

# 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

- ▶ nebenläufige 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 Prozesse
  - ▶ paralleles/verteiltes Programm
- ▶ die Prozesse **kooperieren** bei der gemeinsamen Programmausführung

# Nebenläufigkeit „Considered Harmful“

Kritischer Abschnitt (engl. *critical section*)

Rückblick: nebenläufiges Zählen (S. III-51)

- ▶ **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 können die Folge sein

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

„Elementaroperation“ zum Anhängen eines Kettenglieds

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

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

`gcc -O6 -fomit-frame-pointer -S chain.c.` Auf der Assembliersprachenebene ist erkennbar, dass die Einfügeoperation als Folge von Einzelschritten auf der CPU zur Ausführung kommt. Im Falle der nicht-sequentiellen Ausführung ist nach jedem Einzelschritt mit einer asynchronen Programmunterbrechung zu rechnen, die eventuell die Verdrängung des laufenden Prozesses bewirkt und einen anderen Prozess startet, der dieselbe Funktion zeitlich überlappend (und damit nebenläufig) ausführen könnte.

Die Funktion hängt ein neues Kettenglied hinter `*next` ein: `(*next)->link = item`. Der Zuweisungswert ist gleichfalls die Adresse des Kettenglieds, an dem das nächste Kettenglied angehängt werden soll. Diese Adresse wird vermerkt: `*next = Wert`. Damit ist `next` Einfügezeiger in eine einfach verkettete Liste.

## x86

`chain:`

```
    movl 4(%esp), %ecx
    movl 8(%esp), %edx
    movl (%ecx), %eax
    movl %edx, (%eax)
    movl %edx, (%ecx)
    ret
```

## PPC

`_chain:`

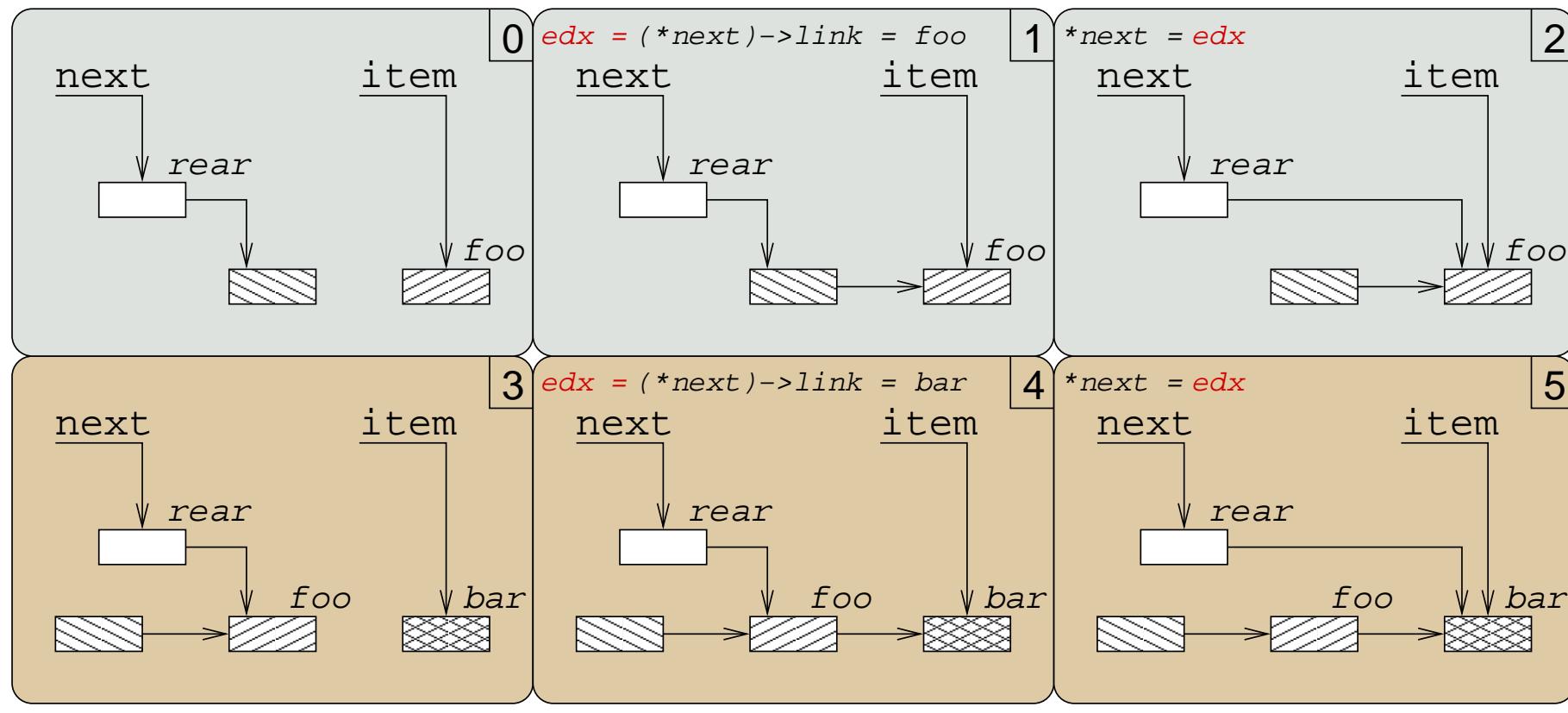
```
    lwz r5,0(r3)
    stw r4,0(r5)
    stw r4,0(r3)
    blr
```

# Einreihung in eine einfach verkettete Liste (Forts.)

## Sequentielle Ausführung

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

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



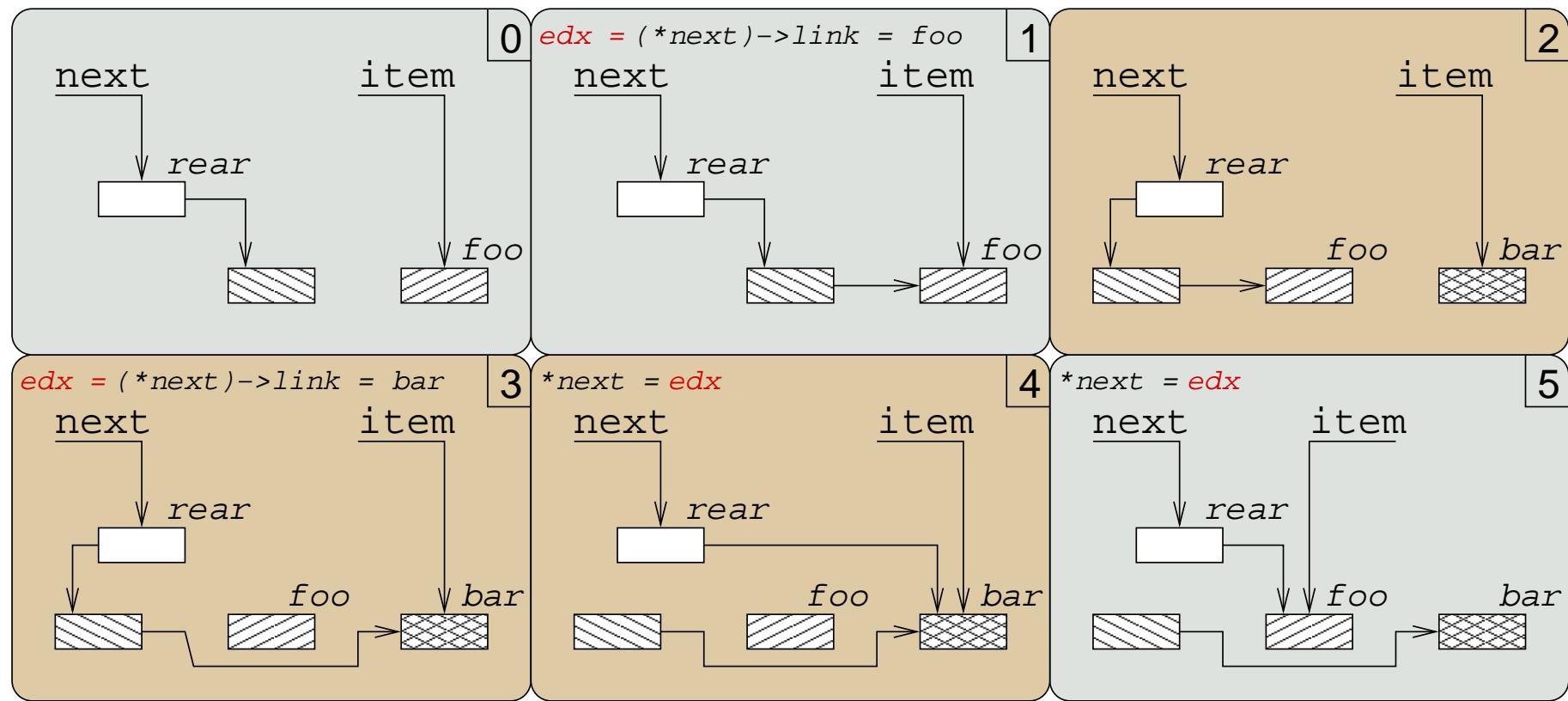
```
chain(&rear, bar);
```

# Einreihung in eine einfach verkettete Liste (Forts.)

## Nicht-sequentielle Ausführung

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

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



# Koordinationsvariable

Semaphor (engl. *semaphore*)

Eine „nicht-negative ganze Zahl“, für die zwei **unteilbare Operationen** definiert sind [54]:

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 [55, S. 26]:

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

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

P() und V() klammern den kritischen Abschnitt: P() stellt sicher, dass die Anweisungen bis zum V() nicht zugleich von mehreren Prozessen ausgeführt werden können.

# UNIX Systemfunktionen

## Operationen auf Semaphore

Linux, MacOS, SunOS

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

Sequenzen von Semaphoroperationen können unteilbar ausgeführt werden

- ▶ technisch ist die Sequenz als ein sembuf-Feld repräsentiert

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

- ▶ jede sembuf-Instanz beschreibt eine (ggf. andere) auszuführende Operation
- ▶ die sembuf-Reihenfolge bestimmt die Ausführungsreihenfolge der Operationen

# UNIX Semaphor

Einrichten und initialisieren einer Koordinationsvariablen

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

int mutex;
struct sembuf sema;

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

# UNIX Semaphor (Forts.)

Nachbildung von P und V

```
void P () {  
    int ok;  
  
    sema.sem_op = -1;  
    ok = semop(mutex, &sema, 1);  
  
    assert(ok != -1);  
}
```

```
void V () {  
    int ok;  
  
    sema.sem_op = 1;  
    ok = semop(mutex, &sema, 1);  
  
    assert(ok != -1);  
}
```

Scheitern von P/V sieht die klassische Definition [54] nicht vor:

- ▶ durch **Zusicherung** (engl. *assertion*) wird Gelingen „garantiert“
  - ▶ gelingt `semop()`, kehrt die aufrufende Funktion zurück
  - ▶ gelingt `semop()` nicht, wird das Programm abgebrochen
- ▶ **Achtung**: `-DNDEBUG` bzw. `#define NDEBUG` stellen Zusicherungen ab

# Kommunikation durch Nachrichten

Motivation zum Botschaftenaustausch (engl. *message passing*)

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

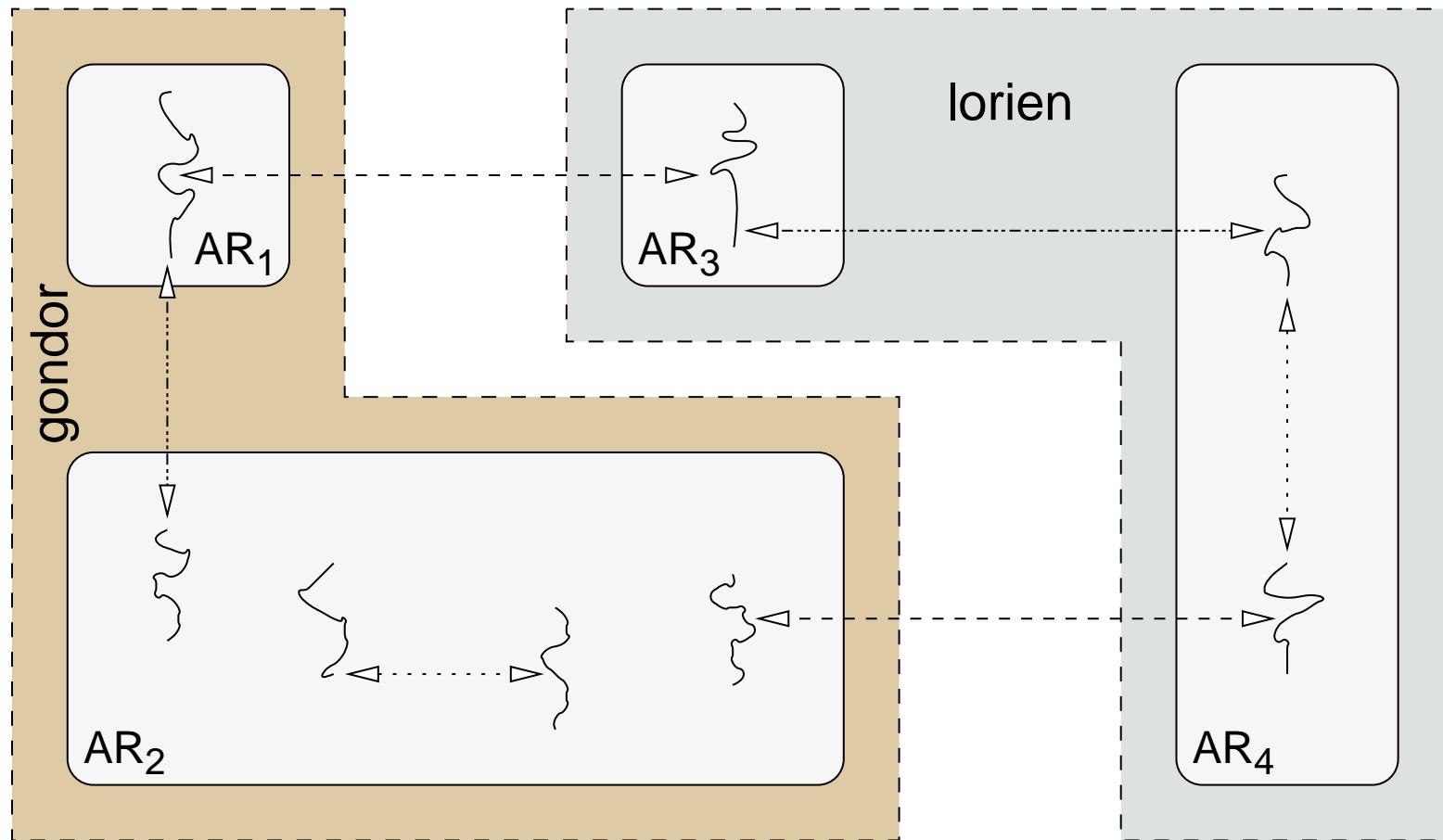
Konsequenz **mehrerer Ausführungskontexte** innerhalb eines Adressraums:

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

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



# Botschaftenaustausch zwischen Prozessen

## Prinzipielle Aktionen

### Datentransfer vom Sende- zum Empfangsadressraum

- ▶ über einen den Prozessen gemeinsamen Kommunikationskanal

### Synchronisation von Sende- und Empfangsprozess

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

# Kommunikationssemantiken

Primitiven zum Botschaftenaustausch [56]

**Sendaprimitiven** 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

Rollenspiele bei der Interprozesskommunikation

## Gleichberechtigte Kommunikation

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

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

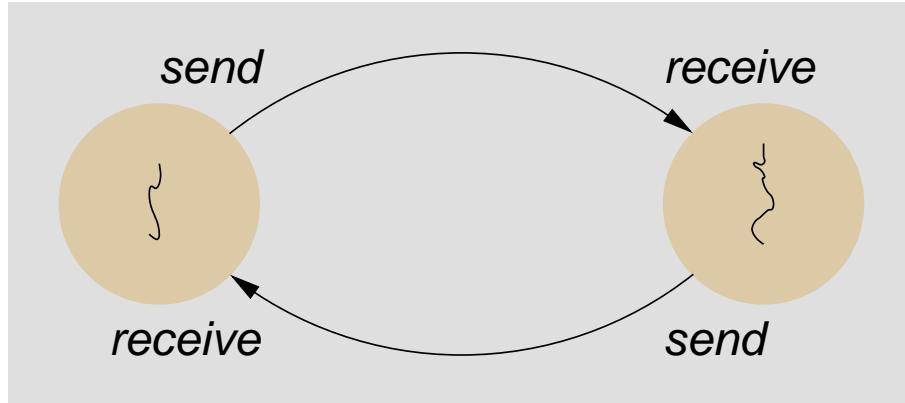
## Ungleichberechtigte Kommunikation

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

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

# 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)

# Gleichberechtigte Kommunikation (Forts.)

Gegenseitige Abhängigkeit der Botschaften austauschenden Prozesse

```
void ibm () {  
    char buf [SBUFSZ] ;  
    pid_t from, peer = lookup("hal") ;  
  
    ipc_send(peer, "?", 1) ;  
    from = ipc_receive(buf, sizeof(buf)) ;  
    if (from == peer) printf ("%s\n", buf) ;  
}
```

```
void hal () {  
    char buf [RBUFSZ] ;  
    pid_t peer ;  
  
    peer = ipc_receive(buf, sizeof(buf)) ;  
    if (peer && (buf[0] == '?'))  
        ipc_send(peer, "42", 3) ;  
}
```

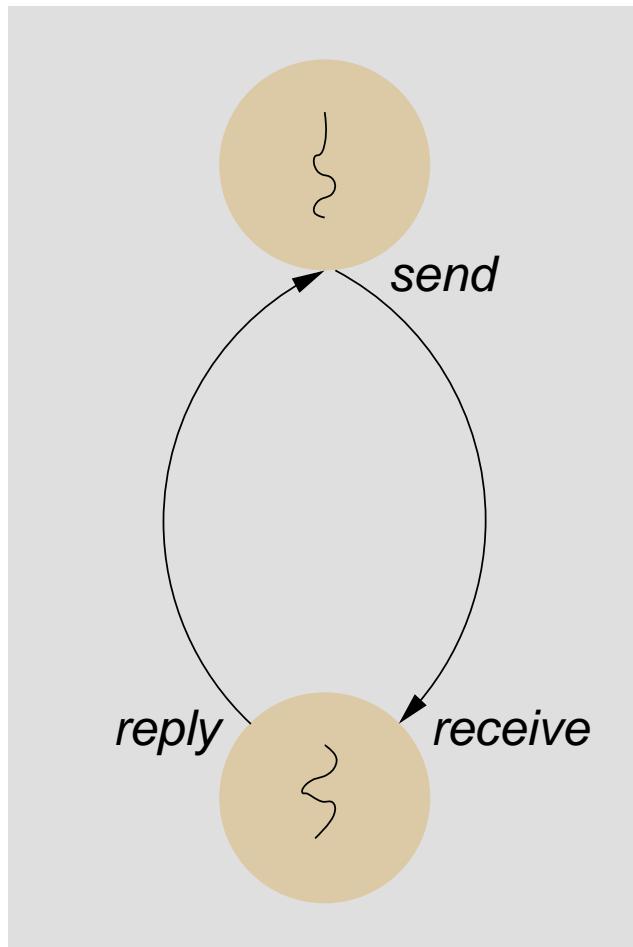
Sender „ibm“ muss die Adresse des Empfängers ermitteln, um ihm eine Nachricht zustellen zu können:

- ▶ **Namensdienst**  
(engl. *name service*)
  - ▶ `lookup()` liefert die PID von „hal“
- Empfänger „hal“ erhält die Adresse des Senders implizit beim Empfang der Nachricht

# 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 eines Empfangspuffers

*out* Identifikation eines Anbieters

**receive** einer Anforderungsnachricht

*in* Basis/Länge eines Empfangspuffers

*out* Identifikation des Klienten

**reply** einer Antwortnachricht

*in* Identifikation des Klienten

*in* Basis/Länge der Nachricht

# Ungleichberechtigte Kommunikation (Forts.)

Anbieter sind unabhängig von der Empfangsbereitschaft der Klienten

```
void ibm () {  
    char buf [SBUFSZ];  
    pid_t peer = lookup("hal");  
  
    if (send(peer, "?", 1, buf, sizeof(buf)) == peer)  
        printf("%s\n", buf);  
}
```

```
void hal () {  
    char buf [RBUFSZ];  
    pid_t peer;  
  
    peer = receive(buf, sizeof(buf));  
    if (peer && (buf[0] == '?'))  
        reply(peer, "42", 3);  
}
```

**Klient** „ibm“ ruft Dienst ab und erwartet Antwort (`send()`)

**Anbieter** „hal“ erbringt Dienst (`receive()`) und gibt Antwort (`reply()`)

# 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. V-89):

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

synchrone IPC ⇒ der Zielpuffer (des Empfängers)

asynchrone IPC ⇒ ein Zwischenpuffer

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

asynchrone IPC ⇒ ein Zwischenpuffer

synchrone IPC ⇒ der Quellpuffer (des Senders)

**Betriebsmittelmangel** ist die Ursache dafür, dass Prozesse bei der Kommunikation ggf. blockieren werden:

- ▶ 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 verwendet (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 reservierte Betriebsmittel frei, löst die Verbindung auf

Betriebsarten der durch Torverbindungen entstehenden Verbindungskanäle bestimmen u.a. die möglichen Richtungen des Datentransfers:

<b>unidirektional</b>	$Tor_s \longrightarrow Tor_r$	<b>halbduplex</b>
<b>bidirektional</b>	$Tor_{sr} \longleftrightarrow Tor_{rs}$	<b>vollduplex</b>

# 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)
:
:
```

# Botschaftenaustausch mit UNIX Systemfunktionen

Sendeprimitive (passend zu S. V-93) — mit Bedacht zu verwenden

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <sys/un.h>
#include "./message.h"
#include "./pid2rid.h"

int ipc_send (pid_t peer, char *data, unsigned size) {
    int ok, s, nbytes;
    struct sockaddr_un addr;
    message *msg;
    char name[RIDSZ];

    if ((ok = s = socket(AF_UNIX, SOCK_DGRAM, 0)) != -1) {
        if ((ok = (msg = (message*)malloc(nbytes = sizeof(message) + size)) != 0)) {
            msg->ipc_from = getpid(); bcopy(data, msg->ipc_data, size);

            addr.sun_len = 0; addr.sun_family = AF_UNIX;
            bcopy(pid2rid(peer, name), addr.sun_path, RIDSZ);

            ok = sendto(s, msg, nbytes, 0, (struct sockaddr *)&addr, sizeof(addr));
            free(msg);
        }
        close(s);
    }
    return ok;
}
```

- ▶ jede Aktivierung fordert *Socket* und Puffer an: **Betriebsmittel sind nicht garantiert**

# Botschaftenaustausch mit UNIX Systemfunktionen (Forts.)

Empfangsprimitive (passend zu S. V-93) — mit Bedacht zu verwenden

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <sys/un.h>
#include "./message.h"
#include "./pid2rid.h"

pid_t ipc_receive (char *data, unsigned size) {
    int ok, s, nbytes, addrlen;
    message *msg;
    char name[RIDSZ];
    struct sockaddr_un addr;

    if ((ok = s = socket(AF_UNIX, SOCK_DGRAM, 0)) != -1) {
        if ((ok = (msg = (message*)malloc(nbytes = (sizeof(message) + size))) != 0)) {
            addr.sun_len = 0; addr.sun_family = AF_UNIX;
            bcopy(pid2rid(getpid(), name), addr.sun_path, RIDSZ);

            if ((ok = bind(s, (struct sockaddr *)&addr, sizeof(addr))) != -1) {
                addrlen = sizeof(addr);
                if ((ok = recvfrom(s, msg, nbytes, 0, (struct sockaddr *)&addr, &addrlen)) != -1) {
                    ok = msg->ipc_from; bcopy(msg->ipc_data, data, size);
                }
                unlink(name);
            }
            free(msg);
        }
        close(s);
    }
    return ok;
}
```

- ▶ jede Aktivierung fordert *Socket* und Puffer an: **Betriebsmittel sind nicht garantiert**
- ▶ nur für die Dauer von `recvfrom(2)` ist die (lokale) PID des Empfängers an einen (globalen) Namen gebunden: **Sendevereuche können scheitern**

# Botschaftenaustausch mit UNIX Systemfunktionen (Forts.)

Protokolldateneinheit (engl. *protocol data unit*, PDU) und Namensfunktion

Nachricht als Dienstdateneinheit (engl. *service data unit*, SDU), die in einer PDU vom Sender zum Empfänger transportiert wird:

```
typedef struct ipc_message {  
    pid_t ipc_from;  
    char  ipc_data[0];  
} message;
```

Schablone mit der PID des Senders und einem generischen Feld zur Aufnahme der SDU.

Kommunikationsendpunkt ist eine Prozessinstanz, aus deren PID eine **symbolische Adresse** (*receiver ID*, RID) generiert wird:

```
#define RIDSZ (int)((sizeof(pid_t) * 2.5) + 3)  
  
inline char* pid2rid (pid_t pid, char rid[]) {  
    sprintf(rid, "rid%u", pid);  
    return rid;  
}
```

Die RID wird im UNIX Namensraum abgelegt (`bind(2)`).

# UNIX Kommunikationsfunktionen „Considered Harmful“

Typisch „Allgemeinzweck“ — und dennoch problematisch für IPC

## Pros

- ▶ Datenstromkonzept
  - ▶ *no-wait send* Semantik, kanalorientiert
- ▶ in E/A-Schnittstelle integriert
  - ▶ `read(2)` empfängt, `write(2)` sendet
  - ▶ `close(2)` gibt *Socket* frei, `unlink(2)` entfernt *Socket*-Verknüpfung
- ▶ verschiedenste Protokolle und Betriebsarten

## Cons

- ▶ rein asynchrones Modell
  - ▶ *synchronization/remote-invocation send* fehlt
- ▶ sehr komplexe Schnittstelle
  - ▶ knifflige, kostspielige problemorientierte Lösungen auf Bibliotheksebene
  - ▶ synchrone IPC nur sehr aufwändig nachbildungbar
- ▶ man muss mit Kanonen auf Spatzen schießen...

☞ ganz gut, um schwergewichtige Klient/Anbieter-Systeme zu bauen...

# UNIX Dienstgeber

Anbieter (engl. server)

```
#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <netinet/in.h>

void fail (char* msg) { perror(msg); exit(0); }

int main (int argc, char *argv[]) {
    struct sockaddr_in addr;
    int sockfd, fd, addrlen = sizeof(addr);
    char buffer[256];

    if ((sockfd = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0)) < 0) fail("socket");

    bzero((char *)&addr, sizeof(addr));
    addr.sin_family = AF_INET;
    addr.sin_addr.s_addr = INADDR_ANY;
    addr.sin_port = htons(atoi(argv[1]));
    if (bind(sockfd, (struct sockaddr *)&addr, sizeof(addr)) < 0) fail("bind");

    if (listen(sockfd, 5) < 0) fail("listen");
    for (;;) {
        bzero(buffer, 256);
        if ((fd = accept(sockfd, (struct sockaddr *)&addr, &addrlen)) < 0) fail("accept");
        if (read(fd, buffer, 256) < 0) fail("read");
        close(fd);
        printf("%s\n", buffer);
    }
}
```

Betriebsmittel für die Lebendsauer des Dienstgebers, um ein Scheitern des Sendens bei hoher Anfragefrequenz zu vermeiden:

- ▶ Anbieter-Socket (`socket(2)`),
- ▶ Socket-Verknüpfung (`bind(2)`)  
(vergl. S. V-101).

# UNIX Dienstnehmer

Klient (engl. *client*)

```
#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <netinet/in.h>
#include <netdb.h>

void fail (char *msg) { perror(msg); exit(0); }

int main(int argc, char *argv[]) {
    int sockfd;
    struct sockaddr_in addr;
    struct hostent *server;

    if ((sockfd = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0)) < 0) fail("socket");

    bzero((char *)&addr, sizeof(addr));
    addr.sin_family = AF_INET;
    if ((server = gethostbyname(argv[2])))
        bcopy((char *)server->h_addr, (char *)&addr.sin_addr.s_addr, server->h_length);
    addr.sin_port = htons(atoi(argv[1]));
    if (connect(sockfd, (struct sockaddr*)&addr, sizeof(addr)) < 0) fail("connect");

    if (write(sockfd, argv[3], strlen(argv[3])) < 0) fail("write");
}
```

**Klient/Anbieter-Systeme** sind mit einem mehr auf IPC und weniger auf Datenstromkommunikation ausgerichteten Konzept besser bedient:

- ▶ *remote-invocation send* ist ein Muss [57],
- ▶ ein Mikrokern [58, 59] ist vorteilhaft (vergl. S. V-95).

# UNIX Dienstgeber/-nehmer

Int{ra,er}rechner-Interprozesskommunikation

## Anbieter: „printf()-Server“

```
wosch@gondor 85$ gcc -O6 server.c -o server
```

```
wosch@gondor 86$ ./server 4711
```

Die Antwort auf alle Fragen ist

42

## Klient 1

```
wosch@gondor 11$ gcc -O6 client.c -o client
```

```
wosch@gondor 12$ ./client 4711 gondor 42
```

```
wosch@gondor 13$
```

## Klient 2

```
wosch@lorien 62$ gcc -O6 client.c -o client
```

```
wosch@lorien 63$ ./client 4711 gondor "Die Antwort auf alle Fragen ist"
```

```
wosch@lorien 64$
```

# Resümee eines Betriebssystemüberblicks

## Grundlegende Funktionen im Schnelldurchlauf

- ▶ Betriebssysteme bieten eine „Hand voll“ nützlicher Abstraktionen
  - ▶ Adressräume, Speicher, Dateien, Namensräume
  - ▶ Prozesse, Koordinationsmittel
- ▶ von zentraler Bedeutung ist die Abbildung von Namen auf Adressen
  - ▶ symbolische  $\mapsto$  numerische  $\mapsto$  logische  $\mapsto$  virtuelle  $\mapsto$  physikalische
  - ▶ das Konzept findet im Kontext von Rechnernetzen seine Fortführung
- ▶ nicht weniger bedeutend ist die Einplanung von Prozessen
  - ▶ d.h., die Planung des zeitlichen Ablaufs der Prozessorzuteilung
  - ▶ allgemein: die Planung der Zuteilung von Betriebsmitteln an Prozesse
- ▶ jeder Prozess gehört einer bestimmten Gewichtsklasse an
  - ▶ schwer-, leicht- oder federgewichtiger Prozess
  - ▶ u.a. eine Frage der Verzahnung von Prozessinstanz und Adressraum
- ▶ Mehrprozessbetrieb erfordert die Koordination von Prozessen