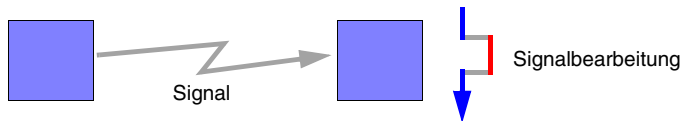


- Zwei Arten von Signalen
  - ◆ synchrone Signale: durch Prozessaktivität ausgelöst (Analogie: Traps)
  - ◆ asynchrone Signale: "von außen" ausgelöst (Analogie: Interrupts)
- Zwecke von Signalen
  - ◆ Ereignissignalisierung zwischen Prozessen
  - ◆ Ereignissignalisierung des Betriebssystemkerns an einen Prozess

- abort
  - ◆ erzeugt Core-Dump (Segmente + Registerkontext) und beendet Prozess
- exit
  - ◆ beendet Prozess, ohne einen Core-Dump zu erzeugen
- ignore
  - ◆ ignoriert Signal
- stop
  - ◆ stoppt Prozess
- continue
  - ◆ setzt einen gestoppten Prozess fort
- signal handler
  - ◆ Aufruf einer Signalbehandlungsfunktion, danach Fortsetzung des Prozesses

## 2 POSIX-Signalbehandlung

- Signal bewirkt Aufruf einer Funktion



- ◆ nach der Behandlung läuft Prozess an unterbrochener Stelle weiter
- verzögerte Signale (ähnlich Interrupts beim AVR)
  - ◆ während der Ausführung der Signalbearbeitung wird das auslösende Signal blockiert
  - ◆ bei Verlassen der Signalbehandlungsroutine wird das Signal deblockiert
  - ◆ es wird maximal ein Signal zwischengespeichert

## 3 Ausgewählte POSIX-Signale

Das Defaultverhalten bei den meisten Signalen ist die Terminierung des Prozesses, bei einigen Signalen mit Anlegen eines Core-Dumps.

- SIGALRM: Timer abgelaufen (`alarm(2)`, `setitimer(2)`)
- SIGCHLD (ignore): Statusänderung eines Kindprozesses
- SIGINT: Interrupt; (Shell: CTRL-C)
- SIGQUIT (core): Quit; (Shell: CTRL-\)
- SIGKILL (nicht behandelbar): beendet den Prozess
- SIGTERM: Terminierung; Standardsignal für `kill(1)`
- SIGSEGV (core): Speicherschutzverletzung
- SIGUSR1, SIGUSR2: Benutzerdefinierte Signale

## 4 Signalhandler installieren: sigaction

### ■ Prototyp

```
#include <signal.h>

int sigaction(int sig, /* Signal */
              const struct sigaction *act, /* Handler */
              struct sigaction *oact /* Alter Handler */ );
```

- Handler bleibt solange installiert, bis neuer Handler mit `sigaction` installiert wird

### ■ sigaction-Struktur

```
struct sigaction {
    void (*sa_handler)(int); /* Behandlungsfunktion */
    sigset_t sa_mask; /* Signalmaske während der Behandlung */
    int sa_flags; /* diverse Einstellungen */
};
```

## 4 Signalhandler installieren: Beispiel

### ■ Beispiel:

```
#include <signal.h>
void my_handler(int sig) { ... }
...
struct sigaction action;
sigemptyset(&action.sa_mask);
action.sa_flags = SA_RESTART;
action.sa_handler = my_handler;
sigaction(SIGUSR1, &action, NULL);
```

## 4 Signalhandler installieren: sigaction Handler (sa\_handler)

- Signalbehandlung kann über `sa_handler` eingestellt werden:

- `SIG_IGN` Signal ignorieren
- `SIG_DFL` Default-Signalbehandlung einstellen
- *Funktionsadresse* Funktion wird in der Signalbehandlung aufgerufen und ausgeführt
  - ➡ `SIG_IGN` und `SIG_DFL` werden über `exec(3)` vererbt, nicht aber eine Behandlungsfunktion (nicht möglich, warum?)

- Mit `sa_flags` lässt sich das Verhalten beim Signalempfang beeinflussen

- bei uns gilt: `sa_flags=SA_RESTART`

### ■ sigaction-Struktur

```
struct sigaction {
    void (*sa_handler)(int); /* Behandlungsfunktion */
    sigset_t sa_mask; /* Signalmaske während der Behandlung */
    int sa_flags; /* diverse Einstellungen */
};
```

## 4 Signalhandler installieren: sigaction Maske (sa\_mask)

- mit `sa_mask` in der `struct sigaction` kann man zusätzliche Signale während der Behandlung des Signals blockieren
- Auslesen und Modifikation von Signal-Masken des Typs `sigset_t` mit:
  - ◆ `sigaddset()`: Signal zur Maske hinzufügen
  - ◆ `sigdelset()`: Signal aus Maske entfernen
  - ◆ `sigemptyset()`: Alle Signale aus Maske entfernen
  - ◆ `sigfillset()`: Alle Signale in Maske aufnehmen
  - ◆ `sigismember()`: Abfrage, ob Signal in Maske enthalten ist

## 4 Signal zustellen

### ■ Systemaufruf `kill(2)`

```
int kill(pid_t pid, int signo);
```

- Kommando **kill(1)** aus der Shell (z.B. `kill -USR1 <pid>`)
- Kommando **ps(1)** oder **top(1)** können die aktiven Prozesse angezeigt werden (z.B. `ps -aF`)

## 5 Ändern der prozessweiten Signal-Maske

```
int sigprocmask(int how, /* Verknüpfung der Masken */
               const sigset_t *set, /* neue Maske */
               sigset_t *oset /* Speicher für alte Maske */ );
```

- how:
  - ◆ **SIG\_BLOCK**: blockiert Signale der Maske (zusätzlich zu bereits blockierten)
  - ◆ **SIG\_SETMASK**: blockiert Signale der Maske (und deblockiert alle anderen)
  - ◆ **SIG\_UNBLOCK**: deblockiert Signale der Maske

### ■ Beispiel

```
sigset_t set;
sigemptyset(&set);
sigaddset(&set, SIGUSR1);
sigprocmask(SIG_BLOCK, &set, NULL); /* Blockiert SIGUSR1 */
```

- Anwendung: Sperren der Signalbehandlung in kritischen Abschnitten  
Vgl.: Sperren der Interruptbehandlung in kritischen Abschnitten (**cli()**, **sei()**)
- Die prozessweite Signal-Maske wird über **exec(3)** vererbt.

## 6 Warten auf Signale

- Problem: Prozess will in einem kritischen Abschnitt auf ein Signal warten
  - Signal muss deblockiert werden
  - Prozess wartet auf Signal
  - Signal muss wieder blockiert werden
- Operationen müssen atomar am Stück ausgeführt werden!
  - ➡ gleiche Problematik wie bei den Stromsparmodi des AVR-Prozessors
- Prototyp

```
#include <signal.h>
int sigsuspend(const sigset_t *mask);
```

- ◆ **sigsuspend(mask)** setzt **mask** als Signal-Maske und blockiert Prozess
- ◆ Signal führt zu Aufruf des Signalhandlers (muss vorher installiert werden)
- ◆ **sigsuspend** restauriert die ursprüngliche Signal-Maske und kehrt zurück

## 7 POSIX-Signale vs. Interrupts

	Signale	Interrupts
Behandlung installieren	<code>sigaction()</code>	<code>ISR()</code> -Makro der C-Bibliothek
Behandlungsfunktion	Signalhandler	Interrupthandler
Auslösung	durch Prozesse mit <code>kill()</code> oder durch das Betriebssystem	durch die Hardware
Synchronisation	<code>sigprocmask()</code>	<code>cli()</code> , <code>sei()</code>
Warten auf IRQ/Signal	<code>pause()</code>	<code>sleep_cpu()</code>
	<code>sigsuspend()</code>	<code>sei()</code> + <code>sleep_cpu()</code>

- Signale und Interrupts sind sehr ähnliche Konzepte auf unterschiedlichen Ebenen
- Viele Probleme treten in beiden Fällen auf und sind konzeptionell identisch zu lösen