

Klausur zur Veranstaltung  
“Gestaltung industrieller Produktionsprozesse”  
im Wintersemester 2023/24

**Hinweise:**

- Die Klausur besteht aus **12** Seiten (inkl. Deckblatt). Bitte überprüfen Sie, ob Ihr Exemplar vollständig ist und lassen Sie sich ansonsten ein anderes geben.
- Die Klausur besteht aus **5** Aufgaben, die alle zu bearbeiten sind. Die erreichbare Punktzahl ist bei jeder Aufgabe angegeben. Insgesamt sind bei einer Klausurdauer von **60 Minuten** maximal **60 Punkte** zu erreichen.
- **Der Lösungsweg muß erkennbar sein!** Wenn Sie zur Beantwortung einer Frage eine Formel verwenden, so geben Sie diese zunächst in allgemeiner Form an!
- **Bitte antworten Sie kurz und präzise! Stichpunktartige Antworten genügen!**
- Erlaubte Hilfsmittel sind ein nicht-programmierbarer Taschenrechner sowie ein zweiseitig handschriftlich beschriebenes Hilfsblatt im Format DIN A4 mit Inhalten nach Ihrer Wahl.
- Zur Beantwortung der Fragen finden Sie genügend Platz in der Klausur. Bitte reißen Sie die Klausur nicht auseinander und verwenden Sie kein eigenes Papier.
- Tragen Sie bitte zuerst Ihre persönlichen Daten ein.

**Persönliche Daten:**

| Nachname | Vorname | Matrikelnr. | Studienfach | Abschluss | Semester |
|----------|---------|-------------|-------------|-----------|----------|
|          |         |             |             |           |          |

**Bewertung:**

| Aufg.       | 1 | 2 | 3  | 4  | 5  | Summe |
|-------------|---|---|----|----|----|-------|
| max. Punkte | 8 | 9 | 15 | 16 | 12 | 60    |
| Punkte      |   |   |    |    |    |       |

**Viel Erfolg bei der Klausur!**

1. **Advanced Planning Systems (APS)**

**8 Punkte**

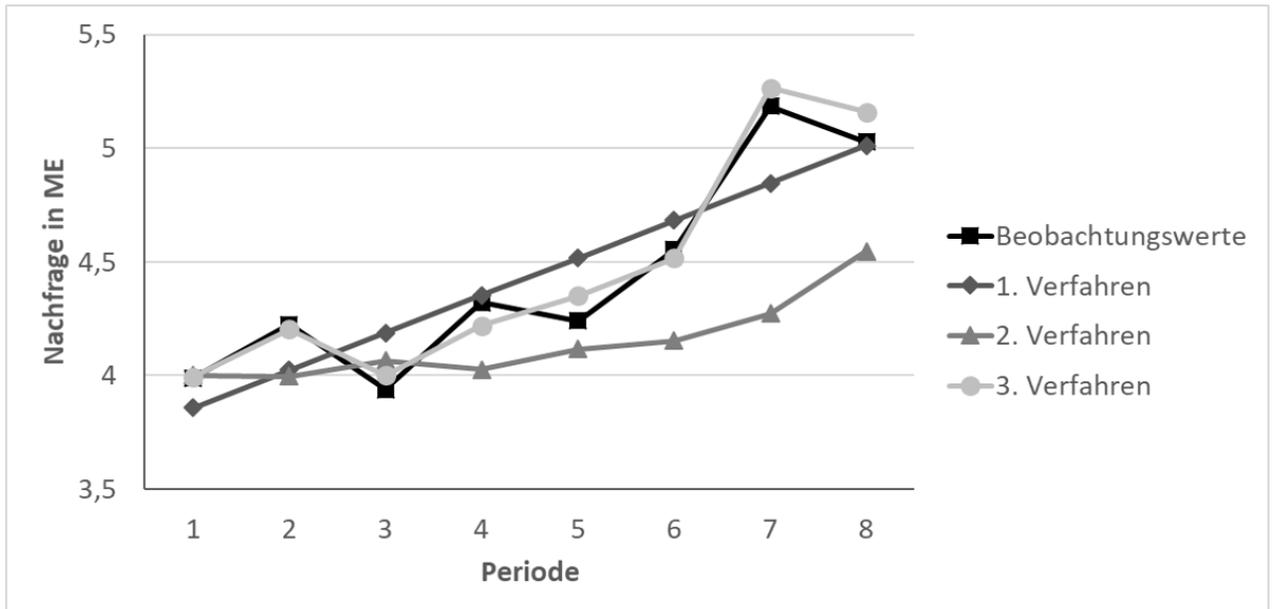
- (a) Erläutern Sie kurz, anhand welcher zwei Dimensionen die APS-Matrix die Entscheidungsfelder bzw. Software-Module eines APS unterteilt. Gehen Sie dabei auch kurz auf die einzelnen Ebenen der Matrix ein. **(5 P.)**

- (b) Erläutern Sie kurz, welche Rolle Entscheidungsmodelle und Optimierungsverfahren in APS spielen. **(3 P.)**

## 2. Prognose bei saisonalem Bedarf

9 Punkte

Für eine unbekannte Zeitreihe wurden in acht Perioden Realisationen beobachtet. Sie wollen nun eine Prognose für die kommende Periode 9 vornehmen. Dafür haben Sie mit drei verschiedenen Verfahren eine Schätzfunktion ermittelt. Für jedes Verfahren haben Sie die Ex-Post-Prognosen für die Perioden 1 bis 8 graphisch zusammen mit dem Verlauf der Beobachtungswerte aufgetragen. Außerdem haben Sie die mittlere absolute Abweichung  $MAD_8$  sowie das Abweichungssignal  $SIG_8$  für die achte Periode ermittelt. Die Informationen finden Sie hier zusammengefasst:



### 1. Verfahren:

$$\hat{y}_t = 0,1647 \cdot t + 3,6937$$

$$MAD_8 = 0,1031$$

$$SIG_8 = -0,0706$$

### 2. Verfahren:

$$\hat{y}_t = 0,3 \cdot y_{t-1} + 0,7 \cdot \hat{y}_{t-1}$$

$$MAD_8 = 0,1465$$

$$SIG_8 = 0,9505$$

### 3. Verfahren:

$$\hat{y}_t = -0,003044 \cdot t^6 + 0,080421 \cdot t^5 - 0,836218 \cdot t^4 + 4,339434 \cdot t^3 - 11,659484 \cdot t^2 + 15,055066 \cdot t - 2,98325$$

$$MAD_8 = 0,0338$$

$$SIG_8 = -0,5968$$

- (a) Benennen Sie die Verfahren, die bei den verschiedenen Vorschlägen zur Bestimmung der Schätzfunktionen verwendet wurden. **(3 P.)**

1. Verfahren:

2. Verfahren:

3. Verfahren:

- (b) Begründen Sie, welches der vorgestellten Verfahren Sie für eine Prognose für Periode 9 verwenden würden. Erläutern Sie dabei für jedes Verfahren, was für und/oder was gegen eine Verwendung für die Nachfrageprognose spricht. Gehen Sie dabei auch auf die mittlere absolute Abweichung und das Abweichungssignal ein. **(6 P.)**

### 3. Mehrperiodige Produktionsprogrammplanung

15 Punkte

(a) In dem in der Vorlesung gezeigten Modell zur horizontalen und vertikalen Beschäftigungsglättung werden unter anderem folgende Annahmen getroffen:

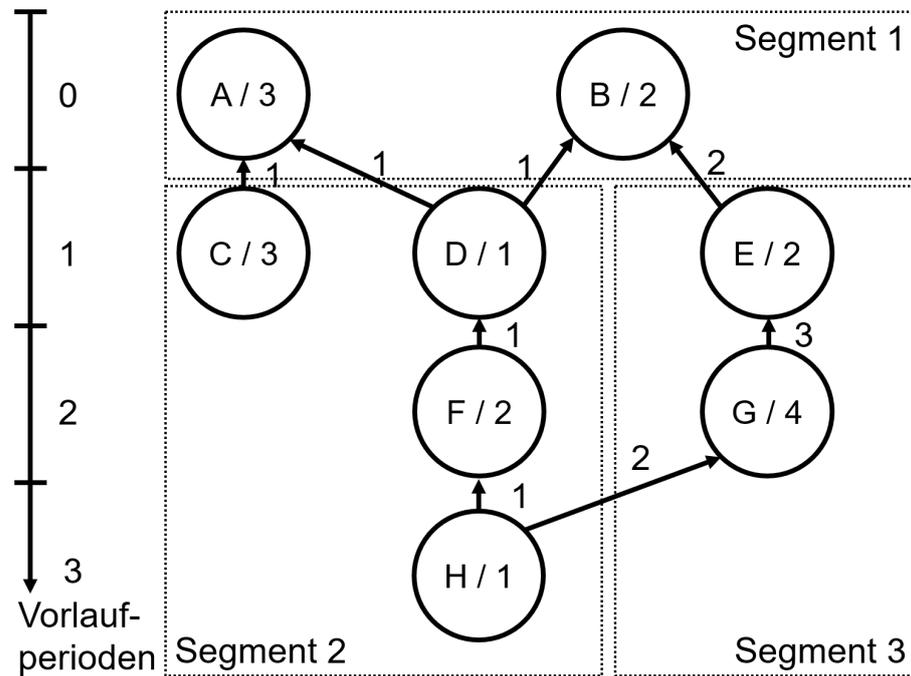
- i. Fremdbeschaffung ist möglich.
- ii. Es gibt minimale Lagerbestände.
- iii. Es gibt maximale Lagerkapazitäten.
- iv. Überstunden sind möglich.

Geben Sie für jeden Aspekt an, ob sich durch die unten genannte Veränderung für sich genommen der Lösungsraum (die Menge der **zulässigen** Lösungen) *vergrößert* oder *verkleinert*. (4 P.)

- i. Ohne Fremdbeschaffung \_\_\_\_\_ sich der Lösungsraum.
- ii. Ohne minimale Lagerbestände \_\_\_\_\_ sich der Lösungsraum.
- iii. Ohne maximale Lagerkapazitäten \_\_\_\_\_ sich der Lösungsraum.
- iv. Ohne Überstunden \_\_\_\_\_ sich der Lösungsraum.

(b) Nennen Sie drei Möglichkeiten zur Integration von Unsicherheit in der Nachfrage in ein Produktionsprogrammplanungs-Modell. Welche Vor- und Nachteile haben diese Möglichkeiten? (4 P.)

- (c) Im Folgenden finden Sie ein Schaubild einer Erzeugnisstruktur für die Produktion von zwei Endprodukten. Bestimmen Sie für diese Erzeugnisstruktur die Kapazitätsbelastungsfaktoren  $tb_{jkp}$ . (7 P.)



|              |                      | $p = 3$ | $p = 2$ | $p = 1$ | $p = 0$ |
|--------------|----------------------|---------|---------|---------|---------|
| Endprodukt A | Produktionssegment 1 |         |         |         |         |
|              | Produktionssegment 2 |         |         |         |         |
|              | Produktionssegment 3 |         |         |         |         |
| Endprodukt B | Produktionssegment 1 |         |         |         |         |
|              | Produktionssegment 2 |         |         |         |         |
|              | Produktionssegment 3 |         |         |         |         |

#### 4. Dynamische Losgrößenplanung, GLSP

16 Punkte

Im Folgenden wird die in der Vorlesung behandelte und Ihnen somit bekannte Modellformulierung für das *General Lotsizing Problem (GLSP)* dargestellt.

Hinweis: Sie können die Notation und das Modell zunächst überspringen und dann zielgerichtet in den Teilaufgaben die angesprochenen Elemente des Modells betrachten.

---

Indizes und Indexmengen:

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| $i, k = \{0, 1, \dots, K\}$ | Produkte ( $i, k = 0$ : Nullzustand)         |
| $l = \{1, \dots, L\}$       | Linien                                       |
| $s = \{1, \dots, S\}$       | (Mikro-)Perioden                             |
| $t = \{1, \dots, T\}$       | (Makro-)Perioden                             |
| $S_t$                       | Menge der Mikroperioden von Makroperiode $t$ |

Parameter:

|                 |  |
|-----------------|--|
| $ac_{lk}$       | Variable Bereitschaftskosten für die Aufrechterhaltung des Rüstzustandes von Produkt $k$ auf Linie $l$ |
| $C_{lt}$        | Kapazität der Linie $l$ in Makroperiode $t$  |
| $d_{kt}$        | Bedarf von Produkt $k$ in Makroperiode $t$   |
| $hc_k$          | Kosten der Lagerung einer Einheit von Produkt $k$ über eine Makroperiode                               |
| $pc_{lk}$       | Variable Produktionskosten von Produkt $k$ auf Linie $l$   |
| $q_{lk}^{\min}$ | Mindestlosgröße von Produkt $k$ auf Linie $l$  |
| $q_{l0}^{\min}$ | Minimalzeit, die Linie $l$ im Nullzustand sein muss, wenn dieser Zustand erreicht wird                 |
| $sc_{lik}$      | Kosten eines Rüstvorgangs von Produkt $i$ auf Produkt $k$ an Linie $l$                                 |
| $st_{lik}$      | Dauer eines Rüstvorgangs von Produkt $i$ auf Produkt $k$ an Linie $l$                                  |
| $tb_{lk}$       | Stückbearbeitungszeit für Produkt $k$ auf Linie $l$ (Produktionskoeffizient)                           |
| $Y_{k0}$        | Lageranfangsbestand von Produkt $k$  |
| $\delta_{lk0}$  | Anfangszustand, gleich 1, wenn Linie $l$ zu Beginn der Planung für Produkt $k$ gerüstet ist, 0 sonst   |

Entscheidungsvariablen (**Auszug**):

|  |  |
|--|--|
| $Q_{l0s} \in \mathbb{R}_0^+$                         | Zeit in Mikroperiode $s$ , in der sich die Anlage im Nullzustand (nicht gerüstet) befindet |
| $Y_{kt} \in \mathbb{R}_0^+$                          | Lagerbestand von Produkt $k \neq 0$ am Ende von Makroperiode $t$                           |
| $Q_{lks}, \bar{q}_{lks}, \gamma_{lks}, \delta_{lks}$ | → siehe Aufgabe (a)  |

---

Zielfunktion:

$$\text{Min} \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K h_{C_k} \cdot Y_{kt} + \sum_{l=1}^L \sum_{i=0}^I \sum_{k=0}^K \sum_{s=1}^S s_{C_{lik}} \cdot \gamma_{lik} + \sum_{l=1}^L \sum_{k=0}^K \sum_{s=1}^S p_{C_{lk}} \cdot Q_{lks} + \sum_{l=1}^L \sum_{k=0}^K \sum_{s=1}^S a_{C_{lk}} \cdot \bar{q}_{lks} \quad (1)$$

Nebenbedingungen:

$$Y_{k,t-1} + \sum_{l=1}^L \sum_{s \in S_t} Q_{lks} - d_{kt} = Y_{kt}, \quad \forall t, k \neq 0 \quad (2)$$

$$\sum_{k=0}^K \sum_{s \in S_t} (tb_{lk} \cdot Q_{lks} + \bar{q}_{lks}) = C_{lt} - \sum_{i=0}^I \sum_{k=0}^K \sum_{s \in S_t} st_{lik} \cdot \gamma_{lik}, \quad \forall l, t \quad (3)$$

$$tb_{lk} \cdot Q_{lks} + \bar{q}_{lks} \leq C_{lt} \cdot \delta_{lks}, \quad \forall l, k, t, s \in S_t \quad (4)$$

$$Q_{lks} \geq q_{lk}^{\min} \cdot (\delta_{lks} - \delta_{lk,s-1}), \quad \forall l, k, s \quad (5)$$

$$\sum_{k=0}^K \delta_{lks} = 1, \quad \forall l, s \quad (6)$$

$$\gamma_{lik} \geq \delta_{li,s-1} + \delta_{lks} - 1, \quad \forall l, i, k, s \quad (7)$$

- (a) Erläutern Sie die Bedeutung und den Definitionsbereich der Entscheidungsvariablen  $Q_{lks}$ ,  $\bar{q}_{lks}$ ,  $\gamma_{lik}$  und  $\delta_{lks}$ . (4 P.)

(b) Warum werden beim GLSP im Gegensatz zum CLSP oder PLSP auch die Produktionskosten in der Zielfunktion berücksichtigt? **(2 P.)**

(c) Nehmen Sie an, die Nebenbedingungen (4) würden gänzlich entfallen. Welche Konsequenzen hätte dies für eine mit diesem Modell bestimmte Lösung? **(2 P.)**

(d) Betrachten Sie die Nebenbedingungen (5).

- i. Geben Sie in der folgenden Tabelle für jede Kombination der Variablen  $\delta_{lks}$  und  $\delta_{lks-1}$  die Begrenzung von  $Q_{lks}$  in Verbindung mit den aus dem GLSP bekannten Definitionsbereichen der Variablen an und kennzeichnen Sie kurz, was dies inhaltlich bedeutet. **(4 P.)**

| $\delta_{lks}$ | $\delta_{lks-1}$ | $Q_{lks}$ | Bedeutung |
|----------------|------------------|-----------|-----------|
| 0              | 0                |           |           |
| 0              | 1                |           |           |
| 1              | 0                |           |           |
| 1              | 1                |           |           |

- ii. Geben Sie an, welche Funktion diese Nebenbedingungen (5) somit erfüllen. **(1 P.)**

- iii. Welche Probleme könnten auftreten, wenn stattdessen die Restriktion

$$Q_{lks} \geq q_{lk}^{min} \cdot \delta_{lks}, \quad \forall l, k, s$$

verwendet werden würde? Welche Probleme können auch bei der im GLSP gewählten Formulierung auftreten? **(3 P.)**

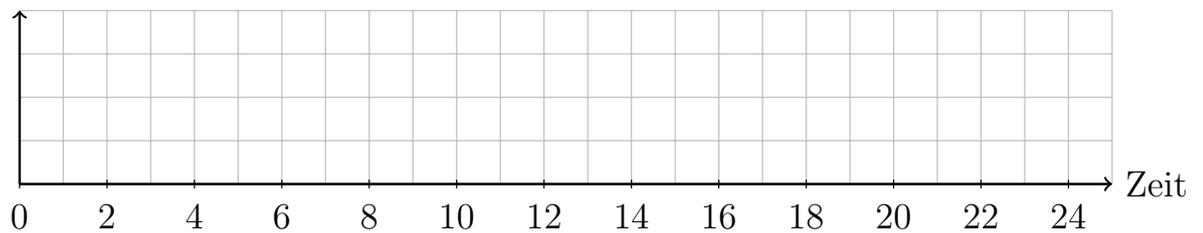
5. Reihenfolgeplanung, Verfahren von Schrage

12 Punkte

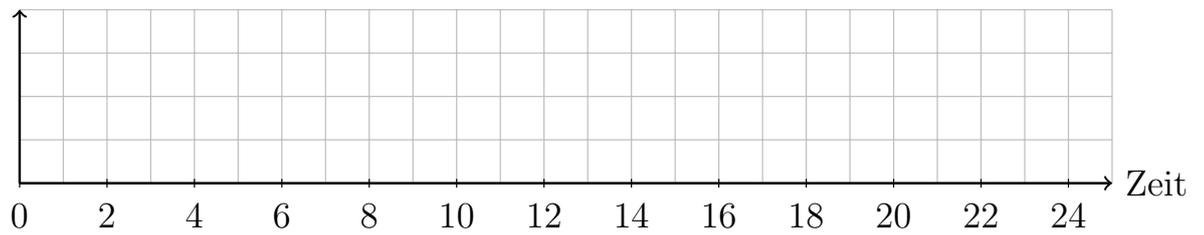
Auf einer Maschine sollen vier Aufträge ( $j = A, B, C, D$ ) bearbeitet werden. Für die Aufträge sind jeweils die Vorlaufzeiten  $a_j$ , die Bearbeitungszeiten  $t_j$  sowie die Nachlaufzeiten  $n_j$  in der nachfolgenden Tabelle gegeben.

| $j$   | A | B | C | D  |
|-------|---|---|---|----|
| $a_j$ | 8 | 0 | 0 | 5  |
| $t_j$ | 2 | 5 | 4 | 2  |
| $n_j$ | 5 | 1 | 3 | 10 |

- (a) Bestimmen Sie für das obige Ein-Maschinenproblem mit dem *Verfahren von Schrage* einen zulässigen Maschinenbelegungsplan unter der Zielsetzung der Zykluszeitminimierung. Geben Sie im nachfolgenden Koordinatensystem den Maschinenbelegungsplan in einem Gantt-Diagramm an. Geben Sie die Zykluszeit und die Zeitpunkte an, zu denen die Aufträge jeweils abgeschlossen sind. **(7 P.)**



- (b) Bestimmen Sie im nachfolgenden Koordinatensystem für die gegebene Bearbeitungsreihenfolge der Aufträge  $L = \langle C, D, A, B \rangle$  den Maschinenbelegungsplan unter der Zielsetzung der Zykluszeitminimierung in Form eines Gantt-Diagramms. Geben Sie die Zykluszeit an. **(3 P.)**



- (c) Erläutern Sie, ob eine der beiden Bearbeitungsreihenfolgen aus (a) oder (b) optimal ist. Begründen Sie Ihre Antwort. **(2 P.)**