U7 7. Übung

U7-1 Überblick

- Besprechung 4. Aufgabe (halde)
- Signale

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

U7-2 Aufgabe 7: job_sh

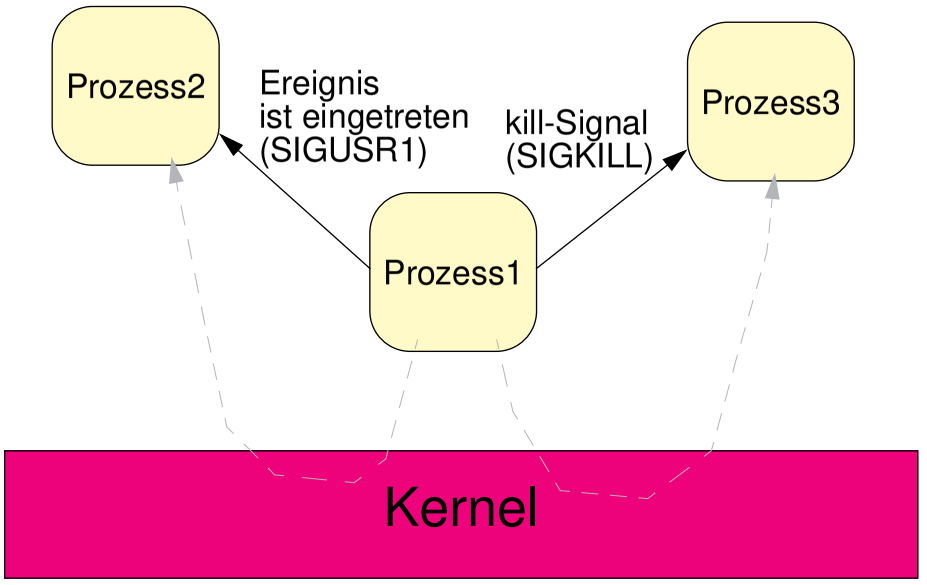
Ziele der Aufgabe

- Signale unter UNIX bilden die Konzepte "Trap" und "Interrupt" für eine Interaktion zwischen Betriebssystem und Anwendung nach
  - ➤ praktischer Umgang mit diesen Konzepten
- Signalbehandlung führt zu asynchronen Funktionsaufrufen
  - ➤ Nebenläufigkeit
  - ➤ kritische Abschnitte, in denen es zu Race-Conditions kommen kann, müssen beim Softwareentwurf erkannt werden
  - ➤ Koordinierungsmaßnahmen / unteilbare Abschnitte sind erforderlich
  - ➤ Aufgabe macht diese Probleme praktisch deutlich, Umgang mit ersten Koordinierungsmechanismen

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

U7-3 Signale

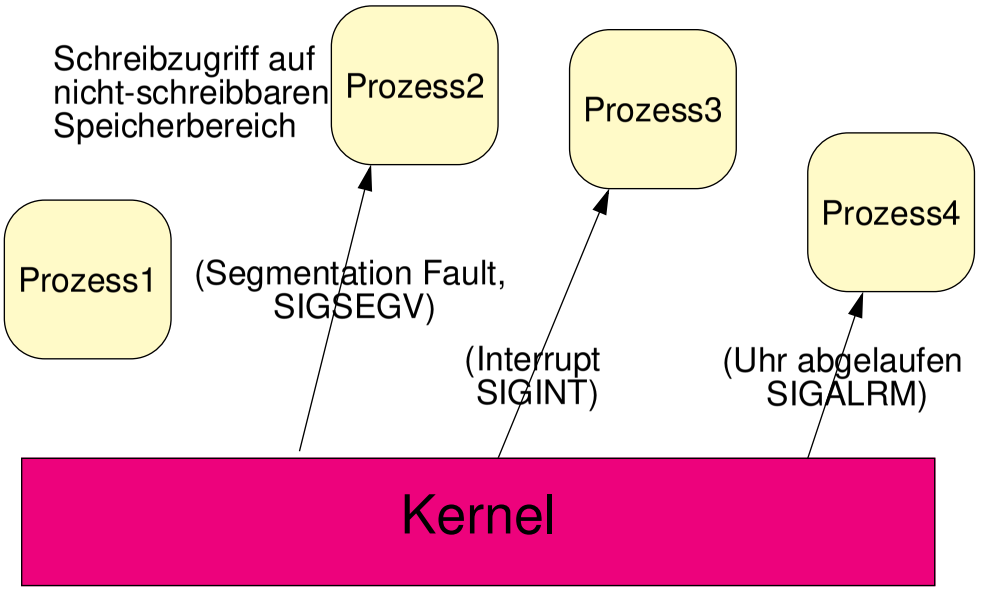
1 Kommunikation zwischen Prozessen



Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Signalisierung des Systemkerns

- synchrone Signale: werden durch Aktivität des Prozesses ausgelöst
- asynchrone Signale: werden "von außen" ausgelöst



Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

3 Reaktion auf Signale

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

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

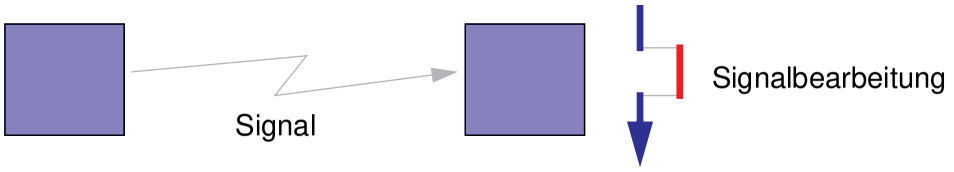
4 Problem: asynchrone Signale und abort/exit

- Beispiel: CTRL-C von der Tastatur
  - ➤ Beendigungsmodell (vgl. Vorl. 5-41)
- Widerspruch: ein Interrupt darf niemals nach dem Beendigungsmodell behandelt werden
  - ➤ Grund: der Prozess könnte gerade einen Systemaufruf ausführen (Ebene-2-Code) und dabei komplexe Datenstrukturen des Systemkerns manipulieren (z. B. verkettete Liste)
- Lösung: Prozess wird nicht beendet, sondern nur über das Signal informiert
  - ➤ Eintragen der Information in Prozessverwaltungsstruktur (Prozesskontrollblock)
  - ➤ vor der nächsten Rückkehr aus dem Betriebssystemkern (Ebene 2, vgl Vorl. 5-33) oder vor einem Übergang in den Zustand "blockiert" erkennt der Prozess das Signal und terminiert selbst

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

5 Posix Signalbehandlung

- Signal bewirkt Aufruf einer Funktion



  - nach der Behandlung läuft Prozess an unterbrochener Stelle weiter

- Systemschnittstelle
  - sigaction
  - sigprocmask
  - sigsuspend
  - sigpending
  - kill

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

6 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);
    sigset_t sa_mask;
    int sa_flags;
}
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

6 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

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

6 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 ein Signal zwischengespeichert
- mit **`sa_mask`** in der **`struct sigaction`** kann man zusätzliche Signale blockieren
- Auslesen und Modifikation der Signal-Maske vom Typ **`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

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

6 Signalhandler installieren: sigaction Flags (sa_flags)

- Durch **`sa_flags`** lässt sich das Verhalten beim Signalempfang beeinflussen.
  - ➤ kann für jedes Signal gesondert gesetzt werden.
- **`SA_NOCLDSTOP`**: SIGCHLD wird nur erzeugt, wenn Kind terminiert, nicht wenn es gestoppt wird (POSIX, SystemV, BSD)
- **`SA_RESTART`**: durch das Signal unterbrochene Systemaufrufe werden automatisch neu aufgesetzt (kein errno=EINTR) (nur SystemV und BSD) (siehe Seite 17)
- **`SA_SIGINFO`**: Signalhandler bekommt zusätzliche Informationen übergeben (nur SystemV)

```
void func(int signo, siginfo_t *info, void *context);
```

- **`SA_NODEFER`**: Signal wird während der Signalbehandlung nicht blockiert (nur SystemV)

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

6 Signalhandler installieren: Beispiel

- Beispiel:

```
#include <signal.h>
void my_handler(int sig) { ... }
...
struct sigaction action;
sigemptyset(&action.sa_mask);
action.sa_flags = 0;
action.sa_handler = my_handler;
sigaction(SIGUSR1, &action, NULL); /* return abfragen ! */
```

7 Signal zustellen

- Systemaufruf

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

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

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

8 POSIX Signale

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

- SIGABRT (core): Abort Signal; entsteht z.B. durch Aufruf von **`abort()`**
- SIGALRM: Timer abgelaufen (**`alarm()`**, **`setitimer()`**)
- SIGFPE (core): Floating Point Exception; z.B. Division durch 0 oder Overflow
- SIGHUP: Terminalverbindung wird beendet (Hangup)
- SIGILL (core): Illegal Instruction; z.B. privilegierte Operation, privilegiertes Register
- SIGINT: Interrupt; (Shell: CTRL-C)
- SIGKILL (nicht abfangbar): beendet den Prozess

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

8 POSIX Signale (2)

- SIGPIPE: Schreiben auf Pipe oder Socket nachdem der lesende terminiert ist
- SIGQUIT (core): Quit; (Shell: CTRL-\)
- SIGSEGV (core): Segmentation violation; inkorrekter Zugriff auf Segment, z.B. Schreiben auf Textsegment
- SIGTERM: Termination; Default-Signal für **`kill(1)`**
- SIGUSR1, SIGUSR2: Benutzerdefinierte Signale

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

9 Jobcontrol-Signale

Diese Signale exisitieren in einem POSIX-konformen System nur, wenn das System Jobkontrolle unterstützt (**`_POSIX_JOB_CONTROL`** ist definiert).

- SIGCHLD (Default-Aktion = ignorieren): Status eines Kindprozesses hat sich geändert
- SIGCONT: setzt den gestoppten Prozess fort
- SIGSTOP (nicht abfangbar): stoppt den Prozess
- SIGTSTP: stoppt den Prozess (Shell: CTRL-Z)
- SIGTTIN, SIGTTOU: Hintergrundprozess wollte vom Terminal lesen bzw. darauf schreiben

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

10 Jobcontrol und wait

- **`wait(int *stat)`** kehrt auch zurück, wenn Kind gestoppt wird
- erkennbar an Wert von **`*stat`**
- Auswertung mit Macros
  - **`WIFEXITED(*stat)`**: Kind normal terminiert
  - **`WIFSIGNALED(*stat)`**: Kind durch Signal terminiert
  - **`WIFSTOPPED(*stat)`**: Kind gestoppt
  - **`WIFCONTINUED(*stat)`**: gestopptes Kind fortgesetzt

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

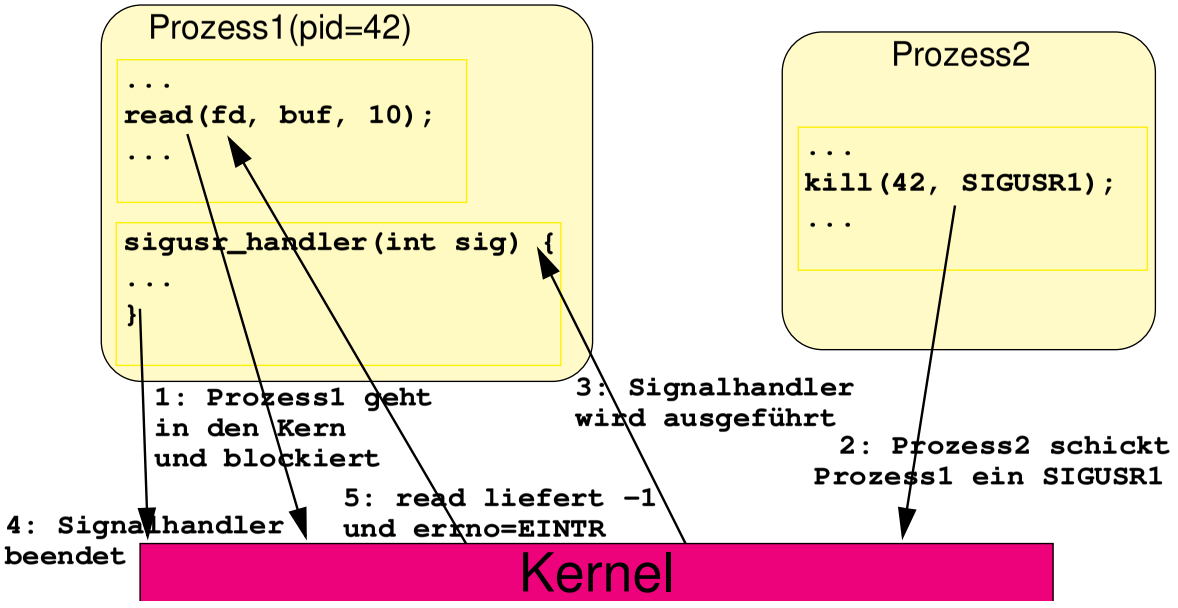
11 signal()-Funktion

- ANSI-C definiert die signal()-Funktion zum Installieren von Signalhandlern
  - ◆ Problem: sehr ungenaue Spezifikation, da Prozesskonzept in ANSI-C nicht definiert
- BSD- und SystemV-Unix Systeme enthalten die signal-Funktion
  - ◆ Problem: Prozesskonzept jetzt definiert, aber signal-Semantik ist von Unix Version 7 abgeleitet und unzuverlässig (*unreliable signals*) (Signalhandler bleibt nicht installiert, Signale können nicht blockiert werden)
- **signal() ist deshalb in POSIX.1 nicht enthalten und sollte auch nicht mehr benutzt werden**
  - ➤ nur sigaction() verwenden!

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

12 Unterbrechen von Systemcalls

- Signale können die Ausführung von Systemaufrufen unterbrechen



Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

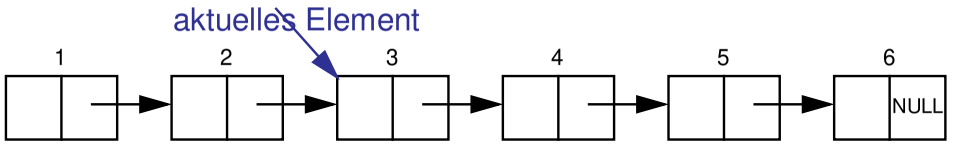
12 Unterbrechen von Systemcalls (2)

- dies betrifft nur "langsame Systemcalls" (welche sich über einen längeren Zeitraum blockieren können, z.B. **`wait()`**, **`waitpid()`** oder **`read()`** von einem Socket oder einer Pipe)
- der Systemcall setzt dann **`errno`** auf **`EINTR`**
- in einigen UNIXen (z.B. 4.2BSD) werden unterbrochene Systemcalls automatisch neu aufgesetzt
- bei einigen UNIXen (SystemV R4, 4.3BSD), kann man für jedes Signal einstellen (**`SA_RESTART`**), ob ein Systemcall automatisch neu aufgesetzt werden soll
- POSIX.1 lässt dies unspezifiziert
- die Systemaufrufe **`pause()`** und **`sigsuspend()`** werden in keinem Fall fortgesetzt

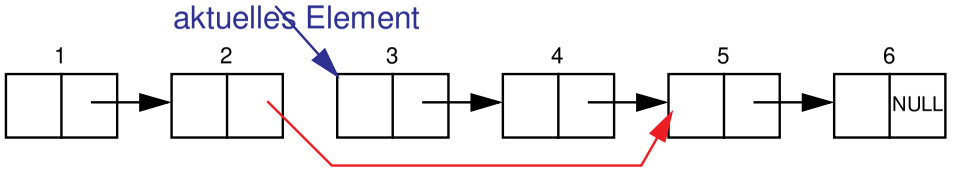
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

13 Signale und Race Conditions

- Signale erzeugen Nebenläufigkeit innerhalb des Prozesses (vgl. Nebenläufigkeit durch Interrupts, Vorlesung Seite 5-51 und 7-77 ff)
- diese Nebenläufigkeit kann zu Race-Conditions führen
- Beispiel:
  - main-Funktion läuft durch eine verkettete Liste



  - Prozess erhält Signal; Signalhandler entfernt Elemente 3 und 4 aus der Liste und gibt den Speicher dieser Elemente frei



Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

13 Signale und Race Conditions (2)

- Lösung: Signal während Ausführung des kritischen Abschnitts blockieren!
- weiteres Problem:
  - Aufruf von Bibliotheksfunktionen, z.B. **`getpwuid()`**, wird durch Signal unterbrochen und nach Ausführung des Signalhandlers fortgesetzt
  - Signalhandler ruft auch **`getpwuid()`** auf-> Race Condition!
- Lösung:
  - in Signalhandlern nur Funktionen aufrufen, die in POSIX.1 als reentrant gekennzeichnet sind (**`getpwuid`** und **`malloc`**/**`free`** sind z.B. nicht reentrant, **`wait`** und **`waitpid`** sind reentrant)
    - Achtung: wenn in einem Signalhandler Funktionen verwendet werden, die **`errno`** verändern, muss der Wert von **`errno`** vorher gesichert und vor Beendigung des Signalhandlers wieder zurückgesetzt werden
  - oder Signal während Ausführung der Funktion blockieren

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

14 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`**: Vereinigungsmenge zwischen übergebener und alter Maske
  - **`SIG_SETMASK`**: Setzen der Maske ohne Beachtung der alten Maske
  - **`SIG_UNBLOCK`**: Schnittmenge zwischen inverser übergebener Maske und alter Maske
- Beispiel

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

- Anwendung: kritische Abschnitte, die nicht durch ein Signal unterbrochen werden dürfen

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

15 Warten auf Signale

- Problem: Prozess befindet sich in kritischem Abschnitt und will auf ein Signal warten
  - ➤ Signal muss deblockiert werden
  - ➤ Prozess wartet auf Signal
  - ➤ Signal muss wieder blockiert werden
- Operationen müssen atomar am Stück ausgeführt werden!
- Prototyp

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

  - ◆ **`sigsuspend(mask)`** merkt sich die aktuelle Signal-Maske, setzt **`mask`** als neue Signal-Maske und blockiert Prozess
  - ◆ Signal führt zu Aufruf des Signalhandlers (muss vorher installiert werden)
  - ◆ **`sigsuspend`** kehrt nach Bearbeitung des Signalhandlers mit Fehler **`EINTR`** zurück und restauriert gleichzeitig die ursprüngliche Signal-Maske

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

16 Abfrage blockierter Signale

- Prototyp

```
#include <signal.h>
int sigpending(sigset_t *set);
```

- **`sigpending`** speichert alle Signale, die blockiert sind, aber empfangen wurden, in **`set`** ab

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.