
Betriebssysteme (BS)

04. Ablaufplanung

<https://sys.cs.tu-dortmund.de/DE/Teaching/SS2022/BS/>

27.04.2022

Peter Ulbrich

peter.ulbrich@tu-dortmund.de
bs-problems@ls12.cs.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.

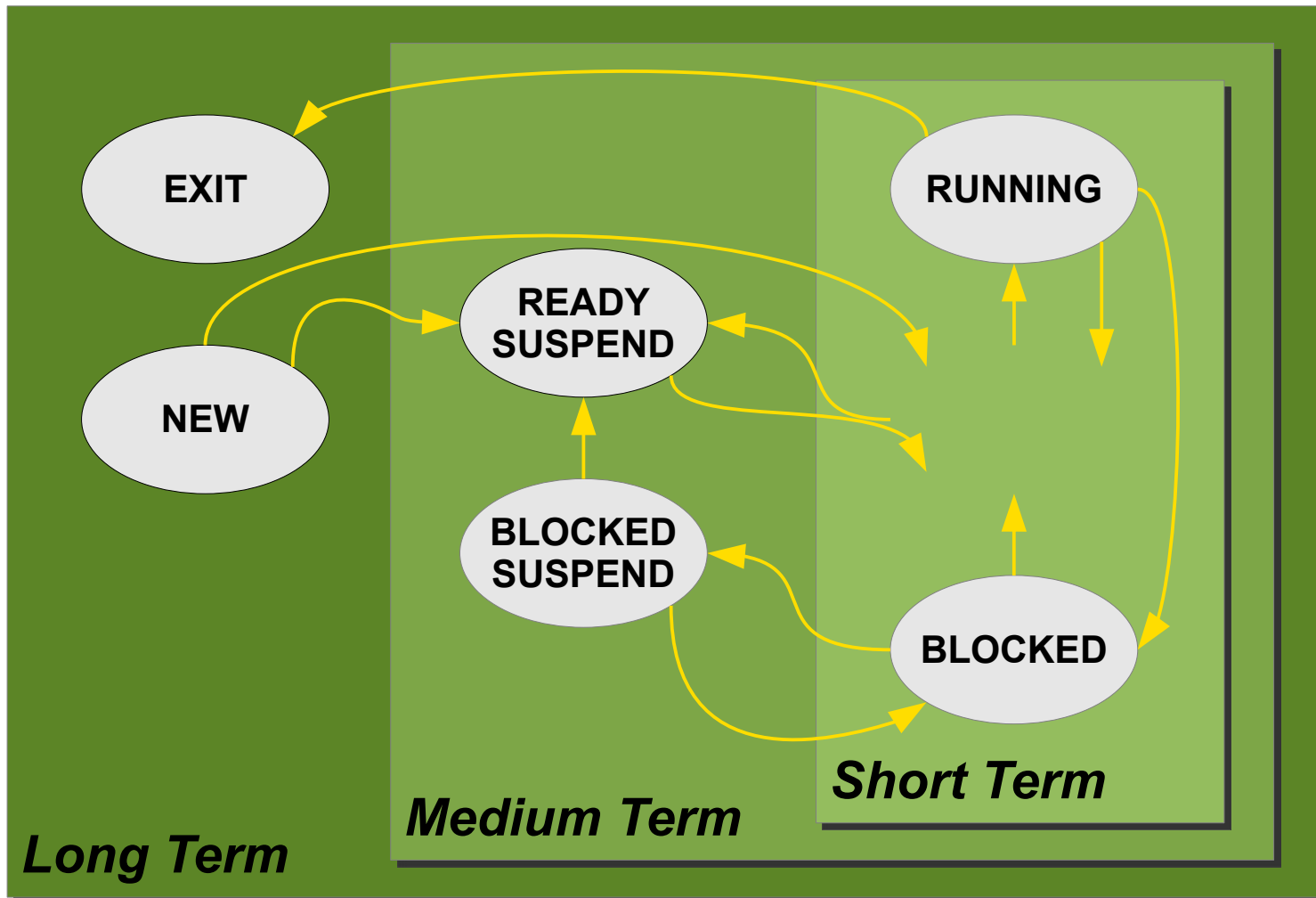
Die **Einlagerung** (swap-in) des Adressraums ist **abzuwarten**:

- **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“

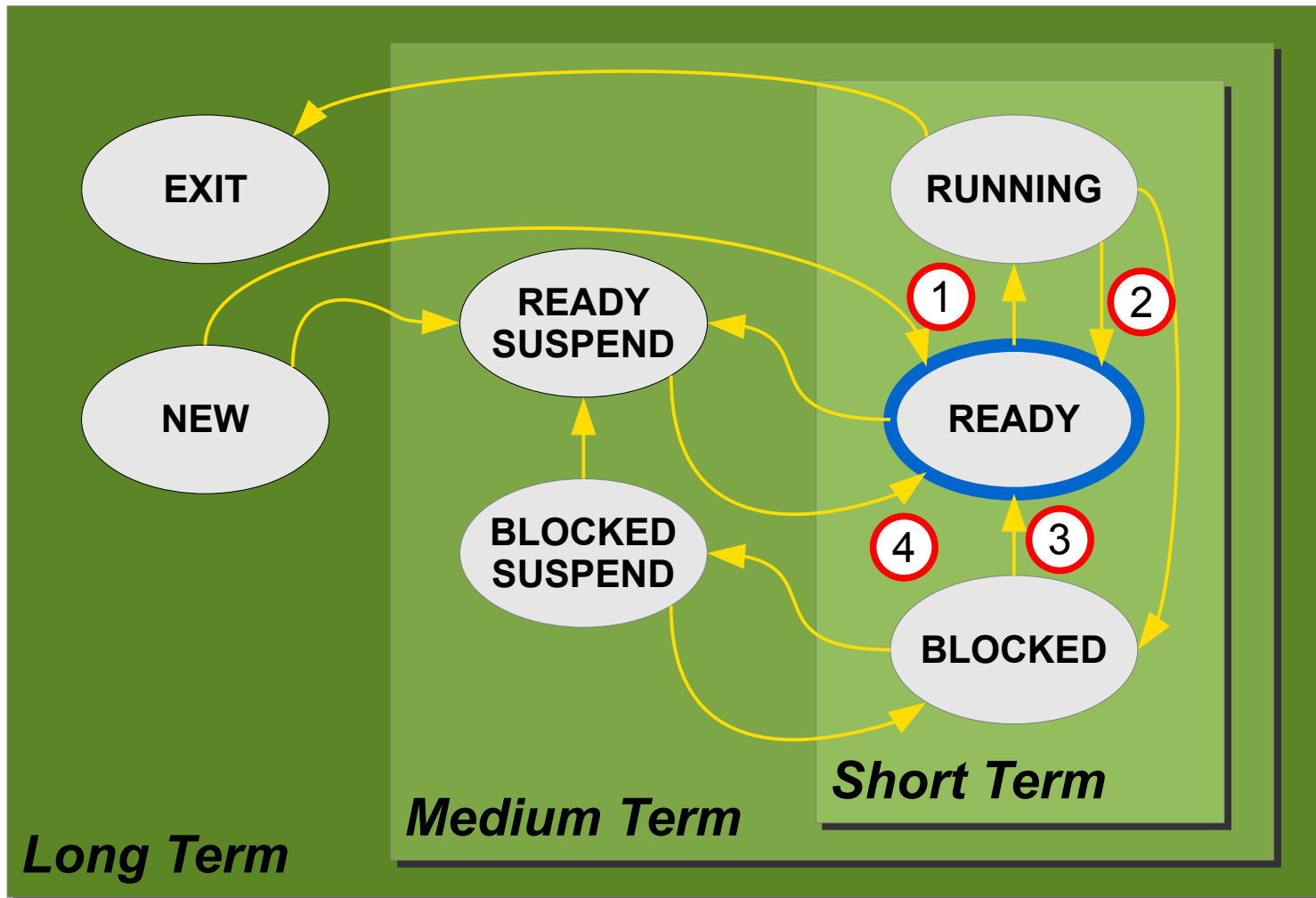
Langfristige Einplanung

- **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	100,00
D	3	100	102	202	199	1,99
Mittelwert					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 α gilt dabei: $0 < \alpha < 1$
- Er drückt die relative Gewichtung einzelner CPU-Stöße der Zeitreihe aus.

- Rekursive Einsetzung führt zu ...

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

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

- 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_{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:

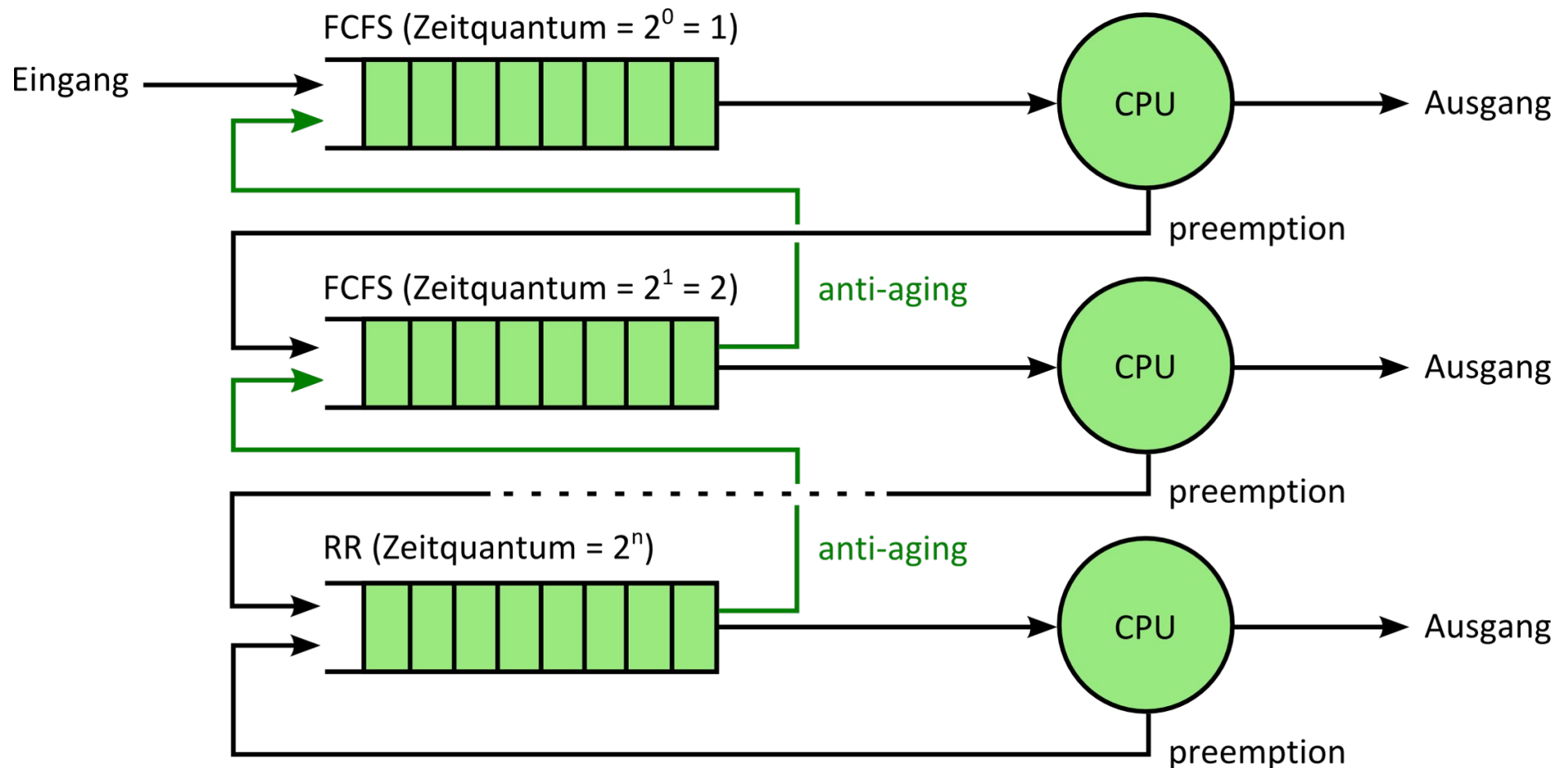
$$R = \frac{w + s}{s}$$

- 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 – Ablaufplanungsmodell



Diskussion: Prioritäten

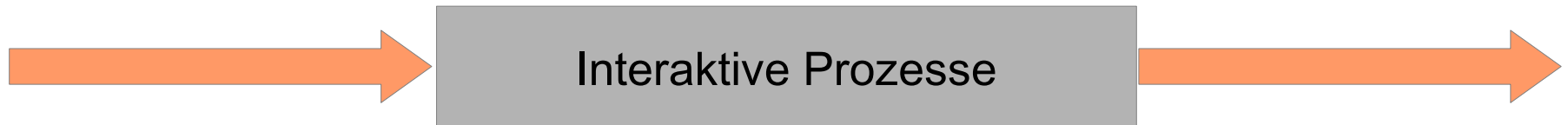
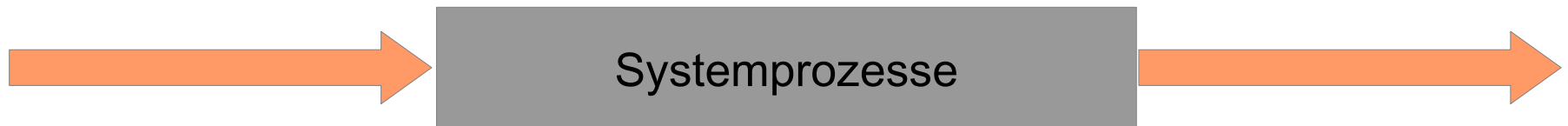
- Prozess-„Vorrang“, der Zuteilungsentscheidungen maßgeblich beeinflusst
- **Statische Prioritäten** werden zum Zeitpunkt der Prozesserzeugung festgelegt:
 - Wert kann im weiteren Verlauf nicht mehr verändert werden
 - erzwingen **deterministische Ordnung** zwischen Prozessen
- **Dynamische Prioritäten** 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

höchste Priorität



niedrigste Priorität

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:

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

- 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.