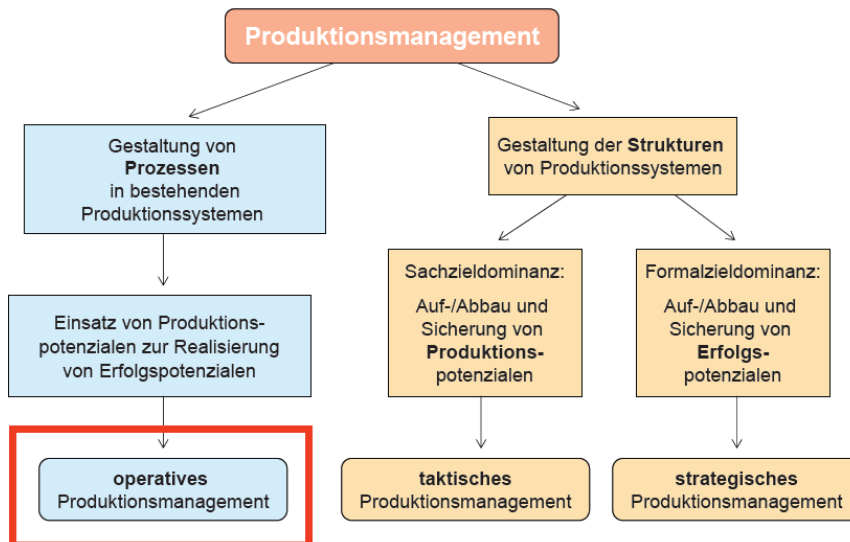


**Produktion** ist jede **Kombination** von vorhandenen Gütern und deren **Transformation** zu neuen Gütern (impliziert sowohl das faktorkombinative Paradigma von Gutenberg als auch das transformative Paradigma von Koopmans).

**Güterbegriff:** offen sowohl für Sachgüter als auch für Dienstleistungen (Produkte sind ebenso Dienstleistungen!)



### Strategisches Produktionsmanagement

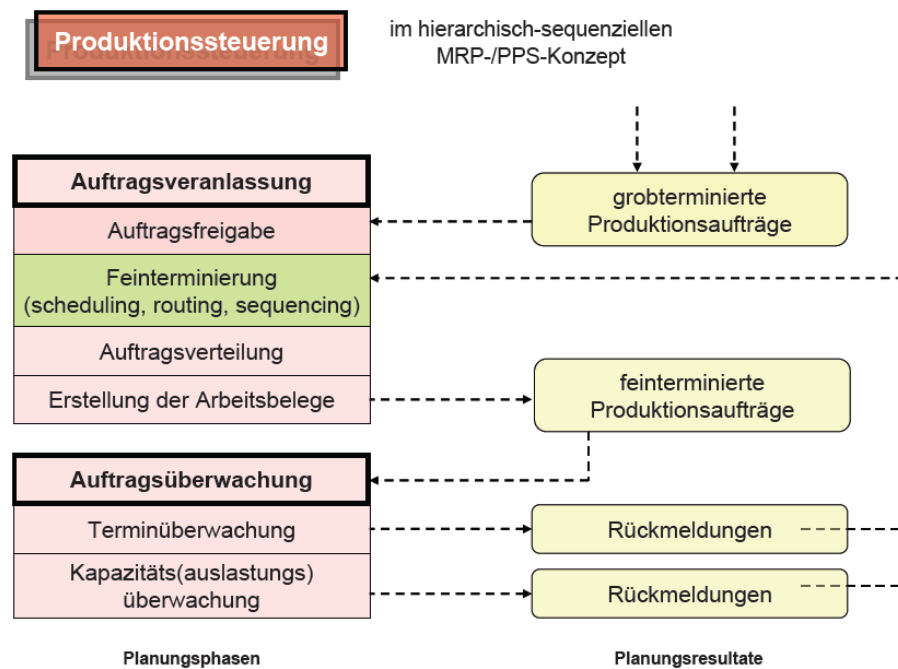
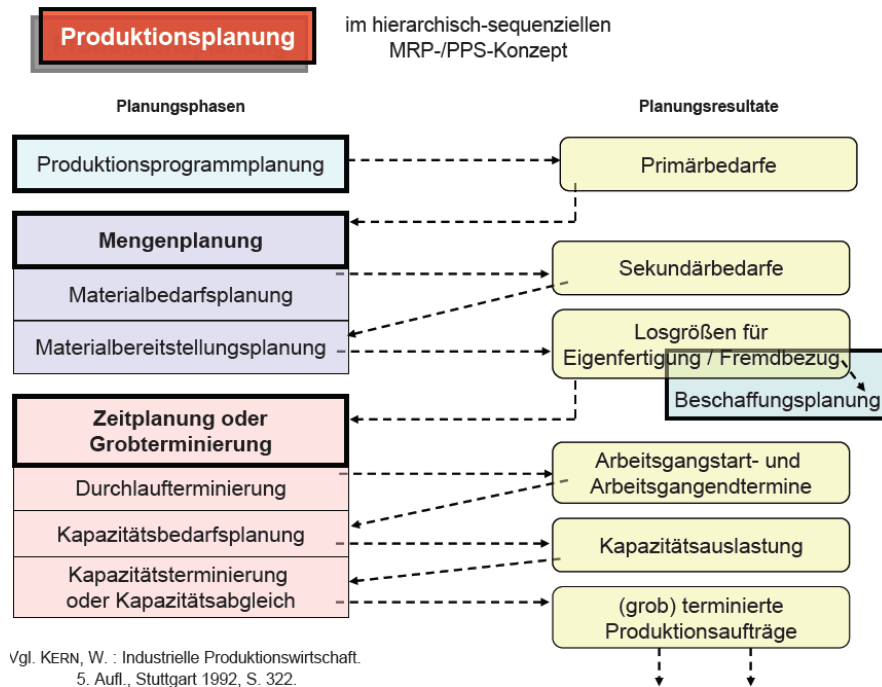
- Ziel- und Strategiefindung
- Aufbau, Sicherung und Ausbau von Erfolgspotentialen
- Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit

### Taktisches Produktionsmanagement

- Konkretisierung der Strategien
- Festlegung von Produktfeldern (Output), -potentialen (Input) und -organisationen (Throuput)

### Operatives Produktionsmanagement

- Gestaltung von Produktionsprozessen in bestehenden Produktionssystemen
- Einsatz von Produktionspotentialen zur Realisierung von Erfolgspotentialen durch Erfüllung von Produktionsaufgaben
- Festlegung des Produktionsprogramms (Output), Bereitstellung der erforderlichen Produktionsfaktoren (Input) und Planung und Steuerung von Produktionsprozessen (Throughput)



**Produktionsprogrammplanung**

- **Aufgabe:** Planung derjenigen Produktarten und –mengen, die in einem vorgegebenen Zeitraum nach Maßgabe eines vorgegebenen Formalzielsystems (zumeist reduziert auf nur ein Formalziel der Gewinn- oder Deckungsbeitragsmaximierung) produziert werden sollen.
- **Freiheitsgrade:** Produktmengen, Produktarten (falls Produktionsmenge 0 geplant wird) und Produktionszeitpunkte
- **Determinanten:** potentielles Produktionsprogramm, Absatzprogramm, Kundenaufträge, Lagerbestände und zukünftige Lagerhaltungspolitik für Endprodukte, Formalziele für die Planung des Produktionsprogramms (Maximierung des Gewinns, des Deckungsbeitrags, des Umsatzes, Kostendeckung oder -minimierung), Verfügbarkeit der erforderlichen Produktionsfaktoren (Potenti-

alfaktoren wie Kapazitätsplanung für Betriebsmittel oder Personalplanung sowie Repetierfaktoren wie Vor- und Zwischenprodukte)

▪ **Spannungsfeld Produktion vs. Absatz:**

Produktion	Absatz
Kostengünstiges Herstellen betrieblicher Leistungen durch <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Große Produktionslose (Massenfertigung)</li> <li>▪ Geringe Variantenanzahl (Standardisierung)</li> <li>▪ Gleichmäßige Kapazitätsauslastung</li> <li>▪ Zeitpuffer zum Abfangen von Produktionsstörungen</li> </ul>	Erlösgünstiges Verwerten betrieblicher Leistungen durch <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kleine Absatzmengen (Einzelfertigung)</li> <li>▪ Hohe Variantenanzahl (mass customization)</li> <li>▪ Nachfrageabhängig schwankende Kapazitätsauslastung</li> <li>▪ Geringe Lieferzeiten (Zeitwettbewerb)</li> </ul>

- **Alternativen:** vollständige Entkopplung von Produktion und Absatz (bedeutet hohe Lagerhaltungskosten und geringe Produktionskosten) oder vollständige Synchronisation von Produktion und Absatz (just in time, geringe Lagerhaltungskosten, aber hohe Produktionskosten)

▪ **Grundmodell der linearen Optimierung:**

- **Zielfunktion:**  $db(x_1, \dots, x_n) = \sum_{n=1}^N d_n * x_n \rightarrow max!$
- **Nebenbedingungen:**
  - **Kapazitäts- und Beschaffungsrestriktionen:**  $\sum_{n=1}^N a_{m,n} * x_n \leq b_m$   
mit  $b_m \geq 0$  für alle Arten von Produktionsfaktoren  $m = 1, \dots, M$
  - **Absatzrestriktionen:**  $x_n \leq c_n$   
mit  $c_n \geq 0$  für alle Produktarten  $n = 1, \dots, N$
  - **Nichtnegativitätsbedingungen:**  $[x_n \in \mathbb{R}]$  und  $x_n \geq 0$   
für alle Produktarten  $n = 1, \dots, N$

▪ **Generische Struktur von Entscheidungsmodellen:**

- **Subjektive Komponenten:** Ziele (inhaltlich oder materiell), Präferenzen (Arten-, Höhen-, Risiko-, Zeit-, und Sozialpräferenzen), Entscheidungsvariablen
- **Quasi-objektive Komponente:** Definitionsbereiche, Nichtnegativitätsbedingungen und Mindest- oder Höchstgrenzen für die Entscheidungsvariablen

▪ **Prämissen:**

- Großserien- oder Massenfertigung bzw. gemischte Serienfertigung
- Nur Planung von Produktionsmengen, nicht von –zeiten
- Lagerhaltung: hergestellte und abgesetzte Produktmengen stimmen überein
- Formalziel der Maximierung eines Erfolgsziels
- Fest vorgegebene Produktionskapazitäten und –koeffizienten
- Fest vorgegebene Beschaffungs- und Absatz-Höchstmengen
- Fest vorgegebene und konstante Stückdeckungsbeiträge
- Keine direkten Verbundwirkungen zwischen den Produkten
- Keine explizite Modellierung von Produktionsfaktoren

**Materialbedarfsplanung**

- **Vorgabe:** Primärbedarf an Endprodukten (aus dem Produktionsprogramm), eventuell auch Termine für den Bedarf an Endprodukten (aus übergeordneten Absatzplanungen)
- **Aufgabe:** Planung des Sekundärbedarfs an Vor- und Zwischenprodukten, die zur Herstellung der vorgegebenen Endprodukte erforderlich sind (in der Regel reine Mengenplanung, Zeitplanung kann durch Ermittlung von Vorlaufzeiten erfolgen)

▪ **Planungsalternativen:**

Verbrauchsgesteuerte Materialplanung	Programmgesteuerte Materialplanung
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vergangenheitsorientiert (Bezug auf frühere Materialverbräuche)</li> <li>▪ Vornehmlich für minderwertige Materialarten</li> <li>▪ Stochastisch: Extrapolation von Vergangenheitsdaten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zukunftsorientiert (Bezug auf geplante Endproduktmengen)</li> <li>▪ Vornehmlich für hochwertige Materialarten</li> <li>▪ Deterministisch: analytische Transformation von Produktionsprogrammen in Materialbedarfsmengen</li> </ul>

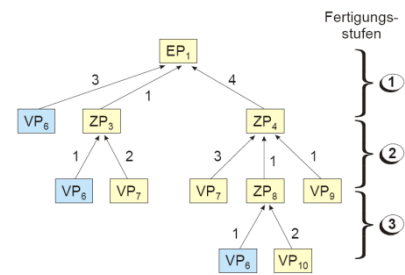
▪ **ABC-Analyse:**

- **Klassifizierung** der Materialarten nach ihrer ökonomischen Bedeutung: A-Teile als hochwertiges, B-Teile als mittelwertiger und C-Teile als minderwertiges Material
- Als **Wertindikatoren** dienen die Kosten der Materialbereitstellung (Beschaffungskosten plus eventuelle Lagerkosten)
- **Handlungsempfehlungen:** programmgesteuerte Planung bei A-Teilen, verbrauchsgesteuerte Planung bei B-Teilen, verbrauchsgesteuerte Planung oder grobe Schätzung bei C-Teilen

▪ **Erzeugnisbäume:**

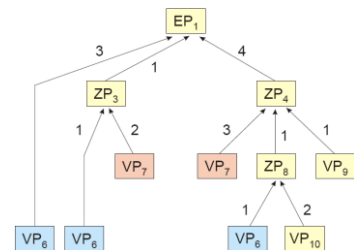
▪ Nach **Fertigungsstufen:**

- Ausrichtung an produktionstechnischen Beziehungen zwischen den Güterarten
- Unmittelbarer Überblick über Vorlaufzeiten
- Dieselben Güterarten werden unter Umständen auf verschiedenen Produktionsstufen erfasst



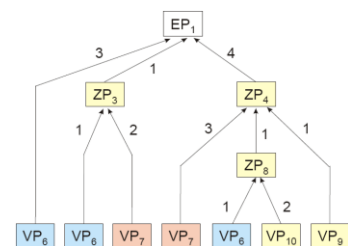
▪ Nach **Dispositionsstufen:**

- Ausrichtung an entscheidungstechnischen Verfahrensweisen
- Überblick über Vorlaufzeiten verblasst
- Dieselben Güterarten werden auf derselben, jeweils niedrigsten Produktionsstufe erfasst



▪ Nach **Auflösungsstufen:**

- Ausrichtung an entscheidungstechnischen und systematischen Usancen
- Überblick über Vorlaufzeiten fehlt
- Auf derselben Hierarchiestufe werden nur Güterarten derselben Kategorie erfasst



▪ **Stücklisten / Verwendungsnachweis:**

▪ **Strukturstückliste:**

- Alle Komponenten eines Endprodukts werden jeweils auf ihren Fertigungsstufen ausgewiesen
- Zeitlich differenzierte Bedarfsermittlung möglich → Vorlaufzeiten
- Wiederholteile werden auch bei Zwischenprodukten mehrfach aufgelistet
- Komponentenveränderungen schwer zu handhaben → Teileverwendungsnachweise

Endprodukt EP <sub>1</sub>			
Fertigungsstufe	Güterart	Menge	Bezeichnung
1	VP <sub>6</sub>	3	Teil
1	ZP <sub>3</sub>	1	Baugruppe
← 2	VP <sub>6</sub>	1	Teil
← 2	VP <sub>7</sub>	2	Teil
1	ZP <sub>4</sub>	4	Baugruppe
← 2	VP <sub>7</sub>	3	Teil
← 2	ZP <sub>8</sub>	1	Baugruppe
← 3	VP <sub>6</sub>	1	Teil
← 3	VP <sub>10</sub>	2	Teil
← 2	VP <sub>9</sub>	1	Teil

▪ **Baukastenstückliste:**

- Ausweis nur der direkt untergeordneten Komponenten von End- und Zwischenproduktarten
- Je End- und Zwischenproduktart genau ein Modul (redundanzfreie Spezifizierung der Struktur eines Endproduktes, Wiederholteile bei Zwischenprodukten werden jeweils nur genau einmal aufgelistet)
- Für Vorproduktarten keine eigenständigen Module
- Keine zeitlich differenzierte Bedarfsermittlung möglich
- Unübersichtliche Gesamtstruktur
- Komponentenveränderungen leicht zu handhaben

Endprodukt EP <sub>1</sub>			Zwischenprodukt ZP <sub>4</sub>		
Güterart	Menge	Bezeichnung	Güterart	Menge	Bezeichnung
VP <sub>6</sub>	3	Teil	VP <sub>7</sub>	3	Teil
ZP <sub>3</sub>	1	Baugruppe	ZP <sub>8</sub>	1	Baugruppe
ZP <sub>4</sub>	4	Baugruppe	VP <sub>9</sub>	1	Teil

Zwischenprodukt ZP <sub>3</sub>			Zwischenprodukt ZP <sub>8</sub>		
Güterart	Menge	Bezeichnung	Güterart	Menge	Bezeichnung
VP <sub>6</sub>	1	Teil	VP <sub>6</sub>	1	Teil
VP <sub>7</sub>	2	Teil	VP <sub>10</sub>	2	Teil

▪ **Mengenübersichtsstückliste:**

- Alle Komponenten eines Endprodukts werden mit ihren Gesamtbedarfsmengen ausgewiesen
- Keine zeitlich differenzierte Bedarfsermittlung
- Die Struktur des Endprodukts bleibt verborgen
- Wiederholteile werden immer nur genau einmal aufgelistet
- Komponentenveränderungen schwer zu handhaben → Teileverwendungsnachweise

Endprodukt EP <sub>1</sub>		
Güterart	Menge	Bezeichnung
ZP <sub>3</sub>	1	Baugruppe
ZP <sub>4</sub>	4	Baugruppe
ZP <sub>8</sub>	4	Baugruppe
VP <sub>6</sub>	8	Teil
VP <sub>7</sub>	14	Teil
VP <sub>9</sub>	4	Teil
VP <sub>10</sub>	8	Teil

▪ **Gozinto-Graphen:**

- Im Gegensatz zu Erzeugnisbäumen nicht mehr hierarchisch, sondern **netzartig** aufgebaut:
  - Knoten nicht nur eingangs-, sondern auch ausgangsverzweigt
  - Jede Produktkomponente wird genau einmal als Knoten erfasst
  - Mengenbeziehungen werden als beschriftete Kanten dargestellt
- Kompakte, d.h. redundanzfreie und vollständige, grafische Repräsentation der Struktur eines Endprodukts
  - Keine kompaktere Repräsentation ohne Informationsverlust möglich
  - Ableitung aller Varianten von Stücklisten und von Teileverwendungsnachweisen
- Grafische Aggregation aller Module eines Baukastenstückliste für dasselbe Endprodukt
  - Im Gegensatz zu Baukastenstückliste wird aber die Gesamtstruktur eines Endprodukts klar wiedergegeben
- Im Gegensatz zu Strukturstücklisten keine redundanten Wiederholteile
- Im Gegensatz zu Mengenübersichtsstücklisten sind Informationen über die Produktstruktur enthalten

- Aber keine direkten Informationen über die Komponentenmengen
- Grafische Repräsentation einer Produktionsfunktion
  - Unmittelbare Übersetzung in das Matrizenkalkül möglich
  - Simultane Berücksichtigung mehrerer Endproduktarten möglich
  - "universelle" Geltung für alle ein- oder mehrstufigen Produktionen, sofern lineare Input/Output-Beziehungen in jeder Produktionsstelle
- **Matrizen-Kalkül:**
  - Direktbedarfsmatrix D:
    - Jeder Koeffizient  $d_{i,j}$  ist
      - ein Produktionskoeffizient
      - eine spezifische Faktoreinsatzfunktion und
      - eine Durchschnittsverbrauchsfunktion
    - Jede Matrixspalte
      - gibt alle Vor- und Zwischenprodukte "i" an, die in ein Zwischen- oder Endprodukt "j" direkt eingehen
      - entspricht also einem Modul einer Baukastenstückliste
    - Die gesamte Matrix entspricht
      - der Gesamtheit aller Module einer Baukastenstückliste
      - einem Gozinto-Graphen
  - Umformung für Gesamtverbrauch  $r$  aller Güter:
    - $r = a + D * r$
    - $E * r = a + D * r$
    - $E * r - D * r = a$
    - $(E - D) * r = a$
    - $(E - D)^{-1} * (E - D) * r = (E - D)^{-1} * a$
    - $E * r = (E - D)^{-1} * a$
    - $r = G * a$
  - Gesamtbedarfsmatrix  $G = (E - D)^{-1}$  besitzt keine ökonomische Interpretation
  - Das Derivat  $G - E$  besitzt eine umfassende ökonomische Interpretation
    - Jede Matrixspalte
      - gibt den Gesamtbedarf an Vor- und Zwischenprodukten "i" an, die für ein Zwischen- oder Endprodukt "j" erforderlich sind
      - entspricht also einer Mengenübersichtsstückliste für das jeweils betroffene Zwischen- bzw. Endprodukt "j"
    - Jede Matrixzeile
      - gibt für ein Vor- oder Zwischenprodukt "i" an, für welche Zwischen- und Endprodukte "j" es in welcher Menge verwendet wird
      - entspricht also einem Teileverwendungsnachweis für das jeweilige betroffene Vor- bzw. Zwischenprodukt "i"

▪ **Nettobedarf:**

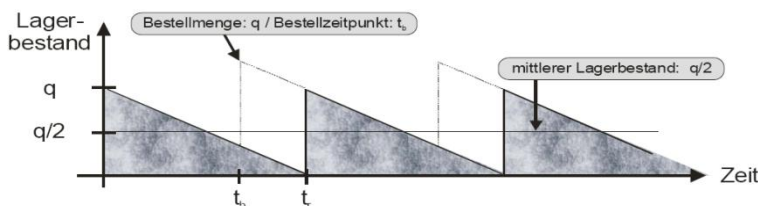
<b>Primärbedarf</b> an Endprodukten
X Gesamtverbrauchskoeffizient der Komponente
☞ Stücklistenauflösung
☞ Matrizenkalkül: Gesamtbedarfsmatrix
= <b>Sekundärbedarf</b> der Komponente
+ Primärbedarf an Komponenten-Ersatzteilen
+ erhöhter Sekundärbedarf für Ausschuss
☞ Ausschusskoeffizienten
= <b>Bruttobedarf</b> der Komponente
- Lagerbestand der Komponente
+ Lagerauffüllung/Lageraufbau der Komponente
- Bestellbestand der Komponente (sofern rechtzeitig verfügbar)
+ Vormerkungen der Komponente für andere Produktionen
= <b>Nettobedarf</b> der Komponente

Kurz: Nettobedarf = Bruttobedarf und Berücksichtigung von Lager- und Liefermengen

**Materialbereitstellungsplanung**

- **Voraussetzungen:** Kenntnis der Nettobedarfmengen aller Materialarten und der zeitlichen Verteilung des Materialbedarfs
- **Aufgabe:** Planung derjenigen Materialbereitstellungsmengen oder "Lose", die ein vorgegebenes Zielsystem optimal erfüllen (zumeist Reduzierung auf nur ein Ziel der Kostenminimierung)
- **Grundmodell:**

- Lagerbestand:



- Ziel: Minimierung der Gesamtkosten
- Kosteneinflussgrößen:

q	Losgröße / Beschaffungs- / Bestellmenge mit $q > 0$	p	Beschaffungspreis einer Materialeinheit: Stückbeschaffungskosten
$K_{lf}$	losfixe Bestellkosten	z	Lagerkostensatz einschließlich kalkulatorischem Zinssatz
$K_{FL}$	fixe Lagerkosten	m	bereitzustellende Gesamtmenge
$K_{FB}$	fixe Beschaffungskosten		

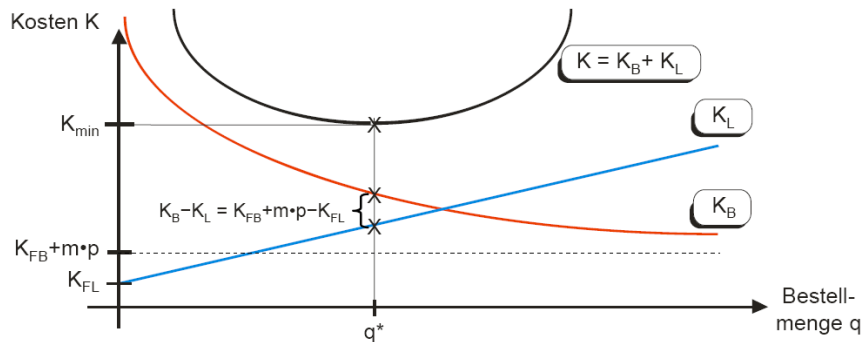
- **Kostenkalkül:**

▪ Beschaffungskosten: $K_B = K_{FB} + m * p$	+	$K_{lf} * \frac{m}{q}$
▪ Lagerhaltungskosten: $K_L = K_{FL}$	+	$\frac{q}{2} * p * \frac{z}{100}$
entscheidungs-irrelevant		entscheidungs-relevant

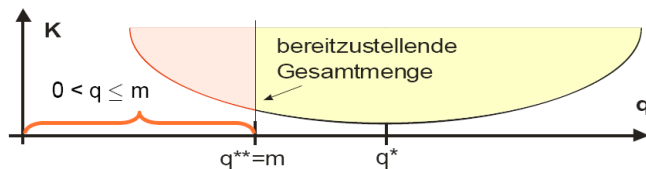
- Zielfunktion für die optimale Losgröße:

$$K(q) = \left( K_{FB} + m * p + K_{lf} * \frac{m}{q} \right) + \left( K_{FL} + \frac{q}{2} * p * \frac{z}{100} \right) \rightarrow \min$$

- Minimum liegt bei:  $q = \sqrt{\frac{200 * K_{lf} * m}{p * z}}$



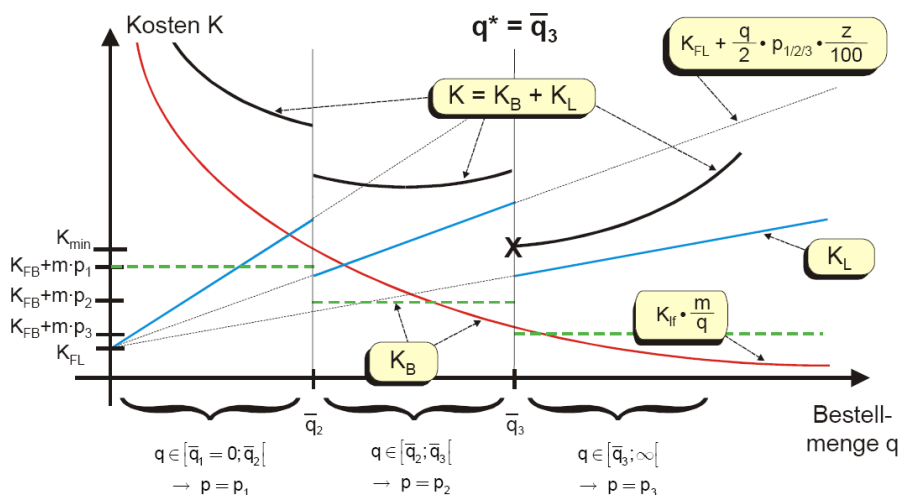
- Das Gesamtkostenminimum fällt mit dem Schnittpunkt der Grafen von Beschaffungs- und Lagerhaltungskosten nur in 2 Sonderfällen zusammen
  - Gleichheit der entscheidungsirrelevanten Kosten:  $K_{FB} + m \cdot p = K_{FL}$
  - Vernachlässigung der entscheidungsirrelevanten Kosten
- Randbedingung:  $0 < q \leq m$ 
  - Folgt für  $0 < q$  explizit aus der Voraussetzung  $q > 0$  bei der Aufstellung des Grundmodells
  - Folgt für  $q \leq m$  implizit aus der Beschränkung auf ein statisches Modell  $\rightarrow q > m$  mit Deckung des Materialbedarfs in Folgeperioden durch den Überschuss  $q - m$  ist unzulässig, weil nur 1 "repräsentative" Periode betrachtet wird
  - Aber: notwendige und hinreichende Bedingungen für die optimale Losgröße lassen auch  $q > m$  zu!
  - Fallunterscheidung:
    - $q^* \leq m$ :  $q^*$  ist das endgültige Optimum
    - $q^* > m$ :  $q^{**} = m$  ist das endgültige Optimum



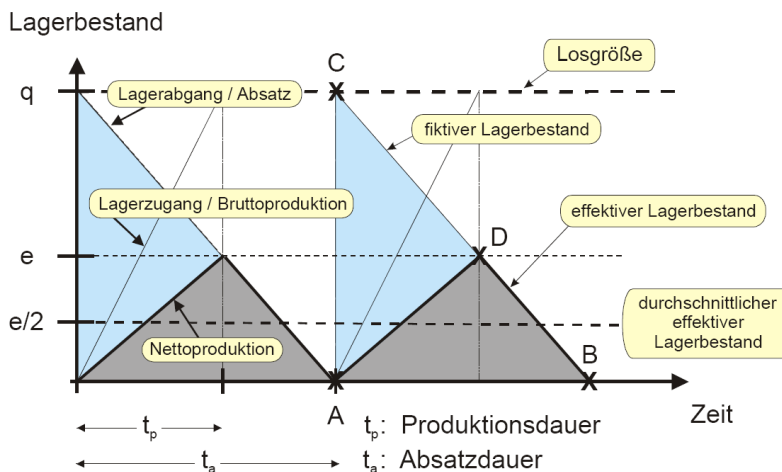
- Ableitbare Informationen:
  - Bestellanzahl  $n$  für die zu beschaffende Gesamtmenge:
 
$$n^* = \frac{m}{q^*} = \sqrt{\frac{m \cdot p \cdot z}{200 \cdot K_{lf}}}$$
  - Zeitliche Reichweite  $t_r$  eines Beschaffungsloses [in Tagen]
 
$$t_r^* = \frac{360}{n^*} = 360 \cdot \sqrt{\frac{200 \cdot K_{lf}}{m \cdot p \cdot z}}$$
- Prämissen:
  - Nur eine Güterart (Materialart) wird berücksichtigt
  - Konstante bereitzustellende Gesamtmenge
  - Keine Mindest- oder Höchstmengenbeschaffung
  - Keine Kapazitätsbeschränkungen
  - Unbeschränkte Lagerfähigkeit des zu beschaffenden Gutes



- Gleiche Lagerbestände zum Beginn und zum Ende des Planungszeitraums
- Konstante, endlich große Lagerabgangsgeschwindigkeit
- Konstante, unendlich große Lagerzugangsgeschwindigkeit
- Monodimensionales Zielsystem (nur Kostenminimierung)
- Konstante Kostensätze (Beschaffungs-, Lager- und Bestellkosten)
- Entweder nur einmalige Beschaffung oder identische Wiederholungen der optimalen Losgröße im Planungszeitraum gemäß der "Repräsentativitätsprämisse"
- Beliebige Teilbarkeit der zu beschaffenden Güterart
- Bestellhäufigkeit braucht nicht ganzzahlig zu sein
- Unzulässigkeit von Fehlmengen
- Deterministisches Modell
- Nur eine Beschaffungsstufe
- Das Modell zur optimalen Beschaffungslosgröße lässt sich einfach auf Produktionslose übertragen
- **Erweiterung des Grundmodells:**
  - Erweiterungen:
    - Mengenrabatte anstatt konstanter Stückbeschaffungskosten
    - Kapazitätsbeschränkungen (beschränkte räumliche Lagerkapazität und beschränkte Liquidität zur Finanzierung des Lagerbestands)
    - Endlich große Lagerzugangsgeschwindigkeiten
    - Sprungfixe anstelle von fixen Lagerhaltungskosten
    - Ganzzahligkeit der Bestellhäufigkeit
    - Mehrstufige Produktionsverhältnisse
    - Mehrere Güterarten
    - Stochastische Verteilung des Lagerabgangs
    - Zulässigkeit von Fehlmengen
  - Mengenrabatt:



- Endliche Produktionsgeschwindigkeit:



- $e = q * \left(1 - \frac{t_p}{t_a}\right)$
- Durchschnittliche effektive Kapitalbindung:  $\frac{e}{2} * p$
- Optimale Losgröße:  $q^* = \sqrt{\frac{200 * K_{lf} * m}{p * z * \left(1 - \frac{t_p}{t_a}\right)}}$

### Prozesskoordinierung

- Umfasst sowohl die **Planung** (ex ante, also vor Beginn der Prozessrealisierung) als auch die **Steuerung** (ex post, also während der Realisierung).
- **Vorgaben:** Losgrößen und Arbeitspläne für alle Produktionsaufträge
- **Sachziel:** Ausführung aller Produktionsaufträge nach Maßgabe der zugehörigen Arbeitspläne und Losgrößen
- **Formalziele:**
  - Erfolgsziele: Maximierung des DB
  - Kostenziele: Minimierung der Auftragsausführungskosten, Lagerhaltungs- bzw. Kapitalbindungskosten, Leerkosten, Umrüstkosten, Kosten für Terminüber- oder -unterschreitungen
  - Zeitziele: Minimierung der Durchlaufzeiten, von Zykluszeiten, der Überschreitung von Lieferterminen, der (quadratischen) Abweichung von Lieferterminen
  - Kapazitätsziele: Maximierung der Kapazitätsauslastung, Minimierung der Leerzeiten, der Abweichungen von einer gleichmäßigen Kapazitätsauslastung, der maximalen Kapazitätsanspruchnahme
  - Bestandsziele: lagerlose Fertigung, Bestände ausreichend zum Ausgleich betriebsüblicher Störungen
- Die Ziele können untereinander in folgenden Beziehungen stehen:
  - Zielkomplementarität: Aktivitäten zur Verbesserung der Erreichung des einen Ziels bewirken auch eine Verbesserung der Erreichung des anderen Ziels
  - Zielindifferenz: Aktivitäten zur Verbesserung der Erreichung des einen Ziels wirken sich auf die Erreichung des anderen Ziels nicht aus
  - Zielkonflikt: Aktivitäten zur Verbesserung der Erreichung des einen Ziels bewirken eine Verschlechterung der Erreichung des anderen Ziels

- Techniken zur Auflösung von Zielkonflikten:
  - Vektoroptimierung
  - Reduzierung mehrerer konfliktionärer Formalziele auf nur noch ein Oberziel durch Umrechnung der Zielbeiträge
  - Substitution der direkt intendierten Formalziele durch Prioritätsregeln mit indirekten, jedoch nur mutmaßlichen Zielwirkungen

### Durchlaufterminierung

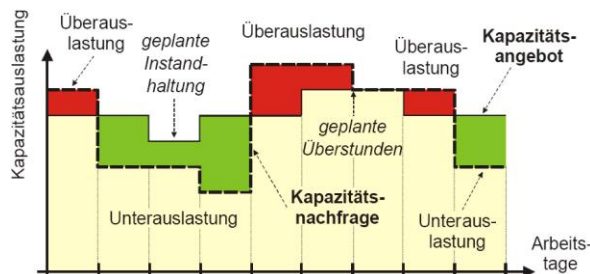
- Betrachtung aller Arbeitsgänge, die zur Abwicklung eines Produktionsauftrags benötigt werden
- Außerachtlassen der Beanspruchung knapper Ressourcen für die Ausführung von Arbeitsgängen
- **Aufgabe:** Ermittlung der Durchlaufzeit eines Produktionsauftrags
- **Vorwärtsterminierung:**
  - Ermittlung des frühest möglichen Fertigstellungstermin eines Auftrags (Ausgangspunkt meist Gegenwartszeitpunkt  $t_0$ )
  - Gut einsetzbar für Auskünfte über frühest mögliche Liefertermine bei Kundenanfragen und zur Einplanung von Eilaufträgen
  - Nachteil sind die hohen Kapitalbindungskosten in zu früh fertiggestellten Endprodukten bei festen Lieferterminen
- **Rückwärtsterminierung:**
  - Ermittlung des spätest zulässigen Ausführungsbeginnstermin eines Auftrags (Ausgangspunkt im Normalfall der Lieferzeitpunkt)
  - Gut einsetzbar für Aufträge mit bereits fixiertem Liefertermin, beinhaltet geringere Kapitalbindungskosten als bei der Vorwärtsterminierung
  - Jedoch drohen bei jeder Produktionsstörung Lieferterminüberschreitungen
  - Es ist möglich, dass der berechnete spätest zulässige Auftragsbeginn in der Vergangenheit liegt → Gegenmaßnahmen: Reduzierung der effektiven Bearbeitungsdauern auf Arbeitsplätzen (Beschleunigung von Arbeitsgängen, Splitten oder Überlappen von Losen) und Reduzierung der effektiven Übergangsdauern zwischen Arbeitsplätzen (Beschleunigung von Transport- und Rüstprozessen, Veränderung der technologischen Reihenfolgebeziehungen)
- **Kombinierte Vorwärts- und Rückwärtsterminierung:**
  - Mit Hilfe von GANTT-Charts oder der Netzplantechnik, ergibt Pufferzeiten zwischen den errechneten Terminen (bei GANTT-Charts bei allen Arbeitsgängen gleich groß, bei Netzplantechnik differenzierte Pufferzeiten)
- **Durchlaufkurven:**
  - Liefern nur grobe Abschätzung von Auftrags-Durchlaufzeiten
  - Vorgehensweise: Ermitteln der empirischen Durchlaufkurve für bereits produzierte und konstruktiv verwandte Produkte, dann Ableitung einer Regressionsgeraden zwischen kumuliertem Fertigungslohn und fortschreitender Durchlaufzeit (meist ergänzt um einen fixen Durchlaufzeitbetrag für durchschnittliche Transport- und Wartezeiten) in Bezug auf die Gesamtheit der konstruktiv verwandten Produkte

**Kapazitätsterminierung i.w.S.**

- Betrachtung aller Arbeitsgänge die zur Abwicklung beliebiger Produktionsaufträge an einem vorgegebenen Arbeitsplatz (z.B. einer Maschine) ausgeführt werden sollen.
- Berücksichtigung der Beanspruchung knapper Ressourcen die zur Ausführung von Arbeitsgängen an einem Arbeitsplatz zur Verfügung stehen. Der Planungsfokus liegt auf der Erfassung und Belegung von Arbeitsplatz-Kapazitäten.
- Normalkapazität eines Arbeitsplatzes: Schichtdauer \* Schichtanzahl – geplante Kapazitätsminderungen (Betriebsferien, planmäßige Instandhaltung, Betriebsversammlungen, Kurzarbeit)
- Effektive Kapazität: Normalkapazität +/- kurzfristige, ungeplante Veränderungen (Überstunden, unvorhergesehene Maschinenausfälle)
- **Vorgaben:**
  - Kapazitätsangebot in Höhe der tagesspezifischen Normal- oder Effektiv-Kapazitäten (Kapazitätsplanung)
  - Arbeitsgänge (Arbeitsplanung)
  - Stück- und Rüstzeiten sowie Leistungsgrade (Arbeitsplanung)
  - Losgrößen derjenigen Produktionsaufträge, zu denen die Arbeitsgänge jeweils gehören (Materialbereitstellungsplanung)
- **Aufgabe:** Ermittlung des Kapazitätsbedarfs (Kapazitätsnachfrage) aller Arbeitsgänge desselben Arbeitstages gemäß:

$$\text{Kapazitätsbedarf} = \frac{\text{Stückzeit} * \text{Losgröße} + \text{Rüstzeit}}{\text{Leistungsgrad}}$$

- Kapazitätsauslastungsdiagramm als Darstellungstechnik



Gegenüberstellung von Kapazitätsangebot laut Kapazitätsplanung und zuvor ermittelter Kapazitätsnachfrage

**Kapazitätsabgleich als Kapazitätsterminierung i.e.S.**

- **Vorgabe:** Kapazitätsauslastungsdiagramm
- **Aufgabe:** Abstimmung zwischen Kapazitätsangebot und –nachfrage derart, dass keine Überauslastung der verfügbaren Kapazität entsteht und eine möglichst gleichmäßige Kapazitätsauslastung eintritt
- **Optionen:** Anpassung des Kapazitätsangebots an die Nachfrage, Anpassung der Kapazitätsnachfrage an das Angebot, oder beider miteinander kombiniert
- Anpassung des Angebots:
  - Kapazitätserweiterung:
    - Ausbau interner Kapazitäten durch Einrichtung neuer, funktionsgleicher Parallel-Arbeitsplätze
    - Reaktivierung inaktiver Reservemaschinen
    - Einstellung zusätzlicher Mitarbeiter

- Vergrößerung der Schichtanzahl
- Verlängerung der Schichtdauer durch Überstunden
- Erhöhung des Kapazitätsquerschnitts durch Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit
- Zukauf externer Kapazitäten durch Vergabe von Lohnaufträgen
- Kapazitätsreduzierung: gegenteilige Maßnahmen zur Erweiterung
- Anpassung der Nachfrage:
  - Verschieben der Start-/Endtermine von Arbeitsgangausführungen innerhalb der Pufferzeiten
  - Verschieben von bereits festgelegten Endzeitpunkten, um Arbeitsgangausführungen auch über ihre Pufferzeiten hinaus zu verschieben
  - Kündigung oder Übernahme von externen Lohnaufträgen
  - Aufteilung eines Produktionsloses in zwei Teillöse, von denen nur eines termingerecht fertig gestellt werden muss, während das zweite verspätet fertig gestellt werden kann
  - Veränderung der Ausführungsdauern von Arbeitsgängen durch intensitätsmäßige Anpassungen
  - Veränderung der Rüst- oder Transportzeiten
- **Prämissen:**
  - Reine Anpassung der Kapazitätsnachfrage, Angebot wird also als Ergebnis von "höheren" Planungsebenen als bekannt und konstant vorausgesetzt
  - Es lassen sich nur ganze Arbeitsgänge verschieben
  - Arbeitsgänge können nur unter Einhaltung ihrer Präzedenzbeziehungen verschoben werden
  - Ziel ist eine möglichst gleichmäßige Kapazitätsauslastung auf niedrigem Niveau

### Feinterminierung

- Betrachtung aller Arbeitsgänge die zur Abwicklung aller Produktionsaufträge an allen Arbeitsplätzen unter Berücksichtigung der beschränkten Arbeitsplatz-Kapazitäten ausgeführt werden müssen
- **Aufgabe:** Zuordnung von Arbeitsgängen, Arbeitsplätzen und Zeitintervallen (3-dimensionales Planungsproblem). Ein Zuordnungsproblem derart, dass die zeitlichen Reihenfolgebeziehungen zwischen den Arbeitsgängen desselben Produktionsauftrags eingehalten und die Kapazitäten aller Arbeitsplätze nicht überschritten werden.
- **Lösungskonzepte:**
  - Ordinieren von Aufträgen/Arbeitsgängen ("sequencing"): Festlegung der Bearbeitungsreihenfolge aller Aufträge, die an einem Arbeitsplatz auf Bearbeitung warten, und zwar unabhängig für alle Arbeitsplätze des Betriebs → **arbeitsplatzorientierte** Feinterminierung (reduziertes 2-dimensionales Planungsproblem)
  - Ordinieren von Arbeitsplätzen ("routing"): Festlegen der Durchlaufreihenfolge aller Arbeitsplätze, die zur Abwicklung eines Auftrags erforderlich sind, und zwar unabhängig für alle Aufträge eines Betriebs → **auftragsorientierte** Feinterminierung (2-dimensional)
  - Wechselseitiges Zuordnen von Aufträgen/Arbeitsgängen und Arbeitsplätzen ("scheduling"): Ermittlung, ob ein Arbeitsgang an einem Arbeitsplatz in einem Zeitintervall ausgeführt werden soll, und zwar simultan für alle Arbeitsgänge, alle Arbeitsplätze sowie alle Zeitintervalle des Planungszeitraums (3-dimensional)

- **Lösungstechniken:**
  - Kombination aus speziellen Modellen mit speziellen Methoden zur Modelllösung
  - Techniken werden oftmals von Software unterstützt, sind wesentlich konkreter als die allgemeinen Lösungskonzepte
  - Dienen zur Implementierung der voranstehenden Lösungskonzepte
  - Prioritätsregeln:
    - Für das Ordinieren von Aufträgen an einem Arbeitsplatz
    - In der betrieblichen Praxis sehr weit verbreitet, oftmals Gegenstand theoretischer Simulationsstudien
    - Erzeugen als heuristische Einplanungsregeln nur suboptimale Lösungen
  - Kombinatorische Programmierung:
    - Ähnlich dem Grundmodell der linearen Programmierung (aber mit binären Entscheidungsvariablen für die Zuordnungen)
    - Für Maschinenbelegungsplanungen i.e.S. als "scheduling"
    - Oftmals nur von akademischen Interesse (sehr hoher Aufwand)
    - Optimale Lösungen für Maschinenbelegungsprobleme
  - Leitstände:
    - Die Einplanung von Arbeitsgängen an Arbeitsplätzen kann sowohl manuell vom Benutzer als auch automatisch vom Leitstand durch Anwendung von Prioritätsregeln vorgeschlagen werden.
    - Versuch, die Vorzüge von Prioritätsregel-Verfahren (heuristischer Ansatz, Know-how von Mitarbeitern einbeziehen) und kombinatorischer Programmierung (holistischer, ganzheitlicher Ansatz) zu vereinbaren, ohne deren Nachteile zu übernehmen
- **Exaktes Maschinenbelegungsmodell (Manne):**
  - Beispiel für kombinatorische Programmierung
  - Modell exakt, aber nicht notwendig eindeutig lösbar (z.B. durch Verschieben der Anfangszeitpunkte von Arbeitsgängen innerhalb ihrer Pufferzeiten, Veränderung der organisatorischen Reihenfolgebeziehungen), jedoch kann die Eindeutigkeit "erzwungen" werden (z.B. durch ULF = Universalfrühstlösung)
  - Spezieller Konstruktionstrick: Definition einer Maschinenfolgefunktion, repräsentiert die lineare technischen Präzedenzbeziehungen innerhalb eines jeden Auftrags
  - **Entscheidungsvariablen:**
    - Terminierungsentscheidungen:  $AZ_{i,j}$  = Anfangszeitpunkt der Bearbeitung des Auftrags  $A_i$  auf der Maschine  $M_j$
    - Orientierungsentscheidung:
      - $u_{h,i}^j = 1$ , falls der Auftrag  $A_h$  vor dem Auftrag  $A_i$  auf der Maschine  $M_j$  eingeplant wird;
      - $u_{h,i}^j = 0$ , falls der Auftrag  $A_h$  nach dem Auftrag  $A_i$  auf der Maschine  $M_j$  eingeplant wird
  - **Zielfunktionen:**
    - Minimierung der Gesamtdurchlaufzeit aller Aufträge
    - Minimierung der durchschnittlichen Paketdurchlaufzeit
    - Minimierung der Paketdurchlaufzeit oder Zykluszeit
  - **Restriktionen:**
    - Technische Präzedenzbeziehungen:  $AZ_{i,m(i,n)} \geq AZ_{i,m(i,n-1)} + d_{i,m(i,n-1)}$
    - Termineinhaltung durch den letzten Arbeitsgang eines Auftrags:  $AZ_{i,m_i^*} + d_{i,m_i^*} \leq FZ_i$

- Als Zusatzwissen gewinnbar die Wartezeiten  $W_{i,j}$  von Aufträgen vor Maschinen
- Organisatorische Reihenfolgebeziehungen: Wenn zwei Aufträge dieselbe Maschine benötigen, müssen sie auf dieser Maschine in einer eindeutigen – aber technisch nicht determinierten – Reihenfolge eingeplant werden, Berechnung mit Hilfsvariable  $K$
- **Integritätsbedingungen:**
  - Jede Maschine kann in einem Zeitpunkt nur von höchstens einem Auftrag belegt sein
  - Jeder Auftrag, dessen Bearbeitung auf einer Maschine begonnen wurde, wird dort ohne Unterbrechung zu Ende bearbeitet
- **Definitionsbereiche:**
  - Nichtnegativitätsbedingungen für alle Terminentscheidungen
  - Binärbedingungen für alle Orientierungsentscheidungen