UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

MERCATOR
School of Management

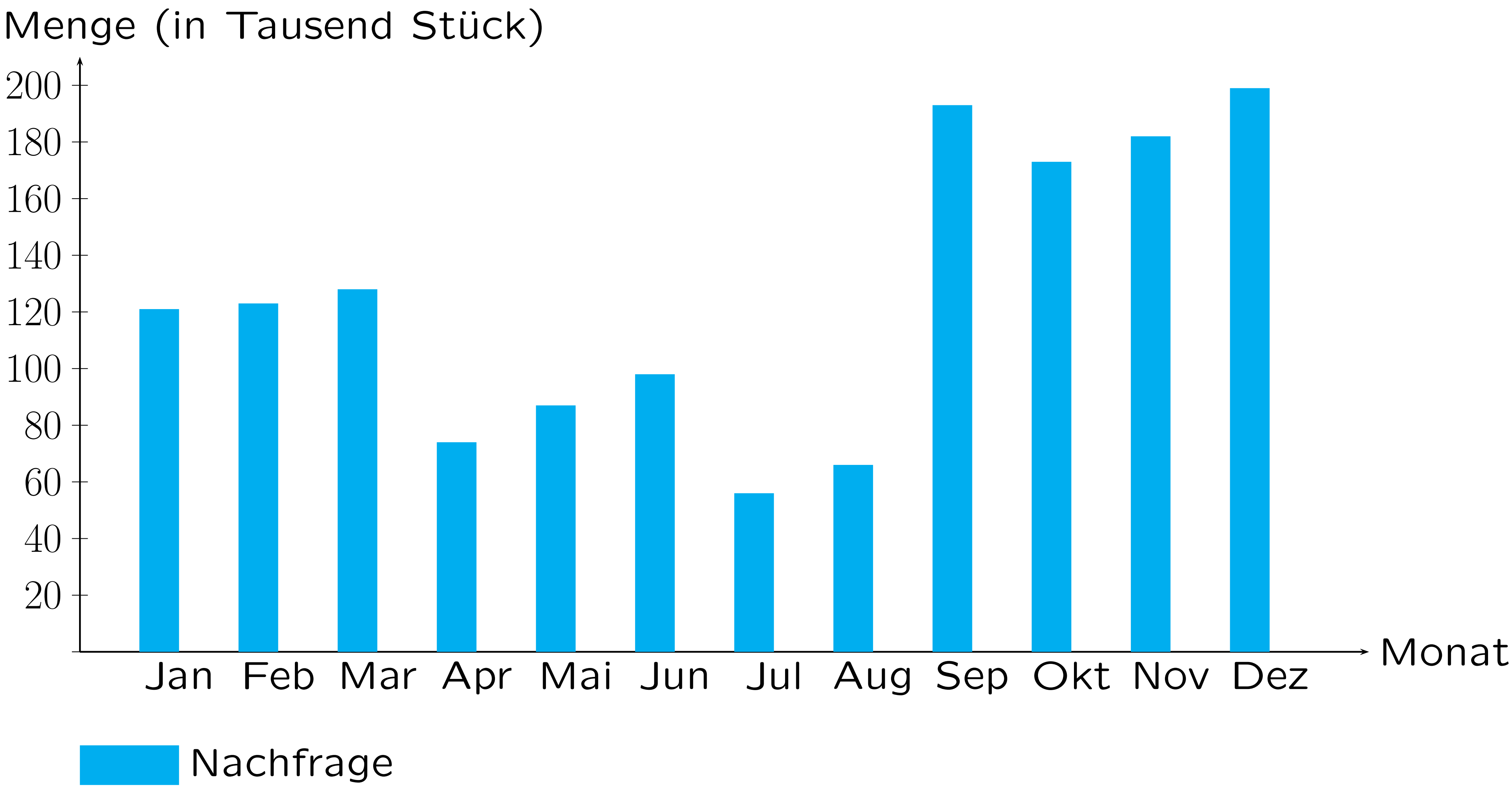
Produktionsprogrammplanung

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

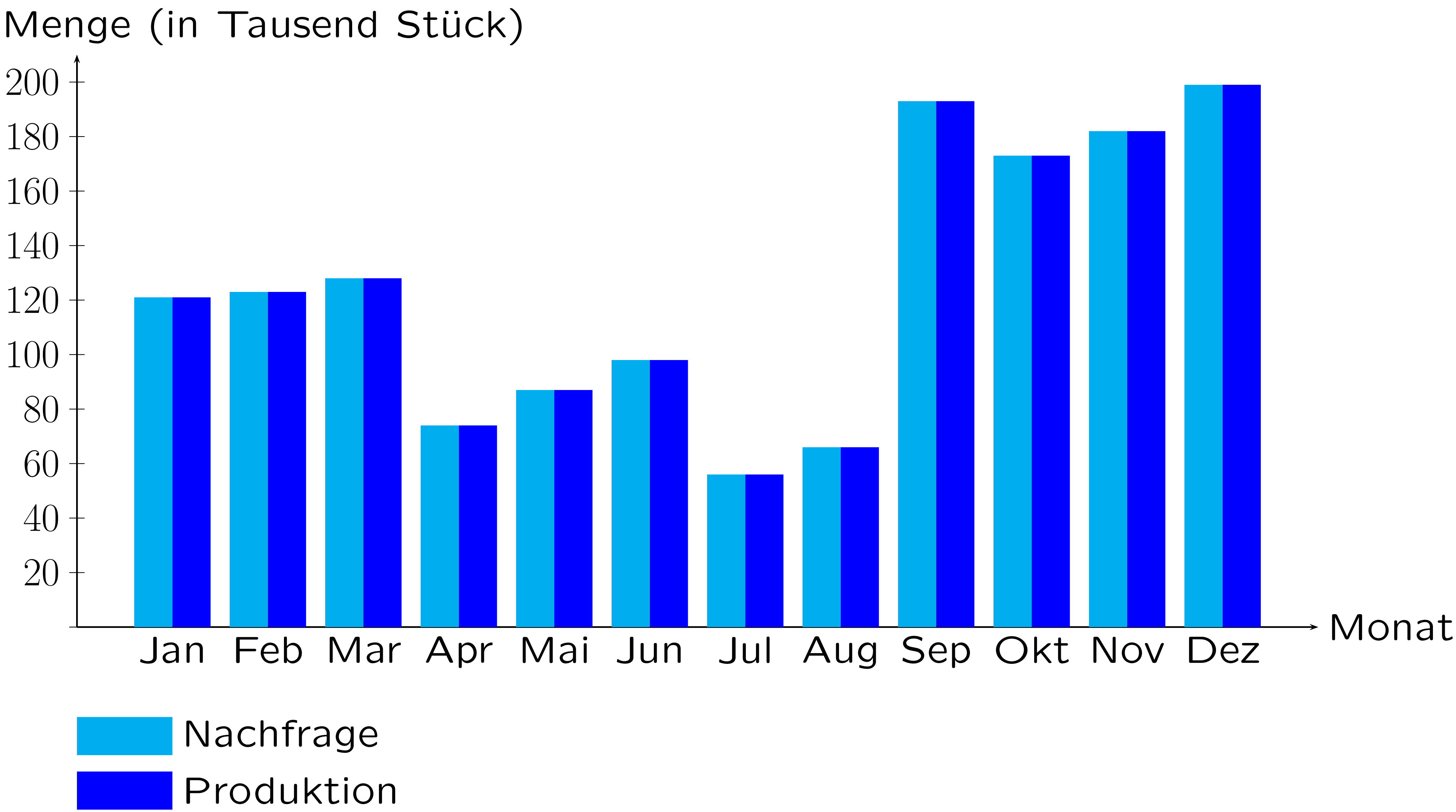
Synchronisation

(Günther/Tempelmeier (1991))



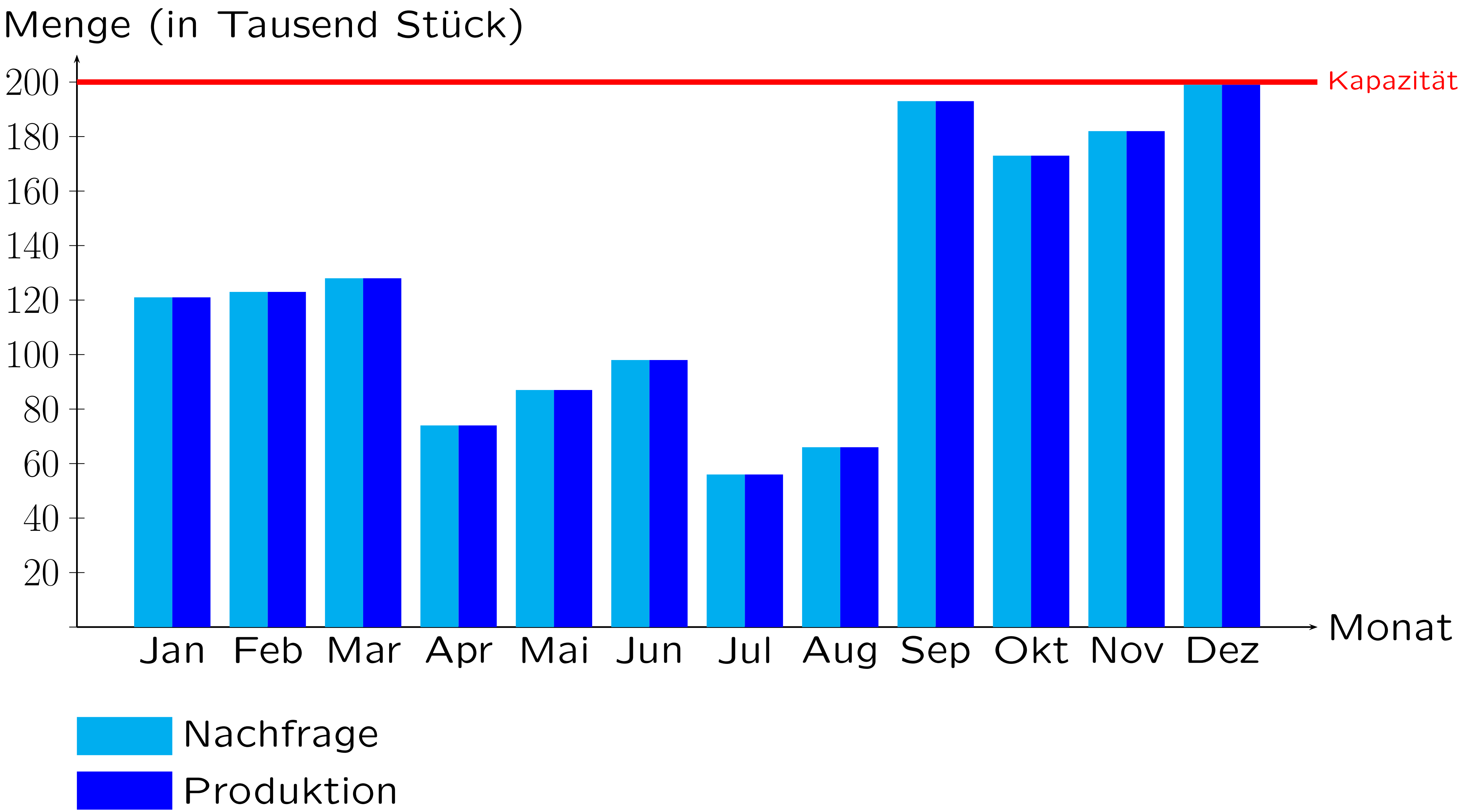
Synchronisation

(Günther/Tempelmeier (1991))



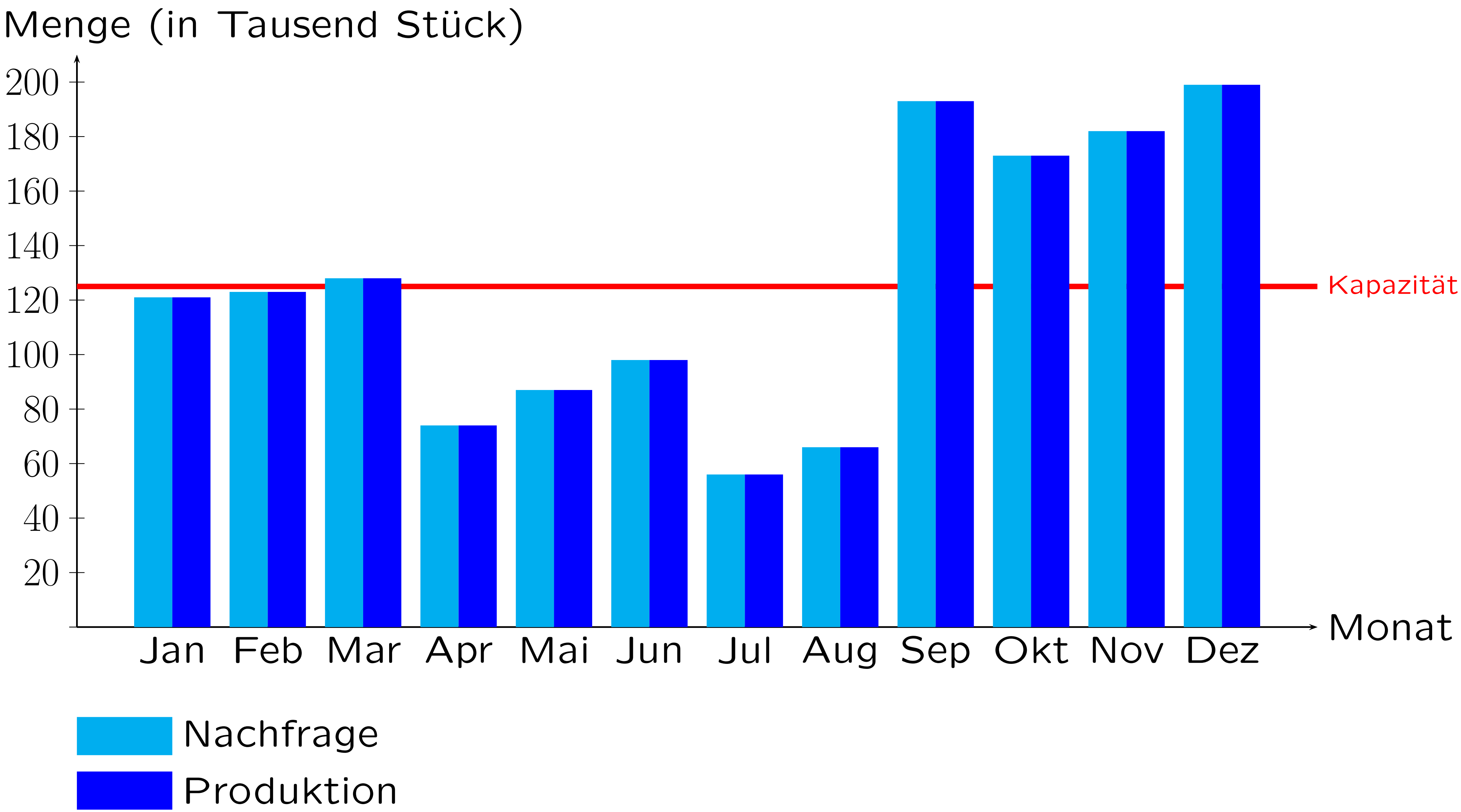
Synchronisation

(Günther/Tempelmeier (1991))



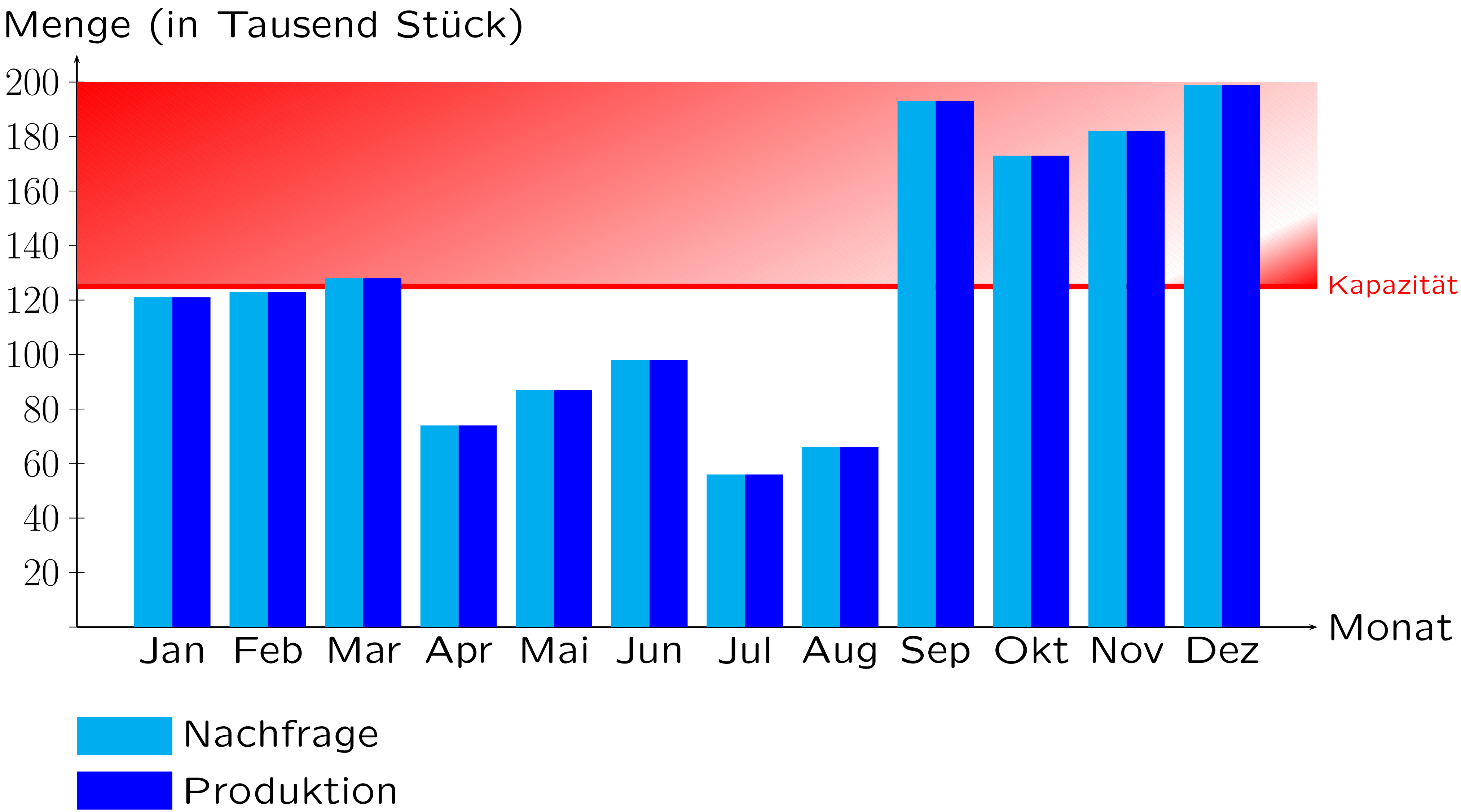
Synchronisation

(Günther/Tempelmeier (1991))



Synchronisation

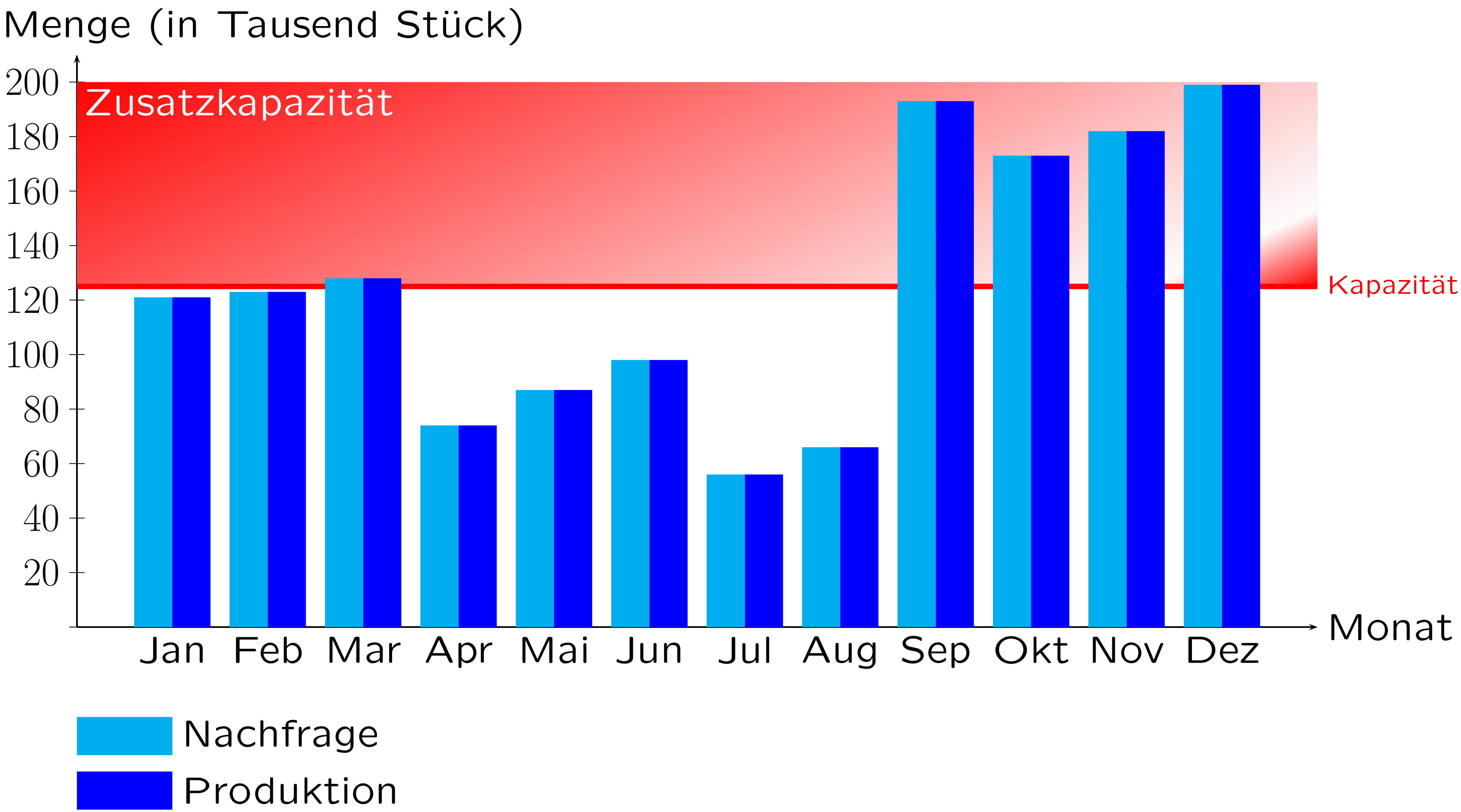
(Günther/Tempelmeier (1991))



MERCATOR School of Management

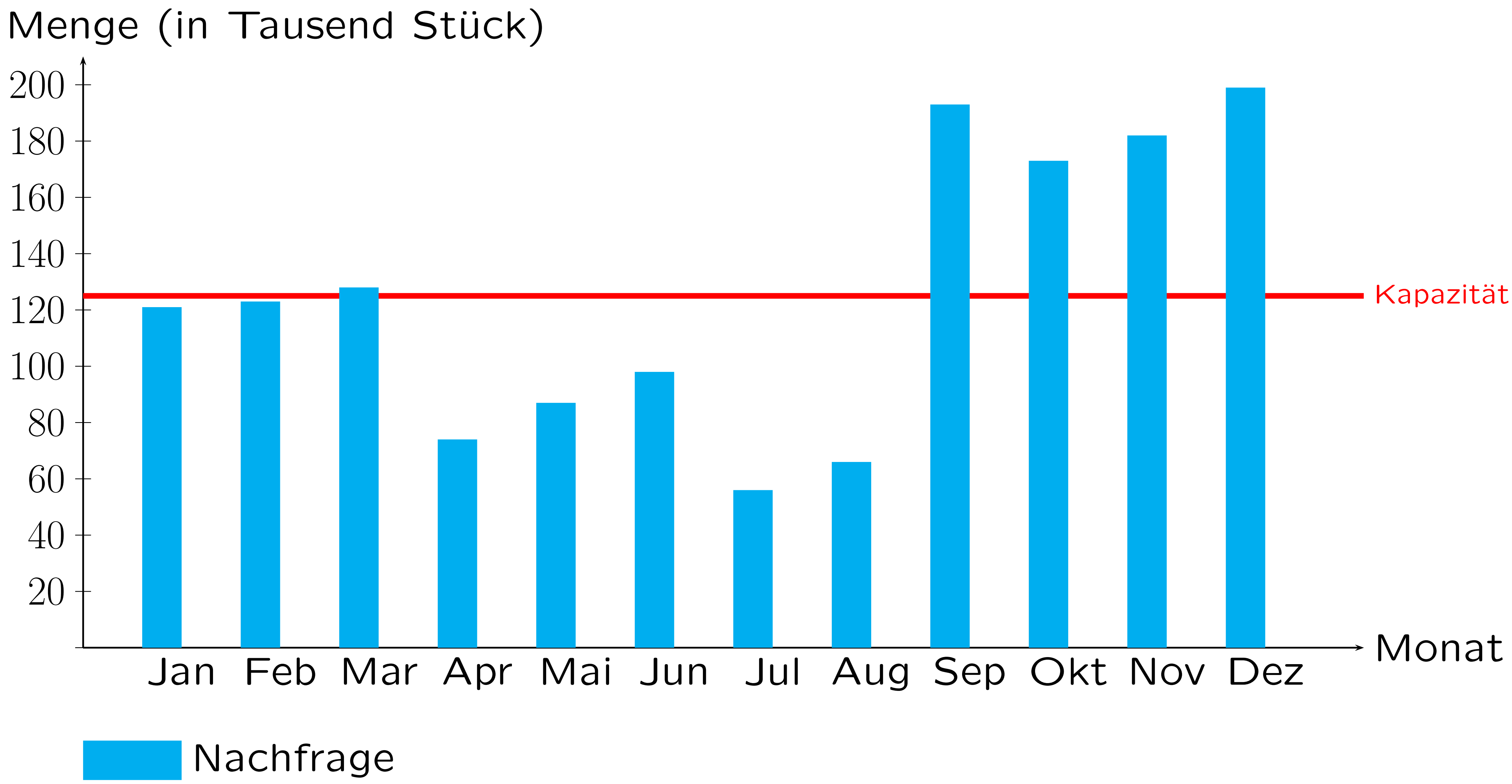
Synchronisation

(Günther/Tempelmeier (1991))



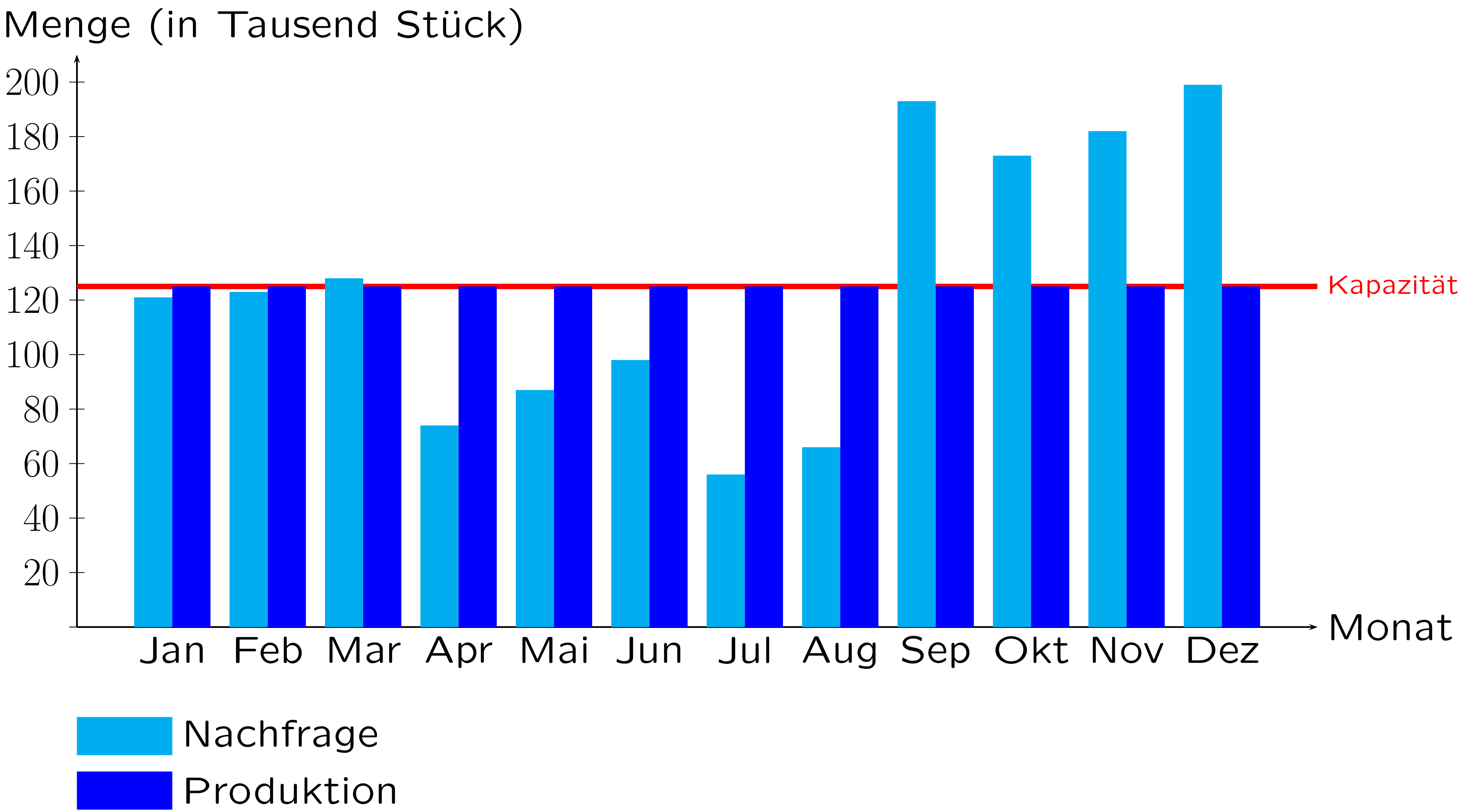
Emanzipation

(Günther/Tempelmeier (1991))



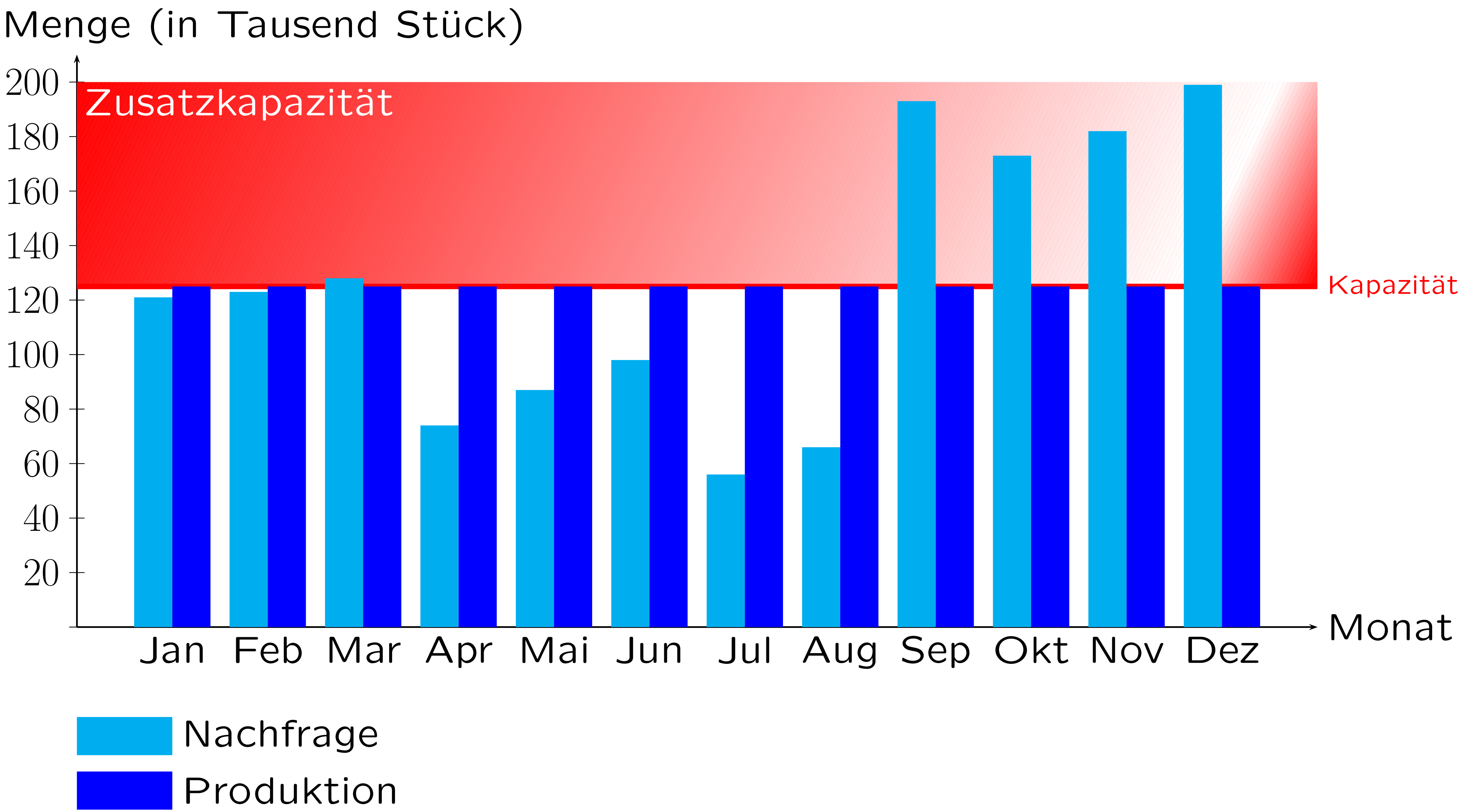
Emanzipation

(Günther/Tempelmeier (1991))



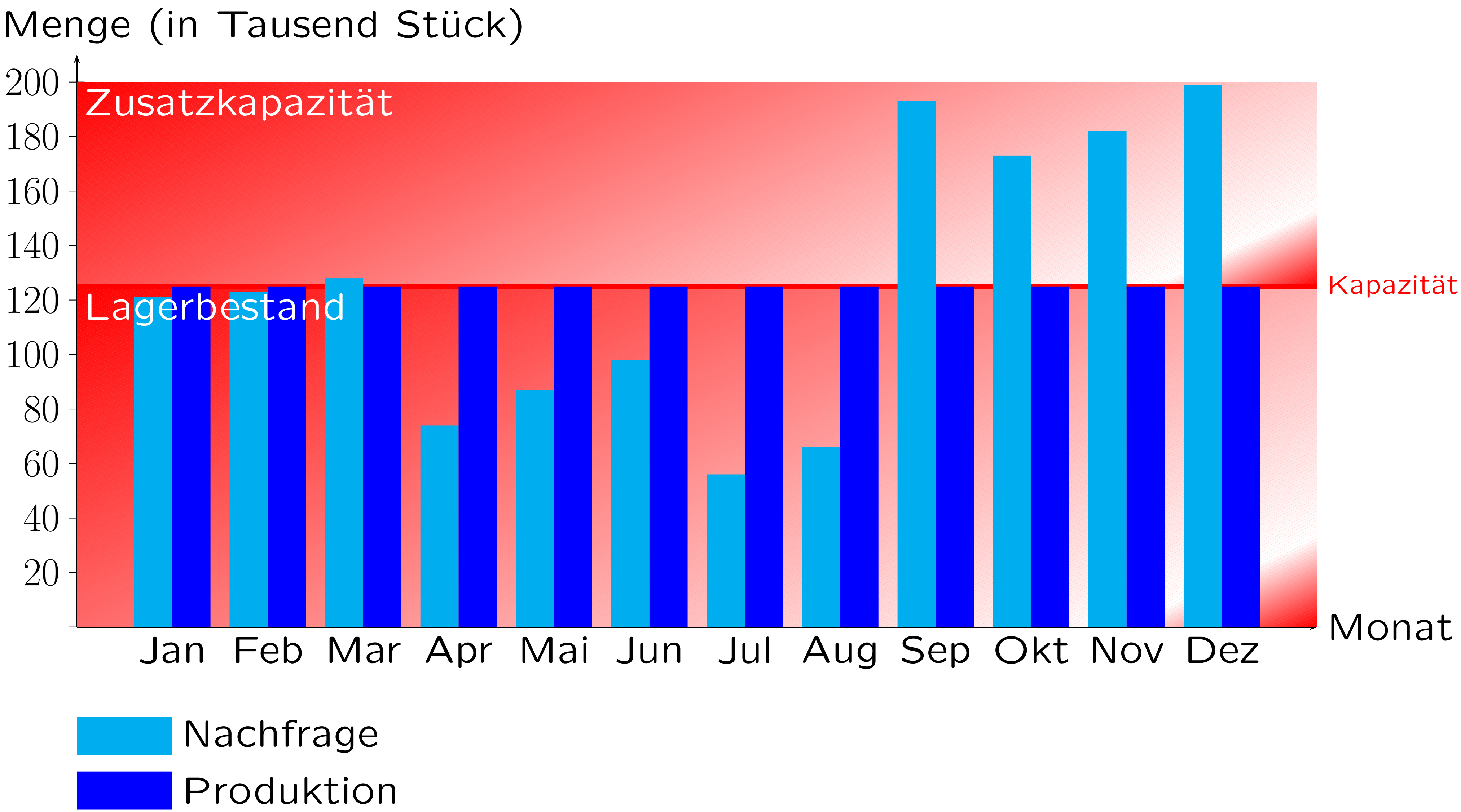
Emanzipation

(Günther/Tempelmeier (1991))



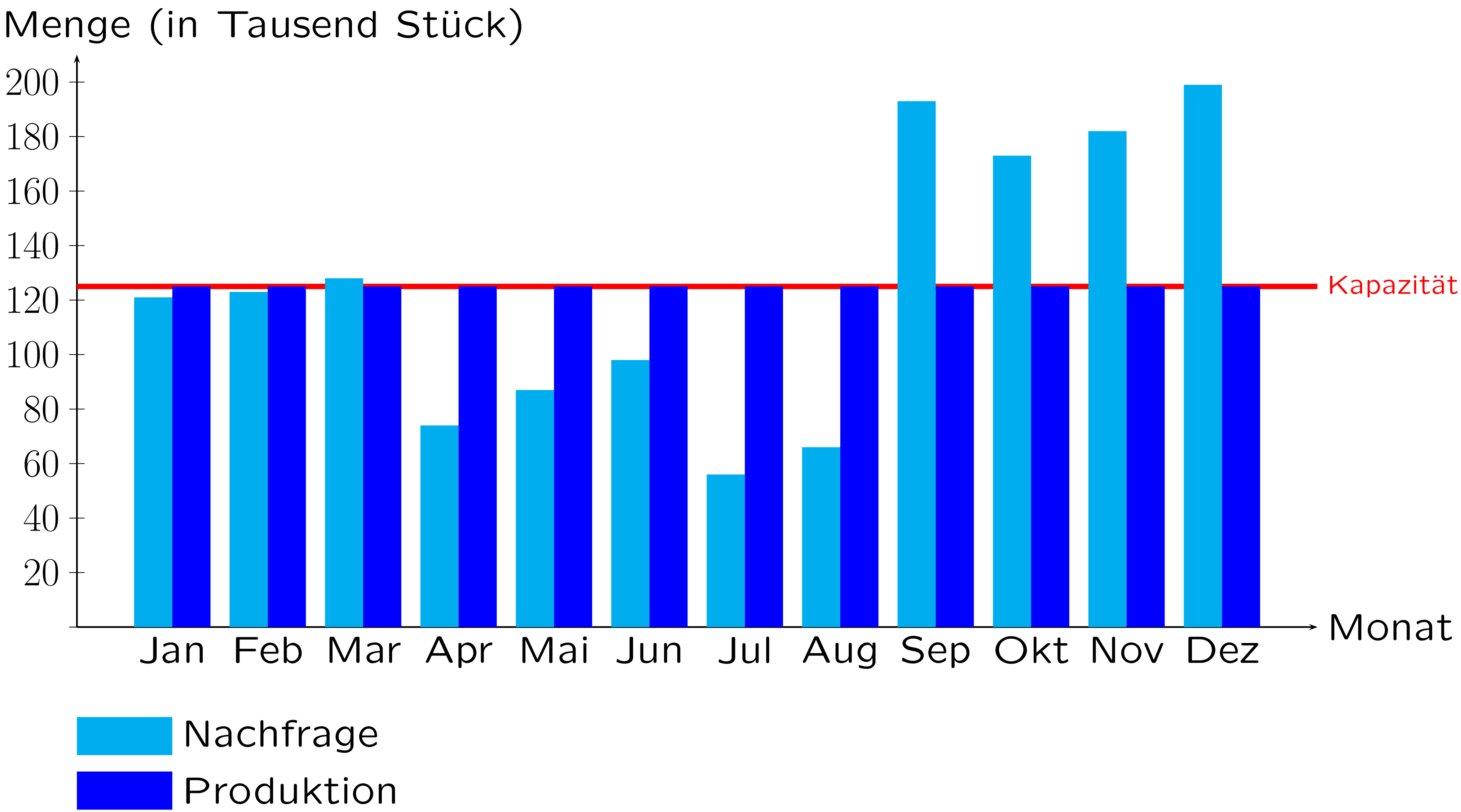
Emanzipation

(Günther/Tempelmeier (1991))



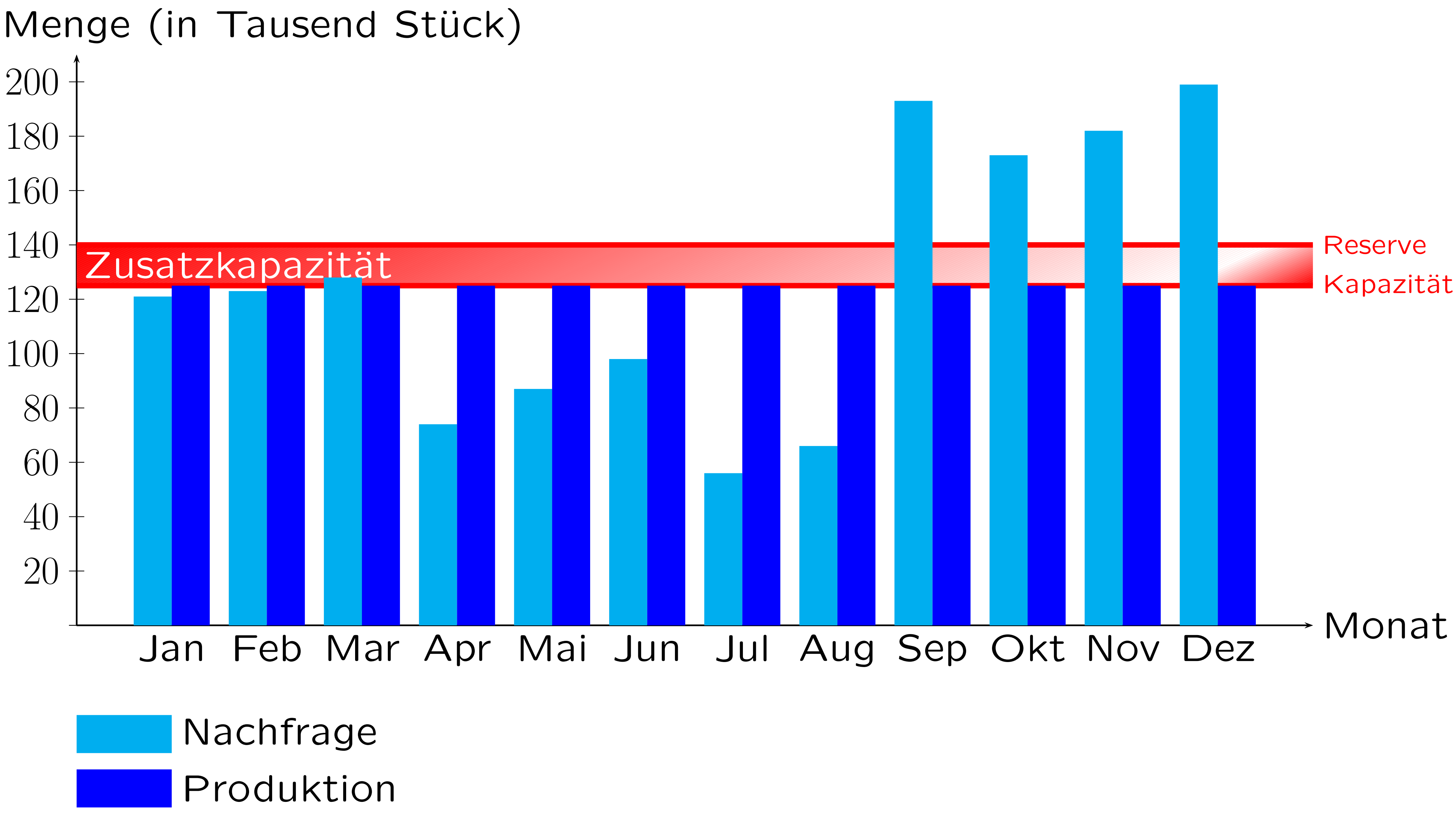
Emanzipation

(Günther/Tempelmeier (1991))



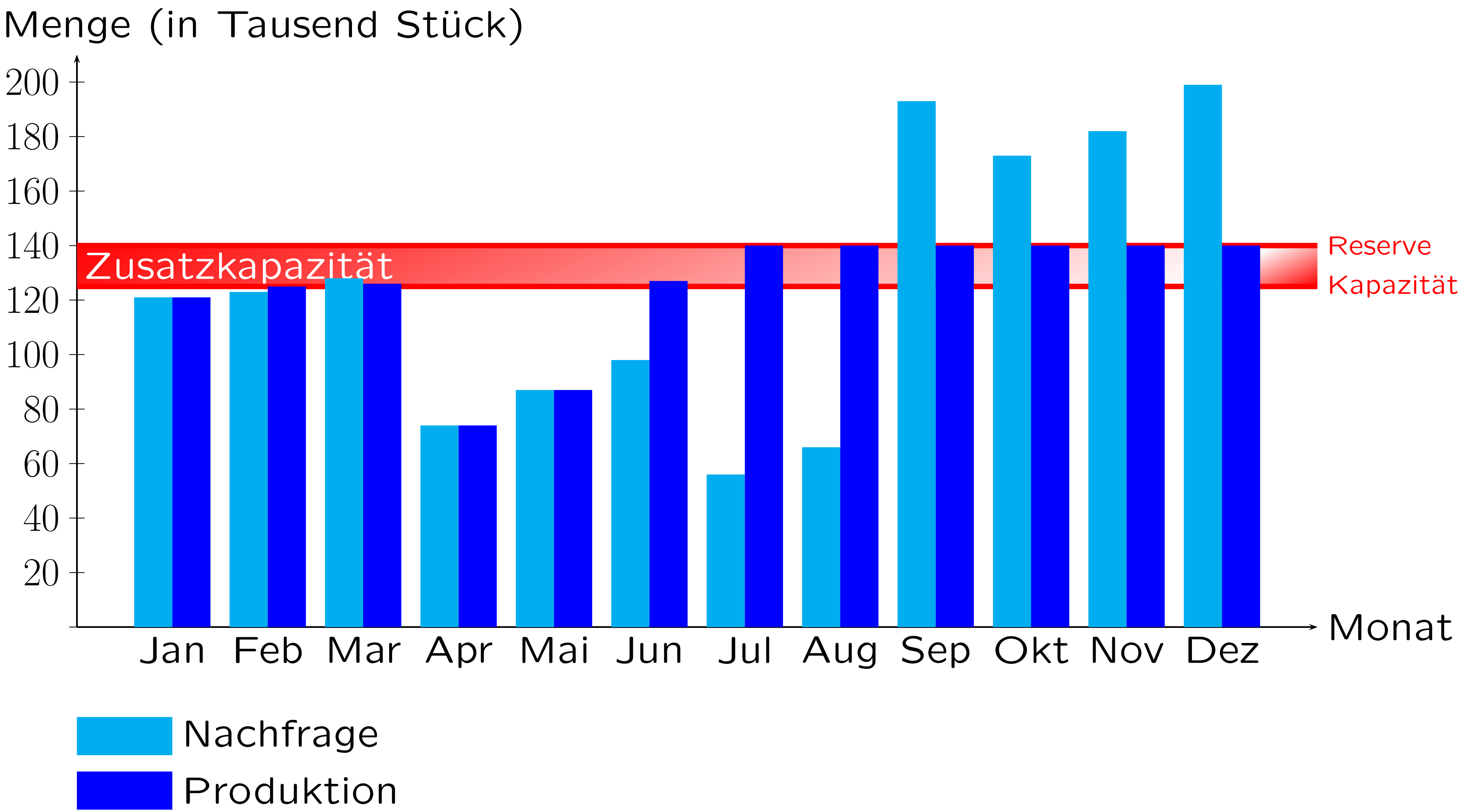
Emanzipation

(Günther/Tempelmeier (1991))



Optmimale Lösung

(Günther/Tempelmeier (1991))



Planungsproblem bei gegebenen Nachfrageschwankungen:

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

Entscheidungsrelevante Kosten

- variable Produktionskosten
- variable Beschaffungskosten
- Transportkosten
- Produktionsniveauänderungskosten
- Lagerkosten (Kapitalbindung)
- Lagerbetriebskosten
- Fehlmengenkosten

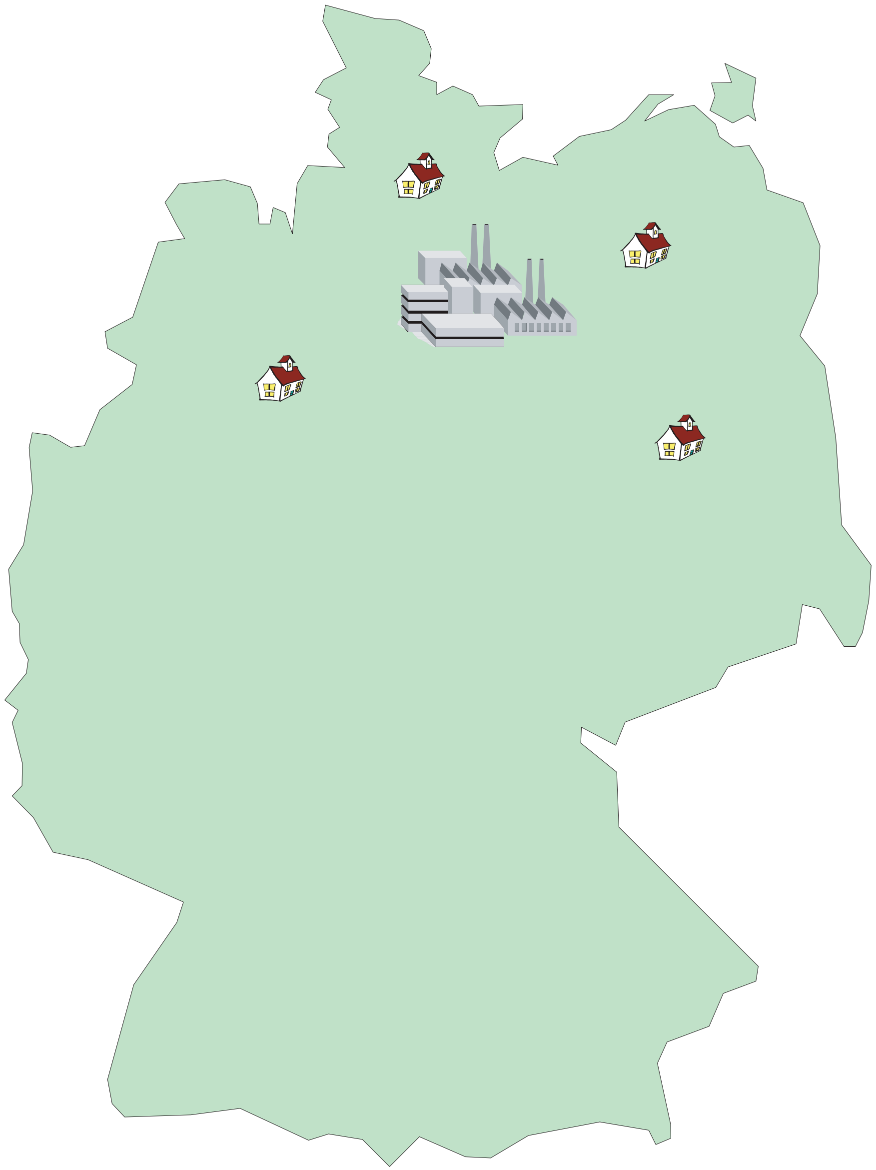
Planungsproblem in einer **funktionsübergreifenden** Perspektive:

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

Modelle zur Beschäftigungsglättung – Master Planning

Einstufige Ansätze

Grundmodell: Eine Fabrik



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
- L_{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
- f_k^{P} ... Produktionskoeffizient in bezug auf die personelle Kapazität
- f_k^{T} ... Produktionskoeffizient in bezug auf die technische Kapazität
- b_t^{T} ... die maximale technische Kapazität in Periode t
- b_t^{P} ... die maximale personelle Kapazität in Periode t
- $U_t^{\max}$ ... die maximale Zusatzkapazität in Periode t

Zielfunktionskoeffizienten:

- h_k ... Lagerkostensatz für Produkt k (GE pro ME und ZE)
- u_t ... Überstundenzuschlagssatz in Periode t (GE pro Kapazitätseinheit)

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

u. B. d. R.:

Anfangslagerbestand für Produkt k:

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

Nachfrage für Produkt k in Periode t:

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

Verfügbare technische Kapazität in Periode t:

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

Verfügbare personelle Kapazität in Periode t:

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

Maximale Zusatzkapazität in Periode t:

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

Beispiel II **3 Produkte, 12 Perioden**

Produktspezifische Daten:

Produkt k	1	2	3
h_k	5.0	5.0	5.0
f_k^{P}	1.0	0.5	0.8
f_k^{T}	0.5	1.0	1.2
$L_k^{(0)}$	36	20	10

Periodenspezifische Daten:

Periode t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
d_{1t}	100	90	60	150	10	50	100	250	60	40	100	180
d_{2t}	200	190	210	200	150	120	100	280	90	50	200	250
d_{3t}	10	140	10	150	100	200	90	50	190	80	90	150
u_t	6.0											
b_t^{P}	260											
$U_t^{\max}$	100											
b_t^{T}	500											

Beispiel II **3 Produkte, 12 Perioden**

Optimale Lösung:

Periode t	$\sum_{k=1}^{3} f_k^{\mathrm{T}} \cdot x_{kt}$	b_t^{T}	$\sum_{k=1}^{3} f_k^{\mathrm{P}} \cdot x_{kt}$	b_t^{P}	U_t	$U_t^{\max}$
1	230.5	500	191	260	0	100
2	384.5	500	260	260	0	100
3	295.5	500	260	260	0	100
4	411.5	500	260	260	23	100
5	280.0	500	175	260	0	100
6	380.0	500	260	260	0	100
7	293.0	500	260	260	32	100
8	430.0	500	260	260	100	100
9	348.0	500	257	260	0	100
10	204.5	500	206	260	0	100
11	352.0	500	260	260	0	100
12	487.5	500	260	260	100	100

Modellerweiterung: Bestandsrestriktionen

Annahmen:

- – wie Grundmodell –
- produktbezogene Mindestbestände

$$L_{kt} \geq L_{kt}^{\min} \qquad (k \in \mathcal{K}, t = 1, 2, \ldots, T)$$

- maximaler Gesamtbestand

$$\sum_{k \in \mathcal{K}} L_{kt} \leq L_t^{\max} \qquad (t = 1, 2, \ldots, T)$$

Beispiel II **3 Produkte, 12 Perioden**

- $L_{\max} = 70$

Beispiel II **3 Produkte, 12 Perioden**

Optimale Lösung (ohne Bestandsrestriktionen):

Periode t	d_{1t}	x_{1t}	L_{1t}	d_{2t}	x_{2t}	L_{2t}	d_{3t}	x_{3t}	L_{3t}
0			36			20			10
1	100	101	37	200	180	0	10	0	0
2	90	53	0	190	190	0	140	140	0
3	60	147	87	210	210	0	10	10	0
4	150	63	0	200	200	0	150	150	0
5	10	20	10	150	150	0	100	100	0
6	50	40	0	120	120	0	200	200	0
7	100	170	70	100	100	0	90	90	0
8	250	180	0	280	280	0	50	50	0
9	60	60	0	90	90	0	190	190	0
10	40	117	77	50	50	0	80	80	0
11	100	88	65	200	200	0	90	90	0
12	180	115	0	250	250	0	150	150	0

Beispiel II 3 Produkte, 12 Perioden

Optimale Lösung (mit Bestandsrestriktionen):

Periode t	d_{1t}	x_{1t}	L_{1t}	d_{2t}	x_{2t}	L_{2t}	d_{3t}	x_{3t}	L_{3t}
0			36			20			10
1	100	101	37	200	180	0	10	0	0
2	90	53	0	190	190	0	140	140	0
3	60	130	70	210	210	0	10	10	0
4	150	80	0	200	200	0	150	150	0
5	10	20	10	150	150	0	100	100	0
6	50	40	0	120	120	0	200	200	0
7	100	170	70	100	100	0	90	90	0
8	250	180	0	280	280	0	50	50	0
9	60	60	0	90	90	0	190	190	0
10	40	110	70	50	50	0	80	80	0
11	100	95	65	200	200	0	90	90	0
12	180	115	0	250	250	0	150	150	0

Beispiel II **3 Produkte, 12 Perioden**

Optimale Lösung (ohne Bestandsrestriktionen):

Periode t	$\sum_{k=1}^{3} f_k^{\mathrm{T}} \cdot x_{kt}$	b_t^{T}	$\sum_{k=1}^{3} f_k^{\mathrm{P}} \cdot x_{kt}$	b_t^{P}	U_t	$U_t^{\max}$
1	230.5	500	191	260	0	100
2	384.5	500	260	260	0	100
3	295.5	500	260	260	0	100
4	411.5	500	260	260	23	100
5	280.0	500	175	260	0	100
6	380.0	500	260	260	0	100
7	293.0	500	260	260	32	100
8	430.0	500	260	260	100	100
9	348.0	500	257	260	0	100
10	204.5	500	206	260	0	100
11	352.0	500	260	260	0	100
12	487.5	500	260	260	100	100

Beispiel II **3 Produkte, 12 Perioden**

Optimale Lösung (mit Bestandsrestriktionen):

Periode t	$\sum_{k=1}^{3} f_k^{\mathrm{T}} \cdot x_{kt}$	b_t^{T}	$\sum_{k=1}^{3} f_k^{\mathrm{P}} \cdot x_{kt}$	b_t^{P}	U_t	$U_t^{\max}$
1	230.5	500	191	260	0	100
2	384.5	500	260	260	0	100
3	287.0	500	243	260	0	100
4	420.0	500	260	260	40	100
5	280.0	500	175	260	0	100
6	380.0	500	260	260	0	100
7	293.0	500	260	260	32	100
8	430.0	500	260	260	100	100
9	348.0	500	257	260	0	100
10	201.0	500	199	260	0	100
11	355.5	500	260	260	7	100
12	487.5	500	260	260	100	100

Modellerweiterung: Mindestzusatzkapazität (Diskretisierung)

Annahmen:

- – wie Grundmodell –
- $\gamma_t := \begin{cases} 1 & \text{, wenn in } t \text{ Überstunden eingeplant werden} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \qquad (t = 1, 2, \ldots, T)$
- – Modifikation Grundmodell –
  maximale Zusatzkapazität in Periode t

  $$U_t \leq U_t^{\max} \cdot \gamma_t \qquad (t = 1, 2, \ldots, T)$$

- Wenn Zusatzkapazität, dann mindestens $U_t^{\min}$:

  $$U_t \geq U_t^{\min} \cdot \gamma_t \qquad (t = 1, 2, \ldots, T)$$

Beispiel II **3 Produkte, 12 Perioden**

- $L_{\max} = 70$
- $U_{\min} = 50$

MERCATOR School of Management

Beispiel II **3 Produkte, 12 Perioden**

Optimale Lösung (ohne Mindestzusatzkapazität):

Periode t	d_{1t}	x_{1t}	L_{1t}	d_{2t}	x_{2t}	L_{2t}	d_{3t}	x_{3t}	L_{3t}
0			36			20			10
1	100	101	37	200	180	0	10	0	0
2	90	53	0	190	190	0	140	140	0
3	60	130	70	210	210	0	10	10	0
4	150	80	0	200	200	0	150	150	0
5	10	20	10	150	150	0	100	100	0
6	50	40	0	120	120	0	200	200	0
7	100	170	70	100	100	0	90	90	0
8	250	180	0	280	280	0	50	50	0
9	60	60	0	90	90	0	190	190	0
10	40	110	70	50	50	0	80	80	0
11	100	95	65	200	200	0	90	90	0
12	180	115	0	250	250	0	150	150	0

Beispiel II **3 Produkte, 12 Perioden**

Optimale Lösung (mit Mindestzusatzkapazität):

Periode t	d_{1t}	x_{1t}	L_{1t}	d_{2t}	x_{2t}	L_{2t}	d_{3t}	x_{3t}	L_{3t}
0			36			20			10
1	100	101	37	200	180	0	10	0	0
2	90	53	0	190	190	0	140	140	0
3	60	120	60	210	210	0	10	10	0
4	150	90	0	200	200	0	150	150	0
5	10	20	10	150	150	0	100	100	0
6	50	40	0	120	120	0	200	200	0
7	100	170	70	100	100	0	90	90	0
8	250	180	0	280	280	0	50	50	0
9	60	60	0	90	90	0	190	190	0
10	40	67	27	50	50	0	80	80	0
11	100	138	65	200	200	0	90	90	0
12	180	115	0	250	250	0	150	150	0

Beispiel II **3 Produkte, 12 Perioden**

Optimale Lösung (ohne Mindestzusatzkapazität):

Periode t	$\sum_{k=1}^{3} f_k^{\mathrm{T}} \cdot x_{kt}$	b_t^{T}	$\sum_{k=1}^{3} f_k^{\mathrm{P}} \cdot x_{kt}$	b_t^{P}	U_t	$U_t^{\max}$
1	230.5	500	191	260	0	100
2	384.5	500	260	260	0	100
3	287.0	500	243	260	0	100
4	420.0	500	260	260	40	100
5	280.0	500	175	260	0	100
6	380.0	500	260	260	0	100
7	293.0	500	260	260	32	100
8	430.0	500	260	260	100	100
9	348.0	500	257	260	0	100
10	201.0	500	199	260	0	100
11	355.5	500	260	260	7	100
12	487.5	500	260	260	100	100

Beispiel II **3 Produkte, 12 Perioden**

Optimale Lösung (mit Mindestzusatzkapazität):

Periode t	$\sum_{k=1}^{3} f_k^{\mathrm{T}} \cdot x_{kt}$	b_t^{T}	$\sum_{k=1}^{3} f_k^{\mathrm{P}} \cdot x_{kt}$	b_t^{P}	U_t	$U_t^{\max}$
1	230.5	500	191	260	0	100
2	384.5	500	260	260	0	100
3	282.0	500	233	260	0	100
4	425.0	500	260	260	50	100
5	280.0	500	175	260	0	100
6	380.0	500	260	260	0	100
7	293.0	500	242	260	50	100
8	430.0	500	260	260	100	100
9	348.0	500	257	260	0	100
10	179.5	500	156	260	0	100
11	377.0	500	260	260	50	100
12	487.5	500	260	260	100	100

Modellerweiterung:
Mindestproduktionsmengen
(Diskretisierung)

Annahmen:

- – wie Grundmodell –
- $\chi_{kt} := \begin{cases} 1 & \text{, wenn } k \text{ in } t \text{ produziert wird} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \qquad (k \in \mathcal{K}, t = 1, 2, \ldots, T)$
- Big-M-Methode

  $$x_{kt} \leq M \cdot \chi_{kt} \qquad (k \in \mathcal{K}, t = 1, 2, \ldots, T)$$
- Wenn Produktion, dann mindestens $X_k^{\min}$:

  $$x_{kt} \geq X_k^{\min} \cdot \chi_{kt} \qquad (k \in \mathcal{K}, t = 1, 2, \ldots, T)$$

Beispiel II **3 Produkte, 12 Perioden**

- $L_{\max} = 70$
- $U_{\min} = 50$
- $X_1^{\min} = 50, X_2^{\min} = 100, X_3^{\min} = 50$

Beispiel II **3 Produkte, 12 Perioden**

Optimale Lösung (ohne Mindestproduktionsmengen):

Periode t	d_{1t}	x_{1t}	L_{1t}	d_{2t}	x_{2t}	L_{2t}	d_{3t}	x_{3t}	L_{3t}
0			36			20			10
1	100	101	37	200	180	0	10	0	0
2	90	53	0	190	190	0	140	140	0
3	60	120	60	210	210	0	10	10	0
4	150	90	0	200	200	0	150	150	0
5	10	20	10	150	150	0	100	100	0
6	50	40	0	120	120	0	200	200	0
7	100	170	70	100	100	0	90	90	0
8	250	180	0	280	280	0	50	50	0
9	60	60	0	90	90	0	190	190	0
10	40	67	27	50	50	0	80	80	0
11	100	138	65	200	200	0	90	90	0
12	180	115	0	250	250	0	150	150	0

Beispiel II 3 Produkte, 12 Perioden

Optimale Lösung (mit Mindestproduktionsmengen):

Periode t	d_{1t}	x_{1t}	L_{1t}	d_{2t}	x_{2t}	L_{2t}	d_{3t}	x_{3t}	L_{3t}
0			36			20			10
1	100	101	37	200	180	0	10	0	0
2	90	53	0	190	190	0	140	140	0
3	60	88	28	210	210	0	10	50	40
4	150	122	0	200	200	0	150	110	0
5	10	60	50	150	150	0	100	100	0
6	50	0	0	120	120	0	200	240	40
7	100	170	70	100	100	0	90	50	0
8	250	180	0	280	280	0	50	50	0
9	60	60	0	90	140	50	190	190	0
10	40	67	27	50	0	0	80	80	0
11	100	138	65	200	200	0	90	90	0
12	180	115	0	250	250	0	150	150	0

MERCATOR School of Management

Beispiel II **3 Produkte, 12 Perioden**

Optimale Lösung (ohne Mindestproduktionsmengen):

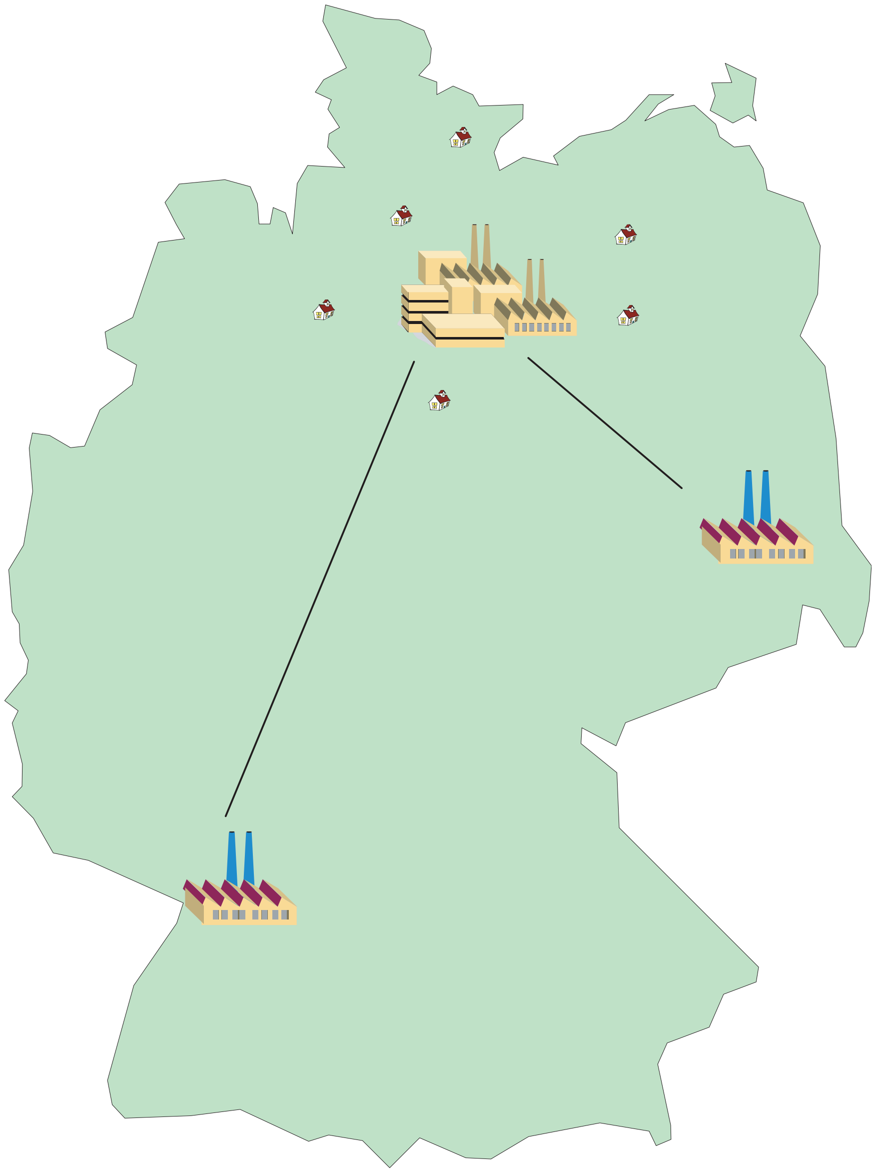
Periode t	$\sum_{k=1}^{3} f_k^{\mathrm{T}} \cdot x_{kt}$	b_t^{T}	$\sum_{k=1}^{3} f_k^{\mathrm{P}} \cdot x_{kt}$	b_t^{P}	U_t	$U_t^{\max}$
1	230.5	500	191	260	0	100
2	384.5	500	260	260	0	100
3	282.0	500	233	260	0	100
4	425.0	500	260	260	50	100
5	280.0	500	175	260	0	100
6	380.0	500	260	260	0	100
7	293.0	500	242	260	50	100
8	430.0	500	260	260	100	100
9	348.0	500	257	260	0	100
10	179.5	500	156	260	0	100
11	377.0	500	260	260	50	100
12	487.5	500	260	260	100	100

Beispiel II **3 Produkte, 12 Perioden**

Optimale Lösung (mit Mindestproduktionsmengen):

Periode t	$\sum_{k=1}^{3} f_k^{\mathrm{T}} \cdot x_{kt}$	b_t^{T}	$\sum_{k=1}^{3} f_k^{\mathrm{P}} \cdot x_{kt}$	b_t^{P}	U_t	$U_t^{\max}$
1	230.5	500	191	260	0	100
2	384.5	500	260	260	0	100
3	314.0	500	233	260	0	100
4	393.0	500	260	260	50	100
5	300.0	500	215	260	0	100
6	408.0	500	252	260	0	100
7	245.0	500	260	260	0	100
8	430.0	500	260	260	100	100
9	398.0	500	232	260	50	100
10	129.5	500	131	260	0	100
11	377.0	500	260	260	50	100
12	487.5	500	260	260	100	100

Erweitertes Modell: Eine Fabrik, Fremdlieferanten (Make-or-Buy-Entscheidung)



MERCATOR School of Management

Annahmen:

- – wie Grundmodell –
- Erweiterung der Zielfunktion: Beschaffungskosten, variable Produktionskosten

  c_k^{B} ... Fremdbezugskosten pro Mengeneinheit von Produkt k

  c_k^{P} ... variable Produktionskosten (Materialkosten) von Produkt k
- produktspezifische Fremdlieferanten
  (keine explizite Modellierung der Lieferanten; der Beschaffungsprozess bleibt daher außerhalb der Betrachtung)

  B_{kt} ... Beschaffungsmenge von Produkt k in Periode t

Minimiere $Z = \sum_{k \in \mathcal{K}} \sum_{t=1}^{T} h_k \cdot L_{kt} + \sum_{t=1}^{T} u_t \cdot U_t + \sum_{k \in \mathcal{K}} \sum_{t=1}^{T} c_k^{\mathrm{B}} \cdot B_{kt} + \sum_{k \in \mathcal{K}} \sum_{t=1}^{T} c_k^{\mathrm{P}} \cdot x_{kt}$

u. B. d. R.:

Anfangslagerbestand für Produkt k:

$L_{k0} = L_k^{(0)}$ für alle $k \in \mathcal{K}$

Nachfrage für Produkt k in Periode t:

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

Verfügbare technische Kapazität in Periode t:

$\sum_{k \in \mathcal{K}} f_k^{\mathrm{T}} \cdot x_{kt} \leq b_t^{\mathrm{T}}$ für alle $t = 1, 2, \ldots, T$

Verfügbare personelle Kapazität in Periode t:

$\sum_{k \in \mathcal{K}} f_k^{\mathrm{P}} \cdot x_{kt} - U_t \leq b_t^{\mathrm{P}}$ für alle $t = 1, 2, \ldots, T$

Maximale Zusatzkapazität in Periode t:

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

Minimiere $Z = \sum_{k \in \mathcal{K}} \sum_{t=1}^{T} h_k \cdot L_{kt} + \sum_{t=1}^{T} u_t \cdot U_t + \sum_{k \in \mathcal{K}} \sum_{t=1}^{T} \left(c_k^{\mathrm{B}} - c_k^{\mathrm{P}} \right) \cdot B_{kt}$

u. B. d. R.:

Anfangslagerbestand für Produkt k:

$L_{k0} = L_k^{(0)}$ für alle $k \in \mathcal{K}$

Nachfrage für Produkt k in Periode t:

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

Verfügbare technische Kapazität in Periode t:

$\sum_{k \in \mathcal{K}} f_k^{\mathrm{T}} \cdot x_{kt} \leq b_t^{\mathrm{T}}$ für alle $t = 1, 2, \ldots, T$

Verfügbare personelle Kapazität in Periode t:

$\sum_{k \in \mathcal{K}} f_k^{\mathrm{P}} \cdot x_{kt} - U_t \leq b_t^{\mathrm{P}}$ für alle $t = 1, 2, \ldots, T$

Maximale Zusatzkapazität in Periode t:

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

Minimiere $Z = \sum_{k\in\mathcal{K}} \sum_{t=1}^{T} h_k \cdot L_{kt} + \sum_{t=1}^{T} u_t \cdot U_t + \sum_{k\in\mathcal{K}} \sum_{t=1}^{T} c_k^{\mathrm{B}'} \cdot B_{kt}$

u. B. d. R.:

Anfangslagerbestand für Produkt k:

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

Nachfrage für Produkt k in Periode t:

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

Verfügbare technische Kapazität in Periode t:

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

Verfügbare personelle Kapazität in Periode t:

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

Maximale Zusatzkapazität in Periode t:

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

Minimiere $Z = \sum_{k \in \mathcal{K}} \sum_{t=1}^{T} \left(h_k \cdot L_{kt} + c_k^{\mathrm{B}'} \cdot B_{kt} \right) + \sum_{t=1}^{T} u_t \cdot U_t$

u. B. d. R.:

Anfangslagerbestand für Produkt k:

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

Nachfrage für Produkt k in Periode t:

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

Verfügbare technische Kapazität in Periode t:

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

Verfügbare personelle Kapazität in Periode t:

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

Maximale Zusatzkapazität in Periode t:

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

Beispiel II **3 Produkte, 12 Perioden**

- $c_1^{\mathrm{B}'} = 5$, $c_2^{\mathrm{B}'} = 10$, $c_3^{\mathrm{B}'} = 5$

MERCATOR School of Management

Beispiel II **3 Produkte, 12 Perioden**

Optimale Lösung (ohne Fremdbeschaffung):

Periode t	d_{1t}	x_{1t}	B_{1t}	L_{1t}	d_{2t}	x_{2t}	B_{2t}	L_{2t}	d_{3t}	x_{3t}	B_{3t}	L_{3t}
0				36				20				10
1	100	101	0	37	200	180	0	0	10	0	0	0
2	90	53	0	0	190	190	0	0	140	140	0	0
3	60	147	0	87	210	210	0	0	10	10	0	0
4	150	63	0	0	200	200	0	0	150	150	0	0
5	10	20	0	10	150	150	0	0	100	100	0	0
6	50	40	0	0	120	120	0	0	200	200	0	0
7	100	170	0	70	100	100	0	0	90	90	0	0
8	250	180	0	0	280	280	0	0	50	50	0	0
9	60	60	0	0	90	90	0	0	190	190	0	0
10	40	117	0	77	50	50	0	0	80	80	0	0
11	100	88	0	65	200	200	0	0	90	90	0	0
12	180	115	0	0	250	250	0	0	150	150	0	0

Beispiel II **3 Produkte, 12 Perioden**

Optimale Lösung (mit Fremdbeschaffung):

Periode t	d_{1t}	x_{1t}	B_{1t}	L_{1t}	d_{2t}	x_{2t}	B_{2t}	L_{2t}	d_{3t}	x_{3t}	B_{3t}	L_{3t}
0				36				20				10
1	100	64	0	0	200	180	0	0	10	0	0	0
2	90	53	37	0	190	190	0	0	140	140	0	0
3	60	147	0	87	210	210	0	0	10	10	0	0
4	150	40	23	0	200	200	0	0	150	150	0	0
5	10	20	0	10	150	150	0	0	100	100	0	0
6	50	40	0	0	120	120	0	0	200	200	0	0
7	100	138	0	38	100	100	0	0	90	90	0	0
8	250	80	132	0	280	280	0	0	50	50	0	0
9	60	60	0	0	90	90	0	0	190	190	0	0
10	40	52	0	12	50	50	0	0	80	80	0	0
11	100	88	0	0	200	200	0	0	90	90	0	0
12	180	15	165	0	250	250	0	0	150	150	0	0

Beispiel II 3 Produkte, 12 Perioden

Optimale Lösung (ohne Fremdbeschaffung):

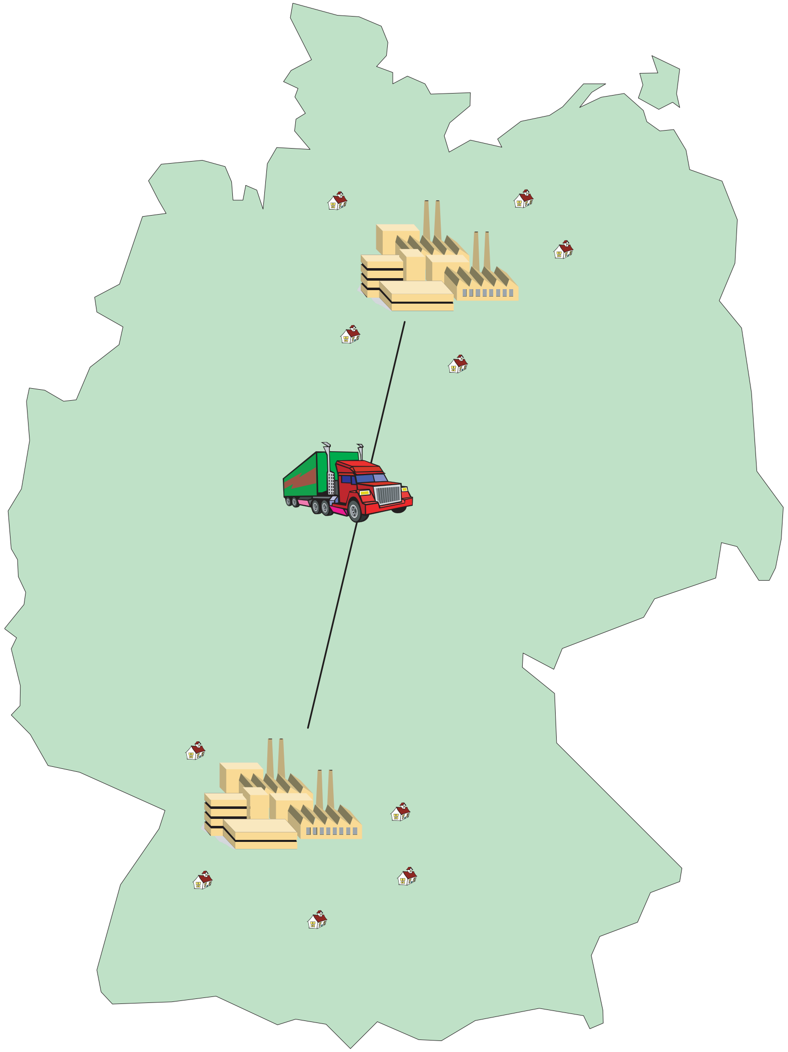
Periode t	$\sum_{k=1}^{3} f_k^{\mathrm{T}} \cdot x_{kt}$	b_t^{T}	$\sum_{k=1}^{3} f_k^{\mathrm{P}} \cdot x_{kt}$	b_t^{P}	U_t	$U_t^{\max}$
1	230.5	500	191	260	0	100
2	384.5	500	260	260	0	100
3	295.5	500	260	260	0	100
4	411.5	500	260	260	23	100
5	280.0	500	175	260	0	100
6	380.0	500	260	260	0	100
7	293.0	500	260	260	32	100
8	430.0	500	260	260	100	100
9	348.0	500	257	260	0	100
10	204.5	500	206	260	0	100
11	352.0	500	260	260	0	100
12	487.5	500	260	260	100	100

Beispiel II **3 Produkte, 12 Perioden**

Optimale Lösung (mit Fremdbeschaffung):

Periode t	$\sum_{k=1}^{3} f_k^{\mathrm{T}} \cdot x_{kt}$	b_t^{T}	$\sum_{k=1}^{3} f_k^{\mathrm{P}} \cdot x_{kt}$	b_t^{P}	U_t	$U_t^{\max}$
1	212.0	500	154	260	0	100
2	384.5	500	260	260	0	100
3	295.5	500	260	260	0	100
4	400.0	500	260	260	0	100
5	280.0	500	175	260	0	100
6	380.0	500	260	260	0	100
7	277.0	500	260	260	0	100
8	380.0	500	260	260	0	100
9	348.0	500	257	260	0	100
10	172.0	500	141	260	0	100
11	352.0	500	260	260	0	100
12	437.5	500	260	260	0	100

Erweitertes Modell (II): Mehrere Fabriken



Annahmen:

- – wie Grundmodell –
- mehrere Fabriken $s \in \mathcal{S}$
- fabrikspezifische Produktionsprogramme und Nachfrage

  $\mathcal{K}_s$ ... Menge der in Fabrik s gefertigten Produkte
- Erweiterung der Zielfunktion: Transportkosten

  $c_k^{\mathrm{T}(si)}$ ... Transportkostensatz von Produkt k von Fabrik s nach i

  $T_{kt}^{(si)}$ ... Transportmenge von Produkt k von s nach i in Periode t

MERCATOR School of Management

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

u. B. d. R.:

Anfangslagerbestand für Produkt k:

$L_{k0} = L_k^{(0)}$ für alle $k \in \mathcal{K}$

Nachfrage für Produkt k in Periode t:

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

Verfügbare technische Kapazität in Periode t:

$\sum_{k \in \mathcal{K}} f_k^{\mathrm{T}} \cdot x_{kt} \leq b_t^{\mathrm{T}}$ für alle $t = 1, 2, \ldots, T$

Verfügbare personelle Kapazität in Periode t:

$\sum_{k \in \mathcal{K}} f_k^{\mathrm{P}} \cdot x_{kt} - U_t \leq b_t^{\mathrm{P}}$ für alle $t = 1, 2, \ldots, T$

Maximale Zusatzkapazität in Periode t:

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

Minimiere $Z = \sum_{s \in \mathcal{S}} \left(\sum_{k \in \mathcal{K}_s} \sum_{t=1}^{T} h_k^{(s)} \cdot L_{kt}^{(s)} + \sum_{t=1}^{T} u_t^{(s)} \cdot U_t^{(s)} \right) + \sum_{s \in \mathcal{S}} \sum_{i \in \mathcal{S}} \sum_{k \in \mathcal{K}_s} \sum_{t=1}^{T} c_k^{\mathrm{T}(si)} \cdot T_{kt}^{(si)}$

u. B. d. R.:

Anfangslagerbestand für Produkt k:

$$L_{k0}^{(s)} = L_{ks}^{(0)} \qquad \text{für alle } s \in \mathcal{S}, k \in \mathcal{K}_s$$

Nachfrage für Produkt k in Periode t:

$$L_{k,t-1}^{(s)} + x_{kt}^{(s)} + \sum_{j \in \mathcal{S}} T_{kt}^{(js)} - \sum_{i \in \mathcal{S}} T_{kt}^{(si)} - L_{kt}^{(s)} = d_{kt}^{(s)} \qquad \forall s \in \mathcal{S}, k \in \mathcal{K}_s, t = 1, \ldots, T$$

Verfügbare technische Kapazität in Periode t:

$$\sum_{k \in \mathcal{K}_s} f_k^{\mathrm{T}(s)} \cdot x_{kt}^{(s)} \leq b_t^{\mathrm{T}(s)} \qquad \text{für alle } s \in \mathcal{S} \text{ und } t = 1, 2, \ldots, T$$

Verfügbare personelle Kapazität in Periode t:

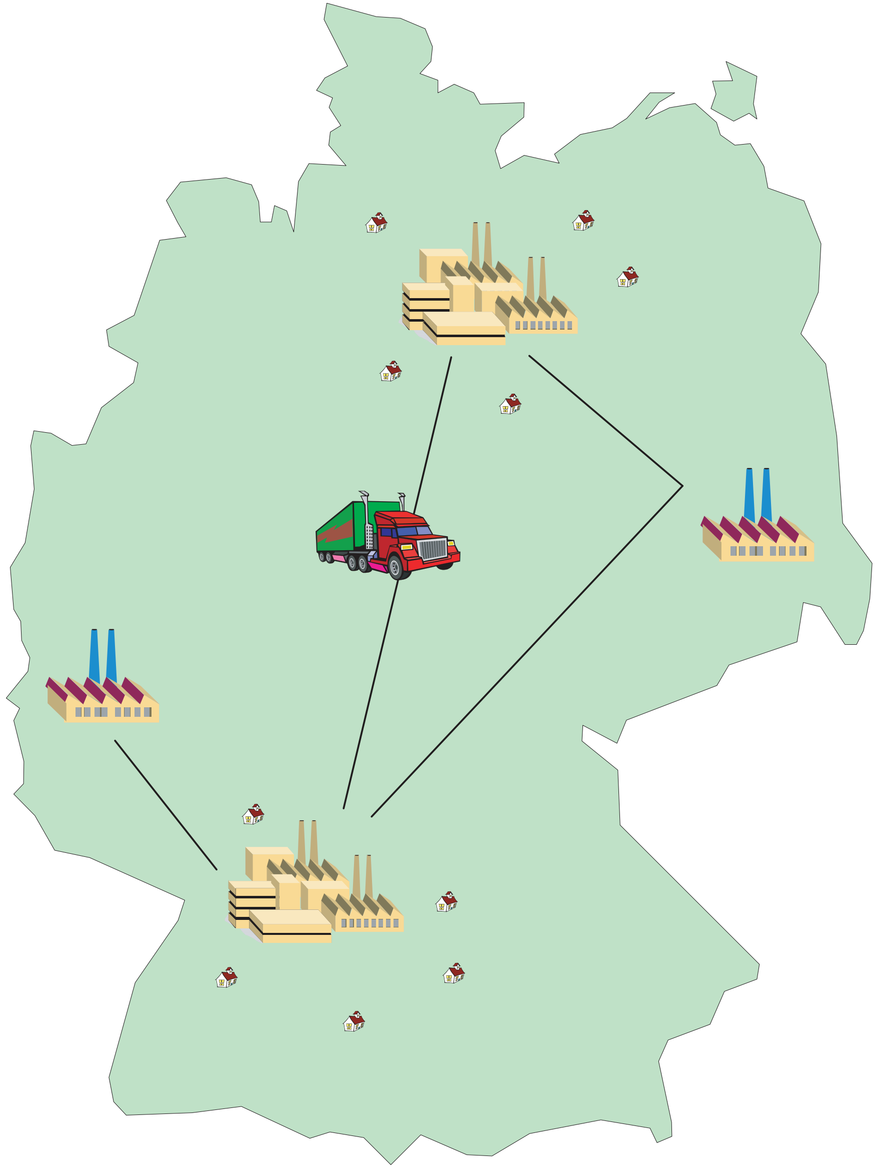
$$\sum_{k \in \mathcal{K}_s} f_k^{\mathrm{P}(s)} \cdot x_{kt}^{(s)} - U_t^{(s)} \leq b_t^{\mathrm{P}(s)} \qquad \text{für alle } s \in \mathcal{S} \text{ und } t = 1, 2, \ldots, T$$

Maximale Zusatzkapazität in Periode t:

$$U_t^{(s)} \leq U_t^{\max(s)} \qquad \text{für alle } s \in \mathcal{S} \text{ und } t = 1, 2, \ldots, T$$

Erweitertes Modell (II): Mehrere Fabriken, Fremdlieferanten

Beschäftigungsglättung: Mehrere Fabriken, Lieferanten



Minimiere $Z = \sum_{s\in\mathcal{S}} \left(\sum_{k\in\mathcal{K}_s} \sum_{t=1}^{T} h_k^{(s)} \cdot L_{kt}^{(s)} + \sum_{t=1}^{T} u_t^{(s)} \cdot U_t^{(s)} \right) + \sum_{s\in\mathcal{S}} \sum_{i\in\mathcal{S}} \sum_{k\in\mathcal{K}_s} \sum_{t=1}^{T} c_k^{\mathrm{T}(si)} \cdot T_{kt}^{(si)}$

u. B. d. R.:

Anfangslagerbestand für Produkt k:

$L_{k0}^{(s)} = L_{ks}^{(0)}$ für alle $s \in \mathcal{S}, k \in \mathcal{K}_s$

Nachfrage für Produkt k in Periode t:

$L_{k,t-1}^{(s)} + x_{kt}^{(s)} + \sum_{j\in\mathcal{S}} T_{kt}^{(js)} - \sum_{i\in\mathcal{S}} T_{kt}^{(si)} - L_{kt}^{(s)} = d_{kt}^{(s)}$ $\forall s \in \mathcal{S}, k \in \mathcal{K}_s, t = 1, \ldots, T$

Verfügbare technische Kapazität in Periode t:

$\sum_{k\in\mathcal{K}_s} f_k^{\mathrm{T}(s)} \cdot x_{kt}^{(s)} \leq b_t^{\mathrm{T}(s)}$ für alle $s \in \mathcal{S}$ und $t = 1, 2, \ldots, T$

Verfügbare personelle Kapazität in Periode t:

$\sum_{k\in\mathcal{K}_s} f_k^{\mathrm{P}(s)} \cdot x_{kt}^{(s)} - U_t^{(s)} \leq b_t^{\mathrm{P}(s)}$ für alle $s \in \mathcal{S}$ und $t = 1, 2, \ldots, T$

Maximale Zusatzkapazität in Periode t:

$U_t^{(s)} \leq U_t^{\max(s)}$ für alle $s \in \mathcal{S}$ und $t = 1, 2, \ldots, T$

$$Z = \sum_{s\in\mathcal{S}} \left(\sum_{k\in\mathcal{K}_s} \sum_{t=1}^{T} \left(h_k^{(s)} L_{kt}^{(s)} + c_{ks}^{\mathrm{P}} x_{kt}^{(s)} + c_{ks}^{\mathrm{B}} B_{kt}^{(s)} \right) + \sum_{t=1}^{T} u_t^{(s)} U_t^{(s)} + \sum_{i\in\mathcal{S}} \sum_{k\in\mathcal{K}_s} \sum_{t=1}^{T} c_k^{\mathrm{T}(si)} T_{kt}^{(si)} \right)$$

u. B. d. R.:

Anfangslagerbestand für Produkt k:

$$L_{k0}^{(s)} = L_{ks}^{(0)} \qquad \text{für alle } s \in \mathcal{S}, k \in \mathcal{K}_s$$

Nachfrage für Produkt k in Periode t:

$$L_{k,t-1}^{(s)} + x_{kt}^{(s)} + B_{kt}^{(s)} + \sum_{j\in\mathcal{S}} T_{kt}^{(js)} - \sum_{i\in\mathcal{S}} T_{kt}^{(si)} - L_{kt}^{(s)} = d_{kt}^{(s)} \qquad \forall\, s, k, t$$

Verfügbare technische Kapazität in Periode t:

$$\sum_{k\in\mathcal{K}_s} f_k^{\mathrm{T}(s)} \cdot x_{kt}^{(s)} \le b_t^{\mathrm{T}(s)} \qquad \text{für alle } s \in \mathcal{S} \text{ und } t = 1, 2, \ldots, T$$

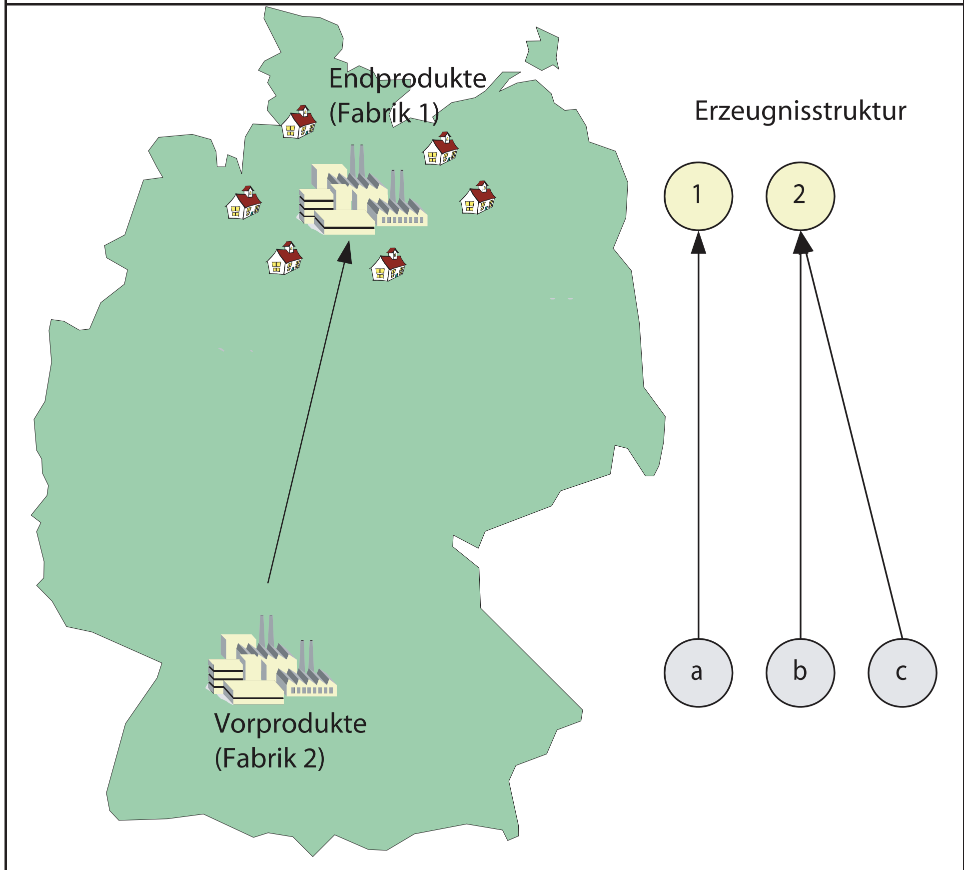
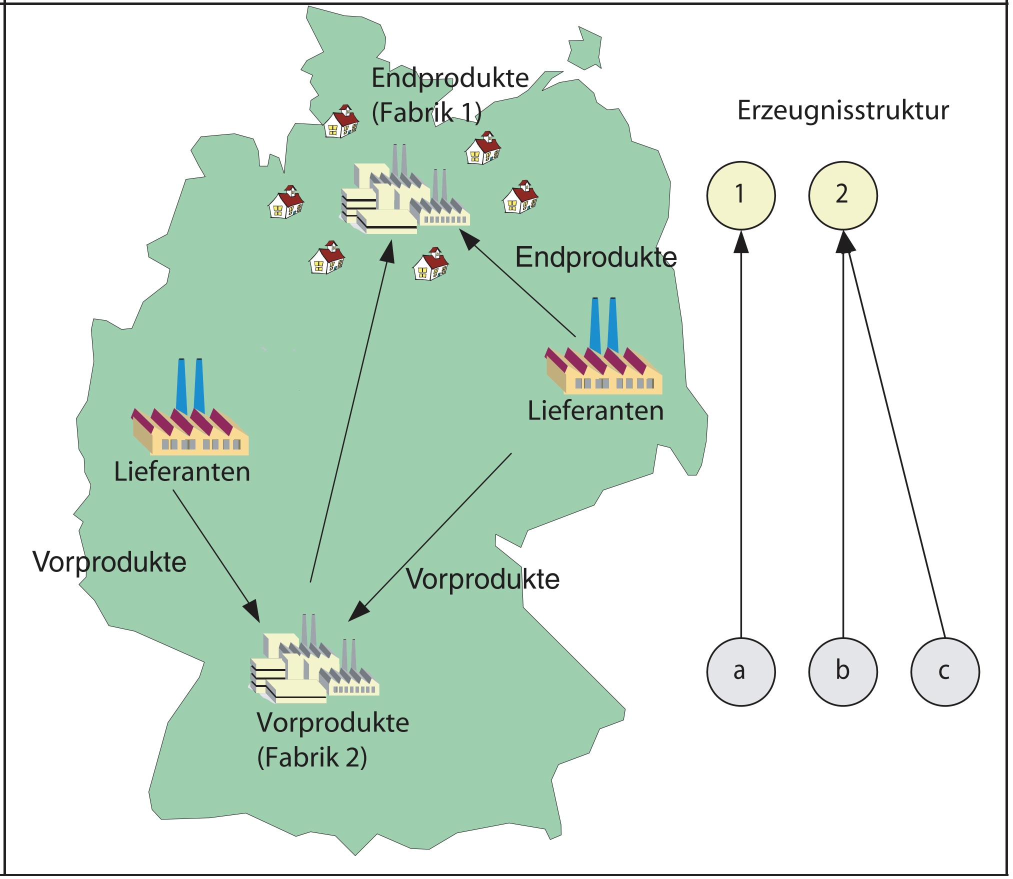
Verfügbare personelle Kapazität in Periode t:

$$\sum_{k\in\mathcal{K}_s} f_k^{\mathrm{P}(s)} \cdot x_{kt}^{(s)} - U_t^{(s)} \le b_t^{\mathrm{P}(s)} \qquad \text{für alle } s \in \mathcal{S} \text{ und } t = 1, 2, \ldots, T$$

Maximale Zusatzkapazität in Periode t:

$$U_t^{(s)} \le U_t^{\max(s)} \qquad \text{für alle } s \in \mathcal{S} \text{ und } t = 1, 2, \ldots, T$$

Mehrstufige Ansätze

<table>
<tr><th>Mehrere Fabriken</th><th>Mehrere Fabriken
Lieferanten</th></tr>
<tr><td>
</td><td>
</td></tr>
</table>

zusätzliche Annahme (zur Komplexitätsreduktion):

- feststehende eindeutige Zuordnung von (Vor-)Produkten zu Fabriken
  $\Longrightarrow$ keine Nutzung von internen Ersatzkapazitäten

Annahmen:

- – wie bisher –
- Direktbedarfskoeffizienten

  a_{kj} ... Anzahl Mengeneinheiten von Produkt k, die in eine Mengeneinheit von Produkt j eingehen
- – Erweiterung Lagerbilanzgleichung –

$$L_{k,t-1} + x_{kt} - L_{kt} = d_{kt} + \sum_{j \in \mathcal{K}} a_{kj} \cdot x_{jt} \qquad \text{für alle } k \in \mathcal{K},\ t \in \{1, \ldots, T\}$$

Minimiere $Z = \sum_{k\in\mathcal{K}} \sum_{t=1}^{T} h_k \cdot L_{kt} + \sum_{s\in\mathcal{S}} \sum_{t=1}^{T} u_t^{(s)} \cdot U_t^{(s)}$

u. B. d. R.:

Anfangslagerbestand für Produkt k:

$L_{k0} = L_k^{(0)}$ für alle $k \in \mathcal{K}$

Nachfrage für Produkt k in Periode t:

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

Verfügbare technische Kapazität in Periode t:

$\sum_{k\in\mathcal{K}_s} f_k^{\mathrm{T}} \cdot x_{kt} \leq b_t^{\mathrm{T}(s)}$ für alle $s \in \mathcal{S}$ und $t = 1, 2, \ldots, T$

Verfügbare personelle Kapazität in Periode t:

$\sum_{k\in\mathcal{K}_s} f_k^{\mathrm{P}} \cdot x_{kt} - U_t^{(s)} \leq b_t^{\mathrm{P}(s)}$ für alle $s \in \mathcal{S}$ und $t = 1, 2, \ldots, T$

Maximale Zusatzkapazität in Periode t:

$U_t^{(s)} \leq U_t^{\max(s)}$ für alle $s \in \mathcal{S}$ und $t = 1, 2, \ldots, T$

Minimiere $Z = \sum_{k\in\mathcal{K}} \sum_{t=1}^{T} h_k \cdot L_{kt} + \sum_{s\in\mathcal{S}} \sum_{t=1}^{T} u_t^{(s)} \cdot U_t^{(s)}$

u. B. d. R.:

Anfangslagerbestand für Produkt k:

$L_{k0} = L_k^{(0)}$ für alle $k \in \mathcal{K}$

Nachfrage für Produkt k in Periode t:

$L_{k,t-1} + x_{kt} - \sum_{j\in\mathcal{K}} a_{kj} \cdot x_{jt} - L_{kt} = d_{kt}$ für alle $k \in \mathcal{K}$ und $t = 1, 2, \ldots, T$

Verfügbare technische Kapazität in Periode t:

$\sum_{k\in\mathcal{K}_s} f_k^{\mathrm{T}} \cdot x_{kt} \leq b_t^{\mathrm{T}(s)}$ für alle $s \in \mathcal{S}$ und $t = 1, 2, \ldots, T$

Verfügbare personelle Kapazität in Periode t:

$\sum_{k\in\mathcal{K}_s} f_k^{\mathrm{P}} \cdot x_{kt} - U_t^{(s)} \leq b_t^{\mathrm{P}(s)}$ für alle $s \in \mathcal{S}$ und $t = 1, 2, \ldots, T$

Maximale Zusatzkapazität in Periode t:

$U_t^{(s)} \leq U_t^{\max(s)}$ für alle $s \in \mathcal{S}$ und $t = 1, 2, \ldots, T$

Hauptproduktions-programmplanung

- 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

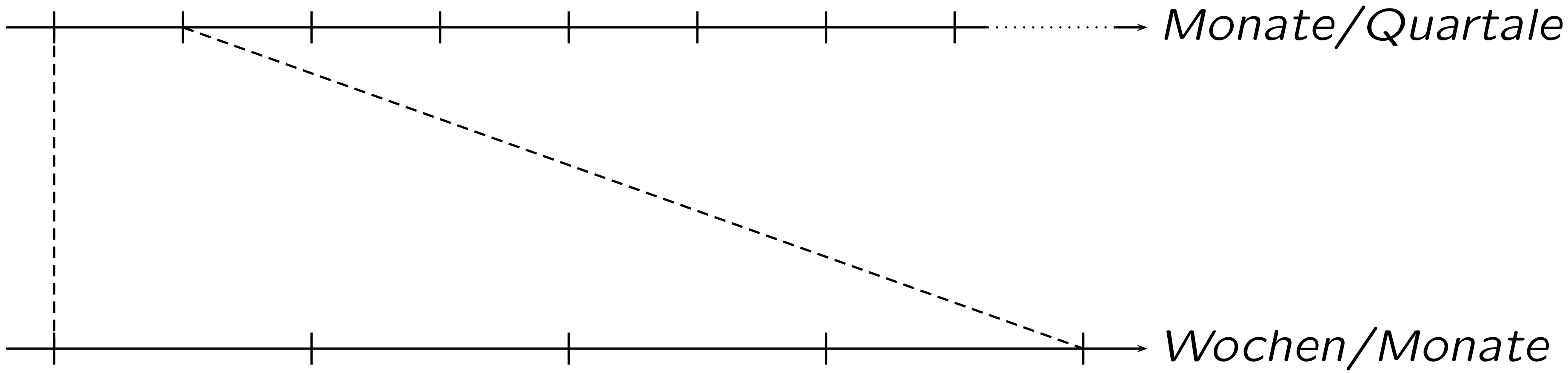
Aggregiert:

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))

Kapazitierte Hauptproduktions-programmplanung

Modell HPPPLAN

Indexmengen:

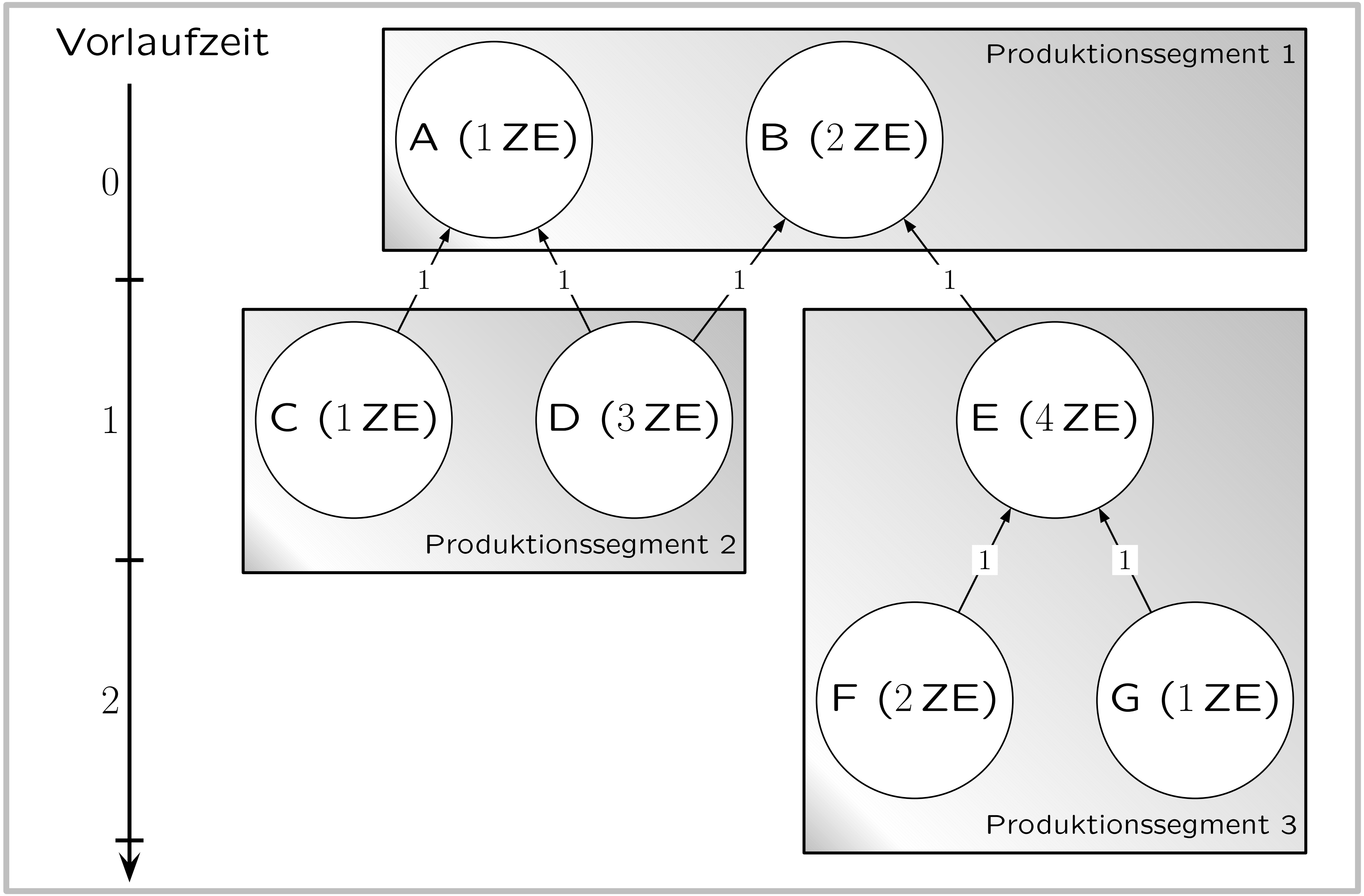
- $\mathcal{J}$ ... die Menge der zu betrachtenden Produktionssegmente
- $\mathcal{K}$ ... die Menge der betrachteten Produkte

Variablen:

- x_{kt} ... die Produktionsmenge für Produkt k in Periode t
- L_{kt} ... der Lagerbestand für Produkt k in Periode t
- U_{jt} ... die Zusatzkapazität (Überstunden) in Segment j in Periode t

Daten:

- d_{kt} ... die Nachfragemenge für Produkt k in Periode t
- b_{jt} ... die maximale Kapazität in Segment j in Periode t



(vgl. Günther/Tempelmeier (2016))

Kapazitätsbelastungsprofil

Vorlaufperiode	0	1	2
Endprodukt A			
Produktionssegment 1	1 (A)	—	—
Produktionssegment 2	—	$1 + 3 = 4$ (C und D)	—
Produktionssegment 3	—	—	—
Endprodukt B			
Produktionssegment 1	2 (B)	—	—
Produktionssegment 2	—	3 (D)	—
Produktionssegment 3	—	4 (E)	$2 + 1 = 3$ (F und G)

(Beispiel aus Günther/Tempelmeier (2007))

f_{jkz} ... durch Produkt k verursachte Kapazitätsbelastung von Produktionssegment j in der Vorlaufperiode z (=„**Kapazitätsbelastungsfaktor**“)

Kapazitätsbeschränkung durch die knappe Kapzität in Periode t:

$1 \cdot x_{\mathsf{A}t} + 2 \cdot x_{\mathsf{B}t} \leq b_{1t} + U_{1t}$

$4 \cdot x_{\mathsf{A},t+1} + 3 \cdot x_{\mathsf{B},t+1} \leq b_{2t} + U_{2t}$

$4 \cdot x_{\mathsf{B},t+1} + 3 \cdot x_{\mathsf{B},t+2} \leq b_{3t} + U_{3t}$

Modell HPPPLAN

Indexmengen:

- $\mathcal{J}$ ... die Menge der zu betrachtenden Produktionssegmente
- $\mathcal{K}$ ... die Menge der betrachteten Produkte

Variablen:

- x_{kt} ... die Produktionsmenge für Produkt k in Periode t
- L_{kt} ... der Lagerbestand für Produkt k in Periode t
- U_{jt} ... die Zusatzkapazität (Überstunden) in Segment j in Periode t

Daten:

- d_{kt} ... die Nachfragemenge für Produkt k in Periode t
- b_{jt} ... die maximale Kapazität in Segment j in Periode t
- f_{jkz} ... die Kapazitätsbelastungsfaktoren
- $U_{jt}^{\max}$ ... die maximale Zusatzkapazität in Segment j in Periode t

Modell HPPPLAN

Daten — Fortsetzung —:

- Z_k ... die für Produkt k zu berücksichtigende maximale Vorlaufzeit
- $L_k^{(0)}$ ... der Anfangslagerbestand für Produkt k
- h_k ... der Lagerkostensatz für Produkt k
- u_t ... der Kostensatz für Zusatzkapazität in Periode t

Modell HPPPLAN

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

u. B. d. R.:

Anfangslagerbestand für Produkt k:

$L_{k0} = L_k^{(0)}$ für alle $k \in \mathcal{K}$

Nachfrage für Produkt k in Periode t:

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

Verfügbare Kapazität in Segment j in Periode t:

$\sum_{k\in\mathcal{K}} \sum_{z=0}^{Z_k} f_{jkz} \cdot x_{k,t+z} - U_{jt} \leq b_{jt}$ für alle $j \in \mathcal{J}, t = 1, 2, \ldots, T$

Maximale Zusatzkapazität im Segment j in Periode t:

$U_{jt} \leq U_{jt}^{\max}$ für alle $j \in \mathcal{J}, t = 1, 2, \ldots, T$

Beispiel **2 Produkte, 8 Perioden**

Nachfragemengen

Periode / Produkt	1	2	3	4	5	6	7	8
A	–	45.00	30.00	10.00	0.00	50.00	10.00	0.00
B	–	–	25.00	30.00	25.00	30.00	20.00	0.00

weitere Daten

- Normalkapazität: $b_{jt} = 100$ $\quad (j = 1, 2, 3;\ t = 1, 2, \ldots, 8)$
- maximale Zusatzkapazität: $U_{jt}^{\max} = 100$ $\quad (j = 1, 2, 3;\ t = 1, 2, \ldots, 8)$
- Lagerkostensatz: $h_k = 40$ $\quad (k \in \{A, B\})$
- Überstundenzuschlag: $u_t = 5$ $\quad (t = 1, 2, \ldots, 8)$

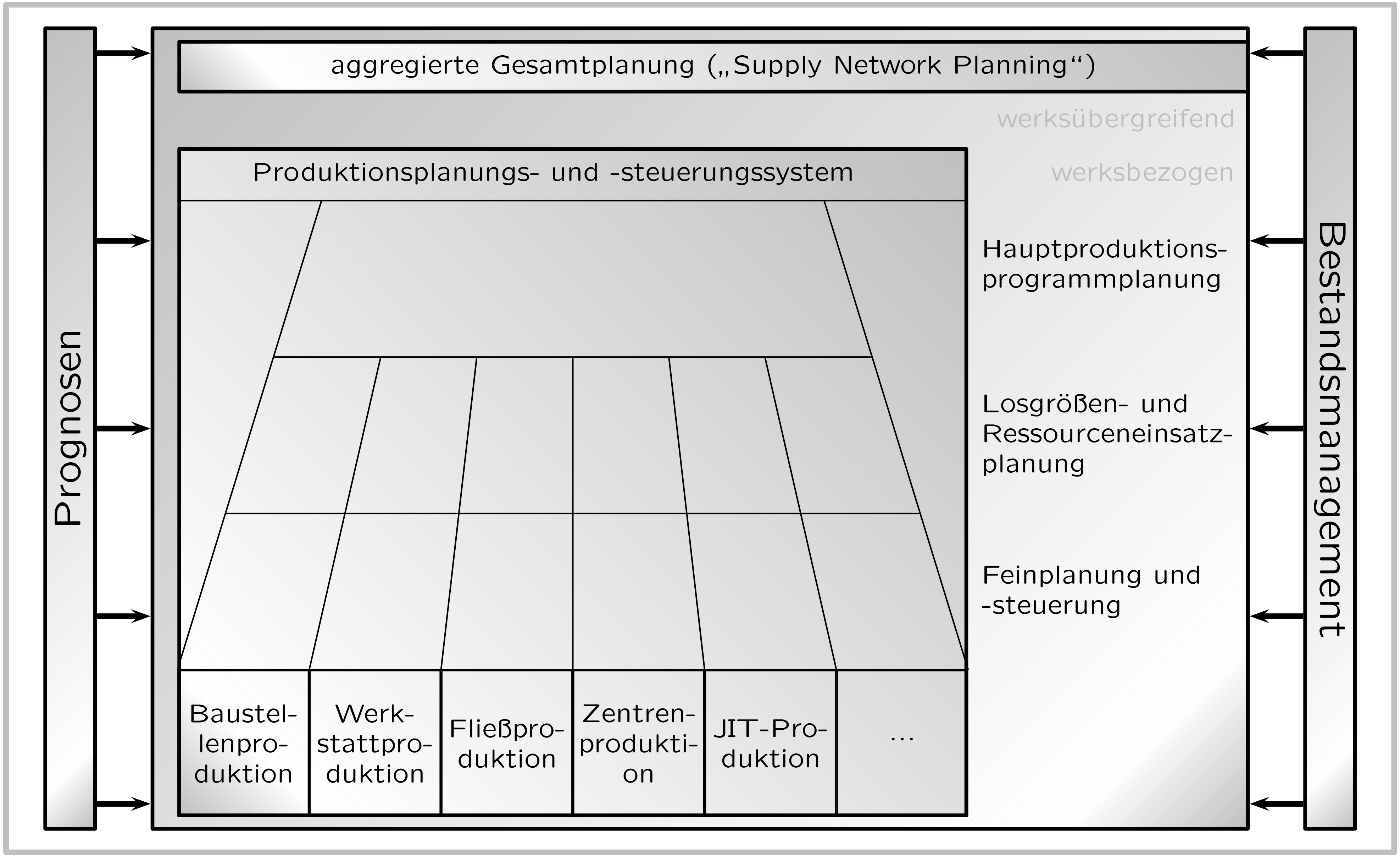
Beispiel 2 Produkte, 8 Perioden

Nachfragemengen

Periode / Produkt	1	2	3	4	5	6	7	8
A	–	45.00	30.00	10.00	0.00	50.00	10.00	0.00
B	–	–	25.00	30.00	25.00	30.00	20.00	0.00

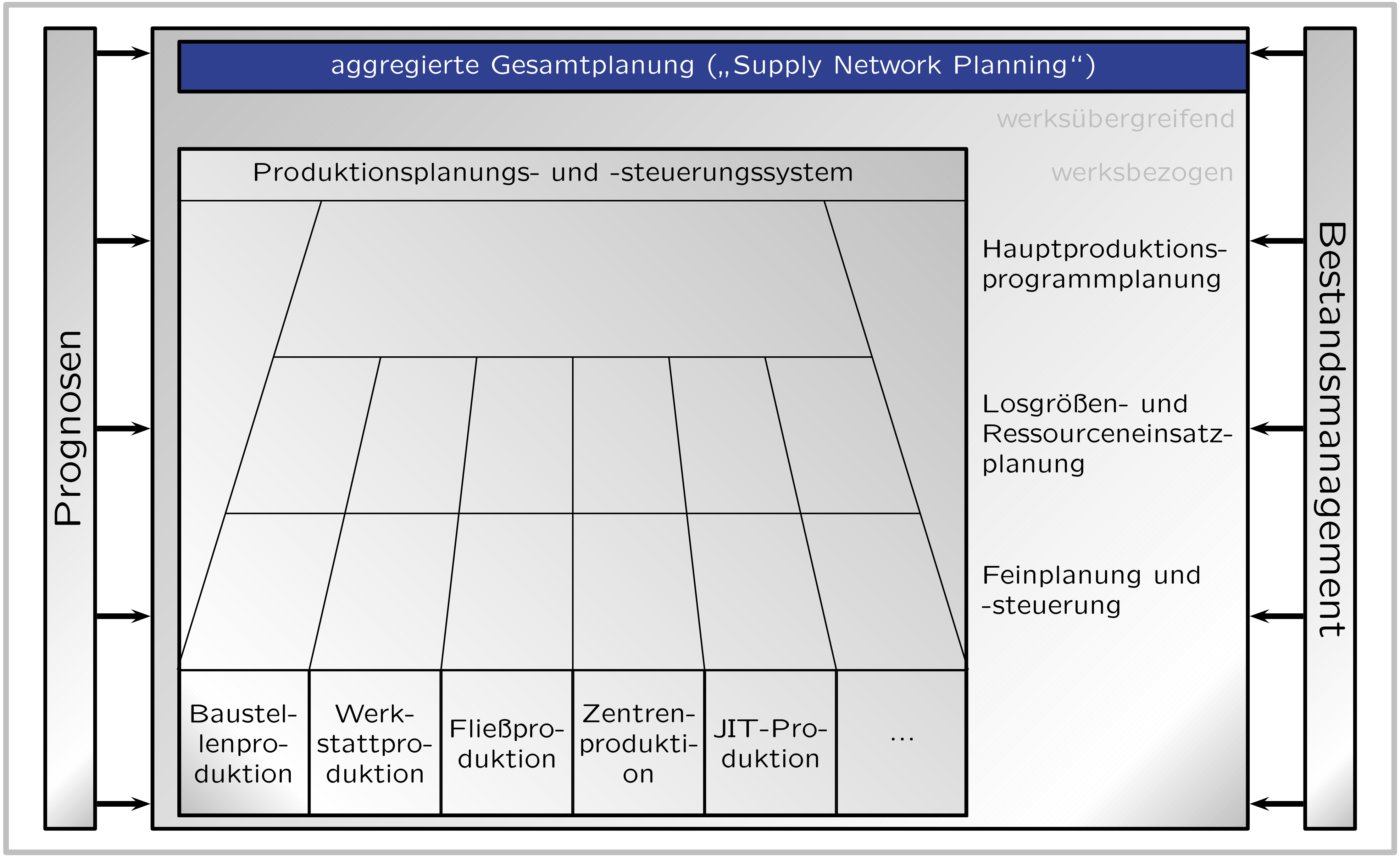
optimale Produktionsmengen

Periode / Produkt	1	2	3	4	5	6	7	8
A	–	47.50	27.50	31.25	31.25	27.50	10.00	20.00
B	–	–	30.00	25.00	25.00	30.00	20.00	10.00

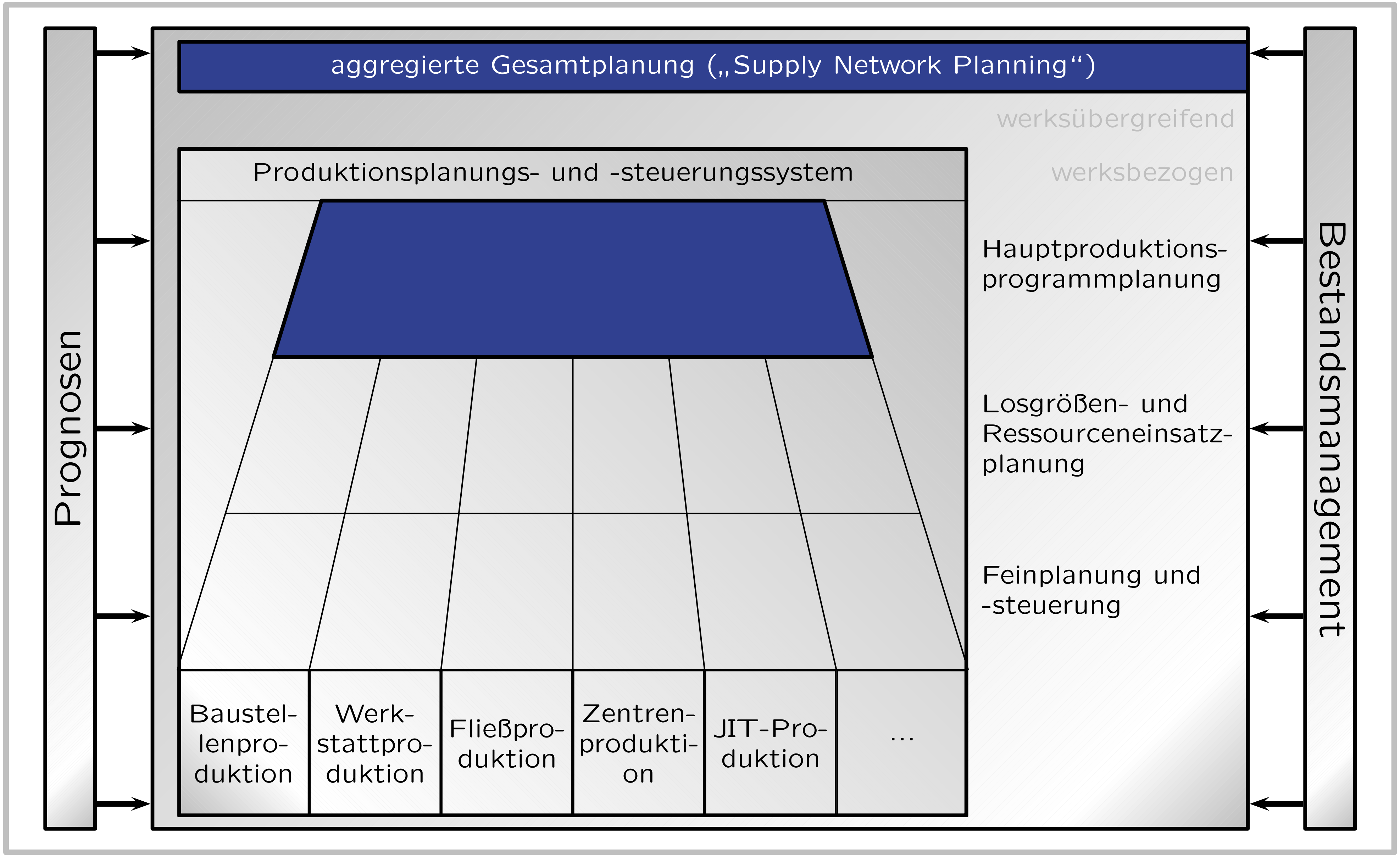


(vgl. Drexl/Fleischmann/Günther/Stadtler/Tempelmeier (1993), Tempelmeier (2008))

Operative Produktionsplanung und -steuerung



(vgl. Drexl/Fleischmann/Günther/Stadtler/Tempelmeier (1993), Tempelmeier (2008))



(vgl. Drexl/Fleischmann/Günther/Stadtler/Tempelmeier (1993), Tempelmeier (2008))