

# Übungen zu Systemprogrammierung 2 (SP2)

## Ü2 – IPC mit Sockets, Signale

**C. Erhardt, J. Schedel, A. Ziegler, J. Kleinöder**

Lehrstuhl für Informatik 4  
Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg

WS 2015 – 02. bis 06. November 2015

[https://www4.cs.fau.de/Lehre/WS15/V\\_SP2](https://www4.cs.fau.de/Lehre/WS15/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



- 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
- `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);
```



## Adress-Struktur bei IPv6-Sockets

- 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`



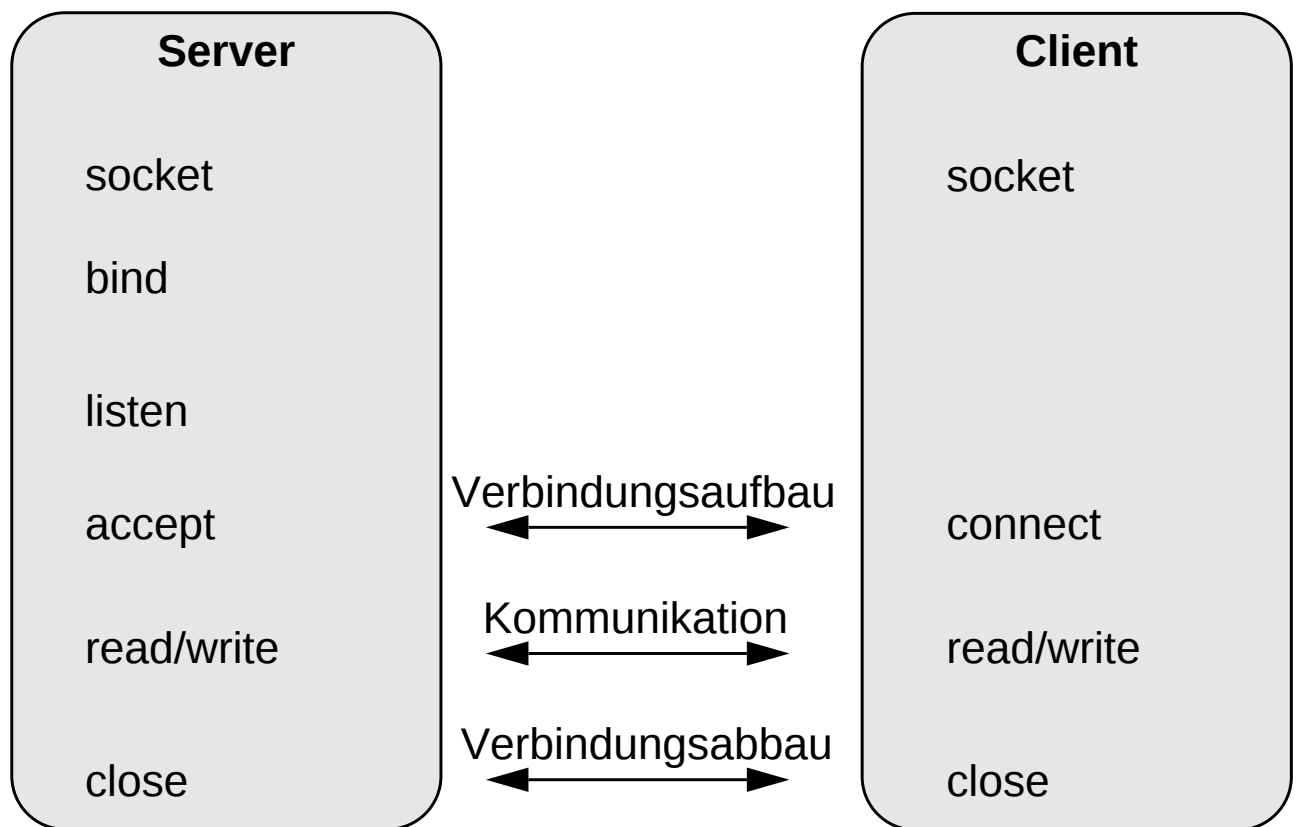
## IPC-Schnittstelle: Server

- 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





## 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);
}
```



```
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

## „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, ...);
```

- 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



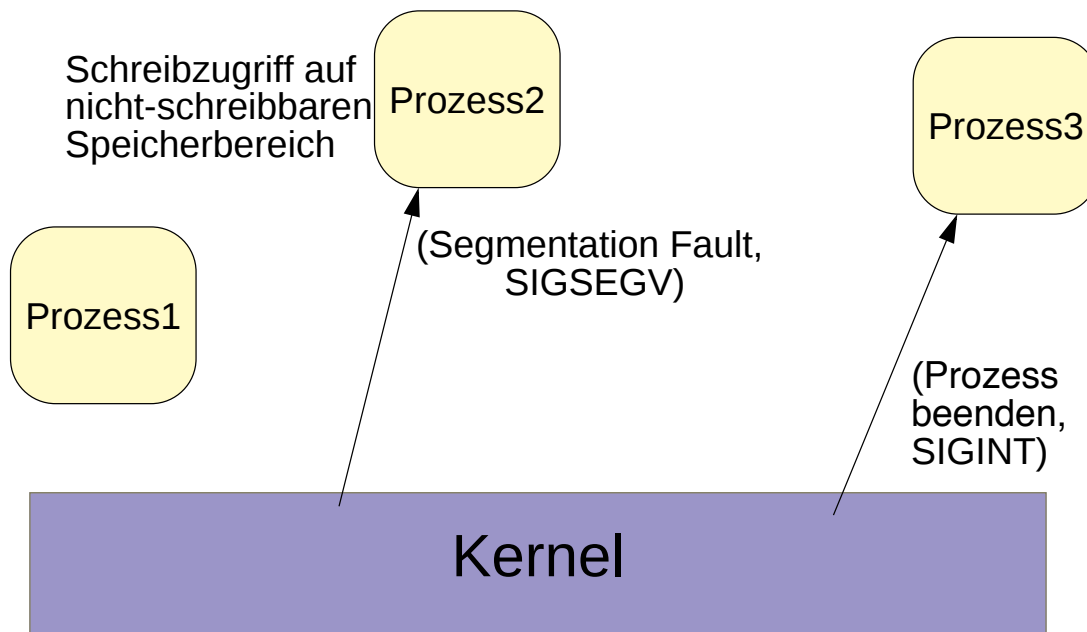
## UNIX-Signale

---

- 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

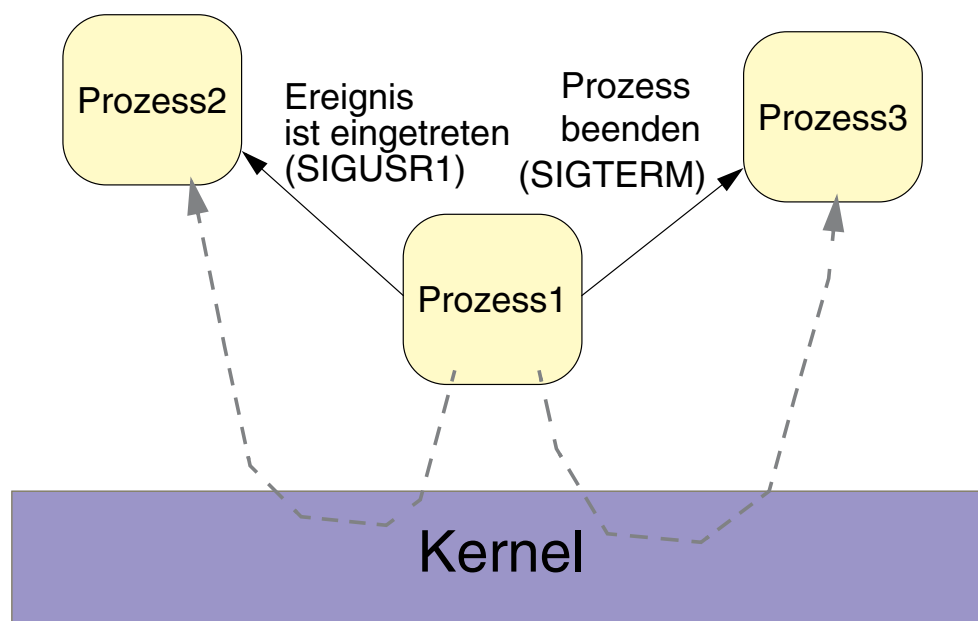


## ■ Anwendungsfall 1: Signalisierungen durch den Betriebssystemkern



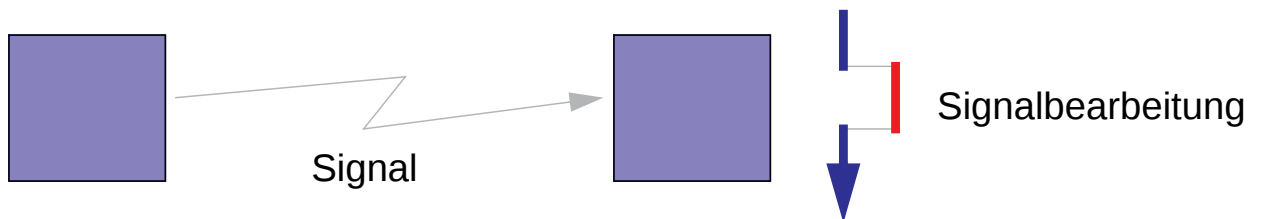
- Synchrone Signale: unmittelbar durch Aktivität des Prozesses ausgelöst
- Asynchrone Signale: „von außen“ ausgelöst

## ■ 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)

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

- 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

Signal-API von UNIX

### ■ 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



## Signalbehandlung einrichten: sa\_mask

## ■ 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)`

## Unterbrechen von Systemaufrufen

## ■ 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



- `$@` 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 $<
```



- 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**



- **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, i4htttools)

- `cmdline`: Schnittstelle zum Parsen der Befehlszeilenargumente
- `i4htttools`: 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

## „Aufgabenstellung“

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

