

## Aufgabenkatalog zur Gestaltung industrieller Produktionsprozesse Wintersemester 2024/25

### Aufgabe 1: Bedarfsprognosen bei konstantem Niveau

Für ein Produkt ist der Bedarf der letzten 11 Monate in der nachfolgenden Tabelle gegeben.

$t$	$y_t$	gl. Durchschnitt		ex. Glättung	
		Prognose	Fehler	Prognose	Fehler
1	106,6			130	
2	129,2				
3	153,0				
4	149,1				
5	158,3				
6	132,9				
7	149,8				
8	140,3				
9	138,3				
10	152,2				
11	128,1				
12	???				

Ermitteln Sie mit der Methode der gleitenden Durchschnitte ( $n = 4$ ) sowie mit der Methode der exponentiellen Glättung erster Ordnung ( $\alpha = 0,2$ ) jeweils den Prognosewert für den nächsten Monat. Welche Methode ist Ihrer Meinung nach besser geeignet? Begründen Sie Ihre Antwort.

### Aufgabe 2: Bedarfsprognosen bei konstantem Niveau

Ein Unternehmen stellt ein Produkt für den anonymen Markt her. Für dieses Produkt ist der gemessene Bedarf der letzten 11 Monate in der nachfolgenden Tabelle gegeben. Darüber hinaus wurden bereits mit der Methode der exponentiellen Glättung erster Ordnung Prognosewerte für einen Zeitraum von 12 Monaten ermittelt.

Begründen Sie mit Hilfe des Abweichungssignals  $SIG_t$ , ob dieses Verfahren hier für die Nachfrageprognose geeignet ist. Verwenden Sie für die Bestimmung von  $ERR_t$  sowie  $MAD_t$  jeweils als Werte für die Glättungsparameter  $\gamma = 0,1$  bzw.  $\delta = 0,1$ .

$t$	$y_t$	ex. Glättung ( $\alpha = 0,2$ )				
		Prognose	Fehler	$ERR_t$	$MAD_t$	$SIG_t$
0	–	–	–	0	10	
1	26,8	46,0				
2	39,2	42,2				
3	72,3	41,6				
4	71,3	47,7				
5	83,2	52,4				
6	92,9	58,6				
7	121,9	65,4				
8	112,1	76,7				
9	115,8	83,8				
10	154,2	90,2				
11	175,2	103,0				
12	???	117,4				

### Aufgabe 3: Bedarfsprognosen bei trendförmigem Bedarf

Gehen Sie zunächst davon aus, dass in den Perioden 1 bis 4 die Bedarfswerte 3, 5, 7 und 9 beobachtet wurden. Berechnen Sie die Werte für  $b_0$ ,  $b_1$  und das Bestimmtheitsmaß  $r^2$ . Wiederholen Sie nun die Rechnung für den Fall, dass die beobachteten Werte 4, 4, 6 und 10 betragen und vergleichen Sie die Ergebnisse. Führen Sie in beiden Fällen eine Prognose für die Periode 5 durch. Welche der Prognosen halten Sie für „sicherer“ und warum?

### Aufgabe 4: Bedarfsprognosen bei saisonalem Bedarf

Sie sollen für ein Unternehmen eine Bedarfsprognose für das kommende Jahr vornehmen. Sie haben die in der folgenden Tabelle aufgeführten Bedarfswerte für die letzten 3 Jahre vorliegen. Die Bedarfswerte werden dabei aggregiert über Zeiträume von je 2 Monaten angegeben. Ihr Auftraggeber hat Sie darauf hingewiesen, dass er das Gefühl hat, die Bedarfswerte würden innerhalb eines Jahres systematisch schwanken. Die genauen Gesetzmäßigkeiten hat er jedoch noch nicht analysiert. Nutzen Sie für Ihre Analyse geeignete technische Hilfsmittel (z.B. ein Tabellenkalkulationsprogramm).

Nov/Dez	2016	15,45
Jan/Feb	2017	46,26
Mar/Apr	2017	85,52
Mai/Jun	2017	139,13
Jul/Aug	2017	213,84
Sep/Okt	2017	101,08
Nov/Dez	2017	43,65
Jan/Feb	2018	95,02
Mar/Apr	2018	218,36
Mai/Jun	2018	278,91
Jul/Aug	2018	379,53
Sep/Okt	2018	175,57
Nov/Dez	2018	78,07
Jan/Feb	2019	153,42
Mar/Apr	2019	285,93
Mai/Jun	2019	407,55
Jul/Aug	2019	537,84
Sep/Okt	2019	243,24

1. Stellen Sie die Zeitreihe in einer explorativen Studie graphisch dar und stellen Sie fest, mit welchem datenerzeugenden Prozess sich diese Zeitreihe am besten approximieren lässt.
2. Bestimmen Sie nun die Parameter zum von Ihnen gewählten datenerzeugenden Prozess. Folgen Sie dabei den folgenden Anweisungen:
  - a) Bestimmen Sie die glatte Komponente  $T \cdot C$ .
  - b) Ermitteln Sie die Saisonfaktoren.
  - c) Führen Sie eine Schätzung der Trendgraden durch (vor allem hier sollten Sie technische Unterstützung nutzen. Im Internet finden Sie dazu ausreichend Hilfestellungen.)
  - d) Führen Sie eine Ex-Post-Prognose durch und ermitteln Sie die Fehler. Stellen Sie die Ex-Post-Prognose sowie die realisierten Werte in einem gemeinsamen Diagramm dar.
  - e) Führen Sie eine Ex-Ante-Prognose für den Zeitraum Nov 2019 - Okt 2020 durch.

## Aufgabe 5: Beschäftigungsglättung

Erweitern Sie das Modell zur *Beschäftigungsglättung* um ...

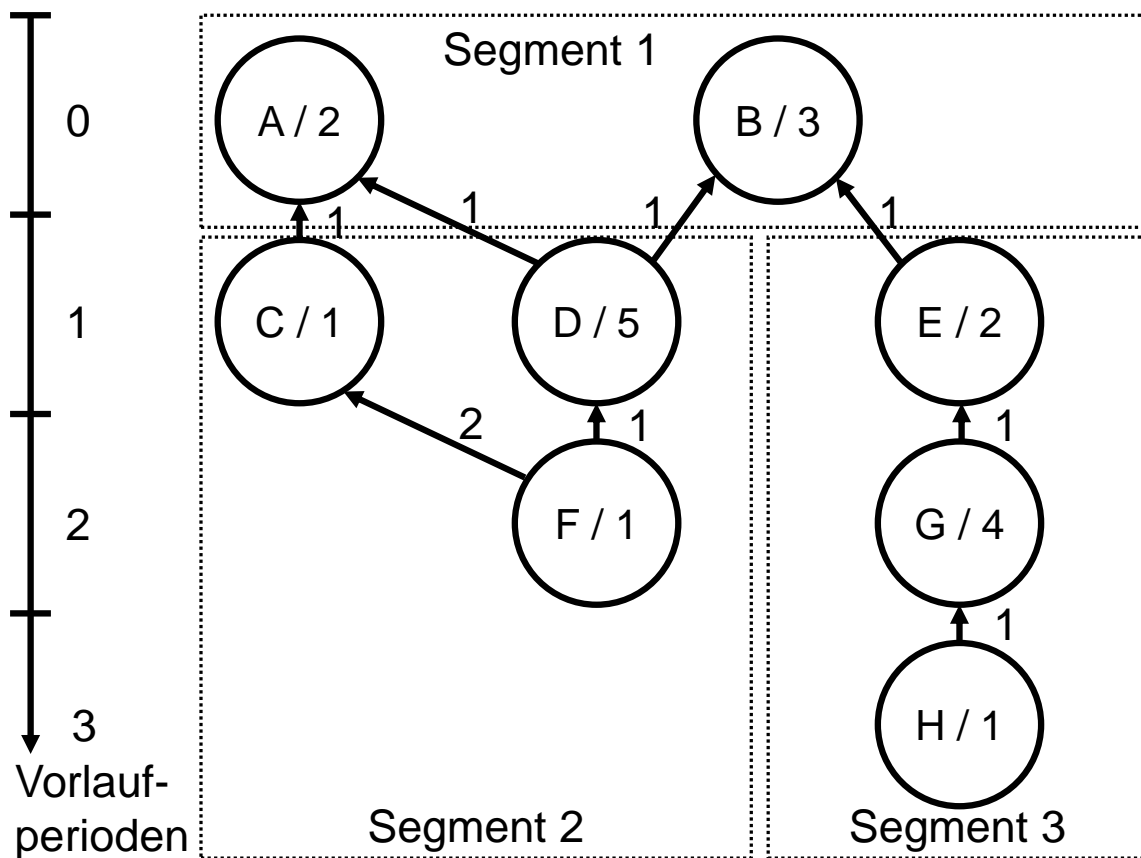
1. die Einhaltung von Mindestüberstunden. Für den Fall, dass in einer Periode  $t$  in einem Werk  $w$  Überstunden eingeplant werden, müssen diese mindestens  $U_{wt}^{\min}$  betragen.
2. die Möglichkeit einer technischen Kapazitätserweiterung im Sinne einer zweiten Ausbaustufe. Diese Kapazitätserweiterung kann kurzfristig realisiert werden, so dass die

technische Kapazität von  $C_{wt}^{\max}$  auf  $C_{wt}^{\max 2}$  steigt. Wird diese erweiterte Kapazität in Werk  $w$  auch nur in einer einzigen Periode  $t$  beansprucht, werden einmalig fixe Kosten in Höhe von  $K_w^{fix}$  fällig.

3. die Einhaltung von Mindestproduktionsmengen. Für den Fall, dass in Werk  $w$  in Periode  $t$  der Produkttyp  $k$  gefertigt wird, müssen mindestens  $Q_{kw}^{\min}$  ME hergestellt werden. Bei der Herstellung fallen produktionsmengen-unabhängige Fixkosten  $pc_{kw}^{fix}$  für Produkttyp  $k$  an Werk  $w$  in jeder Fertigungsperiode an.

## Aufgabe 6: Bestimmung von Belastungsfaktoren

Die folgende Abbildung zeigt einen mehrstufigen Produktionsprozess. Neben der Produktstruktur sind die Bearbeitungszeiten aller End- und Zwischenprodukte sowie die Vorlaufperioden angegeben.



Bestimmen Sie aus den gegebenen Informationen die Kapazitätsbelastungsfaktoren  $tb_{j_{kp}}$  für die beiden Endprodukte A und B. Stellen Sie darüber hinaus die Kapazitätsrestriktionen für jedes einzelne Segment auf. Geben Sie dabei die genauen Werte für die Kapazitätsbelastungsfaktoren explizit an.

## Aufgabe 7: Hauptproduktionsprogrammplanung

Nehmen Sie an, dass die Möglichkeit besteht, Endprodukte in unterschiedlichen Modi zu produzieren. Die unterschiedlichen Modi unterscheiden sich hinsichtlich der Belastungsfaktoren bzgl. der einzelnen Segmente. Erweitern Sie das Modell *HPPLAN* um diese alternative Herstellungsmöglichkeiten. Gehen Sie davon aus, dass die Herstellungskosten  $pc_{km}$  für eine ME von Endprodukttyp  $k$  abhängig vom Modus  $m$  sind.

## Aufgabe 8: Kapazitiertes Losgrößenproblem

Die folgende Tabelle enthält Ausschnitte einer **optimalen** Lösung einer Problem Instanz zum kapazitierten Losgrößenproblem (CLSP) mit 3 Produkten und 12 Perioden. Aufgeführt werden die Nachfrageparameter  $d_{kt}$ , die Produktionsmengen  $Q_{kt}$ , die Lagermengen  $Y_{kt}$  sowie die Rüstvariablen  $\gamma_{kt}$ . Die Kapazität wird als unendlich angenommen. Es liegen keine Lageranfangsbestände vor. Ergänzen Sie die Tabelle zu einer vollständigen zulässigen Lösung.

$t$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$d_{1t}$	10	20	50	40	70	30	10	80	60	20		
$d_{2t}$	0	50	20	0	20	40	0	90	30	0		
$d_{3t}$	0	50	0	40	0	60	0	30	0	60	0	50
$Q_{1t}$	80	0	0									
$Q_{2t}$	0	70	0								50	
$Q_{3t}$	0	50	0									
$Y_{1t}$				70	0	10				70	40	0
$Y_{2t}$				0	0	0				0	40	0
$Y_{3t}$				60	60	0				0	0	0
$\gamma_{1t}$							0	1	0	1	0	0
$\gamma_{2t}$							0	1	1	0	1	0
$\gamma_{3t}$							0	1	0	0	0	1

## Aufgabe 9: Proportional Lotsizing Problem

Betrachten Sie erneut das Beispiel zum PLSP aus dem Foliensatz zur Vorlesung. Stellen Sie den zeitlichen Ablauf der Produktion graphisch dar. Verdeutlichen Sie dabei auch die Bedeutung der Rüstzustands- und Rüstvorgangsvariablen.

## Aufgabe 10: Modellerweiterung

Erweitern Sie das *Proportional Lotsizing Problem* (PLSP) um die folgenden Modellannahmen:

1. Für die Fertigung der Produkte stehen parallele Maschinen  $m \in \mathcal{M}$  zur Verfügung. Auf Maschine  $m$  fallen je ME von Produkt  $k$  Produktionskosten  $pc_{km}$  an.
2. Die Rüstvorgänge sind reihenfolgeabhängig. Für einen Rüstvorgang von Produkt  $i$  auf Produkt  $k$  fallen Rüstkosten in Höhe von  $sc_{ik}$  GE an.
3. Rüstvorgänge rufen nicht nur Rüstkosten hervor, sondern beanspruchen auch (reihenfolgeunabhängige) Rüstzeiten.

## Aufgabe 11: Diskussionsfragen

### PLSP:

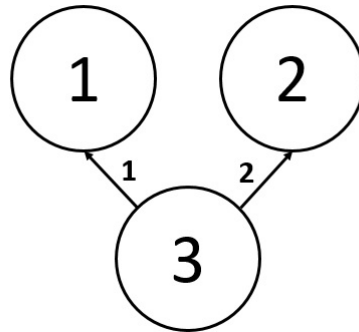
1. Das Ziel der Optimierung im PLSP ist die Minimierung der Summe der Rüst- und Lagerkosten. Überlegen Sie, was passieren würde, wenn man stattdessen eine Kostenmaximierung vornehmen würde. Wie würde die Struktur der Lösung prinzipiell aussehen? Welche Werte würden die verschiedenen Entscheidungsvariablen jeweils annehmen?
2. Betrachten Sie folgende alternative Rüstbedingung für das PLSP:  $Q_{ks} \leq \frac{C_s}{tb_k} \cdot \delta_{ks}, \forall k, s$ . Welche Konsequenz hätte diese Änderung? Argumentieren Sie, warum diese Restriktion für das PLSP nicht geeignet ist.

### GLSP:

1. Bei dem GLSP werden die Längen der Mikroperioden modellendogen bestimmt. Erläutern Sie, wie aus Lösungen des GLSPs die Grenzen der Mikroperioden ermittelt werden können.
2. Der Gültigkeitsbereich für die Lagerbilanzgleichung im GLSP umfasst alle Produkte  $k \neq 0$ . Diskutieren Sie, warum diese Restriktion für  $k = 0$  nicht gelten muss.
3. Die Kapazitätsrestriktion im GLSP sieht vor, dass die gesamte Kapazität abgerufen werden muss (es handelt sich dabei um eine Gleichung und nicht wie bspw. im CLSP um eine Ungleichung). Was würde passieren, wenn stattdessen nur sichergestellt werden würde, dass das Kapazitätslimit nicht überschritten wird?
4. Die Restriktion  $Q_{lks} \geq q_{lk}^{min} \cdot (\delta_{lks} - \delta_{lk,s-1}), \forall l, k, s$  stellt im GLSP die Einhaltung der Mindestlosgrößen sicher. Welche Probleme könnten auftreten, wenn stattdessen die Restriktion  $Q_{lks} \geq q_{lk}^{min} \cdot \delta_{lks}, \forall l, k, s$  verwendet werden würde? Welche Probleme können auch bei der im GLSP gewählten Formulierung auftreten?
5. Sie möchten ein GLSP mit 3 Produkten und 10 Makroperioden lösen. Wie viele Mikroperioden sollten Sie betrachten und wie sollten diese auf die Makroperioden aufgeteilt werden, um den Lösungsraum nicht einzuschränken?

## Aufgabe 12: Lösungsüberprüfung beim MLCLSP

Betrachten Sie das folgende Beispiel zum MLCLSP mit nur einer Anlage und ohne Rüsterübertragung. Es werden 3 Produkte auf einer Anlage gefertigt. Die folgende Abbildung verdeutlicht die divergierende Materialflussstruktur:



Die Kapazität je Periode beträgt 200 ZE. Die Nachfragemengen  $d_{kt}$  über fünf Perioden entnehmen Sie der folgenden Tabelle:

$k \backslash t$	1	2	3	4	5
1	10	5	40	10	20
2	-	30	20	30	10
3	-	-	-	-	20

Weiterhin sind die Lageranfangsbestände  $Y_{k0}$ , die Bearbeitungszeiten  $tb_k$  sowie die Rüstzeiten  $ts_k$  gegeben.

$k$	$Y_{k0}$	$tb_k$	$ts_k$
1	0	3	20
2	0	2	30
3	0	1	10

Die Vorlaufzeit für das eine Vorprodukt 3 beträgt  $vp_3 = 1$ , die Endprodukte stehen sofort nach Fertigung zur Verfügung  $vp_1 = vp_2 = 0$ .

Sie haben folgende Lösung ermittelt:

$k \backslash t$	Losgrößen					Lagerbestände				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	10	5	50	-	20	-	-	10	-	-
2	-	50	-	40	-	-	20	-	10	-
3	130	25	80	50	-	-	25	80	-	10

Es werden keine Überstunden beansprucht.

In dieser Lösung sind drei Widersprüche enthalten, aufgrund derer diese Lösung keine zulässige Lösung für die beschriebene Problem Instanz sein kann. Untersuchen Sie die angegebene Lösung und identifizieren Sie die Widersprüchlichkeiten.

## Aufgabe 13: Modellanpassungen zum Modell Job-Shop

Betrachten Sie das aus der Vorlesung bekannte Modell Job-Shop und verändern Sie es separat je Teilaufgabe zur Berücksichtigung der folgenden Aspekte:

1. Die Zielsetzung besteht in der Minimierung der Summe der Durchlaufzeiten.
2. Die Aufträge haben einen frühesten Startzeitpunkt, vor welchem die Bearbeitung des Auftrages nicht möglich ist.
3. Die Aufträge haben einen Fertigstellungstermin. Die Zielsetzung besteht in der Minimierung der gesamten Verspätung.

## Aufgabe 14: Verfahren des besten Nachfolgers

Betrachten Sie folgende Probleminstanz zur Reihenfolgeplanung mit minimaler Zykluszeit bei reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten.

von / nach	1	2	3	4	5	6	7
1	0	14	6	12	17	13	19
2	14	0	20	10	19	7	4
3	6	20	0	5	6	19	24
4	12	10	5	0	11	5	10
5	17	19	6	11	0	18	17
6	13	7	19	5	18	0	13
7	19	4	24	10	17	13	0

Bestimmen Sie mit dem Verfahren des besten Nachfolgers eine Auftragsfolge und bestimmen Sie die Summe der Rüstzeiten.

## Aufgabe 15: Verfahren von Schrage

Für sechs Aufträge ( $j = 1, \dots, 6$ ) sind in der nachfolgenden Tabelle die auftragsspezifischen Bearbeitungszeiten  $t_j$ , Vorlaufzeiten  $a_j$  und Nachlaufzeiten  $n_j$  auf einer Maschine gegeben:

$j$	1	2	3	4	5	6
$a_j$	12	2	0	11	9	10
$t_j$	8	4	3	6	2	2
$n_j$	21	9	2	6	7	10

Bestimmen Sie für das gegebene Ein-Maschinenproblem mit dem *Verfahren von Schrage* einen zulässigen Maschinenbelegungsplan für diese Maschine unter der Zielsetzung der Minimierung der Zykluszeit. Begründen Sie, ob diese Lösung optimal ist.



## Aufgabe 16: Verfahren von Johnson

Fünf Aufträge ( $j = 1, \dots, 5$ ) sollen auf 5 Maschinen bearbeitet werden. In der nachfolgenden Tabelle sind die auftragsspezifischen Bearbeitungszeiten auf den einzelnen Maschinen  $t_{jm}$  gegeben. Überführen Sie das Problem in ein Problem mit zwei virtuellen Maschinen, in dem Sie die Maschinen 1 und 2 sowie die Maschinen 3 - 5 jeweils zusammenfassen. Bestimmen Sie mit dem Verfahren von Johnson einen Maschinenbelegungsplan. Erzeugen Sie aus der Lösung den disaggregierten Maschinenbelegungsplan.

$j$	$t_{j1}$	$t_{j2}$	$t_{j3}$	$t_{j4}$	$t_{j5}$
1	5	2	2	1	2
2	2	4	4	1	3
3	2	7	1	1	1
4	8	9	8	1	9
5	6	8	3	1	3

## Aufgabe 17: Shifting Bottleneck Verfahren

Für drei Aufträge ( $j = 1, \dots, 3$ ) soll ein Maschinenbelegungsplan erstellt werden. Dabei müssen die einzelnen Aufträge die drei Maschinen A, B und C in unterschiedlicher Bearbeitungsreihenfolge durchlaufen. Die in der folgenden Tabelle angegebene Maschinenfolge  $\mu_{jh}$  gibt die Maschine an, die von Auftrag  $j$  für Arbeitsgang  $h$  benötigt wird.

	Arbeitsgang $h$		
Auftrag $j$	1	2	3
1	A	B	C
2	B	C	A
3	B	A	C

Die jeweiligen Bearbeitungszeiten  $t_{jh}$  sind für jeden Auftrag  $j$  und Arbeitsgang  $h$  in der nachfolgenden Tabelle angegeben:

	Arbeitsgang $h$		
Auftrag $j$	1	2	3
1	3	3	2
2	2	3	3
3	4	3	1

Alle Aufträge stehen zum Beginn der Planung ( $t = 0$ ) zur Verfügung. Bestimmen Sie mit dem *Shifting Bottleneck Verfahren* einen Maschinenbelegungsplan unter der Zielsetzung der Zykluszeitminimierung.