Betriebssysteme (BS)

07. Interprozesskommunikation

https://sys.cs.tu-dortmund.de/de/lehre/ss24/bs

27.05.2024

Peter Ulbrich

peter.ulbrich@tu-dortmund.de
bs-problems@ls12.cs.tu-dortmund.de

In Teilen basierend auf *Betriebssysteme* von Olaf Spinczyk, Universität Osnabrück

technische universität
dortmund

Arbeitsgruppe
Systemsoftware

Wiederholung

- Prozesse können miteinander interagieren
  - Aufeinander warten (Synchronisation)
  - Daten austauschen (Kommunikation)
- Wartemechanismen ...
  - sind notwendig für kontrollierte Kommunikation
  - können zu Verklemmungen führen
- Datenaustausch wurde bisher nur am Rande betrachtet
  - Leicht- und federgewichtige Prozesse im selben Adressraum

Inhalt

- Grundlagen der Interprozesskommunikation
- Lokale Interprozesskommunikation unter UNIX
  - Signale
  - *Pipes*
  - *Message Queues*
- Rechnerübergreifende Interprozesskommunikation
  - *Sockets*
  - Entfernte Prozeduraufrufe (RPCs)
- Zusammenfassung

Inhalt

- Grundlagen der Interprozesskommunikation
- Lokale Interprozesskommunikation unter UNIX
  - Signale
  - *Pipes*
  - *Message Queues*
- Rechnerübergreifende Interprozesskommunikation
  - *Sockets*
  - Entfernte Prozeduraufrufe (RPCs)
- Zusammenfassung

Tanenbaum
2.3: Interprozesskommunikation

Silberschatz
3.4: Interprocess Communication

Inhalt

- Grundlagen der Interprozesskommunikation
- Lokale Interprozesskommunikation unter UNIX
  - Signale
  - *Pipes*
  - *Message Queues*
- Rechnerübergreifende Interprozesskommunikation
  - *Sockets*
  - Entfernte Prozeduraufrufe (RPCs)
- Zusammenfassung

Tanenbaum
2.3: Interprozesskommunikation

Silberschatz
3.4: Interprocess Communication

Interprozesskommunikation

Inter-Process Communication (IPC)

- Mehrere Prozesse bearbeiten **eine** Aufgabe:
  - gleichzeitiges Nutzung von zur Verfügung stehender Information durch mehrere Prozesse
  - Verkürzung der Bearbeitungszeit durch Parallelisierung
  - Verbergen von Bearbeitungszeiten durch Ausführung „im Hintergrund“
- Kommunikation durch gemeinsamen Speicher
  - Datenaustausch nebenläufiges Schreiben in bzw. Lesen aus einem gemeinsamen Speicher
  - Dabei muss auf Synchronisation geachtet werden.
- **Heute: Kommunikation durch Nachrichten**
  - Nachrichten werden zwischen Prozessen ausgetauscht
  - Gemeinsamer Speicher ist nicht erforderlich

Nachrichtenbasierte Kommunikation

- ... basiert auf zwei Primitiven:

```
send (Ziel, Nachricht)
receive (Quelle, Nachricht)
```

(oder ähnlich)

- Unterschiede gibt es in ...
  - Synchronisation
  - Adressierung
  - und diversen anderen Eigenschaften

Synchronisation

... bei nachrichtenbasierter Kommunikation

- **Synchronisation bei Senden / Empfangen**
  - **Synchroner Nachrichtenaustausch** (auch Rendezvous)
    - Empfänger blockiert bis die Nachricht eingetroffen ist.
    - Sender blockiert bis die Ankunft der Nachricht bestätigt ist.
  - **Asynchroner Nachrichtenaustausch**
    - Sender gibt die Nachricht dem Betriebssystem und arbeitet weiter
    - Blockierung auf beiden Seiten optional
    - Pufferung immer erforderlich
- Häufig anzutreffen:
  - **Asynchroner** Nachrichtenaustausch
    mit **potentiell blockierendem** Senden und Empfangen

Adressierung

... bei nachrichtenbasierter Kommunikation

- **Direkte Adressierung**
  - Prozess-ID (Signale)
  - Kommunikationsendpunkt eines Prozesses (*Port*, *Socket*)
- **Indirekte Adressierung**
  - Kanäle (*Pipes*)
  - Briefkästen (*Mailboxes*), Nachrichtenpuffer (*Message Queues*)
- Zusätzliche Dimension: **Gruppenadressierung**
  - **Unicast** – an genau einen
  - **Multicast** – an eine Auswahl
  - **Broadcast** – an alle

Diverse andere Eigenschaften

... bei nachrichtenbasierter Kommunikation

- **Nachrichtenformat**
  - Stromorientiert / nachrichtenorientiert
  - Feste Länge / variable Länge
  - Getypt / ungetypt
- **Übertragung**
  - Unidirektional / Bidirektional (halb-duplex, voll-duplex)
  - zuverlässig / unzuverlässig
  - Reihenfolge bleibt erhalten / nicht erhalten

Inhalt

- Grundlagen der Interprozesskommunikation
- **Lokale Interprozesskommunikation unter UNIX**
  - Signale
  - *Pipes*
  - *Message Queues*
- Rechnerübergreifende Interprozesskommunikation
  - *Sockets*
  - Entfernte Prozeduraufrufe (RPCs)
- Zusammenfassung

UNIX-Signale

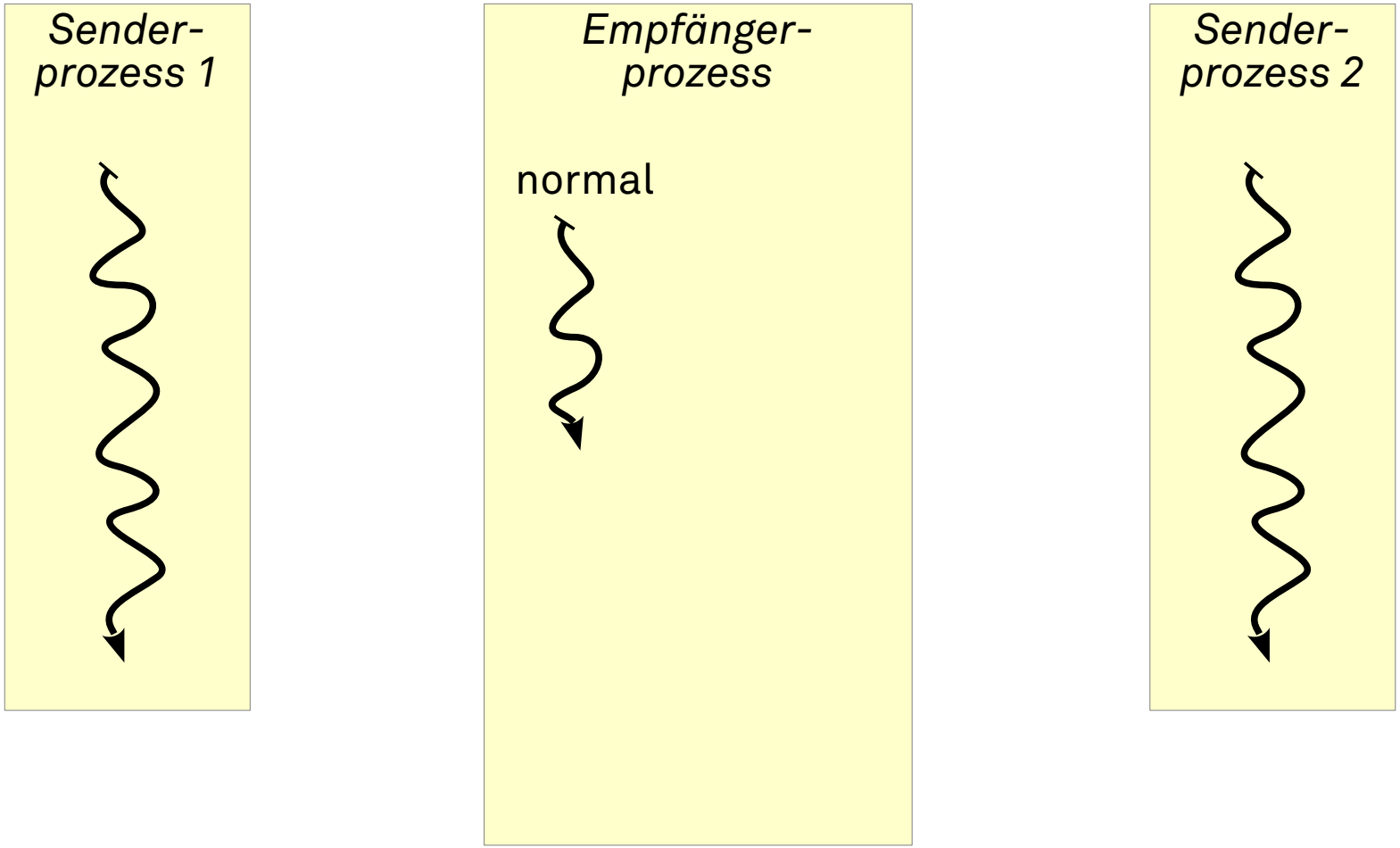
- Signale sind in Software **nachgebildete Unterbrechungen**
  - ähnlich denen eines Prozessors durch E/A-Geräte
  - minimale Form der Interprozesskommunikation (Übertragung der Signalnummer)
- **Sender**
  - Prozesse … mit Hilfe des Systemaufrufs **`kill(2)`**
  - Betriebssystem … bei Auftreten bestimmter Ereignisse
- **Empfänger**-Prozess führt Signalbehandlung durch:
  - *Ignorieren*,
  - Terminierung des Prozesses oder
  - Aufruf einer **Behandlungsfunktion**
    - Nach der Behandlung läuft Prozess an unterbrochener Stelle weiter.

Signale

- Mit Hilfe von Signalen können Prozesse über Ausnahmesituation informiert werden
  - ähnlich wie Hardwareunterbrechungen
- Beispiele:
  - **`SIGINT`** Prozess abbrechen (z.B. bei **Ctrl-C**)
  - **`SIGSTOP`** Prozess anhalten (z.B. bei **Ctrl-Z**)
  - **`SIGWINCH`** Fenstergröße wurde geändert
  - **`SIGCHLD`** Kindprozess terminiert
  - **`SIGSEGV`** Speicherschutzverletzung des Prozesses
  - **`SIGKILL`** Prozess wird getötet
  - ...
- Die **Standardbehandlung** (terminieren, anhalten, ...) kann für die meisten Signale überdefiniert werden.
  - siehe **`signal(2)`**

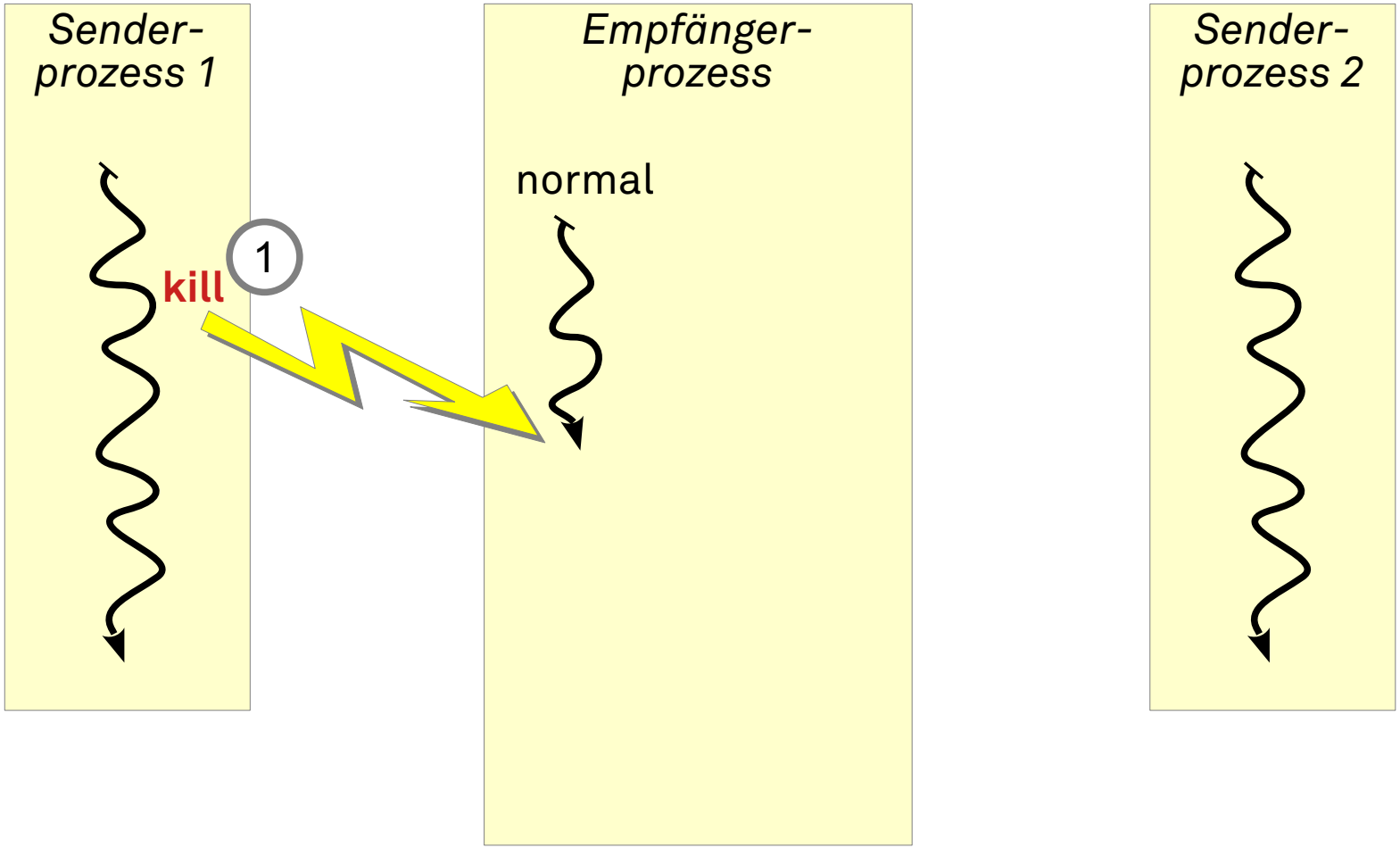
UNIX-Signale: Logische Sicht

Hollywood-Prinzip: ***Don't call us, we'll call you.***



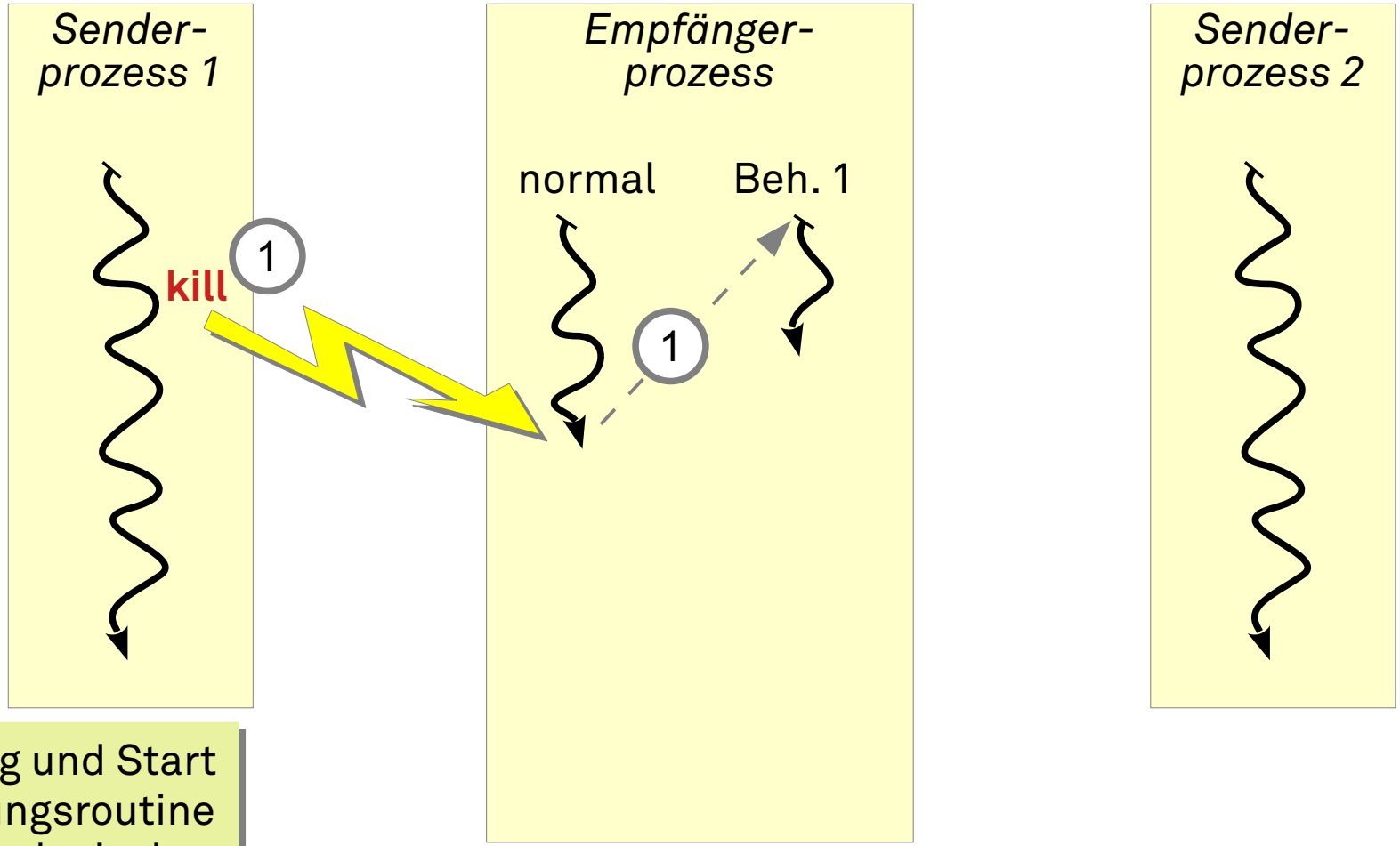
UNIX-Signale: Logische Sicht

Hollywood-Prinzip: ***Don't call us, we'll call you.***



UNIX-Signale: Logische Sicht

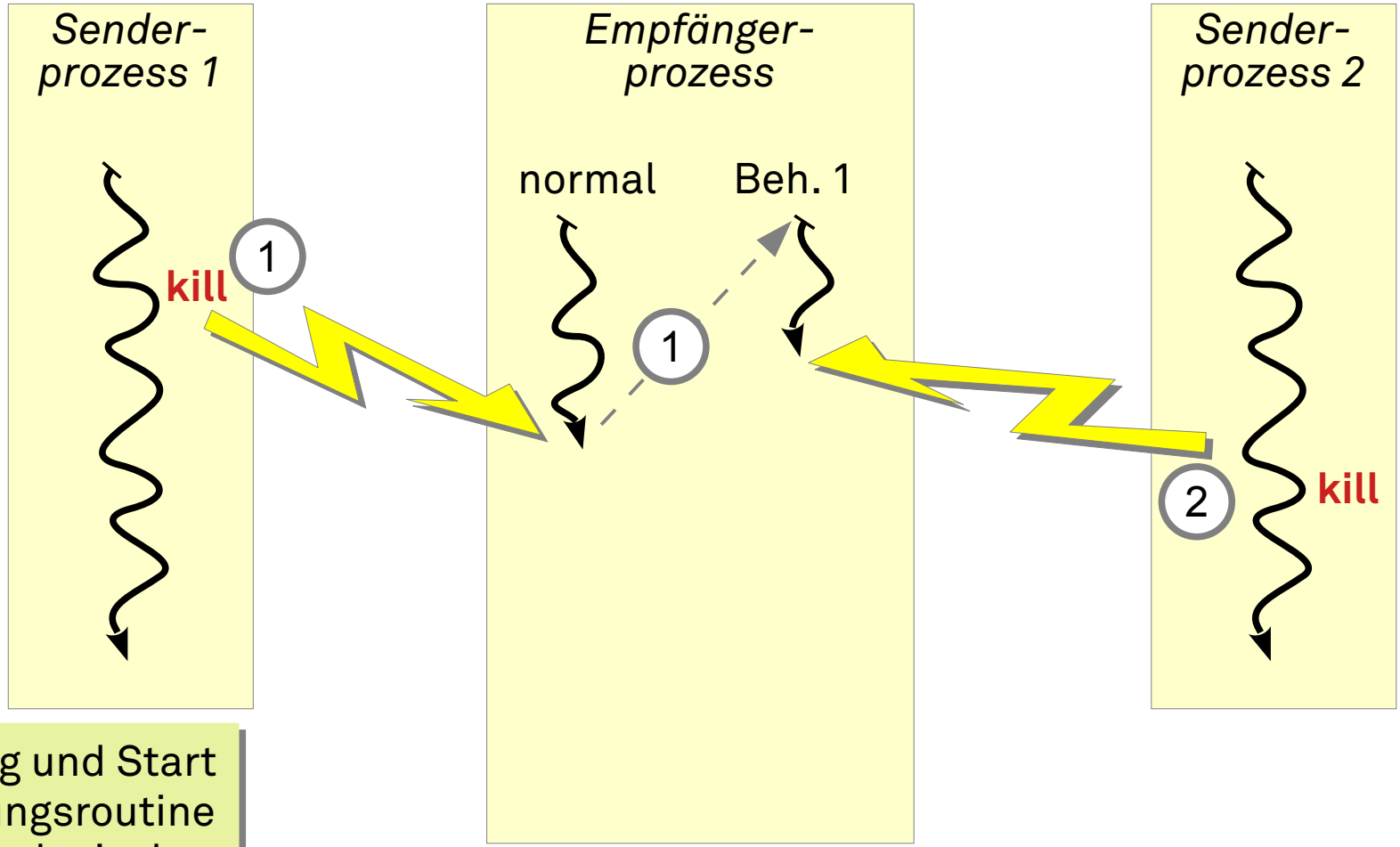
Hollywood-Prinzip: ***Don't call us, we'll call you.***



Signalisierung und Start der Behandlungsroutine erfolgen in der logischen Sicht gleichzeitig.

UNIX-Signale: Logische Sicht

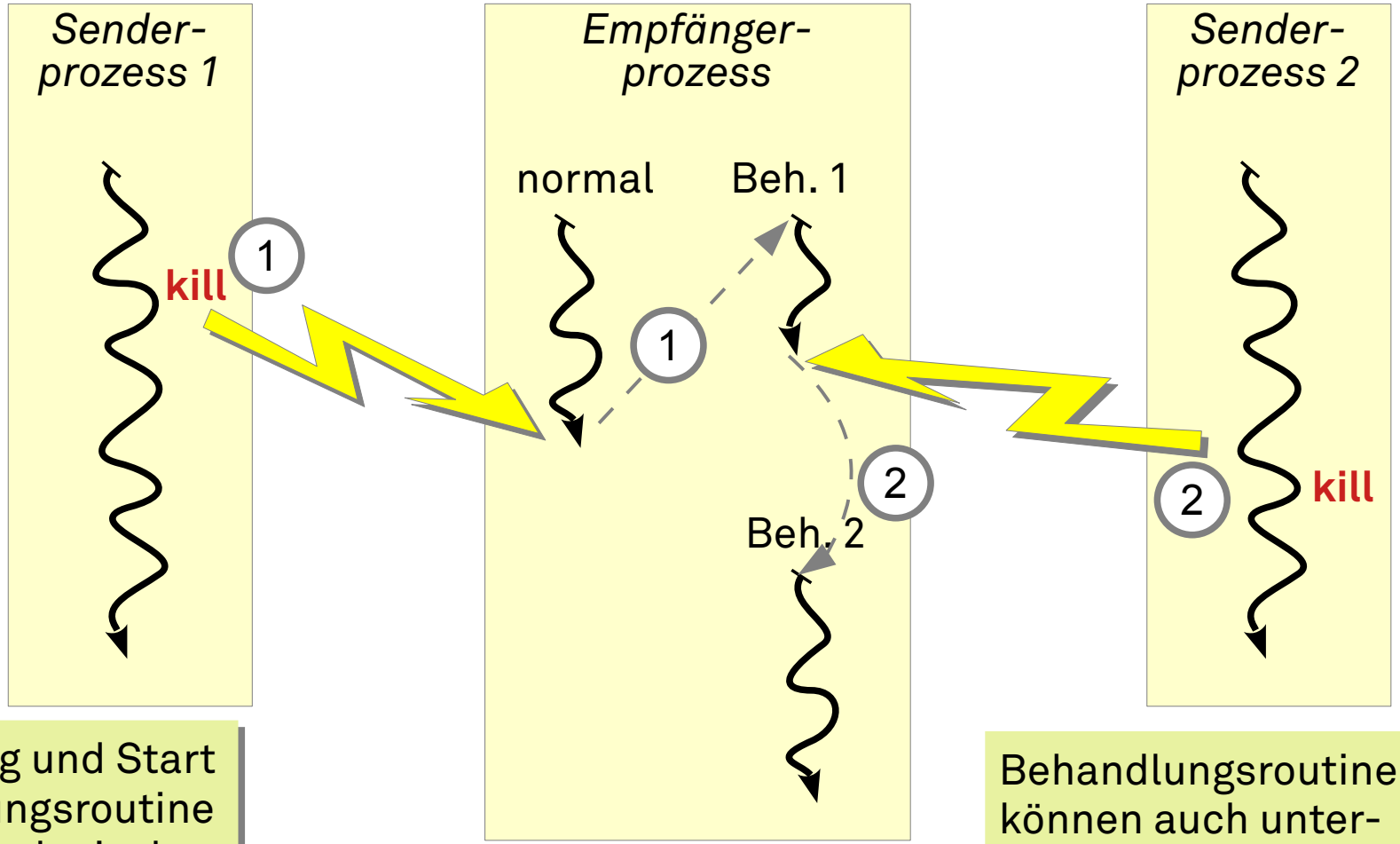
Hollywood-Prinzip: ***Don't call us, we'll call you.***



Signalisierung und Start der Behandlungsroutine erfolgen in der logischen Sicht gleichzeitig.

UNIX-Signale: Logische Sicht

Hollywood-Prinzip: ***Don't call us, we'll call you.***

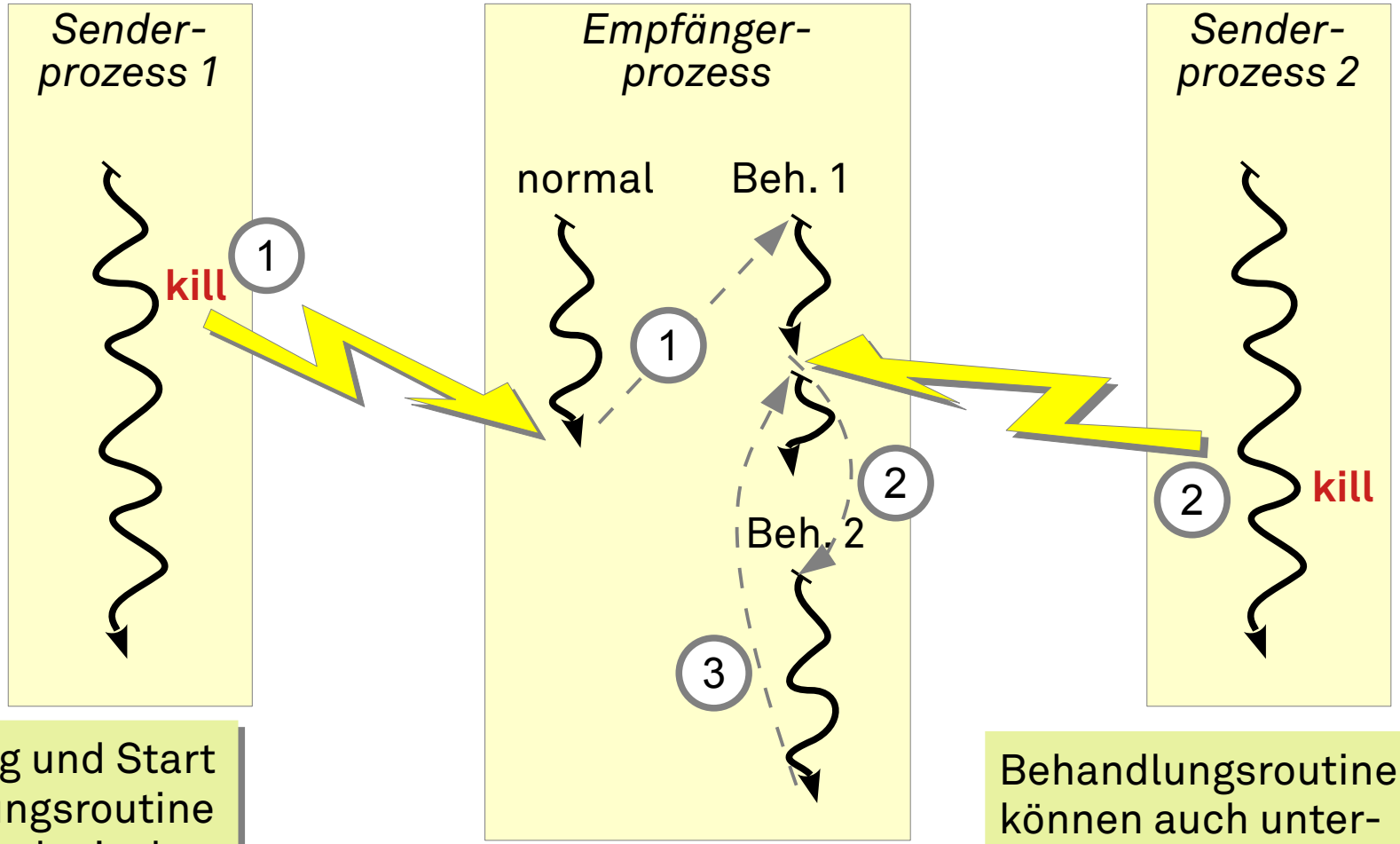


Signalisierung und Start der Behandlungsroutine erfolgen in der logischen Sicht gleichzeitig.

Behandlungsroutinen können auch unterbrochen werden.

UNIX-Signale: Logische Sicht

Hollywood-Prinzip: ***Don't call us, we'll call you.***

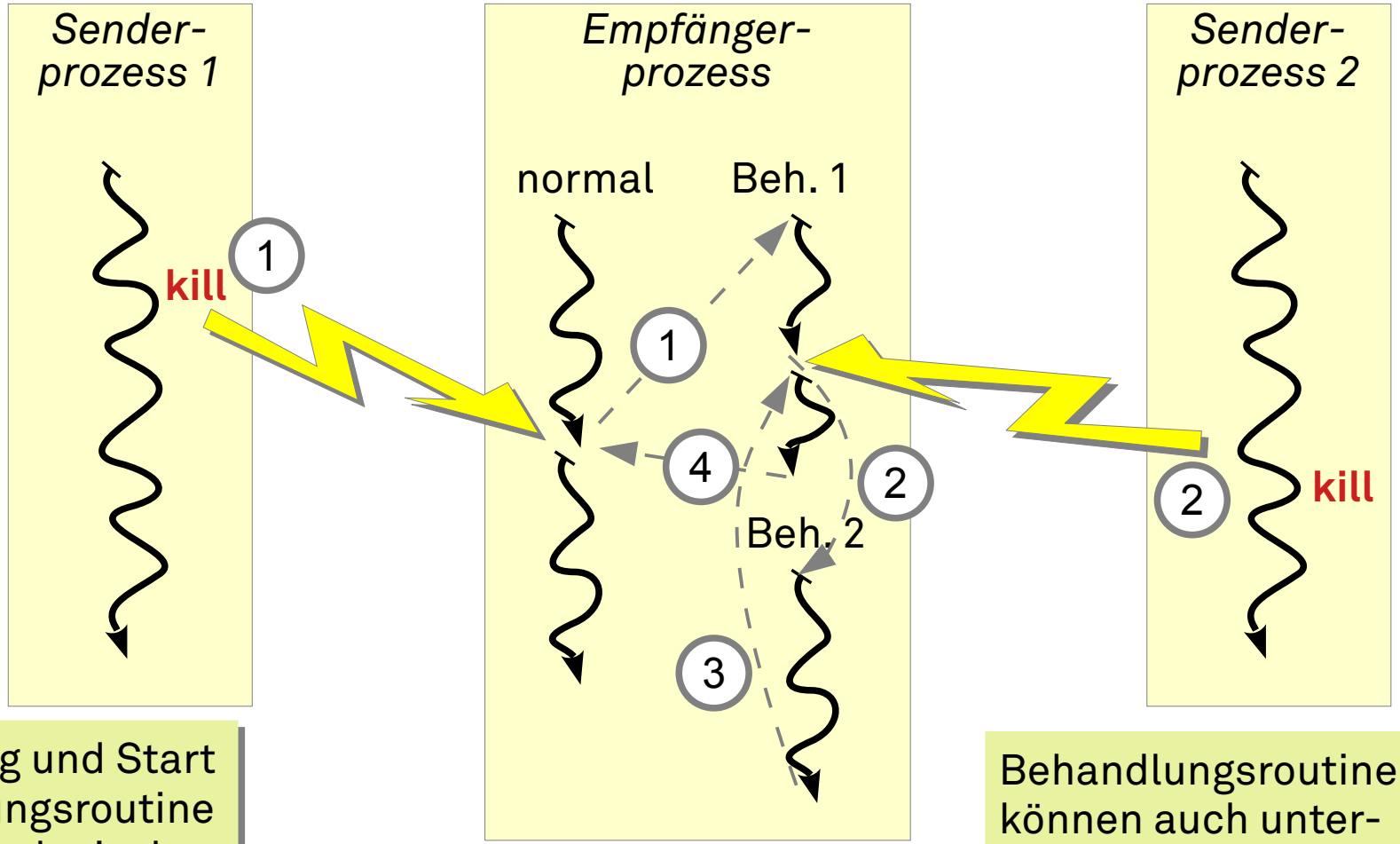


Signalisierung und Start der Behandlungsroutine erfolgen in der logischen Sicht gleichzeitig.

Behandlungsroutinen können auch unterbrochen werden.

UNIX-Signale: Logische Sicht

Hollywood-Prinzip: ***Don't call us, we'll call you.***



Signalisierung und Start der Behandlungsroutine erfolgen in der logischen Sicht gleichzeitig.

Behandlungsroutinen können auch unterbrochen werden.

UNIX-Signale: Technische Sicht

- Die Signalbehandlung erfolgt immer
  beim Übergang vom Kernel in der User Mode.
- Was passiert also wirklich, wenn der Zielprozess gerade ...
  - läuft, also im Zustand **RUNNING** ist (z.B. Segmentation Fault, Bus Error)?
    - **Unmittelbarer Start** der Behandlungsroutine
  - gerade nicht läuft, aber **READY** ist (z.B. Systemaufruf kill)?
    - Im Prozesskontrollblock wird das **Signal vermerkt**.
    - Wenn der Prozess die CPU zugeteilt bekommt, erfolgt die Behandlung.
  - auf E/A wartet, also **BLOCKED** ist?
    - Der E/A-Systemaufruf (z.B. read) wird mit Fehlercode EINTR **abgebrochen**.
    - Der Prozesszustand wird auf READY gesetzt.
    - Danach wie bei 2.
    - Ggf. wird der unterbrochene Systemaufruf neu ausgeführt (SA_RESTART).

UNIX-Signale: Beispiel

Auszug aus dem Handbuch des ***Apache*** HTTP-Servers

Stopping and Restarting Apache

To send a signal to the parent you should issue a command such as:

```
kill -TERM `cat /usr/local/apache/logs/httpd.pid`
```

TERM Signal: stop now

Sending the TERM signal to the parent causes it to immediately attempt to **kill off all of its children**. It may take it several seconds to complete killing off its children. Then the **parent itself exits**. Any requests in progress are terminated, and no further requests are served.

HUP Signal: restart now

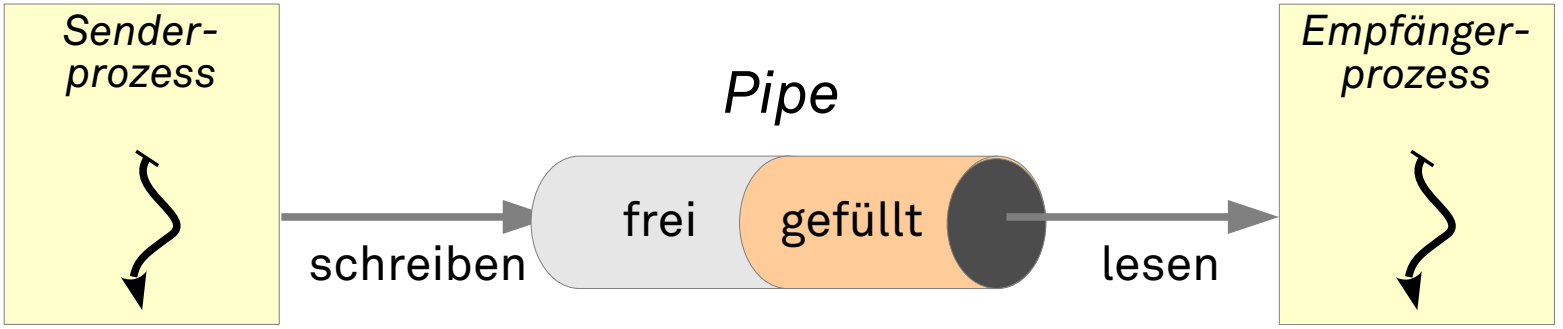
Sending the HUP signal to the parent causes it to **kill off its children** like in TERM but the **parent doesn't exit**. It **re-reads its configuration files**, and **re-opens any log files**. Then it spawns a new set of children and continues serving hits.

USR1 Signal: graceful restart

The USR1 signal causes the parent process to **advise the children to exit** after their current request (or to exit immediately if they're not serving anything). The parent **re-reads its configuration files** and **re-opens its log files**. As each child dies off the parent replaces it with a child from the new generation of the configuration, which begins serving new requests immediately.

UNIX *Pipes*

- **Kanal** zwischen zwei Kommunikationspartnern
  - unidirektional
  - gepuffert (feste Puffergröße)
  - zuverlässig
  - stromorientiert
- Operationen: **Schreiben** und **Lesen**
  - Ordnung der Zeichen bleibt erhalten (Zeichenstrom)
  - Blockierung bei voller *Pipe* (Schreiben) und leerer *Pipe* (Lesen)



UNIX *Pipes*: Programmierung

- **Unbenannte Pipes**
  - Erzeugen einer Pipe: `int pipe (int fdes[2])`
  - Nach erfolgreichem Aufruf (Rückgabewert `== 0`) kann man ...
    - über `fdes[0]` aus der Pipe lesen (Systemaufruf `read`)
    - über `fdes[1]` in die Pipe schreiben (Systemaufruf `write`)
  - Nun muss man nur noch das eine Ende an einen anderen Prozess weitergeben. (siehe nächste Folie)
- **Benannte Pipes**
  - Pipes können auch als **Spezialdateien ins Dateisystem** gelegt werden: `int mkfifo (<Dateiname>, mode_t mode)`
  - Standardfunktionen zum Öffnen, Lesen, Schreiben und Schließen können dann verwendet werden.
    - Normale Dateizugriffsrechte regeln, wer die Pipe benutzen darf.

UNIX *Pipes*: Programmierung

- U
- B

```c
enum { READ=0, WRITE=1 };

int main (int argc, char *argv[]) {
  int res, fd[2];
  if (pipe (fd) == 0) {          /* Pipe erzeugen */
    res = fork ();
    if (res > 0) {               /* Elternprozess */
      close (fd[READ]);                  /* Leseseite schließen */
      dup2 (fd[WRITE], 1);               /* Std-Ausgabe in Pipe */
      close (fd[WRITE]);                 /* Deskriptor freigeben */
      execlp (argv[1], argv[1], NULL); /* Schreiber ausführen */
    }
    else if (res == 0) {         /* Kindprozess */
      close (fd[WRITE]);                 /* Schreibseite schließen */
      dup2 (fd[READ], 0);                /* Std-Eingabe aus Pipe */
      close (fd[READ]);                  /* Deskriptor freigeben */
      execlp (argv[2], argv[2], NULL); /* Leser ausführen */
    }
  }
  ...Fehler behandeln
}
```

en.

UNIX *Pipes*: Programmierung

- U

```
enum { READ=0, WRITE=1 };

int main (int argc, char *argv[]) {
  int res, fd[2];
  if (pipe (fd) == 0) {          /* Pipe er
    res = fork ();
    if (res > 0) {               /* Elternprozess */
```

„`./connect ls wc`“ entspricht dem Shell-Kommando „`ls|wc`“

```
ulbrich@kos:~/V_BS/vorlesung/code> ls
connect  connect.c  execl.c  fork.c  orphan.c  wait.c
ulbrich@kos:~/V_BS/vorlesung/code> ./connect ls wc
      6       6      49
```

```
      close (fd[WRITE]);                    /* Schreibseite schließen */
      dup2 (fd[READ], 0);                   /* Std-Eingabe aus Pipe */
      close (fd[READ]);                     /* Deskriptor freigeben */
      execlp (argv[2], argv[2], NULL); /* Leser ausführen */
    }
  }
  ...Fehler behandeln
}
```

UNIX *Pipes*: Programmierung

- U
- B

```c
enum { READ=0, WRITE=1 };

int main (int argc, char *argv[]) {
  int res, fd[2];
  if (pipe (fd) == 0) {          /* Pipe erzeugen */
    res = fork ();
    if (res > 0) {               /* Elternprozess */
      close (fd[READ]);                  /* Leseseite schließen */
      dup2 (fd[WRITE], 1);               /* Std-Ausgabe in Pipe */
      close (fd[WRITE]);                 /* Deskriptor freigeben */
      execlp (argv[1], argv[1], NULL); /* Schreiber ausführen */
    }
    else if (res == 0) {         /* Kindprozess */
      close (fd[WRITE]);                 /* Schreibseite schließen */
      dup2 (fd[READ], 0);                /* Std-Eingabe aus Pipe */
      close (fd[READ]);                  /* Deskriptor freigeben */
      execlp (argv[2], argv[2], NULL); /* Leser ausführen */
    }
  }
  ...Fehler behandeln
}
```

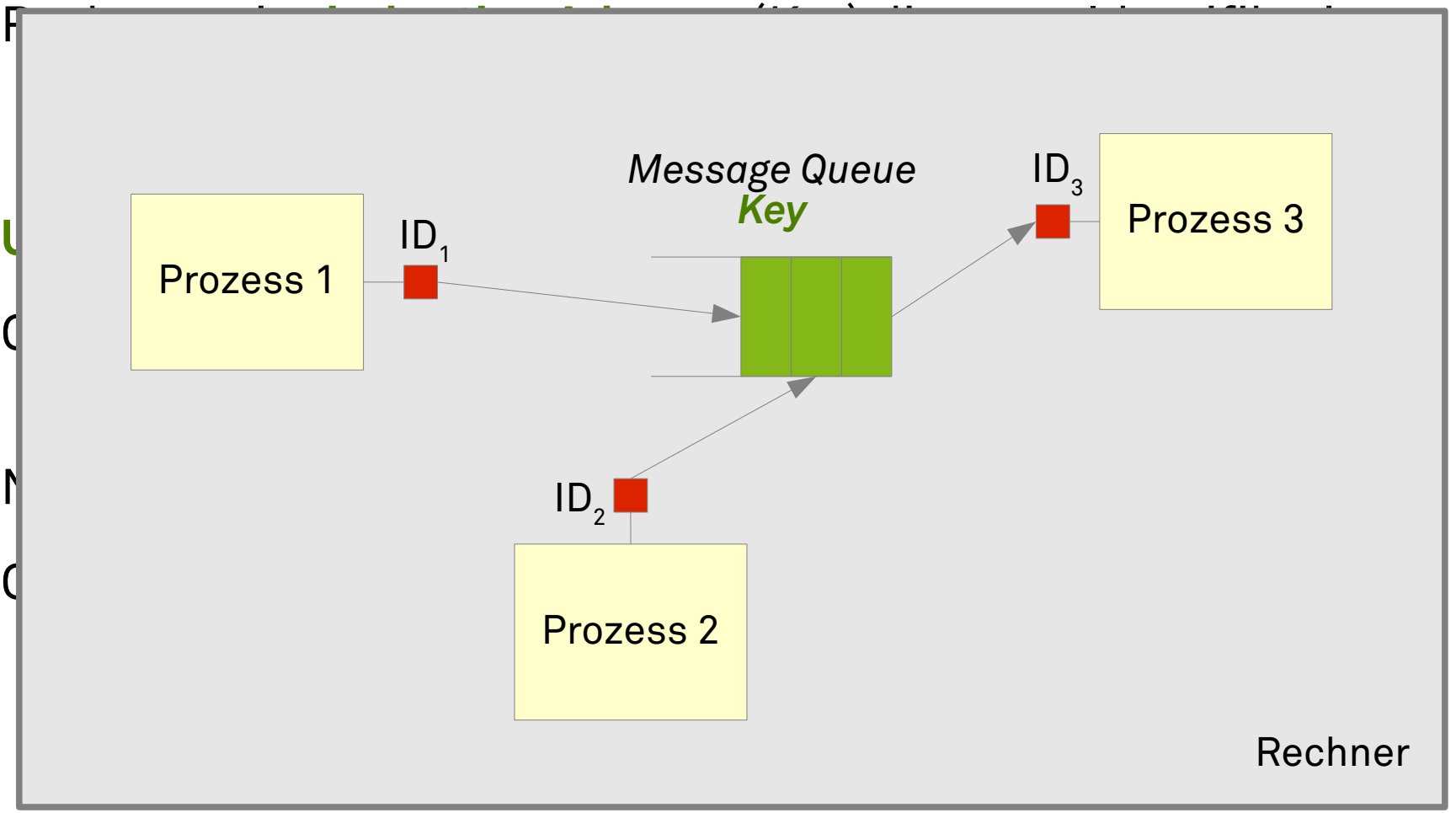
en.

UNIX *Message Queues*

- Rechnerweit **eindeutige Adresse** (*Key*) dient zur Identifikation
  - Zugriffsrechte wie auf Dateien
  - Prozesslokale Nummer (*MsqID*) wird bei allen Operationen benötigt
- **Ungerichtete M:N-Kommunikation**
- Gepuffert
  - einstellbare Größe pro *Queue*
- Nachrichten haben einen Typ (long-Wert)
- Operationen zum Senden und Empfangen einer Nachricht
  - blockierend — nicht-blockierend (aber nicht asynchron)
  - Empfang aller Nachrichten — nur ein bestimmter Typ

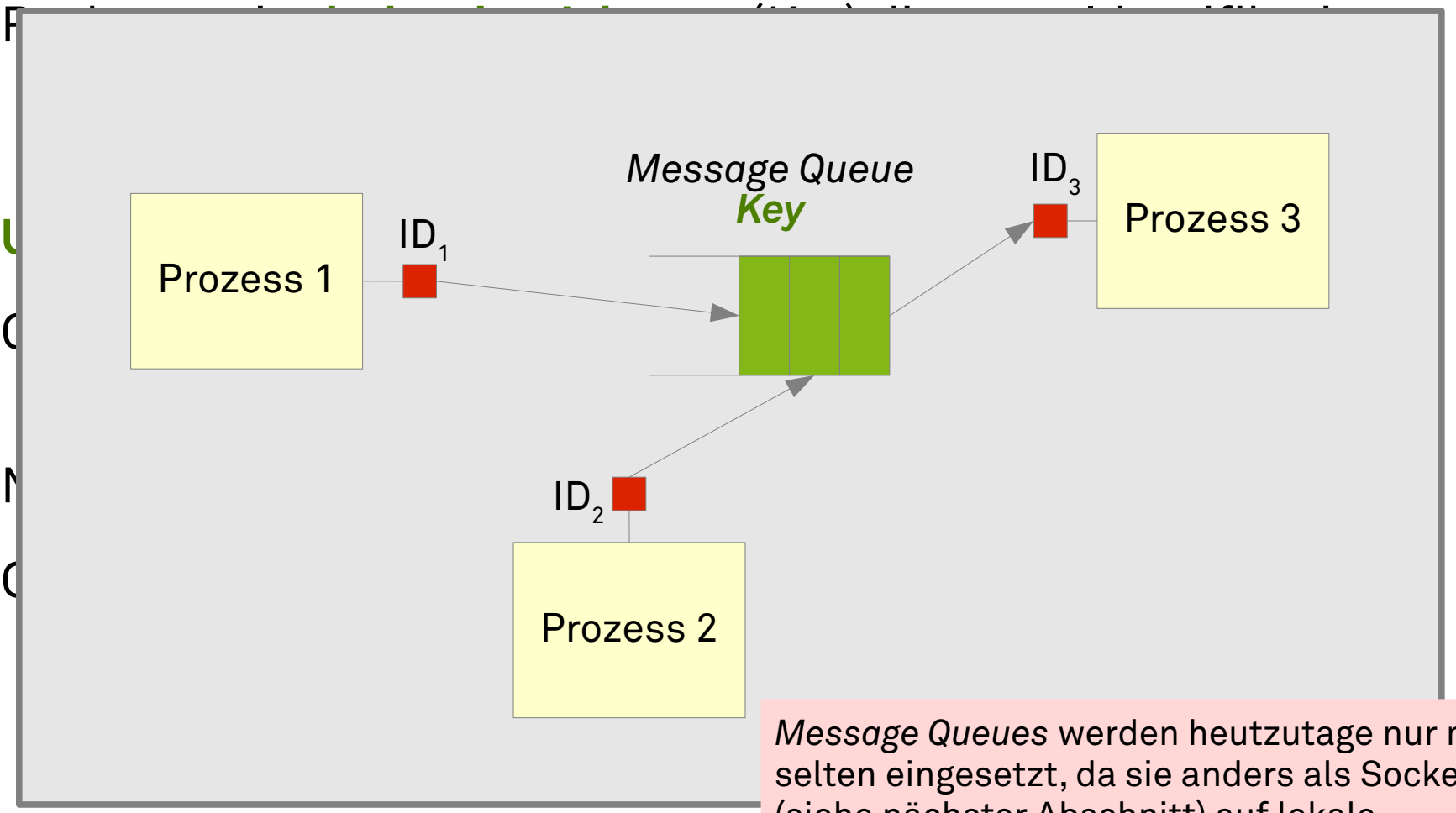
UNIX *Message Queues*

- P
- U
- C
- N
- C



UNIX *Message Queues*

- P
- U
- C
- N
- C



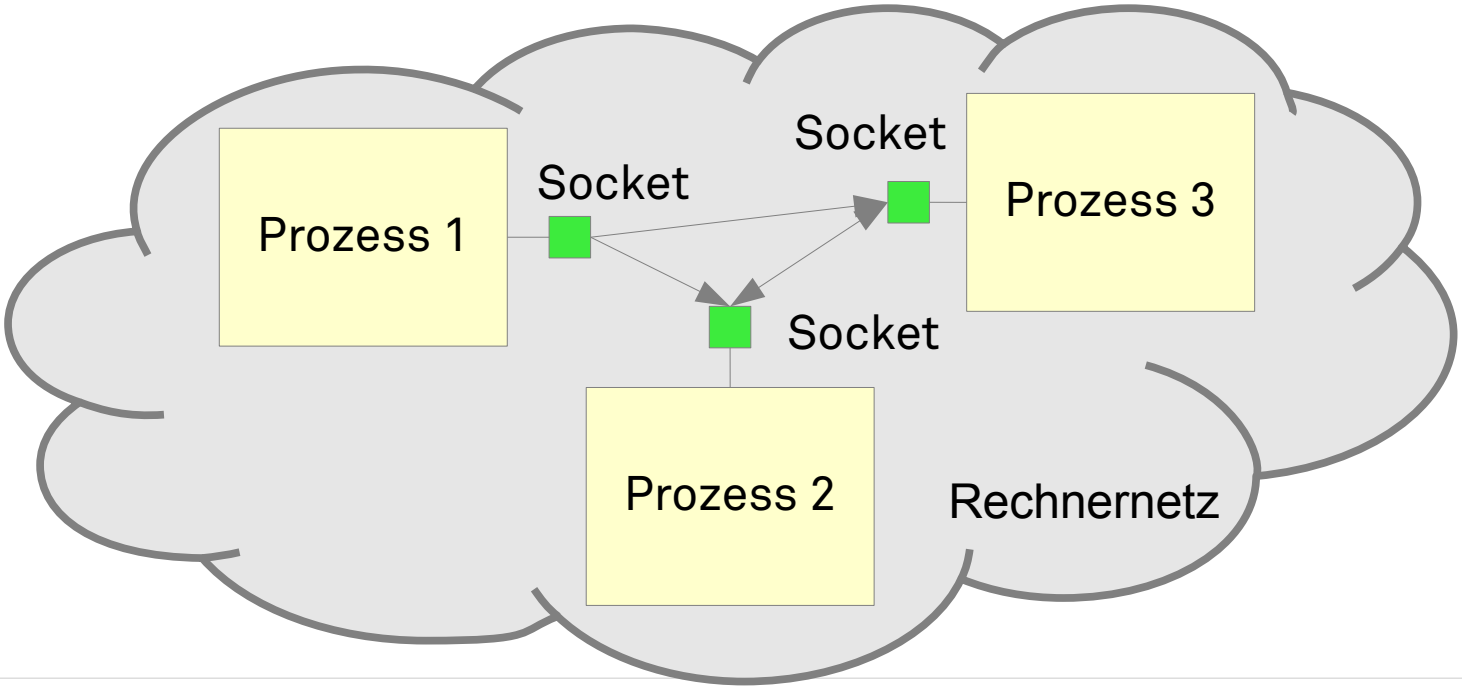
Message Queues werden heutzutage nur noch selten eingesetzt, da sie anders als Sockets (siehe nächster Abschnitt) auf lokale Kommunikation beschränkt sind. Zudem ist der Anwendungscode weniger portabel.

Inhalt

- Grundlagen der Interprozesskommunikation
- Lokale Interprozesskommunikation unter UNIX
  - Signale
  - *Pipes*
  - *Message Queues*
- **Rechnerübergreifende Interprozesskommunikation**
  - *Sockets*
  - Entfernte Prozeduraufrufe (RPCs)
- Zusammenfassung

Sockets

- Allgemeine **Kommunikationsendpunkte** im Rechnernetz
  - Bidirektional
  - Gepuffert
- Abstrahiert von Details des Kommunikationssystems
  - Beschrieben durch **Domäne** (Protokollfamilie), **Typ und Protokoll**



Sockets: Domänen

- **UNIX *Domain***
  - UNIX *Domain Sockets* verhalten sich wie bidirektionale *Pipes*.
  - Anlage als Spezialdatei im Dateisystem möglich.
- **Internet *Domain***
  - Dienen der rechnerübergreifenden Kommunikation mit Internet-Protokollen
- Appletalk *Domain*, DECnet *Domain*, ...

- Domänen bestimmen mögliche Protokolle
  - z.B. Internet *Domain*: TCP/IP oder UDP/IP
- Domänen bestimmen die Adressfamilie
  - z.B. Internet *Domain*: IP-Adresse und *Port*-Nummer

Sockets: Typ und Protokoll

- Die wichtigsten **Sockettypen**:
  - stromorientiert, verbindungsorientiert und gesichert
  - nachrichtenorientiert und ungesichert
  - nachrichtenorientiert und gesichert

- **Protokolle** der Internet Domain:
  - **TCP/IP Protokoll**
    - strom- und verbindungsorientiert, gesichert
  - **UDP/IP Protokoll**
    - nachrichtenorientiert, verbindungslos, ungesichert
    - Nachrichten können verloren oder dupliziert werden
    - Reihenfolge kann durcheinander geraten
    - Paketgrenzen bleiben erhalten (Datagramm-Protokoll)

- Protokollangabe ist oft redundant

Sockets: Programmierung

- Anlegen von Sockets
  - Generieren eines Sockets mit (Rückgabewert ist ein Filedeskriptor)

```
int socket (int domain, int type, int proto);
```

  - Adresszuteilung
    - Sockets werden ohne Adresse generiert
    - Adressenzuteilung erfolgt durch:

```
int bind (int socket,
          const struct sockaddr *address,
          socklen_t address_len);
```

    - `struct sockaddr_in` (für die Internet-Adressfamilie) enthält:

`sin_family`: AF_INET
`sin_port`: 16-Bit-Portnummer
`sin_addr`: Struktur mit der IP-Adresse, z.B. 192.168.2.1

Hinweis: Für **IPv6** gibt es `sockaddr_in6` und `AF_INET6`

Sockets: Programmierung

- ***Datagram Sockets***
  - Kein Verbindungsaufbau notwendig
  - **Datagramm senden**

```
ssize_t sendto (int socket, const void *message,
                size_t length, int flags,
                      const struct sockaddr *dest_addr,
                      socklen_t dest_len);
```

  - **Datagramm empfangen**

```
ssize_t recvfrom (int socket, void *buffer,
                        size_t length, int flags,
                        struct sockaddr *address,
                        socklen_t *address_len);
```

Sockets: Programmierung

- **Stream Sockets**
  - Verbindungsaufbau notwendig
  - Client (Benutzer, Benutzerprogramm) will zu einem Server (Dienstanbieter) eine Kommunikationsverbindung aufbauen
- Client: Verbindungsaufbau bei stromorientierten Sockets
  - Verbinden des Sockets mit

```
int connect (int socket,
             const struct sockaddr *address,
             socklen_t address_len);
```

  - Senden und Empfangen mit `write` und `read` (oder `send` und `recv`)
  - Beenden der Verbindung mit `close` (schließt den Socket)

Sockets: Programmierung

- *Server*: akzeptiert Anfragen/Aufträge
  - bindet *Socket* an eine Adresse (sonst nicht erreichbar)
  - bereitet *Socket* auf Verbindungsanforderungen vor durch

```
int listen (int s, int queuelen);
```

  - akzeptiert einzelne Verbindungsanforderungen durch

```
int accept (int s, struct sockaddr *addr,
            socklen_t *addrlen);
```

    - gibt einen neuen Socket zurück, der mit dem Client verbunden ist
    - blockiert, falls kein Verbindungswunsch vorhanden
  - liest Daten mit **`read`** und führt den angebotenen Dienst aus
  - schickt das Ergebnis mit **`write`** zurück zum Sender
  - schließt den neuen Socket mit **`close`**

Sockets: Programmierung

```c
#define PORT 6789
#define MAXREQ (4096*1024)

char buffer[MAXREQ], body[MAXREQ+1000], msg[MAXREQ+2000];

void error(const char *msg) { perror(msg); exit(1); }

int main() {
  int sockfd, newsockfd;
  socklen_t clilen;
  struct sockaddr_in serv_addr, cli_addr;
  int n;
  sockfd = socket(PF_INET, SOCK_STREAM, 0);
  if (sockfd < 0) error("ERROR opening socket");
  bzero((char *) &serv_addr, sizeof(serv_addr));
  serv_addr.sin_family = AF_INET;
  serv_addr.sin_addr.s_addr = INADDR_ANY;
  serv_addr.sin_port = htons(PORT);
  if (bind(sockfd, (struct sockaddr *) &serv_addr, sizeof(serv_addr)) < 0)
    error("ERROR on binding");
  listen(sockfd,5);
  ...
```

Sockets: Programmierung

```
#define PORT 6789
#define MAXREQ (4096*1024)

char buffer[MAXREQ], body[MAXREQ+1000], msg[MAXREQ+2000];

void error(const char *msg) { perror(msg); exit(1); }

int main() {
  int sockfd, newsockfd;
  socklen_t clilen;
  struct sockaddr_in serv_addr, cli_addr;
  int n;
  sockfd = socket(PF_INET, SOCK_STREAM, 0);
  if (sockfd < 0) error("ERROR opening socket");
  bzero((char *) &serv_addr, sizeof(serv_addr));
  serv_addr.sin_family = AF_INET;
  serv_addr.sin_addr.s_addr = INADDR_ANY;
  serv_addr.sin_port = htons(PORT);
  if (bind(sockfd, (struct sockaddr *) &serv_addr, sizeof(serv_addr)) < 0)
    error("ERROR on binding");
  listen(sockfd,5);
  ...
```

Hier wird der Socket erstellt und an eine Adresse gebunden.

Sockets: Programmierung

```
  ...
  while (1) {
    clilen = sizeof(cli_addr);
    newsockfd = accept (sockfd, (struct sockaddr *) &cli_addr, &clilen);
    if (newsockfd < 0) error("ERROR on accept");
    bzero(buffer,sizeof(buffer));
    n = read (newsockfd,buffer,sizeof(buffer)-1);
    if (n < 0) error("ERROR reading from socket");
    snprintf (body, sizeof (body),
              "<html>\n<body>\n"
              "<h1>Hallo Webbrowser</h1>\nDeine Anfrage war ...\n"
              "<pre>%s</pre>\n"
              "</body>\n</html>\n", buffer);
    snprintf (msg, sizeof (msg),
              "HTTP/1.0 200 OK\n"
              "Content-Type: text/html\n"
              "Content-Length: %zd\n\n%s", strlen (body), body);
    n = write (newsockfd,msg,strlen(msg));
    if (n < 0) error("ERROR writing to socket");
    close (newsockfd);
  }
}
```

Sockets: Programmierung

```
  ...
  while (1) {
    clilen = sizeof(cli_addr);
    newsockfd = accept (sockfd, (struct sockaddr *) &cli_addr, &clilen);
    if (newsockfd < 0) error("ERROR on accept");
    bzero(buffer,sizeof(buffer));
    n = read (newsockfd,buffer,sizeof(buffer)-1);
    if (n < 0) error("ERROR reading from socket");
    snprintf (body, sizeof (body),
              "<html>\n<body>\n"
              "<h1>Hallo Webbrowser</h1>\nDeine Anfrage war ...\n"
              "<pre>%s</pre>\n"
              "</body>\n</html>\n", buffer);
    snprintf (msg, sizeof (msg),
              "HTTP/1.0 200 OK\n"
              "Content-Type: text/html\n"
              "Content-Length: %zd\n\n%s", strlen (body), body);
    n = write (newsockfd,msg,strlen(msg));
    if (n < 0) error("ERROR writing to socket");
    close (newsockfd);
  }
}
```

Eine neue Verbindung akzeptieren

Sockets: Programmierung

```
  ...
  while (1) {
    clilen = sizeof(cli_addr);
    newsockfd = accept (sockfd, (struct sockaddr *) &cli_addr, &clilen);
    if (newsockfd < 0) error("ERROR on accept");
    bzero(buffer,sizeof(buffer));
    n = read (newsockfd,buffer,sizeof(buffer)-1);
    if (n < 0) error("ERROR reading from socket");
    snprintf (body, sizeof (body),
              "<html>\n<body>\n"
              "<h1>Hallo Webbrowser</h1>\nDeine Anfrage war ...\n"
              "<pre>%s</pre>\n"
              "</body>\n</html>\n", buffer);
    snprintf (msg, sizeof (msg),
              "HTTP/1.0 200 OK\n"
              "Content-Type: text/html\n"
              "Content-Length: %zd\n\n%s", strlen (body), body);
    n = write (newsockfd,msg,strlen(msg));
    if (n < 0) error("ERROR writing to socket");
    close (newsockfd);
  }
}
```

Eine neue Verbindung akzeptieren

HTTP-Anfrage einlesen

Sockets: Programmierung

```
  ...
  while (1) {
    clilen = sizeof(cli_addr);
    newsockfd = accept (sockfd, (struct sockaddr *) &cli_addr, &clilen);
    if (newsockfd < 0) error("ERROR on accept");
    bzero(buffer,sizeof(buffer));
    n = read (newsockfd,buffer,sizeof(buffer)-1);
    if (n < 0) error("ERROR reading from socket");
    snprintf (body, sizeof (body),
              "<html>\n<body>\n"
              "<h1>Hallo Webbrowser</h1>\nDeine Anfrage war ...\n"
              "<pre>%s</pre>\n"
              "</body>\n</html>\n", buffer);
    snprintf (msg, sizeof (msg),
              "HTTP/1.0 200 OK\n"
              "Content-Type: text/html\n"
              "Content-Length: %zd\n\n%s", strlen (body), body);
    n = write (newsockfd,msg,strlen(msg));
    if (n < 0) error("ERROR writing to socket");
    close (newsockfd);
  }
}
```

Eine neue Verbindung akzeptieren

HTTP-Anfrage einlesen

Antwort generieren und zurückschicken

Sockets: Programmierung

```
  ...
  while (1) {
    clilen = sizeof(cli_addr);
    newsockfd = accept (sockfd, (struct sockaddr *) &cli_addr, &clilen);
    if (newsockfd < 0) error("ERROR on accept");
    bzero(buffer,sizeof(buffer));
    n = read (newsockfd,buffer,sizeof(buffer)-1);
    if (n < 0) error("ERROR reading from socket");
    snprintf (body, sizeof (body),
              "<html>\n<body>\n"
              "<h1>Hallo Webbrowser</h1>\nDeine Anfrage war ...\n"
              "<pre>%s</pre>\n"
              "</body>\n</html>\n", buffer);
    snprintf (msg, sizeof (msg),
              "HTTP/1.0 200 OK\n"
              "Content-Type: text/html\n"
              "Content-Length: %zd\n\n%s", strlen (body), body);
    n = write (newsockfd,msg,strlen(msg));
    if (n < 0) error("ERROR writing to socket");
    close (newsockfd);
  }
}
```

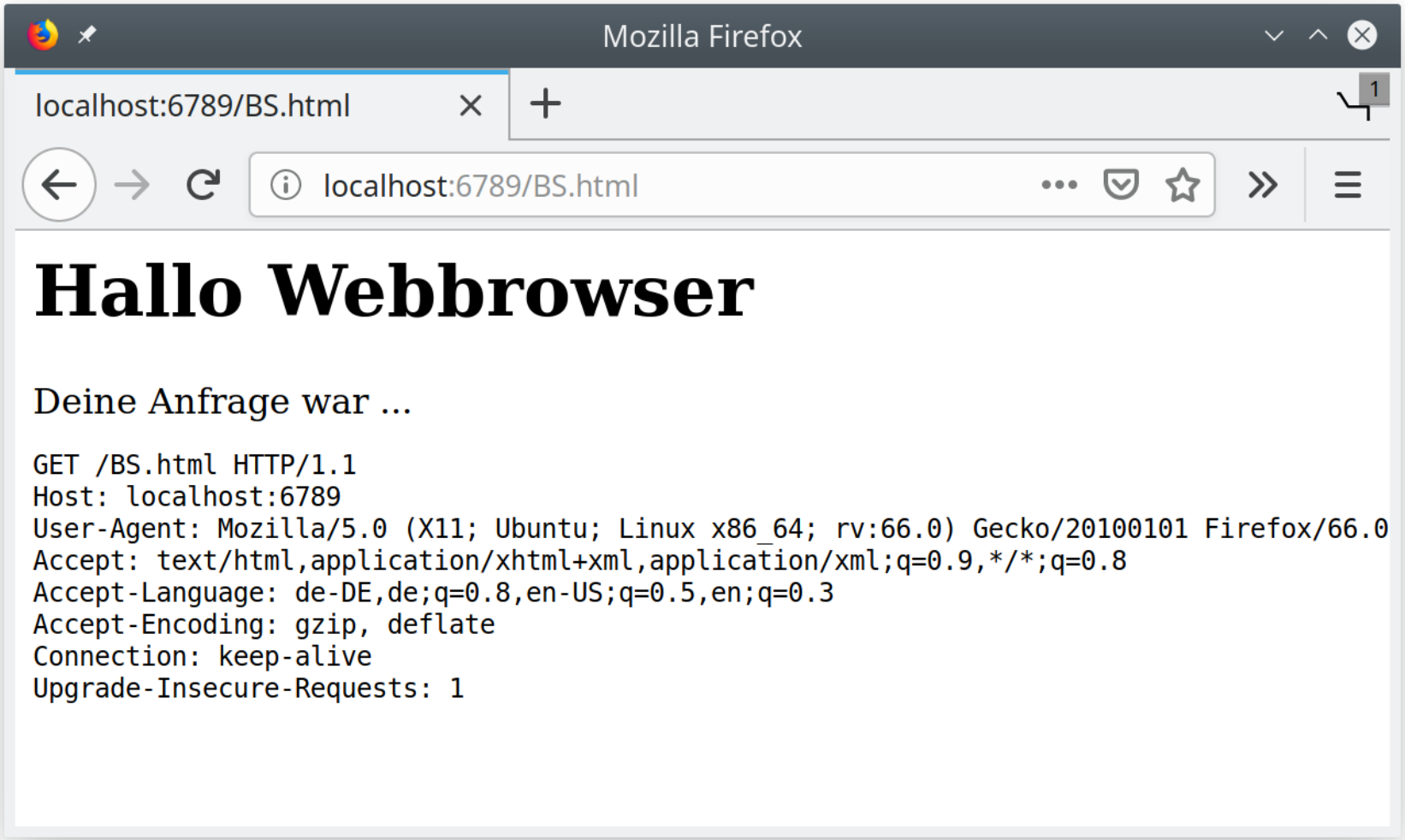
Eine neue Verbindung akzeptieren

HTTP-Anfrage einlesen

Antwort generieren und zurückschicken

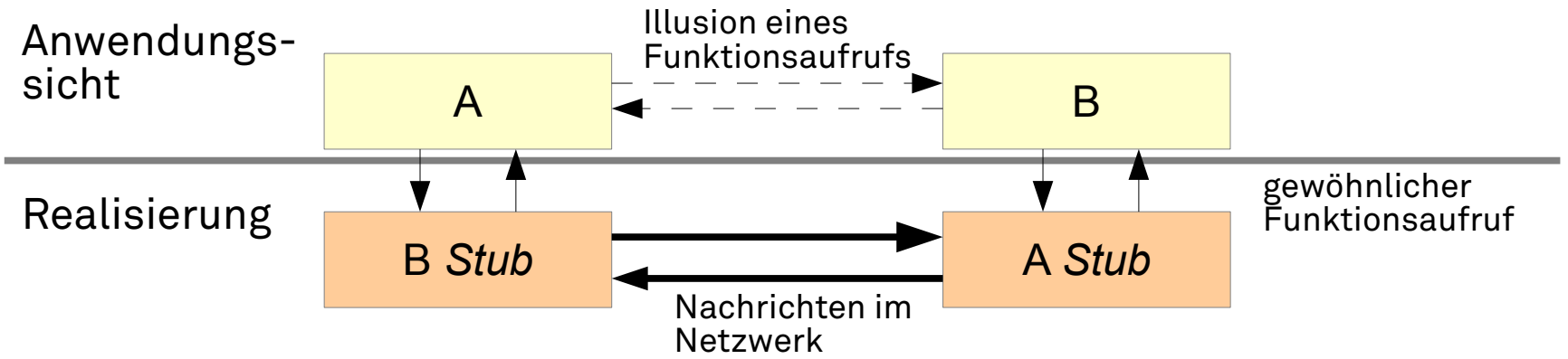
Verbindung wieder schließen.

Sockets: Beispiel HTTP Echo



Fernaufruf (RPC)

- Funktionsaufruf über Prozessgrenzen hinweg (***Remote Procedure Call***)
  - hoher Abstraktionsgrad
  - selten wird Fernaufruf direkt vom System angeboten; benötigt Abbildung auf andere Kommunikationsformen (z.B. auf Nachrichten)
  - Abbildung auf mehrere Nachrichten
    - Auftragsnachricht transportiert Aufrufabsicht und Parameter.
    - Ergebnisnachricht transportiert Ergebnisse des Aufrufs.



  - Beispiele: NFS (ONC RPC), Linux D-BUS

Inhalt

- Grundlagen der Interprozesskommunikation
- Lokale Interprozesskommunikation unter UNIX
  - Signale
  - *Pipes*
  - *Message Queues*
- Rechnerübergreifende Interprozesskommunikation
  - *Sockets*
  - Entfernte Prozeduraufrufe (RPCs)
- **Zusammenfassung**

Zusammenfassung

- Es gibt zwei Arten der Interprozesskommunikation
  - nachrichtenbasiert
    - die Daten werden kopiert
    - geht auch über Rechnergrenzen
  - über gemeinsamen Speicher
    - war heute nicht dran
- UNIX-Systeme bieten verschiedene Abstraktionen
  - Signale, Pipes, Sockets, Message Queues
  - Insbesondere die Sockets werden häufig verwendet.
    - Ihre Schnittstelle wurde standardisiert.
    - Praktisch alle Vielzweckbetriebssysteme implementieren heute Sockets.