

die Optimierung des Materialflusses und der zurückzulegenden Wege. Die dabei zu berücksichtigenden Aspekte wurden bereits in Zusammenhang mit der Arbeitsplanung (Abschnitt 2.2.6) und der Gestaltung der Arbeitsvorgänge (Abschnitt 2.2.7, insbesondere 2.2.7.4) erörtert. Große Aufmerksamkeit gilt dabei der Frage nach der Ergonomie der Arbeitsplätze und nach Möglichkeiten der Automatisierung und Selbststeuerung. Die Planung von Produktionslinien und ganzen Fabriken mit IT-Unterstützung ermöglicht Simulationen in Echtzeit, teils unter Einsatz von virtueller Realität (VR).

Bei der Optimierung des Maschinenparks darf der Aspekt möglicher Marktveränderungen nicht außer Acht gelassen werden. Forderungen, das Unternehmen und damit auch die Fertigung »**agil**«, also ganzheitlich flexibel zu gestalten, können nur umgesetzt werden, wenn die vorhandenen Arbeitsplätze und deren Layout hinreichend veränderbar sind, um an geänderte Kundenerfordernisse angepasst werden zu können. Die Grundgedanken eines »agilen Unternehmens« werden in Lehrbuch 3 vertieft.

Bestandsüberprüfung

Im Fall einer **dauerhaften** Minderauslastung der vorhandenen Kapazitäten ist über alternative Auslastungsmöglichkeiten oder über die Stilllegung von Kapazitäten zur Vermeidung sinnloser Leerkosten zu entscheiden.

2.2.8.2.2 Werkzeugplanung

Werkzeuge sind Fertigungshilfsmittel, deren Einsatz ebenso geplant werden muss wie der Einsatz der Maschinen, in denen sie eingesetzt werden. Ihre Vielfalt ist schier unendlich: In der Zerspanungstechnik sind unterschiedlichste Bohr-, Senk-, Entgrat-, Ausstech-, Reib-, Verzahnungs-, Fräswerkzeuge, Sägeblätter und viele weitere Werkzeugarten im Einsatz, die sich hinsichtlich Größe, Material und Oberflächenbeschichtung unterscheiden. Die richtige Wahl des Werkzeugs für den speziellen Einsatzfall entscheidet über die Qualität des Arbeitsergebnisses; schlecht gewähltes oder abgenutztes Werkzeug kann ganze Fertigungsserien in kurzer Zeit in Ausschuss verwandeln. In der CNC-Fertigung ist eine umfassende, in der Praxis durchweg IT-gestützte Werkzeugverwaltung unverzichtbar, zumal ein Werkzeug dort meist aus mehreren Teilen besteht, die gleichzeitig verfügbar sein und sorgfältig zusammen- und eingesetzt werden müssen.

Werkzeugbestands- und -beschaffungsplanung

Jede Maschine oder Maschinengruppe, aber ebenso die zu verarbeitenden Materialien erfordern passendes Werkzeug, das in ausreichender Anzahl vorzuhalten ist. Die Werkzeugbestands- und beschaffungsplanung hat dabei einerseits den Verbrauch von Verschleißteilen und andererseits die nicht unerheblichen Kapitalbindungs- und Lagerhaltungskosten zu berücksichtigen. Die Praxis wendet hierbei die aus der Materialwirtschaft bekannten (hier in Abschnitt 2.2.9.2 behandelten) Verfahren zur Bestell- und Bestandsoptimierung an.

Vorhandene Werkzeuge werden in der Werkzeugverwaltungssoftware mit ihren Stammdaten erfasst.

Werkzeugeinsatzplanung und Werkzeugbewirtschaftung

Der gegenwärtige Zustand (zusammengebaut, nicht zusammengebaut, in der Maschine montiert) Aufenthaltsort eines registrierten Werkzeugs, Reservierungen und Transportvorgänge sind im Logistikmodul der Software registriert. Auswertungen liefern Daten über Verschleiß/Verbrauch, **Standzeiten** (bei Werkzeugen ist darunter die Zeit zu verstehen, in

der das Werkzeug ununterbrochen genutzt werden kann, bis eine Auswechslung erforderlich ist) und stoßen Beschaffungen an.

2.2.8.3 Materialplanung

In der Einleitung zu diesem Abschnitt wurde bereits darauf hingewiesen, dass der Bedarf an einzusetzendem Material je Stück des fertigen Erzeugnisses aus den in Abschnitt 2.2.4.2 ausführlich dargestellten Stücklisten abgeleitet werden kann. Ist bekannt (oder hinreichend sicher bestimmt), wie hoch der Primärbedarf (= der Bedarf an verkaufsfähigen Erzeugnissen) für einen bestimmten zukünftigen Zeitraum sein wird, kann der Materialbedarf hieraus abgeleitet werden. Dabei sind die Produktionsdurchlaufzeiten ebenso zu beachten wie die anfallenden Beschaffungszeiten.

Auch die Materialplanung umfasst langfristige und kurzfristige Aufgaben. Zu den langfristigen Aufgaben, die als **Materialbereitstellungsplanung** bezeichnet werden, gehören die Lieferantenauswahl und Festlegungen bezüglich der Bereitstellungs- und der Bestellpolitik. Je nach Bedeutung einzelner Materialien kann auch die Festlegung von Bestellrhythmen, -zeitpunkten und -mengen auf lange oder mittlere Frist erfolgen. Kurzfristige Aufgaben der Materialplanung werden unter dem Begriff der **Materialbedarfsplanung** erfasst. Zu ihnen gehören vor allem die Überwachung von Lagerbeständen und die Abstimmung zwischen Auftragserfordernissen und Materialverfügbarkeiten. Außerdem ist die Zurverfügungstellung des Materials am Einsatzort zu planen.

Die Materialdisposition wird ausführlich in Abschnitt 2.2.9.2 behandelt.

2.2.9 Produktionsplanung, Auftragsdisposition und deren Instrumente

2.2.9.1 Aspekte der Produktionsplanung

In Abschnitt 2.2.4 wurden die verschiedenen Planungsbegriffe in der Fertigung bereits erklärt. Zur Erinnerung:

Produktionsplanung ist der Oberbegriff für die Produktionsprogrammplanung, die Bereitstellungsplanung und die Produktionsprozessplanung.

- Die Entscheidung über den Output, den Primärbedarf, fällt im Rahmen der **Produktionsprogrammplanung**. Sie legt fest, was überhaupt hergestellt werden soll und – in zweiter Linie – in welcher Menge. Strategisch (langfristig) wird im Rahmen der Programmplanung über die Produktpalette des Unternehmens entschieden: Deswegen ist auch die Produktforschung und -entwicklung Teil der Programmplanung.
- Die Planung der für die Herstellung erforderlichen Ressourcen, also des **Inputs** – menschliche Arbeitskraft, Betriebsmittel, Material – erfolgt in der **Bereitstellungsplanung**. Sie umfasst auch die Entscheidung über die Beschaffungsquellen (= Lieferantenauswahl) und die benötigten Lagerkapazitäten.
- **Produktionsprozessplanung** betrifft die konkrete Umsetzung der Programmplanung, also die Durchführung der Produktion. Dazu gehören die taktische und operative (mittel- und kurzfristige) Mengenplanung (Losgrößenplanung) sowie die Termin- und Reihenfolgenplanung für eine zu planende Periode.

Die praktische Umsetzung der Produktionsplanung ist die **Produktionssteuerung**.

Zusammengefasst stellen sich die Aufgaben der Produktionsplanung wie folgt dar:

- Auswahl des optimalen (=gewinnmaximalen) Fertigungsprogramms und entsprechender Produktionsverfahren,
- Sicherstellen einer reibungslosen fortlaufenden Fertigung (= Vermeidung von Störungen und Leerzeiten),
- Optimierung der Bestände- und Lagerhaltung,
- Sicherstellen einer termingerechten Auftragsabwicklung,
- Optimierung der Ressourcen (Personalbestand, Betriebsmittel),
- Optimierung der Kapazitätsauslastung.

Insbesondere von der erstgenannten Aufgabe geht eine langfristige Bindungswirkung aus, d. h. sie fällt in den Bereich der strategischen Planung. Sie setzt die Rahmenbedingungen für die folgenden operativen Planungen.

Produktionsplanung und –steuerung erfolgt heute meist computergestützt mittels eines auf die individuellen betrieblichen Bedürfnisse angepassten PPS-Systems. Näheres dazu enthält Lehrbuch 3.

In den folgenden Abschnitten werden – entsprechend dem Rahmenplan – folgende Aspekte behandelt:

- Terminplanung im Rahmen der Auftragsdisposition,
- Betriebsmittelbereitstellungsplanung und als deren Sonderfragestellung:
- Maschinenbelegungsplanung (Scheduling),
- Materialbereitstellungsplanung (Überblick; eine ausführliche Darstellung der Materialbereitstellung erfolgt in den Abschnitten 2.2.9.2.2 ff).

Auf die gleichfalls im Rahmenplan an dieser Stelle genannten Aspekte der Personalverfügbarkeit, nämlich »Fluktuation« und »Fehlzeiten«, wurde bereits in Abschnitt 2.2.8.1 einschließlich der Unterabschnitte eingegangen.

2.2.9.1.1 Auftragsdisposition

Viele der vorstehenden und noch folgenden Ausführungen behandeln vorrangig die Situation bei Programm- und Lagerfertigung für einen in seinen Bedürfnissen und Reaktionen weitgehend bekannten Absatzmarkt, wobei jedoch zumindest ein Teil der potenziellen Abnehmer im Zeitpunkt der Fertigung noch unbekannt (anonym) sind. In diesen Fällen orientiert sich die Disposition an den erwarteten absetzbaren Mengen. Je nach Art des Betriebes und seiner Produktpalette werden aber auch vorliegende konkrete Aufträge eine mehr oder weniger große Rolle spielen. In diesem Falle sind es diese Aufträge, die eine Reihe von Dispositionen auslösen, die sich auf die Materialbeschaffung, die Durchlaufplanung und hier insbesondere auf die Betriebsmittelbelegung erstrecken. Die Praxis spricht von Werkaufträgen, da neben Kundenaufträgen auch Aufträge für den Eigenbedarf (z. B. Entwicklungsaufträge in Bezug auf neue Produkte, Anlagenaufträge zur Erstellung einer Anlage für den Eigengebrauch) denkbar sind.

Produktionsausprägungen nach Auftragsabhängigkeit

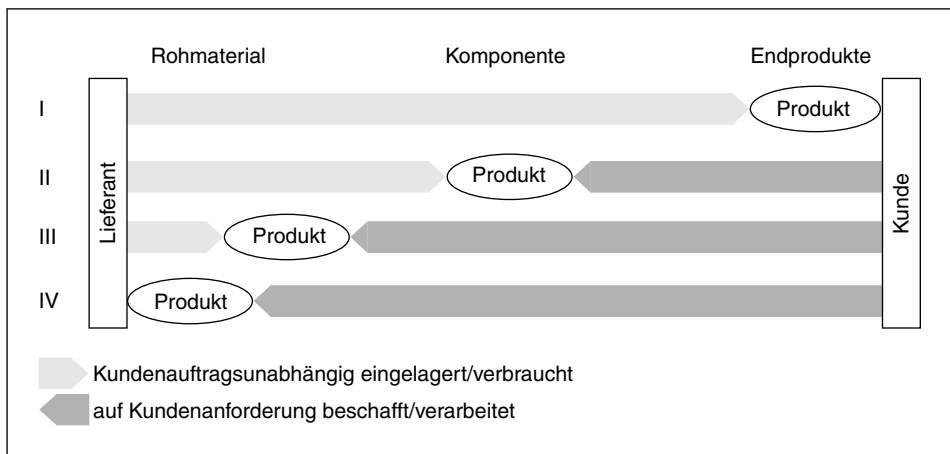
Folgende Ausprägungen der Produktion können unterschieden werden:

- I. Reine Lagerfertigung (»Make to Stock«):** In keiner Produktionsstufe besteht eine direkte Verbindung mit einem Kundenauftrag. Gefertigt wird ein Standardprogramm auf

Lager, aus dem eingehende Aufträge einer bis dahin anonymen Kundschaft erfüllt werden. Derartige Programm- und Lagerfertigung ist in der Konsumgüterindustrie üblich, denn die Abnehmer (Groß- und Einzelhandel) erwarten kurze Lieferfristen, die nur ab Lager erfüllt werden können.

- II. **Kundenauftragsbezogene Endmontage (»Assemble to Order«):** Auf Lager werden Standardteile gefertigt, die für unterschiedliche Produktvarianten benötigt werden. Erst der Eingang eines konkreten Kundenauftrags löst eine Endmontage aus.
- III. **Kundenauftragsbezogene Fertigung (»Make to Order«):** Die Produktion erfolgt ausschließlich auftragsbezogen. Die erwartbare benötigten Rohstoffe und Fremdbauteile sind eingelagert.
- IV. **Kundenauftragsbezogene Beschaffung und Fertigung (»Purchase and Make to Order«):** Auch die Beschaffung der benötigten Rohstoffe und Fremdbauteile erfolgt erst bei Vorliegen des konkreten Kundenauftrags. Dadurch wird eine höchstmögliche Individualisierung bei der Produktkonfiguration möglich. Dies entspricht der Vorstellung aus dem Konzept »Industrie 4.0«, jedes Stück als Unikat zu fertigen (»Losgröße 1«).

Die Abbildung zeigt die verschiedenen Produktionsausprägungen.



Produktionsausprägungen nach Kundenauftragskopplungspunkt

In der Abbildung kennzeichnet das Wort »Produkt« jeweils den **Kundenauftragsentkopplungspunkt** KEP bzw. KAEP (auch bekannt als Vorratsentkopplungspunkt): Von links nach rechts betrachtet kann bis zu diesem Punkt eine auftragsunabhängige Fertigung erfolgen. Liegt der KEP ganz rechts, liegt praktisch eine standardisierte Massenfertigung vor; liegt der KEP ganz links, ist die Produktion vollständig abhängig vom Kundenauftrag und entsprechend individualisiert. Die unterschiedlichen Produktionsausprägungen wirken sich naturgemäß erheblich auf die Bestandsplanung und Bestellpolitik aus: Für die links vom KEP liegenden Materialien und Komponenten gilt eine andere Bestands- und Bestellstrategie (vgl. Abschnitt 2.2.9.2 ff) als für diejenigen, die rechts vom KEP zu finden sind.

Arbeitsverteilung und Arbeitsüberwachung

Die Verteilung der Werkaufträge auf einzelne Arbeitsplätze (**Arbeitsverteilung, Dispatching**) erfolgt kurzfristig im Rahmen der Terminplanung. Sie beinhaltet die **Einlastung**, d. h. eine möglichst fortlaufende und gleichmäßige Zuweisung von Aufträgen zu Arbeits-

plätzen, die Sicherung der Termineinhaltung und das Erkennen und Vermeiden von Engpässen, die an einzelnen Arbeitsstationen auftreten können (diese Problematik wird im Rahmen der Maschinenbelegungsplanung in Abschnitt 2.2.9.1.3 noch näher erläutert). Ob die Arbeitsverteilung in die Zuständigkeit des für einen Fertigungsbereich zuständigen Industriemeisters fällt oder zentral, heute durchweg softwaregestützt durch ein entsprechendes ERP- oder PPS-System, vorgenommen wird, hängt vor allem von der Zahl der regelmäßig zu verteilenden Aufträge ab.

Während des Auftragsdurchlaufs erfolgt eine **Arbeitsüberwachung**. Ihre Aufgaben sind die Kontrolle entnommener und produzierter Mengen, des Betriebsmitteleinsatzes, der Einhaltung von Qualitätsstandards und der Kosten.

2.2.9.1.2 Betriebsmittelbereitstellungsplanung

Die Betriebsmittelbereitstellungsplanung verteilt die Aufträge auf die Kapazitäten der hintereinander gelagerten Bereiche (Konstruktion, Fertigung, Montage, Kontrolle, Lagerung, Versand). Im ersten Schritt werden dabei zunächst die mindestens erforderlichen Durchlaufzeiten errechnet, die sich ergeben, wenn die Bearbeitungszeiten, Rüstzeiten und Einstellzeiten der einzelnen Bereiche und Stationen einfach addiert werden – also noch ohne Rücksicht darauf, ob die notwendigen Kapazitäten überhaupt vorhanden sind. Im zweiten Schritt erfolgt die Klärung, ob **konkurrierende Aufträge** vorliegen. Durch die Anwendung von **Prioritätsregeln** (vgl. Abschnitt 2.2.9.1.3) werden die Aufträge in eine Reihenfolge gebracht. Erst dann kann eine Feinplanung erfolgen. Die darin erfolgende Kapazitätsabstimmung beinhaltet

- technische Anpassungen, indem einzelne Arbeitsvorgänge auf andere als die ursprünglich geplanten Kapazitäten ausgelagert werden,
- zeitliche Anpassungen, indem einzelne Arbeitsvorgänge auf einen späteren Zeitpunkt verschoben werden.

Im folgenden Abschnitt wird mit der Maschinenbelegungsplanung (Scheduling) ein besonders in Hinblick auf eine auftragsgesteuerte Disposition wichtiger Aspekt der Betriebsmittelbereitstellungsplanung vorgestellt. Die in Abschnitt 2.2.8.3 und 2.2.9.2 dargestellten Verfahren und Prinzipien der Materialbedarfs- und -bereitstellungsplanung werden im Folgenden vor allem in Hinblick auf die auftragsgesteuerte Materialdisposition noch ergänzt.

2.2.9.1.3 Maschinenbelegungsplanung (Scheduling)

Die kurzfristige Aufgabe der Betriebsmittelplanung besteht darin, festzulegen, welche der vorhandenen technischen Anlagen zu welchem Zeitpunkt und für welche Zeitdauer wofür bereitzustellen sind. Diese **Betriebsmittelbelegungsplanung** leistet also die Zuordnung von Aufträgen und Betriebsmitteln. In der industriellen Fertigung stellt sich häufig das Problem, dass ein Produkt auf mehreren Maschinen bearbeitet werden muss. Während bei Fließfertigung die Anordnung der einzusetzenden Betriebsmittel und Arbeitsplätze an dieser Reihenfolge ausgerichtet ist, stellt sich bei Werkstattfertigung häufig das Reihenfolgeproblem als zentrale Frage der **Maschinenbelegungsplanung (Scheduling)**.

Beispiel:

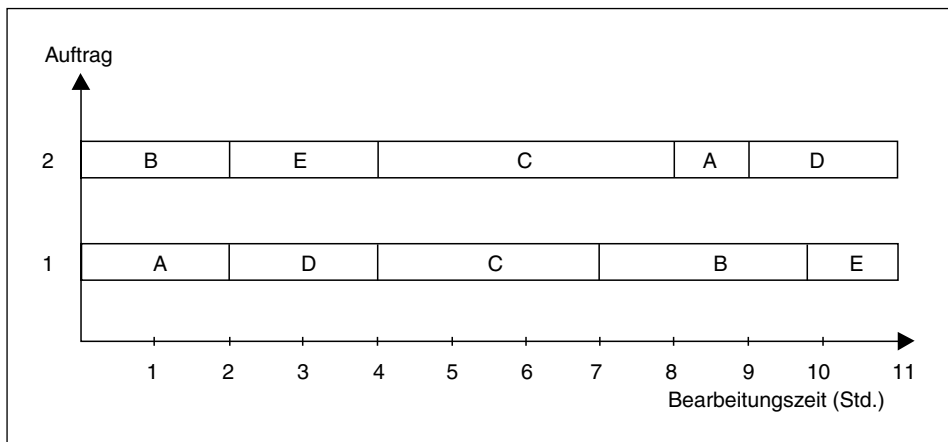
Die ABC-AG führt ihre Aufträge in Werkstattfertigung durch. Sie besitzt fünf verschiedene Maschinen A,B,C,D und E, die in Erledigung zweier verschiedener Aufträge 1,2 zum Einsatz kommen. Jeder dieser Aufträge unterliegt einer unveränderlichen technologischen Reihenfolge (R) der Bearbeitung:

- R1: A, D, C, B, E
- R2: B, E, C, A, D

Weiterhin bekannt sind die Operationszeiten t_{ij} , die angeben, wie lange Auftrag i auf Maschine j bearbeitet wird (Angabe in Stunden):

Maschine j	A	B	C	D	E	
Auftrag i	1	2	3	3	2	1
	2	1	2	4	2	2

Bei unabhängiger Betrachtung beider Aufträge, also unterstellt, dass jeder Auftrag unmittelbar auf der jeweils erforderlichen Maschine bearbeitet werden kann, ergibt sich die in einem Balkendiagramm (Gantt-Diagramm), dem so genannten **Maschinenfolgegantt**, darstellbare Maschinenfolge.



Maschinenfolgegantt

Da jedoch zwischen der 5. und der 8. Stunde beide Aufträge gleichzeitig Maschine C für sich beanspruchen, ist die unabhängige Durchführung nicht möglich.

Die Lösung des Maschinenbelegungsproblems erfolgt in der Praxis mittels nicht-exakter Verfahren, da die exakte Lösung nur auf dem Wege der vollständigen Enumeration (Ermittlung und Vergleich sämtlicher möglicher Varianten) gefunden werden kann.

Die Anzahl der Kombinationen K bei n Aufträgen und m Maschinen errechnet sich aus

$$K = (n!)^m$$

Bei 5 Aufträgen und 5 Maschinen gibt es also $(120)^5$ Kombinationen – eine Anzahl, die die vollständige Enumeration nicht zulässt (zur Erläuterung: Die Fakultät einer natürlichen Zahl n , ausgedrückt durch das Ausrufzeichen in der Form $n!$, ist das Produkt aller natürlichen Zahlen von 1 bis n , hier also $1 \times 2 \times 3 \times 4 \times 5 = 120$). Häufig praktizierte **Näherungsverfahren** sind

- **Auswahlverfahren:** Ausgehend von einer zufällig gewählten Bearbeitungsreihenfolge, wird durch Umgruppierung oder paarweises Tauschen versucht, schrittweise Verbesserungen der ersten (Zufalls-)Lösung zu erzielen. Folgen die Umgruppierungen der Aufträge einer Systematik, so spricht man von gezielter Auswahl.
- **Verfahren mit Prioritätsregeln:** Hierbei werden Regeln aufgestellt, wie für jede einzelne Maschine bei Auftreten von Warteschlangen das Reihenfolgeproblem zu behandeln ist. Bekannte Regeln sind z. B.

- die **KOZ-Regel**: Der Auftrag mit der kürzesten Operationszeit wird zuerst bearbeitet;
- die **WAA-Regel**: Der Auftrag mit den wenigsten noch auszuführenden Arbeitsgängen wird vorgezogen;
- **First come first serve**: Der als erster eintreffende Auftrag wird zuerst bearbeitet;
- die **dynamische Wertregel**: Dasjenige zu bearbeitende Teil, das den bis dahin größten Wert repräsentiert, wird zuerst weiterbearbeitet.
- **Simulationsverfahren**: Mit Hilfe von EDV-Anlagen wird eine willkürlich oder nach bestimmten Kriterien ausgewählte Menge von Kombinationen berechnet und hieraus die günstigste Kombination ausgewählt.
- **Analytische Verfahren**: Diese algebraischen oder grafischen Methoden zielen überwiegend auf die Minimierung der Durchlaufzeit ab.

Wie in Abschnitt 2.2.4.1.3 anhand eines Beispiels gezeigt wurde, kann auch eine Anpassung des Output-Mengenverhältnisses an die vorhandenen Betriebsmittel in Betracht kommen, nämlich dann, wenn in einem Mehrproduktunternehmen eine **Engpassituation** besteht. Allerdings wird man in diesem Fall zu prüfen haben, ob, wenn langfristig mit einer entsprechenden Nachfrage gerechnet werden kann, eine Erweiterungsinvestition nicht die sinnvollere Alternative wäre.

2.2.9.1.4 Materialbereitstellungsplanung

Bei der Planung der Materialbereitstellung sind zwei wesentliche Entscheidungen zu treffen:

- Entscheidung für ein Bereitstellungsprinzip, also Einzelbeschaffung im Bedarfsfall, Vorratshaltung oder einsatzsynchrone Beschaffung (Just-in-Time);
- Entscheidung für ein Bereitstellungssystem: Die Bereitstellung des Materials kann in der Organisationsform des Bringsystems, des Holsystems oder in einer kombinierten Form beider Organisationsformen erfolgen.

Beide Prinzipien werden ausführlicher im Rahmen der Materialdisposition und Bedarfsbestimmung (Abschnitte 2.2.9.2 ff) vorgestellt. Dort werden auch die für die Materialbereitstellung bedeutenden Prinzipien »Just-in-Time« und »Kanban« behandelt.

Bei der Bereitstellung von **Werkzeugen** wird praktisch häufig ein Holsystem installiert: In Abhängigkeit von dem zu erledigenden Auftrag entscheiden die damit befassten Mitarbeiter, welche Werkzeuge hierfür benötigt werden, und holen sich diese, sofern es sich nicht um am Arbeitsplatz ohnehin ständig vorhandene Werkzeuge handelt, an einer zentralen Ausgabestelle ab.

2.2.9.2 Materialdisposition und Bedarfsbestimmung

Die kurzfristige Produktionsprogrammplanung zieht die Disposition des erforderlichen Materials zwangsläufig nach sich. In Abschnitt 2.2.8.3 wurde diese Aufgabe bereits erläutert. An dieser Stelle sollen die dortigen Ausführungen um die betriebswirtschaftlichen Aspekte der Vorratsplanung erweitert werden.

2.2.9.2.1 Materialbeschaffung

Die Materialbeschaffung erfolgt im Rahmen eines Einkaufsprozesses, für den meist eine Fachabteilung zuständig ist. Lange Zeit galt der **Einkauf**, zumal in der industriellen Ferti-