 6.2.1 (Allgemeine Daten des Kundenstamms) *Anschrift, Ansprechpartner sowie Bankverbindungen gehören zu den allgemeinen Daten des Kundenstamms.*

Bezüglich der Buchhaltungsdaten geben wir das nachfolgende Beispiel an.

Beispiel 6.2.2 (Buchhaltungsdaten des Kundenstamms) *Kundennummern, Kreditrahmen, Buchungskreise oder Informationen zur Kontoführung gehören zu den Buchhaltungsdaten des Kundenstammes.*

Spezielle vertriebsbereichsbezogene Daten werden im nachfolgenden Beispiel gezeigt.

Beispiel 6.2.3 (Vertriebsbereichsbezogene Daten des Kundenstamms) *Partnerdaten wie Waren- und Rechnungsempfänger sowie Auftraggeber sind notwendig. Außerdem werden Auftragsbestätigungen, Lieferscheine und Rechnungen vorgehalten.*

Teilestamm

In der Vertriebsicht des Teilestamms (vergleiche dazu die Ausführungen in Abschnitt 5.3.6.4) werden die verkaufsfähigen Produkte definiert. Die nachfolgenden Teilestammdaten werden vom Vertrieb gepflegt [13]:

- Artikelbezeichnung,
- Artikelnummern,
- Gruppierungsschlüssel wie Warengruppe und Produktattribute,
- Preise,
- Rabatte und Boni,
- Produktbeschreibungen.

6.2.2.2 Unterstützung des Kundenkontakts

Vertriebsmitarbeiter werden bei der Planung des Kundenkontakts durch Anwendungssysteme unterstützt. Dabei sind die nachfolgenden Tätigkeiten durchzuführen [22]:

Kunden-
kontakt

- Planung des Kundenkontakts,
- Vorbereitung des Kundenkontakts,
- Durchführung des Kundenkontakts,
- Nachbereitung des Kundenkontakts.

Die Gesamtheit dieser Tätigkeiten wird als **CRM** bezeichnet. Wir erläutern der Reihe nach die einzelnen Tätigkeiten.

CRM

Kundenkontakte kommen entweder infolge der Anfrage eines Kunden oder durch unaufgeforderte Angebote des Unternehmens an potentielle Kunden zustande. Es muss die Frage entschieden werden, ob ein Kunde auf seine Anfrage hin ein Angebot erhält. Dieser Vorgang wird als Angebotsauswahl bezeichnet. Wenn sehr viele Angebote zu unterbreiten sind, ist es sinnvoll, diese Tätigkeit zu automatisieren. Falls der Kunde das Angebot interessant findet, ist ein Besuch eines Außendienstmitarbeiters beim Kunden zu planen.

Im nächsten Schritt muss der Kundenkontakt vorbereitet werden. Dazu bereitet sich der Außendienstmitarbeiter unter Verwendung von Kunden-, Angebots- und Marktdatenbanken auf den Besuch vor [22]. Bereits vorliegende Informationen über den Kunden sowie Angebote aus der Vergangenheit werden dabei berücksichtigt. Die anzubietenden Produkte sind auszuwählen.

Bei der eigentlichen Durchführung des Kundenkontakts sitzt der Außendienstmitarbeiter typischerweise einer Gruppe von Spezialisten gegenüber. Der Außendienstmitarbeiter muss deshalb häufig Hilfe bei Fachkräften des eigenen Unternehmens anfordern. Dadurch wird dann der Kundenkontakt unterbrochen. Dieses Problem kann wie folgt verringert werden [22]:

1. Der Vertriebsaußendienstmitarbeiter beschafft sich telefonisch oder via E-Mail entsprechende Informationen aus der Unternehmenszentrale. Außerdem ist es möglich, entsprechende Datenbanken zu verwenden, um an die benötigten Informationen zu gelangen.
2. Der Außendienstmitarbeiter nutzt Angebotssysteme. Das sind spezielle verkaufsunterstützende Systeme, die sich dem Benutzer unter anderem in Form von elektronischen Produktkatalogen präsentieren.

Das Ziel der Nachbereitung des Kundenkontakts besteht darin, Rückmeldungen des Vertriebsaußendienstmitarbeiters geeignet zu sammeln, um zu einer aussagekräftigen Vertriebsdatenbasis zu gelangen.

6.2.2.3 Angebotsüberwachung

Das Ziel der Angebotsüberwachung besteht darin, in periodischen Abständen Angebotserinnerungen an die verantwortlichen Sachbearbeiter zu verschicken. Dazu ist es notwendig, die von der Kundenkontaktunterstützung bereitgestellten Angebote zu überprüfen. Die Angebotserinnerungen sind notwendig, damit der Sachbearbeiter bei den Kunden erneut nachfragt, ob noch Interesse am Angebot des Unternehmens besteht. Andernfalls ist das Angebot zu löschen.

6.2.2.4 Schnittstelle zwischen Vertrieb und Produktionsplanung

Schnittstelle
zur Produk-
tion

Aufgrund des gepflegten Kundenkontakts ist der Vertrieb in der Lage, einen Absatzplan zu erstellen. Dazu werden Informationen über erwartete bzw. bereits getätigte Kundenaufträge verwendet, die dem Vertrieb vorliegen. Bei der Ermittlung zukünftiger Absatzzahlen kommen insbesondere auch Prognoseverfahren zum Einsatz. In vielen Unternehmen werden dazu spezielle **Forecast-Systeme** betrieben.

Die vom Vertrieb im Rahmen der Absatzplanung ermittelten Absatzzahlen gehen in die Produktionsprogrammplanung ein. Die ermittelten Umsatzzahlen sind für die Unternehmensführung von Interesse.

6.2.2.5 Verkaufsabwicklung

Angebot

Auf eine Kundenanfrage hin wird, wie in Abschnitt 6.2.2.3 beschrieben, ein Angebot an den Kunden geschickt. Dem Angebot geht eine Preisfindungsphase voraus. Dieses Angebot und unter Umständen ein entsprechender Vertrag führen zu einem Auftrag des Kunden. Der entsprechende Auftrag muss zunächst im ERP-System erfasst werden.

Auftrags-
erfassung

Bei der Auftragserfassung ist Wert darauf zu legen, dass diese möglichst rationell erfolgt. Die folgenden prinzipiellen Möglichkeiten zur Erfassung von Aufträgen existieren [22]:

- Offline-Eingaben über maschinell lesbare Markierungs- und Klarschriftdokumente,
- Online-Eingaben über Monitore,
- Fernübertragung der Auftragsdaten durch den Vertriebsaußendienstmitarbeiter über das Internet,
- weitestgehend automatisierte Auftragserfassung derart, dass Kundenbestellungen von den Anwendungssystemen des Kunden bereits so zur Verfügung gestellt werden, dass ein unmittelbares Einlesen in die entsprechenden Anwendungssysteme des produzierenden Unternehmens möglich ist.

Vor der Annahme eines Auftrags sind eine Reihe von Prüfungen durchzuführen. Wir unterscheiden in Anlehnung an Mertens [22] zwischen:

- technischen Prüfungen,
- Bonitätsprüfungen,
- Terminprüfungen.

Wir bemerken, dass diese Prüfungen nicht notwendig sind, wenn sich der Auftrag auf ein erst vor kurzem übermitteltes Angebot bezieht oder entsprechende Kontrollen bereits in der Angebotsphase durchgeführt wurden.

Durch eine **technische Prüfung** wird sichergestellt, dass bei kundenspezifischen Varianten eines Produktes dessen Lieferung auch tatsächlich möglich ist. Es ist zu überprüfen, ob es sich nicht um Auslaufmodelle handelt. Gesetzliche Regelungen sind vor der Auftragsannahme geeignet zu berücksichtigen.

Neben der technischen Prüfung ist es sinnvoll, eine **Bonitätsprüfung** für den Kunden, der den Auftrag ausgelöst hat, vorzunehmen. Für jeden Kundenstammsatz wird, vereinfacht dargestellt, eine obere Grenze für die Summe der Forderungen und der noch nicht fakturierten Aufträge gesetzt. Falls eine Kreditüberschreitung vorkommt, wird der Auftrag nicht angenommen.

Die Aufgabe der **Terminüberprüfung** besteht darin, für einen Auftrag festzustellen, ob der Wunschtermin des Kunden eingehalten werden kann. Dabei sind vorhandene Bestände sowie End- und Zwischenprodukte zu berücksichtigen. Die aktuelle Situation für bestimmte Engpassbetriebsmittel ist abzufragen und in die Entscheidungsfindung einzubeziehen. Falls eine Fremdbeschaffung von Teilen notwendig ist, sind die dafür erforderlichen Zeiten zu berücksichtigen. Die mit dem Auftrag verbundene Menge ist mit den vorhandenen Produktions- und Versandkapazitäten abzugleichen, um auf diese Art und Weise zu realisierbaren Lieferterminen zu gelangen.

6.2.2.6 Versandabwicklung

Lieferungen

Unter der Versandabwicklung versteht man die Durchführung der Lieferungen entsprechend dem Auftrag [13]. Die Durchführung der Lieferungen umfasst die Terminverfolgung, die Erstellung der Lieferungen, das Kommissionieren im Lager, das Verpacken der Lieferung, den Warenausgang und den Transport. Außerdem gehört auch die Behandlung von Warenrücklieferungen zur Versandabwicklung. In der Literatur und auch in der Praxis wird die Versandabwicklung teilweise der Logistik und nicht dem Vertrieb zugerechnet. In ERP-Systemen ist aber häufig die Versandabwicklung im Vertriebsmodul angesiedelt.

6.2.2.7 Fakturierung

Aufgabe der Fakturierung ist die Rechnungslegung unmittelbar nach der Auftragsannahme oder der Lieferung der Aufträge. Die Rechnungserstellung umfasst einen Ausdruck der Rechnungsformulare oder eine Übermittlung per E-Mail oder Fax. Die Kostenrechnung wird über die erwarteten Erlöse informiert. Forderungen werden gegenüber dem Auftraggeber festgeschrieben und an die Debitorenbuchhaltung geschickt [13]. Genauso wie die Versandabwicklung wird die Fakturierung teilweise in der Praxis der Logistik zugerechnet.

6.2.3 Anwendungssysteme im Vertrieb

Wir stellen in diesem Abschnitt zunächst die Vertriebsfunktionalität dar, die typischerweise durch ERP-Systeme angeboten wird. Anschließend gehen wir knapp auf die Funktionalität und den Aufbau von CRM-Systemen ein.

6.2.3.1 Vertriebsfunktionalität in ERP-Systemen

mySAP
ERP

Wir erläutern grob das SAP-Vertriebssystem. In mySAP ERP gibt es das Modul Sales-and-Distribution (SD) zur Unterstützung des Vertriebs. SD ist in mySAP ERP genauso wie die Produktionsplanung und -steuerung Bestandteil des Bereichs „Operations“. Das Modul beinhaltet die folgenden Komponenten:

- Stammdatenverwaltung,
- Funktionen zur Unterstützung des Verkaufs,
- Funktionen zur Unterstützung der Lieferung.

Im SAP-Vertriebssystem wird die Erstellung, Verwaltung und Übermittlung von Formularen und Geschäftsdokumenten unterstützt. Für jedes zu übertragende Formular bzw. Beleg wird die jeweilige Nachrichtenart festgelegt. Wir betrachten dazu das folgende Beispiel.

Beispiel 6.2.4 (Nachrichtenarten für Formulare und Belege) *E-Mail, Fax, EDI sind als spezielle Nachrichtenarten möglich.*

Jedem Verkaufsvorgang ist in der Verkaufsabwicklung ein Beleg mit speziellen Eigenschaften zugeordnet. Unter einem Beleg verstehen wir hier eine Bildschirmmaske (vergleiche dazu die Ausführungen in Abschnitt 2.3.2.3), mit der die relevanten Daten erfasst und gepflegt werden können. Wir betrachten dazu das folgende Beispiel.

Beispiel 6.2.5 (Bildschirmmasken für die Verkaufsabwicklung) *Bildschirmmasken für Anfragen, Angebote, Aufträge, Lieferpläne, Warenrücklieferungen sowie die Rechnungslegung existieren.*

Da es sich bei mySAP ERP um ein integriertes Anwendungssystem handelt, werden vorhandene Kunden- und Artikelstammdaten automatisch aus anderen Modulen übernommen und dem Vertriebsmodul zur Verfügung gestellt.

Wir weisen darauf hin, dass im SAP-Vertriebssystem Formulare für wichtige Außenhandelsdokumente wie Zollrechnungen sowie für Meldungen an Behörden verfügbar sind.

6.2.3.2 Customer-Relationship-Management-Systeme

Neben der Vertriebsfunktionalität in mySAP ERP bietet die SAP AG ein eigenes CRM-System an. Die Software SAP CRM ist ein umfassendes, kundenorientiertes Marketinginformationssystem. CRM-Systeme dienen der Unterstützung von Vertriebsmitarbeitern.

CRM

Kundendaten aus ERP-Systemen bilden die Basis von CRM-Systemen. Durch separate Kundenkontakte der einzelnen Abteilungen eines Unternehmens entstehen Informationsverluste. Aus diesem Grund haben CRM-Systeme die Aufgabe, alle kundenrelevanten Prozesse zu verknüpfen und eine gemeinsame Kundendatenbank zur Verfügung zu stellen. CRM-Systeme lassen sich in einen

CRM-Bereiche

- analytischen Bereich,
- kommunikativen Bereich,
- operativen Bereich

unterteilen [9]. Wir erläutern der Reihe nach die unterschiedlichen Bereiche. Eine systematische Analyse und Aufbereitung von Kundeninformationen erfolgt im **analytischen Bereich** des CRM-Systems. Die Lösung der analytischen Aufgabe erfordert eine Integration mit dem ERP-System des Unternehmens. Die Kundendaten werden unter Verwendung von statistischen Datenanalyseverfahren ausgewertet. Kundenkontakte und Kundenreaktionen können auf diese Art und Weise aufbereitet werden.

Der **operative Bereich** eines CRM-Systems dient dazu, die Abstimmung und Abwicklung von Marketing-, Verkaufs- und Serviceaktivitäten zu unterstützen. Das Tagesgeschäft von Vertrieb, Service und Benutzer-Support wird durch

die Bereitstellung von Informationen bzw. die Steuerung von Prozessen des direkten Kundenkontakts unterstützt.

Der **kommunikative Bereich** eines CRM-Systems besitzt die Aufgabe, die Bereitstellung, Steuerung und Synchronisation verschiedener Kommunikationskanäle zum Kunden sicherzustellen [9]. Wir betrachten dazu das folgende Beispiel für mögliche Kommunikationskanäle.

Beispiel 6.2.6 (Kommunikationskanäle) *Telefon, Fax und E-Mail stellen spezielle Kommunikationskanäle dar.*

Durch den kommunikativen Bereich eines CRM-Systems wird somit eine Schnittstelle zu den Kunden zur Verfügung gestellt.

Lösungen zu den Übungsaufgaben

Übungsaufgabe 6.1

Das Entity-Relationship-Modell für die Erzeugnisstruktur ist in Abbildung 6.7 dargestellt. Hieraus geht hervor, dass ein Teil aus keinem oder mehreren Teilen bestehen kann und in kein oder mehrere andere Teile eingehen kann. Bei der Überführung in eine Tabellenstruktur ist zu beachten, dass für die Entität „Teil“ und für die N:M-Beziehungen jeweils eine Tabelle anzulegen ist.

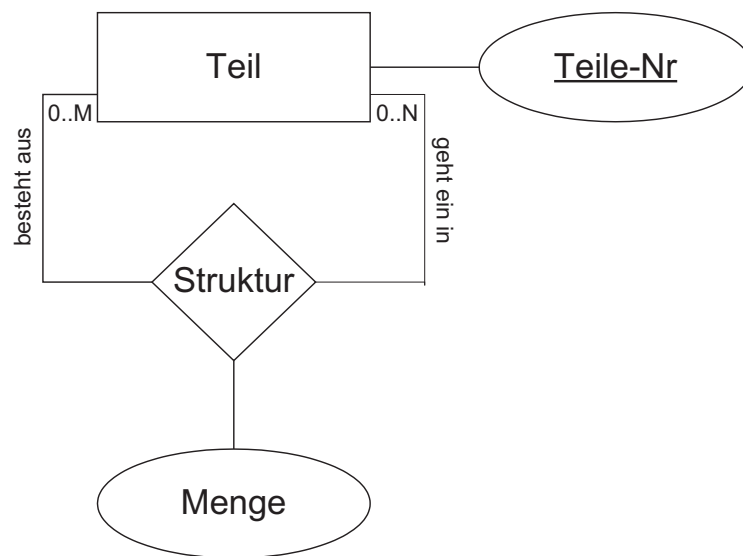


Abbildung 6.7: Erzeugnisstruktur als Entity-Relationship-Modell

Übungsaufgabe 6.2

Die Tabelle für die Entität „Teil“ hat folgende Struktur.

Teil		
<u>Teile-Nr</u>	Teilebezeichnung	Maßeinheit

Die Tabelle zur Abbildung der Struktur hat folgenden Aufbau.

Struktur		
<u>O-Teil-Nr</u>	<u>U-Teil-Nr</u>	Menge

In der Spalte „O-Teil-Nr“ wird das übergeordnete und in der Spalte „U-Teil-Nr“ das untergeordnete Teil abgelegt. Dazu wird die Menge angegeben, die vom untergeordneten Teil benötigt wird, um ein übergeordnetes Teil zu produzieren. Die Tabelle für die Teile enthält folgende Werte.

Teil		
Teile-Nr	Teilebezeichnung	Maßeinheit
MR	Motorrad	St
M1	Motor	St
R1	Rahmen	St
MB1	Motorblock	St
NW1	Nockenwelle	St
RM	Rasenmäher	St
M2	Motor	St
MB2	Motorblock	St

Die Struktur wird folgendermaßen abgebildet.

Struktur		
O-Teil-Nr	U-Teil-Nr	Menge
MR	M1	1
MR	R1	1
M1	MB1	1
M1	NW1	1
RM	M2	1
M2	MB2	1
M2	NW1	1

Übungsaufgabe 6.3

Das SQL-Statement zur Erzeugung der Baukastenstückliste hat folgenden Aufbau.

```

SELECT    Teil.Teile-Nr, Teil.Teilebezeichnung, Teil. Maßeinheit,
          Struktur.Menge
FROM      Teil, Struktur
WHERE     Struktur.O-Teil-Nr = „MR“
AND       Teil.Teile-Nr = Struktur.U-Teil-Nr

```

Übungsaufgabe 6.4

Der Arbeitsplan zur Montage des Motorrads ist in Tabelle 6.11 dargestellt. Die Darstellung des Arbeitsplans für den Motor erfolgt in Tabelle 6.12.

Übungsaufgabe 6.5

Das Entity-Relationship-Modell zur Abbildung der Lieferantendaten kann, wie in Abbildung 6.8 gezeigt, dargestellt werden.

Tabelle 6.11: Arbeitsplan zur Fertigung des Motorrads

Arbeitsgang-nummer	Arbeitsplatz	Rüstzeit	Einheit	Bearbeitungs-zeit	Einheit
1	Montage III	18	min	25	min
2	Montage IV	10	min	205	min

Tabelle 6.12: Arbeitsplan zur Fertigung des Motors

Arbeitsgang-nummer	Arbeitsplatz	Rüstzeit	Einheit	Bearbeitungs-zeit	Einheit
1	Montage III	8	min	15	min
2	Montage III	0	min	135	min
3	Montage IV	10	min	15	min
4	Montage IV	0	min	10	min

Übungsaufgabe 6.6

Der Vorteil der Rückwärtsterminierung ist eine Minimierung der Kapitalbindungskosten, da die einzelnen Bestandteile eines Produkts erst zum spätestmöglichen Zeitpunkt hergestellt werden. Darin liegen allerdings auch die Nachteile des Verfahrens. Treten Störungen im Fertigungsablauf auf, beispielsweise der Ausfall einer Engpassmaschine, dann ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass die Endtermine des Produkts nicht eingehalten werden können. Es werden keine Puffer auf dem entsprechenden Pfad mit der Engpassmaschine berücksichtigt. Beginnt man zu spät mit der Rückwärtsterminierung, dann besteht die Gefahr, dass der Starttermin schon in der Vergangenheit liegt und das Produkt erst verspätet fertiggestellt werden kann.

Übungsaufgabe 6.7

Der Rahmen muss um 11:42 Uhr zur Verfügung stehen, da die Fertigung des Motorrads 258 Minuten dauert. Die Fertigung des Motors dauert 193 Minuten. Somit muss die Fertigung des Motors um 8:29 Uhr beginnen. Die graphische Darstellung der vorgenommenen Rückwärtsterminierung ist Abbildung 6.9 zu entnehmen.

Übungsaufgabe 6.8

Wenn auf das Beispiel die Rückwärtsterminierung angewendet wird, dann beginnt die Herstellung des Motorblocks später als die der Nockenwelle. Sowohl die Nockenwelle als auch der Motorblock stehen zur selben Zeit für die Montage des Motors zur Verfügung. Es entstehen keine Liegezeiten.

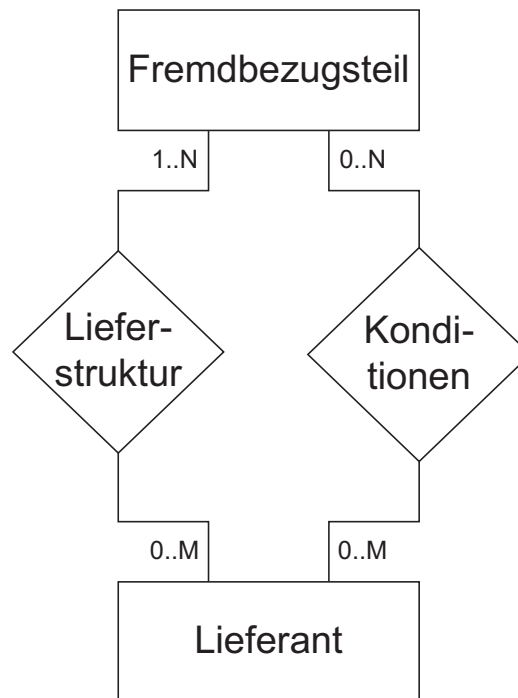


Abbildung 6.8: Abbildung der Lieferantendaten als Entity-Relationship-Modell

Übungsaufgabe 6.9

Neben der Einführung von Überstunden und Zusatzschichten sowie der kurzfristigen Beschaffung einer Maschine können folgende Maßnahmen zur Anpassung des Kapazitätsangebots an den Kapazitätsbedarf vorgenommen werden. Über Zeitarbeit kann Aushilfspersonal beschäftigt und aus unterbeschäftigten Betriebsteilen kann Personal umgesetzt werden. Fertigungsaufträge können an externe Auftragnehmer vergeben und Teile können zugekauft werden. Die Produktionsgeschwindigkeit kann, sofern dies technologisch möglich ist, erhöht werden. Bei längerer Überlastung kann neues Personal eingestellt werden. Durch Investitionsmaßnahmen ist eine Erhöhung der Produktionskapazität möglich.

Übungsaufgabe 6.10

Die Reihenfolge der Lose wird zum Zeitpunkt $t = 30$ festgelegt. Zu diesem Zeitpunkt warten die Los 1 bis 8 auf Bearbeitung. Die anderen beiden Lose werden nicht mit berücksichtigt. Die Reihenfolge der Lose und die Verspätung sind in Tabelle 6.13 aufgeführt.

Bei Anwendung der KOZ-Regel mit Berücksichtigung des Gewichts sind die Lose 1 und 7 verspätet. Die Lose 3, 4, 7 und 8 verspäten sich bei Nichtberücksichtigung des Gewichts. Die graphische Darstellung der Maschinenbelegung ist Abbildung 6.10 zu entnehmen.

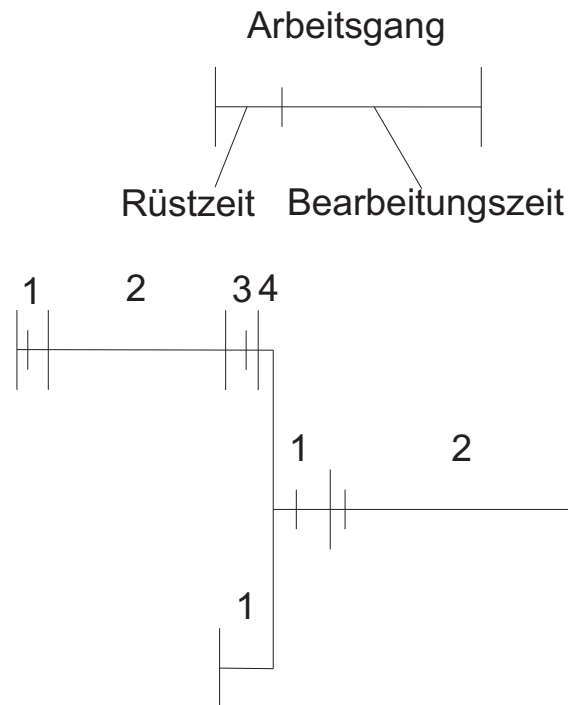


Abbildung 6.9: Rückwärtsterminierung für die Motorradproduktion

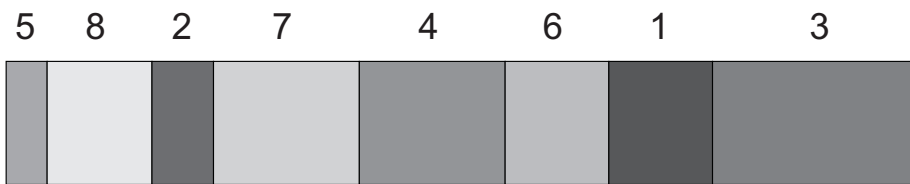
Tabelle 6.13: Einplanung der Lose

Los	gewichtete KOZ			KOZ		
	wj/pj	Position	Fertigstellung	l/pj	Position	Fertigstellung
1	0,2	7	64	0,2	3	40
2	1	3	40	0,34	2	35
3	0,1	8	74	0,1	8	74
4	0,71	5	54	0,14	6	57
5	5	1	32	0,5	1	32
6	0,4	6	59	0,2	4	45
7	1	4	47	0,14	7	64
8	1,8	2	37	0,2	5	50

Übungsaufgabe 6.11

MES sind Dispositionssysteme und APS-Systeme sind Planungssysteme. Sowohl Planungs- als auch Dispositionssysteme dienen der Vorbereitung und Unterstützung von Entscheidungen. Bei Planungssystemen betreffen die Entscheidungen neben der unmittelbaren Leistungserstellung auch die

Maschinenbelegung mit gewichteter KOZ



Maschinenbelegung mit KOZ

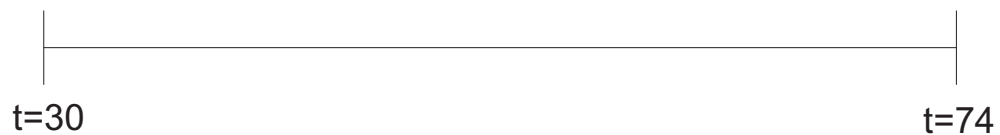


Abbildung 6.10: Maschinenbelegung mit gewichteter KOZ und KOZ

Rahmenbedingungen für diese. Eine Automatisierung der Entscheidungen ist dabei nicht vorgesehen. APS-Systeme dienen der Bedarfsprognose und Produktionsplanung. MES hingegen konzentrieren sich auf den eigentlichen Produktionsdurchführungsprozess.