

# Gliederung

## Systemprogrammierung Betriebssystemkonzepte: Prozesse

Wolfgang Schröder-Preikschat

Lehrstuhl Informatik 4

18. Juni 2014

### 1 Einführung

### 2 Grundlagen

- Programm
- Prozess

### 3 Ausprägung

- Physisch
- Logisch

### 4 Zusammenfassung

## Gerichteter Ablauf eines Geschehens [11]

Betriebssysteme bringen Programme zur Ausführung, in dem dazu Prozesse erzeugt, bereitgestellt und begleitet werden

- im Informatikkontext ist ein Prozess ohne Programm nicht möglich
  - die als Programm kodierte Berechnungsvorschrift definiert den Prozess
  - das Programm legt damit den Prozess fest, gibt ihn vor
  - gegebenenfalls bewirkt, steuert, terminiert es gar andere Prozesse<sup>1</sup>
- ein Programm beschreibt (auch) die Art des Ablaufs eines Prozesses
  - sequentiell**
    - eine Folge von zeitlich nicht überlappenden Aktionen
    - verläuft deterministisch, das Ergebnis ist determiniert
  - parallel**
    - nicht sequentiell
- in beiden Arten besteht ein Programmablauf aus **Aktionen** (S. 6 ff.)

### Beachte: Programmablauf und Abstraktionsebene

Ein und derselbe Programmablauf kann auf einer Abstraktionsebene sequentiell, auf einer anderen parallel sein. [10]

<sup>1</sup>Wenn das Betriebssystem die dazu nötigen Befehle anbietet.

## Ursprünglich als Rechtsbegriff

Prozess bedeutet „streitiges Verfahren vor Gericht, mit dem Ziel, den Streit durch eine verbindliche Entscheidung zu klären“ [11, Recht]

- Analogie in der Informatik bzw. zu Betriebssystemkonzepten:
 

<b>Streit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rivalität<sup>2</sup> bei Inanspruchnahme von Betriebsmitteln</li> <li>• Konkurrenz (lat. <i>concurrere</i> zusammenlaufen)</li> </ul>
<b>Verfahren</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorgehensweise zur planmäßigen Problemlösung</li> <li>• Strategie (<i>policy</i>) oder Methode der Problemlösung</li> </ul>
<b>Gericht</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Funktion zur Einplanung (<i>scheduling</i>), Koordinierung</li> <li>• Synchronisationspunkt in einem Programm</li> </ul>
<b>Verbindlichkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konsequenz, mit der die Einplanungszusagen gelten</li> <li>• Einhaltung zugesagter Eigenschaften, Verlässlichkeit</li> </ul>
- in der Regel folgen die Verfahren einer hierarchischen Gerichtsbarkeit
  - dabei wird ein Verfahrensabschnitt als Instanz (*instance*) bezeichnet
    - Übernahme von „Instanz“ in die Informatik war jedoch ungeschickt !!!
  - Betriebssysteme verfügen oft über eine mehrstufige Prozessverarbeitung

<sup>2</sup>lat. *rivalis* „an der Nutzung eines Wasserlaufs mitberechtigter Nachbar“

# Gliederung

## 1 Einführung

## 2 Grundlagen

- Programm
- Prozess

## 3 Ausprägung

- Physisch
- Logisch

## 4 Zusammenfassung

# Programm: Maschinenprogrammebene

- Adressbereich und virtuelle Maschine SMC<sup>4</sup>
  - Textsegment
  - Linux
- reale Maschine
  - nach dem Binden und
  - vor dem Laden
  - ablauffähig
- gleiche Anzahl von Aktionen (Zeilen 1–3, jew.), aber verschiedene Darstellungsformen

## Hinweis (ret bzw. c3)

Die Aktion zum Unterprogrammrücksprung korrespondiert zur Aktion des Unterprogrammaufrufs (*gdb, disas /rm main*):

```
0x080481c9: c7 04 24 b0 37 0d 08 movl $0x80d37b0,(%esp)
0x080481d0: e8 1b 01 00 00 call 0x80482f0 <inc64>
```

<sup>4</sup>symbolischer Maschinenkode (*symbolic machine code*): x86 + Linux.

# Programm: Programmier-/Assembliersprachenebene

## Definition

Die für eine Maschine konkretisierte Form eines Algorithmus.

- virtuelle Maschine C
  - nach der Editierung und
  - vor der Kompilierung
- virtuelle Maschine ASM (x86)
  - nach der Kompilierung<sup>3</sup> und
  - vor der Assemblierung
- eine Aktion (Zeile 4)
- drei Aktionen (Zeilen 2–4)

## Definition (Aktion)

Die Ausführung einer Anweisung einer (virtuellen/realen) Maschine.

<sup>3</sup>gcc -O6 -m32 -static -fomit-frame-pointer -S, auch i.F.

# Nichtsequentielles Programm I

## Definition

Ein Programm *P*, das Aktionen spezifiziert, die parallele Abläufe in *P* selbst zulassen.

- ein Ausschnitt von *P* am Beispiel von *POSIX Threads* [6]:
 

```
1 pthread_t tid;
2
3 if (!pthread_create(&tid, NULL, thread, NULL)) {
4     /* ... */
5     pthread_join(tid, NULL);
6 }
```
- der in *P* selbst zugelassene parallele Ablauf:
 

```
1 void *thread(void *null) {
2     /* ... */
3     pthread_exit(NULL);
4 }
```

## Nichtsequentielles Programm II

- trotz Aktionen für Parallelität, **sequentielle Programmabläufe**:

```

1 pid_t pid;
2
3 if (!(pid = fork())) {
4     /* ... */
5     exit(0);
6 }
7
8 wait(NULL);

```

- `fork` dupliziert den Adressraum  $A$  von  $P$ , erzeugt  $A'$  als Duplikat von  $A$
- in  $A$  als Ursprungsadressraum entsteht damit jedoch kein paralleler Ablauf
- unabhängig vom Parallelitätsgrad in  $P$ , setzt `fork` diesen für  $A'$  immer auf 1

- sequentielle Abläufe können allerdings parallele Abläufe in einer Domäne bilden, die die sequentiellen Abläufe (logisch) umfasst

- die Aktionen bedingen parallele Abläufe innerhalb des Betriebssystems
  - Simultanbetrieb (*multiprocessing*) sequentieller Abläufe benötigt das Betriebssystem in Form eines nichtsequentiellen Programms
  - hilfreiches Merkmal: Mehrfädigkeit (*multithreading*) im Betriebssystem
- „Betriebssystem“ ist **Inbegriff** für „nichtsequentielles Programm“<sup>5</sup>

<sup>5</sup>Ausnahmen (strikt kooperative Systeme) bestätigen die Regel.

## Prozess

### Definition (Programmablauf)

Ein Programm in Ausführung durch einen Prozessor.

- das Programm spezifiziert eine Folge von Aktionen des Prozessors
  - die Art einer Aktion hängt von der betrachteten Abstraktionsebene ab
 

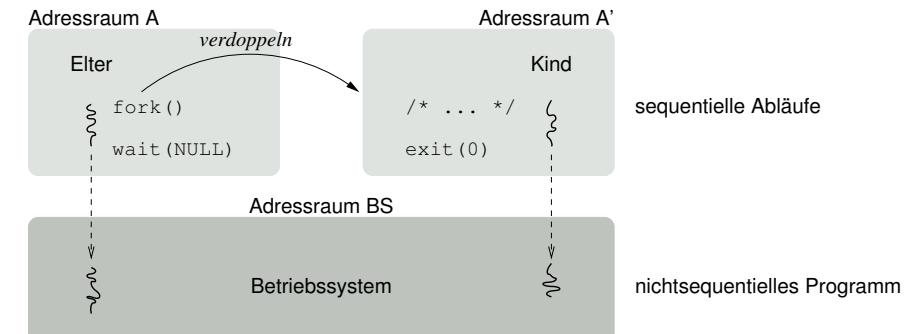
Ebene <sub>5</sub>	→ Programmanweisung	$\geq 1$ Assembliermnemoniks
Ebene <sub>4</sub>	→ Assembliermnemonik	$\geq 1$ Maschinenbefehle
Ebene <sub>3</sub>	→ Maschinenbefehl	$\geq 1$ Mikroprogramminstruktionen
Ebene <sub>2</sub>	→ Mikroprogramminstruktion	
  - die Aktion eines Prozessors ist damit **nicht zwingend unteilbar** (atomar)
    - sowohl für den abstrakten (virtuellen) als auch den realen Prozessor
- das Programm ist statisch (passiv), ein Prozess ist dynamisch (aktiv)

### Hinweis (Prozess ≠ Prozessinkarnation)

Eine Prozessinkarnation ist **Exemplar** eines Prozesses.<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Genauso wie ein Objekt Exemplar einer Klasse ist.

## Simultanverarbeitung sequentieller Abläufe



- Prozessor(kern)ausprägung vs. Betriebssystemarchitektur:

- |       |  |
|-------|--|
| Uni   | <ul style="list-style-type: none"> <li>prozessbasiertes Betriebssystem, nämlich:</li> <li>Pseudoparallelität durch <b>Multiplexen</b> des Prozessor(kern)s</li> </ul>                            |
| Multi | <ul style="list-style-type: none"> <li>dito; aber auch <b>ereignisbasiertes Betriebssystem</b>, nämlich:</li> <li>echte Parallelität durch <b>Vervielfachung</b> des Prozessor(kern)s</li> </ul> |

- beide Fälle bewirken **parallele Prozesse** (S. 15) im Betriebssystem

## Unteilbarkeit I

### Definition (in Anlehnung an den Duden)

Das **Unteilbaren** ist, um etwas als Einheit oder Ganzheit in Erscheinung treten zu lassen.

- eine Frage der „Distanz“ des Betrachters (Subjekts) auf ein Objekt
- Aktion** auf höherer, **Aktionsfolge** auf tieferer Abstraktionsebene

Ebene	Aktion	Aktionsfolge
5	i++	
4-3	incl i*	movl i,%r
		addl \$1,%r*
	addl \$1,i*	movl %r,i
2-1		* <b>read</b> from memory into accumulator <b>modify</b> contents of accumulator <b>write</b> from accumulator into memory

- typisch für den Komplexbefehl eines „abstrakten Prozessors“ (C, CISC)

## Unteilbarkeit II

Ganzheit oder Einheit einer Aktionsfolge, deren Einzelaktionen alle scheinbar gleichzeitig stattfinden (d.h., synchronisiert sind)

- wesentliche nichtfunktionale Eigenschaft für eine **atomare Operation**<sup>6</sup>
  - die logische Zusammengehörigkeit von Aktionen in zeitlicher Hinsicht
  - wodurch die Aktionsfolge als **Elementaroperation** (ELOP) erscheint

Beispiele von (kritischen) Aktionen zum Inkrementieren eines Zählers:

- Ebene  $5 \rightarrow 3$
- Ebene  $3 \rightarrow 2$

C/C++	ASM	ASM	ISA
1 <code>i++;</code>	1 <code>movl i, %eax</code>	1 <code>incl i</code>	1 <code>read A from &lt;i&gt;</code>
2 <code>addl \$1, %eax</code>		2 <code>modify A by 1</code>	
3 <code>movl %eax, i</code>		3 <code>write A to &lt;i&gt;</code>	

- die Inkrementierungsaktionen (`i++`, `incl`) sind nur **bedingt unteilbar**
  - unterbrechungsfreier Betrieb (Ebene  $5 \rightarrow 3$ ), Uniprozessor (Ebene  $3 \rightarrow 2$ )
  - Problem: **zeitliche Überlappung** von Aktionsfolgen hier gezeigter Art

<sup>6</sup>von (gr.) *áτomo*

## Nichtsequentieller Prozess

### Definition

Ein auch als „parallel“ bezeichneter Prozess, der sich aus einer Folge von Aktionen zusammensetzt, die sich zeitlich überlappen können.

- Voraussetzung ist ein **nichtsequentielles Programm** (vgl. S. 8)
  - das wenigstens eine weitere Prozessinkarnation (Kindprozess) zulässt
  - das die Behandlung von Ereignissen externer Prozesse zulässt<sup>7</sup>
- wodurch die Überlappung von Aktionsfolgen erst ermöglicht wird:
  - i simultane Mehrfädigkeit (*multithreading*), und zwar:
    - pseudo-gleichzeitig • Multiplexbetrieb eines einzelnen Prozessor(kern)s
    - echt gleichzeitig • Parallelbetrieb → (mehrkerniger) Multiprozessor
  - ii asynchrone Programmunterbrechung (*interrupt*)
- die Folge aller Aktionen ist durch eine **partielle Ordnung** definiert
  - da externe Prozesse zeitlich/kausal unabhängige Aktionen ermöglichen

<sup>7</sup>Unterbrechungsanforderung von einem Gerät (IRQ) oder Prozess (Signal).

## Sequentieller Prozess

### Definition

Ein Prozess, der sich aus einer Folge von zeitlich nicht überlappenden Aktionen zusammensetzt.

- die Aktionsfolge bildet einen Ausführungsfaden (*execution thread*)
  - von dem es im sequentiellen Prozess nur einen einzigen gibt
  - der sich mit jedem Wiederanlauf des Prozesses anders entwickeln kann
    - andere Eingabedaten, Programmänderung, transiente Hardwarefehler
- die Folge ist durch eine **totale Ordnung** ihrer Aktionen definiert
  - sie ist bei unveränderten Ausgangsbedingungen reproduzierbar

### Hinweis (Ausführungsfaden ≠ Thread)

Annahmen zur technischen Umsetzung der Aktionsfolge werden nicht getroffen und sind hier auch ohne Belang.

Ein Thread ist nur eine technische Option, um die Inkarnation eines sequentiellen Prozesses zu realisieren.

## Gleichzeitige Prozesse (*concurrent processes* [5])

### Definition

Wenigstens zwei Aktionsfolgen eines nichtsequentiellen Prozesses, die sich zeitlich überlappen.

- sind sie unabhängig, heißen diese Prozesse **nebenläufig** (*concurrent*)
  - keiner der gleichzeitigen Prozesse ist Ursache/Wirkung des anderen
  - keine Aktionsfolge dieser Prozesse benötigt das Resultat einer anderen
- gleichzeitige Prozesse stehen miteinander in **Wettstreit** (*contention*)
  - sie teilen sich den Prozessor(kern), (Zwischen-)Speicher, Bus/Geräte
  - dadurch entsteht **Interferenz**<sup>8</sup> (*interference*) im Prozessverhalten
- der effektive Überlappungsgrad ist irrelevant für die „Gleichzeitigkeit“
  - nicht jedoch für zeitabhängige Prozesse, die Termine einzuhalten haben
  - beachte: je größer die Überlappung, desto größer die Verzögerung
    - desto wahrscheinlicher verpasst der verzögerte Prozess seinen Termin
  - ebenso Interferenz, die zur Verletzung von Zeitbedingungen führen kann

<sup>8</sup>Abgeleitet von (frz.) *s'entreferir* „sich gegenseitig schlagen“.

## Gekoppelte Prozesse (*interacting processes* [5, S. 77])

### Definition (auch: „abhängige Prozesse“)

Gleichzeitige Prozesse, die interagierend auf gemeinsame Variablen zugreifen oder Betriebsmittel gemeinsam benutzen.

- die Aktionen geraten in **Konflikt**, wenn mind. einer der Prozesse...
  - eine der gemeinsamen Variablen verändert (**Zugriffsart**) oder
  - ein gemeinsames unteilbares Betriebsmittel<sup>9</sup> belegt (**Betriebsmittelart**)
- daraus kann sich eine **Wettlaufsituation** (*race condition*) entwickeln
  - um die gemeinsame Variable oder das gemeinsame Betriebsmittel
  - um die beabsichtigte Aktionsfolge starten oder beenden zu können
- Konflikte werden durch **Synchronisationsmaßnahmen** unterbunden:
 

blockierend	• die beabsichtigte Aktionsfolge nicht starten lassen
nicht-blockierend	• die gestartete Aktionsfolge stoppen & wiederholen
reduzierend	• die teilbare Aktionsfolge „elementarisieren“, d.h., auf eine ELOP der realen Maschine abbilden
- **Koordination** der Kooperation und Konkurrenz zwischen Prozessen

<sup>9</sup>Drucker, Maus, Plotter, Tastatur.

## Gekoppelte Prozesse: 1. Wettlaufsituation

- angenommen, das nichtsequentielle Programm läuft im 32-Bit Betrieb
  - Exemplare von `int64_t` bilden ein Paar von 32-Bit Worten
  - Operationen auf diesen Paaren sind keine Einzelaktionen mehr

### Arbeiterfaden

```

1 .L6:
2   movl $cycle, (%esp)
3   call inc64
4   jmp .L6

1 inc64:
2   movl 4(%esp), %eax
3   addl $1, (%eax)
4   adcl $0, 4(%eax)
5   ret

```

### Aufpasserfaden

```

1   movl cycle+4, %edx ; high &
2   movl cycle, %eax ; low word
3   movl $.LC0, (%esp)
4   movl %edx, 8(%esp)
5   movl %eax, 4(%esp)
6   call printf

• angenommen  $cycle = 2^{32} - 1$ 
  • inc64 überlappt Aktionen 1–2 (o.)
  • dann gilt  $edx = 0$  und  $eax = 0$ 
  • printf gibt 0 aus, nicht  $2^{32}$  !!!

```

## Gekoppelte Prozesse: Wettlaufsituationen

```

1 int64_t cycle = 0;
2
3 void *thread_worker(void *null) {
4   for (;;) {
5     /* ... */
6     inc64(&cycle);
7   }
8 }

10 void *thread_minder(void *null) {
11   for (;;) {
12     printf("worker cycle %lld\n", cycle);
13     pthread_yield();
14   }
15 }

```

- `inc64`: siehe S. 6  
(bzw. Kap. V-4, S. 28)

- welche `cycle`-Werte gibt der Aufpasserfaden (*minder*) aus?
- welche Werte entstehen bei mehreren Arbeiterfäden (*worker*)?
  - wenn `thread_worker` in mehreren identischen Inkarnationen existiert

## Gekoppelte Prozesse: 2. Wettlaufsituation

- angenommen, die Entwicklungs- oder Laufzeitplattform variiert
  - verschiedene Kompilierer, Assemblierer, Binder und Lader
  - verschiedene Betriebssysteme – jedoch der gleiche reale Prozessor (x86)

### GCC 4.7.2, Linux

```

1 inc64:
2   movl 4(%esp), %eax
3   addl $1, (%eax)
4   adcl $0, 4(%eax)
5   ret

```

### GCC 4.2.1, MacOSX

```

1 _inc64:
2   movl 4(%esp), %eax
3   movl (%eax), %ecx
4   movl 4(%eax), %edx
5   addl $1, %ecx
6   adcl $0, %edx
7   movl %edx, 4(%eax)
8   movl %ecx, (%eax)
9   ret

```

### pseudo-gleichzeitige Aktionen

- (UNIX-) Signal oder *Interrupt*
- **asynchr. Programmunterbrechung**

### echt gleichzeitige Aktionen

- insbesondere sind `addl` und `adcl` kritisch: **teilbares read-modify-write**

- ein klassischer Fehler: ggf. wirkungslose Zählaktionen [7, S. 26–29]

## Gliederung

### 1 Einführung

### 2 Grundlagen

- Programm
- Prozess

### 3 Ausprägung

- Physisch
- Logisch

### 4 Zusammenfassung

## Koordinationsmittel: Austausch von Zeitsignalen

**Semaphor** (von gr. *sema* „Zeichen“ und *pherein* „tragen“)

- „nichtnegative ganze Zahl“ ( $\mathbb{N}_0$ ), für die – nach der ursprünglichen Definition [3] – zwei **unteilbare Operationen** definiert sind:<sup>10</sup>

**P(s)** (von hol. *prolaag* „erniedrige“)

- koppelt den Prozess (logisch, ggf. auch physisch) an  $s$
- blockiert den Prozess, falls  $s$  den Wert 0 hat
- dekrementiert den Wert von  $s$  um 1, sonst

**V(s)** (von hol. *verhoog* „erhöhe“)

- inkrementiert den Wert von  $s$  um 1, entkoppelt den Prozess
- bewirkt die Bereitstellung der/des an  $s$  blockierten Prozesse/s
- Fortgang aller beteiligten Prozesse regelt der **Planer** (*scheduler*)

- binär ( $s = [0, 1]$ ) oder allgemein ( $s = [0, n], n > 0$ ) ausgelegt
  - funktional entspricht ein binärer Semaphor einer Sperrvariablen (*mutex*)

**Beachte: Verortung von Prozessen**

Prozesse und die zugehörigen Koordinationsmittel müssen demselben Abstraktionsniveau entsprechen, funktional und nichtfunktional.

<sup>10</sup>vgl. auch Erweiterung auf „ganze Zahlen“,  $\mathbb{Z}$  [4, S. 345 – 346].

## Konsistenz: Koordination gekoppelter Prozesse

**Beschaffenheit** in Bezug auf sich **überlappende Aktionsfolgen**

- Wettkaufsituationen vorbeugen, kritische Abschnitte schützen
  - explizit eine Aktionsfolge (physisch oder logisch) unteilbar machen
  - grundsätzlich: je kürzer diese Zeitspanne, desto besser die Lösung !!!

**Überlappungen ausschließen** durch **Synchronisation** von Prozessen:

- Blockierung wettstreitiger Prozesse – **vergleichsweise lange Zeit**

```
1 void mutex_inc64(int64_t *i, pthread_mutex_t *lock) {
2     pthread_mutex_lock(lock); /* indivisible, now */
3     inc64(i);                /* reuse code @ p. 6 */
4     pthread_mutex_unlock(lock); /* divisible, again */
5 }
```

- Reduzierung auf unteilbare 64-Bit-Operation des realen Prozessors

```
1 void inc64(int64_t *i) { /* renew code @ p. 6 */
2     asm ("lock incq %0" : : "m" (*i) : "memory");
3 }
```

- allg., überall einsetzbare, um Größenordnungen effizientere Lösung

## Verortung: Betriebssystem- vs. Anwendungsebene

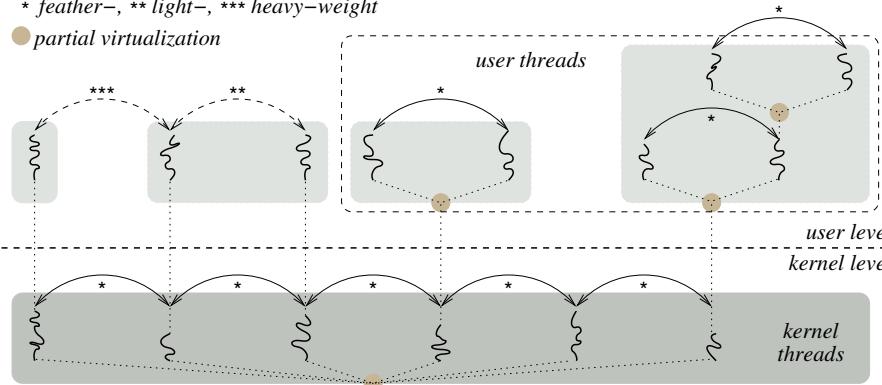
Prozesse sind in einem Rechensystem verschiedenartig verankert

- und zwar inner- oder oberhalb der Maschinenprogrammebene
  - **innerhalb**
    - ursprünglich, im Betriebssystem bzw. Kern (*kernel*)
    - Prozessinkarnation als Wurzel
    - partielle Virtualisierung des Prozessor(kern)s
    - ↗ „*kernel thread*“ in der Informatikfolklore
  - **oberhalb**
    - optional, im Laufzeit- oder gar Anwendungssystem
    - Prozessinkarnation als Blatt oder innerer Knoten
    - partielle Virtualisierung der Wurzelprozessinkarnation
    - ↗ „*user thread*“ in der Informatikfolklore
- die jew. Entität weiß nicht, dass sie ggf. (partiell) virtualisiert wird
  - einem „*kernel thread*“ sind seine „*user threads*“ gänzlich unbewusst
  - ein „*user thread*“ entsteht durch Zeitmultiplexen eines „*kernel threads*“
- Betriebssysteme kennen nur ihre eigenen Prozessinkarnationen
  - schaltet ein „*kernel thread*“ weg, setzen alle seine „*user threads*“ aus
  - ein „*kernel thread*“ entsteht durch Raum-/Zeitmultiplexen der CPU

## Gewichtsklasse: Unterbrechungs-/Wiederaufnahmearaufwand

\* feather-, \*\* light-, \*\*\* heavy-weight

partial virtualization



### Arten von Prozesswechsel zur partiellen Prozessorvirtualisierung:

- \* im selben (Benutzer-/Kern-) Adressraum, ebenda fortsetzend
- \*\* im Kernadressraum, denselben Benutzeradressraum teilend
- \*\*\* im Kernadressraum, im anderen Benutzeradressraum landend

## Reihenfolgebestimmung

Ablaufplan (engl. *schedule*) zur Betriebsmittelzuteilung erstellen

- geordnet nach Ankunft, Zeit, Termin, Dringlichkeit, Gewicht, ...
- entsprechend der jeweiligen Einplanungsstrategie
- zur Unterstützung einer bestimmten Rechnerbetriebsart

Prozessen das Betriebsmittel

Prozessor  
Speicher  
Gerät  
:  
Datei  
Nachricht  
Puffer

koordiniert zuteilen

## Planung der Einlastung

„scheduling“ von „dispatching“

Prozesseinplanung (engl. *process scheduling*) stellt sich allgemein zwei grundsätzlichen Fragestellungen:

- ① Zu welchem **Zeitpunkt** sollen Prozesse in das Rechensystem eingespeist werden?
- ② In welcher **Reihenfolge** sollen eingespeiste Prozesse ablaufen?

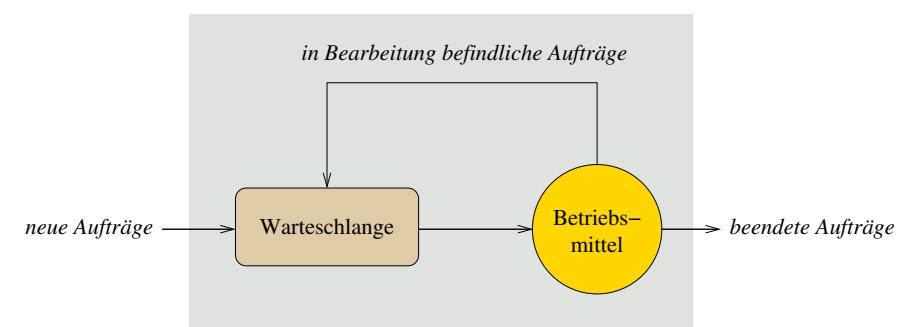
Zuteilung von Betriebsmitteln an **konkurrierende Prozesse** kontrollieren

### Einplanungsalgorithmus (engl. *scheduling algorithm*)

Implementiert die **Strategie**, nach der ein von einem Rechnersystem zu leistender Ablaufplan zur Erfüllung der jeweiligen Anwendungsanforderungen entsprechend aufzustellen und zu aktualisieren ist.

## Einplanungsalgorithmen

Verwaltung von (betriebsmittelgebundenen) Warteschlangen



Ein einzelner Einplanungsalgorithmus ist charakterisiert durch die Reihenfolge von Prozessen in der Warteschlange und die Bedingungen, unter denen die Prozesse in die Warteschlange eingereiht werden. [9]

## Warteschlangentheorie

Theoretische Grundlagen des Scheduling

Betriebssysteme durch die „theoretische/mathematische Brille“ gesehen:

- R. W. Conway, L. W. Maxwell, L. W. Millner. *Theory of Scheduling*.
- E. G. Coffman, P. J. Denning. *Operating System Theory*.
- L. Kleinrock. *Queuing Systems, Volume I: Theory*.

Einplanungsverfahren stehen und fallen mit Vorgaben der **Zieldomäne**

- die „Eier-legende Wollmilchsau“ kann es nicht geben
- Kompromisslösungen sind geläufig
  - aber nicht in allen Fällen tragfähig

- Scheduling ist ein **Querschnittsbelang** (engl. *cross-cutting concern*)

## Gliederung

### 1 Einführung

### 2 Grundlagen

- Programm
- Prozess

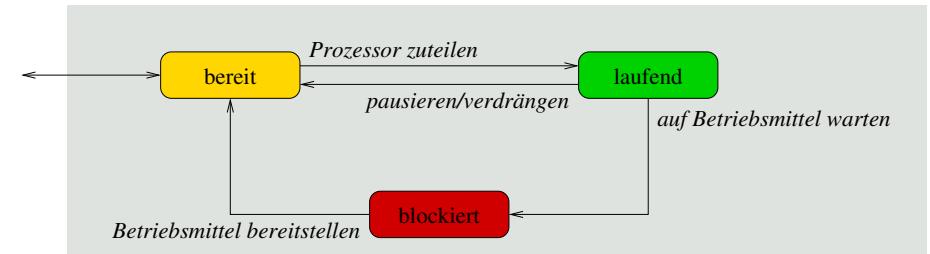
### 3 Ausprägung

- Physisch
- Logisch

### 4 Zusammenfassung

## Verarbeitungszustände

Zustandsübergänge implementiert ein Planer (engl. *scheduler*)



Prozessverarbeitung impliziert die Verwaltung mehrerer **Warteschlangen**:

- häufig sind Betriebsmitteln eigene Warteschlangen zugeordnet
  - in denen Prozesse auf Zuteilung des jew. Betriebsmittels warten
- im Regelfall sind in Warteschlangen stehende Prozesse blockiert...
  - mit Ausnahme der **Bereitliste** (engl. *ready list*)
  - die auf Zuteilung der CPU wartenden Prozesse sind laufbereit

## Resümee

- Programm: für eine Maschine konkretisierte Form eines Algorithmus
  - sequentiell** • Aktionen, die nur serielle Abläufe in  $P$  zulassen
  - nichtsequentiell** • Aktionen, die parallele Abläufe in  $P$  selbst zulassen
  - Aktion** • Ausführung einer Maschinenanweisung
- Prozess: ein Programm in Ausführung durch einen Prozessor
  - sequentiell** • eine Folge von zeitlich nicht überlappenden Aktionen
  - nichtsequentiell** • eine Folge von zeitlich überlappenden Aktionen
  - gleichzeitig** • unabhängige zeitlich überlappende Aktionenfolgen
  - gekoppelt** • abhängige zeitlich überlappende Aktionenfolgen
- Planer: legt Zeitpunkt und Reihenfolge von Prozessen fest
  - Prozessinkarnationen werden Verarbeitungszustände zugeschrieben
    - Zustandsübergänge (in EBNF): {{bereit, laufend} –, [blockiert]}
    - UNIX: verdrängend, nicht-deterministisch, gekoppelt, Zeitmultiplex
- Betriebssystem: Inbegriff für ein nichtsequentielles Programm
  - asynchrone Programmunterbrechung (*interrupt*)
  - Simultanverarbeitung (*multiprocessing*) sequentieller Programme

## Literaturverzeichnis

- [1] COFFMAN, E. G. ; DENNING, P. J.: *Operating System Theory*. Prentice Hall, Inc., 1973
- [2] CONWAY, R. W. ; MAXWELL, L. W. ; MILLNER, L. W.: *Theory of Scheduling*. Addison-Wesley, 1967
- [3] DIJKSTRA, E. W.: Over seinpalen / Technische Universiteit Eindhoven. Eindhoven, The Netherlands, 1964 ca. (EWD-74). – Manuskript. – (dt.) Über Signalmasten
- [4] DIJKSTRA, E. W.: The Structure of the "THE"-Multiprogramming System. In: *Communications of the ACM* 11 (1968), Mai, Nr. 5, S. 341–346
- [5] HANSEN, P. B.: Concurrent Processes. In: *Operating System Principles*. Englewood Cliffs, N.J., USA : Prentice-Hall, Inc., 1973. – ISBN 0-13-637843-9, Kapitel 3, S. 55–131

## Literaturverzeichnis (Forts.)

- [11] WIKIPEDIA: *Prozess*. <http://de.wikipedia.org/wiki/Prozess>, Nov. 2013

## Literaturverzeichnis (Forts.)

- [6] IEEE: POSIX.1c Threads Extensions / Institute of Electrical and Electronics Engineers. New York, NY, USA, 1995 (IEEE Std 1003.1c-1995). – Standarddokument
- [7] KLEINÖDER, J. ; SCHRÖDER-PREIKSCHAT, W. : Rechnerorganisation. In: LEHRSTUHL INFORMATIK 4 (Hrsg.): *Systemprogrammierung*. FAU Erlangen-Nürnberg, 2014 (Vorlesungsfolien), Kapitel Betriebssystemebene
- [8] KLEINROCK, L. : *Queueing Systems*. Bd. I: Theory. John Wiley & Sons, 1975
- [9] LISTER, A. M. ; EAGER, R. D.: *Fundamentals of Operating Systems*. The Macmillan Press Ltd., 1993. – ISBN 0-333-59848-2
- [10] LÖHR, K.-P. : Nichtsequentielle Programmierung. In: INSTITUT FÜR INFORMATIK (Hrsg.): *Algorithmen und Programmierung IV*. Freie Universität Berlin, 2006 (Vorlesungsfolien)