Systemprogrammierung

Betriebssystemkonzepte: Prozesse

Wolfgang Schröder-Preikschat

Lehrstuhl Informatik 4

25. November 2010

Gliederung

Programm in Ausführung

Kontrolliert durch Programme, exekuiert auf einen 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 ausgeführt werden

- 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

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 ☹

Prozessinkarnation, 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

- synonyme Verwendung der Begriffe kann zu Missverständnissen führen

Gewichtsklassen von Prozessinkarnationen

schwergewichtiger Prozess (engl. *heavyweight process*)

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

leichtgewichtiger Prozess (engl. *lightweight process*)

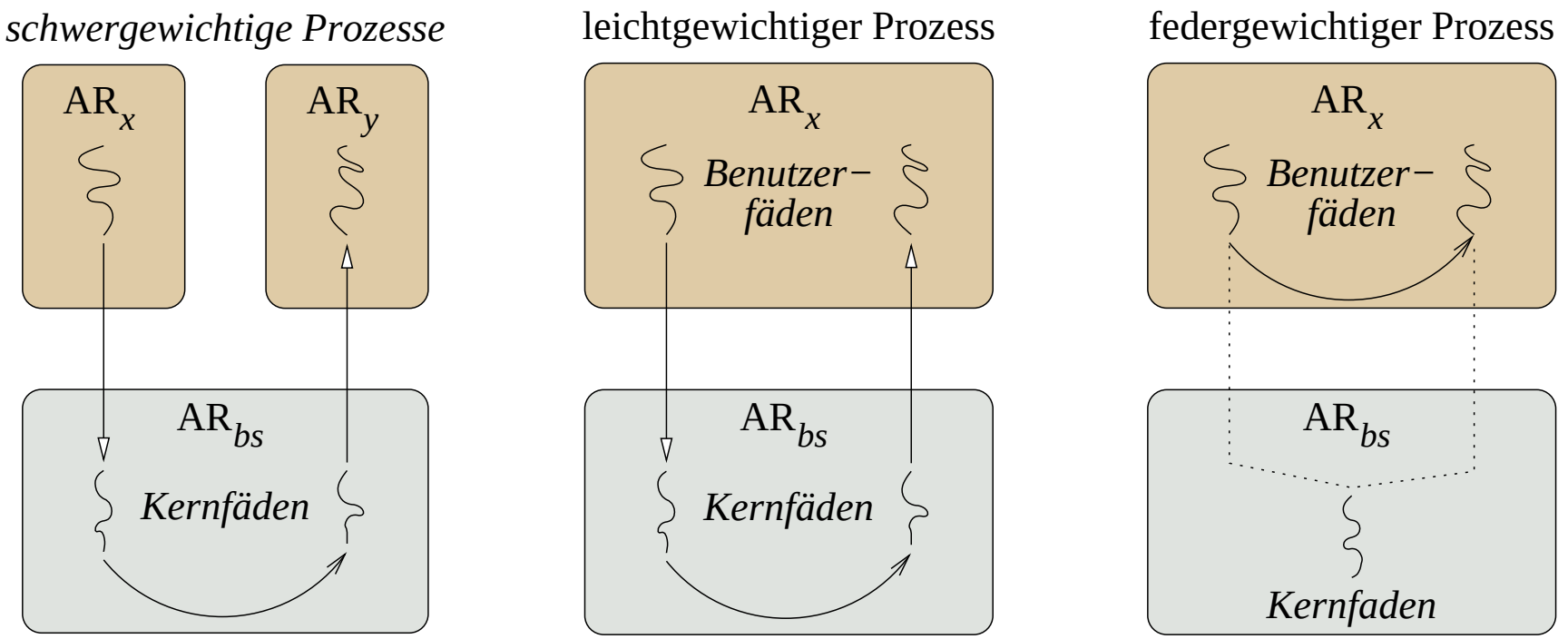
- Prozessinkarnation und Adressraum sind voneinander entkoppelt
- Prozesswechsel $\leadsto$ einen Adressraumwechsel: $AR_x \Rightarrow BS \Rightarrow AR_x$
  - Kernfaden (engl. *kernel thread*): Faden auf Kernebene

federgewichtiger Prozess (engl. *featherweight process*)

- Prozessinkarnationen 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

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

Benutzthierarchie von Prozessinkarnationen

Implementierung von Prozessen

schwergewichtiger Prozess

⇓

leichtgewichtiger Prozess

⇓

federgewichtiger 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(inkarnation)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

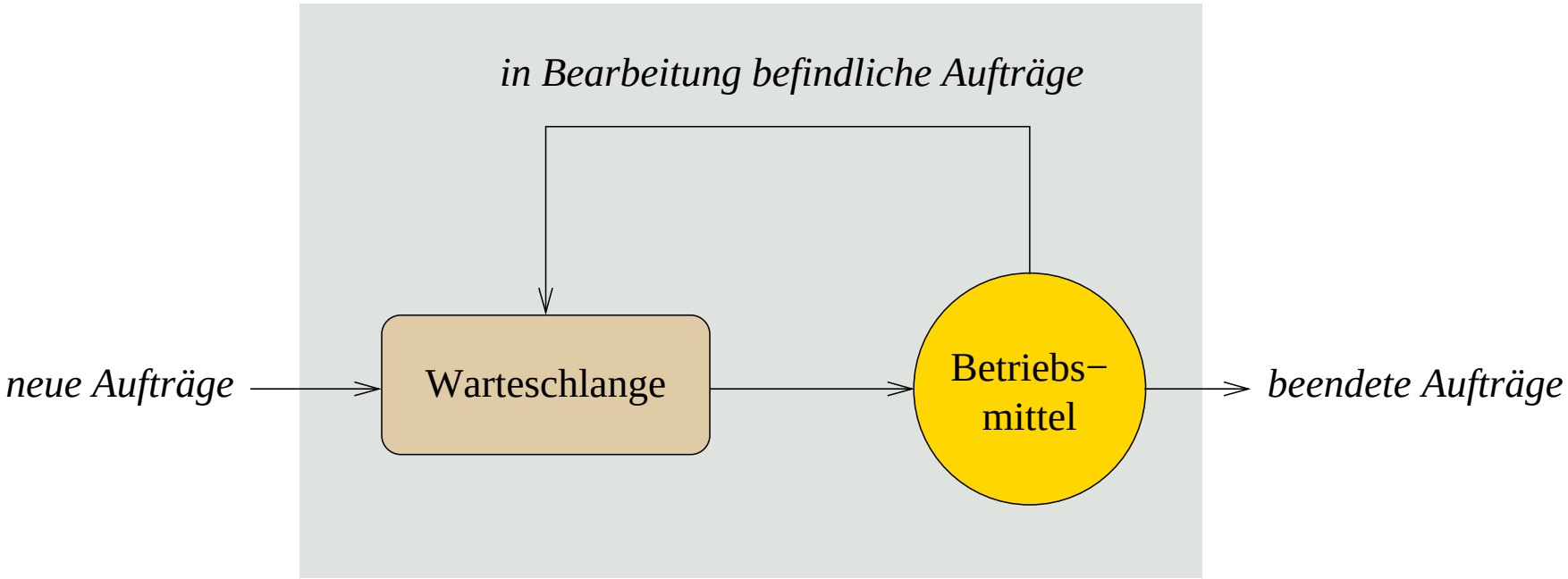
Ablaufplan (engl. *schedule*) zur Betriebsmittelzuteilung erstellen

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

Prozessen das Betriebsmittel { Prozessor, Speicher, Gerät, ⋮, Datei, Nachricht, Puffer } koordiniert zuteilen

Prinzipielle Funktionsweise von Einplanungsalgorithmen

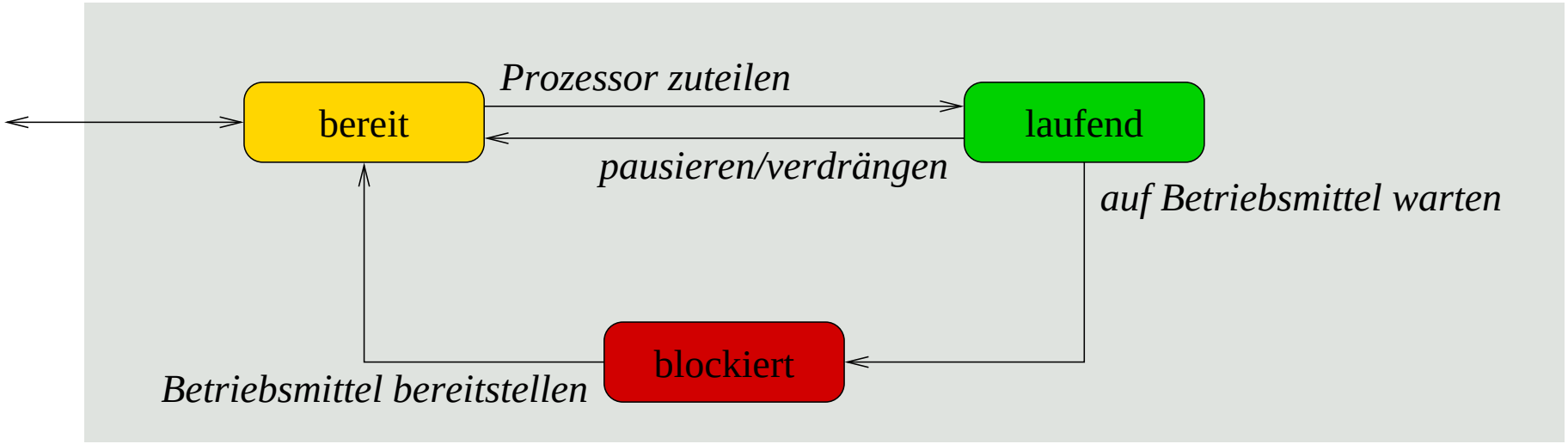
Verwaltung von (betriebsmittelgebundenen) Warteschlangen



Ein einzelner Einplanungsalgorithmus charakterisiert sich 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 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*)

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)
    :
```

Gliederung

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

Gleichzeitige Prozesse „*Considered Harmful*“

Kritischer Abschnitt (engl. *critical section*)

Rückblick: einander überlappendes Zählen

- `wheel++` ist nicht immer eine unteilbare Operation
  - diese Operation der Ebene $_5$ ist nur „scheinbar elementar“
  - ggf. bildet sie eine Sequenz von Elementaroperationen der Ebene $_4$
  - 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. . .

Einreihung in eine einfach verkettete Liste

(☞ Aufgabe 1)

```
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:

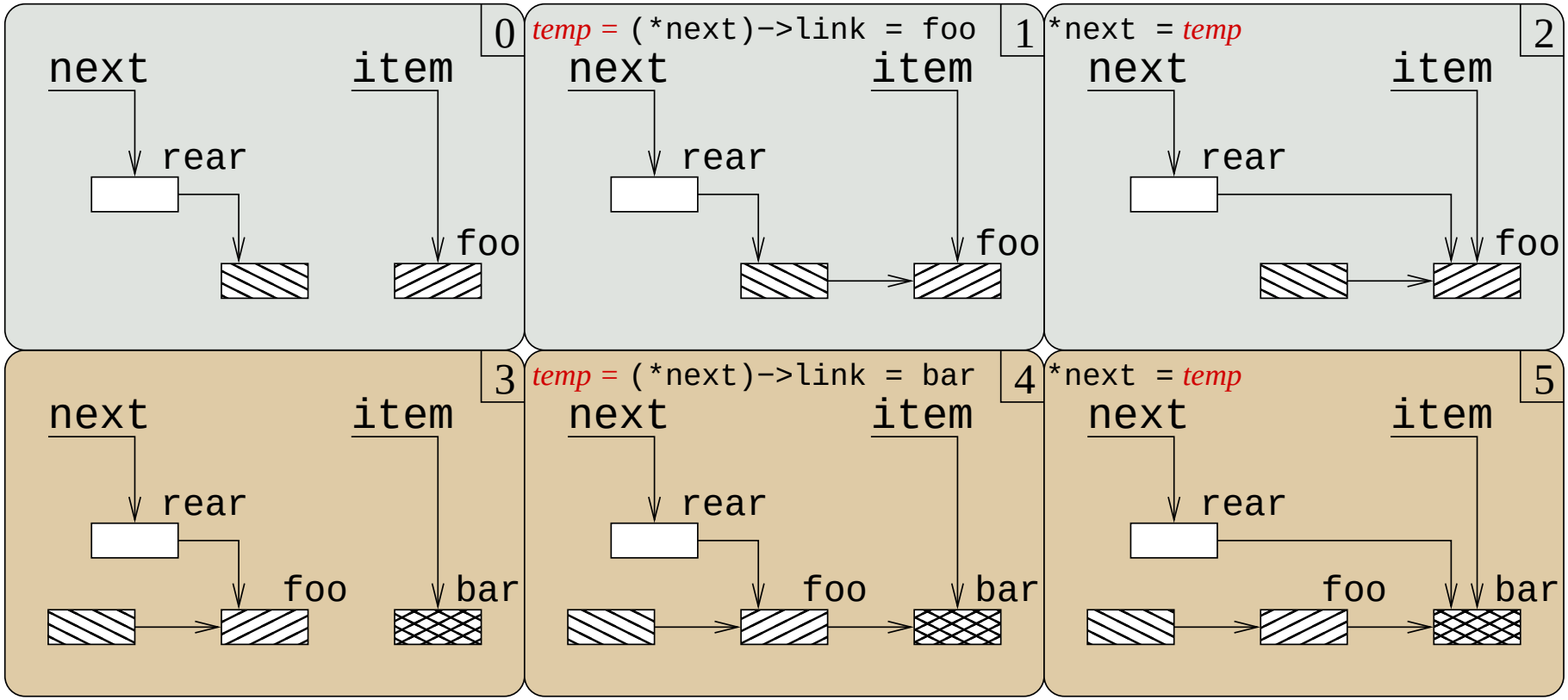
1. Element einfügen: *temp* = `(*next)->link = item`
2. nächste Einfügestelle vermerken: `*next` = *temp*

Annahme: Verdrängung dazwischen und Mitbenutzung

- Verkettungsglied `*next` wird zur kritischen Variablen

Verkettung: Sequentielle Ausführung

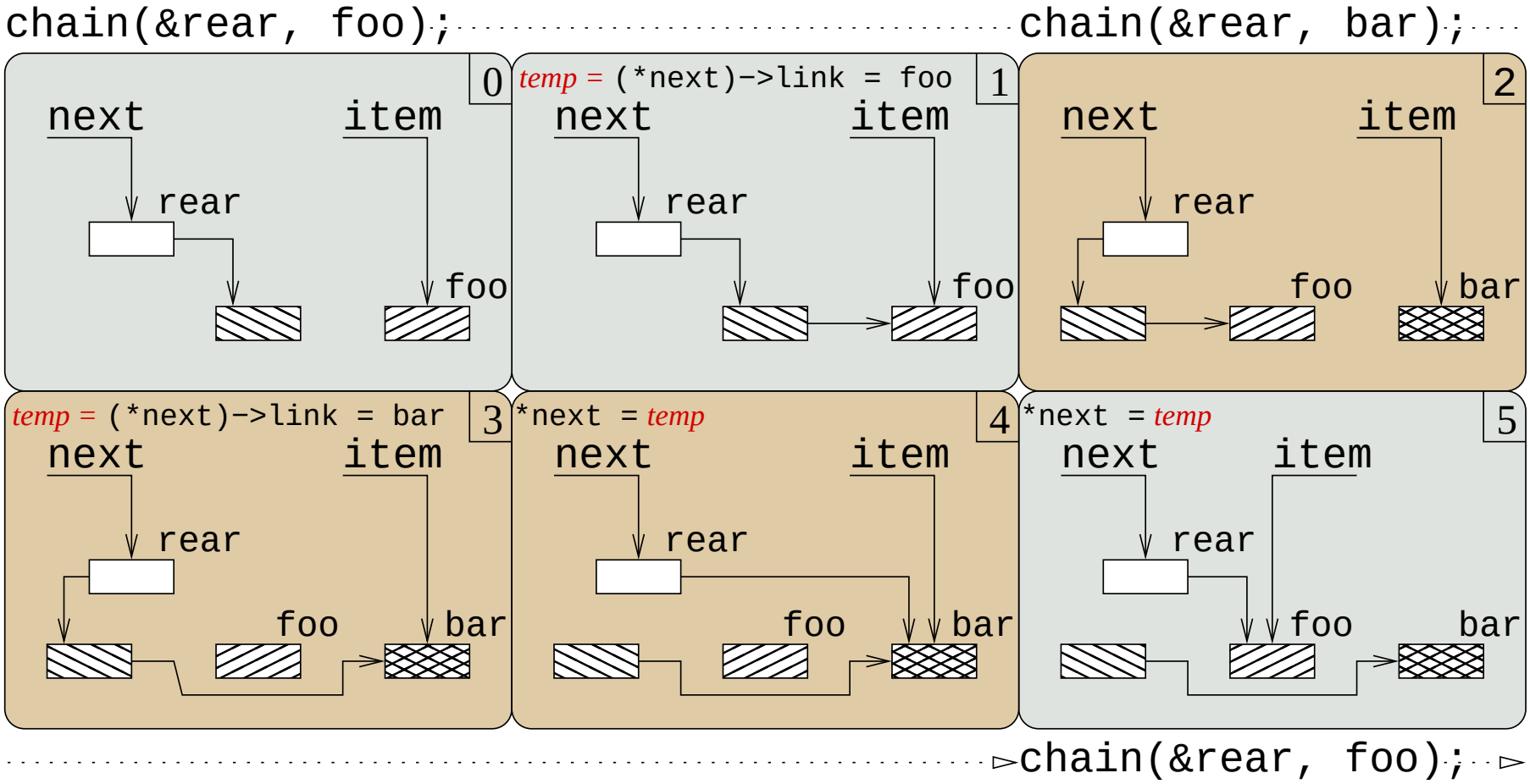
```
chainlink *rear, *foo, *bar;
chain(&rear, foo);
```




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

Verkettung: Nicht-sequentielle Ausführung

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



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).

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[a]

[a] `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();
}
```

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 Semaphoroperationen werdeb 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

Motivation

Konsequenz der physikalischen Adressraumtrennung durch eine MMU:

- in Ausführung befindliche Programme sind abgeschottet
  - Prozesse sind in (log./virt.) Adressräumen eingesperrte „Gefangene“
  - sie können nicht ohne weiteres mit der „Außenwelt“ kommunizieren
- Kooperation muss **Adressraumgrenzen** überwinden können

Konsequenz mehrerer Ausführungskontexte innerhalb eines Adressraums:

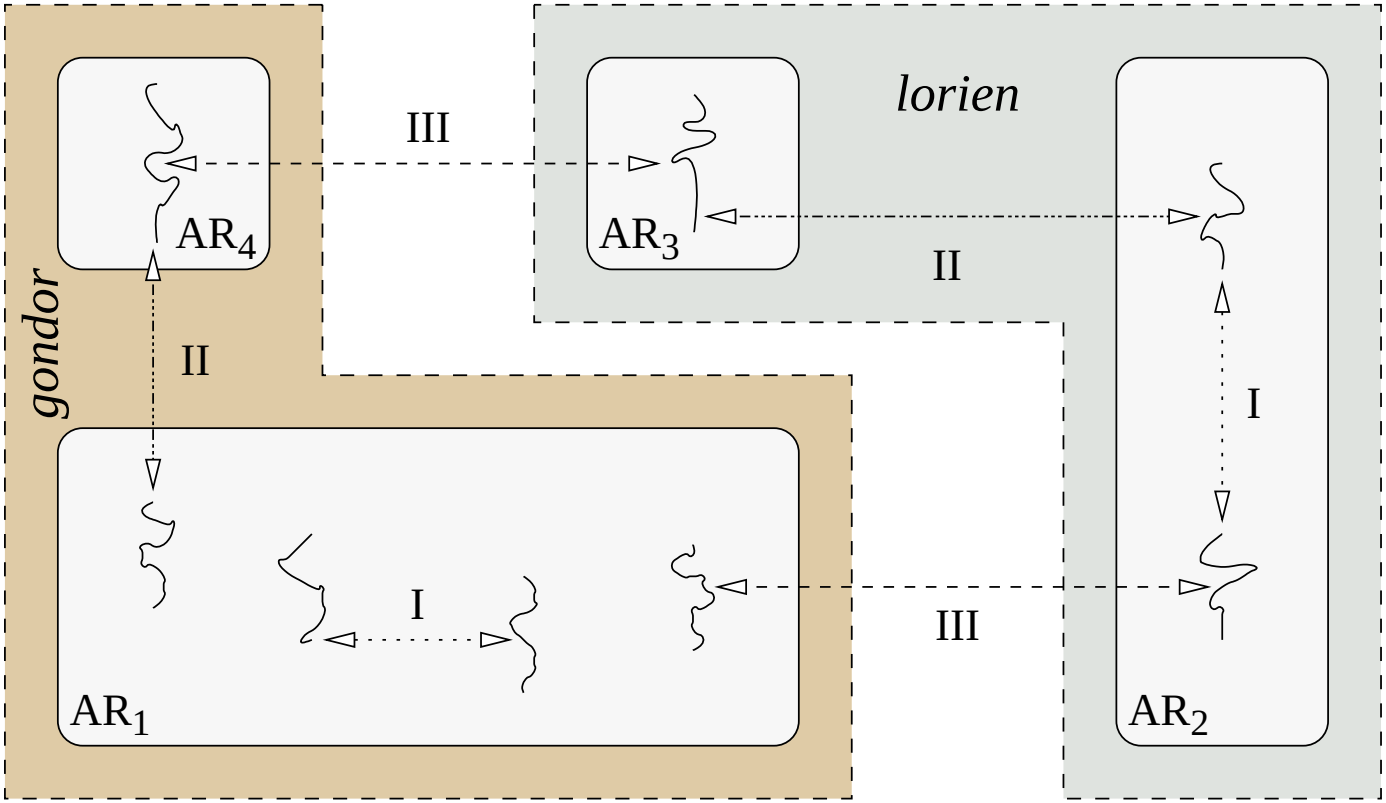
- Programme laufen ggf. mehrfädig (engl. *multi-threaded*) ab
  - Fäden (engl. *threads*) sind eigene Kontrollflüsse im Programm
  - sie können nicht ohne weiteres mit anderen Fäden kommunizieren
- Kooperation muss **Kontrollflussgrenzen** überwinden können

Semaphor $\sim$ 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.

Problemdomänen der Kommunikation

Notwendigkeit domänenspezifischer Kommunikationsmechanismen



i innerhalb desselben Adressraums

ii zwischen verschiedenen Adressräumen desselben Rechensystems

iii zwischen verschiedenen Rechensystemen

Interprozesskommunikation

Prinzipielle Aktionen

Datentransfer vom Sende- zum Empfangsadressraum

- über einen den Prozessen gemeinsamen Kommunikationskanal

Synchronisation von Sende- und Empfangsprozess

- 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 ($\hookrightarrow$ leeren)
- die Koordination geschieht implizit mit der angewandten Primitive

Kommunikationssemantiken [7]

Sendeprimitiven 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

- **Fernaufruf** einer vom Empfangsprozess auszuführenden Funktion

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

Kommunikationsmodelle

Gleichberechtigte Kommunikation

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

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

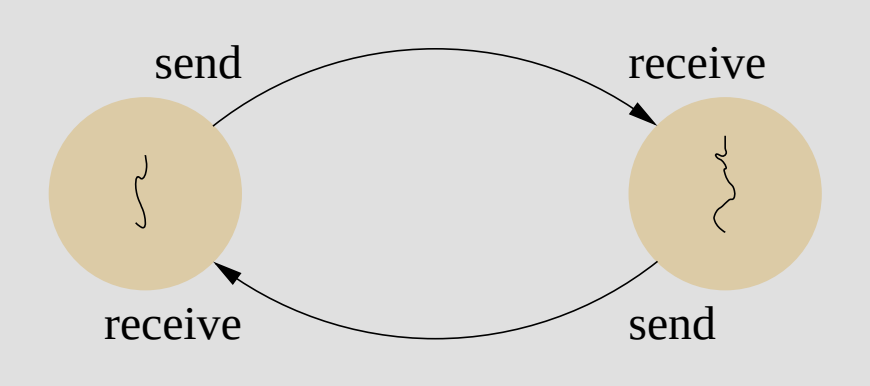
Ungleichberechtigte Kommunikation

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

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

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

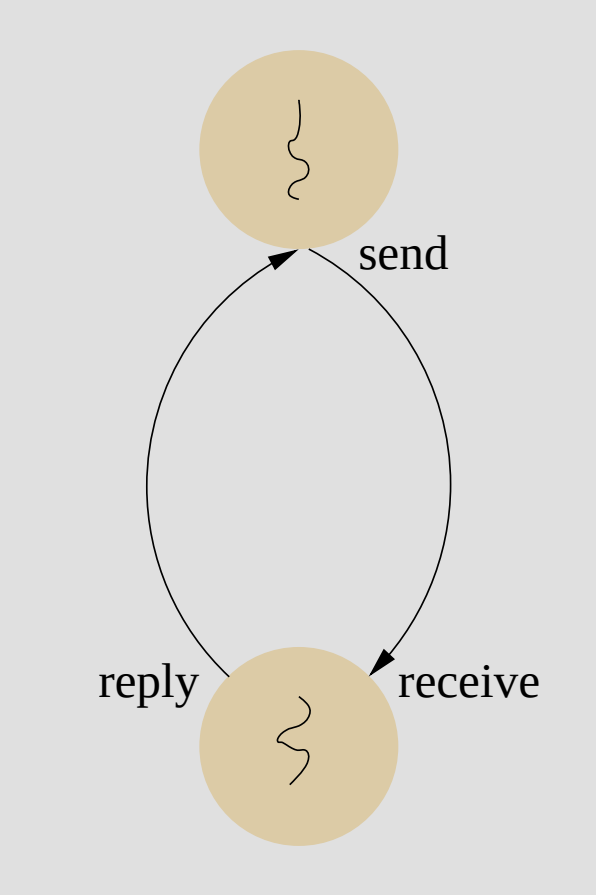
receive Anforderung eines konsumierbaren Betriebsmittels

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

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 Instanz
- 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	$\longrightarrow$	Tor_r	halbduplex
bidirektional	Tor_{sr}	$\longleftrightarrow$	Tor_{rs}	vollduplex

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

Resümee

- die **Prozessinkarnation** 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
  - Prozessinkarnationen werden Verarbeitungszustände zugeschrieben
    - Zustandsübergänge (in EBNF): $\{\{\text{bereit, laufend}\}-, [\text{blockiert}]\}$
  - 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

[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), 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. –
Forschungsbericht. –
(Reprinted in *Great Papers in Computer Science*, P. Laplante, ed., IEEE Press, New York, NY, 1996)

Literaturverzeichnis (Forts.)

[5] Herrtwich, R. G. ; Hommel, G. :
Kooperation und Konkurrenz — Nebenläufige, verteilte und echtzeitabhängige Programmsysteme.
Springer-Verlag, 1989. –
ISBN 3–540–51701–4

[6] Kleinrock, L. :
Queuing 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

(☞ Aufgabe 3)

```
#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("%sHollaröhdullıöh!\n", parent);
    }
}
```

Ablaufprotokoll der Interaktion Elter $\leftrightarrow$ 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: Hollaröhdullıöh!
wosch@gondor 73$
```

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");
    ...
}
```

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