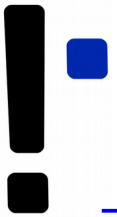


Betriebssysteme 1

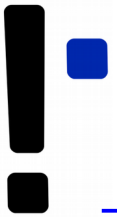
SS 2018

Prof. Dr.-Ing. Hans-Georg Eßer
Fachhochschule Südwestfalen

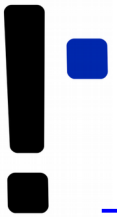
Foliensatz B:

v1.1, 2017/04/18

- Kurze Einführung in C
- Prozesse
- Threads

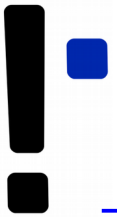


Kurze Einführung in C



Einführung in C (1)

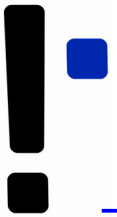
- Vorab das wichtigste:
  - keine Klassen / Objekte
    → statt Objekten:
    „structs“ (zusammengesetzte Datentypen)
    → statt Methoden nur Funktionen
    → zu bearbeitende Variablen immer als Argument übergeben
  - kein String-Datentyp (sondern Zeichen-Arrays)
  - häufiger Einsatz von Zeigern
  - `int main () {}` ist immer Hauptprogramm



Einführung in C (2)

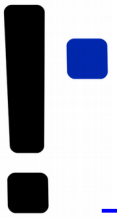
- Ausführlichere Informationen fürs Selbststudium: http://www.c-howto.de/

  → Download: Zip-Archiv
- auch als Buch für ca. 20 € erhältlich
- hier: Fokus auf Unterschiede zu C++/C#/Java



Einführung in C (3)

- Damit Sie C-Code lesen und verstehen können
  → ein paar Informationen zu
  - **Structs** (Strukturen, zusammengesetzte Typen)
  - **Pointern**
  - **Quellcode- und Header-Dateien** (Prototypen)



Strukturen und Pointer (1)

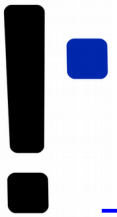
Structs

- Mehrere Möglichkeiten der Deklaration

```
struct {
  int i;
  char c;
  float f;
} variable;

variable.i = 9;
variable.c = 'a';
variable.f = 0.123;
```

```
struct mystruct {
  int i;
  char c;
  float f;
};

struct mystruct variable;

variable.i = 9;
variable.c = 'a';
variable.f = 0.123;
```

```
typedef struct {
  int i;
  char c;
  float f;
} mystruct;

mystruct variable;

variable.i = 9;
variable.c = 'a';
variable.f = 0.123;
```

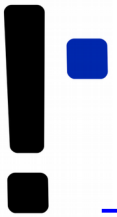


Strukturen und Pointer (2)

Pointer

- Deklaration mit *: `char *ch_ptr;`
- verwalten Speicheradressen (an welchem Ort befindet sich die Variable?)
- Operatoren
  - & (Adresse von)
  - * (Dereferenzieren)

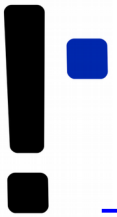
```
char ch, ch2;
char *ch_ptr;  char *ch_ptr2;

ch_ptr = &ch;  // Adresse von ch?
ch2 = *ch_ptr; // Inhalt

ch_ptr2 = ch_ptr;
   // kopiert nur Adresse
```



Strukturen und Pointer (3)

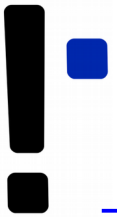
- Struct und Pointer kombiniert
- Oft bei verkettenen Listen

```
struct liste {
  struct liste *next;
  struct liste *prev;
  int inhalt;
};

struct liste *anfang;
struct liste *p;

for (p=anfang; p != NULL; p=p->next) {
  use (p->inhalt);
}
```



Strukturen und Pointer (4)

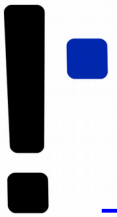
- Pointer-Typen
  - `typ *ptr;`
    → `ptr` ist ein Zeiger auf etwas vom Typ `typ`
  - `typ **pptr;`
    → `pptr` ist ein Zeiger auf einen Zeiger vom Typ `typ`
  - `ptr` bzw. `pptr` sind Speicheradressen
  - `*ptr` gibt den Wert zurück, der an der Speicherstelle abgelegt ist, auf die `ptr` zeigt
  - analog: `**pptr` ist ein Wert, aber `*pptr` ein Zeiger



Strukturen und Pointer (5)

- Pointer-Typen
  - &-Operator erzeugt zu Variable einen Pointer
  - Beispiele:

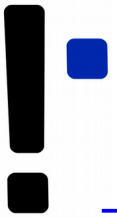
```
int i;
int *ip;
int **ipp;

i = 42;
ip = &i;          // ip = Adresse von i
ipp = &ip;         // ipp = Adresse von ip

printf (*ip);  // -> 42
printf (**ipp); // -> auch 42
```



Strukturen und Pointer (6)

- Nicht-initialisierte Pointer: schlecht
  - Beispiel:

```
int *ip;
int **ipp;

printf (ip);    // nicht-init. Adresse (0)
printf (*ip);   // illegal -> Abbruch

*ip = 42;       // auch illegal, schreibt an
                // nicht def. Adresse
```

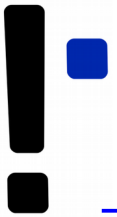


Strukturen und Pointer (7)

- Vorsicht bei `char* a,b,c;` etc.

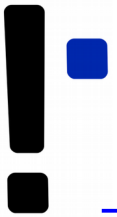
```
[esser@macbookpro:tmp]$ cat t2.c
int main () {
  char* a,b;
  printf ("|a| = %d \n", sizeof(a));
  printf ("|b| = %d \n", sizeof(b));
}

[esser@macbookpro:tmp]$ gcc t2.c; ./a.out
|a| = 8
|b| = 1
```

- besser: `char *a, *b, *c;`



Prototypen (1)

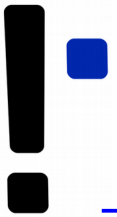
- Programm- und Header-Dateien
  - Header-Dateien (*.h) enthalten Funktionsprototypen und Makrodefinitionen (aber keinen normalen Code)
  - Programmdateien (*.c) enthalten den Code, können aber ebenfalls Prototypen und Makros enthalten (kein Zwang, eine .h-Datei zu erzeugen)



Prototypen (2)

- Funktionsprotoypen (in Header-Dateien)
  - erlauben die Verwendung von Funktionen, deren Implementierung weiter unten im Programm (oder in einer anderen Datei) steht
  - Prototyp enthält nur Rückgabetyp, Name und Argumente, z. B.

```
int summe (int x, int y);
```



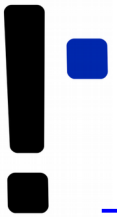
Prototypen (3)

- Wie findet der Compiler die Header-Dateien?
  → Zwei Varianten:
  - `#include "pfad/zu/datei.h"`

    Dateiname ist Pfad (relativ zu Verzeichnis mit der .c-Datei)
  - `#include <name.h>`

    name.h wird in den Standard-Include-Verzeichnissen gesucht.

    Welche sind das? Beim Bauen des gcc festgelegt...



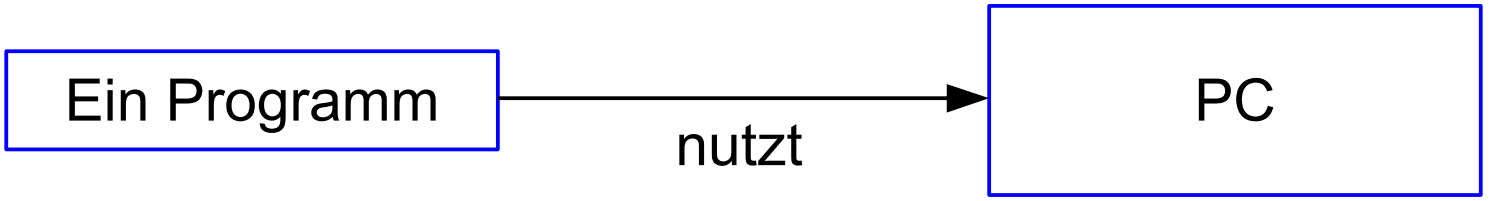
Prozesse: Grundlagen

Einleitung (1)

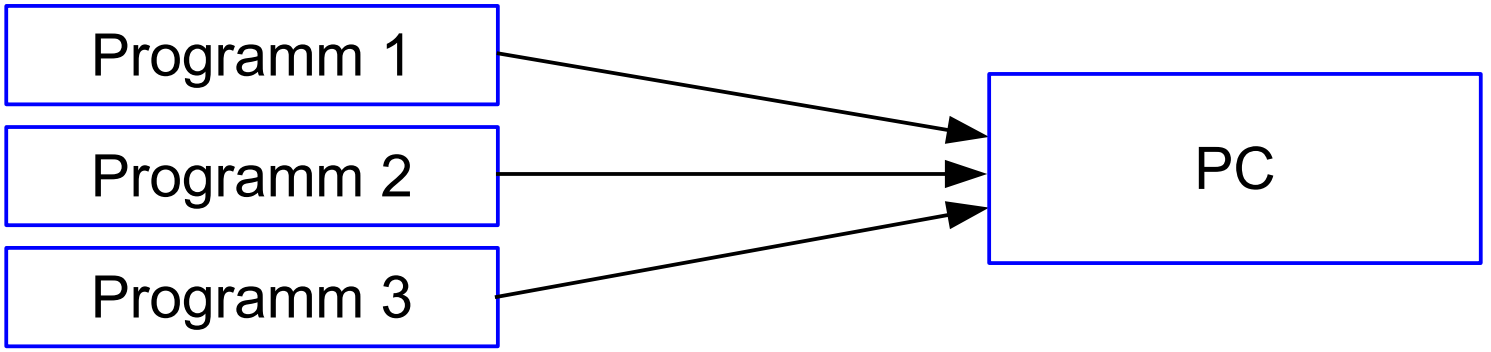
Single-Tasking / Multitasking:

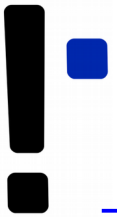
Wie viele Programme laufen „gleichzeitig“?

- MS-DOS, CP/M:



- Windows, Linux, ...:



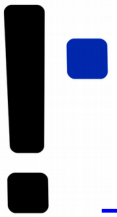


Einleitung (2)

Single-Processing / Multi-Processing:

Hilft der Einsatz mehrerer CPUs?

- Windows 95/98/Me: 1 CPU
- Windows 2000, XP, Vista, 7, Linux, Mac OS, ...: Mehrere CPUs

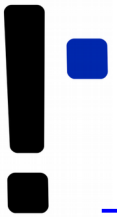


Einleitung (3)

MS-DOS:

- Betriebssystem startet, aktiviert Shell COMMAND.COM
- Anwender gibt Befehl ein
- Falls kein interner Befehl: Programm laden und aktivieren
- Nach Programmende: Rücksprung zu COMMAND.COM

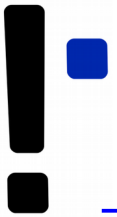
Kein Wechsel zwischen mehreren Programmen



Einleitung (4)

Prozess:

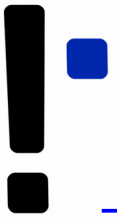
- Konzept nötig, sobald >1 Programm läuft
- Programm, das der Rechner ausführen soll
- Eigene Daten
- von anderen Prozessen abgeschottet
- Zusätzliche Verwaltungsdaten



Einleitung (5)

Prozessliste:

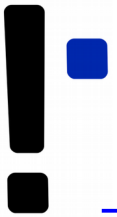
- Informationen über alle Prozesse und ihre Zustände
- Jeder Prozess hat dort einen **Process Control Block** (**PCB**):
  - Identifier (PID)
  - Registerwerte inkl. Befehlszähler
  - Speicherbereich des Prozess
  - Liste offener Dateien und Sockets
  - Informationen wie Vater-PID, letzte Aktivität, Gesamtlaufzeit, Priorität, ...



Einleitung (6)

- Beispiel: PCBs in ULIX

```
typedef struct {
  thread_id  pid;              // Prozess-ID
  thread_id  ppid;             // Vaterprozess
  int        state;            // Prozess-Status
  thread_id  next, prev;       // linked list
  boolean    used;             // Eintrag benutzt?
  int        files[MAX_PFD]; // offene Dateien
  char       cwd[MAX_PATH];  // Arbeitsverzeichnis
  uint16     uid,  gid;        // user/group ID
  uint16     euid, egid;       // effective user/group ID
  uint16     ruid, grid;       // real user/group ID
  // [...]
} PCB;
```

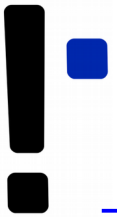


Einleitung (7)

Wechsel zwischen Prozessen

- Prozess unterbrechen
- aktuellen Zustand im PCB sichern
- neuen Prozess auswählen
- aus dem PCB (des neuen Prozesses) die Zustandsinformationen wiederherstellen
- Prozess-Ausführung fortsetzen

→ mehr dazu: Foliensatz D (Scheduling)

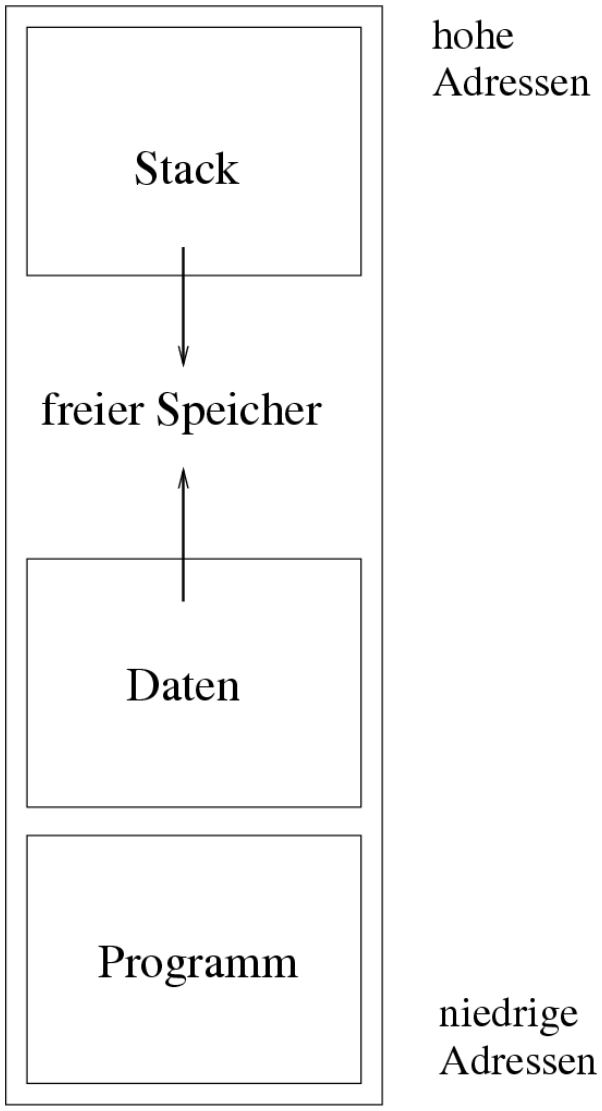


Prozesse (1)

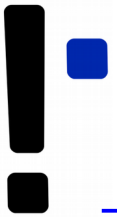
Prozess im Detail:

- Eigener Adressraum
- Ausführbares Programm
- Aktuelle Daten (Variableninhalte)
- Befehlszähler (Program Counter, PC)
- Stack und Stack-Pointer
- Inhalt der Hardware-Register (Prozess-Kontext)

Prozesse (2): Speicher

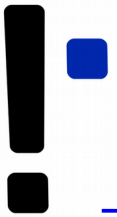


- Daten: dynamisch erzeugt
- Stack: Verwaltung der Funktionsaufrufe
- Stack und Daten „wachsen aufeinander zu“
- Details → Foliensatz F (Speicherverwaltung)



Prozesse (3): Speicher

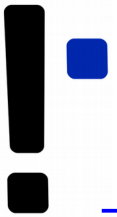
- **Text-Segment**
  - Programm-Code, String-Literale, Konstanten
  - read-only, direkt auf Programmdatei gemappt
- **Stack**
  - lokale Variablen, Funktionsrückgabewerte, Rücksprungadressen
  - wächst und schrumpft nach Bedarf
- **Data-Segment**
  - globale, initialisierte Variablen
  - **Heap**, dynamischer Prozess-Speicher
  - verwaltet Prozess über `malloc()`, `free()` etc.



Prozesse (4): Speicher

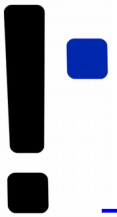
- **BSS-Segment**
  - nicht initialisierte globale Variablen
  - werden bei Prozess-Start auf 0 initialisiert

    (landen nicht in der Objektdatei eines Programms)
  - implementiert über Copy-on-Write-Mapping auf Seite mit Nullen
- **Mapped Files** (`mmap`)



Prozesse (5): Speicher

- **Anonymous Memory Mappings**
  - für große Speicher-Anforderungen (`malloc`), die nicht auf dem Heap landen
  - `glibc` entscheidet abhängig von Größe, ob Anon-Mapping oder Heap (bis 128 K) verwendet wird
  - vermeidet Fragmentierung des Heap
  - sind schon mit 0 gefüllt

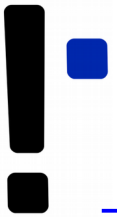


Prozesse (6): Speicher, Beispiel-Aufteilung

```
// memtest.c
// Hans-Georg Eßer, Systemprogrammierung
#include <stdio.h>    // printf
#include <unistd.h>   // sleep
#include <stdlib.h>   // malloc

char chararray[1024];                 // BSS-Segment  (nicht init.)
const int i = 7;                      // Text-Segment (konstant)
int j = 4095;                         // Data-Segment (initialisiert)

void testfunc () {
  int array[4096];                    // Stack
  array[i] = 3; array[j] = 5;
  chararray[1] = 'B';
  printf ("Test: %d, %d\n", array[i], array[j]);
};

int main () {
  chararray[0] = 'A'; chararray[2] = '\0';
  testfunc ();
  printf ("Test: %s\n", chararray);
  char* s = malloc (40*1024*1024);  // 40 MByte, Heap
  sleep (20);
  return 0;
};
```

Linux, 32 Bit

```
[esser@quadamd:tmp]$ pmap $(pidof memtest)
30387:   ./memtest
08048000      4K r-x--  /tmp/memtest
08049000      4K r----  /tmp/memtest
0804a000      4K rw---  /tmp/memtest
b4f22000  40968K rw---    [ anon ]
b7724000   1496K r-x--  /lib/i386-linux-gnu/libc-2.13.so
b789a000      8K r----  /lib/i386-linux-gnu/libc-2.13.so
b789c000      4K rw---  /lib/i386-linux-gnu/libc-2.13.so
b789d000     12K rw---    [ anon ]
b78c5000     12K rw---    [ anon ]
b78c8000      4K r-x--    [ anon ]
b78c9000    120K r-x--  /lib/i386-linux-gnu/ld-2.13.so
b78e7000      4K r----  /lib/i386-linux-gnu/ld-2.13.so
b78e8000      4K rw---  /lib/i386-linux-gnu/ld-2.13.so
bf99a000    132K rw---    [ stack ]
 total    42776K

[esser@quadamd:tmp]$ cat /proc/$(pidof memtest)/maps
08048000-08049000 r-xp 00000000 08:04 1156248    /tmp/memtest
08049000-0804a000 r--p 00000000 08:04 1156248    /tmp/memtest
0804a000-0804b000 rw-p 00001000 08:04 1156248    /tmp/memtest
b4f22000-b7724000 rw-p 00000000 00:00 0
b7724000-b789a000 r-xp 00000000 08:04 1966089    /lib/i386-linux-gnu/libc-2.13.so
b789a000-b789c000 r--p 00176000 08:04 1966089    /lib/i386-linux-gnu/libc-2.13.so
b789c000-b789d000 rw-p 00178000 08:04 1966089    /lib/i386-linux-gnu/libc-2.13.so
b789d000-b78a0000 rw-p 00000000 00:00 0
b78c5000-b78c8000 rw-p 00000000 00:00 0
b78c8000-b78c9000 r-xp 00000000 00:00 0          [vdso]
b78c9000-b78e7000 r-xp 00000000 08:04 9569185    /lib/i386-linux-gnu/ld-2.13.so
b78e7000-b78e8000 r--p 0001d000 08:04 9569185    /lib/i386-linux-gnu/ld-2.13.so
b78e8000-b78e9000 rw-p 0001e000 08:04 9569185    /lib/i386-linux-gnu/ld-2.13.so
bf99a000-bf9bb000 rw-p 00000000 00:00 0          [stack]
```



Prozesse (8): Zustände

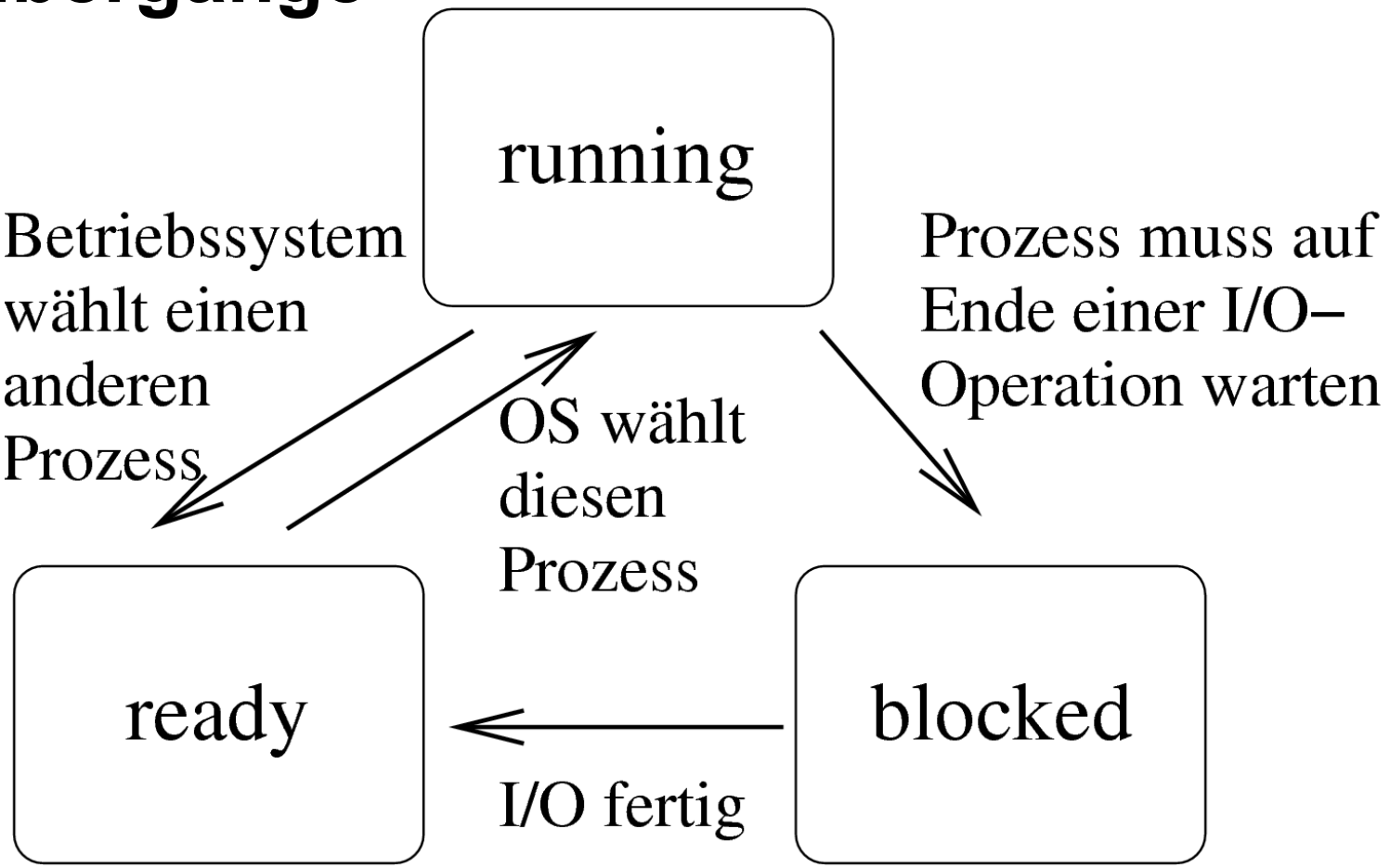
Zustände

- **laufend / running:** gerade aktiv
- **bereit / ready:** würde gerne laufen
- **blockiert / blocked / waiting:** wartet auf I/O

- **suspendiert:** vom Anwender unterbrochen
- **schlafend / sleeping:** wartet auf Signal (IPC)
- **ausgelagert / swapped:** Daten nicht im RAM

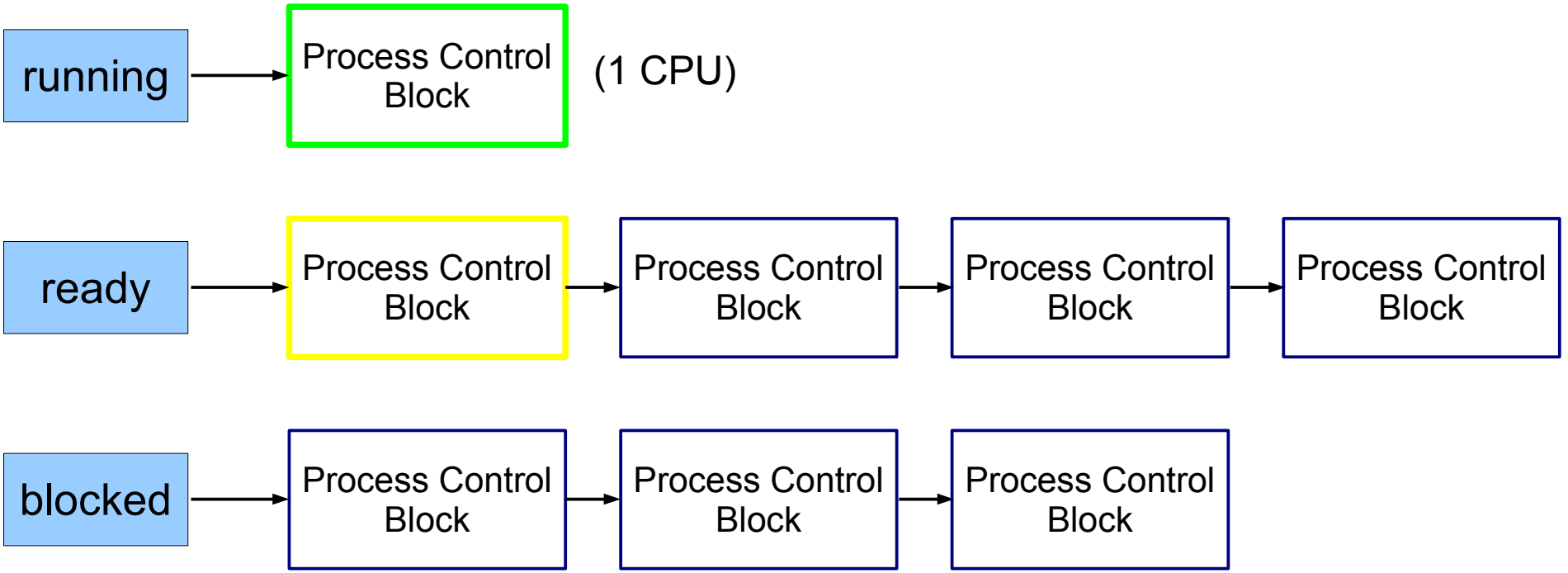
Prozesse (9): Zustände

Zustandsübergänge

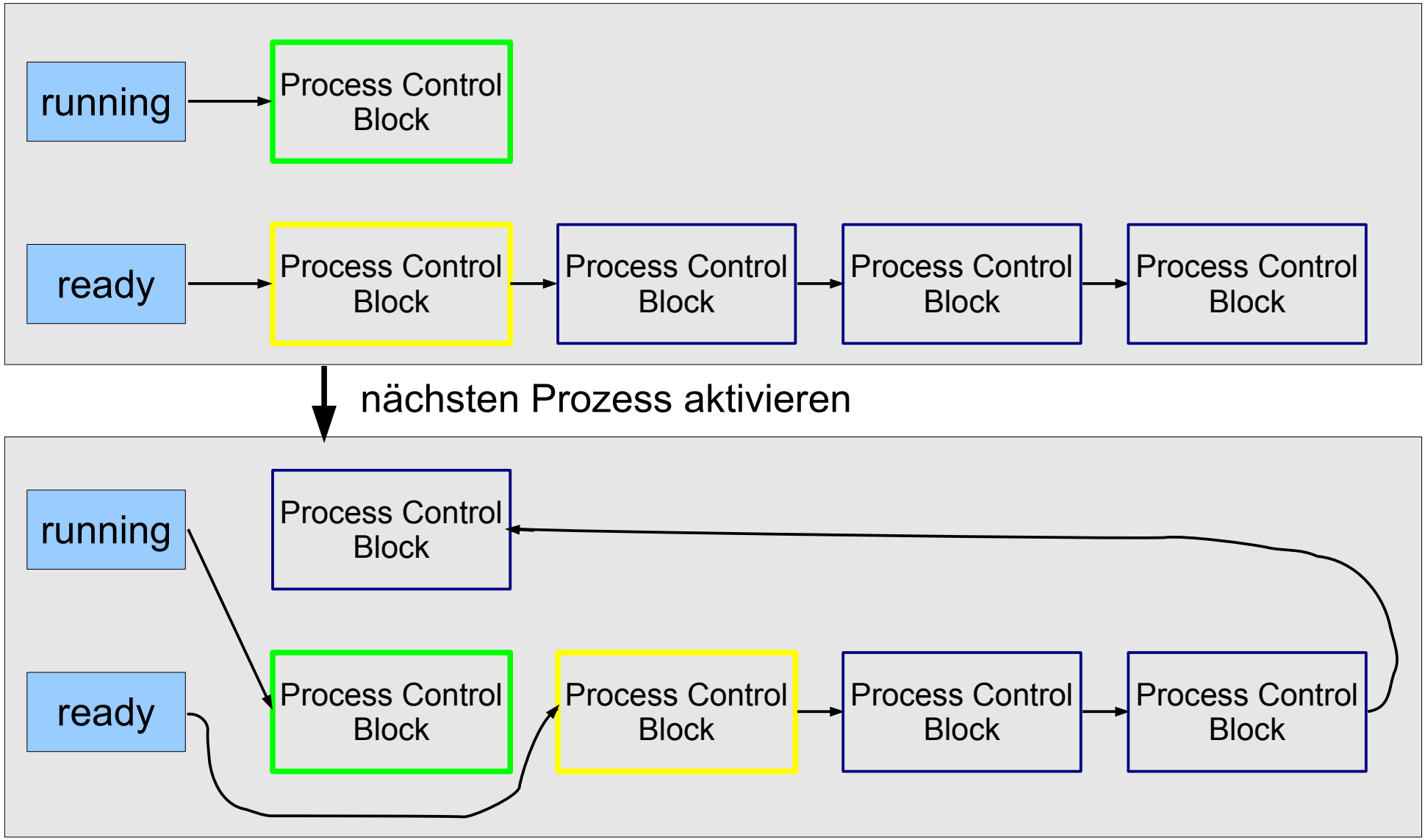


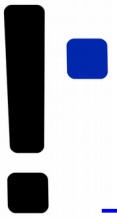
Prozesse (10)

Prozesslisten



Prozesse (11)

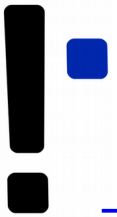

running
Process Control Block
ready
Process Control Block
Process Control Block
Process Control Block
Process Control Block
nächsten Prozess aktivieren
running
Process Control Block
ready
Process Control Block
Process Control Block
Process Control Block
Process Control Block



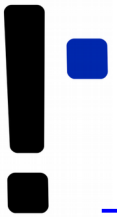
Prozesse (12)

Hierarchien

- Prozesse erzeugen einander
- Erzeuger heißt Vaterprozess (parent process), der andere Kindprozess (child process)
- Kinder sind selbständig (also: eigener Adressraum, etc.)
- Nach Prozess-Ende: Exit-Code an Vaterprozess

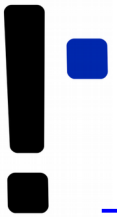


Prozesse: Administration



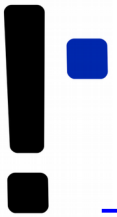
Vorder-/Hintergrund (1)

- In der Shell gestartete Anwendungen laufen standardmäßig im **Vordergrund** – d. h.,
  - die Shell ist blockiert, solange das Programm läuft,
  - und es nutzt das aktuelle Terminal (-Fenster) für Ein- und Ausgabe
- Alternativ kann ein Programm im **Hintergrund** laufen:
  - die Shell kann dann sofort weiter genutzt werden (weitere Kommando eingeben),
  - keine Eingabe möglich, aber Ausgabe (auch ins aktuelle Terminal; besser umleiten



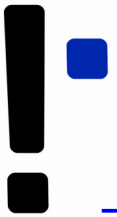
Vorder-/Hintergrund (2)

- Typische Vordergrund-Programme
  - Kommandos, die eine Anfrage sofort beantworten
  - Text-Editoren
  - Compiler
- Typische Hintergrund-Programme
  - manuell gestartete Server (Dienste)
  - unter X Window: grafische Anwendungen (die kein Terminal brauchen, sondern ein eigenes Fenster öffnen)



Vorder-/Hintergrund (3)

- Programm im Vordergrund starten:
  einfach den Namen eingeben
  Bsp.: `ls -l`
- Programm im Hintergrund starten:
  kaufmännisches Und (&, ampersand) anhängen
  Bsp.: `/usr/sbin/apache2 &`
- Wechsel von Vordergrund in Hintergrund:
  - Programm mit [Strg-Z] unterbrechen
  - Programm mit `bg` in den Hintergrund schicken
- Wechsel von Hinter- in Vordergrund: `fg`

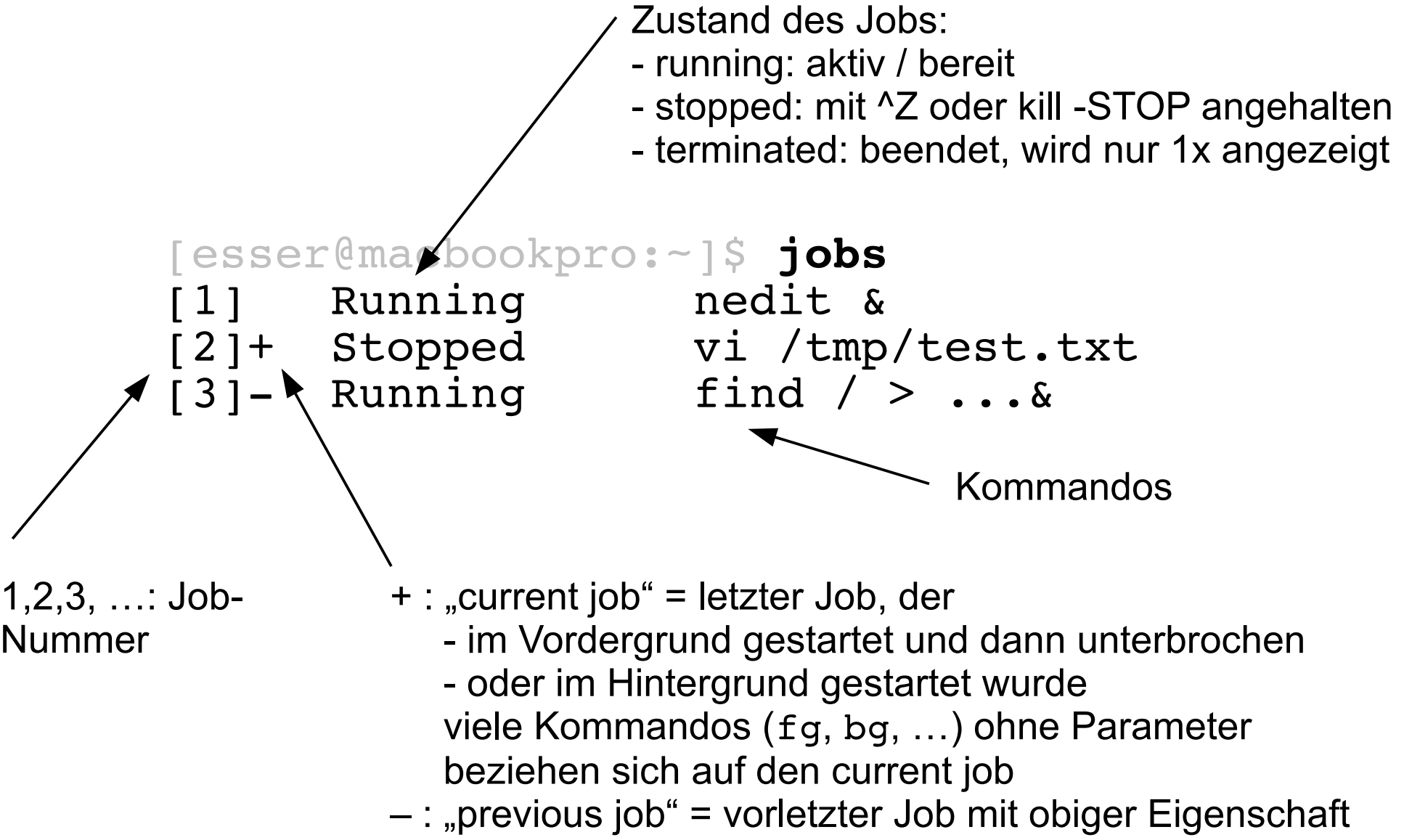


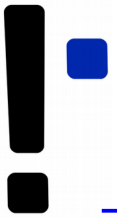
Job-Verwaltung (1)

- Programme, die aus einer laufenden Shell heraus gestartet wurden, heißen **Jobs** dieser Shell
- Anzeige mit: `jobs`

```
[esser@macbookpro:~]$ jobs
[esser@macbookpro:~]$ nedit &
[1] 77787
[esser@macbookpro:~]$ vi /tmp/test.txt
^Z
[2]+  Stopped                 vi /tmp/test.txt
[esser@macbookpro:~]$ find / > /tmp/ergebnisse.txt &
[3] 77792
[esser@macbookpro:~]$ jobs
[1]   Running                 nedit &
[2]+  Stopped                 vi /tmp/test.txt
[3]-  Running                 find / > /tmp/ergebnisse.txt &
[esser@macbookpro:~]$
```

Job-Verwaltung (2)

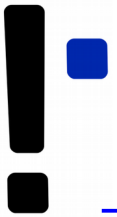




Job-Verwaltung (3)

- Jobs gezielt ansprechen: `%n` (mit n = Job-Nummer)

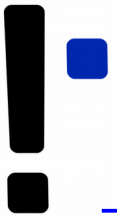
```
[esser@macbookpro:~]$ jobs
[1]   Running                 nedit /tmp/1 &
[2]   Running                 nedit /tmp/2 &
[3]   Running                 nedit /tmp/3 &
[4]-  Running                 nedit /tmp/4 &
[5]+  Running                 nedit /tmp/5 &
[esser@macbookpro:~]$ kill %3
[esser@macbookpro:~]$ jobs
[1]   Running                 nedit /tmp/1 &
[2]   Running                 nedit /tmp/2 &
[3]   Terminated              nedit /tmp/3
[4]-  Running                 nedit /tmp/4 &
[5]+  Running                 nedit /tmp/5 &
[esser@macbookpro:~]$ jobs
[1]   Running                 nedit /tmp/1 &
[2]   Running                 nedit /tmp/2 &
[4]-  Running                 nedit /tmp/4 &
[5]+  Running                 nedit /tmp/5 &
```



Job-Verwaltung (4)

Kommandos zur Job-Verwaltung

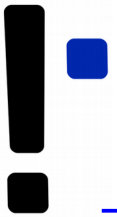
- `bg %n`: in den Hintergrund bringen
- `fg %n`: in den Vordergrund bringen
- `kill %n`: beenden
- `kill -`*`SIGNALNAME`* `%n`: Signal schicken, siehe nächste Folie
- `disown %n`: Verbindung mit der Shell lösen; `disown -a`: für alle Jobs
- `wait %n`: Warten, bis Job beendet ist



Job-Verwaltung (5)

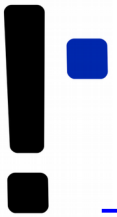
Signale (mit Signalnummer)

- `TERM, 15`: terminieren, beenden (mit „Aufräumen“); Standardsignal
- `KILL, 9`: sofort abbrechen (ohne Aufräumen)
- `STOP, 19`: unterbrechen (entspricht ^Z)
- `CONT, 18`: continue, fortsetzen; hebt `STOP` auf
- `HUP, 1`: hang-up, bei vielen Server-Programmen: Konfiguration neu einlesen (traditionell: Verbindung zum Terminal unterbrochen)
- Liste aller Signale: `kill -l`



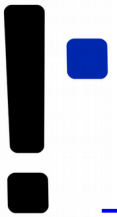
Job-Verwaltung (6)

```
$ kill -l
 1) SIGHUP       2) SIGINT       3) SIGQUIT      4) SIGILL
 5) SIGTRAP      6) SIGABRT      7) SIGBUS       8) SIGFPE
 9) SIGKILL     10) SIGUSR1     11) SIGSEGV     12) SIGUSR2
13) SIGPIPE     14) SIGALRM     15) SIGTERM     16) SIGSTKFLT
17) SIGCHLD     18) SIGCONT     19) SIGSTOP     20) SIGTSTP
21) SIGTTIN     22) SIGTTOU     23) SIGURG      24) SIGXCPU
25) SIGXFSZ     26) SIGVTALRM   27) SIGPROF     28) SIGWINCH
29) SIGIO       30) SIGPWR      31) SIGSYS      34) SIGRTMIN
35) SIGRTMIN+1  36) SIGRTMIN+2  37) SIGRTMIN+3  38) SIGRTMIN+4
39) SIGRTMIN+5  40) SIGRTMIN+6  41) SIGRTMIN+7  42) SIGRTMIN+8
43) SIGRTMIN+9  44) SIGRTMIN+10 45) SIGRTMIN+11 46)
SIGRTMIN+12
47) SIGRTMIN+13 48) SIGRTMIN+14 49) SIGRTMIN+15 50) SIGRTMAX-
14
51) SIGRTMAX-13 52) SIGRTMAX-12 53) SIGRTMAX-11 54) SIGRTMAX-
10
55) SIGRTMAX-9  56) SIGRTMAX-8  57) SIGRTMAX-7  58) SIGRTMAX-6
59) SIGRTMAX-5  60) SIGRTMAX-4  61) SIGRTMAX-3  62) SIGRTMAX-2
63) SIGRTMAX-1  64) SIGRTMAX
```



Jobs vs. Prozesse

- Die Bezeichnung **Job** bezieht sich immer auf die aktuelle Shell-Sitzung
- Jobs, die Sie in verschiedenen Shells starten, haben nichts miteinander zu tun
- Allgemeinerer Begriff: **Prozess**
- Tool für die Prozessanzeige: `ps`
- Die (Gesamt-) Prozessliste (`ps auxw`) enthält alle Prozesse auf dem Linux-System



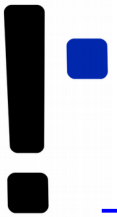
Prozesse (1)

- `ps` (ohne Optionen) zeigt alle Prozesse an, die zur aktuellen Shell-Sitzung gehören – das sind dieselben wie in der Ausgabe von `jobs`:

```
[esser@quadamd:~]$ jobs
[1]+  Angehalten    vi /tmp/test4
```

```
[esser@quadamd:~]$ ps
  PID TTY          TIME CMD
27967 pts/0    00:00:00 bash
28160 pts/0    00:00:00 vi
28168 pts/0    00:00:00 ps
```

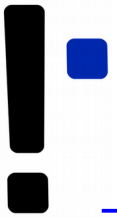
- über Optionen (ohne „–“) lässt sich die Ausgabe von `ps` anpassen, z. B. `ps auxw`:
  - `a`: alle Prozesse (die ein Terminal haben)
  - `u`: „user oriented format“
  - `x`: auch Prozesse ohne Terminal
  - `w`: „wide“: Befehlszeilen nicht abschneiden



Prozesse (2)

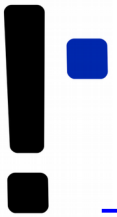
Prozess-IDs in der Job-Liste

```
esser@sony:Folien> jobs
[1]- Running                 xpdf -remote sk bs02.pdf &
[2]+ Running                 nedit kap02/index.tex &

esser@sony:Folien> jobs -l
[1]- 8103 Running            xpdf -remote sk bs02.pdf &
[2]+ 20568 Running           nedit kap02/index.tex &

esser@sony:Folien> ps w|grep 8103|grep -v grep
 8103 pts/15 S       5:27 xpdf -remote sk bs02.pdf
```



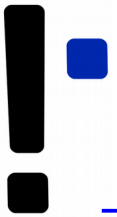
Prozesse (3)

```
[esser@quadamd:~]$ ps auw
USER       PID %CPU %MEM    VSZ   RSS TTY      STAT START   TIME COMMAND
root      1122  0.0  0.0   1872   580 tty4     Ss+  Apr17   0:00 /sbin/getty -8 38400 tty4
root      1127  0.0  0.0   1872   580 tty5     Ss+  Apr17   0:00 /sbin/getty -8 38400 tty5
root      1150  0.0  0.0   1872   576 tty2     Ss+  Apr17   0:00 /sbin/getty -8 38400 tty2
root      1151  0.0  0.0   1872   576 tty3     Ss+  Apr17   0:00 /sbin/getty -8 38400 tty3
root      1153  0.0  0.0   1872   580 tty6     Ss+  Apr17   0:00 /sbin/getty -8 38400 tty6
root      1776  0.0  0.0   5248  2156 tty1     Ss   Apr17   0:00 /bin/login --
esser     1941  0.0  0.1   9272  4816 tty1     S    Apr17   0:01 -bash
esser     2956  0.0  0.0   1912   540 tty1     S+   Apr17   0:00 /bin/sh /usr/bin/startx
esser     2973  0.0  0.0   3128   708 tty1     S+   Apr17   0:00 xinit /home/esser/.xinitrc -- /etc/X11/xini
root      2974  0.0  1.8  85616 75712 tty8     Ss+  Apr17  14:56 /usr/bin/X -nolisten tcp :0 -auth /tmp/ser
esser     2977  0.0  0.0   1912   564 tty1     S    Apr17   0:00 /bin/sh /home/esser/.xinitrc
esser     3037  0.0  0.0   3456   560 tty1     S    Apr17   0:00 dbus-launch --sh-syntax --exit-with-session
esser     3045  0.0  0.0   1700    64 tty1     S    Apr17   0:00 /usr/lib/kde4/libexec/start_kdeinit +kcmin
esser     3174  0.0  0.0   1832   244 tty1     S    Apr17   0:00 kwrapper4 ksmserver
esser     3454  0.0  0.0   6552  2040 pts/2    Ss   Apr17   0:00 /bin/bash
root      3775  0.0  0.0   8560  2112 pts/2    S    Apr17   0:00 sudo su
root      3776  0.0  0.0   8316  1764 pts/2    S    Apr17   0:00 su
root      3784  0.0  0.0   6656  2172 pts/2    S+   Apr17   0:00 bash
esser    10674  1.4  7.0 443588 289940 pts/6   Sl   Apr30 131:17 /usr/lib/opera/opera
esser    10694  0.0  0.1  21764  7552 pts/6    S    Apr30   0:08 /usr/lib/opera//operapluginwrapper 101 110
esser    10695  0.0  0.0   3040   548 pts/6    S    Apr30   0:02 /usr/lib/opera//operapluginclean 10674
esser    10699  1.3  0.0      0     0 pts/6    Z    Apr30 119:12 [gtk-gnash] <defunct>
esser    12198  0.0  0.0   6552  1828 pts/4    Ss   Apr17   0:00 /bin/bash
root     12583  0.0  0.0   8560  2116 pts/4    S    Apr17   0:00 sudo su
root     13077  0.0  0.0   8316  1768 pts/4    S    Apr17   0:00 su
root     13097  0.0  0.0   6612  2052 pts/4    S+   Apr17   0:00 bash
esser    13653  0.0  0.0   6768  2140 pts/3    Ss   Apr17   0:00 /bin/bash
esser    18905  0.0  0.1   9128  4712 pts/6    Ss+  Apr22   0:02 /bin/bash
esser    27587  0.0  0.0   5256  2144 pts/3    S+   19:40   0:00 ssh backup
esser    28613  0.0  0.1  11744  7264 pts/5    Ss+  22:45   0:00 -bash
esser    29091  0.0  0.1  12156  7704 pts/0    Ss   22:58   0:00 -bash
esser    29307  0.0  0.0   5856  1172 pts/0    R+   23:42   0:00 ps auw
```



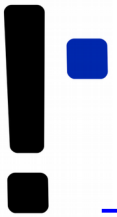
Prozesse (4)

- Spalten in der Ausgabe von `ps auw`:
  - `USER`: Benutzer, dem der Prozess gehört
  - `PID`: Prozess-ID
  - `%CPU`: CPU-Nutzung in Prozent (Verhältnis Rechenzeit / Lebenszeit)
  - `%MEM`: RSS / RAM-Größe in Prozent
  - `VSZ`: Größe des virtuellen Speichers (in KByte)
  - `RSS`: Resident Set Size, aktuell genutzter Speicher (KByte)
  - `TTY`: Terminal
  - `STAT`: Prozess-Status
  - `START`: Startzeit des Prozesses (ggf. Datum)
  - `TIME`: bisherige Gesamtlaufzeit
  - `COMMAND`: Kommando (Aufruf)



Prozesse (5)

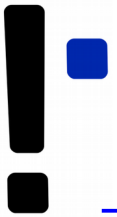
- Signale an beliebige Prozesse schicken
  - wie vorher: Kommando `kill`
  - aber: nicht `kill %n` (n=Job-ID), sondern `kill p` (p = PID)
  - auch hier Angabe eines Signals möglich
- `killall` *`Name`*: alle Prozesse beenden, deren ausführbares Programm *`Name`* heißt
- mit `killall` auch (wie bei `kill`) andere Signale an alle Prozesse mit passendem Namen schicken



Prozesse (6): pstree

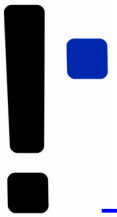
- Darstellung der Prozessliste auch in Baumansicht möglich: `pstree`
- Jeder Prozess hat einen Vaterprozess
- identische Teilbäume nur 1x
- Option `-p`: Prozess-IDs anzeigen

```
[esser@quadamd:~]$ pstree
init-+-NetworkManager-+-dhclient
     |                `-2*[{NetworkManager}]
     |-acpid
     |-akonadi_control-+-2*[akonadi_contact]
     |                 |-3*[akonadi_ical_re]
     |                 |-akonadi_maildir
     |                 |-akonadi_maildis
     |                 |-akonadi_nepomuk
     |                 |-akonadi_vcard_r
     |                 |-akonadiserver-+-mysqld---23*[{mysqld}]
     |                 |               `-15*[{akonadiserver}]
     |                 `-3*[{akonadi_contro}]
     |-atd
     |-avahi-daemon---avahi-daemon
     |-console-kit-dae---64*[{console-kit-da}]
     |-cron
     |-cupsd
[...]
     |-knotify4---6*[{knotify4}]
     |-konsole-+-2*[bash---sudo---su---bash]
     |         |-bash---ssh
     |         |-bash---opera-+-operapluginclea
     |         |              |-operapluginwrap---gtk-gnash
     |         |              `-6*[{opera}]
     |         `-2*[{konsole}]
     |-krunner---11*[{krunner}]
     |-kuiserver
     |-kwalletd
     |-login---bash---startx---xinit-+-.xinitrc---kwrapper4
     |                               `-Xorg
     |-upstart-socket-
     |-upstart-udev-br
     |-vpnagentd
     `-wpa_supplicant
```



Hang-up, No Hang-up

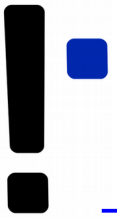
- Wenn Sie sich in der Konsole abmelden (`exit`) oder unter X Window ein Terminalfenster schließen, erhalten alle in der Shell laufenden Jobs das `HUP`-Signal (Hang-up).
- Die Standardreaktion auf `HUP` ist: beenden
- Abmelden / Fenster schließen beendet also alle darin gestarteten Programme
- Auswege:
  - Programme mit `nohup` starten oder
  - Prozess mit `disown` von der Shell lösen



nohup

- `nohup` hat zwei Funktionen:
  - der gestartete Prozess ignoriert `HUP`-Signale
  - Ausgaben des Prozesses (auf die Standard-ausgabe) erscheinen nicht im Terminal, sondern werden in die Datei `nohup.out` geschrieben

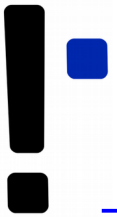
```
[esser@macbookpro:~]$ nedit /tmp/1 &
[1] 79142
[esser@macbookpro:~]$ nohup nedit /tmp/2 &
[2] 79144
appending output to nohup.out
```



top (1)

- Prozesse nach CPU-Auslastung sortiert anzeigen: `top`
- Anzeige wird regelmäßig aktualisiert

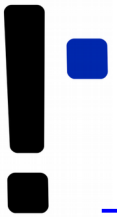
```
top - 00:07:30 up 19 days,  6:15,  7 users,  load average: 0.00, 0.02, 0.05
Tasks: 194 total,   2 running, 191 sleeping,   0 stopped,   1 zombie
Cpu(s):  1.2%us,  0.7%sy,  0.0%ni, 98.0%id,  0.0%wa,  0.0%hi,  0.0%si,  0.0%st
Mem:   4120180k total,  2353392k used,  1766788k free,   560756k buffers
Swap:  4191936k total,        0k used,  4191936k free,   566868k cached

  PID USER      PR  NI  VIRT  RES  SHR S %CPU %MEM    TIME+  COMMAND
 3177 esser     20   0  302m  45m  20m S    2  1.1 260:37.29 knotify4
10674 esser     20   0  433m 283m  27m S    2  7.0 131:47.89 opera
 3432 esser     20   0  893m 155m  33m S    1  3.9 253:02.73 seamonkey-bin
 1093 messageb  20   0  4524 2664  840 R    0  0.1  16:55.65 dbus-daemon
 1576 root      20   0 12072 7272 3408 S    0  0.2   8:50.93 python
 2076 root      20   0  5560  972  692 S    0  0.0   5:07.52 udisks-daemon
 3238 esser     20   0  367m  64m  35m S    0  1.6   1:13.69 krunner
29348 esser     20   0  2632 1180  852 R    0  0.0   0:00.03 top
    1 root      20   0  3028 1892 1236 S    0  0.0   0:02.06 init
    2 root      20   0     0    0    0 S    0  0.0   0:00.73 kthreadd
    3 root      20   0     0    0    0 S    0  0.0   1:36.46 ksoftirqd/0
    6 root      RT   0     0    0    0 S    0  0.0   0:00.00 migration/0
   17 root       0 -20     0    0    0 S    0  0.0   0:00.00 cpuset
   18 root       0 -20     0    0    0 S    0  0.0   0:00.00 khelper
   19 root       0 -20     0    0    0 S    0  0.0   0:00.00 netns
   21 root      20   0     0    0    0 S    0  0.0   0:02.28 sync_supers
   22 root      20   0     0    0    0 S    0  0.0   0:00.05 bdi-default
   23 root       0 -20     0    0    0 S    0  0.0   0:00.00 kintegrityd
   24 root       0 -20     0    0    0 S    0  0.0   0:00.00 kblockd
   25 root       0 -20     0    0    0 S    0  0.0   0:00.00 kacpid
   26 root       0 -20     0    0    0 S    0  0.0   0:00.00 kacpi_notify
   27 root       0 -20     0    0    0 S    0  0.0   0:00.00 kacpi_hotplug
```



top (2)

- Sortierung in `top` anpassbar (Sortierspalte ändern mit < und >)
- Über der Prozessliste: Informationen zur Gesamtauslastung des Systems
- umschaltbar auf Anzeige/CPU bzw. /Kern: `1`

```
top - 00:14:22 up 19 days,  6:22,  7 users,  load average: 0.05, 0.03, 0.05
Tasks: 194 total,   2 running, 191 sleeping,   0 stopped,   1 zombie
Cpu0  :  0.7%us,  0.3%sy,  0.0%ni, 99.0%id,  0.0%wa,  0.0%hi,  0.0%si,  0.0%st
Cpu1  :  1.7%us,  1.0%sy,  0.0%ni, 97.3%id,  0.0%wa,  0.0%hi,  0.0%si,  0.0%st
Cpu2  :  0.0%us,  0.3%sy,  0.0%ni, 99.7%id,  0.0%wa,  0.0%hi,  0.0%si,  0.0%st
Cpu3  :  3.6%us,  0.7%sy,  0.0%ni, 95.8%id,  0.0%wa,  0.0%hi,  0.0%si,  0.0%st
Mem:   4120180k total,  2353400k used,  1766780k free,   560948k buffers
Swap:  4191936k total,        0k used,  4191936k free,   566868k cached
```



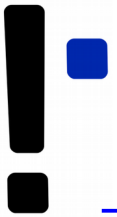
free, uptime

- Weitere Systeminformationen:
  - `free` (freien Speicher anzeigen)

```
[esser@quadamd:~]$ free
             total       used       free     shared    buffers     cached
Mem:       4120180    2347264    1772916          0     561488     566896
-/+ buffers/cache:    1218880    2901300
Swap:      4191936          0    4191936
```

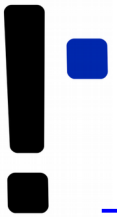
  - `uptime` (wie lange läuft das System schon?)

```
[esser@quadamd:~]$ uptime
 00:34:08 up 19 days,  6:42,  6 users,  load average: 0.06, 0.07, 0.05
```



Prozess-Priorität (1)

- Jeder Linux-Prozess hat eine **Priorität**. Diese bestimmt, welchen Anteil an Rechenzeit der Prozess erhält.
- Priorität ist ein Wert zwischen -20 und 19.
- Konvention: hohe Priorität = kleiner Wert
  (also: -20 = maximale Prior., 19 = minimale Prior.)
- unter Linux/Unix auch als **nice value** („Nettigkeit“) bezeichnet: 19 = extrem nett, -20 = gar nicht nett
- Bei Programmstart Priorität mit `nice` setzen



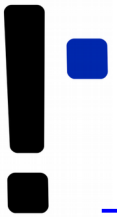
Prozess-Priorität (2)

- `nice` mit Priorität (Option) und auszuführendem Kommando (folgende Argumente) aufrufen, z. B.

```
[esser@quadamd:~]$ nice -5 program &

[esser@quadamd:~]$ ps -eo user,pid,ni,cmd
USER         PID  NI CMD
...
root       28299   0 [kworker/2:0]
root       28300   0 [kworker/0:1]
esser      28301   5 program
esser      28303   0 ps -eo user,pid,ni,cmd
```

- negative Nice-Werte kann nur Administrator *root* setzen:

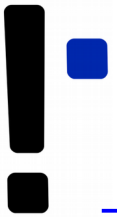
```
[esser@quadamd:~]$ nice --10 vi
nice: kann Priorität nicht setzen: Keine Berechtigung
```



Prozess-Priorität (3)

- Alternative Syntax für bessere Lesbarkeit:
  `nice -n Wert` (statt `nice -Wert`)
- vor allem für negative Werte intuitiver:
  `nice -n -10` (statt `nice --10`)

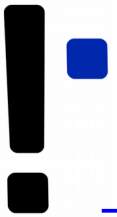
```
[esser@quadamd:~]$ su
Passwort:
root@quadamd:~# nice -n -10 program &
[1] 28373
root@quadamd:~# ps -eo user,pid,ni,cmd
USER         PID  NI CMD
[...]
root       28311   0 su
root       28319   0 bash
root       28373 -10 program
root       28375   0 ps -eo user,pid,ni,cmd
```



Prozess-Priorität (4)

- Genauer: Nice-Wert in `nice`-Aufruf ist relativ zum „aktuellen Nice-Level“ (Standard: 0)
- angebener Wert wird zum Nice-Wert addiert:

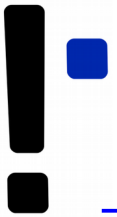
```
[esser@quadamd:~]$ nice
0
[esser@quadamd:~]$ nice -n 5 bash
[esser@quadamd:~]$ nice
5
[esser@quadamd:~]$ nice -n 10 bash
[esser@quadamd:~]$ nice
15
[esser@quadamd:~]$ _
```



Prozess-Priorität (5)

- Nice-Wert für laufendes Programm ändern: `renice`
- Wert <0 setzen darf nur *root*
- in alten Linux-Versionen galt auch: aktuellen Wert verringern darf nur *root*)

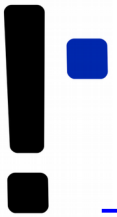
```
[esser@quadamd:~]$ program &
[5] 28937
[esser@quadamd:~]$ ps -eo user,pid,ni,cmd
USER       PID  NI CMD
esser    28937   0 program
[esser@quadamd:~]$ renice 5 28937
28937: Alte Priorität: 0, neue Priorität: 5
[esser@quadamd:~]$ ps -eo user,pid,ni,cmd
USER       PID  NI CMD
esser    28937   5 program
[esser@quadamd:~]$ renice 0 28937
28937: Alte Priorität: 5, neue Priorität: 0
[esser@quadamd:~]$ renice -10 28937
renice: 28937: setpriority: Keine Berechtigung
```



Threads (Motivation)

Motivation (1)

- Szenario: Bankzentrale + Geldautomaten
- Automaten sind mit Zentrale verbunden



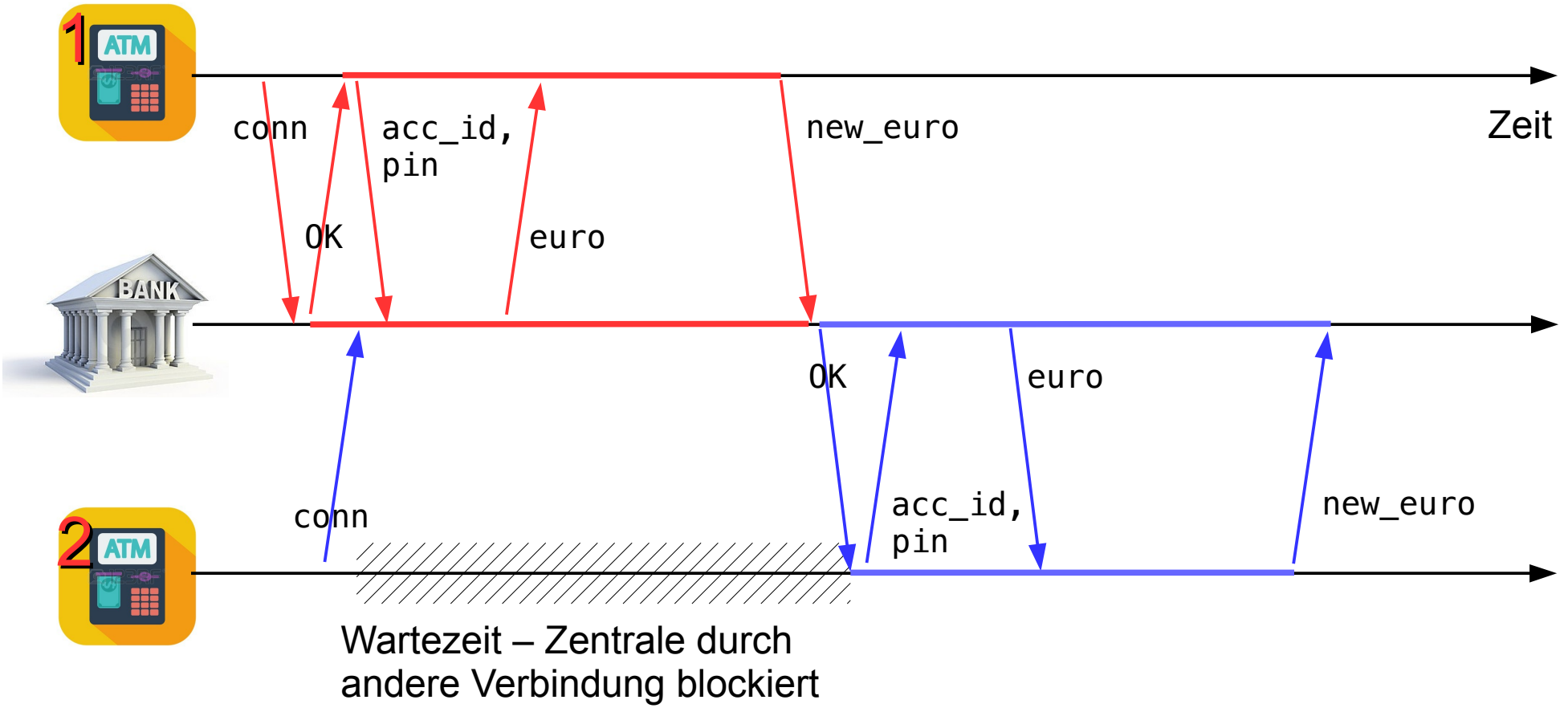
Motivation (2)

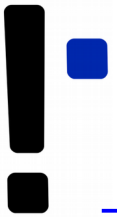
- Zentrale führt Server-Anwendung aus, vereinfacht:

```
init (accounts[]);                              // Konten-DB

do forever {
    conn = accept_atm_connection ();
    acc_no = recv (conn);
    pin    = recv (conn);
    if (!auth(acc_no,pin)) { terminate (conn); continue; }

    euro = accounts[acc_no].euro;               // Abfrage
    send (conn, euro);
    recv (conn, new_euro);
    accounts[acc_no].euro = new_euro;           // Aktualisierung
    terminate (conn);
}
```

Motivation (3)

- Verbindung eines Automaten blockiert Server



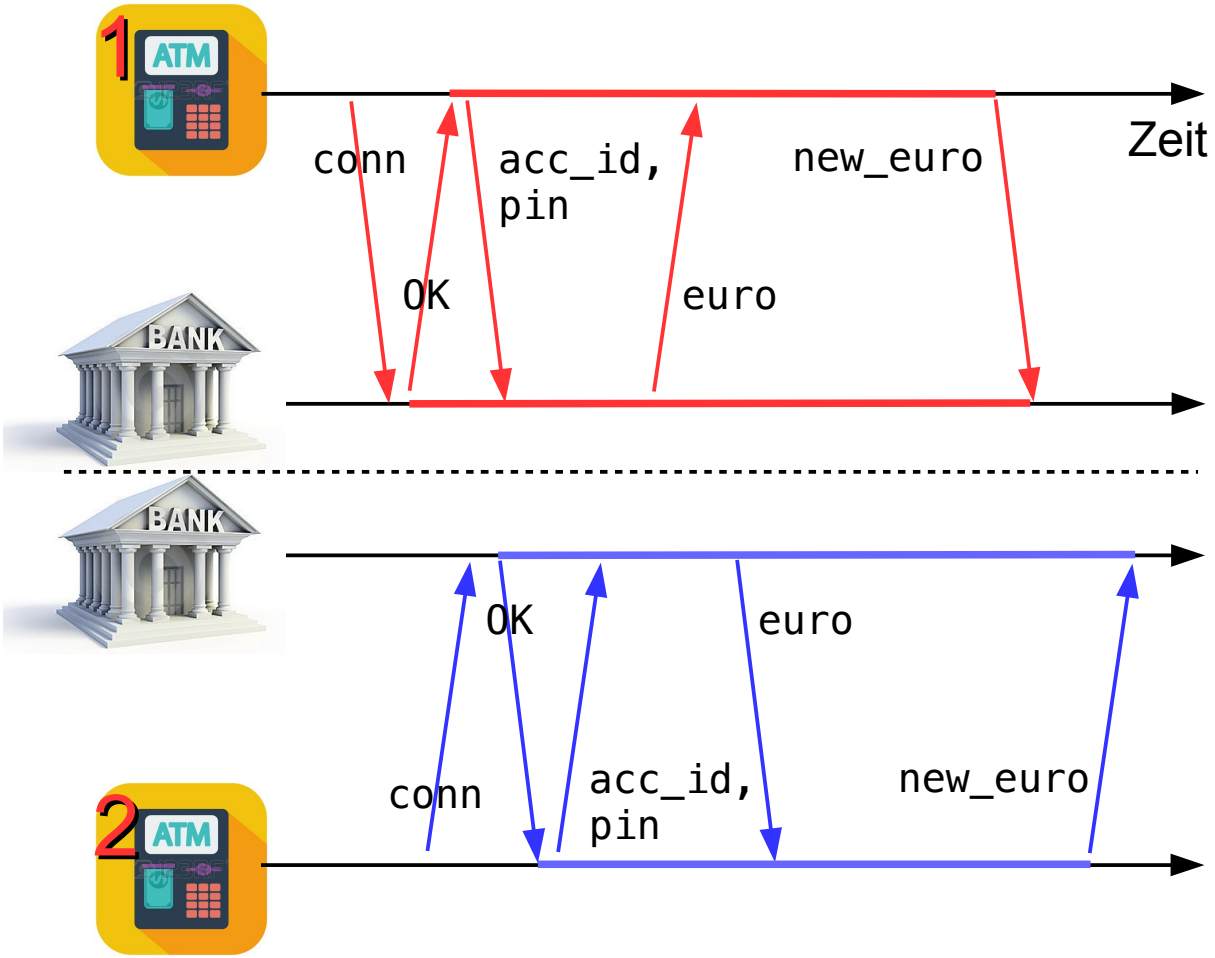


Motivation (4)

- Wartezeiten verkürzen → parallele Verbindung mehrerer Automaten zulassen
- Erste Idee: mehrere Server-Prozesse, Anfrage an einen freien Server-Prozess weiter reichen

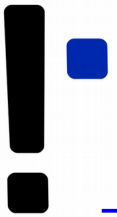
Motivation (5)

- Mehrere Server-Prozesse

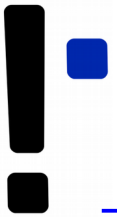


- Problem: Prozess-Daten (DB) doppelt

  → Abstimmung der Prozesse erforderlich



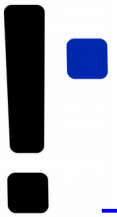
Threads (Theorie)



Threads (1)

Was ist ein Thread?

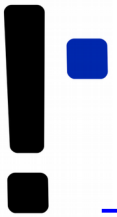
- Aktivitätsstrang in einem Prozess
- einer von mehreren
- Gemeinsamer Zugriff auf Daten des Prozess
- aber: Stack, Befehlszähler, Stack Pointer, Hardware-Register (Kontext) separat pro Thread
- Scheduler verwaltet auch Threads – oder nicht (→ Kernel- oder User-Level-Threads)



Threads (2)

Warum Threads?

- Multi-Prozessor- bzw. Multi-Core-System: Mehrere Threads echt gleichzeitig aktiv
- Ist ein Thread durch I/O blockiert, arbeiten die anderen weiter
- Besteht Programm logisch aus parallelen Abläufen, ist die Programmierung mit Threads einfacher

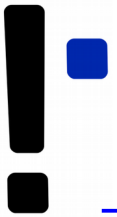


Threads (3): Beispiele

Zwei unterschiedliche Aktivitätsstränge: Komplexe Berechnung mit Benutzeranfragen

Ohne Threads:

```
while (1) {
   rechne_ein_bisschen ();
   if benutzereingabe (x) {
     bearbeite_eingabe (x);
   }
}
```



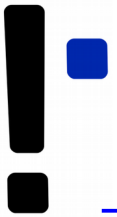
Threads (4): Beispiele

Komplexe Berechnung mit Benutzeranfragen

Mit Threads:

```
T1:

while (1) {
  rechne_alles ();
}
```

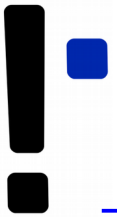
```
T2:

while(1) {
  if benutzereingabe (x) {
    bearbeite_eingabe (x);
  }
}
```



Threads (5): Beispiele

Server-Prozess, der viele Anfragen bearbeitet

- Prozess öffnet Port
- Für jede eingehende Verbindung: Neuen Thread erzeugen, der diese Anfrage bearbeitet
- Nach Verbindungsabbruch Thread beenden
- Vorteil: Keine Prozess-Erzeugung (Betriebssystem!) nötig



Threads (6): Beispiel MySQL

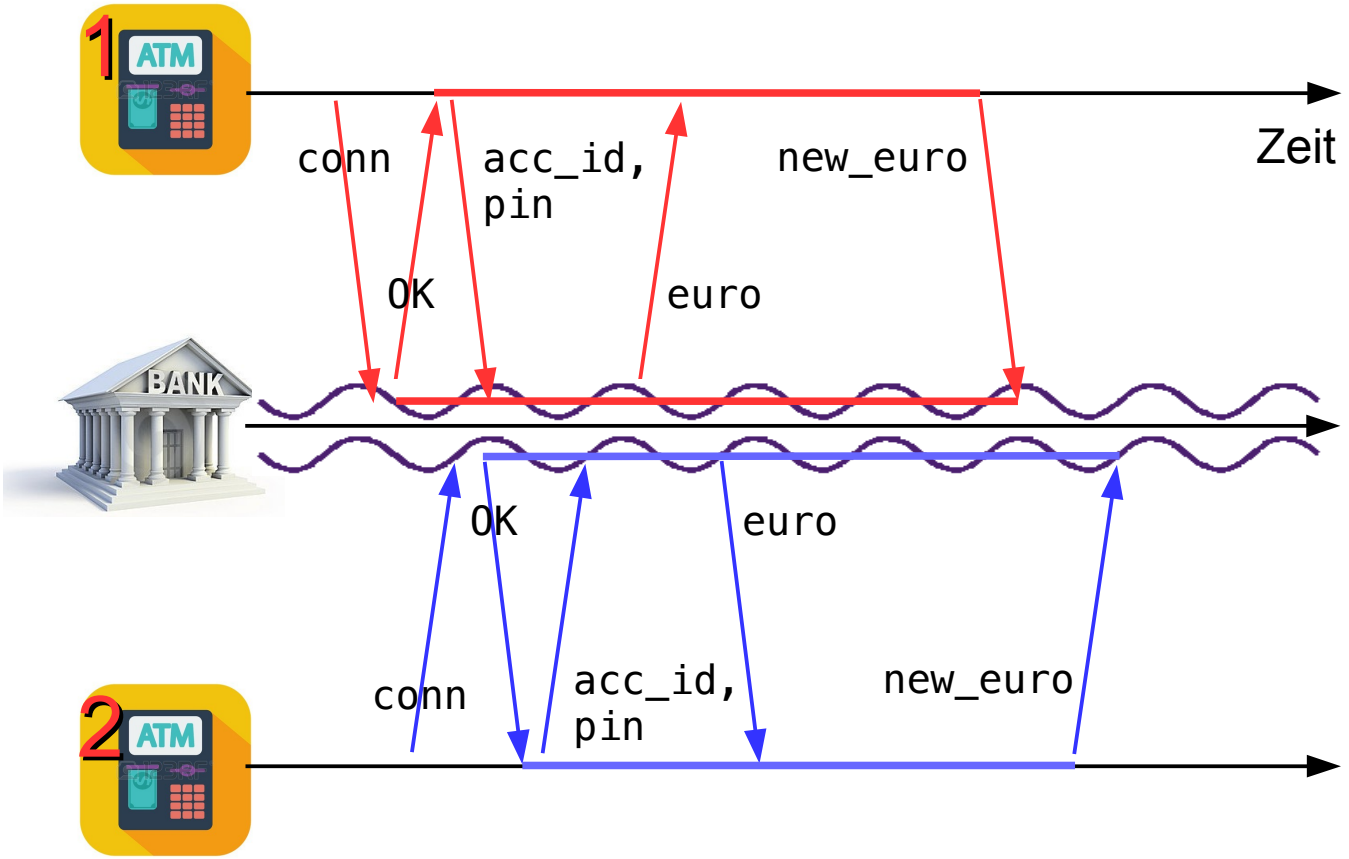
Ein Prozess, neun Threads:

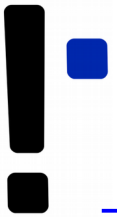
```
[esser:~]$ ps -eLf | grep mysql
UID        PID  PPID   LWP  C NLWP STIME TTY          TIME CMD
-------------------------------------------------------------------------------
root     27833     1 27833  0    1 Jan04 ?        00:00:00 /bin/sh /usr/bin/mysqld_safe
mysql    27870 27833 27870  0    9 Jan04 ?        00:00:00 /usr/sbin/mysqld --basedir=/usr
mysql    27870 27833 27872  0    9 Jan04 ?        00:00:00 /usr/sbin/mysqld --basedir=/usr
mysql    27870 27833 27873  0    9 Jan04 ?        00:00:00 /usr/sbin/mysqld --basedir=/usr
mysql    27870 27833 27874  0    9 Jan04 ?        00:00:00 /usr/sbin/mysqld --basedir=/usr
mysql    27870 27833 27875  0    9 Jan04 ?        00:00:00 /usr/sbin/mysqld --basedir=/usr
mysql    27870 27833 27876  0    9 Jan04 ?        00:00:00 /usr/sbin/mysqld --basedir=/usr
mysql    27870 27833 27877  0    9 Jan04 ?        00:00:00 /usr/sbin/mysqld --basedir=/usr
mysql    27870 27833 27878  0    9 Jan04 ?        00:00:00 /usr/sbin/mysqld --basedir=/usr
mysql    27870 27833 27879  0    9 Jan04 ?        00:00:00 /usr/sbin/mysqld --basedir=/usr

[esser:~]$
```

PID: Process ID
PPID: Parent Process ID
LWP: Light Weight Process ID (Thread-ID)
NLWP: Number of Light Weight Processes

Threads (7): Geldautomaten

- Server-Prozess mit mehreren Threads (~)

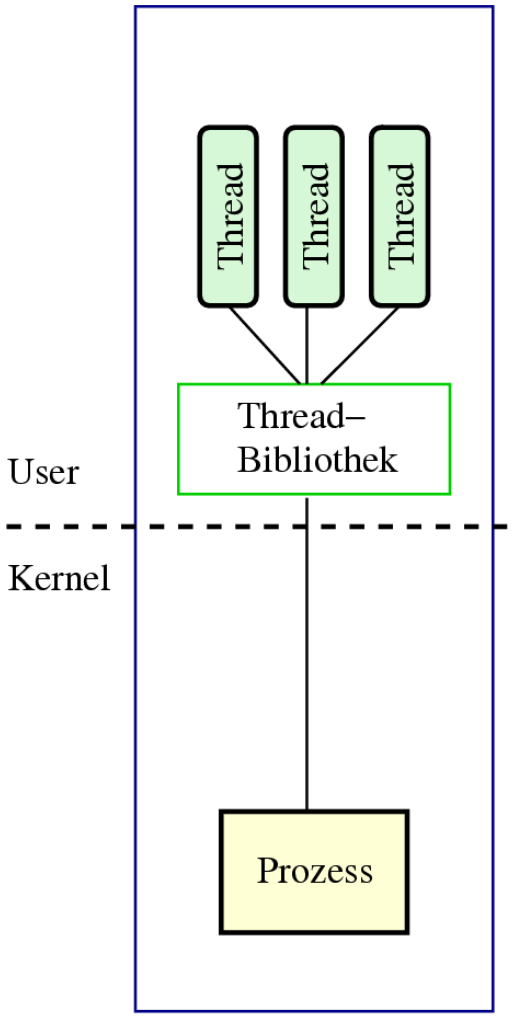




Threads (8): Geldautomaten

```
function main () {
    init (accounts[]);                    // Konten-DB
    do forever {
        conn = accept_atm_connection ();
        create_thread (handler, conn);
    }
}

function handler (int conn) {
    acc_no = recv (conn);
    pin    = recv (conn);
    if (!auth(acc_no,pin)) { terminate (conn); return; }

    euro = accounts[acc_no].euro;         // Abfrage
    send (conn, euro);
    recv (conn, new_euro);
    accounts[acc_no].euro = new_euro;     // Aktualisierung
    terminate (conn);
}
```

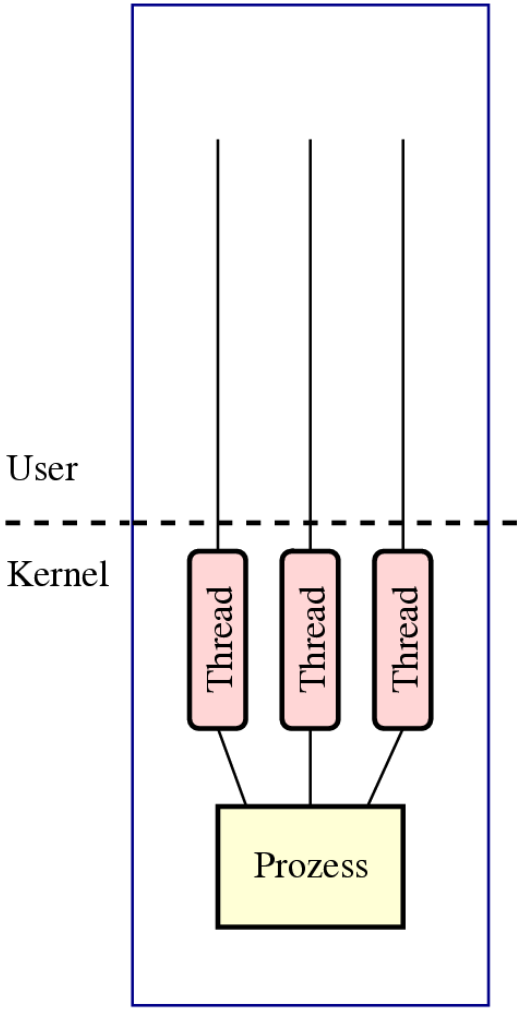
User Level Threads



User Level Threads

- BS kennt kein Thread-Konzept, verwaltet nur Prozesse
- Programm bindet Thread-Bibliothek ein, zuständig für:
  - Erzeugen, Zerstören
  - Scheduling
- Wenn ein Thread wegen I/O wartet, dann der ganze Prozess
- Ansonsten sehr effizient

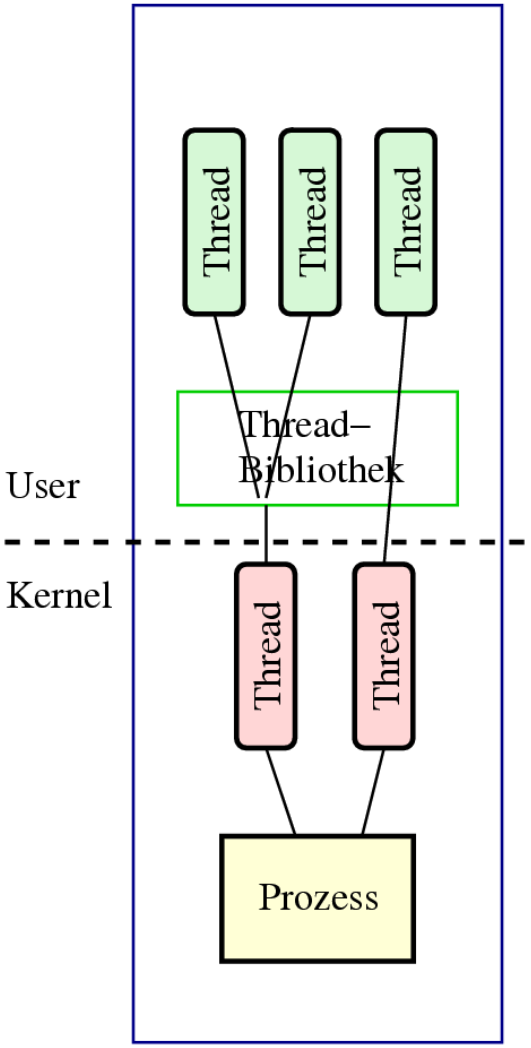
Kernel Level Threads



Kernel Level Threads

- BS kennt Threads
- BS verwaltet die Threads:
  - Erzeugen, Zerstören
  - Scheduling
- I/O eines Threads blockiert nicht die übrigen
- Aufwendig: Context Switch zwischen Threads ähnlich komplex wie bei Prozessen

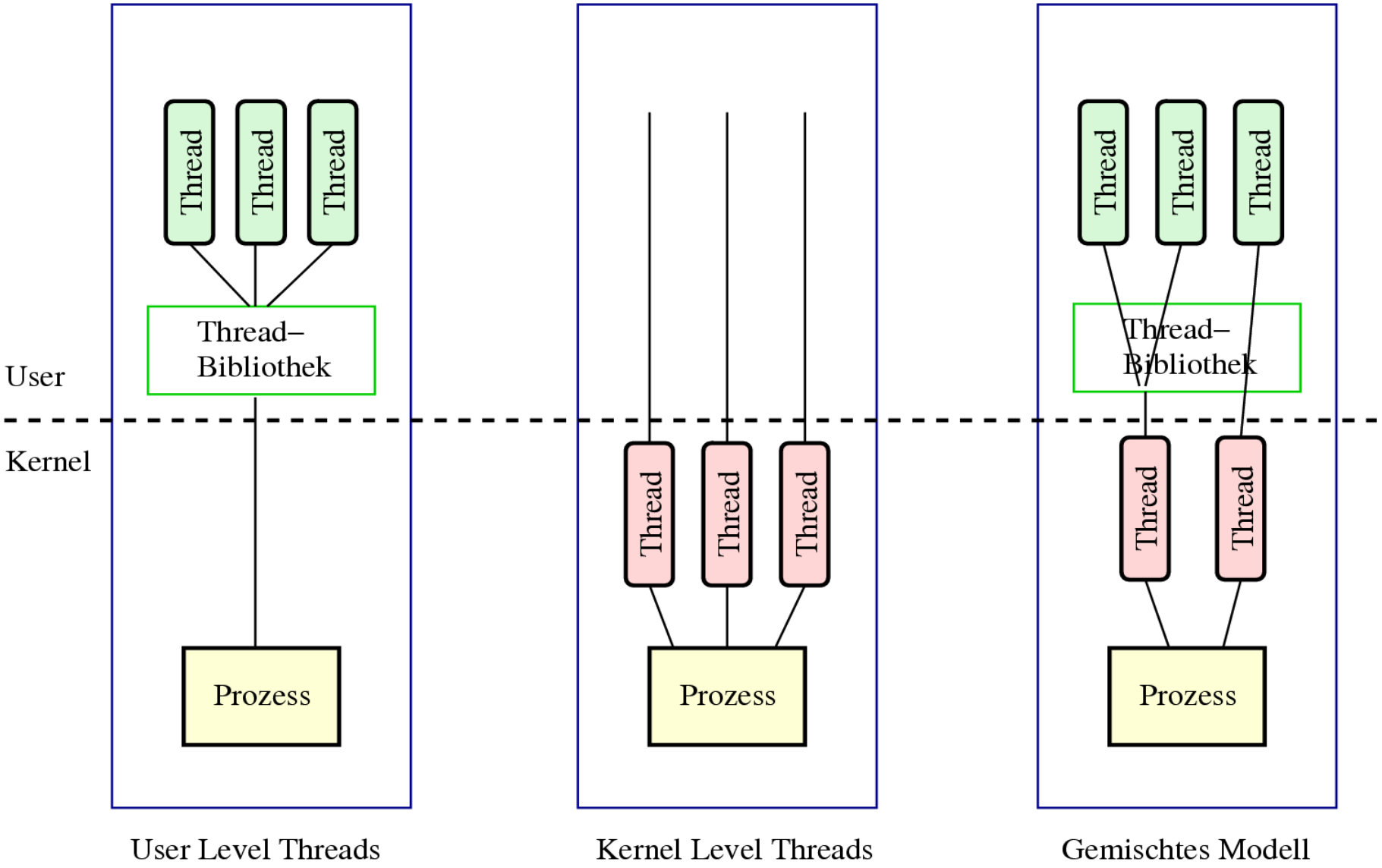
Gemischte Threads



Gemischtes Modell

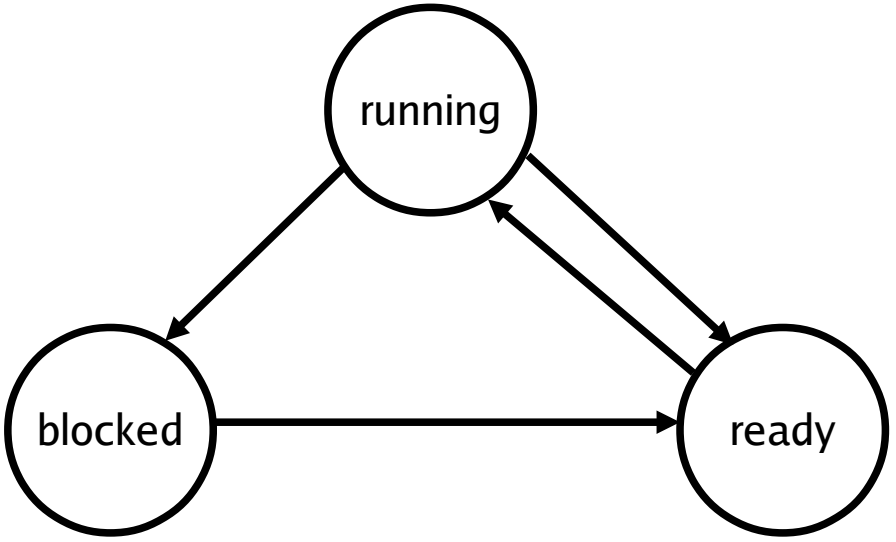
- Beide Ansätze kombinieren
- KL-Threads + UL-Threads
- Thread-Bibliothek verteilt UL-Threads auf die KL-Threads
- z.B. I/O-Anteile auf einem KL-Thread
- Vorteile beider Welten:
  - I/O blockiert nur einen KL-Thread
  - Wechsel zwischen UL-Threads ist effizient
- SMP: Mehrere CPUs benutzen

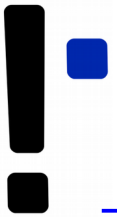
Thread-Typen, Übersicht



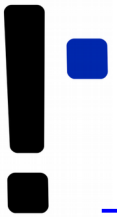
Thread-Zustände

- Prozess-Zustände suspended, swapped etc. nicht auf Threads übertragbar (warum nicht?)
- Darum nur drei Thread-Zustände





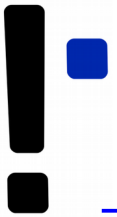
Prozesse und Threads (Praxis, Entwicklersicht)



Prozesse und Threads erzeugen (1/11)

Neuer Prozess: `fork()`

```
main() {
  int pid = fork();   /* Sohnprozess erzeugen */
  if (pid == 0) {
    printf("Ich bin der Sohn, meine PID ist %d.\n", getpid() );
  }
  else {
    printf("Ich bin der Vater, mein Sohn hat die PID %d.\n", pid);
  }
}
```



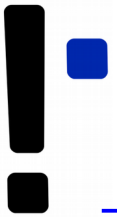
Prozesse und Threads erzeugen (2/11)

Anderes Programm starten: `fork + exec`

```
main() {
  int pid=fork();   /* Sohnprozess erzeugen */
  if (pid == 0) {
       /* Sohn startet externes Programm */
       execl( "/usr/bin/gedit", "/etc/fstab", (char *) 0 );
     }
  else {
       printf("Es sollte jetzt ein Editor starten...\n");
     }
}
```

Andere Betriebssysteme oft nur: „spawn“

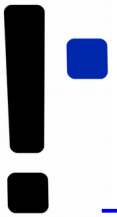
```
main() {
  WinExec("notepad.exe", SW_NORMAL);   /* Sohn erzeugen */
}
```



Prozesse und Threads erzeugen (3/11)

Warten auf Sohn-Prozess: `wait ()`

```
#include <unistd.h>          /* sleep()                                  */

main()
{
  int pid=fork();            /* Sohnprozess erzeugen                     */
  if (pid == 0)
     {
       sleep(2);             /* 2 sek. schlafen legen                    */
       printf("Ich bin der Sohn, meine PID ist  %d\n", getpid() );
     }
  else
     {
       printf("Ich bin der Vater, mein Sohn hat die PID  %d\n", pid);
       wait();               /* auf Sohn warten */
     }
}
```

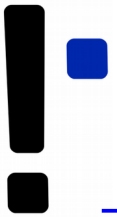


Prozesse und Threads erzeugen (4/11)

Wirklich mehrere Prozesse:

Nach `fork ()` zwei Prozesse in der Prozessliste

```
> pstree | grep simple
    ... -bash---simplefork---simplefork

> ps w | grep simple
25684 pts/16 S+         0:00 ./simplefork
25685 pts/16 S+         0:00 ./simplefork
```

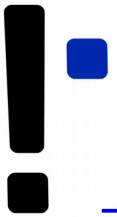


Prozesse und Threads erzeugen (5/11)

Linux: `pthread`-Bibliothek (POSIX Threads)

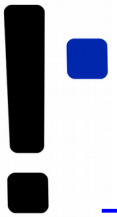
	Thread	Prozess
Erzeugen	`pthread_create()`	`fork()`
Auf Ende warten	`pthread_join()`	`wait()`

- Bibliothek einbinden:
  `#include <pthread.h>`
- Kompilieren:
  `gcc -lpthread -o prog prog.c`



Prozesse und Threads erzeugen (6/11)

- Neuer Thread:
  `pthread_create()` erhält als Argument eine Funktion, die im neuen Thread läuft.
- Auf Thread-Ende warten:
  `pthread_join()` wartet auf einen *bestimmten* Thread.



Prozesse und Threads erzeugen (7/11)

1. Thread-Funktion definieren:

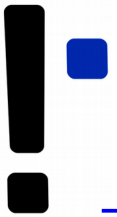
```
void *thread_funktion(void *arg) {
   ...
   return ...;
}
```

2. Thread erzeugen:

```
pthread_t thread;

if ( pthread_create( &thread, NULL,
      thread_funktion, NULL) ) {
    printf("Fehler bei Thread-Erzeugung.\n");
    abort();
}
```

Prozesse und Threads erzeugen (8/11)

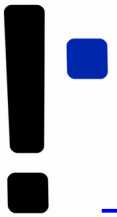
```
#include <pthread.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>

void *thread_function1(void *arg) {
 int i;
 for ( i=0; i<10; i++ ) {
  printf("Thread 1 sagt Hi!\n");
  sleep(1);
  }
  return NULL;
}

void *thread_function2(void *arg) {
 int i;
 for ( i=0; i<10; i++ ) {
  printf("Thread 2 sagt Hallo!\n");
  sleep(1);
 }
 return NULL;
}

int main(void) {

 pthread_t mythread1;
 pthread_t mythread2;

 if ( pthread_create( &mythread1, NULL,
    thread_function1, NULL) ) {
  printf("Fehler bei Thread-Erzeugung.");
  abort();
 }
 sleep(5);

 if ( pthread_create( &mythread2, NULL,
    thread_function2, NULL) ) {
  printf("Fehler bei Thread-Erzeugung .");
  abort();
 }

 sleep(5);

 printf("bin noch hier...\n");

 if ( pthread_join ( mythread1, NULL ) ) {
  printf("Fehler beim Join.");
  abort();
 }

 printf("Thread 1 ist weg\n");

 if ( pthread_join ( mythread2, NULL ) ) {
  printf("Fehler beim Join.");
  abort();
 }

 printf("Thread 2 ist weg\n");

 exit(0);

}
```



Prozesse und Threads erzeugen (9/11)

Keine „Vater-“ oder „Kind-Threads“

- POSIX-Threads kennen keine Verwandtschaft wie Prozesse (Vater- und Sohnprozess)
- Zum Warten auf einen Thread ist Thread-Variable nötig: `pthread_join (`*`thread`*`, ..)`

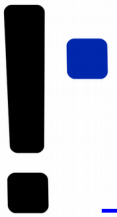


Prozesse und Threads erzeugen (10/11)

Prozess mit mehreren Threads:

- Nur ein Eintrag in normaler Prozessliste
- Status: „l“, multi-threaded
- Über `ps -eLf` Thread-Informationen
  - NLWP: Number of light weight processes
  - LWP: Thread ID

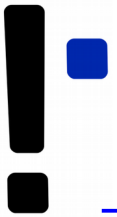
```
> ps auxw | grep thread
USER        PID %CPU %MEM    VSZ   RSS TTY      STAT START   TIME COMMAND
esser     12022  0.0  0.0  17976   436 pts/15   Sl+  22:58   0:00 ./thread

> ps -eLf | grep thread
UID         PID  PPID   LWP  C NLWP STIME TTY          TIME CMD
esser     12166  4031 12166  0    3 23:01 pts/15   00:00:00 ./thread1
esser     12166  4031 12167  0    3 23:01 pts/15   00:00:00 ./thread1
esser     12166  4031 12177  0    3 23:01 pts/15   00:00:00 ./thread1
```



Prozesse und Threads erzeugen (11/11)

Unterschiedliche Semantik:

- Prozess erzeugen mit `fork ()`
  - erzeugt zwei (fast) identische Prozesse,
  - beide Prozesse setzen Ausführung an gleicher Stelle fort (nach Rückkehr aus `fork`-Aufruf)
- Thread erzeugen mit `pthread_create (..., funktion, ...)`
  - erzeugt neuen Thread, der in die angeg. Funktion springt
  - erzeugender Prozess setzt Ausführung hinter `pthread_create`-Aufruf fort



Prozessliste (1/8)

Kernel unterscheidet nicht zwischen Prozessen und Threads.

- Doppelt verkettete, ringförmige Liste
- Jeder Eintrag vom Typ `struct task_struct`
- Typ definiert in `include/linux/sched.h`
- Enthält alle Informationen, die Kernel benötigt
- `task_struct`-Definition 132 Zeilen lang!
- Maximale PID: 32767 (short int)

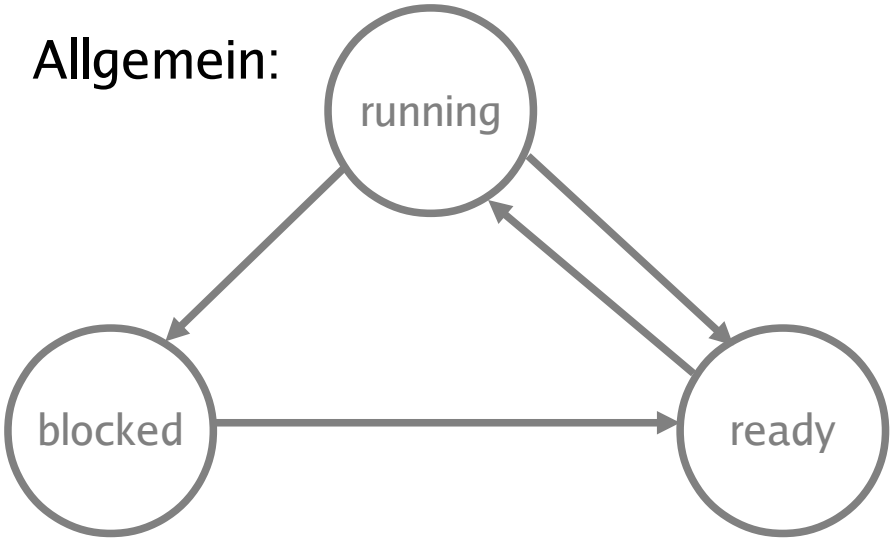
Prozessliste (2/8)

Auszug aus *include/linux/sched.h*:

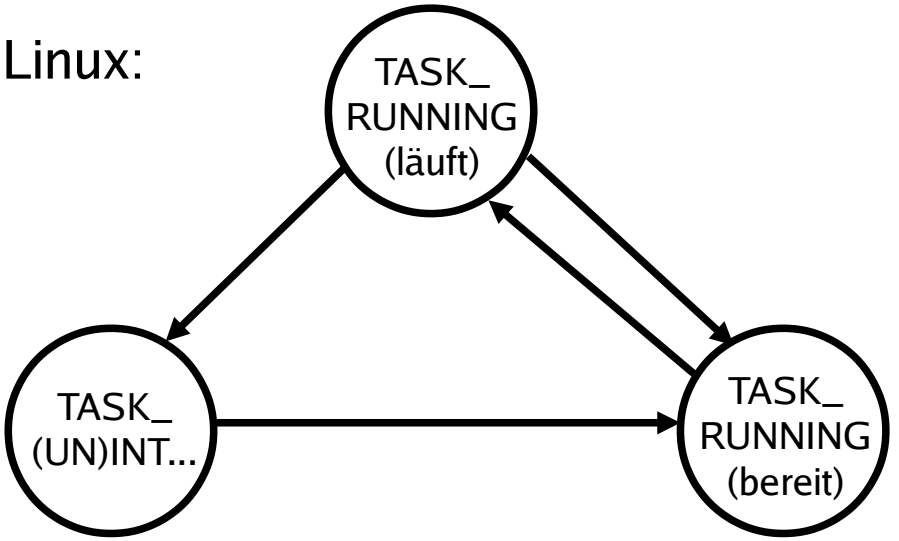
```
#define TASK_RUNNING            0
#define TASK_INTERRUPTIBLE      1
#define TASK_UNINTERRUPTIBLE    2
#define TASK_STOPPED            4
#define TASK_TRACED             8
/* in tsk->exit_state */
#define EXIT_ZOMBIE             16
#define EXIT_DEAD               32
/* in tsk->state again */
#define TASK_NONINTERACTIVE     64
#define TASK_DEAD               128
```

- TASK_RUNNING: ready oder running
- TASK_INTERRUPTIBLE: entspricht blocked
- TASK_UNINTERRUPTIBLE: auch blocked
- TASK_STOPPED: angehalten (z. B. von einem Debugger)
- TASK_ZOMBIE: beendet, aber Vater hat Rückgabewert nicht gelesen

Allgemein:



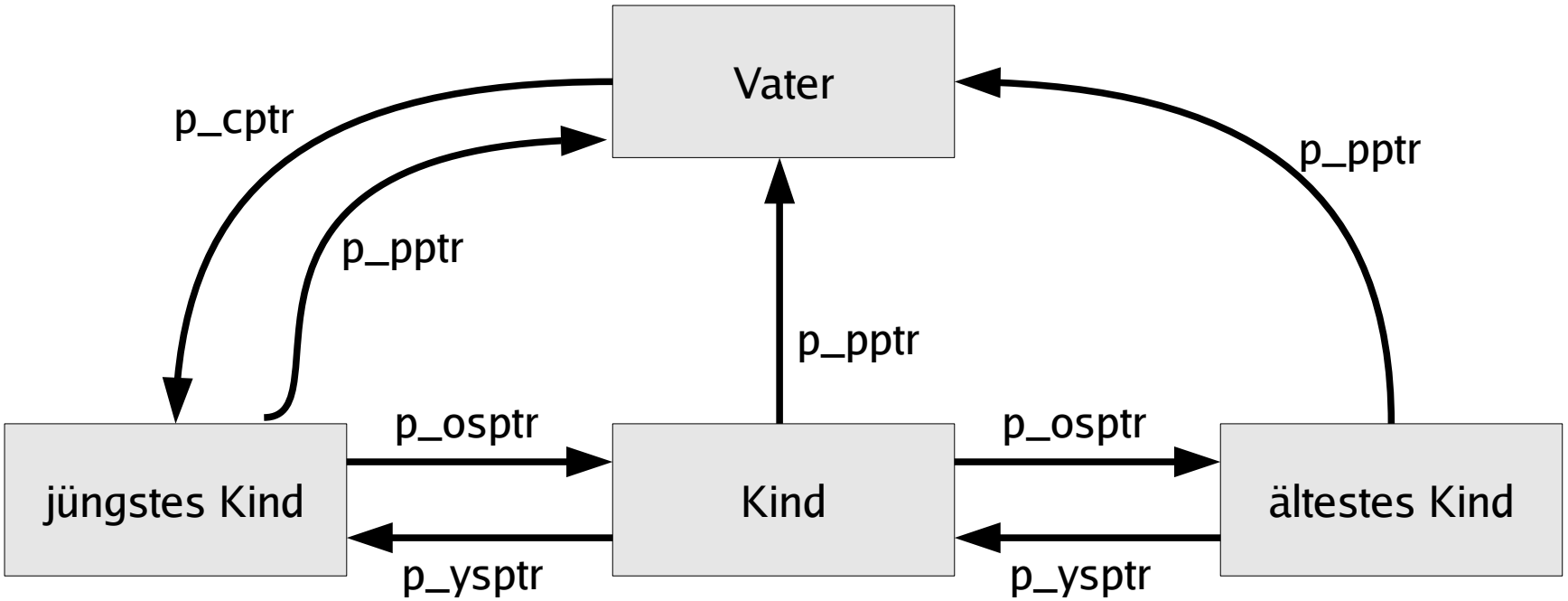
Linux:

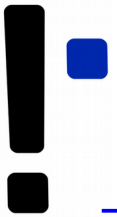


Prozessliste (3/8)

Verwandtschaftsverhältnisse (alte Linux-Version)

```
struct task_struct {
  [...]
  struct task_struct *p_opptr, *p_pptr, *p_cptr, *p_ysptr, *p_osptr;
```





Prozessliste (4/8)

Verwandtschaftsverhältnisse (neue Linux-Version)

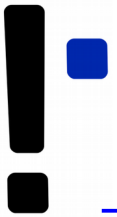
```
struct task_struct {
  [...]
  struct task_struct *parent;  /* parent process */
  struct list_head children;   /* list of my children */
  struct list_head sibling;    /* linkage in my parent's children list */
```

Zugriff auf alle Kinder:

```
list_for_each(list, &current->children) {
  task = list_entry(list, struct task_struct, sibling);
  /* task zeigt jetzt auf eines der Kinder */
}
```

Vom aktuellen Pfad durch den Prozessbaum bis zu `init`:

```
for (task = current; task != &init_task; task = task->parent) {
  ...
}
```



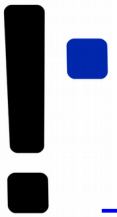
Prozessliste (5/8)

Prozessgruppen und Sessions

```
struct task_struct {
  [...]
  struct task_struct *group_leader;
       /* threadgroup leader */
  [...]
  /* signal handlers */
  struct signal_struct *signal;
```

```
struct signal_struct {
  /* job control IDs */
  pid_t pgrp;          Process Group ID
  pid_t tty_old_pgrp;
  pid_t session;       Session ID
  /* boolean value for session
     group leader */
  int leader;
```

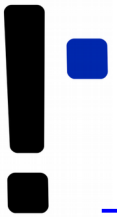
- Jeder Prozess Mitglied einer Prozessgruppe
- Process Group ID (PGID) – `ps j`
- `current->signal->pgrp`



Prozessliste (6/8)

Prozessgruppen

- Signale an alle Mitglieder einer Prozessgruppe:
  `killpg(pgrp, sig);`
- Warten auf Kinder aus der eigenen Prozessgruppe:
  `waitpid(0, &status, ...);`
- oder einer speziellen Prozessgruppe:
  `waitpid(-pgrp, &status, ...);`



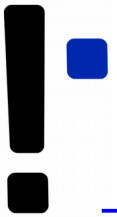
Prozessliste (7/8)

Sessions

- Meist beim Starten einer Login-Shell neu erzeugt
- Alle Prozesse, die aus dieser Shell gestartet werden, gehören zur Session
- Gemeinsames „kontrollierendes TTY“

Prozessliste (8/8)

```
> ps j
 PPID   PID  PGID   SID TTY      TPGID STAT   UID   TIME COMMAND
19287  7628  7628 19287 pts/8    19287 S      500   0:00 /bin/sh /usr/bin/mozilla -mail
 7628  7637  7628 19287 pts/8    19287 Sl     500  20:50 /opt/moz/lib/mozilla-bin -mail
 9634 10095 10095 10095 tty1     10114 Ss     500   0:00 -bash
10095 10114 10114 10095 tty1     10114 S+     500   0:00 /bin/sh /usr/X11R6/bin/startx
10095 10115 10114 10095 tty1     10114 S+     500   0:00 tee /home/esser/.X.err
10114 10135 10114 10095 tty1     10114 S+     500   0:00 xinit /home/esser/.xinitrc
10135 10151 10151 10095 tty1     10114 S      500   0:00 /bin/sh /usr/X11R6/bin/kde
10151 10238 10151 10095 tty1     10114 S      500   0:00 kwrapper ksmserver
10258 10270 10270 10270 pts/2    10270 Ss+    500   0:00 bash
10276 10278 10278 10278 pts/4    10278 Ss+    500   0:00 bash
10260 10284 10284 10284 pts/5    10284 Ss+    500   0:00 bash
10275 10292 10292 10292 pts/6    10989 Ss     500   0:00 bash
10259 10263 10263 10263 pts/1    10263 Ss+    500   0:00 bash
10263 28869 28869 10263 pts/1    10263 S      500   0:16 konqueror /media/usbdisk/dcim
10263 28872 28872 10263 pts/1    10263 S      500   0:13 konqueror /home/esser
29201 29203 29203 29203 pts/7    29203 Ss+    500   0:00 bash
 4822  4823  4823  4823 pts/14    4823 Ss+    500   0:00 -bash
 4823 31118 31118  4823 pts/14    4823 S      500   0:00 nedit kernel/sched.c
 4823 31297 31297  4823 pts/14    4823 S      500   0:00 nedit kernel/fork.c
23115 32703 32703 23115 pts/13   32703 R+     500   0:00 ps j
```



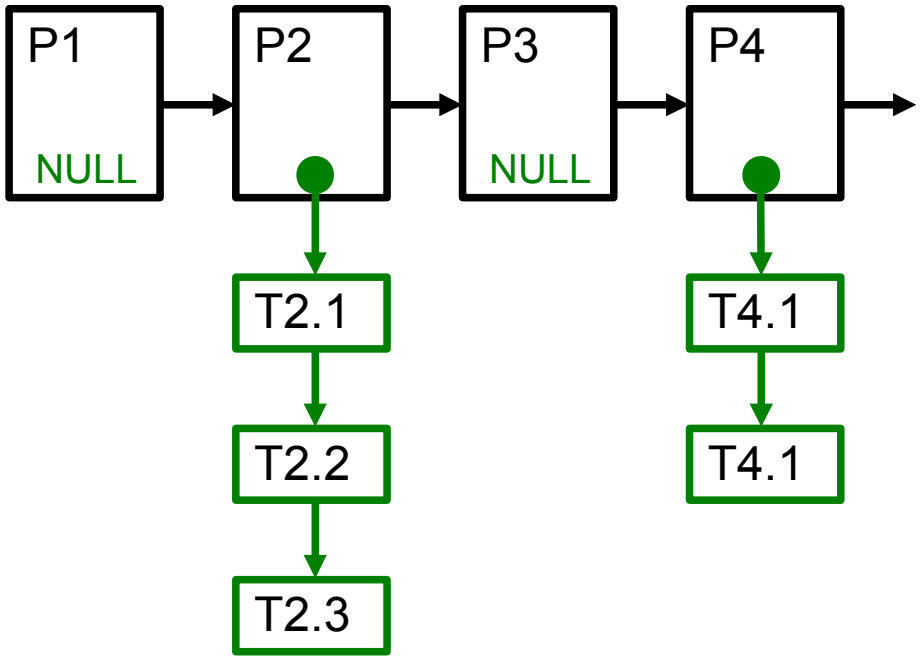
Threads im Kernel (1/2)

- Linux verwendet für Threads und Prozesse die gleichen Verwaltungsstrukturen (task list)
- Thread: Prozess, der sich mit anderen Prozessen bestimmte Ressourcen teilt, z. B.
  - virtueller Speicher
  - offene Dateien
- Jeder Thread hat `task_struct` und sieht für den Kernel wie ein normaler Prozess aus

Threads im Kernel (2/2)

Fundamental anders als z. B. Windows und Solaris

Modell 1:
reine Prozesslisten



Modell 2 (Linux):
Prozesse + Threads gemischt