

Klausur zur Veranstaltung  
“Gestaltung industrieller Produktionssysteme”  
im WS 2011/2012

**Hinweise:**

- Die Klausur besteht aus **12** Seiten (inkl. Deckblatt). Bitte überprüfen Sie, ob Ihr Exemplar komplett ist und lassen Sie sich ansonsten ein anderes geben.
- Alle Aufgaben in der Klausur sind zu bearbeiten.
- Für jede Aufgabe sind die zu erreichenden Punkte angegeben. Bei einer Klausurdauer von 60 Minuten sind maximal insgesamt 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 lesen Sie die Aufgabenstellungen sorgfältig!!**
- Als Hilfsmittel sind ein Taschenrechner, ein nicht vernetzter PC mit Scilab-Programmen Ihrer Wahl und zwei beidseitig beschriebene Hilfsblätter erlaubt.
- **Wichtig:** Wenn Sie Berechnungen mit Scilab o.ä. durchführen, dann geben Sie bitte auch die **Eingabematrizen und -vektoren** an!!!
- 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	Semester

**Bewertung:**

Aufg.	1	2	3	Summe
Punkte				

1. **Ankunftsprozesse an Stationen von Produktionsnetzwerken aus Ein-Maschinen-Stationen** (20 P.)

- (a) Betrachten Sie zunächst rein serielle Produktionssysteme mit unbeschränkten Pufferkapazitäten. Geben Sie Formeln zur Bestimmung der Ankunftsrate  $\lambda_a(i)$  und zur Bestimmung des quadrierten Variationskoeffizienten  $c_a^2(i)$  der Zwischenankunftszeiten an einer Station  $i$  innerhalb des Systems an und begründen Sie diese Formeln. Erläutern Sie, unter welchen Bedingungen die Formel zur Bestimmung des quadrierten Variationskoeffizienten  $c_a^2(i)$  warum exakt ist. (4 P.)

- (b) Betrachten Sie nun eine Station, an der eine Zusammenführung (“Merge”) im Materialfluss stattfindet (ebenfalls bei unbeschränkten Pufferkapazitäten).

Geben Sie erneut Formeln zur Bestimmung der Ankunftsrate  $\lambda_a(i)$  und zur Bestimmung des quadrierten Variationskoeffizienten  $c_a^2(i)$  der Zwischenankunftszeiten an der Station  $i$  der Zusammenführung an und begründen Sie diese Formeln. Erläutern Sie, unter welchen Bedingungen die Formel zur Bestimmung des quadrierten Variationskoeffizienten  $c_a^2(i)$  warum exakt ist. (8 P.)

- (c) Betrachten Sie eine Station  $i$ , an deren Vorgängerstation  $j$  eine zufällige Aufspaltung (“Random Split”) im Materialfluss erfolgt, so dass ein Werkstück nur mit einer Wahrscheinlichkeit  $p_{ji}$  von der Vorgängerstation  $j$  zur betrachteten Station  $i$  weitergeleitet wird (ebenfalls bei unbeschränkten Pufferkapazitäten).

Geben Sie erneut Formeln zur Bestimmung der Ankunftsrate  $\lambda_a(i)$  und zur Bestimmung des quadrierten Variationskoeffizienten  $c_a^2(i)$  der Zwischenankunftszeiten an der empfangenden Station an und begründen Sie diese Formeln. Erläutern Sie, unter welchen Bedingungen die Formel warum zur Bestimmung des quadrierten Variationskoeffizienten  $c_a^2(i)$  exakt ist. (8 P.)

## 2. Chargen/Batch-Prozess. (20 P.)

An einer Bearbeitungsstation werden in einem Ofen stets 20 identische Werkstücke gleichzeitig einer Wärmebehandlung unterzogen. Die einzelnen Werkstücke treffen an der Station mit einer Rate von 25 Werkstücken je Stunde ein, der quadrierte Variationskoeffizient der Zwischenankunftszeiten einzelner Werkstücke beträgt 3. Die Bearbeitung startet erst, wenn der Ofen mit 20 Werkstücken voll beladen werden kann, also eine komplette Charge zur Bearbeitung gebildet worden ist. Die Bearbeitungsdauer der Charge in dem Ofen beträgt im Mittel 40 Minuten mit einem quadrierten Variationskoeffizienten von 0,2.

Ermitteln Sie unter Angabe der verwendeten Formeln !!

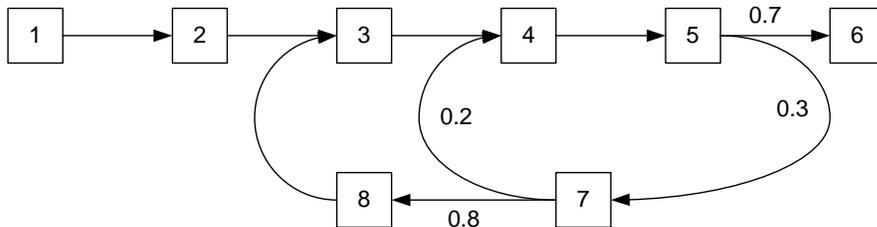
- (a) die durchschnittliche Durchlaufzeit der Werkstücke durch die Station (inklusive der Zeit für die Chargen-Bildung),
- (b) die durchschnittliche Anzahl wartender Chargen und
- (c) den Erwartungswert und den quadrierten Variationskoeffizienten der Zwischenabgangszeit von Chargen aus dem Ofen.
- (d) Unterstellen Sie nun, dass die Chargen nach der Wärmebehandlung wieder aufgelöst werden und die Werkstücke einzeln zu den nächsten Prozessschritten weitergeleitet werden. Wie groß ist der Erwartungswert und der quadrierte Variationskoeffizient der Zwischenabgangszeit einzelner Werkstücke?
- (e) Wie groß muss die Chargengröße mindestens sein und warum?
- (f) Erläutern Sie, wie sich eine Steigerung der Chargengröße *ceteris paribus* auf die Komponenten der durchschnittliche Durchlaufzeit der Werkstücke auswirkt!





### 3. Offene versus geschlossene Produktionsnetzwerke (20 P.)

Gegeben ist ein Produktionssystem mit acht Stationen gemäß folgender Abbildung:



Der Produktionsprozess beginnt an Station 1 und endet an Station 6. Nach Station 5 findet eine Qualitätskontrolle statt, die von 70% der Werkstücke bestanden wird, die dann an Station 6 den finalen Bearbeitungsschritt erhalten. Jene Werkstücke, die die Qualitätskontrolle nicht bestehen, müssen nachgearbeitet werden. In 20% der Fälle reicht eine Nacharbeit an Station 7 aus und die Werkstücke können an Station 4 wieder in den Produktionsprozess eingeschleust werden. In den verbleibenden 80% der Fälle müssen die defekten Werkstücke zusätzlich an Station 8 nachgearbeitet werden und können anschließend an Station 3 wieder zurück in den Produktionsprozess eingeschleust werden. **Die Produktionsrate des Gesamtsystems entspricht dem Durchsatz von Station 6.**

Jede Station verfügt über einen Server. Alle Bearbeitungszeiten sind exponentialverteilt. Die Erwartungswerte der Bearbeitungszeiten der stochastischen Bearbeitungszeiten  $T_i$  an den Stationen entnehmen Sie der folgenden Tabelle:

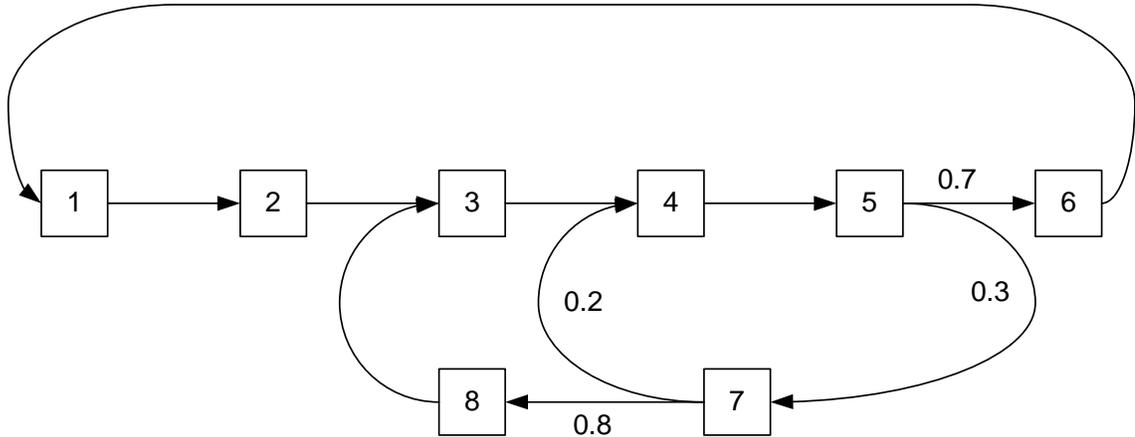
Station $i$	$E[T_i]$ (min.)
1	10
2	9
3	8
4	8
5	7
6	9
7	20
8	30

- (a) Unterstellen Sie zunächst, dass die Ankunft der zu bearbeitenden Werkstücke an der Station 1 einen Poisson-Prozess darstellt und im Mittel 5 Ankünfte je Stunde erfolgen. Ermitteln Sie nun
- i. die Produktionsrate des Gesamtsystems,
  - ii. die Auslastung aller Stationen,
  - iii. den Engpass des Systems,
  - iv. die erwartete Anzahl von Werkstücken an jeder Station,
  - v. die erwartete Anzahl wartender Werkstücke vor jeder Station,
  - vi. die erwartete Anzahl von Werkstücken im Gesamtsystem und
  - vii. die erwartete Durchlaufzeit durch das System.

(14 P.)



- (b) Unterstellen Sie nun, dass durch Verwendung einer CONWIP-Produktionssteuerung ein konstanter (ganzzahliger) Bestand an Werkstücken im Gesamtsystem eingestellt werden soll, so dass sich das System gemäß der folgenden Abbildung als geschlossenes Netzwerk darstellt. (6 P.)



- i. Ermitteln Sie durch Anwendung einer Mittelwertanalyse die kleinstmögliche Anzahl von Werkstücken im System, bei der sich mindestens die gleiche Produktionsrate des Gesamtsystems wie im Fall des offenen Produktionssystems einstellt. Geben Sie für diesen Fall die erwartete Anzahl von Werkstücken an jeder Station an.
- ii. Vergleichen Sie den erforderlichen Gesamtbestand mit jenem für das offene System und erläutern Sie Ihre Beobachtung.

