



**Universität  
Zürich<sup>UZH</sup>**

**Institut für Betriebswirtschaftslehre**

---

# **Services & Operations Management**

Prof. Dr. Helmut Dietl



## Modulübersicht

1. Operations Strategie
- 2. Prozessanalyse**
3. Qualitätsmanagement: SPC
4. Plattformmanagement
5. Sportmanagement



## Lernziele

Nach diesem Modul sollten Sie

- Prozessanalysen durchführen können
- Verbesserungsmöglichkeiten in Prozessen erkennen und realisieren können
- Durchlauf- und Zykluszeiten berechnen können
- Kapazität und Auslastungsgrad berechnen können
- Flaschenhalse identifizieren können
- das Gesetz von Little anwenden können

## Durchlaufzeit vs. Zykluszeit

Fall 1

Tunnel

Produktionsrate = 0.05 Autos/min



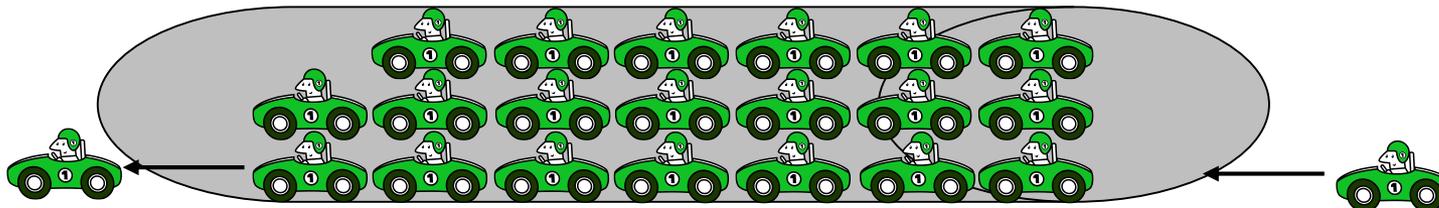
Durchlaufzeit = 40 min

Anzahl Autos im Tunnel = 2

Zykluszeit = 20 min

Fall 2

Produktionsrate = 0.5 Autos/min



Durchlaufzeit = 40 min

Anzahl Autos im Tunnel = 20

Zykluszeit = 2 min



## Durchlaufzeit vs. Zykluszeit

### Durchlaufzeit

- Die Zeitdauer, die eine Produkteinheit im System verweilt
- Synonyme: Fließzeit, Umlaufzeit
- **Frage:** Wie lange ist der Zeitraum zwischen der Einfahrt eines Autos in den Tunnel und der Ausfahrt desselben Autos aus dem Tunnel?

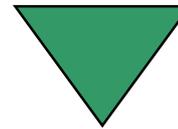
### Zykluszeit

- Zeitraum zwischen der Fertigstellung zweier Produkteinheiten
- Entspricht dem Kehrwert der Produktionsrate
- **Frage:** Wie viel Zeit vergeht zwischen der Ausfahrt eines Autos und der Ausfahrt des nächsten Autos aus dem Tunnel?

## Prozessflussdiagramm (Symbole)

- Lager

- Rohmaterialien (RM)
- Work in Process (WIP)
- Puffer



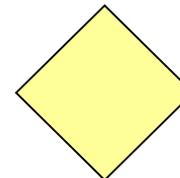
- Material- oder Arbeitsfluss



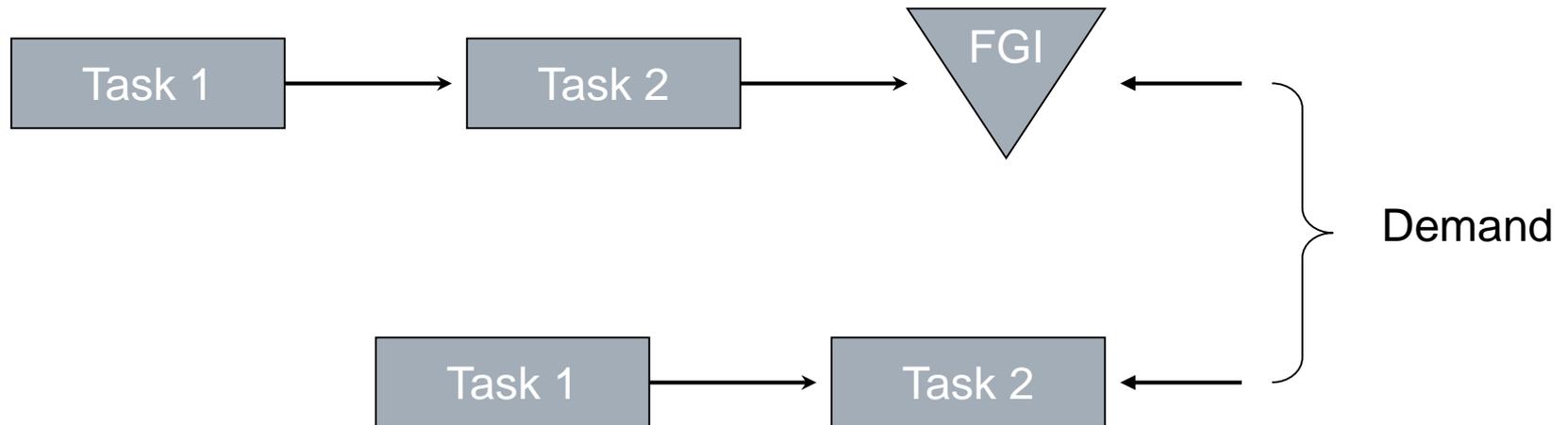
- Prozessschritt



- Entscheidungspunkt



## Make-to-Stock vs. Make-to-Order



Falls Nachfrage vom Lager bedient wird, haben wir ***Make-to-Stock***, andernfalls ***Make-to-Order***



## Kapazität

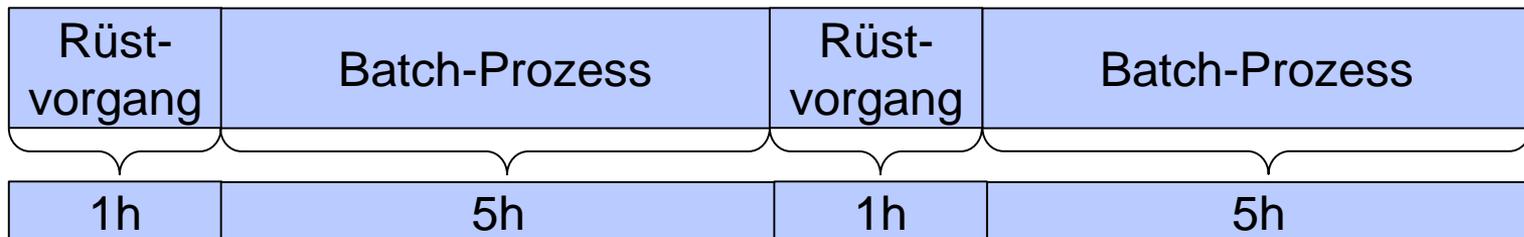
- Kapazität (pro Zeiteinheit) = maximal möglicher Output (pro Zeiteinheit)
  - Beispiele
    - Stahlproduzent kann maximal 10 Millionen Tonnen Stahl pro Woche herstellen
    - Versicherungsabteilung kann maximal 125 Schadensfälle pro Stunde bearbeiten
- Kapazität kann sowohl für jede einzelne Prozessstufe als auch für den Gesamtprozess ermittelt werden
- Kapazität des Gesamtprozesses wird durch den Flaschenhals determiniert



## Kapazität eines Batch-Prozesses

Beispiel:

- Batch besteht aus 72 Produkteinheiten
- ein Batch-Prozess dauert 5 Stunden
- Rüstzeit = 1 Stunde je Batch-Prozess



Kapazität = Einheiten pro Batch / Zykluszeit = (72 Einheiten pro Batch) / ((1+5)h pro Batch) = 12 Einheiten pro h



## Auslastungsgrad

**Auslastungsgrad** = (Tatsächlicher Output pro Zeiteinheit / Kapazität pro Zeiteinheit) x 100%

Beispiel:

- Wie oben
- Batch produziert 140 Einheiten pro Tag
- Produktionszeit beträgt 14 h pro Tag

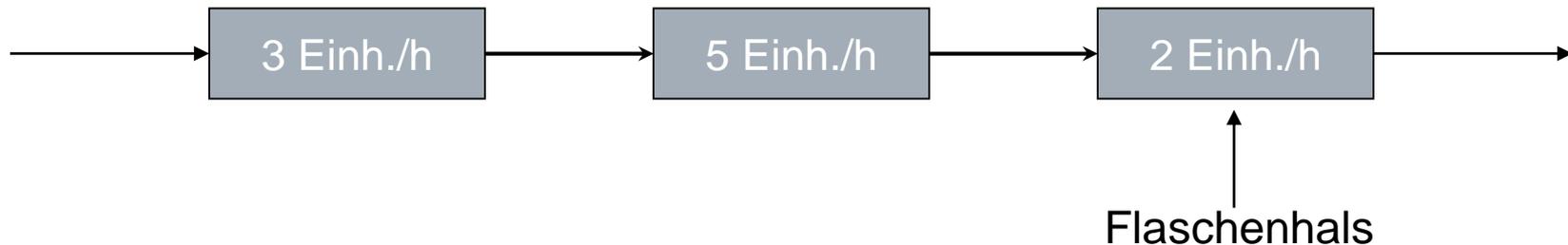
Wie hoch ist der Auslastungsgrad?

Auslastungsgrad = [140 Einheiten pro Tag / (12 Einheiten pro Stunde x 14 Stunden pro Tag)] x 100% = 83,33%



## Flaschenhals

- **Flaschenhals des Gesamtprozesses** ist diejenige Ressource, die die Prozesskapazität limitiert
- Flaschenhalse sind der Ansatzpunkt für Prozessverbesserungen!
- Beispiel



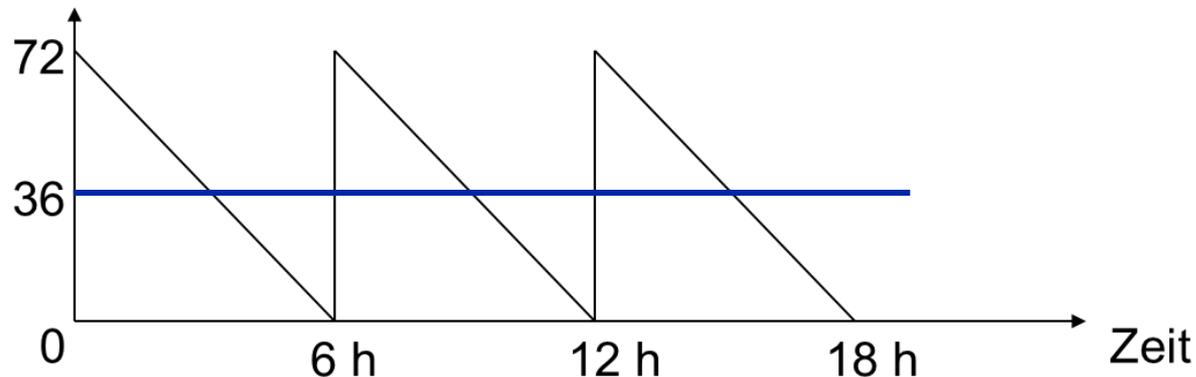


## Lagerbestand

**Durchschnittlicher Lagerbestand =  $\frac{1}{2}$  x Batch**

Beispiel:

- alle 6 h wird ein Batch im Umfang von 72 Produkteinheiten gefahren
- Nachfrage = Produktion =  $72/6 = 12$  Einh./h
- Frage: Wie hoch ist der durchschnittliche Lagerbestand?





## Gesetz von Little

- Little's Law erklärt den Zusammenhang zwischen Durchlaufzeit, Lagerbestand (WIP) und Produktionsrate
  - $L$  = durchschnittlicher Lagerbestand (bei Serviceunternehmen: Anzahl der Kunden) bzw. Work-in-Process (WIP)
  - $W$  = durchschnittliche Durchlaufzeit
  - $\lambda$  = durchschnittliche Produktionsrate
- Little's Gesetz lautet:  $L = W\lambda$  bzw.  $WIP = W\lambda$
- Jede der drei Variablen ist durch die anderen beiden eindeutig determiniert!



## Gesetz von Little: Beispiel

- Eine Grossbäckerei produziert 10'000 Brezel pro Stunde
- Die Brezel benötigen 6 Minuten, um abzukühlen, bevor sie verpackt werden können
- Wie viele Brezel müssen auf dem Kühltisch Platz haben?



## Beispiel 1: Lösung

- Lösung mit Hilfe des Gesetzes von Little
  - $WIP = W\lambda$
  - Gesucht ist
    - $WIP$  = durchschnittlicher Lagerbestand (L)
  - Gegeben sind
    - $W$  = durchschnittliche Durchlaufzeit
    - $\lambda$  = durchschnittliche Produktionsrate
  - Einsetzen ergibt
    - $WIP = (0.1 \text{ h}) \times (10'000 \text{ Brezel/h}) = 1'000 \text{ Brezel}$
  - Es müssen 1'000 Brezel auf dem Kühltablett Platz haben



## Beispiel 2: Aufwachstation

- Aus den OPs kommen 10 Patienten pro Stunde
- Patienten bleiben 5 Stunden auf der Aufwachstation
- Wie viele Betten braucht die Aufwachstation?
- Was ändert sich, wenn die Werte nicht mehr deterministisch, sondern stochastisch sind?



## Beispiel 2: Lösung (1/2)

- Lösung mit Hilfe des Gesetzes von Little
  - $WIP = W\lambda$
  - Gesucht ist
    - $WIP$  = durchschnittlicher Lagerbestand ( $WIP$ )
  - Gegeben sind
    - $W$  = durchschnittliche Durchlaufzeit
    - $\lambda$  = durchschnittliche Produktionsrate
  - Einsetzen ergibt
    - $WIP = (5 \text{ h}) \times (10 \text{ Patienten/h}) = 50 \text{ Patienten}$
  - Die Aufwachstation benötigt 50 Betten



## Beispiel 2: Lösung (2/2)

- Was ändert sich, wenn die Werte nicht mehr deterministisch, sondern stochastisch sind?
  - Da das Gesetz von Little bei stochastischen Prozessen Durchschnittswerte berechnet, sind dann durchschnittlich 50 Patienten in der Aufwachstation, häufig aber auch mehr bzw. weniger
  - In diesem Fall wäre eine Aufwachstation mit 50 Betten zu klein, weil sie nur in der Hälfte aller Fälle genügend Betten hätte.



## Beispiel 3: Personalplanung

- Kein Patient soll länger als 3 Stunden im Krankenhaus sein
- Es sitzen 30 Patienten im Warteraum
- Wie hoch muss die Zykluszeit sein
- Wenn ein Arzt 2.5 Patienten/h behandeln kann, wie viele Ärzte braucht es dann?
- Was ändert sich bei stochastischer Behandlungszeit und stochastischer Ankunftsrate?



## Beispiel 3: Lösung (1/2)

- Lösung mit Hilfe des Gesetzes von Little
  - Gesucht ist die Zykluszeit
    - Sie ist definiert als der Kehrwert der Produktionsrate
    - $\Rightarrow \text{Zykluszeit} = 1/\lambda$
  - Gegeben sind
    - $W = \text{maximale Durchlaufzeit} = 3\text{h/Patient}$
    - $WIP = 30 \text{ Patienten}$
  - Einsetzen ergibt
    - $\lambda = WIP/W = 30 \text{ Patienten}/3\text{h} = 10 \text{ Patienten/h}$
    - $\Rightarrow \text{Zykluszeit} = 1/\lambda = 1\text{h}/10\text{Patienten} = 60 \text{ min}/10 \text{ Patienten} = 6 \text{ min/Patient}$
  - Die Zykluszeit darf 6 Minuten nicht übersteigen



## Beispiel 3: Lösung (2/2)

- Wenn ein Arzt 2.5 Patienten/h behandeln kann, wie viele Ärzte braucht es dann?
  - $(\text{Anzahl \u00c4rzte}) \times (2.5 \text{ Patienten/h}) = 10 \text{ Patienten/h}$
  - $\Rightarrow 4 \text{ \u00c4rzte}$
- Was \u00e4ndert sich bei stochastischer Behandlungszeit und stochastischer Ankunftsrate?
  - Bei stochastischer Behandlungszeit, w\u00e4ren die ermittelten Werte wiederum nur Durchschnittswerte
  - Eine durchschnittliche Zykluszeit von 6 Minuten pro Patient w\u00fcrde dann nicht ausreichen, um die Vorgaben einzuhalten
  - Damit br\u00e4uchte es auch mehr als 4 \u00c4rzte



## Prozess 1: 3-stufiger Prozess (sequentiell)



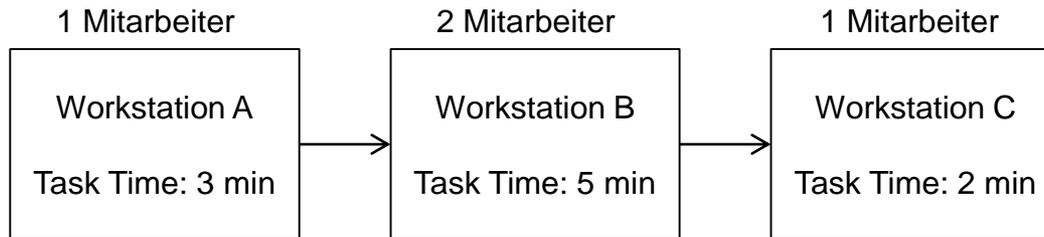
- Wo ist der Flaschenhals?
- Berechnen Sie die Kapazität, Durchlauf- und Zykluszeit des Gesamtprozesses!
- Wie hoch ist der Auslastungsgrad jedes Teilprozesses?
- Wie hoch ist der durchschnittliche Auslastungsgrad?



## Prozess 1: Lösung

- Workstation B ist der Flaschenhals (längste Task Time).
- Damit ist die Zykluszeit des Gesamtprozesses 5 Minuten.
- Die minimale Durchlaufzeit ist gleich der Summe der Bearbeitungszeiten (Task Time) der drei Workstations.
- Die Auslastungsgrade betragen 60% für Workstation A, 100% für Workstation B und 40% für Workstation C.
- Der durchschnittliche Auslastungsgrad beträgt  $(60\% + 100\% + 40\%)/3 = 66.67\%$ .

## Prozess 2: Prozess 1 mit einem zusätzlichen Mitarbeiter



- Wo ist der Flaschenhals?
- Berechnen Sie die Kapazität, Durchlauf- und Zykluszeit des Gesamtprozesses!
- Wie hoch ist der Auslastungsgrad jedes Teilprozesses?
- Wie hoch ist der durchschnittliche Auslastungsgrad?



## Prozess 2: Lösung (1/2)

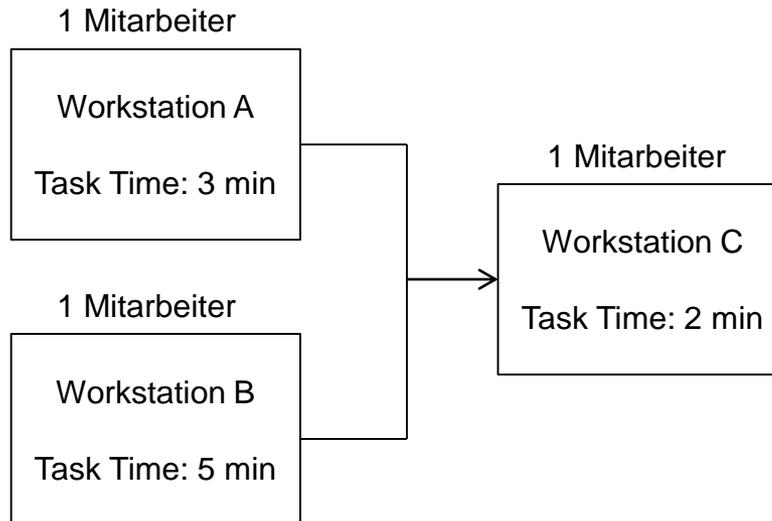
- Wenn ein zweiter Arbeiter an Workstation B arbeitet, reduziert sich die Zykluszeit dieses Teilprozesses auf 2.5 Minuten.
- Damit wird Workstation A zum Flaschenhals und die Zykluszeit des Gesamtprozesses beträgt 3 Minuten.
- Die minimale Durchlaufzeit bleibt unverändert, wenn das Produkt bzw. der Service auf Workstation B jeweils nur von einem Arbeiter bearbeitet werden kann (z.B. jede Kreditwürdigkeitsprüfung erfolgt von Anfang bis Ende durch einen Mitarbeiter)
- Die minimale Durchlaufzeit reduziert sich auf 7.5 Minuten, wenn beide Arbeiter auf Workstation B gleichzeitig an dem Produkt bzw. dem Service arbeiten können (z.B. LKW wird von 2 Mitarbeitern gleichzeitig beladen)



## Prozess 2: Lösung (2/2)

- Die Auslastungsgrade betragen jetzt 100% für Workstation A, 83% für beide Mitarbeiter auf Workstation B und 67% für Workstation C.
- Der durchschnittliche Auslastungsgrad beträgt jetzt  $(1 \times 100\% + 2 \times 83\% + 1 \times 67\%) / 4 = 83.33\%$ .

## Prozess 3: 3-stufiger Prozess (teilweise parallel)



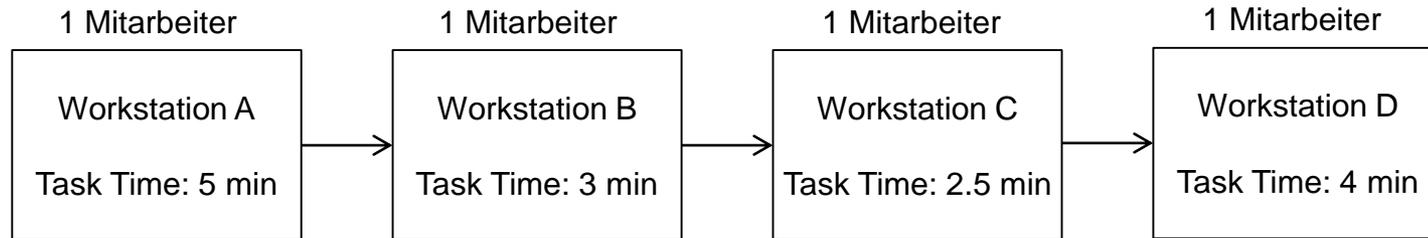
- Wo ist der Flaschenhals?
- Berechnen Sie die Kapazität, Durchlauf- und Zykluszeit des Gesamtprozesses!
- Wie hoch ist der Auslastungsgrad jedes Teilprozesses?
- Wie hoch ist der durchschnittliche Auslastungsgrad?



## Prozess 3: Lösung

- Prozess 3 ist nahezu identisch mit Prozess 1, nur dass jetzt die Schritte A und B parallel zueinander ausgeführt werden.
- Hierdurch verringert sich die Durchlaufzeit auf  $\text{Max} \{\text{Task Time A; Task Time B}\} + \text{Task Time C} = \text{Max} \{3; 5\} + 2 = 7$ .
- Die Zykluszeit bleibt unverändert.
- Die Auslastungsgrade bleiben ebenfalls unverändert.

## Prozess 4: 4-stufiger Prozess



- Wo ist der Flaschenhals?
- Berechnen Sie die Kapazität, Durchlauf- und Zykluszeit des Gesamtprozesses!
- Wie hoch ist der Auslastungsgrad jedes Teilprozesses?
- Wie hoch ist der durchschnittliche Auslastungsgrad?

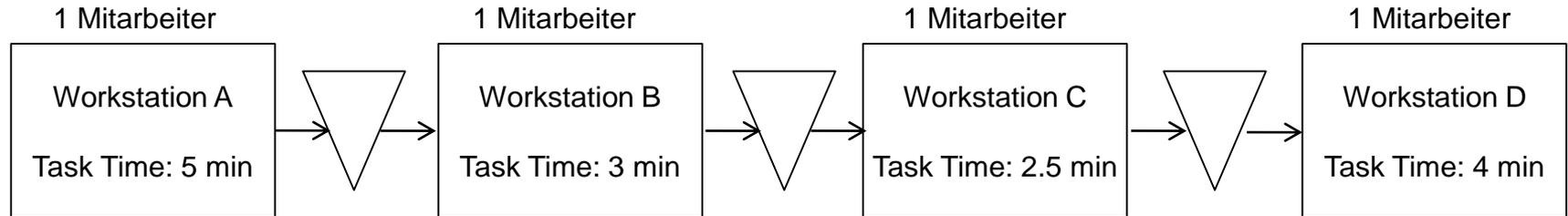


## Prozess 4: Lösung

- Workstation A ist der Flaschenhals (längste Task Time).
- Damit ist die Zykluszeit des Gesamtprozesses 5 Minuten.
- Die minimale Durchlaufzeit ist gleich der Summe der Bearbeitungszeiten (Task Time) der vier Workstations, d.h. 14.5 Minuten.
- Die Auslastungsgrade betragen 100% für Workstation A, 60% für Workstation B, 50% für Workstation C und 80% für Workstation D
- Der durchschnittliche Auslastungsgrad beträgt  $(100\% + 60\% + 50\% + 80\%)/4 = 72.50\%$ .

## Prozess 5: 4-stufiger Prozess mit Floating Worker

1 Floating Worker



- Der fünfte Mitarbeiter (Floating Worker) ist cross-trained, d.h. er kann auf allen Workstations eingesetzt werden.
- Annahme: Er hat keine Transportkosten und Wegzeiten zwischen den Workstations.
- Wo ist der Flaschenhals?
- Berechnen Sie die Kapazität, Durchlauf- und Zykluszeit des Gesamtprozesses!
- Wie hoch ist der Auslastungsgrad jedes Teilprozesses?
- Wie hoch ist der durchschnittliche Auslastungsgrad?



## Prozess 5: Lösung (1/2)

- Der 5. Mitarbeiter (Floating Worker) wird zunächst auf Workstation A, dem bisherigen Flaschenhals, eingesetzt.
- Damit wird D zum neuen Flaschenhals.
- Da der Floating Worker aber nur auf A nicht voll ausgelastet ist, springt er abwechselnd von A nach D und zurück.
- Hierdurch reduziert sich die Zykluszeit der A/D-Kombination auf  $(\text{Task Time A} + \text{Task Time D}) / \text{Anzahl Worker} = (5 + 4) / 3 = 3$ .
- Damit sind die Workstationen A, B und D die Flaschenhalse

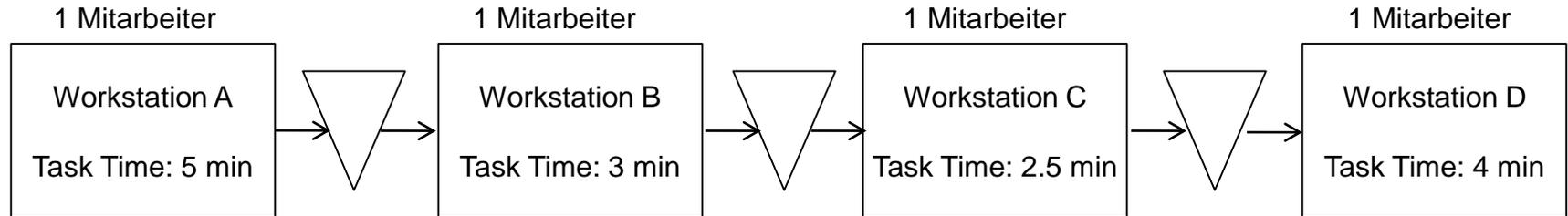


## Prozess 5: Lösung (2/2)

- Die minimale Durchlaufzeit würde sich bei simultaner Bearbeitung des Produkts bzw. des Services durch den Floating Worker auf  $(\text{Task Time A} + \text{Task Time B} + \text{Task Time C} + \text{Task Time D})/2 = (5 + 3 + 2.5 + 4)/2 = 7.25$  reduzieren, da der Floating Worker bei einem Eilauftrag nacheinander auf Workstation A, B, C und dann auf Workstation D eingesetzt wird.
- Wenn das Produkt bzw. der Service auf jeder Workstation immer nur von einem Mitarbeiter bearbeitet werden kann, bleibt die minimale Durchlaufzeit trotz Einsatz des Floating Worker unverändert.
- Die Auslastungsgrade betragen 100% für Workstation A, B und D sowie für den Floating Worker und 83% für Workstation C.
- Der durchschnittliche Auslastungsgrad (inkl. des Floating Worker) beträgt  $(4 \times 100\% + 1 \times 83\%)/5 = 96.67\%$ .

## Prozess 6: 4-stufiger Prozess, alle cross-trained

1 Floating Worker



- Jetzt sind alle fünf Mitarbeiter cross-trained, d.h. sie können auf allen Workstations eingesetzt werden.
- Annahme: Kein Mitarbeiter hat Transportkosten und Wegzeiten zwischen den Workstations.
- Wo ist der Flaschenhals?
- Berechnen Sie die Kapazität, Durchlauf- und Zykluszeit des Gesamtprozesses!
- Wie hoch ist der Auslastungsgrad jedes Teilprozesses?
- Wie hoch ist der durchschnittliche Auslastungsgrad?



## Prozess 6: Lösung (1/2)

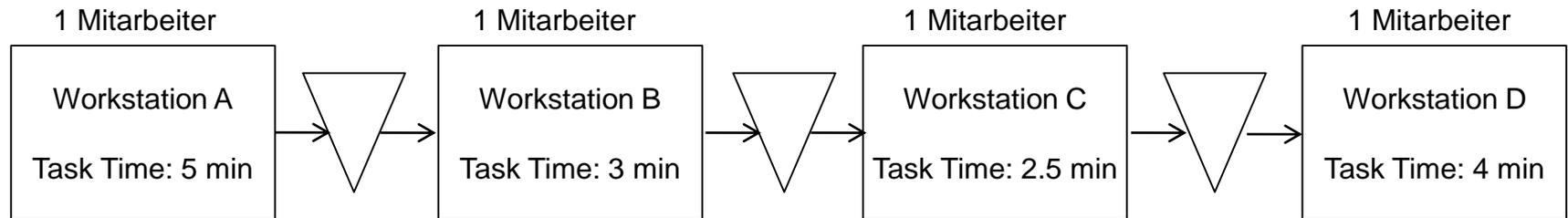
- Wenn alle 5 Arbeiter cross-trained, d.h. beliebig einsetzbar sind, springen sie gemeinsam von Teilprozess zu Teilprozess.
- Dabei bearbeiten sie jeweils 5 Einheiten je Workstation.
- Dieser Prozess entspricht einem Batch-Prozess mit einer Batchgrösse von 5 Einheiten.
- Die Durchlaufzeit beträgt für jede Einheit  $(\text{Task Time Ax5})/5 + (\text{Task Time Bx5})/5 + (\text{Task Time Cx5})/5 + (\text{Task Time Dx5})/5 = 14.5$ .



## Prozess 6: Lösung (2/2)

- Die Zykluszeit des Gesamtprozesses ist dann  
(Task Time A + Task Time B + Task Time C + Task Time D)/5  
=  $14.5/5 = 2.9$  Minuten.
- Es gibt keinen einzelnen Flaschenhals.
- Der Auslastungsgrad beträgt für alle 100% (alle Arbeiter sind ununterbrochen beschäftigt).

## Prozess 7a: 4-stufiger Prozess mit Zwischenlagern



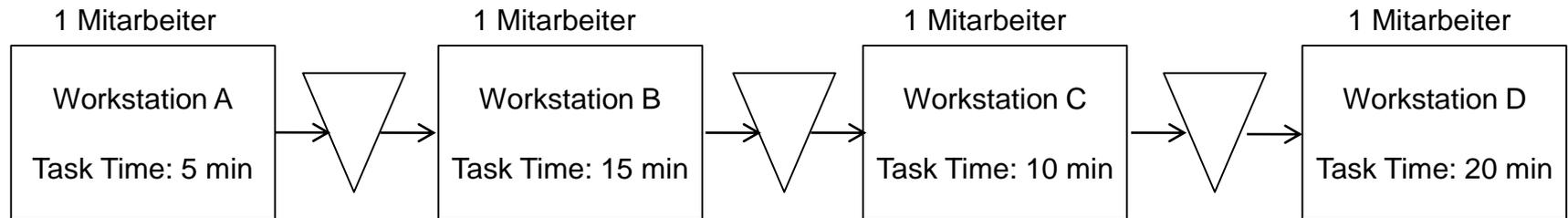
- Die Zwischenlager haben eine maximale Kapazität von 5 Einheiten
- Welche Zwischenlager füllen sich?



## Prozess 7a: Lösung

- Wenn wir Zwischenlager einführen, bleiben diese leer, weil A nur alle 5 Minuten ein Produkt fertigstellt, das dann reibungslos von den nachfolgenden Teilprozessen weiterverarbeitet wird.

## Prozess 7b: 4-stufiger Prozess mit Zwischenlagern



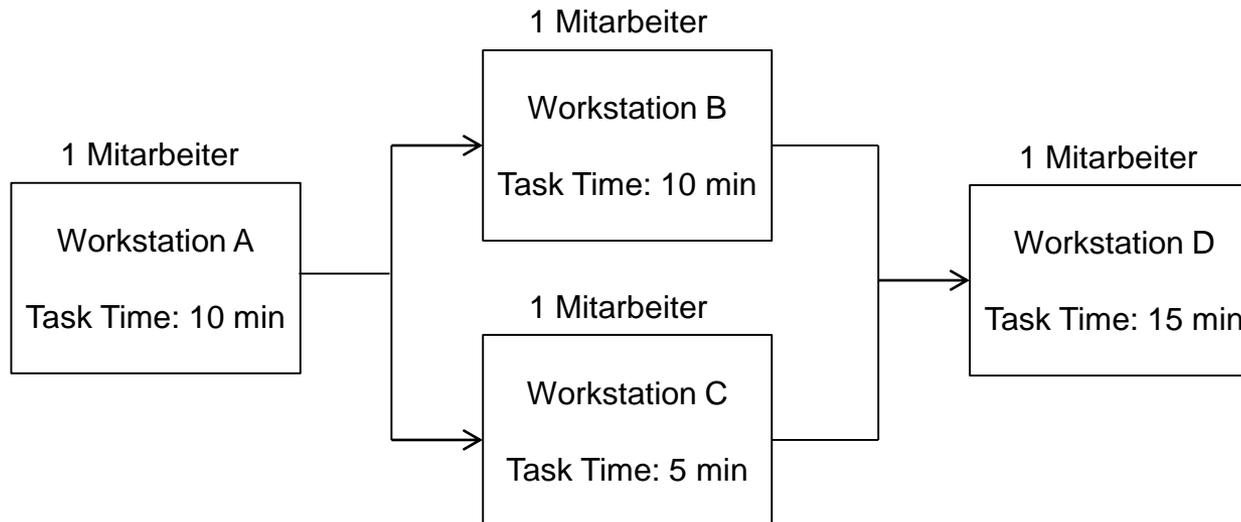
- Die Zwischenlager haben eine maximale Kapazität von 5 Einheiten
- Welche Zwischenlager füllen sich?



## Prozess 7b: Lösung

- Die Zwischenlager werden sich überall dort auffüllen, wo der vorgelagerte Teilprozess schneller ist als der nachgelagerte.
- Hier werden sich also zuerst die Zwischenlager zwischen A und B und zwischen C und D füllen.
- Nachdem das Lager zwischen C und D voll ist, wird C blockiert und damit wird sich auch das Lager zwischen B und C füllen.
- Am Ende sind alle Lager voll.

## Prozess 8: Sub-Assembly (symmetrisch)



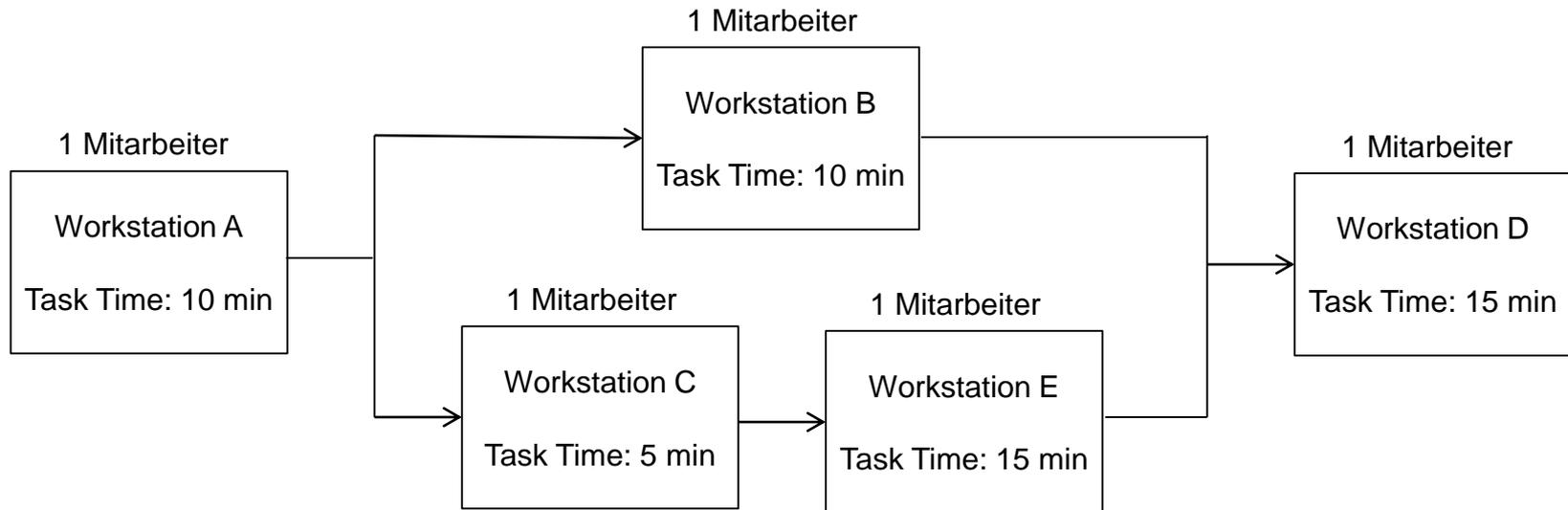
- Wo ist der Flaschenhals?
- Berechnen Sie die Kapazität, Durchlauf- und Zykluszeit des Gesamtprozesses!
- Wie hoch ist der Auslastungsgrad jedes Teilprozesses?
- Wie hoch ist der durchschnittliche Auslastungsgrad?



## Prozess 8: Lösung

- Der Flaschenhals ist D.
- Jetzt ist die minimale Durchlaufzeit gleich  
Task Time A + Max {Task Time B; Task Time C} + Task Time D  
= 10 + Max {10; 5} + 15 = 35 Minuten.
- Die Zykluszeit des Gesamtprozesses beträgt 15 Minuten.
- Die Auslastungsgrade betragen 67% für Workstationen A und B,  
33% für die Workstation C und 100% für die Workstation D.
- Der durchschnittliche Auslastungsgrad beträgt  $(2 \times 67\% + 1 \times 33\% + 1 \times 100\%) / 4 = 67.67\%$ .

## Prozess 9: Sub-Assembly (asymmetrisch)



- Wo ist der Flaschenhals?
- Berechnen Sie die Kapazität, Durchlauf- und Zykluszeit des Gesamtprozesses!
- Wie hoch ist der Auslastungsgrad jedes Teilprozesses?
- Wie hoch ist der durchschnittliche Auslastungsgrad?

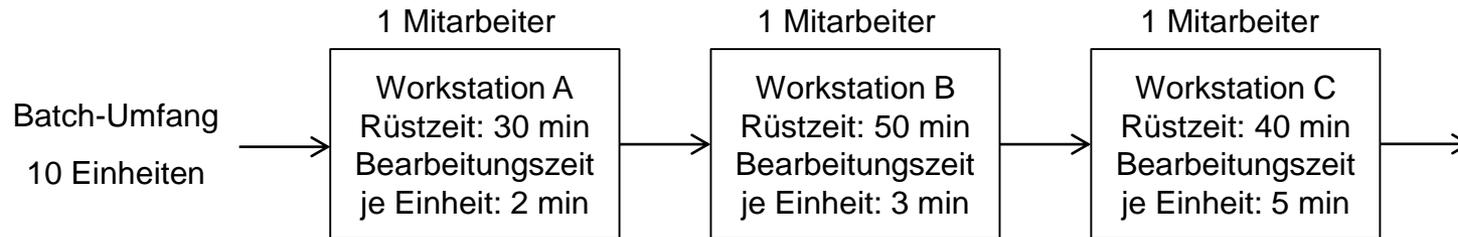


## Prozess 9: Lösung

- Die Flaschenhalse sind D und E.
- Jetzt ist die minimale Durchlaufzeit gleich  
Task Time A + Max {Task Time B; Task Time C + Task Time E}  
+ Task Time D = 10 + Max {10; 5 + 15} + 15 = 45 Minuten.
- Die Zykluszeit des Gesamtprozesses beträgt 15 Minuten.
- Die Auslastungsgrade betragen 67% für Workstationen A und B,  
33% für die Workstation C und 100% für die Workstationen D und  
E.
- Der durchschnittliche Auslastungsgrad beträgt  $(2 \times 67\% + 1 \times 33\% + 2 \times 100\%) / 5 = 73.33\%$



## Prozess 10a: Batch Produktion



- Wo ist der Flaschenhals?
- Berechnen Sie die Kapazität, Durchlauf- und Zykluszeit des Gesamtprozesses!
- Bei welchem Batch-Umfang wechselt der Flaschenhals?

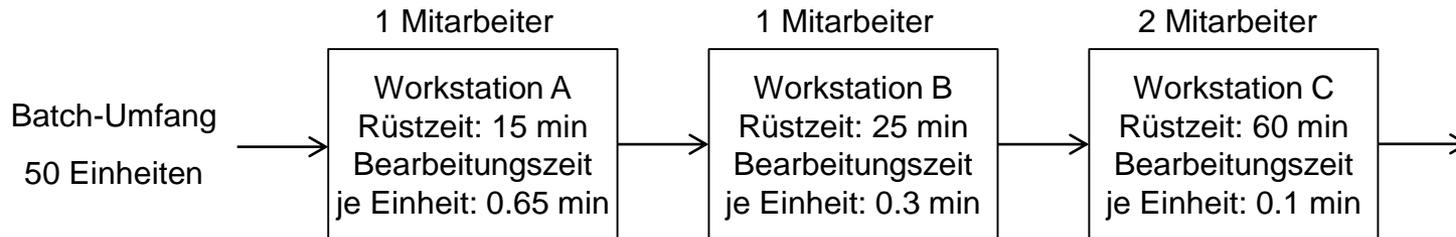


## Prozess 10a: Lösung

- Wenn nur 10-Einheiten-Batches produziert werden, beträgt die Zykluszeit von A  $30 + 2 \times 10 = 50$  Minuten, von B  $50 + 3 \times 10 = 80$  Minuten und C  $40 + 5 \times 10 = 90$  Minuten.
- Damit ist C der Flaschenhals und die Zykluszeit des Gesamtprozesses beträgt 90 Minuten je 10-Einheiten-Batch.
- Wenn man die Batchgrösse verändert, kann A nie Flaschenhals werden, weil A sowohl eine geringere Rüstzeit als auch eine geringere Bearbeitungszeit pro Einheit als B und C hat.
- Wenn  $y$  = die Batchgrösse, bei der sich der Flaschenhals verändert, gilt  $50 + 3y = 40 + 5y \rightarrow y = 5$ .



## Prozess 10b: Batch Produktion



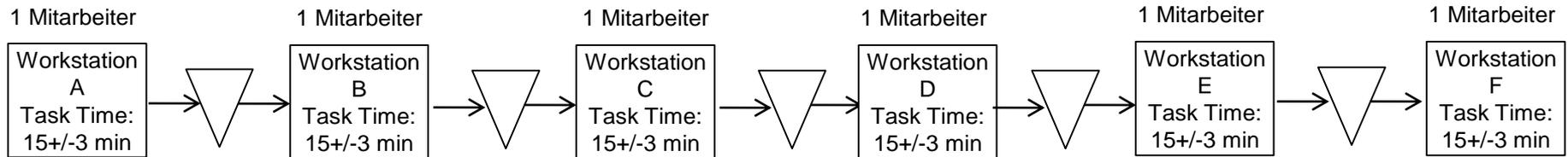
- Durch den 2. Mitarbeiter auf Workstation C werden die Rüst- und Bearbeitungszeiten jeweils halbiert.
- Berechnen Sie die Durchlauf- und Zykluszeit des Gesamtprozesses!
- Wo ist der Flaschenhals?
- Bei welchem Batch-Umfang wechselt der Flaschenhals?



## Prozess 10b: Lösung

- Die Durchlaufzeit beträgt  $15 + (0.65 \times 50) + 25 + (0.3 \times 50) + [60 + (0.1 \times 50)]/2 = 120$  Minuten.
- Bei einer Batchgrösse von 50 beträgt die Zykluszeit von
  - $A = 15 + (0.65 \times 50) = 47.5$  Minuten
  - $B = 25 + (0.3 \times 50) = 40$  Minuten
  - $C = [60 + (0.1 \times 50)]/2 = 32.5$  Minuten.
- Damit ist A der Flaschenhals und die Zykluszeit des Gesamtprozesses beträgt 47.5 Minuten je 50-Einheiten-Batch.
- Falls die Batchgrösse verringert wird, werden zunächst B und dann C zum Flaschenhals.
- Wechsel von A nach B:  $15 + 0.65y = 25 + 0.3y \rightarrow y = 28.6$ .
- Wechsel von B nach C:  $25 + 0.3z = (60 + 0.1z)/2 \rightarrow z = 20$ .

## Prozess 11: Stochastischer Prozess



- Jetzt sind die Bearbeitungszeiten nicht mehr deterministisch, sondern auf jeder Workstation zwischen 12 und 18 Minuten gleichverteilt.
- Wo ist der Flaschenhals?
- Berechnen Sie die Kapazität, Durchlauf- und Zykluszeit des Gesamtprozesses!
- Wie hoch ist der Auslastungsgrad jedes Teilprozesses?
- Wie hoch ist der durchschnittliche Auslastungsgrad?



## Prozess 11: Lösung (1/3)

- Wenn wir Zwischenlager zulassen, verbessert sich die Kapazität des Gesamtprozesses, weil durch die Zwischenlager verhindert wird, dass erstens die vorgelagerte Workstation blockiert wird (zumindest solange bis das Zwischenlager voll ist) und zweitens die nachgelagerte Workstation hungern muss (zumindest solange bis das Zwischenlager leer ist).
- Der Flaschenhals ist jetzt nicht mehr konstant, sondern kann laufend wechseln.
- Die schnellstmögliche Durchlaufzeit beträgt  $6 \times 12 = 72$  Minuten
- Beachten Sie, dass die durchschnittliche Durchlaufzeit nicht der Summe der erwarteten Bearbeitungszeiten ( $6 \times 15 = 90$  Minuten) entspricht, sondern in der Regel wesentlich grösser ist.
- Beachten Sie hierzu die Simulationsergebnisse auf der nächsten Folie



## Prozess 11: Lösung (2/3)

questions process 1

**Time**  
08:00  
(hrs:mins)

**Mode**  
Animated  
Animation controls:   
Speed:   
[Clear Diagram](#)

**Calculated**  
[Calculate](#)  
[Show Results](#)

**Process Metrics**  
Avg Throughput Time (mins): 117.29  
Cycle Time (mins): 15.73  
Capacity per Hour: 3.81  
Utilization: 96.98%  
[Reset to Defaults](#)

Click on a workstation or inventory to configure its parameters. 

→ **Workstation A** →  → **Workstation B** →  → **Workstation C** →  → **Workstation D** →  → **Workstation E** →  → **Workstation F** →

Workstation	Task Time	Time Unit	Utilization
Workstation A	15.00 ± 3.00	mins	100%
Workstation B	15.00 ± 3.00	mins	100%
Workstation C	15.00 ± 3.00	mins	97%
Workstation D	15.00 ± 3.00	mins	98%
Workstation E	15.00 ± 3.00	mins	92%
Workstation F	15.00 ± 3.00	mins	96%

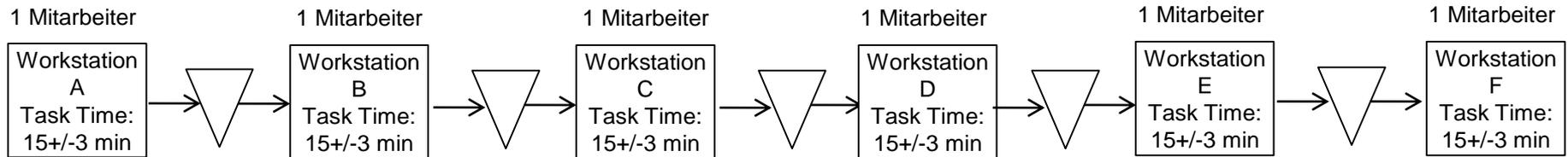
Quelle: Operations Management Simulation: Process Analytics (HBP No. 3291)



## Prozess 11: Lösung (3/3)

- Die durchschnittliche Durchlaufzeit ist wegen der Wartezeiten in den Zwischenlagern sogar grösser als die Summe der längst möglichen Bearbeitungszeiten je Workstation ( $6 \times 18 = 108$  Minuten).
- Mit Hilfe des Gesetzes von Little lässt sich der durchschnittliche Lagerbestand bzw. Work-in-Process ermitteln.
- Littles Gesetz lautet:  $L = W\lambda$  bzw.  $WIP = W\lambda = W(1/\text{Zykluszeit})$   
 $= 117.29(1/15.73) = 7.456$
- Das bedeutet, dass durchschnittlich 7.456 Aufträge im Prozess sind (entweder in einem der Zwischenlager oder in Bearbeitung auf einer der Workstationen).

## Prozess 12: Stochastischer Prozess (Lagerkapazität)



- Wie würden Sie eine (Zwischen-)Lagerkapazität von insgesamt 16 Einheiten in diesem Prozess auf die einzelnen (Zwischen-)Lager verteilen?



## Prozess 12: Lösung (1/2)

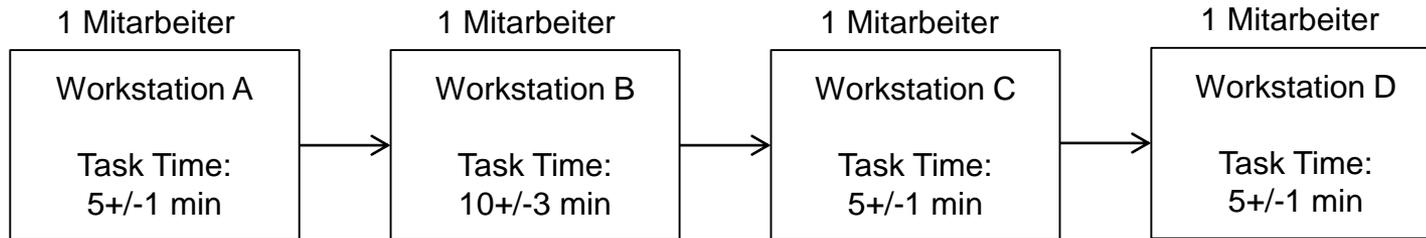
- Wenn wir (Zwischen-)Lager zulassen, verbessert sich die Kapazität des Gesamtprozesses, weil durch die (Zwischen-)Lager verhindert wird, dass erstens die vorgelagerte Workstation blockiert wird (zumindest solange bis das Zwischenlager voll ist) und zweitens die nachgelagerte Workstation hungern muss (zumindest solange bis das Zwischenlager leer ist).
- Wenn man nur einen Zwischenlagerplatz zur Verfügung hätte, sollte man ihn in der Mitte, d.h. zwischen C und D platzieren.
- Allgemein gilt: Bei stochastischer Bearbeitungszeit ist es optimal, den Gesamtprozess in möglichst gleich lange Teilprozesse zu unterteilen.
- Wenn wir 2 Lagerplätze hätten, würden wir den ersten zwischen B und C und den zweiten zwischen D und E platzieren.



## Prozess 12: Lösung (2/2)

- Zudem gilt, dass der Grenznutzen jeder zusätzlichen Einheit innerhalb eines (Zwischen-)Lagers abnimmt.
- Wenn wir diese beiden Prinzipien (Unterteilung des Gesamtprozesses in möglichst gleich lange Teilprozesse und abnehmender Grenznutzen) befolgen, ergibt sich die optimale Aufteilung der 16 Einheiten wie folgt:
  - 3 Einheiten zwischen A und B
  - 3 Einheiten zwischen B und C
  - 4 Einheiten zwischen C und D
  - 3 Einheiten zwischen D und E
  - 3 Einheiten zwischen E und F

## Prozess 13a: 4-stufiger stochastischer Prozess



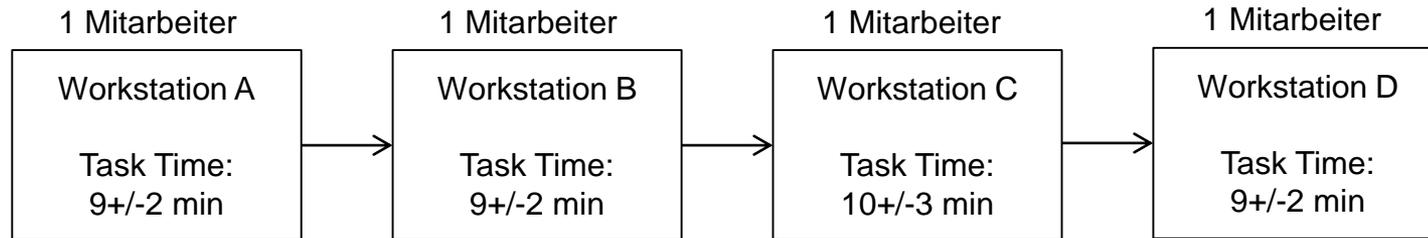
- Wo gross ist die Kapazität dieses Prozesses?
- Wo ist der Flaschenhals?



## Prozess 13a: Lösung

- Die durchschnittliche Kapazität von Prozess 13 beträgt 6 Einheiten.
- Der Flaschenhals ist immer B, weil die kürzeste Bearbeitungszeit auf B höher ist als die längste Bearbeitungszeit auf allen anderen Stufen.
- Zwar gibt es zwischen C und D Überschneidungen. Diese kommen aber nie zum Tragen, weil C frühestens alle 7 Minuten von B „gefüttert“ wird und damit durch D nie blockiert werden kann.

## Prozess 13b: 4-stufiger stochastischer Prozess



- Vergleichen Sie die Auslastung von Workstation C dieses Prozesses mit der Auslastung von Workstation B des Prozesses 13a

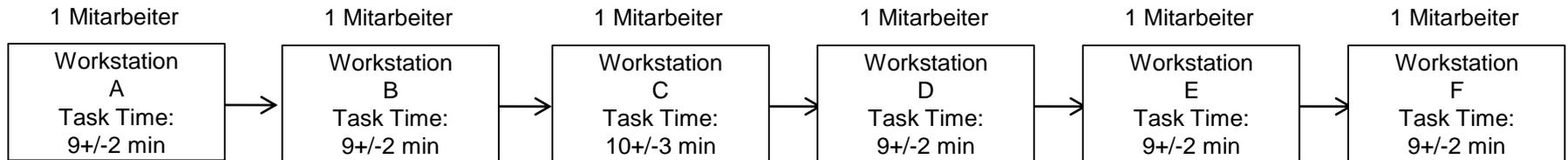


## Prozess 13b: Lösung

- Workstation B von Prozess 13a hat eine höhere Auslastung als Workstation C von Prozess 13b, weil Workstation B von Prozess 13a aufgrund der fehlenden Zeitüberschneidungen mit A, C und D nie blockiert ist oder hungern muss.
- Workstation B von Prozess 13a ist also immer zu 100% ausgelastet.
- Demgegenüber gibt es bei Prozess 13b zwischen Workstation C einerseits und den Workstations A, B sowie D andererseits jeweils Zeitüberschneidungen, weshalb Workstation C blockiert sein kann und/oder «hungern» muss.



## Prozess 14a: Stochastischer Prozess



- Vergleichen Sie den Output von Prozess 14a mit dem Output von Prozess 13b

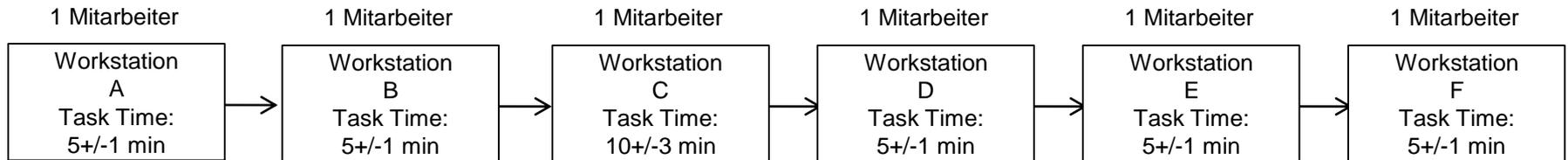


## Prozess 14a: Lösung

- Prozess 14a hat einen geringeren durchschnittlichen Output als Prozess 13b, weil die Überschneidungsprobleme mit zusätzlichen Workstations zunehmen.



## Prozess 14b: Stochastischer Prozess



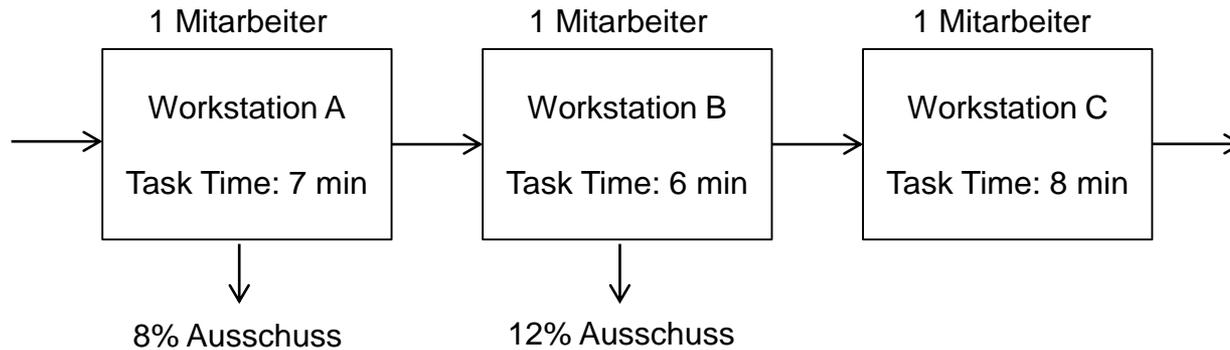
- Vergleichen Sie den Output von Prozess 14b mit dem Output von Prozess 14a.



## Prozess 14b: Lösung

- Prozess 14b hat einen höheren durchschnittlichen Output als Prozess 14a, weil es bei Prozess 14b im Gegensatz zu Prozess 14a keine Überschneidungen der anderen Workstations mit dem Flaschenhals C gibt.

## Prozess 15: 3-stufiger Prozess mit Ausschuss



- Wo ist der Flaschenhals?
- Berechnen Sie die Kapazität des Gesamtprozesses!



## Prozess 15: Lösung (1/3)

- Jetzt arbeiten die Workstations A und B nicht mehr fehlerfrei, sondern produzieren Ausschuss.
- Wenn wir die Kapazität jeder Workstation mit ihrem erwarteten Input durch die vorgelagerte Workstation vergleichen, erhalten wir für
  - $A = 60/7 = 8.57$ , kein Input von vorgelagerter Stufe
  - $B = 60/6 = 10$ , erwarteter Input durch A =  $8.57 \times 92\% = 7.9$
  - $C = 60/8 = 7.5$ , erwarteter Input durch B =  $7.9 \times 88\% = 6.94$ .
- Damit könnten B und C ihre Inputs jeweils problemlos weiterverarbeiten und A wäre der Flaschenhals.
- Wegen des Ausschusses wäre die erwartete Kapazität des Gesamtprozesses 6.94 Einheiten pro Stunde.



## Prozess 15: Lösung (2/3)

- Tatsächlich liegt die durchschnittliche Kapazität des Gesamtprozesses aber deutlich unter 6.94, weil der Ausschuss nicht gleichmässig anfällt.
- Wenn A und B länger keinen Ausschuss produzieren, wird C zum Flaschenhals.
- Damit werden B und A blockiert und die durchschnittliche Kapazität des Gesamtprozesses sinkt.

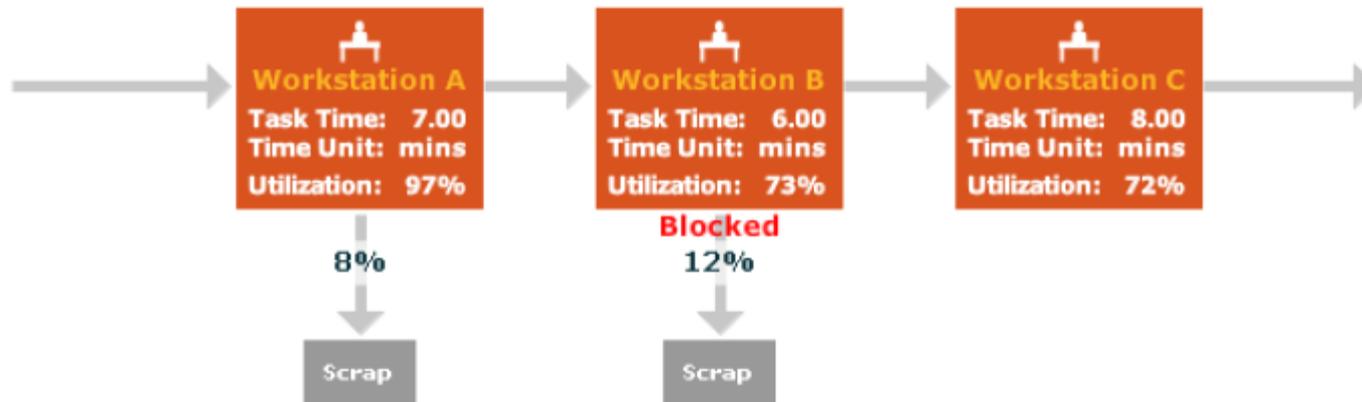


## Prozess 15: Lösung (3/3)

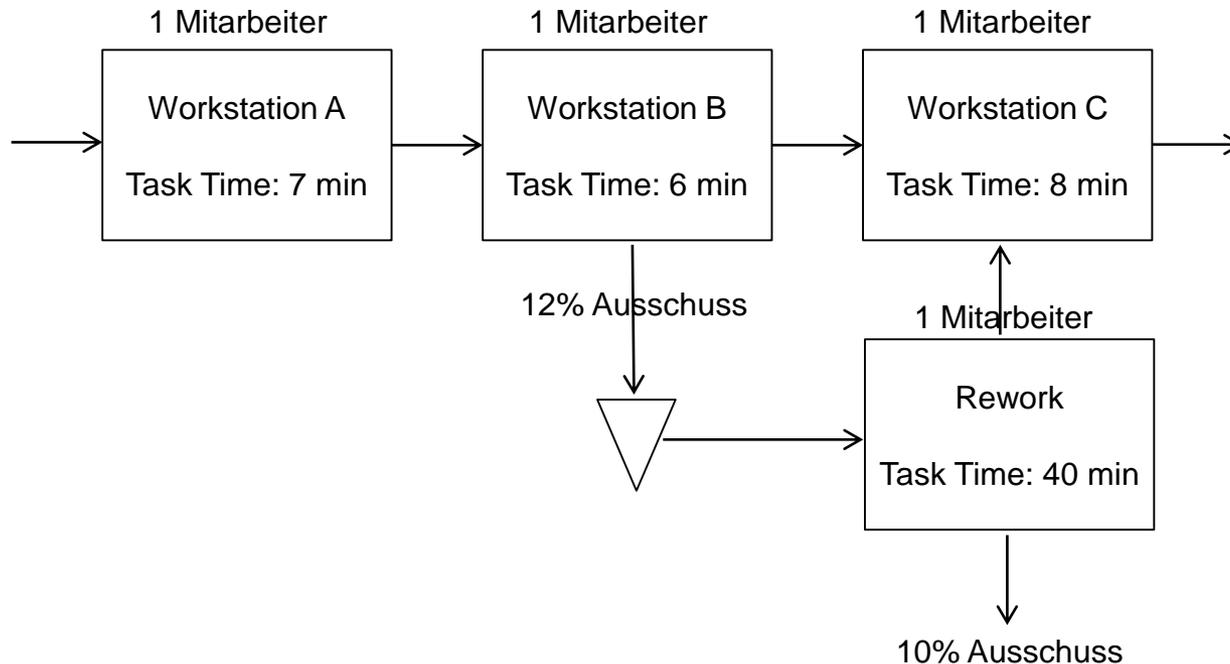
process 1 | **process 2**

<b>Time</b> 08:00 (hrs:mins)	<b>Mode</b> Animated Animation controls: Speed: <a href="#">Clear Diagram</a>	Calculated <b>Calculate</b> <a href="#">Show Results</a>	<b>Process Metrics</b> Avg Throughput Time (mins): 22.09 Cycle Time (mins): 11.10 Capacity per Hour: 5.41 Utilization: 80.69% <a href="#">Reset to Defaults</a>
------------------------------------	---	--	--

Click on a workstation or inventory to configure its parameters.



## Prozess 16: 3-stufiger Prozess mit Ausschuss und Rework



- Wo ist der Flaschenhals?
- Berechnen Sie die Kapazität des Gesamtprozesses!



## Prozess 16: Lösung (1/3)

- Mit Rework werden die Berechnungen komplizierter, obwohl die Grundprinzipien gleich bleiben:
- Wenn wir wiederum die Kapazität jeder Workstation mit ihrem erwarteten Input durch die vorgelagerte Workstation vergleichen, erhalten wir für
  - $A = 60/7 = 8.57$ , kein Input von vorgelagerter Stufe
  - $B = 60/6 = 10$ , erwarteter Input durch A = 8.57 (kein Scrap auf Workstation A)
  - $\text{Rework} = 60/40 = 1.5$ , erwarteter Input von B =  $8.57 \times 12\% = 1.03$
  - $C = 60/9 = 6.67$ , erwarteter Input durch B + erwarteter Input von Rework =  $(8.57 \times 88\%) + (1.03 \times 90\%) = 8.47$ .
- Damit wären weder A noch Rework der Flaschenhals. Vielmehr wäre C der Flaschenhals

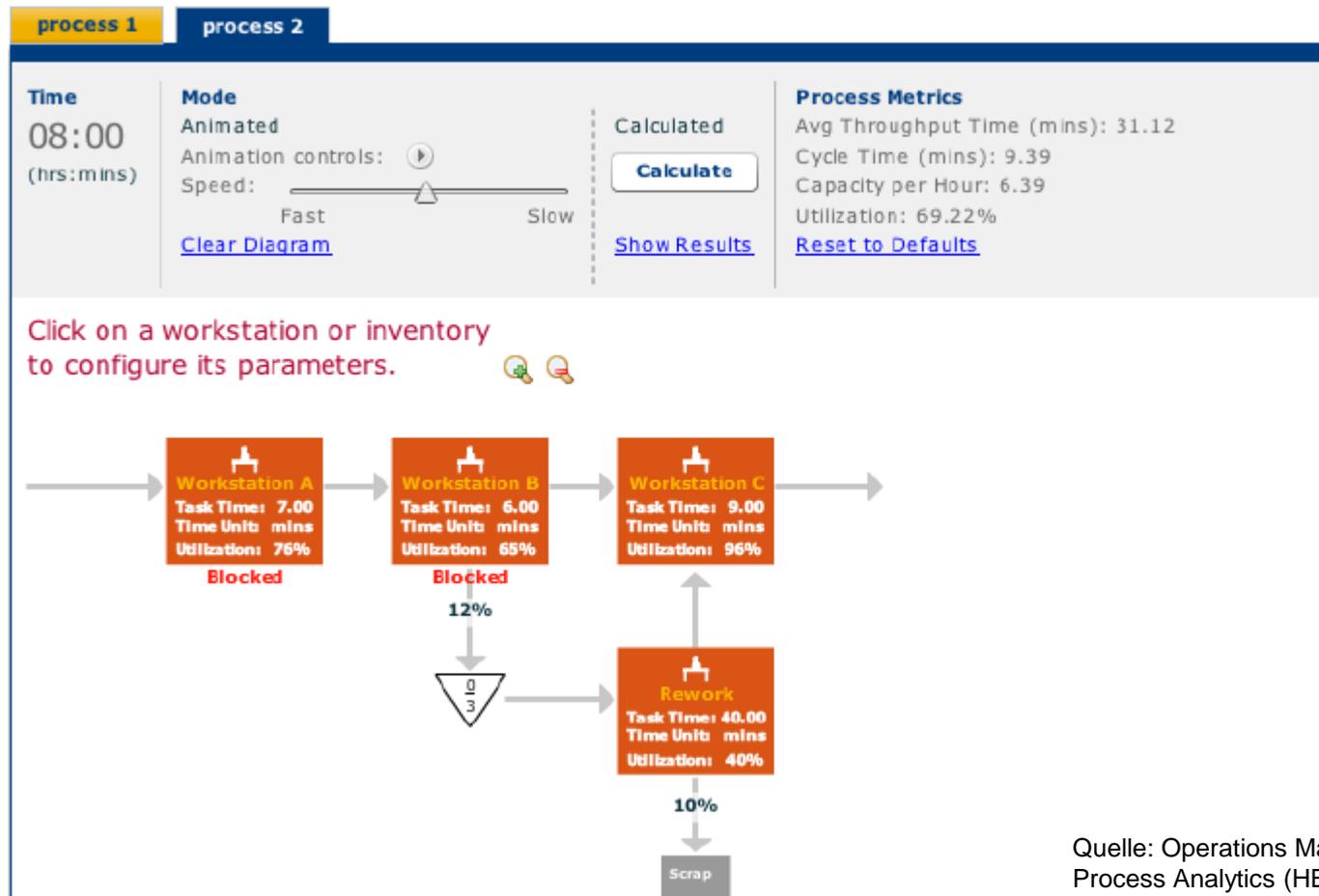


## Prozess 16: Lösung (2/3)

- Die erwartete Kapazität des Gesamtprozesses wäre 6.67 Einheiten pro Stunde.
- Tatsächlich liegt die durchschnittliche Kapazität des Gesamtprozesses aber wiederum deutlich unter 6.67, weil der Ausschuss nicht gleichmässig anfällt.
- A wird durch den Flaschenhals oft blockiert und hat deshalb nur eine Auslastung von 76%. Damit beträgt die tatsächliche Kapazität von A nur  $76\% \times 8.57 = 6.5$ .
- Workstation B hat nur eine Auslastung von 65% und produziert damit durchschnittlich nur 6.5 Einheiten pro Stunde.
- Rework produziert  $12\% \times 6.5 = 0.78$  Einheiten pro Stunde.
- Damit beträgt der Gesamtoutput  $90\% \times 0.78 + 88\% \times 6.5 = 6.4$  Einheiten pro Stunde.



## Prozess 16: Lösung (3/3)



Quelle: Operations Management Simulation:  
Process Analytics (HBP No. 3291)