

## Produktion HWS 2013 – Skript – Zusammenfassung (Teil 1)

### Operations Management

Operations Management umfasst die Koordination aller Aktivitäten im Rahmen einer Leistungserstellung, d.h. Abstimmung von Angebot und Nachfrage

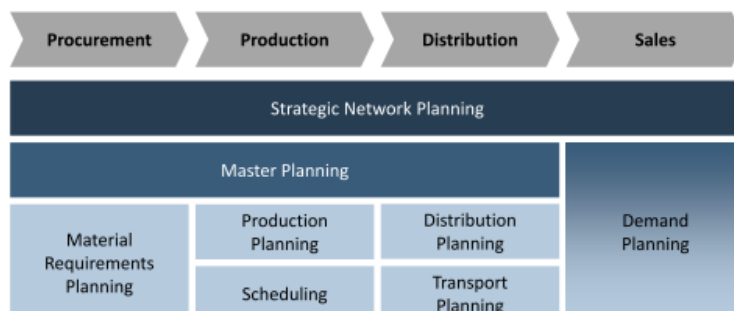
### Ebenen des Produktionsmanagements



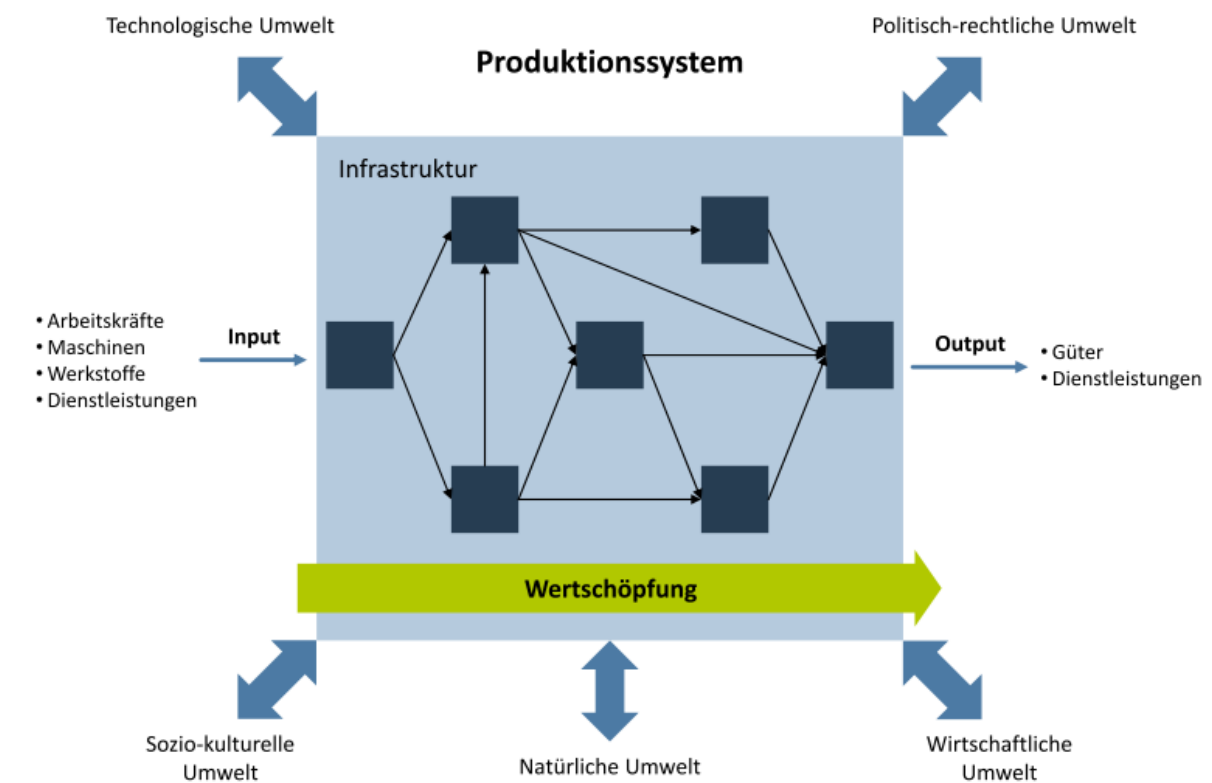
Die Aufgabe des **strategischen** Produktionsmanagements besteht darin, die langfristigen Rahmenbedingungen zu schaffen, unter denen sich eine Unternehmung erfolgreich entwickeln kann.

Das **taktische** Produktionsmanagement soll dazu beitragen, die in der strategischen Entscheidungsebene gesetzten Ziele schrittweise zu verwirklichen und die angestrebte Leistungsstärke nachhaltig aufzubauen. Dies geschieht vor allem durch die Umgestaltung und Weiterentwicklung der Produktionsinfrastruktur.

Die Hauptaufgabe des **operativen** Produktionsmanagements besteht darin, zur Ausschöpfung jener Leistungspotenziale beizutragen, die zuvor durch die Entscheidungen der taktischen Planungsebene geschaffen wurden.



## Produktion als Wertschöpfungsprozess



**Input:** Die zu bearbeitenden Vorprodukte (Arbeitsobjekte) stellen den physischen Input in das Arbeitssystem dar.

**Output:** Die Arbeitsobjekte durchlaufen physisch den Produktionsprozess, werden dort bearbeitet und erfahren dadurch in der Regel eine Wertsteigerung.

**Transformation:** Der eigentliche Produktionsvorgang kann als Transformation betrachtet werden, bei dem unter Einsatz von Produktionsfaktoren (Menschen, Maschinen) eine Statusänderung und Wertsteigerung der Arbeitsobjekte, d.h. ihre Umwandlung in Produkte erfolgt.

**Zeit:** Die industrielle Erzeugung eines Produktes erfordert eine Vielzahl von Einzelschritten der Beschaffung, der Produktion und Montage sowie der Distribution, die jeweils eine bestimmte Zeit zu ihrer Ausführung benötigen. Je schneller diese zeitliche Wegstrecke überwunden wird, desto mehr Wertschöpfung kann mit den verfügbaren Produktionsressourcen erzielt werden.

**Qualität:** Die Leistung eines Produktionssystems lässt sich in mengen- und wertmäßiger, aber auch in qualitativer Hinsicht messen. Gerade bei technisch anspruchsvollen Produkten werden Qualität und die daraus resultierende Kundenzufriedenheit immer mehr zu entscheidenden Wettbewerbsfaktoren.

**Wirtschaftlichkeit:** Mit einem gegebenen Wert von Inputgütern ist ein maximales wertmäßiges Produktionsergebnis zu erreichen (Maximumprinzip). Ein vorgegebenes wertmäßiges Produktionsergebnis ist mit minimalen Inputwerten zu erreichen (Minimumprinzip).

**Flexibilität:** Mit diesem Begriff wird allgemein die Fähigkeit eines Systems beschrieben, sich an veränderten Umweltbedingungen anzupassen.

## Klassifizierung der Produktionstypen - Programmbezogene Produktionstypen

### Eigenschaften der Produkte:

- Güterart:** Nach dem Merkmal der Güterart sind materielle und immaterielle Produkte zu unterscheiden. Materielle Güter sind Maschinen, Werkzeuge oder Stoffe. Zu den immateriellen Gütern zählen vor allem menschliche oder maschinelle Arbeit, Dienstleistungen und Informationen.
- Gestalt der Güter:** Nach der Gestalt der Güter kann man unterscheiden in ungeformte Fließgüter (Bier), geformte Fließgüter und Stückgüter. Bei geformten Fließgütern (Stahlblechen) sind lediglich die Breite und Höhe, nicht aber die Länge festgelegt. Dagegen sind Stückgüter (Schrauben) in allen drei Dimensionen determiniert.
- Zusammensetzung der Güter:** Nach der Zusammensetzung der Güter lassen sich einteilige und mehrteilige Produkte unterscheiden. Einteilige Produkte werden aus einem einzigen Rohstoffstück gefertigt (Bohrer) während mehrteilige Produkte durch Montageprozesse entstehen (PC). Es kann aber jedoch zu Planungsproblemen kommen wie z.B. zeitliche Abstimmung der Montageprozesse, die Verfügbarkeit von Ressourcen oder die Materialverfügbarkeit.
- Beweglichkeit der Güter:** Nach der Beweglichkeit ist zu unterscheiden zwischen beweglichen und unbeweglichen Produkten. Die Produktion unbeweglicher Produkte (Kraftwerke, Brücken) ist an den Ort ihrer späteren Nutzung gebunden, d.h. dass alle Produktionsfaktoren zu diesem speziellen Ort transportiert werden müssen.

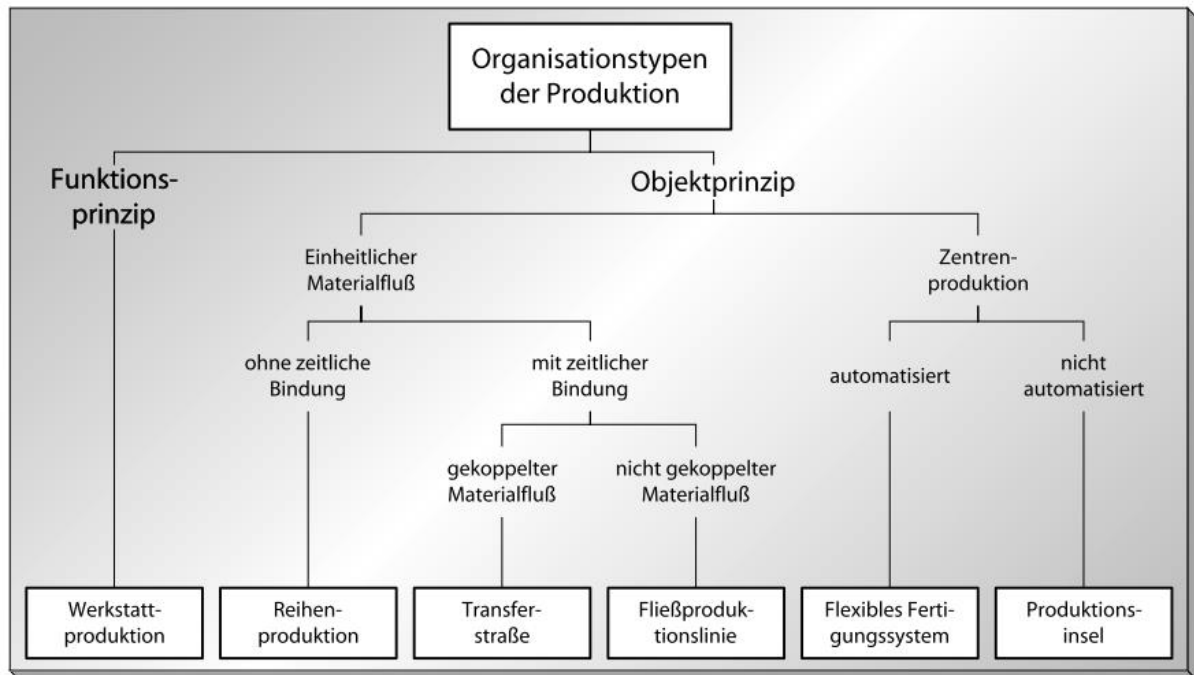
### Eigenschaften des Produktionsprogramms

- Massenproduktion:** Massenproduktion ist die ständige, zeitlich nicht begrenzte Produktion eines Gutes in großen Mengen.
- Sortenproduktion:** Bei der Sortenproduktion, einem Spezialfall der Massenproduktion, werden mehrere Varianten eines Grundprodukts auf denselben Produktionsanlagen zeitlich hintereinander hergestellt.  
Planungsprobleme: Auftragsgrößen, Sortenreihenfolge
- Serienproduktion:** Bei der Sortenproduktion wird nach entsprechender Vorbereitung einer Produktionsanlage eine begrenzte Anzahl identischer Erzeugnisse hergestellt. Im Vergleich zu Sortenproduktion müssen die Produktionsanlagen flexibler sein.  
Planungsprobleme: Auftragsgrößen, Produktionstermine

**Einzelproduktion:** Das Produktionsprogramm bei Einzelproduktion setzt sich aus individuellen Produkten zusammen, die als Einzelstücke hergestellt werden. Individualität zeichnet die Einzelproduktion aus.

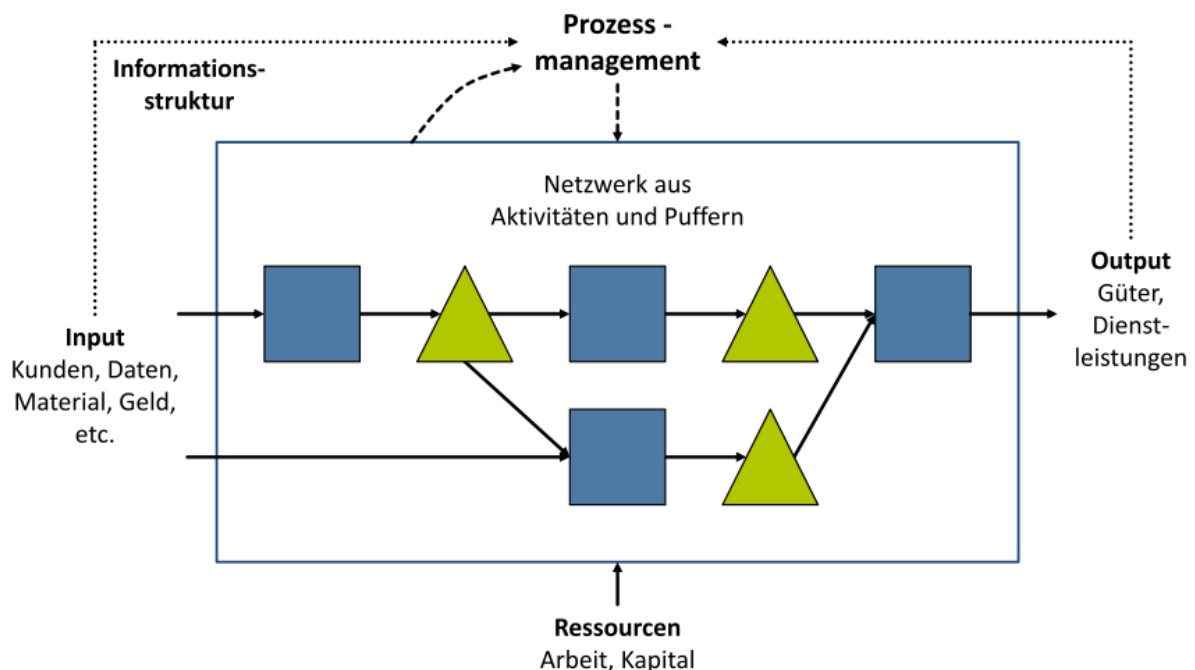
Planungsprobleme: geringe Vorhersehbarkeit des Auftragseingangs, lange Lieferzeiten, wenn keine Produktion von Einzelteilen und Baugruppen auf Vorrat erfolgt.

## Organisationstypen der Produktion



## Struktur der Produktionsprozesse – Form des Materialflusses

Bei einem **glatten** (durchgängigen) Materialfluss wird aus jeweils einer eingesetzten Werkstoffart eine einzige Produktart erzeugt. Dagegen wird bei einem **konvergierenden** (synthetischen) Materialfluss eine Produktart aus mehreren Werkstoffarten hergestellt. Ein **divergierender** (analytischer) Materialfluss liegt vor, wenn durch Aufspaltung aus einer Werkstoffart mehrere Produktarten erzeugt werden.



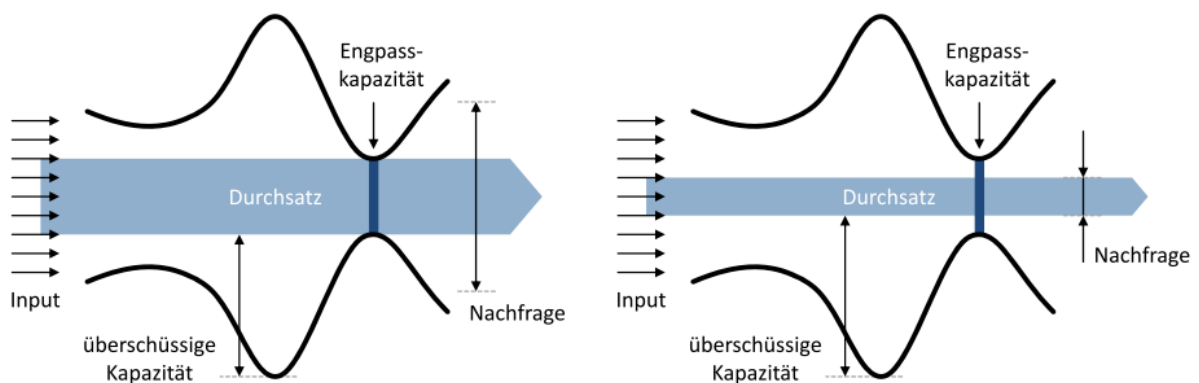
## Physische Güter:

- Automobilfertigung an Fließlinie
- Produktion eines kundenindividuellen Möbelstücks
- Hausbau

## Dienstleistungen:

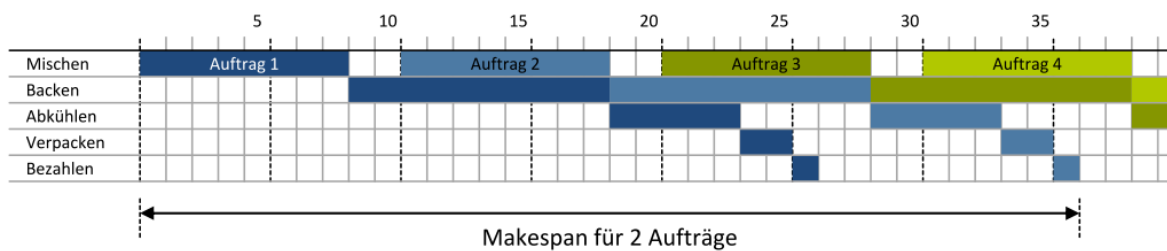
- Bearbeitung von Kundenbeschwerden durch den Kundenservice
- Behandlung von Patienten im Krankenhaus
- Beantwortung von Kundenanfragen in einem Call Center

## Engpass, Prozesskapazität und Durchsatz



**Makespan:** Gesamtzeit zur Bearbeitung einer bestimmten Anzahl an Aufträge für n Bestellungen.

**Formel:**  $\text{Durchlaufzeit} + (n - 1) * \text{Zwischenabgangszeit}$



**Kapazitätserweiterung:** Mischen bedeutet kein Engpass und zugleich erhöht das Hinzufügen von Maschinen nicht die Prozesskapazität.

**Auslastung**  $\rho$

**Durchsatz** (Flussrate)  $th$

Anzahl an Einheiten, die den Prozess pro Zeiteinheit durchlaufen

**Durchlaufzeit** (Flusszeit)  $W^S$

Dauer, die eine Einheit im Prozess verbringt

**Work in process** (Bestand)  $L^S$

Anzahl an Einheiten, die sich im Prozess befinden

\* Fertigung: Rohstoffe, Fertigerzeugnisse

\* Dienstleistungsprozesse: Bestellungen, Kunden

Eigenschaften von **Little's Law** – für **Mittelwerte** gültig

**Formel:**

$$\begin{aligned}\text{Work in process} &= \text{Durchsatz} \cdot \text{Durchlaufzeit} \\ L^S &= th \cdot W^S\end{aligned}$$

Gilt auch für den Zusammenhang zwischen Warteschlangenlänge und Wartezeit

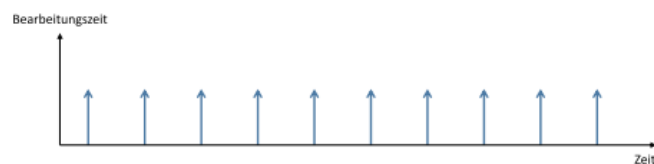
**Formel:**

$$L^Q = th \cdot W^Q$$

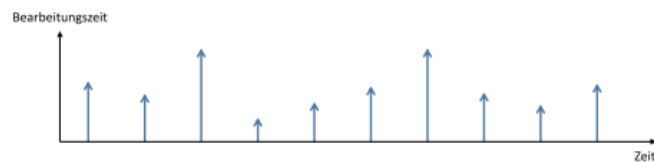
Little's Law sind auch für Systeme mit **Variabilität** anwendbar.

**Variabilität:** Variabilität bezeichnet alles, was das normale, vorhersehbare Verhalten eines Systems stört.

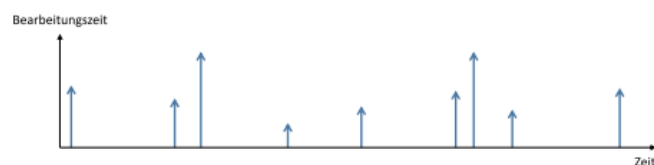
Gleichverteilte Ankünfte und identische Produktionszeiten



Gleichverteilte Ankünfte und schwankende Produktionszeiten



Stochastische Zwischenankunftszeiten und schwankende Produktionszeiten



## Variationskoeffizient

Formel:

$$\text{Variationskoeffizient} = \text{Standardabweichung} / \text{Mittelwert}$$

### Variabilität – Beispiel

Bearbeitungszeit eines Auftrags  $i$ :  $t_i$  ( $i = 1, 2, \dots, I$ )

Mittlere Bearbeitungszeit  $\bar{t}$  eines Auftrags:

$$\bar{t} = \frac{1}{I} \cdot \sum_{i=1}^I t_i = \frac{1}{I} \cdot (t_1 + t_2 + \dots + t_I)$$

Standardabweichung  $\sigma_s$  der Bearbeitungszeiten:

$$\sigma_s^2 = \frac{1}{I} \cdot \sum_{i=1}^I (t_i - \bar{t})^2 = \frac{1}{I} \cdot ((t_1 - \bar{t})^2 + (t_2 - \bar{t})^2 + \dots + (t_I - \bar{t})^2)$$

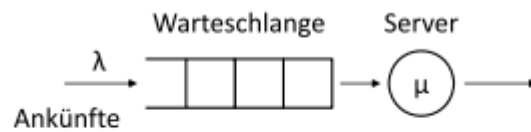
Variationskoeffizient  $c_s$  der Bearbeitungszeiten:

$$c_s = \frac{\sigma_s}{\bar{t}}$$

	Maschine 1	Maschine 2	Maschine 3
$t_1$	23.9	19.7	19.7
$t_2$	24.3	<b>36.4</b>	36.4
$t_3$	23.7	20.8	20.8
$t_4$	25.0	22.9	22.9
$t_5$	24.1	21.5	21.5
$t_6$	25.2	21.9	21.9
$t_7$	22.6	18.6	18.6
$t_8$	24.8	<b>40.1</b>	<b>516.5</b>
$t_9$	25.6	20.3	20.3
$t_{10}$	22.8	19.9	19.9
Mittelwert $\bar{t}$	24.20	24.21	71.85
Standardabweichung $\sigma_s$	0.94	7.16	148.29
Variationskoeffizient $c_s$	0.039	0.296	2.064



## Performance der Single-Server Queue



Langfristig erwartete durchschnittliche Wartezeit (Kingman Formel)

$$E[W^Q] = \frac{c_a^2 + c_s^2}{2} \cdot \frac{\rho}{1 - \rho} \cdot \frac{1}{\mu}$$

wobei

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

Auslastung

$c_a$

Variationskoeffizient der Zwischenankunftszeiten

$c_s$

Variationskoeffizient der Bedienzeiten

Drei Faktoren bestimmen die Wartezeit

→ Variabilität, Systemauslastung und Bedienzeit

## Zusammenfassung der Prozessanalyse

Produktionssysteme lassen sich durch **4 wesentlichen Kenngrößen** charakterisieren:

Work in Process ( $L^S$ )

Durchsatz ( $th$ )

Durchlaufzeit ( $W^S$ )

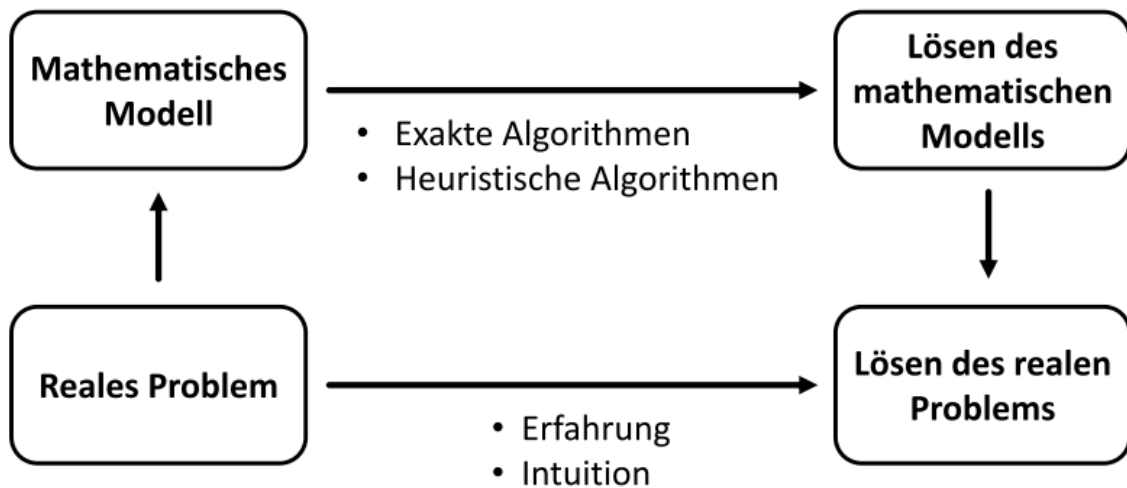
Auslastung ( $\rho$ )

Zusammenhang durch **Little's Law**

$$L^S = th \cdot W^S$$

Engpass bestimmt die Kapazität eines Produktionssystems, wobei Kapazitätserweiterungen nur am Engpass wirksam sind. Die Variabilität bedeutet die Störung des normalen, vorhersagbaren Verhaltens eines Systems und reduziert die Performance eines Produktionssystems.

## Grundlagen der quantitativen Entscheidungsunterstützung



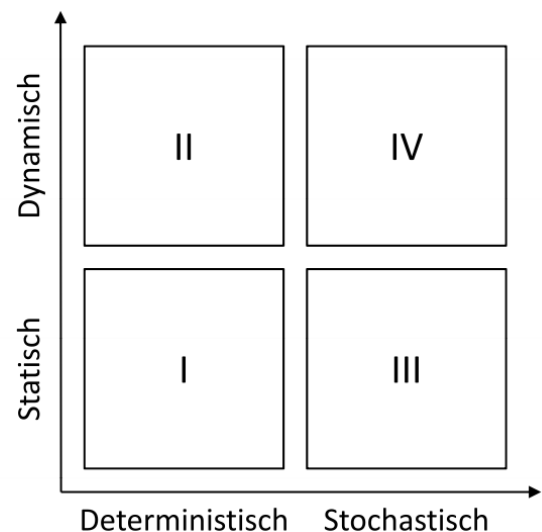
### Diese Entscheidungsmodelle

- Basieren auf vereinfachtem mathematischem Abbild der Realität.
- Bilden alle realisierbaren Alternativen ab.
- Enthalten messbare Zielvorstellungen.
- Dienen der Entscheidungsunterstützung.

## Methoden und Tools

### Ansätze:

- Quantitative Modellierung und Optimierung
- Heuristische Lösungsalgorithmen
- Performanceanalyse von stochastischen und dynamischen Systemen (Warteschlangentheorie, Sampling, Simulation)



## Einperiodige Produktionsprogrammplanung

**Zielfunktion:** Maximiere  $Z = \sum_{k=1}^K e_k \cdot x_k$

**Nebenbedingungen:**  $\sum_{k=1}^K a_{kr} \cdot x_k \leq b_r \quad \forall r = 1, \dots, R$   
 $x_k \geq 0 \quad \forall k = 1, \dots, K$   
 $x_k \text{ ganzzahlig} \quad \forall k = 1, \dots, K$

	Lineares Programm	Gemisch-ganzzahliges Programm
<b>Eigenschaften</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lineare Zielfunktion</li><li>• Lineare Gleichungen und Ungleichungen als NB</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Wie Lineare Programme, aber Entscheidungsvariablen können ganzzahlig sein</li></ul>
<b>Lösungsansätze</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Graphische Lösung</li><li>• Simplex Algorithmus</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Branch &amp; Bound</li><li>• Heuristische Verfahren</li></ul>

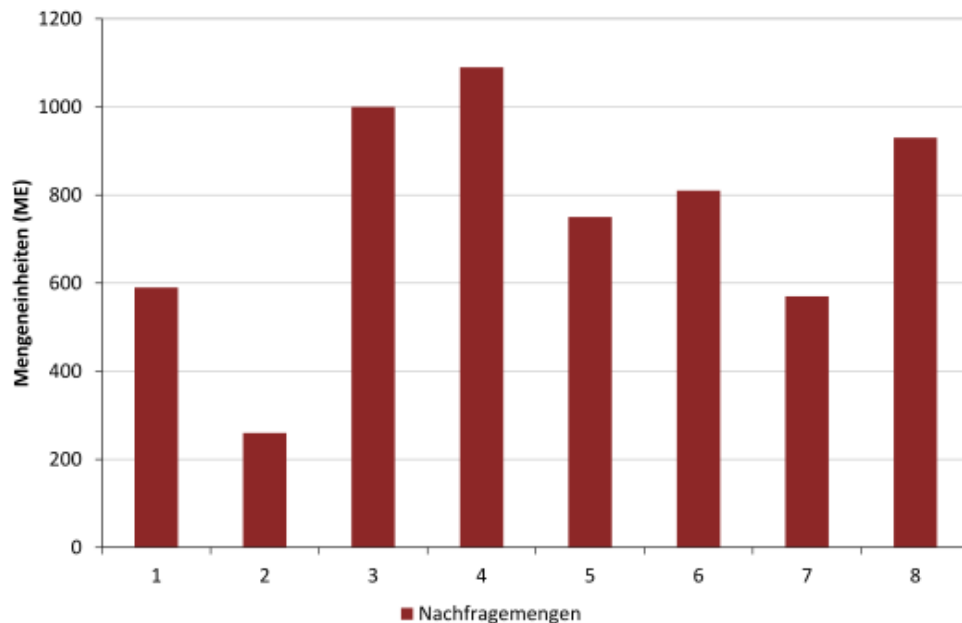
## Beschäftigungsglättung

**Aufgabe:** Auslastung der Ressourcen im Zeitablauf glätten

**Maßnahmen:** Überstunden vs. Kurzarbeit, Schichtenregelung und Urlaubsplanung, Fremdvergabe von Aufträgen, Auf- und Abbau von Lagerbeständen

**Planungsobjekte:** Aggregierte Produkttypen, aggregierte Gruppen von Arbeitssystemen

**Ergebnis:** Produktionsstättenbezogene Produktionsvorgaben



Nachfrage:

Periode $t$	1	2	3	4	5	6	7	8	Summe
Nachfrage $d_t$ [ME]	590	260	1000	1090	750	810	570	930	6000

Zur Herstellung sind  $a = 4$  h/ME an personeller und  $b = 5$  h/ME an technischer Produktionskapazität notwendig

Personelle und technische Maximalkapazitäten:

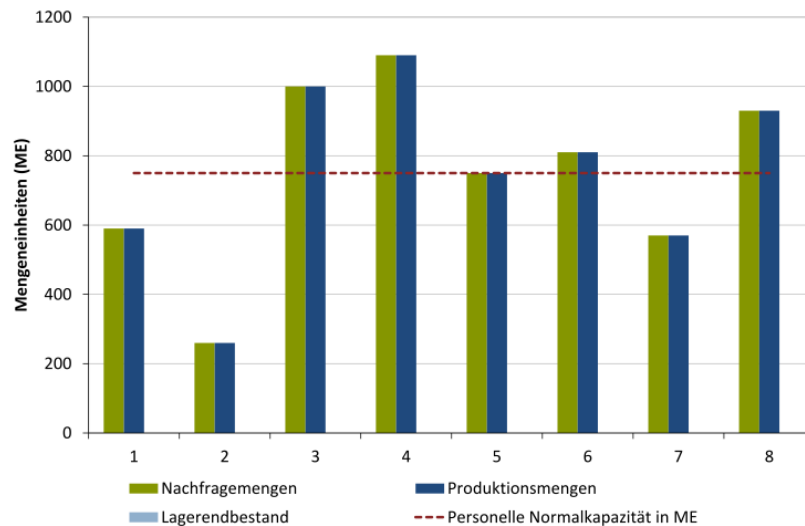
Periode $t$	1	2	3	4	5	6	7	8
Pers. Normalkap. $N_t^{max}$ [h]	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Pers. Überkap. $U_t^{max}$ [h]	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Techn. Kapazität $C_t^{max}$ [h]	8500	8500	8500	8500	8500	8500	8500	8500

Lagerkostensatz:  $l = 22$  GE/ME

Kostensatz für personelle Überkapazität:  $u_t = 18$  GE/h  $\forall t = 1, 2, \dots, 8$

**Synchronisation:** Produktion entsprechend der Nachfragemenge.

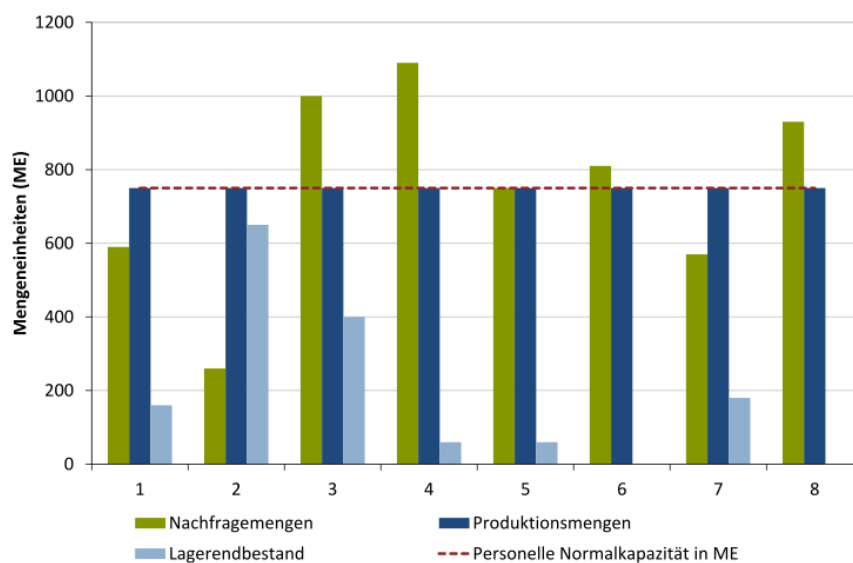
- Produktionsmenge identisch mit Periodennachfrage
- Reaktive Verhaltensweise
- Personelle und technische Kapazität auf maximale Periodennachfrage ausgelegt
- Abweichungen von kostenminimaler Intensität
- Keine Lagerung



→ Gesamtkosten: 59760 GE

**Emanzipation:** Konstante Produktionsmenge in jeder Periode

- Konstante Produktionsmenge
- Auf- und Abbau von Lagerbeständen
- Gleichmäßige Produktion bei optimaler Intensität möglich
- Lagerkosten und eventuelle Fehlmengen



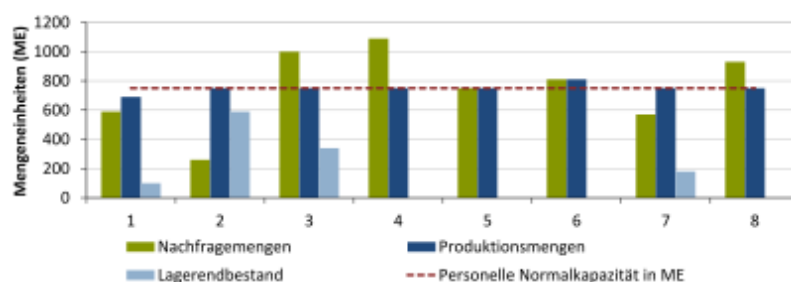
→ Gesamtkosten: 33220 GE

## Unterschiede zwischen Synchronisation und Emanzipation

Synchronisation	Emanzipation
Produktionsmenge einer Periode ist identisch mit der Periodennachfragemenge	Produktionsmenge bleibt pro Periode während des ganzen Planungszeitraums konstant.
Aufgrund der identischen Menge mit der Nachfrage gibt es keine Lagerbestände, d.h. keine Lagerkosten.	Bei schwankender Periodennachfragemenge führt es zum Auf- und Abbau von Lagerbeständen (hohe Lagerkosten)
Unterschiedliche Produktionsintensität (unterschiedliche variable Kosten)	Gleichbleibende optimale Produktionsintensität (gleichbleibende variable Kosten)
Keine Fehlmengen, d.h. keine Verzögerung in der Belieferung der Kunden (keine zusätzlichen Kosten)	Fehlmengen, d.h. es werden Verzögerungen in der Belieferung der Kunden in Kauf genommen (zusätzliche Kosten)
Keine Transportkosten zwischen den einzelnen Lagerbeständen	Zusätzliche Transportkosten zwischen den einzelnen Lagerbeständen (Ort der Zwischenlagerung)

## Optimaler Produktionsplan

Periode $t$	1	2	3	4	5	6	7	8	Summe
Nachfrage $d_t$ [ME]	590	260	1000	1090	750	810	570	930	6000
Produktionsmenge $X_t$ [ME]	690	750	750	750	750	810	750	750	6000
Lagerendbestand $L_t$ [ME]	100	590	340	0	0	0	180	0	
Eingesetztes Personal [h]	2760	3000	3000	3000	3000	3240	3000	3000	
Genutzte pers. Überkap. $U_t$ [h]	0	0	0	0	0	240	0	0	
Genutzte techn. Kap. $C_t$ [h]	3450	3750	3750	3750	3750	4050	3750	3750	
Lagerkosten [GE]	2200	12980	7480	0	0	0	3960	0	26620
Kosten pers. Überkap. [GE]	0	0	0	0	0	4320	0	0	4320
<b>Gesamtkosten [GE]</b>	<b>2200</b>	<b>12980</b>	<b>7480</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4320</b>	<b>3960</b>	<b>0</b>	<b>30940</b>



## Hauptproduktionsprogrammplanung

Kennzeichen der Hauptproduktionsprogrammplanung sind ...

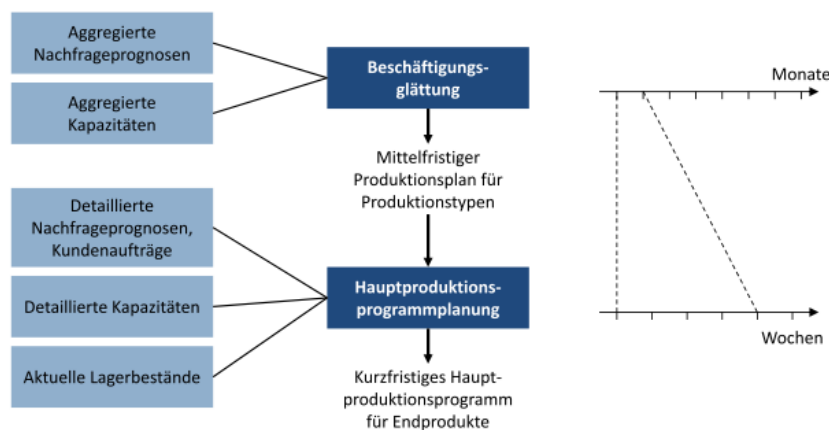
... Aufstellung dezentraler Produktionsprogramme für einen mehrperiodigen Zeitraum, d.h. Abstimmung mit vorhandenen Kapazitäten, Engpassbereiche sichtbar machen und Anpassungsmaßnahmen einleiten.

... Koordination der Produktionsprogramme über einzelne Produktionselemente hinweg, d.h. horizontale Abstimmung zwischen den Segmenten sowie vertikale Abstimmung zwischen den Stufen des Produktionsprozesses.

Ziele ist es die Produktions-, Lager- und ressourcenabhängiger Kosten zu MINIMIEREN.

Nebenbedingungen sind die termingerechte Erreichung der Produktionsziele.

Verknüpfung zur Beschäftigungsglättung bedeutete der mögliche Lageraufbau für zukünftige Perioden.



## Verbindung zur Beschäftigungsglättung

Quartal	1	2	3	4	5	6	7	8	Summe
Nachfrage	590	260	1000	1090	750	810	570	930	6000
Produktionsmenge	690	750	750	750	750	810	750	750	6000
Lagerendbestand	100	590	340	0	0	0	180	0	

- 1 Quartal → 12 Wochen
- 1 Produktgruppe → 2 Hauptprodukte
- Berücksichtigung der
  - \* Nachfragemengen *pro Produkt*
  - \* Kapazitäten *pro Produktionssegment*



Woche	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Summe
Nachfrage P1	0	0	35	45	30	25	35	60	30	40	25	55	380
Nachfrage P2	0	0	25	30	25	30	25	40	30	20	50	35	310

## Kapazitätsbelastungsprofile

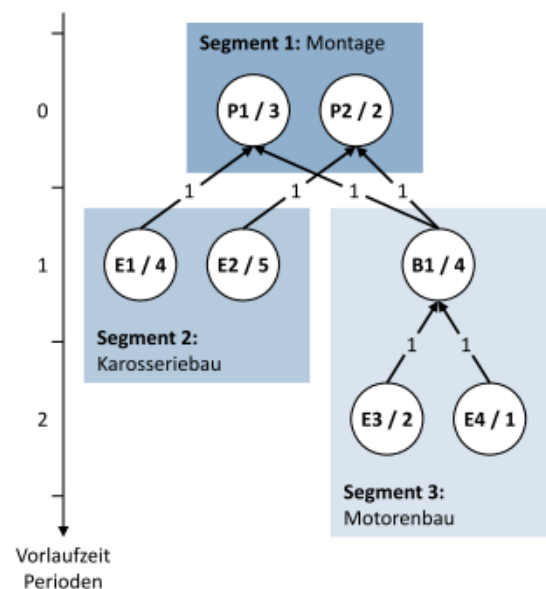
Berücksichtigung der zeitlichen Verteilung der Kapazitätsbelastung

Kapazitätsbelastungsfaktor  $f_{jkz}$  mit Vorlaufperiode  $z$   
( $z = 0$ : Fertigstellung des Endproduktes)

Erzeugnisstruktur: Mengenmäßige Beziehung zwischen Einzelteilen, Baugruppen und Endprodukten



Vorlaufperiode $z$	2	1	0
Endprodukt P1			
Sgt. 1: Montage	-	-	3
Sgt. 2: Karosseriebau	-	4	-
Sgt. 3: Motorenbau	3	4	-
Endprodukt P2			
Sgt. 1: Montage	-	-	2
Sgt. 2: Karosseriebau	-	5	-
Sgt. 3: Motorenbau	3	4	-





## HPPPLAN – Annahmen

**Planungszeitraum:**  $T$  Perioden ( $t = 1, 2, \dots, T$ )

**Produkttypen:**  $K$  Produkte ( $k = 1, 2, \dots, K$ )

**Produktionssegmente:**  $J$  Segmente ( $j = 1, 2, \dots, J$ )

**Vorlaufzeitraum:**  $Z_k$  Perioden ( $z = 0, 1, 2, \dots, Z_k$ ) für Produkt  $k$

**Nachfragemenge** für Produkt  $k$  in Periode  $t$ :  $d_{kt}$

**Anfangslagerbestand** von Produkt  $k$ :  $y_{k0}$

**Lagerkosten** von Produkt  $k$  pro ME und Periode:  $h_k$

**Kapazität** des Segments  $j$  in Periode  $t$ :  $b_{jt}$

Produkt  $k$  benötigt  $f_{jkz}$  Kapazitätseinheiten von Segment  $j$  in Vorlaufperiode  $z$

Maximale **Zusatzkapazität** von  $U_{jt}^{max}$  in Segment  $j$  mit Kosten  $u_t$  je Einheit in Periode  $t$

**Ziel:** Minimierung der Summe aus Lagerkosten und Kosten für Zusatzkapazität

**Indizes:**

$t = 1, \dots, T$	Perioden
$k = 1, \dots, K$	Produkte
$j = 1, \dots, J$	Segmente
$z = 0, \dots, Z_k$	Vorlaufperioden für Produkt $k$

**Parameter:**

$b_{jt}$	Produktionskapazität von Segment $j$ in Periode $t$
$d_{kt}$	Nachfrage für Produkt $k$ in Periode $t$
$f_{jkz}$	durch Produkt $k$ verursachte Kapazitätsbelastung von Segment $j$ in Vorlaufperiode $z$
$y_{k0}$	Lageranfangsbestand für Produkt $k$
$h_k$	Lagerkostensatz für Produkt $k$ pro Mengeneinheit und Periode
$U_{jt}^{max}$	Maximale Zusatzkapazität in Segment $j$ in Periode $t$
$u_t$	Kosten je Einheit der Zusatzkapazität in Periode $t$

**Entscheidungsvariablen:**

$x_{kt}$	Produktionsmenge von Produkt $k$ in Periode $t$
$U_{jt}$	Genutzte Zusatzkapazität in Segment $j$ in Periode $t$
$y_{kt}$	Lagerbestand für Produkt $k$ am Ende von Periode $t$

**Zielfunktion:**

$$\text{Minimiere } Z = \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T h_k \cdot y_{kt} + \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J u_t \cdot U_{jt}$$

**Nebenbedingungen:**

Lagerbilanzgleichung:  $y_{k,t-1} + x_{kt} - d_{kt} = y_{kt} \quad \forall k = 1, \dots, K; \forall t = 1, \dots, T$

Max. Zusatzkapazität:  $U_{jt} \leq U_{jt}^{max} \quad \forall j = 1, \dots, J; \forall t = 1, \dots, T$

Nichtnegativität:  $x_{kt}, y_{kt} \geq 0 \quad \forall k = 1, \dots, K; \forall t = 1, \dots, T$

$U_{jt} \geq 0 \quad \forall j = 1, \dots, J; \forall t = 1, \dots, T$

## HPPLAN – Beispiel

$K = 2$  Endprodukte

Segment-Kapazitäten:

$J = 3$  Produktionssegmente

$$b_{Montage,t} = 200$$

Überstundenkostensatz  $u_t = 30$

$$b_{Karosserie,t} = 270$$

Lagerkostensatz  $h_k = 10$

$$b_{Motor,t} = 420$$

Lageranfangsbestand  $y_{k,0} = 0$

Max. Zusatzkapazität  $U_{jt}^{max} = 100$

Nachfrageprognose:

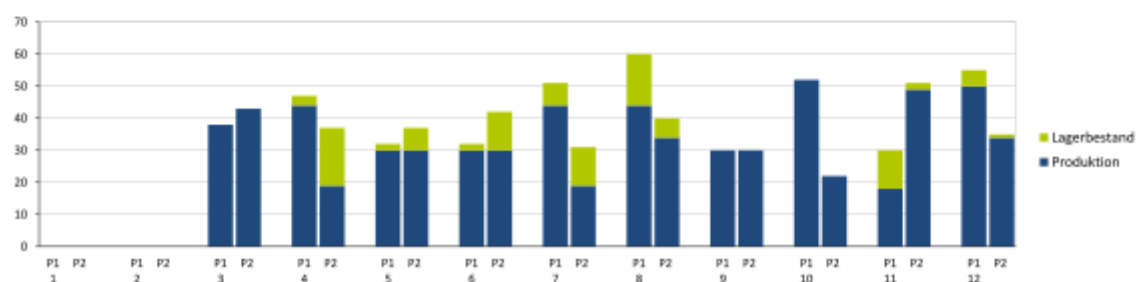
Woche	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Summe
Nachfrage P1	0	0	35	45	30	25	35	60	30	40	25	55	380
Nachfrage P2	0	0	25	30	25	30	25	40	30	20	50	35	310

Erzeugnisstruktur und Kapazitätsbelastungsfaktoren  $f_{jkz}$  wie im vorherigen Beispiel

Gesamtkosten:  $Z = 26820$  GE

Optimale Produktions- und Lagermengen:

Wochen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Produktion P1	0	0	38	44	30	30	44	44	30	52	18	50
Produktion P2	0	0	43	19	30	30	19	34	30	22	49	34
Lagerbestand P1	0	0	3	2	2	7	16	0	0	12	5	0
Lagerbestand P2	0	0	18	7	12	12	6	0	0	2	1	0



Belastung der Produktionssegmente:

Woche	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Montage	0	0	200	170	150	150	170	200	150	200	152	218
Karosserie	0	367	271	270	270	271	346	270	318	317	370	0
Motor	243	513	432	420	429	486	492	462	497	520	336	0

## Materialbedarfsplanung

Die Materialbedarfsplanung kennzeichnet ...

... die Bestimmung von Art, Menge und Bereitstellungstermin der Verbrauchsfaktoren, die für die Erzeugung des geplanten Hauptproduktionsprogramms benötigt werden.

... die Programmplanung für untergeordnete Erzeugnisse.

### Formen:

1. **Programmorientiert / deterministisch:** Zukunftsgerichtet, Ableitung aus Hauptproduktionsprogramm, Erzeugnisstruktur, Lagerbestände, Durchlaufzeiten.
2. **Stochastisch:** basiert auf vergangenen Materialbedarf, Anwendung eines Prognoseverfahrens.

Ziel ist es den Materialbedarf nach Termin und Menge so genau wie möglich zu bestimmen.

### Bedarfsarten

Primärbedarf	Sekundärbedarf	Tertiärbedarf
Bedarf an absatzbestimmten Endprodukten und Ersatzteilen. Wird in Menge und Termin aus der HPPlanung vorgegeben.	Bedarf an Rohstoffen, Einzelteilen und Baugruppen. Ergibt sich aus vorgegebenem Primärbedarf.	Bedarf an billigen Hilfs- und Betriebsstoffen sowie an billigen Verschleißwerkzeugen. Häufig durch Prognose bestimmt.

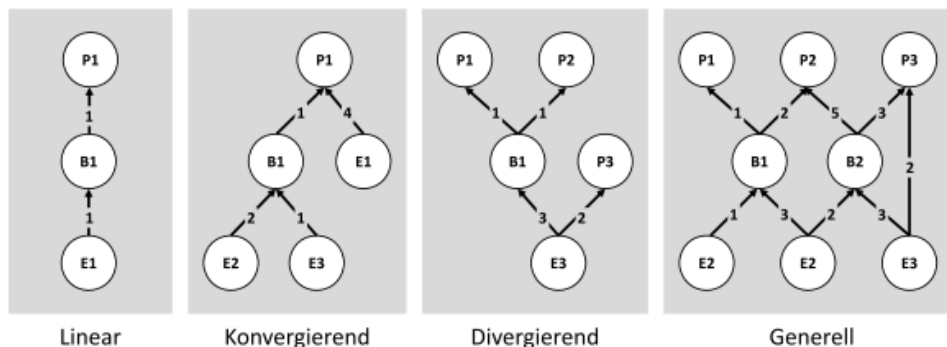
Ziel der Materialbedarfsermittlung ist es, den sich aus dem Hauptproduktionsprogramm ergebenden Materialbedarf nach Menge und Termin so genau wie möglich zu bestimmen. Wird Material zu früh bereitgestellt, dann entstehen unnötige Lagerkosten. Wird Material zu spät bereitgestellt, dann kommt es unter Umständen zu unerwünschten Produktionsunterbrechungen und Verzögerungen in der Auslieferung von Kundenaufträgen.

### Darstellung der Erzeugnisstruktur – Gozintograph

Knoten: Erzeugnisse

Pfeil  $(i, j)$ :  $i$  geht direkt in  $j$  ein

Kantengewichte: Direktbedarfskoeffizienten



## Programmorientierte Bedarfsermittlung

Aufgabe ist die Bestimmung der Bedarfsmenge an untergeordneten Erzeugnissen im Zeitlauf.

### Nebenbedingungen:

- \* Hauptproduktionsprogramm: ( $\rightarrow$  *HPPLAN!*)  
Art, Menge und Termine für die Herstellung der Endprodukte
- \* Erzeugniszusammenhang:
  - Zusammensetzung der Endprodukte aus Einzelteilen und Baugruppen in mehrstufigen Produktionsprozessen
  - Ableitung des Bedarfs an untergeordneten Erzeugnissen aus vorgegebenem Hauptproduktionsprogramm ohne Beachtung eventueller Vorlaufzeiten
- \* Durchlauf- bzw. Wiederbeschaffungszeiten
- \* Entwicklung der Lagerbestände

### 1. Schritt:

Bestimmung des terminierten Bruttobedarfs  $BRUTTO_{kt}$   
(für Produkt  $k$  in Periode  $t$ ):

$$\begin{array}{l} \text{Primärbedarf (= direkt absatzbestimmter Bedarf)} \\ + \text{ Sekundärbedarf (= abgeleiteter Bedarf)} \\ + \text{ Prognostizierter Bedarf} \\ + \text{ Zusatzbedarf} \\ \hline = \text{ Bruttobedarf des Produktes } k \text{ in Periode } t, BRUTTO_{kt} \end{array}$$

### 2. Schritt:

Bestimmung des disponiblen Lagerbestands  $DISPON_{kt}$   
(für Produkt  $k$  in Periode  $t$ ):

$$\begin{array}{l} \text{Physischer Bestand} \\ + \text{ Noch ausstehende Bestellungen für Periode } t \\ - \text{ Reservierter Bestand} \\ - \text{ Sicherheitsbestand} \\ \hline = \text{ Disponibler Bestand des Produktes } k \text{ in Periode } t, DISPON_{kt} \end{array}$$

### 3. Schritt:

Bestimmung des Nettobedarfs  $NETTO_{kt}$   
(für Produkt  $k$  in Periode  $t$ ):

$$NETTO_{kt} = \max\{BRUTTO_{kt} - DISPON_{kt}, 0\}$$

### 4. Schritt:

Verschiebung der Nettobedarfsmengen um Vorlaufzeit ergibt periodenspezifische Beschaffungs- bzw. Produktionsmengen

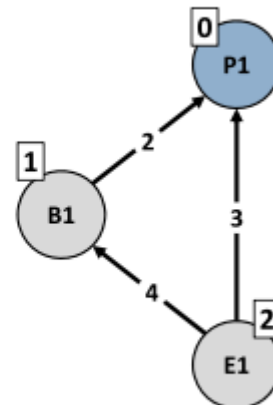
## Bedarfsermittlung – Dispositionsstufenverfahren

Dispositionsstufe  $u_k$  entspricht längstem Weg im Gozintographen zu Endprodukten

$$u_k = \begin{cases} \max_{j \in \mathcal{N}_k} \{u_j\} + 1 & \mathcal{N}_k \neq \emptyset \\ 0 & \mathcal{N}_k = \emptyset \end{cases}$$

Produkte werden in Reihenfolge ihrer Dispositionsstufen abgearbeitet

Für jedes Erzeugnis werden die Sekundärbedarfe direkt aus den übergeordneten Erzeugnissen ermittelt



$u = 0$	Endprodukt P1 (Hauptproduktionsprogramm)					
	Periode $t$	1	2	3	4	5
	Bedarf für die Auflösung	0	20	50	0	35
$u = 1$	Baugruppe B1 ( $a_{B1,P1} = 2$ ; $z_{B1} = 1$ )					
	Periode $t$	1	2	3	4	5
	Sekundärbedarf					
	Primärbedarf	0	0	20	0	0
	BRUTTO( $B1, t$ )					
	DISPON( $B1, t$ )	60				
	NETTO( $B1, t$ )					
	Bedarf für die Auflösung					
$u = 2$	Einzelteil E1 ( $a_{E1,B1} = 4$ ; $a_{E1,P1} = 3$ ; $z_{E1} = 1$ )					
	Periode $t$	1	2	3	4	5
	Sekundärbedarf P1					
	Sekundärbedarf B1					
	$\Sigma$ Sekundärbed.					
	DISPON( $E1, t$ )	200				
	NETTO( $E1, t$ )					
	Bedarf für die Auflösung					

## Losgrößen- und Reihenfolgenplanung

### Kennzeichnung

Rüstvorgang	Rüstzeit	Rüstkosten
<b>Zahnarztbesuch</b>		
Sitz, Geräte reinigen	Reinigungsdauer	Personal (Assistenz), Reinigungsmittel
Patientenakte suchen	Suchzeit	Personal (Assistenz)
Patientenakte lesen	Lesedauer	Personal (Arzt)
Geräte vorbereiten	Vorbereitungsdauer	Personal (Assistenz)
<b>Manueller Bauteilwechsel in Lackiererei für Großbauteile</b>		
Abzug giftiger Dämpfe	Belüftungsdauer	Leerzeiten
Reinigung	Reinigungsdauer	Personal, Reinigungsmittel, Energie, Entsorgung
Werkzeugbestückung	Bestückungsdauer	Personal
<b>Geldautomatbefüllung</b>		
Anfahrt	Reisezeit	Personal, Reisekosten
Geldautomat absichern	Vorbereitungsdauer	Personal
Geldkassettenwechsel	Wechseldauer	Personal
<b>Modellumstellung in einer Produktionslinie</b>		
Leerlauf der Linie	Leerlaufdauer	Leerzeiten
Entfernung alter Modellbauteile	Beseitigungsdauer	Personal, Leerzeiten
Bereitstellung neuer Modellteile	Vorbereitungsdauer	Personal, Leerzeiten
Hochlauf	Hochlaufdauer	Leerzeiten

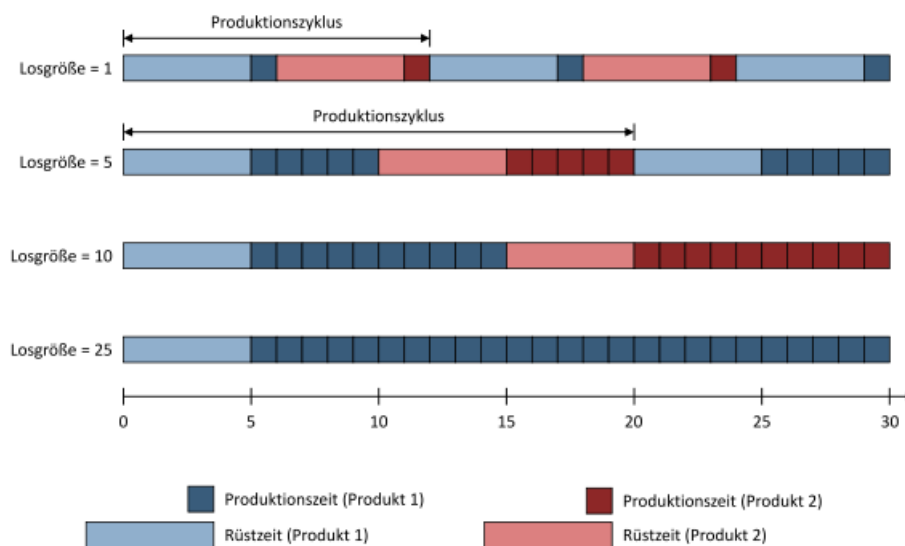
**Rüsten:** Vorbereiten eines Arbeitssystems für die Erfüllung der Arbeitsaufgaben

**Rüstzeit:** Für den Rüstvorgang notwendige Zeit (Verminderung der produktiv nutzbaren Zeit)

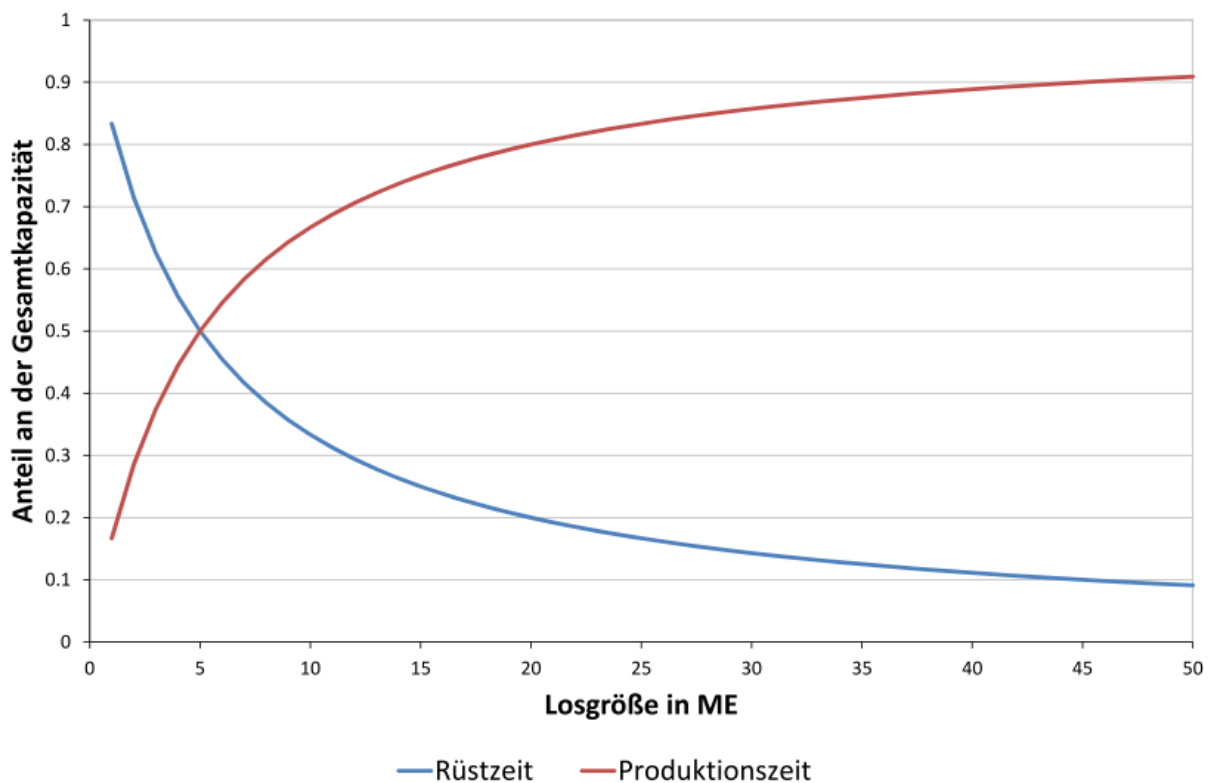
**Rüstkosten:** Personalkosten, Materialkosten, Anlaufkosten (Opportunitätskosten für entgangene produktiv nutzbare Zeit)

**Grundproblem** ist die Produktion der Bedarfsmengen unmittelbar vor dem Bedarfszeitpunkt führt zu einem häufigen Rüsten.

### Losgrößen



## Zusammenhang zwischen Produktionskapazität und Losgröße



## Losgrößenplanung

**Entscheidung:** Zusammenfassen der Bedarfsmengen aus mehreren Perioden zu einem Los.

Vorzeitige Produktion führt zu **Lagerkosten**, d.h. Bereitstellung von Lagerraum oder Handlingequipment (z.B. fahrerlose Transportsysteme, Gabelstapler etc.), Lagerpersonal entsteht (Lageristen, Staplerfahrer, Nachtwächter) und man hat ein gebundenes Kapital.

**Ziel der Losgrößenplanung** ist es die kostenminimale Losgrößen unter Betrachtung begrenzter Kapazitäten zu bestimmen.

## Losgrößenplanung bei zeitabhängiger Nachfrage (Wagner-Within-Modell)

**Annahmen:**

Ein **einzelnes Produkt**

Maximale **Produktionskapazität**:  $b$  Produkte (ME) je Periode

Deterministische periodenabhängige **Nachfrage**  $d_t$  in ME

Bedienung der Nachfrage (durch Produktion und Lagerbestand)

**Rüsten** notwendig in jeder Periode mit Produktionsmenge  $> 0$

**Rüstkosten**  $s$  in GE je Rüstvorgang (unabhängig von der Losgröße)

Lagerkosten  $h$  in GE/(ME · ZE)

**Ziel** ist die Minimierung der Gesamtkosten (Lager- und Rüstkosten).

Nachfrage:

Periode $t$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\emptyset$
Nachfrage $d_t$ [ME]	20	50	10	50	50	10	20	40	20	30	30

Rüstkosten:  $s = 100$  GE, Lagerkosten:  $h = 1$  GE/(ME · ZE)

Maximale Periodenkapazität:  $b = 150$  ME

“Lot-for-Lot”-Produktion:

Periode $t$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Summe
Nachfrage $d_t$ [ME]	20	50	10	50	50	10	20	40	20	30	300
Produktionsmenge $x_t$ [ME]	20	50	10	50	50	10	20	40	20	30	300
Lagerendbestand $y_t$ [ME]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rüstkosten [GE]	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1000
Lagerkosten [GE]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamtkosten [GE]	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	<b>1000</b>

“Losgröße = maximale Produktionskapazität”:

Periode $t$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Summe
Nachfrage $d_t$ [ME]	20	50	10	50	50	10	20	40	20	30	300
Produktionsmenge $x_t$ [ME]	150	0	0	0	150	0	0	0	0	0	300
Lagerendbestand $y_t$ [ME]	130	80	70	20	120	110	90	50	30	0	0
Rüstkosten [GE]	100	0	0	0	100	0	0	0	0	0	200
Lagerkosten [GE]	130	80	70	20	120	110	90	50	30	0	700
Gesamtkosten [GE]	230	80	70	20	220	110	90	50	30	0	<b>900</b>

Kostenminimaler Produktionsplan:

Periode $t$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Summe
Nachfrage $d_t$ [ME]	20	50	10	50	50	10	20	40	20	30	300
Produktionsmenge $x_t$ [ME]	<b>80</b>	0	0	<b>130</b>	0	0	0	<b>90</b>	0	0	300
Lagerendbestand $y_t$ [ME]	60	10	0	80	30	20	0	50	30	0	0
Rüstkosten [GE]	100	0	0	100	0	0	0	100	0	0	300
Lagerkosten [GE]	60	10	0	80	30	20	0	50	30	0	280
Gesamtkosten [GE]	160	10	0	180	30	20	0	150	30	0	<b>580</b>



## Wagner-Within-Eigenschaften

Es wird nur dann ein neues Los produziert, wenn der Lagerendbestand auf Null gesunken ist.

## Wagner-Within-Modell

**Zielfunktion:**

$$\text{Minimiere } Z = \sum_{t=1}^T (h \cdot y_t + s \cdot \gamma_t)$$

**Nebenbedingungen:**

$$y_{t-1} + x_t - d_t = y_t \quad \forall t = 1, \dots, T$$

$$x_t \leq M \cdot \gamma_t \quad \forall t = 1, \dots, T$$

$$x_t \leq b \quad \forall t = 1, \dots, T$$

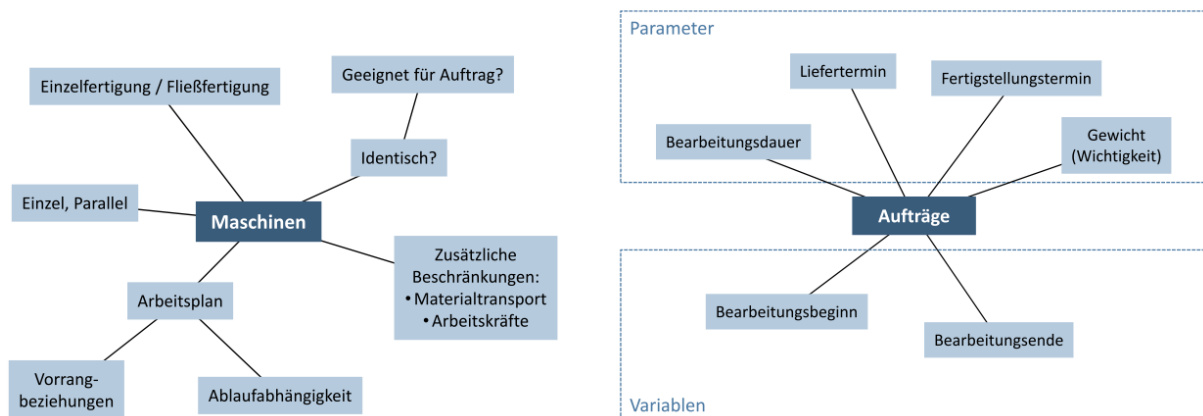
$$x_t, y_t \geq 0 \quad \forall t = 1, \dots, T$$

$$\gamma_t \in \{0; 1\} \quad \forall t = 1, \dots, T$$

## Reihenfolge- und Maschinenbelegungsplanung

Es ist die Grundlage für die Veranlassung der Produktionsprozesse

Die Entscheidung liegt in der stunden- oder minutengenauen Belegung der Maschinen mit Aufträgen.



## Zeitbasierte Leistungskenngrößen

**Durchlaufzeit** eines Auftrags  $i$ :  
( $F_i$ : Fertigstellungszeitpunkt Auftrag  $i$ )

$$W_i^S = F_i$$

**Produktionsdauer:**

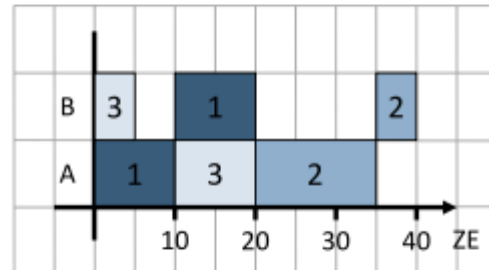
$$F_{\max} = \max\{F_1, \dots, F_n\}$$

**Durchsatz**

**Verspätung** von Auftrag  $i$ :  
( $l_i$ : Liefertermin Auftrag  $i$ )

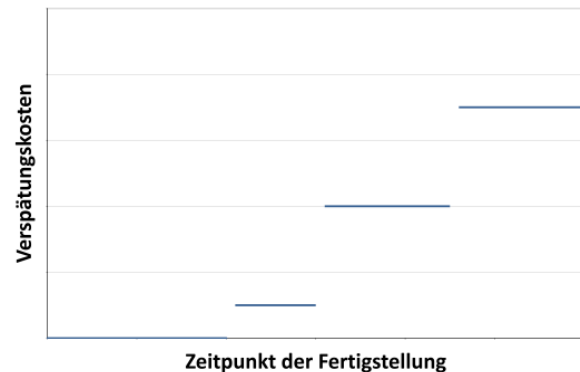
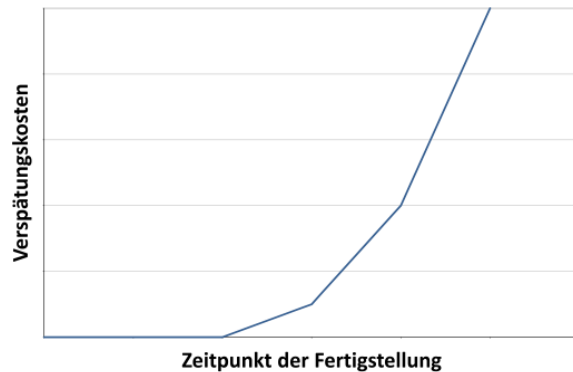
$$V_i = \max\{0, F_i - l_i\}$$

**Anzahl** verspäteter Aufträge



## Kostenbasierte Leistungskenngrößen

- Rüst- und Lagerkosten
- Kosten für Verspätung



## Kapazitätsorientierte Leistungskenngrößen

**Stillstandzeit** von Maschine  $j$ :

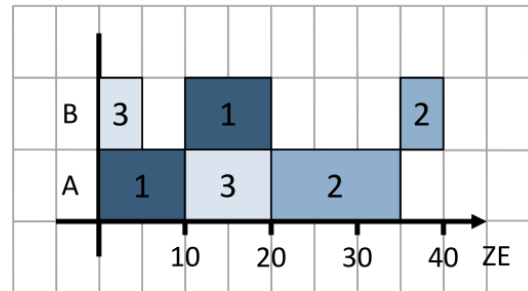
( $d_{ij}$ : Bearbeitungszeit von Auftrag  $i$  auf Maschine  $j$ )

$$S_j = F_{\max} - \sum_i d_{ij}$$

**Auslastung** von Maschine  $j$ :

Pusha T - King Push (Video Rip)

$$\rho_j = \frac{\sum_i d_{ij}}{F_{\max}}$$



## Prioritätsregeln

### Kürzestes Operationszeit-Regel (KOZ-Regel)

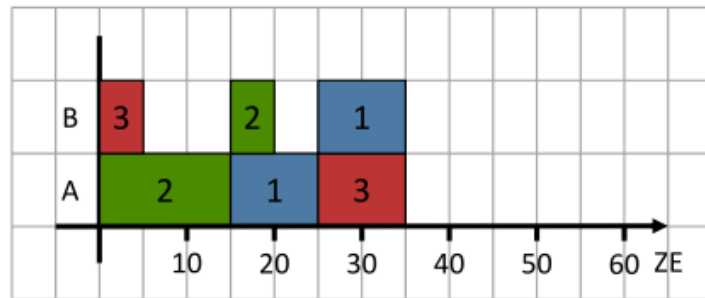
- Höchste Priorität bedeutet wartender Auftrag mit der kürzesten Bearbeitungszeit auf der Maschine
- Tendenziell sehr niedrige mittlere Durchlaufzeit
- Keine Berücksichtigung der Liefertermine

### Lieferterminregel (LT-Regel)

- Höchste Priorität bedeutet wartender Auftrag, dessen geplanter Fertigstellungstermin am nächsten liegt
- Tendenziell hohe Liefertermintreue
- Keine Berücksichtigung der Bearbeitungszeit

## Liefertermin-Regel (Beispiel)

Bearbeitungszeiten		
Auftrag	Arbeitsgang	
	1	2
1 (blau)	10	10
2 (grün)	15	5
3 (rot)	5	10



Maschinenfolgen		
Auftrag	Arbeitsgang	
	1	2
1 (blau)	A	B
2 (grün)	A	B
3 (rot)	B	A

Auftrag	Liefertermin (ZE)	Fertigstellung (ZE)	Verspätung (ZE)
1 (blau)	30	35	5
2 (grün)	25	20	0
3 (rot)	35	35	0

Bearbeitungszeiten		
Auftrag	Arbeitsgang	
	1	2
1 (blau)	10	10
2 (grün)	15	5
3 (rot)	5	10

Maschinenfolgen		
Auftrag	Arbeitsgang	
	1	2
1 (blau)	A	B
2 (grün)	A	B
3 (rot)	B	A

Zeit	Maschine A		Maschine B	
	wartend	zugeteilt	wartend	zugeteilt
0	1, 2	2 (bis 15)	3	3 (bis 5)
5	1, 3		-	-
15	1, 3	1 (bis 25)	2	2 (bis 20)
20	3		-	-
25	3	3 (bis 35)	1	1 (bis 35)
35	-	-	-	-

## Produktion HWS 2013 – Skript – Zusammenfassung (Teil 2)

### Logistik und Supply Chain Management

**Logistik** ist die Abstimmung von Angebot und Nachfrage. Hauptaufgabe im Operations Management ist die Wertschöpfung durch Abstimmung von Leistungsangebot auf Kundennachfrage.

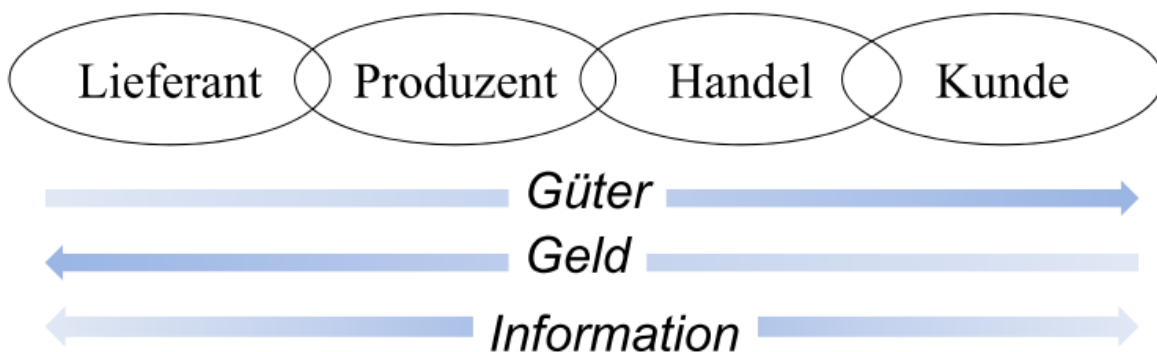
- Inhalt & Funktionalität = Produktion
- Raum (Transport) & Zeit (Bestände) = Logistik

**Supply Chain Management** bezeichnet den Aufbau und die Verwaltung integrierter Logistikketten (Material- und Informationsflüsse) über den gesamten Wertschöpfungsprozess, ausgehend von der Rohstoffgewinnung über die Veredelungsstufen bis hin zum Endverbraucher. Supply Chain Management beschreibt somit die aktive Gestaltung aller Prozesse, um Kunden oder Märkte wirtschaftlich mit Produkten, Gütern und Dienstleistungen zu versorgen.

**Kernbausteine** sind Logistik und Operations Management sowie **Produktions- und Distributionsprozesse für Sachgüter und Dienstleistungen**. Besonderer Fokus wird auf einen unternehmensübergreifenden Charakter der Supply Chain gelegt, d.h. Supply Chain besteht aus verschiedenen Akteuren.

### Supply Chain Ströme

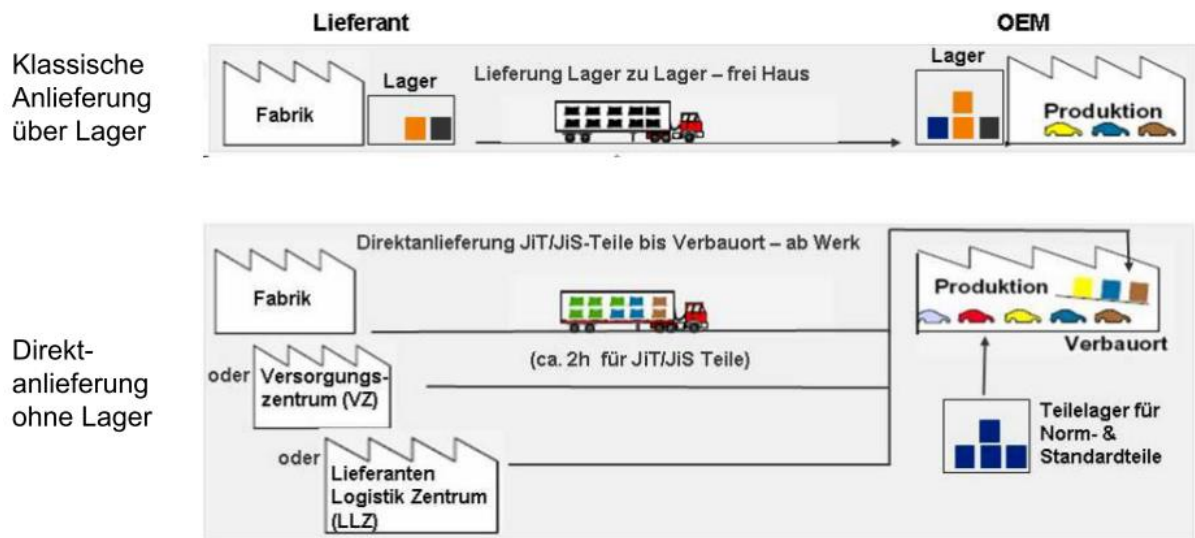
- Gesamtheit der Prozesse zur Erfüllung der Kundennachfrage
- Zusammenspiel von Güter, Informations- und Finanz-Strömen
- Verbindung zwischen mehreren Supply Chain Mitgliedern



**Operations als primäre Unternehmensfunktion:**

1. **Eingangslogistik**
2. **Produktion**
3. **Ausgangslogistik**
4. Marketing & Vertrieb
5. Kundenservice

## Beschaffungslogistik



## Produktionslogistik



## Distributionslogistik



**REWE**  
online

## Reverse Logistik

[Industries & solutions](#)
[Services](#)
[Products](#)
[Support & downloads](#)
[My IBM](#)

IBM Global Financing >

## IBM Global Asset Recovery Services

Pre-owned equipment, IT asset buyback and recycling  
Minimize costs, maximize return, optimize re-use

Affordably acquire quality IBM pre-owned equipment. Dispose of your IT equipment in a secure and environmentally compliant manner and minimize data disposal risk with IBM disk overwrite services. Realize the maximum residual cash value of your retired assets via our buyback services.

### IBM Certified Pre-owned Equipment

**99.6%**

Of all IT equipment and IT product waste returned to IBM at end of product lifecycle was either reused, remanufactured or recycled.

[See full infographic](#)

[Overview](#) [Buyback](#) [Disposal](#) [Additional services](#) [Why IBM](#)

In today's fast paced business environment with limited budgets you need to get the most out of your investments and be poised to seize new opportunities.

This is especially true of your IT infrastructure to be able to meet demands and support the business, without breaking the budget. Yet these challenges remain:

- cost effectively transitioning to newer technology to support business growth
- leveraging existing IT equipment to help fund new IT investments
- safely disposing of old equipment

**We're here to help**

Easy ways to get the answers you need.

[Have a rep call me](#)

or call us at  
**1-888-SHOP-IBM Option 2**

**IBM Global Asset Recovery Services**

IBM Global Asset Recovery Services

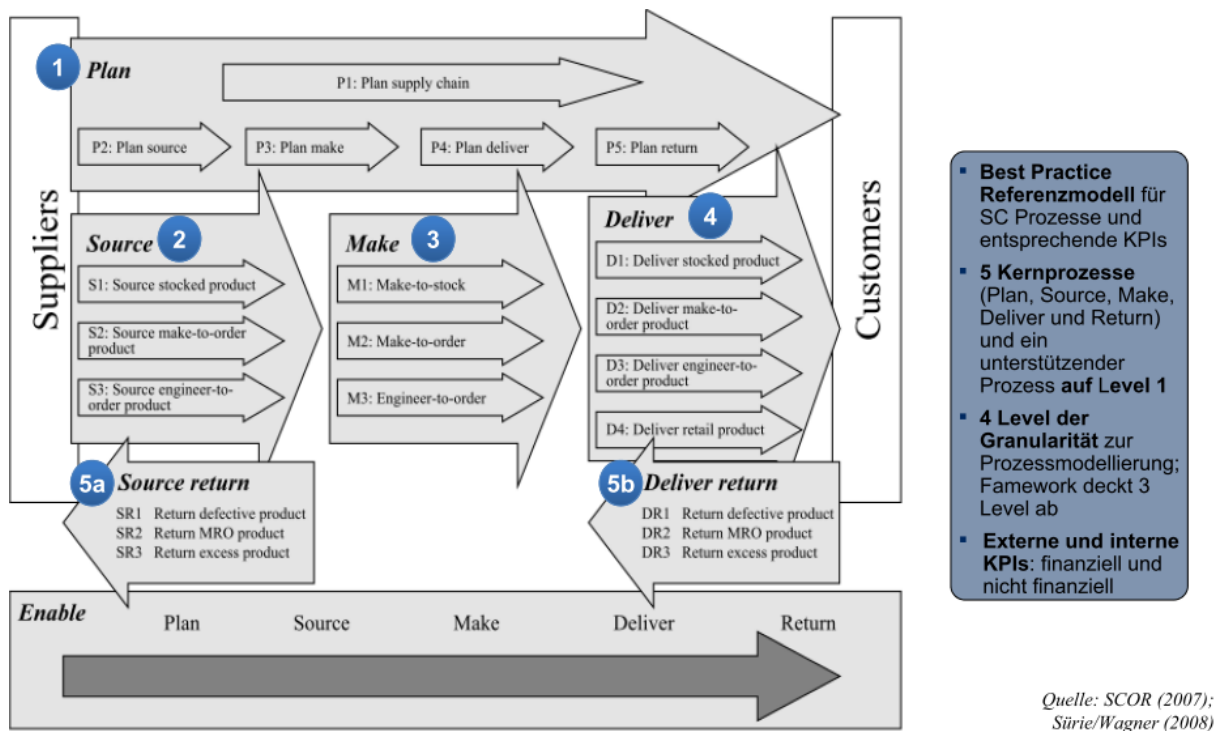
Watch a new video (1:48) that highlights the key role used equipment plays in a sustainable IT management strategy.

**IBM Certified Pre-owned Equipment**

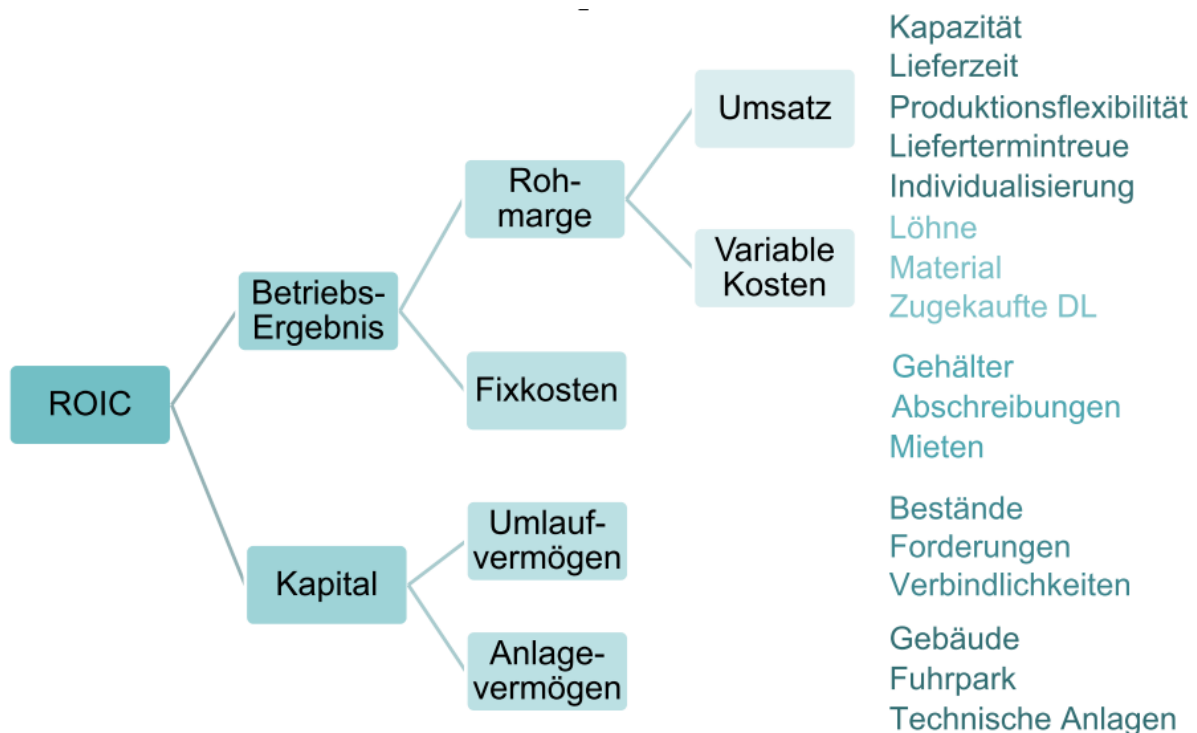
From notebooks and desktops to servers and peripherals, there's no better way to save on genuine IBM solutions.



## Das SCOR-Modell (Framework)



## Einfluss auf die Performance eines Unternehmens – Werttreiber Perspektive





## Supply Chain Management Ziele

**Strategische Ausrichtung:** Unternehmen konkurrieren anhand unterschiedlicher Produktmerkmale, d.h. diese erfordern unterschiedliche Kompetenzen in Operations. Verschiedene Kompetenzen hängen zusammen und erfordern Trade-off-Entscheidung.

SCM muss Prioritäten setzen

Funktionale Produkte	Innovative Produkte
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stabile, vorhersehbare Nachfrage</li> <li>• Geringes Risiko von Fehlbeständen oder Überbeständen</li> <li>• Fokus liegt auf der Kosteneffizienz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwankende Nachfrage, schwierig vorherzusagen</li> <li>• Fokus liegt auf der Abstimmung von Angebot und Kundennachfrage</li> <li>• Reaktionsfähigkeit</li> </ul>

	Funktionale Produkte	Innovative Produkte
Effiziente Supply Chain	😊	😞
Reaktionsfähige Supply Chain	😞	😊

## Reaktionsfähigkeit



## Operations Management Analyse

Viele relevante Performancekriterien im Operations Management lassen sich relativ gut quantifizieren, d.h. analytische Modelle sind effektive Hilfsmittel um die Wirkzusammenhänge der zugrundeliegenden Trade-offs besser zu verstehen und die richtige Balance zu finden (Optimierung).

Erreichen der strategischen Abstimmung

Wichtige Hebel zur Steuerung von Effizienz und Reaktionsfähigkeit einer Supply Chain sind:

- Wahl von Standorten und Anlagen
- Transportmanagement
- Bestandsmanagement
- Informationstechnologie

### Supply Chain Design: Transport

- Physische Güterbewegung
  - Strategische Entscheidungen:
    - Gestaltung des Transportnetzes
    - Transportmodalitäten
- ⇒ *Siehe Vorlesung 11*
- | <u>Effizienz</u>      | <u>Reaktionsfähigkeit:</u> |
|-----------------------|----------------------------|
| Langsam: Schiff, Bahn | Schnell: Kurier, Flugzeug  |
| Kundenaggregation     | Einzellieferung            |
| Konsolidierung        | Direkte Lieferung          |
| Feste Lieferfrequenz  | Flexible Liefertermine     |

### Supply Chain Design: Bestände

- Zeitliche Entkopplung von Angebot und Nachfrage
  - Verschiedene Funktionen von Beständen: Losgrößen, Sicherheitsbestände, Saisonbestände,...
  - Strategische Entscheidungen:
    - Entkopplungspunkte
    - Bestandsmengen
- ⇒ *Siehe Vorlesung 9+10*
- | <u>Effizienz</u>           | <u>Reaktionsfähigkeit:</u> |
|----------------------------|----------------------------|
| Losgrößen + Saisonbestände | Sicherheitsbestände        |
| zentrale Bestände          | kundennahe Bestände        |

### Supply Chain Design: Information

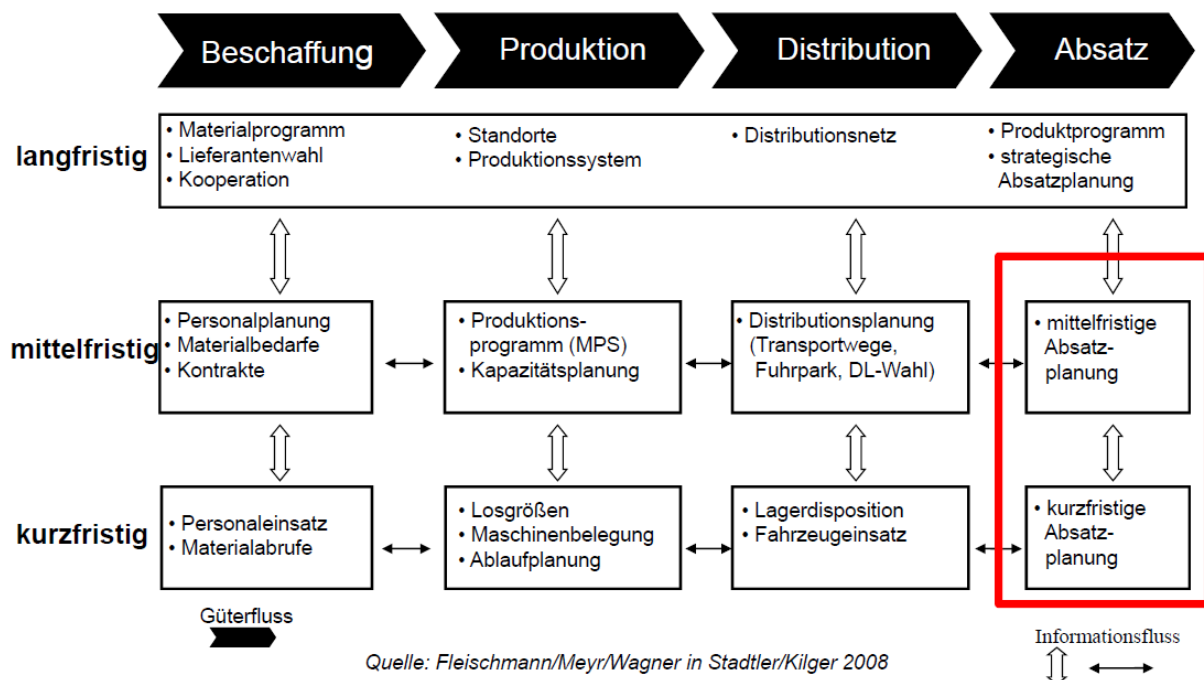
- Ermöglicht Koordination entlang der Supply Chain
- Strategische Entscheidungen:
  - Prognose vs. IST
  - Informationsaustausch
  - Technologien
- Auswirkung auf Supply Chain: Verschiebung der Effizienzlinie



## Supply Chain Planning Framework (Planungsaufgaben – 2 Dimensionen)

Supply Chain Stufe	Planungshorizont
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beschaffung</li> <li>• Produktion</li> <li>• Distribution</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Langfristige Entscheidungen – Supply Chain Design</li> <li>• Mittel- und kurzfristige Entscheidungen – Supply Chain Operations innerhalb eines gegebenen Supply Chain Design</li> </ul>

## Rückblick: Supply Chain Planning



- Supply Chain Management beschäftigt sich mit Aktivitäten, die darauf abzielen, die Kundennachfrage bestmöglich zu bedienen.
- Lagerung und Transport sind wesentliche logistische Funktionen.
- Unternehmen müssen ihr Supply Chain Design mit ihrer übergeordneten Geschäftsstrategie in Einklang bringen
- Bei funktionalen Produkten sollte der Fokus auf der Effizienz der Supply Chain liegen
- Bei innovativen Produkten sind entgangene Gewinne und das Verhalten von Produkten maßgeblich, d.h. der Fokus sollte auf der Reaktionsfähigkeit der Supply Chain liegen.
- Wichtige Ansatzpunkte zur Steuerung der Effizienz und Reaktionsfähigkeit einer Supply Chain sind Entscheidungen bezüglich Standort, Transport- und Bestandsmanagement.

## Nachfrageprognosen

Geschäftsentscheidungen erfordern meistens Annahmen über zukünftige Entwicklungen wie z.B. Investitionen, Finanzierung, Entwicklung neuer Produkte, Technologien etc., d.h. Prognosen sind wesentliche Entscheidungsgrundlagen.

### Probleme der Nachfrageprognose treten auf mehreren Planungsebenen auf:

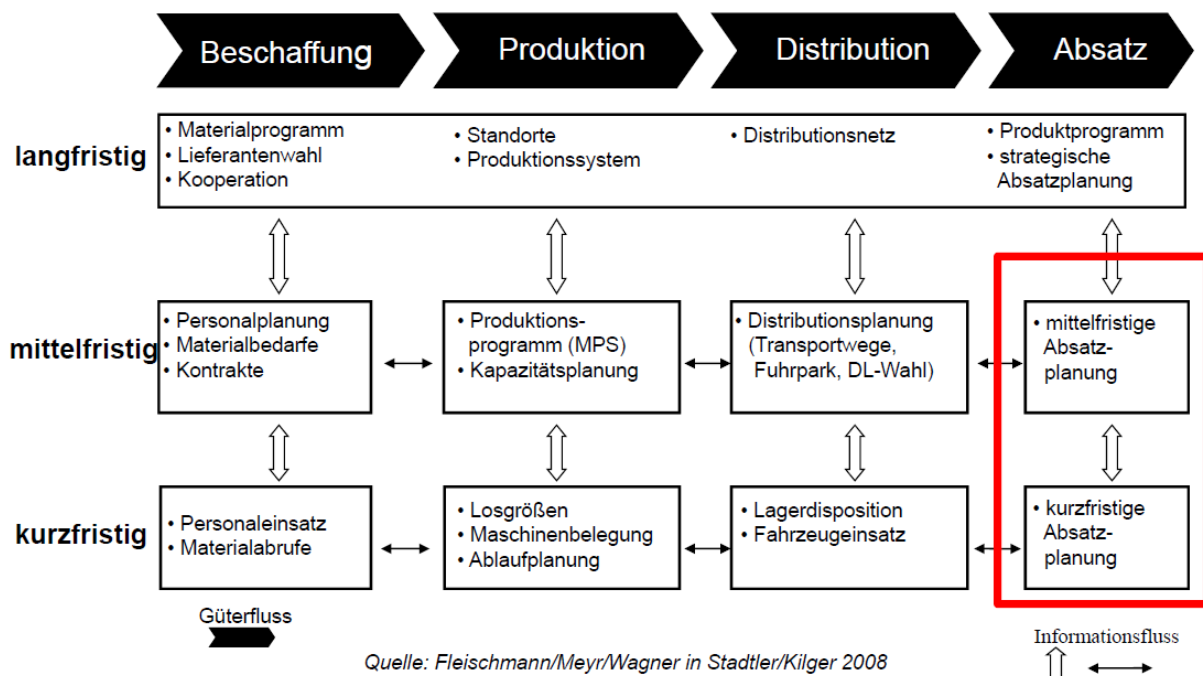
**Aggregierte mehrperiodige Nachfrageprognosen** für Produktgruppen werden als Vorstufe der Beschäftigungsglättung in enger Abstimmung mit dem Marketingbereich durchgeführt. Hier kommen Prognosemodelle zum Einsatz, mit denen die mittel- bis langfristige Entwicklung einer Zeitreihe vorhergesagt werden kann.

**Disaggregierte kurzfristige Prognosen** für einzelne Produkte werden vorwiegend zu Beginn der Hauptproduktionsprogrammplanung und im Bereich der stochastischen Materialbedarfsermittlung eingesetzt.

### Prognosen im Operations Management

Kurzfristig	Mittelfristig	Langfristig
Bestandsmanagement: Nachfrageprognosen Distribution: Nachfrageprognose	Personaleinsatzplanung: Prognose der Produktionsmenge Anlagenplanung: Prognose der Kapazitätsanforderung	Standortwahl: Prognose der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung Gestaltung Distributionsnetz: Prognose der Marktentwicklung

## Rückblick: Supply Chain Planning



## Prognoseverfahren

### Qualitative Methoden:

- Expertenschätzung
- Kundenbefragung

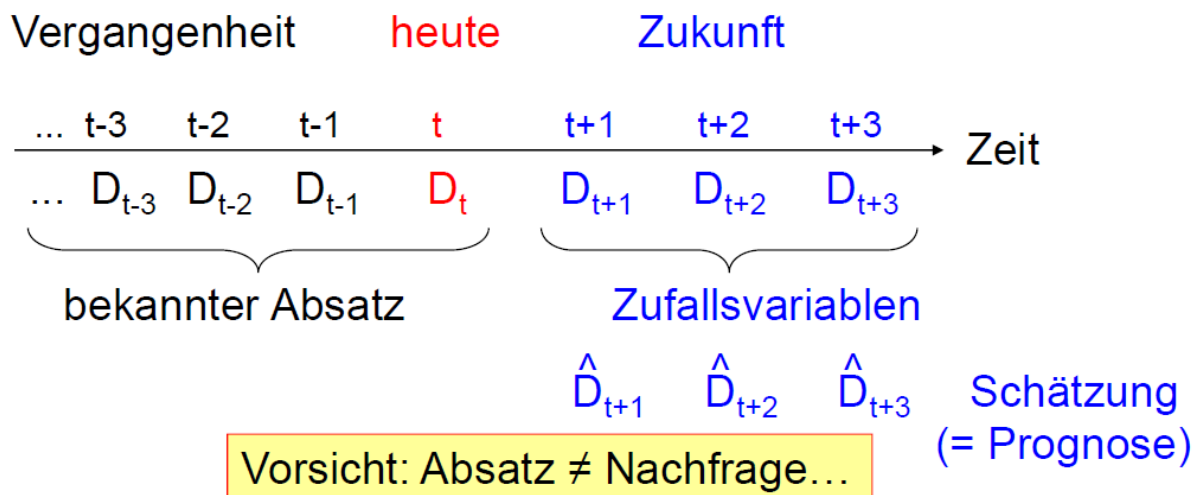
### Quantitative Methoden:

- Univariate Methoden (Zeitreihen historischer Daten)

### Zeitreihenanalyse (univariate Methode)

Ziel: kurz- bis mittelfristige Nachfrageprognose

Allgemeine Situation & Notation:



Wesentliche zugrundeliegende Annahmen der Zeitreihenanalyse sind die historischen Muster, welche für die zukünftigen Entwicklungen relevant sind. Jedoch sind diese nur dann geeignet, sofern die zugrundeliegende Nachfragestruktur unverändert bleibt, d.h. regelmäßige Überprüfung der Gültigkeit des Modells.

### Vorgehen:

1. Wahl eines geeigneten Prognosemodells
2. Schätzen der Modellparameter
3. Prognose (Extrapolation)
4. Ex-post Vergleich mit tatsächlicher Nachfrage

### Strukturelle Merkmale der Zeitreihe:

- Niveau
  - Trend
  - Saisonale Schwankungen
- ⇒ Trennung vorhersehbarer Muster von unsystematischen (zufälligen) Schwankungen.

Wahl eines geeigneten Modells:

strukturelle Merkmale + unerklärbarer („zufälliger“) Störterm

$$D_t = f(t) + \varepsilon_t, \text{ wobei } E[\varepsilon_t] = 0 \text{ und } \text{Var}[\varepsilon_t] = \sigma^2$$

Gängige Modelle:

1) Konstantes Modell

$$f(t) = a$$

2) Lineares Trendmodell

$$f(t) = a + bt$$

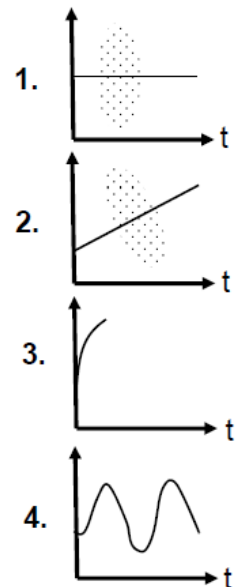
3) Nichtlineares Trendmodell

$f(t)$  nicht-linear (z.B. exponentiell,...)

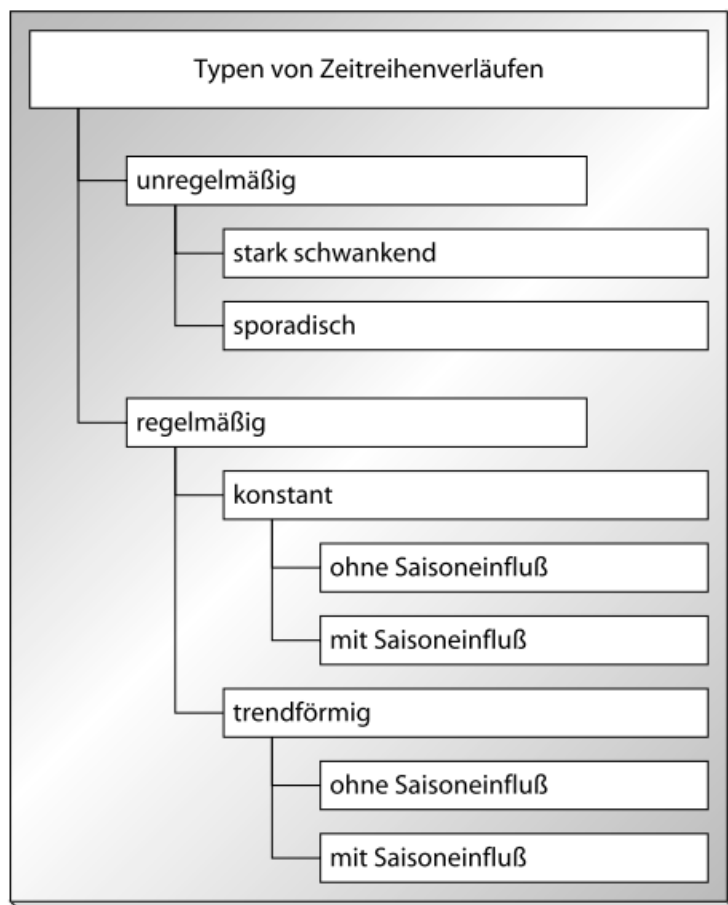
4) Saisoneinfluss

additiv:  $f(t) = a + bt + s(t)$

multiplikativ:  $f(t) = (a + bt) \cdot s(t)$



Typen von Zeitreihenverläufe



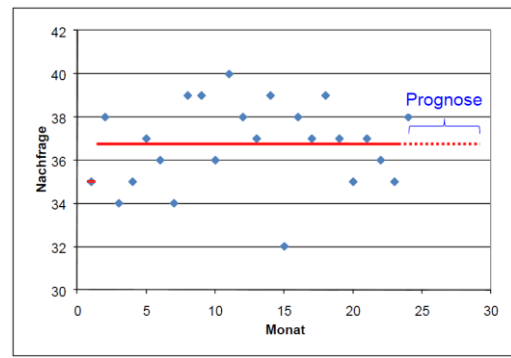
## Konstantes Niveau

- Modell:  $D_t = a + \varepsilon_t$
- Schätzen von  $\hat{a}$ , basierend auf  $D_1 \dots D_t$
- Prognose  $\hat{D}_{t+i} = \hat{a}$  ( $i = 1, 2, 3, \dots$ )

⇒ Schätzung von  $\hat{a}$  ?

⇒ Methode der kleinsten Quadrate (lineare Regression):

$$\hat{a} = \text{Mittelwert} = \frac{1}{t}(D_1 + \dots + D_t)$$



## Lineare Regression (Konstantes Niveau)

Bis wie weit in die Vergangenheit sind Daten zu berücksichtigen?

Nachteile bei der Berücksichtigung aller historischen Daten sind, dass das Modell sehr langsam auf Veränderungen reagiert und wie aussagekräftig sind diese Daten.

## Alternative sind adaptive Verfahren

1. Gleitende Durchschnitte
2. Exponentielle Glättung

## Gleitender Durchschnitt

Idee: Nur die letzten  $n$  Vergangenheitswerte werden in die Schätzung einbezogen.

$$\hat{D}_{t+i} = \hat{a} = \frac{1}{n} (D_t + \dots + D_{t-(n-1)}) \quad i=1, 2, \dots$$

- **Aktualisierung** bei Erhalt neuer Nachfragedaten:  
Streiche ältesten Wert, füge neuesten Wert hinzu
- **Wie ist  $n$  zu wählen?**
  - ⇒ Wahl von  $n$  bestimmt das „Gedächtnis“ des Verfahrens
  - ⇒ Effekt: Größeres  $n$  ⇒ stabilere Prognose
  - ⇒ Trade-off...?

Typische Werte für  $n$  liegen zwischen 3 – 12

Pro SKU müssen  $n$  historische Werte gespeichert werden

Einfacher gleitender Durchschnitt gewichtet  $n$  jüngste Perioden gleich, ältere Werte werden ignoriert

⇒ Alternativen:

- **gewichteter** gleitender Durchschnitt
- **exponentielle Glättung**



## Exponentielle Glättung

In Praxisanwendungen das am weitesten verbreitete Verfahren. Grundlage für viele komplexe Verfahren.

Die Idee ist die Aktualisierung der Prognose als gewichteter Mittelwert aus alter Prognose und neuer Nachfragerealisation und die Steuerung der Stärke der Aktualisierung.

### Berechnung:

- Neue Prognose = gewichteter Mittelwert aus *alter Prognose*  $\hat{D}_t$  und *neuer Nachfragerealisation*  $D_t$

- Formel:  $\hat{D}_{t+1} = \alpha D_t + (1-\alpha) \hat{D}_t$   
mit Glättungsfaktor  $\alpha \in (0;1)$

Resultat:  $\hat{D}_{t+1} = \hat{D}_t + \underbrace{\alpha(D_t - \hat{D}_t)}_{\text{Prognosefehler in } t}$

$$\hat{D}_{t+1} = \alpha D_t + (1-\alpha)\alpha D_{t-1} + (1-\alpha)^2 \alpha D_{t-2} + \dots + (1-\alpha)^n \alpha D_{t-n} + \dots$$

*Exponentiell abnehmende Gewichtung alter Nachfragewerte*

### Initialisierung:

- Initialisierung von  $\hat{D}_t$  basierend auf den ersten verfügbaren Datenpunkten, z.B. über deren Mittelwert
- Genaue Wahl der Initialisierung ist nicht ausschlaggebend, da deren Gewicht schnell abnimmt

### Wahl von $\alpha$ ?

- Sinnvoller Bereich:  $\alpha \in [0.05; 0.3]$
- $\alpha$  groß  $\Rightarrow$  starke Berücksichtigung neuer Werte, schnelle Anpassung an Änderungen, aber starke Reaktion auf unsystematische Ausreißer
- $\alpha$  klein  $\Rightarrow$  Glättung zufälliger Ausschläge

## Prognosegüte

- Wie lässt sich beurteilen, welches Verfahren für eine gegebene Situation am besten geeignet ist?

⇒ Nahe liegend: Welches Verfahren hätte in der Vergangenheit die besten Resultate geliefert?

⇒ Messung des *Prognosefehlers* in der Vergangenheit (nicht mit denselben Daten, die zur Schätzung der Modellparameter genutzt wurden)

⇒ **Achtung!** Ziel ist es, die Zukunft zu prognostizieren, nicht die Vergangenheit zu beschreiben...!

## Messung von Prognosefehlern

- **Prognosefehler** in Periode  $t = D_t - \hat{D}_t$

- **Fehlerkennzahlen:**

- Mittlere quadratische Abweichung (MSE):  $\sum_{t=1}^n (D_t - \hat{D}_t)^2 / n$

- Mittlere absolute Abweichung (MAD):  $\sum_{t=1}^n |D_t - \hat{D}_t| / n$

- Mittlere prozentuale Abweichung (MAPE):

$$100 \times \sum_{t=1}^n |(D_t - \hat{D}_t) / D_t| / n$$

- Für normalverteilte Prognosefehler:

$1.25 \times \text{MAD} = \text{geschätzte Std.abw. des Prognosefehlers}$

# Verwendung der Prognosegüte

## Ex post:

- Beurteilung und Vergleich von Prognoseverfahren
- Überprüfung des benutzten Zeitmodells

## Ex ante:

- Berechnung von Konfidenzintervallen für Prognosewert
- Bestimmung von Sicherheitsbeständen und -kapazitäten

Goldene Prognoseregeln: Jede Prognose ist falsch!

⇒ Bestimmung der Prognosegüte unerlässlich!

## Struktureller Prognosefehler

- Struktureller Prognosefehler = *systematische* Über- oder Unterschätzung
- Zur Erkennung solcher systematischen Abweichungen: Messung des **kumulativen Fehlers**

$$C_n = \sum_{t=1}^n (D_t - \hat{D}_t)$$

oder des **“Tracking Signal”**

$$C_n / \sqrt{MSE_n}$$

- Tracking Signal sollte um 0 schwanken, andernfalls ⇒ systematischer Fehler
- Systematischer Fehler weist auf ungeeignetes Modell hin

# Lineares Trendmodell

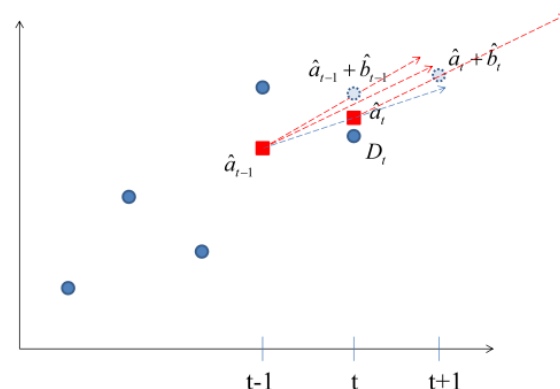
- Modell:  $D_t = a + b \times t + \varepsilon_t$
- Schätzungen für a und b
  - Ausgangsschätzung wieder mittels Regression
  - Aktualisierung mittels Modifizierung der Ansätze der gleitenden Mittelwerte und exponentiellen Glättung
- Prognose:  $\hat{D}_{t+i} = \hat{a} + \hat{b} \times i \quad (i = 1, 2, 3, \dots)$

## Doppelte Exponentielle Glättung

- Auch 'Holt's Method' genannt
- Wendet das Verfahren der Glättung auf ein lineares Trendmodell an:  $D_t = a + b \times t + \varepsilon_t$
- Aktualisierung der Schätzwerte für den Achsenabschnitt und die Steigung (Trendparameter):

$$\hat{a}_t = \alpha D_t + (1 - \alpha)(\hat{a}_{t-1} + \hat{b}_{t-1})$$

$$\hat{b}_t = \beta(\hat{a}_t - \hat{a}_{t-1}) + (1 - \beta)\hat{b}_{t-1}$$



# Planungsunsicherheit

- Zur Erinnerung: Jede Prognose ist falsch...
- Keine ausschließliche Nutzung der **Prognose**, sondern Einbeziehung von Informationen über **Prognosefehler** in der Planung:
  - Investieren in Datenbeschaffung
  - Explizite Berücksichtigung von Prognosefehlern:
    - Rollierende Planung
    - Nutzung von Pufferzeiten, Kapazitätsreserven, Sicherheitsbeständen,...
    - Schaffung von Flexibilität
    - Szenariobasierte Planung (Entscheidungsbäume)

## Bestandsmanagement

Bestand ist die zeitliche Entkopplung von Leistungsangebot und Kundennachfrage

Bei bedarfssynchroner Bereitstellung sind keine Bestände vorhanden.

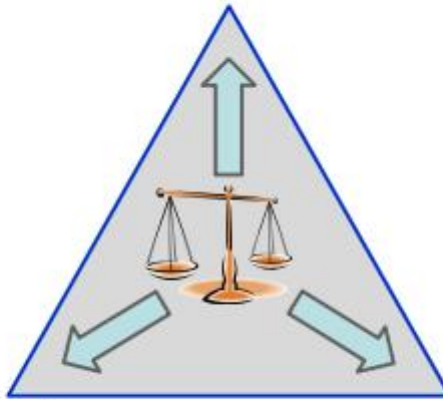
Zum Verständnis der Funktion von Beständen gilt es zu verstehen, warum Leistungsangebot und Kundennachfrage nicht vollständig synchronisiert werden.

Es gibt mehrere unterschiedliche Gründe dafür, Bestände zu halten. Um über die richtige Bestandsmenge in einer Supply Chain zu entscheiden, ist es wichtig, zunächst die Funktion des Bestands in dieser Supply Chain zu verstehen.

### Das Bestand-Kosten-Service-Dreieck

**Bereitstellungskosten:**

Synchronisierung von Angebot und Nachfrage



**Bestand:**  
Entkopplung von  
Angebot und  
Nachfrage

**Serviceeinbuße:**  
Kundennachfrage  
nicht erfüllt

## Bestandskennzahlen

Quantifizierung von Beständen:

- $\varnothing$  **Bestandshöhe** [ME]
- $\varnothing$  **Lagerumschlag** [1/ZE]  
= Jahresbedarf /  $\varnothing$  Bestand
- **Reichweite** [ZE]  
= 1 / Lagerumschlag  
=  $\varnothing$  Bestand / Jahresbedarf  
=  $\varnothing$  Lagerdauer

## Lagerhaltungskosten

Lagerkosten sind die für die Zeitüberbrückung von Lagergütern (Einsatzstoffe, Halb- und Fertigprodukte, Reserveanlagen etc.) anfallenden Kosten der Bereitstellung und Bereithaltung von Lagerkapazität und -betriebsbereitschaft sowie der Vor- und Nachbereitung und Durchführung des Lagerprozesses.

Lagerkosten sind zentrale Erfolgsvariable in vielen logistischen Entscheidungsproblemen (Losgrößenplanung, Realisierung von Logistikkonzeptionen, z.B. Just-in-Time-Produktion) mit entsprechend großer Bedeutung. In der Senkung der Lagerkosten wird ein wesentliches Rationalisierungspotenzial gesehen.

## Gründe für Entkopplung von Angebot und Nachfrage

Keine vollständige Synchronisation aufgrund von:

- Skaleneffekten auf Anbieterseite
- Nachfrageunsicherheit
- Saisonale Nachfrageschwankungen
- Erwarteter Preisanstieg
- Durchlaufzeit

## Bestandsarten – wichtige Funktionen von Lagerbeständen

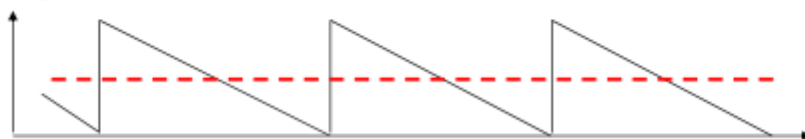
- Skaleneffekte ausnutzen (**Losgrößenbestand**) – siehe Grafik
  - Puffer gegen Unsicherheit (**Sicherheitsbestand**) – siehe Grafik
  - Produktionsglättung (**Saisonbestand**) – siehe Grafik
  - Absicherung gegen Preisanstieg (**Opportunitätsbestand**)
  - Produktions- und Distributionspipeline (**WIP**)
- ⇒ Trade-off zwischen Kosten und Nutzen von Beständen

# Losgrößenbestand

- *Treiber:* Skaleneffekte (degressive Stückkosten) bei der Bereitstellung

⇒ Produktion oder Transport

- Typischer Bestandsverlauf



- Beispiele: Batch Produktion, FTL Transport, fixe Bestellkosten...

# Sicherheitsbestand

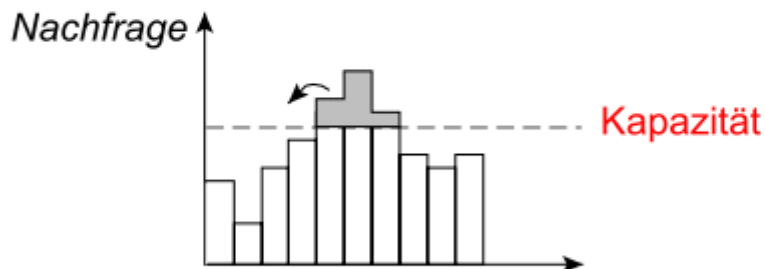
- Treiber: **Unsicherheit** in Nachfrage und Angebot + **Beschaffungslieferzeit** + akzeptable **Auslieferzeit**
- Typischer Bestandsverlauf:



- Beispiel: Handel, Produktion, Ersatzteile,...

# Saisonbestand

- Treiber: **Schwankende Nachfrage** + **beschränkte Kapazität**
- Typischer Bestandsverlauf:



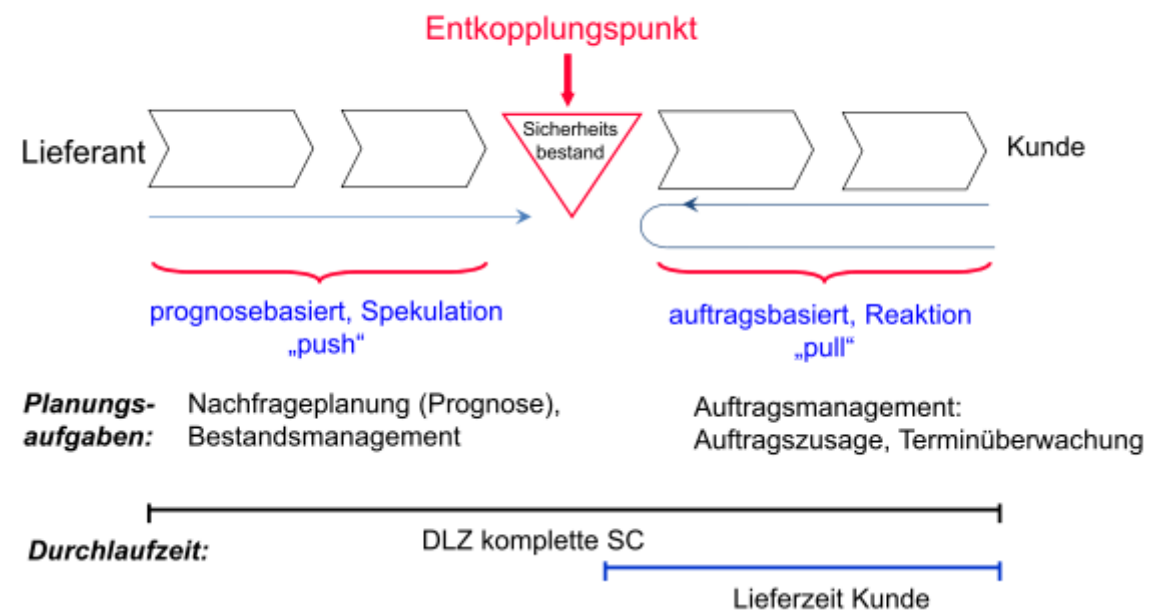
- Beispiel: Brauerei, Automobilproduktion, ...



# Der Entkopplungspunkt

- „Push-pull Grenze“
- Prozesse vor dem Entkopplungspunkt :
  - Prognosebasiert
  - Nicht an spezifischen Kundenauftrag gebunden
  - „Push“
- Prozesse nach dem Entkopplungspunkt :
  - Auftragsbasiert
  - Ausführung in Reaktion auf spezifischen Kundenauftrag
  - „Pull“
- Sicherheitsbestand am Entkopplungspunkt

## Entkopplungspunkt: Kundenauftrag



## Losgrößenplanung

**Grundproblem:** Produktion der Bedarfsmengen unmittelbar vor Bedarfszeitpunkt führt zu häufigem Rüsten.

**Rüsten** ist das Vorbereiten eines Arbeitssystems für Erfüllung der Arbeitsaufgaben

**Rüstzeit** ist für den Rüstvorgang notwendige Zeit

**Rüstkosten** sind Personal, Material- und Anlaufkosten

## Optimierung von Losgrößenbeständen

### EOQ-Modell

#### Klassisches Losgrößenmodell

##### 1. Ableitung bilden:

$$= -\frac{D_s}{q^2} + \frac{h}{2} \stackrel{!}{=} 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{h}{2} = \frac{D_s}{q^2}$$

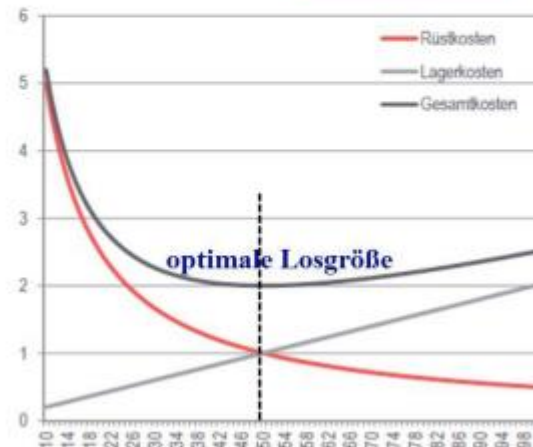
Bestimmung der optimalen Losgröße  $q$ :

- durchschnittliche Anzahl Rüstvorgänge je ZE:  $\frac{D}{q}$
- durchschnittlicher Lagerbestand:  $\frac{q}{2}$
- Kosten:  $C(q) = \frac{D}{q} \cdot s + \frac{q}{2} \cdot h$
- Minimierung:

$$C(q_{opt}) = \sqrt{2 \cdot D \cdot s \cdot h}$$

$$t_{opt} = \sqrt{\frac{2 \cdot s}{D \cdot h}}$$

$$\Rightarrow q^2 = \sqrt{\frac{D_s^2}{h}} \quad \Rightarrow \quad q = \sqrt{\frac{D_s}{h}}$$



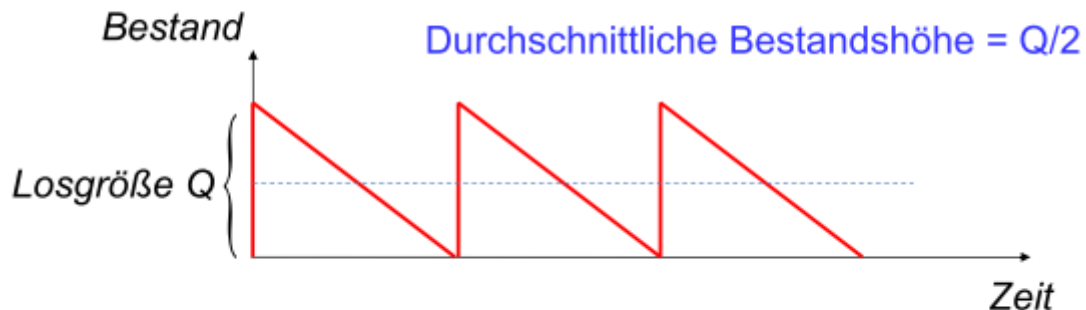
- am Optimum stimmen Rüst- und Lagerkosten überein

#### Annahmen:

- Einzelnes Produkt
- Konstante, deterministische Bedarfsrate
- Bestellfixe Kosten je Beschaffungsvorgang
- Konstante Beschaffungskosten
- Fehlmengen sind nicht zugelassen

# Bestandsverlauf EOQ-Modell

*Ansatz:* Bestellung der fixen Menge  $Q$  sobald kein Bestand mehr vorhanden ist



*Frage:*  
Optimale Wahl der Losgröße  $Q$  ?

## Das EOQ-Modell (Fortsetzung)

Notation:

- $Q$  = Losgröße (ME)
- $D$  = Bedarfsrate (ME/ZE)
- $C$  = variable Beschaffungskosten pro Stück (GE/ME)
- $h$  = Lagerhaltungskostensatz (GE/ME/ZE)
- $S$  = Bestellfixe Kosten je Beschaffungsvorgang (GE)

## Beispiel: Losgröße / Kosteneffekte

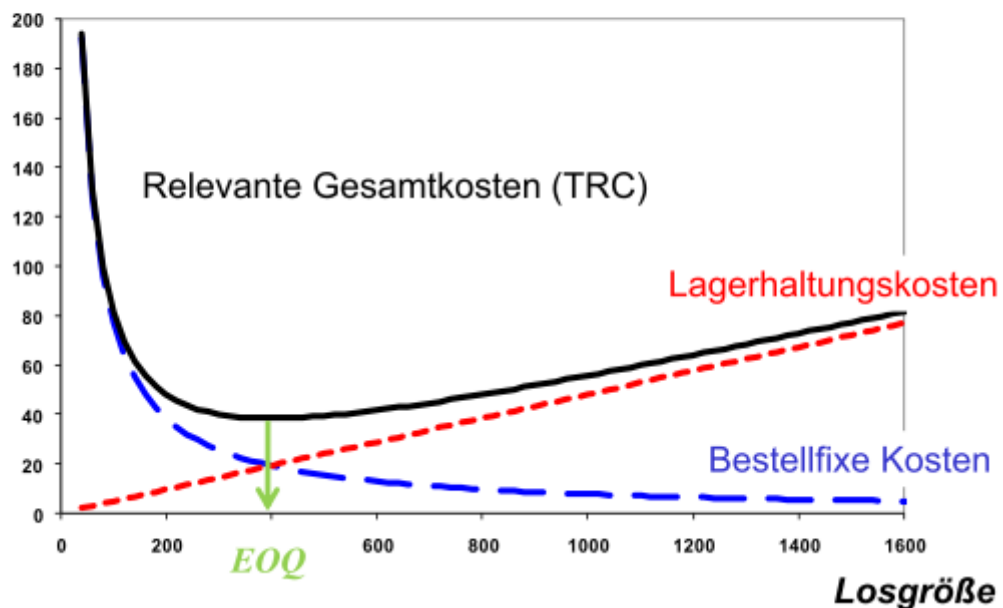
$D=2,400$   $C=0.4$   $h=24\%$   $S=3.2$

$Q$	ordering	holding	total
100	76.8	4.8	81.6
200	38.4	9.6	48.0
300	25.6	14.4	40.0
400	19.2	19.2	38.4
500	15.4	24.0	39.4
600	12.8	28.8	41.6
700	11.0	33.6	44.6
800	9.6	38.4	48.0

Wesentlicher Trade-Off: höheres  $Q$  reduziert Bestellhäufigkeit und damit die bestellfixen Kosten pro ZE, erhöht aber die Lagerhaltungskosten

# Beispiel: Losgröße / Kostenwirkung

Kosten / Zeit



## Die kostenminimale Losgröße (EOQ)

Zur Erinnerung:

$$TRC(Q) = D \cdot S / Q + h \cdot C \cdot Q / 2$$

⇒ 1. Ableitung:

$$TRC'(Q) = -D \cdot S / Q^2 + h \cdot C / 2$$

⇒ Optimale Losgröße :

$$TRC'(Q^*) = 0$$

$$\Rightarrow Q^* = \sqrt{\frac{2SD}{Ch}}$$

= “Economic Orders Quantity”

# EOQ - Beispiel

Ein Spielzeughersteller verbraucht jährlich ungefähr 24,000 Silikonstücke. Diese Stücke werden mit einer konstanten Bedarfsrate an 240 Arbeitstagen im Jahr verwendet. Die jährlichen Lagerhaltungskosten belaufen sich auf 0.6 GE pro Stück, und die bestellfixen Kosten betragen 28 GE.

- Welche Menge sollte der Hersteller bei jedem Beschaffungsvorgang bestellen?
- Wie häufig sollte bestellt werden?

## EOQ - Beispiel

- Anwenden der EOQ Formel:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2SD}{hC}} = \sqrt{\frac{2 \times 24,000 \times 28}{0.6}} = 1,497 \approx 1,500$$

- Bestellintervall (in Tagen)  
= Losgröße/ täglicher Bedarf  
=  $1,500 / (24,000 / 240) = 15$

# EOQ: Weitere Ergebnisse

Optimale Losgröße :

$$Q^* = \sqrt{\frac{2SD}{Ch}}$$

$$\Rightarrow \text{Optimale Bestellfrequenz: } n^* = D / Q^* = \sqrt{\frac{DhC}{2S}}$$

$$\Rightarrow \text{Minimale Kosten: } TRC(Q^*) = \sqrt{2DShC}$$

$$\Rightarrow \text{Minimale Kosten pro Stück: } TRC(Q^*) / D = \sqrt{2ShC / D}$$

## Interpretation: EOQ

### Gleichgewicht der Kosten:

Im Optimum gilt das die bestellfixe Kosten gleich der durchschnittlichen Lagerhaltungskosten entsprechen.

### Wurzeleffekt:

Bestände sollten nicht proportional zur Nachfrage skalieren. Vervierfachung der Nachfrage verdoppelt die optimale Losgröße.

### Reduktion der bestellfixen Kosten:

Reduktion der bestellfixen Kosten resultiert in geringeren Beständen und schnellerem Umlauf.

## Sensitivität: EOQ

Losgrößenformel (EOQ) ist sehr robust, d.h. kleine Abweichungen von der optimalen Losgröße resultieren in sehr begrenztem Kostenanstieg. Diese Robustheit ist ein wesentlicher Grund für die Popularität der EOQ-Formel in der Praxis.

## Kernpunkte

- ✓ Bestände haben verschiedene Funktionen in der Supply Chain
- ✓ Identifizierung der konkreten Funktion des Bestands ist entscheidend für adäquate Bestandsentscheidung
- ✓ Bestände erlauben die zeitliche Entkopplung von Leistungsangebot und Kundennachfrage
- ✓ Faktoren, die eine vollständige Synchronisation von Leistungsangebot und Kundennachfrage verhindern sind u. a. Skaleneffekte, Unsicherheit und Kapazitätsgrenzen
- ✓ Die richtige Bestandshöhe vorzuhalten erfordert einen sorgfältigen Trade-Off zwischen Kosten und Nutzen von Beständen
- ✓ Losgrößenbestand ist ein Mittel zur Nutzung von Skaleneffekten
- ✓ Das EOQ-Modell liefert elementare Ergebnisse für die Bestimmung von Losgrößenbeständen

