

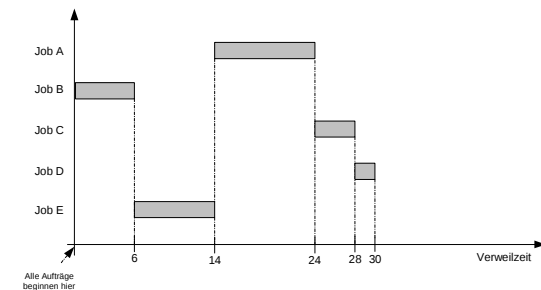
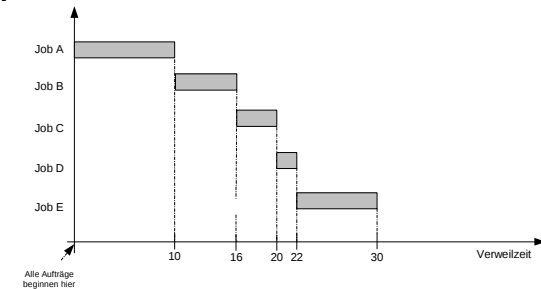
# MAS: Betriebssysteme

## CPU-Scheduling - Grundkonzepte

T. Pospíšek

# Gesamtüberblick

1. Einführung in Computersysteme
2. Entwicklung von Betriebssystemen
3. Architekturansätze
4. Interruptverarbeitung in Betriebssystemen
5. Prozesse und Threads
- 6. CPU-Scheduling**
7. Synchronisation und Kommunikation
8. Speicherverwaltung
9. Geräte- und Dateiverwaltung
10. Betriebssystemvirtualisierung



# Zielsetzung

---

- Der Studierende soll die wesentlichen CPU-Scheduling-Verfahren verstehen und erläutern können
- Insbesondere soll das Round-Robin-Verfahren mit und ohne Prioritätensteuerung skizziert und mit anderen Algorithmen verglichen werden können

Scheduling = Ablaufplanung

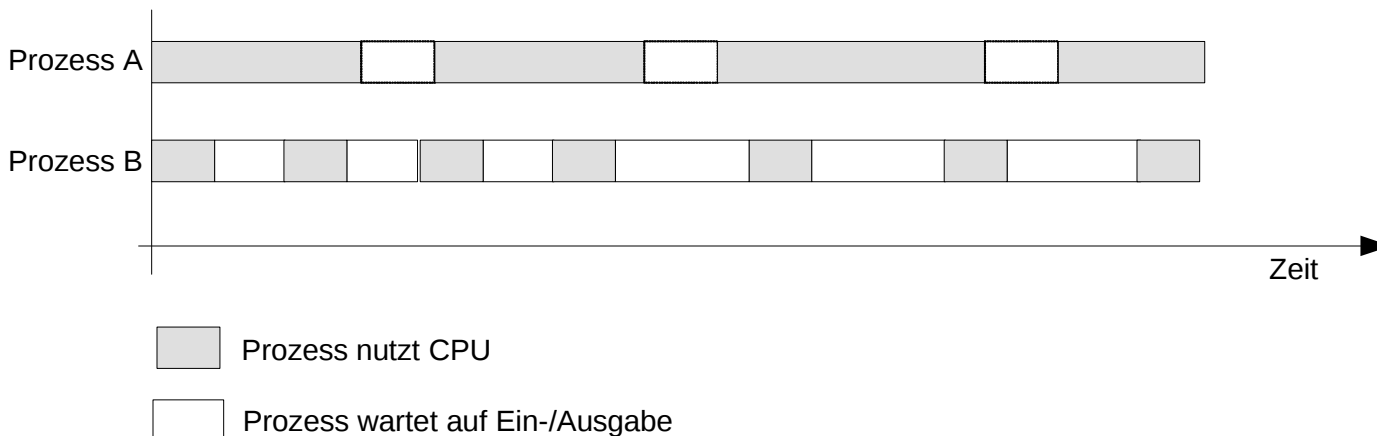
# Überblick

---

- 1. Grundlagen**
2. Scheduling-Verfahren
3. Vergleich von Scheduling-Verfahren

# Aspekte der CPU-Zuteilung

- CPU-Vergabe in Abhängigkeit der Scheduling-Einheit:
  - Prozess-basiert: CPU wird nur ganzen Prozessen zugeteilt
  - Thread-basiert: CPU wird Threads zugeteilt
- CPU-Vergabe in Abhängigkeit des Prozesstyps:
  - Prozess A ist CPU-lastig (rechenintensiv)
  - Prozess B ist Ein-/Ausgabe-lastig



# Der Prozessmanager

---

- **Scheduler:**

- Komponente, die die Planung der Betriebsmittelzuteilung (Scheduling = Ablaufplanung) übernimmt

- **Dispatcher:**

- Komponente, die für den Prozesswechsel zuständig ist (Dispatching = Arbeitsverteilung, Disposition)

- Scheduler und Dispatcher sind logische Teile des Prozessmanagers

# Das Zeitscheibenverfahren

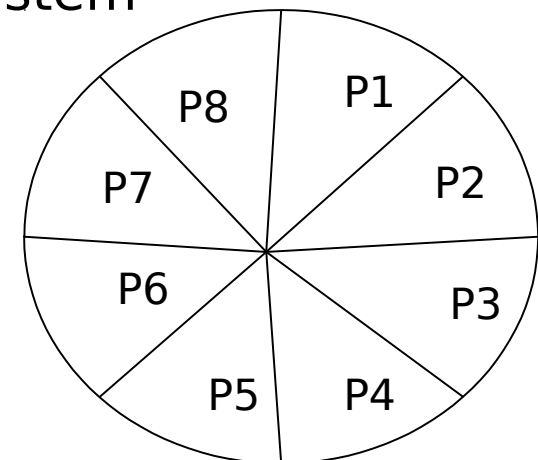
## ■ **Zeitscheibenverfahren** (Timesharing)

- CPU-Zuteilung durch Betriebssystem, wenn
  - laufender Prozess auf ein Ereignis wartet
  - laufender Prozess eine bestimmte Zeit den Prozessor nutzt

## ■ Zeitscheibe = Quantum: 10 ms, 100 ms, ....

- abhängig von CPU und Betriebssystem
- Zeitscheibe je CPU

- Beispiel: Ein Quantum von 10 ms bedeutet 100 Kontextwechsel pro Sekunde (Overhead vernachlässigt)

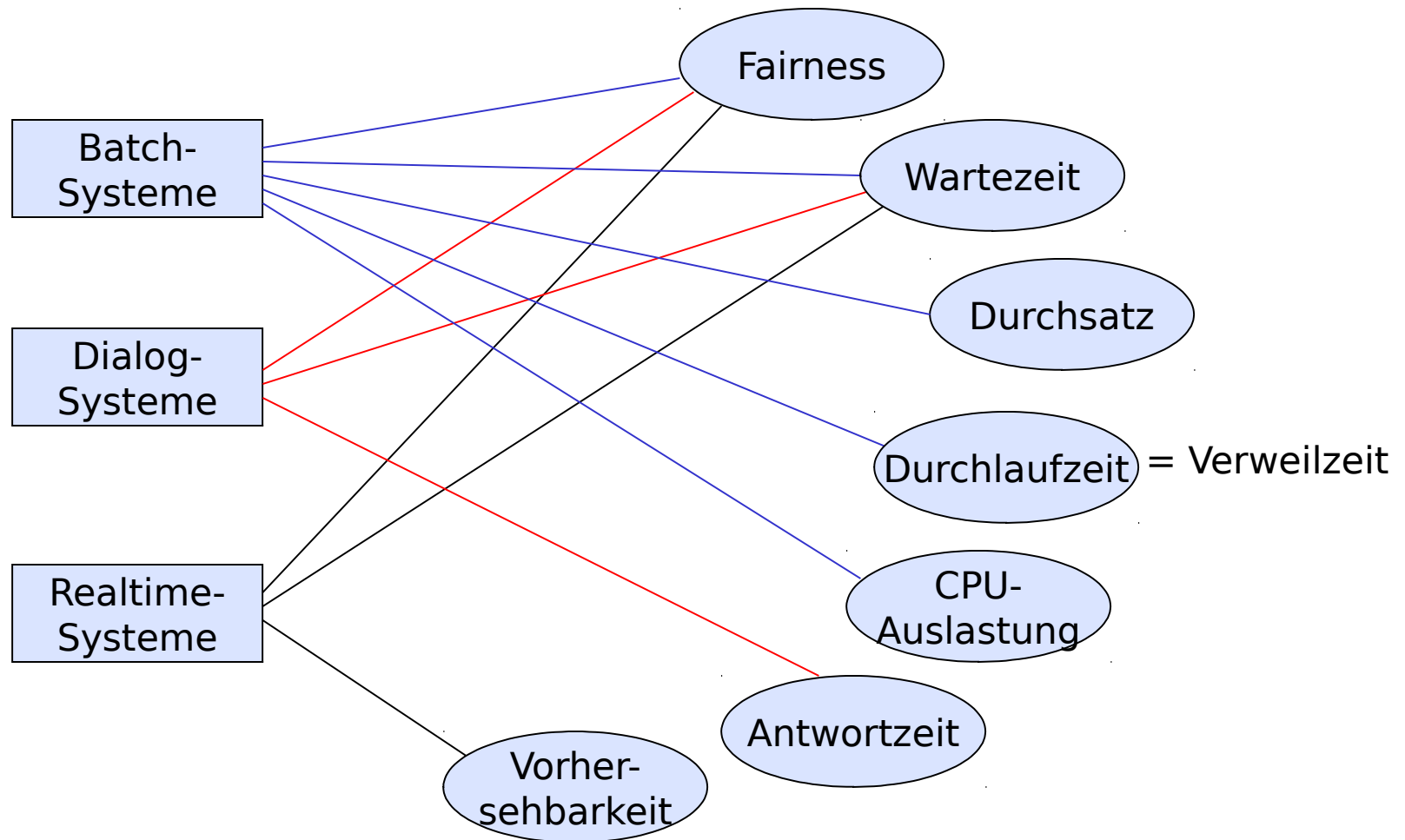


# Scheduling-Kriterien und -Ziele

- Für die Zuteilung von Zeitscheiben (Time slices) gibt es verschiedene Scheduling-Ziele:
  - **Fairness:**
    - Jeder Prozess erhält eine garantierte Mindestzuteilung
  - **Effizienz:**
    - Möglichst volle Auslastung der CPUs
  - **Antwortzeit:**
    - Soll minimiert werden
  - **Verweilzeit (Durchlaufzeit):**
    - Wartezeit von Prozessen soll möglichst klein sein
  - **Durchsatz:**
    - Maximierung der Aufträge, die ein Betriebssystem in einem Zeitintervall durchführt
  - ...



# Scheduling-Ziele je nach Betriebssystemtyp



# Überblick

---

1. Grundlagen
- 2. Scheduling-Verfahren**
3. Vergleich von Scheduling-Verfahren

# Grundlegende Scheduling-Verfahren

- **Non-Preemptive Scheduling**, auch: Run-To-Completion-Verfahren (nicht verdrängend)
  - Altes Verfahren, bei dem ein Prozess nicht unterbrochen wird, bis er fertig ist
  - Nicht geeignet für konkurrierende Benutzer im Dialogbetrieb und auch nicht für die Echtzeitverarbeitung
  - Beispiel: MS-DOS
  
- **Preemptive Scheduling** (verdrängend)
  - Auch Vorrangunterbrechung genannt
  - Rechenbereite Prozesse werden suspendiert
  - Geeignet für konkurrierende Benutzer
  - Zeitscheibentechnik erforderlich

# Scheduling-Algorithmen für Batch-Prozesse

- First Come First Served (**FCFS**)
  - Nach der Reihenfolge des Eintreffens
- Shortest Job First (**SJF**)
  - Prozess mit kürzester Bedienzeit als erstes
- Shortest Remaining Time Next (**SRTN**)
  - Prozess mit der kürzesten verbleibenden Restrechenzeit im System
- Bei manchen Strategien ist das „Verhungern“ von Prozessen (**Starvation**) möglich
  - Derartige Prozesse erhalten die CPU nie
  - Bei SJF z.B. dann, wenn viele kurze Prozesse ins System kommen → Verhungern der langen Jobs

# Scheduling-Algorithmen in interaktiven Prozesse (1)

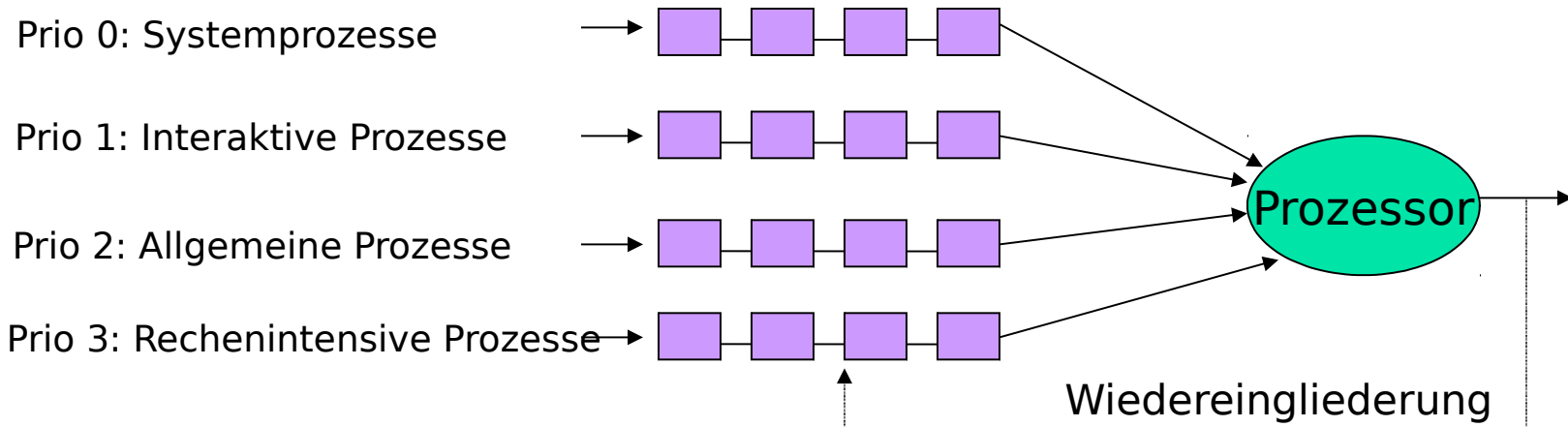
- **Round-Robin-Scheduling (RR)** = Rundlauf-Verfahren
  - FCFS in Verbindung mit Zeitscheibe
  - Leistung hängt von der Länge der Zeitscheibe ab
  - Wichtig: Kontext-Switch kostet auch Zeit
  - Verhältnis Arbeitszeit/Umschaltzeit darf nicht zu klein sein → Durchsatz schlecht
  - Guter Wert für Zeitscheibe heute: ca. 10 bis 200 ms
- **Priority Scheduling (PS)**
  - Prozess mit höchster Priorität als nächstes
  - Dynamische (adaptive) und statische Prioritäten und Kombination möglich

# Scheduling-Algorithmen in interaktiven Prozesse (2)

- Shortest Remaining Time First (**SRTF**)
- Lottery Scheduling
  - Zufällige Vergabe von CPU-Zeit
- Fair-Share-Scheduling
  - Gleichmäßige CPU-Nutzung durch Systembenutzer wird angestrebt
- Meist wird eine Kombination mehrerer Verfahren verwendet
  - Beispiel: RR mit Prioritäten

# Multi-Level-Scheduling

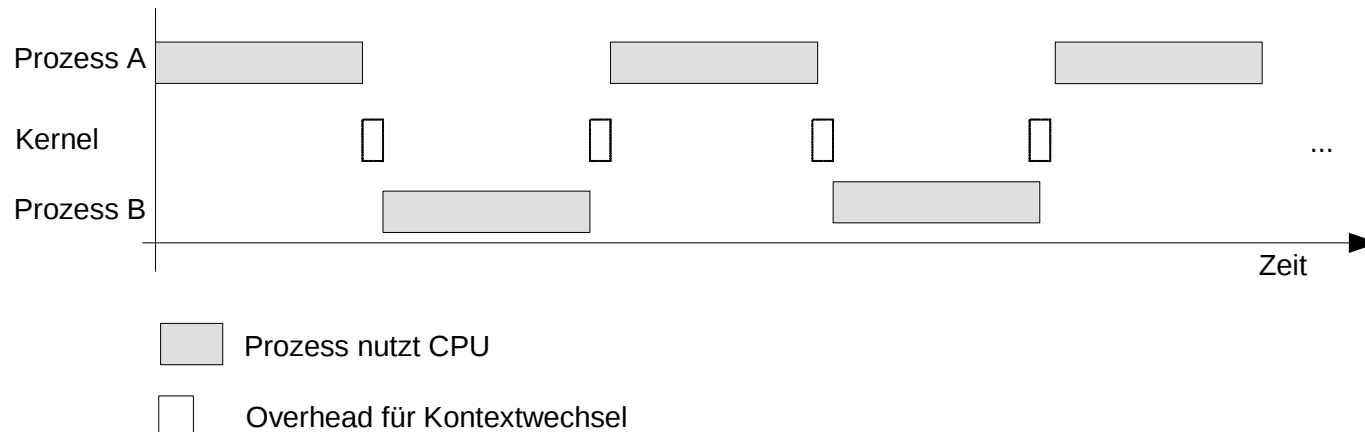
- Multiple Warteschlangen: **Multi-Level Scheduling** mit mehreren Arten von Jobs unterschiedlicher Priorität
- **Multi-Level feedback Scheduling** bedeutet, dass ein Prozess auch in eine Warteschlange höherer (oder niedrigerer) Ordnung wechseln kann



# Kombination: RR mit Prioritäten (1)

## ■ Frage 1:

- Wie lange soll die Zeitscheibe (Quantum) für einzelne Prozesse sein?
  - Kurzes Quantum → hoher Overhead
  - Beispiel: Quantum 10 ms, Kontextwechsel: 1 ms → 10 % Overhead
  - Statische und/oder dynamische Festlegung möglich
  - 10 bis 200 ms heute üblich





## Kombination: RR mit Prioritäten (2)

---

### ■ Frage 2:

- Wie wird die Priorität für einzelne Prozesse eingestellt bzw. ermittelt?
  - Statische Festlegung zum Start des Prozesses
  - Zusätzlich adaptive (dynamisch) Festlegung möglich
  - → Man spricht dann auch von relativer Priorität

## Kombination: RR mit Prioritäten (3)

### ■ Guter Ansatz in der Praxis: Dynamisches Verfahren

- Initiale Festlegung des Quantums zum Prozessstartzeitpunkt
- Dynamische Anpassung je nach Prozesstyp
- Rechenintensive Prozesse → kürzeres Quantum
- I/O-intensive Prozesse → längeres Quantum und/oder höhere Priorität
- Prozess-Prioritäten werden statisch voreingestellt und unterliegen einer dynamischen Veränderung
- In Kombination mit Multilevel-Feedback-Scheduling

### ■ Voraussetzungen

- Verwaltung der Prozessdaten *Quantum* und *Priorität* und eine zyklische Anpassung dieser erforderlich
- Das Quantum der aktiven Prozesse wird *taktorientiert* heruntergerechnet, Quantums-Neuberechnung bei vorgegebenen Ereignissen
- Ebenso ist eine Neuberechnung der Prozess-Prioritäten bei definierten Ereignissen notwendig

# Scheduling in Realtime-Systemen

- Schnelle und berechenbare Reaktionen bei anstehenden Events gefordert
- Man unterscheidet **hard real time** Systeme und **soft real time** Systeme
  - Ersterer müssen schnell reagieren
  - Bei letzteren ist eine Verzögerung möglich
- Man unterscheidet **statische** und **dynamische** Scheduling-Algorithmen
  - Bei ersteren ist die Scheduling-Entscheidung bereits vor dem Start des Systems bekannt
  - Letztere treffen ihre Scheduling-Entscheidungen zur Laufzeit

# Zusammenfassung, Wichtige Aspekte

---

- Scheduling-Kriterien:
  - Durchsatz, Fairness, CPU-Auslastung, ...
- Scheduling-Algorithmen:
  - FCFS, RR, SJF, Prioritäten,...
- SJF ist der optimale Algorithmus (Theorie)
- Jedes Betriebssystem hat eigene Strategie, meist wird aber eine Variante mit RR, Prioritäten und Multi-Level-Queues implementiert
  - Prioritäten und Quanten sind entscheidende Parameter
- CPU-Scheduling ist meist ein komplexes Verfahren, aber es gibt auch einfache Ansätze → Linux CFS

# Überblick

---

1. Grundlagen
2. Scheduling-Verfahren
- 3. Vergleich von Scheduling-Verfahren**

# Beispiel zu Scheduling-Algorithmen

- 5 Aufträge A – E treffen im System fast gleichzeitig ein
- Geschätzte Ausführungszeiten in Millisekunden: A=10, B=6, C=4, D=2, E=8
- Prioritäten: A=3, B=5, C=2, D=1, E=4 (5 ist höchste)
- Der Rechner verfügt über eine CPU (einen Rechnerkern)
- Gesucht: Durchschnittliche Verweilzeit im System bei
  - A) Priority Scheduling (nicht verdrängend)
  - B) FCFS (Reihenfolge-Annahme: A, B, D, C, E) (nicht verdrängend)
  - C) Shortest Job First (nicht verdrängend)
  - D) RR mit Prioritäten bei einem Quantum von 2 ms (Theorie!)
- Prozesswechselzeit wird vernachlässigt
- Aufträge werden nacheinander ausgeführt, außer bei D)

# Beispiel zu Scheduling-Algorithmen: Priority Scheduling (1)

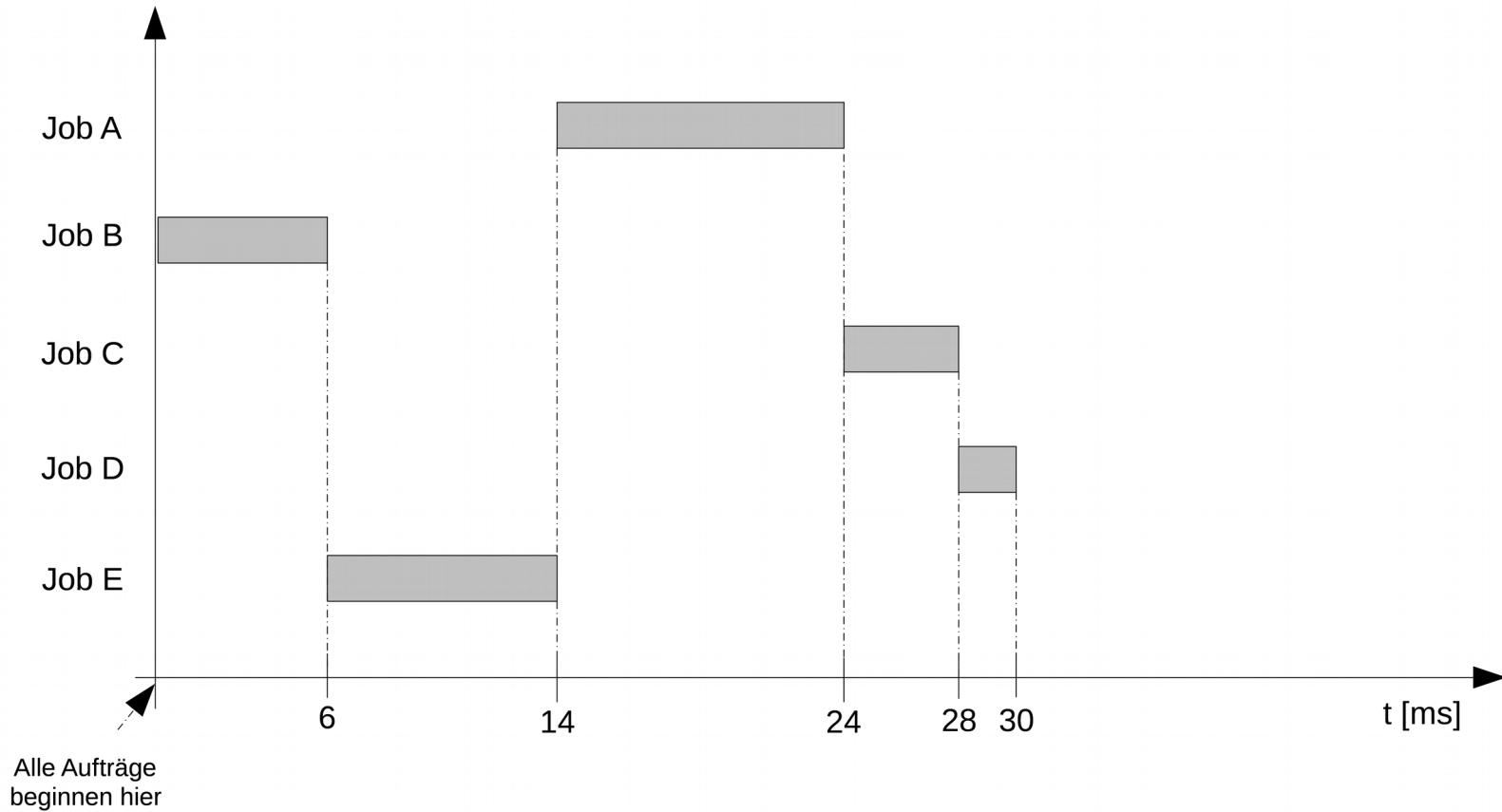
<b>Job</b>	A	B	C	D	E
<b>Zeit</b>	10	6	4	2	8
<b>Priorität</b>	3	5	2	1	4

- Ablauf mit Priority Scheduling: 5 ist die höchste Priorität!

<b>Job</b>	B	E	A	C	D
<b>Verweilzeit</b>	6	14	24	28	30

- Summe: 102
- Mittlere Verweilzeit =  $102 / 5 = \mathbf{20.4}$  ms

# Beispiel zu Scheduling-Algorithmen: Priority Prioritäten (2)





# Beispiel zu Scheduling-Algorithmen: FCFS (1)

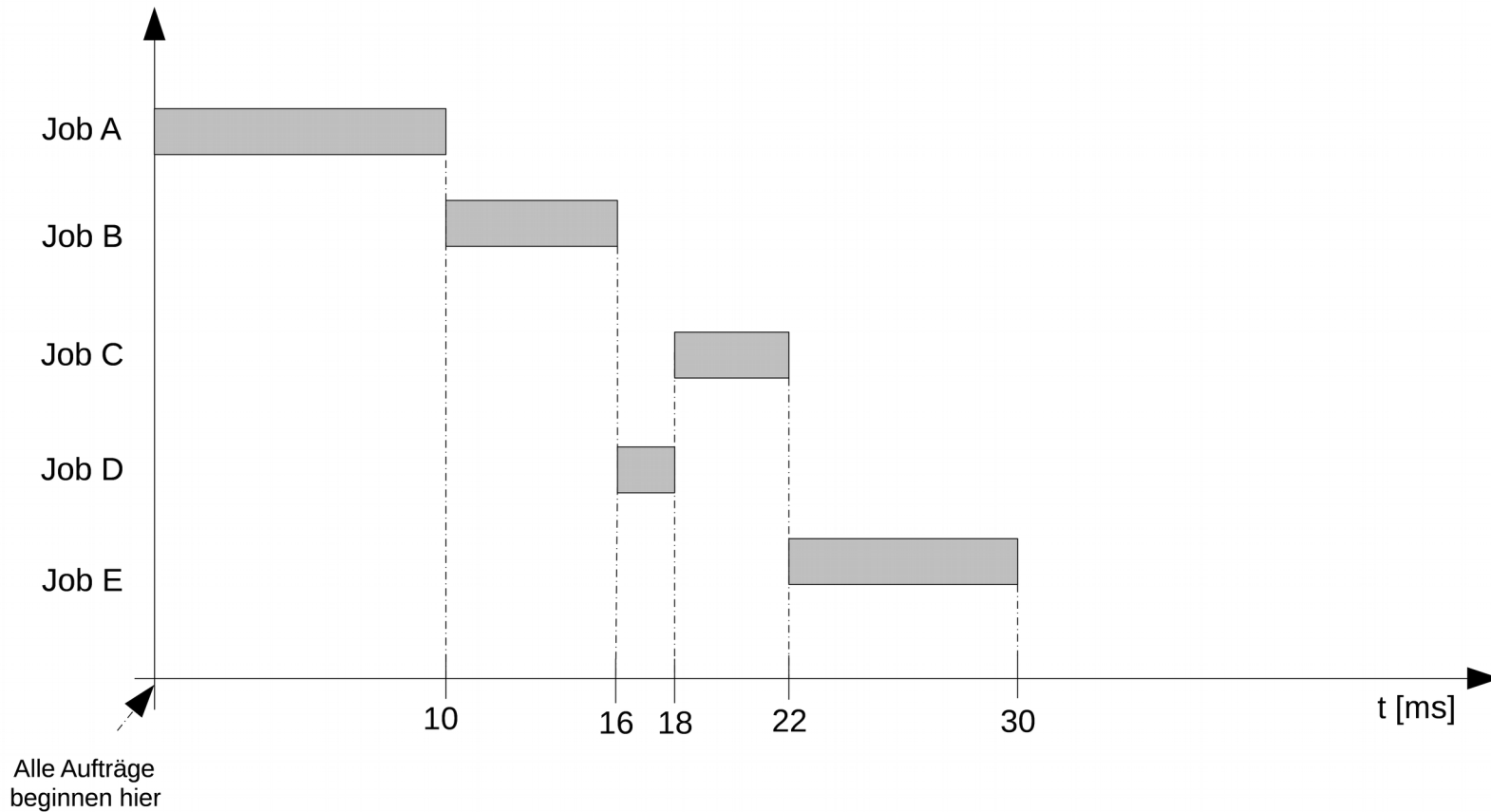
<b>Job</b>	A	B	C	D	E
<b>Zeit</b>	10	6	4	2	8
<b>Priorität</b>	3	5	2	1	4

- Ablauf mit FCFS: Reihenfolge-Aannahme: A, B, D, C, E

<b>Job</b>	A	B	D	C	E
<b>Verweilzeit</b>	10	16	18	22	30

- Summe: 96
- Mittlere Verweilzeit =  $96 / 5 = \mathbf{19.2}$  ms

# Beispiel zu Scheduling-Algorithmen: FCFS (2)



# Beispiel zu Scheduling-Algorithmen: Shortest Job First (1)

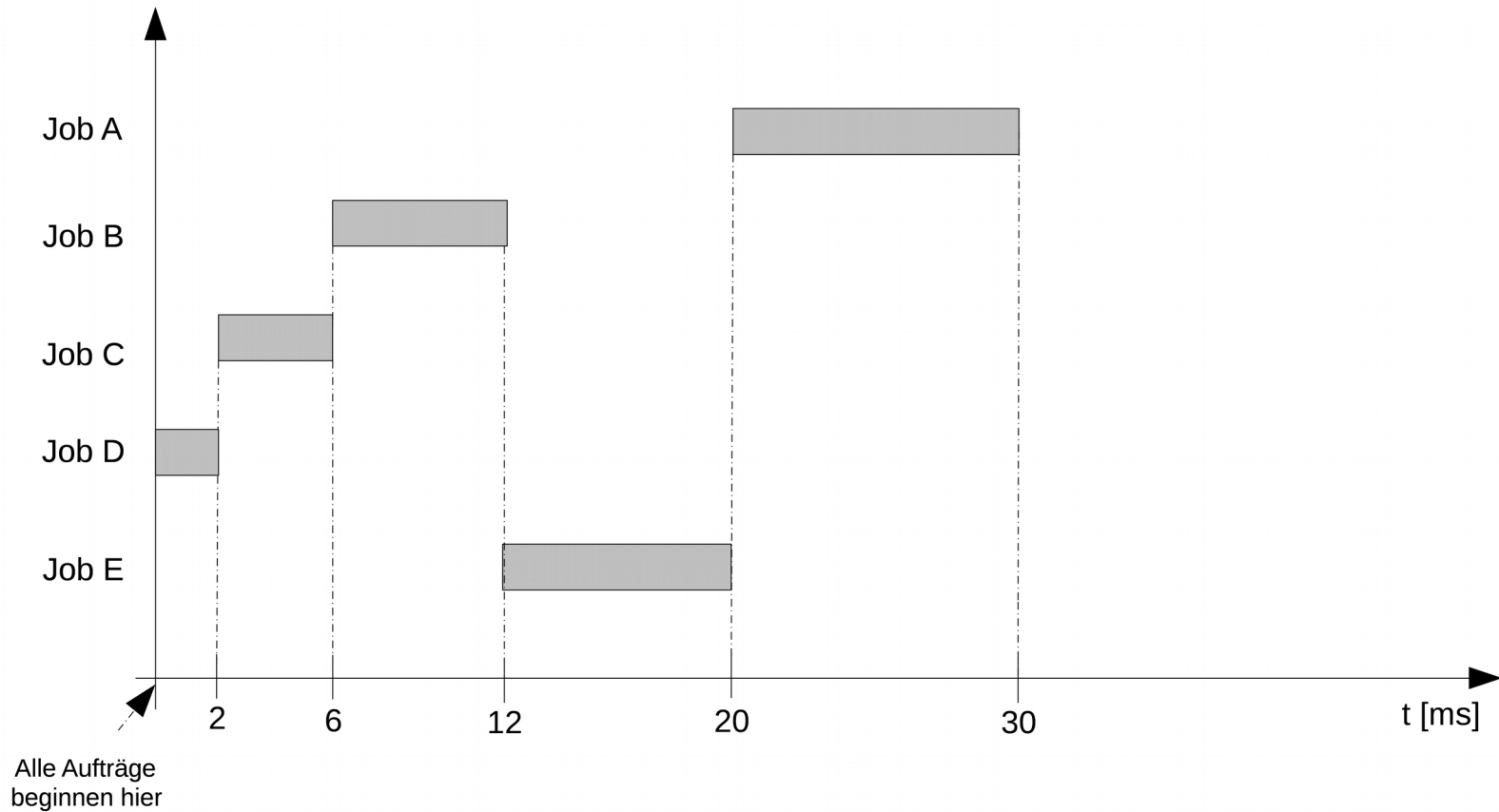
<b>Job</b>	A	B	C	D	E
<b>Zeit</b>	10	6	4	2	8
<b>Priorität</b>	3	5	2	1	4

- Ablauf mit Shortest Job First

<b>Job</b>	D	C	B	E	A
<b>Verweil-zeit</b>	2	6	12	20	30

- Summe: 70
- Mittlere Verweilzeit =  $70 / 5 = \mathbf{14.0}$  ms

# Beispiel zu Scheduling-Algorithmen: Shortest Job First (2)



# Beispiel zu Scheduling-Algorithmen: RR mit Prioritäten (1)

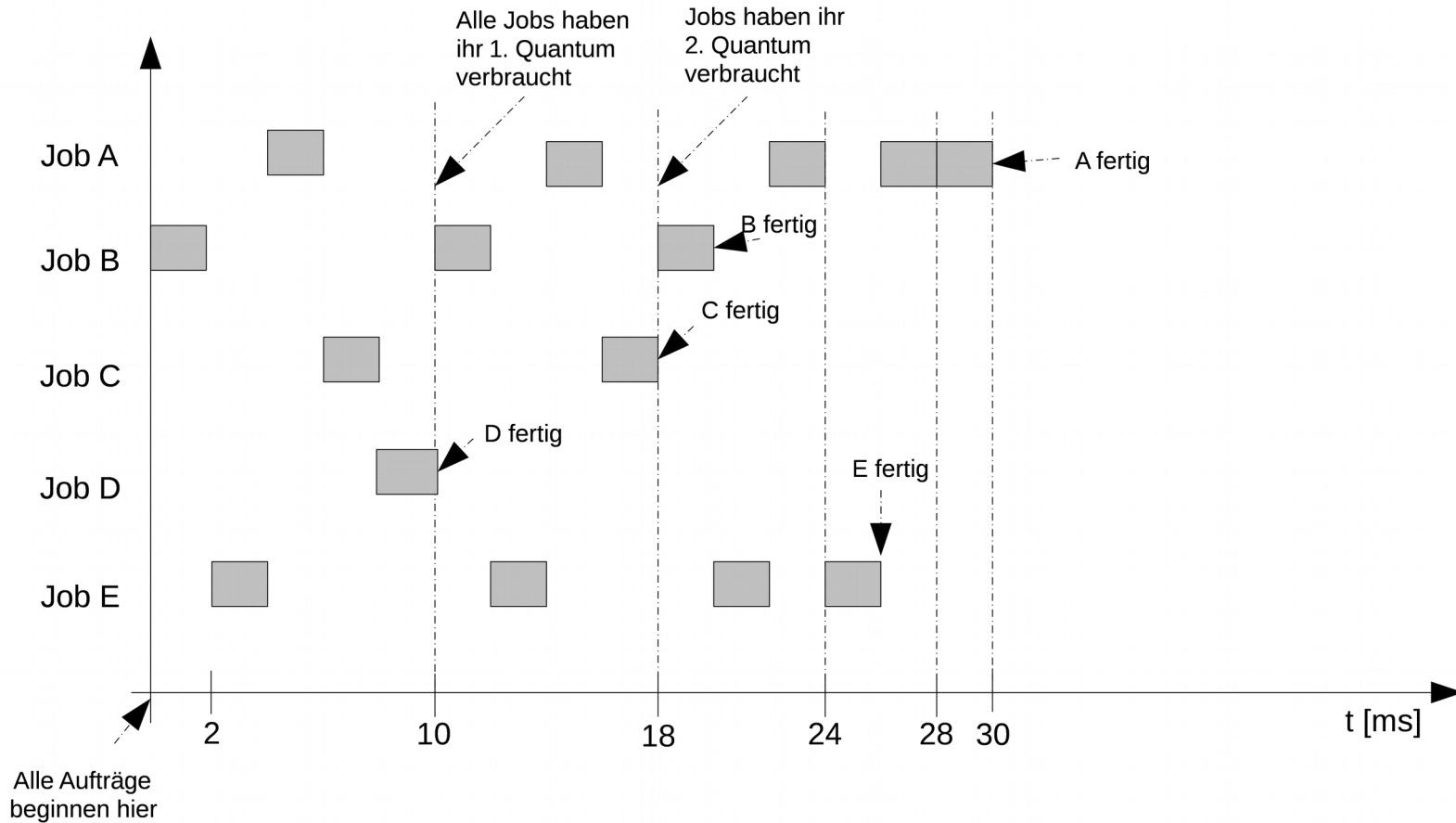
<b>Job</b>	A	B	C	D	E
<b>Zeit</b>	10	6	4	2	8
<b>Priorität</b>	3	5	2	1	4

- Ablauf bei RR mit Prioritäten und einem Quantum von 2 ms

<b>Job</b>	D	C	B	E	A
<b>Verweilzeit</b>	10	18	20	26	30

- Summe: 104
- Mittlere Verweilzeit =  $104 / 5 = \mathbf{20,8}$  ms

# Beispiel zu Scheduling-Algorithmen: RR mit Prioritäten (2)



# Beispiel zu Scheduling-Algorithmen: Resumée

- Shortest-Job-First ist am besten, wenn man nur die Verweilzeit (Durchlaufzeit) betrachtet
- Beweis: a, b, c, d, e sind die Ausführungszeiten der Jobs A, B, C, D, E:

$$V_{\text{all}} = a + (a+b) + (a+b+c) + (a+b+c+d) + (a+b+c+d+e) = 5a + 4b + 3c + 2d + e$$

Die durchschnittliche Verweilzeit ergibt sich dann aus

$$V_{\text{avg}} = (5a + 4b + 3c + 2d + e) / 5$$

→ Job A trägt am meisten zu  $V_{\text{all}}$  und  $V_{\text{avg}}$  bei und sollte daher am kürzesten sein

- SJF ist aber schwer zu realisieren, da die benötigte Prozessorzeit initial nicht bekannt ist

# Übung zu Scheduling-Algorithmen (1)

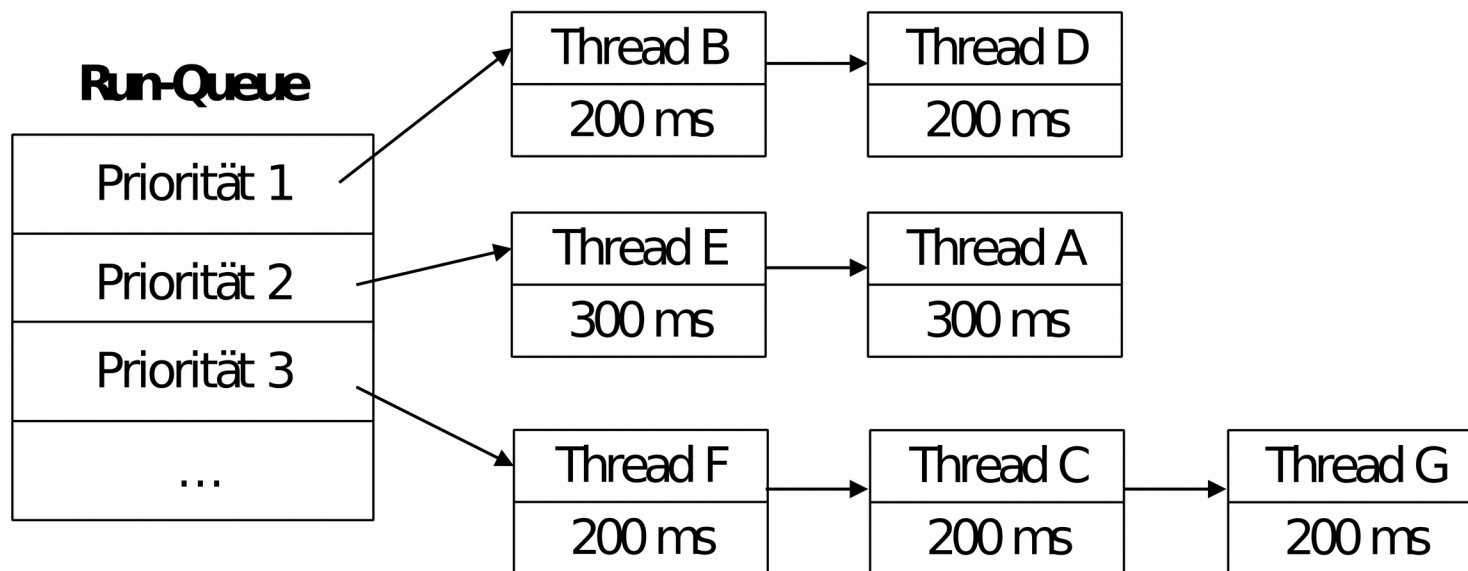
- Ein CPU-Scheduler unterstützt ein prioritätengesteuertes Thread-basiertes Scheduling mit statischen Prioritäten und verwaltet die Threads mit Status „bereit“ in einer Multi-Level-Queue-Struktur (Run-Queue)
- Die Zeitscheiben (Quanten) aller Threads einer Queue mit höherer Priorität werden immer vollständig abgearbeitet, bevor die nächste Queue mit niedrigerer Priorität bearbeitet wird
- In der folgenden Tabelle sind die aktuell bereiten Threads A bis G mit ihren statischen Prioritäten sowie den Restlaufzeiten in Millisekunden angegeben
- Priorität 1 ist die höchste, Priorität 3 die niedrigste Priorität

Thread	A	B	C	D	E	F	G
Priorität	2	1	3	1	2	3	3
Restlaufzeit in ms	300	200	200	200	300	200	200



## Übung zu Scheduling-Algorithmen (2)

- Die folgende Abbildung zeigt die aktuelle Belegung der Run-Queue



## Übung zu Scheduling-Algorithmen (3)

- Ermitteln Sie nun auf Basis der aktuellen Situation für die sieben Threads A, B, C, D, E, F und G die Scheduling-Reihenfolge bei Priority-Scheduling mit Round Robin je Prioritäts-Warteschlange (Queue) und einem statischen, also zur Laufzeit nicht veränderten Quantum von 100 Millisekunden bei einer Hardware mit einer CPU (Singlecore-Prozessor)
- Die reine Threadwechselzeit (Kontextwechsel) wird für die Berechnung vernachlässigt
- Die Verdrängung (Preemption) eines Threads bevor sein Quantum abgelaufen ist, erfolgt nur, wenn der Thread vorher beendet wird

# Übung zu Scheduling-Algorithmen (4)

- Tragen Sie die Scheduling-Reihenfolge durch Markierungen der Kästchen in die Tabelle ein
- Ein Kästchen steht für einen Zeitslot von 100 Millisekunden

Thread																
<b>A</b>				x												
<b>B</b>	x															
<b>C</b>																
<b>D</b>		x														
<b>E</b>			x													
<b>F</b>																
<b>G</b>																

Zeit →

## Übung zu Scheduling-Algorithmen (5)

- Ermitteln Sie nun die Scheduling-Reihenfolge für die sieben Threads bei einer Hardware mit zwei Rechnerkernen (Dualcore-Prozessor), in der zwei Threads echt parallel abgearbeitet werden können
- Alles andere bleibt wie vorher (statisches Quantum von 100 Millisekunden, Priority-Scheduling mit Round Robin je Prioritäts-Warteschlange)
- Die reine Threadwechselzeit (Kontextwechsel) wird für die Berechnung wieder vernachlässigt
- Die Verdrängung (Preemption) eines Threads bevor sein Quantum abgelaufen ist, erfolgt auch hier nur, wenn der Thread vorher beendet wird

# Übung zu Scheduling-Algorithmen (6)

- Tragen Sie die Scheduling-Reihenfolge durch Markierungen der Kästchen in die Tabelle ein
- Ein Kästchen steht für einen Zeitslot von 100 Millisekunden

Thread															
<b>A</b>		x													
<b>B</b>	x														
<b>C</b>															
<b>D</b>	x														
<b>E</b>		x													
<b>F</b>															
<b>G</b>															

Zeit →

# Gesamtüberblick

---

- ✓ Einführung in Computersysteme
- ✓ Entwicklung von Betriebssystemen
- ✓ Architekturansätze
- ✓ Interruptverarbeitung in Betriebssystemen
- ✓ Prozesse und Threads
- ✓ CPU-Scheduling (es folgen Fallbeispiele)
- 7. Synchronisation und Kommunikation
- 8. Speicherverwaltung
- 9. Geräte- und Dateiverwaltung
- 10. Betriebssystemvirtualisierung