

# Systemprogrammierung

## Betriebssystemkonzepte: Prozesse

Wolfgang Schröder-Preikschat

Lehrstuhl Informatik 4

27. Juni 2013

## Programm in Ausführung

Kontrolliert durch Programme, ausgeführt auf einem Prozessor

**Prozess**, kann die Ausführung mehrerer Programme bedeuten

- ein **Anwendungsprogramm** ruft ein **Betriebssystemprogramm** auf
  - Systemaufruf (engl. *system call*)
  - Programmunterbrechung (engl. *trap, interrupt*)
- ein Prozess ist **Aktivitätsträger** von ggf. mehreren Programmen
  - Adressraumüberlagerung mit einem anderem Programm (*exec(2)*)

**Programm**, kann von mehreren Prozessen durchzogen sein

- **pseudo-paralleles Programm**, im Falle von Uniprozessorsystemen
  - präemptive (d.h. verdrängende) Programmverarbeitung
  - Aufgabe (engl. *task*), Faden (engl. *thread*)
- **paralleles Programm** im Falle von Multi(kern)prozessorsystemen

## Gliederung

### 1 Ausführungsstrang

- Prozess
- Prozessmodelle
- Einplanung
- Systemfunktionen

### 2 Koordinationsmittel

- Konkurrenz
- Koordinationsvariable
- Systemfunktionen

### 3 Kommunikationsmittel

- Botschaftenaustausch
- Systemfunktionen

### 4 Zusammenfassung

## Prozess $\neq$ Programm

Programm ist statisch, Prozess ist dynamisch

Wissen über das gegenwärtig ausgeführte Programm sagt nicht viel aus über die zu dem Zeitpunkt im System stattfindende Aktivität

- Welches Zugriffsrecht besitzt das Programm zur Zeit?
  - auf ein Adressraumsegment, auf eine Datei, auf ein Gerät, ...
  - allgemein: auf ein Betriebsmittel
- Welcher Kontrollfluss ist im mehrfädigen Programm zur Zeit aktiv?
  - Uni- vs. Multiprozessorsystem (SMP)
- Wieviel Programmunterbrechungen sind zur Zeit gestapelt?
- 

*Im Betriebssystemkontext ist das Konzept „Prozess“ daher nützlicher als das Konzept „Programm“, um Abläufe zu beschreiben und zu verwalten.*

## Prozess $\neq$ Prozessinstanz

Analogie zu Typ oder Klasse einerseits und Exemplar bzw. Objekt andererseits

### Prozess, ein **abstraktes Gebilde**

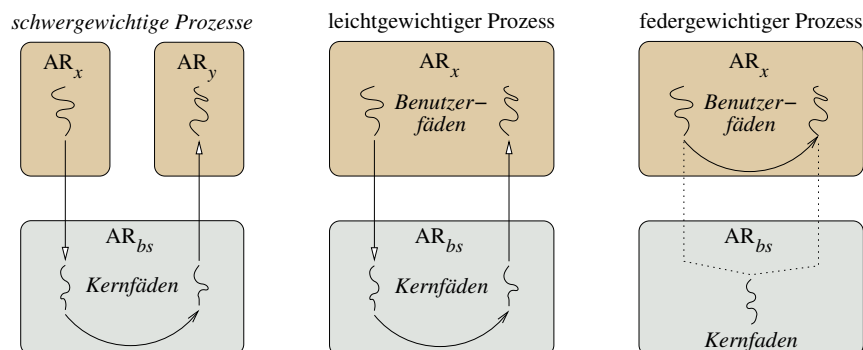
- ein „Programm in Ausführung“ ☺, sequentieller Kontrollfluss ☺
- ein „Ablauf“ ☺, der eine Verwaltungseinheit ist ☺

### Prozessinstanz, ein **konkretes Gebilde**

- das „physische Exemplar“ des abstrakten Gebildes „Prozess“
  - an Betriebsmittel (Ressource; engl. *resource*) gebunden
  - die **Identität** (engl. *identity*) **einer Programmausführung**
- die einen Prozess repräsentierende **Verwaltungseinheit**
  - „dynamische Datenstruktur“ verschiedenartiger Strukturelemente
  - mit dem Prozesskontrollblock als Datenstrukturkopf
    - PCB (Abk. engl. *process control block*)

- synonyme Verwendung der Begriffe kann zu Missverständnissen führen

## Schwer- vs. leicht- vs. federgewichtige Prozesse



Adressraumwechsel sind (je nach MMU) mehr oder weniger „teuer“

- die zur Adressumsetzung benötigten Deskriptoren werden mit jedem Wechselvorgang aus dem Zwischenspeicher (engl. *cache*) verdrängt
- erneute Adressraumaktivierung hat zur Folge, dass die MMU die Adressraumdeskriptoren erst wieder zwischenspeichern muss

## Gewichtsklassen von Prozessinstanzen

### schwergewichtiger Prozess (engl. *heavyweight process*)

- Prozessinstanz und Benutzeradressraum bilden eine Einheit
- Prozesswechsel  $\leadsto$  zwei Adressraumwechsel:  $AR_x \Rightarrow BS \Rightarrow AR_y$ 
  - „klassischer“ UNIX Prozess

### leichtgewichtiger Prozess (engl. *lightweight process*)

- Prozessinstanz und Adressraum sind voneinander entkoppelt
- Prozesswechsel  $\leadsto$  einen Adressraumwechsel:  $AR_x \Rightarrow BS \Rightarrow AR_x$ 
  - **Kernfaden** (engl. *kernel thread*): Faden auf Kernebene

### federgewichtiger Prozess (engl. *featherweight process*)

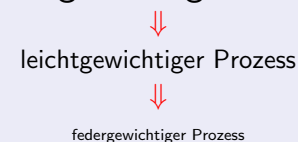
- Prozessinstanzen und Adressraum bilden eine Einheit
- Prozesswechsel  $\leadsto$  kein Adressraumwechsel:  $AR_x \Rightarrow AR_x$ 
  - **Benutzerfaden** (engl. *user thread*): Faden auf Benutzerebene

- Kern-/Benutzerfaden  $\Rightarrow$  Betriebssystem-/Benutzerprogramm

## Benutzthierarchie von Prozessinstanzen

Implementierung von Prozessen

### schwergewichtiger Prozess



**Basis:** federgewichtiger Prozess

- der eigentliche **Kontrollfluss**
- Steuerbefehle sind Prozeduren des laufenden Programms
  - erzeugen, wechseln, zerstören

Erweiterungen zum Mehrprogrammbetrieb bedeuten „Gewichtszunahme“

- leichtgewichtiger Prozess: **vertikale Isolation** vom Betriebssystem
  - Steuerbefehle sind Systemaufrufe an den Betriebssystemkern
- schwergewichtiger Prozess: **horizontale Isolation** von anderen Fäden
  - jeder Faden besitzt seinen eigenen (logischen/virtuellen) Adressraum

Implementierungskonzept von Prozess(instanz)en ist die **Koroutine** [2]

- in mehr oder weniger stark funktional angereicherter Form

## Planung des zeitlichen Ablaufs (engl. *scheduling*)

**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

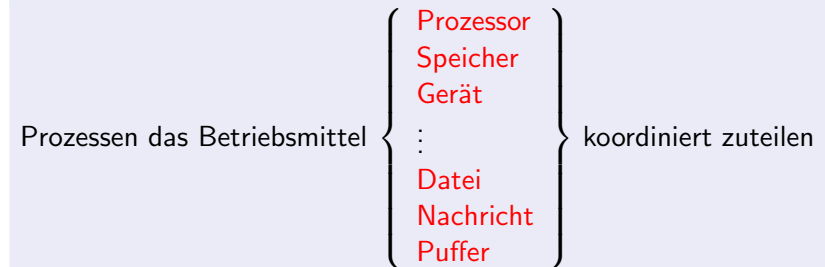
### Einplanungsalgorithmus (engl. *scheduling algorithm*)

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

## Reihenfolge festlegen, Aufträge sortieren

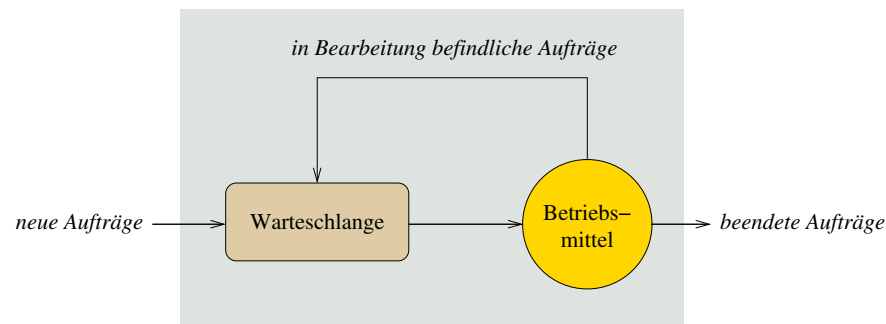
**Ablaufplan** (engl. *schedule*) zur Betriebsmittelzuteilung erstellen

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



## Prinzipielle Funktionsweise von Einplanungsalgorithmen

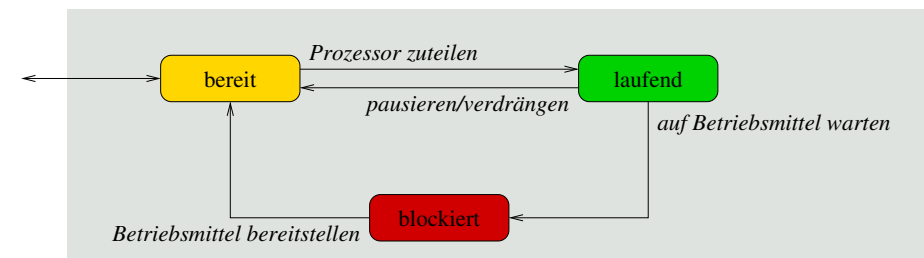
Verwaltung von (betriebsmittelgebundenen) Warteschlangen



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. [8]

## Verarbeitungszustände von Prozessen

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

## 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*)

## UNIX Systemfunktionen

Operationen auf Prozesse und Prozessadressräume

Linux, MacOS, SunOS

(vgl. S. 41)

```
pid = fork()
pid = wait(status)
void _exit(status)
pid = getpid()
pid = getppid()
ok = nice(incr)
err = execv(path, argv)
err = execve(path, argv, envp)
:
```

## UNIX Scheduling

Charakteristische Eigenschaften — Ausnahmen bestätigen die Regel

Linux, MacOS, SunOS

- die Verfahren wirken **verdrängend** (engl. *preemptive*)
  - Prozesse können das Betriebsmittel „CPU“ nicht monopolisieren
  - dem laufenden Prozess kann die CPU entzogen werden (CPU-Schutz)
- der fortgeschriebene Ablaufplan ist **nicht-deterministisch**
  - nicht zu jedem Zeitpunkt ist bestimmt, wie weitergefahren wird
  - die exakte Vorhersage der Prozessorauslastung ist nicht möglich
- Prozessausführung und -einplanung sind **gekoppelt** (engl. *online*)
  - dynamische Prozesseinplanung während der Programmausführung
  - Planungsziel: Antwortzeiten minimieren, Interaktivität fördern
- das System arbeitet im **Zeitmultiplexbetrieb** (engl. *time sharing*)

## Gliederung

- 1 Ausführungsstrang
  - Prozess
  - Prozessmodelle
  - Einplanung
  - Systemfunktionen
- 2 Koordinationsmittel
  - Konkurrenz
  - Koordinationsvariable
  - Systemfunktionen
- 3 Kommunikationsmittel
  - Botschaftenaustausch
  - Systemfunktionen
- 4 Zusammenfassung

## Koordination durch Kommunikation

Interprozesskommunikation (engl. *inter-process communication*, IPC)

**Interaktion** von Prozessen ist zwingend, um in einem Mehrprozesssystem Fortschritte in der Programmverarbeitung zu erreichen, und zwar:

**implizit** innerhalb des Betriebssystems

- (pseudo-) parallele Ausführung mehrfädiger Systemprogramme:
  - asynchrone Programmunterbrechungen
  - verdrängende Prozesseinplanung
  - ggf. auch SMP (engl. *symmetric multiprocessing*)
- die Prozesse **konkurrieren** um die Betriebsmittelzuteilung

**explizit** innerhalb des Anwendungssystems

- arbeitsteilige Ausführung eines Programms durch mehrere Fäden
  - paralleles/verteiltes Programm
- die Prozesse **kooperieren** zur gemeinsamen Programmausführung

## Einreihung in eine einfach verkettete Liste

```
typedef struct chainlink {
    struct chainlink *link;
} chainlink;

void chain (chainlink **next, chainlink *item) {
    *next = (*next)->link = item;
}
```

Anweisung zum Anhängen eines Kettenglieds in zwei Schritten:

- 1 Element einfügen: `temp = (*next)->link = item`
- 2 nächste Einfügestelle vermerken: `*next = temp`

**Annahme: Verdrängung dazwischen und Mitbenutzung**

- Verkettungsglied `*next` wird zur kritischen Variablen

## Gleichzeitige Prozesse „*Considered Harmful*“

Kritischer Abschnitt (engl. *critical section*)

Rückblick: **einander überlappendes Zählen**

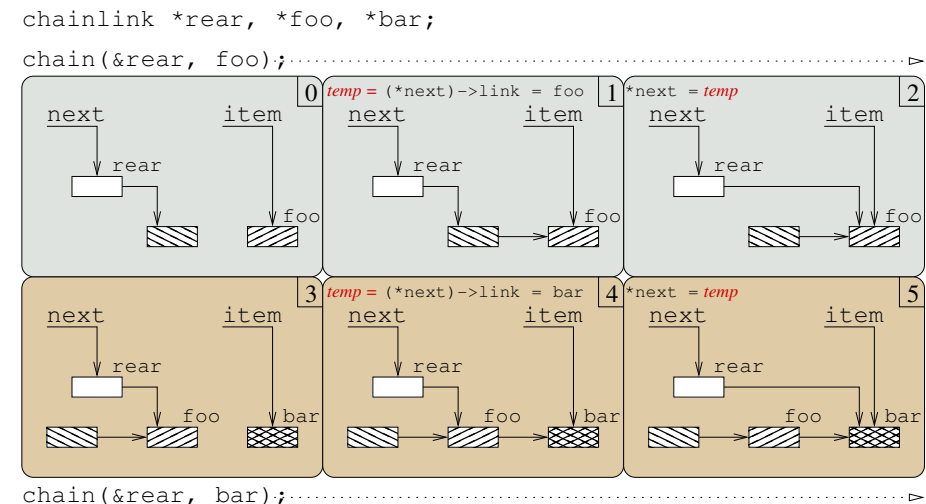
- `wheel++` ist nicht immer eine unteilbare Operation
  - diese Operation der Ebene<sub>5</sub> ist nur „scheinbar elementar“
  - ggf. bildet sie eine Sequenz von Elementaroperationen der Ebene<sub>4</sub>
  - in dem Fall wäre sie eine teilbare Operation und damit kritisch
- unterbrechungsbedingte Überlappungs(d)effekte möglich

**Warteschlangen**, z.B., stellen andere potentielle „Brennpunkte“ dar

- oft ist eine beliebige Permutation der **Zugriffsoperationen** möglich
  - eintragen überlappt austragen bzw. sich selbst, und umgekehrt
- auch die Auslegung der **Datenstruktur** „Schlange“ ist von Bedeutung

- „Untiefen“ dieser Art gibt es einige in Betriebssystemen...

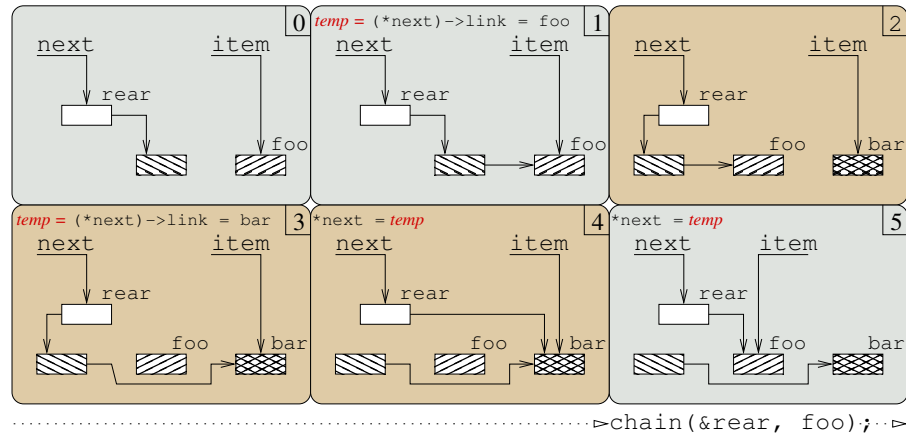
## Verkettung: Sequentielle Ausführung



## Verkettung: Nicht-sequentielle Ausführung

```
chainlink *rear, *foo, *bar;
```

```
chain(&rear, foo); ..... chain(&rear, bar); .....
```



## Koordination von Kooperation und Konkurrenz

Sequentialisierung nicht-sequentieller Programme

**Synchronisation** (engl. *synchronization*) bringt die Aktivitäten von verschiedenen Prozessen in eine Reihenfolge [5, S. 26]:

- dadurch wird prozessübergreifend das erreicht, wofür innerhalb eines Ausführungsstrangs die Sequentialität von Aktivitäten sorgt
- Nebenläufigkeit bzw. Parallelität wird damit gezielt unterbunden

### Gegenseitiger Ausschluss der Listenmanipulation<sup>a</sup>

<sup>a</sup>**P()** und **V()** klammern den kritischen Abschnitt. Durch **P()** wird erreicht, dass die Anweisungen bis zum **V()** nicht zugleich von mehreren Prozessen ausführbar sind.

```
void chain (chainlink **next, chainlink *item) {
    P();
    *next = (*next)->link = item;
    V();
}
```

## Semaphor (engl. *semaphore*)

Eine „nicht-negative ganze Zahl“, für die zwei **unteilbare Operationen** definiert sind [4]:

**P** (hol. *prolaag*, „erniedrige“; auch *down*, *wait*)

- hat der Semaphor den Wert 0, wird der laufende Prozess blockiert
- ansonsten wird der Semaphor um 1 dekrementiert

**V** (hol. *verhoog*, erhöhe; auch *up*, *signal*)

- inkrementiert den Semaphor um 1
- auf den Semaphor ggf. blockierte Prozesse werden deblockiert

Ein **abstrakter Datentyp** zur **Signalisierung von Ereignissen** zwischen gleichzeitigen Prozessen (deren Ausführung sich zeitlich überschneidet).

## UNIX Systemfunktionen

Operationen auf Semaphore

Linux, MacOS, SunOS

(vgl. S. 43)

```
id = semget(key, nsem, flag)
val = semctl(id, semnum, cmd, ...)
ok = semop(id, sembuf, nops)
...
```

**Sequenzen** von Semaphoreoperationen werden unteilbar ausgeführt:

- technisch ist die Sequenz als ein `sembuf`-Feld repräsentiert, wobei die Reihenfolge der Feldelemente die Operationsreihenfolge definiert

```
struct sembuf {
    u_short sem_num;
    short    sem_op;
    short    sem_flg;
};
```

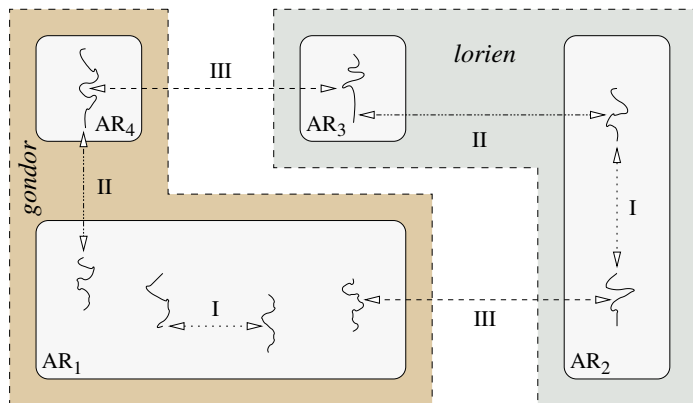
- jedes `sembuf`-Exemplar beschreibt eine (ggf. andere) auszuführende Operation
- Bitschalter modifizieren das Verhalten der spezifizierten `sembuf`-Operation

## Gliederung

- 1 Ausführungsstrang
  - Prozess
  - Prozessmodelle
  - Einplanung
  - Systemfunktionen
- 2 Koordinationsmittel
  - Konkurrenz
  - Koordinationsvariable
  - Systemfunktionen
- 3 Kommunikationsmittel
  - Botschaftenaustausch
  - Systemfunktionen
- 4 Zusammenfassung

## Problemdomänen der Kommunikation

Notwendigkeit domänenspezifischer Kommunikationsmechanismen



- i innerhalb desselben Adressraums
- ii zwischen verschiedenen Adressräumen desselben Rechenystems
- iii zwischen verschiedenen Rechenystemen

## Motivation

Konsequenz der **physikalischen Adressraumtrennung** durch eine MMU:

- in Ausführung befindliche Programme sind abgeschottet
  - Prozesse sind in (log./virt.) Adressräumen eingeschlossene „Gefangene“
  - sie können nicht ohne weiteres mit der „Außenwelt“ kommunizieren

- Kooperation muss **Adressraumgrenzen** überwinden können

Konsequenz **mehrerer Ausführungskontexte** innerhalb eines Adressraums:

- Programme laufen ggf. mehrfädig (engl. *multi-threaded*) ab
  - Fäden (engl. *threads*) sind eigene Kontrollflüsse im Programm
  - sie können nicht ohne weiteres mit anderen Fäden kommunizieren
- Kooperation muss **Kontrollflussgrenzen** überwinden können

### Semaphor ~ Zeitsignal

*Ein Semaphor eignet sich zur Anzeige des Ereignisses, dass Daten den einen Prozess verlassen haben und bei einem anderen Prozess eingetroffen sind. Den Datenaustausch selbst bewerkstelligt ein Semaphor nicht.*

## Interprozesskommunikation

Prinzipielle Aktionen

**Datentransfer** vom Sende- zum Empfangs**adressraum**

- über einen den Prozessen gemeinsamen Kommunikationskanal

**Synchronisation** von Sende- und Empfangs**prozess**

- Fortschritt des Empfangsprozesses hängt ab vom Sendeprozess
  - die Nachricht ist ein **konsumierbares Betriebsmittel**
  - Empfangsprozess ist **Konsument**, Sendeprozess ist **Produzent**
  - konsumiert werden kann nur, nachdem produziert worden ist
- Fortschritt des Sendeprozesses hängt ab vom Empfangsprozess
  - der Nachrichtenpuffer ist ein **wiederverwendbares Betriebsmittel**
  - Sendeprozess füllt, Empfangsprozess leert den Puffer
  - gefüllt werden kann nur, wenn noch Platz ist ( $\leftrightarrow$  leeren)
- die **Koordination** geschieht implizit mit der angewandten Primitive



## Kommunikationssemantiken [7]

**Sendep primitiven** wirken unterschiedlich auf den ausführenden Prozess, je nach **Grad der Synchronisation** mit dem Empfangsprozess:

**no-wait send** Sendeprozess wartet, bis die Nachricht im Transportsystem zum Absenden bereitgestellt worden ist

- Interprozesskommunikation **im Vorübergehen** (durch Pufferung)

**synchronization send** Sendeprozess wartet, bis die Nachricht vom Empfangsprozess angenommen worden ist

- **Rendezvous** zwischen Sender und Empfänger (ohne Pufferung)

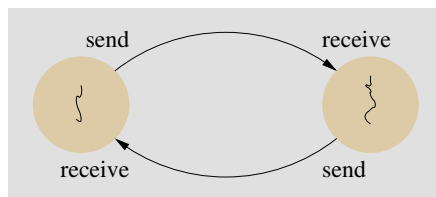
**remote-invocation send** Sendeprozess wartet, bis die Nachricht vom Empfangsprozess verarbeitet und beantwortet worden ist

- **Fernaufwurf** einer vom Empfangsprozess auszuführenden Funktion

**Empfangs primitiven** wirken (im Regelfall) gleich auf den ausführenden Prozess: er wartet, bis eine Nachricht von einem Sendeprozess eintrifft.

## Gleichberechtigte Kommunikation

*no-wait send* oder *synchronization send*



Die an der Kommunikation beteiligten Prozesse sind in ihrer Rollenfunktion gleichzeitig Produzent und Konsument von Nachrichten.

**send** Bereitstellung eines konsumierbaren Betriebsmittels

- in* Identifikation des Empfängers (Konsument)
- in* Basis/Länge der Nachricht

**receive** Anforderung eines konsumierbaren Betriebsmittels

- in* Basis/Länge eines Empfangspuffers
- out* Identifikation des Senders (Produzent)

## Kommunikationsmodelle

### Gleichberechtigte Kommunikation

Die miteinander kommunizierenden Prozesse spielen **dieselbe Rolle**; zwei Kommunikationspartner,  $P_1/P_2$ , sind sowohl Sender als auch Empfänger:

$$P_1 \left\{ \begin{array}{lcl} \text{send} & \longrightarrow & \text{receive} \\ \text{receive} & \longleftarrow & \text{send} \end{array} \right\} P_2$$

### Ungleichberechtigte Kommunikation

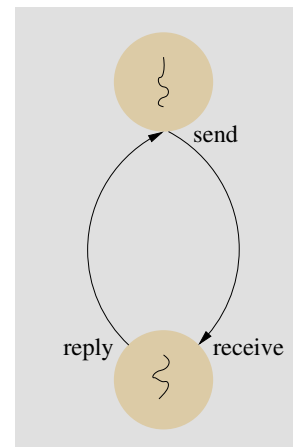
Die miteinander kommunizierenden Prozesse spielen **verschiedene Rollen**; ein Kommunikationspartner,  $P_2$ , ist **Dienstgeber** (engl. *server*), der andere,  $P_1$ , ist **Dienstnehmer** (engl. *client*):

$$(\text{Klient}) P_1 \left\{ \begin{array}{lcl} \text{send} & \longrightarrow & \text{receive} \\ & & \text{reply} \end{array} \right\} P_2 (\text{Anbieter})$$

## Ungleichberechtigte Kommunikation

*remote-invocation send*

Die an der Kommunikation beteiligten Prozesse besitzen unterschiedliche Rollenfunktionen, **Klient** einerseits und **Anbieter** andererseits:



**send** einer Anforderungsnachricht

- in* Identifikation des Anbieters
- in* Basis/Länge der Nachricht
- in* Basis/Länge des Empfangspuffers
- out* Identifikation eines Anbieters

**receive** einer Anforderungsnachricht

- in* Basis/Länge des Empfangspuffers
- out* Identifikation des Klienten

**reply** einer Antwortnachricht

- in* Identifikation des Klienten
- in* Basis/Länge der Nachricht



## Senke der Interprozesskommunikation

Adressierung des Kommunikationspartners — direkt vs. indirekt

**Faden** (engl. *thread*) **Konsument** der Nachricht

- direkte Adresse der die Nachricht verarbeitenden Aktivität
- die Prozessidentifikation (PID)

**Tor** (engl. *port*) **Anschluss zur Weiterleitung/Zustellung** von Nachrichten, der einem bestimmten Prozess zugeordnet ist

- Prozesse können mehrere solcher Anschlüsse besitzen
  - Ein- und/oder Ausgangstore für Nachrichten
- die Zuordnung ist statisch oder dynamisch

**Briefkasten** (engl. *mailbox*) **Zwischenspeicher** für Nachrichten, der durch Senden gefüllt und Empfangen geleert wird

- der Pufferbereich ist keinem Prozess zugeordnet
- $N$  Prozesse können dahin senden und daraus empfangen

## Kommunikation und Betriebsmittel

Synchrone vs. asynchrone Interprozesskommunikation

Prozesse synchronisieren sich zur Kommunikation, indem sie Betriebsmittel anfordern und bereitstellen (S. 28):

**Sender** benötigt das wiederverwendbare Betriebsmittel „Puffer“

- synchrone IPC  $\Rightarrow$  der Zielpuffer (des Empfängers)
- asynchrone IPC  $\Rightarrow$  ein Zwischenpuffer

**Empfänger** benötigt das konsumierbare Betriebsmittel „Nachricht“

- asynchrone IPC  $\Rightarrow$  ein Zwischenpuffer
- synchrone IPC  $\Rightarrow$  der Quellpuffer (des Senders)

### Betriebsmittelmangel

Ursache für die **Blockierung** der Prozesse bei der Kommunikation:

- Empfänger erwartet Nachricht, Sender erwartet freien Puffer
- „asynchron“ bedeutet nicht „nicht-blockierend“ oder „wartefrei“

## Verbindungen zwischen kommunizierenden Prozessen

Gütemerkmale (engl. *quality of service*) garantieren

IPC nutzt (in dem Fall) **Torverbindungen** und verläuft in drei Phasen:

**Aufbauphase** plant die zur Durchsetzung der jeweils angeforderten Gütemerkmale notwendigen Betriebsmittel ein

- Puffer, Fäden, Bandbreite, ..., Protokoll

**Nutzungsphase** Botschaftenaustausch gemäß Gütemerkmale

**Abbauphase** gibt die reservierten (eingeplanten) Betriebsmittel frei und löst die Verbindung auf

### Richtung/Betriebsart verbindungsorientierter Kommunikation

	Richtung		Betriebsart
unidirektional	$Tor_s \rightarrow$	$Tor_r$	halbduplex
bidirektional	$Tor_{sr} \longleftrightarrow$	$Tor_{rs}$	voll duplex

## UNIX Systemfunktionen

### Linux, MacOS, SunOS

```
s = socket(domain, type, protocol)
ok = bind(s, name, namelen)
num = recvfrom(s, buf, buflen, flags, from, fromlen)
num = sendto(s, msg, msglen, flags, to, tolen)
ok = connect(s, name, namelen)
ok = listen(s, backlog)
d = accept(s, addr, addrlen)
num = recv(d, buf, buflen, flags)
num = send(s, msg, msglen, flags)
ptr = gethostbyname(name)
...
```

## Gliederung

- 1 Ausführungsstrang
  - Prozess
  - Prozessmodelle
  - Einplanung
  - Systemfunktionen
- 2 Koordinationsmittel
  - Konkurrenz
  - Koordinationsvariable
  - Systemfunktionen
- 3 Kommunikationsmittel
  - Botschaftenaustausch
  - Systemfunktionen
- 4 Zusammenfassung

## Literaturverzeichnis

- [1] COFFMAN, E. G. ; DENNING, P. J.:  
*Operating System Theory*.  
Prentice Hall, Inc., 1973
- [2] CONWAY, M. E.:  
Design of a Separable Transition-Diagram Compiler.  
In: *Communications of the ACM* 6 (1963), Jul., Nr. 7, S. 396–408
- [3] CONWAY, R. W. ; MAXWELL, L. W. ; MILLNER, L. W.:  
*Theory of Scheduling*.  
Addison-Wesley, 1967
- [4] DIJKSTRA, E. W.:  
Cooperating Sequential Processes / Technische Universiteit Eindhoven.  
Eindhoven, The Netherlands, 1965 (EWD-123). –  
Forschungsbericht. –  
(Reprinted in *Great Papers in Computer Science*, P. Laplante, ed., IEEE Press, New York,  
NY, 1996)

## Resümee

- die **Prozessinstanz** ist Exemplar eines Prozesses
  - sie lässt sich verschiedenen Gewichtsklassen zuordnen:
    - feder-, leicht- und schwergewichtige Prozesse
    - hinter denen sich unterschiedliche Prozessmodelle verbergen
- die **Einplanung** legt Zeitpunkt und Reihenfolge von Prozessen fest
  - Prozessinstanzen werden Verarbeitungszustände zugeschrieben
    - Zustandsübergänge (in EBNF):  $\{\{bereit, laufend\} \rightarrow, [blockiert]\}$
    - UNIX: verdrängend, nicht-deterministisch, gekoppelt, Zeitmultiplex
- gleichzeitige Prozesse ziehen **Interaktion** nach sich:
  - implizit bei einander unbekannten Prozessen im Betriebssystem
  - explizit bei einander bekannten Prozessen im Maschinenprogramm
- in **Konkurrenz** sind Prozesse zu koordinieren bzw. synchronisieren
  - durch den Austausch von Zeitsignalen mittels Koordinationsvariable
  - aber ebenso durch Botschaftenaustausch: Interprozesskommunikation

## Literaturverzeichnis (Forts.)

- [5] HERTWICH, R. G. ; HOMMEL, G. :  
*Kooperation und Konkurrenz — Nebenläufige, verteilte und echtzeitabhängige  
Programmsysteme*.  
Springer-Verlag, 1989. –  
ISBN 3–540–51701–4
- [6] KLEINROCK, L. :  
*Queueing Systems*. Bd. I: Theory.  
John Wiley & Sons, 1975
- [7] LISKOV, B. J. H.:  
Primitives for Distributed Computing.  
In: *Proceedings of the Seventh Symposium on Operating System Principles (SOSP 1979),  
December 10–12, 1979, Pacific Grove, California, USA*, ACM, 1979. –  
ISBN 0–89791–009–5, S. 33–42
- [8] LISTER, A. M. ; EAGER, R. D.:  
*Fundamentals of Operating Systems*.  
The Macmillan Press Ltd., 1993. –  
ISBN 0–333–59848–2

## Parthenogenese in UNIX

### Prozess aufspalten, abwarten und beenden

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/wait.h>

char parent[] = "Elter: ", child[] = " Kind: ";

main() {
    pid_t pid;
    int zwerg;

    switch ((pid = fork())) {
        case -1:
            perror("fork");
            exit(1);
        case 0:
            printf("%sHier ist der Kindprozess, meine PID ist %d.\n", child, getpid());
            printf("%sDie PID meines Elterprozesses ist %d.\n", child, getppid());
            printf("%sGib mir einen (kleinen Wert als) Exitstatus: ", child);
            scanf("%d", &zwerg);
            printf("%sDanke und Tschüss!\n", child);
            exit(zwerg);
        default:
            printf("%sHier ist ein Elterprozess, meine PID ist %d.\n", parent, getpid());
            printf("%sDie PID meines Kindprozesses ist %d...\n", parent, pid);
            wait(&zwerg);
            printf("%sDer Exitstatus meines Kindprozesses ist %d.\n", parent, WEXITSTATUS(zwerg));
            printf("%sHollaröhdulliöh!\n", parent);
    }
}
```

## Einrichten und initialisieren einer Koordinationsvariablen

```
#include <sys/sem.h>

typedef struct {
    int sid; /* Semaphordeskriptor/-kennung */
    struct sembuf sop; /* Deskriptor der Semaphoroperation */
} sema_t;

sema_t sema; /* Semaphorexemplar */

int main () {
    ...
    sema.sid = semget(IPC_PRIVATE, 1, IPC_CREAT);
    if (sema.sid == -1) perror("semget");
    else if (semctl(sema.sid, 0, SETVAL, 1) == -1)
        perror("semctl");
    ...
}
```

## Ablaufprotokoll der Interaktion Elter ↔ Kind

```
wosch@gondor 71$ gcc -O6 -o fork fork.c
wosch@gondor 72$ ./fork
Elter: Hier ist ein Elterprozess, meine PID ist 1984.
Elter: Die PID meines Kindprozesses ist 1985...
Kind: Hier ist der Kindprozess, meine PID ist 1985.
Kind: Die PID meines Elterprozesses ist 1984.
Kind: Gib mir einen (kleinen Wert als) Exitstatus: 42
Kind: Danke und Tschüss!
Elter: Der Exitstatus meines Kindprozesses ist 42.
Elter: Hollaröhdulliöh!
wosch@gondor 73$
```

## Nachbildung von P und V

```
void prolaag (sema_t *s) {
    int ok;

    assert(s);

    s->sop.sem_op = -1;
    ok = semop(s->sid, &s->sop, 1);

    assert(ok != -1);
}

inline void P () { prolaag(&sema); }
```

```
void verhoog (sema_t *s) {
    int ok;

    assert(s);

    s->sop.sem_op = 1;
    ok = semop(s->sid, &s->sop, 1);

    assert(ok != -1);
}

inline void V () { verhoog(&sema); }
```

Scheitern von P/V sieht die klassische Definition [4] nicht vor:

- durch **Zusicherung** (engl. *assertion*) wird „Gelingen“ garantiert

### Achtung

- DNDEBUG bzw. #define NDEBUG stellen Zusicherungen ab