



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN

Fakultät Informatik Institut für Systemarchitektur, Professur für Betriebssysteme

BETRIEBSSYSTEME UND SICHERHEIT

mit Material von Olaf Spinczyk,
Universität Osnabrück

Scheduling

<https://tud.de/inf/os/studium/vorlesungen/bs>

HORST SCHIRMEIER

Inhalt

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

Silberschatz, Kap. ...
5: Process Scheduling

Tanenbaum, Kap. ...
2.5: Scheduling

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

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

Inhalt

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

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

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

Abfertigungszustand

- Jedem Prozess ist in Abhängigkeit von der Einplanungsebene ein logischer Zustand zugeordnet, der den Abfertigungszustand 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 Warteliste für die CPU-Zuteilung (*ready list*)
 - 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

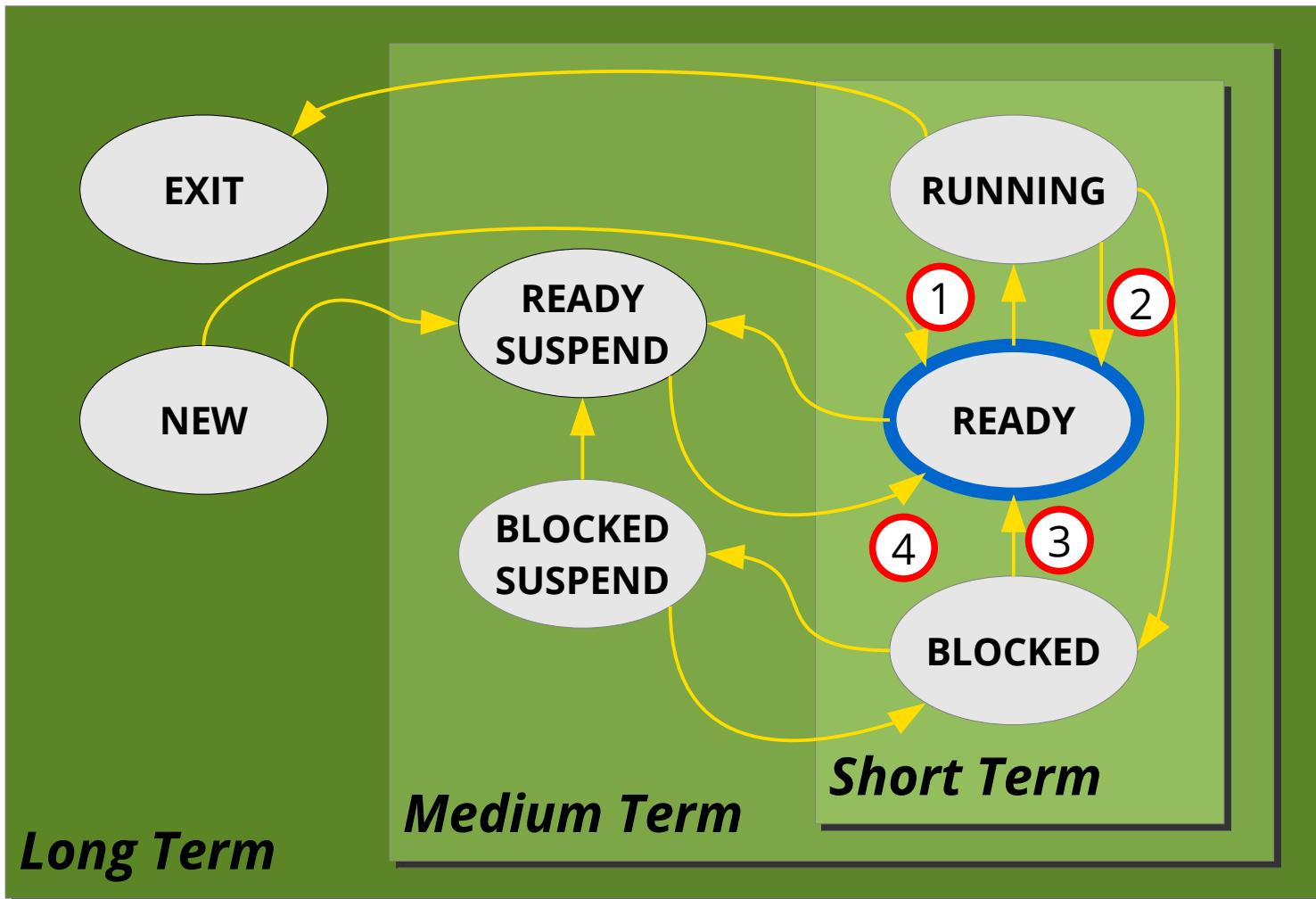
Prozess ist **komplett ausgelagert**, d.h. der Inhalt seines gesamten Adressraums wurde in den Hintergrundspeicher verschoben (*swap-out*) und der von dem Prozess belegte Vordergrundspeicher wurde freigegeben. Die Einlagerung (*swap-in*) des Adressraums ist abzuwarten:

- **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



Einplanungs- und Auswahlzeitpunkt

- Jeder Übergang in den Zustand **bereit** (*READY*) aktualisiert die CPU-Warteschlange:
 - Entscheidung über die Einreihung des Prozesskontrollblocks
 - Ergebnis hängt von **CPU-Zuteilungsstrategie** 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. → **präemptives Scheduling**, auch ②
 - z.B. durch Zeitgeberunterbrechung

Inhalt

- Wiederholung
- Abfertigungszustände und Zustandsübergänge
- **Klassische CPU-Zuteilungsstrategien**
 - 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
- 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	100.00
D	3	100	102	202	199	1.99
Mittelwert					100	26.00

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

Diskussion: FCFS – „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.
- Das Verfahren minimiert die Zahl der Kontextwechsel. Der Konvoi-Effekt verursacht allerdings folgende Probleme:
 - hohe Antwortzeit
 - niedriger E/A-Durchsatz
- Bei einem Mix von CPU- und E/A-lastigen Prozessen ist FCFS daher ungeeignet.
 - typischerweise nur in reinen Stapelverarbeitungssystemen

Round Robin – RR

- Verringert die bei FCFS auftretende 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.
- Basis für CPU-Schutz: Zeitgeber bewirkt **Unterbrechung** am Ende der Zeitscheibe
- **Zeitscheibenlänge** bestimmt maßgeblich Effektivität des Verfahrens
 - zu lang, Degenerierung zu FCFS; zu kurz, sehr hoher Overhead
 - **Faustregel:** etwas länger als die Dauer einer „typischen Interaktion“

Diskussion: RR – Leistungsprobleme

- **E/A-lastige Prozesse** beenden ihren CPU-Stoß 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 bei FCFS 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 wesentlich 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.

Diskussion: 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**

Diskussion: SPN – Stoßgewichtung

- Die weiter zurückliegenden CPU-Stöße sollen weniger Gewicht erhalten: $S_{n+1} = \alpha \cdot T_n + (1 - \alpha) \cdot S_n$
 - Für den konstanten Gewichtungsfaktor α gilt dabei: $0 < \alpha < 1$
 - Er drückt die relative Gewichtung einzelner CPU-Stöße der Zeitreihe aus.

- Rekursive Einsetzung führt zu ...

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

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

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

- für $\alpha = 0.8$:

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

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: $T_{erw} < T_{rest}$
 - T_{erw} ist die erwartete CPU-Stoßlänge eines eintreffenden Prozesses
 - T_{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:

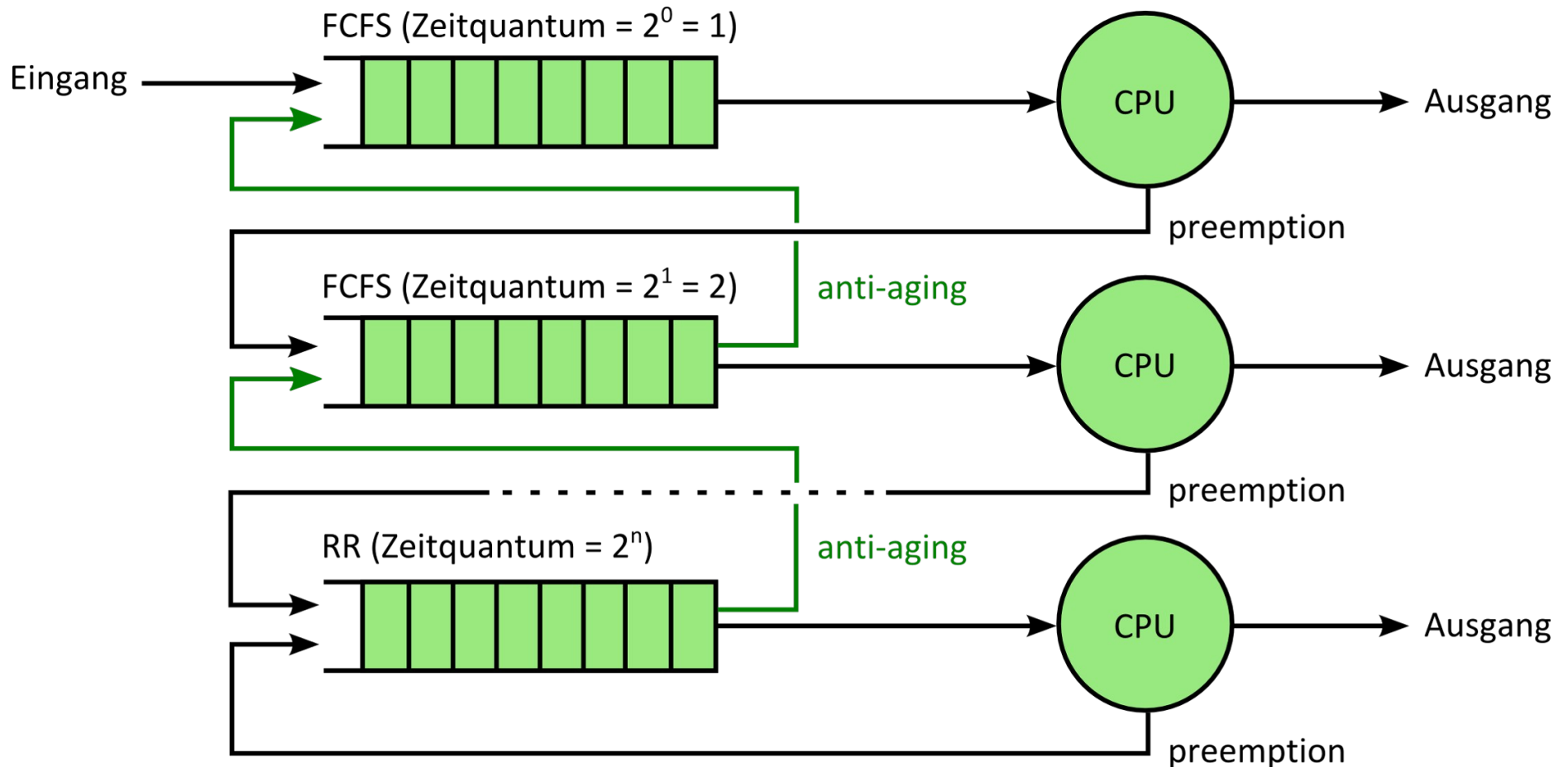
$$R = \frac{w + s}{s}$$

- 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 - Scheduling-Modell



Diskussion: Prioritäten

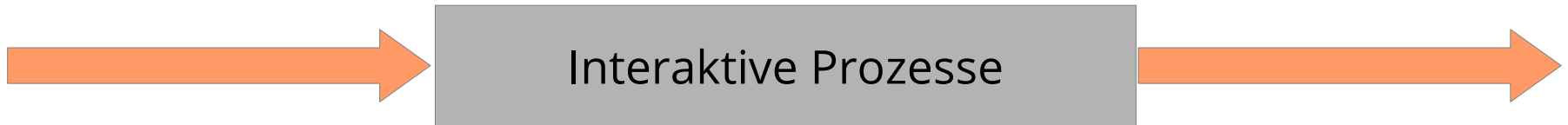
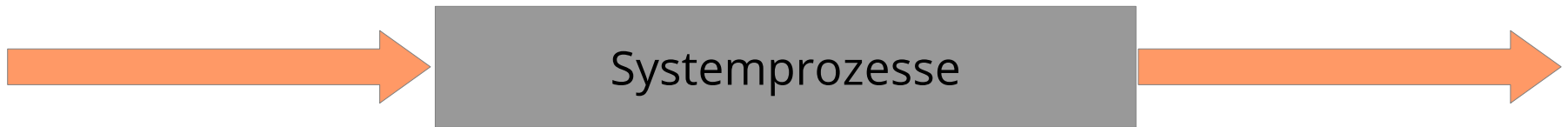
- Prozess-„Vorrang“, der Zuteilungsentscheidungen maßgeblich beeinflusst
- **Statische Prioritäten** werden zum Zeitpunkt der Prozesserschaffung festgelegt:
 - Wert kann im weiteren Verlauf nicht mehr verändert werden
 - erzwingen **deterministische Ordnung** zwischen Prozessen
- **Dynamische Prioritäten** 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 („gleichzeitig“) betreiben.
 - z.B. gleichzeitige Unterstützung von {Dialog- und Hintergrundbetrieb, Echtzeit- und sonstigem Betrieb}
 - Dialogorientierte bzw. zeitkritische Prozesse werden bevorzugt bedient.
- Die technische 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*

höchste Priorität



niedrigste Priorität

Quelle: Silberschatz

Inhalt

- Wiederholung
- Abfertigungszustände und Zustandsübergänge
- Klassische CPU-Zuteilungsstrategien
 - 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
 - **CPU-Auslastung** – CPU sollte möglichst immer beschäftigt sein. *Overhead* (*Scheduling*-Entscheidung, 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

Gegenüberstellung - qualitativ

Strategie	präemptiv/ kooperativ	Vorhersage nötig	Implement.- aufwand	Verhungern möglich	Auswirkung auf Prozesse
FCFS	kooperativ	nein	minimal	nein	Konvoi-Effekt
RR	präemptiv (Zeitgeber)	nein	klein	nein	Fair, aber be- nachteiligt 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 Lastvertei- lung
FB	präemptiv (Zeitgeber)	nein	größer	ja	Bevorzugt u.U. E/A-lastige Prozesse

Inhalt

- Wiederholung
- Abfertigungszustände und Zustandsübergänge
- Klassische CPU-Zuteilungsstrategien
 - 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 $P_{nice} = 0$

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

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

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

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

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

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 CPU-Zuteilungsentscheidungen 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.