

5. Foliensatz

Betriebssysteme und Rechnernetze

Prof. Dr. Christian Baun

Frankfurt University of Applied Sciences
(1971–2014: Fachhochschule Frankfurt am Main)
Fachbereich Informatik und Ingenieurwissenschaften
christianbaun@fb2.fra-uas.de

Lernziele dieses Foliensatzes

- Am Ende dieses Foliensatzes kennen/verstehen Sie...
 - welche Schritte der **Dispatcher** (Prozessumschalter) beim Prozesswechsel durchführt
 - was **Scheduling** ist
 - wie **präemptives Scheduling** und **nicht-präemptives Scheduling** funktioniert
 - die Arbeitsweise verschiedener **Scheduling-Verfahren**
 - warum **moderne Betriebssysteme** nicht nur ein einziges Scheduling-Verfahren verwenden
 - wie das **Scheduling moderner Betriebssysteme** im Detail funktioniert

Übungsblatt 5 wiederholt die für die Lernziele relevanten Inhalte dieses Foliensatzes

Prozesswechsel – Der Dispatcher (1/2)

- Aufgaben von Multitasking-Betriebssystemen sind u.a.:
 - **Dispatching**: Umschalten des Prozessors bei einem Prozesswechsel
 - **Scheduling**: Festlegen des Zeitpunkts des Prozesswechsels und der Ausführungsreihenfolge der Prozesse
- Der **Dispatcher** (Prozessumschalter) führt die Zustandsübergänge der Prozesse durch

Wir wissen bereits...

- Beim Prozesswechsel entzieht der Dispatcher dem rechnenden Prozess die CPU und teilt sie dem Prozess zu, der in der Warteschlange an erster Stelle steht
- Bei Übergängen zwischen den Zuständen `bereit` und `blockiert` werden vom Dispatcher die entsprechenden Prozesskontrollblöcke aus den Zustandslisten entfernt neu eingefügt
- Übergänge aus oder in den Zustand `rechnend` bedeuten immer einen Wechsel des aktuell rechnenden Prozesses auf der CPU

Beim Prozesswechsel in oder aus dem Zustand `rechnend`, muss der Dispatcher...

- den Kontext, also die Registerinhalte des aktuell ausgeführten Prozesses im Prozesskontrollblock speichern (retten)
- den Prozessor einem anderen Prozess zuteilen
- den Kontext (Registerinhalte) des jetzt auszuführenden Prozesses aus seinem Prozesskontrollblock wieder herstellen

Prozesswechsel – Der Dispatcher (2/2)

Bildquelle: Wikipedia

Der Leerlaufprozess (*System Idle Process*)

- Bei Windows-Betriebssystemen seit Windows NT erhält die CPU zu jedem Zeitpunkt einen Prozess
- Ist kein Prozess im Zustand bereit, kommt der **Leerlaufprozess** zum Zug
- Der Leerlaufprozess ist immer aktiv und hat die niedrigste Priorität
- Durch den Leerlaufprozesses muss der Scheduler nie den Fall berücksichtigen, dass kein aktiver Prozess existiert
- Seit Windows 2000 versetzt der Leerlaufprozess die CPU in einen stromsparenden Modus

The screenshot shows the Windows Task Manager window with the 'Processes' tab selected. The task list is as follows:

Image Name	User Name	CPU	Mem Usage
spoolsv.exe	SYSTEM	00	4,128 K
explorer.exe	Administrator	00	16,828 K
svchost.exe	LOCAL SERVICE	00	4,104 K
svchost.exe	NETWORK SERVICE	00	2,856 K
svchost.exe	SYSTEM	00	17,200 K
svchost.exe	NETWORK SERVICE	00	3,692 K
svchost.exe	SYSTEM	00	4,256 K
lsass.exe	SYSTEM	00	1,032 K
services.exe	SYSTEM	00	3,688 K
winlogon.exe	SYSTEM	00	1,120 K
csrss.exe	SYSTEM	00	3,112 K
sharedintapp.exe	Administrator	00	1,948 K
smss.exe	SYSTEM	00	372 K
wscntfy.exe	Administrator	00	1,808 K
alg.exe	LOCAL SERVICE	00	3,136 K
taskmgr.exe	Administrator	00	3,920 K
System	SYSTEM	01	212 K
System Idle Process	SYSTEM	99	16 K

At the bottom of the window, the status bar shows: Processes: 20, CPU Usage: 1%, Commit Charge: 84M / 1250M.

Scheduling-Kriterien und Scheduling-Strategien

- Beim Scheduling legt das Betriebssystem die Ausführungsreihenfolge der Prozesse im Zustand bereit fest
- **Keine Scheduling-Strategie...**
 - **ist für jedes System optimal geeignet**
 - **kann alle Scheduling-Kriterien optimal berücksichtigen**
 - Scheduling-Kriterien sind u.a. CPU-Auslastung, Antwortzeit (Latenz), Durchlaufzeit (*Turnaround*), Durchsatz, Effizienz, Echtzeitverhalten (Termineinhaltung), Wartezeit, Overhead, Fairness, Berücksichtigen von Prioritäten, Gleichmäßige Ressourcenauslastung...
- Bei der Auswahl einer Scheduling-Strategie muss immer ein **Kompromiss** zwischen den Scheduling-Kriterien gefunden werden

Nicht-präemptives und präemptives Scheduling

- 2 Klassen von Schedulingverfahren existieren:
 - ① **Nicht-präemptives Scheduling** bzw. **Kooperatives Scheduling** (nicht-verdrängendes Scheduling)
 - Ein Prozess, der vom Scheduler die CPU zugewiesen bekommen hat, behält die Kontrolle über diese bis zu seiner vollständigen Fertigstellung oder bis er die Kontrolle freiwillig wieder abgibt
 - Problematisch: Ein Prozess kann die CPU so lange belegen wie er will

Beispiele: Windows 3.x und MacOS 8/9

- ② **Präemptives Scheduling** (verdrängendes Scheduling)
 - Einem Prozess kann die CPU vor seiner Fertigstellung entzogen werden
 - Wird einem Prozess die CPU entzogen, pausiert er so lange in seinem aktuellen Zustand, bis der Scheduler ihm erneut die CPU zuteilt
 - Nachteil: Höherer Overhead als nicht-präemptives Scheduling
 - Die Vorteile von präemptivem Scheduling, besonders die Beachtung von Prozessprioritäten, überwiegen die Nachteile

Beispiele: Linux, MacOS X, Windows 95 und neuere Versionen

Einfluss auf die Gesamtleistung eines Computers

- Wie groß der Einfluss des verwendeten Schedulingverfahrens auf die Gesamtleistung eines Computers sein kann, zeigt dieses Beispiel
 - Die Prozesse P_A und P_B sollen nacheinander ausgeführt werden

Prozess	CPU-Laufzeit
A	24 ms
B	2 ms

- Läuft ein Prozess mit kurzer Laufzeit vor einem Prozess mit langer Laufzeit, **verschlechtern** sich Laufzeit und Wartezeit des langen Prozesses **wenig**
- Läuft ein Prozess mit langer Laufzeit vor einem Prozess mit kurzer Laufzeit, **verschlechtern** sich Laufzeit und Wartezeit des kurzen Prozesses **stark**

Reihenfolge	Laufzeit		Durchschnittliche Laufzeit	Wartezeit		Durchschnittliche Wartezeit
	A	B		A	B	
P_A, P_B	24 ms	26 ms	$\frac{24+26}{2} = 25$ ms	0 ms	24 ms	$\frac{0+24}{2} = 12$ ms
P_B, P_A	26 ms	2 ms	$\frac{2+26}{2} = 14$ ms	2 ms	0 ms	$\frac{0+2}{2} = 1$ ms

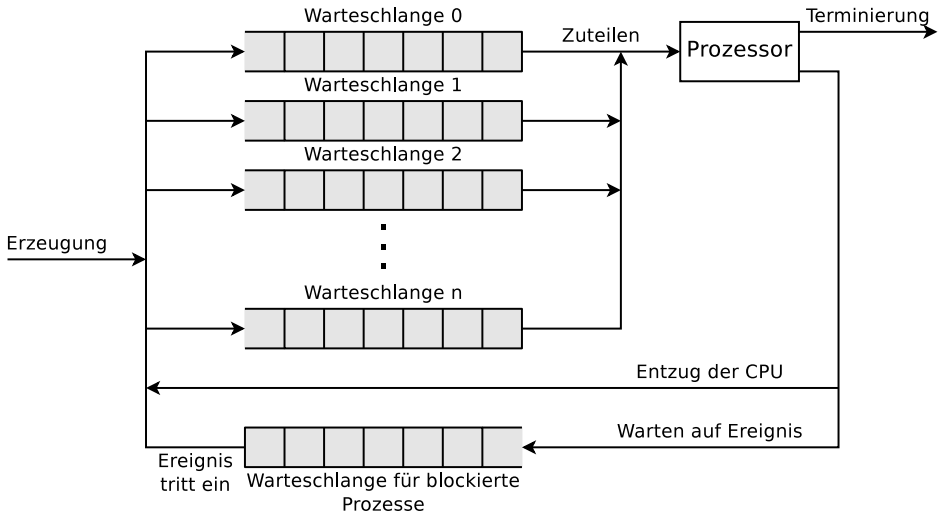
Scheduling-Verfahren

- Zahlreiche Scheduling-Verfahren (Algorithmen) existieren
- Jedes Scheduling-Verfahren versucht unterschiedlich stark, die bekannten Scheduling-Kriterien und -Grundsätze einzuhalten
- Bekannte Scheduling-Verfahren:
 - **Prioritätengesteuertes Scheduling**
 - **First Come First Served (FCFS)** bzw. **First In First Out (FIFO)**
 - ~~Last Come First Served (LCFS)~~
 - **Round Robin (RR)** mit Zeitquantum
 - **Shortest Job First (SJF)** und ~~Longest Job First (LJF)~~
 - **Shortest Remaining Time First (SRTF)**
 - ~~Longest Remaining Time First (LRTF)~~
 - **Highest Response Ratio Next (HRRN)**
 - ~~Earliest Deadline First (EDF)~~
 - ~~Fair Share Scheduling~~
 - ~~Statisches Multilevel Scheduling~~
 - **Multilevel-Feedback-Scheduling**

Prioritätengesteuertes Scheduling

- Prozesse werden nach ihrer Priorität (= Wichtigkeit bzw. Dringlichkeit) abgearbeitet
- Es wird immer dem Prozess im Zustand bereit die CPU zugewiesen, der die höchste Priorität hat
 - Die Priorität kann von verschiedenen Kriterien abhängen, z.B. benötigte Ressourcen, Rang des Benutzers, geforderte Echtzeitkriterien, usw.
- Kann **präemptiv** (verdrängend) und **nicht-präemptiv** (nicht-verdrängend) sein
- Die Prioritätenvergabe kann **statisch** oder **dynamisch** sein
 - Statische Prioritäten ändern sich während der gesamten Lebensdauer eines Prozesses nicht und werden häufig in Echtzeitsystemen verwendet
 - Dynamische Prioritäten werden von Zeit zu Zeit angepasst
⇒ **Multilevel-Feedback Scheduling** (siehe Folie 22)
- Gefahr beim (statischen) prioritätengesteuertem Scheduling: Prozesse mit niedriger Priorität können verhungern (⇒ **nicht fair**)
- Prioritätengesteuertes Scheduling eignet sich für interaktive Systeme

Prioritätengesteuertes Scheduling

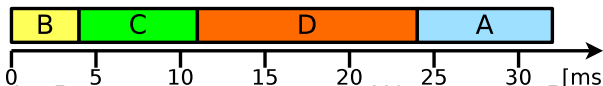


Quelle: William Stallings. Betriebssysteme. Pearson Studium. 2003

Beispiel zum Prioritätengesteuerten Scheduling

- Auf einem Einprozessorrechner sollen vier Prozesse verarbeitet werden
- Alle Prozesse sind zum Zeitpunkt 0 im Zustand bereit
- Ausführungsreihenfolge der Prozesse als Gantt-Diagramm (Zeitleiste)

Prozess	CPU-Laufzeit	Priorität
A	8 ms	3
B	4 ms	15
C	7 ms	8
D	13 ms	4



• Laufzeit der Prozesse

• Wartezeit der Prozesse

Prozess	A	B	C	D
Laufzeit	32	4	11	24

Prozess	A	B	C	D
Wartezeit	24	0	4	11

$$\frac{32+4+11+24}{4} = 17,75 \text{ ms}$$

$$\frac{24+0+4+11}{4} = 9,75 \text{ ms}$$

First Come First Served (FCFS)

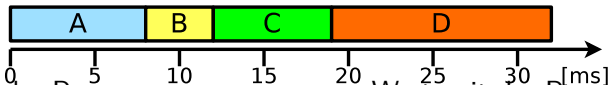
- Funktioniert nach dem Prinzip **First In First Out** (FIFO)
- Die Prozesse bekommen die CPU entsprechend ihrer Ankunftsreihenfolge zugewiesen
- Dieses Scheduling-Verfahren ist vergleichbar mit einer Warteschlange von Kunden in einem Geschäft
- Laufende Prozesse werden nicht unterbrochen
 - Es handelt sich um **nicht-präemptives** (nicht-verdrängendes) Scheduling
- FCFS ist **fair**
 - Alle Prozesse werden berücksichtigt
- Die **mittlere Wartezeit kann unter Umständen sehr hoch sein**
 - Prozesse mit kurzer Abarbeitungszeit müssen eventuell lange warten, wenn vor ihnen Prozesse mit langer Abarbeitungszeit eingetroffen sind
- FCFS/FIFO eignet sich für Stapelverarbeitung (\implies Foliensatz 1)

Beispiel zu First Come First Served

- Auf einem Einprozessorrechner sollen vier Prozesse verarbeitet werden

Prozess	CPU-Laufzeit	Ankunftszeit
A	8 ms	0 ms
B	4 ms	1 ms
C	7 ms	3 ms
D	13 ms	5 ms

- Ausführungsreihenfolge der Prozesse als Gantt-Diagramm (Zeitleiste)



- Laufzeit der Prozesse

- Wartezeit der Prozesse

Prozess	A	B	C	D
Laufzeit	8	11	16	27

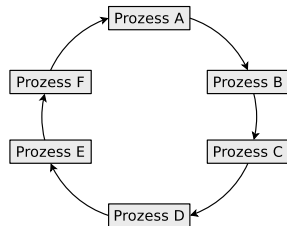
Prozess	A	B	C	D
Wartezeit	0	7	9	14

$$\frac{8+11+16+27}{4} = 15,5 \text{ ms}$$

$$\frac{0+7+9+14}{4} = 7,5 \text{ ms}$$

Round Robin (RR) – Zeitscheibenverfahren (1/2)

- Es werden Zeitscheiben (*Time Slices*) mit einer festen Dauer festgelegt
- Die Prozesse werden in einer zyklischen Warteschlange nach dem FIFO-Prinzip eingereiht
 - Der erste Prozess der Warteschlange erhält für die Dauer einer Zeitscheibe Zugriff auf die CPU
 - Nach dem Ablauf der Zeitscheibe wird diesem der Zugriff auf die CPU wieder entzogen und er wird am Ende der Warteschlange eingereiht
 - Wird ein Prozess erfolgreich beendet, wird er aus der Warteschlange entfernt
 - Neue Prozesse werden am Ende der Warteschlange eingereiht
- Die Zugriffszeit auf die CPU wird **fair** auf die Prozesse aufgeteilt
- RR mit Zeitscheibengröße ∞ verhält sich wie FCFS



Round Robin (RR) – Zeitscheibenverfahren (2/2)

- Je länger die Bearbeitungsdauer eines Prozesses ist, desto mehr Runden sind für seine vollständige Ausführung nötig
- Die Größe der Zeitschlitze ist wichtig für die Systemgeschwindigkeit
 - Je kürzer sie sind, desto mehr Prozesswechsel müssen stattfinden
⇒ Hoher Overhead
 - Je länger sie sind, desto mehr geht die Gleichzeitigkeit verloren
⇒ Das System hängt/*ruckelt*
- Die Größe der Zeitschlitze liegt üblicherweise im ein- oder zweistelligen Millisekundenbereich
- **Bevorzugt Prozesse, die eine kurze Abarbeitungszeit haben**
- **Präemptives (verdrängendes) Scheduling-Verfahren**
- Round Robin Scheduling eignet sich für interaktive Systeme

Shortest Job First (SJF) / Shortest Process Next (SPN)

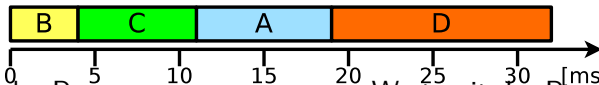
- Der Prozess mit der kürzesten Abarbeitungszeit erhält als erster Zugriff auf die CPU
- **Nicht-präemptives (nicht-verdrängendes) Scheduling**
- Hauptproblem:
 - Für jeden Prozess muss bekannt sein, wie lange er bis zu seiner Terminierung braucht, also wie lange seine Abarbeitungszeit ist
 - Ist in der Realität praktisch nie der Fall (\implies **unrealistisch**)
- Lösung:
 - Die Abarbeitungszeit der Prozesse wird abgeschätzt, indem die Abarbeitungszeit vorheriger Prozesse erfasst und analysiert wird
- SJF ist **nicht fair**
 - **Prozesse mit kurzer Abarbeitungszeit werden bevorzugt**
 - Prozesse mit langer Abarbeitungszeit erhalten eventuell erst nach sehr langer Wartezeit oder **verhungern**
- Wenn die Abarbeitungszeit der Prozesse abgeschätzt werden kann, eignet sich SJF für Stapelverarbeitung (\implies Foliensatz 1)

Beispiel zu Shortest Job First

- Auf einem Einprozessorrechner sollen vier Prozesse verarbeitet werden
- Alle Prozesse sind zum Zeitpunkt 0 im Zustand bereit

Prozess	CPU-Laufzeit
A	8 ms
B	4 ms
C	7 ms
D	13 ms

- Ausführungsreihenfolge der Prozesse als Gantt-Diagramm (Zeitleiste)



- Laufzeit der Prozesse

- Wartezeit der Prozesse

Prozess	A	B	C	D
Laufzeit	19	4	11	32

Prozess	A	B	C	D
Wartezeit	11	0	4	19

$$\frac{19+4+11+32}{4} = 16,5 \text{ ms}$$

$$\frac{11+0+4+19}{4} = 8,5 \text{ ms}$$

Shortest Remaining Time First (SRTF)

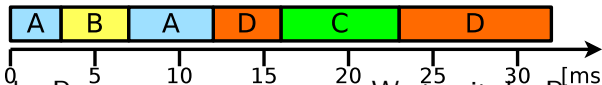
- **Präemptives SJF** heißt **Shortest Remaining Time First (SRTF)**
- Trifft ein neuer Prozess ein, wird die Restlaufzeit des aktuell rechnenden Prozesses mit jedem Prozess in der Liste der wartenden Prozesse verglichen
 - Hat der aktuell rechnende Prozesses die kürzeste Restlaufzeit, darf er weiter rechnen
 - Haben ein oder mehr Prozesse in der Liste der wartenden Prozesse eine kürzere Abarbeitungszeit bzw. Restlaufzeit, erhält der Prozess mit der kürzesten Restlaufzeit Zugriff auf die CPU
- Hauptproblem: Die Restlaufzeit muss bekannt sein (\implies **unrealistisch**)
- **Solange kein neuer Prozess eintrifft, wird kein rechnender Prozess unterbrochen**
 - Die Prozesse in der Liste der wartenden Prozesse werden nur dann mit dem aktuell rechnenden Prozess verglichen, wenn ein neuer Prozess eintrifft!
- Prozesse mit langer Laufzeit können **verhungern** (\implies **nicht fair**)

Beispiel zu Shortest Remaining Time First

- Auf einem Einprozessorrechner sollen vier Prozesse verarbeitet werden

Prozess	CPU-Laufzeit	Ankunftszeit
A	8 ms	0 ms
B	4 ms	3 ms
C	7 ms	16 ms
D	13 ms	11 ms

- Ausführungsreihenfolge der Prozesse als Gantt-Diagramm (Zeitleiste)



- Laufzeit der Prozesse

Prozess	A	B	C	D
Laufzeit	12	4	7	21

- Wartezeit der Prozesse

Prozess	A	B	C	D
Wartezeit	4	0	0	8

$$\frac{12+4+7+21}{4} = 11 \text{ ms}$$

$$\frac{4+0+0+8}{4} = 3 \text{ ms}$$

Highest Response Ratio Next (HRRN)

- Faire Variante von SJF/SRTF
 - Berücksichtigt das Alter der Prozesse um **Verhungern zu vermeiden**
- **Antwortquotient** (Response Ratio) wird für jeden Prozess berechnet

$$\text{Antwortquotient} = \frac{\text{geschätzte Rechenzeit} + \text{Wartezeit}}{\text{geschätzte Rechenzeit}}$$

- Wert des Antwortquotienten bei der Erzeugung eines Prozesses: 1.0
 - Der Wert steigt bei kurzen Prozessen schnell an
 - Ziel: Der Antwortquotient soll für alle Prozesse möglichst gering sein
 - Dann arbeitet das Scheduling effizient
- Nach Beendigung oder bei Blockade eines Prozesses, bekommt der Prozess mit dem höchsten Antwortquotient die CPU zugewiesen
- Wie bei SJF/SRTF müssen die Laufzeiten der Prozesse durch statistische Erfassung aus der Vergangenheit **abgeschätzt** werden
- Es ist unmöglich, dass Prozesse verhungern \implies HRRN ist **fair**

Multilevel-Feedback-Scheduling (1/2)

- Es ist **unmöglich, die Rechenzeit verlässlich im voraus zu kalkulieren**
 - Lösung: Prozesse, die schon länger aktiv sind, werden **bestraft**
- **Multilevel-Feedback-Scheduling** arbeitet wie Multilevel-Scheduling mit mehreren Warteschlangen
 - Jede Warteschlange hat eine andere Priorität oder Zeitmultiplex
- Jeder neue Prozess kommt in die oberste Warteschlange
 - Damit hat er die höchste Priorität
- Innerhalb jeder Warteschlange wird Round Robin eingesetzt
 - Gibt ein Prozess die CPU freiwillig wieder ab, wird er wieder in die selbe Warteschlange eingereiht
 - Hat ein Prozess seine volle Zeitscheibe genutzt, kommt er in die nächst tiefere Warteschlange mit einer niedrigeren Priorität
 - Die Prioritäten werden bei diesem Verfahren also **dynamisch** vergeben
- Multilevel-Feedback-Scheduling ist **unterbrechendes Scheduling**

Multilevel-Feedback-Scheduling (2/2)

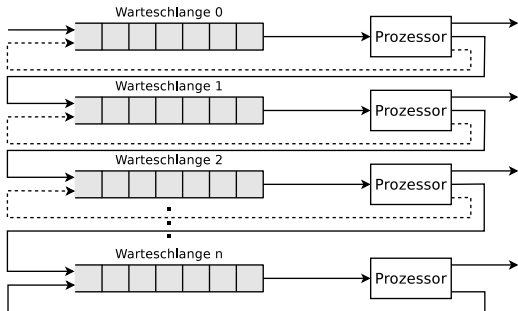
- Vorteil:
 - Es sind **keine komplizierten Abschätzungen** nötig!
 - Neue Prozesse werden schnell in eine Prioritätsklasse eingeordnet

- **Bevorzugt neue Prozesse gegenüber älteren** (länger laufenden) Prozessen

- Prozesse mit vielen Ein-/Ausgabeoperationen werden bevorzugt, weil sie nach einer freiwilligen Abgabe der CPU wieder in die ursprüngliche Warteliste eingeordnet werden

- Dadurch behalten Sie ihre Priorität

- Ältere, länger laufende Prozesse werden verzögert



Quelle: William Stallings, Betriebssysteme, Pearson Studium, 2003

Klassische und moderne Scheduling-Verfahren

	Scheduling NP	P	Fair	CPU-Laufzeit muss bekannt sein	Berücksichtigt Prioritäten
Prioritätengesteuertes Scheduling	X	X	nein	nein	ja
First Come First Served	X		ja	nein	nein
Last Come First Served	X	X	nein	nein	nein
Round Robin		X	ja	nein	nein
Shortest Job First	X		nein	ja	nein
Longest Job First	X		nein	ja	nein
Shortest Remaining Time First		X	nein	ja	nein
Longest Remaining Time First		X	nein	ja	nein
Highest Response Ratio Next	X		ja	ja	nein
Earliest Deadline First	X	X	ja	nein	nein
Fair-Share		X	ja	nein	nein
Statisches Multilevel-Scheduling		X	nein	nein	ja (statisch)
Multilevel-Feedback-Scheduling		X	ja	nein	ja (dynamisch)

- NP = Nicht-präemptives Scheduling, P = Präemptives Scheduling
- Ein Schedulingverfahren ist „fair“, wenn jeder Prozess irgendwann Zugriff auf die CPU erhält
- Es ist unmöglich, die Rechenzeit verlässlich im voraus zu kalkulieren

Einfaches Beispiel zum Scheduling

Prozess	CPU-Laufzeit	Priorität
A	5 ms	15
B	10 ms	5
C	3 ms	4
D	6 ms	12
E	8 ms	7

- Auf einem Einprozessorrechner sollen 5 Prozesse verarbeitet werden
- Alle Prozesse sind zum Zeitpunkt 0 im Zustand bereit
- Hohe Prioritäten sind durch hohe Zahlen gekennzeichnet

- Skizzieren Sie die Ausführungsreihenfolge der Prozesse mit einem Gantt-Diagramm (Zeitleiste) für **Round Robin** (Zeitquantum $q = 1$ ms), **FCFS**, **SJF** und **Prioritätengesteuertes Scheduling**
- Berechnen Sie die mittleren Laufzeiten und Wartezeiten der Prozesse
 - Laufzeit = Zeit von der Ankunft bis zur Terminierung
 - Wartezeit = Laufzeit - Rechenzeit

Im Zweifelsfall immer FIFO anwenden

Das heißt im Detail: Wenn das Entscheidungskriterium des verwendeten Scheduling-Verfahrens auf mehrere Prozesse zutrifft, dann nehmen Sie den ältesten Prozess \implies FIFO

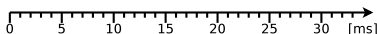
Einfaches Beispiel zum Scheduling

Prozess	CPU-Laufzeit	Priorität
A	5 ms	15
B	10 ms	5
C	3 ms	4
D	6 ms	12
E	8 ms	7

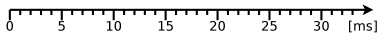
Laufzeit	A	B	C	D	E
RR					
FCFS					
SJF					
PS*					

* Prioritätengesteuertes Scheduling

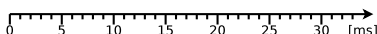
Round Robin
(Zeitquantum = 1)



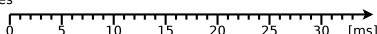
First Come
First Served



Shortest Job First



Prioritätengesteuertes
Scheduling



Wartezeit	A	B	C	D	E
RR					
FCFS					
SJF					
PS*					

* Prioritätengesteuertes Scheduling

- Die Wartezeit ist die Zeit in der bereit-Liste

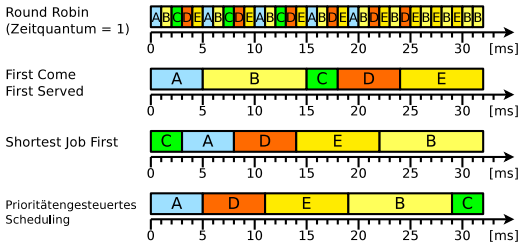
Das Beispiel ist ein „einfaches Beispiel“, weil es keine unterschiedlichen Ankunftszeiten gibt. Alle Prozesse sind zum Zeitpunkt 0 im Zustand bereit

Lösung – Gantt-Diagramm + Laufzeit (Turnaround Time)

Prozess	CPU-Laufzeit	Priorität
A	5 ms	15
B	10 ms	5
C	3 ms	4
D	6 ms	12
E	8 ms	7

Laufzeit	A	B	C	D	E
RR	20	32	13	25	30
FCFS	5	15	18	24	32
SJF	8	32	3	14	22
PS*	5	29	32	11	19

* Prioritätengesteuertes Scheduling



$$\begin{aligned}
 \text{RR} &= \frac{20+32+13+25+30}{5} = 24 \text{ ms} \\
 \text{FCFS} &= \frac{5+15+18+24+32}{5} = 18,8 \text{ ms} \\
 \text{SJF} &= \frac{8+32+3+14+22}{5} = 15,8 \text{ ms} \\
 \text{PS} &= \frac{5+29+32+11+19}{5} = 19,2 \text{ ms}
 \end{aligned}$$

Fazit

- Von den untersuchten Scheduling-Verfahren hat/haben...
 - **SJF** die beste mittlere Laufzeit und kürzeste mittlere Wartezeit
 - **RR** die schlechteste mittlere Laufzeit und mittlere Wartezeit
- **RR** verursacht häufige Prozesswechsel
 - Der dadurch entstehende **Overhead** wirkt sich zusätzlich negativ auf die Systemleistung aus
- Die Größe des Overhead hängt von der Größe der Zeitscheiben ab
 - **Kurze Zeitscheiben** \implies hoher Overhead
 - **Lange Zeitscheiben** \implies Antwortzeiten sind eventuell zu lang für interaktive Prozesse