

Wahlfach Fertigungstechnik

Musterlösung zu Übung I – Betriebsorganisation

Prof. Konrad Wegener Thomas Lorenzer

FS 2008

Sie planen und überwachen die Fertigung von Elektromotoren. Im Planungszeitraum von einem Jahr müssen Sie insgesamt 400 Stück liefern.

1. Bedarfsplanung

Für die Fertigung Ihrer Elektromotoren führen Sie zu Beginn eine Bedarfsplanung durch. Ausgehend vom Primärbedarf an 400 Elektromotoren berechnen Sie, wie viele Teile Sie von jedem Element benötigen. Dazu gehen Sie von folgender Stückliste aus:

Skript
S. 45 - 51

Elektromotor	
Baugruppe	Menge
BG1	2
BG2	3
BG3	1
T1	4
T2	3
T3	2

BG1		BG2		BG3	
Baugruppe	Menge	Baugruppe	Menge	Baugruppe	Menge
BG2	2	BG3	3	T2	2
T1	3	T1	2	T3	3
T3	4	T2	4	T4	1
T4	1	T5	4	T6	6
		T6	2		

Lösung:

Mittels Gozintograph und Koeffizientenmatrix

Eine Produktstrukturliste gibt einfach Auskunft über die Zusammensetzung der Gruppen. Sobald einzelne Teile oder Baugruppen jedoch auch in anderen Baugruppen des selben Niveaus auftreten, ist diese Darstellung nicht mehr sehr übersichtlich.

Um komplizierte, verschachtelte Stücklisten aufzulösen, bietet sich der Gozintograph an, auf Basis dessen die Berechnung automatisiert durchgeführt werden kann und der auch bei

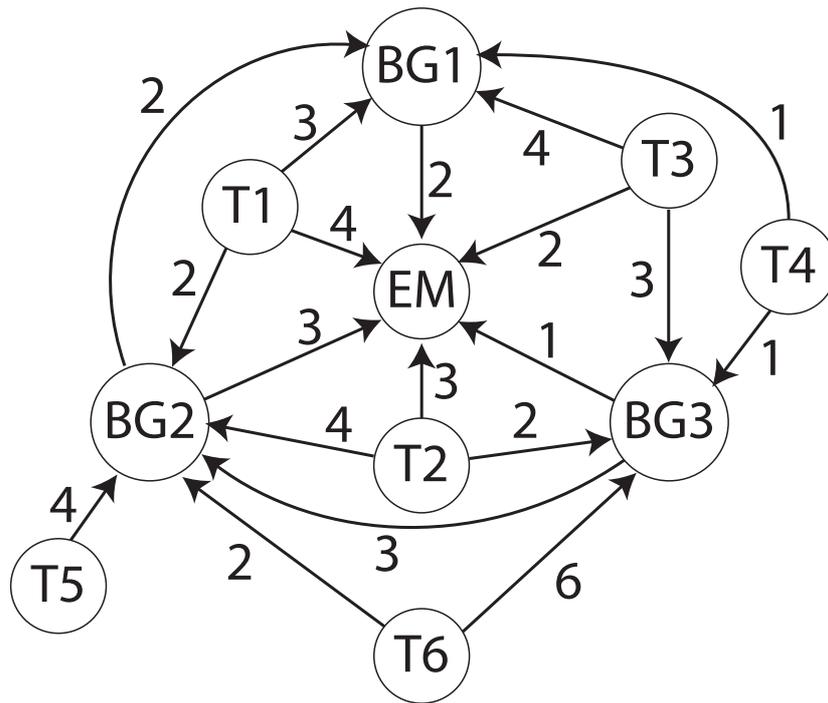


Abbildung 1: Gozintograph für betrachteten Elektromotor

manueller Auswertung weniger fehleranfällig ist.

Charakteristikum des Gozintographen: Jedes Objekt wird nur einmal aufgezeichnet. Somit ist jede Verwendung direkt am Objekt als abgehender Pfeil erkennbar, was Mehrfachverwendungen sofort ersichtlich macht.

Für jedes Objekt wird nun eine Gleichung für seinen Bedarf in anderen Objekten aufgestellt. Dabei stellt man sich Frage: In welche Baugruppe geht das Teil ein (wohin)?

$$\begin{aligned}
 BG1 &= 2 \cdot EM \\
 BG2 &= 3 \cdot EM + 2 \cdot BG1 \\
 BG3 &= 1 \cdot EM + 3 \cdot BG2 \\
 T1 &= 4 \cdot EM + 3 \cdot BG1 + 2 \cdot BG2 \\
 T2 &= 3 \cdot EM + 4 \cdot BG2 + 2 \cdot BG3 \\
 T3 &= 2 \cdot EM + 4 \cdot BG1 + 3 \cdot BG3 \\
 T4 &= 1 \cdot BG1 + 1 \cdot BG3 \\
 T5 &= 4 \cdot BG2 \\
 T6 &= 2 \cdot BG2 + 6 \cdot BG3
 \end{aligned}$$

Zur Ermittlung des gesamten Bedarfs fehlt noch die Gleichung mit dem Bedarf an Elektromotoren (Primärbedarf):

Primärbedarf: → Verkauf
 Sekundärbedarf: → Fertigung
 Tertiärbedarf: → Hilfsstoffe

$$EM = 400$$

Mit diesen Gleichungen können nun sukzessive die Sekundärbedarfe ausgerechnet werden:

$$\begin{aligned}
BG1 &= 2 \cdot 400 = 800 \\
BG2 &= 3 \cdot 400 + 2 \cdot 800 = 2800 \\
BG3 &= 1 \cdot 400 + 3 \cdot 2800 = 8800 \\
T1 &= 4 \cdot 400 + 3 \cdot 800 + 2 \cdot 2800 = 9600 \\
T2 &= 3 \cdot 400 + 4 \cdot 2800 + 2 \cdot 8800 = 30000 \\
T3 &= 2 \cdot 400 + 4 \cdot 800 + 3 \cdot 8800 = 30400 \\
T4 &= 1 \cdot 800 + 1 \cdot 8800 = 9600 \\
T5 &= 4 \cdot 2800 = 11200 \\
T6 &= 2 \cdot 2800 + 6 \cdot 8800 = 58400
\end{aligned}$$

Zur automatischen Bedarfsermittlung mittels Computer lassen sich diese Gleichungen als lineares Gleichungssystem $A \cdot x = b$ schreiben. Dazu nach $f(x) = \text{const}$ auflösen.

$$\begin{pmatrix}
1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
-2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
-3 & -2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
-1 & 0 & -3 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
-4 & -3 & -2 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
-3 & 0 & -4 & -2 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
-2 & -4 & 0 & -3 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
0 & -1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
0 & 0 & -4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
0 & 0 & -2 & -6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1
\end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} EM \\ BG1 \\ BG2 \\ BG3 \\ T1 \\ T2 \\ T3 \\ T4 \\ T5 \\ T6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 400 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Aus dem Lager erhalten Sie eine Bestandsliste, aus der die aktuellen Lagerbestände der relevanten Baugruppen hervorgehen. Ermitteln Sie die effektiv benötigte Produktionsmenge (Nettobedarf) für jede Baugruppe!

Baugruppe	Lagerbestand	Bruttobedarf	Nettobedarf
EM	0	400	400
BG1	0	800	800
BG2	400	2800	$2800 - 400 = 2400$
BG3	0	8800	$8800 - 3 \cdot 400 = 7600$
T1	0	9600	$9600 - 2 \cdot 400 = 8800$
T2	0	30000	$30000 - 4 \cdot 400 - 2 \cdot 1200 = 26000$
T3	2800	30400	$30400 - 3 \cdot 1200 - 2800 = 24000$
T4	0	9600	$9600 - 1200 = 8400$
T5	0	11200	$11200 - 4 \cdot 400 = 9600$
T6	6400	58400	$58400 - 2 \cdot 400 - 6 \cdot 1200 - 6400 = 44000$

2. Losgrößenplanung

Skript
S. 49 - 50

Als nächstes berechnen Sie die optimalen Losgrößen für die erforderlichen Komponenten, beginnend mit der Fräsmaschine. Dort werden die Teile T3 bearbeitet. Berechnen Sie L_{opt} auf Basis des Jahresbedarfs!

Die Rüstkosten zur Herstellung des benötigten Basis-Frästeils betragen 825 CHF. Das fertige Teil kostet 80 CHF und wird bei der Lagerung mit 5,5% im Planungszeitraum verzinst.

Lösung:

Herleitung von L_{opt} :

$$\begin{aligned}K &= K_A \cdot \frac{x_{ges}}{L} + \frac{K_H \cdot L \cdot i_L}{2} = K_A \cdot x_{ges} \cdot L^{-1} + \frac{K_H \cdot i_L}{2} \cdot L \\0 &= \frac{\partial K}{\partial L} = K_A \cdot x_{ges} \cdot \frac{-1}{L^2} + \frac{K_H \cdot i_L}{2} \\ \Rightarrow L^2 &= \frac{K_A \cdot x_{ges} \cdot 2}{K_H \cdot i_L}\end{aligned}$$

Formel
(3.8),
S. 49

$$\begin{aligned}x_{ges} &= 24000 \\ \text{Rüst-/Bestellkosten pro Auftrag } K_A &= 825 \text{ CHF} \\ \text{Herstellkosten } K_H &= 80 \text{ CHF} \\ L_{opt} &= \sqrt{\frac{x_{ges} \cdot K_A \cdot 2}{K_H \cdot i_L}} = \sqrt{\frac{24000 \cdot 825 \cdot 2}{80 \cdot 0.055}} = 3000\end{aligned}$$

3. Zeitkalkulation

Skript
S. 27 - 32

Auf Basis der gefunden Losgrösse L_{opt} fahren Sie mit der Zeitkalkulation für die einzelnen Maschinen fort. Die bereits erwähnte Fräsmaschine benötigt 1 min 13 s für die spanende Bearbeitung des Teils. Vor Beginn der Fertigung muss die Maschine während 25 min gerüstet werden. Das Werkzeug hat eine Standmenge von 300 Stück, danach muss es gewechselt werden, wofür 5min veranschlagt werden. Das Wechseln der Werkstücke inklusive Sichtprüfung dauert 36 s. Parallel zur Bearbeitung durch die Maschine führt der Werker Kontrollmessungen an den soeben fertiggestellten Werkstücken durch. Diese Untersuchung dauert 25 s.

Berechnen Sie die Betriebsmittelzeit je Einheit t_{eB} sowie die Belegungsdauer T_{bB} für die Fräsmaschine (Verteilzeitfaktor $z_v = 0.1$)! Vergleichen Sie die Belegungsdauer T_{bB} der Maschine mit der Auftragszeit T bezogen auf den Werker!

Lösung:

$$\begin{aligned}\text{Hauptzeit } t_h &= 1 \text{ min } 13 \text{ s} = 73 \text{ s} \\ \text{Werkzeugwechselzeit infolge Standzeitende } t_{We} &= \frac{300 \text{ s}}{300} = 1 \text{ s} \\ \text{Nebenzeit } t_n &= 36 \text{ s} + 1 \text{ s} = 37 \text{ s} \\ \text{Betriebsmittel-Grundzeit } t_{gB} &= t_h + t_n + t_b = 73 \text{ s} + 37 \text{ s} + 0 \text{ s} = 110 \text{ s} \\ \text{Betriebsmittel-Verteilzeit } t_{vB} &= z_v \cdot t_{gB} = 0.1 \cdot 110 \text{ s} = 11 \text{ s} \\ \text{Betriebsmittelzeit je Einheit } t_{eB} &= t_{gB} + t_{vB} = 110 \text{ s} + 11 \text{ s} = 121 \text{ s} \\ \text{Rüstzeit } t_{rB} &= 25 \text{ min} \\ \text{Belegungsdauer } T_{bB} &= t_{aB} + t_{rB} = m \cdot t_{eB} + t_{rB}\end{aligned}$$

Skript
S. 31

mit $m = L_{opt}$ ergibt sich somit:

$$T_{bB} = 3000 \cdot 121 \text{ s} + 25 \text{ min} = 6050 \text{ min} + 25 \text{ min} = 6075 \text{ min} = 101.25 \text{ h}$$

Unter Annahme eines 8h-Tages und Bearbeitung durch einen Werker ergeben sich etwa 12.5 Tage als reine Bearbeitungszeit.

Die Auftragszeit T bezieht sich auf den Werker, daher setzen sich die zugrundeliegenden Zeitelemente anders zusammen:

Haupttätigkeiten $\sum t_{MH} = 0 \text{ s}$, da keine wertschöpfende Tätigkeit des Werkers

Nebentätigkeiten $\sum t_{MN} = 36 \text{ s} + 25 + 1 \text{ s} = 62 \text{ s}$

Tätigkeitszeit $t_t = \sum t_{MH} + \sum t_{MN} = 62 \text{ s}$

Wartezeit $t_w = 73 \text{ s} - 25 \text{ s} = 48 \text{ s}$

Grundzeit $t_g = t_t + t_w = 62 \text{ s} + 48 \text{ s} = 110 \text{ s}$

Verteilzeit $t_v = z_v \cdot t_g = 0.1 \cdot 110 \text{ s} = 11 \text{ s}$

Zeit je Einheit $t_e = t_g + t_v = 110 \text{ s} + 11 \text{ s} = 121 \text{ s}$

Rüstzeit $t_r = 25 \text{ min}$

Auftragszeit $T = t_a + t_r = m \cdot t_e + t_r = 6075 \text{ min}$

Skript
S. 30

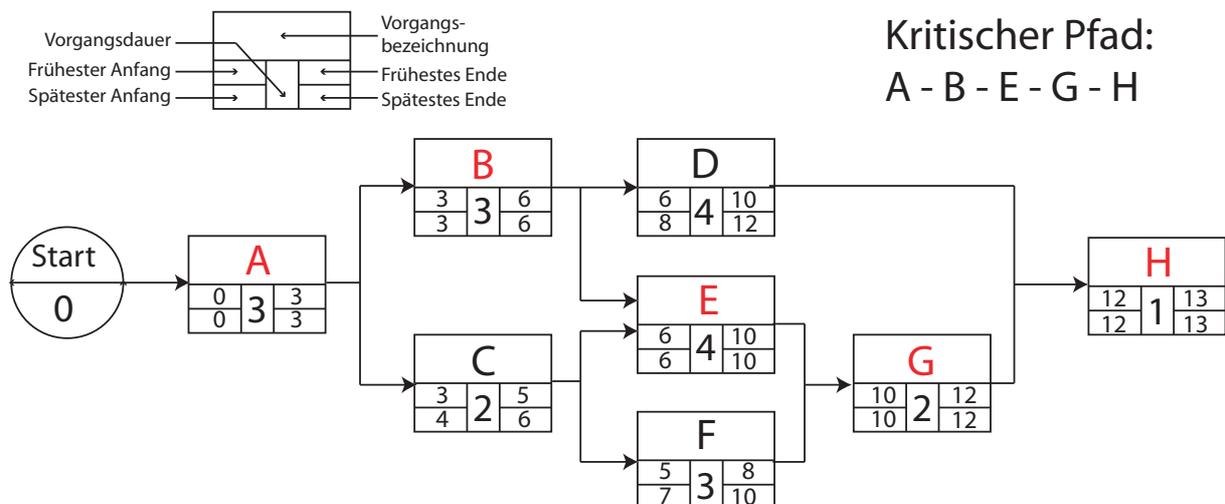
4. Terminierung

Sie planen nun den Fertigungsablauf zeitlich. Führen Sie eine komplette Terminierung (vorwärts und rückwärts) durch und geben Sie den kritischen Pfad an!

Skript
S. 48 - 49

Vorgangsbeschreibung

A	Abschneiden	E	Schleifen
B	Fräsen 1	F	Bohren und Senken
C	Fräsen 2	G	Vormontage
D	Entgraten	H	Endmontage



5. Qualitätsmanagement

Skript
S. 67 - 69

Die neu eingerichtete Maschine wird bei Fertigungsbeginn auf ihre Fähigkeit hin überwacht. Auf der Maschine werden die Teile T4 bearbeitet und das wichtige Endmass $L = 48_{-0}^{+0.15} mm$ kontrolliert. Sie entnehmen der Produktion eine Stichprobe und vermessen die Teile (siehe Tabelle). Berechnen Sie die Maschinenkennwerte c_m und c_{mk} . Wie lautet Ihr Urteil über die Maschinenfähigkeit? Skizzieren Sie die Lage der Werteverteilung im Toleranzband!

Messwerttabelle												
Mass	48.00	48.01	48.02	48.03	48.04	48.05	48.06	48.07	48.08	48.09	48.10	48.11
Anzahl	1	1	3	5	8	10	13	9	7	3	2	1
Standardabweichung s	0.0224											

Lösung:

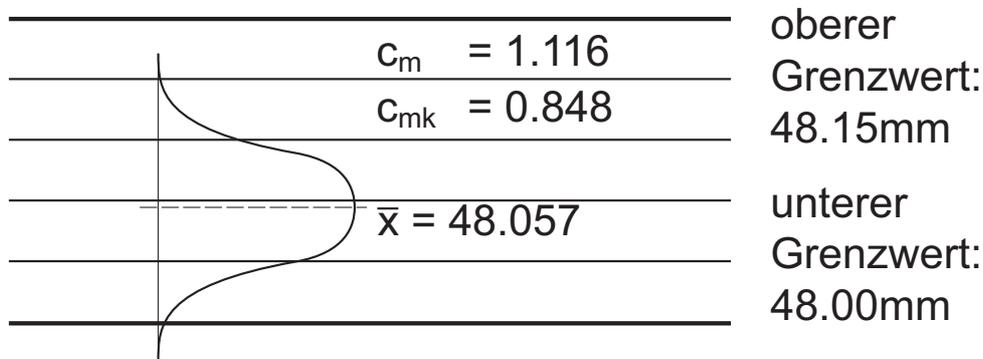


Abbildung 2: Toleranzband

- Maschinenfähigkeit c_m : Toleranz $T = 0.15$

Formel
(3.9),
S. 67

$$\begin{aligned} \text{Standardabweichung } s &= \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \\ \Rightarrow c_m &= \frac{T}{6s} = \frac{0.15}{6 \cdot 0.0224} = 1.116 < 1.67 \end{aligned}$$

\Rightarrow Maschine nicht fähig

- Maschinenfähigkeitskennwert c_{mk} :
arithmetischer Mittelwert

Formel
(3.10),
S. 68

$$\bar{x} = n^{-1} \cdot \sum_{j=1}^k n_j \cdot x_j = 48.057 \quad \text{mit} \quad n = 63 \quad (1)$$

Kleinsten Abstand von \bar{x} zur Toleranzgrenze: $Z_{krit} = 48.057 - 48.000 = 0.057$

$$\Rightarrow c_{mk} = \frac{Z_{krit}}{3s} = \frac{0.057}{3 \cdot 0.0224} = 0.848 < 1.33$$

\Rightarrow Maschine nicht beherrscht

- Gesamturteil: Maschine weder fähig, noch beherrscht.
 \Rightarrow Maschine muss nachgebessert und neu eingestellt werden.

Tabelle
S. 69