Betriebssysteme I

WS 2019/2020

Roland Wismüller
Betriebssysteme / verteilte Systeme
roland.wismueller@uni-siegen.de
Tel.: 0271/740-4050, Büro: H-B 8404

Stand: 12. Dezember 2019

Betriebssysteme I

WS 2019/2020

5 Scheduling

Inhalt:

- Einführung
- Kriterien für das Scheduling
- Scheduling-Verfahren: allgemeine Aspekte
- Scheduling-Algorithmen

- Tanenbaum 2.5
- Stallings 9
- Nehmer/Sturm 5.3

5.1 Einführung

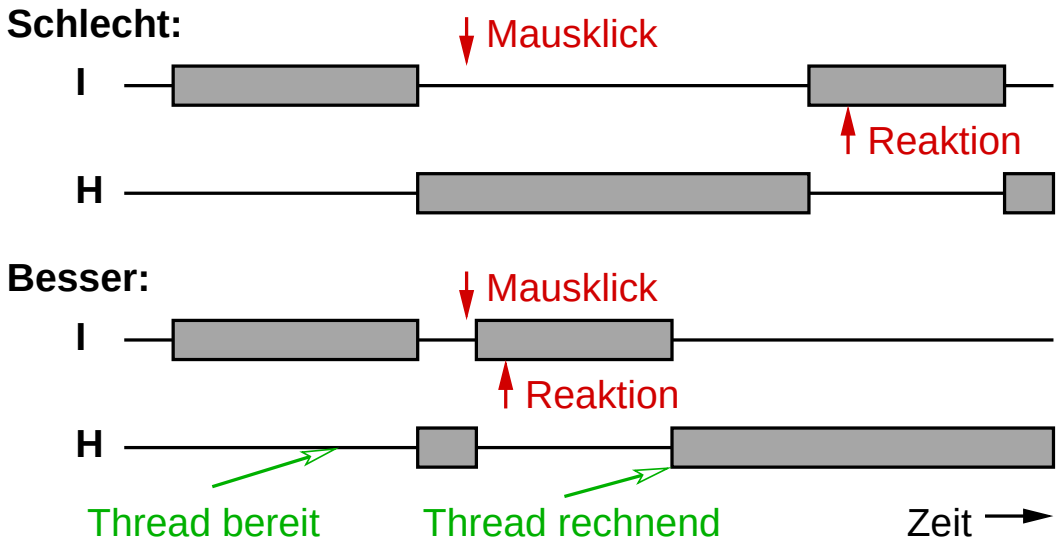
Teilaufgabe des BS: Mehrprogammbetrieb

- „Gleichzeitige“ Abarbeitung mehrerer Threads (und damit auch mehrerer Programme) im schnellen Wechsel
- Bisher behandelt:
  - Mechanismus des Threadswechsels
- Jetzt: **Thread-Scheduling**
  - Auswahlstrategie: welcher Thread darf als nächstes wie lange (und ggf. auf welcher CPU) rechnen?
  - Verwaltung des Betriebsmittels Prozessor

- (Daneben: weitere Scheduling-Aufgaben, ☞ **6.3.3, 7.3**)

Scheduling beeinflußt Nutzbarkeit des Systems

- Beispiel: interaktiver Thread (I) und Hintergrundthread (H)
  - Darstellung als **Gantt-Diagramm**

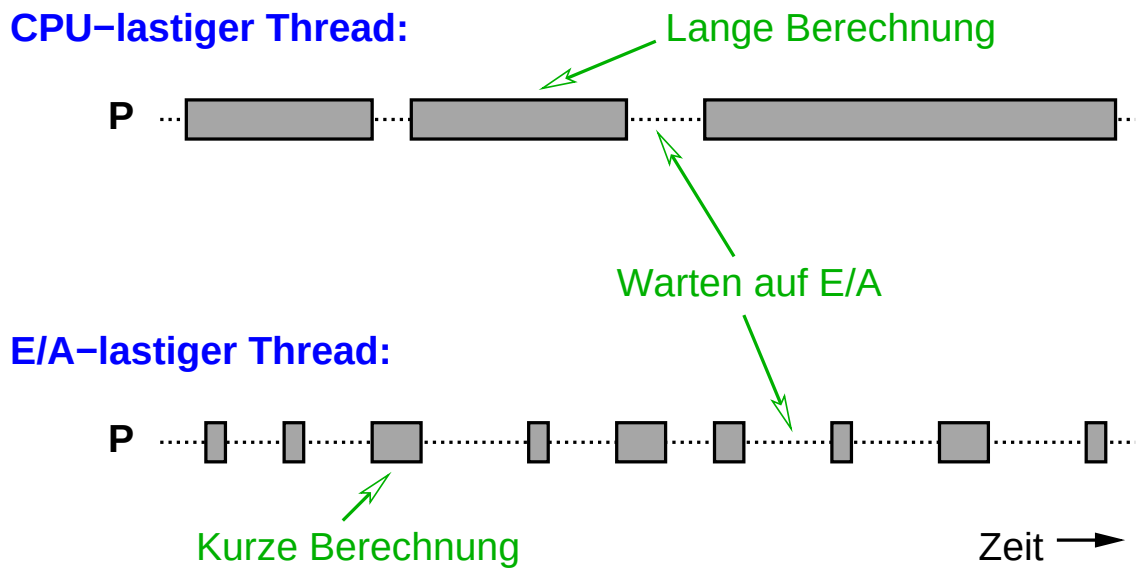


5.2 Kriterien für das Scheduling

Vorbemerkung: Betriebsarten eines Systems

- Stapelverarbeitungs-Betrieb
  - System arbeitet nicht-interaktive Aufträge ab
  - häufig bei Großrechnern
- Interaktiver Betrieb
  - typisch für Arbeitsplatzrechner, Server
- Echtzeitbetrieb
  - Steueraufgaben, Multimedia-Anwendungen

Vorbemerkung: Threadcharakteristiken



Kriterien für das Scheduling (Benutzersicht)

- Minimierung der Durchlaufzeit (Stapelbetrieb)
  - Zeit zwischen Eingang und Abschluß eines Jobs (inkl. aller Wartezeiten)
- Minimierung der Antwortzeit (Interaktiver Betrieb)
  - Zeit zwischen Eingabe einer Anfrage und Beginn der Ausgabe
- Einhaltung von Terminen (Realzeitbetrieb)
  - Ausgabe muß nach bestimmter Zeit erfolgt sein
- Vorhersehbarkeit
  - Durchlaufzeit / Antwortzeit i.W. unabhängig von Auslastung des Systems

Kriterien für das Scheduling (Systemsicht)

- Maximierung des Durchsatzes (Stapelbetrieb)
  - Anzahl der fertiggestellten Jobs pro Zeiteinheit
- Optimierung der Prozessorauslastung (Stapelbetrieb)
  - prozentualer Anteil der Zeit, in der Prozessor beschäftigt ist
- Balance
  - gleichmäßige Auslastung aller Ressourcen
- Fairness
  - vergleichbare Threads sollten gleich behandelt werden
- Durchsetzung von Prioritäten
  - Threads mit höherer Priorität bevorzugt behandeln

Scheduling-Kriterien nicht gleichzeitig erfüllbar

- z.B. Prozessorauslastung $\leftrightarrow$ kurze Antwortzeit
- Scheduling-Ziele und -Verfahren von Betriebsart abhängig
  - Stapelverarbeitung: hoher Durchsatz, gute Auslastung
    - bevorzuge Aufträge, die freie Ressourcen nutzen
  - Interaktiver Betrieb: kurze Antwortzeiten
    - bevorzuge Threads, die auf E/A (Benutzereingabe) gewartet haben und nun rechenbereit sind
  - Echtzeitbetrieb: Einhaltung von Zeitvorgaben
    - bevorzuge Threads, deren Ausführungsfristen ablaufen

Ebenen des Schedulings

- Langfristiges Scheduling (Eingangs-Scheduler)
  - bei Systemen mit Stapelverarbeitung von Jobs:
    - welcher Job wird als nächstes zugelassen?
      D.h. wann werden Prozesse für den Job erzeugt?
  - Ziel z.B. Mischung aus CPU- und E/A-lastigen Prozessen
- Mittelfristiges Scheduling (Speicher-Scheduler)
  - Auslagern und Suspendieren von Prozessen (z.B. bei Speicherengpässen)
  - legt Multiprogramming-Grad fest
- Kurzfristiges Scheduling (CPU-Scheduler)
  - Zuteilung der CPU(s) an bereite Threads

Nicht-präemptives und präemptives Scheduling

- **Nicht-präemptives Scheduling**
  - Thread darf so lange rechnen, bis er freiwillig die CPU aufgibt oder blockiert
  - sinnvoll bei Stapelverarbeitung und teilw. Echtzeitsystemen
- **Präemptives Scheduling**
  - Scheduler kann einem Thread die CPU zwangsweise entziehen
    - wenn ein anderer Thread (mit höherer Priorität) rechenbereit geworden ist
    - nach Ablauf einer bestimmten Zeit
  - unterstützt interaktive Systeme und Echtzeitsysteme

Scheduling-Zeitpunkte (CPU-Scheduler)

- Bei Beendigung eines Threads
- Bei freiwilliger CPU-Aufgabe eines Threads
- Bei Blockierung eines Threads
  - Grund der Blockierung kann/sollte berücksichtigt werden
  - z.B. bei P()-Operation: weise CPU dem Thread zu, der Semaphor belegt $\Rightarrow$ kürzere Blockierung
- Bei Erzeugung eines Threads
- Bei E/A-Interrupt
  - evtl. werden blockierte Threads rechenbereit
- Regelmäßig bei Timer-Interrupt

} nur bei prä−emptivem Scheduling

5.4 Scheduling-Algorithmen

- Legen fest, welcher Thread auf einer CPU als nächstes ausgeführt wird und wie lange er rechnen darf
- Bei Multiprozessor-Systemen prinzipiell:
  - jede CPU führt Algorithmus unabhängig von den anderen aus
  - Zugriffe auf Bereit-Warteschlange unter wechselseitigem Ausschluß
- Detailaspekt: ***Cache-Affinity*** / ***Affinity Scheduling***
  - ein einmal auf einer CPU ausgeführter Thread sollte nach Möglichkeit auf dieser CPU bleiben
    - Daten des Threads sind im Cache dieser CPU!
  - jeder Thread erhält eine (oder mehrere) bevorzugte CPU(s)
  - einfache Realisierung: getrennte Warteschlangen für jede CPU
    - falls leer: Warteschlangen anderer CPUs inspizieren

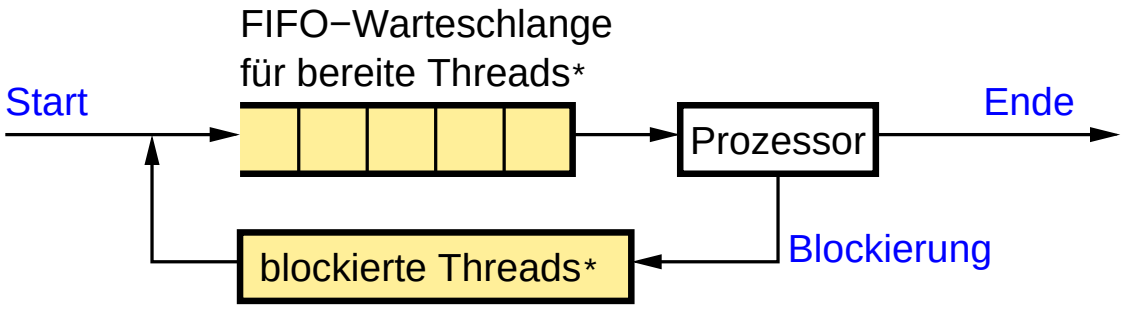
Anmerkungen zu Folie 262:

Etwas mehr zum Thema Multiprozessor-Scheduling findet sich im Tanenbaum-Buch, Kap. 8.1.4.

5.4 Scheduling-Algorithmen ...

5.4.1 *First Come First Served* (FCFS)

- Nicht-präemptives Verfahren



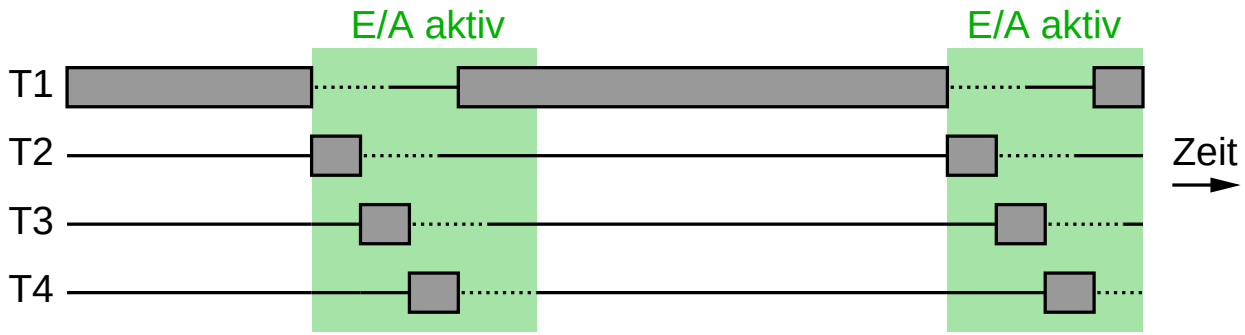
- Der am längsten wartende bereite Thread* darf als nächstes rechnen
  - nach Aufhebung einer Blockierung reiht sich ein Thread* wieder hinten in die Warteschlange ein

* bzw. Job(s) bei Stapelbetrieb

(Animierte Folie)

Diskussion

- Sehr einfacher Algorithmus
- Stellt gute CPU-Auslastung sicher
- Vorwiegend für Stapelverarbeitung
- Durchlaufzeit wird nicht optimiert (siehe gleich: SJF)
- Balance evtl. schlecht durch Convoy-Effekt



5.4.2 *Shortest Job First* (SJF)

- Ziel: Optimierung der Durchlaufzeit
- Strategie: kürzester Job wird zuerst gerechnet
  - Dauer muß vorab bekannt sein (bei Stapelbetrieb i.a. erfüllt)
- SJF ist beweisbar optimal, falls alle Jobs gleichzeitig vorliegen
  - in der Regel: Jobs treffen nacheinander ein, Scheduler kann nur die Jobs berücksichtigen, die bereits bekannt sind
- Einfachster Fall: nicht-präemptiv, keine Blockierungen durch E/A
- In präemptiver Variante und bei Blockierungen durch E/A:
  - betrachte **Rest**laufzeiten
- Variante für interaktive Systeme:
  - betrachte CPU-Burst als Job, mit Schätzung der Dauer

Anmerkungen zu Folie 265:

SJF für interaktive Systeme

Die CPU wird dabei an den Thread mit dem kürzesten CPU-Burst vor der nächsten Blockierung (Interaktion) zugewiesen. Da die Dauer dieses CPU-Bursts aber vorher nicht bekannt ist, werden Schätzungen verwendet, die auf gemessenen Zeiten der bisherigen CPU-Bursts basieren.

Meist wird ein exponentieller, gleitender Mittelwert eingesetzt (*Aging*):

$$S_{n+1} = \alpha T_n + (1-\alpha) S_n \quad \text{mit } \alpha \in [0,1]$$

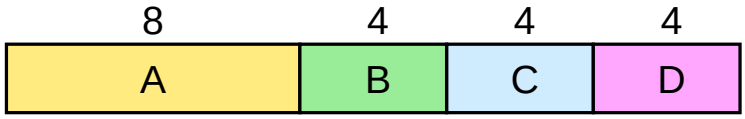
Dabei ist S_{n+1} der neue Mittelwert, T_n die gemessene Länge des letzten CPU-Burst und S_n der bisheriger Mittelwert.

Ein Meßwert wirkt sich mit zunehmendem Alter immer weniger auf den Mittelwert aus, wobei der Faktor α bestimmt, wie stark das Gewicht des Meßwerts mit seinem Alter abnimmt: ein Meßwert T_i geht in den Mittelwert S_n mit dem Gewicht $\alpha(1-\alpha)^{n-i}$ ein ($i \leq n$).

5.4.2 *Shortest Job First* (SJF) ...

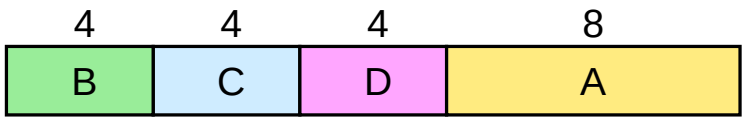
Beispiel (alle Jobs liegen gleichzeitig vor)

Vier Jobs in FCFS−Reihenfolge



Mittlere Durchlaufzeit:
(8+12+16+20)/4 = 14

Dieselben Jobs in SJF−Reihenfolge

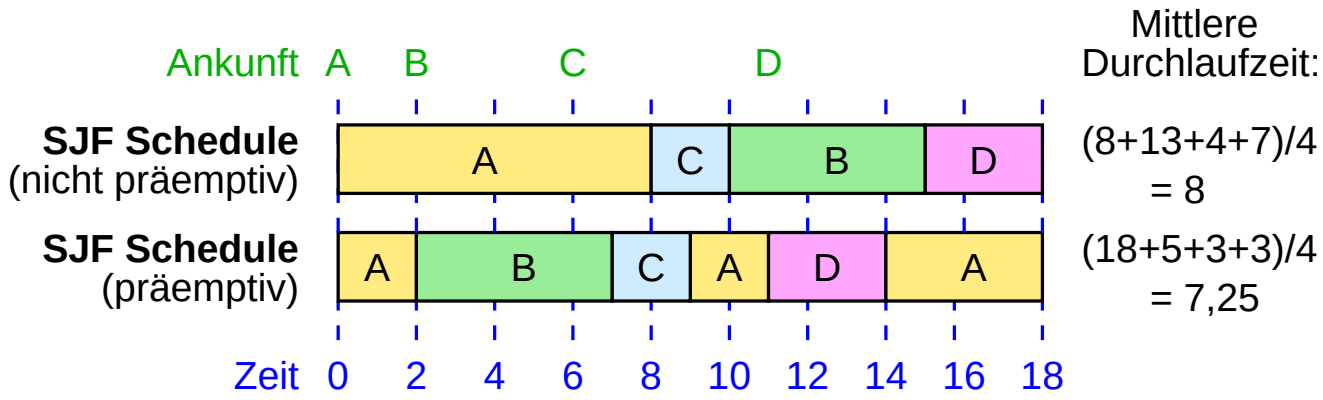


Mittlere Durchlaufzeit:
(4+8+12+20)/4 = 11

(Animierte Folie)

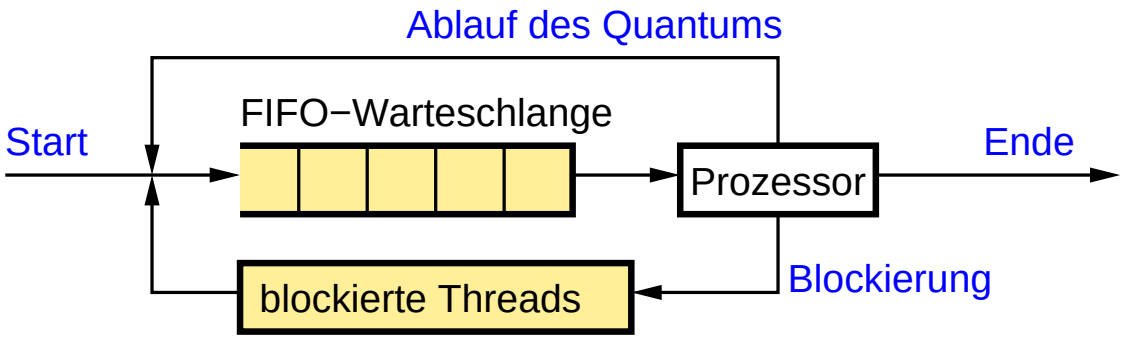
Beispiel (die Jobs treffen nacheinander ein)

Job	Ankunftszeit	Bedienzeit
A	0	8
B	2	5
C	6	2
D	11	3



5.4.3 *Round Robin* (RR), Zeitscheibenverfahren

- Präemtive Variante von FCFS
- Jeder Thread darf höchstens eine bestimmte Zeit (**Quantum**, **Zeitscheibe**, ***Time Slice***) rechnen



Diskussion

- Einfach zu realisieren
  - FIFO-Warteschlange aller rechenbereiten Threads und Timer-Interrupt
- Frage: Länge des Quantums
  - kurzes Quantum:
    - kurze Antwortzeiten
    - schlechte CPU-Nutzung durch häufige Threadwechsel
  - langes Quantum: umgekehrt
  - Praxis: 10 - 100 ms
- RR ist nicht fair:
  - E/A-lastige Threads werden benachteiligt

Betriebssysteme I

WS 2019/2020

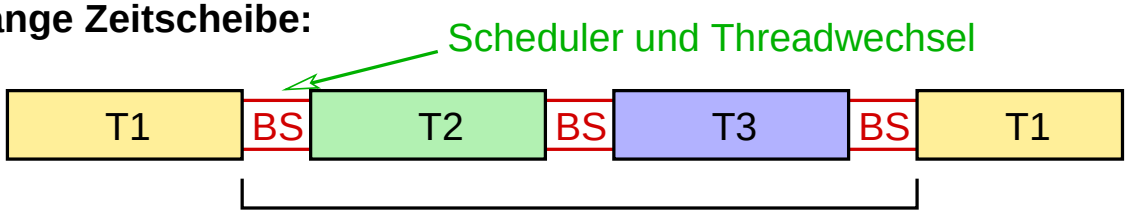
19.12.2019

Roland Wismüller
Betriebssysteme / verteilte Systeme
roland.wismueller@uni-siegen.de
Tel.: 0271/740-4050, Büro: H-B 8404

Stand: 12. Dezember 2019

Zeitscheibenlänge

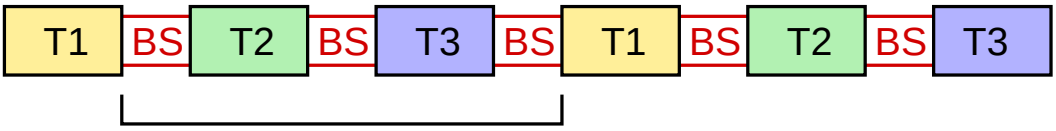
Lange Zeitscheibe:



gute Prozessornutzung, hohe Antwortzeit

Zeit

Kurze Zeitscheibe:

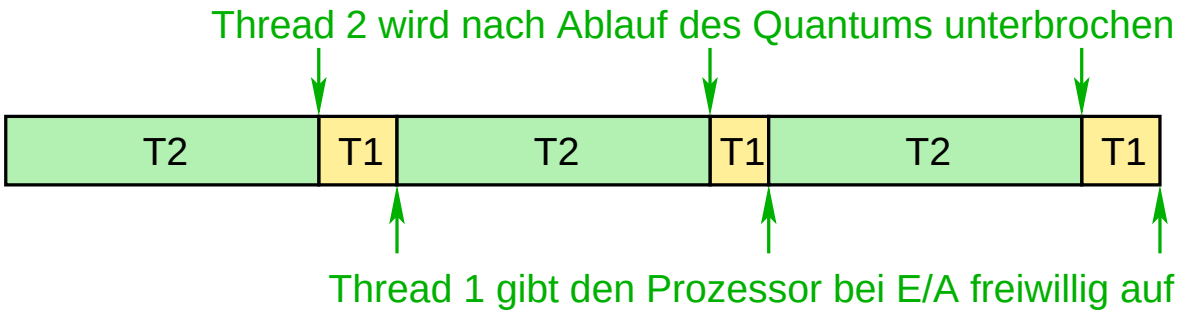


kurze Antwortzeit, schlechte Prozessornutzung

Fairness

T1 E/A−lastiger Thread

T2 CPU−lastiger Thread



➥ Thread 1 ist gegenüber Thread 2 benachteiligt

5.4.4 Prioritätenbasiertes Scheduling

- Jeder Thread erhält eine (unterschiedliche) Priorität
  - CPU wird an den Thread mit der höchsten Priorität zugeteilt
- I.d.R. präemptiv
- Statische Prioritäten
  - Priorität eines Threads bei Erzeugung festgelegt
  - häufig bei Realzeit-Systemen
- Dynamische Prioritäten
  - Priorität kann laufend geändert werden, abhängig vom Verhalten des Threads (**Feedback Scheduling**)
  - z.B.: Priorität bestimmt durch Länge des letzten CPU-Bursts des Threads ($\sim$ SJF)

5.4.5 *Multilevel* Scheduling

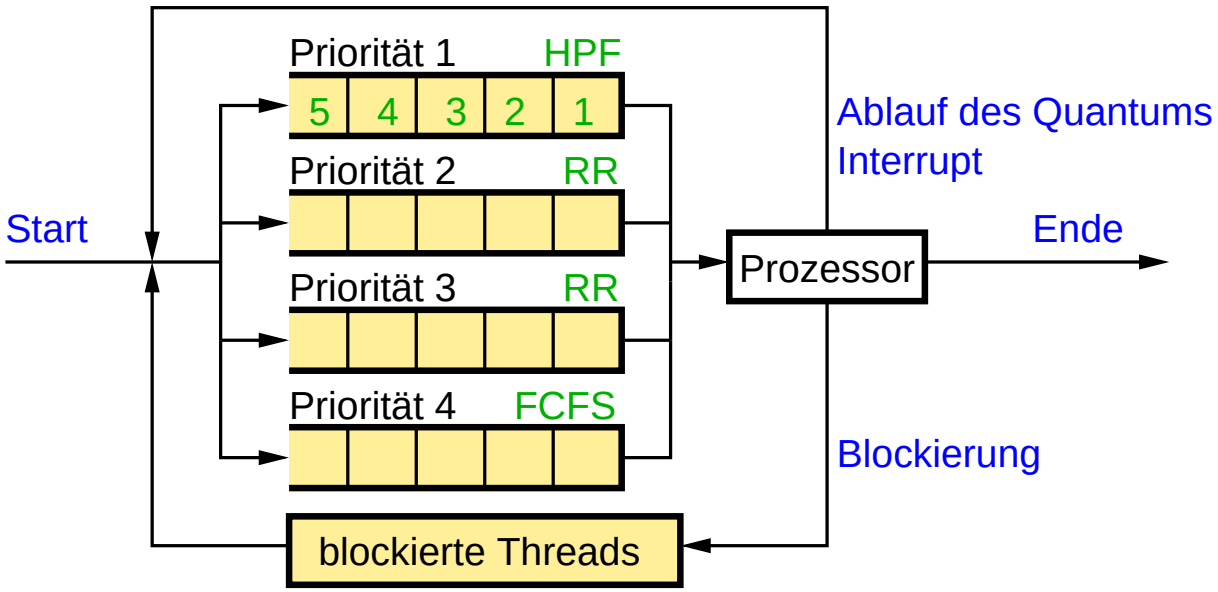
- Mehrere Warteschlangen für bereite Threads
- Jede Warteschlange kann eigene Auswahlstrategie besitzen
- Zusätzlich: Strategie zur Auswahl der **aktuellen** Warteschlange
  - z.B. Prioritäten oder Round-Robin
- Statische Verfahren:
  - Thread wird fest einer Warteschlange zugeordnet
- Dynamische Verfahren:
  - Thread kann in Abhängigkeit seines Verhaltens zwischen Warteschlangen wechseln

Beispiel: Statisches *Multilevel* Scheduling

- Unterstützung verschiedener Betriebsarten in einem System
- Threads werden in Prioritäts**klassen** eingeteilt
  - pro Prioritätsklasse eine Warteschlange
  - unterschiedliche Scheduling-Strategien innerhalb der Warteschlangen

Priorität	Threadklasse	Strategie
1	Echtzeitthreads (Multimedia)	Prioritäten
2	Interaktive Threads	RR
3	E/A-intensive Threads	RR
4	Rechenintensive Stapel-Jobs	FCFS

Beispiel: Statisches *Multilevel* Scheduling ...

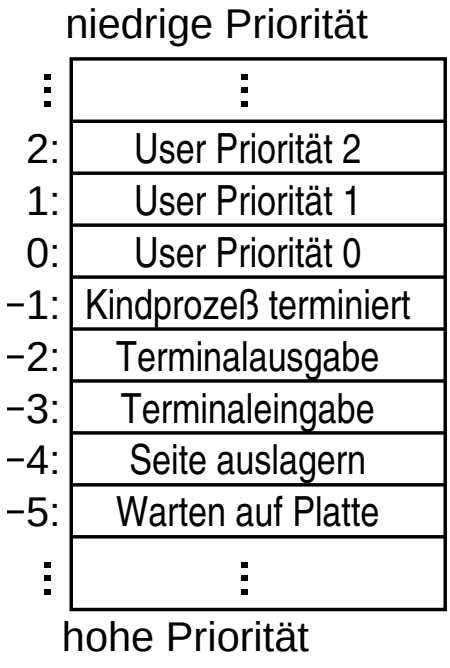


Beispiel: *Multilevel Feedback* Scheduling

- Dynamische Prioritäten und variable Zeitscheibenlänge
- Mehrere Warteschlangen mit unterschiedlicher Priorität
  - innerhalb einer Warteschlange: *Round Robin*
  - bei niedrigerer Priorität: längeres Quantum
- Falls Thread Quantum aufbraucht: erniedrigen der Priorität
  - CPU-lastiger Thread erhält längeres Quantum, wird seltener unterbrochen
- Sonst: Priorität nicht verändern bzw. wieder erhöhen
  - E/A-lastiger (bzw. interaktiver) Thread erhält bevorzugt die CPU, aber nur für kurze Zeit

Multilevel Feedback Scheduling in BSD-Unix

- Priorisierte Warteschlangen mit *Round Robin*
- Threads, die durch BS-Aufruf im BS-Kern blockiert sind, erhalten hohe (negative) Priorität
  - nach Ende der Blockierung: Thread erhält bevorzugt die CPU, Priorität wird dann wieder auf alten Wert gesetzt
- Anpassung der normalen User-Priorität je nach CPU-Nutzung (Aging-Verfahren)



Anmerkungen zu Folie 277:

Die normale User-Priorität bestimmt sich aus dem exponentiellen gleitenden Mittelwert der CPU-Nutzung: je höher die CPU-Nutzung desto niedriger die Priorität.

277-1

5.4.5 *Multilevel* Scheduling ...

Multilevel Feedback Scheduling in Windows NT / Vista

- 32 Prioritätsklassen
  - Priorität 16-31 (höchste)
    - Echtzeitklasse, statische Priorität
  - Priorität 1-15
    - normale Threads, dynamische Priorität
    - starke Prioritätserhöhung bei Benutzereingabe, moderatere Erhöhung bei Ende einer E/A,
      - danach schrittweise Reduktion zum Ausgangswert
  - Priorität 0 (niedrigste)
    - *Idle*-Thread
- Innerhalb einer Klasse: *Round-Robin*

5.5 Zusammenfassung / Wiederholung

- Scheduling
  - Entscheidung welcher Thread wann wie lange (und ggf. auch welcher CPU) rechnen darf
  - Unterschiedliche Anforderungen, je nach Sichtweise und Betriebsmodus
  - Nicht-präemptives und präemptives Scheduling
    - präemptiv: BS kann einem Thread die CPU zwangsweise entziehen
- Scheduling-Algorithmen
  - FCFS: FIFO-Warteschlange rechenbereiter Threads, nicht-präemptiv
  - SJF: *Shortest Job First*
    - optimiert Durchlaufzeit von Jobs

5.5 Zusammenfassung / Wiederholung ...

- Scheduling-Algorithmen ...
  - *Round Robin* (RR): präemptive Version von FCFS
    - Threads dürfen nur bestimmte Zeit rechnen
  - Prioritätenbasiertes Scheduling:
    - nur der Thread mit höchster Priorität bekommt CPU (bzw. die n höchstprioren Threads bei n CPUs)
  - *Multilevel* Scheduling
    - mehrere Warteschlangen mit unterschiedlicher Auswahlstrategie
    - statisches *Multilevel* Scheduling
      - feste Zuordnung Thread $\rightarrow$ Warteschlange
    - *Multilevel Feedback* Scheduling
      - dynamische Zuordnung Thread $\rightarrow$ Warteschlange