

Übungen zu Systemprogrammierung 2 (SP2)

Ü2 – IPC mit Sockets, Signale

Christoph Erhardt, Jens Schedel, Jürgen Kleinöder

Lehrstuhl für Informatik 4
Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

WS 2013/14 – 04. bis 08. November 2013

http://www4.cs.fau.de/Lehre/WS13/V_SP2

Agenda

- 2.1 IPC-Schnittstelle: Server
- 2.2 UNIX-Signale
- 2.3 Signal-API von UNIX
- 2.4 Einsammeln von Zombies
- 2.5 Makefiles – Teil 3
- 2.6 Aufgabe 2: *sister*
- 2.7 Gelerntes anwenden

Agenda

- 2.1 IPC-Schnittstelle: Server
- 2.2 UNIX-Signale
- 2.3 Signal-API von UNIX
- 2.4 Einsammeln von Zombies
- 2.5 Makefiles – Teil 3
- 2.6 Aufgabe 2: *sister*
- 2.7 Gelerntes anwenden

IPC-Schnittstelle: Server

- **Ausgangssituation:** Socket wurde bereits erstellt (`socket(2)`)
- Nach seiner Erzeugung muss der Socket zunächst an eine Adresse *gebunden* werden, bevor er verwendet werden kann
- Der Systemaufruf `bind(2)` stellt eine generische Schnittstelle zum Binden von Sockets in unterschiedlichen Domänen bereit:

```
int bind(int sockfd, const struct sockaddr *addr, socklen_t addrlen);
```

- `sockfd`: Socket-Deskriptor
- `addr`: protokollspezifische Adresse
 - Socket-Interface (`<sys/socket.h>`) ist zunächst protokollunabhängig:

```
struct sockaddr {  
    sa_family_t sa_family; // Adressfamilie  
    char sa_data[14];      // Platzhalter fuer Adresse  
};
```

- „Klassenvererbung für Arme“; i. d. R. Cast notwendig
- `addrlen`: Länge der konkret übergebenen Struktur in Bytes

- Name durch IPv4-Adresse und Port-Nummer definiert:

```
struct sockaddr_in {
    sa_family_t    sin_family; // = AF_INET
    in_port_t      sin_port;   // Port
    struct in_addr sin_addr;    // Internet-Adresse
};
```

- `sin_port`: Port-Nummer
- `sin_addr`: IPv4-Adresse
 - `INADDR_ANY`: wenn Socket auf allen lokalen Adressen (z. B. allen Netzwerkschnittstellen) Verbindungen akzeptieren soll

- `sin_port` und `sin_addr` müssen in Netzwerk-Byteorder vorliegen!
 - Umwandlung mittels `htons(3)`, `htonl(3)`: konvertiert Datenwort von Host-spezifischer Byteorder in Netzwerk-Byteorder – bzw. zurück:

```
uint32_t htonl(uint32_t hostlong);
uint16_t htons(uint16_t hostshort);
uint32_t ntohl(uint32_t netlong);
uint16_t ntohs(uint16_t netshort);
```

22-ServerSockets_handout



- Name durch IPv6-Adresse und Port-Nummer definiert:

```
struct sockaddr_in6 {
    sa_family_t    sin6_family; // = AF_INET6
    in_port_t      sin6_port;   // Port-Nummer
    uint32_t       sin6_flowinfo; // = 0
    struct in6_addr sin6_addr;   // IPv6-Adresse
    uint32_t       sin6_scope_id; // = 0
};

struct in6_addr {
    unsigned char s6_addr[16];
};
```

- `sin6_port`: Port-Nummer
- `sin6_addr`: IPv6-Adresse
 - `in6addr_any`: auf allen lokalen Adressen Verbindungen akzeptieren

- `sin6_port` muss in Netzwerk-Byteorder vorliegen (`htons(3)`)
- `in6_addr`-Struktur ist byteweise definiert, deswegen keine Konvertierung nötig

22-ServerSockets_handout



IPC-Schnittstelle: Server

- Verbindungsannahme vorbereiten mit `listen(2)`:

```
int listen(int sockfd, int backlog);
```

- `backlog`: Unverbindliche Größe der Warteschlange, in der alle eingehenden Verbindungswünsche zwischengepuffert werden
 - Bei voller Warteschlange werden Verbindungsanfragen zurückgewiesen
 - Maximal mögliche Größe: `SOMAXCONN`

22-ServerSockets_handout



IPC-Schnittstelle: Server

- Verbindung annehmen mit `accept(2)`:

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

- `addr`, `addrlen`: Ausgabeparameter zum Ermitteln der Adresse des Clients
 - Bei Desinteresse zweimal `NULL` übergeben

- Entnimmt die vorderste Verbindungsanfrage aus der Warteschlange
 - Blockiert bei leerer Warteschlange
- Erzeugt einen neuen Socket und liefert ihn als Rückgabewert
 - Kommunikation mit dem Client über diesen neuen Socket
 - Annahme weiterer Verbindungen über den ursprünglichen Socket

22-ServerSockets_handout

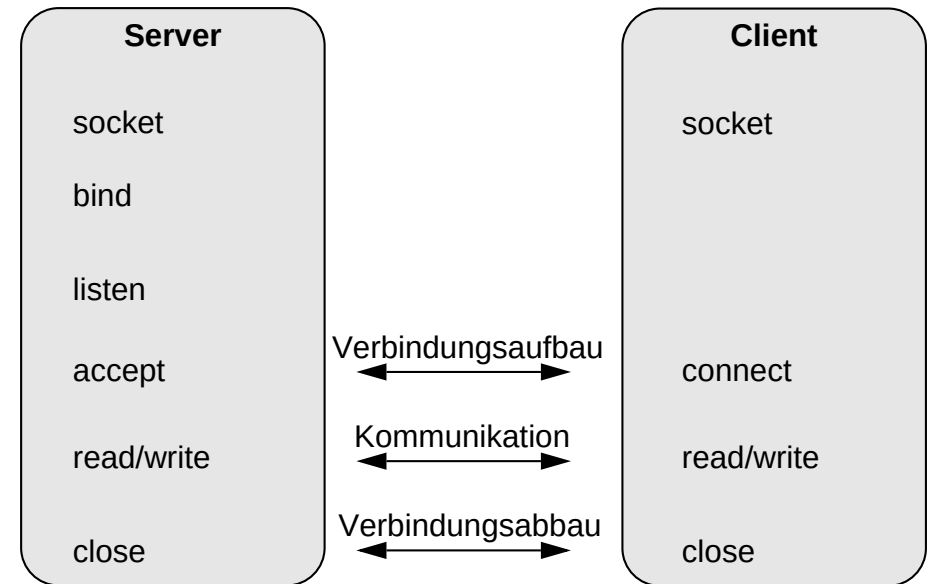


IPC-Schnittstelle: Server

- Nach Beendigung des Server-Prozesses erlaubt das Betriebssystem kein sofortiges `bind(2)` an den selben Port
 - Erst nach Timeout erneut möglich
 - Grund: es könnten sich noch Datenpakete für den alten Prozess auf der Leitung befinden
- Testen und Debuggen eines Server-Programms dadurch stark erschwert
- Lösungsmöglichkeiten:
 1. Bei jedem Start einen anderen Port verwenden – doof!
 2. Sofortige Wiederverwendung des Ports forcieren:

```
int sock = socket(...);
...
int flag = 1;
setsockopt(sock, SOL_SOCKET, SO_REUSEADDR, &flag, sizeof(flag));
...
bind(sock, ...);
```

TCP/IP-Sockets: Zusammenfassung



Beispiel: einfacher Echo-Server

IPC-Schnittstelle

! Fehlerabfragen nicht vergessen

```
int listenSock = socket(AF_INET6, SOCK_STREAM, 0);

struct sockaddr_in6 name = {
    .sin6_family = AF_INET6,
    .sin6_port = htons(1112),
    .sin6_addr = in6addr_any,
};
bind(listenSock, (struct sockaddr *) &name, sizeof(name));
listen(listenSock, SOMAXCONN);

for (;;) {
    int clientSock = accept(listenSock, NULL, NULL);
    char buf[1024];
    ssize_t n;
    while ((n = read(clientSock, buf, sizeof(buf))) > 0) {
        write(clientSock, buf, n);
    }
    close(clientSock);
}
```

Beispiel: einfacher Echo-Server

IPC-Schnittstelle

```
int clientSock;
while ((clientSock = accept(listenSock, NULL, NULL)) != -1) {
    char buf[1024];
    ssize_t n;
    while ((n = read(clientSock, buf, sizeof(buf))) > 0) {
        write(clientSock, buf, n);
    }
    close(clientSock);
}
```

- Limitierungen:
 - Neue eingehende Verbindung kann erst nach vollständiger Abarbeitung der vorherigen Anfrage angenommen werden
 - Monopolisierung des Dienstes möglich (*Denial of Service*)!
- Mögliche Ansätze zur Abhilfe:
 1. Mehrere Prozesse
 - Anfrage wird durch Kindprozess bearbeitet
 2. Mehrere Threads
 - Anfrage wird durch einen Thread im gleichen Prozess bearbeitet

- 2.1 IPC-Schnittstelle: Server
- 2.2 UNIX-Signale
- 2.3 Signal-API von UNIX
- 2.4 Einsammeln von Zombies
- 2.5 Makefiles – Teil 3
- 2.6 Aufgabe 2: `sister`
- 2.7 Gelerntes anwenden

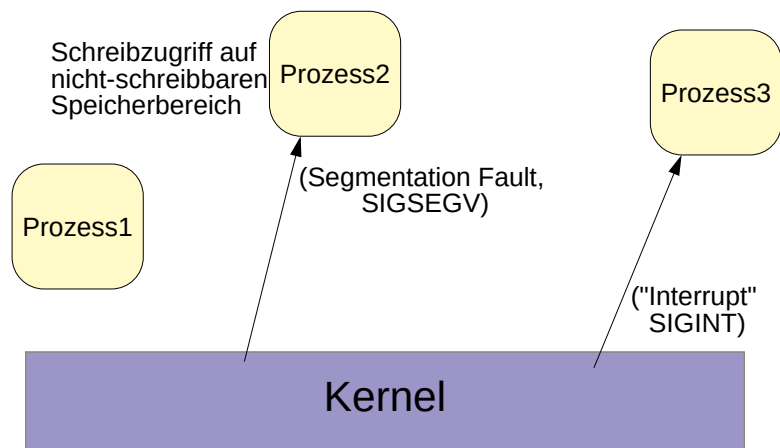


- Essenzielles Betriebssystemkonzept: synchrone/asynchrone Programmunterbrechungen (*Traps* bzw. *Interrupts*)
 - Zur Signalisierung von Ereignissen
 - Abwicklung zwischen Hardware und Betriebssystem
 - Transparent für die Anwendung
- **UNIX-Signale:** Nachbildung des Konzepts auf Anwendungsebene
 - Abwicklung zwischen Betriebssystem und Anwendung
 - Unabhängig von der Hardware



UNIX-Signale

- **Anwendungsfall 1:** Signalisierungen durch den Betriebssystemkern

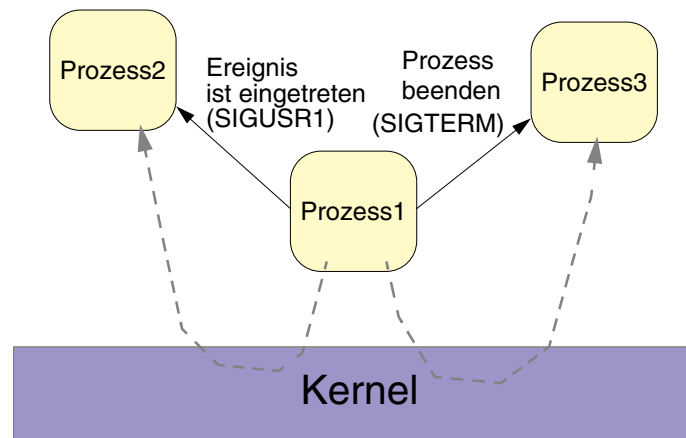


- Synchrone Signale: unmittelbar durch Aktivität des Prozesses ausgelöst
- Asynchrone Signale: „von außen“ ausgelöst



UNIX-Signale

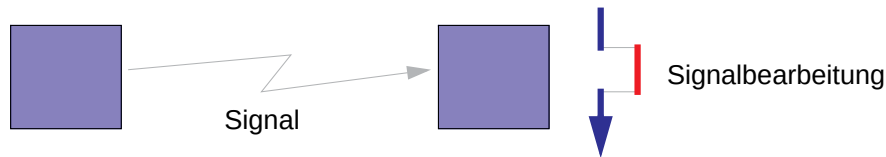
- **Anwendungsfall 2:** primitive „Kommunikation“ zwischen Prozessen



- Asynchron zum eigentlichen Programmablauf



- *Ign*
 - Ignorieren des Signals
- *Core*
 - Erzeugen eines Core-Dumps (Speicherabbild + Registerkontext) und Beenden des Prozesses
- *Term*
 - Beenden des Prozesses, ohne einen Core-Dump zu erzeugen
 - Standardreaktion für die meisten Signale
- Signal-Behandlungsfunktion
 - Aufruf einer vorher festgelegten Funktion, danach Fortsetzen des Prozesses



SIGINT	<i>Term</i>	„Interrupt“; (Shell: Ctrl-C)
SIGABRT	<i>Core</i>	Abort-Signal; entsteht z. B. durch Aufruf von <code>abort(3)</code>
SIGFPE	<i>Core</i>	Floating-Point Exception (Division durch 0, Überlauf, ...)
SIGKILL	<i>Term</i>	Beendet den Prozess; nicht abfangbar
SIGSEGV	<i>Core</i>	Segmentation Violation; illegaler Speicherzugriff
SIGPIPE	<i>Term</i>	Schreiben auf Pipe oder Socket, nachdem die Gegenseite geschlossen wurde
SIGTERM	<i>Term</i>	Standardsignal von <code>kill(1)</code>
SIGCHLD	<i>Ign</i>	Status eines Kindprozesses hat sich geändert

Agenda

- 2.1 IPC-Schnittstelle: Server
- 2.2 UNIX-Signale
- 2.3 Signal-API von UNIX
- 2.4 Einsammeln von Zombies
- 2.5 Makefiles – Teil 3
- 2.6 Aufgabe 2: *sister*
- 2.7 Gelerntes anwenden

Signalbehandlung einrichten

Prototyp:

```
#include <signal.h>

int sigaction(int signum, const struct sigaction *act,
              struct sigaction *oldact);
```

- **signum**: Signalnummer
- **act**: Neue Behandlung für dieses Signal
- **oldact**: Bisherige Behandlung dieses Signals (Ausgabeparameter)

- Die eingerichtete Behandlung bleibt so lange aktiv, bis eine neue mit `sigaction()` installiert wird

sigaction-Struktur:

```
struct sigaction {
    void (*sa_handler)(int); // Behandlungsfunktion
    sigset_t sa_mask;        // Blockierte Signale
    int sa_flags;             // Optionen
};
```

Signalbehandlung einrichten: `sa_handler`

Signal-API

■ `sigaction`-Struktur:

```
struct sigaction {
    void (*sa_handler)(int); // Behandlungsfunktion
    sigset_t sa_mask;        // Blockierte Signale
    int sa_flags;            // Optionen
};
```

■ Über `sa_handler` kann die Signalbehandlung eingestellt werden:

- `SIG_IGN`: Signal ignorieren
- `SIG_DFL`: Standard-Signalbehandlung einstellen
- *Funktionsadresse*: Funktion wird in der Signalbehandlung aufgerufen

Signalbehandlung einrichten: `sa_mask`

Signal-API

■ `sigaction`-Struktur:

```
struct sigaction {
    void (*sa_handler)(int); // Behandlungsfunktion
    sigset_t sa_mask;        // Blockierte Signale
    int sa_flags;            // Optionen
};
```

■ Während einer Signalbehandlung ist das auslösende Signal automatisch blockiert

- Pro Signalnummer wird maximal ein Ereignis zwischengespeichert
- Mit `sa_mask` kann man **weitere** Signale blockieren

■ Hilfsfunktionen zum Auslesen und Modifizieren einer Signal-Maske:

- `sigaddset(3)`: Bestimmtes Signal zur Maske hinzufügen
- `sigdelset(3)`: Bestimmtes Signal aus Maske entfernen
- `sigemptyset(3)`: Alle Signale aus Maske entfernen
- `sigfillset(3)`: Alle Signale in Maske aufnehmen
- `sigismember(3)`: Abfrage, ob bestimmtes Signal in Maske enthalten ist

Signalbehandlung einrichten: `sa_flags`

Signal-API

■ `sigaction`-Struktur:

```
struct sigaction {
    void (*sa_handler)(int); // Behandlungsfunktion
    sigset_t sa_mask;        // Blockierte Signale
    int sa_flags;            // Optionen
};
```

■ Beeinflussung des Verhaltens bei Signalempfang durch `sa_flags` (0 oder Veroderung von Flag-Konstanten):

- `SA_NOCLDSTOP`: `SIGCHLD` wird nur zugestellt, wenn ein Kindprozess terminiert, nicht wenn er gestoppt wird
- `SA_RESTART`: durch das Signal unterbrochene Systemaufrufe werden automatisch neu aufgesetzt (siehe nächste Folie)

■ Weitere Flags siehe `sigaction(2)`

Unterbrechen von Systemaufrufen

Signal-API von UNIX

■ Signalbehandlung muss im Benutzerkontext durchgeführt werden

? Was geschieht, wenn ein Prozess ein Signal erhält, während er sich in einem Systemaufruf befindet?

■ Nicht-blockierender Systemaufruf:

- Signalbehandlung wird durchgeführt, sobald der Kontrollfluss aus dem Kern zurückkehrt

■ Blockierender Systemaufruf:

- **Problem:** Die Blockade kann beliebig lang dauern, z. B. beim Warten auf eingehende Verbindungen mit `accept()`
 - Die Signalbehandlung indefinit hinauszuzögern, ist keine gute Idee
- **Lösung:** Systemaufruf wird abgebrochen und kehrt mit `errno = EINTR` zurück, Signal wird sofort behandelt
- **Vereinfachung:** Setzt man das Flag `SA_RESTART`, kehrt der Systemaufruf nicht mit Fehler zurück, sondern wird nach der Signalbehandlung automatisch wiederholt



```
#include <signal.h>
#include <stdio.h>

static void handleSIGPIPE(int sig) {
    ...
}

int main(void) {
    struct sigaction action;
    action.sa_handler = handleSIGPIPE;
    sigemptyset(&action.sa_mask);
    action.sa_flags = SA_RESTART;
    sigaction(SIGPIPE, &action, NULL);
    ...
}
```



- Systemaufruf `kill(2)`:
`int kill(pid_t pid, int sig);`
- Shell-Kommando `kill(1)`:
 - Sendet ein Signal an einen bestimmten Prozess
 - z. B. `kill -USR1 <pid>`
- Shell-Kommando `pkill(1)`:
 - Sendet ein Signal an alle Prozesse, die ein bestimmtes Programm ausführen
 - z. B. `pkill -USR1 <programmname>`



Agenda

- 2.1 IPC-Schnittstelle: Server
- 2.2 UNIX-Signale
- 2.3 Signal-API von UNIX
- 2.4 Einsammeln von Zombies
- 2.5 Makefiles – Teil 3
- 2.6 Aufgabe 2: sister
- 2.7 Gelerntes anwenden



Zombies einsammeln mit Hilfe von Signalen

- Stirbt ein Kindprozess, so erhält der Vater das Signal `SIGCHLD` vom Kernel
 - Damit ist sofortiges Aufsammeln von Zombieprozessen möglich
- **Variante 1:** Aufruf von `waitpid(2)` im Signalhandler
 - Aufruf in Schleife notwendig – während der Signalbehandlung könnten weitere Kindprozesse sterben
- **Variante 2:** Signalhandler für `SIGCHLD` auf `SIG_DFL` setzen und in den `sa_flags` den Wert `SA_NOCLDWAIT` setzen
- **Variante 3:** Signalhandler für `SIGCHLD` auf `SIG_IGN` setzen



Agenda

- 2.1 IPC-Schnittstelle: Server
- 2.2 UNIX-Signale
- 2.3 Signal-API von UNIX
- 2.4 Einsammeln von Zombies
- 2.5 Makefiles – Teil 3
- 2.6 Aufgabe 2: *sister*
- 2.7 Gelerntes anwenden



Suffix-Regeln

- Allgemeine Regel zur Erzeugung einer Datei mit einer bestimmten Endung aus einer gleichnamigen Datei mit einer anderen Endung
- Beispiel: Erzeugung von `.o`-Dateien aus `.c`-Dateien

```
%o: %.c
$(CC) $(CPPFLAGS) $(CFLAGS) -c $<
```

- Explizite Regeln überschreiben die Suffix-Regeln

```
test.o: test.c
$(CC) $(CPPFLAGS) $(CFLAGS) -DXYZ -c $<
```

- Regeln ohne Kommandos können Abhängigkeiten überschreiben

```
test.o: test.c test.h func.h
```

- Die Suffix-Regel wird weiterhin zur Erzeugung herangezogen



Dynamische Makros

- `$@` Name des Targets (hier: `test`)

```
test: test.c
$(CC) $(CPPFLAGS) $(CFLAGS) $(LDFLAGS) -o $@ test.c
```

- `$*` Basisname des Targets (ohne Dateiendung, hier: `test`)

```
test.o: test.c test.h
$(CC) $(CPPFLAGS) $(CFLAGS) -c $*.c
```

- `$<` Name der ersten Abhängigkeit (hier: `test.c`)

```
test.o: test.c test.h
$(CC) $(CPPFLAGS) $(CFLAGS) -c $<
```

- `$^` Namen aller Abhängigkeiten (hier: `test.o func.o`)

- Achtung: GNU-Erweiterung, nicht SUSv4-konform!

```
test: test.o func.o
$(CC) $(CFLAGS) $(LDFLAGS) -o $@ $^
```



Agenda

- 2.1 IPC-Schnittstelle: Server
- 2.2 UNIX-Signale
- 2.3 Signal-API von UNIX
- 2.4 Einsammeln von Zombies
- 2.5 Makefiles – Teil 3
- 2.6 Aufgabe 2: *sister*
- 2.7 Gelerntes anwenden



Aufgabe 2: sister

- Einfacher HTTP-Webserver zum Ausliefern statischer HTML-Seiten innerhalb eines Verzeichnisbaums (*WWW-Pfad*)
- Abarbeitung der Anfragen erfolgt in eigenem Prozess (`fork(2)`)
- Modularer Aufbau (vgl. SP1#SS12 A/II 7)
 - Wiederverwendung einzelner Module in Aufgabe 5: `mother`



Exkurs: modulare Softwareentwicklung in C Aufgabe 2

- **Wiederholung:** Ein Modul besteht aus ...
 - Öffentlicher Schnittstelle (Header-Datei)
 - Konkreter Implementierung dieser Schnittstelle (C-Datei)
- Durch diese Trennung ist es möglich die Implementierung auszutauschen, ohne die Schnittstelle zu verändern
 - Module, die die öffentliche Schnittstelle verwenden, müssen nicht angepasst werden, wenn deren konkrete Implementierung geändert wird



Aufgabe 2: sister

Hauptmodul (`sister.c`)

- Implementiert die `main()`-Funktion:
 - Initialisierung des Verbindungs- und `cmdline`-Moduls
 - Vorbereiten der Interprozesskommunikation
 - Annehmen von Verbindungen
 - Übergabe angenommener Verbindungen an das Verbindungsmodul

Verbindungsmodul (`connection-fork.c`)

- Implementiert die Schnittstelle aus dem Header `connection.h`:
 - Initialisierung des Anfragemoduls
 - Erstellen eines Kindprozesses zur Abarbeitung der Anfrage
 - Anmerkung: Entstandene Zombie-Prozesse müssen beseitigt werden!
 - Weitergabe der Verbindung an das Anfragemodul



Aufgabe 2: sister

Anfragemodul (`request-http.c`)

- Implementiert die Schnittstelle aus dem Header `request.h`:
 - Einlesen und Auswerten der Anfragezeile
 - Suchen der angeforderten Datei im WWW-Pfad
 - ! **Vorsicht:** Anfragen auf Dateien jenseits des WWW-Pfades stellen ein Sicherheitsrisiko dar. Sie müssen erkannt und abgelehnt werden!
 - Ausliefern der Datei

Hilfsmodule (`cmdline`, `i4httools`)

- `cmdline`: Schnittstelle zum Parsen der Befehlszeilenargumente
- `i4httools`: Hilfsfunktionen zum Implementieren eines HTTP-Servers



Agenda

- 2.1 IPC-Schnittstelle: Server
- 2.2 UNIX-Signale
- 2.3 Signal-API von UNIX
- 2.4 Einsammeln von Zombies
- 2.5 Makefiles – Teil 3
- 2.6 Aufgabe 2: `sister`
- 2.7 Gelerntes anwenden



Aktive Mitarbeit!

„Aufgabenstellung“

- Programm schreiben, welches durch `Ctrl-C` nicht beendet werden kann

