

# Betriebssysteme (BS)

## VL 9 – Fadenverwaltung

**Volkmar Sieh / Daniel Lohmann**

Lehrstuhl für Informatik 4  
Verteilte Systeme und Betriebssysteme

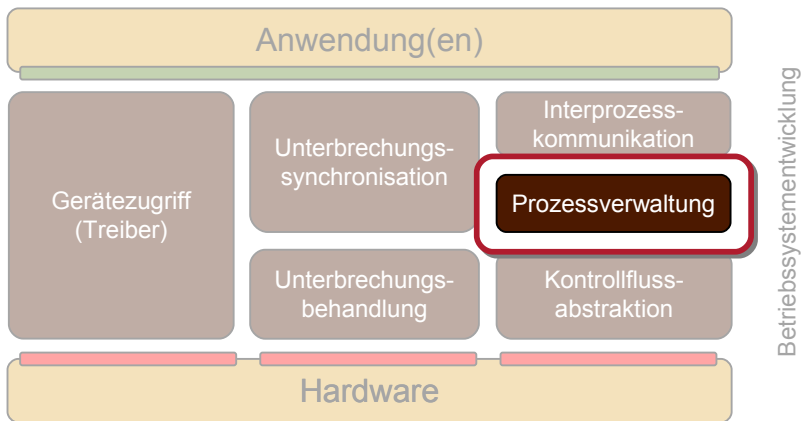
Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen Nürnberg

WS 19 – 11. Dezember 2019

[https://www4.cs.fau.de/Lehre/WS19/V\\_BS](https://www4.cs.fau.de/Lehre/WS19/V_BS)



# Überblick: Einordnung dieser VL



# Agenda

---

Einordnung  
Betriebssystemfäden  
Motivation  
Kooperativer Fadenwechsel  
Präemptiver Fadenwechsel  
Ablaufplanung  
Zusammenfassung



Einordnung

**Betriebssystemfäden**

Motivation

Kooperativer Fadenwechsel

Präemptiver Fadenwechsel

Ablaufplanung

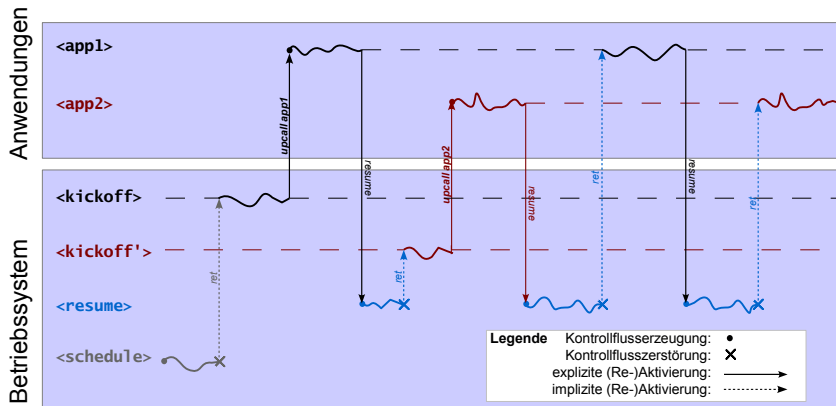
Zusammenfassung



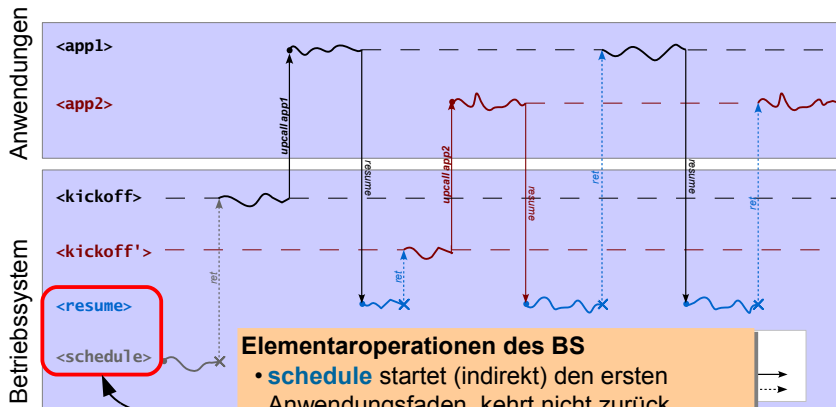
- Ansatz: Anwendungen „unbemerkt“ als eigenständige Fäden ausführen
  - eine BS-Koroutine pro Anwendung
  - Aktivierung der Anwendung erfolgt durch Aufruf
  - Koroutinenwechsel erfolgt indirekt durch Systemaufruf
- Vorteile
  - unabhängige Anwendungsentwicklung
  - Ablaufplanung (*Scheduling*) wird zentral implementiert
  - bei E/A kann eine Anwendung einfach vom BS „blockiert“ und später wieder „geweckt“ werden
  - zusätzlicher Entzugsmechanismus (*preemption mechanism*) kann die Monopolisierung der CPU verhindern



# Kooperativer Fadenwechsel



# Kooperativer Fadenwechsel

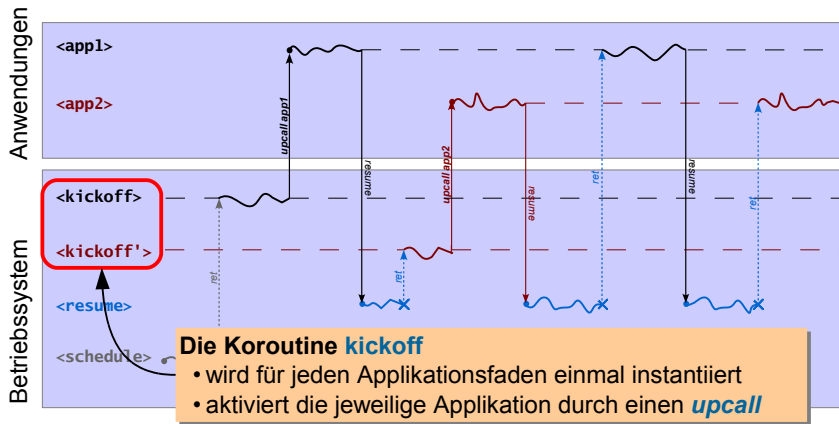


## Elementaroperationen des BS

- **schedule** startet (indirekt) den ersten Anwendungsfaden, kehrt nicht zurück.
- **resume** wechselt von einem Anwendungsfaden zum nächsten.

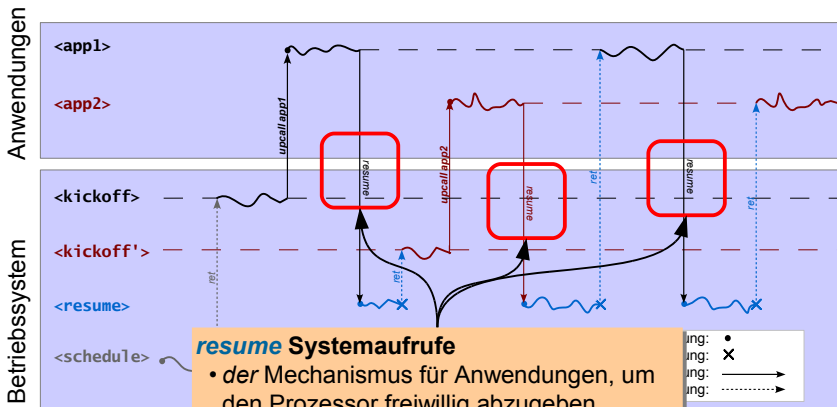
Beide treffen eine **Scheduling-Entscheidung**.

# Kooperativer Fadenwechsel





# Kooperativer Fadenwechsel



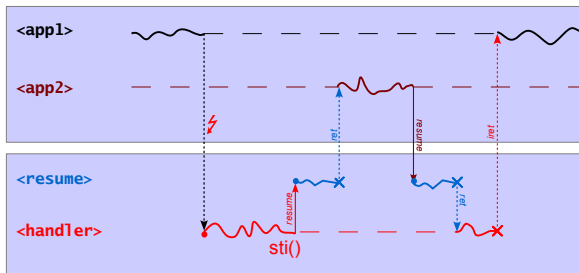
## resume Systemaufrufe

- der Mechanismus für Anwendungen, um den Prozessor freiwillig abzugeben
- ggf. verbunden mit einem Moduswechsel der CPU (in diesem Fall wird noch ein *Wrapper* benötigt)



# Präemptiver Fadenwechsel

- CPU-Entzug durch Zeitgeberunterbrechung
  - die Unterbrechung ist „nur“ ein impliziter Aufruf
  - Behandlungsroutine kann *resume* aufrufen



**Achtung:** So geht es normalerweise *nicht*, denn *resume* trifft eine **Scheduling-Entscheidung**. Bei den notwendigen Datenstrukturen ist **Unterbrechungssynchronisation** zu beachten!



Einordnung

Betriebssystemfäden

Motivation

Kooperativer Fadenwechsel

Präemptiver Fadenwechsel

**Ablaufplanung**

Grundbegriffe und Klassifizierung

unter Windows

unter Linux

Zusammenfassung



## ■ **Scheduler**

- trifft **strategische Entscheidungen** zur Ablaufplanung
- betrachtet wird immer eine Menge lauffähiger Fäden
  - die Fäden sind allgemein in einer CPU-Warteschlange aufgereiht
  - die Sortierung erfolgt entsprechend der **Scheduling-Strategie**
- laufende Faden ist immer von der Entscheidung mit betroffen
  - dazu muss der laufende Faden jederzeit „greifbar“ sein
  - vor der Umschaltung ist der laufende Faden zu vermerken
- ein ausgewählter neuer Faden wird dem *Dispatcher* übergeben

## ■ **Dispatcher**

- setzt die Entscheidungen durch und schaltet Fäden (mit Hilfe von *resume*) um



# Ablaufplanung: Einteilung ...

---

- nach der **Betriebsmittelart**  
der zeitweilig belegten Hardware-Ressourcen
- nach der **Betriebsart**  
des zu bedienenden/steuernden Rechnersystems
- nach dem **Zeitpunkt**  
der Erstellung des Ablaufplans
- nach der **Vorhersagbarkeit**  
von Zeitpunkt und Dauer von Prozessabläufen
- nach dem **Kooperationsverhalten**  
der (Benutzer/System-) Programme
- nach der **Rechnerarchitektur**  
des Systems
- nach der **Ebene der Entscheidungsfindung**  
bei der Betriebsmittelvergabe



### ■ **CPU scheduling**

des Betriebsmittels "CPU"

- die Prozessanzahl zu einem Zeitpunkt ist höher als die Prozessoranzahl
- ein Prozessor ist zwischen mehreren Prozessen zu multiplexen
- Prozesse werden dem Prozessor über eine Warteschlange zugeteilt

### ■ **I/O scheduling**

des Betriebsmittels "Gerät", speziell: "Platte"

- gerätespezifische Einplanung der von Prozessen abgesetzten E/A-Aufträge
- *disk scheduling*, z.B., berücksichtigt typischerweise drei Faktoren:
  - (1) Positionszeit, (2) Rotationszeit, (3) Transferzeit
- Geräteparameter und Gerätezustand bestimmen die nächste E/A-Aktion
- die getroffenen Entscheidungen sind ggf. nicht konform zum *CPU scheduling*



### ■ **batch scheduling**

interaktionsloser bzw. unabhängiger Programme

- nicht-verdrängende bzw. verdrängende Verfahren mit langen Zeitscheiben
- Minimierung der Kontextwechselanzahl

### ■ **interactive scheduling**

interaktionsreicher bzw. abhängiger Programme

- ereignisgesteuerte, verdrängende Verfahren mit kurzen Zeitscheiben
- Antwortzeitminimierung durch Optimierung der Systemaufrufe

### ■ **real-time scheduling**

zeitkritischer bzw. abhängiger Programme

- ereignis- oder zeitgesteuerte **deterministische** Verfahren
- Garantie der Einhaltung umgebungsbedingter Zeitvorgaben
- Rechtzeitigkeit ist entscheidend und nicht Geschwindigkeit



### ■ **online scheduling**

dynamisch, **während** der eigentlichen Ausführung

- interaktive und Stapelsysteme, aber auch weiche Echtzeitsysteme

### ■ **offline scheduling**

statisch, **vor** der eigentlichen Ausführung

- wenn die Komplexität eine Ablaufplanung im laufenden Betrieb verbietet
  - Einhaltung aller Zeitvorgaben garantieren: ein NP-vollständiges Problem
  - kritisch, wenn auf jede abfangbare katastrophale Situation zu reagieren ist
- Ergebnis der Vorberechnung ist ein vollständiger Ablaufplan (in Tabellenform)
  - (semi-) automatisch erstellt per Quelltextanalyse spezieller "Übersetzer"
  - oft zeitgesteuert abgearbeitet/ausgeführt als Teil der Prozessabfertigung
- die Verfahren sind zumeist beschränkt auf strikte Echtzeitsysteme





## ■ **deterministic scheduling**

bekannter, exakt vorberechneter Prozesse

- Prozesslaufzeiten/-termine sind bekannt, sie wurden ggf. "offline" berechnet
- die genaue Vorhersage der CPU-Auslastung ist möglich
- das System garantiert die Einhaltung der Prozesslaufzeiten/-termine
- die Zeitgarantien gelten unabhängig von der jeweiligen Systemlast

## ■ **probabilistic scheduling**

unbekannter Prozesse

- Prozesslaufzeiten/-termine bleiben unbestimmt
- die (wahrscheinliche) CPU-Auslastung kann lediglich abgeschätzt werden
- das System kann Zeitgarantien nicht geben und auch nicht einhalten
- Zeitgarantien sind durch Anwendungsmaßnahmen bedingt erreichbar



### ■ **cooperative scheduling**

voneinander abhängiger Prozesse

- Prozesse müssen die CPU freiwillig abgeben, zugunsten anderer Prozesse
- die Programmausführung muss (direkt/indirekt) **Systemaufrufe** bewirken
- die Systemaufrufe müssen (direkt/indirekt) den *Scheduler* aktivieren

### ■ **preemptive scheduling**

voneinander unabhängiger Prozesse

- Prozessen wird die CPU entzogen, zugunsten anderer Prozesse
- **Ereignisse** können die Verdrängung des laufenden Prozesses bewirken
- die Ereignisverarbeitung aktiviert (direkt/indirekt) den *Scheduler*



### ■ **uni-processor scheduling**

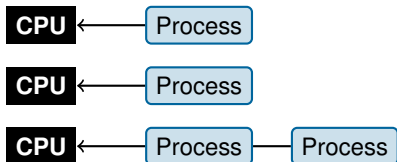
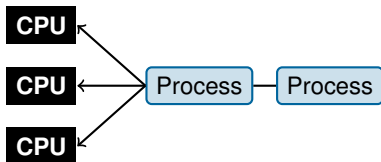
in Mehr{programm,prozess}systemen

- die Verarbeitung von Prozessen kann nur pseudo-parallel erfolgen

### ■ **multi-processor scheduling**

in Systemen mit gemeinsamen Speicher

- die parallele Verarbeitung von Prozessen wird ermöglicht
  - alle Prozessoren arbeiten eine globale Warteschlange ab
  - jeder Prozessor arbeitet seine lokale Warteschlange ab



## ... nach der Ebene

---

- **long-term scheduling** [s – min]  
kontrolliert den Grad an Mehrprogrammbetrieb
  - Benutzer Systemzugang gewähren, Programme zur Ausführung zulassen
  - Prozesse dem *medium-* bzw. *short-term scheduling* zuführen
- **medium-term scheduling** [ms – s]  
als Teil der Ein-/Auslagerungsfunktion
  - Programme zwischen Vorder- und Hintergrundspeicher hin- und herbewegen
  - *swapping*: auslagern (*swap-out*), einlagern (*swap-in*)
- **short-term scheduling** [ $\mu$ s – ms]  
regelt die Prozessorzuteilung an die Prozesse
  - ereignisgesteuerte Ablaufplanung: Unterbrechungen, Systemaufrufe, Signale
  - Blockierung bzw. Verdrängung des laufenden Prozesses



# Scheduling-Kriterien

- **Antwortzeit** Minimierung der Zeitdauer von der Auslösung einer Systemanforderung bis zur Entgegennahme der Rückantwort, bei gleichzeitiger Maximierung der Anzahl interaktiver Prozesse.
- **Durchlaufzeit** Minimierung der Zeitdauer vom Starten eines Prozesses bis zu seiner Beendigung, d.h., der effektiven Prozesslaufzeit und aller Prozesswartezeiten.
- **Termineinhaltung** Starten und/oder Beendigung eines Prozesses zu einem fest vorgegebenen Zeitpunkt.
- **Vorhersagbarkeit** Deterministische Ausführung des Prozesses unabhängig von der jeweils vorliegenden Systemlast.
- **Durchsatz** Maximierung der Anzahl vollendeter Prozesse pro vorgegebener Zeiteinheit. Liefert ein Maß für die geleistete Arbeit im System.
- **Prozessorauslastung** Maximierung des Prozentanteils der Zeit, während der die CPU Prozesse ausführt, d.h., "sinnvolle" Arbeit leistet.
- **Gerechtigkeit** Gleichbehandlung der auszuführenden Prozesse und Zusicherung, den Prozessen innerhalb gewisser Zeiträume die CPU zuzuteilen.
- **Dringlichkeiten** Bevorzugte Verarbeitung des Prozesses mit der höchsten (statisch/dynamisch zugeordneten) Priorität.
- **Lastausgleich** Gleichmäßige Betriebsmittelauslastung bzw. bevorzugte Verarbeitung der Prozesse, die stark belastete Betriebsmittel eher selten belegen.

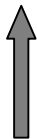


# Scheduling-Kriterien

- Antwortzeit
- Durchlaufzeit
- Termineinhaltung
- Vorhersagbarkeit
- Durchsatz
- Prozessorauslastung
- Gerechtigkeit
- Dringlichkeiten
- Lastausgleich

## Benutzerorientierte Kriterien

- wahrgenommenes Systemverhalten
- bestimmen die Akzeptanz durch Benutzer



beeinflussen

## Systemorientierte Kriterien

- effiziente Nutzung der Betriebsmittel
- bestimmen die Kosten des Rechnerbetriebs



# Kriterien bei typischen Betriebsarten

- allgemein (unabhängig von der Betriebsart)
  - Gerechtigkeit
  - Lastausgleich
- **Stapelsysteme**
  - Durchsatz
  - Durchlaufzeit
  - Prozessorauslastung
- **interaktive Systeme**
  - Antwortzeit  
(Proportionalität – Bearbeitungsdauer entspricht Erwartung)
- **Echtzeitsysteme**
  - Dringlichkeit
  - Termineinhaltung
  - Vorhersagbarkeit



Einordnung

Betriebssystemfäden

Motivation

Kooperativer Fadenwechsel

Präemptiver Fadenwechsel

**Ablaufplanung**

Grundbegriffe und Klassifizierung

unter Windows

unter Linux

Zusammenfassung





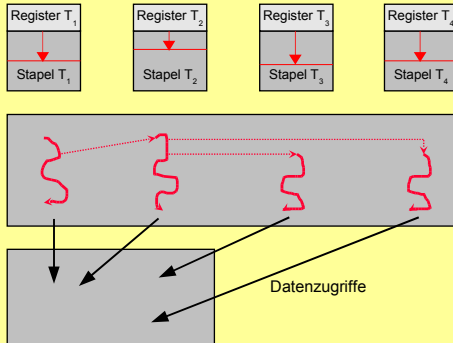
# Prozesse und Fäden in Windows

Stapel +  
Registersatz  
(1 je Faden)

Code

Gobale und  
statische Daten

*Prozess*



# Prozesse und Fäden in Windows

- Prozess: Umgebung und Adressraum für Fäden
  - Ein Win32 Prozess enthält immer mindestens einen Faden
  - Faden (engl. thread): Code ausführende Einheit
- Fadenimplementierung wird durch den NT Systemkern erbracht
  - *Usermode-Threads* möglich („*Fibers*“), aber unüblich
- „*Threads*“ bekommen vom *Scheduler* Rechenzeit zugeteilt



- Preemptives, prioritätengesteuertes Scheduling:
  - Thread mit höherer Priorität verdrängt Thread niedrigerer Priorität
    - Egal ob Thread sich im User- oder Kernelmode befindet
    - Die meisten Funktionen der Executive („Kernel“) sind ebenfalls als Threads implementiert
  - Round-Robin bei Threads gleicher Priorität
    - Zuteilung erfolgt reihum für eine Zeitscheibe (Quantum)
- Thread-Prioritäten
  - Derzeit 0 bis 31, aufgeteilt in drei Bereiche
    - Variable Priorities: 1 bis 15
    - Realtime Priorities: 16 bis 31
    - Priorität 0 ist reserviert für den Nullseiten-Thread
  - Threads der Executive verwenden maximal Priorität 23



# Zeitscheiben (Quantum)

	Kurze Quantumwerte		Lange Quantumwerte	
	Variabel	Fix	Variabel	Fix
Thread in HG-Prozess	6	18	12	36
Thread in VG-Prozess	12	18	24	36
Aktiver Thread in VG-Prozess	18	18	36	36

- Quantum wird vermindert
  - um den Wert 3 bei jedem Clock-Tick (alle 10 bzw. 15 msec)
  - um den Wert 1, falls Thread in den Wartezustand geht
- Länge einer Zeitscheibe: 20 – 180 msec



# Prioritätsklassen, relative Threadpriorität

## Process Priority Class

Relative Thread Priority		Idle	Below Normal	Normal	Above Normal	High	Realtime
		4	6	8	10	13	24
Time Critical	=15	15	15	15	15	15	31
Highest	+2	6	8	10	12	15	26
Above Normal	+1	5	7	9	11	14	25
Normal		4	6	8	10	13	24
Below Normal	-1	3	5	7	9	12	23
Lowest	-2	2	4	6	8	11	22
Idle	=1	1	1	1	1	1	16



## ■ *Variable Priorities* (1-15)

- Scheduler verwendet Strategien, um „wichtige“ Threads zu bevorzugen
  - *Quantum-Stretching* (Bevorzugung des aktiven GUI-Threads)
  - dynamische Anhebung (*Boost*) der Priorität für wenige Zeitscheiben bei Ereignissen
- Fortschrittsgarantie
  - Alle 3 bis 4 Sekunden bekommen bis zu 10 „benachteiligte“ Threads für zwei Zeitscheiben die Priorität 15
- Threadpriorität berechnet sich wie folgt (vereinfacht):

**Prozessprioritätsklasse + Threadpriorität + Boost**



## ■ *Realtime Priorities* (16-31)

- Reines prioritätengesteuertes Round-Robin
  - Keine Fortschrittsgarantie
  - Keine dynamische Anhebung
  - Betriebssystem kann negativ beeinflusst werden
  - Spezielles Benutzerrecht erforderlich (SeIncreaseBasePriorityPrivilege)
- Threadpriorität berechnet sich wie folgt:

**REALTIME\_PRIORITY\_CLASS + Threadpriorität**



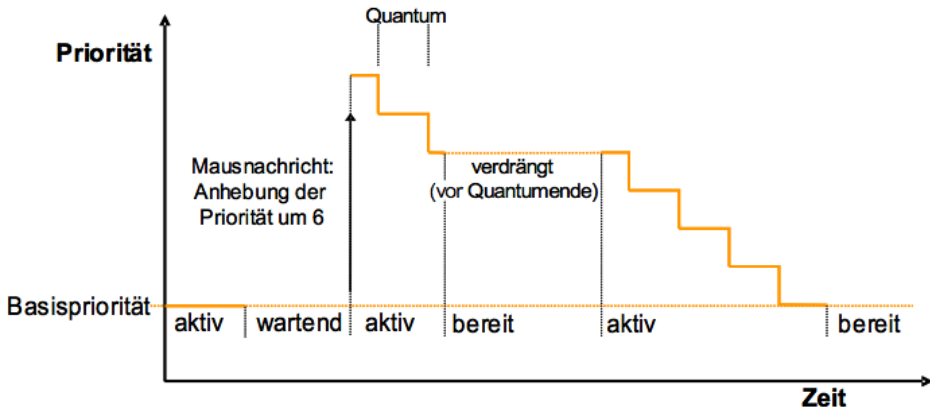
## ■ *Dynamic Boosts*

- Thread-Prioritäten werden vom System in bestimmten Situationen dynamisch angehoben (nicht bei `REALTIME_PRIORITY_CLASS`)
  - Plattenein/ausgabe abgeschlossen: +1
  - Maus-, Tastatureingabe: +6
  - Semaphore, Event, Mutex: +1
  - Andere Ereignisse (Netzwerk, Pipe,...) +2
  - Ereignis in Vordergrundapplikation +2
- Dynamic Boost wird „verbraucht“ (eine Stufe pro Quantum)



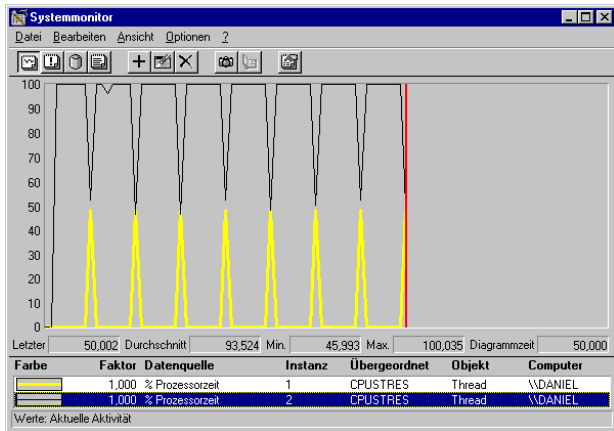


# Prioritätänderung nach einem Boost



# Der Balance-Set-Manager

- Etwa alle 3-4 Sekunden erhalten bis zu 10 „benachteiligte“ Threads für zwei Zeitscheiben die Priorität 15
  - Implementierung der Fortschrittsgarantie



# Auswahl des nächsten Threads (SMP)

Ziel: „gerechtes“ RoundRobin bei max. Durchsatz

Problem: Cache-Effekte

Affinität (Zuordnung von CPUs zu Thread):

- `hard_affinity`: Feste Zuordnung  
→ explizit durch `SetThreadAffinity()` zugewiesen
- `ideal_processor`: „Ideale“ Zuordnung  
→ implizit bei Erzeugung zugewiesen („zufällig“)  
→ änderbar mit `SetThreadIdealProcessor()`
- `soft_affinity`: Letzte CPU, auf welcher der Thread lief  
→ intern vom Scheduler verwaltet
- `last_run`: Zeitpunkt der letzten Zuweisung zu einer CPU  
→ intern vom Scheduler verwaltet

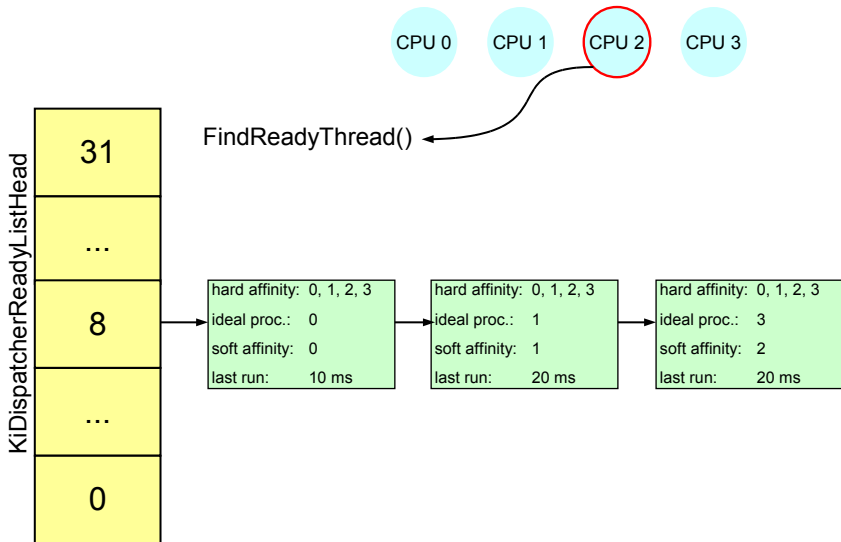


# Auswahl des nächsten Threads (SMP)

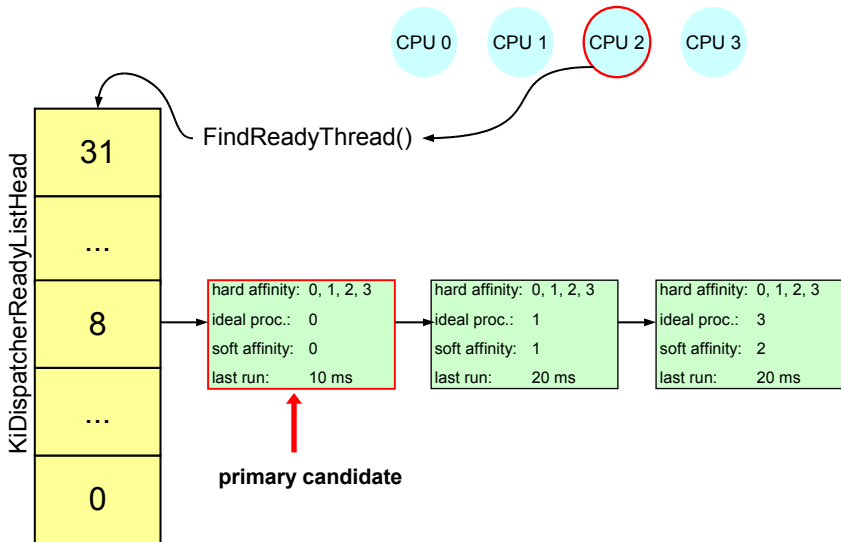
- Algorithmus: CPU  $n$  ruft FindReadyThread() auf
  - Wähle höchstpriorie, nicht-leere Warteschlange
  - Suche in dieser Warteschlange nach Thread, mit
    - `soft_affinity == n` oder
    - `ideal_processor == n` oder
    - `currentTime() - last_run > 2 Quantum` oder
    - `priority >= 24`
  - Sonst wähle Kopf der Warteschlange



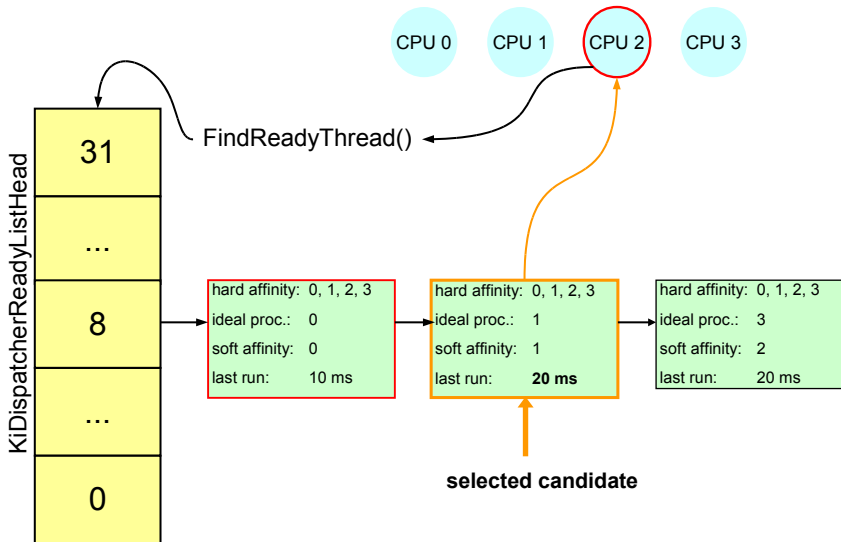
# Auswahl des nächsten Threads (SMP)



# Auswahl des nächsten Threads (SMP)



# Auswahl des nächsten Threads (SMP)



# Änderungen ab Windows 2003

---

- Eine ReadyQueue pro CPU
- Algorithmus: CPU n ruft FindReadyThread() auf
  - Wähle höchstpriorre, nicht-leere Warteschlange von CPU n
  - Wähle Kopf dieser Warteschlange
  - Falls ReadyQueue komplett leer ist, aktiviere Idle-Loop
  - Im Idle-Loop: Durchsuche ReadyQueue anderer CPUs





- **„interactive, probabilistic, online, preemptive, multiprocessor CPU scheduling“**
- Prioritätenmodell erlaubt feine Zuteilung der Prozessorzeit
  - Dynamische Anpassungen beachten
  - Usermode-Threads mit hohen Echtzeitprioritäten haben Vorrang vor allen System-Threads!
  - Executive ist im allgemeinen unterbrechbar
- Interaktive Threads können bevorzugt werden
  - Insbesondere GUI/Multimedia-zentrierte Threads
- Weitere Verbesserungen für SMP in Windows 2003



Einordnung

Betriebssystemfäden

Motivation

Kooperativer Fadenwechsel

Präemptiver Fadenwechsel

**Ablaufplanung**

Grundbegriffe und Klassifizierung

unter Windows

unter Linux

Zusammenfassung



# Linux Scheduler: Historie

- Kernel < 2.2: Ring-Warteschlange mit Round Robin
  - kein SMP Support
  - keine Echtzeitprioritäten
- Kernel  $\geq$  2.2: Erster SMP-Support
  - Einführung von *scheduling classes*
- Kernel  $\geq$  2.4:  $O(n)$  Scheduler
  - Mehr Fairness durch Scheduler-Epochen
  - Miese Leistung auf SMP-Systemen
- Kernel  $\geq$  2.5:  $O(1)$  Scheduler
  - Effiziente Epochenverwaltung durch *active* und *expired* Listen
  - Per-Core *runqueues* mit Lastausgleich
  - Viele Heuristiken zur Bevorzugung interaktiver Anwendungen
- Kernel  $\geq$  2.6.23: *Completely Fair Scheduler (CFS)*
  - Schlanker Scheduler, der die Rechenzeit "ideal fair" verteilt
  - Hierarchisches Scheduling durch *scheduler groups*

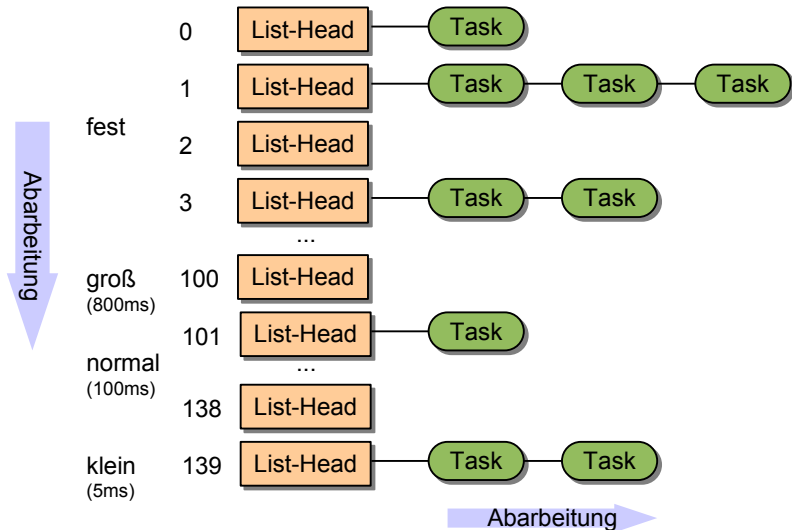


- sind die **Linux Kernel-Abstraktion** für ...
  - **UNIX Prozesse:** ein Kontrollfaden in einem Adressraum
  - **Linux Threads:** spezieller Prozess, der sich seinen virtuellen Adressraum mit mindestens einem anderen *Thread* teilt
- sind die vom Scheduler betrachteten Aktivitäten
  - ein Programm mit vielen Threads bekommt unter Linux mehr Rechenzeit als **ein** klassischer Prozess
  - gleiches gilt allerdings auch für ein Programm mit einem Prozess und vielen Kindprozessen



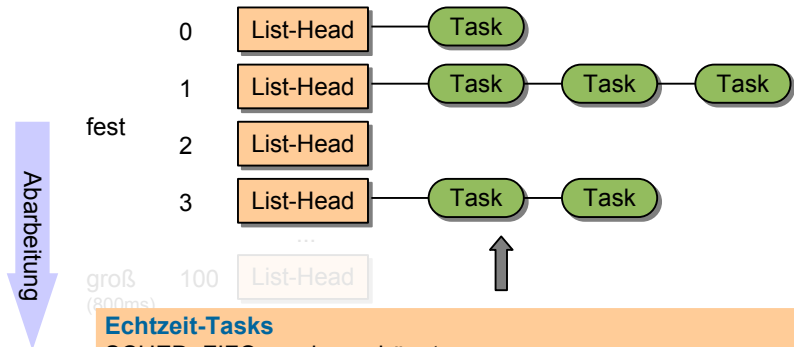
# Multi-Level Queues

Quantum    Priorität (0 ist hoch, 139 niedrig)



# Multi-Level Queues

Quantum    Priorität (0 ist hoch, 139 niedrig)



## Echtzeit-Tasks

SCHED\_FIFO    nie verdrängt

SCHED\_RR    verdrängt, wenn feste Zeitscheibe abgelaufen

Echtzeit-Tasks verdrängen jeden anderen normalen Task.

Durch die einfache Strategie kann das Verhalten in einer weichen Echtzeitumgebung recht gut vorhergesagt werden.



# O(1) Scheduler: Multi-Level Queues

Quantum    Priorität (0 ist hoch, 139 niedrig)

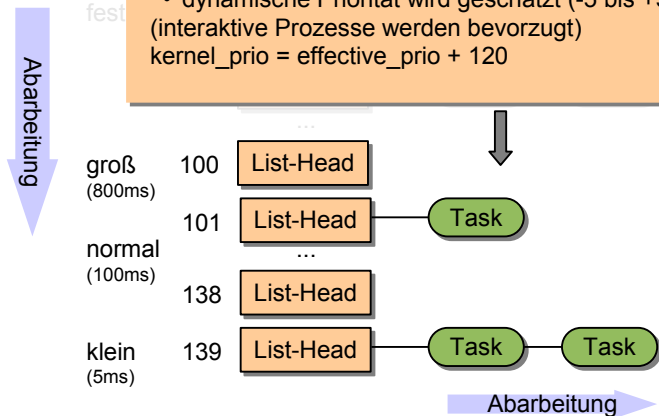
## Gewöhnliche Tasks

$\text{effective\_prio} = \text{static\_prio} + \text{dynamic\_prio}$

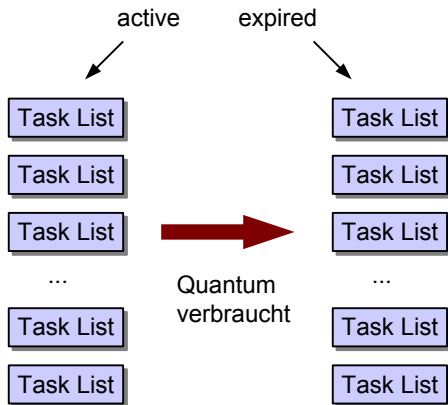
- statische Priorität entspricht dem nice value (-19 bis +20)
- dynamische Priorität wird geschätzt (-5 bis +5)

(interaktive Prozesse werden bevorzugt)

$\text{kernel\_prio} = \text{effective\_prio} + 120$

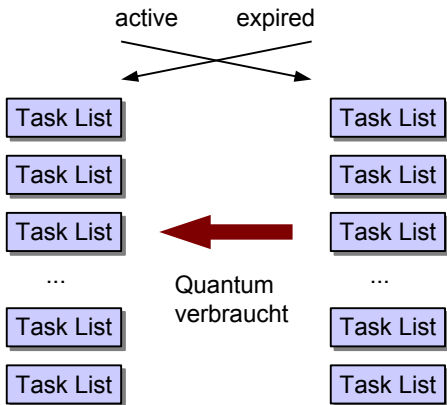


# O(1) Scheduler: Active und Expired





# O(1) Scheduler: Active und Expired



# Fazit Linux O(1) Scheduler

- ***„interactive, probabilistic, online, preemptive, multiprocessor CPU scheduling“***
- **Bevorzugung interaktiver Prozesse**
  - schnelle Reaktion auf Eingaben
  - gleichzeitig Fortschrittgarantie für CPU-lastige Prozesse
- **O(1) bei allen Operationen des Scheduler**
  - Einfügen, Entfernen, Scheduling-Entscheidung
- **Mehrprozessorunterstützung**
  - Mehrere Bereit-Listen: Parallele Scheduler Ausführung
  - Keine Idle-Phasen (war ein Problem beim alten Linux Scheduler)
  - CPU-Lastausgleich



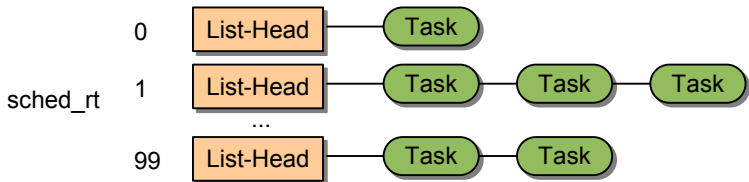
# Completely Fair Scheduler (CFS)

- Ansatz: Ablaufbereite Tasks bekommen die Rechenzeit gleichmäßig ("fair") zugeteilt
  - bei  $n$  Tasks jeweils  $1/n$ -tel der CPU-Leistung
  - hierarchische Zuteilung durch *scheduling groups*
- CFS läuft nur bei SCHED\_NORMAL
  - Echtzeittask (SCHED\_RR und SCHED\_FIFO) wie bisher
  - ansonsten: Task mit *geringster* CPU-Zeit hat höchste Priorität
- Scheduling-Kriterium ist die bislang zugeteilte CPU-Zeit
  - Ready-Liste als Rot-Schwarz-Baum, sortiert nach der Zeit
  - Komplexität  $O(\log N)$   
(in der Praxis trotzdem effizienter als alter  $O(1)$ -Scheduler)
  - Prioritäten (im Sinne von nice) werden durch "schnellere/langsamere" Uhren abgebildet



# Completely Fair Scheduler (CFS)

Priorität (0 ist hoch, 139 niedrig)



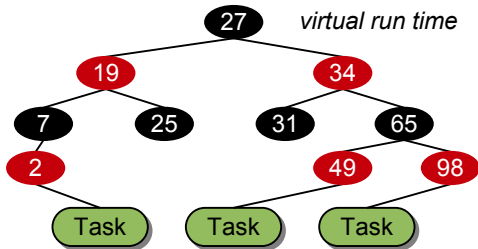
Abarbeitung

100

...

139

sched\_fair



Abarbeitung



# Fazit: Completely Fair Scheduler (CFS)

- „*interactive, probabilistic, online, preemptive, multiprocessor CPU scheduling*“
- **Keine** direkte Bevorzugung interaktiver Prozesse
  - Fortschrittsgarantie für alle Prozesse
  - Im Vergleich zum  $O(1)$ -Scheduler:  
Besserstellung von Hintergrundprozessen
- $O(\log n)$  bei den meisten Operationen des Scheduler
  - Einfügen, Scheduling-Entscheidung
- Hierarchie durch *scheduling groups*
  - z.B. Fairness zwischen Benutzern: Eine Gruppe pro Benutzer
  - innerhalb der Gruppe: Fairness zwischen allen Mitgliedern
  - Benutzer kann weitere Gruppen erstellen, um "seinen Anteil" aufzuteilen



# Agenda

---

- Einordnung
- Betriebssystemfäden
- Motivation
- Kooperativer Fadenwechsel
- Präemptiver Fadenwechsel
- Ablaufplanung
- Zusammenfassung**



- *Threads* sind Koroutinen des Betriebssystems
  - BS hat Entzugsmechanismen
  - Strategie der Ablaufplanung wird als *Scheduling* bezeichnet
- *Scheduling* hat großen Einfluss auf die Performanz des Gesamtsystems, es legt fest, ...
  - welche Prozesse warten und welche voranschreiten
  - welche Betriebsmittel wie ausgelastet sind
- Es gibt verschiedenste Varianten des Scheduling
  - nur wenige Unterschiede bei gängigen PC/Workstation-Betriebssystemen
  - eventuell aber starke Unterschiede in anderen Anwendungsdomänen

