

# 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 2014 – 27. bis 31. Oktober 2014

[https://www4.cs.fau.de/Lehre/WS14/V\\_SP2](https://www4.cs.fau.de/Lehre/WS14/V_SP2)

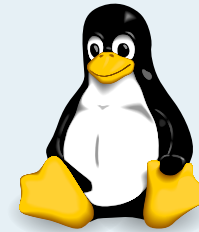


22-ServerSockets\_handout

## Veranstaltungshinweis

### Linux-Install-Party der FSI

- am Mittwoch, den 05.11.2014, um 14:00
- im 02.152-113 (Blaues Hochhaus, 2. Stock)
- weitere Informationen unter <https://fsi.informatik.uni-erlangen.de/linuxinstall>



22-ServerSockets\_handout

© ce, js, jk SP2 (Ü2 | WS 2014)

1-2

## 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



22-ServerSockets\_handout

© ce, js, jk SP2 (Ü2 | WS 2014) 2 Server-Sockets und Signale

2-1

## 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



22-ServerSockets\_handout

© ce, js, jk SP2 (Ü2 | WS 2014) 2 Server-Sockets und Signale | 2.1 IPC-Schnittstelle: Server

2-2

- **Ausgangssituation:** Socket wurde bereits erstellt (`socket(2)`)
- Nach seiner Erzeugung muss der Socket zunächst an eine Adresse *gebunden* werden, bevor er verwendet werden kann
- `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);
```

- 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

- Verbindungsannahme vorbereiten mit `listen(2)`:

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

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

## IPC-Schnittstelle: Server

- Verbindung annehmen mit `accept(2)`:

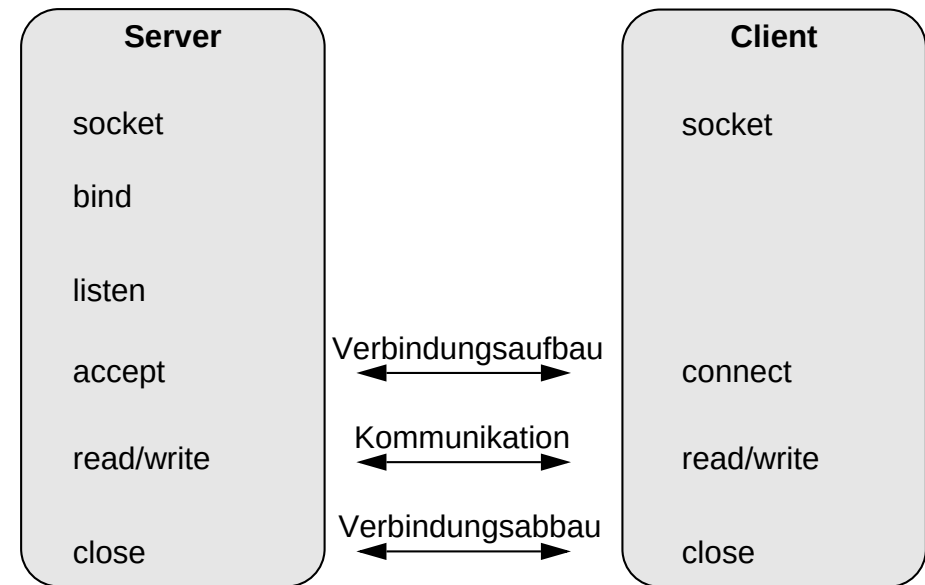
```
int accept(int sockfd, struct sockaddr *addr, socklen_t *addrlen);
```

- `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



## TCP/IP-Sockets: Zusammenfassung



22-ServerSockets\_handout



## 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);
}
```

22-ServerSockets\_handout



## Beispiel: einfacher Echo-Server

IPC-Schnittstelle

```
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);
}
```

- Limitierungen:

- Neue 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

22-ServerSockets\_handout



## „Wiederverwenden“ von Ports

- 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, ...);
```

## Agenda

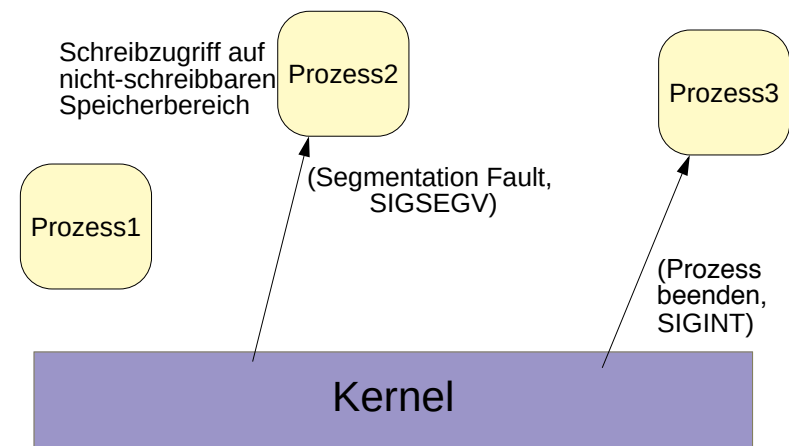
- 2.1 IPC-Schnittstelle: Server
- 2.2 UNIX-Signale
- 2.3 Signal-API von UNIX
- 2.4 Einsammeln von Zombies
- 2.5 Makefiles – Teil 3
- 2.6 Aufgabe 2: `sister`
- 2.7 Gelerntes anwenden

## UNIX-Signale

- Essenzielles Betriebssystemkonzept: synchrone/asynchrone Programmunterbrechungen (*Traps* bzw. *Interrupts*)
  - Zweck: 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

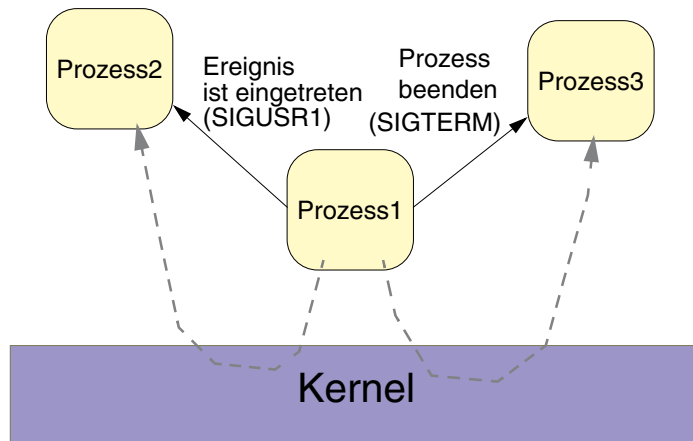
## UNIX-Signale

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



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

## Anwendungsfall 2: primitive „Kommunikation“ zwischen Prozessen



- Asynchron zum eigentlichen Programmablauf

## Ign

- Ignorieren des Signals

## Core

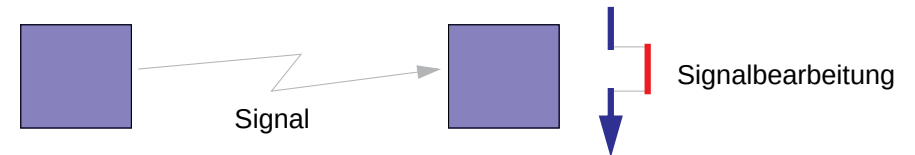
- Erzeugen eines Core-Dumps (Speicherabbild + Registerkontext) und Beenden des Prozesses

## 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:



## Gängige Signalnummern (mit Standardverhalten)

|         |      |                                                                          |
|---------|------|--------------------------------------------------------------------------|
| SIGINT  | Term | Beenden durchs Terminal (Ctrl-C)                                         |
| SIGABRT | Core | Abort-Signal; entsteht z. B. durch Aufruf von <code>abort(3)</code>      |
| SIGFPE  | Core | Floating-Point Exception (Division durch 0, Überlauf, ...)               |
| SIGKILL | Term | „Tötet“ den Prozess; nicht abfangbar                                     |
| SIGSEGV | Core | Segmentation Violation; illegaler Speicherzugriff                        |
| SIGPIPE | Term | Schreiben auf Pipe oder Socket, nachdem die Gegenseite geschlossen wurde |
| SIGTERM | Term | Standardsignal von <code>kill(1)</code>                                  |
| SIGCHLD | Ign  | 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

## ■ 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
};
```

■ `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

■ `sigaction`-Struktur:

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

■ Trifft während der Signalbehandlung dasselbe Signal erneut ein, wird dieses bis zum Ende der Behandlung verzögert (*blockiert*)

- Maximal ein Ereignis wird 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

■ `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)`

- 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(2)`
    - 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



- 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



## 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 $@ $^
```



## Pattern-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 $<
```
- Regeln ohne Kommandos können Abhängigkeiten überschreiben
 

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

  - Die Pattern-Regel wird weiterhin zur Erzeugung herangezogen
- Explizite Regeln überschreiben die Pattern-Regeln
 

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



## 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#SS14 A/II 7)
  - Wiederverwendung einzelner Module in Aufgabe 5: `mother`

22-ServerSockets\_handout



## 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

22-ServerSockets\_handout



## 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

22-ServerSockets\_handout



## 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

22-ServerSockets\_handout



# 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

