Operative Produktionsplanung und -steuerung („Prozessoptimierung“)

Struktureller Rahmen der operativen Produktionsplanung

- Markt- und Produktionsstrategien
- Standorte/Logistikstruktur
- Infrastruktur/Materialflusssysteme

$\Longrightarrow$ Schaffung von Leistungspotentialen/Aufbau von Kapazitäten

Gegenstand der operativen Produktionsplanung

- vom Kunden ausgehende Nachfrage
- vorhandener Bestand an Ressourcen

$\Longrightarrow$ Ausschöpfen der Leistungspotentiale/Nutzung der Kapazitäten

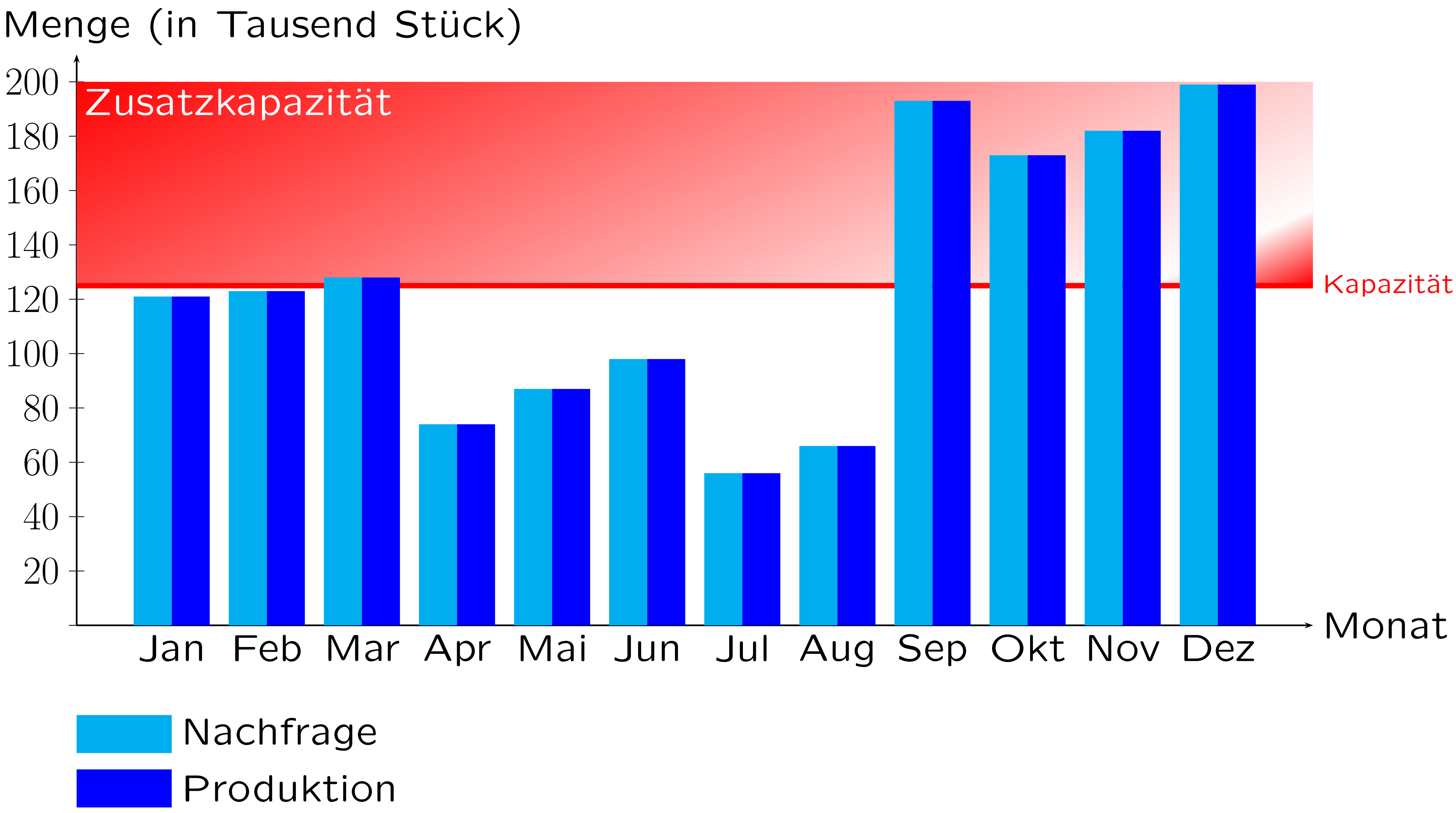
Produktionsprogrammplanung

Aggregierte Gesamtplanung – Supply Network Planning

- **Fokus** auf das gesamte Produktprogramm (in ausreichend aggregierter Form) und die jeweiligen Produktionsstätten mit ihren logistischen Verflechtungen
- unternehmensweite (standort- und funktionsübergreifende) **Koordination** der erlös- und kostenwirksamen Entscheidungen für einen mittelfristigen Zeitraum
- **Abstimmung** der Vorstellungen des Absatz-, Beschaffungs- und Personalbereichs mit den Möglichkeiten und Erfordernissen der Produktion und der Logistik
- **Berücksichtigung** von
  - langfristigen Marktrends, konjunkturellen Schwankungen, mittelfristigen Absatzprognosen
  - internen Ersatzkapazitäten
  - externen Beschaffungsmöglichkeiten
  - Beschäftigungsschwankungen, Arbeitszeitflexibilisierung

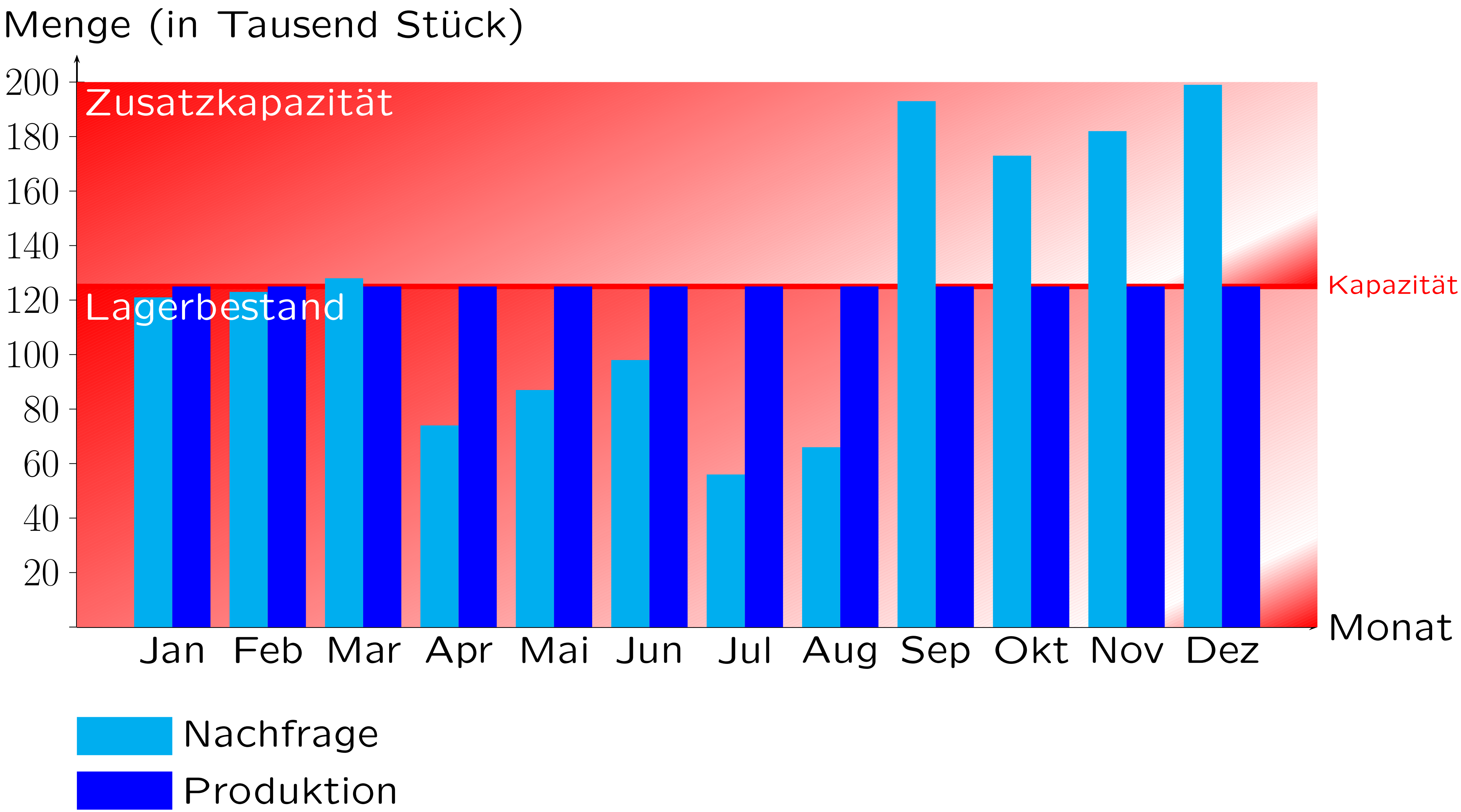
Synchronisation

(Günther/Tempelmeier (1991))



Emanzipation

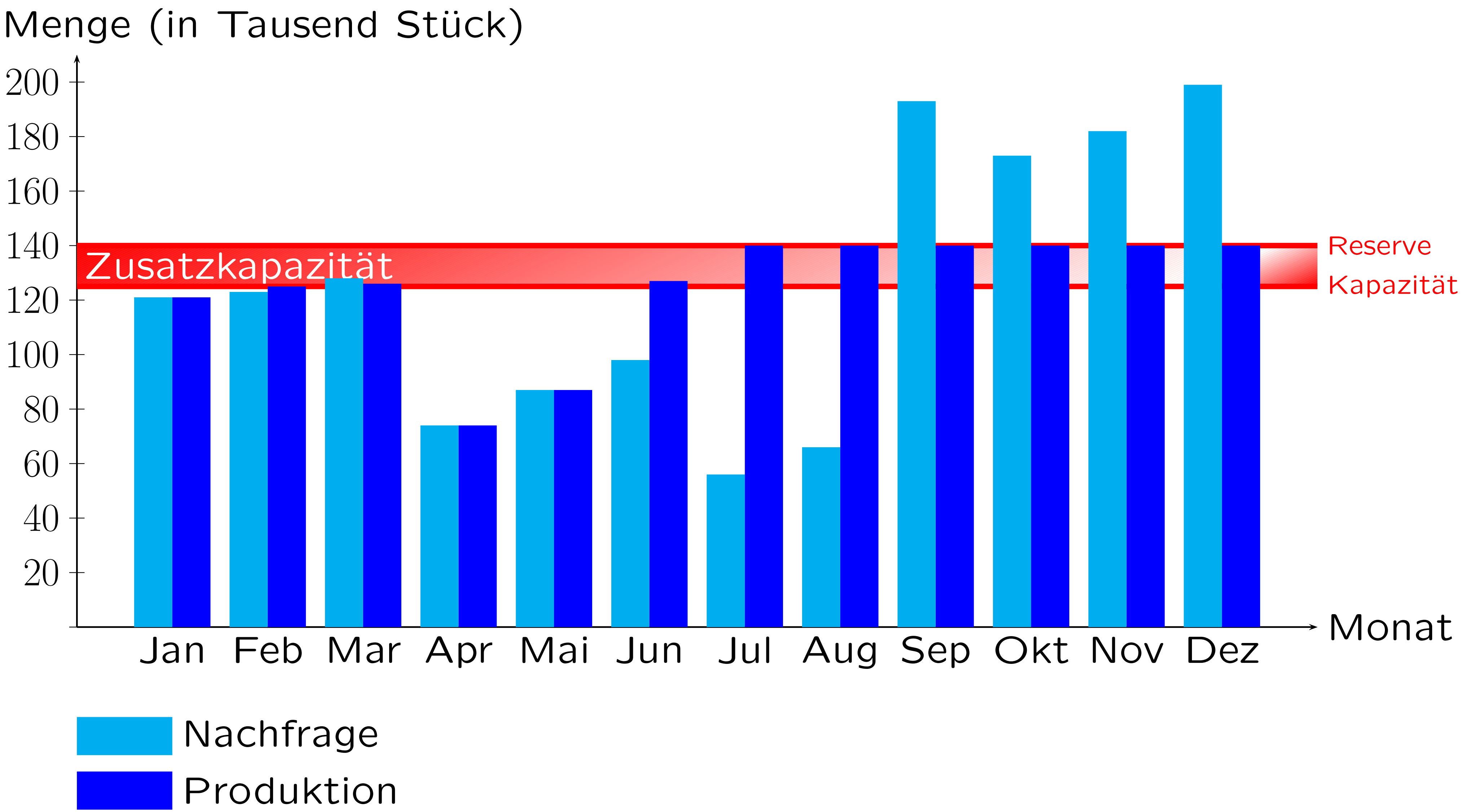
(Günther/Tempelmeier (1991))



MERCATOR School of Management

Optmimale Lösung

(Günther/Tempelmeier (1991))



Planungsproblem bei gegebenen Nachfrageschwankungen:

- Ziel:
  - kostenminimale Glättung der Kapazitätsnutzung im Zeitablauf (= „**Beschäftigungsglättung**“)
  - Aufstellen produktionsstättenbezogener Produktionsprogramme
- Entscheidungsvariable (primär): Produktionsmengen, Transportmengen, Beschaffungsmengen
- weitere Maßnahmen (sekundäre Entscheidungsvariable):
  - Verteilung der Produktionsmengen auf verschiedene Standorte
  - saisonbedingte Überstunden, Sonderschichten, Freischichten, Betriebsferien, Kurzarbeit
  - Stillegung von Betriebseinheiten, Personalbestandsanpassung
  - Fremdvergabe von Aufträgen, Lohnfertigung
- weitere Variablen: Lagerbestände, Fehlmengen

Planungsproblem in einer **funktionsübergreifenden** Perspektive:

- Einsatz des absatzpolitischen Instrumentariums zur **Steuerung der Nachfrage** (Anheizen in schwachen Perioden, Drosselung in nachfragestarken Perioden, Verlagerung von Nachfragemengen)
- **Portfoliobildung** durch Produktpolitik

Ein Grundmodell zur Beschäftigungsglättung

Annahmen:

- 1 Fabrik
- mehrere (End-)Produktgruppen („Produkttypen“)
- Planungshorizont: T Perioden [Wochen/Monate/Quartale]
- produkt- und periodenspezifische Nachfragemengen

  (keine explizite Modellierung der Nachfrager; der Distributionsprozess bleibt daher außerhalb der Betrachtung)
- Zielfunktion: Lagerkosten, Überstundenkosten

Indexmengen:

- $\mathcal{K}$ ... die Menge der betrachteten Produkttypen

Variable:

- x_{kt} ... die Produktionsmenge für Produkt k in Periode t
- y_{kt} ... der Lagerbestand für Produkt k in Periode t
- U_t ... die einzuplandende Zusatzkapazität (Überstunden) in Periode t

Daten:

- d_{kt} ... die Nachfragemenge für Produkt k in Periode t
- a_k^{C} ... Produktionskoeffizient in bezug auf die technische Kapazität
- a_k^{N} ... Produktionskoeffizient in bezug auf die personelle Kapazität
- $b_t^{\mathrm{C}\max}$ ... die maximale technische Kapazität in Periode t
- $b_t^{\mathrm{N}\max}$ ... die maximale personelle Kapazität in Periode t
- $U_t^{\max}$ ... die maximale Zusatzkapazität in Periode t

Daten — Fortsetzung —:

- h_k ... der Lagerkostensatz für Produkt k
- u_t ... die Zusatzkapazitätskosten pro Kapazitätseinheit in Periode t

Minimiere $Z = \sum_{k\in\mathcal{K}} \sum_{t=1}^{T} h_k \cdot y_{kt} + \sum_{t=1}^{T} u_t \cdot U_t$

u. B. d. R.:

Anfangslagerbestand für Produkt k:

$$y_{k0} = y_k^{(0)} \qquad \text{für alle } k \in \mathcal{K}$$

Nachfrage für Produkt k in Periode t:

$$y_{k,t-1} + x_{kt} - y_{kt} = d_{kt} \qquad \text{für alle } k \in \mathcal{K} \text{ und } t = 1, 2, \ldots, T$$

Verfügbare technische Kapazität in Periode t:

$$\sum_{k\in\mathcal{K}} a_k^{\mathrm{C}} \cdot x_{kt} \le b_t^{\mathrm{Cmax}} \qquad \text{für alle } t = 1, 2, \ldots, T$$

Verfügbare personelle Kapazität in Periode t:

$$\sum_{k\in\mathcal{K}} a_k^{\mathrm{N}} \cdot x_{kt} - U_t \le b_t^{\mathrm{Nmax}} \qquad \text{für alle } t = 1, 2, \ldots, T$$

Maximale Zusatzkapazität in Periode t:

$$U_t \le U_t^{\max} \qquad \text{für alle } t = 1, 2, \ldots, T$$

Beispiel **2 Produkte, 4 Perioden**

produktspezifische Daten

Produkt $k =$	A	B
Lagerkostensatz h_k	4.0	4.0
Personalbedarf pro ME, a_k^{N}	1.0	0.5
technischer Kapazitätsbedarf pro ME, a_k^{C}	0.5	1.0
Anfangslagerbestand $y_k^{(0)}$	36	220

periodenspezifische Daten

Periode $t =$	1	2	3	4
Nachfragemenge Produkt A, $d_{\mathsf{A}t}$	100	90	110	100
Nachfragemenge Produkt B, $d_{\mathsf{B}t}$	200	190	210	200
Überstundenzuschlagssatz u_t	5	5	5	5
maximale personelle Kapazität $b_t^{\mathrm{N}\max}$	160	160	160	160
maximale Zusatzkapazität $U_t^{\max}$	100	100	100	100
maximale technische Kapazität $b_t^{\mathrm{C}\max}$	200	200	200	200

Hauptproduktions-
programmplanung

Hauptproduktionsprogrammplanung

- Ziele
  - kostenminimale Glättung der Kapazitätsnutzung im Zeitablauf
  - Festlegung und Koordinierung der dezentralen, mengen- und terminmäßig spezifizierten Produktionsprogramme für einen mittelfristigen Zeitraum
    (= „**Hauptproduktionsprogrammplanung**“)
- Entscheidungsvariablen
  - Produktionsmengen
  - Zusatzkapazität (Überstunden, Fremdvergabe von Aufträgen, ...)
  - Lagerbestände
- Daten
  - Nachfragemengen (Absatzprognosen, Kundenaufträge)
  - Kapazitäten

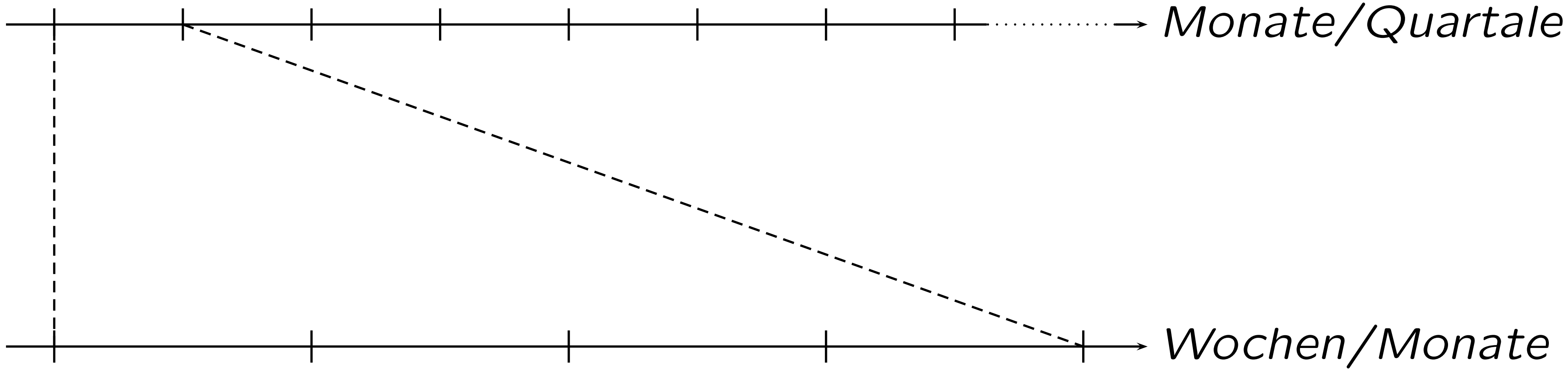
Aggregiert:

Markt-/Nachfrageprognosen

werksbezogene Kapazitätsdaten

Beschäftigungsglättung

mittelfristiges Produktionsprogramm in bezug auf Produkttypen



kurzfristiger Produktionsplan in bezug auf End-/Hauptprodukte

Detailliert:

Bedarfsprognosen/Kundenaufträge

segmentspezifische Kapazitätsdaten

Hauptproduktionsprogrammplanung

(vgl. Günther/Tempelmeier (2016))

Losgrößen- und Ressourceneinsatzplanung

Losgrößen- und Ressourceneinsatzplanung bei Werkstattproduktion

Losgrößenplanung

Ausgangspunkt:

- **Materialbedarfsplanung**
  Prognose oder Ableitung von terminierten Nettobedarfsmengen für die zu disponierenden Erzeugnisse

Planungsaufgabe:

- **Losgrößen- bzw. Bestellmengenplanung**
  Zusammenfassung von terminierten Nettobedarfsmengen für einzelne Erzeugnisse zu einem größeren Produktions- bzw. Beschaffungsauftrag (Los)
  - um Rüstvorgänge bzw. Einzelbestellungen einzusparen
    - Rüstkosten bzw. bestellfixe Kosten
    - Rüstzeiten
  - unter Inkaufnahme von Lagerkosten durch Vorausproduktion bzw. Vorablieferung

Daten:

- Bedarfsmenge d_t in Periode t
- durchschnittliche Bedarfsmenge $= \dfrac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} d_t =:$ Bedarfsrate D
- bestellfixe bzw. Rüstkosten s [GE pro Bestell-/Rüstvorgang]
- Lagerkostensatz h [GE pro Mengeneinheit und Zeiteinheit]

Entscheidungsvariable:

- Losgröße bzw. Bestellmenge q_t in Periode t
- Lagerbestand y_t am Ende von Periode t
- Produktions- bzw. Bestellzeitpunkte

Das klassische dynamische Einprodukt-Losgrößen- bzw. -Bestellmengenproblem (SIULSP)

Modell SIULSP

Was muss festgelegt werden:

... Soll für das betrachtete Erzeugnis in Periode t ein Los aufgelegt bzw. eine Bestellung aufgegeben werden ?

... Wieviel soll ggf. bestellt bzw. produziert werden ?

... Wieviel Lagerbestand ist damit verbunden ?

Modell SIULSP

Was muss festgelegt werden — Entscheidungsvariable:

$\gamma_t \in \{0,1\}$ ... Binärvariable zur Kennzeichnung, ob das betrachtete Erzeugnis in Periode t produziert bzw. bestellt wird

$$\gamma_t = \begin{cases} 1 & \text{, wenn ein Los aufgelegt bzw. bestellt wird} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

q_t ... Produktions-/Bestellmenge (Losgröße) in Periode t

y_t ... Lagerbestand am Ende von Periode t

Modell SIULSP

Was ist gegeben — Daten:

d_t ... vorgegebene Bedarfsmenge in Periode t

$y^{(0)}$ ... Anfangslagerbestand

s ... fixer Bestell- bzw. Rüstkostensatz

h ... Lagerkostensatz

M ... Hilfsgröße: eine große Zahl, die größer sein muss als die maximal mögliche Losgröße

Modell SIULSP

Minimiere die Summe aus fixen Bestell-/Rüstkosten und Lagerkosten

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

unter Beachtung von

Anfangslagerbestand

$$y_0 = y^{(0)}$$

Bedarfsdeckung in Periode t:

$$y_{t-1} + q_t - y_t = d_t \qquad \text{für alle } t = 1, 2, \ldots, T$$

Fixe Kosten: Es muss bestellt bzw. gerüstet werden, wenn $q_t > 0$ ist:

$$q_t - M \cdot \gamma_t \leq 0 \qquad \text{für alle } t = 1, 2, \ldots, T$$

Wertebereich

$$q_t \geq 0;\ y_t \geq 0;\ \gamma_t \in \{0, 1\} \qquad \text{für alle } t = 1, 2, \ldots, T$$

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN

MERCATOR School of Management

Heuristische Lösungsverfahren für das SIULSP

Beispiel **Dynamische Losgrößen- bzw. Bestellmengenplanung**

- $s = 250$, $h = 2$, Bedarfsmengen d_t: 100, 120, 80, 110, 80, 40

Auflageperiode τ	Bedarfsperiode t	Kostenkriterium $c_{\tau t}$	Vergleich $\overset{?}{\leq} c_{\tau,t-1}$
1	1	$\frac{250+2\cdot 0\cdot 100}{1} = 250$	
	2	$\frac{250+2\cdot(0\cdot 100+1\cdot 120)}{2} = 245$	ja
	3	$\frac{250+2\cdot(0\cdot 100+1\cdot 120+2\cdot 80)}{3} = 270$	nein
3	3	$\frac{250+2\cdot(0\cdot 80)}{1} = 250$	
	4	$\frac{250+2\cdot(0\cdot 80+1\cdot 110)}{2} = 235$	ja
	5	$\frac{250+2\cdot(0\cdot 80+1\cdot 110+2\cdot 80)}{3} = 263.\bar{3}$	nein
5	5	$\frac{250+2\cdot(0\cdot 80)}{1} = 250$	
	6	$\frac{250+2\cdot(0\cdot 80+1\cdot 40)}{2} = 165$	ja

Beispiel **Dynamische Losgrößen- bzw. Bestellmengenplanung**

- $s = 250$, $h = 2$, Bedarfsmengen d_t: 100, 120, 80, 110, 80, 40

Heuristische Lösung mit dem Silver-Meal-Verfahren:

- Bestellmengen:

$$q_1 = 220$$

$$q_3 = 190$$

$$q_5 = 120$$

- Gesamtkosten im Planungszeitraum:

$$Z = 3 \cdot 250 + 2 \cdot (1 \cdot 120 + 1 \cdot 110 + 1 \cdot 40) = 1290\,[\text{GE}]$$

Beispiel Dynamische Losgrößen- bzw. Bestellmengenplanung

- $s = 250$, $h = 2$, Bedarfsmengen d_t: 100, 120, 80, 110, 80, 40

Auflage-periode τ	Anzahl zusätzlicher Bedarfsperioden bis t $j = t - \tau$	Kostenkriterium $d_{\tau+j} \cdot j \cdot (j+1)$	Vergleichskriterium $\overset{?}{\leq} 2 \cdot \frac{s}{h} = 250$
1	$t = 1 \implies j = 0$	$100 \cdot 0 \cdot 1 = 0$	ja
	$t = 2 \implies j = 1$	$120 \cdot 1 \cdot 2 = 240$	ja
	$t = 3 \implies j = 2$	$80 \cdot 2 \cdot 3 = 480$	nein
3	$t = 3 \implies j = 0$	$80 \cdot 0 \cdot 1 = 0$	ja
	$t = 4 \implies j = 1$	$110 \cdot 1 \cdot 2 = 220$	ja
	$t = 5 \implies j = 2$	$80 \cdot 2 \cdot 3 = 480$	nein
5	$t = 5 \implies j = 0$	$80 \cdot 0 \cdot 1 = 0$	ja
	$t = 6 \implies j = 1$	$40 \cdot 1 \cdot 2 = 80$	ja

Bestellmengen: $q_1 = 220$; $q_3 = 190$; $q_5 = 120$

Gesamtkosten im Planungszeitraum:

$$Z = 3 \cdot 250 + 2 \cdot (1 \cdot 120 + 1 \cdot 110 + 1 \cdot 40) = 1290 \,[\text{GE}]$$

Heuristische Lösungsverfahren

- Silver-Meal-Verfahren
- Groff-Verfahren
- Verfahren der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße (Least-unit-costs-Verfahren)
- Stückperiodenausgleichsverfahren (Part-period-Verfahren)

Beispiel II **Dynamische Losgrößenplanung**

- Fixe Kosten pro Rüst- bzw. Bestellvorgang: $s = 100$
- Lagerkostensatz: $h = 4$
- Bedarfsmengen d_t

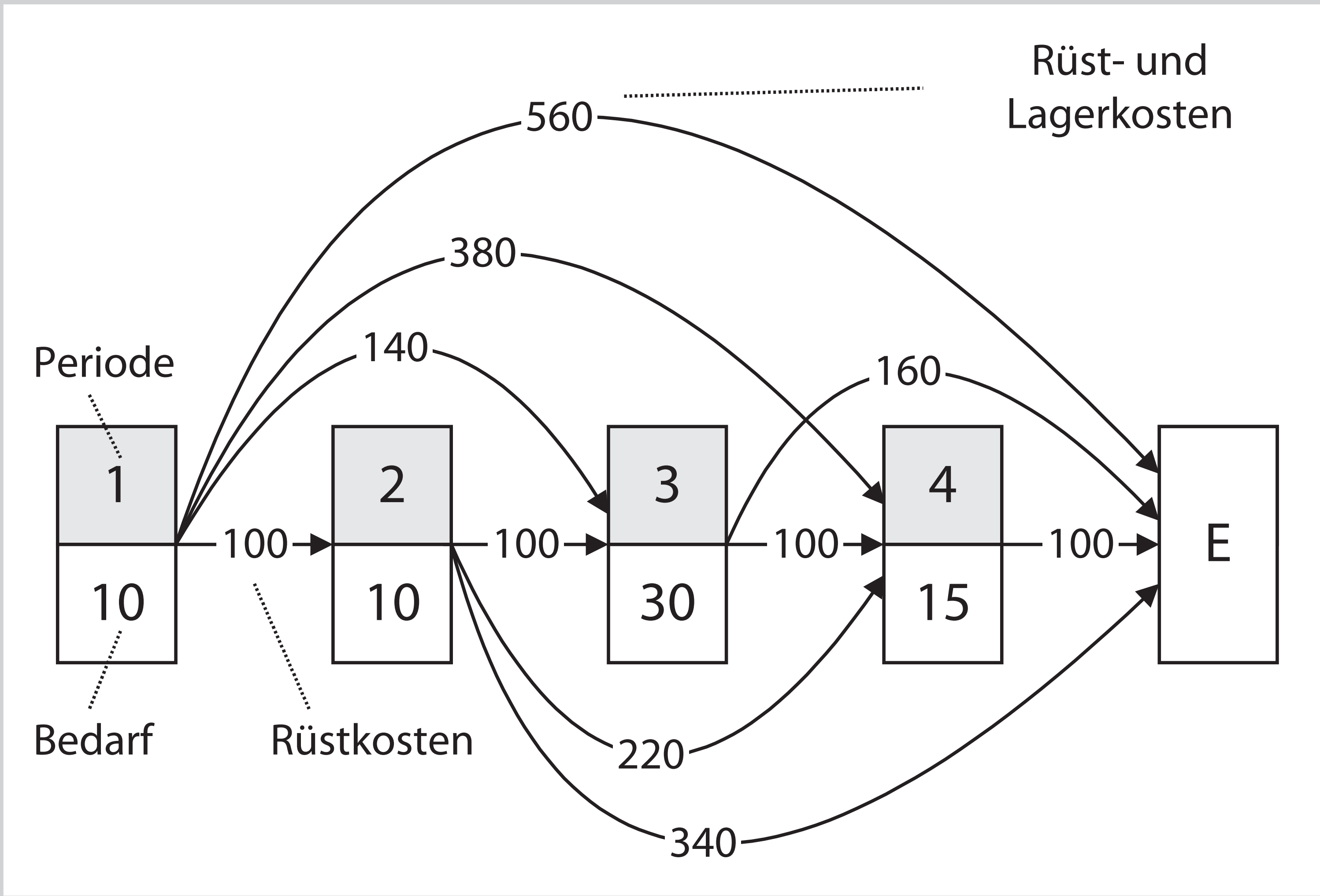
t	1	2	3	4
d_t	10	10	30	15

Ein exaktes Lösungsverfahren für das SIULSP auf Basis der dynamischen Optimierung

Interpretation als Kürzeste-Wege-Problem

- Transport von Produktionsmengen über die Zeit
- „Transportkosten“ $= 1 \cdot$ Rüstkosten $+$ anfallende Lagerkosten
- Standorte sind die einzelnen Perioden
  - Lieferstandort = Produktionsperiode
  - Abnehmerstandort = nächste Produktionsperiode

Interpretation als Kürzeste-Wege-Problem



(Quelle: Günther/Tempelmeier (2012))

Interpretation als Kürzeste-Wege-Problem

Gesamtkosten für den Weg von $t = 1$ bis zur Senke E

Folgeknoten		letzte Zwischenstation auf dem Weg nach t			
		$\tau = 1$	$\tau = 2$	$\tau = 3$	$\tau = 4$
$t = 2$	Weg	$1 \rightarrow 2$	–	–	–
	Kosten	100	–	–	–
	Summe	$\boxed{100}$	–	–	–
$t = 3$	Weg	$1 \rightarrow 3$	$1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$	–	–
	Kosten	140	$100 + 100$	–	–
	Summe	$\boxed{140}$	200	–	–
$t = 4$	Weg	$1 \rightarrow 4$	$1 \rightarrow 2 \rightarrow 4$	$1 \rightarrow 3 \rightarrow 4$	–
	Kosten	380	$100 + 220$	$140 + 100$	–
	Summe	380	320	$\boxed{240}$	–
$t = E$	Weg	$1 \rightarrow E$	$1 \rightarrow 2 \rightarrow E$	$1 \rightarrow 3 \rightarrow E$	$1 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow E$
	Kosten	560	$100 + 340$	$140 + 160$	$240 + 100$
	Summe	560	440	$\boxed{300}$	340

Optimale Lösung: $\underline{\gamma} = (1, 0, 1, 0)^{\mathbf{T}}$; $\underline{q} = (20, 0, 45, 0)^{\mathbf{T}}$