



Der vorliegende Text ist unter:

„Creative Commons Namensnennung-Share Alike 4.0 International Public License“ veröffentlicht.

Einführung in die Betriebswirtschaftslehre

Skript



Lektion XI

Fertigung

Kontakt:

Vorschläge zur Weiterentwicklung, Ergänzung oder Fehlerhinweise bitte per E-Mail an: oer-feedback@hs-bochum.de

Das Skript ist Teil der vom Ministerium für Kultur und Wissenschaft des Landes Nordrhein-Westfalen geförderten *OERContent-Initiative*.

Mehr Lehr- und Lernmaterialien des Teilprojektes „ebwl-oer.nrw“ finden Sie hier:

<http://www.institut-digitales-management.de/oercontent>

Autor*innen/Mitarbeit

- Prof. Dr. Tobias Rieke

**Geschätzte
Lesezeit:
26 Minuten**

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis

XI Fertigung..... 7

XI-1. Begriffe und Grundlagen.....7

XI-1.1. Grundbegriffe7

XI-1.2. Erzeugnisse8

XI-1.3. Das Fertigungssystem.....9

XI-1.4. Fertigungsplanung und Steuerung11

XI-2. Fertigungsverfahren 13

XI-2.1. Fertigungsverfahren nach Organisationstyp13

XI-2.2. Fertigungsverfahren nach Prozesstyp17

XI-3. Produktionsplanung.....20

XI-3.1. Taktische und operative Planungen20

XI-3.2. Produktionsprogrammplanung21

XI-3.3. Produktionsaufteilungsplanung25

XI-4. Lineare Programmierung29

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bezugsrahmen.....	6
Abbildung 2: Kernbegriffe der Fertigung.....	7
Abbildung 3: Input-Output-Prozesse.....	8
Abbildung 4: Gestaltung des Fertigungssystems.....	10
Abbildung 5: Planung und Steuerung.....	11
Abbildung 6: Fertigungsverfahren nach Organisations- und Prozesstyp.....	13
Abbildung 7: Fließfertigung / Taktfertigung.....	14
Abbildung 8: Gruppenfertigung.....	16
Abbildung 9: Fertigungszeiten.....	23
Abbildung 10: Deckungsbeitrag.....	23
Abbildung 11: Optimales Produktionsprogramm.....	24
Abbildung 12: Zeitliche Anpassung.....	25
Abbildung 13: Intensitätsmäßige Anpassung.....	26
Abbildung 14: Optimierung auf mehreren Aggregaten.....	26
Abbildung 15: zeitliche Anpassung auf zwei Aggregaten.....	27
Abbildung 16: intensitätsmäßige Anpassung auf zwei Aggregaten.....	27
Abbildung 17: finale intensitätsmäßige Anpassung auf dem letzten Aggregat.....	28
Abbildung 18: Beispiel Backwaren.....	29
Abbildung 19: Backwaren mit Absatzmenge, Zeiteinheiten.....	30
Abbildung 20: Koordinatensystem mit Gleichungen.....	31
Abbildung 21: Koordinatensystem mit Ergebnisraum.....	31
Abbildung 22: Potenzielle Optimalpunkte.....	32

Glossar

Betriebsmittel	Einrichtungen und Anlagen der betrieblichen Leistungserstellung
Durchlaufzeit	Zeitspanne, die für die Produktion eines Gutes benötigt wird.
Erzeugnis	Finaler Output der Fertigung
Fertigungsinsel	Organisationsform von Fertigungsgruppen, in der die zugeordneten Mitarbeiter*innen in der Regel räumlich zusammengefasste Verrichtungen selbstorganisatorisch koordinieren.
Material	Teile, Komponenten und Systeme, die als materielle Eingangsprodukte in die Fertigung eingehen.
Werkstoffe	Summe aller Input-Faktoren, die im Zuge von Veränderung, Einbau oder Verbrauch in die Fertigung von Gütern eingehen.

Lernziele

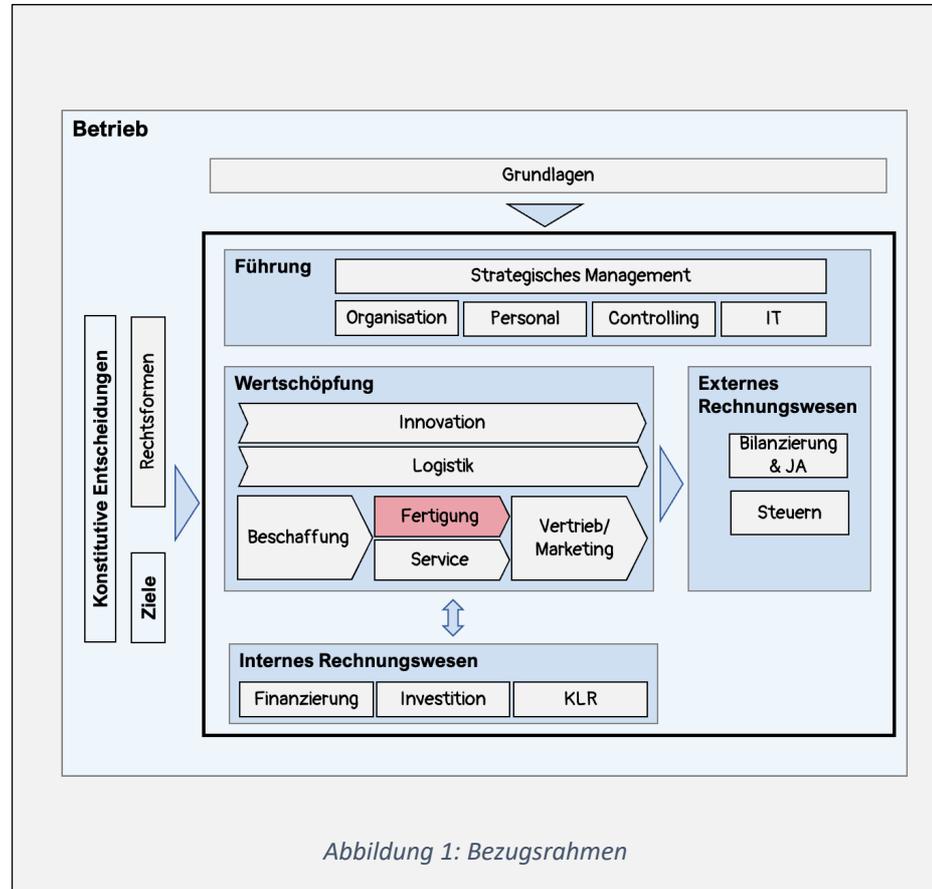
Nach dieser Lerneinheit kannst du

- den Fertigungsprozess erläutern;
- verschiedene Formen von Erzeugnissen unterscheiden;
- die Ziele der Fertigung aufzählen;
- Fertigungsverfahren differenzieren;
- unterschiedliche Arten charakterisieren;
- Aufgaben der Produktion in den Bereichen der Produktionsdurchführungsplanung und Programmplanung verorten;
- eine einfache Produktionsprogrammplanung (ohne und mit einem Engpass) durchführen;
- eine Produktionsprogrammplanung mit mehreren Engpässen realisieren und
- eine intensitätsmäßige/zeitliche Anpassung vornehmen.

Hinweis für Studierende

Das vorliegende Skript dient als begleitende und zusammenfassende Lektüre ergänzend zu den Videolerneinheiten. Es steht unter der Creative Commons Lizenz. Aus urheberrechtlichen Gründen musste darauf verzichtet werden aus etablierten Lehrbüchern zu zitieren. Entsprechend fehlen Quellenangaben. Der Text erfüllt formal somit **nicht** die Standards guter wissenschaftlicher Praxis und hat **keinen Vorbildcharakter** für alle Arten wissenschaftlicher Arbeiten (also auch nicht für Haus- und Abschlussarbeiten).

Bezugsrahmen



Diese Lektion hat die Fertigung als Thema. Ein Blick auf den Bezugsrahmen verschafft einen Überblick, in welchem Bezug das Thema innerhalb der Einführung in die BWL steht.

Der Funktionsbereich Fertigung oder synonym Produktion ist die zentrale Wertschöpfungsfunktion. Hier findet die eigentliche betriebliche Leistungserstellung statt.

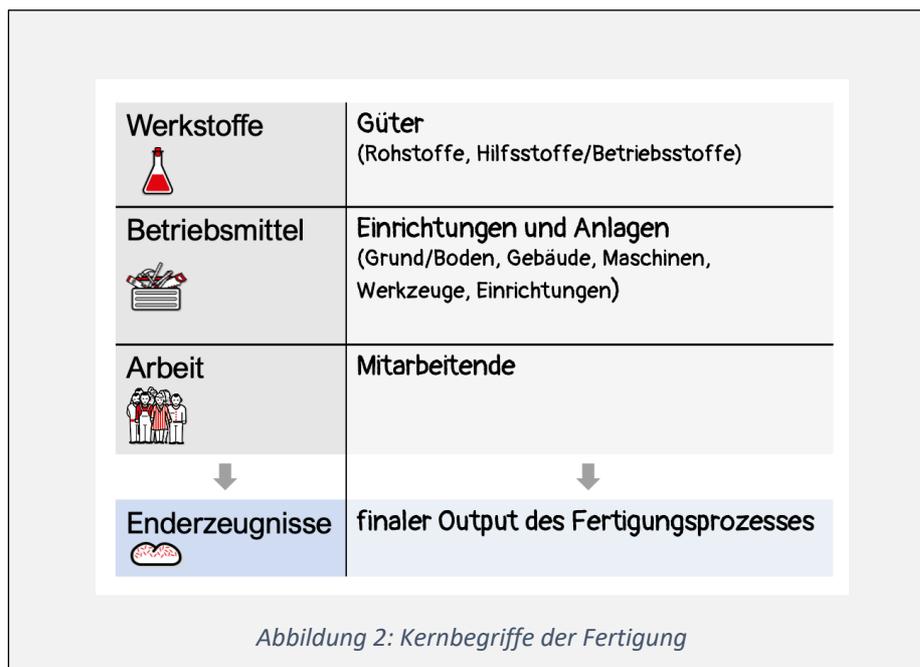
XI Fertigung

XI-1. Begriffe und Grundlagen

XI-1.1. Grundbegriffe

Die Fertigung lässt sich als Transformationsprozess von einem oder mehreren Inputs zu einem Output verstehen. Für den Input lohnt sich ein Blick auf die Produktionsfaktoren, die der bekannte deutsche Betriebswirtschaftler Erich Gutenberg bereits in den Fünfzigerjahren des letzten Jahrhunderts beschrieben hat. Dort werden Elementarfaktoren und dispositive Faktoren unterschieden. Der dispositive Faktor beschreibt die Leitung, Planung und Organisation. Die elementaren Faktoren hingegen sind die Werkstoffe, Betriebsmittel und die objektbezogene menschliche Arbeit, die im Fertigungsprozess kombiniert werden, um Erzeugnisse herzustellen.

Fertigung als Transformationsprozess



- Die Werkstoffe als Input-Faktor fassen alle Güter zusammen, die im Zuge von Veränderung, Einbau oder Verbrauch in die Fertigung von Gütern eingehen. Dazu zählt auch Energie, die erforderlich ist, um die Fertigung durchzuführen. Somit umfassen die Werkstoffe die Rohstoffe, Hilfsstoffe und Betriebsstoffe, welche bereits in dem Kapitel der Beschaffungswirtschaft definiert wurden.
- Als Material werden hingegen Teile, Komponenten und Systeme bezeichnet, die als materielle Eingangsprodukte in die Fertigung eingehen. Damit ist es eine Teilmenge der Werkstoffe.
- Der nächste zu definierende Elementarfaktor sind die Betriebsmittel. Diese stellen alle Einrichtungen und Anlagen dar, die als technische Voraussetzung der betrieblichen Leistungserstellung anzusehen sind.

Beispiele sind klassischerweise Maschinen und Werkzeuge sowie Transport- und Büroeinrichtungen ebenso wie Grund und Boden und die Gebäude eines Betriebs.

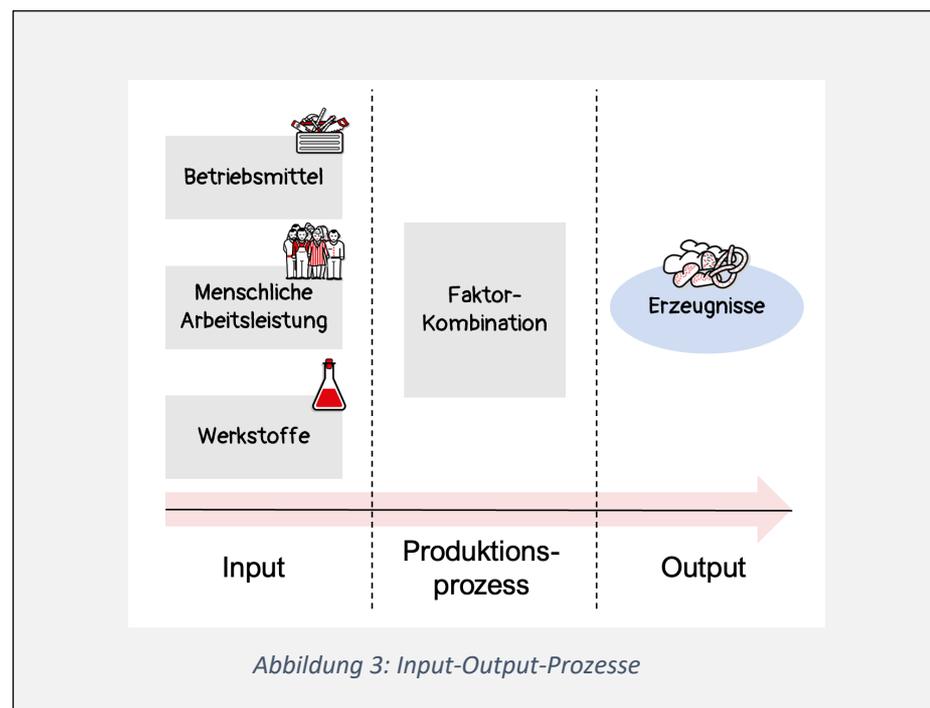
- Auch die menschliche Arbeit ist ein wichtiger Produktionsfaktor. Der Mensch, hier die Mitarbeiterin oder der Mitarbeiter, bringt dazu Wissen und Erfahrung ein und macht diesen damit überhaupt erst einmal für die Aufgabe handlungsfähig.

XI-1.2. Erzeugnisse

Was wird gefertigt?

Der finale Output der Fertigung sind die Erzeugnisse – genauer auch Enderzeugnisse genannt. Zwischenerzeugnisse hingegen sind noch nicht funktionsfähig, sie müssen noch weitere Fertigungsschritte durchlaufen, bis sie fertiggestellt sind und an die Kundschaft veräußert werden können.

Im Gegensatz zu den Erzeugnissen sind Waren bzw. Handelswaren bewegliche Sachen, die ein Unternehmen von Lieferant*innen kauft und diese, ohne weitere Fertigungsschritte, an ihre Kundschaft weiterverkauft. Einige Branchen, wie z. B. der Handel, sind darauf spezialisiert, aber viele auch fertigende Unternehmen besitzen einen ergänzenden Bestand an Waren, die als Zubehör, Pflegemittel oder auch Ersatzteil bezogen werden können.



Zunächst zu den wichtigsten Zielen der Fertigung: Aufgrund der zentralen Stellung als Kernprozess der Wertschöpfung stehen Effizienzkriterien natürlich an erster Stelle. Der Fertigungsbereich trägt die Verantwortung dafür, dass die Produkte und Leistungen mit den definierten Eigenschaften und in der angestrebten Qualität zu möglichst geringen Kosten hergestellt bzw. bereitgestellt werden. Entsprechend prägen Kostenoptimierung und kontinuierliche Verbesserung das Handeln des operativen Fertigungsmanagements.

Aber auch andere Fertigungsziele sind relevant, z. B.:

- Die mengenoptimierte Fertigung, die ebenso gut denkbar ist für eine Bäckerei. Hier wird eine fixe Fertigungsmenge festgelegt, die verkauft werden soll. Diese kann in der Bäckerei zum Beispiel über Vorbestellungen und Erfahrungswerte für die Wochentage fest vorgegeben werden. Ein damit verbundenes Ziel ist, einen möglichst geringen Restbestand übrig zu behalten und Verschwendungen in der Materialnutzung weitestmöglich zu vermeiden. Für unsere Bäckerei bedeutet dies, dass möglichst wenige Backwaren den Weg zurück aus der Filiale antreten sollen, ggf. vorhandene Restbestände können beispielsweise zum Tagesende oder aus dem Vortag günstiger verkauft werden.
- Eine zunehmend an Bedeutung gewinnende Zielsetzung verfolgt die ökologische Fertigung, die – wie es der Name schon vermuten lässt – möglichst alle Umweltbelastungen von Fertigungsprozessen eliminieren möchte. Dazu gehört es, besonders ressourcenschonend zu produzieren und ebenso die entsprechenden Materialien möglichst nachhaltig zu beschaffen. Also wird hier darauf geachtet, dass die Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe sehr zielgerichtet und bewusst eingesetzt werden. Biobäckereien würden diesem Ziel wahrscheinlich einen deutlich höheren Stellenwert geben.
- Unter sozialer Fertigung werden alle Aspekte gefasst, die darauf abzielen, das Wohlbefinden der Mitarbeitenden in Bezug auf Arbeitszeiten, Arbeitsplatz, Fortbildungen und Gesundheit zu gewährleisten. Dabei ist der Fokus eher nach innen gerichtet.
- Letztlich ist auch Flexibilität ein wichtiges Fertigungsziel. Idealerweise sollten organisatorische und technische Aspekte der Fertigung darauf ausgerichtet sein, möglichst flexibel auf geänderte Anforderungen und Kundenwünsche reagieren zu können.

Mengenoptimierte
Fertigung

Ökologische Ferti-
gung

Sozialer Fertigung

Flexible Fertigung

Die Aufgaben der Fertigung, die im Folgenden näher betrachtet werden, lassen sich in zwei grundlegende Bereiche aufteilen:

- Gestaltung des Fertigungssystems und
- Bestimmung zur Durchführung der Fertigungsplanung und -steuerung.

XI-1.3. Das Fertigungssystem

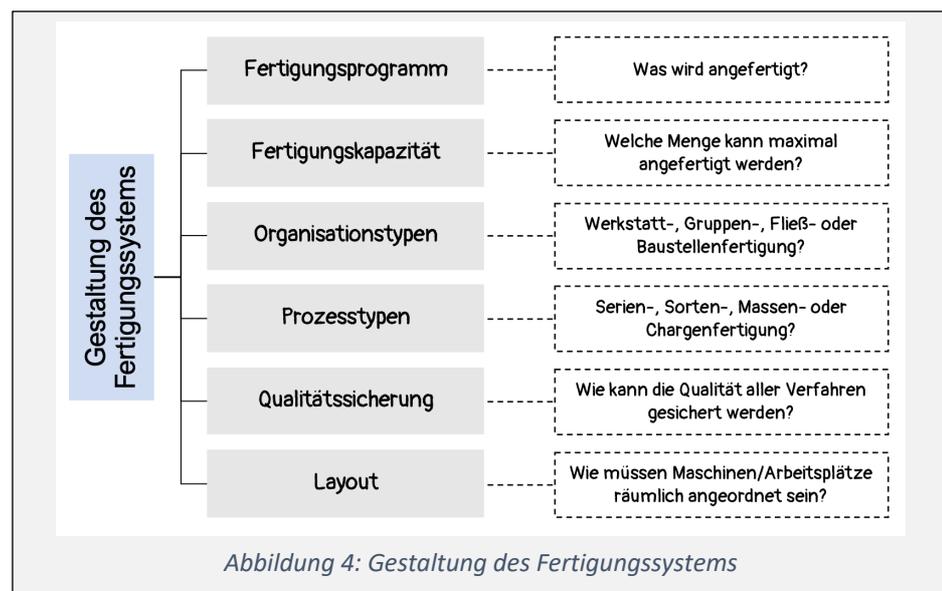
Die Gestaltung des Fertigungssystems umfasst das Zusammenspiel aller Faktoren, die erforderlich sind, um aus den Inputfaktoren durch die Fertigung den beabsichtigten Output zu erzeugen. Das betrifft im Schwerpunkt das Fertigungsprogramm, die Fertigungskapazität, Prozess- und Organisationstypen, Fertigungsverfahren, die Qualitätssicherung und das Layout der Fertigung.

Wie wird gefertigt?

- Das Fertigungsprogramm bezeichnet die geplanten unterschiedlichen Erzeugnisse in ihrer jeweiligen Anzahl. Eine Kernaufgabe beschäftigt sich mit der Frage nach der optimalen Zusammensetzung des Fertigungsprogramms auf Basis der Zielsetzung der Deckungsbeitragsoptimierung. Also bei unserer Bäckerei die Frage, welche Brote, Brötchen und sonstigen Backwaren das Angebot umfassen soll.

Fertigungspro-
gramm

- Fertigungskapazität
 - Die Fertigungskapazität beschreibt die maximale Menge an Erzeugnissen, die das Unternehmen fertigen kann. Wie viele Backwaren welcher Sorte können mit der Ausstattung und den Mitarbeitenden in der zur Verfügung stehenden Zeit gefertigt werden?
- Organisationstypen
 - Die Organisationstypen beschreiben, wie die Arbeitsplätze und Maschinen für die Fertigung angeordnet sein müssen. Darunter fallen die Werkstattfertigung, die Gruppenfertigung, die Fließfertigung und die Baustellenfertigung. Für die Bäckerei wären die Fragen zu beantworten, wie strukturiert oder flexibel die Aufträge bearbeitet und welcher Grad an Arbeitsteilung umgesetzt werden soll.
- Prozesstypen
 - Die Prozesstypen der Fertigung beschreiben, nach welcher Ergebnis-bezogenen Systematik der Fertigungsprozess erfolgt. Hier werden die Einzelfertigung, die Serienfertigung, die Sortenfertigung, die Massenfertigung und die Chargenfertigung unterschieden. Für eine Bäckerei ist die Frage relativ leicht zu beantworten, da hier häufig das Produkt und die Nachfrage die Vorgaben machen. Die Hochzeitstorte wird als Einzelfertigung erstellt, die verschiedenen Brötchen werden aber als Sortenfertigung produziert, da sie sehr ähnlich zueinander sind.
- Qualitätssicherung
 - Die Qualitätssicherung beschreibt, wie die Qualität im Fertigungsverfahren gesichert werden kann. Wer ist Qualitätsbeauftragter oder -beauftragte, wann und wie werden Qualitätsprüfungen vorgenommen und wie werden im Bereich der Bäckerei Hygienevorschriften umgesetzt.
- Layout
 - Das Layout beschreibt die räumliche Anordnung der Maschinen und Arbeitsplätze, sodass unter Berücksichtigung der Zielsetzung optimal gefertigt werden kann. Also ausgehend vom Organisations- und Prozesstyp der Fertigung muss die Frage beantwortet werden, wo einzelne Arbeitsplätze und Maschinen einzurichten sind.



XI-1.4. Fertigungsplanung und Steuerung

Den Abschluss dieses Abschnitts bildet eine kurze Übersicht über die zweite Aufgabe der Fertigung, die Fertigungsplanung und -steuerung.

- Dies umfasst die Programmplanung, um auf Basis möglicher Restriktionen und knapper Ressourcen das optimale Fertigungsprogramm zu ermitteln. Die Bäckerei muss wissen, welche Produkte in welcher Menge gefertigt werden müssen.
- Die Mengenplanung beschreibt die Ermittlung der richtigen Mengen der Werkstoffe, die für die Fertigung bereitstehen müssen. Dies ist ebenfalls Thema der Materialwirtschaft, zu der hier eine direkte Beziehung besteht.
- Die Durchführungsplanung beschreibt u. a., welche Maschinen zu welchen Zeiten welche Mengen produzieren sollen. Dabei wird vor allem die Reihenfolge der Maschinenbelegung sowie die frühesten und spätesten Anfangs- und Endtermine für die einzelnen Fertigungsschritte festgelegt. Ohne Plan würden hier ganz bestimmt Konflikte auftreten und ein Ofen oder auch eine Teigmaschine somit nicht optimal genutzt werden.
- In der Steuerung werden die Fertigungsaufträge letztlich freigegeben und überwacht.
- Nach der Fertigung werden die Erzeugnisse dann an die interne oder externe Logistik übergeben, sodass diese den Weg zur Kundschaft finden. In unserem Beispiel also die Übergabe an den Verkaufsraum. Wenn die Bäckerei nun expandieren sollte, würden sich hier nun wieder Fragen stellen, welche Filiale wie viele Backwaren zum Verkauf bekommt.

Programmplanung

Mengenplanung

Durchführungsplanung

Steuerung

Interne und externe Logistik

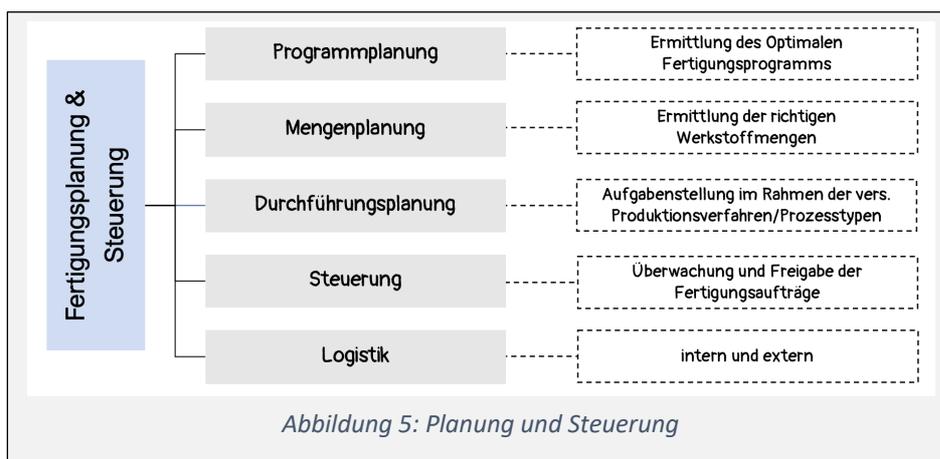


Abbildung 5: Planung und Steuerung

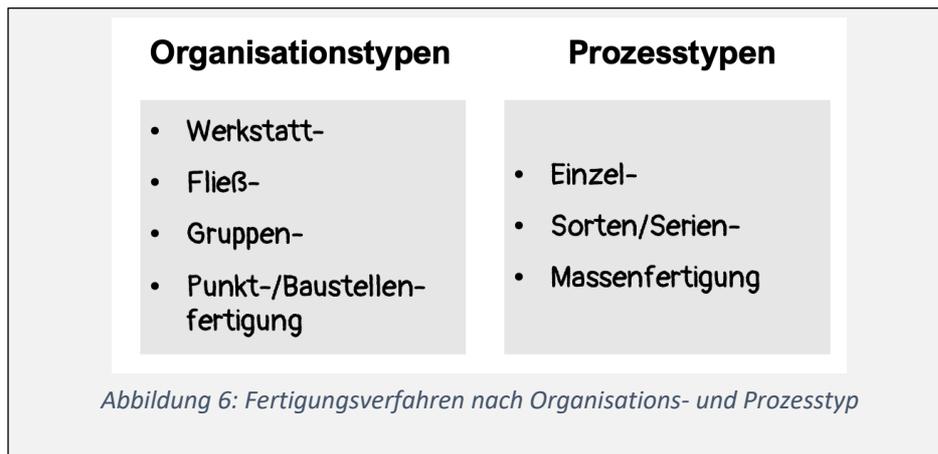
Merke

- Werkstoffe sind die Summe aller Input-Faktoren, die im Zuge von Veränderung, Einbau oder Verbrauch in die Fertigung von Gütern eingehen.
- Materialien sind Teile, Komponenten und Systeme, die als materielle Eingangsprodukte in die Fertigung eingehen.
- Betriebsmittel sind Einrichtungen und Anlagen der betrieblichen Leistungserstellung.
- Es kann verschiedene Fertigungsziele geben, wie z. B. mengenoptimierte, ökologische oder soziale Fertigung.
- Das Fertigungssystem muss in Abstimmung mit den Fertigungszielen in Bezug auf das Programm, die Kapazität, den Organisations- und Prozesstyp, das Layout und die Qualitätssicherung ausgestaltet werden.
- Fertigung erfordert eine spezifische Planung und Steuerung.

XI-2. Fertigungsverfahren

Fertigungsverfahren lassen sich aus 2 Perspektiven betrachten. Die erste beschreibt den Organisationstyp, die zweite den Prozesstyp. Diese Lerneinheit beschäftigt sich mit verschiedenen Fertigungsverfahren, nämlich Werkstatt-, Fließ-, Gruppen- und Punktfertigung nach Organisationstypen sowie Einzel-, Sorten-, Sparten- und Massenfertigung nach Prozesstypen.

Organisations- und Prozesstypen



XI-2.1. Fertigungsverfahren nach Organisationstyp

Der Organisationstyp differenziert Fertigungsverfahren nach der Organisation des Ablaufs. Hier können Werkstatt-, Fließ-, Gruppen- und Punktfertigung unterschieden werden, die sich als Fertigungsverfahren durch die Art und Weise, wie die Arbeitsplätze und Maschinen angeordnet sind und durchlaufen werden, charakterisieren. Die Ablauforganisation spielt also eine zentrale Rolle.

XI-2.1.1. Werkstattfertigung

Bei der Werkstattfertigung werden Maschinen und Arbeitsplätze, die für ähnliche Verrichtungen ausgelegt sind, in einer Werkstatt oder einem Werk zusammengefasst. Das bedeutet, dass alle Geräte, Stoffe und Maschinen, also die Betriebsmittel, am Fertigungsort bereitgestellt werden.

Dazu ein kurzes Beispiel. *Ein Unternehmen produziert exklusive Tische und bietet diese unter anderem nach Maß an. Die Tische werden unternehmensintern gefertigt und durchlaufen dabei die verschiedenen Werkstätten wie im Folgenden dargestellt. Eine Besonderheit dieses Ablaufs ist, dass die Tische nach der Montage nochmal in die Lackiererei zurückgebracht werden müssen und dort die spezielle Imprägnierung erhalten. Wie dieses Beispiel zeigt, müssen die Holzbretter zwischen den Werkstätten transportiert werden, damit der nächste Arbeitsschritt erfolgen kann.*

Fertigungsablauf-
Planung

Je nach Produkt ist es auch möglich, dass dasselbe Teil mehrmals dieselbe Werkstatt besuchen muss, da die Arbeitsschritte voneinander abhängig sind. Reihenfolge und Häufigkeit der Werkstattbesuche sind demnach produktabhängig. Hierzu ist eine genaue Ablaufplanung nötig, um Stauungen, Leerläufe und lange Wartezeiten zu verhindern. Häufig werden Zwischenlager verwendet, um den Durchlauf zu beschleunigen, trotzdem ist die Fertigungszeit im Vergleich relativ lang. Da der Steuerungsaufwand bei der Werkstattfertigung hoch ist, gilt dieser Organisationstyp als verhältnismäßig kostenintensiv.

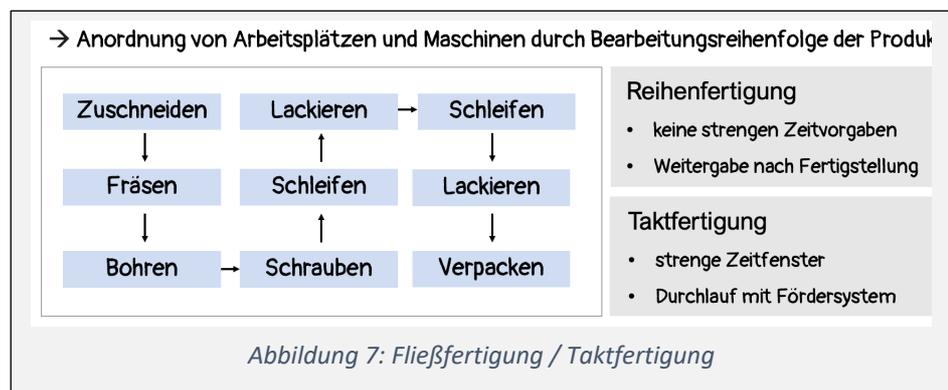
Hohes Qualitätsni-
veau

Ein wesentlicher Vorteil der Werkstattfertigung ist jedoch das außerordentlich hohe Qualitätsniveau. Durch das Zusammenfassen von verrichtungsähnlichen Arbeitsplätzen spezialisieren sich die Mitarbeitenden in ihrem jeweiligen Bereich und bauen dort starke Kompetenzen auf. Zudem können Änderungen ziemlich flexibel erfolgen. Wünscht eine Kundin oder ein Kunde einen Tisch nach Maß, so kann dieser eigens für sie bzw. ihn angefertigt werden. Aus den genannten Gründen bietet sich die Werkstattfertigung für Einzelproduktionen oder Kleinserien an.

XI-2.1.2. Fließfertigung

Die Fertigungs-
straße

Bei der Fließfertigung werden Arbeitsplätze und Maschinen so angeordnet, dass deren Reihenfolge der Bearbeitungsreihenfolge des Produkts entspricht. Damit werden also die Transportwege zwischen den einzelnen Arbeitsplätzen minimiert. Man verfolgt hier das Objektprinzip, aber dazu später mehr. Bei der Fließfertigung durchläuft ein Produkt jede Station dieser sogenannten Fertigungsstraße nur einmal. Das Produkt kann somit nicht an eine bereits durchlaufene Station zurückkehren. Wenn bei der Produktion mehrere gleichartige Verrichtungen erforderlich sind, z. B. Schleifen oder Lackieren, dann werden diese Vorrichtungen eben mehrfach platziert.



Bei der Fließfertigung wird zwischen zwei Fertigungsrythmen unterschieden – der Reihen- und Taktfertigung. Innerhalb der Reihenfertigung gibt es keine strengen Zeitvorgaben, hier wird das Produkt nach Fertigstellung an die nächste Station weitergegeben.

Taktfertigung

Bei der Taktfertigung bewegt sich das Produkt in der Regel auf einem Stetigfördersystem wie z. B. einem Fließband fort. Das Produkt wird mithilfe des Fördersystems an den verschiedenen Arbeitsstationen vorbeigeführt. Während das Produkt eine Arbeitsstation durchläuft, haben die Mitarbeitenden oder

Maschinen ein genau getaktetes Zeitfenster, um die nötigen Arbeitsschritte durchzuführen.

Ein großer Vorteil bei der Fließfertigung ist die geringe Durchlaufzeit. Durch die Anordnung der Arbeitsstationen direkt am Fördersystem bewegt sich das Produkt stetig fort und durchläuft die Arbeitsstationen kontinuierlich und chronologisch nach seiner Bearbeitungsreihenfolge. Zeitaufwendige Zwischentransporte wie z. B. bei der Werkstattfertigung werden somit überflüssig. Zudem ist die Taktfertigung sehr gut zu kalkulieren. Die Produktionsgeschwindigkeit und damit auch die Produktions- und Bestellmenge sind feste Größen, die sich genau berechnen lassen. Das fördert günstige Einstandskosten für die Materialien. Zudem sind die Mitarbeitenden besonders produktiv. Aufgrund immer wiederkehrender Arbeitsschritte stellen sich hohe Lernkurveneffekte ein, da die Arbeiten durch dauerhafte Übung und Routine sehr schnell ausgeführt werden können.

Fließfertigung

Allerdings erweisen sich diese Monotonie und Fremdbestimmung auch als erhebliche Belastungen für die Psyche der Mitarbeitenden. Des Weiteren ist die Fließfertigung störanfällig. Sobald Störungen an nur einer Arbeitsstation der Fertigungsstraße auftreten, so sind alle darauffolgenden Arbeitsstationen der Fertigungsstraße betroffen und nicht mehr arbeitsfähig – die Produktion muss gestoppt werden. Gegebenenfalls sind auch die vorgelagerten Arbeitsstufen betroffen, wenn diese ihre Fertigungsergebnisse nicht mehr an die nächste Station weitergeben können. Die Fließfertigung erfordert erhebliche Investitionen und damit einen hohen Kapitalbedarf. Produktionsstraßen müssen mit großem Aufwand entworfen und aufgebaut werden. Tendenziell sind dazu Sondermaschinen erforderlich, die entsprechend teurer sind. Steht die Produktionsstraße einmal, so sind Anpassungen nur mit hohen Umstellungskosten möglich. Daher sind Fließfertigungen nur für Massen- oder Großserienfertigungen geeignet, da eine entsprechend hohe Menge abgesetzt werden muss, um den Aufwand zu rechtfertigen.

Risiken der Fließfertigung

Eine Sonderform der Fließfertigung ist die vollautomatisierte Fertigung. Hierbei erfolgt nicht nur der Transport automatisch, sondern auch die Arbeitsschritte werden von computergestützten Maschinen und Industrierobotern durchgeführt. Mitarbeitende werden dann lediglich zur Programmierung und Überwachung der Maschinen benötigt.

XI-2.1.3. Gruppenfertigung (bzw. Inselfertigung)

Die Gruppen - oder auch Inselfertigung genannt, ist eine Kombination aus Werkstatt- und Fließfertigung. Nach außen agiert die Gruppenfertigung wie die Werkstattfertigung, intern kann sie allerdings wie die Fließfertigung organisiert sein. Eine Gruppe besteht aus einem Team, welches eine separate Baugruppe eigenständig produziert. Hierfür organisiert die Gruppe sich und die Produktion der Baugruppe inklusive Qualität der Produkte und Wartung der Maschinen selbst. Damit ist die Gruppe teilautonom und übernimmt die vollständige Verantwortung für ihren Bereich.

Die autonome Arbeitsgruppe ist befugt, unter Achtung von übergeordneten Zielen, wie z. B. Budget und Terminplan, eigenständig zu agieren. Dabei übernimmt sie nicht nur jegliche Ausführungsaufgaben, sondern auch Führungsaufgaben. So ist die Gruppe beispielsweise auch befugt, unabhängig über Arbeitsverteilung, Arbeitsplatzgestaltung, Arbeits- und Pausenzeiten und Neueinstellungen

Arbeitsgruppen

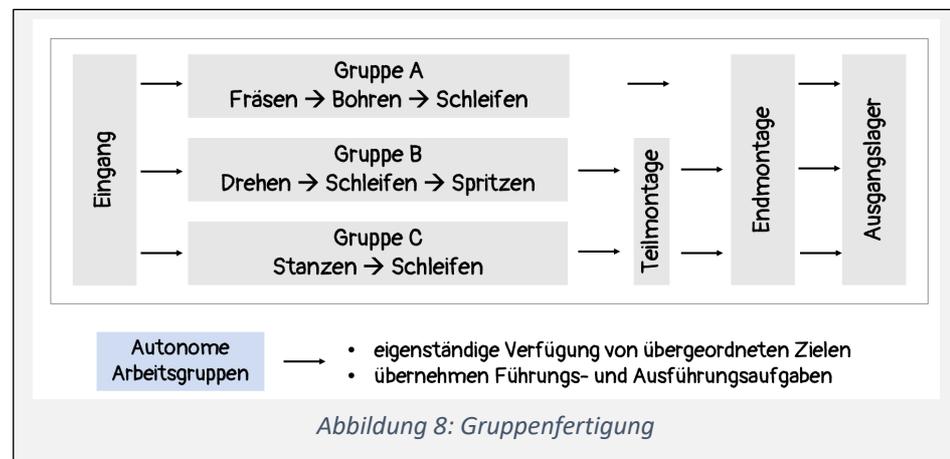
zu entscheiden. Die sozialen Einschränkungen der Fließfertigung werden durch die Möglichkeit zur Selbstbestimmtheit und Gruppendynamik reduziert. Die abwechslungsreichen Arbeitsaufgaben sowie die erhöhte Verantwortung wirken sich positiv auf die Motivation und damit auf die Leistung der Mitarbeitenden aus.

Anordnung der Fertigungsabläufe

Für die Gruppenfertigung werden die Arbeitsplätze und die Maschinen an einem Ort zusammengefasst, die für die vollständige Herstellung einer bestimmten Baugruppe benötigt werden. Die Betriebsmittel werden also nicht wie bei der Werkstattfertigung nach ähnlichen Verrichtungseigenschaften gruppiert, sondern orientieren sich an einem Objekt.

Kombinierte Systeme

Durch die Kombination aus Werkstatt- und Fließfertigung machen sich Betriebe die Vorteile beider Verfahren zunutze. Durch die interne Anwendung der Fließfertigung können kürzere Durchlaufzeiten als bei der Werkstattfertigung erzielt werden. Die Bildung teilautonomer Gruppen macht einen komplexen Prozess übersichtlicher. Die Übertragung der vollen Verantwortung erhöht die Prozesskenntnis und die Motivation der Gruppe. Weitere Vorteile sind: kurze Rüstzeiten – also die Vorbereitung der Maschinen auf den nächsten Fertigungsauftrag –, die Ausnutzung der Kapazitäten, kürzere Transporte, geringere Puffer. Allerdings gehen natürlich auch die Nachteile der beiden Verfahren bei der Kombination nicht gänzlich verloren.



XI-2.1.4. Punktfertigung

Bei der Punktfertigung müssen jegliche Betriebsmittel, die für die Herstellung des Produkts benötigt werden, an einen bestimmten Standort transportiert werden. Ein besonders anschauliches Beispiel ist der Bau eines Hauses. Für den Bau müssen alle Betriebsmittel wie Bagger, Kran, Material und die Arbeiter*innen zum Hausgrundstück bewegt werden. Daher wird die Punktfertigung auch Baustellenfertigung genannt. Sie ist am häufigsten in der Baubranche und im Anlagenbau zu finden.

XI-2.2. Fertigungsverfahren nach Prozesstyp

Nach der Erläuterung der verschiedenen Organisationstypen der Fertigung gilt es im Folgenden die unterschiedlichen Prozesstypen eingehender zu betrachten. Diese unterteilen Fertigungsverfahren im Wesentlichen nach der Anzahl der produzierten Erzeugnisse. Dabei wird zwischen Einzel-, Sorten- sowie Serien- und Massenfertigungsverfahren differenziert.

XI-2.2.1. Einzelfertigung

Einzelfertigung: Produkte, die nur einmalig hergestellt werden, sind Unikate, die in der Regel individuell beauftragt werden. Dazu werden flexible Universalmaschinen benötigt. Für jedes Produkt muss eine gesonderte Produktionsplanung erfolgen, in welcher Konstruktionspläne, Stücklisten und Terminpläne festgelegt werden.

Unikate

Ein Beispiel für eine Einzelfertigung ist ein Einbauschränk. Ein Hausbesitzer möchte gerne in der obersten Etage einen Einbauschränk einbauen lassen, da herkömmliche Schränke aufgrund der Dachschrägen nicht passen. Für den Bau des Schränks beauftragt er eine Schreinerin, die nach der genauen Vermessung des Bereichs mit der Fertigung des Schränks beginnt. Der Schrank wird speziell an die Begebenheiten angepasst und entspricht einer Einzelfertigung.

XI-2.2.2. Serienfertigung

Bei der Serienfertigung wird ein Produkttyp mehrfach gefertigt. Die Auflagengröße wird im Vorhinein bestimmt. Der prominenteste Vertreter der Serienfertigung ist die Sortenfertigung. Die Produkte einer Sorte unterscheiden sich geringfügig z. B. durch äußere Merkmale, wie der Farbe oder Größe bei Kleidungsstücken oder Macharten bei Marmeladen oder Bieren. Sorten können zwar auf derselben Produktionsanlage hergestellt werden, allerdings sind unterschiedliche Einstellungen oder Verfahren notwendig.

Grad der Individualisierung

Beispielsweise bietet ein Produzent von Jute-Beuteln drei verschiedene Motive an. Die Druckmaschine verfügt über drei Stempel, die je nach Bedarf abgewechselt werden können. Somit durchläuft jeder Beutel dieselben Maschinen in der gleichen Reihenfolge, lediglich der verwendete Stempel in der Druckmaschine variiert.

Besondere Formen der Serienfertigung sind die Chargen- und die Partiefertigung.

Bei der **Chargenfertigung** gibt es vom Grundsatz her nicht zwingend einen Wechsel in der Zusammensetzung. Es sind vielmehr produktionstechnische Gründe, dass das Produkt nicht kontinuierlich erstellt werden kann. Beispiele sind Farben, Arzneimittel sowie diverse Arten von zusammengesetzten flüssigen Lebensmitteln. Hier wird zunächst eine große homogene Menge des Grundstoffes hergestellt, die dann in Portionen aufgeteilt wird. Zur Rückverfolgbarkeit wird eine Chargennummer vergeben. Unterschiede zwischen einzelnen Chargen

Chargenfertigung

sind in der Regel unfreiwillig, z. B. aufgrund von variierender Rohstoffqualität oder nicht steuerbaren Abweichungen im Produktionsprozess.

Partiefertigung

Die **Partiefertigung** ähnelt der Chargenfertigung. Auch hier treten (ungewollt) Unterschiede zwischen den „Sorten“ auf. Die Sorten ergeben sich durch unterschiedliche Rohstoffqualität, z. B. Früchte aus unterschiedlichen Anbauregionen oder unterschiedlichen Jahren (jeweils eine Partie). Obwohl die Unterschiede oftmals nicht gewollt sind, ist man sich dessen bewusst und macht es teilweise auf dem Etikett deutlich. Dies ist insbesondere bei Wein der Fall, bei dem regelmäßig die Anbauregion und das Jahr angegeben werden.

XI-2.2.3. Massenfertigung

Produktion von hohen Stückzahlen

Produkte aus Massenfertigung werden in hoher Menge produziert. Wie hoch die Stückzahl letzten Endes sein wird, wird nicht von vornherein festgelegt. Da bei der Massenproduktion der gleiche Fertigungsprozess ununterbrochen durchlaufen wird, sind keine Umstellungen der Anlagen vorgesehen. Daher können Spezialmaschinen angeschafft werden, die einen hohen Automatisierungsgrad erlauben und sich passgenau auf die jeweiligen Anforderungen zuschneiden lassen.

*Ein Beispiel dafür ist, dass Küchenrollenhersteller ihre Produkte in großen Mengen verkaufen. Die Küchenrollen erfreuen sich in der Regel einer stabilen Nachfrage. Die Hersteller*innen setzen Spezialmaschinen ein, die ausschließlich für die Produktion von Küchenrollen geeignet sind. Nach ihrer Einrichtung zum Produktionsstart laufen sie ununterbrochen und werden nur für Wartungen und Reparaturen gestoppt. Bei den Küchenrollen handelt es sich um ein Massenprodukt. Jede Küchenrolle aus der Spezialmaschine gleicht der anderen.*

Mass Customization

Eine Ausnahme der Massenfertigung bildet die Mass Customization. Hierbei haben die Massenprodukte individualisierte Merkmale oder Eigenschaften, die durch die Kundschaft bei der Bestellung individuell festgelegt werden können. Jedoch stellen die Produkte keine Einzelanfertigungen dar, sondern können auf Masse mit einer Reihe individueller Anforderungen gefertigt werden. Der Sportartikelhersteller Nike bietet z. B. für ausgewählte Sneaker seines Sortiments Individualisierungsmöglichkeiten im Rahmen seines Programms Nike By You an. Mit Nike By You können Kund*innen z. B. die Farbgestaltung ihrer Sneaker selbst bestimmen. Die Vorteile von Massen- und Einzelfertigung werden also miteinander kombiniert. Das funktioniert allerdings in der Regel nur mit einem extrem hohen Grad an Automatisierung und einer durchgängigen IT-Unterstützung.

Merke

- Fertigungssysteme lassen sich nach Organisations- und Prozesstypen differenzieren.
- Bei Werkstattfertigung werden Maschinen und Arbeitsplätze, die für ähnliche Verrichtungen ausgelegt sind, an einem Ort zusammengefasst.
- Bei Fließfertigung werden Arbeitsplätze und Maschinen in Bearbeitungsreihenfolge angeordnet.
- Gruppenfertigung ist die Kombination aus Werkstatt- und Fließfertigung.
- Die Punktfertigung fasst Betriebsmittel an einen bestimmten Standort zusammen.
- Einzelfertigung heißt, dass Produkte nur einmalig hergestellt werden (Produktion von Unikaten).
- Die Massenfertigung zielt auf die Produktion großer Mengen homogener Produkte.

XI-3. Produktionsplanung

In der BWL ist die engpassbezogene Produktionsprogrammplanung Bestandteil der Produktions- oder Fertigungsplanung. Die Aufgabe der Fertigungsplanung ist allgemein die termingerechte Erfüllung von Fertigungsaufträgen unter Berücksichtigung der verfügbaren Kapazitäten an Betriebsmitteln und Ressourcen. Bei der Fertigungsplanung wird zwischen einer langfristigen oder auch mittel- bis kurzfristigen Planung unterschieden.

Berechnung von Kapazitäten

Teil der langfristigen Fertigungsplanung ist zum Beispiel die Betriebsgrößenplanung. Diese strategische Sicht auf die Fertigung zielt darauf ab, die Fertigungskapazitäten an die langfristige Nachfrage anzupassen. Hier muss abgeschätzt bzw. mit Instrumenten der Marktforschung ermittelt werden, welche Produkte in Zukunft von der Kundschaft nachgefragt werden und in welcher Menge die Produkte abgesetzt werden können. Für die termingerechte Erfüllung des Produkt- und Leistungsangebots gilt es dann, die Kapazitäten entsprechend anzupassen und weitere Folgeplanungen im Fertigungsbereich darauf abzustimmen.

XI-3.1. Taktische und operative Planungen

Im Vergleich zur Produktionsprogrammplanung nehmen taktische und operative Planungen als Bestandteil der mittel- und kurzfristigen Fertigungsplanung deutlich kürzere Zeithorizonte in den Blick. Die Produktionsdurchführungsplanung ist Teil der kurzfristigen Produktionsplanung.

XI-3.1.1. Produktionsaufteilungsplanung

Darunter fällt die Produktionsaufteilungsplanung, die sich mit der Frage der optimalen Aufteilung des Fertigungsloses auf mehrere, funktionsgleiche Maschinen beschäftigt. Dies erfolgt durch eine optimale Kombination durch eine zeitliche Belegung der jeweiligen Maschinen in ihrem Maschinenbetriebsoptimum oder durch eine davon abweichende intensitätsmäßige Anpassung auf den Maschinen.

XI-3.1.2. Auftragsgrößenplanung

Die Auftragsgrößenplanung hat zum Ziel, das optimale Fertigungslos zu bestimmen. Hierbei konkurrieren die Kosten des Umrüstens, das jeweils zwischen zwei unterschiedlichen Fertigungsaufträgen durchgeführt wird. Durch das Umrüsten wird die Maschine auf den neuen Fertigungsauftrag vorbereitet, z. B. durch einen Werkzeugwechsel oder Anpassung verschiedener Parameter. Dem gegenüber stehen die Zwischenlagerhaltungskosten, die durch die Lagerung der Bearbeitungsergebnisse der Maschine entstehen.

Fertigungslose

Kleine Lose, die nah am Absatz liegen, führen zu einem häufigen Umrüsten und einer geringen Lagerhaltung. Hingegen führen große Fertigungslose zu einer deutlich geringeren Umrüstungshäufigkeit, jedoch zu erhöhten Lagerkosten, da die Bearbeitungsergebnisse in der Regel nicht sofort weiterverarbeitet oder an die Kundschaft verkauft werden können. Das Optimum ist durch die

Auftragsgrößenplanung zu bestimmen. Diese Fragestellung ist übrigens sehr ähnlich der Bestimmung der optimalen Bestellmenge. Hier konkurrieren ebenfalls die Lagerhaltungskosten mit den bestellfixen Kosten.

XI-3.1.3. Zeitliche Produktionsverteilung

Die zeitliche Produktionsverteilung beschäftigt sich mit der Frage, wie der Fertigungsbedarf über das Jahr verteilt wird. Der Bedarf – gerade von Saisonprodukten wie Kleidung oder Wintersportbedarf – lässt sich beispielsweise einmalig im Jahr auf Vorrat produzieren oder durchgehend entsprechend des dann stark schwankenden Bedarfes.

XI-3.1.4. Zeitliche Ablaufplanung

Als viertes und letztes Element der Produktionsdurchführungsplanung ist die zeitliche Ablaufplanung zu nennen, die das Ziel verfolgt, die Maschinen möglichst gut auszulasten und die Fertigungsaufträge möglichst schnell zu bearbeiten. Hierzu wird zum einen der Produktionsprozess als ein Geflecht aus Vorgänger- und Nachfolgeraktivitäten gesehen, den es hinsichtlich seiner Durchlaufzeit zu optimieren gilt, sodass das Produkt möglichst schnell gefertigt wird. Zum anderen sollen die Maschinen optimal ausgelastet werden, sodass keine Stillstand- oder Leerzeiten an anderen Stellen entstehen. Es gilt also, die Reihenfolge der einzelnen Fertigungsaufträge auf den Maschinen unter Berücksichtigung beider Zielsetzungen festzulegen. Das ist ein klassisches Optimierungsproblem, welches in der täglichen Praxis mithilfe von mathematischen Verfahren und entsprechenden IT-Systemen gelöst wird.

Ablaufplanung

Die taktische Fertigungsplanung hat damit das Ziel, die Umsetzung der strategischen Fertigungsplanung zu erfüllen und Abweichungen zu erkennen. In der operativen Fertigungsplanung werden aktuelle Engpässe und Abweichungen berücksichtigt.

XI-3.2. Produktionsprogrammplanung

Neben der Produktionsdurchführungsplanung, die den Ablauf in den Blick nimmt, will die **operative Produktionsprogrammplanung** das Produktionsprogramm hinsichtlich aktueller Restriktionen in der Kapazität und verschiedener Engpässe optimieren. Am Beispiel der Bäckerei wäre die Frage, welche Kuchen für den Tag produziert werden können, der operativen Produktionsprogrammplanung zuzuordnen. Üblicherweise wird in den Betrieben das Ziel der Gewinnmaximierung unterstellt. Folgende Informationen sind erforderlich:

- **Deckungsbeitrag** des Produkts (Preis minus variable Kosten),
- die angenommene **Absatzmenge**,
- die **Ressourcenbeanspruchung** und
- ggf. vorhandene Beschränkungen der Ressourcen, für die Identifikation möglicher **Engpässe**.

Informationen

Auf Basis dieser Informationen kann das optimale Produktionsprogramm ermittelt werden. Das Vorgehen ist immer dasselbe: Zunächst ist festzustellen, ob Produkte vorhanden sind, die nicht gewinnbringend verkauft werden können, also deren Deckungsbeitrag negativ ist und somit keinen Betrag zur Deckung der Fixkosten leisten. Für diese Produkte muss sorgfältig geprüft werden, ob die Herstellung überhaupt zielführend ist. Häufig verhindern Verbundeffekte die einfache Eliminierung von verlustbringenden Produkten. Ein Bäcker oder eine Bäckerin, der bzw. die nur Honig, Roggenbrötchen und Torten verkauft, weil Brote und Weizenbrötchen einen negativen Deckungsbeitrag aufweisen, wird kaum die Erwartungen der Kundschaft erfüllen, die in die Bäckerei kommen.

Kapazitäten

Nun muss geprüft werden, ob die Kapazitäten ausreichen, um die Marktnachfrage zu befriedigen. Dazu wird je Produkt die Absatzprognose mit der erforderlichen Kapazität multipliziert und dann über sämtliche Produkte addiert. Daraus können sich drei Situationen ergeben:

1. Es besteht kein Engpass, alle Kapazitäten sind vorhanden.
2. Es besteht ein Engpass in Bezug auf eine Kapazität.
3. Es bestehen mehrere Engpässe.

Fall 1 ist einfach. Hier wird alles produziert. Das optimale Produktionsprogramm ist gleichzeitig auch das ermittelte Absatzprogramm.

In **Fall 2** gibt es eine Einschränkung in Bezug auf eine Kapazität. Daher gilt es hier, die geplanten Fertigungsmengen so anzupassen, dass der Deckungsbeitrag maximiert wird.

Fall 3 ist ähnlich wie **Fall 2**, nur komplexer, da sich hier ein Problem ergibt, welches nur durch mathematische Modelle zu lösen ist.

Engpässe

Für **Fall 2** (ein Engpass) bedeutet dies: Ein Engpass kann u. a. durch begrenzte Kapazitäten von Maschinen, beschränkte Verfügbarkeiten von Rohstoffen, Personal oder Räumlichkeiten bestehen. Die Herausforderung besteht nun darin, mit den verfügbaren Kapazitäten das bestmögliche Ergebnis zu erzielen, mit dem Ziel der Gewinnmaximierung, also den maximalen Gewinn für das Unternehmen zu erreichen. Dies gelingt, wenn sich das Unternehmen auf die Aufträge bzw. Mengen konzentriert, die in Summe den größtmöglichen Nutzen – hier Gewinn – erzeugt. Wir haben hier also ein Selektionsproblem.

Es ist zu prüfen, welches Produkt in Relation auf seinen Engpass den höchsten Deckungsbeitrag liefert, also wie hoch der anteilige Deckungsbeitrag für eine Einheit der Kapazität des Engpasses ist.

$$\text{relativer Deckungsbeitrag} = \frac{\text{Deckungsbeitrag je Stück}}{\text{benötigte Engpasseinheit}}$$

Der relative Deckungsbeitrag ist also der Deckungsbeitrag, der mit der Beanspruchung einer Engpasseinheit erwirtschaftet wird.

Hierzu ein Beispiel: Ein Unternehmen produziert die Produkte A, B und C. Für jedes Produkt wurden die max. Absatzmenge, die variablen Stückkosten, der Absatzpreis je Stück und die Fertigungszeit je Stück bestimmt. Die Fertigungs-Gesamtzeit ist allerdings begrenzt. Für die Fertigung stehen maximal 7.000 Zeiteinheiten (ZE) zur Verfügung.

Produkte	A	B	C
Max. Absatzmenge	1.000	1.500	2.200
Variable Kosten je Stück	20€	22€	32€
Absatzpreis je Stück	40€	30€	35€
Fertigungszeit je Stück	2 ZE	4 ZE	1 ZE
Summe Fertigungszeit	2.000	6.000	2.200
Relativer DB	10€/ZE	2€/ZE	3€/ZE

Abbildung 9: Fertigungszeiten

Hier ist die Fertigungszeit der Engpass. Von den notwendigen 10.200 ZE ($2 \cdot 1.000 + 4 \cdot 1.500 + 1 \cdot 2.200$) stehen also nur 7.000 ZE zur Verfügung. Mit dem relativen Deckungsbeitrag kann nun die Rangfolge festgelegt werden, in der die Produkte zu fertigen sind.

Je höher der Rang, desto mehr trägt das Produkt zum Deckungsbeitrag bei. Daher sollte das Produkt mit dem höchsten relativen Deckungsbeitrag zuerst vollständig produziert werden. Dazu wird die Tabelle nach den relativen Deckungsbeiträgen sortiert (s. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**):

Deckungsbeitrag

Produkte	A	C	B	Gesamt
Rang	1	2	3	
Fertigungszeit (je Stück)	2 ZE	1 ZE	4 ZE	
Relativer DB (je Stück)	10€/ ZE	3€/ ZE	2€/ ZE	
Max. Absatzmenge	1.000	2.200	1.500	
Produktionsmenge	1.000	2.200	700	
Zugewiesene Fertigungszeit	2.000 ZE	2.200 ZE	2.800 ZE	7.000 ZE
Deckungsbeitrag	20.000€	6.600€	1.400€	28.000€

Abbildung 10: Deckungsbeitrag

Produkt A kann mit maximal 1.000 Einheiten gefertigt werden. Hierzu werden 1.000 mal 2 ZE benötigt, also insgesamt 2.000 ZE. Damit stehen nur noch 5.000 ZE als Kapazität zur Verfügung.

Von Produkt C können maximal 2.200 Einheiten gefertigt werden. Hier werden 1 ZE je Produkt benötigt, also in Summe 2.200 ZE. Damit verbleiben von den 5.000 ZE noch genau 2.800 ZE.

Von Produkt B könnten maximal 1.500 Einheiten abgesetzt werden. Es stehen aber nur noch 2.800 ZE zur Verfügung, es würden aber 6.000 ZE benötigt. Teilt man die verbleibenden 2.800 ZE durch 4 ZE, die für jedes einzelne Produkt erforderlich sind, ergibt dies 700 Einheiten.

Damit steht das optimale Produktionsprogramm fest: 1.000 Einheiten von A, 2.200 von C und 700 von B. Daraus ergibt sich der engpassbezogene Deckungsbeitrag von 32.200 €.

Produkte	A	B	C	Gesamt
Fertigungszeit je Stück	2 ZE	1 ZE	4 ZE	
Stückdeckungsbeitrag	20€	3€	8€	
Produktionsmenge	1.000	2.200	700	
Deckungsbeitrag	20.000€	6.600€	5.600€	32.200€

Abbildung 11: Optimales Produktionsprogramm

Merke:

- Die Produktionsprogrammplanung ist Bestandteil der Produktions- oder Fertigungsplanung.
- Die taktische und operative Planung als Bestandteil der mittel- und kurzfristigen Fertigungsplanung betrachtet kurze Zeithorizonte.
- Die Auftragsgrößenplanung hat zum Ziel, das optimale Fertigungslos zu bestimmen.
- Die zeitliche Produktionsverteilung beschäftigt sich mit der Frage, wie der Fertigungsbedarf über das Jahr verteilt wird.
- Die Produktionsdurchführungsplanung verfolgt das Ziel, Maschinen möglichst gut auszulasten und Fertigungsaufträge möglichst schnell zu bearbeiten.
- Die operative Produktionsprogrammplanung optimiert das Produktionsprogramm hinsichtlich aktueller Restriktionen und Engpässe.

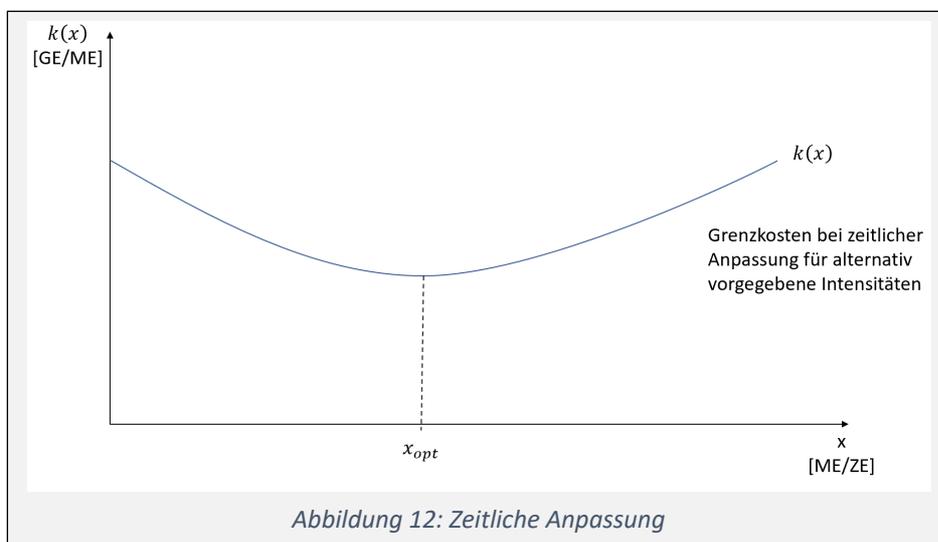
XI-3.3. Produktionsaufteilungsplanung

Ein weiterer Aspekt, welcher in der Produktionsplanung ebenfalls betrachtet wird, ist die Produktionsaufteilungsplanung. Bei mehreren funktionsgleichen, aber ansonsten unterschiedlichen Aggregaten gilt es festzustellen, wie möglichst kostengünstig produziert werden kann. Jedes Aggregat hat seine spezifische Einstellung, wie es möglichst kostengünstig betrieben werden kann. In höheren Leistungsstufen kann ein höherer Output erbracht werden. Dies könnte jedoch auch zu höheren Kosten führen. Ein Auto verbraucht beispielsweise bei sehr schnellem Fahren (hohe Ausbringungsmenge) auf 100 km mehr Kraftstoff als bei einer spritsparenden (optimalen) Geschwindigkeit. Ebenso verhält es sich mit sehr langsamem Fahren, dieses ist ebenfalls nicht effizient.

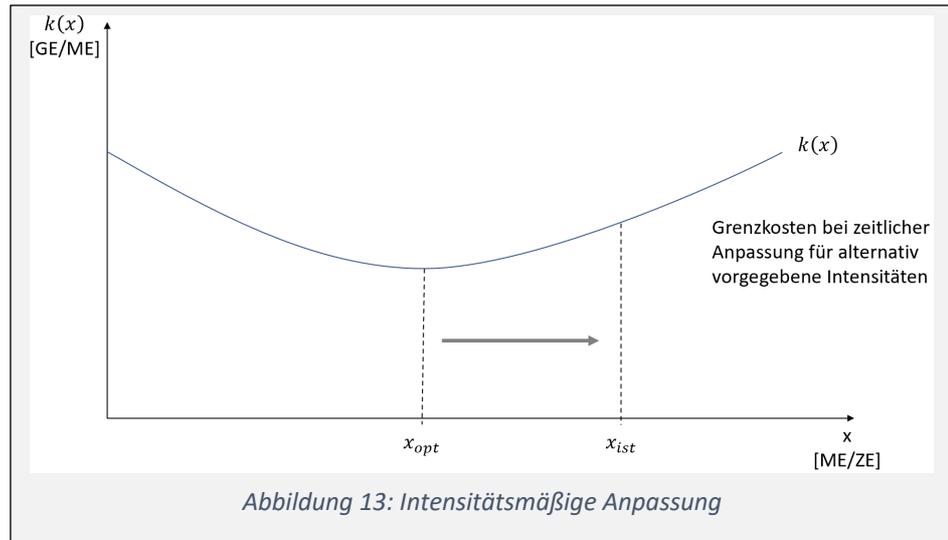
Kostenfunktionen können für unterschiedliche Aggregate durchaus verschieden ausfallen. Der Verbrauch von Betriebsstoffen kann beispielsweise vom Output des Aggregats oder der gewählten Leistungsstufe abhängig, aber auch einfach je Zeiteinheit unterschiedlich sein. Daher kann eine Kostenfunktion auch aus mehreren Teilen zusammengesetzt sein.

Eine Kosten-Leistungsfunktion, welche die Kosten in Abhängigkeit der gewählten Leistung darstellt, kann beispielsweise wie eine Parabel aussehen. Am Scheitelpunkt befindet sich die optimale Leistung, mit der die Maschine die geringsten Kosten je ausgebrachtem Output erzeugt. Hier würde man in diesem Optimum (am Scheitelpunkt) produzieren, bis die verfügbare zeitliche Kapazität aufgebraucht ist.

Kostenfunktionen



Reicht die zur Verfügung stehende Zeit nicht aus, muss das Aggregat intensitätsmäßig angepasst und damit die Leistung erhöht werden. Mit erhöhter Leistung steigen entsprechend der Kosten-Leistungsfunktion auch die Kosten je Einheit (s. Abb 12). Jedoch kann so in dem begrenzten Zeitfenster der Output erhöht werden.



Wenn nun mehrere funktionsgleiche Aggregate zur Verfügung stehen, die jedoch unterschiedliche Kosten-Leistungsfunktionen besitzen, ist wie folgt vorzugehen:

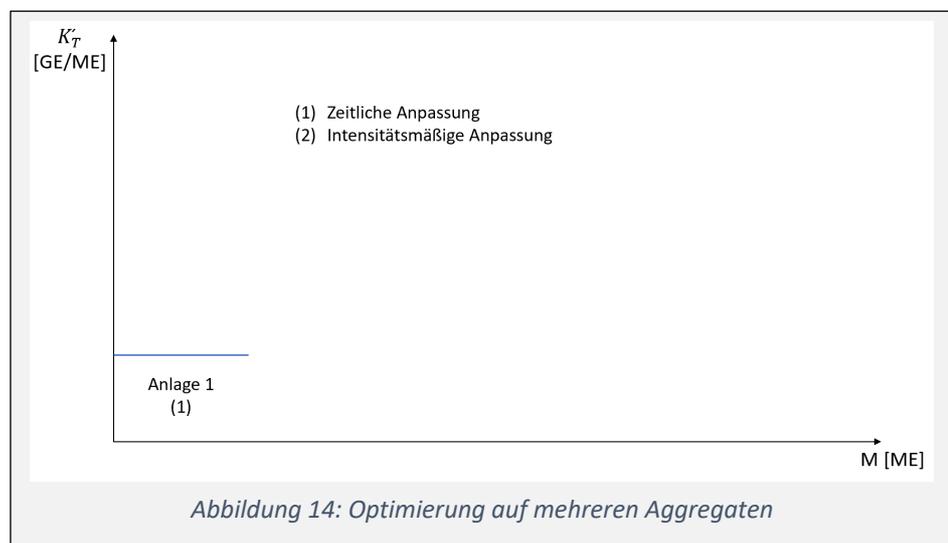
Kosten-Leistungsfunktion

Zunächst ist die Kosten-Leistungsfunktion zu ermitteln und aufzustellen, sodass die Kosten für das Aggregat beschrieben sind. Werden diese Funktionen nach x abgeleitet und gleich 0 gesetzt, kann so die optimale Leistung ermittelt werden (Bestimmung des Tiefpunktes).

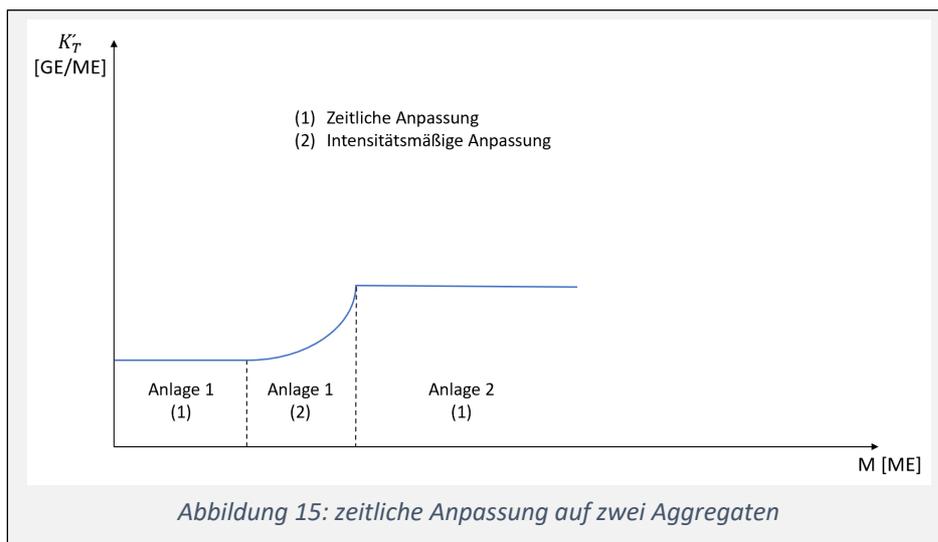
Kosten-Leistungsfunktion: $k(x) = a - bx + cx^2$

Erste Ableitung gleich 0 setzen: $\dot{k}(x) = -b + 2cx = 0$

Die Wahl der Leistung und der Aggregate erfolgt anhand der Höhe der beabsichtigten Produktionsmenge. Ist die Produktionsmenge innerhalb der zur Verfügung stehenden Zeit des kostengünstigsten Aggregats zu fertigen, so ist die Menge auf diesem vollständig zu fertigen.

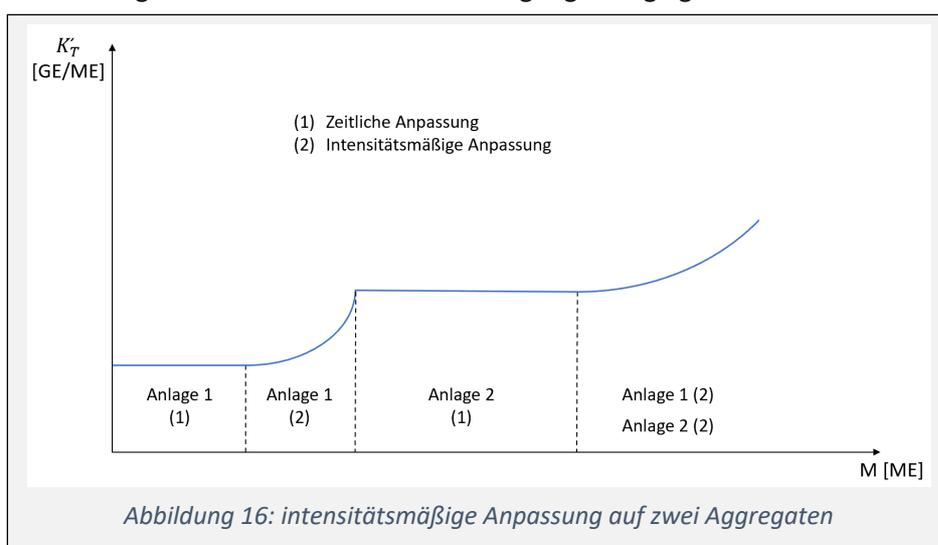


Kann nicht weiter zeitlich angepasst werden, so ist das kostengünstige Aggregat intensitätsmäßig anzupassen, bis die Kosten je Mengeneinheit des nächstteuren Aggregats für das Optimum erreicht sind. Mit dieser Intensität von Aggregat 1 kann auf beiden Aggregaten zu denselben Kosten produziert werden. Damit wird nun die beabsichtigte Ausbringungsmenge auf beide Aggregate verteilt. Die genaue Aufteilung obliegt jedoch der weiteren Belegung durch weitere Fertigungsaufträge, sodass ein Aggregat bereits früher wieder zur Verfügung steht, während das andere noch genutzt wird.



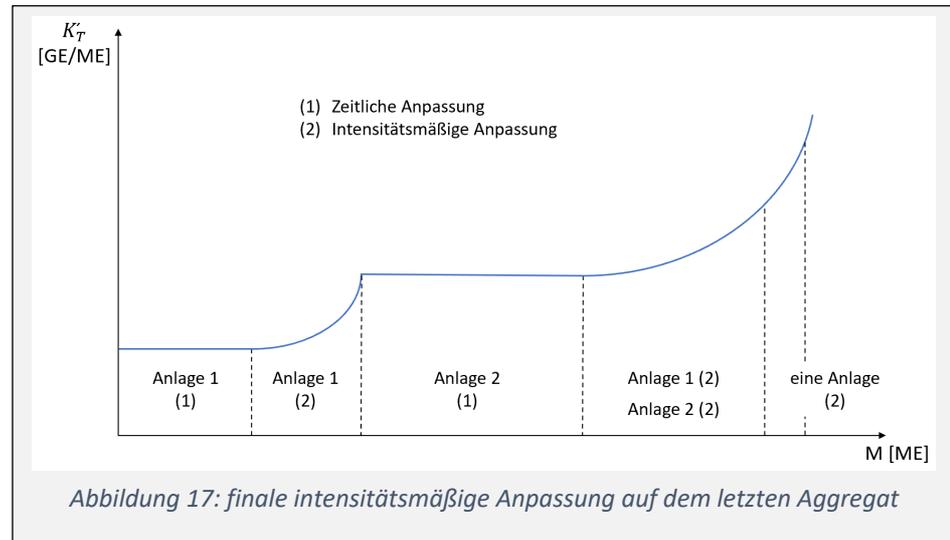
Theoretisch ist die Aufteilung aufgrund derselben verbundenen Kosten egal. In dieser Konstellation kann die Menge produziert werden.

Ist die erforderliche Ausbringungsmenge jedoch noch höher, sind beide Aggregate nun intensitätsmäßig anzupassen, sodass diese mit den Kosten in gleicher Höhe bezogen auf eine Einheit der Ausbringungsmenge gleichbleiben.



Bei noch größeren gewünschten Ausbringungsmengen wird irgendwann auch die höchste Leistungsstufe eines Aggregats erreicht. Im Folgenden ist dann nur

noch das andere Aggregat intensitätsmäßig anzupassen, bis dessen Leistungsmaximum erreicht ist.



Sofern noch mehr Aggregate zur Verfügung stehen, ist das Vorgehen dasselbe, nur mit dem Unterschied, dass hier dann die Stufen entsprechend für 3 und mehr Aggregate anzuwenden sind. Das günstigste Aggregat beginnt. Mit steigender erforderlicher Ausbringungsmenge wird zunächst bis zur maximal verfügbaren Zeit zeitlich angepasst. Dann erfolgt die intensitätsmäßige Anpassung, bis das Minimum des nächstteuren Aggregats erreicht ist. Anschließend wird wieder zeitlich angepasst, bis die Zeit auf beiden Aggregaten ausgeschöpft ist. Nun werden beide Aggregate intensitätsmäßig angepasst, bis die optimalen Kosten des nächstteuren Aggregats erreicht werden. Hier erfolgt wieder eine zeitliche Anpassung auf allen drei Aggregaten. Nach diesem Vorgehen geht es weiter, bis der Fertigungsauftrag abgeschlossen ist oder die Kapazität vollständig erschöpft ist. Dann sind weitere Maßnahmen zu ergreifen, um ggf. weitere Kapazitäten extern zuzukaufen oder Aufträge an Drittunternehmen zu erteilen.

XI-4. Lineare Programmierung

Der folgende Abschnitt beschäftigt sich mit linearer Programmierung. Mit dieser lässt sich das optimale Produktionsprogramm bei mehreren Engpässen bestimmen.

Sofern die Rangfolge nach dem relativen Deckungsbeitrag bei allen Engpässen dieselbe ist, kann wie bei einem Engpass vorgegangen werden. Dann entsteht ja gar kein Konflikt und es kann entsprechend dieser Rangfolge gehandelt werden. Die zentrale Frage ist jedoch, wie vorgegangen werden kann, wenn mehrere Engpässe existieren und zu unterschiedlichen Rangfolgen führen. Die Methode der Wahl für dieses Optimierungsproblem ist die lineare Programmierung. Das Konzept wird anhand eines Beispiels grafisch verdeutlicht:

Eine Bäckerei verkauft Croissants und Brezel. An der Produktion sind Mitarbeitende und Maschinen beteiligt. Diese stehen allerdings nicht rund um die Uhr zur Verfügung, ihre Arbeitszeit ist jeweils begrenzt. Es bestehen also mehrere Engpässe. Sowohl die Arbeitszeit der Mitarbeitenden als auch die Betriebszeit der Maschinen ist zeitlich begrenzt. Für die Ermittlung des optimalen Produktionsprogramms wird eine lineare Programmierung durchgeführt.

Hierfür muss zunächst der Deckungsbeitrag je Backware bestimmt werden. Verkaufspreis und variable Stückkosten sind bekannt und können in dieser Tabelle abgelesen werden.

	Croissant (x_1)	Brezel (x_2)
Verkaufspreis je Backware	2,50 €	1,30 €
Variable Kosten je Backware	1,00 €	0,50 €
Deckungsbeitrag je Backware	1,50 €	0,80 €

$(1,5€ * x_1) + (0,8€ * x_2) = DB \rightarrow \max!$

Abbildung 18: Beispiel Backwaren

Pro Croissant wird ein Deckungsbeitrag von 1,50 € erwirtschaftet, pro Brezel von 80 Cent. Nur zur Sicherheit noch mal: Das Ziel der Produktionsprogrammplanung ist nun, die beste Kombination zu finden, also wie viel von jeder Sorte produziert werden soll, angesichts der knappen Kapazitäten.

Eine Gewinnmaximierung unterstellt, wäre also der folgende Term zu maximieren:

$$1,5 € * x_1 + 0,8 € * x_2 = DB \rightarrow \max!$$

Dabei steht x_1 für die Anzahl der zu produzierenden Croissants und x_2 für die Anzahl der zu produzierenden Brezel. Die Mengen multipliziert mit den entsprechenden einzelnen Stückdeckungsbeiträgen ergibt den zu maximierenden Deckungsbeitrag.

Als Nächstes müssen die verfügbaren Kapazitäten des Bäckereibetriebs berücksichtigt werden, um die Engpässe zu ermitteln. Aufgrund gesetzlicher Auflagen stehen die Maschinen nur für 26 ZE zur Verfügung, die Mitarbeitenden aufgrund eines Zweischichtbetriebs allerdings 15 ZE.

Zeiteinheiten

Für die Herstellung eines Croissants werden 5 ZE benötigt, für die einer Brezel 3 ZE. Das Croissant verbringt 3 ZE in einer Maschine und wird vorher für 2 ZE von einem oder einer Mitarbeitenden bearbeitet. Die Brezel verbringt 2 ZE in der Maschine und 1 ZE bei einem oder einer Mitarbeitenden. Zudem hat das Verkaufspersonal festgestellt, dass am Tag 20 Brezel und 10 Croissants verkauft

Produkte	A	B	C
Max. Absatzmenge	1.000	1.500	2.200
Variable Kosten je Stück	20€	22€	32€
Absatzpreis je Stück	40€	30€	35€
Fertigungszeit je Stück	2 ZE	4 ZE	1 ZE
Summe Fertigungszeit	2.000	6.000	2.200
Relativer DB	10€/ZE	2€/ZE	3€/ZE

Abbildung 19: Backwaren mit Absatzmenge, Zeiteinheiten

werden. Daher soll die Produktionsmenge auf 20 Brezel und 10 Croissants beschränkt werden.

Aus den gegebenen Informationen lassen sich folgende Kapazitätsrestriktionen ableiten:

$$3 * x_1 + 2 * x_2 \leq 26 \text{ ZE} \quad (1)$$

$$2 * x_1 + 1 * x_2 \leq 15 \text{ ZE} \quad (2)$$

$$x_1 \leq 10 \text{ und } x_2 \leq 20$$

Zusätzlich sind noch Nichtnegativitätsbedingungen einzuführen, da die Anzahl von Croissants und Brezel logischerweise nicht negativ werden kann.

$$x_1 \geq 0 \text{ und } x_2 \geq 0$$

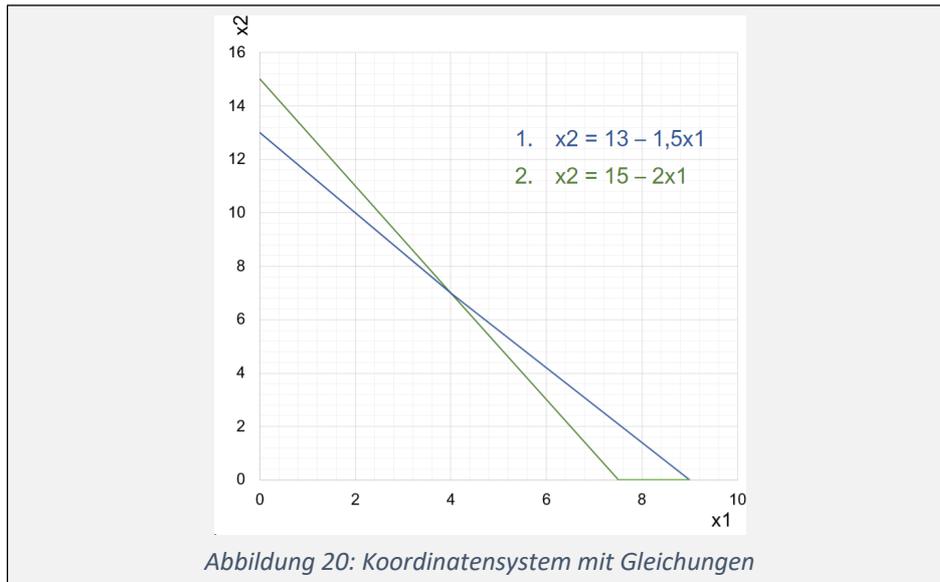
Jetzt ist alles vorbereitet. Es kann losgehen! Nachdem alle Informationen in mathematische Gleichungen übersetzt wurden, müssen die Gleichungen (1) und (2) nach x_2 aufgelöst werden.

$$x_2 \leq 13 - 1,5 * x_1 \quad (3)$$

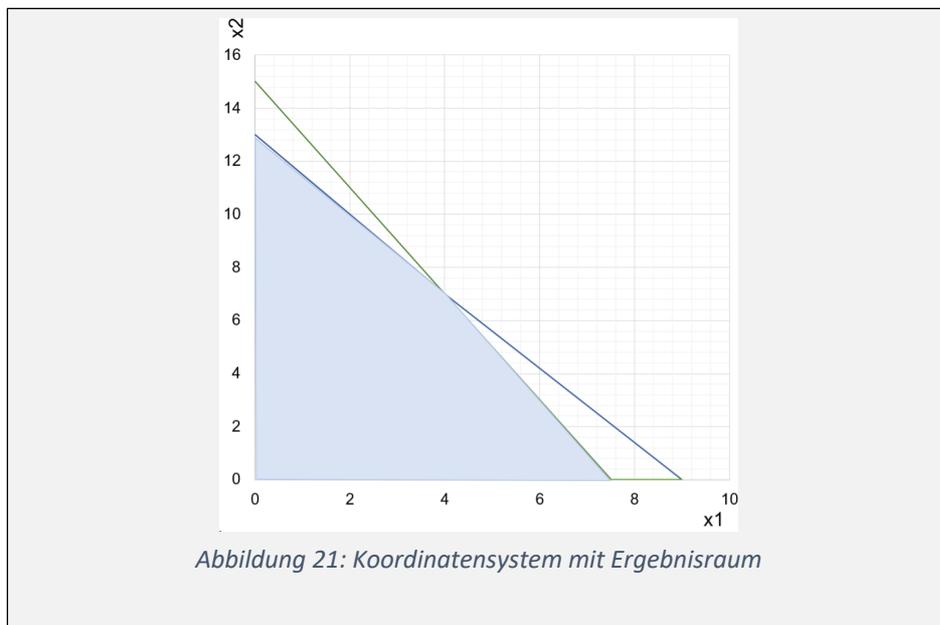
$$x_2 \leq 15 - 2 * x_1 \quad (4)$$

Anschließend werden die linearen Gleichungen in ein Koordinatensystem eingetragen.

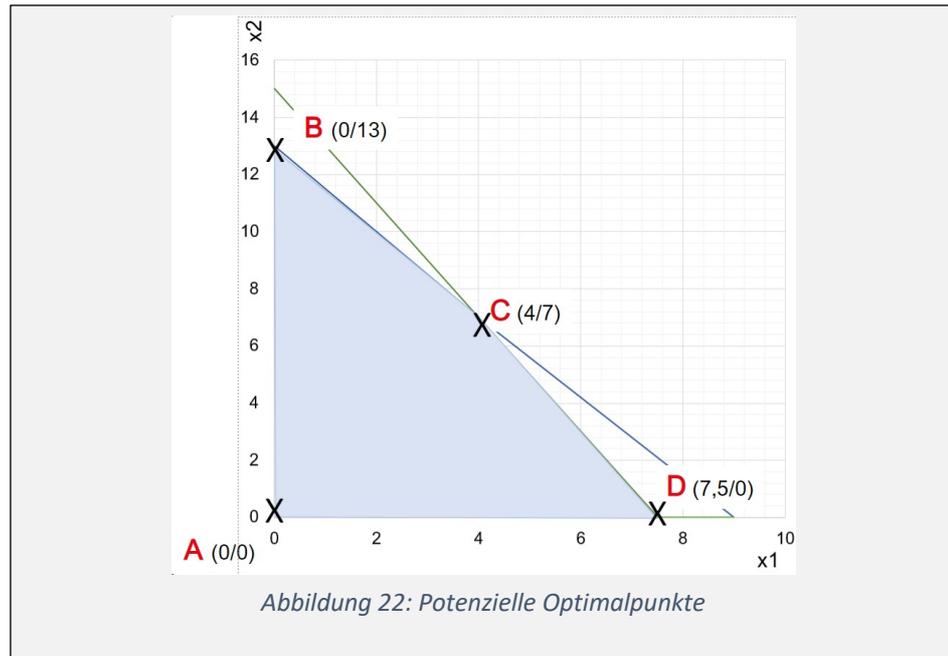
Auf der X-Achse wird x_1 abgetragen, auf der Y-Achse x_2 . Auf diesen beiden Geraden befindet sich die optimale Ressourcenausnutzung für jeweils einen Rohstoff. Alle Punkte unter den Geraden nutzen die Rohstoffe nicht vollständig aus. Alle Punkte über der Geraden übersteigen die verfügbaren Ressourcen (s. Abb 20).



Nun gilt es noch die Bedingungen zu beachten, dass x_1 und $x_2 \geq 0$ sein müssen. Diese sind nun ebenfalls einzutragen. Insgesamt ergibt sich damit der Ergebnisraum aus Abbildung 20. Die Fläche kennzeichnet nun alle möglichen Ergebnisse.



Mathematisch gesehen, kommen lediglich die Ecken dieser Figur in Betracht, da diese die Einschränkungen maximal ausnutzen und somit effizient sein können. Das wird durch die vier Schnittpunkte A, B, C und D begrenzt (s. Abbildung 21).



Im Fall der Produktionsprogrammplanung kann die Ecke im Koordinatenursprung, der Schnittpunkt A, sicher ausgeschlossen werden, da hier nichts produziert werden würde.

Es verbleiben die Punkte B (0/13), C (4/7) und D (7,5/0).

Von Ecke zu Ecke lässt sich nun anhand der Zielfunktion prüfen, welche Kombination den höchsten Wert liefert. Dazu werden die Mengen von x_1 und x_2 , die in den Eckpunkten vorliegen, in die Zielfunktion eingesetzt und damit der erzielte Deckungsbeitrag ermittelt. In Schnittpunkt B sieht es wie folgt aus:

$$B: 1,5 \text{ €} * 0 + 0,8 \text{ €} * 13 = 10,40 \text{ €}$$

Dies ergibt einen Deckungsbeitrag von 10,40 €. Nun der Schnittpunkt C:

$$C: 1,5 \text{ €} * 4 + 0,8 \text{ €} * 7 = 11,60 \text{ €}$$

In dieser Konstellation wird ein Deckungsbeitrag von 11,60 € erzielt. Im letzten Schnittpunkt beläuft sich der Deckungsbeitrag auf 11,25 €.

$$D: 1,5 \text{ €} * 7,5 + 0,8 \text{ €} * 0 = 11,25 \text{ €}$$

Damit liefert der Schnittpunkt C den höchsten Wert bzw. höchsten Deckungsbeitrag. Die Koordinaten des Schnittpunkts ergeben, wie viele Croissants und Brezel produziert werden sollten, um einen maximalen Deckungsbeitrag zu erzielen. Schnittpunkt C hat die Koordinaten (4/7).

$$C: x_1 = 4 \quad \text{und} \quad x_2 = 7$$

Mit 4 Croissants und 7 Brezel wurde das deckungsbeitragsoptimale Produktionsprogramm bestimmt.

Bei mehr als zwei Engpässen erfolgt dieses nach demselben Muster. Es kommen hier nur mehrere Geraden hinzu und damit auch mehr Schnittpunkte. Eine Betrachtung für mehr als 2 Produkte lässt sich jedoch so nicht mehr grafisch lösen, da wir hier weitere Achsen benötigen würden. Spätestens hier ist der Sprung in die lineare Programmierung mithilfe des Simplex-Verfahrens erforderlich.

Merke

- Mithilfe der linearen Programmierung lässt sich das optimale Produktionsprogramm bei mehreren Engpässen bestimmen.

Abschluss

Die Lektion auf einen Blick:

- Die Fertigung verwendet Werkstoffe, Materialien und Betriebsmittel, um Erzeugnisse herzustellen mit verschiedenen Zielen, z. B. mengenoptimierte, ökologische oder soziale Fertigung.
- Das Fertigungssystem wird v. a. bestimmt durch das Fertigungsprogramm, die Fertigungskapazität, Prozess- und Organisationstypen, Fertigungsverfahren, die Qualitätssicherung und das Layout der Fertigung.
- Prozessstypen beschreiben, nach welcher Erzeugnis-bezogenen Systematik der Fertigungsprozess erfolgt (Einzelfertigung, Serienfertigung, Sortenfertigung, Massenfertigung, Chargenfertigung).
- Organisationstypen (Werkstattfertigung, Gruppenfertigung, Fließfertigung, Baustellenfertigung) legen fest, wie die Arbeitsplätze und Maschinen für die Fertigung angeordnet sein müssen.
- Die strategische Fertigungsplanung passt die Fertigung der langfristigen Nachfrage an.
- Die taktische und operative Fertigungsplanung beschäftigen sich mit der mittel- bzw. kurzfristigen Fertigung.
- Die Produktionsaufteilungsplanung ermittelt die kostengünstigste Verwendung der zur Verfügung stehenden Aggregate bzw. Anlagen.
- Die operative Produktionsprogrammplanung optimiert das Produktionsprogramm hinsichtlich aktueller Restriktionen und Engpässe.

Reflexionsfragen

- Wie sieht ein Fertigungsprozess aus?
- Mit welchen Kriterien können Fertigungssysteme beschrieben werden?
- Für welche Fertigung eignen sich die verschiedenen Prozess- und Organisationstypen?
- Wie hängen strategische, taktische und operative Fertigungsplanung zusammen?
- Wie wird das Produktionsprogramm bei keinem, einem und mehr als einem Engpass bestimmt?

Weiterführende Literatur

- **Burggräf, P., Schuh, G., Ebade Esfahani, M., Dannapfel, M., Nöcker, J., & Wesch-Potente, C. (2021):** Einführung in die Fabrikplanung. Fabrikplanung: Handbuch Produktion und Management 4, S. 1-62.
- **Vahs, D., Schäfer-Kunz, J. (2015):** Einführung in die Betriebswirtschaftslehre (Vol. 6). Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, S. 677 ff.
- **Wöhe, G., Döring, U. (2005):** Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, 22. Auflage. München: Franz Vahlen, S. 263 ff.

Ein Kooperationsvorhaben der:

Gefördert durch: