

Ressourceneinsatzplanung

Ausgangspunkt:

► **Durchlaufterminierung**

Festlegung der frühestmöglichen und spätestzulässigen Start- und Endtermine für die einzelnen Arbeitsgänge der Produktionsaufträge

Planungsproblem:

► **Terminplanung**

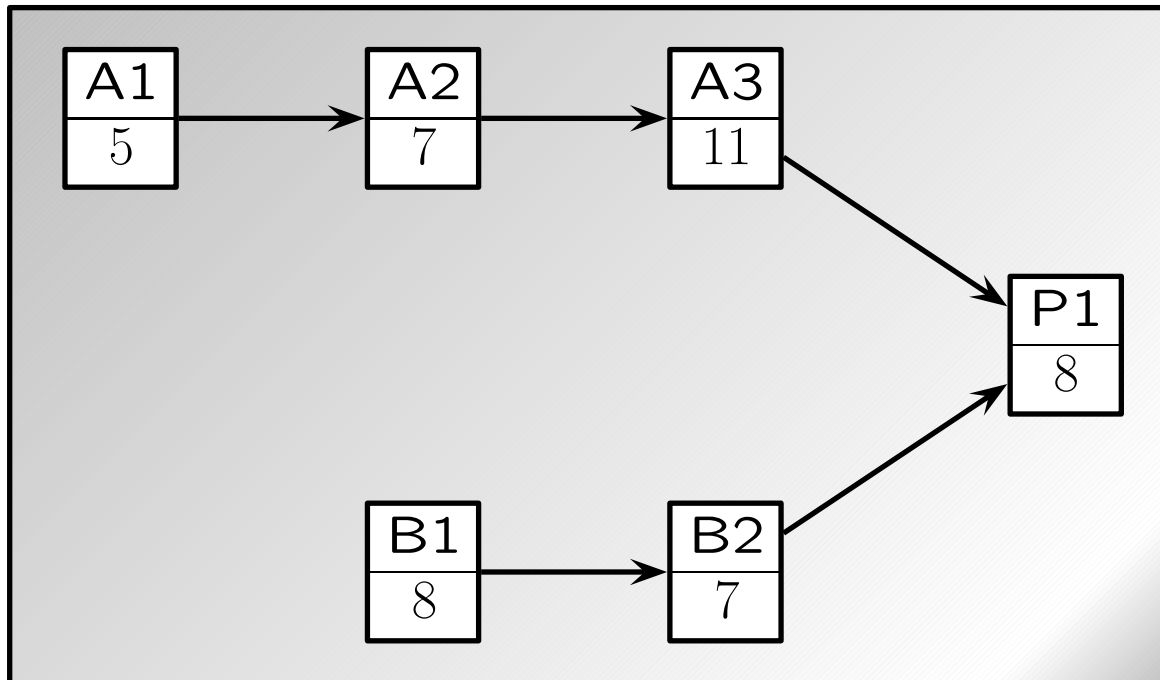
Festlegung der tatsächlichen Start- und Endtermine für die einzelnen Arbeitsgänge der Produktionsaufträge

► Betrachtung aller zeitverbrauchenden Vorgänge

- ▷ Produktionsaufträge gemäß Losgrößenplanung, Eilaufträge
- ▷ Produktionsaufträge für B- und C-Produkte
- ▷ Produktionsaufträge zur Auffüllung von Sicherheitsbeständen
- ▷ Transportvorgänge, Rüstzeiten, Mindestabstände

► Festlegung der Ressourcenbelegung

Terminplanung in der Praxis

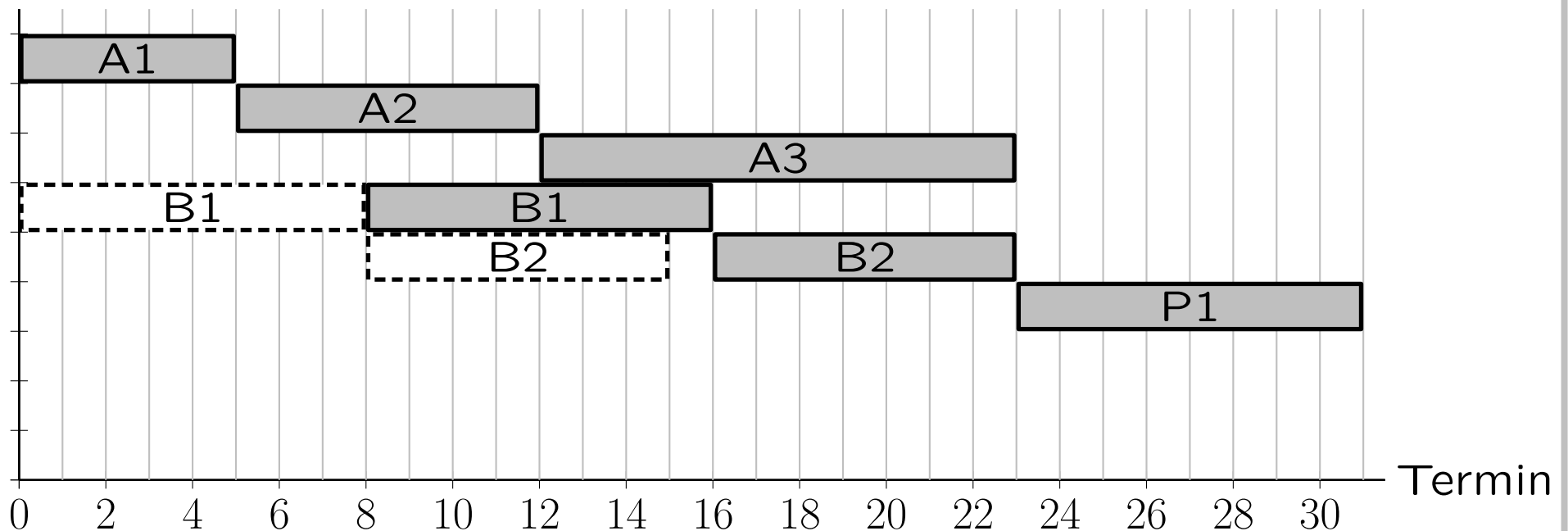


(vgl. Günther/Tempelmeier (2012))

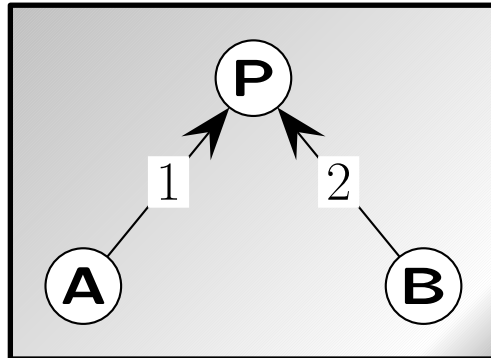
Arbeitsgang j	Dauer	FAZ $_j$	FEZ $_j$	SAZ $_j$	SEZ $_j$	GP $_j$
A1	5	0	5	0	5	0
A2	7	5	12	5	12	0
A3	11	12	23	12	23	0
B1	8	0	8	8	16	8
B2	7	8	15	16	23	8
P1	8	23	31	23	31	0

Arbeitsgang j	Dauer	FAZ _{j}	FEZ _{j}	SAZ _{j}	SEZ _{j}	GP _{j}
A1	5	0	5	0	5	0
A2	7	5	12	5	12	0
A3	11	12	23	12	23	0
B1	8	0	8	8	16	8
B2	7	8	15	16	23	8
P1	8	23	31	23	31	0

Ressourcenbelegung



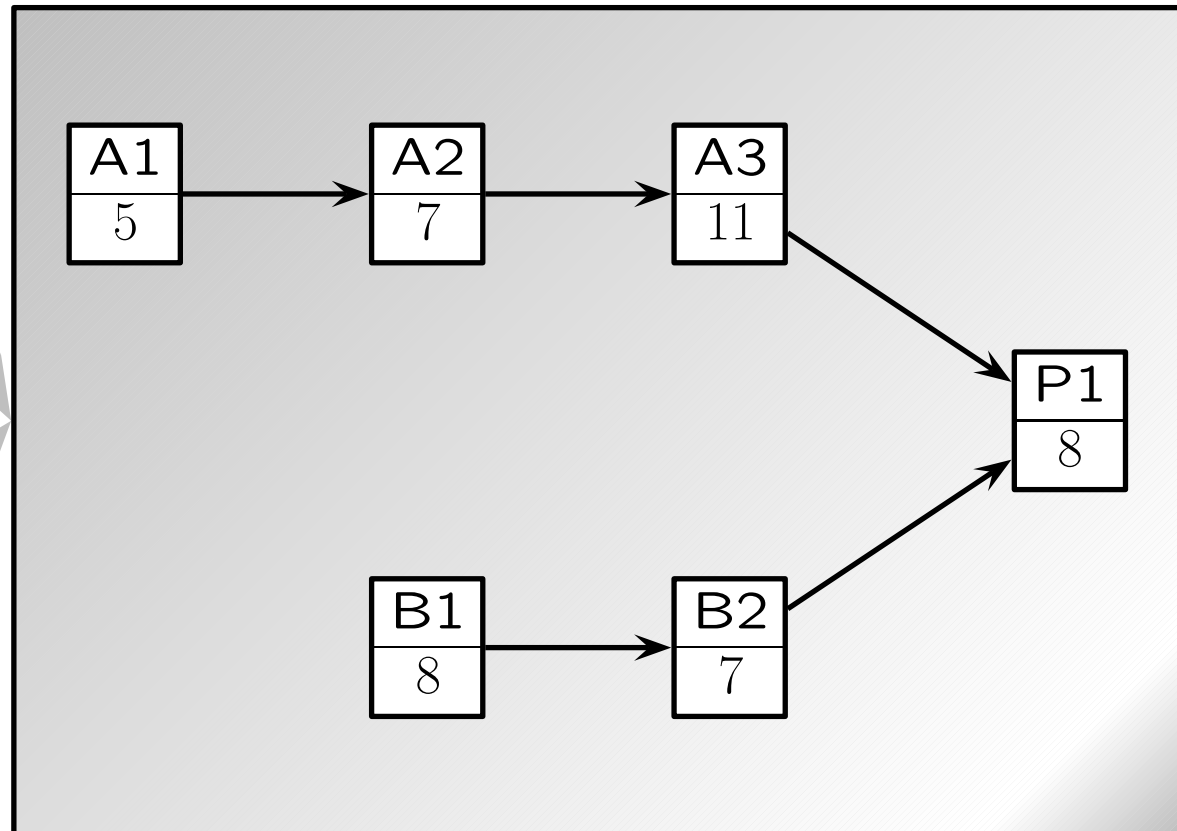
Gozintograph



Arbeitspläne

Erzeugnis A	
A1: Drehen	
A2: Bohren	
A3: Qualitätskontrolle	
Erzeugnis B	
B1: Fräsen	
B2: Bohren	
Erzeugnis P	
P1: Montage	

Auftragsnetz/„Projekt“

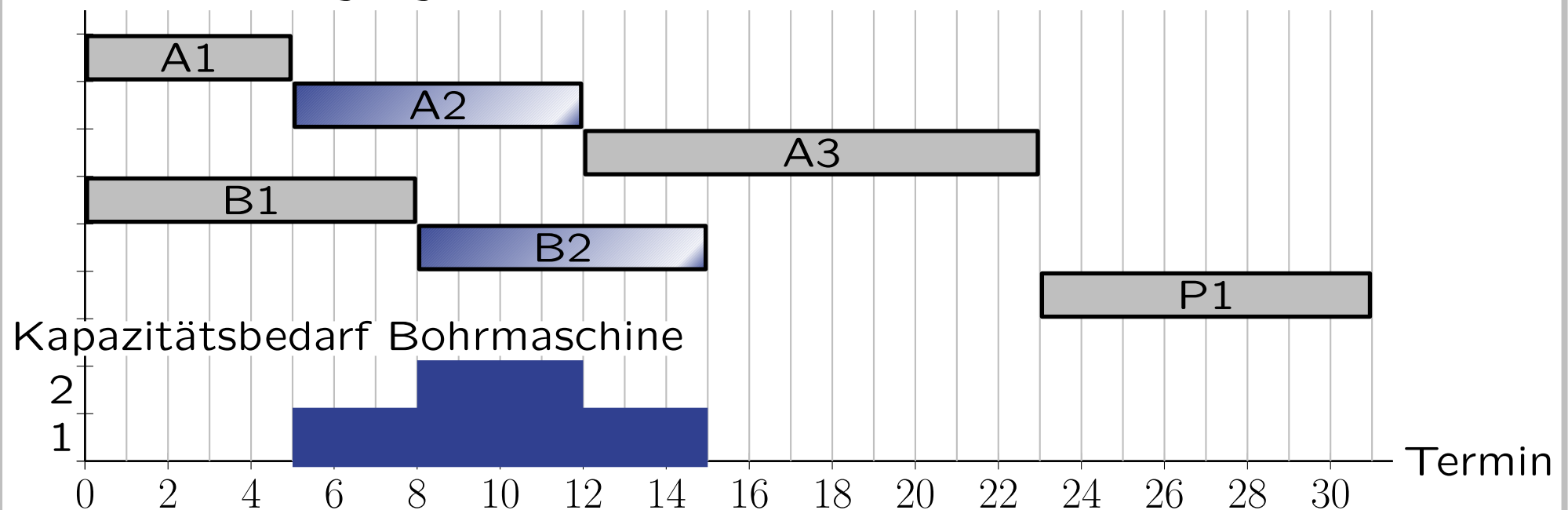


(mit Vorgangsdauern in Zeiteinheiten (ZE))

(vgl. Günther/Tempelmeier (2012))

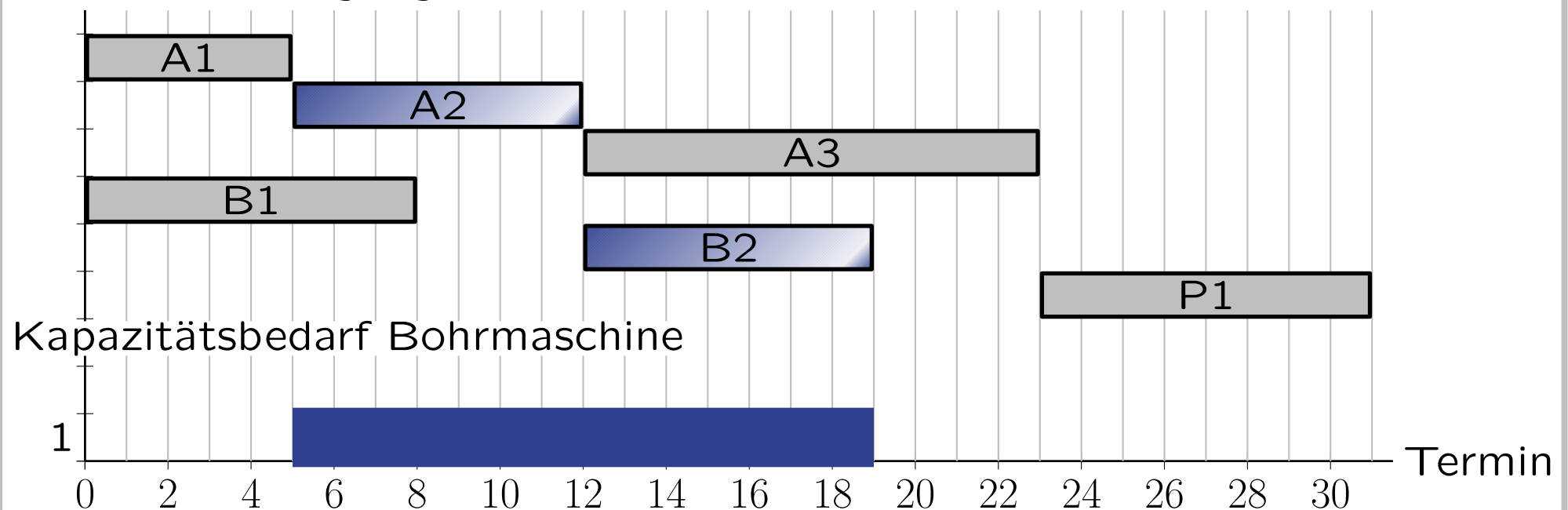
Arbeitsgang j	Dauer	FAZ _{j}	FEZ _{j}	SAZ _{j}	SEZ _{j}	GP _{j}
A1	5	0	5	0	5	0
A2	7	5	12	5	12	0
A3	11	12	23	12	23	0
B1	8	0	8	8	16	8
B2	7	8	15	16	23	8
P1	8	23	31	23	31	0

Ressourcenbelegung



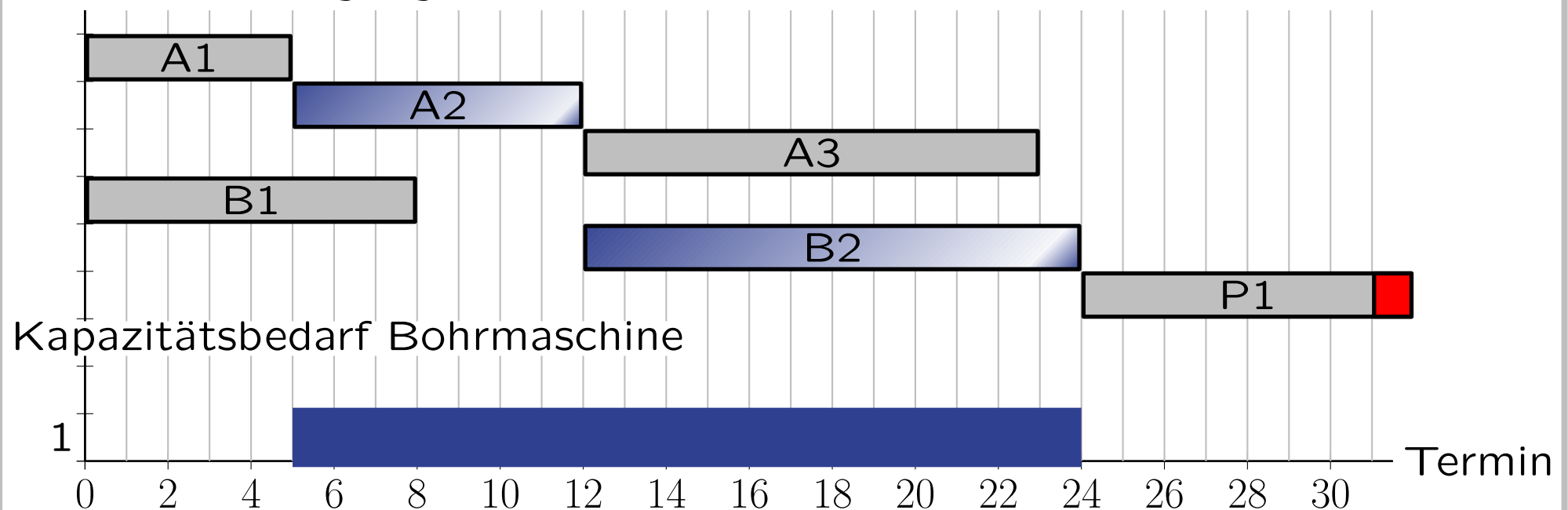
Arbeitsgang j	Dauer	FAZ $_j$	FEZ $_j$	SAZ $_j$	SEZ $_j$	GP $_j$
A1	5	0	5	0	5	0
A2	7	5	12	5	12	0
A3	11	12	23	12	23	0
B1	8	0	8	8	16	8
B2	7	8	15	16	23	8
P1	8	23	31	23	31	0

Ressourcenbelegung



Arbeitsgang j	Dauer	FAZ $_j$	FEZ $_j$	SAZ $_j$	SEZ $_j$	GP $_j$
A1	5	0	5	0	5	0
A2	7	5	12	5	12	0
A3	11	12	23	12	23	0
B1	8	0	8	3	11	3
B2	12	8	20	11	23	3
P1	8	23	31	23	31	0

Ressourcenbelegung

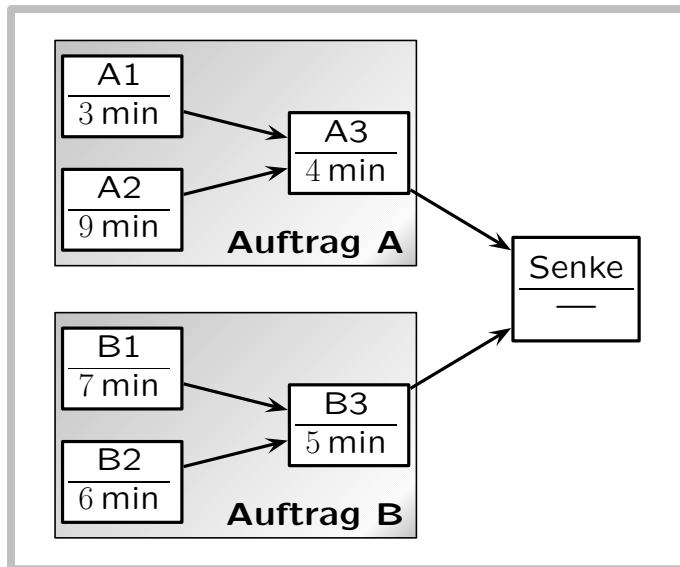


Kapazitätsbelastungsausgleich

- ▶ Anpassung der Belastungsprofile
 - ▷ frühestmögliche Einplanung der Arbeitsgänge
 - ▷ Verschiebung innerhalb der Pufferzeit
 - ▷ evtl. gemeinsame Verschiebung mit vorangehenden und nachfolgenden Arbeitsgängen
 - ▷ Ausweichmaßnahmen
- ▶ Anpassung der Kapazitäten
 - ▷ Zeitlich: Die Anlagen laufen länger.
 - ▷ Intensitätsmäßig: Die Anlagen laufen schneller.
 - ▷ Quantitativ: Es laufen zusätzliche Anlagen.

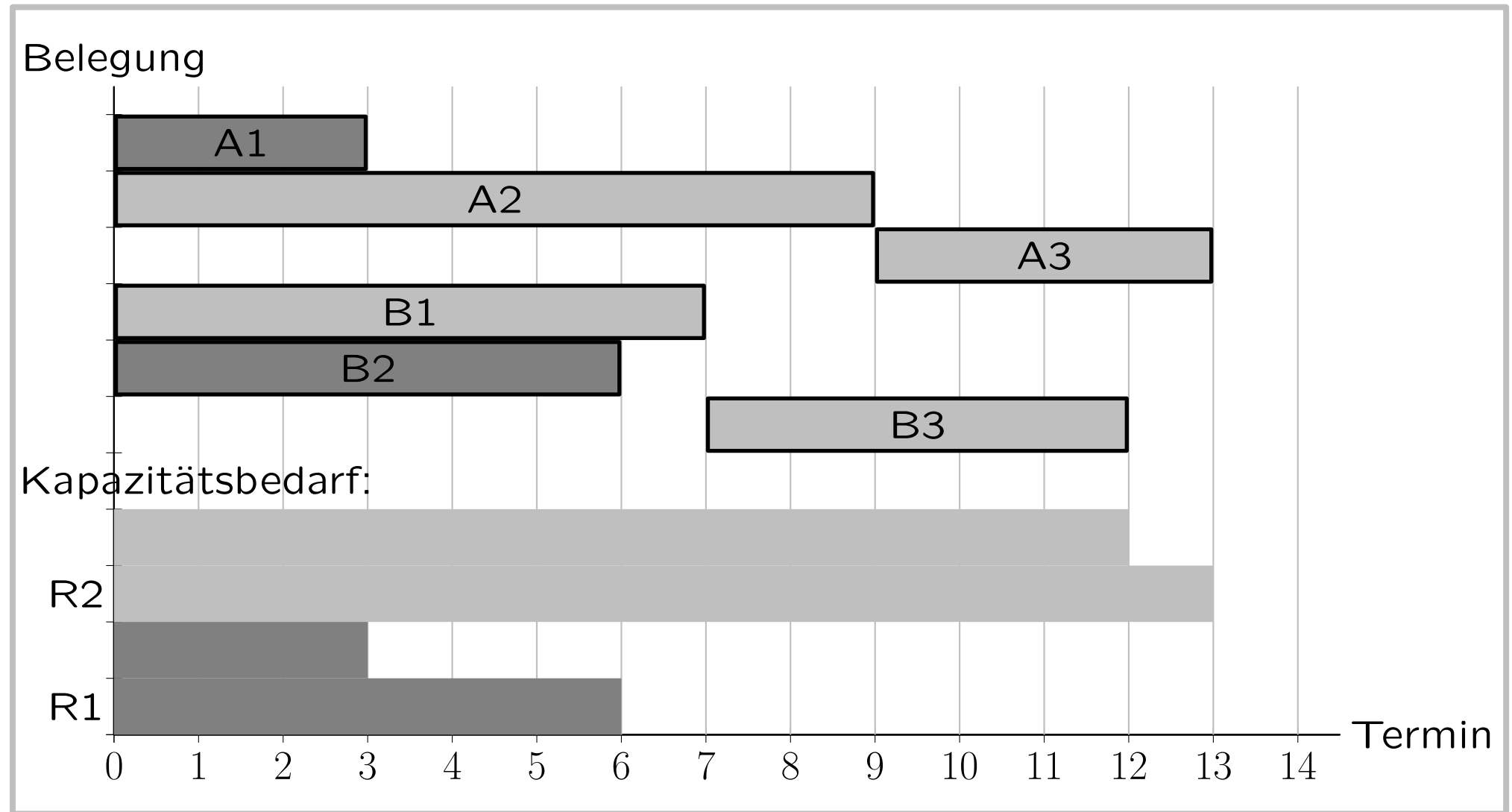
Kapazitätsorientierte Ressourceneinsatzplanung

Beispiel 6 Arbeitsgänge

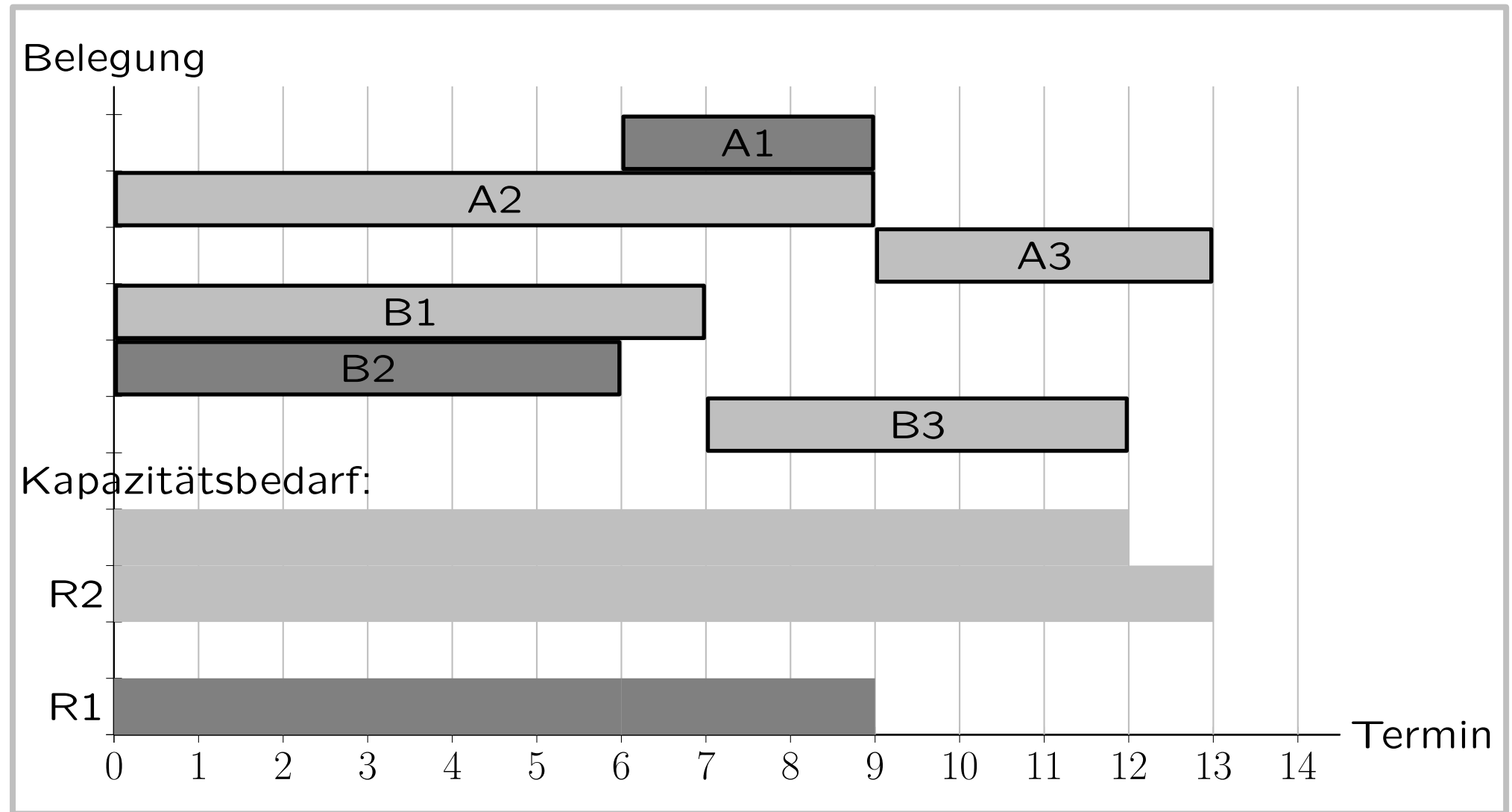


Arbeitsgang j	Dauer	FAZ _{j}	FEZ _{j}	SAZ _{j}	SEZ _{j}	GP _{j}
A1	3	0	3	6	9	6
A2	9	0	9	0	9	0
A3	4	9	13	9	13	0
B1	7	0	7	1	8	1
B2	6	0	6	2	8	2
B3	5	7	12	8	13	1
Senke	0	13	13	13	13	0

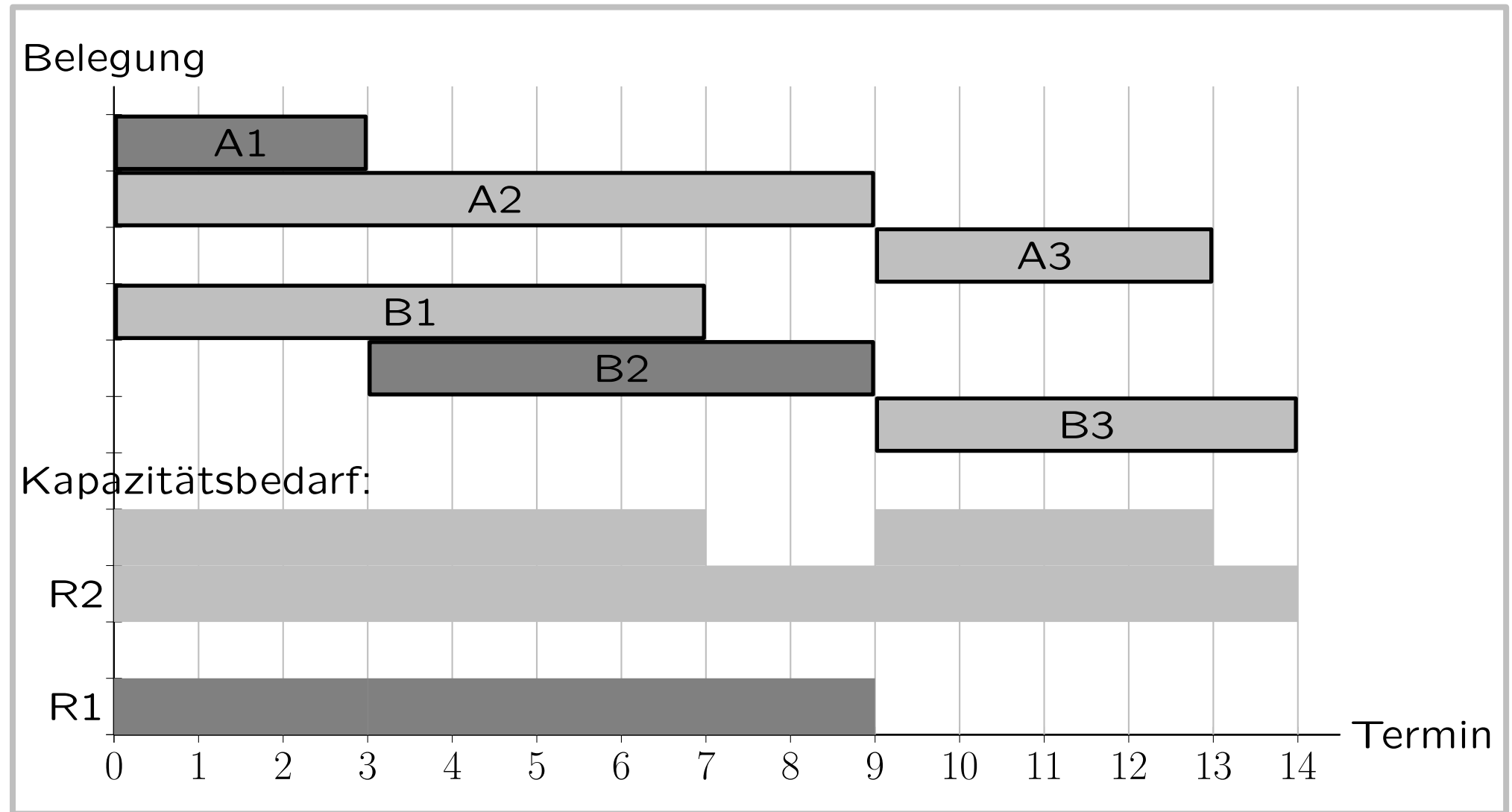
Ressourcenbelegung bei unbeschränkter Kapazität



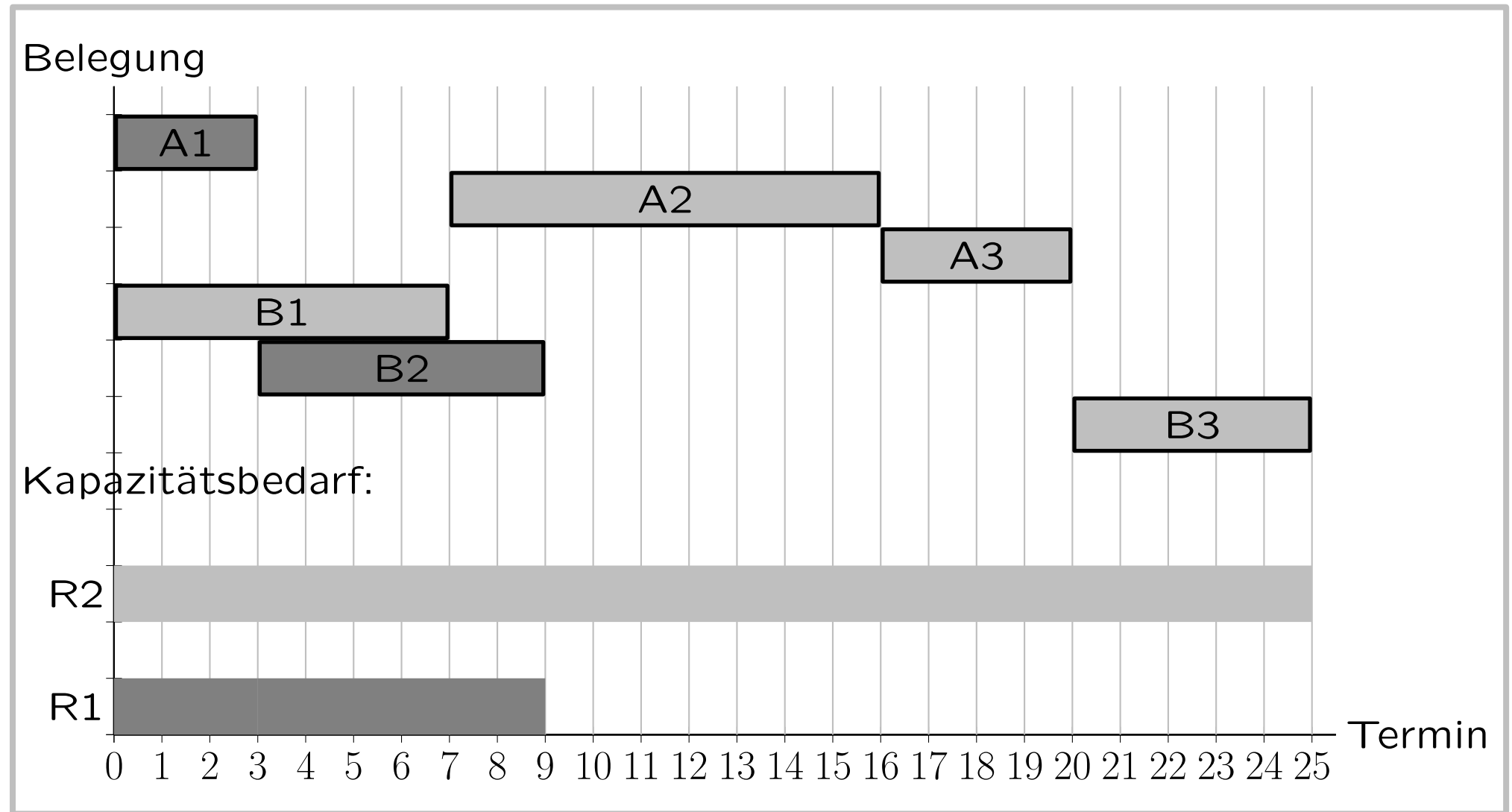
Ressourcenbelegung bei beschränkter Kapazität (gemäß LOZ-Regel)



Ressourcenbelegung bei beschränkter Kapazität (gemäß KOZ-Regel)



Ressourcenbelegung bei beschränkter Kapazität (gemäß KOZ-Regel)



Modell RCPSP

Was muss festgelegt werden:

... Wann kann Arbeitsgang j eines bestimmten Produktionsauftrags fertiggestellt werden ?

Modell RCPSP

Was muss festgelegt werden — Entscheidungsvariable:

$x_{jt} \in \{0; 1\}$... Fertigstellungszeitpunkt des Arbeitsgangs j

$$x_{jt} = \begin{cases} 1, & \text{wenn Arbeitsgang } j \text{ in Periode } t \text{ fertig-} \\ & \text{gestellt sein soll} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Modell RCPSP

Was ist gegeben — Daten:

d_j	...	Dauer des Arbeitsgangs j
\mathcal{V}_j	...	Menge der Vorgängerarbeitsgänge zu Arbeitsgang j (die Arbeitsgänge, die bei Start des Arbeitsgangs j fertig sein müssen)
FEZ_j	...	↓
SEZ_j	...	Daten aus der Durchlaufterminierung
k_{jr}	...	Kapazitätsbedarf des Arbeitsgangs j bezüglich Ressource r
K_r	...	Kapazität der Ressource r

Modell RCPSP

Minimiere:

$$Z = \sum_{t=\text{FEZ}_J}^{\text{SEZ}_J} t \cdot x_{Jt}$$

Wähle den Fertigstellungszeitpunkt des Projekts so früh wie möglich !

u. B. d. R.:

$$\sum_{t=\text{FEZ}_j}^{\text{SEZ}_j} x_{jt} = 1$$

Jeder Arbeitsgang $j = 1, \dots, J$ hat nur einen Endtermin zwischen dem frühestmöglichen (FEZ_j) und dem spätestzulässigen (SEZ_j).

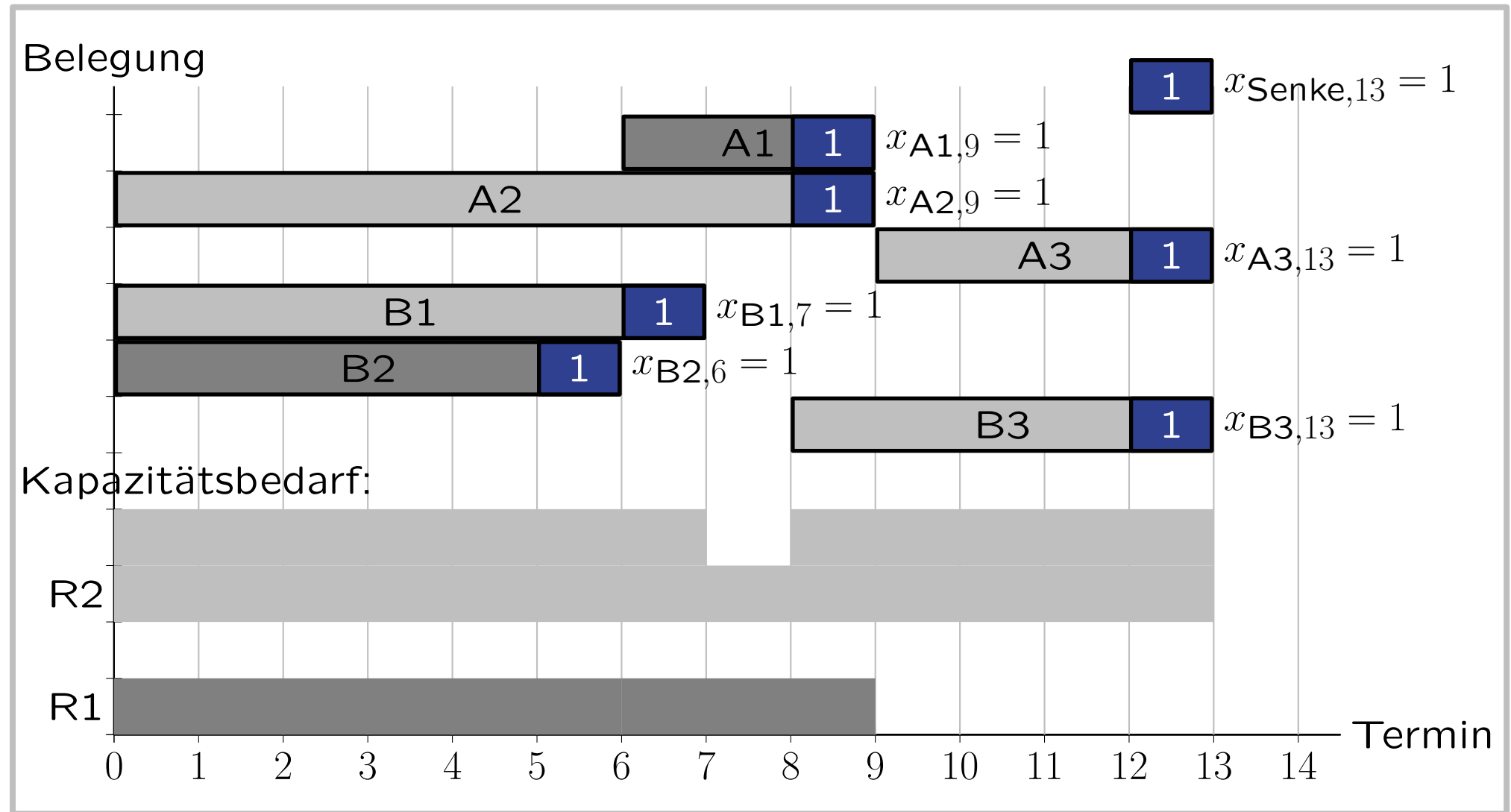
$$\sum_{t=\text{FEZ}_h}^{\text{SEZ}_h} t \cdot x_{ht} \leq \sum_{t=\text{FEZ}_j}^{\text{SEZ}_j} (t - d_j) \cdot x_{jt}$$

Die Vorgängerarbeitsgänge $h \in \mathcal{V}_j$ der Arbeitsgänge $j \in \{1, \dots, J\} \setminus \{\text{Quelle}\}$ müssen jeweils erledigt sein.

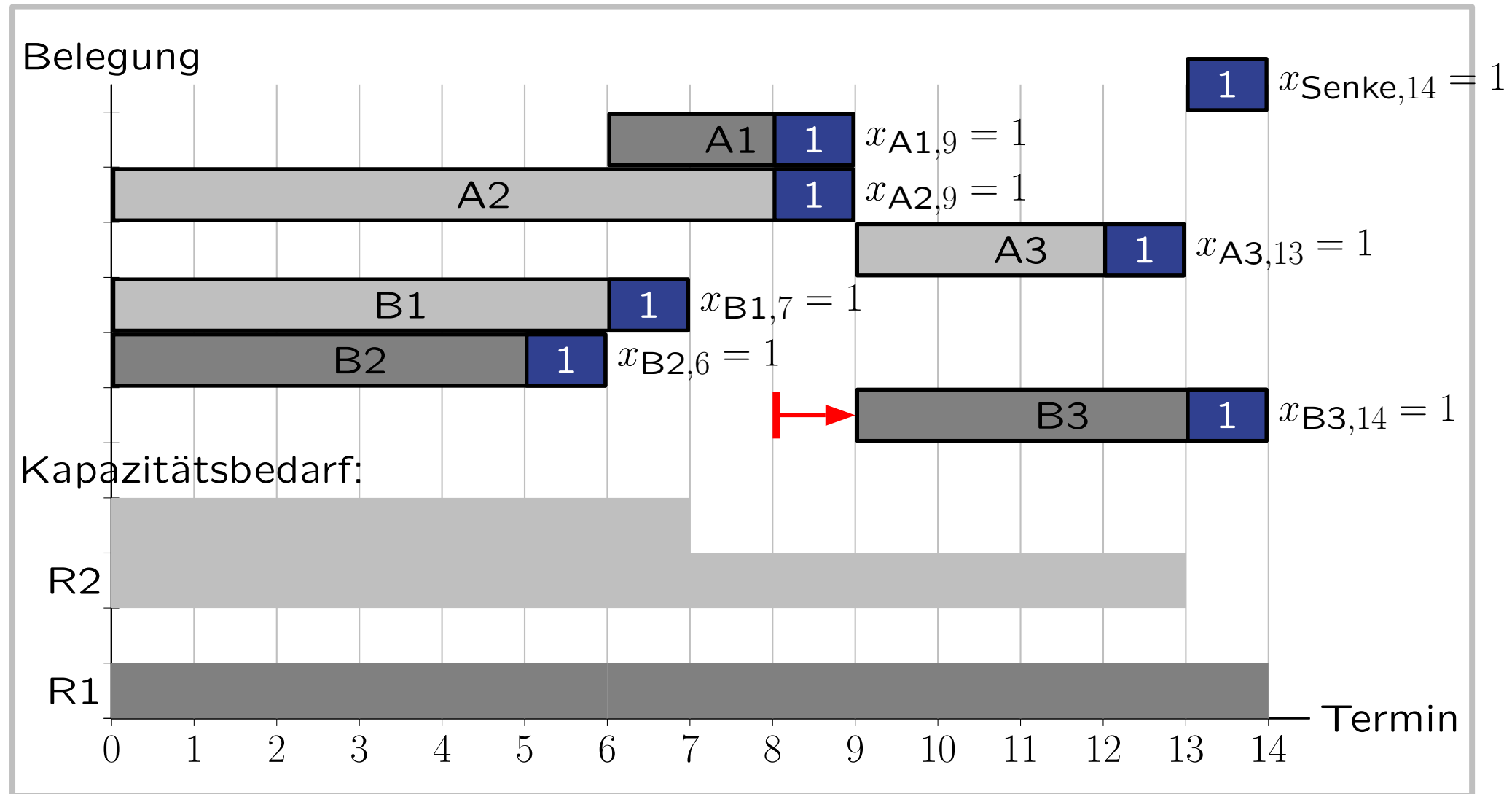
$$\sum_{j=1}^J k_{jr} \cdot \sum_{q=t}^{t+d_j-1} x_{jq} \leq K_r$$

Die Anzahl zeitlich parallel belegter Ressourceneinheiten (RE) darf die Anzahl verfügbarer RE der Ressourcen $r = 1, \dots, R$ zu keinem Zeitpunkt $t = 1, \dots, T$ überschreiten.

Ressourcenbelegung bei beschränkter Kapazität (optimale Lösung)



Ressourcenbelegung bei beschränkter Kapazität (optimale Lösung)



Konzepte zur Produktionsplanung und -steuerung („Logistik-Konzepte“)

Grundlagen

Daten

- ▶ Produktprogramm
- ▶ verfügbare Betriebsmittel und Arbeitskräfte (Kapazitäten)
- ▶ Rahmenvereinbarungen mit Zulieferern

Aufgaben

- ▶ Bestimmung der Produktionsmengen
- ▶ Kapazitätsabgleich bei saisonal schwankenden Absatzmengen
- ▶ Ableitung der benötigten Vorproduktmengen mit den zugehörigen Produktions- bzw. Beschaffungsaufträgen
- ▶ Festlegung der Reihenfolge und der zeitlichen Lage der Produktionsaufträge an den einzelnen Ressourcen

Prinzipien

► Push

- ▷ Bring-Prinzip
- ▷ umfasst alle Planungs- und Steuerungsaufgaben
- ▷ Produktion gemäß Prognose bzw. Planung

► Pull

- ▷ Hol-Prinzip
- ▷ betrifft die Steuerung ausgewählter Materialflussessegmente
- ▷ Produktion auf Abruf

Vom SIULSP zum CLSP

Modell CLSP

Was ist gegeben — **Indexmengen:**

\mathcal{K} ... die Menge der betrachteten Produkte

\mathcal{J} ... die Menge der gemeinsam genutzten Ressourcen

Was ist gegeben — **Daten:**

d_{kt} ... Bedarf für Produkt k in Periode t

$y_k^{(0)}$... Anfangslagerbestand für Produkt k

s_k ... Rüstkostensatz für Produkt k

h_k ... Lagerkostensatz für Produkt k

p_{kt} ... variable Produktionskosten für Produkt k in Periode t

tb_{jk} ... Stückbearbeitungszeit für Produkt k auf Ressource j

tr_{jk} ... Rüstzeit für Produkt k auf Ressource j

b_{jt} ... Kapazität der Ressource j in Periode t

Modell CLSP

Minimiere die Summe aus Rüstkosten und Lagerkosten:

$$Z = \sum_{k \in \mathcal{K}} \sum_{t=1}^T (h_k \cdot y_{kt} + s_k \cdot \gamma_{kt} + p_{kt} \cdot q_{kt})$$

u. B. d. R.:

Bedarf in Periode t :

$$y_{k,t-1} + q_{kt} - y_{kt} = d_{kt} \quad \text{für alle } k \in \mathcal{K} \text{ und } t = 1, 2, \dots, T$$

Kapazitäten in Periode t :

$$\sum_{k \in \mathcal{K}} (\text{tb}_{jk} \cdot q_{kt} + \text{tr}_{jk} \cdot \gamma_{kt}) \leq b_{jt} \quad \text{für alle } j \in \mathcal{J} \text{ und } t = 1, 2, \dots, T$$

Es muss gerüstet werden, wenn $q_t > 0$ ist:

$$q_{kt} - M \cdot \gamma_{kt} \leq 0 \quad \text{für alle } k \in \mathcal{K} \text{ und } t = 1, 2, \dots, T$$

Wertebereich:

$$q_{kt} \geq 0; y_{kt} \geq 0; y_{k0} = 0; y_{kT} = 0; \gamma_{kt} \in \{0; 1\} \text{ für alle } k \in \mathcal{K} \text{ und } t = 1, 2, \dots, T$$

Vom CLSP zum MLCLSP

wegen Ressourcenkonkurrenz

- ▶ arbeitsgangbezogene Betrachtung (*Production Process Model (PPM)*) zur Erfassung aller Ressourcenverbräuche, d. h., nach jedem Arbeitsgang gilt eine neue Erzeugnisstufe als erreicht, und es wird ein neues (Zwischen-)Produkt identifiziert
- ▶ mehrstufige Betrachtung zur Erfassung der Erzeugnisstruktur
- ▶ simultane Betrachtung aller Werkstätten auf Grund der Materialflussbeziehungen

Modell MLCLSP

Minimiere die Summe aus Rüstkosten und Lagerkosten:

$$Z = \sum_{k \in \mathcal{K}} \sum_{t=1}^T (h_k \cdot y_{kt} + s_k \cdot \gamma_{kt} + p_{kt} \cdot q_{kt})$$

u. B. d. R.:

Bedarf in Periode t :

$$y_{k,t-1} + q_{k,t-z_k} - \sum_{j \in \mathcal{N}_k} a_{kj} \cdot q_{jt} - y_{kt} = d_{kt} \quad \text{für alle } k \in \mathcal{K} \text{ und } t = 1, 2, \dots, T$$

Kapazitäten in Periode t :

$$\sum_{k \in \mathcal{K}} (\text{tb}_{kj} \cdot q_{kt} + \text{tr}_{kj} \cdot \gamma_{kt}) \leq b_{jt} \quad \text{für alle } j \in \mathcal{J} \text{ und } t = 1, 2, \dots, T$$

Es muss gerüstet werden, wenn $q_{kt} > 0$ ist:

$$q_{kt} - M \cdot \gamma_{kt} \leq 0 \quad \text{für alle } k \in \mathcal{K} \text{ und } t = 1, 2, \dots, T$$

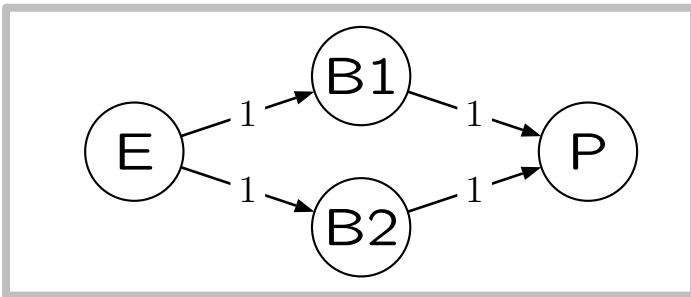
Wertebereich:

$$q_{kt} \geq 0; y_{kt} \geq 0; y_{k0} = 0; y_{kT} = 0; \gamma_{kt} \in \{0, 1\} \text{ für alle } k \in \mathcal{K} \text{ und } t = 1, 2, \dots, T$$

Beispiel

(vgl. Günther/Tempelmeier (2012))

Für ein Endprodukt P liegen für die nächsten 4 Wochen geplante Primärbedarfsmengen in Höhe von 10, 10, 30 und 15 ME vor. Das Endprodukt P wird aus zwei Komponenten (B1 und B2) hergestellt, die ihrerseits wiederum auf einem gemeinsamen Ausgangsmaterial E, das zuvor noch bearbeitet werden muss, basieren. Die Erzeugnis- und Prozessstruktur wird durch den folgenden Gozintographen wiedergegeben:



Alle Arbeitsgänge finden auf derselben Ressource statt. Die Stückbearbeitungszeiten entsprechen einer Zeiteinheit; die Rüstzeiten seien vernachlässigbar. Die Lagerkosten pro Mengeneinheit und Woche betragen für die Erzeugnisse P, B1, B2 bzw. E jeweils 4.0, 1.1, 1.1 bzw. 1.0 Geldeinheiten (GE). Als fixe Kosten fallen für jeden Rüstvorgang 100 GE an.

Beispiel

(vgl. Günther/Tempelmeier (2012))

Produktionsplan nach dem herkömmlichen MRP-Sukzessivplanungskonzept mit isoliert bestimmten optimalen Losgrößen (SIULSP):

Periode t Produkt k	1	2	3	4
P	20	0	45	0
B1	65	0	0	0
B2	65	0	0	0
E	130	0	0	0

Zulässiger (und optimaler) Produktionsplan mit MLCLSP:

Periode t Produkt k	1	2	3	4
P	10	10	30	15
B1	20	0	30	15
B2	20	0	30	15
E	40	60	0	30

(Periodenkapazität: 90 Zeiteinheiten)

Ein hierarchisches,
kapazitätsorientiertes
Produktionsplanungs- und
-steuerungskonzept

zentrale Planungsebenen

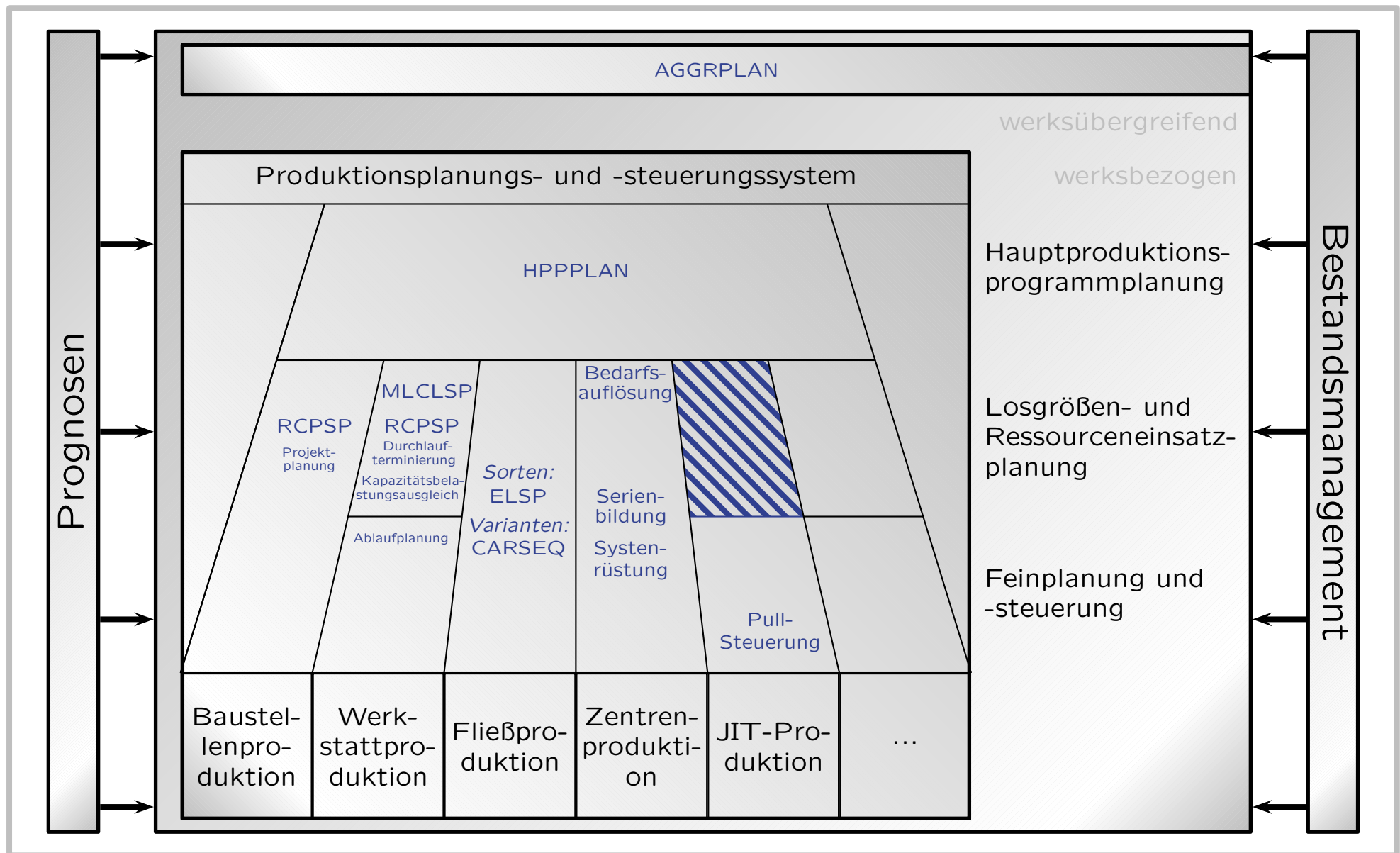
- ▶ aggregierte Gesamtplanung
(zeitliche Koordination von Kapazitätsangebot und -nachfrage, Beschäftigungsglättung)
 - ▷ Bestimmung des kostenminimalen Produktionsprogramms
(Minimierung der Summe aus Lagerkosten und Mehrkosten für Zusatzkapazität)
 - ▷ längerfristig, aggregiert
 - ▷ Daten: Nachfrageprognosen, werksbezogene Kapazitäten
- ▶ Hauptproduktionsprogrammplanung
(Vorgabe für die dezentralen Produktionssegmente)
 - ▷ – *Problemstruktur wie bei Beschäftigungsglättung* –
 - ▷ *aber*: weniger aggregiert
 - ▷ Daten: Nachfragemengen, segmentbezogene Kapazitäten, Kapazitätserfordernisse der Hauptprodukte

dezentrale Planungsebenen: (1) Werkstattproduktion

- ▶ kapazitätsorientierte, mehrstufige Mehrprodukt-Losgrößenplanung (MLCLSP)
 - ▷ Aufstellen eines kostenminimalen Produktionsplans (mit möglichst wenigen Rüstvorgängen und geringen Lagerbeständen)
 - ▷ Daten: Erzeugnisstruktur, Bedarfsmengen, arbeitssystembezogene Kapazitäten
- ▶ Ressourceneinsatzplanung (RCPSP)
 - ▷ Aufstellen zulässiger Maschinenbelegungspläne (v. a. im Hinblick auf die Liefertermine und Ressourcenkapazitäten)
 - ▷ Berücksichtigung aller zeitverbrauchenden Vorgänge sowie von B- und C-Produkten
 - ▷ Daten: Durchlaufterminierung, Pufferzeiten, Kapazitäten
- ▶ Feinplanung und Steuerung (Ablaufplanung, Maschinenbelegungs-/ Reihenfolgeplanung, „Scheduling“; Auftragsfreigabe; Überwachung)

dezentrale Planungsebenen: (2) Fließproduktion

- ▶ simultane Losgrößen- und Reihenfolgeplanung bei Sortenproduktion (*ELSP, Economic Lot Scheduling Problem*)
 - ▷ Aufstellen zulässiger (bedarfsdeckende und überschneidungsfreie) Anlagenbelegungspläne, z. B. mit einem für alle Produkte einheitlichen Produktionszyklus
 - ▷ Daten: Rüstzeiten, endliche Produktionsgeschwindigkeit, kontinuierlicher Bedarf
- ▶ Einlastungsplanung bei Variantenproduktion (*Car Sequencing, Level Scheduling*)
 - ▷ Festlegung der Einlastungsreihenfolge mit möglichst gleichmäßiger Auslastung und zeitlich ausgeglichener Arbeitsbelastung der Stationen
 - ▷ Daten: Taktzeit, variantenabhängig wandernder Engpass, ausstattungsbezogene Kapazitätsbeschränkungen



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

- ▶ Berücksichtigung der knappen Kapazitäten in allen Planungsphasen
→ Ziel: zulässige (durchführbare) Produktionspläne
- ▶ Abbildung der segmentspezifischen Planungsprobleme
→ Gründe:
 - ▷ Unterschiede zwischen den Produktionssegmenten bezüglich des Organisationstyps der Fertigung
- ▶ hierarchische Integration
→ Gründe:
 - ▷ keine Simultanplanung möglich
 - ▷ Interdependenzen zwischen Erzeugnissen, Planungsmodulen und -ebenen sind jedoch – soweit möglich – zu berücksichtigen
 - ▷ zentrale Koordination notwendig
- ▶ verschiedene Aggregationsgrade, Planungshorizonte und -raster
- ▶ rollierende Planung, Sicherheitsbestände