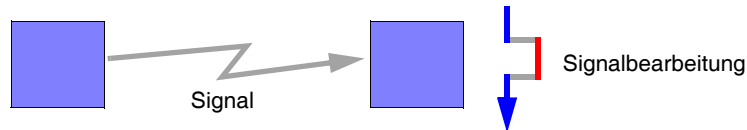


- Zwei Arten von Signalen
  - ◆ synchrone Signale: durch Prozessaktivität ausgelöst (Analogie: Traps)
  - ◆ asynchrone Signale: "von außen" ausgelöst (Analogie: Interrupts)
- Zwecke von Signalen
  - ◆ Ereignissignalisierung des Betriebssystemkerns an einen Prozess
  - ◆ Ereignissignalisierung zwischen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

- 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

- Signal bewirkt Aufruf einer Funktion



- ◆ nach der Behandlung läuft Prozess an unterbrochener Stelle weiter
- Systemschnittstelle
  - ◆ sigaction
  - ◆ sigprocmask
  - ◆ sigsuspend
  - ◆ kill

- Prototyp

```
#include <signal.h>

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

- Handler bleibt solange installiert, bis ein 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 */
};
```

### 3 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`

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

- verzögerte Signale
  - ◆ während der Ausführung der Signalhandler-Prozedur wird das auslösende Signal blockiert
  - ◆ bei Verlassen der Signalbehandlungsroutine wird das Signal deblockiert
  - ◆ es wird maximal eine Zustellung je Signal zwischengespeichert
- 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

### 3 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 Signal zustellen

- Systemaufruf `kill(2)`

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

- Kommando `kill(1)` aus der Shell (z. B. `kill -USR1 <pid>`)

### 5 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

## 6 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 (Maske |= \*set)
  - ◆ SIG\_SETMASK: blockiert Signale der Maske (Maske = \*set)
  - ◆ SIG\_UNBLOCK: deblockiert Signale der Maske (Maske &= ~( \*set ) )

■ 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.

## 7 Warten auf Signale

- Problem: Prozess will in einem kritischen Abschnitt auf ein Signal warten
  - Signal deblockieren
  - Auf Signal warten
  - Signal blockieren
  - Kritischen Abschnitt bearbeiten

- Operationen müssen atomar am Stück ausgeführt werden!  
 ➡ gleiche Problematik wie bei den Stromsparmodi des AVR-Prozessors

■ Sigsuspend

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

- (1) **sigsuspend(mask)** setzt **mask** als Signal-Maske
- (2) Der Prozess blockiert bis zum Eintreffen eines Signals
- (3) Gegebenenfalls wird der Signalhandler ausgeführt
- (4) **sigsuspend** restauriert die ursprüngliche Signal-Maske und kehrt zurück

## 8 POSIX-Signale vs. Interrupts

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

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