

---

# Betriebssysteme (BS)

## 04. Ablaufplanung

<https://sys.cs.tu-dortmund.de/DE/Teaching/SS2021/BS/>

---

05.05.2021

**Peter Ulbrich**

peter.ulbrich@tu-dortmund.de

Basierend auf *Betriebssysteme* von Olaf Spinczyk, Universität Osnabrück

# Wiederholung

- Prozesse: die zentrale Abstraktion für Aktivitäten in heutigen Betriebssystemen
  - Konzeptionell unabhängige sequentielle Kontrollflüsse (Folge von CPU- und E/A-Stößen)
  - Tatsächlich findet ein *Multiplexing* der CPU statt
- UNIX-Systeme stellen diverse *System Calls* zur Verfügung, um Prozesse zu erzeugen, zu verwalten und miteinander zu verknüpfen.
  - Moderne Betriebssysteme unterstützen darüber hinaus auch leicht- und federgewichtige Prozesse.
- Prozesse unterliegen der Kontrolle des Betriebssystems:
  - Betriebsmittel-Zuteilung
  - Betriebsmittel-Entzug

# Inhalt

- Prozesszustände und Zustandsübergänge
- Klassische Planungsstrategien
  - FCFS..... einfach
  - RR, VRR..... zeitscheibenbasiert
  - SPN (SJF), SRTF, HRRN..... vorhersagebasiert
  - FB (MLQ, MLFQ)..... prioritätenbasiert
- Bewertungskriterien und Vergleich
- Beispiele
  - UNIX (4.3BSD)
  - NT

*Tanenbaum*  
2.5: Scheduling

*Silberschatz*  
5: Process Scheduling

# Inhalt

- Prozesszustände und Zustandsübergänge
- Klassische Planungsstrategien
  - FCFS.....einfach
  - RR, VRR..... zeitscheibenbasiert
  - SPN (SJF), SRTF, HRRN..... vorhersagebasiert
  - FB (MLQ, MLFQ)..... prioritätenbasiert
- Bewertungskriterien und Vergleich
- Beispiele
  - UNIX (4.3BSD)
  - NT

*Tanenbaum*  
2.5: Scheduling

*Silberschatz*  
5: Process Scheduling

Es geht um **Uniprozessor-Scheduling** für den  
Allgemeinzweckbetrieb. Nicht betrachtet wird:

- Multiprozessor-Scheduling
- Echtzeit-Scheduling
- E/A-Scheduling

# Inhalt

- **Prozesszustände und Zustandsübergänge**
- **Klassische Planungsstrategien**
  - FCFS..... einfach
  - RR, VRR..... zeitscheibenbasiert
  - SPN (SJF), SRTF, HRRN..... vorhersagebasiert
  - FB (MLQ, MLFQ)..... prioritätenbasiert
- **Bewertungskriterien und Vergleich**
- **Beispiele**
  - UNIX (4.3BSD)
  - NT

# Prozesszustände vs. Einplanungsebene

Jedem Prozess ist in Abhängigkeit von der **Einplanungsebene** ein logischer Zustand zugeordnet, der den **Prozesszustand** zu einem Zeitpunkt angibt:

- **kurzfristig** (*short-term scheduling*)
  - bereit, laufend, blockiert
- **mittelfristig** (*medium-term scheduling*)
  - ausgelagert bereit, ausgelagert blockiert
- **langfristig** (*long-term scheduling*)
  - erzeugt, beendet

# Kurzfristige Einplanung

- **bereit** (READY)  
zur Ausführung durch den Prozessor (die CPU)
  - Prozess ist auf der Bereitliste (ready list) für Einlastung
  - Listenposition bestimmt sich durch das Einplanungsverfahren
- **laufend** (RUNNING)  
Zuteilung des Betriebsmittels CPU ist erfolgt
  - Prozess führt Berechnungen durch, er vollzieht seinen CPU-Stoß
  - Für jeden Prozessor gibt es zu einem Zeitpunkt nur einen laufenden Prozess
- **blockiert** (BLOCKED)  
auf ein bestimmtes Ereignis
  - Prozess führt „Ein-/Ausgabe“ durch, er vollzieht seinen E/A-Stoß
  - Er erwartet die Erfüllung mindestens einer Bedingung.

# Mittelfristige Einplanung

**Prozess ist komplett ausgelagert**, d.h. der Inhalt seines gesamten Adressraums wurde in den Hintergrundspeicher verschoben (swap-out) und der von dem Prozess belegte Vordergrundspeicher wurde freigegeben.

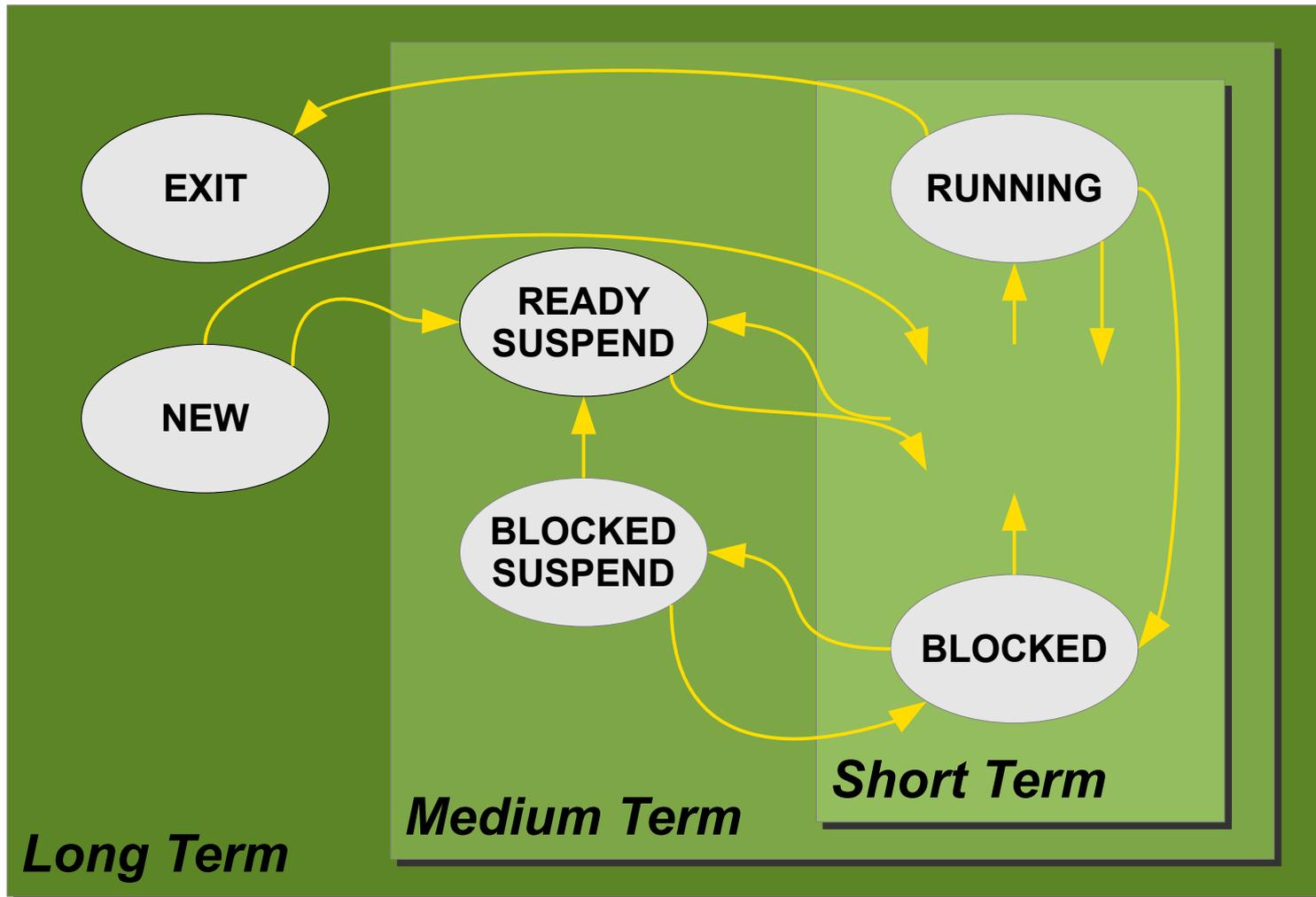
Die **Einlagerung** (swap-in) des Adressraums ist **abzuwarten**:

- **ausgelagert bereit** (READY SUSPEND)
  - CPU-Zuteilung („bereit“) ist außer Kraft gesetzt
  - Prozess ist auf der Warteliste für die Speicherzuteilung
- **ausgelagert blockiert** (BLOCKED SUSPEND)
  - Prozess erwartet weiterhin ein Ereignis („blockiert“)
  - Tritt das Ereignis ein, wird der Prozess „ausgelagert bereit“

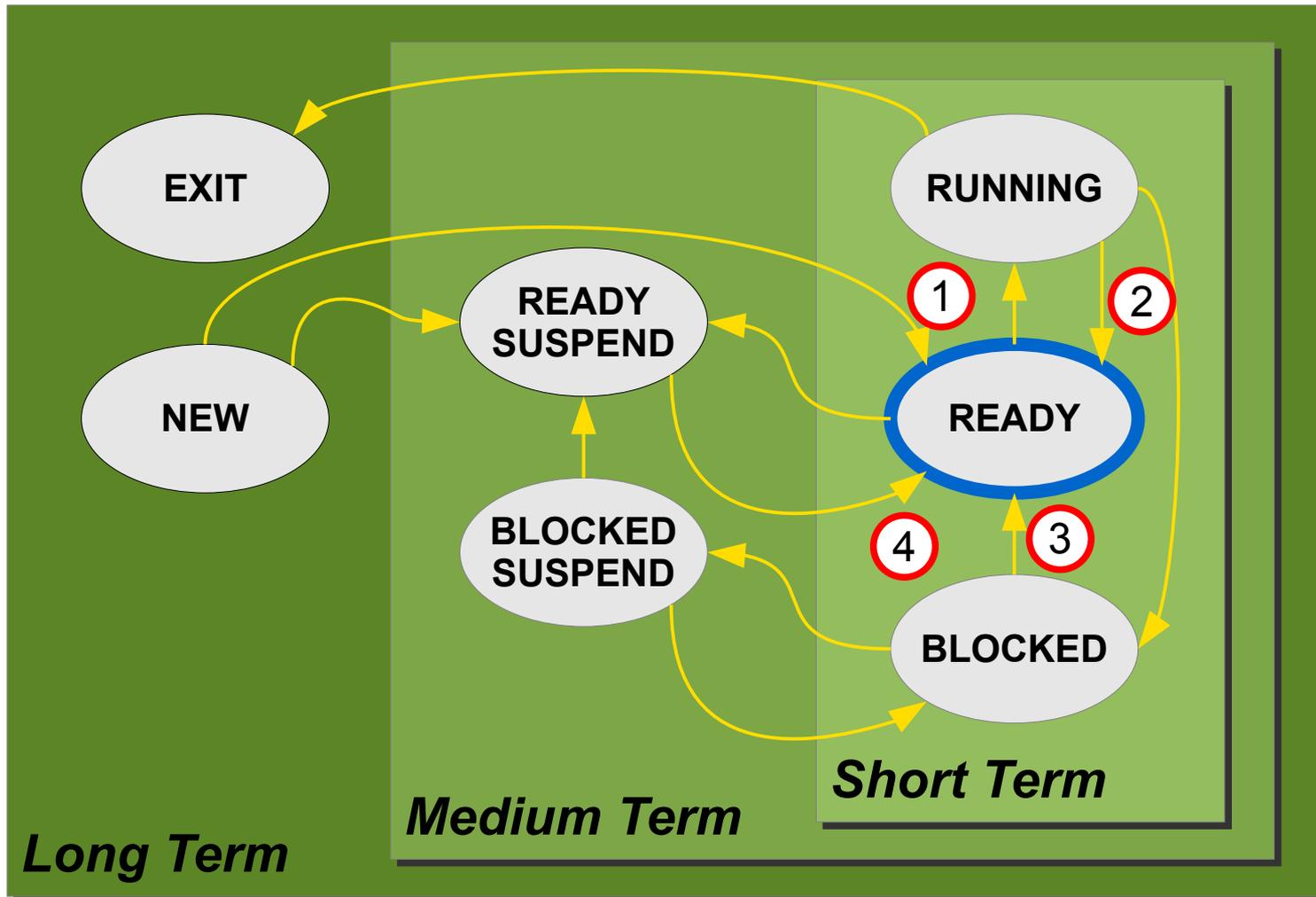
# Langfristige Einplanung

- **erzeugt (NEW)**  
und fertig zur Programmverarbeitung – `fork(2)`
  - Prozess ist instanziiert, ihm wurde ein Programm zugeordnet
  - Ggf. steht die Zuteilung des Betriebsmittels „Speicher“ noch aus
- **beendet (EXIT)**  
und erwartet die Entsorgung – `exit(2)` / `wait(2)`
  - Prozess ist terminiert, seine Betriebsmittel werden freigegeben
  - Ggf. muss ein anderer Prozess den „Kehraus“ vollenden (wie z.B. unter UNIX)

# Zustandsübergänge



# Zustandsübergänge



# Einplanungs- und Auswahlzeitpunkt

- Jeder Übergang in den Zustand **bereit** (READY) aktualisiert die CPU-Warteschlange:
  - Entscheidung über die Einreihung des Prozesskontrollblocks
  - Ergebnis hängt von Planungsstrategie des Systems ab
- **Einplanung/Umplanung** (*scheduling/rescheduling*) erfolgt, ...
  - ① nachdem ein Prozess erzeugt worden ist
  - ② wenn ein Prozess freiwillig die Kontrolle über die CPU abgibt
  - ③ sofern das von einem Prozess erwartete Ereignis eingetreten ist
  - ④ sobald ein ausgelagerter Prozess wieder aufgenommen wird
- Ein Prozess kann dazu gedrängt werden, die CPU abzugeben  
→ **präemptive Ablaufplanung**
  - ② wenn die Kontrolle über die CPU entzogen wird (z.B. Zeitgeberunterbrechung)

# Inhalt

- Prozesszustände und Zustandsübergänge

- **Klassische Planungsstrategien**

- FCFS.....einfach
- RR, VRR.....zeitscheibenbasiert
- SPN (SJF), SRTF, HRRN.....vorhersagebasiert
- FB (MLQ, MLFQ).....prioritätenbasiert

- Bewertungskriterien und Vergleich

- Beispiele

- UNIX (4.3BSD)
- NT

# First-Come First-Served – FCFS

- Ein einfaches und gerechtes (?) Verfahren:
  - „*Wer zuerst kommt, mahlt zuerst.*“
  - Einreihungskriterium ist die **Ankunftszeit** eines Prozesses
  - Arbeitet nicht-verdrängend und setzt **kooperative Prozesse** voraus
  - Das Verfahren minimiert die Zahl der Kontextwechsel

## ■ Beispiel

Prozess	Zeiten					
	Ankunft	Bedienzeit $T_s$	Start	Ende	Durchlauf $T_r$	$T_r/T_s$
A	0	1	0	1	1	1,00
B	1	100	1	101	100	1,00
C	2	1	101	102	100	<b>100,00</b>
D	3	100	102	202	199	1,99
<b>Mittelwert</b>					100	26,00

- Durchlaufzeit von C steht in einem sehr schlechten Verhältnis zur Bedienzeit  $T_s$   
 → Sehr hohe normalisierte Durchlaufzeit ( $T_r/T_s$ )

## FCFS – Der Konvoi-Effekt

- Mit dem Problem sind immer kurz laufende E/A-lastige Prozesse konfrontiert, die langen CPU-lastigen Prozessen folgen.
  - Prozesse mit **langen CPU-Stößen** werden **begünstigt**,
  - Prozesse mit **kurzen CPU-Stößen** werden **benachteiligt**.
- Der resultierende Konvoi-Effekt verursacht Probleme:
  - hohe Antwortzeit „schneller“ Prozesse (warten auf „langsame“)
  - niedriger E/A-Durchsatz (Annahme: kurzer CPU → langer E/A Stoß)
- Bei einem Mix von CPU- und E/A-lastigen Prozessen ist FCFS daher ungeeignet.
  - typischerweise nur in reinen Stapelverarbeitungssystemen

## Round Robin – RR

- Verringert die Benachteiligung kurzer CPU-Stöße:  
*„Jeder gegen jeden“*
  - Die Prozessorzeit wird in Zeitscheiben aufgeteilt (*time slicing*).
- Mit Ablauf der Zeitscheibe erfolgt ggf. ein Prozesswechsel:
  - Der unterbrochene Prozess wird ans Ende der Bereitliste verdrängt,
  - der nächste Prozess wird gemäß FCFS der Bereitliste entnommen.
- Zeitgeber bewirkt **Unterbrechung** am Ende der Zeitscheibe
- **Zeitscheibenlänge** bestimmt Effektivität des Verfahrens
  - zu lang, Degenerierung zu FCFS; zu kurz, hohe Verwaltungsgemeinkosten
  - **Faustregel:** etwas länger als die Dauer einer „typischen Interaktion“

## RR – Leistungsprobleme

- **E/A-lastige Prozesse** beenden ihren CPU-Stoß frühzeitig innerhalb ihrer Zeitscheibe
  - sie blockieren und kommen mit Ende ihres E/A-Stoßes in die Bereitliste
- **CPU-lastige Prozesse** schöpfen dagegen ihre Zeitscheibe voll aus
  - sie werden verdrängt und kommen sofort wieder in die Bereitliste
- Die CPU-Zeit ist zu Gunsten CPU-lastiger Prozesse ungleich verteilt!
  - E/A-lastige Prozesse werden schlecht bedient und dadurch Geräte schlecht ausgelastet
  - Varianz der Antwortzeit E/A-lastiger Prozesse erhöht sich

## Virtual Round Robin – VRR

- Vermeidet die bei RR mögliche ungleiche Verteilung der CPU-Zeiten
  - Prozesse kommen mit Ende ihrer E/A-Stöße in eine **Vorzugsliste**
  - Diese Liste wird **vor** der Bereitliste abgearbeitet.
- VRR arbeitet mit **Zeitscheiben unterschiedlicher Längen**
  - Prozesse der Vorzugsliste bekommen keine volle Zeitscheibe zugeteilt:  
Ihnen wird die **Restlaufzeit** ihrer vorher nicht voll genutzten Zeit gewährt.
  - Sollte ihr CPU-Stoß länger dauern, werden sie in die Bereitliste verdrängt.
- **Prozessabfertigung ist dadurch im Vergleich zu RR etwas aufwändiger.**

## Shortest Process Next – SPN

- Verringert die auftretende Benachteiligung kurzer CPU-Stöße:  
*„Die Kleinen nach vorne“*
  - Grundlage dafür ist die Kenntnis über die Prozesslaufzeiten
  - Verdrängung findet nicht statt
- **Hauptproblem: Vorhersage der Laufzeiten**
  - Stapelbetrieb: Programmierer geben das erforderliche *time limit*\* vor
  - Dialogbetrieb: Schätzung aus früheren Stoßlängen des Prozesses
- Antwortzeiten werden verkürzt und die Gesamtleistung steigt.
  - Dafür: Gefahr der **Aushungerung** (*starvation*) CPU-lastiger Prozesse

\*Die Zeitdauer, innerhalb der der Job (wahrscheinlich/hoffentlich) beendet wird, bevor er abgebrochen wird.

## SPN – CPU-Stoßdauer

- Basis für die **Schätzung** ist die Mittelwertbildung über alle bisherigen CPU-Stoßlängen eines Prozesses:

$$S_{n+1} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n T_i = \frac{1}{n} \cdot T_n + \frac{n-1}{n} \cdot S_n$$

- **Problem:** gleiche **Gewichtung** aller CPU-Stöße
  - **Jüngere CPU-Stöße** sind jedoch von größerer Bedeutung als ältere und sollten daher auch mit größerer Gewichtung berücksichtigt werden!
- Ursache ist das **Lokalitätsprinzip**
  - Daten und Instruktionen sind anfangs nicht in CPU-nahen Speichern verfügbar

## SPN – Stoßgewichtung

- Zurückliegenden CPU-Stöße sollen weniger Gewicht erhalten:

$$S_{n+1} = \alpha \cdot T_n + (1 - \alpha) \cdot S_n$$

- Für den konstanten Gewichtungsfaktor  $\alpha$  gilt dabei:  $0 < \alpha < 1$
- Er drückt die relative Gewichtung einzelner CPU-Stöße der Zeitreihe aus.

- Rekursive Einsetzung führt zu ...

$$S_{n+1} = \alpha T_n + (1 - \alpha)\alpha T_{n-1} + \dots + (1 - \alpha)^i \alpha T_{n-i} + \dots + (1 - \alpha)^n S_1$$

$$S_{n+1} = \alpha \cdot \sum_{i=0}^{n-1} (1 - \alpha)^i T_{n-i} + (1 - \alpha)^n S_1$$

- für  $\alpha = 0.8$ :

$$S_{n+1} = 0,8T_n + 0,16T_{n-1} + 0,032T_{n-2} + 0,0064T_{n-3} + \dots$$

Dieses statistische Verfahren nennt man auch **exponentielle Glättung**.

## Shortest Remaining Time First – SRTF

- Erweitert den SPN-Ansatz um **Verdrängung**.
  - Dadurch geeignet für den Dialogbetrieb
  - Führt zu besseren Durchlaufzeiten
- Der laufende Prozess wird verdrängt, wenn gilt:  $T_{\text{erw}} < T_{\text{rest}}$ 
  - $T_{\text{erw}}$  ist die **erwartete CPU-Stoßlänge** eines eintreffenden Prozesses
  - $T_{\text{rest}}$  ist die **verbleibende CPU-Stoßlänge** des laufenden Prozesses
- Anders als RR basiert SRTF **nicht auf Zeitgeberunterbrechungen**, ist aber **präemptiv**
  - Dafür müssen allerdings Stoßlängen abgeschätzt werden.
- Wie SPN kann auch SRTF Prozesse zum **Verhungern** bringen.

## Highest Response Ratio Next – HRRN

- Vermeidet das bei SRTF mögliche Verhungern von CPU-lastigen Prozessen.
  - Das Altern (*aging*), d.h. die Wartezeit von Prozessen, wird berücksichtigt:

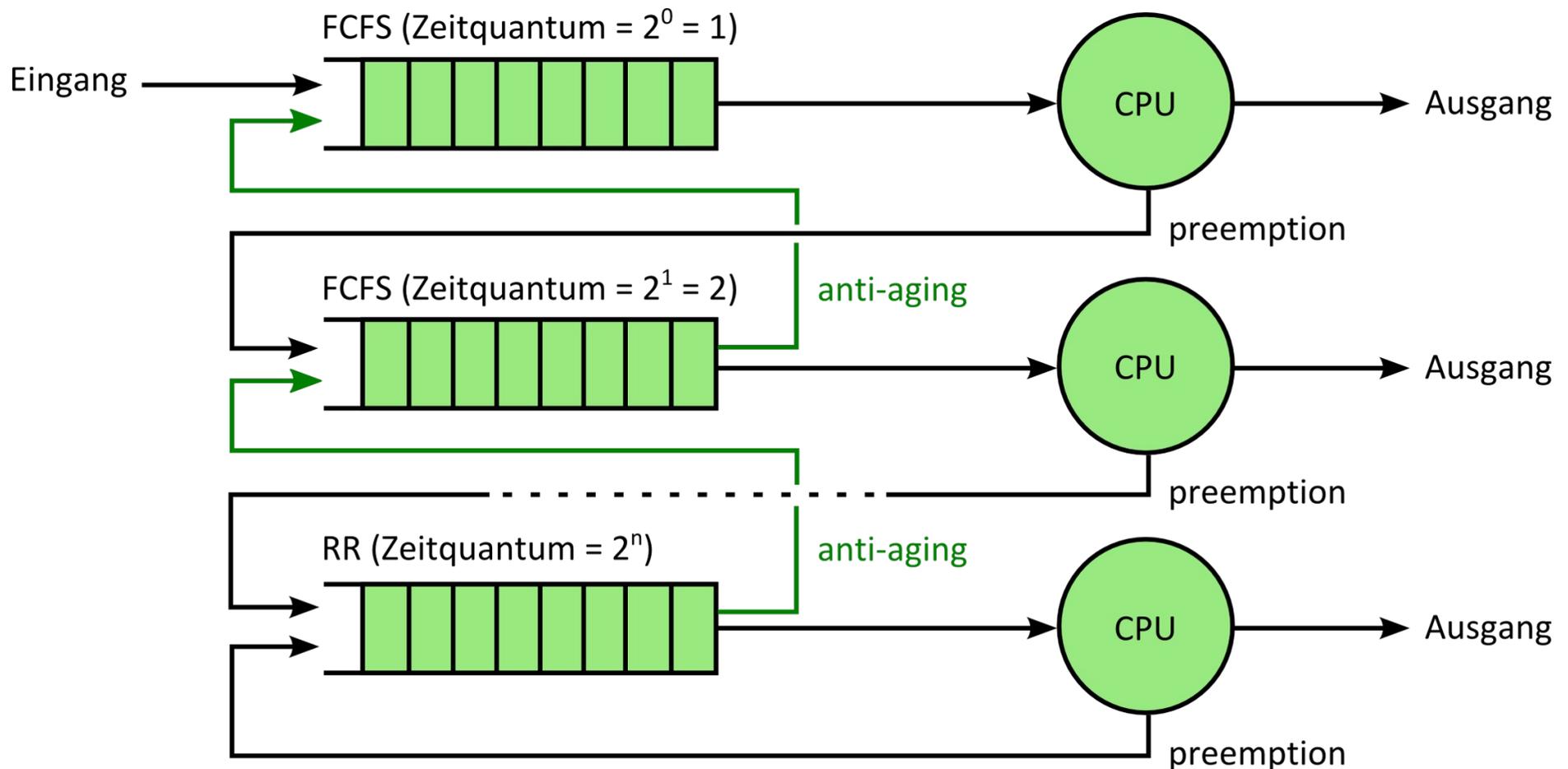
$$R = \frac{w + s}{s}$$

- $w$  ist die bisherige Wartezeit des Prozesses
  - $s$  ist die erwartete Bedienzeit
- Ausgewählt wird immer der Prozess mit dem **größten Verhältniswert  $R$** .

## Feedback – FB

- Begünstigt kurze Prozesse, ohne die relativen Längen der Prozesse abschätzen zu müssen.
  - Grundlage ist die **Bestrafung** (*penalization*) von „Langläufern“
  - Prozesse unterliegen dem Verdrängungsprinzip
- Mehrere Bereitlisten kommen zum Einsatz, je nach Anzahl von Prioritätsebenen:
  - Wenn ein Prozess **erstmalig** eintrifft, läuft er auf **höchster Ebene**.
  - Mit **Ablauf der Zeitscheibe** kommt er in die **nächst niedrigere Ebene**.
  - Die unterste Ebene arbeitet nach RR.
- Kurze Prozesse laufen relativ schnell durch, lange Prozesse können verhungern.
  - Wartezeit kann berücksichtigt werden, um wieder höhere Ebenen zu erreichen (*anti-aging*)

# FB – Ablaufplanungsmodell



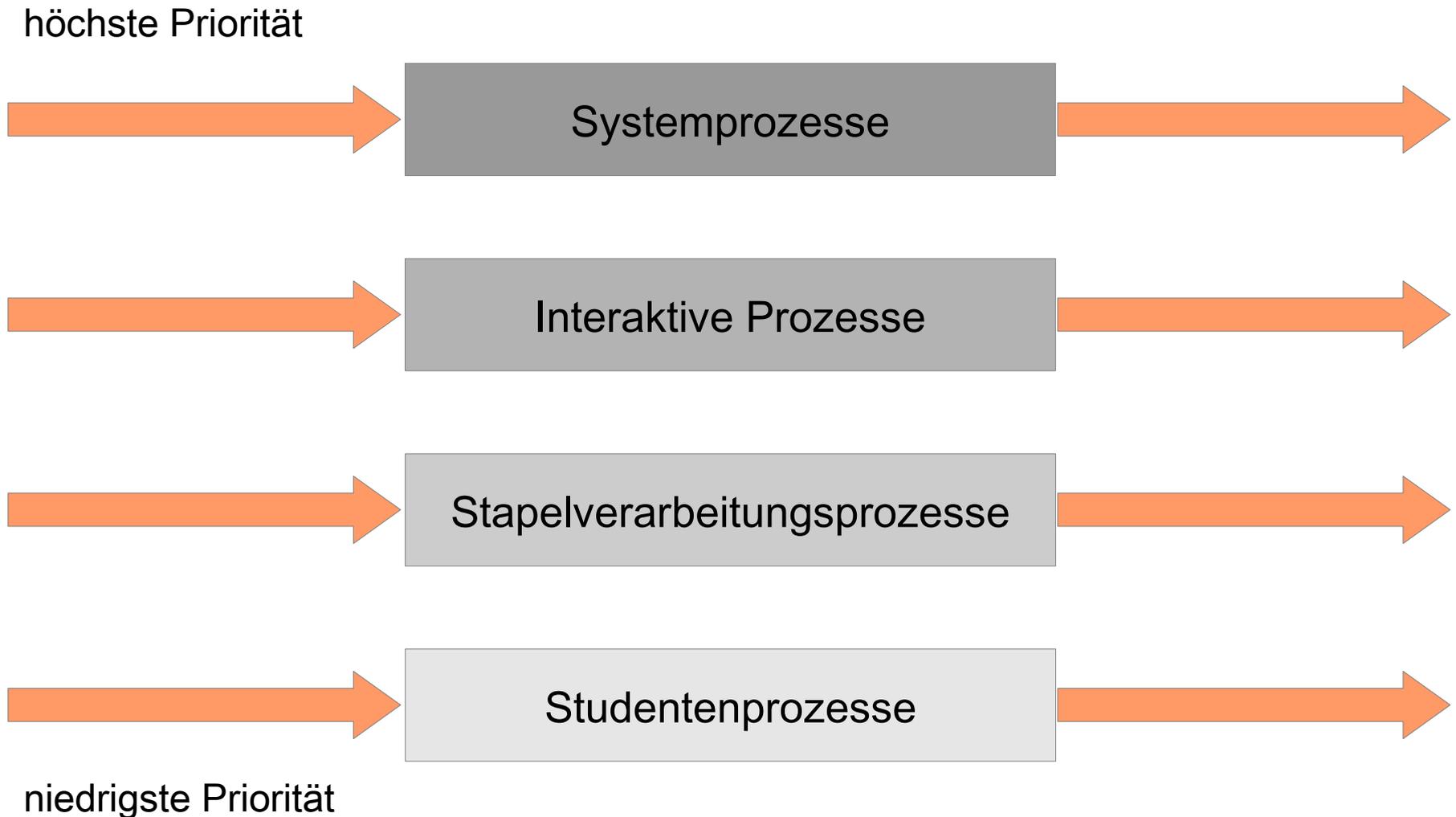
## Diskussion: Prioritäten

- Prozess-„Vorrang“, der Zuteilungsentscheidungen maßgeblich beeinflusst
- **Statische Prioritäten** werden zum Zeitpunkt der Prozesserzeugung festgelegt:
  - Wert kann im weiteren Verlauf nicht mehr verändert werden
  - erzwingen **deterministische Ordnung** zwischen Prozessen
- **Dynamische Prioritäten** werden während der Prozesslaufzeit aktualisiert:
  - Aktualisierung erfolgt im Betriebssystem, aber auch vom Benutzer aus
  - SPN, SRTF, HRRN und FB sind Spezialfälle dieses Verfahrens

## Kombinationen – Multilevel Scheduling

- **Mehrere Betriebsformen lassen sich nebeneinander betreiben.**
  - z.B. gleichzeitige Unterstützung von {Dialog- und Hintergrundbetrieb, Echtzeit- und sonstigem Betrieb}
  - Dialogorientierte bzw. zeitkritische Prozesse werden bevorzugt bedient.
- **Die Umsetzung erfolgt typischerweise über mehrere Bereitlisten.**
  - Jeder Bereitliste ist eine bestimmte Zuteilungsstrategie zugeordnet,
  - Listen werden typischerweise nach Priorität, FCFS oder RR verarbeitet.
  - Ein höchst komplexes Gebilde → *multi-level feedback* (MLFB)
- **FB kann als Spezialfall dieses Verfahrens aufgefasst werden.**

# Kombinationen – Multilevel Scheduling



Quelle: Silberschatz

# Inhalt

- Prozesszustände und Zustandsübergänge
- Klassische Planungsstrategien
  - FCFS..... einfach
  - RR, VRR..... zeitscheibenbasiert
  - SPN (SJF), SRTF, HRRN..... vorhersagebasiert
  - FB (MLQ, MLFQ)..... prioritätenbasiert
- **Bewertungskriterien und Vergleich**
- Beispiele
  - UNIX (4.3BSD)
  - NT

# Ziele = Bewertungskriterien

## ■ Benutzerorientiert

- **Durchlaufzeit** Zeit zwischen Eingang und Abschluss eines Prozesses einschließlich der Wartezeit(en) → **Stapelverarbeitung**
- **Antwortzeit** Zeit zwischen Benutzereingabe und Antwort → **interaktive Systeme**
- **Termineinhaltung** Für die Interaktion mit äußeren physikalischen Prozessen sollten Termine eingehalten werden → **Echtzeitsysteme**
- **Vorhersagbarkeit** Prozesse werden unabhängig von der Last immer gleich bearbeitet → **harte Echtzeitsysteme**

## ■ Systemorientiert

- **Durchsatz** Möglichst viele Prozesse pro Zeiteinheit abarbeiten
- **Auslastung** CPU immer beschäftigen → **Verwaltungsgemeinkosten** (z.B. *Scheduling, Kontextwechsel*) vermeiden
- **Fairness** Kein Prozess soll benachteiligt werden (z.B. *Aushungern*)
- **Lastausgleich** Auch E/A-Geräte sollen gleichmäßig ausgelastet werden

# Gegenüberstellung – quantitativ

	Prozess	A	B	C	D	E	Mittelwert
	Start	0	2	4	6	8	
	Bedienzeit $T_s$	3	6	4	5	2	
FCFS	Ende	3	9	13	18	20	
	Durchlauf $T_r$	3	7	9	12	12	8,60
	$T_r/T_s$	1,00	1,17	2,25	2,40	6,00	2,56
RR q=1	Ende	4	18	17	20	15	
	Durchlauf $T_r$	4	16	13	14	7	10,80
	$T_r/T_s$	1,33	2,67	3,25	2,80	3,50	2,71
SPN	Ende	3	9	15	20	11	
	Durchlauf $T_r$	3	7	11	14	3	7,60
	$T_r/T_s$	1,00	1,17	2,75	2,80	1,50	1,84
SRTF	Ende	3	15	8	20	10	
	Durchlauf $T_r$	3	13	4	14	2	7,20
	$T_r/T_s$	1,00	2,17	1,00	2,80	1,00	1,59
HRRN	Ende	3	9	13	20	15	
	Durchlauf $T_r$	3	7	9	14	7	8,00
	$T_r/T_s$	1,00	1,17	2,25	2,80	3,50	2,14
FB q=1	Ende	4	20	16	19	11	
	Durchlauf $T_r$	4	18	12	13	3	10,00
	$T_r/T_s$	1,33	3,00	3,00	2,60	1,50	2,29

Aus William Stallings, „Betriebssysteme – Prinzipien und Umsetzung“

# Gegenüberstellung – qualitativ

Strategie	präemptiv/ kooperativ	Vorhersage nötig	Impl.- aufwand	Verhungern möglich	Auswirkung auf Prozesse
FCFS	kooperativ	nein	minimal	nein	Konvoi-Effekt
RR	präemptiv (Zeitgeber)	nein	klein	nein	Fair, aber benachteiligt E/A-lastige Prozesse
SPN	kooperativ	ja	groß	ja	Benachteiligt CPU-lastige Prozesse
SRTF	präemptiv (bei Eingang)	ja	größer	ja	Benachteiligt CPU-lastige Prozesse
HRRN	kooperativ	ja	groß	nein	Gute Lastverteilung
FB	präemptiv (Zeitgeber)	nein	größer	ja	Bevorzugt u.U. E/A-lastige Prozesse

In Anlehnung an William Stallings, „Betriebssysteme – Prinzipien und Umsetzung“

# Inhalt

- Prozesszustände und Zustandsübergänge
- Klassische Planungsstrategien
  - FCFS..... einfach
  - RR, VRR..... zeitscheibenbasiert
  - SPN (SJF), SRTF, HRRN..... vorhersagebasiert
  - FB (MLQ, MLFQ)..... prioritätenbasiert
- Bewertungskriterien und Vergleich
- **Beispiele**
  - UNIX (4.3BSD)
  - NT

# UNIX

- Zweistufiges präemptives Verfahren mit dem Ziel, Antwortzeiten zu minimieren
- Kein Long-Term Scheduling
- **high-level**: mittelfristig mit Ein-/Auslagerung (*swapping*) arbeitend
- **low-level**: kurzfristig präemptiv, MLFB, dynamische Prozessprioritäten
  - Einmal pro Sekunde:  $prio = cpu\_usage + p\_nice + base$
  - Jeder „**Tick**“ (1/10 s) verringert das Nutzungsrecht über die CPU durch Erhöhung von *cpu\_usage* beim laufenden Prozess
    - hohe *prio*-Zahl = niedrige Priorität
  - Das Maß der CPU-Nutzung (*cpu\_usage*) wird über die Zeit gedämpft
    - Die Dämpfungs-/Glättungsfunktion variiert von UNIX zu UNIX

## UNIX – 4.3 BSD (1)

- Jeden vierten Tick (40ms) erfolgt die Berechnung der Benutzerpriorität:

$$P_{usrpri} = \min\left(P_{USER} + \frac{P_{cpu}}{4} + 2 \cdot P_{nice}, 127\right)$$

- $P_{cpu}$  nimmt mit jedem Tick um 1 zu und wird einmal pro Sekunde geglättet:

$$P_{cpu} \Leftarrow \frac{2 \cdot load}{2 \cdot load + 1} \cdot P_{cpu} + P_{nice}$$

- Glättung für erwachte Prozesse, die länger als eine Sekunde blockiert waren:

$$P_{cpu} \Leftarrow \left( \frac{2 \cdot load}{2 \cdot load + 1} \right)^{P_{slptime}} \cdot P_{cpu}$$

## UNIX – 4.3 BSD (2)

- Glättung (*decay filter*) bei einer angenommenen mittleren Auslastung (*load*) von 1 gilt  $P_{cpu} := 0,66 \cdot P_{cpu} + P_{nice}$
- Ferner sei angenommen, ein Prozess sammelt  $T_i$  Ticks im Zeitintervall  $i$  an und  $P_{nice} = 0$

$$P_{cpu_1} = 0,66T_0$$

$$P_{cpu_2} = 0,66(T_1 + 0,66T_0) = 0,66T_1 + 0,44T_0$$

$$P_{cpu_3} = 0,66T_2 + 0,44T_1 + 0,30T_0$$

$$P_{cpu_4} = 0,66T_3 + \dots + 0,20T_0$$

$$P_{cpu_5} = 0,66T_4 + \dots + 0,13T_0$$

- Nach 5 Sekunden gehen nur noch 13% „alte“ Auslastung ein.

## Windows NT – Prioritätsklassen

- Präemptive, prioritäts- und zeitscheibenbasierte Einplanung von Fäden (**Threads**)
  - Verdrängung erfolgt auch dann, wenn der Faden sich im Kern befindet  
→ nicht so bei UNIX & Co
  - RR bei gleicher Priorität: 0 reserviert, 1–15 variabel, 16-31 Echtzeit
- Die Art des Fadens (Vorder-/Hintergrund) bestimmt das Zeitquantum eines Fadens → **Quantum Stretching**
  - Quantum (zwischen 6 und 36) vermindert sich mit jedem **Tick** (10 bzw. 15ms) um 3 oder um 1, falls der Faden in den Wartezustand geht
  - Die Zeitscheibenlänge variiert mit den Prozessen: 20 – 180ms
    - Vordergrund/Hintergrund, *Server/Desktop*-Konfiguration
- Zudem variable Priorität:  
*process\_priority\_class + relative\_thread\_priority + boost*

## NT – Prioritätsanpassung

- Fadenprioritäten werden in bestimmten Situationen dynamisch angehoben: **Dynamic Boost**
  - Abschluss von Ein-/Ausgabe (Festplatten) +1
  - Mausbewegung, Tastatureingabe +6
  - Deblockierung, Betriebsmittelfreigabe (Semaphor, *Event*, *Mutex*) +1
  - Andere Ereignisse (Netzwerk, *Pipe*, ...) +2
  - Ereignis im Vordergrundprozess +2
- Die *dynamic boosts* werden mit jedem *Tick* wieder verbraucht
- **Fortschrittsgarantie**
  - Verhindert das Aushungern von *Threads*
  - Alle 3–4 s erhalten bis zu 10 „benachteiligte“ Fäden für zwei Zeitscheiben die Priorität 15

## Zusammenfassung

- **Betriebssysteme treffen Planungsentscheidungen auf drei Ebenen:**
  - Long-Term Scheduling: Zulassung von Prozessen zum System
  - Medium-Term Scheduling: Aus- und Einlagerung von Prozessen
  - Short-Term Scheduling: kurzfristige CPU-Zuteilung
  
- **Alle hier betrachteten Verfahren werden dem Short-Term Scheduling zugerechnet.**
  - Es gibt diverse benutzer- und systemorientierte Kriterien für die Beurteilung der Eigenschaften eines CPU-Zuteilungsverfahrens.
  - Die Auswahl kommt einer Gratwanderung gleich.
  - Das „beste“ Verfahren lässt sich nur nach einer Analyse des typischen Anwendungsprofils und aller Randbedingungen finden.