



**TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN**

Vienna University of Technology

## **Diplomarbeit**

Entwicklung eines Konzepts zur Berücksichtigung  
produktionslogistischer Restriktionen in der internen

**Auftragsabwicklung**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

**Diplom-Ingenieurs**

unter der Leitung von

**Univ.Prof. Dipl.WirtschIng. Dr.-Ing. Wilfried Sihn**

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung)

**Proj.-Ass. Dipl.-Ing. Lukas Lingitz**

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung, Fraunhofer Austria Research GmbH)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

**Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften**

von

**Thomas Hofstätter**

1025238 (066 482)

Ziehrerstraße 12

3830 Waidhofen/Thaya

Wien, im Juni 2014

---

Thomas Hofstätter



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna University of Technology

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

## **Diplomarbeit**

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, im Juni 2014

---

Thomas Hofstätter

---

## Kurzfassung

In produzierenden Unternehmen klafft zwischen der geplanten Fertigstellung eines Auftrags und dem tatsächlichen Zeitbedarf zur Auslieferung eines Erzeugnisses häufig eine ungewollte Lücke. In der zugrundeliegenden Arbeit werden potentielle Ursachen einer unzuverlässigen Planung identifiziert. Dazu wird die empfohlene Vorgangsweise des Aachener PPS-Systems Schritt für Schritt analysiert und auf mögliche Schwachstellen untersucht.

Um das Problem rigoros lösen zu können, werden zunächst aktuelle Planungsansätze in der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) aufgezeigt. Eine durchgängige Abgrenzung des Begriffs Produktionslogistik samt den bestehenden Betrachtungsweisen wird im darauffolgenden Kapitel geliefert. Durch diesen Aufbau wird intuitiv begreiflich gemacht, dass die vorgestellten planerischen Methoden der PPS, beispielsweise zwar den komplexen Auswirkungen einer sich ändernden Losgröße versuchen Rechnung tragen, jedoch keine Rücksicht auf produktionslogistische (intralogistische) Restriktionen nehmen.

Es wird also die Hypothese untersucht, dass durch die verstärkte planerische Einbindung der Produktionslogistik, diese Lücke der zeitlichen Diskrepanz teilweise geschlossen werden kann. In dieser Arbeit wird die Prozessreferenzsicht des Aachener PPS-Modells mit der Methode der GAP-Analyse durchleuchtet. Dazu wird der Ist-Zustand der internen Auftragsabwicklung eines Auftrags- und eines Variantenfertigers mit dem gewünschten Soll-Zustand verglichen. Schritt für Schritt werden potentielle Fehlerquellen herausgearbeitet, die eine zuverlässige Planung aufgrund produktionslogistischer Komplikationen verhindern.

Das Ergebnis stellt ein verbessertes, qualitatives Modell zur internen Auftragsabwicklung dar. Als besondere Erkenntnis fällt dabei ins Gewicht, dass der volatile Anteil an interner Logistik beim Auftragsfertiger am höchsten ist und von Rahmenauftragsfertiger zu Variantenfertiger kontinuierlich abnimmt. Die Lagerfertiger müssen nur noch einen beinahe verschwindenden Anteil an volatiler Intralogistik handhaben.

## Abstract

In manufacturing companies often exists an unwanted gap between the scheduled completion of a contract and the actual time required for the delivery of a certain product. In this thesis potential causes of unreliable planning work are identified. For this, the recommended way of Aachen PPS system is analyzed step by step and examined for possible vulnerabilities.

In order to solve that problem rigorously, current approaches of production planning and scheduling (PPS) are identified first. A consistent definition of the term manufacturing logistics, together with the existing perspectives in this field will be delivered in the next chapter. By this structure it is understood intuitively that the presented planning methods of PPS take among others the complex consequences of a changing lot size calculation into account, but not any consideration by manufacturing logistical (intra-logistical) restrictions.

So the hypothesis is investigated that this gap of temporal discrepancy can partially be closed by the increased involvement of intra-logistical planning. For that purpose, the process reference view of the Aachen production planning and scheduling model is investigated by the method of gap analysis. It compares the actual state of internal order fulfillment of a contract manufacturer and a manufacturer of products with variants with the desired target state. Potential sources of error which prevent the reliable planning due to intra-logistical complications get worked out step by step.

As a result, an improved qualitative model for internal order fulfillment is delivered. It becomes apparent that the volatile fraction of internal logistics is highest at contract manufacturer and decreases continuously from the framework contract manufacturer to the manufacturer of products with variants. The make-to-stock manufacturer only has to handle a slight proportion of volatile logistics.

# Inhaltsverzeichnis

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Einleitung .....   | 3  |
| 1.1   | Ausgangssituation .....                                  | 3  |
| 1.2   | Zielsetzung und Abgrenzung der Arbeit .....              | 4  |
| 1.3   | Aufbau der Arbeit.....                                   | 4  |
| 2     | Grundlagen- / Theorieteil .....                          | 6  |
| 2.1   | Grundlagen der PPS .....                                 | 6  |
| 2.1.1 | Entwicklung der PPS-Systeme .....                        | 6  |
| 2.1.2 | Ziele der PPS-Systeme.....                               | 7  |
| 2.1.3 | Auswahl und Einführung eines PPS-Systems .....           | 8  |
| 2.1.4 | Planungsmodelle im Produktionsbereich .....              | 10 |
| 2.2   | Anwendungen der PPS .....                                | 12 |
| 2.2.1 | Produktionsprogrammplanung.....                          | 13 |
| 2.2.2 | Prognoseverfahren .....                                  | 14 |
| 2.2.3 | Mengenplanung .....                                      | 16 |
| 2.2.4 | Durchlaufterminierung.....                               | 28 |
| 2.2.5 | Maßnahmen zur Durchlaufzeitverkürzung .....              | 31 |
| 2.2.6 | Kapazitätsplanung .....                                  | 34 |
| 2.3   | Computergestützte Ressourcensteuerung .....              | 36 |
| 2.3.1 | Enterprise Resource Planning (ERP).....                  | 36 |
| 2.3.2 | Manufacturing Execution Systems (MES).....               | 37 |
| 2.3.3 | Advanced Planning and Scheduling (APS).....              | 41 |
| 2.4   | Grundlagen der internen Logistik .....                   | 43 |
| 2.4.1 | Fabrikplanung zur Optimierung der internen Logistik..... | 45 |
| 2.4.2 | Logistische Einheit.....                                 | 46 |
| 2.4.3 | Planung von Materialflusssystemen.....                   | 47 |
| 2.4.4 | Fortschrittszahlenkonzept .....                          | 52 |
| 2.4.5 | Kanban .....   | 53 |
| 2.4.6 | Belastungsorientierte Auftragsfreigabe (BOA) .....       | 56 |
| 2.4.7 | Constant Work in Process (CONWIP) .....                  | 58 |
| 3     | Praxisteil / Praktische Umsetzung.....                   | 60 |

---

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 3.1   | Aachener PPS-System.....                             | 60  |
| 3.2   | Ausführungen nach zwei Auftragsabwicklungstypen..... | 62  |
| 3.2.1 | Auftragsfertiger .....                               | 67  |
| 3.2.2 | Variantenfertiger .....                              | 76  |
| 3.3   | Vorgangsweise GAP-Analyse .....                      | 85  |
| 4     | Ergebnisse aus GAP-Analyse.....                      | 86  |
| 4.1   | Auftragsfertiger.....                                | 86  |
| 4.2   | Variantenfertiger.....                               | 96  |
| 5     | Zusammenfassung und Ausblick .....                   | 105 |
| 6     | Literaturverzeichnis.....                            | 107 |
| 7     | Abbildungsverzeichnis .....                          | 110 |
| 8     | Formelverzeichnis.....                               | 113 |
| 9     | Tabellenverzeichnis .....                            | 114 |
| 10    | Abkürzungsverzeichnis.....                           | 115 |

# 1 Einleitung

Um als Unternehmen nachhaltig gewinnorientiert agieren zu können, ist es zwingend notwendig, langfristig Kundenzufriedenheit zu generieren. Neben Qualität und Kosten einer betrachteten Produktgruppe, sorgt vor allem die Einhaltung zugesagter Liefertermine für eine erfolgreiche Kundenbeziehung. Doch nicht immer können unterzeichnete Bestellungen termingetreu ausgeliefert werden. Somit können kundenseitig Fehlmengenkosten entstehen, die, sofern es vertraglich festgehalten ist, meist der Lieferant zu tragen hat. Allfällige Kosten einer Teillieferung oder einer Lieferverzögerung können Pönale, Kosten von Eilzustellung bzw. von zusätzlichen Lieferungen sowie Image- und Kundenverlust, darstellen.<sup>1</sup> Um diese Konsequenzen vermeiden zu können, haben Unternehmen den Stellenwert einer zuverlässigen Produktionsplanung und -steuerung (PPS) erkannt.<sup>2</sup>

## 1.1 Ausgangssituation

Die modernen Industriebetriebe von heute bedienen sich einer breiten Palette an Methoden und Werkzeugen um eine zentral festgelegte Erzeugnisreihe optimal dezentral fertigen zu können.<sup>3</sup> Eine zeitlich und inhaltlich logische Auftragsabwicklung stellt das Aachener PPS-Modell dar. Es bedient sich der rechengestützten Neuentwicklungen die im Bereich der Produktionsplanung und -steuerung in den letzten Jahrzehnten errungen wurden.<sup>4</sup>

Trotz dieser modernen Verfahren kommt es in der industriellen Praxis jedoch immer wieder zu zeitlichen Abweichungen vom zuvor genau terminierten Produktionsablauf. Als mögliche Ursachen werden dazu Problemfelder in den Bereichen:

- organisatorische Missstände, besonders Lücken in der Informations- und Logistikbereitstellung der Produktionsplanung, Missstände in der Bestandsführung
- wenig Flexibilität in der Fertigung, der Beschaffung und der Disposition bei stark schwankenden Kundenbestellungen
- unsichere Bedarfsprognosen und -schwankungen sowie allfällige Störungen

verantwortlich gemacht.<sup>5</sup>

---

<sup>1</sup> vgl. Thome, 2011, S.1521f.

<sup>2</sup> vgl. Chu, 2014, S.1.

<sup>3</sup> vgl. Schuh, 2006, S.117.

<sup>4</sup> vgl. ebenda, S.3f.

<sup>5</sup> vgl. Thome, 2011, S.1523f.

## 1.2 Zielsetzung und Abgrenzung der Arbeit

In dieser Arbeit soll die Hypothese untersucht werden, die die Vernachlässigung der produktionslogistischen Planung in der Produktionsplanung und -steuerung, als mögliche Ursache für ungewollten Lieferverzug identifiziert.

Der Aufbau eines zuverlässigen PPS-Systems wurde in den letzten Jahrzehnten durchgängig an der RWTH Aachen am Forschungsinstitut für Rationalisierung diskutiert und verbessert. Das daraus entstandene Aachener PPS-Modell versucht die Problemfelder in der gesamten Auftragsabwicklung zu entschärfen. Das Modell eint die standortspezifische interne Auftragsabwicklung und die Auftragsabwicklung über eine gesamte Betriebsorganisation hinweg. Die zugrunde liegende Arbeit beschäftigt sich mit den Aspekten der Produktionslogistik, die Teil der internen Logistik der internen Auftragsabwicklung darstellt. Ferner stellt das Aachener PPS-Modell die abzubildenden Tätigkeiten in mehreren Perspektiven dar. Neben der Aufgabensicht, der Prozessarchitektursicht und der Funktionssicht, erfolgt auch eine Betrachtung der Prozessreferenzsicht. Die Prozessreferenzsicht bietet eine analytische Darstellung der zu tätigenen Planungsprozesse, die in einem Flussdiagramm visualisiert werden.<sup>6</sup>

Jener Teil des Aachener PPS-Modells, der die analytische Darstellung der internen Auftragsabwicklung in Prozessreferenzsichtweise verdeutlicht, wird im Zuge dieser Arbeit einer GAP-Analyse unterzogen. Dadurch sollen Lücken identifiziert werden, die in der Praxis zu einer unerwünschten Abweichung des geplanten Zielpfades führen können. In weiterer Folge wird in dem Flussdiagramm der Prozessreferenzsicht der internen Auftragsabwicklung auf die erarbeiteten Lücken eingegangen und um die gewonnenen Erkenntnisse erweitert. Das Ergebnis dieser Arbeit stellt ein adaptiertes, qualitatives Modell zur internen Auftragsabwicklung dar, das auf die Aspekte der Produktionslogistik verstärkt eingeht.

## 1.3 Aufbau der Arbeit

Der im praktischen Teil dargestellte Mehrwert dieser Arbeit, basiert auf theoretischen Grundlagenkapiteln, wie sie im übergeordneten Kapitel 2 beschrieben werden. Die Struktur der Arbeit lässt sich anschaulich durch Abbildung 1 darstellen. Um eine fundierte Grundlage des Themenbereichs zu erhalten, werden aktuelle Planungswerkzeuge in einer modernen Produktionsplanung und -steuerung in dem Grundlagen-/Theorieteil enzyklopädisch charakterisiert. Den Zielen und kritischen Erfolgsfaktoren eines PPS-Systems wird in Kapitel 2.1 gewürdigt. Die Planungsaspekte die im Zuge der PPS festgelegt werden, sind in Kapitel 2.2 zusammengefasst. Moderne compu-

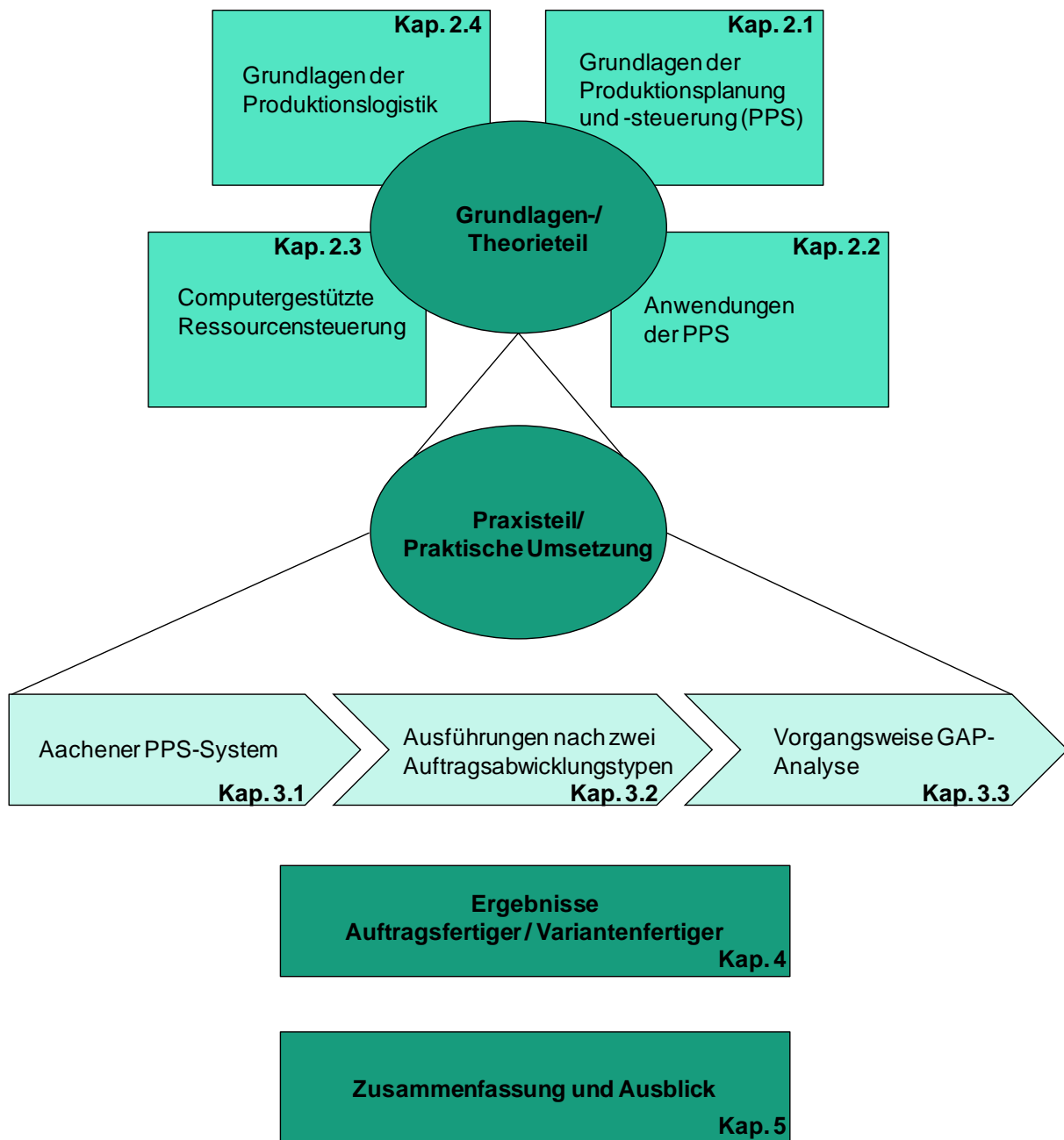
---

<sup>6</sup> vgl. Schuh, 2006, S.18ff.



tergestützte Hilfsmittel auf die Planer zurückgreifen können, sind in Kapitel 2.3.1 dargestellt. Eine Einführung des Begriffs Produktionslogistik wird mit Kapitel 2.4 gelegt.

Im praktischen Teil der Arbeit werden die Modelle der internen Auftragsabwicklung eines klassischen Auftragsfertigers und eines Variantenfertigers untersucht. Zur Identifizierung potentieller Schwachstellen, die zu einer Abweichung von Planvorgaben führen, dient eine GAP-Analyse. Die gewonnenen Erkenntnisse aus dieser Analyse werden daraufhin direkt in die Prozessreferenzmodelle der Auftragsfertiger und Variantenfertiger eingearbeitet.



**Abbildung 1: inhaltliche Struktur der Arbeit**

Eine Zusammenfassung der wichtigsten Resultate und Erkenntnisse wird gemeinsam mit einem abschließenden Ausblick im letzten Kapitel geliefert.

## 2 Grundlagen- / Theorieteil

Um die immer individuelleren Fertigungsaufträge bei ständig wachsendem Preisdruck bedienen zu können streben Industrieunternehmen danach, ihre internen Prozesse bestmöglich zu gestalten und wirtschaftlich auszuführen. Produzierende Organisationen legen dabei ihr Hauptaugenmerk auf die wertschöpfenden Herstellungsprozesse. Auf operativer Ebene gibt es dazu verschiedene Methoden und Anwendungen, auf die beteiligte Mitarbeiter zurückgreifen können. Diese Methoden wurden in den letzten Jahrzehnten sowohl wissenschaftlich hinterfragt, als auch in namhaften Industrieunternehmen gezielt untersucht, um allgemein gültige Prinzipien abzuleiten. Die gewonnenen Errungenschaften lassen sich unter dem Begriff Produktionsplanung und -steuerung (PPS) zusammenfassen.<sup>7</sup>

### 2.1 Grundlagen der PPS

Die Produktionsplanung und -steuerung zählt zu den entscheidenden Aufgaben in einem Industrieunternehmen. Da sich Wissenschaft und Praxis bereits seit längerer Zeit mit den Aspekten der PPS beschäftigen und die Perspektiven der PPS stetig um neue Aspekte erweitert wurden, sind Terminologie und Begriffsabgrenzung im Laufe der Jahre einem oftmaligen Wandel unterzogen worden.<sup>8</sup>

#### 2.1.1 Entwicklung der PPS-Systeme<sup>9</sup>

Die Geburtsstunde der klassischen Produktionsplanung und -steuerung lag in den 60er Jahren als Computer den Einzug in Industriebetriebe geschafft haben. Durch die Einführung von computergestützten Informationssystemen war es damals möglich, den Materialbedarf automatisiert zu planen. Diese erste Anwendung wurde unter dem Begriff „Material Requirements Planning“ (MRP) eingeführt und beschäftigte sich mit der Identifizierung und Bereitstellung des Materialbedarfs (=Sekundärbedarf), der für die Erzeugung des Produktionsprogramms (=Primärbedarf) benötigt wurde. Fertigungsbetriebe konnten zwar von der Einführung dieser Systeme erheblich profitieren, allerdings führten sie nicht zwangsweise zu einem betrieblichen Erfolg. Damals wurden Planungsrestriktionen, wie etwa jene der Maschinenkapazitäten oder der Absatzmengenprognosen, nicht berücksichtigt.

Als logische Konsequenz entwickelte sich später daraus das System „Manufacturing Resource Planning“ (MRP II). Als Grundgedanke wird die ganzheitliche markt- und ressourcenorientierte Planung der Absatz-, Produktions- und Bestandsmengen verstanden. Um Entscheidungen bezüglich des Produktionsplans besser treffen zu kön-

---

<sup>7</sup> vgl. Schuh, 2006, S.3ff.

<sup>8</sup> vgl. ebenda, S.11ff.

<sup>9</sup> vgl. Kurbel, 2005, S.1ff.

nen, wurde das strategische Management stärker in das System eingebunden. Neben den rein produktionsbezogenen Funktionen, deckte das MRP II auch eine Vielzahl anderer betriebswirtschaftlicher Aufgabenbereiche wie Kalkulation, Beschaffung, Absatz oder Personalzeiterfassung ab.

Der Grundgedanke der PPS wurde im Laufe der Jahre stetig weitergeführt und gipfelte in den neunziger Jahren im „Enterprise Resource Planning“ (ERP). Dabei wurde die Sichtweise um funktions-, branchen- und wirtschaftsübergreifende Aspekte erweitert. Für die erfolgreiche Geschäftstätigkeit eines Unternehmens wurde die Planung und Steuerung sämtlicher beteiligter Ressourcen verstanden. Zu dieser Zeit wurden, die auch noch heute üblichen, ERP-Systeme von SAP oder Oracle entwickelt.

Der jüngste Schritt in Richtung ganzheitlicher Optimierung erfolgte durch die Einführung einer „Supply Chain Management“ (SCM) Sichtweise. Ausgelöst durch die zunehmenden Schnittstellen zwischen Unternehmen und die damit verbundene Komplexitätssteigerung begannen klassische ERP-Systeme Lücken aufzuweisen. Solide Kennzahlen im eigenen Betrieb können besser sein, wenn die Planung und Steuerung mit anderen Unternehmen in der Lieferkette abgestimmt wird. Die zusätzlichen Verknüpfungen führen zu weit größeren Datenmengen und komplexen Zusammenhängen, die nur dank leistungsfähiger Informationstechnologie, unter dem Begriff „Advanced Planning and Scheduling“ (APS), gelöst werden können.

### 2.1.2 Ziele der PPS-Systeme

Eine kurze aber treffende Definition der Zielvorstellung, die durch den Einsatz funktionierender PPS-Systeme verfolgt wird, kann wie folgt geliefert werden:

*„Das zentrale Ziel der Produktionsplanung und -steuerung ist die termingerechte und auftragskonforme Erfüllung der Kundenaufträge.“<sup>10</sup>*

Die PPS-Systeme sollen die Mitarbeiter und Führungskräfte in einem Produktionsbetrieb bei der Ausführung ihrer Entscheidungen unterstützen. Mögliche Fragestellungen, die ein Unternehmer unausweichlich lösen muss, können sein:<sup>11</sup>

- Welche Produkte sollen überhaupt produziert werden (breites Produktspektrum oder Spezialisierung auf Nischen)?
- Wie werden Produktionsaufträge ausgelöst (Massenfertigung oder Produktion auf Kundenwunsch)?
- Welche Technologien und welcher Automatisierungsgrad findet Anwendung? Wie ist die Fertigungsorganisation auszuwählen (Fließ- oder Werkstattfertigung)?

---

<sup>10</sup> Wilmjakob, 2012, S.19.

<sup>11</sup> vgl. Kurbel, 2003, S.16ff.

- Wie werden Produktionskapazitäten ausgelegt? Wie viel muss investiert werden (selbst herstellen oder zukaufen)?
- Wie sollen Produktionsanlagen angeordnet werden (Fabrik-Layout) und auf welche Menge wird die Kapazität abgestimmt?
- Wie werden Durchlaufzeiten optimiert? Welche Fertigungsaufträge werden demnächst abgearbeitet? Wie ist die optimale Reihenfolge? Was passiert bei kurzfristigen Störungen (Ausfall von Produktionsanlagen oder Aufträgen)?

Manche dieser Entscheidungen muss ein Unternehmen auf Jahre hinweg festlegen und fallen auf strategischer Managementebene. Andere wiederum beeinflussen die Organisation nur kurzfristig und entstehen somit auf operativer Ebene. Grundsätzlich folgen aber sämtliche Entscheidungen dem einfachen Wirtschaftlichkeitsprinzip:

$$W = \frac{L}{K}$$

#### Formel 1: Wirtschaftlichkeit

in der mit L (Output) und K (Input) der Quotient W (Wirtschaftlichkeit) maximiert werden soll.

### 2.1.3 Auswahl und Einführung eines PPS-Systems<sup>12</sup>

Vor einigen Jahren nahm die Auswahl und Einführung des passenden PPS-Systems erhebliche Zeit in Anspruch. Das breite Angebot an Softwareherstellern überforderte teilweise die Anwender. Es gab aber auch eine Reihe anderer Fragen und Probleme:

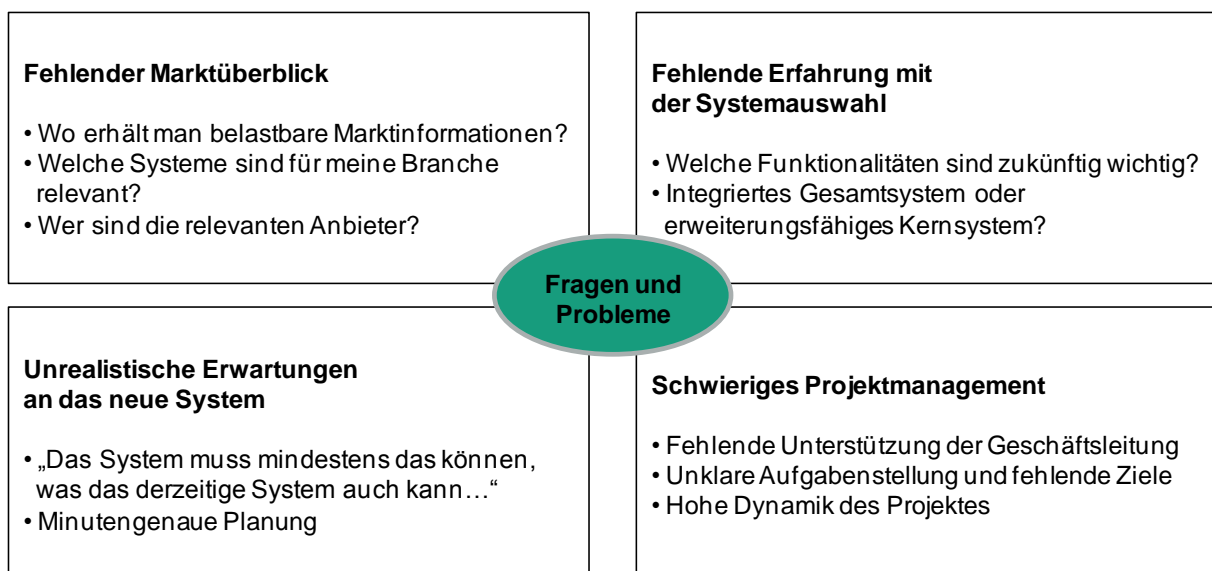


Abbildung 2: Herausforderungen bei der Softwareauswahl<sup>13</sup>

<sup>12</sup> vgl. Kurbel, 2005, S.28ff.

<sup>13</sup> Abbildung entnommen aus Schuh, 2006, S.331.

Einige Jahre später wurden Marktanalysen veröffentlicht die 95% Abdeckungsgrad bei den führenden 3 PPS-Systemen versprachen. Oftmals wurden die aufwendigen, individuellen Kundenwünsche der Unternehmer, nach erfolgreicher Einführung der Systeme, als überflüssig identifiziert. Um ein PPS-System erfolgreich einzuführen, ist es zweckmäßig, die Herangehensweise in die Phasen Systemauswahl und System-einführung zu gliedern.

### **Systemauswahl**

In der Vergangenheit wurde anhand ausgefüllter Fragenkataloge und Checklisten das passende ERP-System ausgewählt und zusätzlich noch um individuelle Anforderungen erweitert. Allerdings wurden aufgrund fehlender Erfahrung manche Aspekte nur sehr dürftig beurteilt und ablaufende Prozesse zu wenig hinterfragt. Vor Auswahl eines Systems müssen sämtliche Geschäftsprozesse kritisch überdacht und reorganisiert werden. Ansonsten werden Probleme lediglich auf die Software verlagert und unnötige Individuallösungen müssen entwickelt werden. Es sollte die Auswahl einer „Standard“-Software angepeilt werden.

### **Systemeinführung**

Die Einführungsdauer von ERP-Systemen wird in der Praxis häufig unterschätzt. In einem funktionierenden System muss zuvor eine konsistente Datenbasis über Teilstamm- und Erzeugnisstrukturdaten, aber auch über Arbeitspläne und Betriebsmitteldaten zugrunde liegen. Aufgrund der Fülle an Vorarbeiten wählen Unternehmen häufig einen anderen Einstiegspunkt in PPS-Systeme. Durch das Aufkommen von elektronischen Leitständen kann schon in die kurzfristige, operative PPS eingestiegen werden, zumal allfällige Fertigungsprobleme auf dieser Ebene auftreten und nicht monatelang Stammdaten aufgebaut werden müssen.

Verdeutlicht wird die Vorgangsweise auch durch das „3-Phasen-Konzept“ das am Forschungsinstitut für Rationalisierung an der RWTH Aachen entwickelt wurde. Die 3 Hauptphasen dabei sind Reorganisation, Systemauswahl und Realisierung.

Zusammenfassend kann die Einführung eines ERP-Systems als eine sehr komplexe Aufgabe betrachtet werden. Fehlerhafte Planung verursacht meist unerwartete Ressourcen- und Budgetüberschreitungen. Führt eine gelungene Installation eines ERP-Systems auch langfristig zu hohen Kostensenkungen, so werden die Kosten der Einführung oft unterschätzt. Nachfolgende Grafik gibt einen Überblick über anfallende Kostenpakete:<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> vgl. Gunnar, 2013, S.60f.

|                       |                                    |                          |  |
|-----------------------|------------------------------------|--------------------------|--|
| <b>Systemkosten</b>   | ERP-Software-Lizenzen              | <b>Erweiterte Kosten</b> | Neukauf, Austausch Hardware                        |
|                       | Neu- und Anpassungsprogrammierung  |                          | Neukauf, Austausch Software                        |
|                       | Customising                        |                          | Zusatzgeräte (RFID, WLAN, Barcodescanner)          |
|                       | Schulung                           |                          | Erweiterung Clients                                |
|                       | Formular- und Beleganpassung       |                          | Erhöhte Betreuungskosten von eingesetzter Software |
| <b>Interne Kosten</b> | Projektleiter                      |                          | Eventuelle externe Beratung                        |
|                       | ERP-Projektteam                    | <b>Folgekosten</b>       | Folgeanpassungen am System                         |
|                       | Personal Datenpflege               |                          | Maintenance für Lizenzen                           |
|                       | Eventuelle Strukturänderungen      |                          | Maintenance für Anpassungen                        |
|                       | Prozess-/ Dokumentationsänderungen |                          | Eventuelle Prozessaudits/-zertifizierungen         |
| <b>Nebenkosten</b>    | Reisekosten ERP-Anbieter           | <b>Reservebudget</b>     | Anforderungserweiterungen während des Projektes    |
|                       | Eventuell Raumkosten Schulung      |                          | Lizenzenerweiterungen                              |

Abbildung 3: Überblick der zu planenden Kosten<sup>15</sup>

### 2.1.4 Planungsmodelle im Produktionsbereich<sup>16</sup>

In der Produktionsplanung handeln auftretende Herausforderungen meist von Mengenproblemen, Terminproblemen, Zuordnungsproblemen oder Reihenfolgeproblemen. Die Unternehmensforschung (Operations Research OR) hat die zugrundeliegenden Planungsmodelle kategorisiert.

#### Partialmodelle

Diese kommen zum Einsatz, wenn ein komplexes Problem in Teilprobleme zerlegt wird, die jeweils unabhängig voneinander gelöst werden.

In der *Produktionsprogrammplanung* werden die herzustellenden Endproduktmengen ermittelt. Dazu wird eine lineare Zielfunktion formuliert, in der die Zielgröße (z.B. Deckungsbeitrag) unter Beachtung gewisser Nebenbedingungen (z.B. Kapazitäts- oder Absatzrestriktionen), optimiert wird. Mathematisch versteht man darunter eine lineare Programmierung (LP) die mit dem im Jahre 1947 eingeführten Simplex-Algorithmus gelöst werden kann.<sup>17</sup>

<sup>15</sup> Abbildung entnommen aus Gunnar, 2013, S.61.

<sup>16</sup> vgl. Kurbel, 2005, S.34ff.

<sup>17</sup> vgl. Musshoff, 2007, S.11.

Auch die *Losgrößen-/Bestellmengenplanung* unterliegt einem Partialmodell. Dabei werden optimale Losgrößen bei Eigenfertigung bzw. Bestellmengen bei Fremdbezug festgelegt. Die Kostenarten, die proportional mit der Menge anwachsen (Lagerhaltung), müssen gemeinsam mit jenen Kostenarten, die umgekehrt proportional verlaufen (Rüstkosten), optimiert werden. Das verbreitetste Modell zur Lösung dieses Problems ist das „Ander-Modell“. Allerdings besitzt dieses nur unter sehr vereinfachten Annahmen Gültigkeit was die praktische Anwendung drastisch reduziert. Die Planungsvorgaben bei praxistauglichen Modellen lassen die Komplexität der Lösungsvarianten aber sehr rasch ansteigen.

Die *Fertigungsablaufplanung* geht von einem bereits festgelegten Produktionsprogramm und gebildeten Losgrößen aus. Nun sollen  $m$  Fertigungsaufträge an  $n$  Stationen optimal (z.B. Minimierung der Durchlaufzeit) bearbeitet werden. Die Schwierigkeit bei diesem Optimierungsverfahren liegt in der kombinatorischen Vielfalt von möglichen Ablaufplänen, bei zunehmender Anzahl von Aufträgen und Stationen.

### **Totalmodelle (Simultanmodelle)**

In der Praxis können die beschriebenen Problemstellungen aber nur bedingt unabhängig voneinander gelöst werden. Bei der Berechnung der Losgrößen müssen bereits Annahmen über die Verfügbarkeit der Produktionsanlagen getroffen werden. Da aber schon für die Ablaufplanung die Auftragsgrößen (Lose) vorausgesetzt werden, spricht man von wechselseitigen Abhängigkeiten. Da das Lösen der Teilprobleme mit Partialmodellen rasch an seine Grenzen stößt, wurden Simultanmodelle entwickelt, die Teilprobleme gleichzeitig lösen. Die bekanntesten periodenorientierten Modelle sind:

Das Modell von *Adam* beschreibt lineare Fertigungsprozesse bei mehrstufiger Fertigung. Die Variable für die Menge umfasst vier Indices:

$$X_{jsmt}$$

mit der Produktart  $j$ , die in der Periode  $t$ , der Fertigungsstufe  $s$  auf der Maschine  $m$  gefertigt wird.

Das Modell von *Preßmar* umfasst auch nichtlineare Prozesse und mehrere Intensitäten  $i$  mit denen ein Arbeitsmittel betrieben werden kann:

$$X_{jsmti}$$

Das Modell von *Scheer* verwendet die Terminologie der klassischen PPS:

$$X_{jpgbt}$$

mit dem Eigenfertigungsteil  $j$ , dem Arbeitsplan für ein Teil  $p$ , dem Arbeitsgang in einem Arbeitsplan  $g$ , dem Betriebsmittel zu einem Arbeitsgang  $b$  und der Periode  $t$ .

## Hierarchische Modelle

Die hierarchische Produktionsplanung versucht das Dilemma zwischen theoretischen Optimalitätsanforderungen und praktischer Machbarkeit zu lösen. Dazu werden die Teilprobleme nicht isoliert voneinander betrachtet, sondern modellmäßig miteinander gekoppelt. Um das Gesamtproblem zu vereinfachen werden verschiedene Mechanismen herangezogen:

- Hierarchisierung: Die Planungsaufgabe wird in Subprobleme aufgespalten und Hierarchieebenen zugeordnet. Eine höhere Ebene macht Vorgaben und erhält Rückmeldung von einer tieferen Ebene.
- Dekomposition: Das Simultanmodell wird in mehrere Partialmodelle gegliedert und über wenige Schnittstellen koordiniert.
- Aggregation: Daten werden zusammengefasst (z.B. Produktgruppen, Betriebsmittelgruppen) und Beziehungen untereinander definiert.
- Rollierende Planung: Planungszeiträume überlappen und Rückkopplungen werden miteinbezogen.

Meist bilden Mengen- und Kapazitätsplanung für Produkttypen die oberste Planungshierarchie. Danach folgt die Aufschlüsselung der Produkttypen auf Produktfamilien und schließlich auf der dritten Ebene, unter Beachtung von Nebenbedingungen, die Aufspaltung bis zu den einzelnen Produktarten hin.

In diesem einführenden Kapitel wurden die Grundzüge funktionierender PPS-Modelle dargelegt. Ausgehend von anerkannten Zielvorstellungen wurde auf den Stellenwert einer zuverlässigen Systemauswahl und -einführung hingewiesen. Nachdem auch die technologischen Bausteine moderner Simulationspraktiken erörtert wurden, beschäftigt sich das nächste Kapitel mit konkreten Anwendungen und Tätigkeitsfeldern aktueller PPS-Systeme.

## 2.2 Anwendungen der PPS

Dieses Kapitel liefert die Inhalte der zu planenden Komponenten in PPS-Systemen. Um eine mögliche Vorgangsweise für effiziente Lösungen der Produktionsprogrammplanung bereitstellen zu können, werden nachstehend verschiedene Methoden vorgestellt.

Die praktische Anwendung von PPS in Unternehmen umfasst eine Reihe von Aufgaben. Um die Herausforderungen ideal lösen zu können, empfiehlt sich eine methodische Vorgangsweise mit folgendem Grobablauf:<sup>18</sup>

---

<sup>18</sup> vgl. Wiendahl, 2010, S.256.



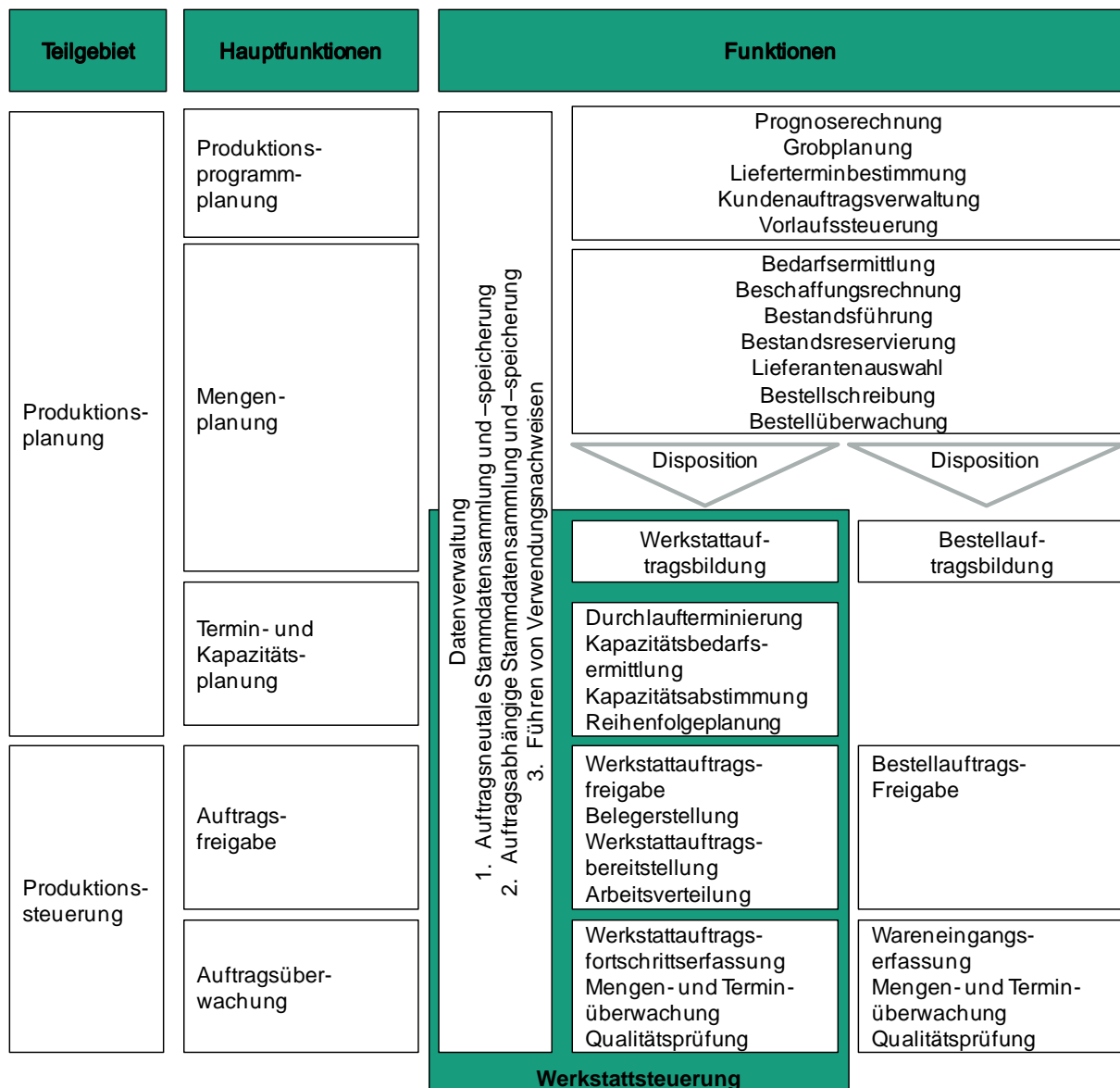


Abbildung 4: Funktionen der Produktionsplanung und -steuerung<sup>19</sup>

### 2.2.1 Produktionsprogrammplanung<sup>20</sup>

Vor Beginn einer Produktion muss der Bedarf an Endprodukten bzw. verkaufsfähigen Zwischenprodukten (Primärbedarf) ermittelt werden, die im Planungszeitraum abgesetzt werden können. Dabei findet oft das weit verbreitete lineare Optimierungsmodell Anwendung. Der Deckungsbeitrag als Zielgröße wird in der Zielfunktion:

$$Z = \sum_{i=1}^n (p_i - k_i) x_i \rightarrow \max$$

Formel 2: Deckungsbeitrag als Zielgröße

unter Beachtung der Nebenbedingungen:

<sup>19</sup> Abbildung entnommen aus Wiendahl, 2010, S.257.

<sup>20</sup> vgl. Kurbel, 2005, S.106ff.

$$x_1 \leq a_1 \dots x_n \leq a_n$$

**Formel 3: Menge der Produktart als Nebenbedingung**

$$\sum_{i=1}^n l_i x_i \leq b$$

**Formel 4: vorhandene Lagerkapazität als Nebenbedingung**

$$\sum_{i=1}^n q_{li} x_i \leq r_1 \dots \sum_{i=1}^n q_{mi} x_i \leq r_m$$

**Formel 5: Kapazität des Betriebsmittel als Nebenbedingung**

mit  $x_i$  = Menge der Produktart  $i$  ( $i = 1, \dots, n$ ),

$p_i$  = Umsatzerlös pro Mengeneinheit  $i$ ,

$k_i$  = variable Kosten pro Mengeneinheit  $i$ ,

$Z$  = Zielfunktion (Deckungsbeitrag),

$a_i$  = maximal absetzbare Menge der Produktart  $i$ ,

$l_i$  = Bedarf an Lagerkapazität pro Mengeneinheit  $i$ ,

$b$  = vorhandene Lagerkapazität insgesamt,

$r_j$  = Kapazität des Betriebsmittels  $j$  ( $j = 1, \dots, m$ ) und

$q_{ij}$  = Inanspruchnahme des Betriebsmittels  $j$  pro Mengeneinheit  $i$ , optimiert.

Eine weitere Lösungsmethode stellt die dynamische Programmierung dar, in der ein komplexes Problem in gleichartige Teilprobleme aufgespalten wird, die nacheinander gelöst werden können. Teilprobleme können die Optimierung von Losgrößen, Lagerbestand, Durchlaufzeit, etc. sein.<sup>21</sup>

In der Praxis ist es oft nicht möglich, allein nach Optimalitätsgesichtspunkten zu planen. Häufiger werden Prognosen über Produktmengen, die voraussichtlich abgesetzt werden können, erstellt.<sup>22</sup>

## 2.2.2 Prognoseverfahren<sup>23</sup>

Gängige Verfahren bedienen sich der Erfahrungswerte aus der Vergangenheit um die Zukunft zu planen.

<sup>21</sup> vgl. Liu, 2009, S.123.

<sup>22</sup> vgl. Sbrana, 2013, S.185.

<sup>23</sup> vgl. Kurbel, 2005, S.108ff.

## Gleitender Mittelwert

Der Vorhersagewert  $v_k$  für die nächste Periode  $k$  errechnet sich aus dem arithmetischen Mittelwert der abgesetzten Mengen einer Produktart  $m_j$  in den vergangenen  $n$  Perioden:

$$v_k = \frac{1}{n} \sum_{j=k-n}^{k-1} m_j$$

### Formel 6: Gleitender Mittelwert - Vorhersagewert

Bei einer großen Anzahl an betrachteten Perioden werden zwar zufällige Schwankungen besser ausgeglichen, andererseits werden aber strukturelle Schwankungen verschleiert.

## Exponentielle Glättung erster Ordnung

Dieses Verfahren bietet die Möglichkeit, zurückliegende Werte mit geringerem Gewicht zu bewerten als aktuelle. Dazu wird der Vorhersagewert für die vorige Periode korrigiert um die gewichtete Abweichung des tatsächlich realisierten Absatzes der letzten Periode der Prognose:

$$v_k = v_{k-1} + \alpha(m_{k-1} - v_{k-1})$$

### Formel 7: Exponentielle Glättung erster Ordnung - Vorhersagewert

Der Faktor  $\alpha$  kann zwischen 0 und 1 liegen, wobei ein  $\alpha$  näher bei 0 jüngste Veränderungen weniger schnell in der Prognose sichtbar macht, während ein  $\alpha$  näher bei 1 die Prognosewerte schneller beeinflusst.<sup>24</sup>

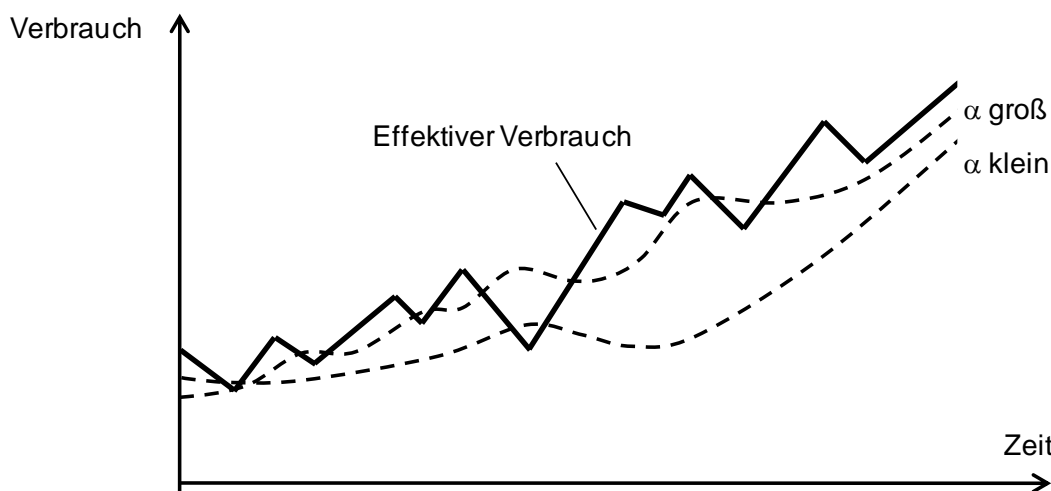


Abbildung 5: Auswirkung von  $\alpha$  bei exponentieller Glättung erster Ordnung<sup>25</sup>

<sup>24</sup> vgl. Chern, 2010, S.1660.

<sup>25</sup> Abbildung entnommen aus Olfert, 2013, S.148.

## Exponentieller Glättung zweiter Ordnung<sup>26</sup>

Diese Methode ermöglicht die Berücksichtigung von Trends. Dafür werden 2 Punkte auf der Trendgeraden benötigt. Als erster Punkt wird der Glättungswert erster Ordnung herangezogen:

$$v_k^{(1)} = v_{k-1}^{(1)} + \alpha(m_{k-1}^{(1)} - v_{k-1}^{(1)})$$

### Formel 8: Exponentielle Glättung zweiter Ordnung - Glättungswert erster Ordnung

Als Referenzpunkt wird ein Wert aus der Vergangenheit bestimmt. Somit erhält man den, um den festgesetzten Zeitraum zurückliegenden Glättungswert zweiter Ordnung mit:

$$v_k^{(2)} = v_{k-1}^{(2)} + \alpha(m_{k-1}^{(2)} - v_{k-1}^{(2)})$$

### Formel 9: Exponentielle Glättung zweiter Ordnung - Glättungswert zweiter Ordnung

Aus den Formeln wird der Mittelwert der aktuellen Periode n berechnet:

$$v_n = v_k^{(1)} + (v_k^{(1)} - v_k^{(2)})$$

### Formel 10: Exponentielle Glättung zweiter Ordnung - Mittelwert

Für die Prognose der nächsten Periode wird zuerst die Steigung b des aktuellen Verlaufs errechnet:

$$b_n = \frac{\alpha}{1-\alpha} \times (v_k^{(1)} - v_k^{(2)})$$

### Formel 11: Exponentielle Glättung zweiter Ordnung - Steigung

und setzt diesen Trend in der darauffolgenden Periode ebenfalls voraus:

$$v_k = v_n \times \frac{1-\alpha}{\alpha} \times b_n$$

### Formel 12: Exponentielle Glättung zweiter Ordnung - Vorhersagewert

Sind die künftigen Absatzmengen ermittelt, wird der erforderliche Sekundärbedarf (Baugruppen, Einzelteile, Rohmaterialien, Hilfs- und Betriebsstoffe) bestimmt.

## 2.2.3 Mengenplanung<sup>27</sup>

Bei der Sekundärbedarfsermittlung ist zu beachten, dass manche Teile selbst gefertigt werden, während man andere zukaufte. Möglicherweise sind auch Lagerbestände vorhanden die den Bedarf schmälern, sofern sie nicht schon für andere Aufträge re-

<sup>26</sup> vgl. Olfert, 2013, S.148f.

<sup>27</sup> vgl. Kurbel, 2003, S.111ff.

serviert sind. Somit beschäftigt sich die PPS auch mit der Beschaffung und der Logistik. Um typische Kosten der Lagerhaltung wie Transportkosten, Fehlmengenkosten, Lagererrichtungskosten oder Kapitalbindungskosten zuverlässig planen und steuern zu können, ist transparente Lagerbestandsführung unerlässlich.<sup>28</sup>

### **Lagerbestandsführung**

Auch für die Ermittlung des Nettobedarfs, ist der aktuelle Lagerbestand genauestens zu kennen. Hilfreich hat sich die Klassifizierung der Bestände erwiesen:

Der *physische Lagerbestand* befindet sich frei verfügbar im Lager. Die Teile, die bereits in der Fertigung liegen, werden als *Werkstattbestand* bezeichnet. Der *reservierte Bestand* ist bereits für die Verarbeitung vorgemerkt. Werden bereits Zugänge aus Fremdbezug oder Eigenfertigung erwartet, bezeichnet man diesen Bestand als *Bestellbestand*. Um auf kurzfristige Bedarfsschwankungen reagieren zu können, sollte der *Sicherheitsbestand* immer auf Lager verfügbar sein. Bei Erreichen des *Meldebestands* wird ein Auftrag zur termingerechten Beschaffung von Teilen initiiert.

Die große Herausforderung in der Lagerhaltung liegt darin, die optimale Balance aus Bestandsführung und Nachfrageentwicklung zu erreichen. Um Einflussgrößen einer effizienten Lagerhaltung wie Kostenvorteile durch hohe Bestellungen, einer funktionierenden Lagerverwaltung oder die Reaktion auf Nachfrageschwankungen, bestmöglich auszulegen, ist es hilfreich die verwendeten Teile einer sogenannten Teileklassifikation zu unterziehen.<sup>29</sup>

### **Teileklassifikation**

Da Industriebetriebe oft eine enorme Anzahl an Einzelteilen koordinieren müssen, ist eine zweckmäßige Klassifikation erforderlich. Deshalb werden Teile einer ABC-Analyse unterzogen. Das Ergebnis dieser Analyse lässt sich leicht grafisch veranschaulichen.

---

<sup>28</sup> vgl. Chakraborty, 2013, S.381.

<sup>29</sup> vgl. Ehrental, 2014, S.527.

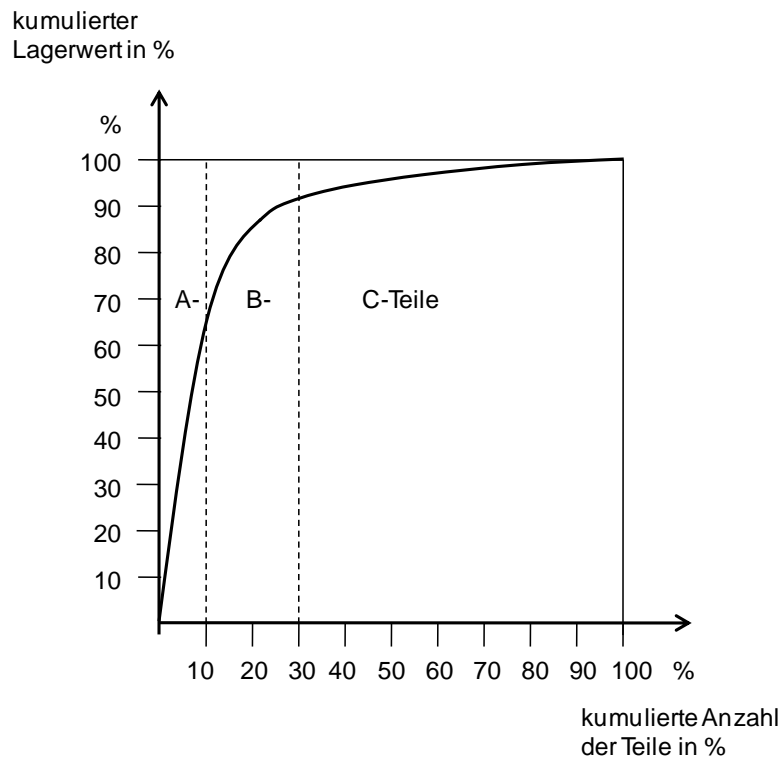


Abbildung 6: Ergebnis einer ABC-Analyse<sup>30</sup>

Demnach sind nur etwa 10% der Teile für rund 65% des gesamten Lagerwerts verantwortlich. Weitere 20% der Teile belaufen sich auf ca. 25% des Gesamtwertes und die größte Anzahl der Teile (70%) beziffern lediglich 10% des Wertes. Durch die Einteilung in Klassen lassen sich nun die Lagerhaltungskosten optimieren. Während die C-Teile wertmäßig weniger ins Gewicht fallen und verbrauchsgesteuert (stochastisch) disponiert werden können, sollten A- und B-Teile bedarfsgesteuert (deterministisch) abgewickelt werden, da sie höhere Kapitalbindungskosten verursachen.

Um die Planungs- und Prognosesicherheit zu erhöhen, kann die ABC-Analyse auch um die XYZ-Klassifizierung ergänzt werden. Teile der X-Gruppe lassen sich zuverlässig planen, da sie regelmäßig verbraucht werden. Die Y-Gruppe charakterisiert jenen Bedarf der saisonale Bedarfsmuster aufweist und die Z-Gruppe beinhaltet Teile, die sehr unregelmäßig disponiert werden und deshalb sehr schwierig vorherzusagen sind.<sup>31</sup>

<sup>30</sup> Abbildung entnommen aus Kurbel, 2003, S.113.

<sup>31</sup> vgl. Koether, 2011, S.42f.

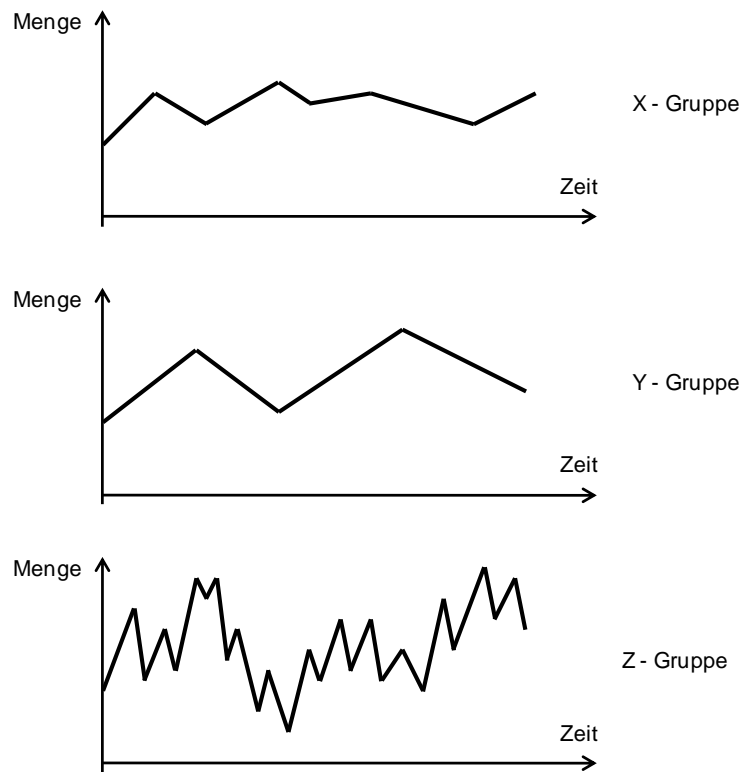


Abbildung 7: XYZ-Unterscheidung<sup>32</sup>

In nachstehender Matrix sind die Verfahren zur Materialplanung nach einer ABC-/XYZ-Analyse dargestellt.

| Verlauf<br>Wert        | X<br>(konstant)                     | Y<br>(trendmäßig) | Z<br>(unregelmäßig)                          |
|------------------------|-------------------------------------|-------------------|--|
| <b>A<br/>(hoch)</b>    | <b>Bedarfssynchrone Beschaffung</b> |                   | <b>Bedarfsfallbezogene Einzelbeschaffung</b> |
| <b>B<br/>(mittel)</b>  | <b>Bedarfsnahe Beschaffung</b>      |                   |  |
| <b>C<br/>(niedrig)</b> | <b>Vorratsbeschaffung</b>           |                   |  |

**Bedarfssynchrone Beschaffung (A, X & Y):**

- deterministische Bedarfsermittlung (Stücklistenauflösung)
- keine Bedarfszusammenfassung
- rechnergestützte Bestellvorschläge

**Bedarfsfallbezogene Einzelbeschaffung (A & B, Z):**

- deterministische / intuitive Bedarfsermittlung
- keine Bedarfszusammenfassung
- rechnergestützte Bestellvorschläge mit erfahrungsbasierter Korrektur

**Bedarfsnahe Beschaffung (B, X & Y):**

- deterministische Bedarfsermittlung (Stücklistenauflösung)
- Bedarfszusammenfassung (Bestellgrößenbildung)
- rechnergestützte Bestellvorschläge

**Vorratsbeschaffung (C, X, Y & Z):**

- stochastische Bedarfsermittlung
- Bedarfszusammenfassung (Bestellgrößenbildung)
- vollautomatische Bestellauslösung

Abbildung 8: Matrix zur Bedarfsermittlung nach ABC/XYZ-Analyse<sup>33</sup>

<sup>32</sup> Abbildung entnommen aus Koether, 2011, S.43.

<sup>33</sup> Abbildung entnommen aus Wiendahl, 2010, S.285.

Die Klassifizierung der Teile kann noch zusätzlich um logistische Aspekte wie das Volumen bzw. die Sperrigkeit in der GMK-Analyse ergänzt werden. Damit lassen sich Lagervolumen dimensionieren und Transportkapazitäten optimieren. Die Abkürzung GMK steht schlicht für großvolumige (G), mittelvolumige (M) und kleinvolumige (K) Teile. Material der G-Klassifikation benötigt beispielsweise große Transportraumkapazitäten bei geringen Transportraumleerkosten (nicht ausgelastete Transporteinheit) und ist somit für produktionssynchrone Anlieferung geeignet. Werden die vorgestellten Analysen kombiniert, entsteht ein Würfel aus 27 möglichen Materialgruppen

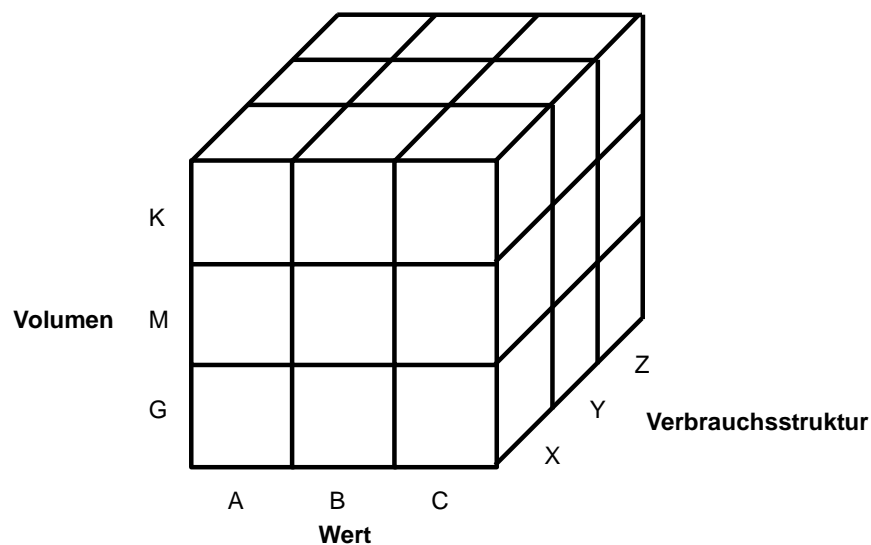


Abbildung 9: Materialgruppen der ABC/XYZ/GMK-Analyse<sup>34</sup>

Nachdem die Teile nach den Kriterien Wert, Verbrauchsstruktur und Volumen klassifiziert wurden, lassen sich optimale Strategien für Beschaffung, Lager und Transport ableiten. Besonderer Planungsaufwand sollte für die AXG-Gruppe betrieben werden. Dort ermöglicht die Senkung der Einstandspreise und eine produktionssynchrone Anlieferung einen spürbaren Wettbewerbsvorteil. Demgegenüber stehen die CZK-Teile, die effizient und mit so wenig Aufwand wie möglich beschafft werden sollen.<sup>35</sup>

### Verbrauchsgesteuerte (stochastische) Materialdisposition<sup>36</sup>

Anhand des prognostizierten Bedarfs sind zwei grundsätzliche Fragen zu klären:

1. Zu welchem Zeitpunkt soll ein Auftrag für die Eigenfertigung oder für den Fremdbezug initiiert werden?
2. Welche Mengen sollen bestellt bzw. produziert werden

<sup>34</sup> Abbildung entnommen aus Wannenwetsch, 2006, S.88.

<sup>35</sup> vgl. Wannenwetsch, 2006, S.86ff.

<sup>36</sup> vgl. Kurbel, 2005, S.113ff.



Gelöst wird das Problem häufig mit einer sogenannten s,Q-Politik, die bei konstantem Lagerabgang in folgender Grafik veranschaulicht werden kann:

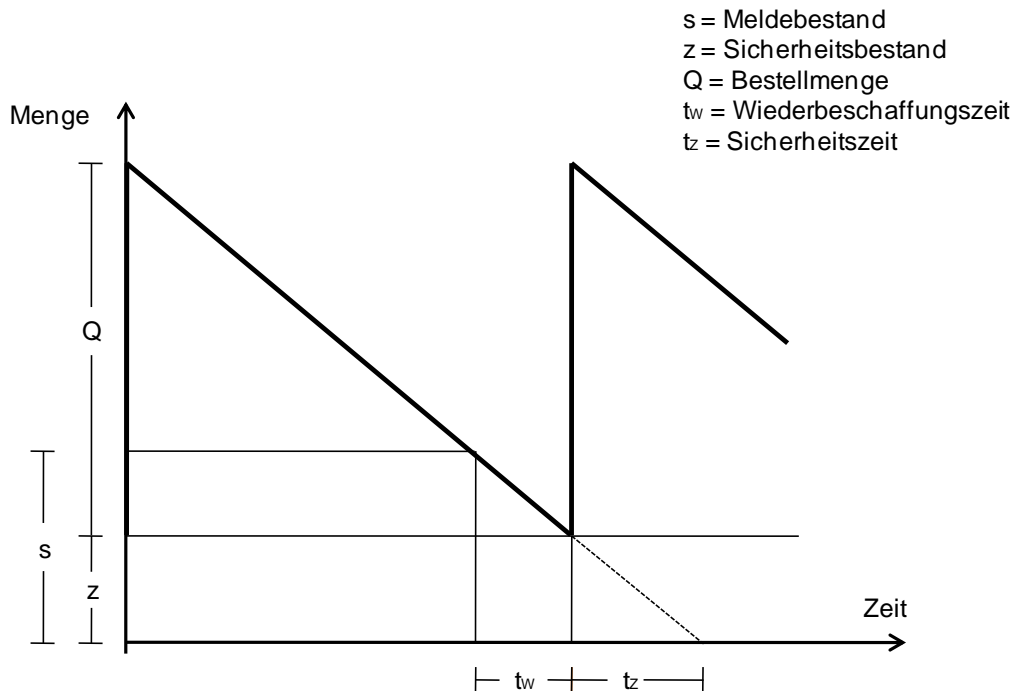


Abbildung 10: Lagerbestandsverlauf bei gleichmäßigem Lagerabgang<sup>37</sup>

Sobald der Meldebestand  $s$  erreicht wird, folgt der Auftrag für die Beschaffungsmenge  $Q$ . Während der Wiederbeschaffungszeit  $t_w$  sinkt der Lagerbestand planmäßig bis auf den Sicherheitsbestand  $z$  ab. Dieser Puffer gewährleistet für eine gewisse Sicherheitszeit  $t_z$ , einen reibungslosen Fertigungsprozess, sollte sich der geforderte Lagereingang verzögern. Für die Ermittlung der optimalen Fertigungslose und Bestellmengen existieren eine Reihe von Verfahren:

- Klassisches Bestellmengen-/Losgrößenverfahren

Darunter versteht man auch die Andler-Formel oder Wurzelformel. Das Modell setzt einen bekannten Bedarf über einen längeren Zeithorizont und konstante Lagerabgangsgeschwindigkeit voraus. Dieses Verfahren minimiert die Kostenfunktion bestehend aus den gesamten bestellmengenfixen  $K_f$  und –abhängigen Kosten  $K_v$ .

Mit  $k_v$  = bestellmengenabhängige Kosten pro Zeiteinheit

$k_f$  = fixe Bestellkosten

$a$  = Bestellhäufigkeit im betrachteten Zeithorizont

$T$  = Anzahl der Zeiteinheiten im betrachteten Zeitraum

<sup>37</sup> Abbildung entnommen aus Kurbel, 2005, S.115.

$y$  = Gesamtbedarf

$x$  = Bestellmenge

ergeben sich die bestellmengenfixen Kosten zu

$$K_r = a \times k_r = \frac{y}{x} \times k_r$$

**Formel 13: Bestellmengenfixe Kosten**

und die mengenabhängigen Kosten bei durchschnittlichem Lagerbestand von  $x/2$  zu

$$K_l = \frac{x}{2} \times k_l \times T$$

**Formel 14: Bestellmengenabhängige Kosten**

Somit ergeben sich die gesamten Kosten  $K$  zu

$$K(x) = K_r + K_l = \frac{y}{x} \times k_r + \frac{x}{2} \times k_l \times T$$

**Formel 15: Gesamte Bestellkosten**

Die optimale Bestellmenge  $x$  ergibt sich nun durch die Ableitung nach  $x$

$$x = \sqrt{\frac{2 \times k_r \times y}{k_l \times T}}$$

**Formel 16: Klassisches Bestellmengen-/Losgrößenverfahren - Optimale Bestellmenge**

und die optimale Anzahl an Bestellungen  $a$  durch  $y/x$

$$a = \sqrt{\frac{y \times k_l \times T}{2 \times k_r}}$$

**Formel 17: Optimale Anzahl an Bestellungen**

- Gleitende wirtschaftliche Losgröße/Bestellmenge

Bei diesem Modell liegt der Vorteil darin, dass weder von einem bekannten Gesamtbedarf noch von einer gleichmäßigen Verteilung auf alle Perioden ausgegangen wird. Bei diesem Näherungsverfahren werden die Stückkosten optimiert. Die Lagerhaltungskosten eines einzelnen Bedarfs  $y_j$  in der Periode  $j$ , der bereits in der Periode  $i$  ( $i \leq j$ ) zugekauft oder gefertigt wurde, betragen

$$k_l \times y_j \times (j - i)$$

**Formel 18: Lagerhaltungskosten eines einzelnen Bedarfs**

Fasst man die Bedarfe der Perioden  $i$  bis  $t$  ( $i \leq t$ ) zu einer Bestellung zusammen, entstehen Lagerkosten zu

$$k_l \times \sum_{j=i}^t y_j \times (j-i)$$

**Formel 19: Lagerhaltungskosten über mehrere Perioden**

und die gesamten Lagerkosten  $K_{it}$  der Perioden  $i$  bis  $t$  bilden sich aus

$$K_{it} = k_r + k_l \times \sum_{j=i}^t y_j \times (j-i)$$

**Formel 20: Gesamte Lagerkosten über mehrere Perioden**

Die Stückkosten können ausgedrückt werden mit

$$k_{it} = \frac{K_{it}}{\sum_{j=i}^t y_j}$$

**Formel 21: Stückkosten**

Nun werden schrittweise die Periodenbedarfe zusammengefasst, bis  $k_{it}$  unter Optimierung von  $t$ , das Minimum erreicht hat. Ist dieses  $t$  gefunden, erhält man die optimale Bestellmenge bzw. Losgröße mit

$$x = \sum_{j=i}^t y_j$$

**Formel 22: Gleitende wirtschaftliche Losgröße/Bestellmenge - Optimale Bestellmenge/Losgröße**

- Stück-Perioden-Ausgleich

Unter der Annahme, dass im optimalen Fall die Lagerhaltungskosten  $K_l$  und die bestellfixen Kosten  $K_r$  gleich sind, wird die Minimierung der Kosten pro Los angestrebt. Dafür wird die Kostenfunktion null gesetzt

$$\frac{y}{x} \times k_r = \frac{x}{2} \times k_l \times T$$

**Formel 23: Nullsetzen der Kostenfunktion**

Die linke Seite der Gleichung beschreibt nun die bestellfixen Kosten  $K_r$  während die rechte Seite die Lagerhaltungskosten  $K_l$  ausweist. Diskret ausgedrückt folgt

$$k_l \times \sum_{j=1}^t y_j \times (j-i) = k_r$$

#### Formel 24: Diskrete Darstellung der bestellfixen Kosten und der Lagerhaltungskosten

Nach Umformen der Gleichung erhält man auf beiden Seiten die Dimension „Stück \* Perioden“. Die optimalen Losgrößen werden nun gebildet, indem der linken Seite die Kosten der einzelnen Perioden hinzugefügt werden, solange nachstehende Ungleichung gilt.

$$k_l \times \sum_{j=1}^t y_j \times (j-i) \leq k_r$$

#### Formel 25: Ungleichung für optimale Losgröße

Wird die Ungleichung verletzt ergibt sich die optimale Losgröße zu

$$x = \sum_{j=i}^t y_j$$

#### Formel 26: Stück-Perioden-Ausgleich - Optimale Bestellmenge/Losgröße

Der grundlegende Optimierungsgedanke bei allen Verfahren lautet, eine kostenminimale Losgröße zu finden, bei der die gesamten Kosten nach einem Minimum streben. Eine Veränderung der Losgröße bewirkt eine gegenläufige Entwicklung der losfixen und losabhängigen Kosten. Dieser Zusammenhang kann leicht dargestellt werden:<sup>38</sup>

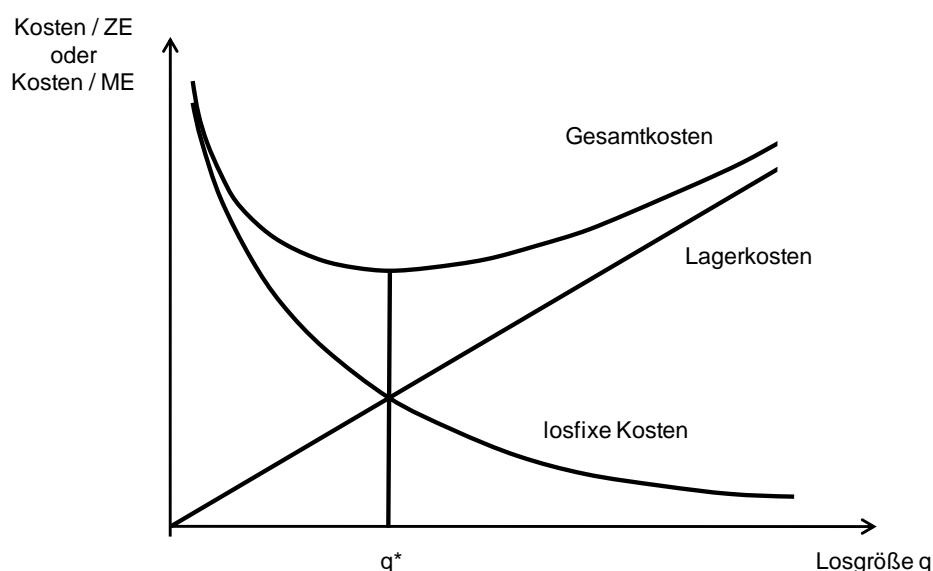


Abbildung 11. Losgrößenabhängiger Verlauf der Lagerkosten<sup>39</sup>

<sup>38</sup> vgl. Domschke, 1997, S.70.

<sup>39</sup> Abbildung entnommen aus Domschke, 1997, S.70.

Die Auswirkungen einer ungünstig gewählten Losgröße soll an einem einfachen Beispiel illustriert werden:

An einer Maschine werden zwei Produkte A und B gefertigt. Es existiert zu Beginn weder ein Lagerstand noch fallen irgendwelche Rüstzeiten an. Jedes Produkt benötigt genau einen Tag um hergestellt zu werden. Die Bedarfsmengen sind folgender Abbildung zu entnehmen:

|   | MO | DI | MI | DO | FR | SA |
|---|----|----|----|----|----|----|
| A | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 1  |
| B | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 1  |

**Abbildung 12: Bedarfe der Produkte A und B in der nächsten Woche<sup>40</sup>**

Fall Losgröße beträgt 1: Produkt A kann am Montag, Mittwoch und Freitag gefertigt werden und liegt einen Tag auf Lager. Dazwischen kann jeweils Produkt B gefertigt und noch am selben Tag verbraucht werden. Somit ergibt sich ein Lagerstand für Produkt A von 0,5 Stück, für B 0 Stück und eine Liefertreue von 100%.

Fall Losgröße beträgt 2: Produkt A wird Montag und Dienstag sowie Freitag und Samstag produziert. Produkt B nur Mittwoch und Donnerstag. Somit liegt die Montagproduktion einen Tag auf Lager und die Dienstagproduktion von A sogar zwei Tage. Der Dienstagbedarf von Teil B kann hingegen erst am Mittwoch geliefert werden und der Bedarf am Samstag kann ebenfalls nur verspätet bedient werden. Als Ergebnis resultieren ein höherer Lagerstand (0,8666 Stück) von A und eine deutlich schlechtere Liefertreue (66,66%) als im Fall mit Losgröße 1.<sup>41</sup>

### **Bedarfsgesteuerte (deterministische) Materialdisposition<sup>42</sup>**

Bei dieser Vorgangsweise wird der erforderliche Sekundärbedarf über Stücklistenauflösung exakt berechnet. Bei der Veränderung des Bedarfs eines Bauteils ist zu beachten, dass dadurch auch untergeordnete Teile beeinflusst werden. Das Problem wird rasch an einer einfachen Erzeugnisstruktur sichtbar.

<sup>40</sup> Abbildung entnommen aus Jodlbauer, 2007, S.81.

<sup>41</sup> vgl. Jodlbauer, 2007, S.81.

<sup>42</sup> vgl. Kurbel, 2005, S.121ff.

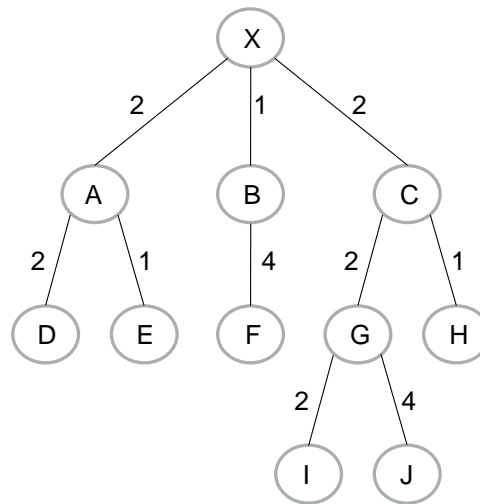


Abbildung 13: Beispiel einer Erzeugnisstruktur<sup>43</sup>

Wird der Bedarf an dem Teil C geändert, so hat das Auswirkungen auf die untergeordneten Teile G, H, I und J. Um Missverständnisse vorzubeugen sind für jedes Teil folgende Aufgaben zu lösen:

- Bruttobedarfsermittlung

Dieser errechnet sich aus der Menge der zu fertigenden Endprodukte und verkaufsfähigen Zwischenprodukte. Weitere Komponenten wie Ersatzteile erhöhen dabei den Bedarf.

- Nettobedarfsermittlung

Der Nettobedarf ergibt sich aus dem Bruttobedarf abzüglich aller vorhandenen Lagerbestände.

- Losgrößenplanung

Dabei kommen dieselben Methoden zum Einsatz wie bei der verbrauchsgesteuerten Losgrößenfindung.

- Sekundärbedarfsermittlung

Anhand der gebündelten Fertigungslose und des ermittelten Nettobedarfs wird der Sekundärbedarf ermittelt. Dazu werden Stücklisten herangezogen und mit den gespeicherten Mengenkoeffizienten multipliziert.

- Vorlaufverschiebung

Auch die zeitliche Komponente wird bei der Planung beachtet. Allfällige Zeitspannen aufgrund Rüst-, Übergangs- oder Bearbeitungszeiten werden hier berücksichtigt.

<sup>43</sup> Abbildung entnommen aus Kurbel, 2005, S.122.

Dabei ist es hilfreich, die möglichen Erzeugnisstrukturen zu kennen:<sup>44</sup>

- **Lineare** Erzeugnisstruktur  
Jedes Erzeugnis hat maximal einen Vorgänger und maximal einen Nachfolger. Wie bei einem Produktionsprozess, bei dem nach jeder Arbeitsstation ein neues identifizierbares Zwischenprodukt vorliegt.
- **Konvergierende** Erzeugnisstruktur  
Ein Erzeugnis hat maximal einen direkten Nachfolger, aber kann beliebig viele Vorgänger haben. Typisch für diese Erzeugnisstruktur ist ein Montageablauf.
- **Divergierende** Erzeugnisstruktur  
Hier haben die Erzeugnisse maximal einen direkten Vorgänger, können aber mehrere direkte Nachfolger haben. Ein Erzeugnis kann also in mehrere unterschiedliche Produkte einfließen
- **Generelle** Erzeugnisstruktur  
Die generelle Erzeugnisstruktur vereint alle genannten Möglichkeiten.

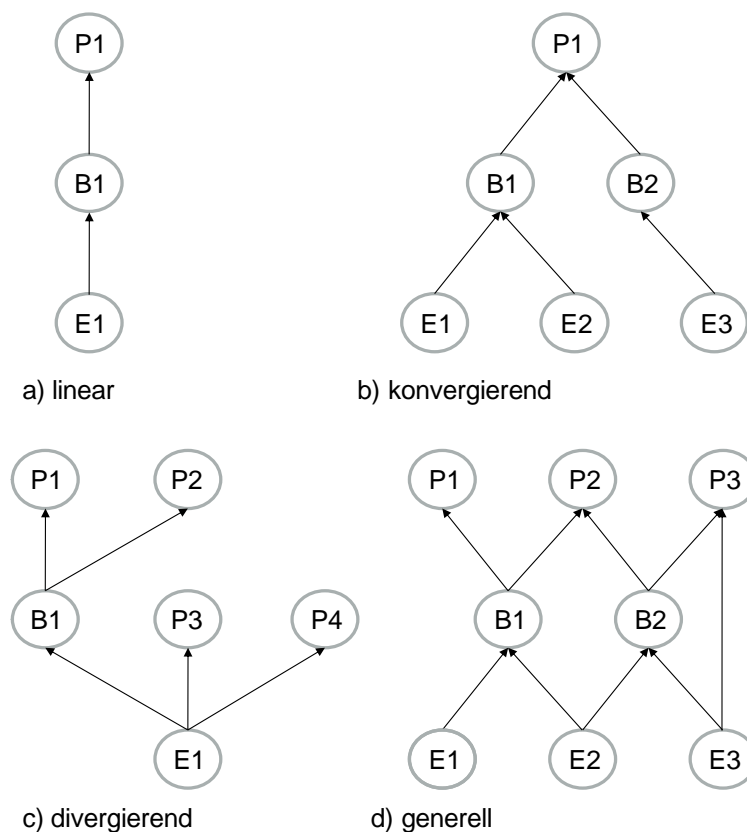


Abbildung 14: Gozintograph für unterschiedliche Erzeugnisstrukturen<sup>45</sup>

Der Aufbau der Erzeugnisstruktur bestimmt im hohen Maße die Komplexität der PPS. Vor allem die Findung der optimalen Losgröße kann sich schwierig gestalten.

<sup>44</sup> vgl. Tempelmeier, 2005, S.103f.

<sup>45</sup> Abbildung entnommen aus Tempelmeier, 2005, S.104.

Gilt es sehr umfangreiche Erzeugnisse darzustellen, ist die Verwendung einer Listenform ratsam. In der Praxis sind das überwiegend Stücklisten und Verwendungsnachweise. Nachstehende Abbildung gibt einen Überblick über mögliche Darstellungen in Listenform:

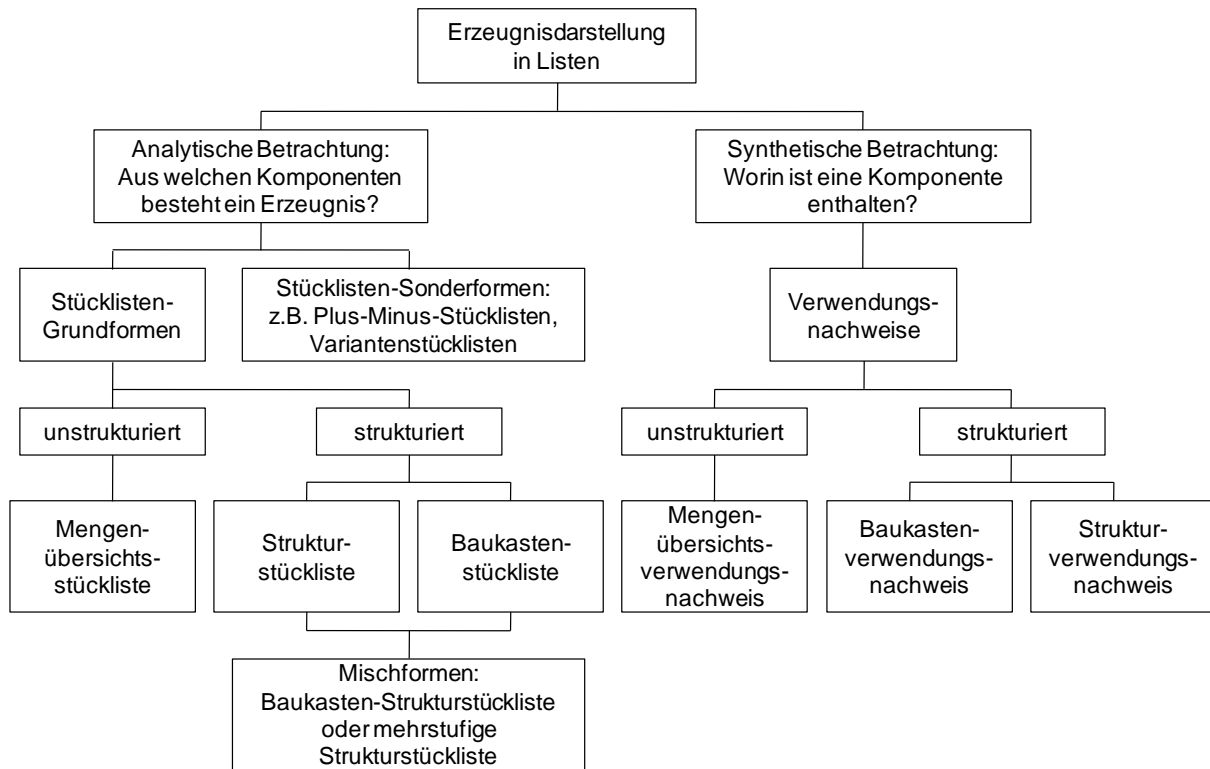


Abbildung 15: Erzeugnisdarstellung als Stücklisten oder Verwendungsnachweis<sup>46</sup>

Die gängigsten Stücklistenformen sind die Strukturstückliste und die Mengenübersichtsstückliste. Die Strukturstückliste schlüsselt die Zusammensetzung der Erzeugnisse aus Baugruppen und Zwischenerzeugnissen samt Mengenangaben auf. Wird eine Komponente mehrfach verwendet, scheint sie in der Strukturstückliste auch mehrfach auf. In der Mengenübersichtsstückliste wird hingegen jede Komponente mit der Gesamtmengenangabe nur einmal gelistet.<sup>47</sup>

## 2.2.4 Durchlaufterminierung<sup>48</sup>

Bei der Durchlaufterminierung werden Arbeitsgänge mit Start- und Endterminen versehen. Prinzipiell können zwei verschiedene Methoden, die Rückwärtsterminierung und Vorwärtsterminierung, unterschieden werden.

<sup>46</sup> Abbildung entnommen aus Schneider, 2005, S.38.

<sup>47</sup> Schneider, 2005, S.38.

<sup>48</sup> vgl. Kurbel, 2005, S.140ff.



## Rückwärtsterminierung

Beginnend beim Endtermin eines Auftrags werden alle Fertigungsstufen rückwärts festgelegt, sodass ein terminisiertes Fertigungsauftragsnetz entsteht. Grundsätzlich soll bei diesem Verfahren gewährleistet werden, dass Teile erst zum spätestmöglichen Zeitpunkt gefertigt werden um die Kapitalbindung zu minimieren. Allerdings besteht dadurch die Gefahr, dass der Ausfall einer Engpassmaschine während früherer Fertigungsschritte, fatale Folgen für den verbleibenden Fertigungsablauf haben kann.

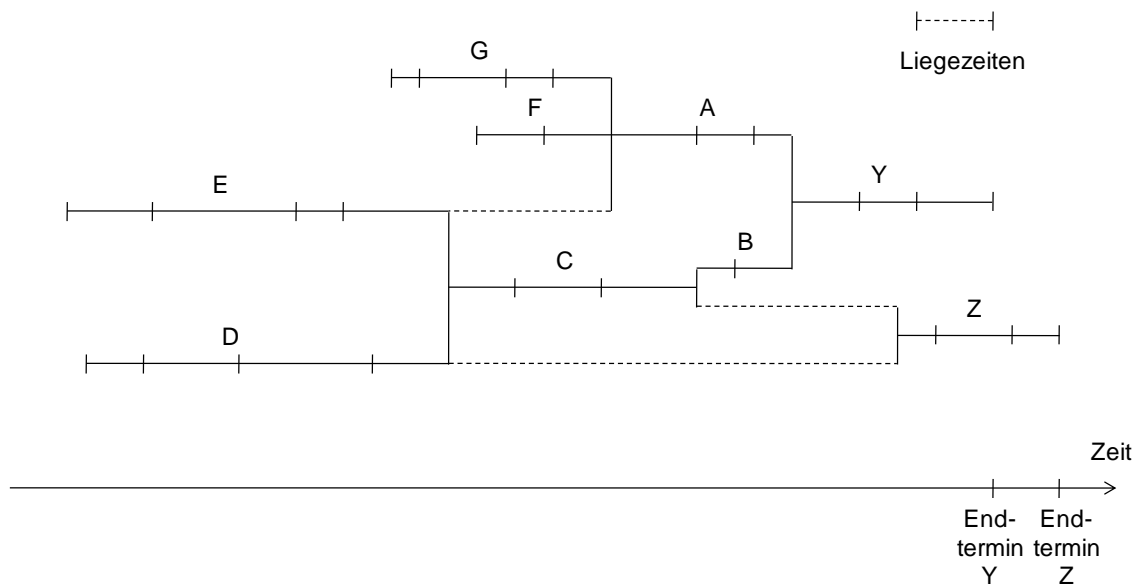


Abbildung 16: Auftragsnetz bei Rückwärtsterminierung<sup>49</sup>

Verzögerungen des Teils E führen mit hoher Wahrscheinlichkeit auch zu Terminproblemen bei C, B und Y.

## Vorwärtsterminierung

Startpunkt der Planung bildet der frühestmögliche Starttermin der niedrigsten Fertigungsstufe. Danach werden die aufbauenden Fertigungsschritte bis zum Enderzeugnis gereiht. Tendenziell entstehen bei dieser Vorgangsweise zwar Liegezeiten die als Puffer für Maschinenausfälle dienen, allerdings verursacht dieses Planungsmodell erhöhte Kapitalbindungskosten.

<sup>49</sup> Abbildung entnommen aus Kurbel, 2005, S.142.

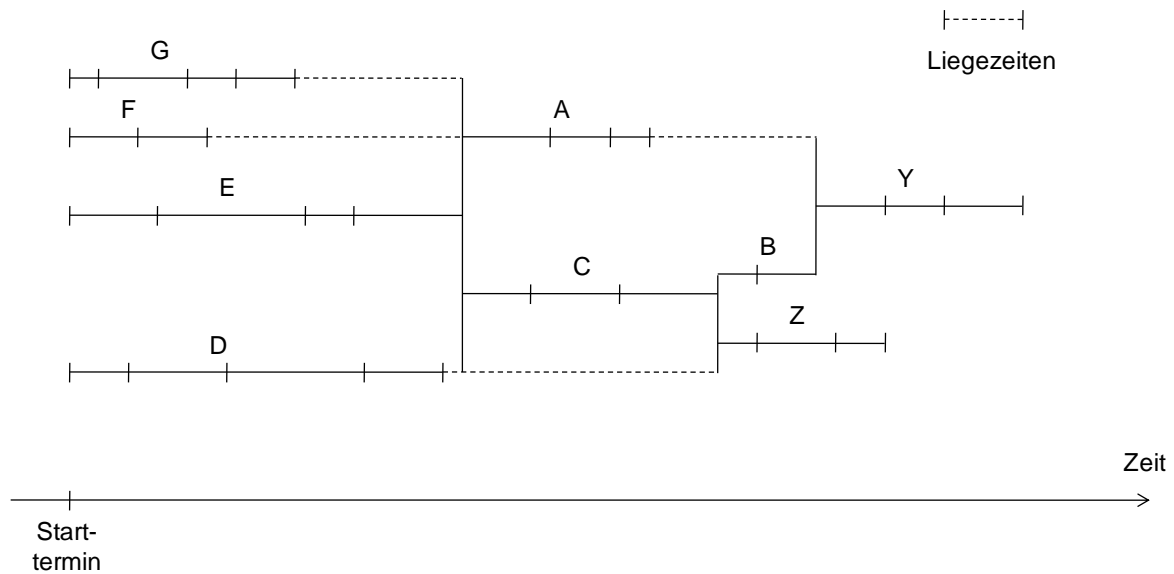


Abbildung 17: Auftragsnetz bei Vorwärtsterminierung<sup>50</sup>

Verglichen mit Abbildung 16 sind nun die Liegezeiten für die Teile C und D verkürzt, da mit der Fertigung von Z ehestmöglich begonnen wird.

### Doppelte Terminierung

Um während des Fertigungsablaufs Zeitpuffer zur Verfügung zu haben, empfiehlt sich die doppelte Terminierung. Dabei werden sowohl die Verfahren der Vorwärtsterminierung (Festlegung des Starttermins) als auch die der Rückwärtsterminierung (Endtermin) angewandt. Nachstehende Abbildung zeigt mögliche Pufferzeiten während des Fertigungsablaufs.

<sup>50</sup> Abbildung entnommen aus Kurbel, 2005, S.144.

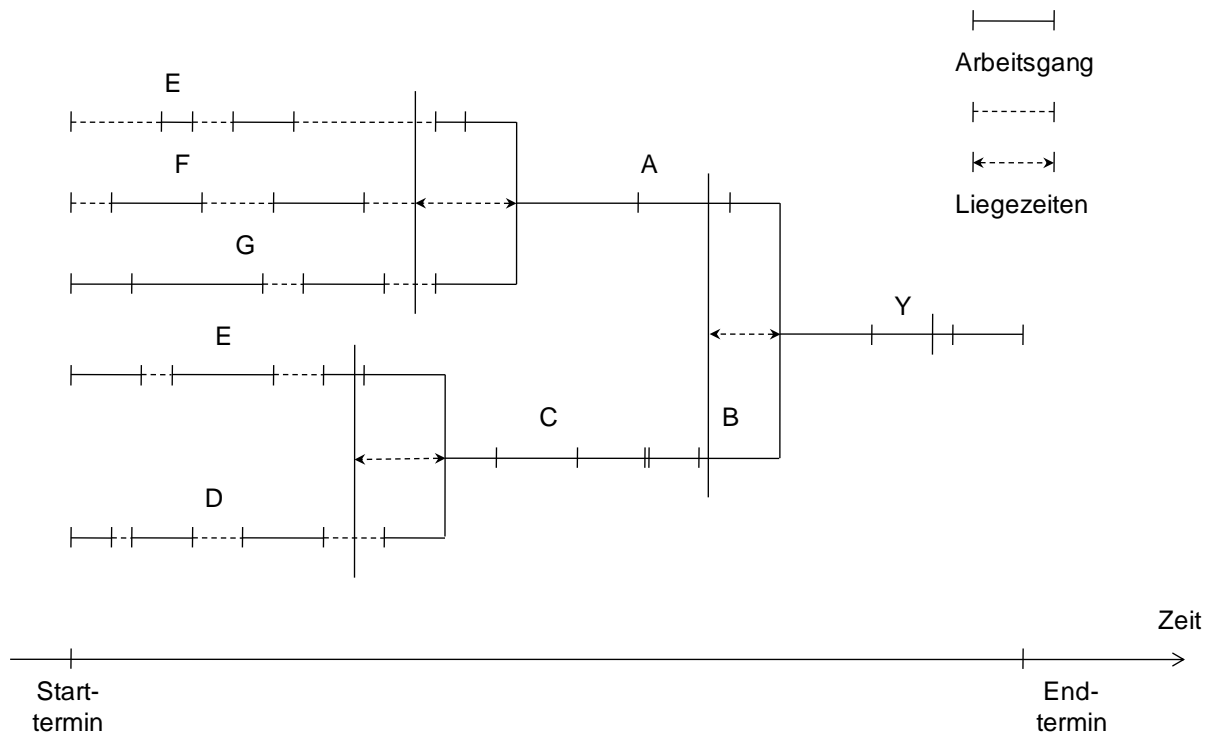


Abbildung 18: Pufferzeiten bei Kombination Rückwärts- und Vorwärtsterminierung<sup>51</sup>

Die senkrechten Striche kennzeichnen die frühesten Termine, zu denen die gefertigten Teile verfügbar sind, sofern keine Puffer benötigt werden.

### 2.2.5 Maßnahmen zur Durchlaufzeitverkürzung<sup>52</sup>

Nach der Terminierung eines Fertigungsauftrags kann es dazu kommen, dass einzuhaltende Fristen nicht gehalten werden können. Bei Rückwärtsterminierung bedeutet dies, dass mit der Abarbeitung des Auftrags bereits begonnen werden hätte müssen, da der Starttermin in der Vergangenheit liegt. Bei Vorwärtsterminierung würde der ermittelte Endtermin eines Fertigungsauftrages erst nach dem erforderlichen Endtermin zu liegen kommen. Deshalb existieren eine Reihe von Möglichkeiten die geplante Durchlaufzeit zu reduzieren:

#### Übergangszeitenreduktion

Als Durchlaufzeiten der einzelnen Arbeitspakete werden oft Durchschnittswerte basierend auf Erfahrungen herangezogen. Diese werden um etwaige Sicherheitspuffer ergänzt und in die Planung aufgenommen. Untersuchungen in Industriebetrieben der letzten Jahrzehnten haben jedoch gezeigt, dass die wertschöpfende Bearbeitungszeit nur einen kleinen Anteil (5%-20%) an der Durchlaufzeit eines Arbeitspaketes

<sup>51</sup> Abbildung entnommen aus ebenda, S.145.

<sup>52</sup> vgl. Kurbel, 2005, S.146ff.

ausmacht.<sup>53</sup> Der Großteil der Zeit fließt in Liege- und Transportzeiten. Diese werden auch als Übergangszeiten bezeichnet und beinhalten folgende Komponenten:

- Wartezeit bevor ein Arbeitsgang gestartet werden kann
- prozessbedingte Liegezeit vor dem Fertigungsauftrag (z.B. anreißen)
- prozessbedingte Liegezeit nach dem Fertigungsauftrag (z.B. abkühlen)
- Wartezeit auf die Kontrolle
- Wartezeit auf den Transport
- Transportzeit zur nächsten Arbeitsstation

Der Produktionsplaner kann diese Zeitkomponenten nun entweder auf ihr absolutes Minimum beschränken, oder sie nur soweit optimieren, bis der gewünschte Liefertermin realisierbar wird, um gegebenenfalls noch auf Zeitpuffer in der Fertigung zurückgreifen zu können.

### Splitten von Fertigungsaufträgen

Eine weitere Möglichkeit um die Durchlaufzeit zu reduzieren, liegt in der Aufteilung eines Fertigungsauftrages auf mehrere Arbeitsstationen. Nachstehende Abbildung soll die Vorgangsweise verdeutlichen.

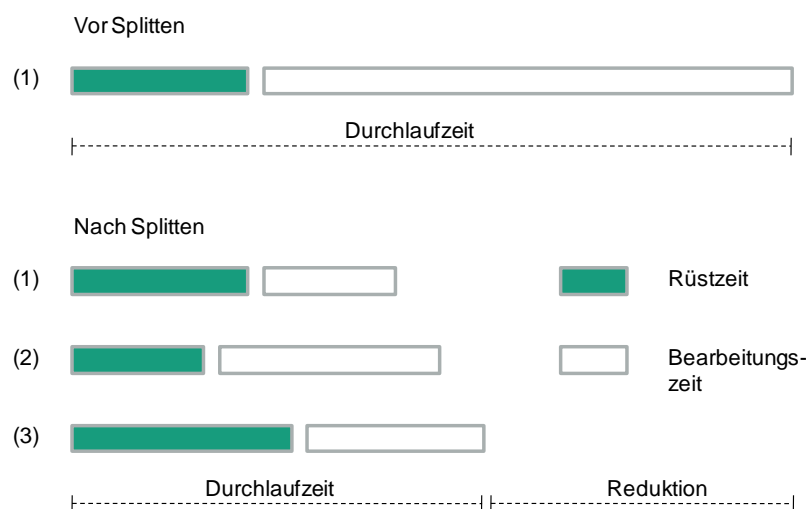


Abbildung 19: Verkürzung der Durchlaufzeit durch Lossplittung<sup>54</sup>

Nachteilig ist jedoch zu bemerken, dass durch die Bearbeitung auf mehreren Maschinen die produktionsbezogene Rüstzeit eines Auftrags vervielfacht wird. Somit sinkt zwangsläufig die Auslastung und die Auftragsabwicklung verlässt ihr wirtschaftliches Optimum. Obwohl der Auftrag auf drei Maschinen aufgeteilt wird, reduziert sich die Durchlaufzeit lediglich um knapp die Hälfte.

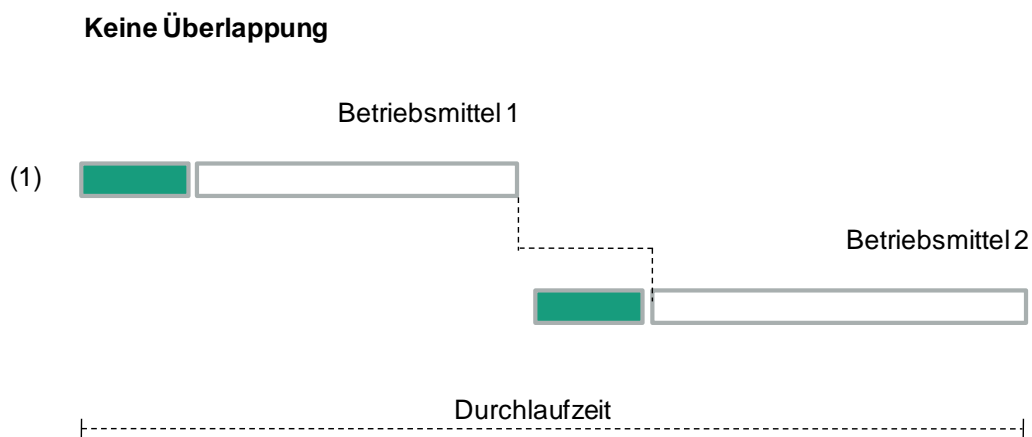
<sup>53</sup> vgl. Kurbel, 2005, S.147.

<sup>54</sup> Abbildung entnommen aus Kurbel, 2005, S.148.

Abhängig von den zur Verfügung stehenden Arbeitsmitteln, können sowohl die Rüstzeiten als auch die Bearbeitungszeiten unterschiedlich lange dauern. Deshalb wird zwischen dem Aufteilen der Lose in einheitliche Durchlaufzeiten (Zeitsplit) und der Aufteilung in mengenmäßig gleich großer Lose (Mengensplit, siehe Abbildung 19) unterschieden.

### Überlappung von Arbeitsgängen

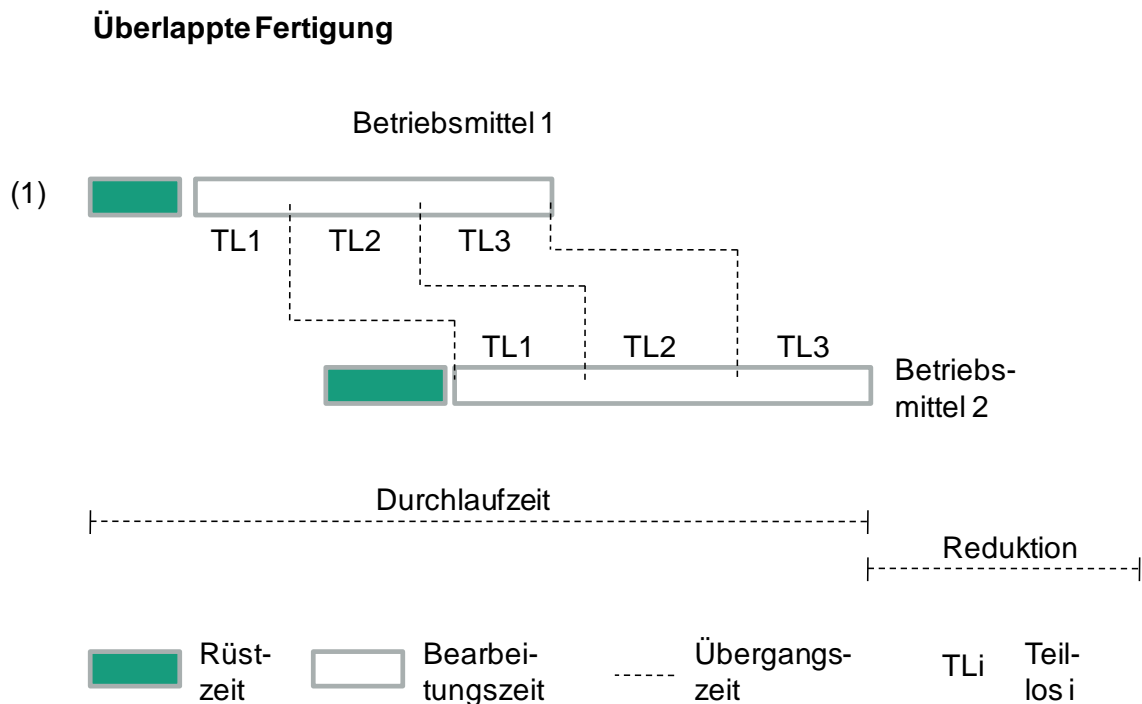
Bisher wurde angenommen, erst mit der Fertigung des nächsten Arbeitsschrittes zu beginnen, wenn alle Teile eines Loses fertiggestellt wurden. Dadurch werden ohnehin ungenutzte Übergangszeiten noch verlängert, da die Bearbeitungszeiten der Betriebsmittel unterschiedlich lang sein können und weitere Liegezeiten in der Fließfertigung entstehen. Nachstehende Grafik soll den Zusammenhang verdeutlichen.



**Abbildung 20: Durchlaufzeit ohne Überlappung von Arbeitsgängen<sup>55</sup>**

Daher kann die Bildung von Teillosen sinnvoll sein. Die anschließende Arbeitsstation bekommt für die Bearbeitung bereits fertiggestellte Teilmengen eines Gesamtloses.

<sup>55</sup> Abbildung entnommen aus Kurbel, 2005, S.150.



**Abbildung 21: Durchlaufzeit mit Überlappung von Arbeitsgängen<sup>56</sup>**

Die Bearbeitungszeit an Betriebsmittel 2 ist länger als an Betriebsmittel 1. Somit benötigen auch die Teillose an Betriebsmittel 2 mehr Zeit, was die Übergangszeiten (Warte- und Liegezeiten) bei Teillos 2 und 3 verlängern lassen. In Summe kann aber trotzdem eine Reduktion der Durchlaufzeit erreicht werden.

Allerdings steigt bei dieser Variante der dispositive und administrative Steuerungsaufwand sehr rasch an. Dieser Umstand legitimiert die Einführung einer Mindestzeitreduktion, ab der sich der Mehraufwand überhaupt lohnt.

Führt die Planung der Fertigung eines Auftrags zu Terminüberschreitungen, ist es in der Praxis zweckmäßig, zuerst die Übergangszeiten zu optimieren. Können die Terminrestriktionen danach immer noch nicht eingehalten werden, folgen die Splittung des Arbeitsauftrages sowie die Überlappung von Arbeitsgängen.

## 2.2.6 Kapazitätsplanung<sup>57</sup>

Nach erfolgter Durchlaufterminierung stimmen die erforderlichen Fertigungskapazitäten höchstens zufällig mit den verfügbaren Kapazitäten überein. In einer Grafik kann der erforderliche Kapazitätsbedarf über einzelne Zeitabschnitte aufgetragen werden.

<sup>56</sup> Abbildung entnommen aus ebenda.

<sup>57</sup> vgl. Kurbel, 2005, S.151ff.

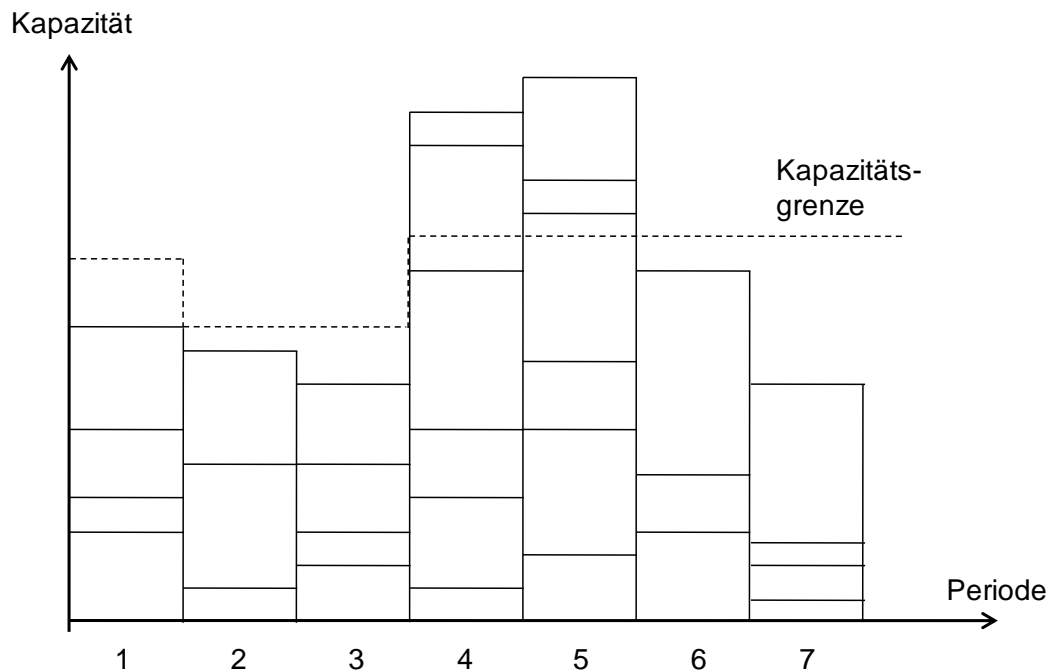


Abbildung 22: Vergleich von Kapazitätsangebot und -bedarf einer Arbeitsstation<sup>58</sup>

Die Kästchen stehen dabei für den Kapazitätsbedarf eines einzelnen Arbeitsschrittes. In Periode 2 und 3 werden geplante Instandhaltungstätigkeiten und Feiertage berücksichtigt, die die Kapazitätsgrenze absinken lassen. In den Perioden 4 und 5 tritt das Problem auf, dass die erforderlichen Kapazitäten die verfügbaren Arbeitsmittel übersteigen. Abhilfen schaffen hier die Anpassung des Kapazitätsangebotes oder des Kapazitätsbedarfs.

### Veränderung des Kapazitätsangebotes

- Überstunden oder Zusatzschichten werden eingeführt
- Aushilfspersonal (Zeitarbeit) wird angestellt
- Fremdvergabe von Arbeitsschritten, Teile zukaufen
- geplante Produktionsgeschwindigkeit erhöhen
- Produktionskapazität durch Investitionen erhöhen (längerfristige Auswirkung)
- Personalstand erhöhen, Verlegung von Personal unterbeschäftigter Betriebs- teilen (längerfristige Auswirkung)

### Anpassung des Kapazitätsbedarfs

- *Quantitative Mengenanpassung* durch Verschiebung oder Reduktion von Lageraufträgen. Darunter versteht man Aufträge, die nicht primär für den deterministisch ermittelten Bedarf erforderlich sind, sondern auf Vorrat produziert werden. Sie können in Perioden mit Unterauslastung verschoben werden.

<sup>58</sup> Abbildung entnommen aus Kurbel, 2005, S.154.

- *Terminliche Anpassungsmaßnahmen* durch Verlagerung von Arbeitsgängen um Kapazitätsspitzen zu glätten. Funktioniert natürlich nur, wenn im Durchschnitt Kapazitätsbedarf und –angebot ungefähr übereinstimmen.

Eigentlich würden keine Kapazitätsprobleme auftreten, wenn material-, zeit-, und kapazitätswirtschaftliche Aspekte gleichzeitig (Simultanplanungsmodell) gelöst werden würden. Aufgrund der zunehmenden Komplexität wurde ein Modell entwickelt, das unter Berücksichtigung des optimalen Fertigungsflusses, lediglich die Engpassbetriebsmittel betrachtet. Dieses computergestützte System wurde in den achtziger Jahren unter der Bezeichnung OPT (Optimized Production Technology) eingeführt und heute zu dem Modell „Theory of Constraints“ weiterentwickelt.

Um die vorgestellten Methoden und Werkzeuge eines zuverlässigen PPS-Systems erfolgreich in Unternehmen implementieren zu können, haben sich in den letzten Jahrzehnten eine Reihe von Softwaresystemen etabliert. Die technologische Basis moderner Anwendungen wird unter dem Begriff „computergestützte Ressourcensteuerung“ im nachstehenden Kapitel dargelegt.

## 2.3 Computergestützte Ressourcensteuerung

Heutzutage existiert eine Reihe von Werkzeugen in PPS-Systemen, auf die ein Planer zurückgreifen kann. Die meisten dieser Werkzeuge können durch entsprechende Softwareunterstützung effiziente Lösungen liefern. Insbesondere aber in der Produktionssteuerung sind computerunterstützte Methoden heute nicht mehr wegzudenken. Die grundlegenden Technologien stellen dabei ERP-, MES- und ASP-Systeme dar.<sup>59</sup>

### 2.3.1 Enterprise Resource Planning (ERP)<sup>60</sup>

Mit zunehmender Rechenleistung wurden computergestützte Anwendungen immer häufiger in Planungsprozesse integriert. Heute wird versucht ein Unternehmen aus ganzheitlicher Sicht (unter Berücksichtigung aller Geschäftsprozesse) zu steuern. Dafür ist ein unternehmensweites Informationssystem erforderlich, dass einzelne Bereiche miteinander integriert und keine Insellösungen zulässt. Insellösungen führen meist zu:

- Redundanz: Gleiche Informationen werden mehrfach gespeichert und müssen gegebenenfalls auch mehrfach erfasst, verändert oder gelöscht werden.
- Inkonsistenz: Die gleiche Information in verschiedenen Teilbereichen speichert unterschiedlichen Inhalt. Dies ist meist eine Folge der Redundanz.
- Mangelnde Integrität: Fehlerhafte Datenbanken führen zu falsch abgelegten Informationen.

---

<sup>59</sup> vgl. Kurbel, 2005, S.240.

<sup>60</sup> vgl. ebenda, S.241ff.



Die Integration lässt sich in 6 verschiedene Integrationsgegenstände unterteilen, die geplant und realisiert werden müssen:

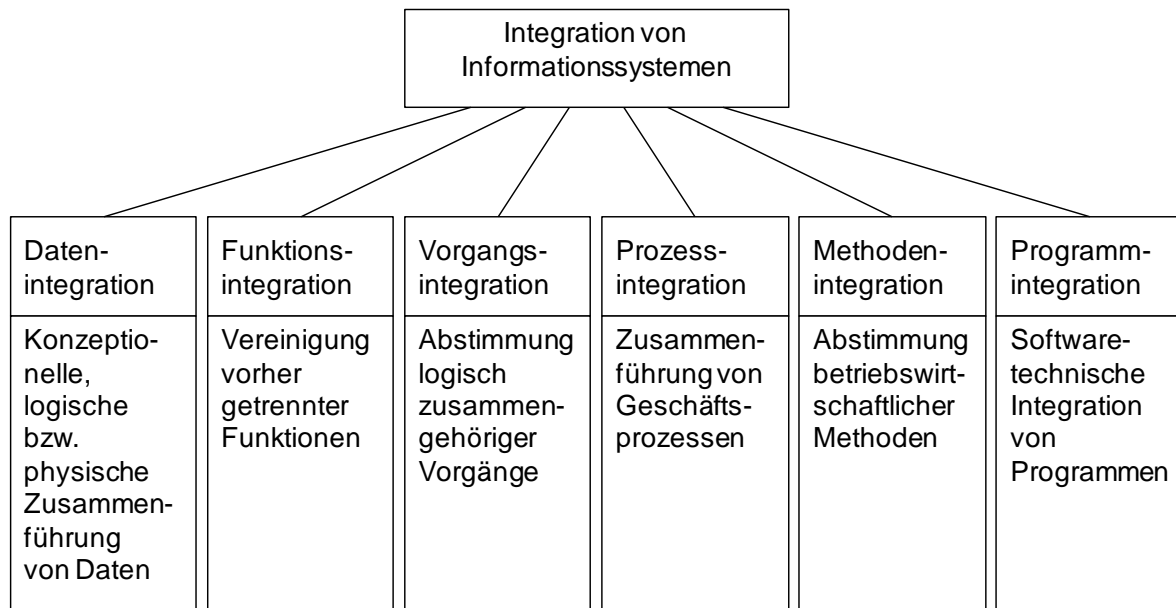


Abbildung 23: Integrationsformen von Informationssystemen<sup>61</sup>

In der Praxis kann ein ERP-System viele Funktionsbereiche abdecken. Nachstehend werden Methoden für die operative Produktion aufgezeigt.

### 2.3.2 Manufacturing Execution Systems (MES)<sup>62</sup>

Oft können die aufwändig ausgearbeiteten Grob- und Feinpläne in der Praxis nicht realisiert werden. Unerwartete Ereignisse wie Maschinenausfälle, Materialengpässe oder Krankheit treten direkt in der Fertigung, also weit weg vom dispositiven Planungssystem auf und führen zu erheblichen Problemen. Die Methoden der MES versuchen die Lücke zwischen der Planung im ERP-System und der Fertigung zu schließen. Da die Produktionsüberwachung in Echtzeit geschieht, lässt sich das System am besten als Regelkreis darstellen:

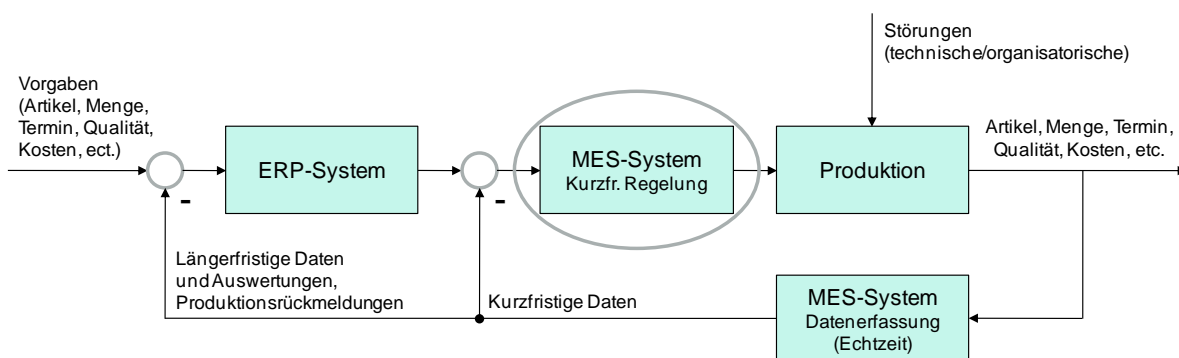


Abbildung 24: MES Regelkreis zur kurzfristigen Reaktion auf Ereignisse<sup>63</sup>

<sup>61</sup> Abbildung entnommen aus Kurbel, 2005, S.244.

<sup>62</sup> vgl. Kurbel, 2005, S.263ff.

MES beinhaltet dabei mehrere Funktionen:

- kurzfristige Feinplanung und Steuerung der Bearbeitungsaufträge
- laufende Datenerfassung, Rückkopplung und Anpassung der Feinpläne
- Material- und Auftragsverfolgung
- Gewährleistung des Qualitäts- und Dokumentenmanagements

MES kann daher in ihre Kernfunktionalitäten Fertigungsleitstand, Betriebs-/Maschinendatenerfassung (BDE/MDE) und Qualitätsmanagement gegliedert werden und besitzt Schnittstellen zu vielen weiteren Informationssystemen.

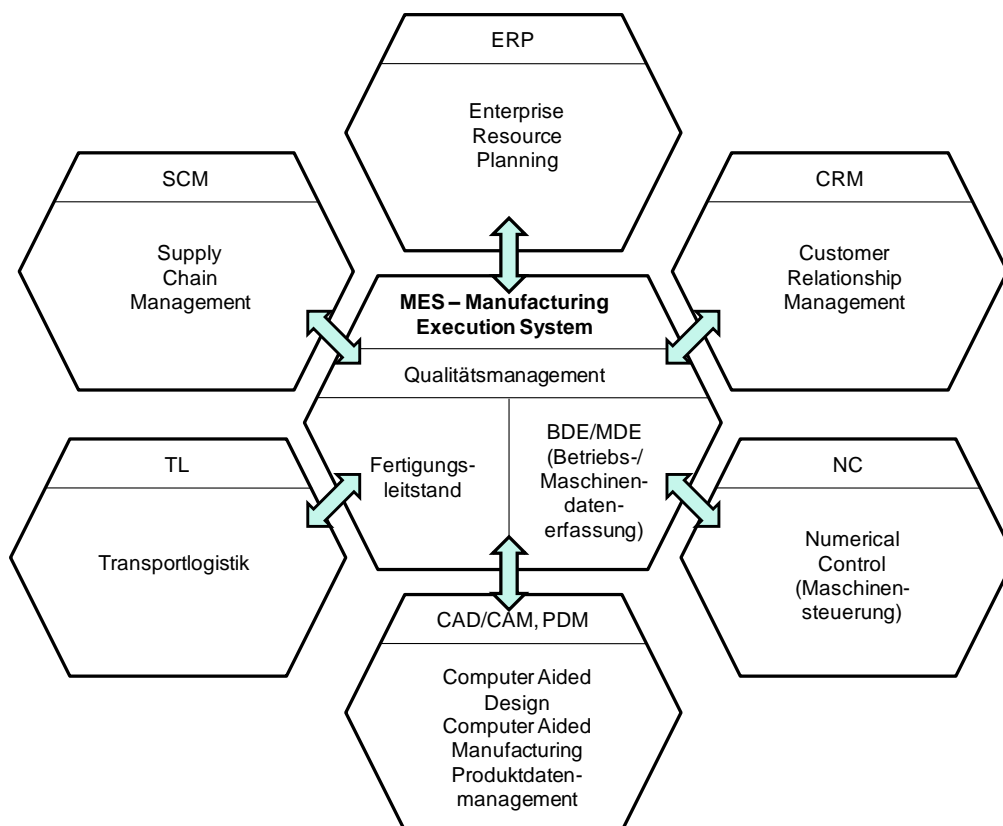


Abbildung 25: Schnittstellen von MES<sup>64</sup>

Aufgrund der Rückkopplung von IST-Daten des Fertigungsauftrags, spiegeln MES-Methoden immer die tatsächlich herrschenden Verhältnisse wider. Somit kann eine zuverlässige Feinplanung unter Berücksichtigung der Ressourcenverfügbarkeit erfolgen. Die Ergänzung der ERP-Systeme mit MES führt deshalb zu einer Reihe von Vorteilen:

- Erhöhung der Anlagenverfügbarkeit steigert die Ausbringung
- Automatisierung der Datenerfassung und Dokumentation reduziert Kosten

<sup>63</sup> Abbildung entnommen aus Kletti, 2011, S.117.

<sup>64</sup> Abbildung entnommen aus Kurbel, 2005, S.265.

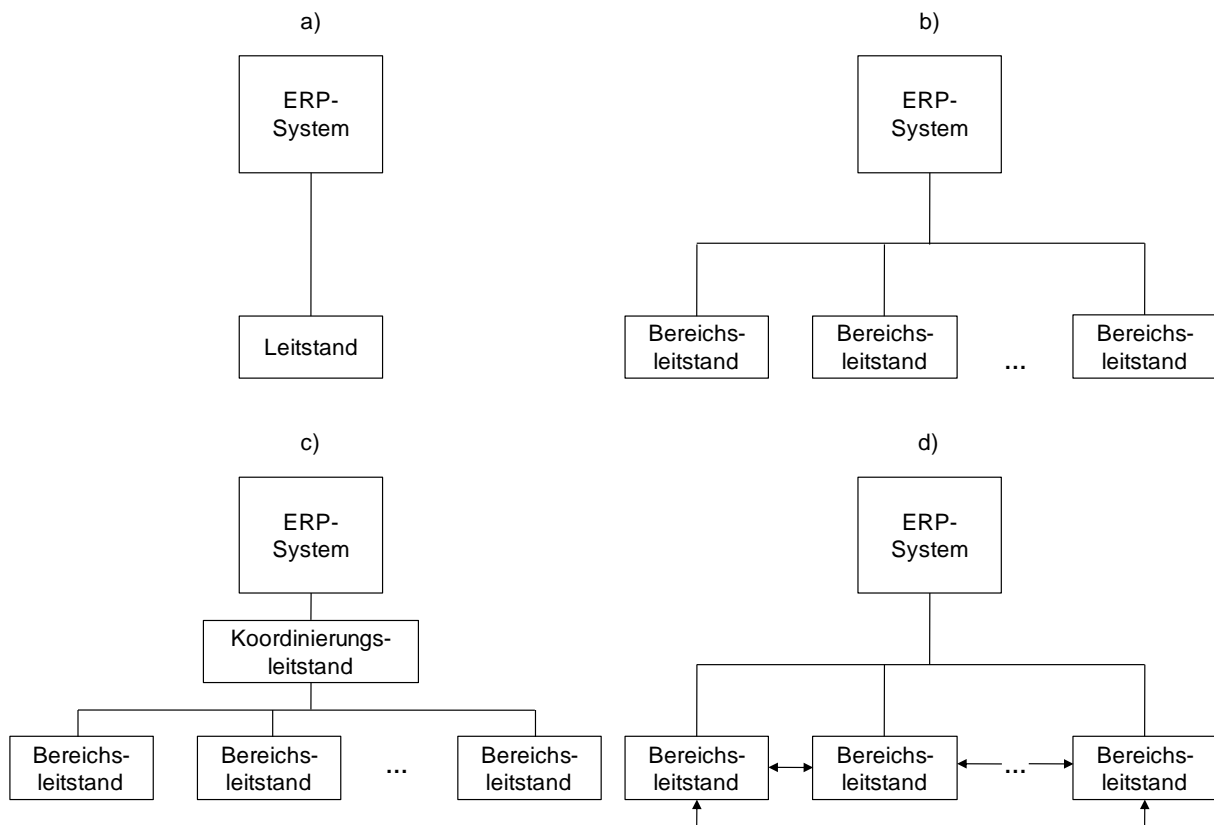
- Erkennung von Engpässen und bessere Planungsqualität verkürzt Durchlaufzeiten
- Kürzung der Reaktionszeiten erhöhen die Flexibilität
- frühzeitige Erkennung von Schwachstellen im Produktionsprozess sichern die Qualität

Doch nicht alle Methoden in MES sind neu erfunden worden. Die Fertigungssteuerung mit elektronischen Leitständen kam schon lange vor den MES zum Einsatz.

### **Elektronische Leitstände**

Unter dem Begriff Fertigungsleitstand wurden manche Methoden bereits vor dem Einsatz von Computer in der Planung und Steuerung einer Produktion eingeführt. Aufgaben dieser Leitstände sind die Planung der Arbeitsgänge an den Betriebsmittel, sowie die Bereitstellung und Verarbeitung der Rückmeldungen aus dem Produktionsablauf. Ein konventioneller Fertigungsleitstand bedient sich dabei der Zuhilfenahme von Plantafeln. Diese visualisieren die Planung, Steuerung und Kontrolle, indem vertikal die einzelnen Arbeitsplätze oder Einzelbetriebsmittel und horizontal der Zeitablauf dargestellt wird. Die Zellen der gebildeten Tabelle werden nun mit Stecktafeln, die produktionsrelevante Laufkarten oder Dokumente beinhalten, bestückt. Dadurch sind relevante Informationen schneller zugänglich und die Transparenz des Fertigungsablaufs wird erhöht. Nachteilig beim Vorgehen mit Stecktafeln wirkt sich allerdings das große Datenvolumen aus. Da in einem Unternehmen gleichzeitig mehrere hundert oder tausend Arbeitsgänge stattfinden können, ist es schwierig, den Fertigungsleitstand durch umstecken der Stecktafeln auf dem aktuellen Stand zu halten. Darüber hinaus kann eine störungsbedingte kurzfristige Planänderung zur Um disponierung unzähliger Stecktafeln führen, vorausgesetzt der Fertigungssteuerer beherrscht die inhaltlichen Zusammenhänge aller beteiligten Stecktafeln. Abhilfe schaffen nur computergestützte elektronische Leitstände, die allfällige Zusammenhänge zuverlässig gespeichert haben. Somit kann die Feinplanung unter Berücksichtigung von Kapazitätsrestriktionen für die Betriebsmittelbelegung erfolgen.

Grundsätzlich beschäftigen sich ERP-Systeme mit der Grobplanung der Fertigungsaufträge und MES übernehmen die Feinplanung. Als Schnittstelle der beiden Systeme dient meist die Auftragsfreigabe. Diese Vorgangsweise beruht auf der Tatsache, dass ERP-Systeme eher langfristige Fertigungspläne ausarbeiten, während MES auf unvorhergesehene Änderungen oder Störungen kurzfristig reagieren. Trotzdem können mehrere Grundformen des Zusammenwirkens zwischen ERP-Systemen und Leitständen unterschieden werden.



**Abbildung 26: Koordination zwischen ERP und Leitständen<sup>65</sup>**

Fall a) wird in kleineren Betrieben angewandt. Nach erfolgter Auftragsfreigabe vom ERP-System übernimmt ein Leitstand die gesamte Fertigungssteuerung. Das ERP-System erhält lediglich Rückmeldung über die Fertigstellung einzelner Arbeitsvorgänge.

Fall b) kommt bei größeren Fertigungsbetrieben zum Einsatz. Da ein Leitstand allein die Planungs- und Steuerungsaufgaben nicht mehr bewältigen kann, werden mehrere Bereichsleitstände eingeführt. So können Fertigungseinheiten (Werkstätten) gebildet und getrennt koordiniert werden. Allerdings sind diese Einheiten nicht unabhängig voneinander, da Teile meist in verschiedenen Werkstätten bearbeitet werden. Deshalb ist eine übergeordnete Stelle zur bereichsübergreifenden Steuerung notwendig. In der Grafik wird diese Aufgabe vom ERP-System übernommen.

Fall c) ist die logische Konsequenz von Fall b). Existieren mengenmäßig sehr viele Fertigungseinheiten oder sind die Zusammenhänge sehr komplex, kann die übergeordnete Steuerung von einem ERP-System nicht mehr effizient übernommen werden. Deshalb wird ein eigener Koordinierungsleitstand (auch Zentralleitstand oder Master-Leitstand bezeichnet) eingeführt, der Interdependenzen dynamisch lösen kann.

<sup>65</sup> Abbildung entnommen aus Kurbel, 2005, S.287.

Fall d) beschreibt die Situation, bei der sich die dezentralen Leitstände untereinander selbst koordinieren. Der Datenaustausch erfolgt dabei direkt, also ohne Umweg über ein ERP-System oder eine Koordinationsinstanz. Damit lassen sich Aufgaben wie die Verteilung von Aufträgen auf Leitstände oder die Terminplanung besser abstimmen. Ferner lässt sich das System durch Ansätze aus der Künstlichen Intelligenz (z.B. Multi-Agenten-Systeme) automatisieren.

### 2.3.3 Advanced Planning and Scheduling (APS)<sup>66</sup>

Der Begriff beschreibt eine ganze Reihe von Erweiterungen und Verbesserungen der ERP-Systeme. Leistungsfähige Methoden unterstützen die Aufgaben der PPS, wie etwa die Durchlaufterminierung, Reihenfolgeplanung oder Ressourcenzuordnung. Darüber hinaus sind mit APS auch unternehmensübergreifend (Supply Chain Management) beträchtliche Vorteile zu erzielen. APS-Systeme werden von vielen verschiedenen Funktionen charakterisiert:

- gute Modellierbarkeit
- verstärkter Fokus auf Engpässe (Constraint Management)
- leistungsfähige Algorithmen (z.B. mathematische Optimierung, heuristische Methoden)
- Handhabung komplexer Datenstrukturen (z.B. mehrstufige Stücklisten, Arbeitspläne)
- bessere Zusammenarbeit unter den Unternehmensbereichen
- zuverlässige Simulationsmöglichkeiten
- umfassende Schnittstelle zu ERP-Systemen

Der Umfang an Einsatzmöglichkeiten umfasst sowohl unternehmensinterne wie -externe Aktivitäten. Nachstehende Grafik zeigt die Verwendung von APS-Systemen in einer Planungsmatrix.

---

<sup>66</sup> vgl. Kurbel, 2005, S.367ff.

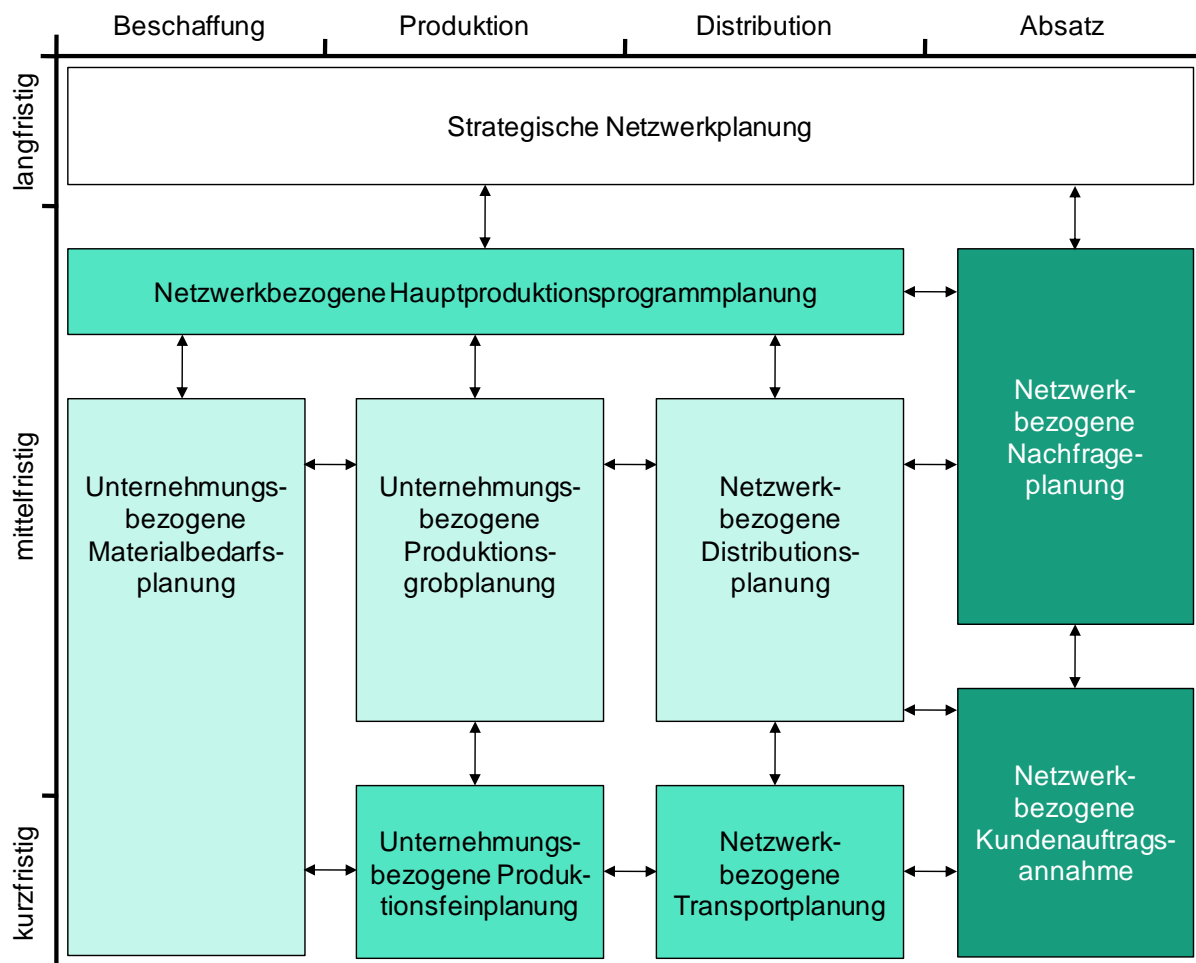


Abbildung 27: Planungsmatrix des Supply Chain<sup>67</sup>

In dieser Arbeit spielen die unternehmensbezogene Produktionsplanung (PP) und Feinplanung (DS) eine zentrale Rolle.

Nachdem der Materialbedarf festgelegt ist, wird mit der Produktionsplanung fortgefahren. Mit APS werden die Aufgaben von PP/DS bezüglich Materialbereitstellung, Nutzung knapper Ressourcen, rüstkostenoptimaler Bearbeitungsreihenfolge und der Berücksichtigung unerwarteter Ereignisse gelöst. Dazu werden sogenannte Produktionsprozessmodelle (PPM), die aus den Erzeugnisstrukturdaten (Stücklisten) und Arbeitsplänen eines ERP-Systems extrahiert werden, generiert. Das Produktionsprozessmodell legt fest, welche Menge eines Produktes, an welchem Fertigungsort, in welcher Art und Weise zu einem bestimmten Zeitpunkt gefertigt werden kann. Die moderne PP/DS bedient sich dabei mathematischer Optimierungsmethoden (z.B. Minimierung der maximalen Verspätung, Minimierung der Rüstkosten) und heuristischer Verfahren (Constraint Propagation). Die Ergebnisse der Planung werden schließlich an das ERP-System oder MES-System zurückgeliefert.

<sup>67</sup> Abbildung entnommen aus Kurbel, 2005, S.368.

Moderne computergestützte Produktionssteuerung liefert nur dann zuverlässige Ergebnisse, wenn die Personen- und Betriebsmitteldatenerfassung umfangreich Information zur Verfügung stellt und diese ohne großen Zeitverzug ausgewertet werden kann. Von besonderer Bedeutung sind in der zugrundeliegenden Arbeit die Kennzahlen der Produktionslogistik, die ein Teilgebiet der internen Logistik darstellt. Eine begriffliche Abgrenzung und Erläuterung der Intralogistik findet im nachfolgenden Kapitel statt.

## 2.4 Grundlagen der internen Logistik

Bisher wurden die Methoden und Begrifflichkeiten rund um PPS-Systeme erörtert. Da sich diese Arbeit mit dem Zusammenspiel aus Intralogistik (auch interne Logistik genannt) und PPS beschäftigt, folgt nachstehend eine Einführung und Abgrenzung der Begriffe Produktionslogistik und Intralogistik.

Eine Definition der Intralogistik, die im Jahre 2003 veröffentlicht wurde und in der Fachwelt breite Zustimmung gefunden hat, lautet:

*„Die Intralogistik umfasst die Organisation, Steuerung, Durchführung und Optimierung des innerbetrieblichen Materialflusses, der Informationsströme sowie des Warenumschlages in Industrie, Handel und öffentlichen Einrichtungen.“<sup>68</sup>*

Ursprünglich stammt der Begriff „Logistik“ aus dem Militärwesen und befasste sich mit der Nachschubversorgung. Später fanden die Konzepte der Logistik in vielen Bereichen Einzug und werden heute in Industriebetrieben unter dem Begriff „Unternehmenslogistik“ als wettbewerbsentscheidende Schlüsselfaktoren behandelt. Innerhalb der Unternehmenslogistik kann zwischen Beschaffungs-, Produktions-, Distributions- und der unternehmensdurchgängigen Entsorgungslogistik unterschieden werden.<sup>69</sup>

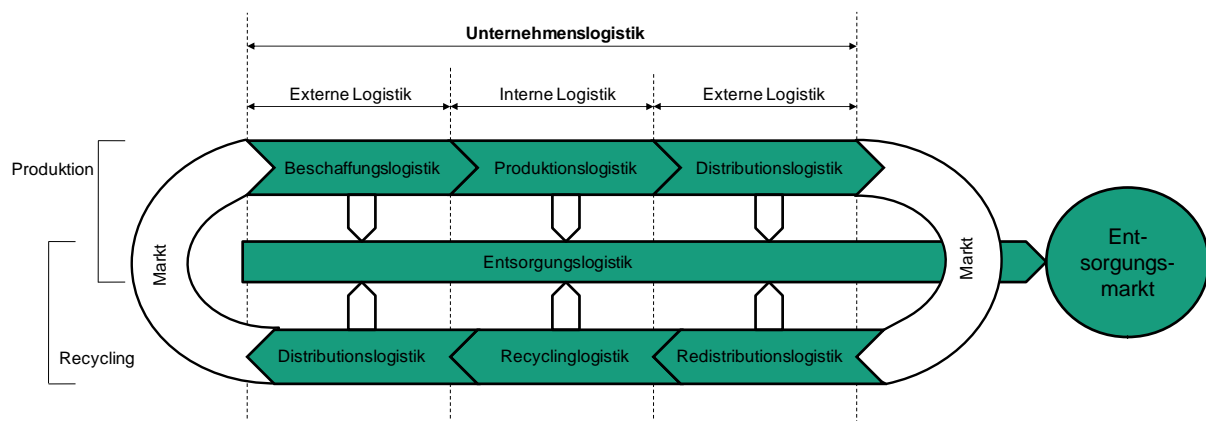


Abbildung 28: Bereiche der Unternehmenslogistik<sup>70</sup>

<sup>68</sup> Dieter, 2006, S.1.

<sup>69</sup> vgl. Wiendahl, 2010, S.48.

<sup>70</sup> Abbildung entnommen aus Wiendahl, 2010, S.48.

Bei Betrachtung der Internen Logistik, fällt vor allem die Produktionslogistik ins Gewicht. Zur Veranschaulichung ist es hilfreich, die Logistik als Kette von Beziehungen zwischen einzelnen Wirtschaftssystemen zu betrachten.<sup>71</sup>

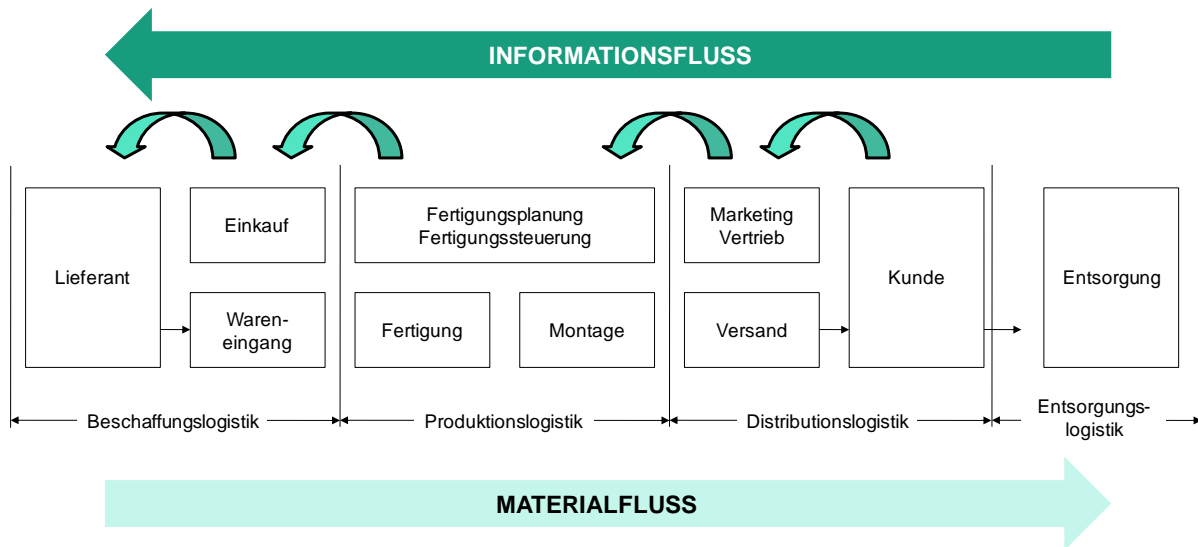


Abbildung 29: Logistische Kette<sup>72</sup>

Primäres Ziel der Produktionslogistik besteht darin, höchste Materialverfügbarkeit zu geringsten Kapitalkosten (Lagerhaltung) zu erreichen. Das produktionslogistische Zielsystem zur Beschreibung dieses Zusammenhangs besteht aus mehreren Abhängigkeiten. Die vom Markt wahrgenommene Logistikleistung und der unternehmensinternen Logistikkosten.

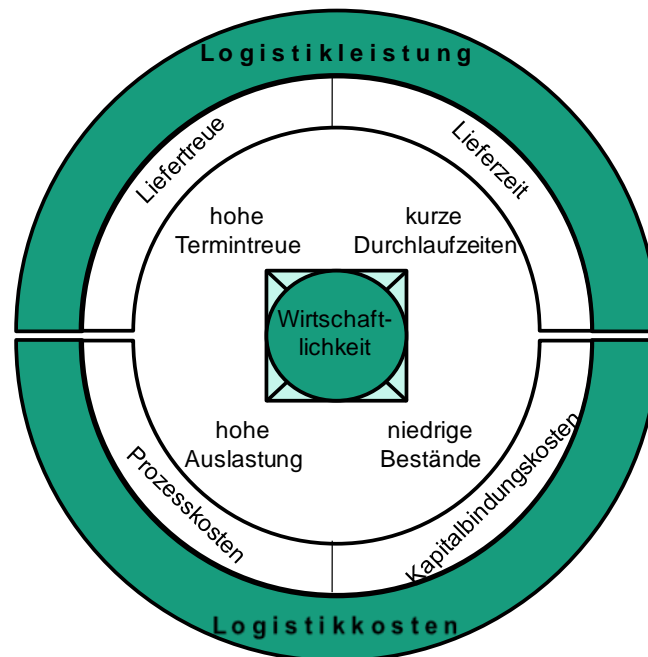


Abbildung 30: Zielsystem der Produktionslogistik<sup>73</sup>

<sup>71</sup> vgl. Koether, 2011, S.39.

<sup>72</sup> Abbildung entnommen aus Koether, 2011, S.39.



Hohe Liefertreue bedingt durch hohe Termintreue in der Auftragsabwicklung und kurze Lieferzeiten bedingt durch kurze Durchlaufzeiten lassen sich nur sehr schwer gemeinsam optimieren. Genauso wie niedrige Prozesskosten wegen hoher Arbeitsmitteleauslastung und geringe Kapitalbindungskosten aufgrund niedriger Bestände. Da sich alle Aspekte untereinander beeinflussen aber gleichzeitig optimiert werden sollen, entsteht ein interner Zielkonflikt der auch als „Dilemma der Produktionssteuerung“ bezeichnet wird.<sup>74</sup>

Um diese Ziele erreichen zu können, wird versucht den innerbetrieblichen Transport so kostengünstig wie möglich zu gestalten. Die Grundlage eines effizienten Materialtransportes bildet bereits die Fabrikplanung.

### **2.4.1 Fabrikplanung zur Optimierung der internen Logistik**

Unter Beachtung aller relevanten Planungsrestriktionen (z.B. bauliche Gegebenheiten) entsteht zu Beginn der Fabrikplanung das Groblayout des Produktionsbetriebes. Dabei werden einzelne Funktionsbereiche unter Berücksichtigung der erforderlichen Verkehrswege optimal angeordnet. Die Herausforderungen werden in einem mathematischen Modell, dem „Kürzeste-Wege-Problem“ behandelt. Es versucht für ein Paar von Knoten  $i$  und  $j$  den kürzesten verbindenden Weg zu identifizieren. Dafür kann entweder der kürzeste Weg von einem betrachteten Knoten zu allen anderen Knoten gefunden werden oder der kürzeste Weg zwischen allen Paaren unterschiedlicher Knoten. In beiden Varianten lässt sich das Problem aber einfach mit einer linearen Programmierung lösen.<sup>75</sup>

Nachstehende Grafik zeigt ein Beispiel für die gefundene Lösung eines Groblayouts, in dem zwei ähnliche Produkte gefertigt werden.

---

<sup>73</sup> Abbildung entnommen aus Wiendahl, 2010, S.252.

<sup>74</sup> vgl. Wiendahl, 2010, S.252f.

<sup>75</sup> vgl. Domschke, 2008, S.77.

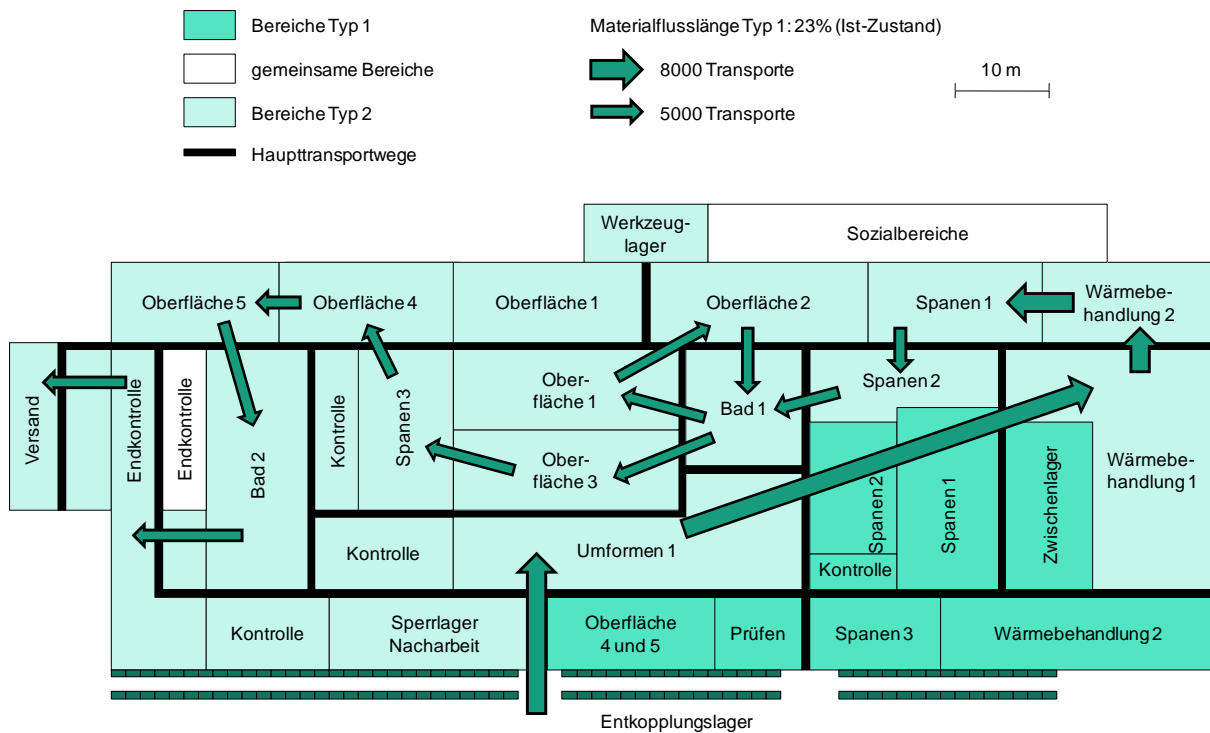


Abbildung 31: Groblayout eines Produktionsbetriebes mit Materialfluss<sup>76</sup>

In nächster Detaillierungsstufe erfolgt schließlich die Erstellung des Feinlayouts. Dabei werden Konzepte zu Maschinenaufstellungsplänen, Gestaltung einzelner Arbeitsplätze sowie zu Ver- und Entsorgungseinrichtungen ausgearbeitet.<sup>77</sup>

Idealerweise existieren einige alternative Layoutvarianten, die unter technologischen, logistischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten bewertet werden können. Nach erfolgter Betriebsmittelplanung gilt es die detaillierte technische Ausführung der innerbetrieblichen Materialversorgung zu planen. Dazu müssen zunächst die passenden logistischen Einheiten gebildet werden.<sup>78</sup>

## 2.4.2 Logistische Einheit<sup>79</sup>

Unter einer logistischen Einheit versteht man den Zusammenschluss von Gütern zu einer vorgegebenen Einheit, die dadurch praktikabel durch das logistische Netzwerk geschleust werden können. Eine gebildete logistische Einheit stellt das Bindeglied zwischen den einzelnen Phasen des Güterflusses dar. Da in einem logistischen Netzwerk stets unzählige Schnittstellen zu verschiedenen Arbeitsbereichen an unterschiedlichen Arbeitsorten vorhanden sind, müssen Form und Abmessungen der gebildeten Einheiten standardisiert sein. Dadurch wird ein reibungsloser Austausch der Waren gewährleistet und anfallende Kosten beim Güterfluss reduziert. Dieser Güterfluss kann jedoch nur in seltenen Fällen drastisch reduziert werden, da Lager-, Ver-

<sup>76</sup> Abbildung entnommen aus Wiendahl, 2010, S.239.

<sup>77</sup> vgl. Grundig, 2013, S.159.

<sup>78</sup> vgl. ebenda, S.116.

<sup>79</sup> vgl. Pfohl, 2003, S.154ff.

packungs-, Handhabungs-, Kontroll- und Transportvorgänge unverzichtbar in einer Produktion sind. Die Aneinanderreihung dieser Tätigkeiten wird als Transportkette bezeichnet und kann nur mithilfe von abgestimmten logistischen Einheiten optimal abgewickelt werden. Folgende Grundsätze charakterisieren die Bedeutung einer logistischen Einheit:

- Güter werden zu größeren Einheiten zusammengefasst
- Einheiten werden in Form und Abmessungen standardisiert
- Transport kann somit durch mechanische Hilfsmittel unterstützt werden
- Einheiten können gestapelt werden
- Verwendung von möglichst wenig verschiedenen Einheiten

Es gibt eine Vielzahl an Beispielen und Möglichkeiten logistische Einheiten zu bilden. Nachstehend sind die gängigsten Überbegriffe dargestellt.

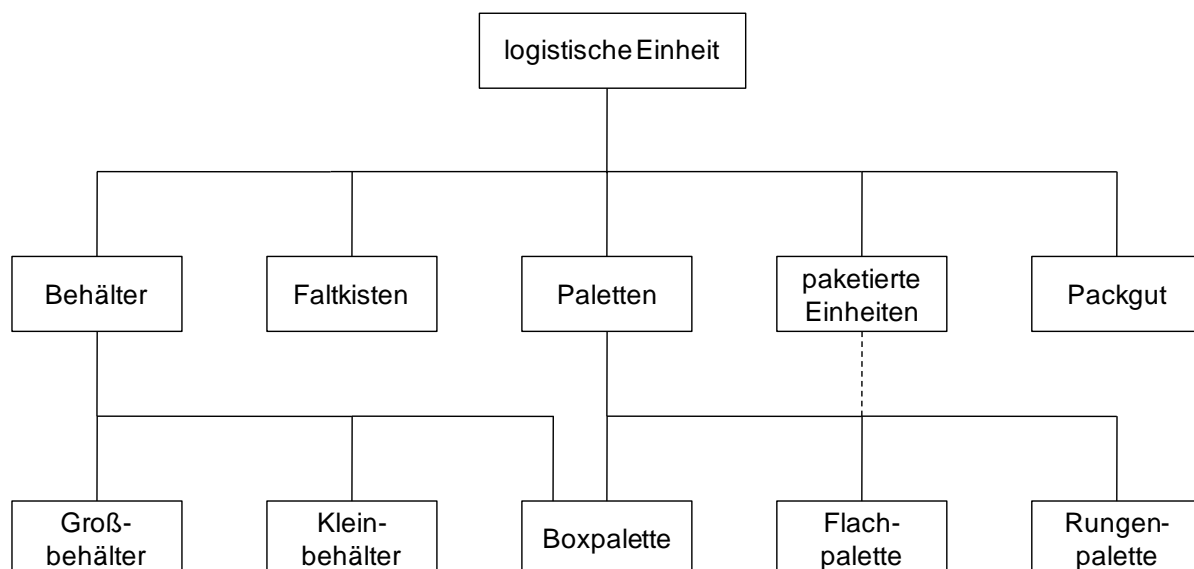


Abbildung 32: Möglichkeiten zur Bildung logistischer Einheiten<sup>80</sup>

Nachdem das Fabrikfeinlayout geplant wurde und der erwartete Materialbedarf der einzelnen Arbeitsstationen festgelegt wurde, gilt es die technische Ausführung der Materialflusssysteme zu planen.

### 2.4.3 Planung von Materialflusssystemen<sup>81</sup>

Der Großteil des Materialflusses findet in den Bereichen Produktion, Lagerung, Transport, Kommissionierung und Verpackung statt. Um den Material- und Informationsfluss optimal zu koordinieren, können unterschiedliche Methoden und Verfahren organisatorischer und technischer Art eingesetzt werden. Die möglichst enge Kopplung von Material- und Informationsfluss hilft folgende Ziele zu realisieren:

<sup>80</sup> Abbildung entnommen aus Pfohl, 2003, S.156.

<sup>81</sup> vgl. Koether, 2011, S.242ff.

- Konsistenz der gesamten Daten im Unternehmen
- Transparenter Materialfluss (optimale Materialkoordination und hohe Materialverfügbarkeit)
- Reduzierung der Durchlaufzeiten bei Minimierung von Beständen
- zuverlässige Termintreue bei höherer Maschinenauslastung
- Steigerung der Flexibilität und Fehlerreduktion
- Leistungssteigerung der Produktion bei Personalkostensenkung

Moderne Materialflusskonzepte müssen vollständig in das unternehmensspezifische Logistikkonzept, beginnend vom SCM über ERP bis hin zu MES, eingebunden werden.

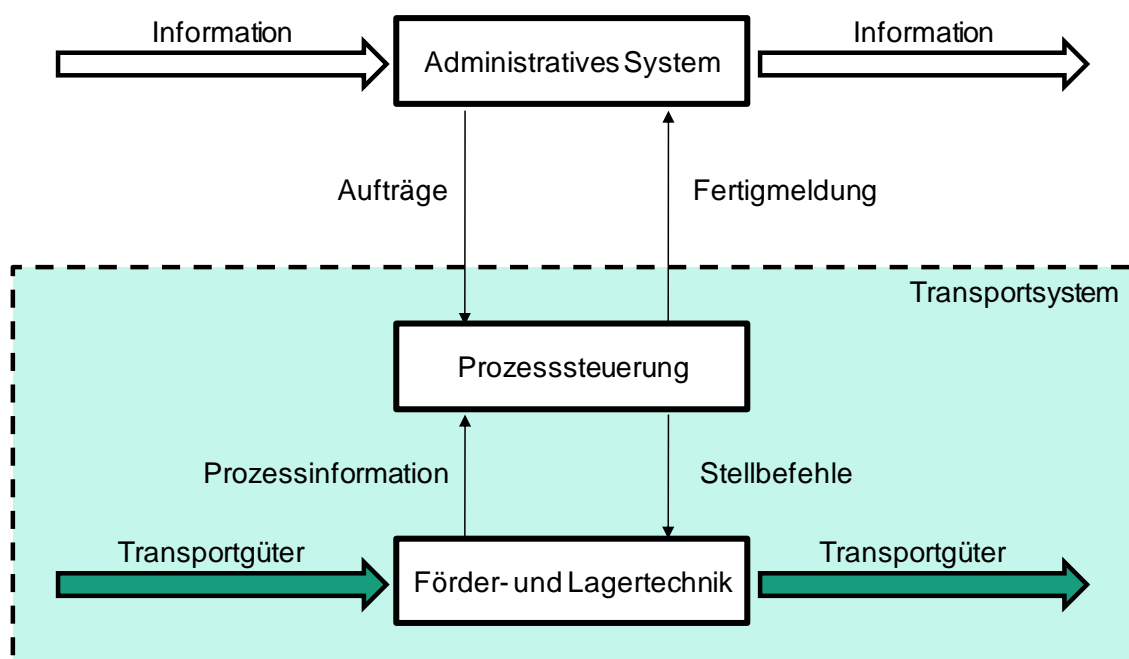


Abbildung 33: Aufbau automatischer Materialflusssysteme<sup>82</sup>

Die beiden wesentlichen Bestandteile eines Materialflusssystems sind das administrative System und das Transportsystem. Die teils hintereinander geschalteten und teils vernetzten Transport- und Lagersysteme bilden gemeinsam mit der Prozesssteuerung das Transportsystem. Das übergeordnete administrative System leitet Aufträge an das Transportsystem weiter und ist für die Planung sowie Überwachung des Materialflusses zuständig.

### Vorgehensweise bei der Planung von Materialflusssystemen

Durchgängige Lösungen besitzen hohe Vielschichtigkeit und sind nur mit einem interdisziplinären Spezialistenteam aus Anlagentechnik, Mechanik, Steuerungstechnik, Datenverarbeitung, Material- und Informationsflussprozessen und den Geschäftsprozessen lösbar. Die Vorgangsweise ist in sieben Schritte gegliedert:

<sup>82</sup> Abbildung entnommen aus Koether, 2011, S.243.

**1. Aufgabenstellung formulieren**

Die genauen Anforderungen an die Planung des Materialflusssystems sind zu formulieren.

**2. Planungsanalyse**

Erhebung des Ist-Zustandes und Formulierung des Zielzustandes.

**3. Prozessvarianten entwerfen (Grobplanung)**

Alle relevanten Einflussgrößen werden erfasst und alternative Pläne bezüglich Materialfluss, Raumnutzung und Automatisierungsgrad werden erarbeitet.

**4. Systemkonzepte entwerfen (Idealplanung)**

Aus den Alternativen lassen sich verschiedene technische und organisatorische Lösungskonzepte erarbeiten. Die Systeme werden in Hinblick auf Fließfertigung gestaltet.

**5. Dimensionierung, Überprüfung und Bewertung der Varianten (Realplanung)**

Die verschiedenen Systemkonzepte werden hinsichtlich Investitions- und Betriebskosten miteinander verglichen. Um alle Aspekte zu berücksichtigen (z.B. Gebäude, Energieversorgung) empfiehlt sich eine Grobsimulation.

**6. Feinplanung (Detailplanung)**

Hier wird ein Gesamtkonzept erstellt, das das Materialfluss- und Lagersystem mit dem benötigten Informations- und Steuerungsaufwand beschreibt. Die genauen Funktionsabläufe und die Erstellung eines Lastenheftes können mit Hilfe moderner Simulationsmethoden erstellt werden.

**7. Realisierung**

Während der Realisierungsphase müssen die Ausführungsarbeiten genauestens gesteuert und überwacht werden um potentielle Problemfelder frühzeitig zu erkennen.

Nachdem organisatorische Materialflusskonzepte erarbeitet wurden, gilt es den Anforderungen mit operativer Fördertechnik nachzukommen.

**Fördertechnik und innerbetrieblicher Materialfluss<sup>83</sup>**

Aufgabe des innerbetrieblichen Transportes ist die räumliche Überbrückung von Materialien. Dieser Transport wird auch als Fördern und die verwendeten Transportmittel als Fördermittel bezeichnet. Die Art des Fördergutes (z.B. Aggregatzustand, Maße, chemische Eigenschaften) bestimmt wesentlich die Wahl des Fördermittels. Auch die Förderintensität (Ladeinheit je Zeiteinheit) beeinflusst die Ausführung des innerbetrieblichen Transports. Die zur Verfügung stehenden Fördermittel werden nach verschiedenen Kriterien charakterisiert.

---

<sup>83</sup> vgl. Vry, 2008, S.165.

Die Unterscheidung erfolgt in flurfreie und flurgebundene Fördersysteme. Innerhalb der flurfreien Förderer gibt es Ausführungen für flächigen Materialfluss:<sup>84</sup>

- Kran – auf einem Träger verfährt eine Laufkatze samt Hubwerk

und spurgebundenen Fluss:

- Kreiskettenförderer – an einem umlaufenden Kettenantrieb sind Gehänge und Kette fest mit einem Laufwagen verbunden
- Power-and-Free-Förderer – die (Free-)Wagen laufen auf einer Schiene, die der Gewichtsaufnahme dient und werden bei Bedarf von einer (Power-)Kette, die kontinuierlich an einer darüber liegenden Schiene verläuft, mitgenommen
- Elektrohängebahn – auf einem Schienensystem verfahren individuell angetriebene Fahrzeuge.

Bei den flurgebundenen Fördersystemen wird in Flächenbedienung:

- Stapler
- Schleppzug

und in linienförmigem Materialfluss durch Spurführung:

- Paletten- und Behälterfördertechnik mit Rollenbahn oder Tragketten
- Schleppketten-Förderer mit (Hub-)Wägen auf Schienen
- fahrerlose Transportsysteme unterschieden

Abhängig von verschiedenen Zielgrößen in der Produktionslogistik wie Anzahl der Leer- und Wartezeiten, Kosten für Personal, Kapital (Investitionen) und Wartung können unterschiedliche Konzepte, oder die Kombination mehrerer Konzepte zweckmäßig sein. Investitionen in die Förderstrecken sind umso wirtschaftlicher je linienförmiger die Strecken verlaufen und mit einer großen aber gleichmäßigen Fördermenge zu rechnen ist. Abbildung 34 vergleicht qualitativ die benötigten Investitionen pro Fahrzeug und Förderstrecke der unterschiedlichen Systeme.

---

<sup>84</sup> vgl. Koether, 2011, S.289ff.

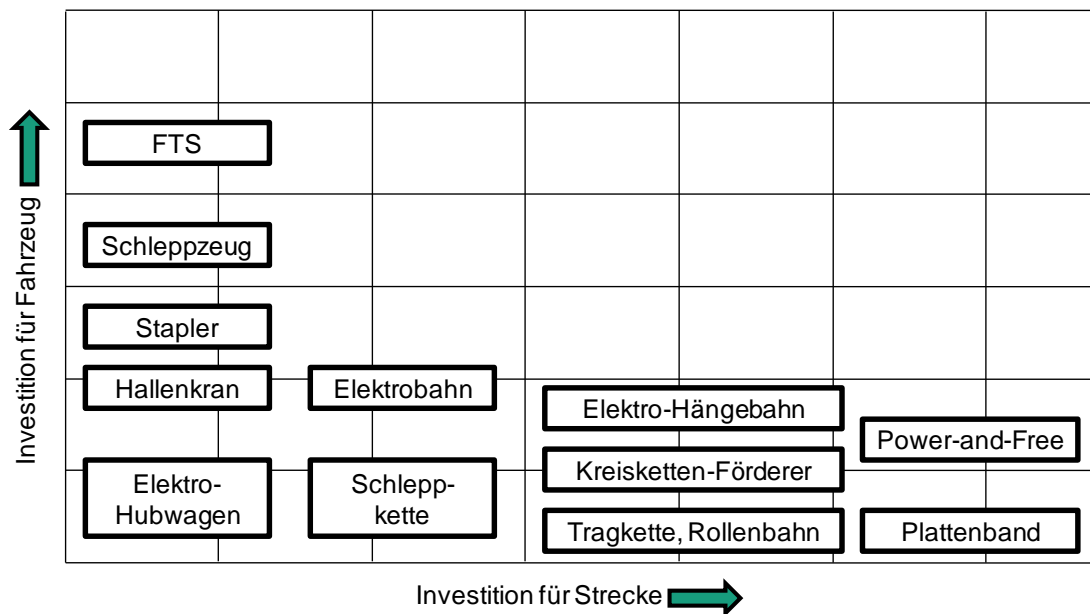


Abbildung 34: Qualitativer Vergleich der Investitionen in Förderstrecke und Fahrzeug von Fördersystemen<sup>85</sup>

### Kommissionierung<sup>86</sup>

Die Kommissionierung ist Teil der Auftragsabwicklung und beschäftigt sich mit der Zusammenstellung unterschiedlicher Güter für einen Kundenauftrag. Da der Prozess vom Kunden bezahlt wird (z.B. mengenabhängige Preise) ist er prinzipiell wertschöpfend. Allerdings tritt speziell bei Kommissionierungstätigkeiten erhebliche Verschwendung auf. Potentiale der Optimierung bilden sich vor allem bei der Reduktion der Wegzeiten, der Rüst- und Orientierungszeiten und der Greifzeiten.

- Reduzierung von Wegzeiten

Beim Prinzip „Mann zu Ware“ bewegt sich der Kommissionierarbeiter im Lager von Regal zu Regal. Ähnlich eines Supermarktes werden die geforderten Teile in einem Kommissionierwagen gesammelt. Maßnahmen zur Reduktion der Zeit sind die Verwendung von angetriebenen Kommissionierfahrzeugen oder die wegoptimale Anordnung der Kommissionierzeilen. Bei dem System „Ware zu Mann“ entfallen zwar die Wegzeiten des Kommissionierarbeiters, dafür müssen die Lagerbehälter zum Kommissionierplatz gefördert und wieder abtransportiert werden. Dieser Zweck wird oft von Karusselllager, Durchlaufregalanlagen oder Paternosterregalen erfüllt.

- Reduzierung von Rüst- und Orientierungszeiten

Die Einsparungspotentiale sind hierbei begrenzt. Verbesserungen können durch die Einsparung von Belegen bei der Informationsübermittlung erzielt werden. So kommen häufig Bildschirme zur Anzeige der Materialposition und Leuchtanzeigen bei

<sup>85</sup> Abbildung entnommen aus Koether, 2011, S.309.

<sup>86</sup> vgl. Koether, 2011, S.343ff.

den Lagerfächern zum Einsatz. Verkürzte Orientierungszeiten lassen sich auch bei der Bereitstellung nur eines Entnahmebehälters beim Kommissionierprinzip „Ware zu Mann“ feststellen.

- Reduzierung von Greifzeiten

Möglichkeiten ergeben sich durch die ergonomische Gestaltung des Entnahmeplatzes oder die vollständige Automatisierung des Greifvorganges. In der Praxis wird oft vom Kommissionierpersonal selbstständig die Methode der „inversen Kommissionierung“ angewandt. Ein Beispiel verdeutlicht die Vorgangsweise: Eine Bestellung erfordert von einem bestimmten Artikel 50 Stück. Der Mitarbeiter zählt auf der Bereitstellungseinheit (Palette) noch 60 Stück dieses Artikels. Daraufhin legt er 10 dieser Teile in seinen Kommissionierwagen (Palette) und tauscht die beiden Paletten aus.

Nachdem einzelne Methoden der Materialflussplanung nun beschrieben wurden, gilt es Steuerungsmethoden zu finden, die den innerbetrieblichen Materialfluss auslösen bzw. überwachen. Darunter fallen Werkzeuge wie das Fortschrittzahlenkonzept, der „Kanban-Regelkreis“, die belastungsorientierte Auftragsfreigabe oder auch der „Constant Work in Process-Regelkreis“, die nachstehend beschrieben werden.

#### 2.4.4 Fortschrittzahlenkonzept<sup>87</sup>

Als Fortschrittzahlen werden kumulierte Mengen von Teilen verstanden, die in einem Diagramm dargestellt werden. Die im Vorhinein geplanten Mengenangaben werden als Soll-Fortschrittzahlen und die tatsächlich realisierten Mengen als Ist-Fortschrittzahlen über der Zeit dargestellt. So kann die Versorgung über einen längeren Zeitraum hinweg gut gesteuert werden.

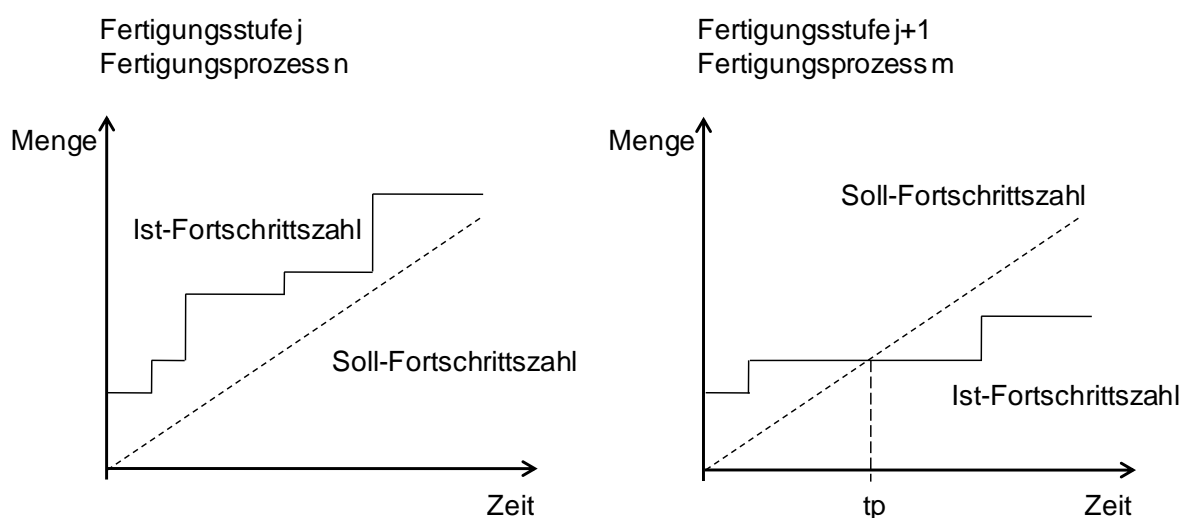


Abbildung 35: Vergleich von Fortschrittzahlen<sup>88</sup>

<sup>87</sup> vgl. Kluck, 2008, S.159f.



Im linken Bild arbeitet die Fertigung über den Vorgaben. Der Unterschied kann bei Skalierung der Achsen sowohl in Menge als auch in Zeit angegeben werden. Das rechte Bild weist ab dem Zeitpunkt  $t_p$  eine Unterproduktion auf. Das Hinterherhinken der Ist-Fortschrittszahlen führt zu Verzögerungen im darauf folgenden Fertigungsprozess und kann nur durch Kapazitätsanpassungsmaßnahmen aufgeholt werden.

### 2.4.5 Kanban<sup>89</sup>

Eine weit verbreitete Methode zur Optimierung der innerbetrieblichen Materialversorgung bildet die Kanban-Steuerung. Die organisatorische Einbindung der Kanban-Steuerung kann überblicksmäßig in folgender Hierarchie veranschaulicht werden:

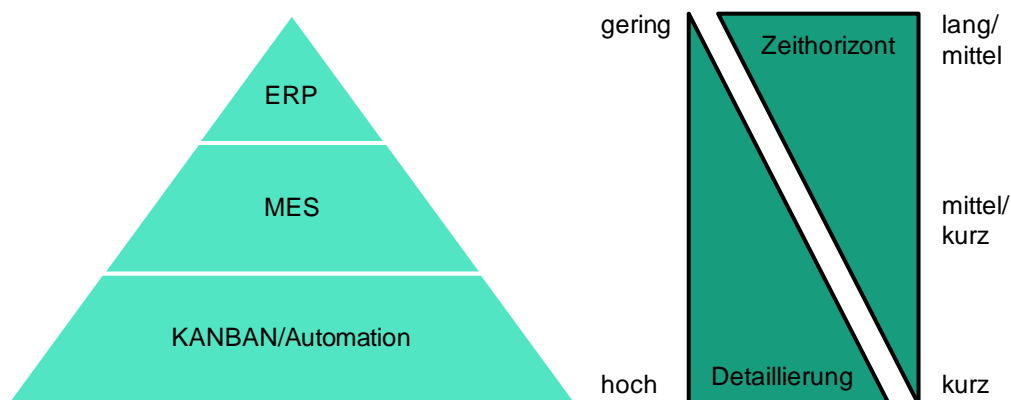


Abbildung 36: Beziehung zwischen ERP, MES und Kanban<sup>90</sup>

Dargestellt sind auch der zeitliche Horizont der Planungsentscheidungen, sowie der Informationsgehalt bezüglich des operativen Produktionsablaufs.

Das Kanban-System beschreibt einen verbrauchsgesteuerten Ansatz, bei dem der gesamte Materialfluss wie in einem Supermarkt organisiert wird. Sobald der Verbraucher eine bestimmte Menge an Teilen aus den Regalen genommen hat, wird die entstandene Lücke nach Unterschreiten des Meldebestands, automatisch von den Versorgern wieder aufgefüllt. Der Vorteil liegt dabei bei einem geringen Steuerungsaufwand und sehr einfachen Regelmechanismen. Außerdem wird der Materialbedarf an der benötigten Stelle ausgelöst und so die gewünschte Pull-Steuerung verwirklicht. Die wichtigsten Elemente der Kanban-Steuerung sind:

- Über ein System sich selbst steuernder Regelkreise sind stets Bereiche mit Materialverbrauch (Senke) und dazugehöriger erzeugender Bereiche (Quelle) miteinander verbunden.
- Schaffung eines Zwischenlagers (Puffers) zwischen den beiden Bereichen, das Unregelmäßigkeiten und Störungen im Fertigungsablauf ausgleicht.

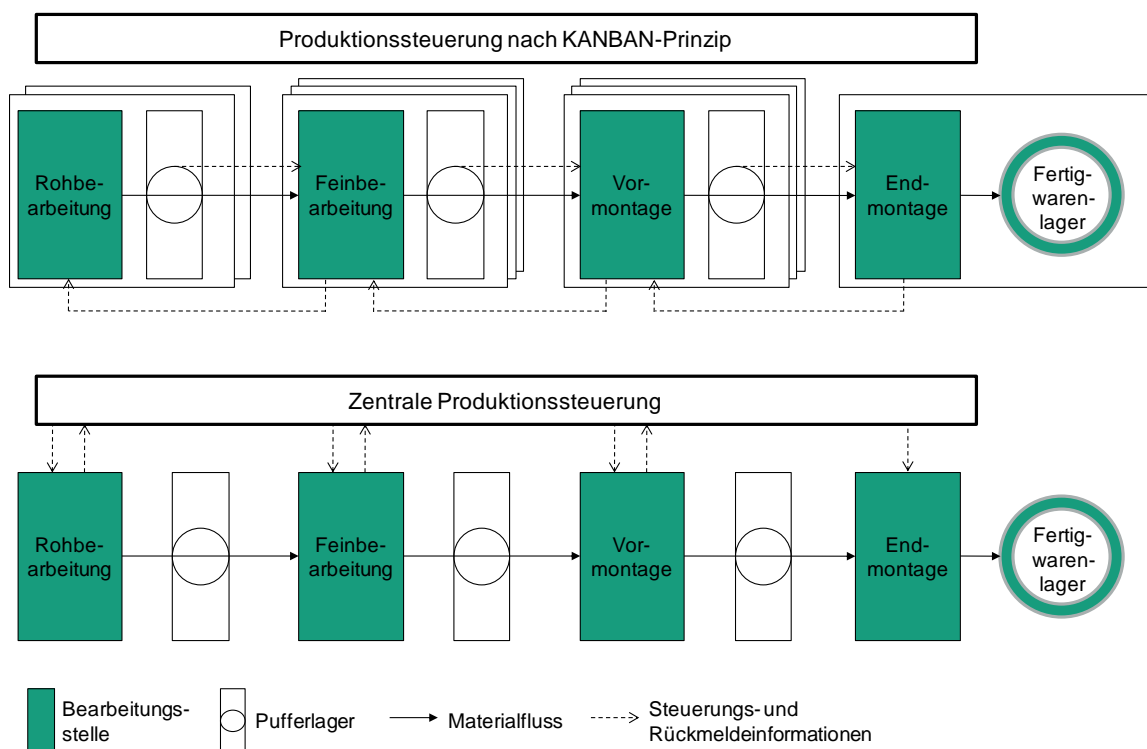
<sup>88</sup> Abbildung entnommen aus Kluck, 2008, S.159.

<sup>89</sup> vgl. Wiendahl, 2010, S.340ff.

<sup>90</sup> Abbildung entnommen aus Kletti, 2011, S.13.

- Auslösung der Aufträge durch die jeweils nachfolgenden verbrauchenden Bereiche.
- Einführung sogenannter Kanban-Karten, die als Informationsträger der Fertigungssteuerung dienen.
- Operative Mitarbeiter tragen kurzfristige Verantwortung für termin-, mengen- und qualitätsgerechte Ausführung

Die Informations- und Materialflüsse erfolgen beim Kanban-System ausschließlich zwischen den beteiligten Bereichen. Somit wird die zentrale Steuerungseinheit entlastet und Koordinationsaufwand reduziert.



**Abbildung 37: Unterschied der Material- und Informationsflüsse zwischen Kanban und zentraler Produktionssteuerung<sup>91</sup>**

Sobald die benötigten Teile den Meldebestand unterschritten haben, fordert der Verbraucher unter Einsatz der Kanban-Karte eine Nachproduktion an. Die Handlungen, die mit diesen Karten ausgelöst werden sind:

- die betreffenden Teile herstellen
- die angegebene Menge in der festgelegten Behälterart ablegen
- mit der richtige Kanban-Karte ausstatten
- den Transportbehälter samt den Teilen wieder zum Verbraucher liefern

<sup>91</sup> Abbildung entnommen aus Wiendahl, 2010, S.341.

Die Kanban-Karte dient neben der Initiierung eines Fertigungsauftrages auch zur Identifikation der Teile in einem Transportbehälter und kann folgendermaßen aufgebaut sein:


| Kanban                          |                        |   |                      |
|---------------------------------|------------------------|---|----------------------|
| Teilebezeichnung<br>Welle       | Behälterart<br>Palette | Kartennummer<br>3 (8)   |                      |
| Ident-Nr. 1223122               | Stück/Behälter 10      |   |                      |
| Erzeugender Bereich<br>2207 455 |                        | Verbrauchender Bereich<br>1022 013  | Lieferzeit<br>2 Tage |
| Rohmaterial-Nr.<br>171655       |                        | Arbeitsplan-Nr.<br>231222   |                      |
| Barcode                         |                        |  |                      |

Abbildung 38: Beispiel für eine Kanban-Karte<sup>92</sup>

Zusätzlich können zwei Arten von Kanban unterschieden werden:<sup>93</sup>

- Produktions-Kanban: löst die Produktion von Teilen aus
- Transport-Kanban: initiiert den Transport der Teile

Abhängig von betrieblichen Gegebenheiten kann der passende Kanban-Typ gewählt werden. In manchen Fällen ist es sogar ratsam beide Kanbans kombiniert einzuführen. Eine Erweiterung dieses Systems bilden die elektronischen Kanbans.

### Elektronischer Kanban<sup>94</sup>

Heute basieren PPS-Systeme überwiegend auf computerunterstützten Modellen. Die zunehmende Integration der Daten verschiedener Unternehmensbereiche schafft die Grundlage elektronischer Kanbans. Die ursprünglichen Kanban-Karten werden bei diesem Prinzip mit zwei Barcodes versehen. Die Vorgangsweise folgt einem einfachen Kreislauf:

<sup>92</sup> Abbildung entnommen aus Wiendahl, 2010, S.342.

<sup>93</sup> vgl. Koether, 2011, S.113.

<sup>94</sup> vgl. Koether, 2011, S.118f.

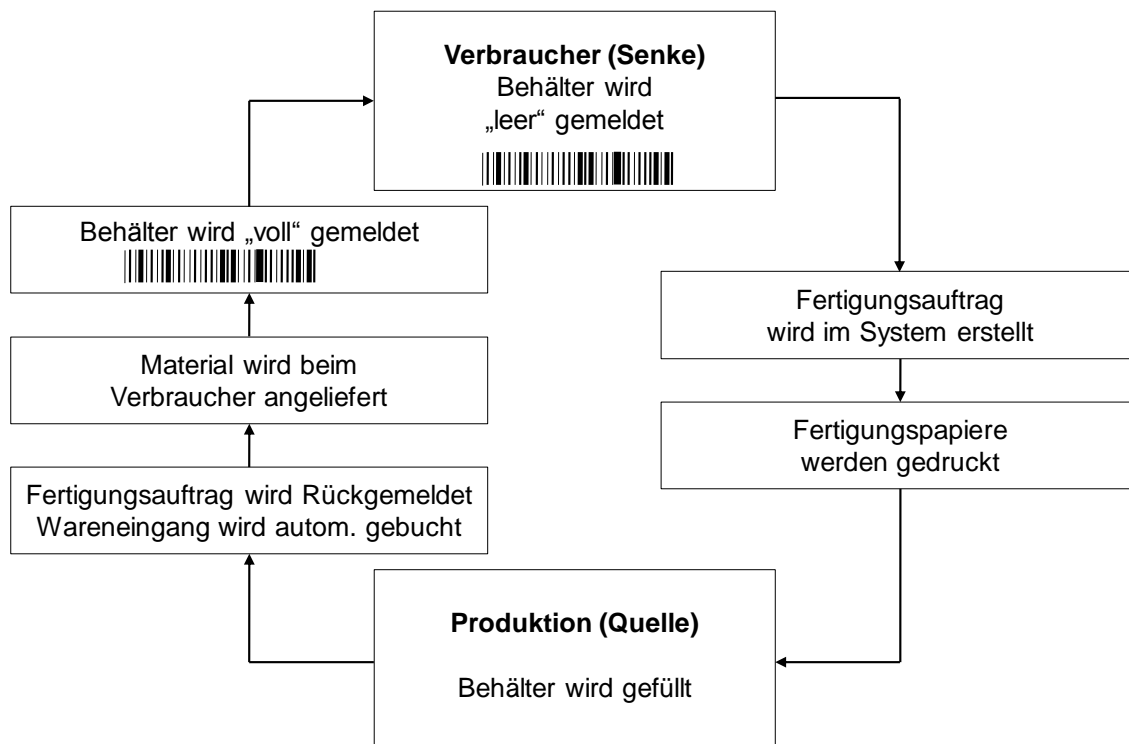


Abbildung 39: Funktionsweise mit elektronischen Kanban<sup>95</sup>

Bei unterschreiten des Meldebestands meldet der Verbraucher mithilfe eines Barcode-Lesegerätes den leeren Behälter. Daraufhin erfolgt automatisch der Auftrag für die Fertigung. Bei Anlieferung des neuen Bestands wird mit dem zweiten Barcode ein voller Behälter gemeldet. Dieser Kreislauf beschränkt sich dabei nicht nur auf die interne Fertigung sondern kann auch mit externen Lieferanten abgewickelt werden.

#### 2.4.6 Belastungsorientierte Auftragsfreigabe (BOA)<sup>96</sup>

Ein weiteres Konzept der Auftragsfreigabe bildet die BOA. Abbildung 40 stellt die konventionelle Freigabe der belastungsorientierten Auftragsfreigabe gegenüber. Beide Verfahren überprüfen die Durchführbarkeit der im Rahmen der Mengenplanung bestimmten Fertigungsaufträge. Abhängig von den erforderlichen Kapazitäten kann eine Aussage getroffen werden, ob vereinbarte Liefertermine gehalten werden können oder nicht. Häufig wird dabei auch geprüft ob das benötigte Material und die Betriebsmittel zur Verfügung stehen. Die als durchführbar eingestuftten Aufträge werden schließlich freigegeben und die verbleibenden Aufträge vorläufig zurückgestellt.

<sup>95</sup> Abbildung entnommen aus Koether, 2011, S.119.

<sup>96</sup> vgl. Koether, 2011, S.155ff.

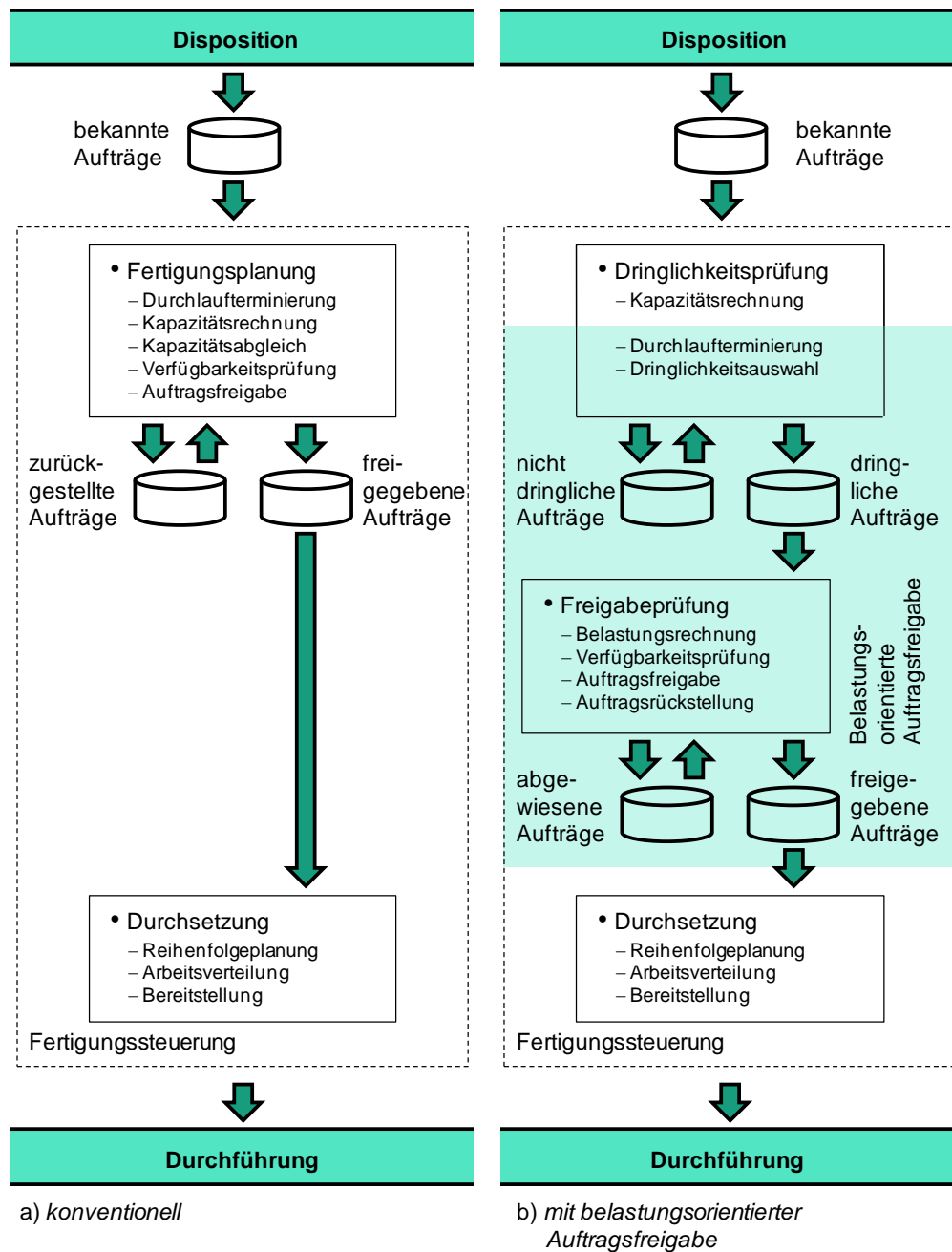


Abbildung 40: Gegenüberstellung von konventioneller Auftragsfreigabe und BOA<sup>97</sup>

Die BOA startet mit einer Dringlichkeitsprüfung, in der alle Aufträge einer Rückwärts-terminierung unterzogen werden. Die unterschiedlichen Starttermine dieser Aufträge bestimmen in weiterer Folge die Dringlichkeit eines Auftrags. Dringliche Aufträge werden in der Freigabeprüfung auf Überschreitung von maximal zulässigen Belastungswerten je Kapazitätseinheit überprüft und freigegeben. Aufträge die eine kritische Kapazitätsauslastung überschreiten werden zunächst zurückgestuft und die kritischen Arbeitspakete aufgelistet. Können durch gezielte Kapazitätsanpassungsstrategien diese Arbeitspakete entschärft werden, gelangen auch diese Aufträge zur Freigabe. Ziel der BOA ist es also, nur jene Aufträge freizugeben, die voraussichtlich

<sup>97</sup> Abbildung entnommen aus Koether, 2011, S.156.

in der nächsten Periode abgearbeitet werden können. Statt komplexen Kapazitäts- und Terminrechnungen wird also lediglich der Zugang an Aufträgen kontrolliert.

### 2.4.7 Constant Work in Process (CONWIP)<sup>98</sup>

Diese Methode zählt zu den jüngsten Entwicklungen in der Fertigungssteuerung. Sie fungiert als Weiterentwicklung der Kanban-Steuerung mit dem zusätzlichen Ziel einer Reduzierung der Zwischenbestände. Daher leitet sich auch die Bezeichnung „CONWIP“ ab, da Umlaufbestände an Zwischenerzeugnissen in der englischsprachigen Literatur als Work in Process (WIP) bezeichnet werden. Das Prinzip beruht auf einem Zusammenspiel aus Push- und Pull-Steuerung. Analog zu einem Kanban-System bei dem Kanban-Karten viele kleine Regelkreise selbststeuern existieren hierbei eine konstant gehaltene Anzahl an CONWIP-Karten, die einen großen gemeinsamen Regelkreis autonom steuern.

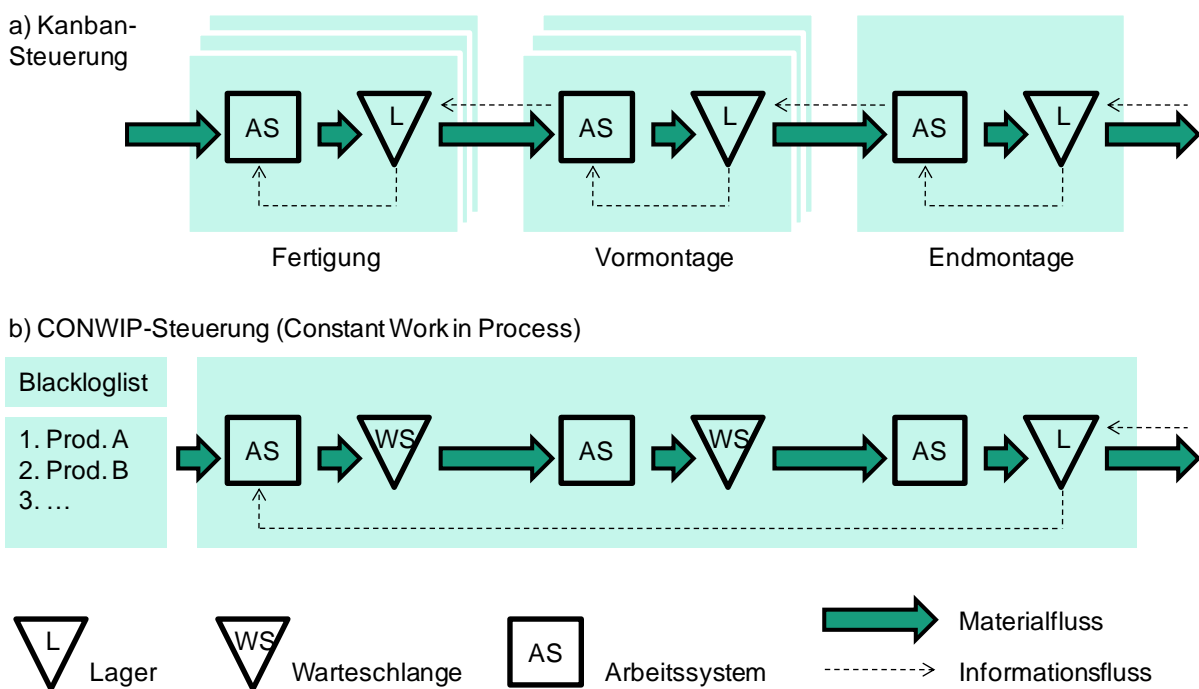


Abbildung 41: Funktionsweise der Kanban- und CONWIP-Steuerung<sup>99</sup>

Eine CONWIP-Karte repräsentiert also einen gesamten Fertigungsauftrag. Nach erfolgter Auftragsfreigabe einer übergeordneten Instanz, muss vor Beginn des Produktionsablaufs auf eine freie CONWIP-Karte gewartet werden. Ist der Auftrag dann erst einmal in Bearbeitung, werden die Arbeitsstationen wie bei einer Push-Steuerung durchlaufen. Somit können keine variantenspezifischen Puffer zwischen den einzelnen Produktionsstufen entstehen. Das System kann auch, bei im Vorhinein bekannten Produktionsengpässen von Zwischenerzeugnissen an kritischen Arbeitsbereichen, angewendet werden. Hier wird ein Auftrag erst endgültig freigegeben, wenn

<sup>98</sup> vgl. Koether, 2011, S.164ff.

<sup>99</sup> Abbildung entnommen aus Koether, 2011, S.166.

einerseits eine CONWIP-Karte verfügbar ist und andererseits die Engpassproduktion abgeschlossen wurde. Diese spezielle Variante der CONWIP-Steuerung wird als „pull-from-bottleneck“ bezeichnet.

Mit Kapitel 2 wurde die theoretische Grundlage dieser Arbeit gelegt. Schritt für Schritt wurden verbreitete Methoden und Anwendungen moderner PPS-Systeme vorgestellt. Es wurde auf die Notwendigkeit einer ordnungsgemäßen Produktionsprogrammplanung und den Möglichkeiten einer rigorosen Materialbedarfsplanung hingewiesen. Darüber hinaus wurden auf Vorgangsweisen zu zuverlässiger Losgrößenplanung, Termin- und Kapazitätsplanung, Reihenfolgeplanung und Feinterminierung sowie zu Maßnahmen der Durchlaufzeitverkürzung eingegangen. Möglichkeiten der computerunterstützten Ressourcensteuerung und Auftragsüberwachung wurden mit effizienten Methoden wie ERP-Systemen und elektronischen Leitständen geliefert. Ein weiterer theoretischer Block beschäftigte sich mit den Vorgängen in der Produktionslogistik, die einen Teil der Intralogistik darstellt. Unter diesem Begriff wurden Methoden zur Fabrikplanung, zu Versorgungskonzepten, zur Auftragsfreigabe und zu verbreiteten Materialflusssystemen zusammengefasst.

Mit diesem theoretischen Rüstzeug wird es nun möglich sein, das von der RWTH Aachen am Institut für Rationalisierung entwickelte Konzept zur Erarbeitung eines unternehmensweiten PPS-Systems, rigoros zu analysieren. Dazu wird der Ist-Zustand des Modells genau dargelegt und Schritt für Schritt erläutert. Danach werden im Zuge einer GAP-Analyse mögliche produktionslogistische Planungslücken identifiziert, die zu Terminverzögerungen führen können. Nach dem Aufzeigen potentieller Schwachstellen im Aachener PPS-System, werden die Errungenschaften als Soll-Zustand in das PPS-System eingearbeitet. Das Ergebnis dieser Arbeit stellt somit ein verbessertes Planungssystem, unter Berücksichtigung der Produktionslogistik, für die interne Auftragsabwicklung dar.

### 3 Praxisteil / Praktische Umsetzung

Die PPS-Systeme der meisten Industrieunternehmen folgen den Ausführungen des Aachener PPS-Modells. Folglich beziehen sich die Darstellungen der vorliegenden Arbeit ebenfalls auf dieses Modell. Dabei liegt der Fokus besonders auf der Produktionslogistik eines Betriebs, weshalb die erweiterte Betrachtung der Netzwerksicht nur eine untergeordnete Rolle spielt.

#### 3.1 Aachener PPS-System<sup>100</sup>

Am Institut für Rationalisierung der RWTH Aachen wurde seit 1993 das gleichnamige PPS-Modell entwickelt, bis es 1998 erstmals veröffentlicht wurde.<sup>101</sup> Es erlaubt die Betrachtung der unternehmensweiten PPS aus vier unterschiedlichen Referenzsichten, der Aufgaben-, der Prozessarchitektur-, der Funktions- und der Prozesssicht.

##### Aufgabensicht

Die Aufgabenreferenzsicht stellt eine allgemeingültige, hierarchische Abstraktion der grundlegenden Aufgaben in der PPS dar. Dabei lassen sich die Tätigkeiten in drei Aufgabengruppen gliedern, den Netzweraufgaben, den Kernaufgaben und den Querschnittsaufgaben. Auf die Ausführungen der Netzweraufgaben wird an dieser Stelle jedoch nicht näher eingegangen.

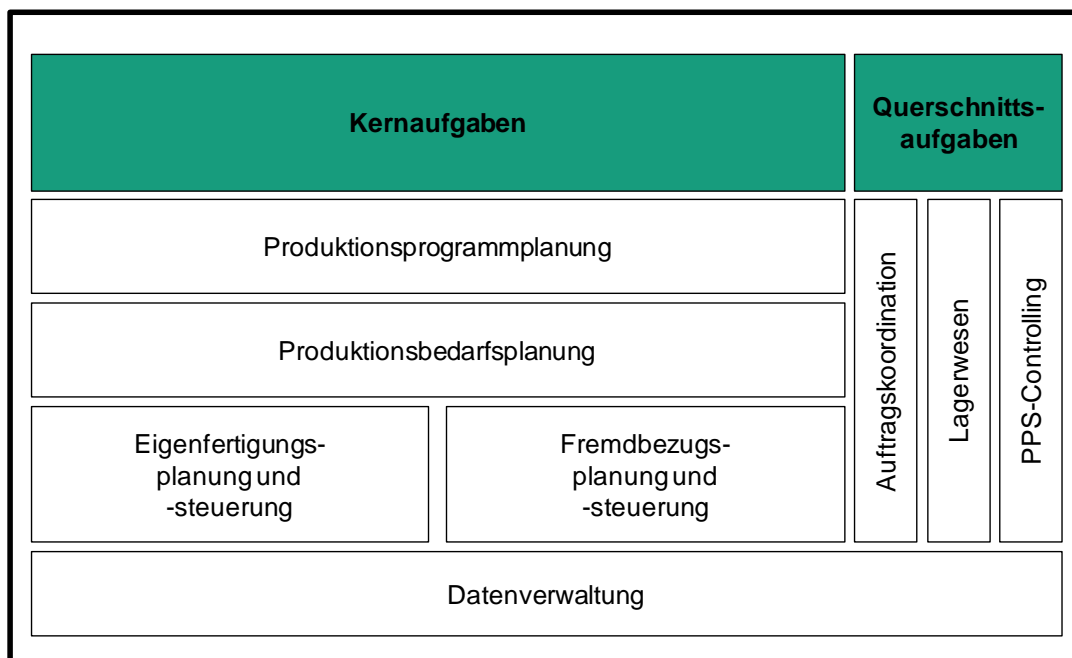


Abbildung 42: Entscheidungsfelder des Aachener PPS-Modells<sup>102</sup>

<sup>100</sup> vgl. Schuh, 2006, S.18ff.

<sup>101</sup> vgl. ebenda, S.5.

<sup>102</sup> Abbildung entnommen aus Haasis, 2008, S.206.



Die richtungsweisenden Aufgaben der Produktionsprogrammplanung und der Produktionsbedarfsplanung, sowie die Entscheidung über Eigenfertigung und Fremdbezug, werden als Kernaufgaben gesehen. Sie lassen sich jedoch nur unter ständiger Berücksichtigung der Auftragskoordination und des Lagerwesens lösen. Die allumfassende Datenverwaltung liefert die nötige Information für ein zielgerichtetes PPS-Controlling.

### **Prozessarchitektursicht**

Mit der Prozessarchitektursicht werden die Aufgabenreferenzsicht und die Prozessreferenzsicht miteinander verknüpft. Die innerbetrieblichen Tätigkeiten der Aufgabensicht werden abhängig von vier verschiedenen Betriebstypen (Unterscheidung nach Merkmalsausprägungen) in dem Prozessreferenzmodell strukturiert zusammengefasst. Um die überbetrieblichen Netzwerkabläufe der Aufgabensicht ebenfalls in der Prozessreferenzsicht darstellen zu können, müssen in der Prozessarchitektursicht weitere Dimensionen eingeführt und bewertet werden.

### **Prozesssicht**

In der Prozesssicht werden die Aufgaben aus der Aufgabensicht in einer zeitlich-logischen Ordnung grafisch dargestellt. Darüber hinaus werden auch Schnittstellen zu den vor- und nachgelagerten Stellen sowie zu externen Partnern (Netzwerkaufgaben) gekennzeichnet. Es wird eine übersichtliche Darstellung der realen Gegebenheiten eines Unternehmens angestrebt, um ein aussagefähiges und in sich stimmiges Prozessmodell für ein konkretes Produktionsunternehmen ableiten zu können. Je nach Merkmalsausprägung lassen sich vier verschiedene Unternehmenstypen unterscheiden:

- Auftragsfertiger
- Rahmenauftragsfertiger
- Variantenfertiger
- Lagerfertiger

Die Darstellung der zugrundeliegenden Prozesse lässt sich anschaulich mit den folgenden Symbolen visualisieren.

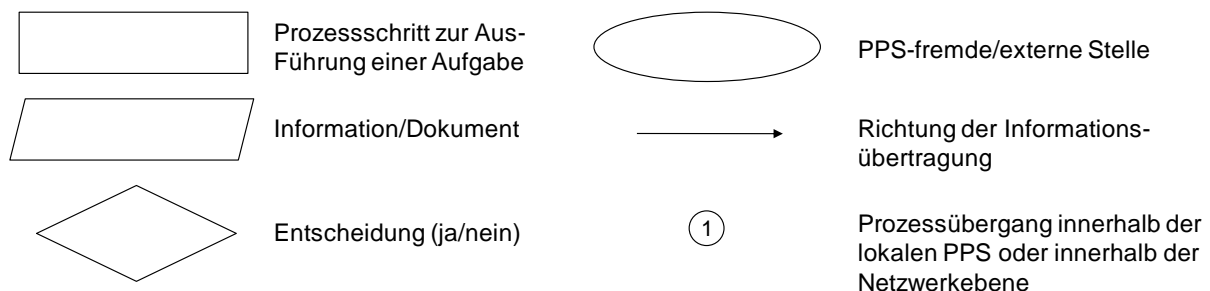


Abbildung 43: Modellierungselemente im Referenzmodell<sup>103</sup>

## Funktionssicht

Bei der Funktionssicht liegt der Fokus bereits auf der operativen Ausführung der in der Prozessreferenzsicht definierten Prozesse. Diese Prozesse enthalten in der Regel klar definierbare (Teil-)Aufgaben, die durch ein IT-System unterstützt werden können. Unter dem IT-Begriff kommen im Aachener PPS-Modell vor allem *Enterprise Resource Planning Systeme (ERP-Systeme)* bzw. *Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme (PPS-Systeme)* in Betracht. Mit der Funktionsreferenzsicht lassen sich die Anforderungen an solch IT-Systeme beschreiben.

## 3.2 Ausführungen nach zwei Auftragsabwicklungstypen<sup>104</sup>

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf das Aachener PPS-System unter dem Blickwinkel der Prozessreferenzsicht. Ferner werden nur jene Prozesse der internen Auftragsabwicklung untersucht, die bei Eigenfertigung abzuarbeiten sind. Mit dem Aachener PPS-Modell lassen sich beliebige Produktionsunternehmen in vier verschiedene Auftragsabwicklungstypen (Auftrags- bzw. Rahmenauftrags-, die Varianten- und die Lagerfertigung) einteilen. Dabei erfolgt die Unterscheidung nach zwölf verschiedenen Auftragsabwicklungsmerkmalen, die nachstehend beschrieben werden.

### Auftragsauslösungsart

Dieses Merkmal beschreibt die Art wie der Auftragsabwicklungsprozess initiiert wird. Der Primärbedarf kann auf vier unterschiedliche Weisen ausgelöst werden. Neben den direkten Kundenaufträgen (Produktion auf Bestellung mit Einzel- oder mit Rahmenaufträgen) und den prognostizierten Absatzerwartungen (Produktion auf Lager) existiert auch eine Mischform (kundenanonyme Vorproduktion/kundenauftragsbezogene Endproduktion) der beiden Varianten. Dabei werden Erzeugniskomponenten kundenanonym vorgefertigt und das Produkt bei Eingehen eines Auftrags kundenspezifisch endgefertigt.

<sup>103</sup> Abbildung entnommen aus Schuh, 2006, S.111.

<sup>104</sup> vgl. Schuh, 2006, S.122ff.

|   |   |  |                      |
|---|---|--|----------------------|
| Produktion auf Bestellung mit Einzelaufträgen | Produktion auf Bestellung mit Rahmenaufträgen | kundenanonyme-/ kundenauftragsbezogene Endproduktion | Produktion auf Lager |
|---|---|--|----------------------|

Abbildung 44: Merkmalsausprägung nach Auftragsauslösungsart<sup>105</sup>

### Erzeugnisspektrum

Das Erzeugnisspektrum beschreibt den Grad der Standardisierung einer Erzeugnis-konstruktion und charakterisiert in weiterer Folge den Kundeneinfluss auf die Gestaltung eines Erzeugnisses. Dabei reicht die Bandbreite von Produkten die fast ausschließlich nach Kundenspezifikation (Neukonstruktion) gefertigt werden bis hin zu Erzeugnis-konstruktionen ohne jeglichen kundenspezifischen Einfluss. Dazwischen existieren Ausführungsvarianten die mit einem unterschiedlich hohen Anteil an Standardkomponenten den Kundenanforderungen mit Anpassungskonstruktionen gerecht werden.

|                                      |   |                                    |                                     |
|--------------------------------------|---|------------------------------------|-------------------------------------|
| Erzeugnisse nach Kundenspezifikation | typisierte Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten | Standard-erzeugnisse mit Varianten | Standard-erzeugnisse ohne Varianten |
|--------------------------------------|---|------------------------------------|-------------------------------------|

Abbildung 45: Merkmalsausprägung nach Erzeugnisspektrum<sup>106</sup>

### Erzeugnisstruktur

Der konstruktive Aufbau der Erzeugnisse kann mit der Strukturtiefe (Anzahl der Struktur-stufen) und der Strukturbreite (Anzahl der Stücklistenpositionen) differenziert werden.

|  |  |                           |
|--|--|---------------------------|
| mehrteilige Erzeugnisse mit komplexer Struktur | mehrteilige Erzeugnisse mit einfacher Struktur | geringteilige Erzeugnisse |
|--|--|---------------------------|

Abbildung 46: Merkmalsausprägung nach Erzeugnisstruktur<sup>107</sup>

### Ermittlung des Erzeugnis-/ Komponentenbedarfs

Die fünf vorliegenden Ausprägungen charakterisieren einerseits die Art der Bedarfsermittlung und andererseits die Strukturstufe des Erzeugnisses, auf der die Ermittlung des benötigten Bedarfs durchgeführt wird. Während bedarfsorientierte Ausprägungen direkt auf Kundenbestellungen eingehen, beschreibt die erwartungsorientierte Bedarfsermittlung den Absatz überwiegend aufgrund Prognosen. Die Strukturstufe unterscheidet zwischen der Komponentenebene (Baukastenprinzip aus Stan-

<sup>105</sup> Abbildung entnommen aus Schuh, 2006, S.122.

<sup>106</sup> Abbildung entnommen aus ebenda, S.123.

<sup>107</sup> Abbildung entnommen aus ebenda, S.124.

standard- und Variantenkomponenten) und der Erzeugnisebene (Endmontage aus den vorgefertigten Komponenten).

|                                      |  |   |   |   |
|--------------------------------------|--|---|---|---|
| bedarfsorientiert auf Erzeugnisebene | erwartungs- & bedarfsorientiert auf Komponentenebene | erwartungsorientiert auf Komponentenebene | erwartungsorientiert auf Erzeugnisebene | verbrauchsorientiert auf Erzeugnisebene |
|--------------------------------------|--|---|---|---|

Abbildung 47: Merkmalsausprägung nach Ermittlung des Erzeugnis-/ Komponentenbedarfs<sup>108</sup>

### Auslösung des Sekundärbedarfs

Die drei Merkmalsausprägungen zur Auslösung des Sekundärbedarfs können sofort bei jeder einzelnen Kundenbestellung (auftragsorientiert) oder gesammelt zu definierten Zeitpunkten (periodenorientiert) erfolgen. Es existiert auch eine Mischform beider Varianten.

|                    |   |                    |
|--------------------|---|--------------------|
| auftragsorientiert | teilw. auftragsorientiert/<br>teilw. periodenorientiert | periodenorientiert |
|--------------------|---|--------------------|

Abbildung 48: Merkmalsausprägung nach Auslösung des Sekundärbedarfs<sup>109</sup>

### Beschaffungsart

Der durchschnittliche Anteil an fremdbezogenen Bedarfspositionen wird errechnet. Dabei stellen Quoten von über achtzig Prozent weitgehenden Fremdbezug dar, während ein Anteil unter 10% als unbedeutend bezeichnet wird.

|                         |                               |                        |
|-------------------------|-------------------------------|------------------------|
| weitgehender Fremdbezug | Fremdbezug in größerem Umfang | Fremdbezug unbedeutend |
|-------------------------|-------------------------------|------------------------|

Abbildung 49: Merkmalsausprägung nach Beschaffungsart<sup>110</sup>

### Bevorratung

Bei der Bevorratung von Bedarfspositionen erweist sich die Einteilung in vier verschiedene Kategorien als zweckmäßig. Die Unterscheidung ist dabei abhängig von der Strukturebene der bevorrateten Bedarfspositionen, wobei Rohmaterialien und Normteile hier nicht berücksichtigt werden.

<sup>108</sup> Abbildung entnommen aus Schuh, 2006, S.125.

<sup>109</sup> Abbildung entnommen aus ebenda, S.127.

<sup>110</sup> Abbildung entnommen aus ebenda, S.128.

|   |  |   |                              |
|---|--|---|------------------------------|
| keine Bevorratung von Bedarfspositionen | Bevorratung von Bedarfspositionen auf unteren Strukturebenen | Bevorratung von Bedarfspositionen auf oberen Strukturebenen | Bevorratung von Erzeugnissen |
|---|--|---|------------------------------|

Abbildung 50: Merkmalsausprägung nach Bevorratung<sup>111</sup>

## Fertigungsart

Eine Aussage über die Leistungswiederholung in einem Produktionsprozess bildet die Fertigungsart ab. Als Maß für die Beurteilung werden hier die Kriterien einer durchschnittlichen Auflagenhöhe und einer durchschnittlichen Wiederholhäufigkeit der Erzeugnisse pro Jahr untersucht. Während bei der Einmalfertigung praktisch keine Wiederholungen und allenfalls geringe Auflagenhöhen zu verzeichnen sind, beschreibt die Massenfertigung die Situation einer beliebig hohen Auflage. Die Grenze zwischen Einzel- und Kleinserienfertigung und Serienfertigung verläuft fließend und kann oft nur qualitativ angegeben werden. Liegen höhere Werte für die Wiederholhäufigkeit als zwölf vor, wird öfter als einmal pro Monat mit einem neuen Los gestartet was die Einteilung in eine Serienfertigung legitimiert.

|                 |                                  |                 |                 |
|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|
| Einmalfertigung | Einzel- und Kleinserienfertigung | Serienfertigung | Massenfertigung |
|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|

Abbildung 51: Merkmalsausprägung nach Fertigungsart<sup>112</sup>

## Ablaufart in der Teilefertigung

In der Ablaufart kann mithilfe zweier Kriterien, nämlich der räumlichen Anordnung der Fertigungsmittel und den Transportbeziehungen zwischen den Fertigungsmitteln, in vier verschiedene Ausprägungen unterteilt werden. Die Werkstattfertigung beschreibt die Situation in der Fertigungsmittel mit gleichem Bearbeitungsverfahren zu räumlichen Einheiten zusammengefasst werden (Dreherei, Fräserei etc.) und somit zwangsläufig ein ungerichteter Materialfluss zwischen den einzelnen Fertigungseinheiten entsteht. Die Ausprägung der Inselfertigung definiert eine Zusammenlegung von verschiedenen Fertigungsmitteln, wodurch fertigungstechnisch ähnliche Teilegruppen (Teilfamilien) mithilfe variablen Materialflusses vollständig bearbeitet werden können. Bei der Reihenfertigung erfolgt die Anordnung der Fertigungsmittel im Sinne der Arbeitsablauffolge einer Teilfamilie. Somit entsteht ein gerichteter Materialfluss, wobei einzelne Arbeitsstationen übersprungen werden können um eine größere Bandbreite an Teilen zu erzeugen. Der Materialfluss bei der Fließfertigung unterliegt zusätzlich, aufgrund der Verkettung der Arbeitsstationen, einem gemeinsamen Taktzwang

<sup>111</sup> Abbildung entnommen aus Schuh, 2006, S.129.

<sup>112</sup> Abbildung entnommen aus ebenda, S.130.

|                    |                |                 |                |
|--------------------|----------------|-----------------|----------------|
| Werkstattfertigung | Inselfertigung | Reihenfertigung | Fließfertigung |
|--------------------|----------------|-----------------|----------------|

Abbildung 52: Merkmalsausprägung nach Ablaufart in der Teilefertigung<sup>113</sup>

### Ablaufart in der Montage

Die Unterscheidung der Ablaufart in der Montage bedient sich im Wesentlichen zweier Kriterien. Einerseits den Bewegungsablauf der Montageobjekte und andererseits den Grad der Arbeitsteilung. Dadurch entsteht u.a. die Baustellenmontage bei der ortsfeste Montageobjekte den ortsfesten Arbeitsplätzen zugeordnet werden. Somit erfolgt die Montage entweder in den Hallen der Hersteller oder direkt an Baustellen beim Kunden. Die Fließmontage beschreibt die Situation in der die Montage in einem hohen Detaillierungsgrad unter gerichtetem Materialfluss und abgestimmten Taktzeiten erfolgt. Die Gruppenmontage sowie die Reihenmontage beschreiben analog zur Teilefertigung allfällige Zwischenstufen und Mischformen.

|                   |                |               |              |
|-------------------|----------------|---------------|--------------|
| Baustellenmontage | Gruppenmontage | Reihenmontage | Fließmontage |
|-------------------|----------------|---------------|--------------|

Abbildung 53: Merkmalsausprägung nach Ablaufart in der Montage<sup>114</sup>

### Fertigungsstruktur

Unter der Fertigungsstruktur ist die durchschnittliche Anzahl an aufeinanderfolgender Fertigungs- oder Montageabschnitte zu verstehen. Eine Fertigung mit geringem Strukturierungsgrad weist weniger als zehn Arbeitsgänge auf. Beläuft sich die Anzahl jedoch auf über zwanzig Fertigungs- oder Montageschritte liegt ein hoher Strukturierungsgrad vor.

|   |   |  |
|---|---|--|
| Fertigung mit hohem Strukturierungsgrad | Fertigung mit mittleren Strukturierungsgrad | Fertigung mit geringen Strukturierungsgrad |
|---|---|--|

Abbildung 54: Merkmalsausprägung nach Fertigungsstruktur<sup>115</sup>

### Kundenänderungseinflüsse während der Fertigung

Darunter versteht man einen Störfaktor, bei dem gestalterische Änderungsmaßnahmen infolge verspätet eingehender Kundenwünsche (nach Beginn der Fertigung) berücksichtigt werden müssen. Umfangreiche Umplanungsmaßnahmen können

<sup>113</sup> Abbildung entnommen aus Schuh, 2006, S.131.

<sup>114</sup> Abbildung entnommen aus ebenda, S.132.

<sup>115</sup> Abbildung entnommen aus ebenda, S.134.

Auswirkungen auf die übrige Auftragsituation haben. Die Unterscheidung erfolgt nach dem durchschnittlichen Anteil der Aufträge, der nach Beginn der Fertigung aufgrund verspäteter Kundenwünsche gestalterischen Änderungseinflüssen unterworfen ist. Ab einer Quote von 25% spricht man von Änderungseinflüssen in größerem Umfang.

|                                       |                                 |                                |
|---------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Änderungseinflüsse in größerem Umfang | Änderungseinflüsse gelegentlich | Änderungseinflüsse unbedeutend |
|---------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|

**Abbildung 55: Merkmalsausprägung nach Kundenänderungseinflüssen während der Fertigung<sup>116</sup>**

Mithilfe dieser Merkmalsausprägungen lässt sich ein beliebiger Produktionsbetrieb klassifizieren und ein entsprechendes Prozessreferenzmodell der internen Auftragsabwicklung anwenden. Je nach Kombination der zwölf Merkmalsausprägungen kann ein Fertigungsunternehmen durch einen der vier Auftragsabwicklungstypen (Auftrags- bzw. Rahmenauftrags-, die Varianten- und die Lagerfertigung) charakterisiert werden. Es sei noch erwähnt, dass ein Betrieb auch mehrere dieser idealtypischen Auftragsabwicklungsformen in sich vereinen kann und entsprechende Mischformen Anwendung finden.

### 3.2.1 Auftragsfertiger<sup>117</sup>

Die Bestellungen eines Industrieunternehmens, das als Auftragsfertiger identifiziert wird, werden vom Kunden initiiert. Es liegt somit das Konzept einer kundenauftragsbezogenen Einmalfertigung bzw. Einzelfertigung vor. Oft werden Sondermaschinenbauer, Anlagenbauer oder Apparatebauer als Auftragsfertiger bezeichnet.

Die entsprechende Kombination aus Merkmalsausprägungen, die einen Auftragsfertiger ausmacht, ist in nachstehender Tabelle zusammengefasst.

<sup>116</sup> Abbildung entnommen aus Schuh, 2006, S.134.

<sup>117</sup> vgl. Schuh, 2006, S.135ff.

| Merkmal |  | Merkmalsausprägung                             |  |   |  |   |
|---------|--|--|--|---|--|---|
| 1       | Auftragsauslösungsart                          | Produktion auf Bestellung mit Einzelaufträgen  | Produktion auf Bestellung mit Rahmenaufträgen                | kundenanonyme-/Kundenauftragsbezogene Endproduktion         | Produktion auf Lager                       |   |
| 2       | Erzeugnisspektrum                              | Erzeugnisse nach Kundenspezifikation           | typisierte Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten      | Standarderzeugnisse mit Varianten                           | Standarderzeugnisse ohne Varianten         |   |
| 3       | Erzeugnisstruktur                              | mehrteilige Erzeugnisse mit komplexer Struktur |  | Mehrteilige Erzeugnisse mit einfacher Struktur              | geringteilige Erzeugnisse                  |   |
| 4       | Ermittlung des Erzeugnis-/Komponentenbedarfs   | bedarfsorientiert auf Erzeugnisebene           | erwartungs- & bedarfsorientiert auf Komponentenebene         | erwartungsorientiert auf Komponentenebene                   | erwartungsorientiert auf Erzeugnisebene    | verbrauchsorientiert auf Erzeugnisebene |
| 5       | Auslösung des Sekundärbedarfs                  | auftragsorientiert                             |  | teilw. auftragsorientiert/teilw. periodenorientiert         | periodenorientiert                         |   |
| 6       | Beschaffungsart                                | weitgehender Fremdbezug                        |  | Fremdbezug in größerem Umfang                               | Fremdbezug unbedeutend                     |   |
| 7       | Bevorratung                                    | keine Bevorratung von Bedarfspositionen        | Bevorratung von Bedarfspositionen auf unteren Strukturebenen | Bevorratung von Bedarfspositionen auf oberen Strukturebenen | Bevorratung von Erzeugnissen               |   |
| 8       | Fertigungsart                                  | Einmalfertigung                                | Einzel- und Kleinserienfertigung                             | Serienfertigung   | Massenfertigung                            |   |
| 9       | Ablaufart in der Teilefertigung                | Werkstattfertigung                             | Inselfertigung   | Reihenfertigung   | Fließfertigung                             |   |
| 10      | Ablaufart in der Montage                       | Baustellenmontage                              | Gruppenmontage   | Reihenmontage   | Fließmontage                               |   |
| 11      | Fertigungsstruktur                             | Fertigung mit hohem Strukturierungsgrad        |  | Fertigung mit mittlerem Strukturierungsgrad                 | Fertigung mit geringem Strukturierungsgrad |   |
| 12      | Kundenänderungseinflüsse während der Fertigung | Änderungseinflüsse in Größerem Umfang          |  | Änderungseinflüsse gelegentlich                             | Änderungseinflüsse unbedeutend             |   |

**Tabelle 1: Idealtypische Merkmalsausprägung eines Auftragsfertigers<sup>118</sup>**

Ausgehend von dieser Charakterisierung kann nun das Prozessreferenzmodell der internen Auftragsabwicklung für einen Auftragsfertiger nach dem Aachener PPS-Modell skizziert werden. Dabei ist es zweckmäßig das Prozessmodell abschnittsweise zusammenzufassen um Übersichtlichkeit zu bewahren.

Nach der kundenindividuellen Initiierung des Auftragsmanagements unterliegt eine Anfrage unternehmensseitig einer Anfrageerfassung. Dabei werden große Mengen an Information erhoben und erste Machbarkeitsüberlegungen finden statt. Vor allem

<sup>118</sup> Tabelle entnommen aus Schuh, 2006, S.137.



die technischen Realisierungsmöglichkeiten samt Risiken, sowie die tatsächliche Auftragswahrscheinlichkeit einer Kundenanfrage werden anhand vergangener Erfahrungsdaten ausgearbeitet. Im Auftragsgrobdesign werden bereits erste Skizzen und Konstruktionen samt Stücklisten erstellt. Diese bilden Grundlage für die anschließende Lieferterminermittlung. Da die Auftragsfertigung den höchsten Individualcharakter besitzt, können die entsprechenden Daten oft nur aus Vergleichsprojekten oder dem Erfahrungsschatz bezogen werden. Für den erstellten Leistungsumfang wird schließlich noch ein Preis kalkuliert und somit kann dem Kunden ein fertiges Angebot samt technischen Spezifikation und kaufmännischen Konditionen übermittelt werden.

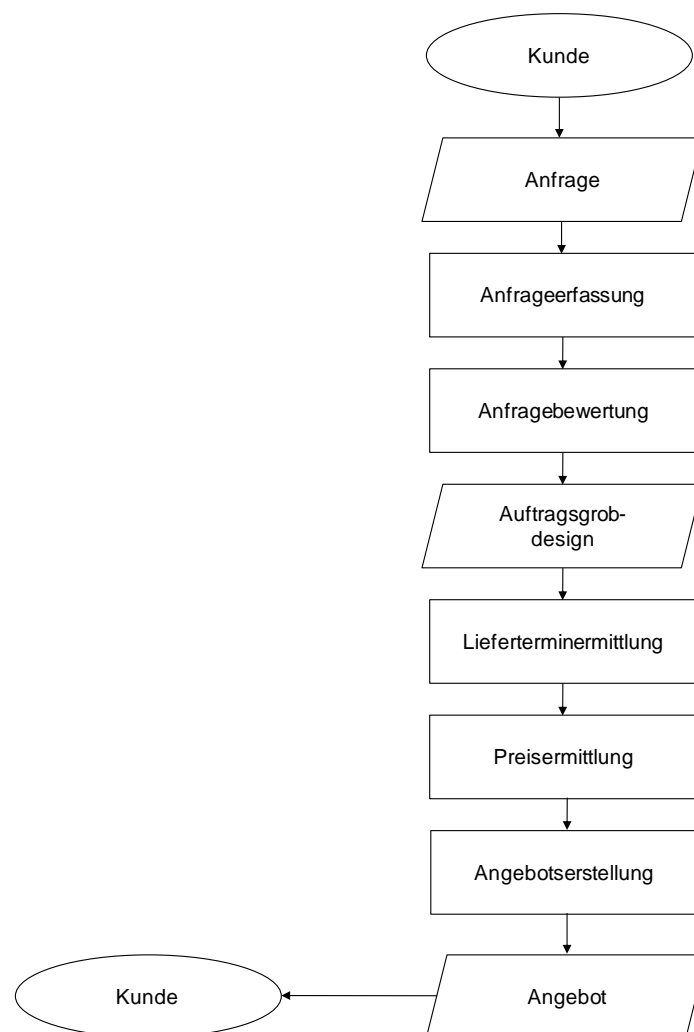


Abbildung 56: Prozessmodell eines Auftragsfertigers – Anfrageerfassung und Angebotserstellung<sup>119</sup>

Nach erteiltem Arbeitsauftrag werden die beauftragten Kundenspezifikationen in der Auftragsklärung mit den angebotenen Leistungen verglichen (siehe Abbildung 57). Das Gesamtprojekt wird in Teilprobleme zerlegt und den entsprechenden Abteilungen zugeordnet. Anschließend werden den Teilprojekten in der Auftragsgrobter-

<sup>119</sup> Abbildung entnommen aus Schuh, 2006, S.142.

minierung Ecktermine zugeteilt und der Auftrag hinsichtlich terminlicher Realisierbarkeit geprüft. In der Ressourcengrobplanung erfolgt eine Gegenüberstellung der benötigten Ressourcen den verfügbaren Kapazitäten. Daraufhin können bekannte Langläufer (Teile und Rohstoffe deren Wiederbeschaffungszeit länger ausfällt als die geplante (Teil-) Durchlaufzeit) vorab disponiert werden. Nach Fertigstellung der Auftragsstruktur werden den betroffenen Fachabteilungen der Teilprojekte die Konstruktionsaufträge erteilt. Diese liefern sowohl Konstruktionszeichnungen, Stücklisten und ungefähre Arbeitspläne aufgrund derer Maschinenkapazitäten genauer geplant werden können. Kann ein Teilprojekt grundsätzlich realisiert werden, wird es für die Produktionsbedarfsplanung freigegeben. Treten jedoch kurzfristig Änderungswünsche seitens des Kunden oder anderwärtige Konstruktionsrestriktionen auf, kann es zu unerwarteten Terminverzögerungen kommen und eine neue Auftragsgrobterminierung samt Ressourcengrobplanung wird nötig.

Auftragsfertiger zeichnen sich durch einen besonders hohen inner- und außerbetrieblichen Kommunikationsaufwand aus. Dieser wird meist von einer Auftragskoordination gesteuert, die als Leitstelle eingerichtet ist.

Das Prozessreferenzmodell in Abbildung 58 beschreibt die eigentliche Produktionsprogrammplanung. Diese gewährleistet termingerechte Auslieferung oder sogar eine Verkürzung der Durchlaufzeiten eines Auftrags. Anhand der Nachfrageentwicklung am Markt kann die Absatzplanung zentral oder dezentral in den einzelnen Produktionsstätten erfolgen. Da der Auftragsfertiger jedoch individuellen Kundenwünschen nachkommt, kann der Absatz nur auf Produktgruppenebene prognostiziert werden. Anhand dieser Schätzungen kann die Liquiditätsplanung (Zu- und Abflüsse von Kapital) für die betrachtete Periode erfolgen. Auf Basis der Absatzplanung kann nun kundenanonym die Bereitstellung von Baugruppen und Teile für die entsprechenden Produktgruppen initiiert werden. Dabei werden die Bruttosekundärbedarfe (Rohmaterialien und Normteile) ermittelt und über Interaktion des Bestandsmanagements, nach Abzug der Lagerstände an Baugruppen und Komponenten, der benötigte Nettosekundärbedarf ermittelt. Somit kann der Bedarf über den betrachteten Zeithorizont grob terminiert werden. Anschließend beginnt die regelkreisartige Überprüfung ob die benötigten Bedarfe für die Absatzprognosen ausreichen oder ob zusätzlich Ressourcen bereitgestellt werden müssen. Sind schließlich die entsprechenden Mittel vorhanden, kann die (Teil-)Aufgabe freigegeben werden.

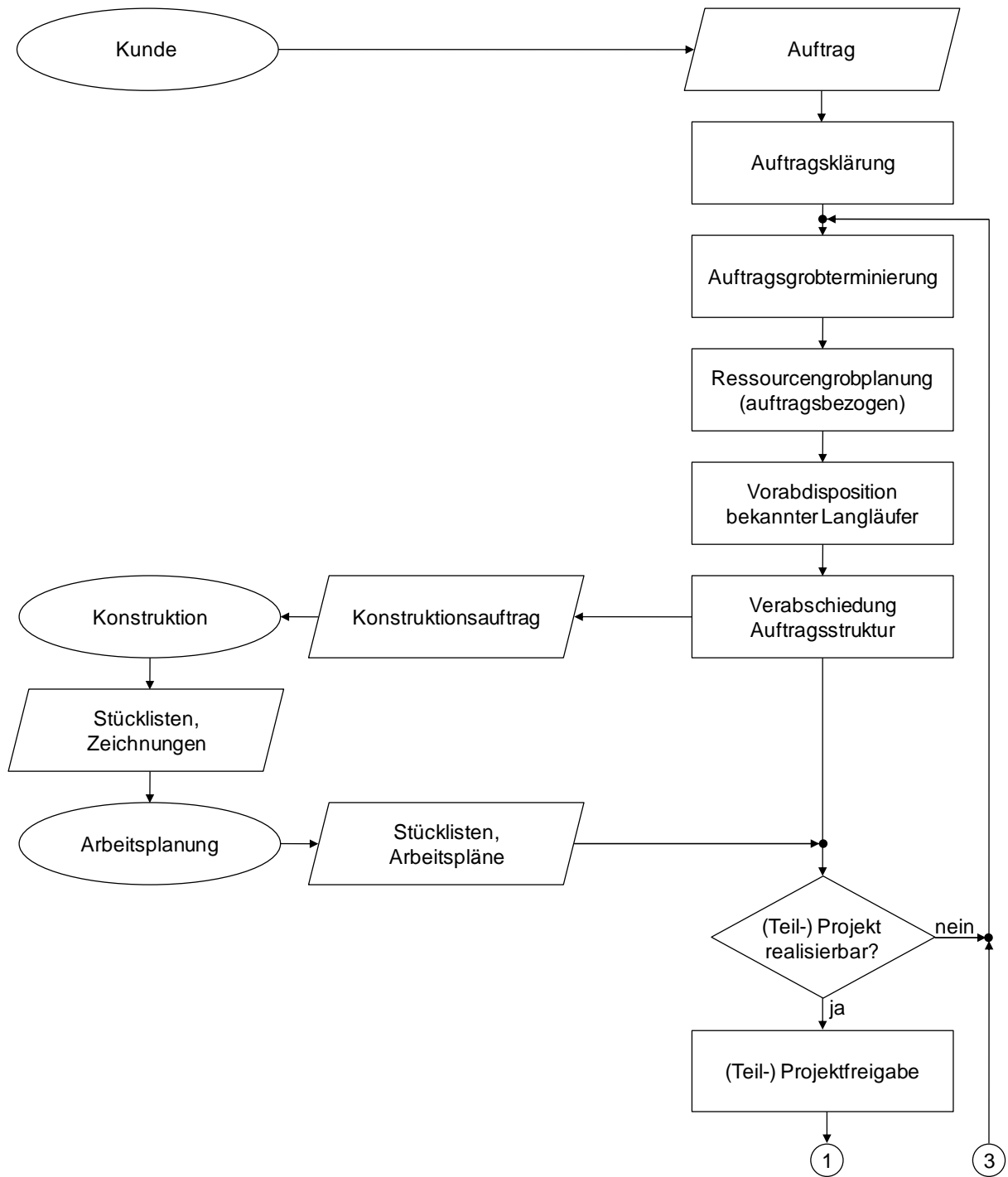


Abbildung 57: Prozessmodell eines Auftragsfertigers – Auftragsklärung und Auftragsbearbeitung<sup>120</sup>

<sup>120</sup> Abbildung entnommen aus Schuh, 2006, S.143.

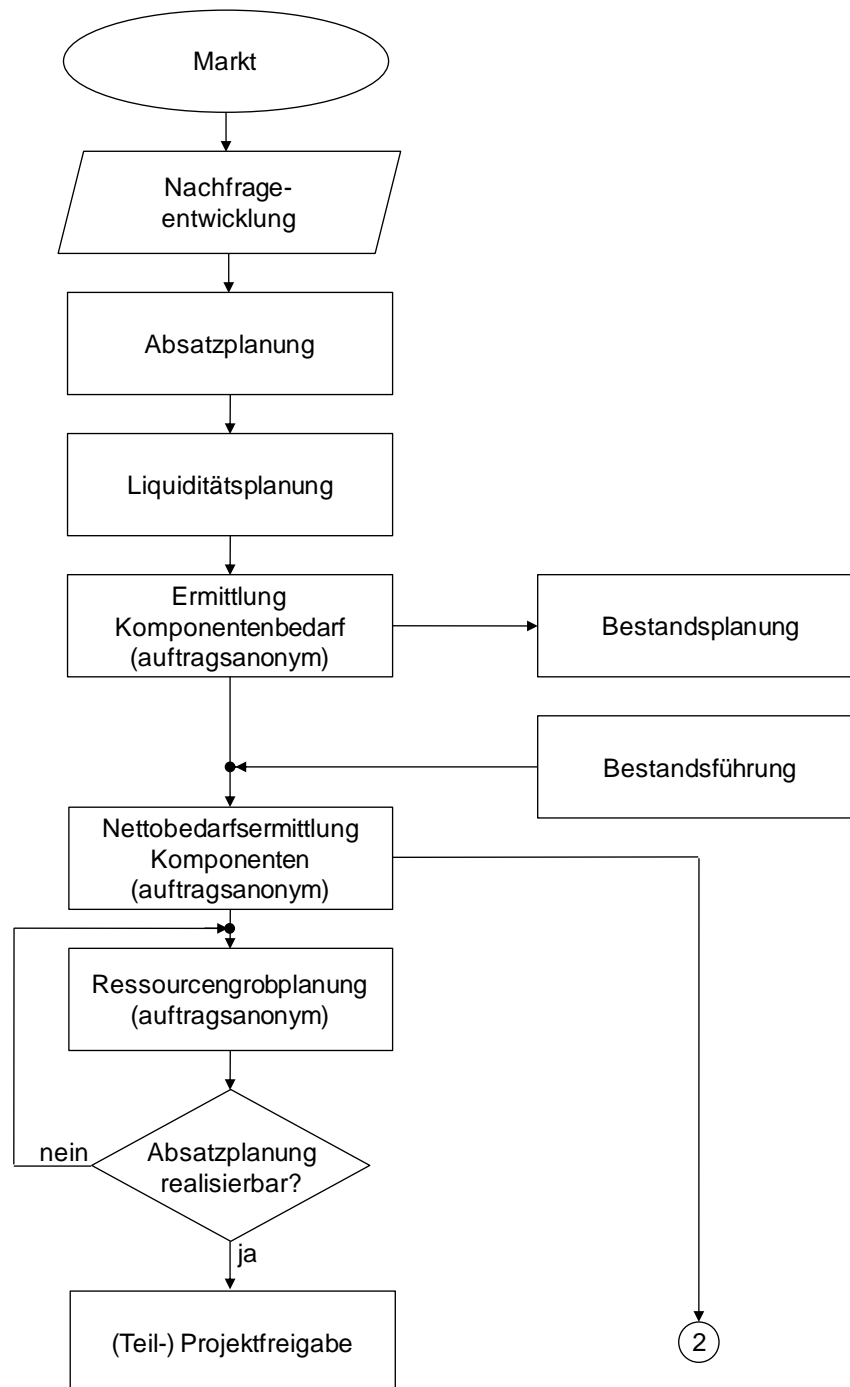


Abbildung 58: Prozessmodell eines Auftragsfertigers – Produktionsprogrammplanung<sup>121</sup>

Das Ergebnis der Produktionsprogrammplanung ist das Produktionsprogramm (siehe Abbildung 59). Darin enthalten sind die kundenspezifischen Aufträge aus der Angebots- und Auftragsbearbeitung, sowie ein kleiner Anteil aus auftragsanonymen Planaufgaben. In der Bruttosekundärbedarfsermittlung werden die Bedarfe aus der kundenanonymen Absatzplanung mit den tatsächlichen Kundenaufträgen abgeglichen. Dazu müssen Stücklisten und Arbeitspläne bis zur untersten Erzeugnisstrukturebene bereitgestellt werden. Die Schwierigkeit beim Auftragsfertiger liegt darin, dass Baugruppen terminiert werden müssen, deren genauer Arbeitsplan (z.B.: NC-Programm)

<sup>121</sup> Abbildung entnommen aus Schuh, 2006, S.146.

oder konstruktive Spezifikation noch nicht genau vorliegen. Der Nettosekundärbedarf ergibt sich in weiterer Folge aus der Berücksichtigung der Informationen (vorhandene Bestände, geplante Zu- und Abgänge) der Bestandsführung. Die Beschaffungsartzuordnung ordnet den benötigten Baugruppen, anhand der durchgeführten Make-or-Buy-Analyse in der strategischen Netzwerkauslegung, die entsprechende Beschaffungsart zu. Somit entsteht ein lokaler Beschaffungsprogrammvorschlagn, der unternehmensübergreifend konsolidiert, ein optimales Netzwerkbeschaffungsprogramm gewährleistet. Basierend auf diesen Daten bauen die Durchlaufterminierung, Kapazitätsbedarfsermittlung und die Kapazitätsabstimmung auf. Diese planen mithilfe Erfahrungs- und Vergleichsdaten den Eigenfertigungsanteil der Erzeugnisse. Ist der Beschaffungsprogrammvorschlagn der betreffenden Aufträge grundsätzlich realisierbar, kann das Beschaffungsprogramm freigegeben werden. Andernfalls werden bestimmte Aufträge auf die Möglichkeit einer netzwerkinternen Fremdvergabe untersucht und neue Kapazitäten und Termine geplant. Sollten die Beschaffungsprogrammvorschlagn der Aufträge trotz alternativer Beschaffungsarten noch immer nicht realisierbar sein, müssen die Vorgaben aus dem Produktionsprogramm von der Auftragskoordination geändert werden. Das Ergebnis der Produktionsbedarfsplanung stellt das Beschaffungsprogramm dar, das entweder durch Eigenfertigung oder Fremdbezug bereitgestellt werden kann. Es sei nochmal darauf hingewiesen, dass im Zuge dieser Arbeit nur der Aspekt der Eigenfertigung untersucht wird.

Nachdem das Eigenfertigungsprogramm für den Werkstattbereich bekannt ist, können optimale Losgrößen gebildet werden (siehe Abbildung 60). Die bereits erfolgte Produktionsbedarfsplanung plante lediglich auf Produktgruppenebene. Die gebildeten Losgrößen ermöglichen nun die Feinterminierung, in der die Abläufe auf Arbeitsgangebene innerhalb des für den Arbeitsgang festgelegten Puffers terminiert werden. Damit können für kleinere Zeitabschnitte (z.B.: Arbeitstag, Schicht) und Einzelkapazitäten entsprechende Arbeitsvorräte zugeteilt werden. Die anschließende Ressourcenfeinplanung gleicht etwaige Belastungsspitzen aus oder justiert am Kapazitätsangebot. Somit sind die Arbeitsinhalte pro Kapazitätseinheit (z.B.: Montagepersonal, Einzelmaschine) und Periode (z.B.: Arbeitstag, Schicht) festgelegt und allfällige Abarbeitungsfolgen können in der Reihenfolgeplanung berücksichtigt werden. Nachdem ein Auftrag durch die planungsintensiven Schwerpunkte der Feinterminierung, der Ressourcenfein- und Reihenfolgeplanung geschleust wurde, wird ein auftragsbezogener Werkstattprogrammvorschlagn erstellt, indem Verfügbarkeit von Material und Kapazitäten vor Fertigungsbeginn nochmals überprüft werden. Sofern keine unerwarteten Planungsfehler auftreten, kann die Fertigung freigeben werden. Sowohl die Auftragsüberwachung als auch die Ressourcenüberwachung liefern simultan zur Fertigung oder Montage Rückmeldung über Werkstattaufträge und Leistungsdaten der Betriebsmittel. Dabei setzt die Auftragskoordination oft auf Hilfsmittel wie Betriebsdatenerfassungssysteme (BDE-Systeme). Unvorhergesehene Störungen können zu terminlichen Abweichungen führen und sogar die prinzipielle Durchführbarkeit des

Eigenfertigungsprogramms in Frage stellen. Der Kunde wird ehest möglich über einen unvermeidbaren Lieferverzug vom Auftragsmanagement informiert.

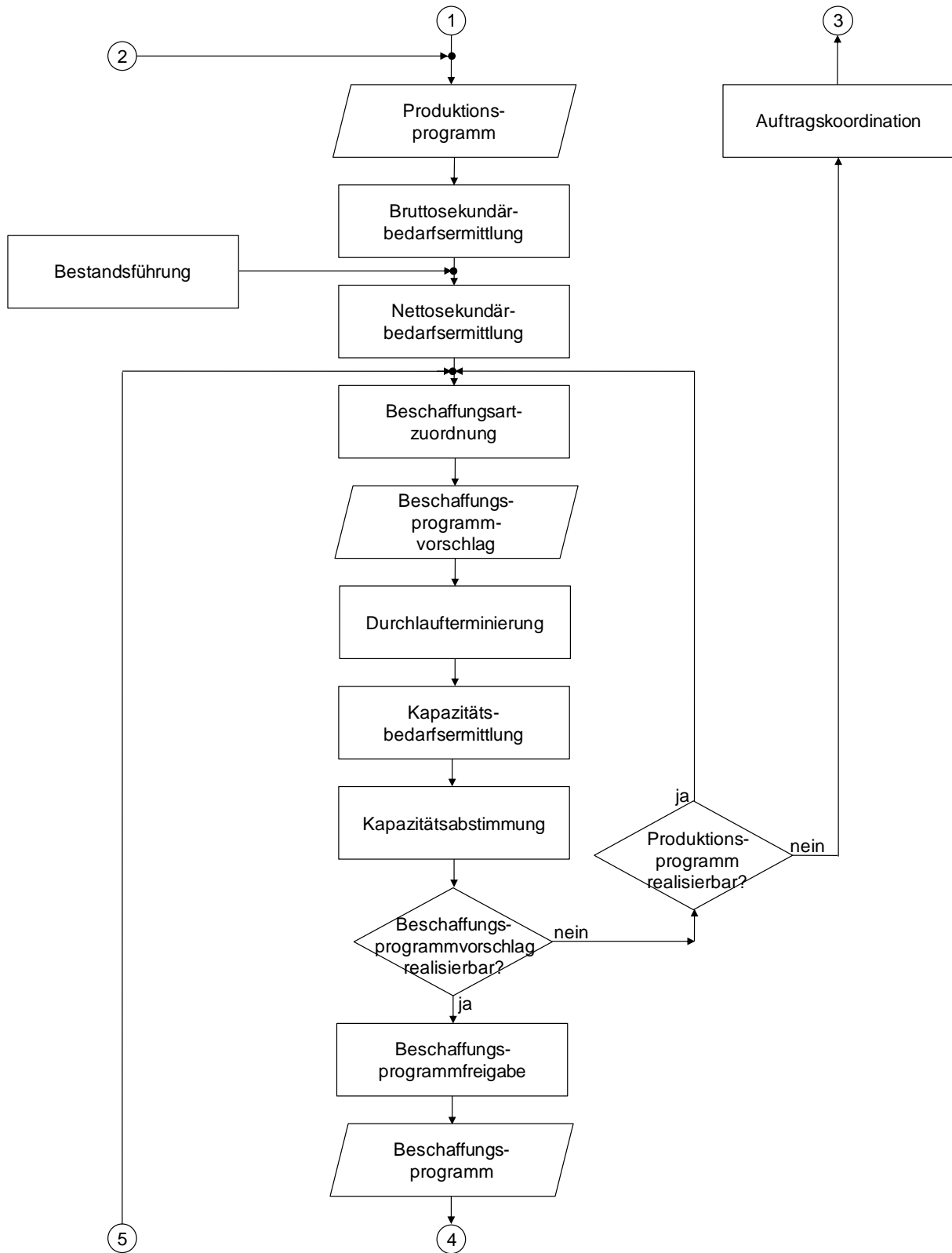


Abbildung 59: Prozessmodell eines Auftragsfertigers – Produktionsbedarfsplanung<sup>122</sup>

<sup>122</sup> Abbildung entnommen aus Schuh, 2006, S.148.

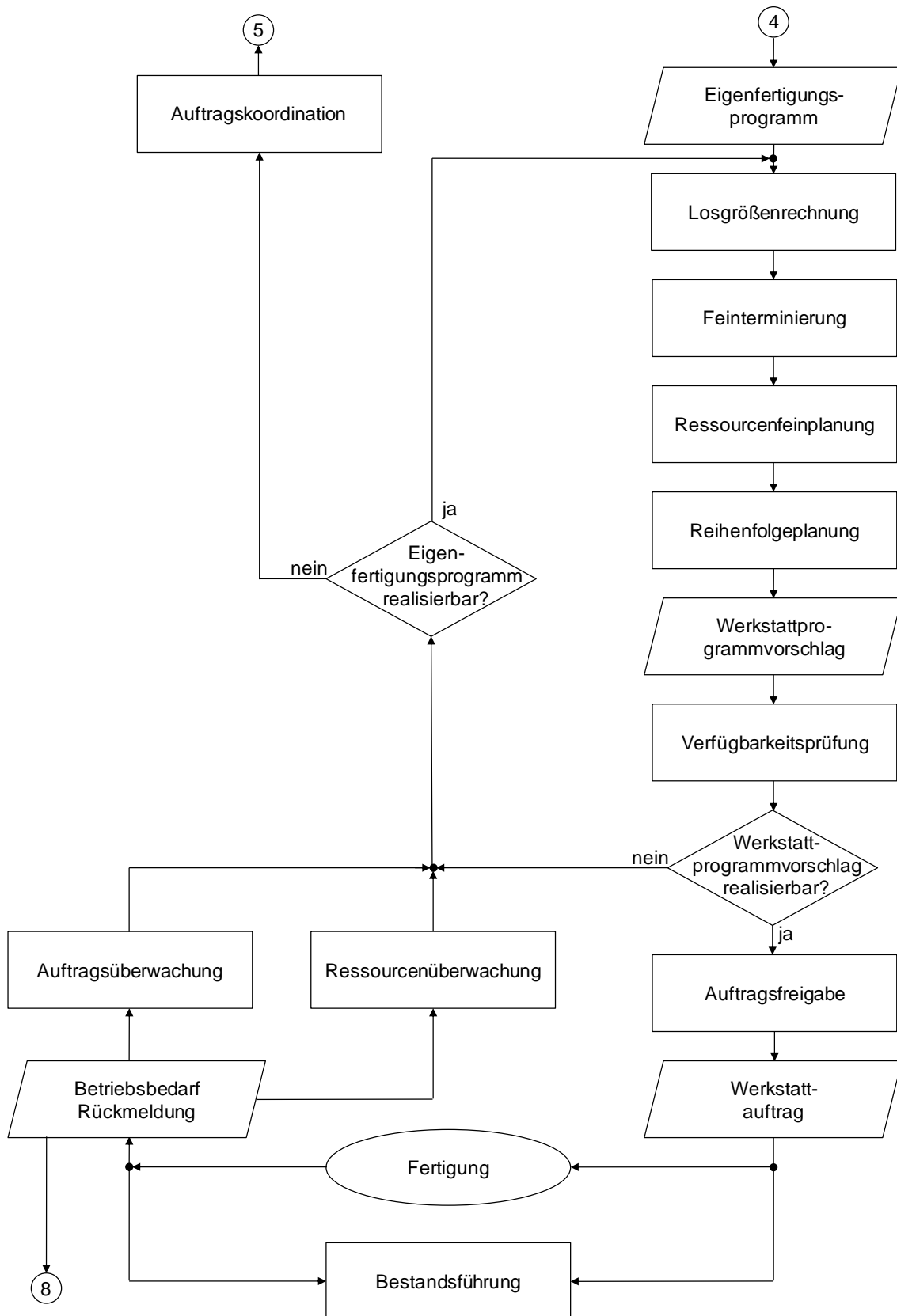


Abbildung 60: Prozessmodell eines Auftragsfertigers – Eigenfertigungsplanung und -steuerung<sup>123</sup>

<sup>123</sup> Abbildung entnommen aus Schuh, 2006, S.150.

### 3.2.2 Variantenfertiger<sup>124</sup>

Der klassische Variantenfertiger stellt seine Erzeugnisse mit einer kundenanonymen Vorproduktion mit anschließender auftragsbezogener Endproduktion bereit. Dadurch sollen kurze Lieferzeiten ermöglicht werden. Der Unterschied zum Auftragsfertiger liegt in dem vergleichsweise geringen Konstruktionsaufwand je Kundenauftrag. Der Standardisierungsgrad beim Variantenfertiger fällt nämlich bei ähnlicher Strukturkomplexität der Erzeugnisse eines Auftragsfertigers deutlich höher aus. Somit sind lediglich Anpassungskonstruktionen anzufertigen. Darüber hinaus kann die Vorproduktion in deutlich größeren Losen abgearbeitet werden als die Endproduktion. Bei dieser Vorgangsweise ist es zweckmäßig den sogenannten Kundenentkopplungspunkt einzuführen, der die Situation beschreibt, in der die kundenanonym vorproduzierten Baugruppen zwischengelagert und erst danach der kundenauftragsbezogenen Endmontage zugeführt werden. Als industrielle Vertreter der Variantenfertigung seien an dieser Stelle die europäischen Automobilhersteller erwähnt, bei denen ein Auftrag durch das Build-to-Order (BTO) Konzept ausgelöst wird. Hier kann aufgrund bereits vollständig spezifizierter Baugruppen bedingt auf individuelle Kundenwünsche eingegangen werden. Es seien aber auch Variantenfertiger zu erwähnen, deren Anteil aus kundenauftragsbezogener Endproduktion so groß ist, dass lediglich eine Lagerung von vorgefertigten Einzelbauteilen möglich ist.

Die Kombination aus Merkmalsausprägungen die einen Variantenfertiger spezifizieren, ist in nachstehender Tabelle zusammengefasst.

---

<sup>124</sup> vgl. Schuh, 2006, S.167ff.



| Merkmal |  | Merkmalsausprägung                             |  |   |   |  |
|---------|--|--|--|---|---|--|
| 1       | Auftragsauslösungsart                          | Produktion auf Bestellung mit Einzelaufträgen  | Produktion auf Bestellung mit Rahmenaufträgen                | kundenanonyme-/ kundenauftragsbezogene Endproduktion        | Produktion auf Lager                    |  |
| 2       | Erzeugnisspektrum                              | Erzeugnisse nach Kundenspezifikation           | typisierte Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten      | Standarderzeugnisse mit Varianten                           | Standarderzeugnisse ohne Varianten      |  |
| 3       | Erzeugnisstruktur                              | mehrteilige Erzeugnisse mit komplexer Struktur |  | mehrteilige Erzeugnisse mit einfacher Struktur              |   | geringteilige Erzeugnisse                  |
| 4       | Ermittlung des Erzeugnis-/Komponentenbedarfs   | bedarfsorientiert auf Erzeugnisebene           | erwartungs- & bedarfsorientiert auf Komponentenebene         | erwartungsorientiert auf Komponentenebene                   | erwartungsorientiert auf Erzeugnisebene | verbrauchsorientiert auf Erzeugnisebene    |
| 5       | Auslösung des Sekundärbedarfs                  | auftragsorientiert                             |  | teilw. auftragsorientiert/ teilw. periodenorientiert        |   | periodenorientiert                         |
| 6       | Beschaffungsart                                | weitgehender Fremdbezug                        |  | Fremdbezug in größerem Umfang                               |   | Fremdbezug unbedeutend                     |
| 7       | Bevorratung                                    | keine Bevorratung von Bedarfspositionen        | Bevorratung von Bedarfspositionen auf unteren Strukturebenen | Bevorratung von Bedarfspositionen auf oberen Strukturebenen | Bevorratung von Erzeugnissen            |  |
| 8       | Fertigungsart                                  | Einmalfertigung                                | Einzel- und Kleinserienfertigung                             | Serienfertigung   | Massenfertigung                         |  |
| 9       | Ablaufart in der Teilefertigung                | Werkstattfertigung                             | Inselfertigung   | Reihenfertigung   | Fließfertigung                          |  |
| 10      | Ablaufart in der Montage                       | Baustellenmontage                              | Gruppenmontage   | Reihenmontage   | Fließmontage                            |  |
| 11      | Fertigungsstruktur                             | Fertigung mit hohem Strukturierungsgrad        |  | Fertigung mit mittlerem Strukturierungsgrad                 |   | Fertigung mit geringem Strukturierungsgrad |
| 12      | Kundenänderungseinflüsse während der Fertigung | Änderungseinflüsse in größerem Umfang          |  | Änderungseinflüsse gelegentlich                             |   | Änderungseinflüsse unbedeutend             |

**Tabelle 2: Idealtypische Merkmalsausprägung eines Variantenfertigers**<sup>125</sup>

Um Übersichtlichkeit zu bewahren, wird das Prozessreferenzmodell analog zum Auftragsfertiger wieder in Teilprozesse gegliedert.

Der Beginn der unternehmensinternen Auftragsabwicklung wird kundenseitig durch eine individuelle Leistungsanfrage initiiert. Die Aufgaben der Anfrageerfassung sowie alle weiteren Aufgaben der Auftragsabwicklung des Variantenfertigers lassen sich aufgrund der hohen Standardisierung der Erzeugnisse gut automatisieren. In der Variantenkonfiguration werden schließlich die kundenspezifischen Erzeugnisausprä-

<sup>125</sup> Tabelle entnommen aus Schuh, 2006, S.168.

gungen (Maße, Farbe, Materialien) festgelegt. Somit entsteht die kundenbezogene Variante lediglich aus Merkmalsbeschreibungen, anstelle von aufwendigen Entwürfen und Konstruktionsskizzen wie sie beim Auftragsfertiger notwendig sind. Nach der entsprechenden Variantenkonfiguration sind bereits Stücklisten der Zwischenerzeugnisse festgelegt und der erwartete Liefertermin sowie die Preisgestaltung können geplant werden. Abschließend kann das Angebot zusammengefasst und dem Kunden übermittelt werden.

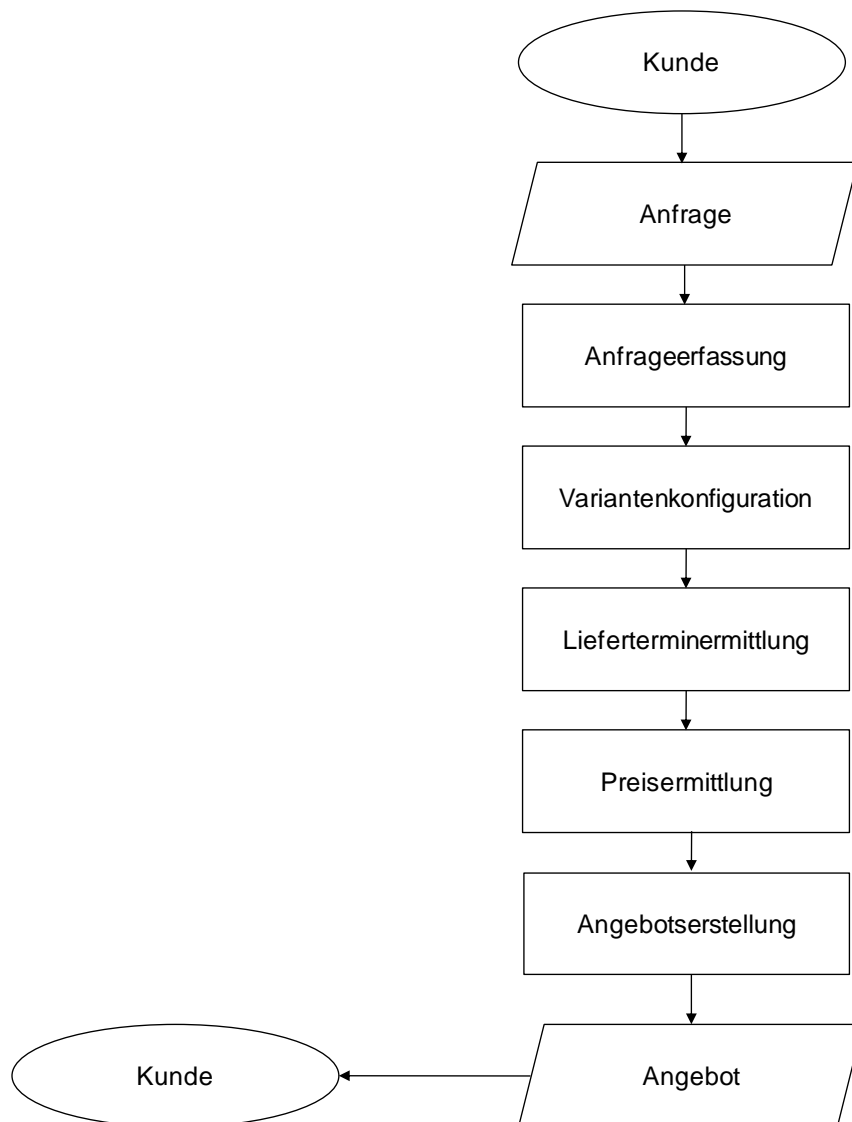


Abbildung 61: Prozessmodell eines Variantenfertigers – Anfrageerfassung und Angebotserstellung<sup>126</sup>

Sofern sich der Kunde mit dem Angebot einverstanden zeigt und schlussendlich den Auftrag erteilt, kann mit der Auftragsklärung begonnen werden (siehe Abbildung 62). Dabei werden die Angebotsdaten mit den beauftragten Erzeugnisdaten abgeglichen. In der Auftragsgrobterminierung können unter Rückschluss der Lieferterminermittlung aus der Angebotsphase grobe Ecktermine festgelegt werden. Die auftragsbezogene

<sup>126</sup> Abbildung entnommen aus Schuh, 2006, S.171.

Ressourcengrobplanung stellt den erwarteten Ressourcenverzehr dem verfügbaren Kapazitätsangebot gegenüber. Somit soll die grundsätzliche Realisierbarkeit der zuvor geplanten Ecktermine überprüft werden. Aufgrund der angestrebten Individualisierung der Erzeugnisse kann es zu kundenspezifischen Konstruktionsänderungen oder Arbeitsplanänderungen kommen. Dieser Aufwand schlägt allerdings weitaus geringer zu Buche als beim Auftragsfertiger und kommt darüber hinaus nur selten vor. Der Wegfall der Disponierung geplanter Langläufer, wie sie beim Auftragsfertiger notwendig ist, unterstützt den Vorteil eines Variantenfertiger die Durchlaufzeit zu verkürzen. Kann nun der Produktionsauftrag innerhalb der geplanten Fristen als grundsätzlich realisierbar eingestuft werden, erfolgt die Produktionsauftragsfreigabe. Andernfalls kommt es zu erneuten Durchführung der auftragsbezogenen Ressourcengrobplanung um das Kapazitätsangebot dem Kapazitätsbedarf anzugleichen.

Die Initiierung des Auftragsabwicklungsprozesses erfolgt bei einem Auftragsfertiger überwiegend ausgehend von einer individuellen Kundenbestellung (siehe Abbildung 63). Im Gegensatz dazu werden bei dem Variantenfertiger zwei unterschiedliche Modelle zur Auslösung einer Auftragsabwicklung eng miteinander verknüpft. So existieren einerseits ein Planungsprozess zur Bereitstellung der kundenanonymen Vorproduktion und andererseits ein Planungsmodell zur kundenauftragsbezogenen Endproduktion. Auf dieser Grundlage kann die lokale Absatzplanung erfolgen was in weiterer Folge das Absatzprogramm liefert. Für den nächsten Planungsschritt ist eine Fallunterscheidung zweckmäßig. Die Erzeugnisvariante kann nämlich entweder als Standardprodukt innerhalb einer Produktgruppe dargestellt oder über eine Erzeugniskonfiguration zusammengestellt werden. Verlangt ein Produktionsauftrag eine festgelegte Produktvariante kann dafür direkt eine Primärbedarfsplanung erfolgen. Dabei gelangt man über den Bruttobedarf in Abstimmung mit der Bestandsführung in üblicher Vorgangsweise auf den Nettobedarf. Verlangt jedoch ein Produktionsauftrag eine Variantenkonfiguration, müssen zusätzlich Montagebedarfe abgeleitet werden. Schließlich erfolgt auch hier die Nettobedarfsermittlung samt Bereitstellungsterminen der Montagearbeiten, Baugruppen und Teilen. Die geforderten Bedarfe werden schließlich im Produktionsprogramm vorschlag zusammengefasst. Die anschließende auftragsanonyme Ressourcenbedarfsplanung betrachtet überwiegend den Ressourcenbedarf der Primärbedarfe und erfolgt in enger Abstimmung der bereits auftragsbezogenen geplanten Ressourcen. Sind sowohl das Produktionsprogramm als auch das Absatzprogramm grundsätzlich realisierbar, kann das Fertigungsprogramm freigegeben werden.

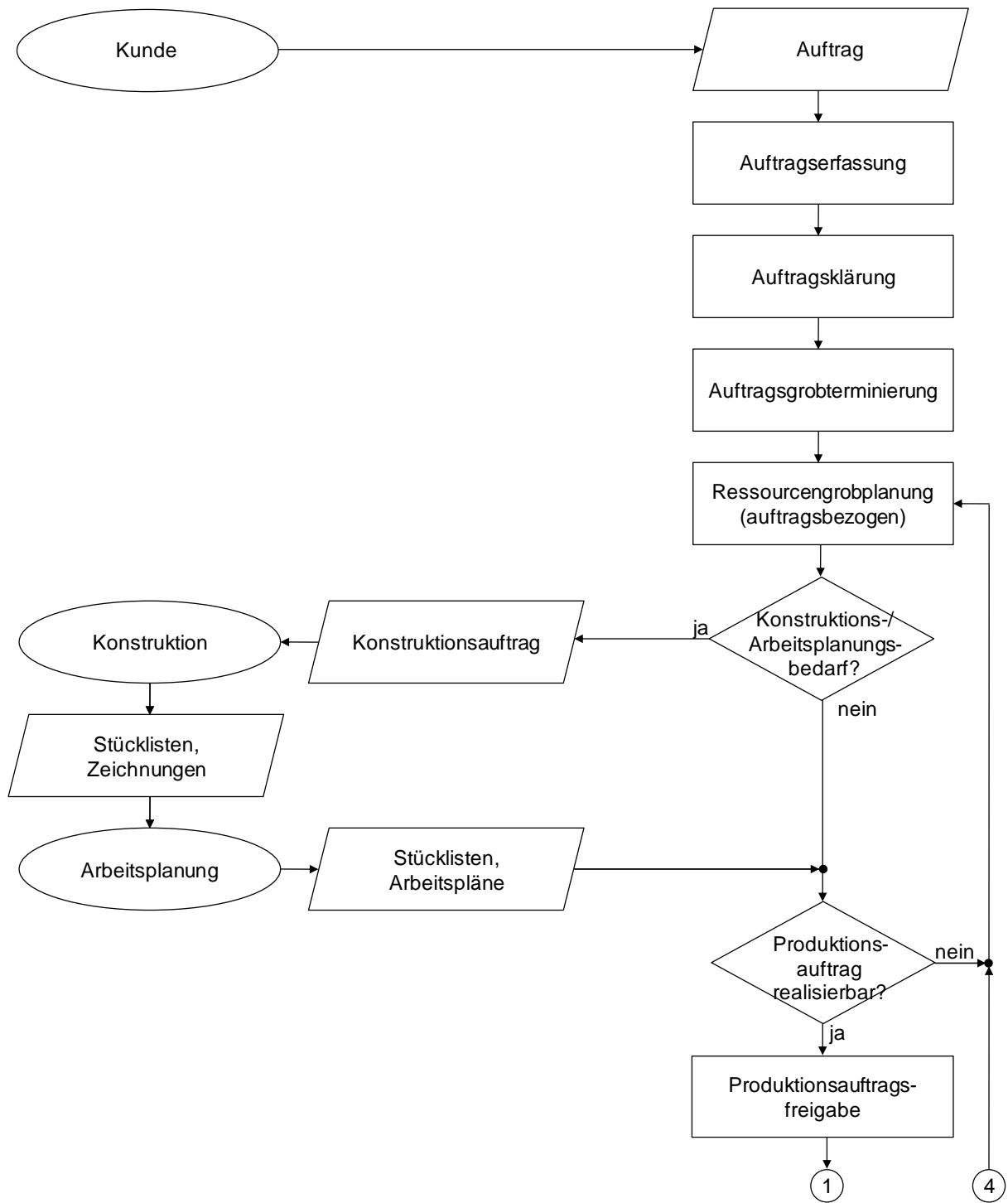


Abbildung 62: Prozessmodell eines Variantenfertigers – Auftragsklärung und Auftragsbearbeitung<sup>127</sup>

<sup>127</sup> Abbildung entnommen aus Schuh, 2006, S.172.

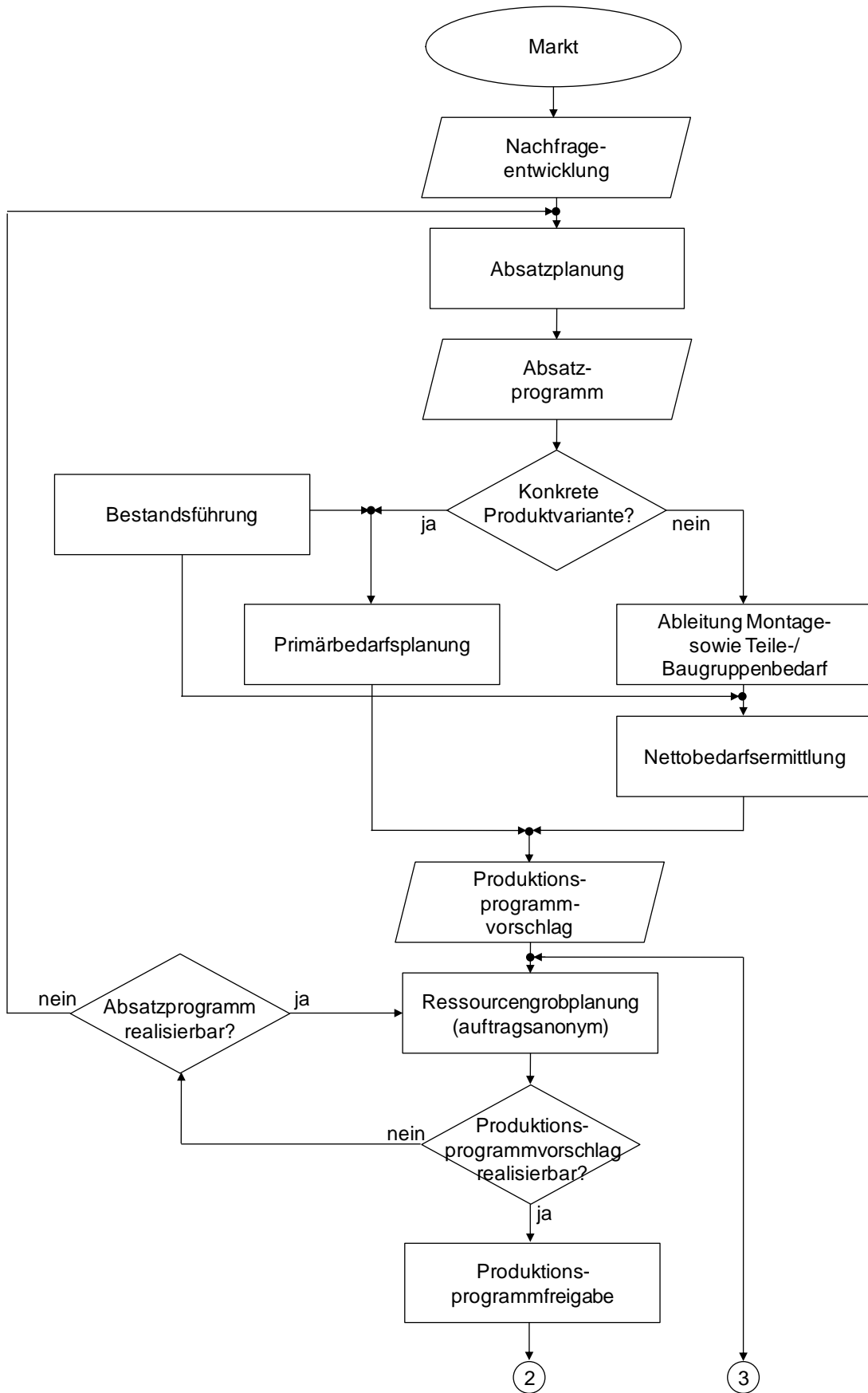


Abbildung 63: Prozessmodell eines Variantenfertigers – Produktionsprogrammplanung<sup>128</sup>

<sup>128</sup> Abbildung entnommen aus Schuh, 2006, S.174.

Die beiden zuvor beschriebenen Planungsergebnisse fließen im Produktionsprogramm zusammen (siehe Abbildung 64). Dieses beruht einerseits auf der Freigabe der kundenanonymen Vorproduktion sowie andererseits auf der auftragspezifischen Endproduktion. Die Auslösung des Sekundärbedarfs beim Variantenfertiger unterscheidet sich ebenfalls grundlegend vom Auftragsfertiger. Während der Auftragsfertiger auf Vergleichs- und Referenzdaten zurückgreifen muss, sind die Stücklisten der Baugruppen der auftragsanonymen Vorproduktion beim Variantenfertiger bereits genau bekannt. Darüber hinaus besitzen die Baugruppen des Auftragsfertiger hohe Individualität weshalb der ermittelte Bruttobedarf häufig auch dem Nettobedarf entspricht. Beim Variantenfertiger hingegen kann sich aufgrund hoher Bestände der Nettobedarf drastisch reduzieren. Im nächsten Schritt wird dem Nettobedarf unter Berücksichtigung der strategischen Make-or-Buy-Netzwerkanalyse die entsprechende Beschaffungsart zugeordnet. Als Resultat geht der lokale Beschaffungsprogramm-vorschlag hervor, der als Grundlage für die nächsten Planungsschritte dient. Die darauffolgende Durchlaufterminierung, die Kapazitätsbedarfsermittlung und -abstimmung sowie die Planungsaufgaben der Verfügbarkeitsprüfung, sind nach der üblichen Vorgangsweise abzuarbeiten. Stellt sich daraufhin der Beschaffungsprogramm-vorschlag als grundsätzlich realisierbar heraus, wird der entsprechende Programm-vorschlag erzeugt.

Häufig sind an dieser Stelle auch auftragsanonyme Vorproduktionen zu planen. Aufgrund der immer wiederkehrenden, identischen Planungsabläufe bei gleichmäßigem Bedarfsverlauf dieser Baugruppen, kann diese Beschaffung auch in einem internen Regelkreis automatisiert erfolgen. Die Teile werden dann verbrauchsgesteuert, also bei Unterschreitung des Mindestbestellbestands eigenständig disponiert. Dieser Vorgang wird mit einer übergeordneten Planungsebene abgestimmt.

In Abbildung 65 werden die Aufgaben des Beschaffungsprogramms für die Eigenfertigung abgearbeitet. Der klassische Variantenfertiger unterteilt die Planung seiner Erzeugnisse in die Bereiche kundenanonyme Vorproduktion und auftragsbezogene Endproduktion. Da die Planung der Vorproduktion eines betrachteten Erzeugnisses meist schon vorher in der Produktionsbedarfsplanung abgeschlossen ist, behandelt die Eigenfertigungsplanung lediglich den Anteil der kundenspezifischen Endproduktion.

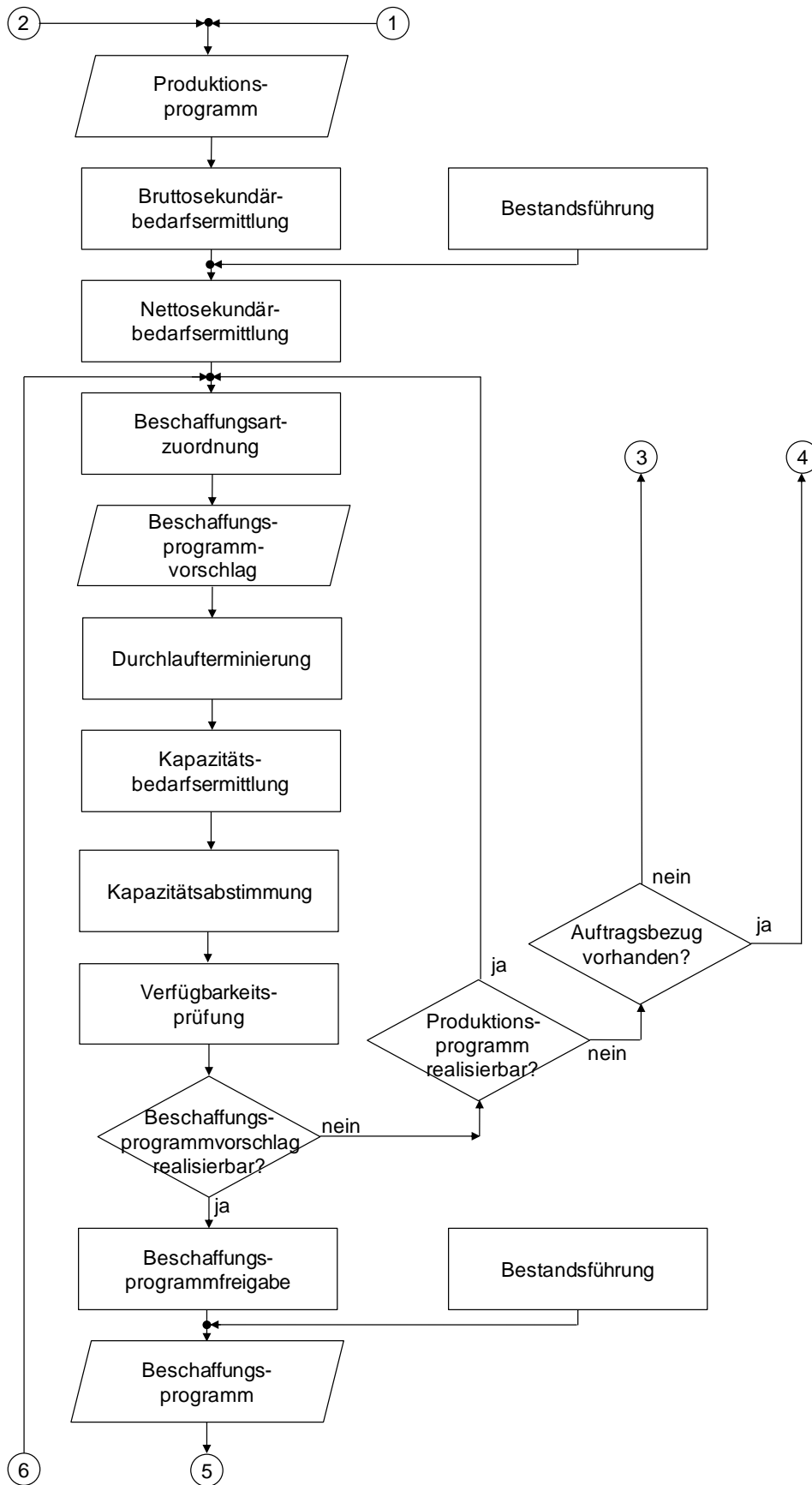


Abbildung 64: Prozessmodell eines Variantenfertigers – Produktionsbedarfsplanung<sup>129</sup>

<sup>129</sup> Abbildung entnommen aus Schuh, 2006, S.176.

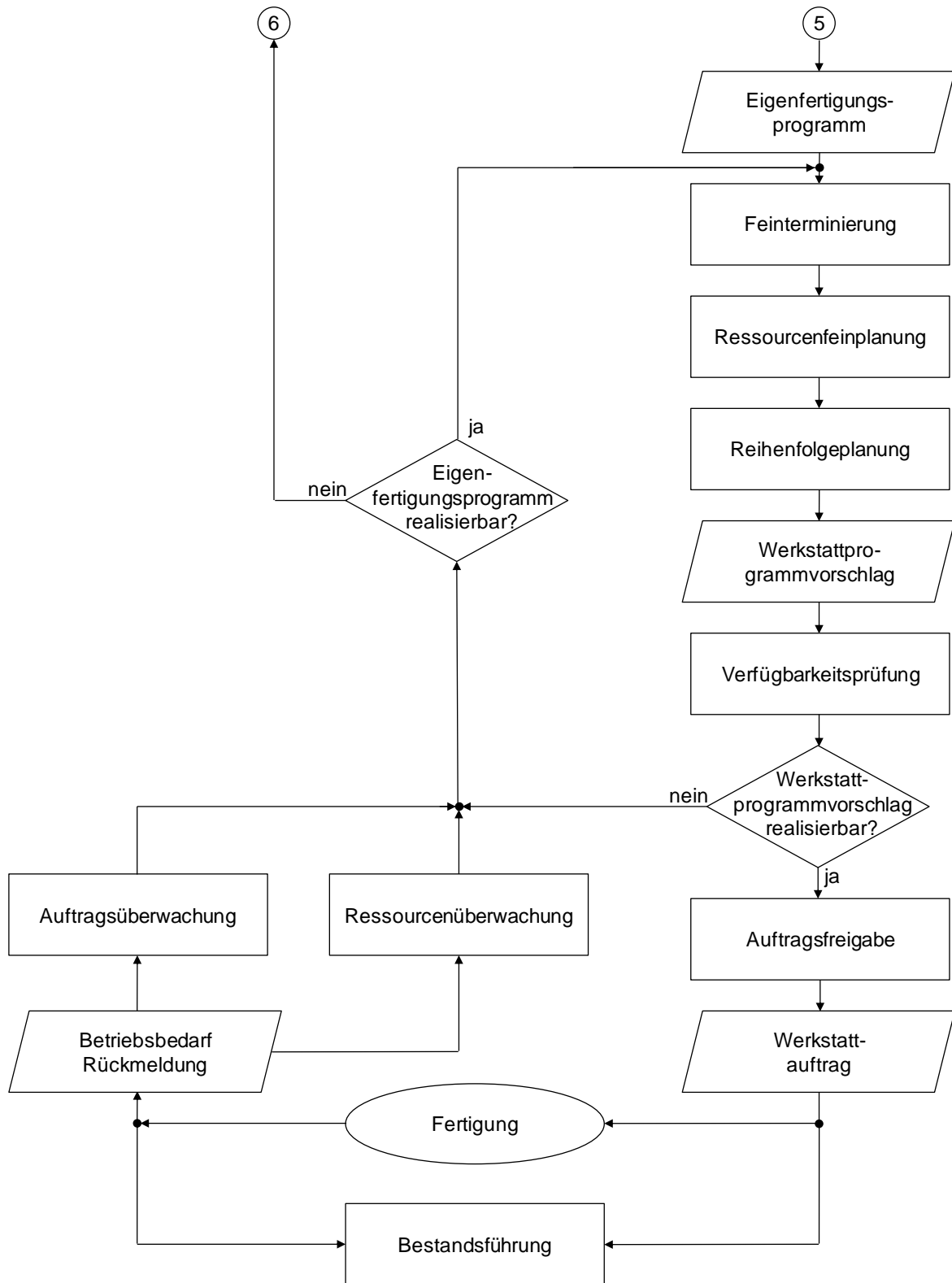


Abbildung 65: Prozessmodell eines Variantenfertigers – Eigenfertigungsplanung und -steuerung<sup>130</sup>

Schritt für Schritt wurden im Kapitel 3 die Prozessreferenzmodelle des Auftragsfertigers und des Variantenfertigers dargelegt und die wichtigsten inhaltlichen Schwer-

<sup>130</sup> Abbildung entnommen aus Schuh, 2006, S.178.



punkte herausgearbeitet. Ausgehend von diesem Ist-Zustand kann nun durch eine GAP-Analyse die Lücke zwischen auf den Soll-Zustand geschlossen werden.

### 3.3 Vorgangsweise GAP-Analyse

Die GAP-Analyse oder auch Lückenanalyse stellt ein klassisches Instrument der strategischen Managementplanung dar. Dabei werden Bereiche analysiert und abgegrenzt, bei denen zwischen dem gewünschten Zielzustand und dem aktuellen Stand der Entwicklung eine Lücke klafft. Mit der Analyse können Probleme und unerwünschte Entwicklungen frühzeitig erkannt und Abweichungen vom gewünschten Zielpfad rechtzeitig identifiziert werden. Anschließend werden geeignete Maßnahmen zur Schließung der identifizierten Lücken und zur Erreichung der festgesetzten strategischen oder operativen Ziele festgelegt.<sup>131</sup>

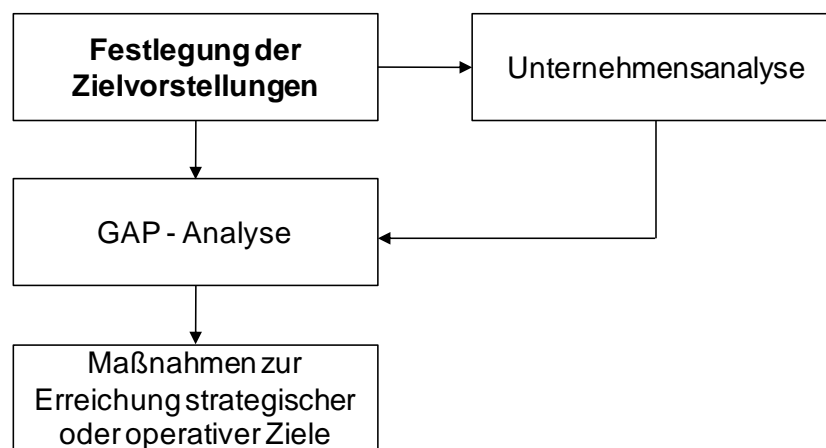


Abbildung 66: GAP-Analyse zur Erreichung der strategischen Ziele<sup>132</sup>

Jeden Auftragsabwicklungstyp wird nun unter dem Aspekt der internen Logistik einer GAP-Analyse unterzogen. Die Prozessreferenzmodelle des Aachener PPS-Systems sollen auf operative Lücken untersucht werden.

Dazu werden die empfohlenen Planungsschritte der in Kapitel 3.2 vorgestellten Prozessmodelle mit den in Kapitel 2 erklärten Methoden und Werkzeugen aus der PPS-Planung analysiert. Es werden mögliche produktionslogistische Szenarien aufgezeigt, die im Aachener PPS-Modell keine Beachtung finden, aber dennoch Terminverzug einer Auftragsabwicklung verursachen können. Dadurch können produktionslogistische Aspekte ausgearbeitet werden, die diese Planungsmethoden vernachlässigen. In weiterer Folge wird das Aachener PPS-Modell um eine zusätzliche Planungsaktivität an der entsprechenden Stelle ergänzt, um produktionslogistische Restriktionen in den Planungsprozess einarbeiten zu können.

<sup>131</sup> vgl. Broßmann, 2011, S.350ff.

<sup>132</sup> Abbildung entnommen aus Broßmann, 2011, S.351.

## 4 Ergebnisse aus GAP-Analyse

Für die in Kapitel 3.2 dargestellten Prozessmodelle werden nun mögliche Szenarien herausgearbeitet, die selbst bei Planungsansätzen nach dem anerkannten Aachener PPS-Modell zu produktionslogistischen Problemen führen. Die bestehenden Planungsaktivitäten des PPS-Modells werden mit den verbreiteten Methoden und Werkzeugen aus Kapitel 2 analysiert. Eine Vernachlässigung der Planung aus produktionslogistischer Sicht, wird durch Hinzufügen einer entsprechenden Planungsaktivität in der jeweiligen Prozessreferenzsicht ergänzt.

### 4.1 Auftragsfertiger

Zu den wesentlichen Aufgaben der Auftragsklärung und Auftragsbearbeitung zählt die Grobplanung der wichtigsten Bearbeitungsdaten. Neben der Terminierung fällt vor allem die Kapazitätsplanung ins Gewicht. Dabei wird häufig einer Reihe von Restriktionen zu wenig Beachtung geschenkt, was die Zuverlässigkeit der Planung erheblich einschränkt.

#### **Verweilzeiten nur aus Vergleichs- und Erfahrungsdaten**

Die Kapazitätsplanung vergleicht die erforderlichen Ressourcen an Fertigungsmittel, Personal, etc. mit den verfügbaren Kapazitäten. Restriktionen, die sich aufgrund der internen Logistik ergeben, werden dabei häufig vernachlässigt. Der Aufwand für den Materialtransport zwischen den Arbeitsstationen wird vom Modell nicht explizit berücksichtigt. Dieser Aufwand fließt als pauschalisierte Übergangszeit, die lediglich auf Vergleichs- und Erfahrungsdaten beruht, in den Fertigungsprozess ein. Somit können bei den Materialtransportsystemen unvorhergesehene Warteschlangen entstehen, da diese bereits andere Arbeitsstationen mit Material versorgen. Darüber hinaus werden allfällige Ausfallszeiten der Transportsysteme aufgrund aufgetretener Schäden oder geplanter Wartungsarbeiten nicht in der Planung berücksichtigt.

#### **Abdeckungsgrad der Materialtransportsysteme**

Durch intelligente Transportsysteme können aufeinanderfolgende Arbeitsstationen effizient mit Schienenbahnen verbunden werden oder sperrige Teile mit Hallenkränen befördert werden. Aufgrund der hohen Individualisierung der Erzeugnisse des Auftragsfertigers, kann die Bearbeitung in vielen verschiedenen Arbeitsstationen erforderlich sein. Dabei werden die anfallenden Transportprozesse nur auf Basis von Vergleichsdaten berücksichtigt und die benötigten Transporteinrichtungen als selbstverständlich vorausgesetzt. Generell gilt, dass die möglichen Wege des Materialtransportes bereits äußerst frühzeitig in der Fabriksentstehung festgelegt sind. Spätestens in der Feinlayoutplanung stehen die verfügbaren Materialtransportsysteme

fest. Im laufenden Produktionsbetrieb ist es meist unmöglich ungeplante Schienen oder Kettenförderer zu installieren. Im schlimmsten Fall werden unhandliche Zwischenerzeugnisse an einer Arbeitsstation benötigt, die vom Transportmittel nicht erreicht werden kann.

### **Belastungsorientierte Auftragsfreigabe**

Unternehmen, die die Methoden der belastungsorientierten Auftragsfreigabe verfolgen, müssen erhöhten Planungsaufwand für die Intralogistik berücksichtigen. Da die Auftragsfreigabe lediglich auf einer Dringlichkeitsprüfung beruht, bei der eine Rückwärtsterminierung durchgeführt wird, rücken produktionslogistische Vorteile in den Hintergrund. Unter Umständen können sich unnötige Verfahrswege der (Bearbeitungs-)Teile ergeben, wenn für die aufeinanderfolgenden Teilaufträge große Entfernungen zurückgelegt werden müssen. Bei konventioneller Auftragsfreigabe können die Aspekte der internen Logistik besser berücksichtigt werden.

Die für die Auftragsgrobterminierung und Ressourcengrobplanung ermittelten Kenngrößen beruhen im Wesentlichen auf Schätzwerten da Arbeitsplanzeiten meist zu ungenau wären. Eine mögliche Ursache spielt dabei die Vernachlässigung der Planung der Intralogistik, die in dem Aachener PPS-Modell nur eine untergeordnete Rolle spielt. Um diese Problematik zu lösen und eine zuverlässige Planung durchführen zu können, empfiehlt sich die Abarbeitung der „auftragsbezogenen Grobplanung der internen Logistik“ systematisch in das Planungsmodell einzuarbeiten. So kann die Berücksichtigung von Transportrestriktionen sichergestellt werden. Geplante Langläufer können somit nicht nur wegen einem zu geringem Angebot an Personal- oder Maschinenkapazitäten sondern auch wegen eines unzureichenden Intralogistiksystems identifiziert werden. Eine unzureichende Intralogistik könnte sich z.B. aufgrund zuvor bekannter, schwerwiegender Probleme in technisch aufwendigen Hochregallagersystemen eines Fertigers einstellen.

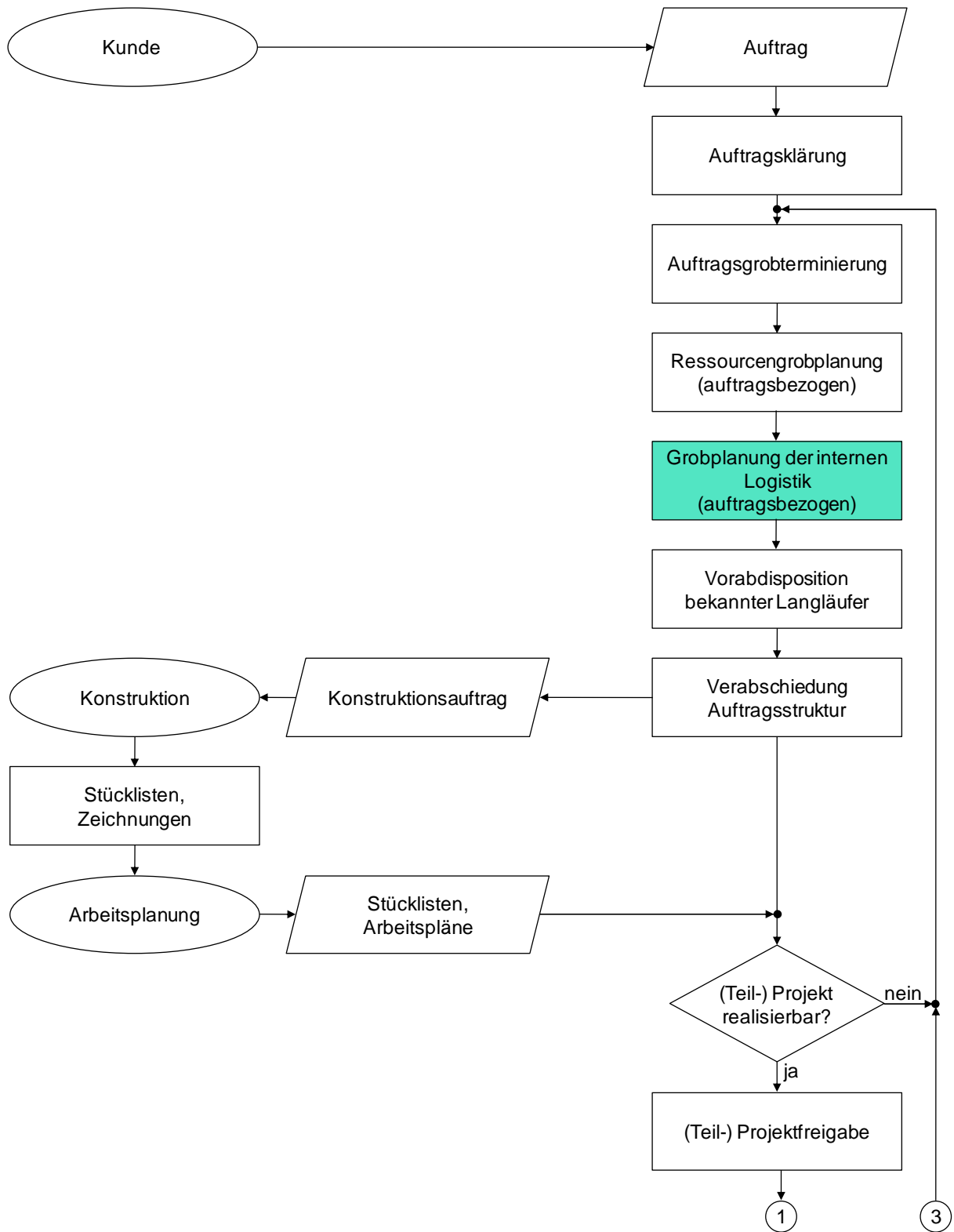


Abbildung 67: Adaptiertes Prozessmodell eines Auftragsfertigers – Auftragsklärung und Auftragsbearbeitung

### **Planerische Komplexität aufgrund vieler involvierter Stellen**

Die Produktionsprogrammplanung beschäftigt sich mit der Abwicklung der auftragsanonymen Erzeugung von (Teil-)Projekten. Da die intralogistische Planung einer involvierten Stelle von anderen Stellen abhängig ist und andere beeinflussen kann, muss ein hierarchisches Modell zur Problemlösung herangezogen werden.

### **Von Absatzprognosen abweichende Nachfrage**

Die auftragsanonyme Absatzplanung erfolgt anhand der Absatzzahlen der vergangenen Perioden. Je nach Grad der exponentiellen Glättung können dabei zwar einzelne Perioden mehr oder weniger stark gewichtet werden, doch vollkommene Zuverlässigkeit des geplanten Absatzes kann nicht garantiert werden. Einer erhöhten Nachfrage in der aktuellen Periode könnte aufgrund fehlender Produktionskapazitäten oder auch unzureichender intralogistischer Ressourcen nicht nachgekommen werden. Sollte weniger Nachfrage als geplant verzeichnet werden, müssen ehest bald Informationen über veränderte Gemeinkosten aufgrund erhöhter Stillstandszeiten der Materialtransportsysteme an die zuständige Stelle weitergegeben werden.

### **Investitionen in Produktionskapazität**

Wird von einem anhaltenden Anstieg der Nachfrage ausgegangen, erhöhen Auftragsfertiger ihre Kapazitäten. Im Zuge einer Investition in die Produktionskapazität einer Maschine oder in die Aufstockung von Personal, muss die intralogistische Versorgung sichergestellt werden. Die Abdeckung mit aufwändigen Materialtransportsystemen kann sich in einem Betrieb schwieriger erweisen, als zusätzliche Maschinen anzuschaffen oder Arbeitsschichten einzuführen.

Es empfiehlt sich also den Planungsbaustein der „auftragsanonymen Grobplanung der internen Logistik“ in das Prozessmodell aufzunehmen. Als optimale Position erweist sich dabei die Stelle nach der auftragsanonymen Ressourcengrobplanung, da erforderliche Mittel bereits grob identifiziert sind. Darüber hinaus kann die Grobplanung der internen Logistik aufgrund der Schleife iterativ, bis die Absatzplanung realisierbar ist, optimiert werden.

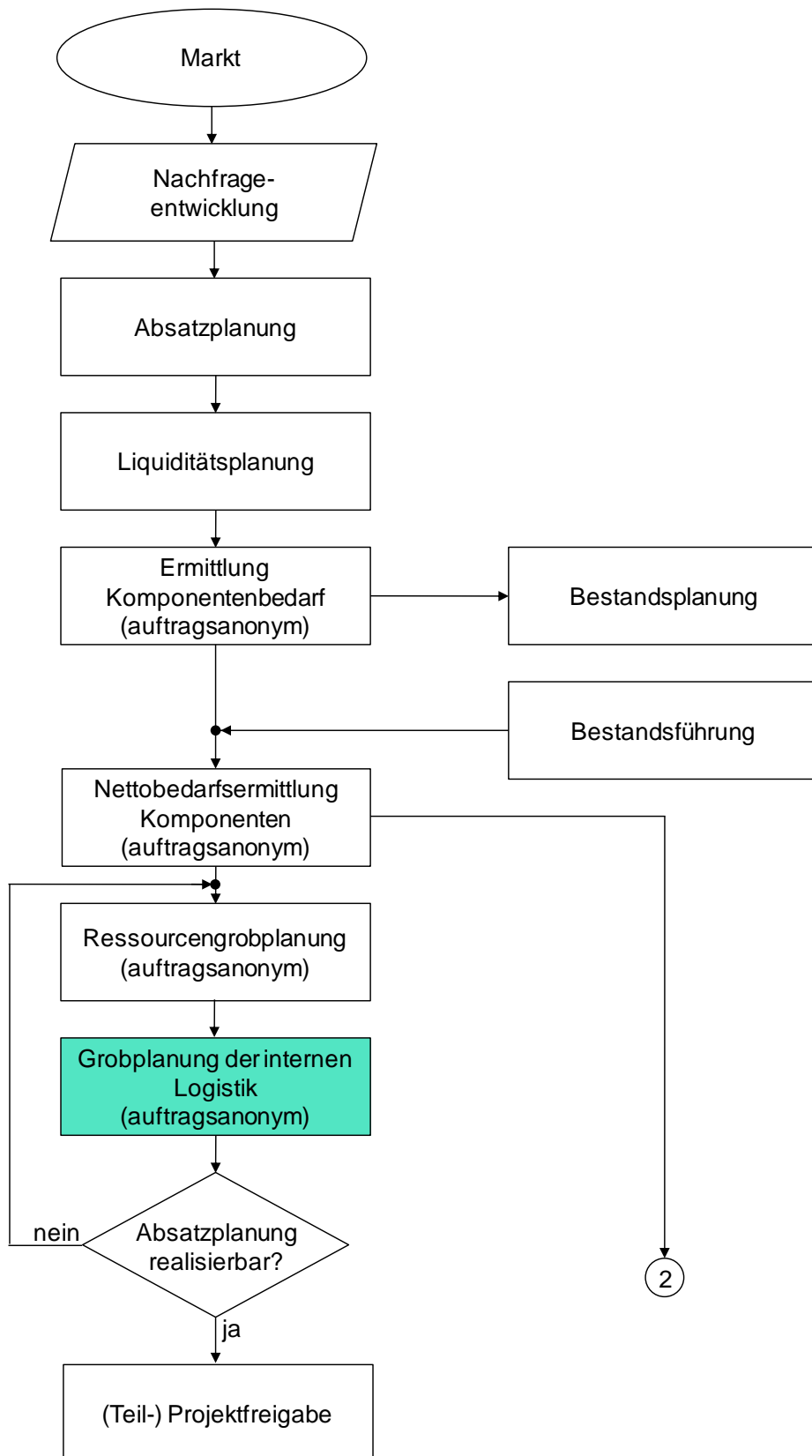


Abbildung 68: Adaptiertes Prozessmodell eines Auftragsfertigers – Produktionsprogrammplanung

### **Netzwerkinterne Fremdvergabe**

Sollte es im Zuge der Beschaffungsartzuordnung zu einer netzwerkinternen Fremdvergabe eines (Teil-)Auftrags kommen, muss ausreichende Kapazität der Intralogistik in der Zielfabrik sichergestellt werden. Darüber hinaus werden die in der Grobplanung der internen Logistik verplanten intralogistischen Kapazitäten der ursprünglichen Fabrik wieder verfügbar.

### **Verschiebung von Teillosten außerhalb der geplanten Pufferzeiten**

Häufig führt unzuverlässige Grobplanung der Intralogistik zu einer Verschiebung bestimmter Teilloste außerhalb der geplanten Pufferzeiten. Dies kann abhängig von der zugrundeliegenden Erzeugnisstruktur zu folgenschweren Zeitverzug führen. Um unbeabsichtigten Zeitüberschreitungen entgegenzuwirken empfiehlt sich die Durchlaufterminierung mit der Methode der doppelten Terminierung unter Berücksichtigung der internen Logistik zu planen.

### **Rückgriff auf Ersatzdaten für Sekundärbedarfsermittlung**

Wegen der fehlenden Stücklisten der Fertigerzeugnisse in dieser Planungsphase, muss meist auf Ersatzdaten zurückgegriffen werden. Die dabei entstehende Planungsungenauigkeit erschwert eine präzise intralogistische Planung.

### **Reduzieren der Übergangszeiten**

Studien haben gezeigt, dass sich lediglich 5% bis 20% der anfallenden Prozesszeit als wertschöpfend erweisen.<sup>133</sup> Erhebliches Optimierungspotential bieten dabei Übergangszeiten. Darunter fallen neben Transportzeiten zu nachfolgenden Arbeitsstationen auch die Wartezeiten auf den Transport. Um Übergangszeiten zu reduzieren werden Fertigungsaufträge gesplittet oder Arbeitsgänge überlappt. Dadurch werden allerdings erhebliche zusätzliche Anforderungen an die Intralogistik gestellt.

Durch die explizite Einführung des Planungsbausteins „Bedarf an interner Logistik“ soll dem erhöhten Planungsaufwand der Intralogistik Rechnung getragen werden. Zuverlässige Ergebnisse werden erzielt, wenn der Baustein innerhalb der Schleife positioniert wird, da somit Restriktionen in der internen Logistik den Beschaffungsprogramm vorschlag kippen können.

---

<sup>133</sup> vgl. Kurbel, 2005, S.147.

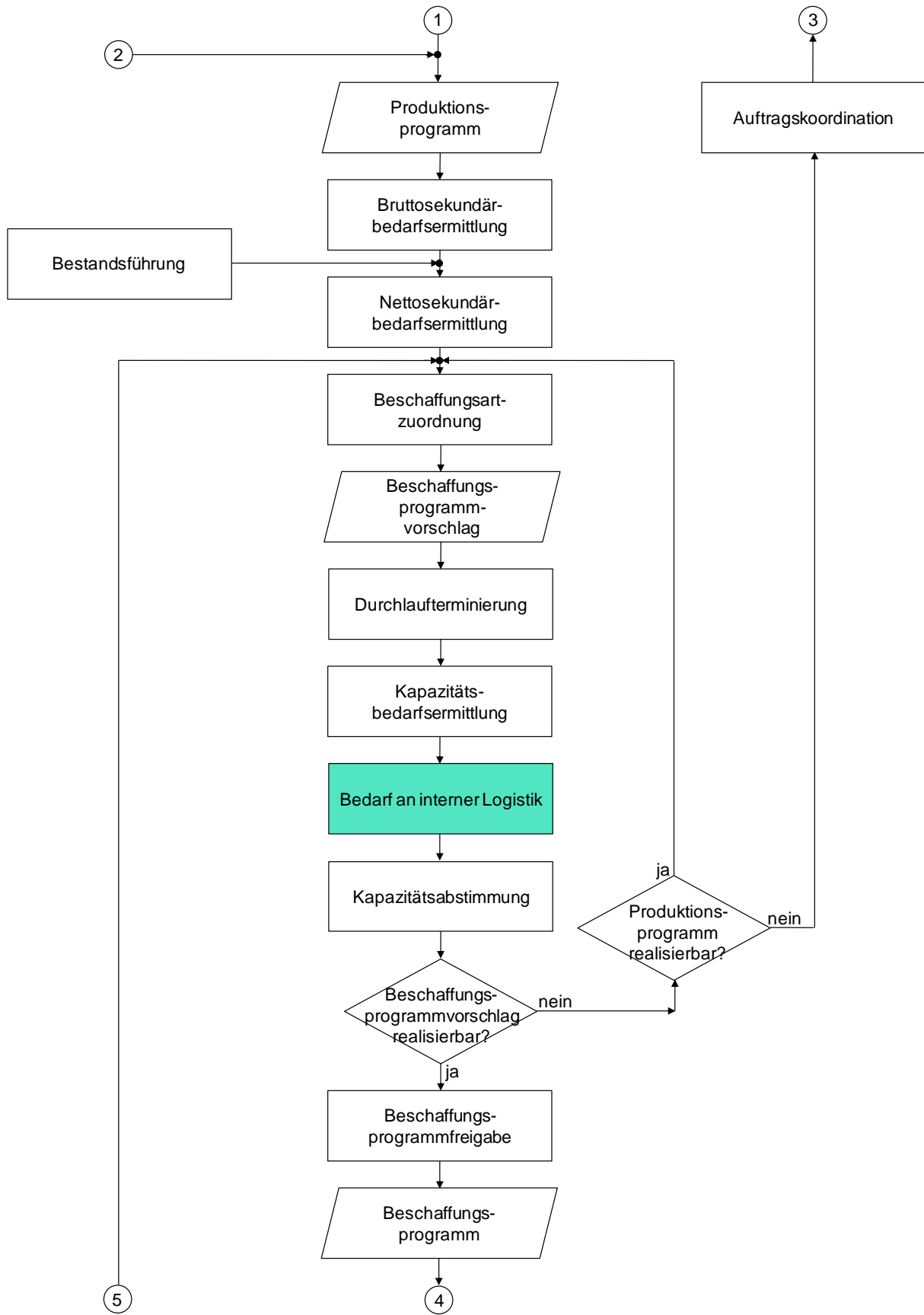


Abbildung 69: Adaptiertes Prozessmodell eines Auftragsfertigers – Produktionsbedarfsplanung



## **Einführung und Pflege von MES- und APS-Systemen**

Die Feinplanung der operativen Eigenfertigung erfordert häufig die Einführung von MES-Systemen. Es werden Ressourcen benötigt, die die Pflege des MES-Systems gewährleisten bzw. es am aktuellen Stand hält. Da sich die Intralogistik neben dem Materialfluss auch mit dem Informationsfluss beschäftigt, müssen planerische Ressourcen für die Einbindung elektronischer Leitstände zur Verfügung gestellt werden. Analog bedarf auch die Instandhaltung und Verbesserung von APS-Systemen produktionslogistische Planungsarbeit.

## **Transportkapazität an logistischen Einheiten**

Die in der Eigenfertigungsplanung ermittelten optimalen Losgrößen können nur unter Einbindung der vorhandenen intralogistischen Netzwerke ermittelt werden. Es muss sichergestellt werden, dass die Anzahl an errechneten logistischen Einheiten nicht die interne Transportkapazität übersteigt.

## **Verbrauchsgesteuerte Bedarfsermittlung**

Bedient sich ein Unternehmen der Methode der verbrauchsgesteuerten Bedarfsermittlung, erfolgen Bestellungen üblicherweise in einem zeitlich unregelmäßigen Abstand. In einem ungünstigen Fall, werden Bestellungen gleichzeitig, in mehreren Arbeitsstationen initiiert. Von einer pünktlichen Auslieferung an alle unterschiedlichen Betriebsorte, kann die Intralogistik daraufhin überfordert sein.

Die optimale Losgröße bzw. Bestellmenge kann aus den Methoden der „klassischen Bestellmengen-/Losgrößenverfahren“, der „gleitenden wirtschaftlichen Losgröße/Bestellmenge“ oder des „Stück-Perioden-Ausgleichs“ erfolgen. Dabei ist zu beachten, dass die Formeln lediglich auf Preise und Kosten der Lieferanten beruhen und etwaige Restriktionen aufgrund der internen Logistik vernachlässigt werden. Je nach gebildeter Bestellmenge/Losgröße wird mehr oder weniger logistischer Aufwand erforderlich.

## **Kurzfristige Erhöhung des Kapazitätsangebots**

Sollten im Zuge der operativen Produktionsausführung Überstunden oder Zuschichten erforderlich sein, gilt es die Infrastruktur der Intralogistik auch über den regulären Betrieb hinaus sicherzustellen. Allfällige Wartungsarbeiten oder sonstige Stillstandszeiten müssen von der verantwortlichen Stelle situationselastisch an freie Zeitspannen verschoben werden. Die Versorgungssicherheit mit Intralogistik muss auch bei temporärer Inanspruchnahme von Zeitarbeit (Aushilfspersonal) sichergestellt werden.

### **Fehlerhafte Teileklassifikation**

Sofern sich ein Produktionsbetrieb der Teileklassifikation gemäß der ABC/XYZ/GMK-Analyse bedient, können Probleme hinsichtlich Transportkapazitäten entstehen. Werden z.B. Teile fälschlicherweise als konstant anfallende X-Teile spezifiziert, könnte erhöhter Planungsaufwand für zusätzliche, ungeplante Bereitstellung von Materialtransportsystemen nötig sein, da etwaige Kapazitätsspitzen wie sie bei Z-Teilen auftreten produktionslogistisch nicht versorgt werden könnten. Besonders kompliziert wird die unvorhergesehene Handhabung von sperrigen Teilen bei einer fehlerhaften GMK-Spezifikation.

### **Kurzzeitige Spitzen von Materialtransport beim Fortschrittszahlenkonzept**

Arbeitet die Produktionssteuerung mit einem Fortschrittszahlenkonzept und hinken die Ist-Fortschrittszahlen den Soll-Zahlen deutlich hinterher, kann die Steigerung der Ausbringungsmenge unter Umständen an der Intralogistik scheitern. Es erfordert erhöhten Planungsaufwand um kurzzeitige Spitzen transportieren zu können, da die Kapazitäten der internen Logistik am Soll-Niveau ausgelegt sind.

### **Änderungen bei Kanban-Steuerung**

Zu unerwünschten Erscheinungen kann es außerdem bei Kanban-Steuerung kommen, wenn auf kurzfristige Änderungsanforderungen eingegangen werden muss. Die hohe Individualisierung der Erzeugnisse des Auftragsfertigers, kann zu Komplikationen im Kanban-System führen. So können einerseits noch keine Behälter für benötigte Teile vorhanden sein, oder andererseits die Bearbeitung an einer Station ersatzlos gestrichen werden und die entstehende Lücke das Versorgungssystem zusammenbrechen lassen. Analoge Probleme treten bei CONWIP-Steuerung auf. Zusätzlich ist die Komplexität der Auswirkungen wegen vergrößerter Regelkreise deutlich erhöht.

Um diese potentiellen Problemfelder effizient lösen zu können, empfiehlt sich die „Planung der internen Logistik“ in die Eigenfertigungsplanung und –steuerung aufzunehmen. Besonders auf die Veränderung des Kapazitätsangebotes im turbulenten Produktionsbetrieb soll dadurch eingegangen werden.

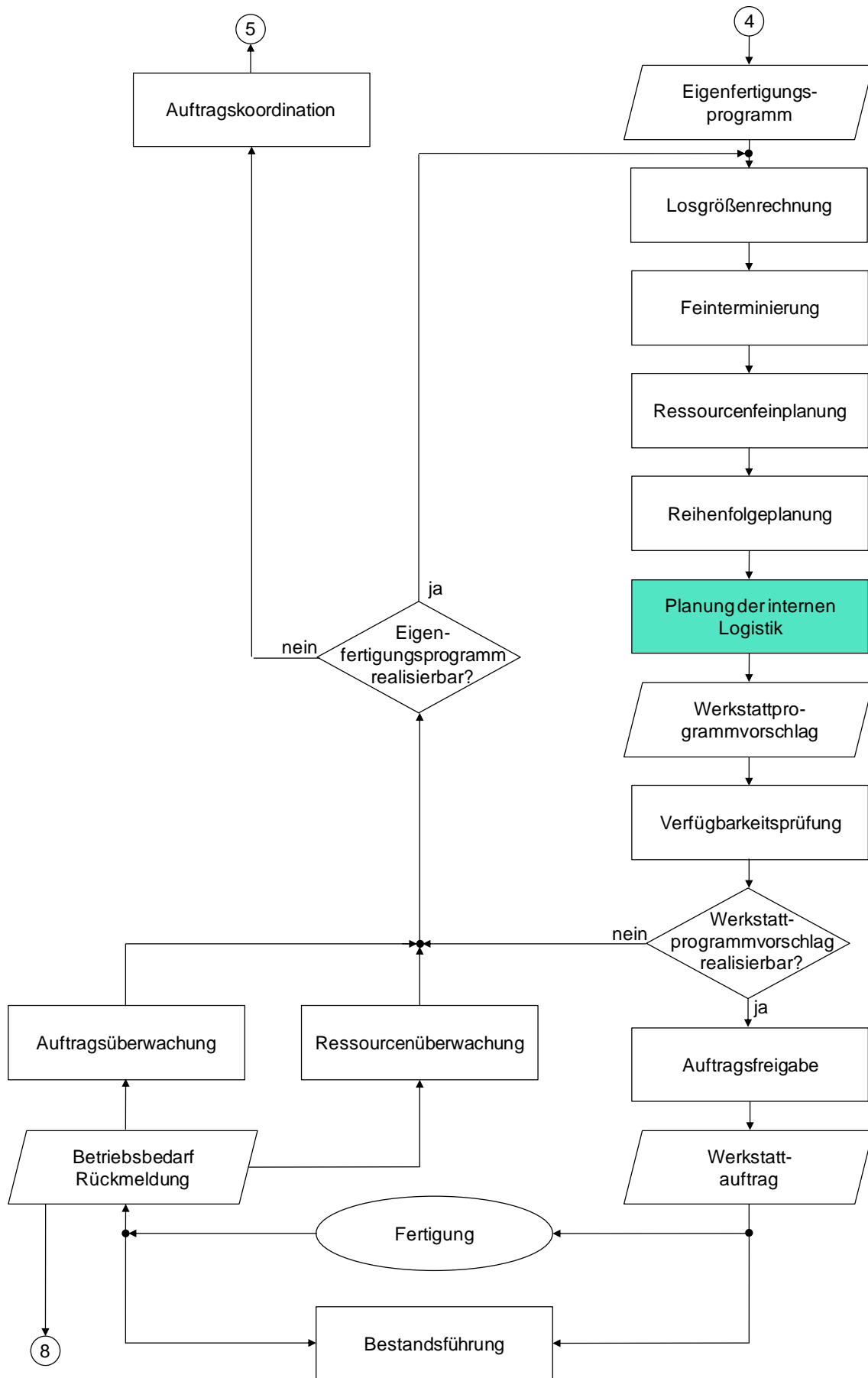


Abbildung 70: Adaptiertes Prozessmodell eines Auftragsfertigers – Eigenfertigungsplanung und -steuerung

## 4.2 Variantenfertiger

Auch beim Variantenfertiger werden in der Auftragsklärung und Auftragsbearbeitung die wichtigsten Eckdaten festgelegt. Neben der Termin- und Ressourcengrobplanung wird bei Bedarf auch ein Konstruktionsauftrag freigegeben. Allerdings vernachlässigt die Planung in diesem Stadium vollständig die Intralogistik, was zu folgenschweren Komplikationen führen kann.

### **Verweilzeiten nur aus Vergleichs- und Erfahrungsdaten**

Die Verweilzeiten beruhen wie beim Auftragsfertiger ebenfalls lediglich auf Vergleichs- und Erfahrungsdaten und führen zu einer ungenauen Planung. Somit können unvorhergesehene Warteschlangen vor Materialtransportsystemen entstehen, da sie bereits anderwärtig eingesetzt werden. Auch auf allfällige Ausfalls- oder Wartungsarbeiten wird nicht explizit eingegangen.

### **Abdeckungsgrad der Materialtransportsysteme**

Analog zum Auftragsfertiger können Teile oder Zwischenerzeugnisse an Arbeitsstationen benötigt werden, die vom Materialtransportsystem nicht erreicht werden können. Im laufenden Fabriksbetrieb erweist es sich als schwierig, nachträglich moderne Transportsysteme zu installieren.

### **Belastungsorientierte Auftragsfreigabe**

Ähnliche Verhältnisse liegen bei belastungsorientierter Auftragsfreigabe vor. Da sich die Freigabe lediglich auf eine Dringlichkeitsprüfung bezieht, kann sich der intralogistische Planungsaufwand erhöhen.

Der grob ermittelte Ressourcenbedarf und die Grobterminierung, beruhen auf Schätzwerten da meist keine genauen Planzeiten vorliegen. Deshalb kommt es in der Auftragsabwicklung häufig zu Abweichungen. Als wesentlicher Einflussfaktor könnte dabei die planerische Vernachlässigung der internen Logistik identifiziert werden. Um eine zuverlässige Planung gewährleisten zu können, empfiehlt sich die Durchführung der „auftragsbezogenen Grobplanung der internen Logistik“ systematisch in das Planungsmodell einzuarbeiten. So können etwaige Transportrestriktionen in dem Modell berücksichtigt werden. Als optimale Stelle empfiehlt es sich den Planungsbaustein unmittelbar vor der Abfrage, ob der Produktionsauftrag realisierbar sei, anzuordnen. Somit kann ein Auftrag im Falle einer benötigten Bauteilkonstruktion aufgrund Logistikrestriktionen zurückgestuft werden.

Im Großen und Ganzen muss der Berücksichtigung der Intralogistik in der Auftragsklärung und Auftragsbearbeitung des Variantenfertigers aber weniger Gewicht als beim Auftragsfertiger beigemessen werden. Aufgrund des erhöhten Anteils an einfach zu planender, auftragsanonymer Vorproduktion des Variantenfertigers, entsteht

ein stabileres Produktionsprogramm. Die damit verbundene weniger schwankende Intralogistik führt zwangsläufig zu weniger volatilem Planungsaufwand der Intralogistik für die auftragsbezogene Endproduktion.

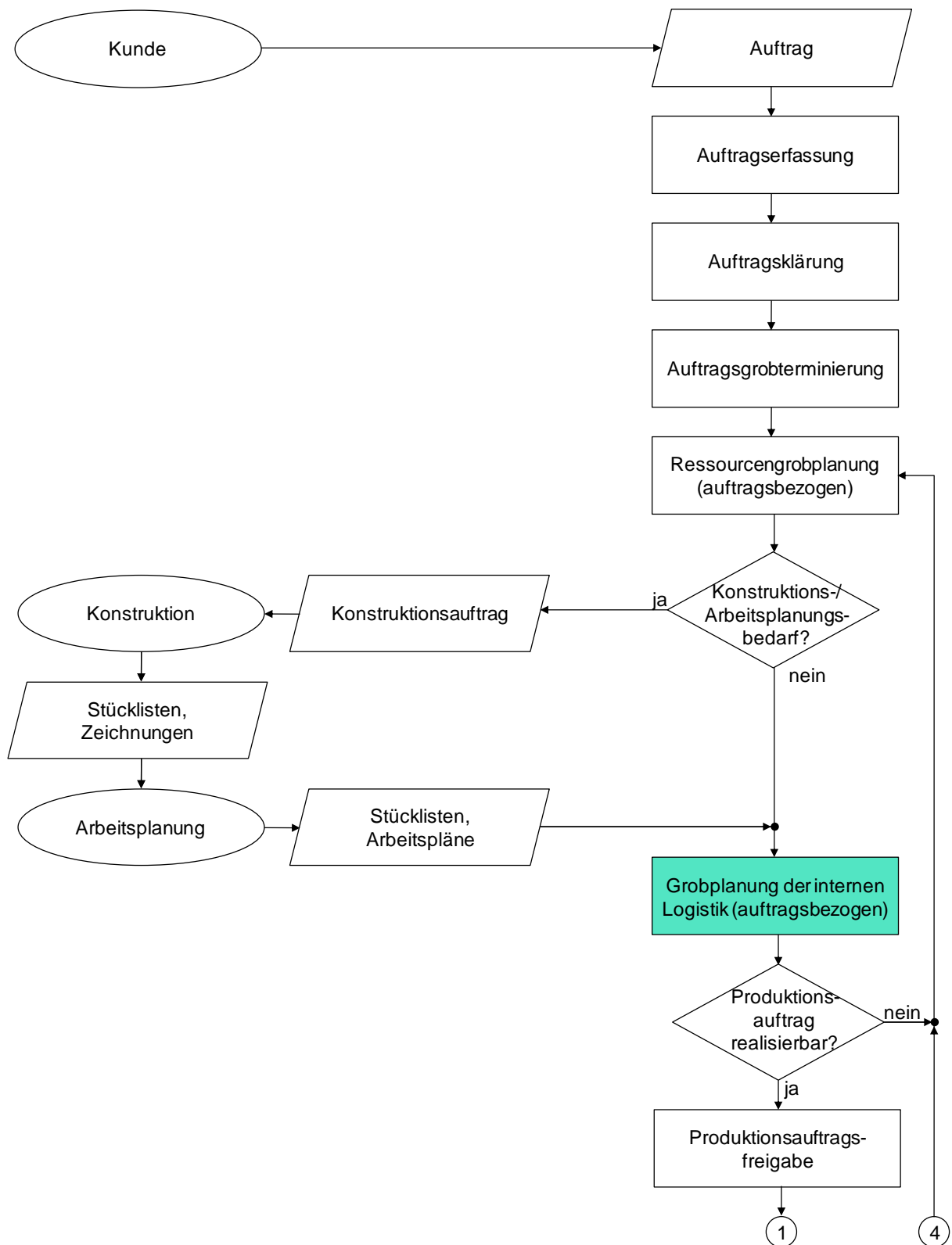


Abbildung 71: Adaptiertes Prozessmodell eines Variantenfertigers – Auftragsklärung und Auftragsbearbeitung

### **Planerische Komplexität aufgrund vieler involvierter Stellen**

Die Produktionsprogrammplanung bewältigt die planerische Abwicklung der auftragsanonymen Erzeugung von (Teil-)Projekten. Da zwischen einem Standardprodukt innerhalb einer Produktgruppe und einer Erzeugniskonfiguration unterschieden wird, werden zusätzliche Komplexitätsanforderungen an die Intralogistik gestellt. Sollte nämlich ein Erzeugnis fälschlicherweise als konkrete Produktvariante eingestuft werden, müssen im Nachhinein u.a. intralogistische Kapazitäten geschaffen werden. Allerdings verringern sich wegen der Produktunterscheidung im Regelfall die Auswirkungen einer schlecht geplanten Logistik im Vergleich zum Auftragsfertiger.

### **Von Absatzprognosen abweichende Nachfrage**

Abweichende Nachfrage von angenommenen Absatzzahlen beruht auf denselben Effekten wie beim Auftragsfertiger. Allerdings führen sie beim Variantenfertiger zu weitaus größeren Schwierigkeiten, da dort der Anteil an prognosebasierter Fertigung deutlich größer ist.

### **Investitionen in Produktionskapazität**

Auch der Variantenfertiger wird seine Produktionskapazitäten erhöhen, wenn von anhaltendem Anstieg der Nachfrage ausgegangen werden kann. Während beim Auftragsfertiger die Ausstattung vieler verschiedener Arbeitsstationen mit unterschiedlichen Fertigungsverfahren erheblichen intralogistischen Planungsaufwand erfordert, bedarf die Aufstockung beim Variantenfertiger weniger Planungskapazität. Die Kapazitätsaufstockung bei Herstellung größerer Lose, in einer beschränkten Variantenzahl, ist in der Regel leichter intralogistisch zu versorgen.

Es wird empfohlen, den Planungsbaustein der „auftragsanonymen Grobplanung der internen Logistik“ an der Stelle nach der auftragsanonymen Ressourcengrobplanung in das Prozessmodell aufzunehmen. Aufgrund der Schleife kann die Produktionslogistik iterativ, bis der Produktionsprogrammorschlag realisierbar ist, optimiert werden.

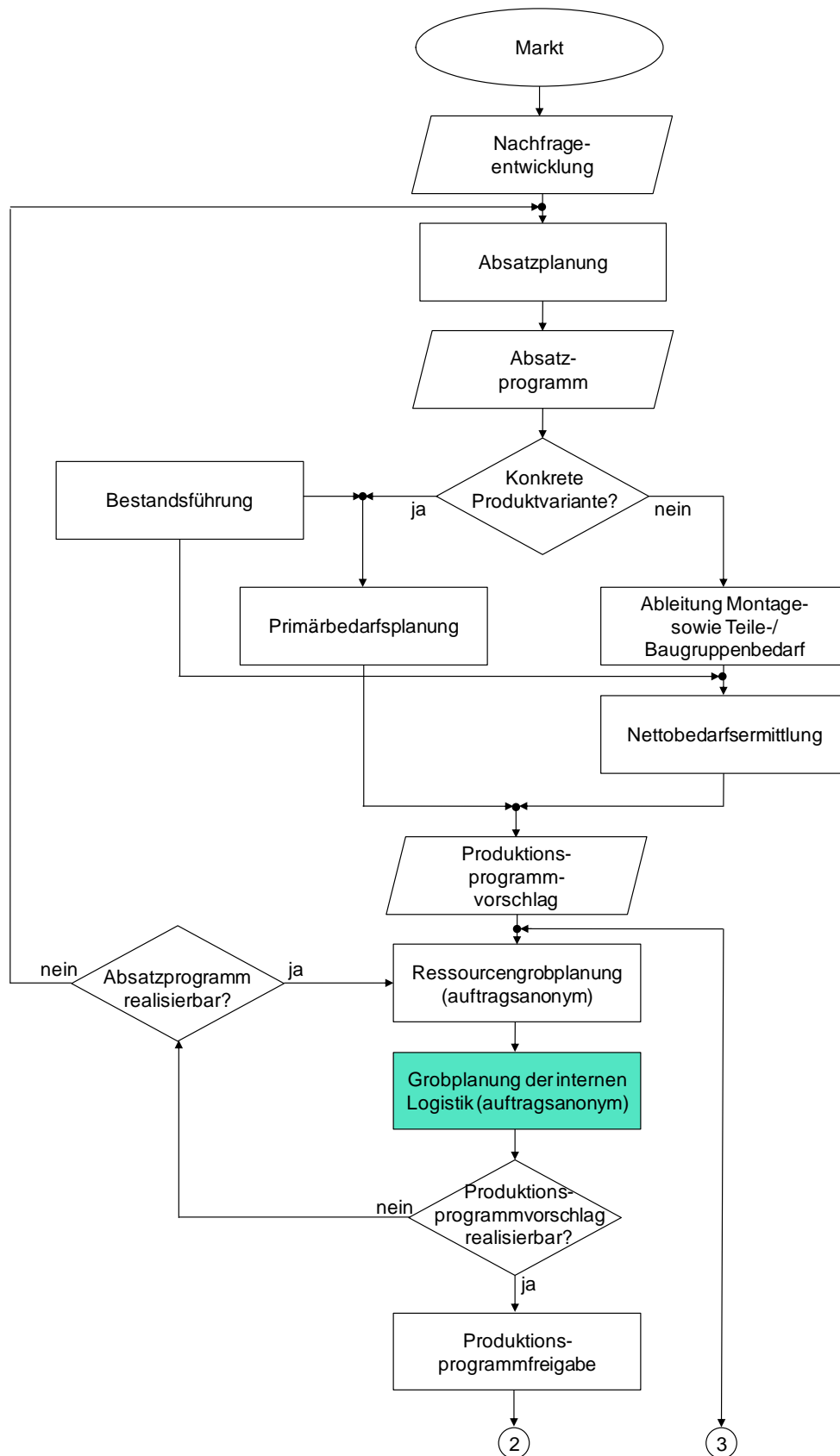


Abbildung 72: Adaptiertes Prozessmodell eines Variantenfertigers – Produktionsprogrammplanung

### **Netzwerkinterne Fremdvergabe**

Wenn durch die Beschaffungsartzuordnung eine netzwerkinterne Fremdvergabe eines (Teil-)Auftrags erfolgt, muss die Verfügbarkeit von ausreichend intralogistischer Kapazität in der Vergabefabrik gewährleistet werden. Zudem wird die in der Grobplanung bereits verplante Logistik wieder verfügbar. Dieser Effekt tritt beim Variantenfertiger jedoch etwas gemäßiger auf, da lediglich die variantenspezifische Endproduktion fremd disponiert werden kann.

### **Verschiebung von Teillosten außerhalb der geplanten Pufferzeiten**

Sollten wegen ungenauer Grobplanung bestimmte Teilloste außerhalb der geplanten Pufferzeiten bearbeitet werden, kann dies abhängig von der Erzeugnisstruktur zu erheblichem Zeitverzug führen. Da sich der Variantenfertiger allerdings durch einen hohen Anteil an auftragsanonymer Vorproduktion auszeichnet, fällt dieser Effekt geringer als beim Auftragsfertiger aus.

### **Rückgriff auf Ersatzdaten für Sekundärbedarfsermittlung**

Da die Stücklisten der Fertigerzeugnisse vollständig spezifiziert sind, steht ausreichend Information zur Verfügung um eine präzise intralogistische Planung abzugeben.

### **Reduzieren der Übergangszeiten**

Das Optimierungspotential der Übergangszeiten kann beim Variantenfertiger einfacher umgesetzt werden. Der erhöhte Anteil an kundenanonymer Vorproduktion erleichtert dabei das Splitten von Fertigungsaufträgen oder das Überlappen von Arbeitsgängen. Wegen der gleichbleibenden Prozesse in der Vorproduktion können aufgrund gewonnener Routine etwaige Verbesserungspotentiale einfacher mit der Intralogistik in Einklang gebracht werden.

Es empfiehlt sich die Einführung des Planungsbausteins „Bedarf an interner Logistik“ um dem erhöhten Planungsaufwand gerecht zu werden. Eine zuverlässige Planung wird erzielt, wenn der Baustein innerhalb der Schleife angeordnet wird, da somit Komplikationen der internen Logistik den Beschaffungsprogrammorschlag kippen können.



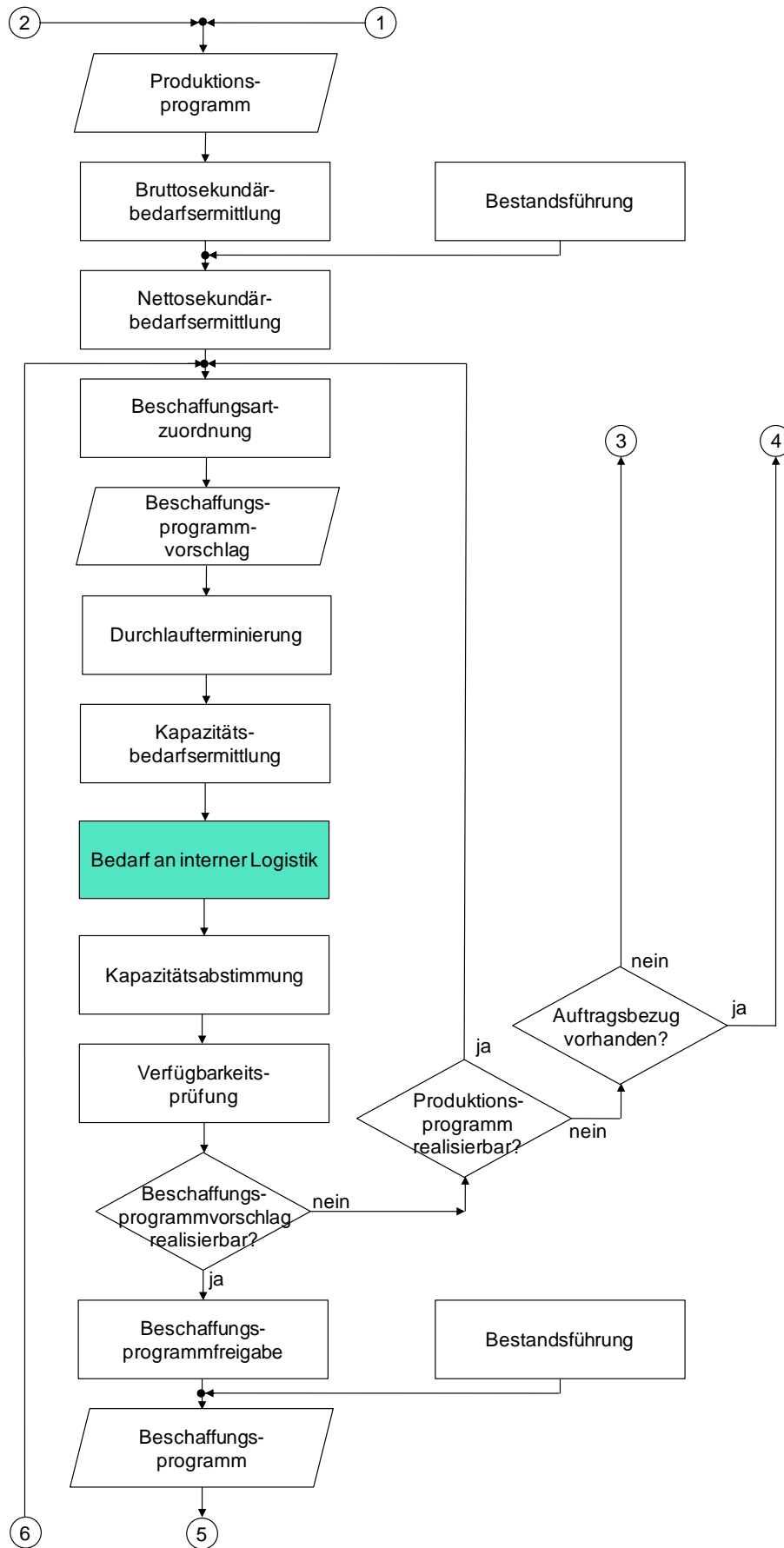


Abbildung 73: Adaptiertes Prozessmodell eines Variantenfertigers – Produktionsbedarfsplanung

## **Einführung und Pflege von MES- und APS-Systemen**

Die Einführung und Pflege von MES- und APS-Systemen bedarf auch beim Variantenfertiger produktionslogistische Planungsarbeit. Da diese Systeme vor allem die Massenfertigung unterstützen, ist die einwandfreie Funktionsweise dieser Hilfsmittel beim Variantenfertiger von großer Bedeutung. Die kundenanonyme Vorproduktion in umfangreichen Losen, kommt dem Begriff der Massenfertigung am nächsten.

## **Transportkapazität an logistischen Einheiten**

Die errechneten optimalen Losgrößen müssen intralogistisch befördert werden. Die Vorproduktion des Variantenfertigers erfolgt meist in einem geübten und optimierten Produktionsablauf, indem sich die zur Verfügung stehenden Logistikkapazitäten bereits bewährt haben. Die optimalen Losgrößen der auftragsbezogenen Fertigung stellen ein unvorhersehbares Risiko dar, das im schlimmsten Fall die Transportkapazitäten der Intralogistik übersteigt. In diesem Fall setzt sich der Variantenfertiger also einer geringeren Gefahr aus.

## **Verbrauchsgesteuerte Bedarfsermittlung**

Ermittelt ein Variantenfertiger seinen Bedarf verbrauchsgesteuert, erfolgen auch hier Bestellungen in zeitlich unregelmäßigen Intervallen. Wenn Aufträge gleichzeitig an mehreren Arbeitsorten initiiert werden, kann die Intralogistik ebenfalls von der pünktlichen Auslieferung an alle Betriebsstationen überfordert sein. Da beim klassischen Variantenfertiger die genauen Stücklisten schon sehr früh in der Auftragsabwicklung feststehen, werden Bestellungen aber überwiegend bedarfsorientiert ausgelöst.

Die optimale Losgröße bzw. Bestellmenge wird aus den gleichen Modellen errechnet wie beim Auftragsfertiger. Je nach gebildeter Bestellmenge/Losgröße wird auch beim Variantenfertiger mehr oder weniger logistischer Aufwand erforderlich.

## **Kurzfristige Erhöhung des Kapazitätsangebots**

Die Infrastruktur der Intralogistik für etwaige Zusatzschichten oder für temporäre Inanspruchnahme von Zeitarbeit (Aushilfspersonal) muss sichergestellt werden. Nötige Wartungsarbeiten oder sonstige Stillstandszeiten müssen an freie Zeitspannen verschoben werden. Da der Variantenfertiger aufgrund auftragsanonymer Vorproduktion einer überschaubaren Teilevielfalt naturgemäß Lagerbestände aufgebaut hat, kann er kurzfristige Nachfragespitzen leichter bedienen als der Auftragsfertiger.

## **Fehlerhafte Teileklassifikation**

Bei fehlerhafter Teileklassifikation gemäß der ABC/XYZ/GMK-Analyse, können Probleme hinsichtlich Transportkapazitäten auftreten. Durch den hohen Anteil an gleichbleibender Vorproduktion, in der unvorhergesehene Probleme aufgrund fehlerhafter

ABC/XYZ/GMK-Analyse praktisch ausgeschlossen sind und da der Anteil an planungsintensiver, kundenauftragsbezogener Endproduktion eines Variantenfertigers oft auf gleichen Produktionsstrukturen basiert (oft unterscheiden sich die Varianten nur aufgrund eines einzigen geänderten Bauteils), spielt dieser Effekt aber eine geringere Rolle als beim Auftragsfertiger.

### **Kurzzeitige Spitzen von Materialtransport beim Fortschrittszahlenkonzept**

Unterliegt der Produktionssteuerung ein Fortschrittszahlenkonzept, kann es dazu führen, dass die Ist-Fortschrittszahlen den Soll-Zahlen hinterher hinken. Die Steigerung der Ausbringungsmenge kann unter Umständen an fehlenden intralogistischen Kapazitäten scheitern. Da zu einem bestimmten Zeitpunkt bereits die genaue Art und Menge einer bestimmten Bestellposition vorliegt, weist das Fortschrittszahlenkonzept Merkmale einer bedarfsgesteuerten Bestellinitiierung auf. Besonders der Variantenfertiger arbeitet mit deterministischer Bedarfsermittlung und somit spielen die Risiken beim Fortschrittszahlenkonzept hier eine größere Rolle.

### **Änderungen bei Kanban-Steuerung**

Zu Komplikationen kann es auch beim Variantenfertiger bei Rückgriff auf Kanban- oder CONWIP-Steuerung kommen. Kurzfristige Änderungsanforderungen provozieren Lücken in der Fertigungskette oder lassen das Versorgungssystem aufgrund fehlender Behälter zusammenbrechen. Beim Variantenfertiger finden diese Systeme häufiger Anwendung. Der hohe Grad an auftragsanonymer Vorproduktion, weniger variantenreicher Teile, zielt oft auf einen selbststeuernden Regelkreis ab.

Um nicht den Gefahren der genannten potentiellen Fehlerquellen aufzulaufen, empfiehlt sich die „Planung der internen Logistik“ in die Eigenfertigungsplanung und –steuerung aufzunehmen. Im chronologischen Ablauf ist der Platz direkt nach der Reihenfolgeplanung besonders prädestiniert, um einen optimalen Werkstattprogramm-vorschlag abgeben zu können.

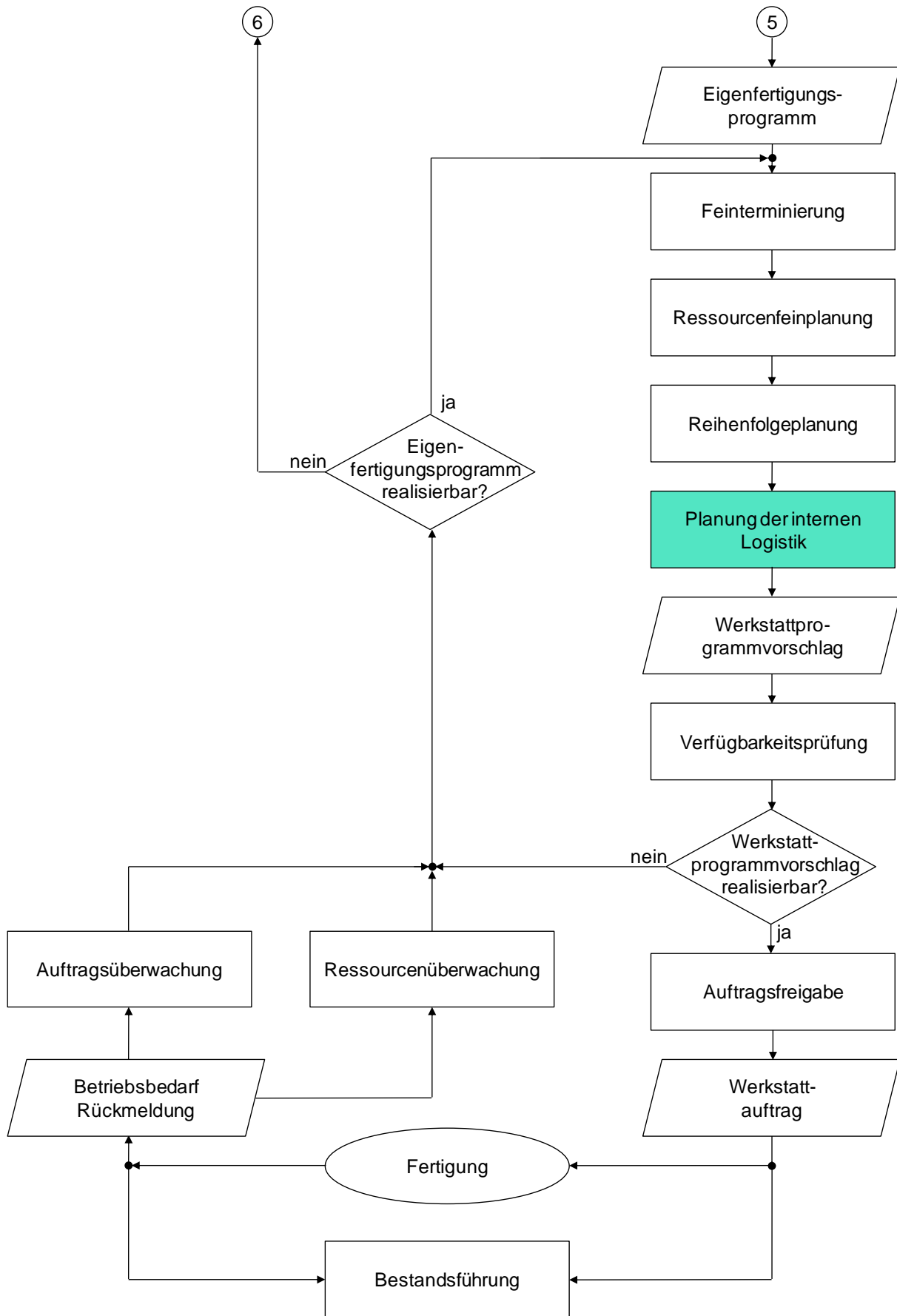


Abbildung 74: Adaptiertes Prozessmodell eines Variantenfertigers – Eigenfertigungsplanung und -steuerung

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

In der zugrundeliegenden Arbeit wurden potentielle Schwachstellen der internen Auftragsabwicklung des Aachener PPS-Systems aufgezeigt. Die Untersuchung erfolgte unter dem Blickwinkel der Produktionslogistik (Teilgebiet der internen Logistik, siehe Kapitel 2.4). Je nach unterschiedenem Auftragsabwicklungstyp spielen die Aspekte der internen Logistik eine unterschiedlich starke Rolle. Es erfolgte der Vergleich zwischen einem Auftragsfertiger und einem Variantenfertiger. In nachstehender Tabelle sind die identifizierten, potentiellen Problemfelder, die in den unterschiedlichen Phasen der Auftragsabwicklung zu intralogistischen Komplikationen führen können, aufgelistet. Abhängig vom betrachteten Problemfeld und Auftragsabwicklungstyp muss die Intralogistik mehr oder weniger stark berücksichtigt werden.

| Potentielle Problemfelder  | Auftragsfertiger | Variantenfertiger |
|--|------------------|-------------------|
| <b>Auftragsklärung und Auftragsbearbeitung</b>                   |                  |                   |
| Verweilzeiten nur aus Vergleichs- und Erfahrungsdaten            | mehr             | weniger           |
| Abdeckungsgrad der Materialtransportsysteme                      | mehr             | weniger           |
| Belastungsorientierte Auftragsfreigabe                           | mehr             | weniger           |
| <b>Produktionsprogrammplanung</b>                                |                  |                   |
| Planerische Komplexität aufgrund vieler involvierter Stellen     | mehr             | weniger           |
| Von Absatzprognosen abweichende Nachfrage                        | weniger          | mehr              |
| Investitionen in Produktionskapazität                            | mehr             | weniger           |
| <b>Produktionsbedarfsplanung</b>                                 |                  |                   |
| Netzwerkinterne Fremdvergabe                                     | mehr             | weniger           |
| Verschiebung von Teillosten außerhalb der geplanten Pufferzeiten | mehr             | weniger           |
| Rückgriff auf Ersatzdaten für Sekundärbedarfsermittlung          | mehr             | weniger           |
| Reduzieren der Übergangszeiten                                   | mehr             | weniger           |
| <b>Eigenfertigungsplanung und -steuerung</b>                     |                  |                   |
| Einführung und Pflege von MES- und APS-Systemen                  | weniger          | mehr              |
| Transportkapazität an logistischen Einheiten                     | mehr             | weniger           |

|  |         |         |
|--|---------|---------|
| Verbrauchsgesteuerte Bedarfsermittlung                                   | mehr    | weniger |
| Kurzfristige Erhöhung des Kapazitätsangebots                             | mehr    | weniger |
| Fehlerhafte Teileklassifikation  | mehr    | weniger |
| Kurzzeitige Spitzen von Materialtransport beim Fortschrittszahlenkonzept | weniger | mehr    |
| Änderungen bei Kanban-Steuerung  | weniger | mehr    |

**Tabelle 3: Gegenüberstellung potentieller Fehlerquellen durch Produktionslogistik**

Hinsichtlich der Auswirkung des Auftragsabwicklungstyps konnte folgende Erkenntnis erlangt werden. Jene Hersteller, die in ihren Planungsprozessen einen hohen Anteil an kundenanonymer Vorproduktion zu verbuchen haben, sind den potentiellen Komplikationen durch die Produktionslogistik weit weniger ausgesetzt. Bedingt durch größere Fertigungslose in geringerer Vielfalt stellt sich ein routinemäßiger Arbeitsablauf ein, bei dem die Produktionslogistik schrittweise optimiert werden kann. Unternehmen, die sich des internen Auftragsabwicklungstyps eines Variantenfertigers oder Lagerfertigers bedienen, sind hier klar im Vorteil.

Produktionsbetriebe, die ihren Absatz für die laufende Periode aufgrund von Prognosen erstellen, können auf unterschiedliche Weise produktionslogistischen Gefahren auflaufen. Einerseits können die Kapazitäten der verplanten Produktionslogistik schlicht zu groß oder zu klein sein. Andererseits kann sich auch eine Nachfrage nach völlig anderen Produktkonfigurationen einstellen, die zu einer komplexen Umgestaltung der produktionslogistischen Versorgung führt. Hier wiederum beziehen Rahmenauftragsfertiger bzw. Auftragsfertiger eine günstigere Position, da diese im Allgemeinen weniger auf Prognosen zurückgreifen.

Es wurde deutlich ersichtlich, dass produktionslogistische Prozesse den Großteil aller Planungsmethoden moderner PPS-Systeme beeinflussen. Meist spielen sie aber nur in Form von Unterstützungsprozessen eine sekundäre Rolle, weshalb auf deren genaue Planung häufig verzichtet wird. Da Komplikationen in produktionslogistischen Abläufen genauso zu Verzögerungen in der Auftragsabwicklung führen, lautet meine Empfehlung, die Aspekte der Produktionslogistik als festen Bestandteil des Planungsprozesses aufzunehmen.

## 6 Literaturverzeichnis

Arnold, D.: Intralogistik, Potentiale, Perspektiven, Prognosen. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2006

Broßmann, M.; Mödinger, W.: Praxisguide Wissensmanagement, Qualifizieren in Gegenwart und Zukunft. Planung, Umsetzung und Controlling in Unternehmen, Berlin-Heidelberg, Springer, 2011

Chakraborty, S.; Pal, M.; Nayak, P. K.: Intuitionistic fuzzy optimization technique for Pareto optimal solution of manufacturing inventory models with shortages, *European Journal of Operational Research*, 228 (2013), S.381–387.

Chern, C.-C.; Wu, L.-L.; Kung, L.-C.: Designing a decision-support system for new product sales forecasting, *Expert Systems with Applications*, 37 (2010), S.1654–1665.

Chu, Y.; You, F.; Wassick, J.: Integrated planning and scheduling under production uncertainties, Bi-level model formulation and hybrid solution method, *Computers and Chemical Engineering*, (2014), S.1f.

Domschke, W., Scholl, A.: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Eine Einführung aus entscheidungsorientierter Sicht, Darmstadt, Springer Verlag, 2008

Domschke, W., Scholl, A., Voß, S.: Produktionsplanung, Ablauforganisatorische Aspekte, Darmstadt, Braunschweig, Springer Verlag, 1997

Ehrenberg, G.: ERP-Einführung, Best Practice, *ERP Management* 9, 2013

Ehrental, J.; Honhon, D.; Van Woensel, T.: Demand seasonality in retail inventory management, *European Journal of Operational Research*, 238 (2014), S.527-539.

Grundig, C.-G.: Fabrikplanung, Planungssystematik - Methoden - Anwendungen. München, Carl Hanser Verlag, 2013

Haasis, H.-D.: Produktions- und Logistikmanagement, Planung und Gestaltung von Wertschöpfungsprozesse, Bremen, GWV Fachverlage, 2008

Jodlbauer, H.: Produktionsoptimierung, Wertschaffende sowie kundenorientierte Planung und Steuerung, Wien, Springer Verlag, 2007

Kletti, J., Schumacher J. Die perfekte Produktion, Manufacturing Excellence durch Short Interval Technology (SIT), Berlin Heidelberg, Springer Verlag, 2011

Kluck, D.: Materialwirtschaft und Logistik, Lehrbuch mit Beispielen und Kontrollfragen, Pfullingen, Schäffer-Poeschel Verlag für Wirtschaft, 2008

- Koether, R.: Taschenbuch der Logistik, Leipzig, Carl Hanser Verlag, 2011
- Kurbel, K.: Produktionsplanung und -steuerung im Enterprise Resource Planning und Supply Chain Management, München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2005
- Kurbel, K.: Produktionsplanung und -steuerung, Methodische Grundlagen von PPS-Systemen und Erweiterungen, München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2003
- Liu, L.; Wu, D.: Optimization Model for Production Planning Based on Dynamic Programming, Hangzhou, IEEE Computer Society, (2009), S.123-127.
- Musshoff, O.; Hirschauer, N.: What benefits are to be derived from improved farm program planning approaches? – The role of time series models and stochastic optimization, Agricultural Systems, 95 (2007), S.11-27.
- Oeldorf, G., Oelfert, K.: Material-Logistik, Kompendium der praktischen Betriebswirtschaft, Baden-Baden/Heidelberg, NWB Verlag, 2013
- Pfohl, H.-C.: Logistiksysteme, Betriebswirtschaftliche Grundlagen, Darmstadt, Springer Verlag, 2003
- Sbrana, G.; Silvestrini, A.: Forecasting aggregate demand: Analytical comparison of top-down and bottom-up approaches in a multivariate exponential smoothing framework, Int. J. Production Economics, 146 (2013), S.185-198.
- Schneider, H., Busacott, J., Rücker, T.: Operative Produktionsplanung und -steuerung, Konzepte und Modelle des Informations- und Materialflusses in komplexen Fertigungssystemen, Illmenau, Toronto, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2005
- Schuh, G.: Produktionsplanung und -steuerung, Grundlagen, Gestaltung und Konzepte, Aachen, Springer Verlag, 2006
- Tempelmeier, H.: Material-Logistik, Modelle und Algorithmen für die Produktionsplanung und -steuerung in Advanced Planning-Systemen, Köln, Springer Verlag, 2005
- Thome, R.; Böhnlein, C.: Versorgungsterminplanung im Supply Chain Management - Lieferterminbestimmung und Termintreue verbessern, WISU - Das Wirtschaftsstudium, 2011
- Vry, W.: Materialwirtschaft in Industriebetrieb, Beschaffung, Lagerhaltung, Logistik. Bad Oldesloe, Friedrich Kiehl Verlag, 2008
- Wannenwetsch, H.: Integrierte Materialwirtschaft und Logistik, Beschaffung, Logistik, Materialwirtschaft und Produktion, Mannheim, Springer Verlag, 2006



Wiendahl, H.-P.: Betriebsorganisation für Ingenieure, Hannover, Carl Hanser Verlag, 2010

Wilmjakob, H.: PPS im Automobilbau, Produktionsprogrammplanung und -steuerung von Fahrzeugen und Aggregaten, Wolfsburg, Carl Hanser Verlag, 2012

## 7 Abbildungsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 1: inhaltliche Struktur der Arbeit.....  | 5  |
| Abbildung 2: Herausforderungen bei der Softwareauswahl.....  | 8  |
| Abbildung 3: Überblick der zu planenden Kosten .....   | 10 |
| Abbildung 4: Funktionen der Produktionsplanung und -steuerung .....  | 13 |
| Abbildung 5: Auswirkung von $\square$ bei exponentieller Glättung erster Ordnung.....                                      | 15 |
| Abbildung 6: Ergebnis einer ABC-Analyse .....  | 18 |
| Abbildung 7: XYZ-Unterscheidung .....  | 19 |
| Abbildung 8: Matrix zur Bedarfsermittlung nach ABC/XYZ-Analyse .....   | 19 |
| Abbildung 9: Materialgruppen der ABC/XYZ/GMK-Analyse .....   | 20 |
| Abbildung 10: Lagerbestandsverlauf bei gleichmäßigem Lagerabgang .....   | 21 |
| Abbildung 11. Losgrößenabhängiger Verlauf der Lagerkosten.....   | 24 |
| Abbildung 12: Bedarfe der Produkte A und B in der nächsten Woche .....   | 25 |
| Abbildung 13: Beispiel einer Erzeugnisstruktur .....   | 26 |
| Abbildung 14: Gozintograph für unterschiedliche Erzeugnisstrukturen .....  | 27 |
| Abbildung 15: Erzeugnisdarstellung als Stücklisten oder Verwendungsnachweis.....   | 28 |
| Abbildung 16: Auftragsnetz bei Rückwärtsterminierung .....   | 29 |
| Abbildung 17: Auftragsnetz bei Vorwärtsterminierung.....   | 30 |
| Abbildung 18: Pufferzeiten bei Kombination Rückwärts- und Vorwärtsterminierung .   | 31 |
| Abbildung 19: Verkürzung der Durchlaufzeit durch Lossplittung .....  | 32 |
| Abbildung 20: Durchlaufzeit ohne Überlappung von Arbeitsgängen.....  | 33 |
| Abbildung 21: Durchlaufzeit mit Überlappung von Arbeitsgängen.....   | 34 |
| Abbildung 22: Vergleich von Kapazitätsangebot und -bedarf einer Arbeitsstation ....  | 35 |
| Abbildung 23: Integrationsformen von Informationssystemen .....  | 37 |
| Abbildung 24: MES Regelkreis zur kurzfristigen Reaktion auf Ereignisse .....   | 37 |
| Abbildung 25: Schnittstellen von MES .....   | 38 |
| Abbildung 26: Koordination zwischen ERP und Leitständen .....  | 40 |
| Abbildung 27: Planungsmatrix des Supply Chain .....  | 42 |
| Abbildung 28: Bereiche der Unternehmenslogistik .....  | 43 |
| Abbildung 29: Logistische Kette .....  | 44 |
| Abbildung 30: Zielsystem der Produktionslogistik.....  | 44 |
| Abbildung 31: Groblayout eines Produktionsbetriebes mit Materialfluss .....  | 46 |
| Abbildung 32: Möglichkeiten zur Bildung logistischer Einheiten .....   | 47 |
| Abbildung 33: Vergleich von Fortschrittszahlen.....  | 52 |
| Abbildung 34: Beziehung zwischen ERP, MES und Kanban.....  | 53 |
| Abbildung 35: Unterschied der Material- und Informationsflüsse zwischen Kanban<br>und zentraler Produktionssteuerung ..... | 54 |
| Abbildung 36: Beispiel für eine Kanban-Karte .....   | 55 |
| Abbildung 37: Funktionsweise mit elektronischen Kanban .....   | 56 |

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 38: Gegenüberstellung von konventioneller Auftragsfreigabe und BOA ...                                 | 57 |
| Abbildung 39: Funktionsweise der Kanban- und CONWIP-Steuerung .....  | 58 |
| Abbildung 40: Aufbau automatischer Materialflusssysteme .....  | 48 |
| Abbildung 41: Qualitativer Vergleich der Investitionen in Förderstrecke und Fahrzeug<br>von Fördersystemen ..... | 51 |
| Abbildung 42: Entscheidungsfelder des Aachener PPS-Modells.....  | 60 |
| Abbildung 43: Medellierungselemente im Referenzmodell .....  | 62 |
| Abbildung 44: Merkmalsausprägung nach Auftragsauslösungsart .....  | 63 |
| Abbildung 45: Merkmalsausprägung nach Erzeugnisspektrum .....  | 63 |
| Abbildung 46: Merkmalsausprägung nach Erzeugnisstruktur.....   | 63 |
| Abbildung 47: Merkmalsausprägung nach Ermittlung des Erzeugnis-/<br>Komponentenbedarfs.....                      | 64 |
| Abbildung 48: Merkmalsausprägung nach Auslösung des Sekundärbedarfs .....  | 64 |
| Abbildung 49: Merkmalsausprägung nach Beschaffungsart.....   | 64 |
| Abbildung 50: Merkmalsausprägung nach Bevorratung .....  | 65 |
| Abbildung 51: Merkmalsausprägung nach Fertigungsart .....  | 65 |
| Abbildung 52: Merkmalsausprägung nach Ablaufart in der Teilefertigung.....                                       | 66 |
| Abbildung 53: Merkmalsausprägung nach Ablaufart in der Montage .....   | 66 |
| Abbildung 54: Merkmalsausprägung nach Fertigungsstruktur.....  | 66 |
| Abbildung 55: Merkmalsausprägung nach Kundenänderungseinflüssen während der<br>Fertigung.....                    | 67 |
| Abbildung 56: Prozessmodell eines Auftragsfertigers – Anfrageerfassung und<br>Angebotserstellung .....           | 69 |
| Abbildung 57: Prozessmodell eines Auftragsfertigers – Auftragsklärung und<br>Auftragsbearbeitung.....            | 71 |
| Abbildung 58: Prozessmodell eines Auftragsfertigers – Produktionsprogrammplanung<br>.....                        | 72 |
| Abbildung 59: Prozessmodell eines Auftragsfertigers – Produktionsbedarfsplanung                                  | 74 |
| Abbildung 60: Prozessmodell eines Auftragsfertigers – Eigenfertigungsplanung und<br>-steuerung.....              | 75 |
| Abbildung 61: Prozessmodell eines Variantenfertigers – Anfrageerfassung und<br>Angebotserstellung .....          | 78 |
| Abbildung 62: Prozessmodell eines Variantenfertigers – Auftragsklärung und<br>Auftragsbearbeitung.....           | 80 |
| Abbildung 63: Prozessmodell eines Variantenfertigers –<br>Produktionsprogrammplanung.....                        | 81 |
| Abbildung 64: Prozessmodell eines Variantenfertigers – Produktionsbedarfsplanung<br>.....                        | 83 |
| Abbildung 65: Prozessmodell eines Variantenfertigers – Eigenfertigungsplanung und<br>-steuerung.....             | 84 |
| Abbildung 66: GAP-Analyse zur Erreichung der strategischen Ziele.....  | 85 |

---

|   |     |
|---|-----|
| Abbildung 67: Adaptiertes Prozessmodell eines Auftragsfertigers – Auftragsklärung und Auftragsbearbeitung.....  | 88  |
| Abbildung 68: Adaptiertes Prozessmodell eines Auftragsfertigers – Produktionsprogrammplanung.....               | 90  |
| Abbildung 69: Adaptiertes Prozessmodell eines Auftragsfertigers – Produktionsbedarfsplanung.....                | 92  |
| Abbildung 70: Adaptiertes Prozessmodell eines Auftragsfertigers – Eigenfertigungsplanung und -steuerung.....    | 95  |
| Abbildung 71: Adaptiertes Prozessmodell eines Variantenfertigers – Auftragsklärung und Auftragsbearbeitung..... | 97  |
| Abbildung 72: Adaptiertes Prozessmodell eines Variantenfertigers – Produktionsprogrammplanung.....              | 99  |
| Abbildung 73: Adaptiertes Prozessmodell eines Variantenfertigers – Produktionsbedarfsplanung.....               | 101 |
| Abbildung 74: Adaptiertes Prozessmodell eines Variantenfertigers – Eigenfertigungsplanung und -steuerung.....   | 104 |

## 8 Formelverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Formel 1: Wirtschaftlichkeit.....   | 8  |
| Formel 2: Deckungsbeitrag als Zielgröße .....   | 13 |
| Formel 3: Menge der Produktart als Nebenbedingung .....   | 14 |
| Formel 4: vorhandene Lagerkapazität als Nebenbedingung .....                                      | 14 |
| Formel 5: Kapazität des Betriebsmittel als Nebenbedingung .....                                   | 14 |
| Formel 6: Gleitender Mittelwert - Vorhersagewert .....  | 15 |
| Formel 7: Exponentielle Glättung erster Ordnung - Vorhersagewert .....                            | 15 |
| Formel 8: Exponentielle Glättung zweiter Ordnung - Glättungswert erster Ordnung .....             | 16 |
| Formel 9: Exponentielle Glättung zweiter Ordnung - Glättungswert zweiter Ordnung .....            | 16 |
| Formel 10: Exponentielle Glättung zweiter Ordnung - Mittelwert.....                               | 16 |
| Formel 11: Exponentielle Glättung zweiter Ordnung - Steigung .....                                | 16 |
| Formel 12: Exponentielle Glättung zweiter Ordnung - Vorhersagewert.....                           | 16 |
| Formel 13: Bestellmengenfixe Kosten .....   | 22 |
| Formel 14: Bestellmengenabhängige Kosten .....  | 22 |
| Formel 15: Gesamte Bestellkosten.....   | 22 |
| Formel 16: Klassisches Bestellmengen-/Losgrößenverfahren - Optimale Bestellmenge .....            | 22 |
| Formel 17: Optimale Anzahl an Bestellungen.....   | 22 |
| Formel 18: Lagerhaltungskosten eines einzelnen Bedarfs .....                                      | 22 |
| Formel 19: Lagerhaltungskosten über mehrere Perioden .....  | 23 |
| Formel 20: Gesamte Lagerkosten über mehrere Perioden .....  | 23 |
| Formel 21: Stückkosten .....  | 23 |
| Formel 22: Gleitende wirtschaftliche Losgröße/Bestellmenge - Optimale Bestellmenge/Losgröße ..... | 23 |
| Formel 23: Nullsetzen der Kostenfunktion.....   | 23 |
| Formel 24: Diskrete Darstellung der bestellfixen Kosten und der Lagerhaltungskosten .....         | 24 |
| Formel 25: Ungleichung für optimale Losgröße.....   | 24 |
| Formel 26: Stück-Perioden-Ausgleich - Optimale Bestellmenge/Losgröße .....                        | 24 |

## 9 Tabellenverzeichnis

|   |     |
|---|-----|
| Tabelle 1: Idealtypische Merkmalsausprägung eines Auftragsfertigers .....         | 68  |
| Tabelle 2: Idealtypische Merkmalsausprägung eines Variantenfertigers .....        | 77  |
| Tabelle 3: Gegenüberstellung potentieller Fehlerquellen durch Produktionslogistik | 106 |

## 10 Abkürzungsverzeichnis

|         |  |
|---------|--|
| bzw.    | beziehungsweise                                |
| d.h.    | das heißt                                      |
| €       | Euro   |
| u.a.    | unter anderem                                  |
| etc.    | et cetera                                      |
| h       | Stunde   |
| ISO     | International Organization for Standardization |
| max.    | maximal  |
| sh.     | Siehe  |
| u./o.Ä. | und/oder Ähnliche/s                            |
| z.B.    | zum Beispiel                                   |
| u.U.    | Unter Umständen                                |
| PPS     | Produktionsplanung und -steuerung              |
| ERP     | Enterprise Resource Planning                   |
| MES     | Manufacturing Execution Systems                |
| ASP     | Advanced Planning and Scheduling               |
| BOA     | belastungsorientierte Auftragsfreigabe         |
| CONWIP  | Constant Work In Process                       |
| SCM     | Supply Chain Management                        |
| MRP     | Material Requirements Planning                 |
| MRP II  | Manufacturing Resource Planning                |