technische universität
dortmund

# *Betriebssysteme (BS)*

## Prozesse

http://ess.cs.tu-dortmund.de/DE/Teaching/SS2017/BS/


**Olaf Spinczyk**

olaf.spinczyk@tu-dortmund.de
http://ess.cs.tu-dortmund.de/~os



AG Eingebettete Systemsoftware
Informatik 12, TU Dortmund

# Inhalt

- Wiederholung
- Prozesse konkret: UNIX-Prozessmodell
  - Shells und E/A
  - UNIX-Philosophie
  - Prozesserzeugung
  - Prozesszustände
- Leichtgewichtige Prozessmodelle
  - „Gewicht“ von Prozessen
  - Leichtgewichtige Prozesse
  - Federgewichtige Prozesse
- Systeme mit leichtgewichtigen Prozessen
  - Windows
  - Linux

Silberschatz, Kap. ...
3.1-3.3: Process Concept
21.4: Linux

Tanenbaum, Kap. ...
2.1: Prozesse
10.1-10.3: UNIX u. Linux

Silberschatz, Kap. ...
4: Multithreaded Progr.

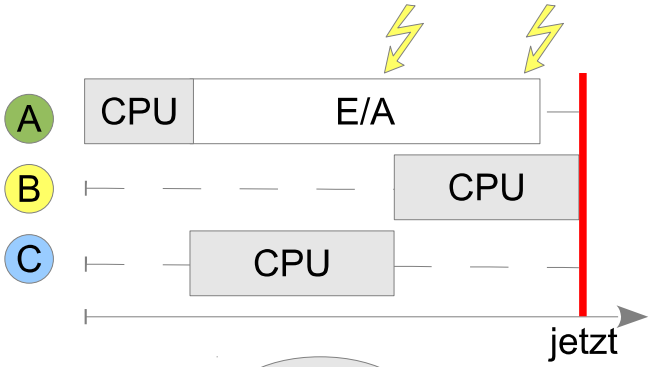
Tanenbaum, Kap. ...
2.2: Threads

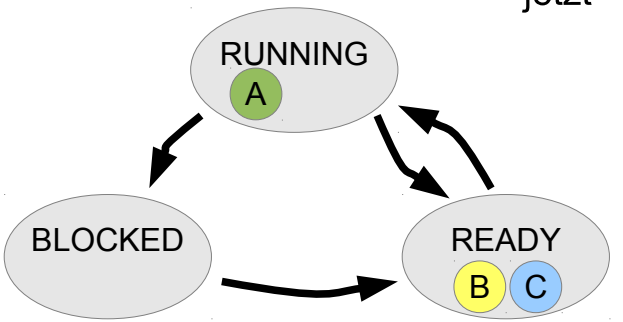
# Inhalt

- **Wiederholung**
- Prozesse konkret: UNIX-Prozessmodell
  - Shells und E/A
  - UNIX-Philosophie
  - Prozesserzeugung
  - Prozesszustände
- Leichtgewichtige Prozessmodelle
  - „Gewicht“ von Prozessen
  - Leichtgewichtige Prozesse
  - Federgewichtige Prozesse
- Systeme mit leichtgewichtigen Prozessen
  - Windows
  - Linux

# Wiederholung: Prozesse ...

- sind „Programme in Ausführung“
  - Dynamisch, nicht statisch
  - Abwechselnde Folge von „CPU-Stößen“ und „E/A-Stößen“
- benötigen „Betriebsmittel“ des Rechners
  - CPU, Speicher, E/A-Geräte
- haben einen Zustand
  - READY, RUNNING, BLOCKED
- werden **konzeptionell** als unabhängige, nebenläufige Kontrollflüsse betrachtet
- unterliegen der Kontrolle des Betriebssystems
  - Betriebsmittel-Zuteilung
  - Betriebsmittel-Entzug



# Inhalt

- Wiederholung
- **Prozesse konkret: UNIX-Prozessmodell**
  - Shells und E/A
  - UNIX-Philosophie
  - Prozesserzeugung
  - Prozesszustände
- Leichtgewichtige Prozessmodelle
  - „Gewicht“ von Prozessen
  - Leichtgewichtige Prozesse
  - Federgewichtige Prozesse
- Systeme mit leichtgewichtigen Prozessen
  - Windows
  - Linux

# UNIX (K. Thompson, D. Ritchie, 1968)

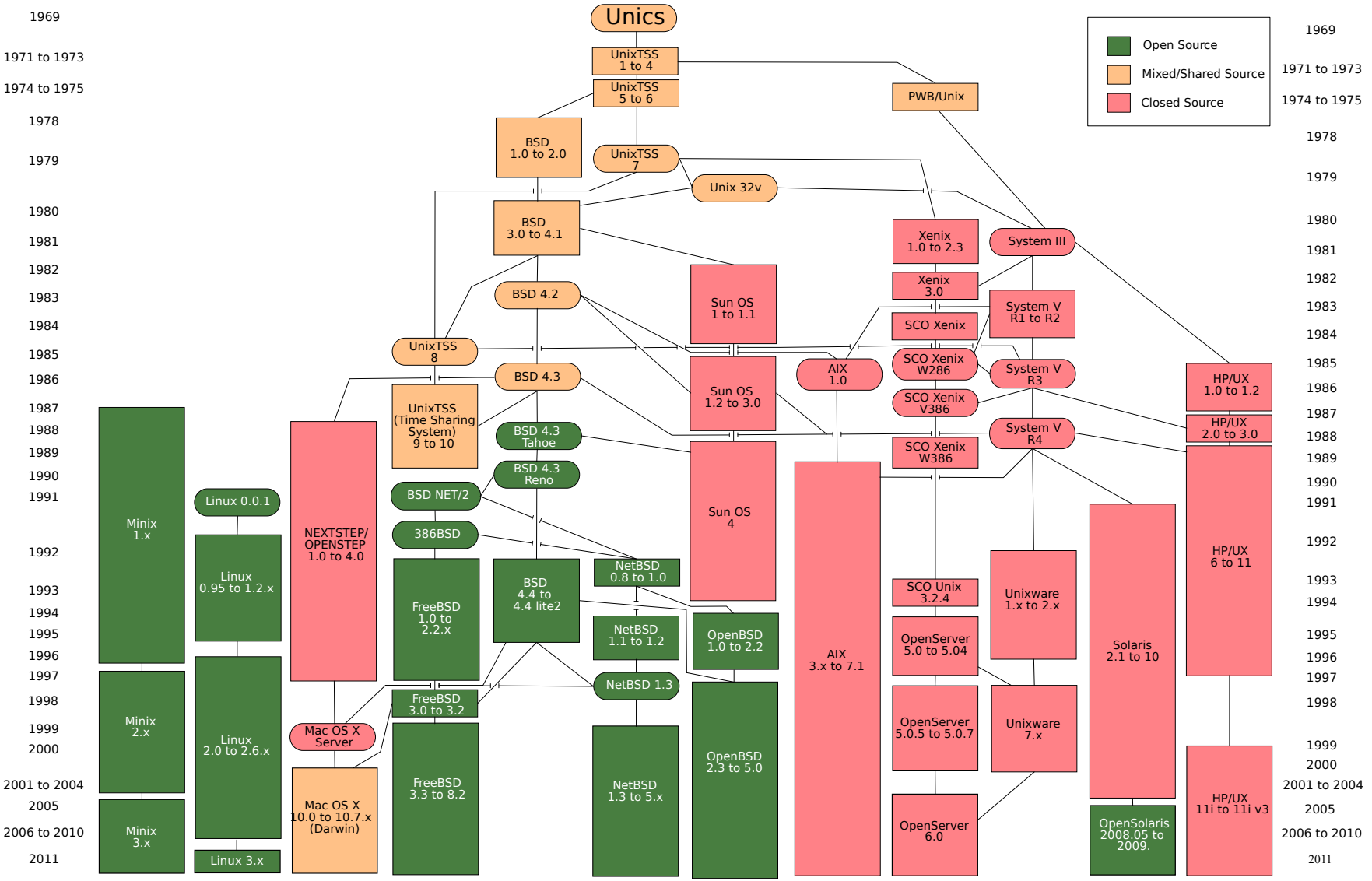
- Eine lange Geschichte …

- Ursprung: Bell Labs
  - Alternative zu „Multics“
- Version 1 entstand auf einer DEC PDP 7
  - Assembler, 8K 18 Bit Worte
- Version 3 in „C“ realisiert

# UNIX (K. Thompson, D. Ritchie, 1968)

- Eine lange Geschichte ...

Quelle: Wikipedia

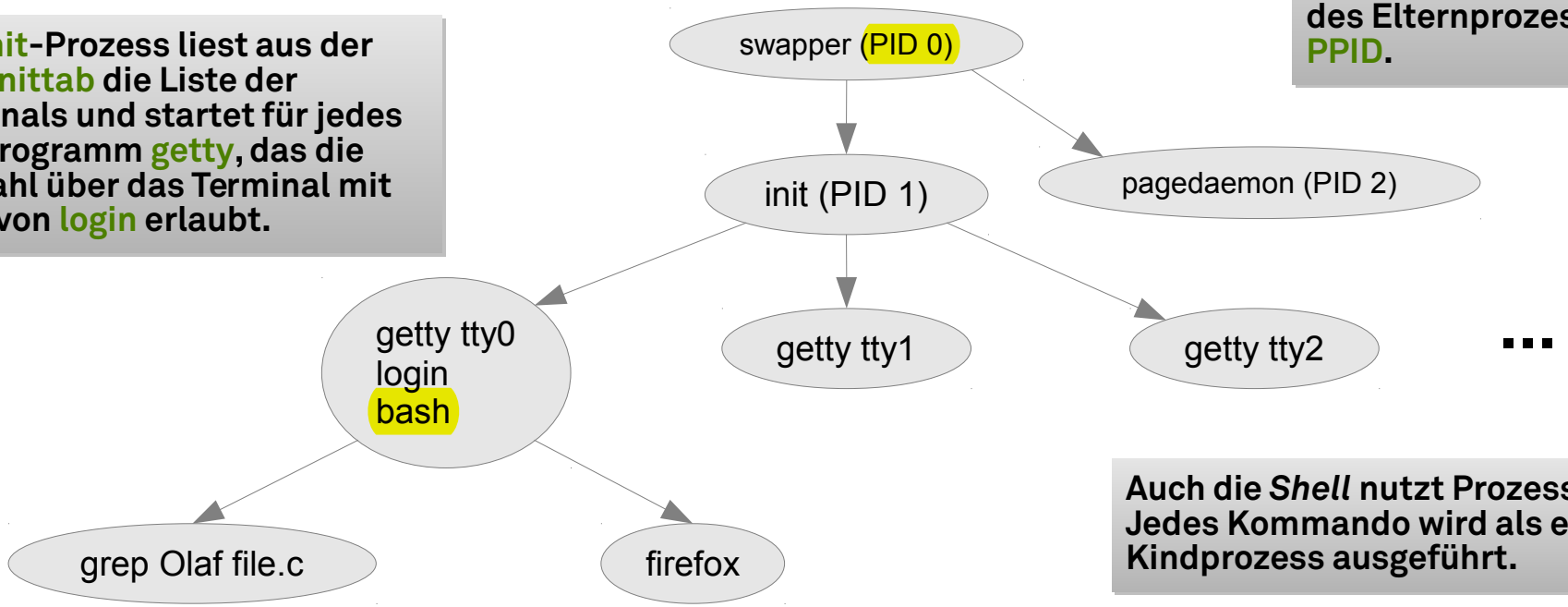


# UNIX-Prozesse ...

- sind primäres **Strukturierungskonzept** für Aktivitäten
  - Anwendungsprozesse und Systemprozesse
- können leicht und schnell weitere Prozesse erzeugen
  - Elternprozess → Kindprozess
- bilden eine **Prozess-Hierarchie**:

**Jeder UNIX-Prozess hat eine eindeutige Nummer (Prozess-ID, PID). Die PID des Elternprozesses heißt PPID.**

**Der init-Prozess liest aus der /etc/inittab die Liste der Terminals und startet für jedes das Programm getty, das die Einwahl über das Terminal mit Hilfe von login erlaubt.**




**Auch die *Shell* nutzt Prozesse: Jedes Kommando wird als eigener Kindprozess ausgeführt.**

# UNIX-*Shells*

- „Schale“ (*shell*), die den „Kern“ (*kernel*) umgibt
- Textbasierte Nutzerschnittstelle zum Starten von Kommandos:
  - Suche im Dateisystem entsprechend $PATH (z.B. /usr/bin:/bin:...)

```
olaf@xantos:~> which emacs
/usr/bin/emacs
```

**Das Kommando which zeigt an, *wo* ein bestimmtes Kommando gefunden wird.**

  - Jedes ausgeführte Kommando ist ein eigener Kindprozess
  - Typischerweise blockiert die *Shell* bis das Kommando terminiert
  - Man kann aber auch Kommandos stoppen und fortsetzen („*job control*“) oder sie im Hintergrund ausführen ...

# UNIX-*Shells*: *Job Control*

```
olaf@xantos:~> emacs foo.c
```

- Kommando wird gestartet
- die *Shell* blockiert

**Ctrl-Z**

- Kommando wird gestoppt
- die *Shell* läuft weiter

```
[1]+  Stopped    emacs foo.c
olaf@xantos:~> kate bar.c &
[2] 19504
olaf@xantos:~> jobs
[1]+  Stopped    emacs foo.c
[2]-  Running    kate bar.c &
olaf@xantos:~> bg %1
[1]+ emacs foo.c &
olaf@xantos:~> jobs
[1]-  Running    emacs foo.c &
[2]+  Running    kate bar.c &
```

- Durch das & am Ende wird kate im Hintergrund gestartet
- jobs zeigt alle gestarteten Kommandos an
- bg schickt ein gestopptes Kommando in den Hintergrund

# Standard-E/A-Kanäle von Prozessen

- Normalerweise verbunden mit dem *Terminal*, in dem die *Shell* läuft, die den Prozess gestartet hat:
  - **Standard-Eingabe** Zum Lesen von Benutzereingaben (Tastatur)
  - **Standard-Ausgabe** Textausgaben des Prozesses (*Terminal*-Fenster)
  - **Standard-Fehlerausgabe** Separater Kanal für Fehlermeldungen (normalerweise auch das *Terminal*)
- Praktisch alle Kommandos akzeptieren auch Dateien als Ein- oder Ausgabekanäle (statt des *Terminals*)
- *Shells* bieten eine einfache Syntax, um die Standard-E/A-Kanäle umzuleiten ...

# Standard-E/A-Kanäle umleiten

**Umleitung der Standard-Ausgabe in die Datei „d1“ mit >**

```
olaf@xantos:~> ls -l > d1
olaf@xantos:~> grep "Sep 2007" < d1 > d2
olaf@xantos:~> wc < d2
  2  18 118
```

**Umleitung der Standard-Eingabe auf die Datei „d2“ mit <**

Das gleiche noch etwas kompakter ...

```
olaf@xantos:~> ls -l | grep "Sep 2007" | wc
  2  18 118
```

**Mit | (*pipe*) verbindet die *Shell* die Standard-Ausgabe des linken mit der Standard-Eingabe des rechten Prozesses.**

# Die UNIX-Philosophie

Doug McIlroy, der Erfinder der UNIX-*Pipes*, fasste die Philosophie hinter UNIX einmal wie folgt zusammen:

*"This is the Unix philosophy:*

- *Write programs that do one thing and do it well.*
- *Write programs to work together.*
- *Write programs to handle text streams, because that is a universal interface."*

**Für gewöhnlich wird das abgekürzt:**

***„Do one thing, do it well.“***

# UNIX-Prozesssteuerung: *System Calls*

Ein erster Überblick ...

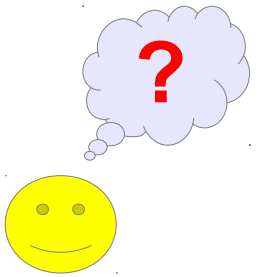
- **getpid** (2) liefert PID des laufenden Prozesses
- **getppid** (2) liefert PID des Elternprozesses (PPID)
- **getuid** (2) liefert die Benutzerkennung des laufenden Prozesses (UID)

- **fork** (2) erzeugt neuen Kindprozess
- **exit** (3), **_exit** (2) beendet den laufenden Prozess
- **wait** (2) wartet auf die Beendigung eines Kindprozesses
- **execve** (2) lädt und startet ein Programm im Kontext des laufenden Prozesses

# UNIX-Prozesse im Detail: fork()

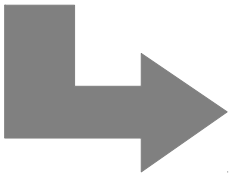
*System Call*: **pid_t fork (void)**

- Dupliziert den laufenden Prozess (Prozesserzeugung!)
- Der Kindprozess erbt ...
  - Adressraum (code, data, bss, stack)
  - Benutzerkennung
  - Standard-E/A-Kanäle
  - Prozessgruppe, Signaltabelle (dazu später mehr)
  - Offene Dateien, aktuelles Arbeitsverzeichnis (dazu viel später mehr)
- Nicht kopiert wird ...
  - *Process* ID (PID), *Parent Process* ID (PPID)
  - anhängige Signale, *Accounting*-Daten, ...
- Ein Prozess ruft **fork** auf,
  aber zwei kehren zurück



# Verwendung von fork()

```
... /* includes */
int main () {
  int pid;
  printf("Elternpr.: PID %d PPID %d\n", getpid(), getppid());
  pid = fork(); /* Prozess wird dupliziert!
                   Beide laufen an dieser Stelle weiter. */
  if (pid > 0)
    printf("Im Elternprozess, Kind-PID %d\n", pid);
  else if (pid == 0)
    printf("Im Kindprozess, PID %d PPID %d\n",
           getpid(), getppid());
  else
    printf("Oh, ein Fehler!\n"); /* mehr dazu in der TÜ */
}
```



```
olaf@xantos:~> ./fork
Elternpr.: PID 7553 PPID 4014
Im Kindprozess, PID 7554 PPID 7553
Im Elternprozess, Kind-PID 7554
```

# Diskussion: Schnelle Prozesserzeugung

- Das Kopieren des Adressraums kostet viel Zeit
  - Insbesondere bei direkt folgendem **exec..**() pure Verschwendung!
- Historische Lösung: **vfork**
  - Der Elternprozess wird suspendiert, bis der Kindprozess **exec..**() aufruft oder mit **_exit**() terminiert.
  - Der Kindprozess benutzt einfach Code und Daten des Elternprozesses (kein Kopieren!).
  - Der Kindprozess darf keine Daten verändern.
    - teilweise nicht so einfach: z.B. kein **exit**() aufrufen, sondern **_exit**()!
- Heutige Lösung: **copy-on-write**
  - Mit Hilfe der MMU teilen sich Eltern- und Kindprozess dasselbe Code- und Datensegment. Erst wenn der Kindprozess Daten ändert, wird das Segment kopiert.
  - Wenn nach dem **fork**() direkt ein **exec..**() folgt, kommt das nicht vor.
  - → **fork**() mit **copy-on-write** ist kaum langsamer als **vfork**().

# UNIX-Prozesse im Detail: _exit()

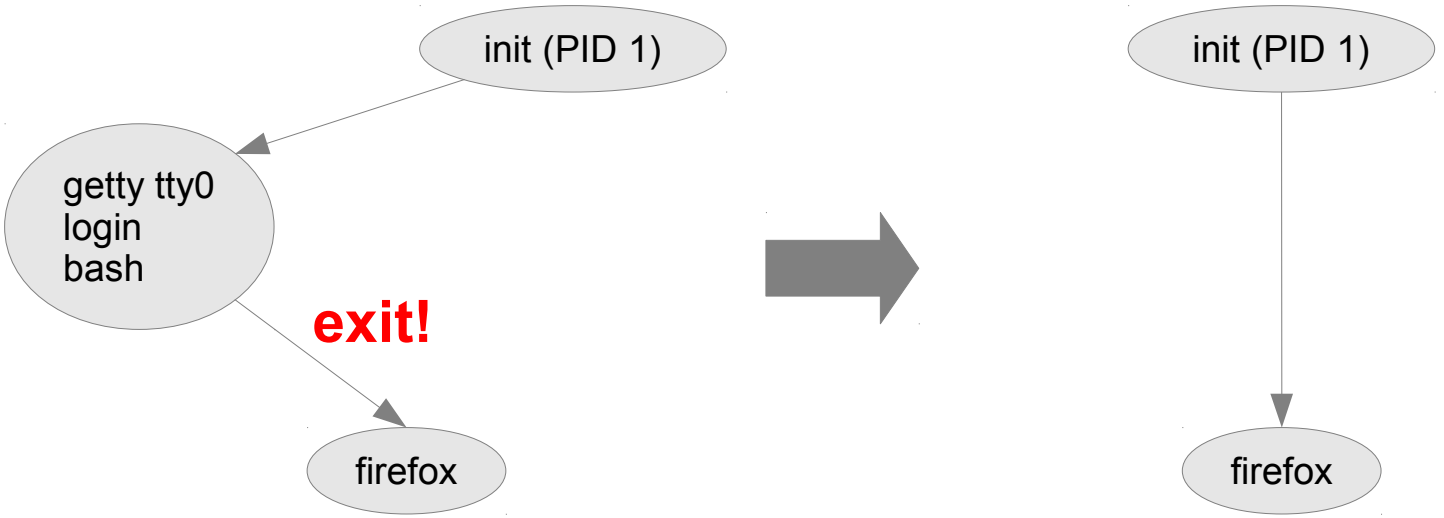
*System Call*: **void _exit (int)**

- Terminiert den laufenden Prozess und übergibt das Argument als „*exit status*“ an den Elternprozess.
  - Aufruf kehrt nicht zurück!
- Gibt die belegten Ressourcen des Prozesses frei.
  - offene Dateien, belegter Speicher, ...
- Sendet dem eigenen Elternprozess das Signal SIGCHLD.
- Die Bibliotheksfunktion **exit** (3) räumt zusätzlich noch die von der libc belegten Ressourcen auf
  - Gepufferte Ausgaben werden beispielsweise herausgeschrieben!
  - Normale Prozesse sollten **exit** (3) benutzen, nicht **_exit.**

# Diskussion: Verwaiste Prozesse

(engl. „*orphan processes*“)

- Ein UNIX-Prozess wird zum Waisenkind, wenn sein Elternprozess terminiert.
- Was passiert mit der Prozesshierarchie?




**init (PID 1) adoptiert alle verwaisten Prozesse.**
**So bleibt die Prozesshierarchie intakt.**

# UNIX-Prozesse im Detail: wait()

*System Call*: **pid_t wait (int *)**

- Blockiert den aufrufenden Prozess bis ein Kindprozess terminiert. Der Rückgabewert ist dessen PID. Über das Zeigerargument erhält der Aufrufer u.a. den „*exit status*“.
- Wenn ein Kindprozess bereits terminiert ist, kehrt der Aufruf sofort zurück.

# Verwendung von wait()

```
... /* includes, main() { ... */
pid = fork(); /* Kindprozess erzeugen */
if (pid > 0) {
  int status;
  sleep(5); /* Bibliotheksfunktion: 5 Sek. schlafen */
  if (wait(&status) == pid && WIFEXITED(status))
    printf ("Exit Status: %d\n", WEXITSTATUS(status));
}
else if (pid == 0) {
  exit(42);
}
...
```

**Ein Prozess kann auch von außen „getötet“ werden, d.h. er ruft nicht exit auf. In diesem Fall würde WIFEXITED 0 liefern.**

```
olaf@xantos:~> ./wait
Exit Status: 42
```

# Diskussion: *Zombies*

- Bevor der *exit status* eines terminierten Prozesses mit Hilfe von **wait** abgefragt wird, ist er ein „Zombie“.
- Die Ressourcen solcher Prozesse können freigegeben werden, aber die Prozessverwaltung muss sie noch kennen.
  - Insbesondere der *exit status* muss gespeichert werden.

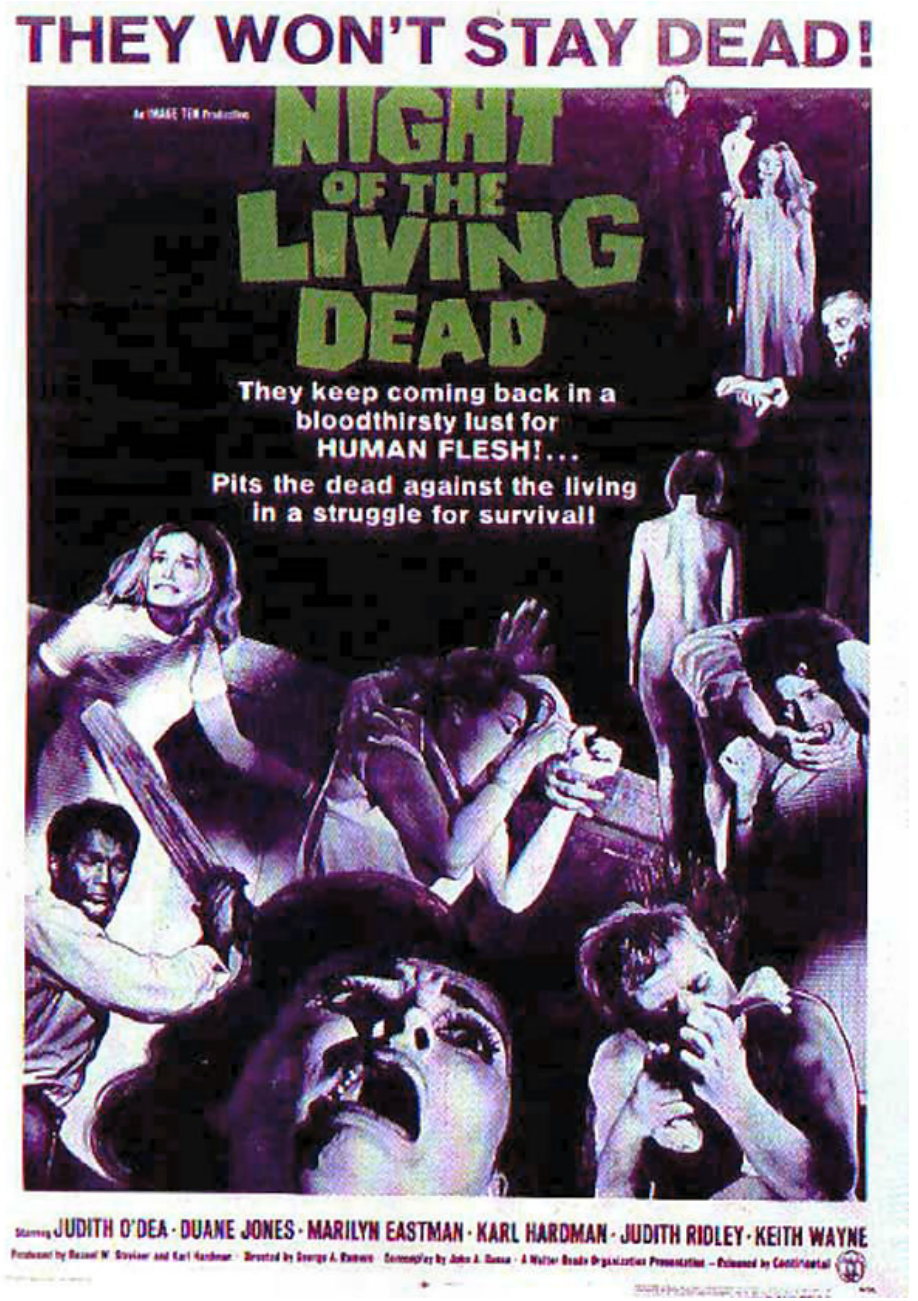
```
olaf@xantos:~> ./wait &
olaf@xantos:~> ps
  PID TTY          TIME CMD
 4014 pts/4    00:00:00 bash
17892 pts/4    00:00:00 wait
17895 pts/4    00:00:00 wait <defunct>
17897 pts/4    00:00:00 ps
olaf@xantos:~> Exit Status: 42
```

**Beispielprogramm von eben während der 5 Sekunden Wartezeit.**

**Zombies werden von ps als <defunct> dargestellt.**

# Zombies ...

- Film vom 1968
- Regie: G. A. Romero




**Wikipedia:** ***In 1999 the Library of Congress entered it into the United States National Film Registry with other films deemed „historically, culturally or aesthetically important.“***

# UNIX Prozesse im Detail: execve()

*System Call*: **int execve (const char *kommando,**
**const char *args[ ],**
**const char *envp[ ])**

- Lädt und startet das angegebene Kommando.
- Der Aufruf kehrt nur im Fehlerfall zurück.
- Der komplette Adressraum wird ersetzt.
- Es handelt sich aber weiterhin um denselben Prozess!
  - Selbe PID, PPID, offenen Dateien, ...
- Die **libc** biete einige komfortable Hilfsfunktionen, die intern execve aufrufen: **execl**, **execv**, **execlp**, **execvp**, ...

# Verwendung von exec..()

```
... /* includes, main() { ... */
char cmd[100], arg[100];
while (1) {
  printf ("Kommando?\n");
  scanf ("%99s %99s", cmd, arg);
  pid = fork(); /* Prozess wird dupliziert!
                   Beide laufen an dieser Stelle weiter. */
  if (pid > 0) {
    int status;
    if (wait(&status) == pid && WIFEXITED(status))
      printf ("Exit Status: %d\n", WEXITSTATUS(status));
  }
  else if (pid == 0) {
    execlp(cmd, cmd, arg, NULL);
    printf ("exec fehlgeschlagen\n");
  }
...
}
```

# Diskussion: Warum kein forkexec()?

- Durch die Trennung von **fork** und **execve** hat der Elternprozess mehr Kontrolle:
  - Operationen im Kontext des Kindprozesses ausführen
  - Voller Zugriff auf die Daten des Elternprozesses
- Shells nutzen diese Möglichkeit zum Beispiel zur ...
  - Umleitung der Standard-E/A-Kanäle
  - Aufsetzen von *Pipes*

# UNIX-Prozesszustände

- ein paar mehr als wir bisher kannten...

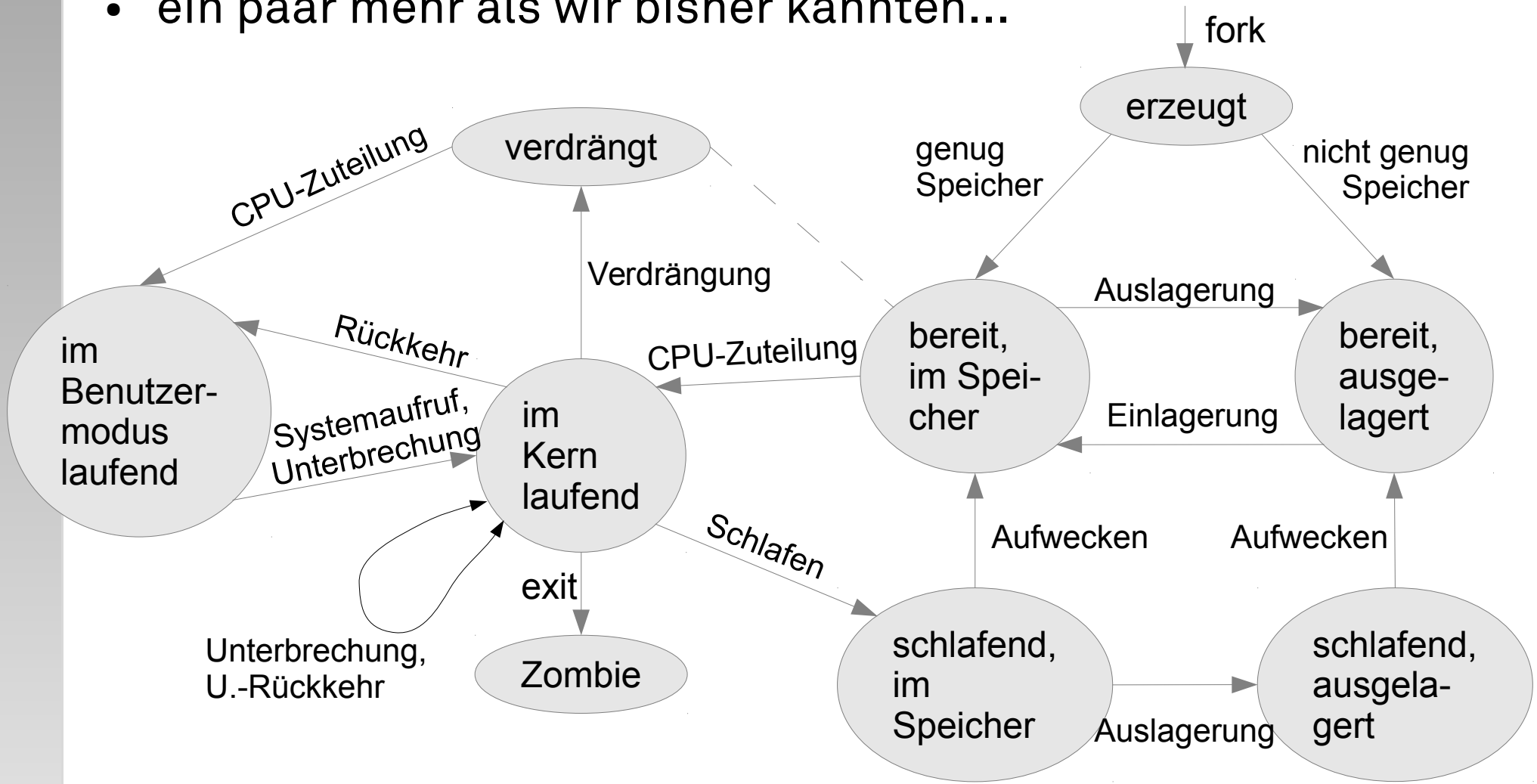



Bild in Anlehnung an M. Bach „UNIX – Wie funktioniert das Betriebssystem?“

# Inhalt

- Wiederholung
- Prozesse konkret: UNIX-Prozessmodell
  - Shells und E/A
  - UNIX-Philosophie
  - Prozesserzeugung
  - Prozesszustände
- **Leichtgewichtige Prozessmodelle**
  - „Gewicht“ von Prozessen
  - Leichtgewichtige Prozesse
  - Federgewichtige Prozesse
- Systeme mit leichtgewichtigen Prozessen
  - Windows
  - Linux

# Das „Gewicht“ von Prozessen

- Das **Gewicht** eines Prozesses ist ein bildlicher Ausdruck für die Größe seines Kontexts und damit die Zeit, die für einen Prozesswechsel benötigt wird.
  - CPU-Zuteilungsentscheidung
  - alten Kontext sichern
  - neuen Kontext laden
- Klassische UNIX-Prozesse sind „schwergewichtig“.

# Leichtgewichtige Prozesse (*Threads*)

- Die 1:1-Beziehung zwischen Kontrollfluss und Adressraum wird aufgebrochen.
  - Eng kooperierende *Threads* (deutsch „Fäden“) können sich einen Adressraum teilen (*code* + *data* + *bss* + *heap*, aber nicht *stack*!).
- **Vorteile**:
  - Aufwändige Operationen können in einen leichtgewichtigen Hilfsprozess ausgelagert werden, während der Elternprozess erneut auf Eingabe reagieren kann.
    - Typisches Beispiel: Webserver
  - Programme, die aus mehreren unabhängigen Kontrollflüssen bestehen, profitieren unmittelbar von Multiprozessor-Hardware.
  - Schneller Kontextwechsel, wenn man im selben Adressraum bleibt.
  - Je nach *Scheduler* eventuell mehr Rechenzeit.
- **Nachteil**:
  - Programmierung ist schwierig: Zugriff auf gemeinsame Daten muss koordiniert werden.

# Federgewichtige Prozesse

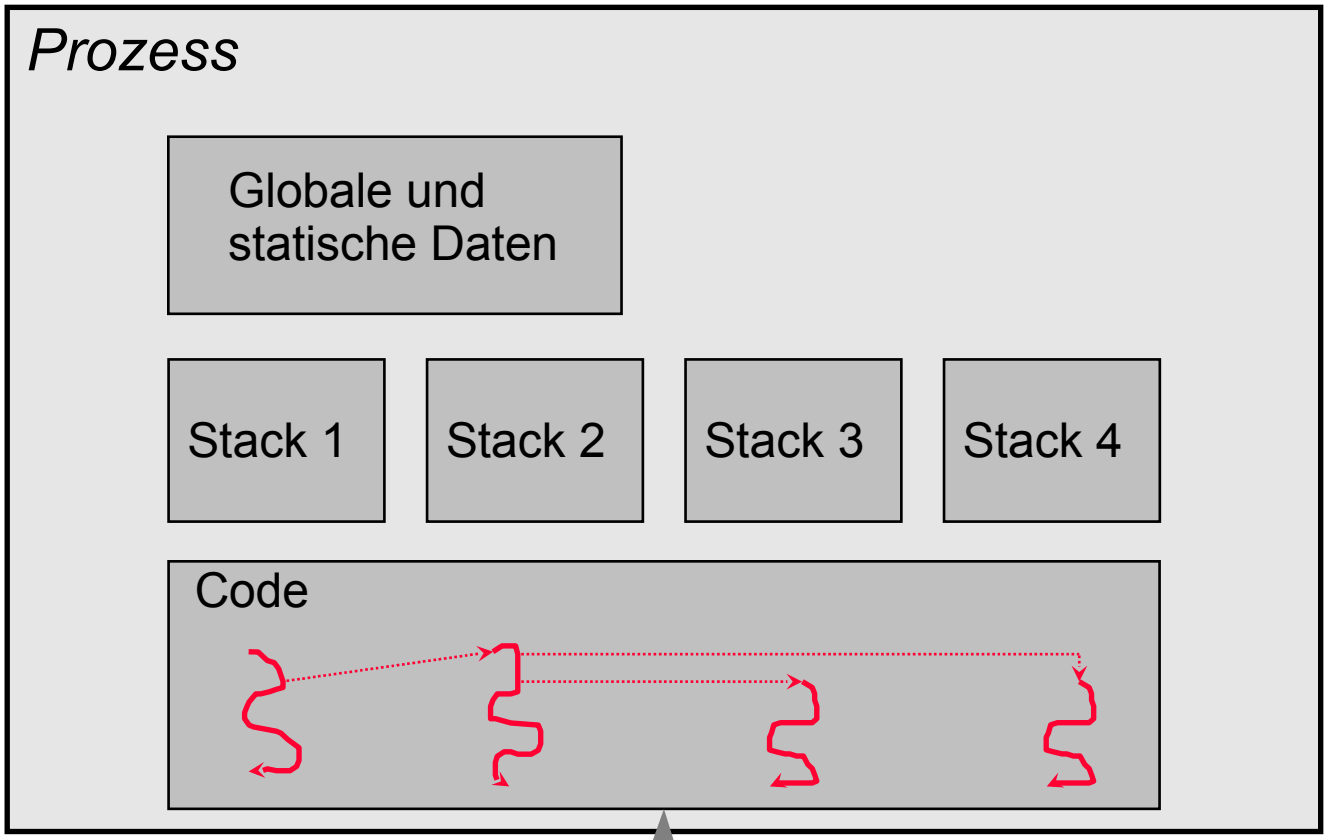
(engl. ***User-Level Threads***)

- Werden komplett auf der Anwendungsebene implementiert. Das Betriebssystem weiß nichts davon.
  - Realisiert durch Bibliothek: *User-Level Thread Package*
- **Vorteile:**
  - Extrem schneller Kontextwechsel: Nur wenige Prozessorregister sind auszutauschen. Ein *Trap* in den Kern entfällt.
  - Jede Anwendung kann sich das passende *Thread-Package* wählen.
- **Nachteile:**
  - Blockierung eines federgewichtigen Prozesses führt zur Blockierung des ganzen Programms.
  - Kein Geschwindigkeitsvorteil durch Multi-Prozessoren.
  - Kein zusätzlicher Rechenzeitanteil.

# Inhalt

- Wiederholung
- Prozesse konkret: UNIX-Prozessmodell
  - Shells und E/A
  - UNIX-Philosophie
  - Prozesserzeugung
  - Prozesszustände
- Leichtgewichtige Prozessmodelle
  - „Gewicht“ von Prozessen
  - Leichtgewichtige Prozesse
  - Federgewichtige Prozesse
- **Systeme mit leichtgewichtigen Prozessen**
  - Windows
  - Linux

# *Threads* in Windows (1)




**Ein Prozess enthält 1 bis N Thread, die auf denselben globalen Daten operieren.**

# *Threads* in Windows (2)

- **Prozess**: Umgebung und Adressraum für *Threads*
  - Ein Win32-Prozess enthält immer mindestens 1 *Thread*
- ***Thread***: Code ausführende Einheit
  - Jeder *Thread* verfügt über einen eigenen *Stack* und Registersatz (insbesondere PC)
  - *Threads* bekommen vom *Scheduler* Rechenzeit zugeteilt
- Alle *Threads* sind *Kernel-Level Threads*
  - *User-Level Threads* möglich („*Fibers*“), aber unüblich
- Strategie: Anzahl der Threads gering halten
  - Überlappte (asynchrone) E/A

# *Threads* in Linux

- Linux implementiert **POSIX *Threads*** in Form der ***pthread***-Bibliothek
- Möglich macht das ein Linux-spezifischer *System Call*

  *Linux System Call*:
  **int __clone (int (*fn)(void *), void *stack, int flags, void *arg)**

  - Universelle Funktion, parametrisiert durch **flags**
    - CLONE_VM Adressraum gemeinsam nutzen
    - CLONE_FS Information über Dateisystem teilen
    - CLONE_FILES Dateideskriptoren (offene Dateien) teilen
    - CLONE_SIGHAND Gemeinsame Signalbehandlungstabelle
- Für Linux sind alle *Threads* und Prozesse intern „*Tasks*“
  - Der *Scheduler* macht also keinen Unterschied

# Zusammenfassung

- Prozesse sind die zentrale Abstraktion für Aktivitäten in heutigen Betriebssystemen.
- UNIX-Systeme stellen diverse *System Calls* zur Verfügung, um Prozesse zu erzeugen, zu verwalten und miteinander zu verknüpfen.
  - alles im Sinne der Philosophie: ***„Do one thing, do it well.“***
- Leichtgewichtige Fadenmodelle haben viele Vorteile
  - in UNIX-Systemen bis in die 90er Jahre nicht verfügbar
  - in Windows von Beginn an (ab NT) integraler Bestandteil