

I Produktionssysteme

Bevor wir über die Planung und Steuerung der Produktion diskutieren, werden wir zur Sicherstellung einer gemeinsamen Sprache die Begriffe der Produktion, die für unsere Belange relevant sind, zusammenstellen. Im Buch verwendete Grundlagen aus dem Rechnungswesen, der Statistik oder der Mathematik sind im Anhang zusammengefasst.

In diesem Abschnitt wird keine umfassende Darstellung der Produktionssysteme und deren Klassifizierungsmöglichkeiten gegeben. Wir werden nur jene Aspekte und Unterscheidungsmerkmale von Produktionssystemen diskutieren, die für die Planung und Steuerung wesentlich sind. Die für die Produktionsplanung und -steuerung wesentlichen Unterscheidungsmerkmale der Produktionssysteme sind:

- ❑ Auftrags- oder Lagerfertigung
- ❑ Fertigungsstruktur
- ❑ Produktstruktur
- ❑ Organisationsprinzip
- ❑ Ausbringungsmengen

In Glaser et al. (1992), Adam (2001) oder auch in Günther/Tempelmeier (2005) sind sehr detaillierte Darstellungen der Produktionssysteme und deren Arten und Unterteilungsmöglichkeiten dargestellt. Insbesondere geht aus diesen drei Quellen hervor, dass es keine einheitliche Systematik gibt.

1 Auftrags- oder Lagerfertigung

Einer der wesentlichsten Unterschiede für die Planung und Steuerung von Produktionssystemen ist, ob es sich um einen Auftragsfertiger (Kundenproduktion, engl. *Make to Order - MTO*), um einen Lagerfertiger (anonyme Produktion, engl. *Make to Stock - MTS*) oder um eine Mischform handelt. Auftragsfertigung bedeutet, dass bereits jeder Fertigungsauftrag einem Kundenauftrag zugeordnet ist. Insbesondere können damit Fertigungsaufträge auf jeder Stufe erst eingeplant werden, wenn der

dazugehörige Kundenauftrag bzw. die dazugehörigen Kundenaufträge bekannt sind. Fertigungsaufträge können natürlich bei einem Auftragsfertiger aus mehreren Kundenaufträgen bestehen. Zusätzlich zur kundenauftragsbezogenen Produktion kann auch die Produktentwicklung bzw. die Konstruktion kundenauftragsbezogen vorgenommen werden. Falls die Produktentwicklung bzw. die Konstruktion ebenfalls kundenauftragsbezogen vorgenommen wird, spricht man von Engineer to Order (ETO). Im Anlagenbau findet man häufig kundenauftragsbezogene Konstruktion und Produktion vor.

Eine reine Lagerfertigung liegt vor, wenn alle Fertigungsaufträge nicht auf Kundenaufträgen sondern auf Absatzvorschauen oder anderen Planwerten beruhen. Der Kundenauftrag wird in diesem Fall vom Fertigteillager bedient. In der Regel findet man Mischsysteme vor. Zum einen kann eine Produktgruppe kundenauftragsorientiert und eine andere Produktgruppe anonym gefertigt werden. Zum anderen können die ersten Fertigungsschritte (z.B. Teilefertigung) eines Fertigproduktes anonym und die letzten Fertigungsschritte (z.B. Montage und Verpackung) kundenauftragsbezogen durchgeführt werden.

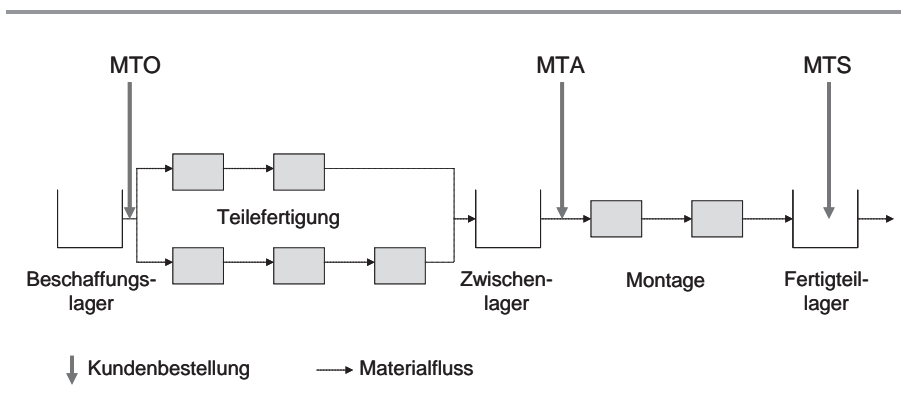


Abb. 1.1. MTO, MTA und MTS

Werden die Teilefertigung kundenanonym und die Montage kundenauftragsbezogen durchgeführt, spricht man von einem Make to Assembly System (MTA). Der Punkt entlang des Fertigungspfades, an dem die Lagerfertigung in eine Kundenproduktion übergeht, wird Kundenentkoppelungspunkt genannt.

Der reine Lagerfertiger kann, wenn die Planung auf zuverlässigen Absatzprognosen basiert und nicht zu viele Produktarten bzw. Produktvarianten vom Markt gefordert werden, eine hohe Liefertreue erreichen. Der Bestand im Fertigteilwarenlager wird entsprechend höher sein als bei Kundenauftragsfertigern. Wesentliche Voraussetzung für kundenauftragsorientierte Fertigung ist, dass die Produktionsdurchlaufzeit kürzer ist als die vom Markt geforderte Lieferzeit. Sollte diese Forderung nicht erfüllt sein, kann entweder versucht werden, die Produktionsdurchlaufzeit zu verkürzen oder eine Mischform anzustreben, in der die Restproduktionsdurchlaufzeit der kundenorientierten Fertigungsschritte ab dem Kundenkoppelungspunkt kürzer ist als die vom Markt geforderte Lieferzeit. Gerade bei Vorliegen von vielen Produktarten und Produktvarianten weisen Kundenauftragsfertiger geringere Lagerbestände als Lagerfertiger auf. Ein weiterer Vorteil von Kundenauftragsfertigern ist die Flexibilität bezüglich gestellter Kundenanforderungen an die Produkte.

2 Fertigungsstruktur

Fertigungsstrukturen können ein- oder mehrstufig sein. Einstufig bedeutet, dass durch einen Produktionsschritt bereits die gesamte Produktion vollzogen ist. Bei mehrstufigen Systemen benötigt man mehrere Produktionsschritte zur Herstellung des Produktes. Fertigungspfade geben die Reihenfolge der Produktionsschritte und dazu notwendige Anlagen/Maschinen an. In Arbeitsplänen ist beschrieben, wie die Bearbeitung der Materialien an den Arbeitsstationen, Maschinen oder Anlagen und mit welchen Hilfsmitteln (Werkzeugen) sowie eventuellen Prüfvorschriften zu erfolgen hat. Insbesondere sind in Arbeitsplänen Sollzeiten für Bearbeiten und Rüsten vorgegeben. Wir werden Zeiten nach den zwei Kriterien

- Soll-Zeit bzw. Ist-Zeit
- Bearbeitungszeit/Stück, Rüstzeiten pro Rüstvorgang und Bearbeitungszeit pro Auftrag

unterscheiden. Soll-Zeiten werden auch Vorgabezeiten bzw. Planzeiten genannt. Ist-Zeiten sind real aufgewandte Zeiten für einen Vorgang. Die Bearbeitungszeit pro Auftrag ist gegeben durch die Bearbeitungszeit/Stück mal dem Losumfang zuzüglich der Rüstzeit. Diese Zeit wird auch Auftragszeit genannt. In Jodlbauer et al. (2005) wird eine Methode

vorgestellt, mit deren Hilfe automatisch in einem ERP System die Ist-Zeiten bestimmt werden können.

Einstufige Fertigungssysteme sind leichter zu planen und zu steuern. Durch Reduktion der Fertigungstiefe und Outsourcingmaßnahmen wird die Anzahl der betriebsinternen Fertigungsstufen reduziert. Bei mehrstufigen Fertigungssystemen sind die Abstimmung und Synchronisation der einzelnen Stufen wichtig. Unterschiedliche Technologien und damit verbundene Rüstzeiten, Anlaufverluste oder Prozesssicherheiten der einzelnen Stufen können unterschiedliche Planungspolitiken (Losgröße, Fertigungsreihenfolge, Wartung, ...) je Stufe erfordern. Diese erschweren die Koordination der einzelnen Stufen und ziehen in der Regel eine Verschlechterung von logistischen Kennzahlen wie Bestand, Durchlaufzeit, Lieferfähigkeit usw. nach sich.

Mehrstufige Fertigungssysteme können je nach Komplexität der Fertigungspfade weiter unterteilt werden:

- Sequentieller Fertigungspfad
- Konvergenter Fertigungspfad
- Divergenter Fertigungspfad
- Rekursiver Fertigungspfad
- Kombination von konvergentem, divergentem und rekursivem Fertigungspfad
- Flexibler oder alternativer Fertigungspfad

Ein **sequentieller Fertigungspfad** liegt vor, wenn unabhängig vom Fertigprodukt die einzelnen Arbeitsschritte und damit Arbeitsstationen zeitlich hintereinander immer in gleicher Reihenfolge durchlaufen werden. Kurbelwellen werden z.B. typischerweise in einem sequentiellen Fertigungspfad (Rohmaterial – Schneiden – Schmieden – Zerspanen – Härten - Schleifen) gefertigt. Wenn zwei oder mehrere Fertigungspfade bei einem Arbeitsschritt zusammengeführt werden, spricht man von einem **konvergenten Fertigungspfad**. Falls die einzelnen Komponenten Eigenfertigungsteile sind, sind Montageoperationen durch einen konvergenten Fertigungspfad umgesetzt. Ein **divergenter Fertigungspfad** zeichnet sich dadurch aus, dass nach einem Fertigungsschritt - abhängig vom Fertigprodukt - der nächste Arbeitsschritt bzw. die nächste Arbeitsstation folgt. Das bedeutet z.B., dass nach Fertigungsschritt A für Produkt X

Fertigungsschritt B und für Produkt Y Fertigungsschritt C folgen. In der Blechbearbeitung treten häufig divergente Fertigungspfade auf: Gewisse Produkte gehen nach dem Schneiden auf die Tiefziehpresse, andere auf die Abkantmaschine. Ein **rekursiver Fertigungspfad** liegt vor, wenn die gleiche Arbeitsstation mehrmals entlang des Fertigungspfades angefahren wird. In der Elektronikfertigung (z.B. Waferproduktion) ist ein rekursiver Fertigungspfad häufig anzutreffen. Zusätzlich kann unterschieden werden, ob für ein Produkt ein möglicher Fertigungspfad oder grundsätzlich mehrere zur Verfügung stehen (**flexibler Fertigungspfad**).

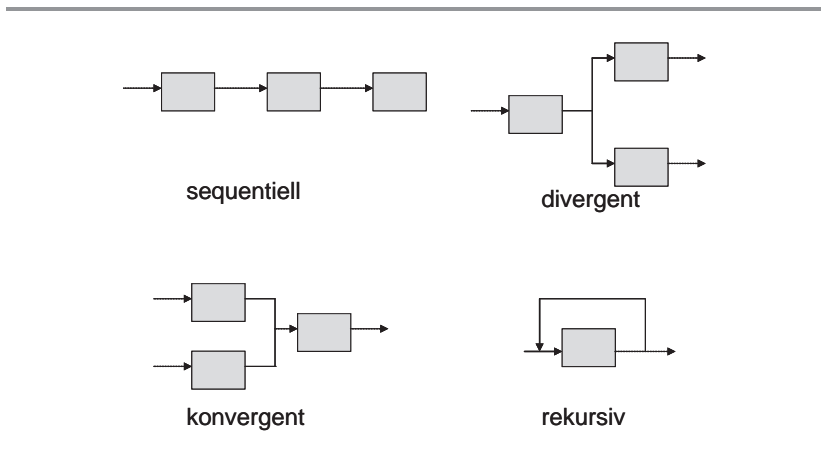


Abb. 2.1. Sequentieller, konvergenter, divergenter und rekursiver Fertigungspfad

Ein sequentieller Fertigungspfad ist für die Planung und Steuerung am einfachsten. Bei konvergenten Fertigungspfaden ist die Synchronisation der Teile und Termine eine zusätzliche Planungs- und Steuerungsaufgabe. Mit wachsender Anzahl der zusammenzuführenden Fertigungspfade wächst exponentiell die Gefahr von Problemen auf Grund mangelnder Synchronisation. Für die Montage gilt unter der Annahme unabhängiger Materialbereitstellungspfade, dass die Termintreue des Montagebeginns dem Produkt der Termintreue der Einzelteile entspricht. Zur Illustration ein kurzes Beispiel: Fünf Einzelteile werden zusammenmontiert. Jedes Einzelteil hat eine Termintreue von 0,95% (d.h. in 5% der Fälle kommt ein Einzelteil später als geplant am Montageplatz an). Für die Termintreue des Montagebeginns ergibt sich somit $0,95^5 = 0,77\%$. Oder anders formuliert:

In 23% der Fälle kann die Montage wegen fehlendem Material nicht laut Zeitplan begonnen werden.

Divergente Fertigungspfade erfordern ebenfalls einen zusätzlichen Planungsaufwand, weil unterschiedliche Fertigungspfade um gleiche Kapazitäten konkurrieren. Bei rekursiven Fertigungspfaden wird die Steuerung wegen der Tatsache erschwert, dass eine Arbeitsstation mehrmals durchlaufen wird. Zusätzliche Planungs- und Steuerungsschritte sind für die Berücksichtigung flexibler Fertigungspfade nötig, da ja entschieden werden muss, an welcher Maschine konkret ein Auftrag gefertigt wird. Alternative Fertigungspfade bzw. Anlagen haben den Vorteil, dass eine Risikominimierung (wenn eine Maschine ausfällt, kann ohne Aufwand auf einer anderen Maschine gefertigt werden) erfolgt und dass eine Anpassung an Nachfrageschwankungen einfach durch Zu- oder Wegschalten von Maschinen bzw. Anlagen erfolgen kann. Bei temporären Engpässen kann das Nutzen flexibler Fertigungspfade die Erhöhung der Ausbringungsmenge bewirken.

Die höchste Komplexität in der Planung und Steuerung tritt auf, wenn eine Kombination von konvergenten, divergenten, rekursiven und flexiblen Fertigungspfaden (wie z.B. im Werkzeugbau) auftritt.

Die Fertigungspfadstruktur entscheidet wesentlich, welches Planungs- und Steuerungsverfahren sinnvoll einsetzbar ist und welche Bestände erforderlich sind, um eine geforderte Liefertreue zu erreichen. Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass bei rein sequentiellen Fertigungspfaden geringe Lagerbestände bei gleichzeitig hoher Liefertreue möglich sind. Zu beachten ist, dass die Fertigungspfadstruktur über Produktgestaltung, Produktionsanlagen und deren Anordnung sowie weitere Maßnahmen gestaltbar ist.

Eine wichtige Frage in der Planung und Steuerung ist, in welchem Detaillierungsgrad Maschinen, Arbeitssysteme oder Anlagen berücksichtigt werden. Wenn man gleichartige Maschinen in der Planung zu einem Arbeitssystem zusammenfasst, spricht man von Maschinen-Aggregation. Es kann sinnvoll sein, in einer langfristigen Planung wenige hoch aggregierte Arbeitssysteme zu planen und in einer kurzfristigen operativen Planung mehrere Arbeitssysteme zu betrachten. Grundsätzlich kann festgestellt werden, je weniger Arbeitssysteme geplant werden müssen, desto weniger komplex ist die Planung.