U6 POSIX-Prozesse

- Prozesse
- POSIX-Prozess-Systemfunktionen
- POSIX-Signale

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

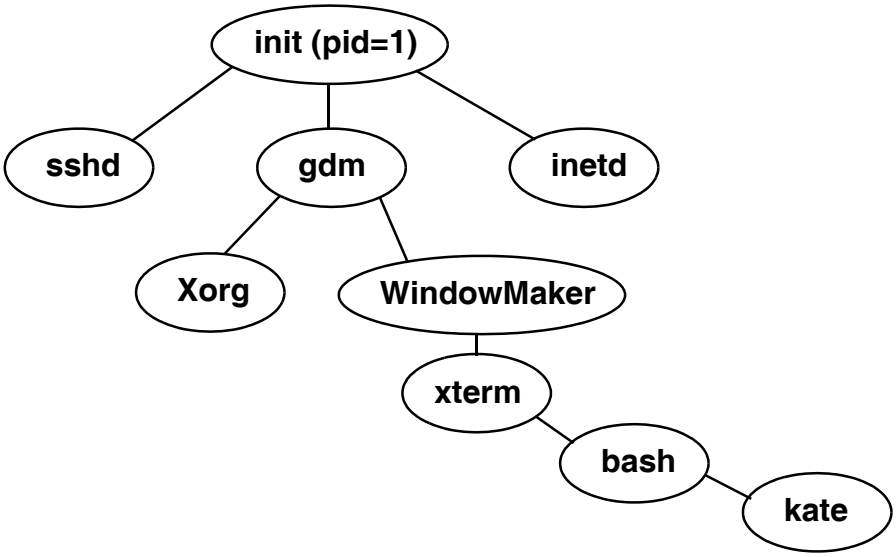
U6-1 Prozesse: Überblick

- Prozesse sind eine Ausführumgebung für Programme
  - ➤ haben eine Prozess-ID (PID, ganzzahlig positiv)
  - ➤ führen ein Programm aus
- Mit einem Prozess sind Ressourcen verknüpft (s. Vorlesung ab J)

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

U6-1 UNIX-Prozesshierarchie

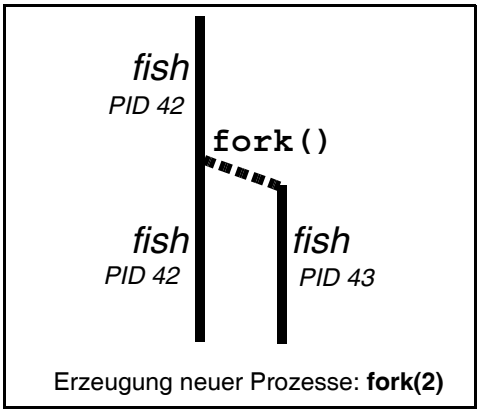
- Zwischen Prozessen bestehen Vater-Kind-Beziehungen
  - der erste Prozess wird direkt vom Systemkern gestartet (z.B. *init*)
  - es entsteht ein Baum von Prozessen bzw. eine Prozesshierarchie



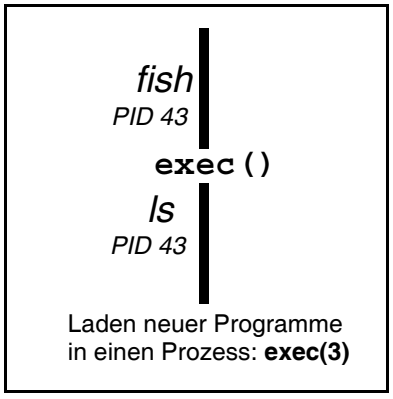
  - Beispiel: **kate** ist ein Kind von **bash**, **bash** wiederum ein Kind von **xterm**

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

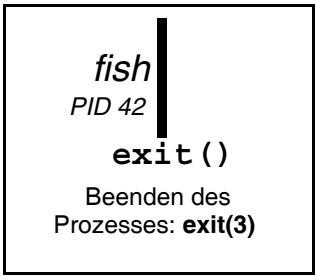
U6-2 POSIX Prozess-Systemfunktionen



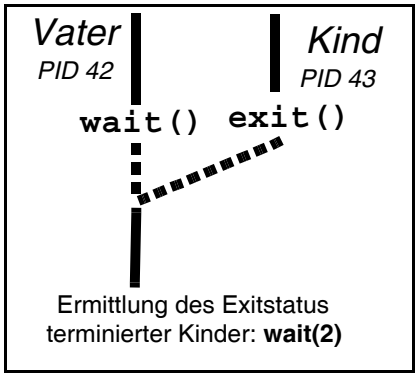
Erzeugung neuer Prozesse: **fork(2)**



Laden neuer Programme in einen Prozess: **exec(3)**



Beenden des Prozesses: **exit(3)**



Ermittlung des Exitstatus terminierter Kinder: **wait(2)**

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

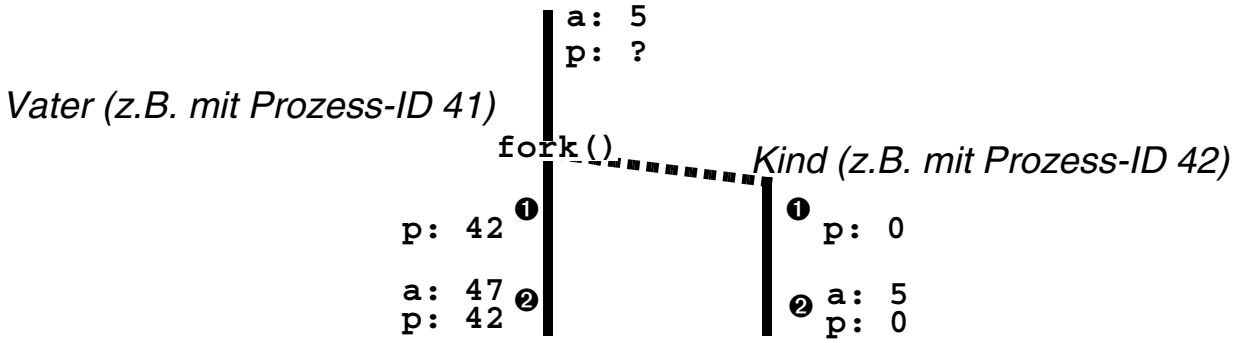
1 fork(2): Erzeugung eines neuen Prozesses

- Erzeugt einen neuen Kindprozess
- Exakte Kopie des Vaters...
  - Datensegment (neue Kopie, gleiche Daten)
  - Stacksegment (neue Kopie, gleiche Daten)
  - Textsegment (gemeinsam genutzt, da nur lesbar)
  - Filedeskriptoren (geöffnete Dateien)
  - ...
- ...mit Ausnahme der Prozess-ID
- Kind startet Ausführung hinter dem fork() mit dem geerbten Zustand
  - ➤ das ausgeführte Programm muss anhand der PID (Rückgabewert von **fork()**) entscheiden, ob es sich um den Vater- oder den Kindprozess handelt

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

1 fork(2): Beispiel

```
int a=5; pid_t p = fork();❶
a += p; ❷
switch(p) {
    case -1: /* fork-Fehler, es wurde kein Kind erzeugt */
        ...
    case 0: /* Hier befinden wir uns im Kind */
        ...
    default: /* Hier befinden wir uns im Vater */
        ...
}
```



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

2 exec(3)

- Lädt Programm zur Ausführung in den aktuellen Prozess
- **ersetzt** aktuell ausgeführtes Programm: Text-, Daten- und Stacksegment
- behält: Filedeskriptoren (= geöffnete Dateien), Arbeitsverzeichnis, ...
- Aufrufparameter:
  - Dateiname des neuen Programmes (z.B. `"/bin/cp"`)
  - Argumente, die der `main`-Funktion des neuen Programms übergeben werden (z.B. `"/bin/cp", "/etc/passwd", "/tmp/passwd"`)
  - evtl. Umgebungsvariablen
- Beispiel

```
execl("/bin/cp","/bin/cp","/etc/passwd","/tmp/passwd", NULL);
```

- exec kehrt nur **im Fehlerfall** zurück

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

2 exec(3) Varianten

- mit Angabe des vollen Pfads der Programm-Datei in `path`

```
int execl(const char *path, const char *arg0, ...,
              const char *argn, char * /*NULL*/);

int execv(const char *path, char *const argv[]);
```

- zum Suchen von `file` wird die Umgebungsvariable `PATH` verwendet

```
int execlp (const char *file, const char *arg0, ..., const char
*argn, char * /*NULL*/);

int execvp (const char *file, char *const argv[]);
```


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

3 exit(3)

- beendet aktuellen Prozess mit einem Status-Byte
  - ➤ Konvention: Status 0 bedeutet Erfolg, alles andere eine Fehlernummer
  - ➤ Bedeutung der Exitstatus üblicherweise in Manpage dokumentiert
  - ➤ Exitstatus `EXIT_FAILURE` und `EXIT_SUCCESS` vordefiniert
- gibt alle Ressourcen frei, die der Prozess belegt hat, z.B.
  - ◆ Speicher
  - ◆ Filedeskriptoren (schließt alle offenen Files)
  - ◆ Kerndaten, die für die Prozessverwaltung verwendet wurden
- Prozess geht in den *Zombie*-Zustand über
  - ◆ ermöglicht es dem Vater auf den Tod des Kindes zu reagieren (**wait(2)**)
  - ◆ Zombie-Prozesse belegen Systemressourcen und sollten schnellstmöglich beseitigt werden!
  - ◆ ist der Vater schon vor dem Kind terminiert, so wird der Zombie an den Prozess mit PID 1 (z.B. *init*) weitergereicht, welcher diesen sofort beseitigt

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

4 wait(2)

- Warten auf Statusinformationen von Kind-Prozessen (Rückgabe: PID)

```
pid_t wait(int *status);
```

- Beispiel:

```
int main(int argc, char *argv[]) {
  pid_t pid;
  pid = fork();
  if (pid > 0) {
    /* Vater */
    int status;
    wait(&status); /* Fehlerbehandlung nicht vergessen! */
    printf("Kindstatus: %x", status); /* nackte Status-Bits ausg. */
  } else if (pid == 0) {
    /* Kind */
    execl("/bin/cp","/bin/cp","x.txt","y.txt", NULL);
    /* diese Stelle wird nur im Fehlerfall erreicht */
    perror("exec /bin/cp"); exit(EXIT_FAILURE);
  } else {
    /* pid == -1 --> Fehler bei fork */
  }
}
```


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

4 wait(2)

- `wait` blockiert den Vater, bis ein Kind terminiert oder gestoppt wird
  - *pid* dieses Kind-Prozesses wird als Ergebnis geliefert
  - als Parameter kann ein Zeiger auf einen *int*-Wert mitgegeben werden, in dem der Exitstatus (**16 Bit**) des Kind-Prozesses abgelegt wird
  - in den Status-Bits wird eingetragen "was dem Kind-Prozess zugestoßen ist", Details können über Makros abgefragt werden:
    - ➤ Prozess mit exit() terminiert: `WIFEXITED(status)`
      - exit-Parameter (unteres Byte): `WEXITSTATUS(status)`
    - ➤ Prozess durch Signal abgebrochen: `WIFSIGNALED(status)`
      - Nummer des Signals: `WTERMSIG(status)`
    - ➤ weitere siehe `man 2 wait`

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

U6-3 POSIX-Signale

- 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

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

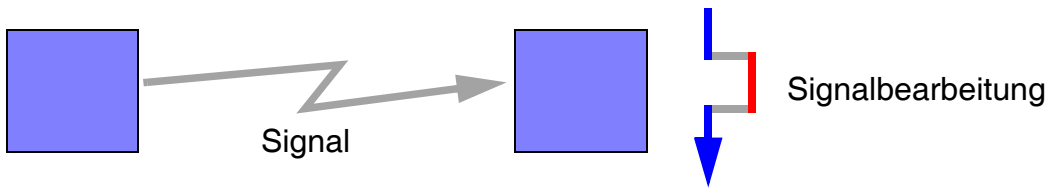
1 Reaktion auf Signale

- 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

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

2 POSIX-Signalbehandlung

- Signal bewirkt Aufruf einer Funktion



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

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

3 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 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 */
}
```


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

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`

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

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

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

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>`)

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

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

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

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.

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

7 Warten auf Signale

- Problem: Prozess will in einem kritischen Abschnitt auf ein Signal warten
  - ➤ Signal deblockieren
  - ➤ Auf Signal warten
  - ➤ Signal blokieren
  - ➤ 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

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

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

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