

# Betriebssysteme

WS 2014/15

**Hans-Georg Eßer**  
Dipl.-Math., Dipl.-Inform.

**Foliensatz D:**

v1.0, 2014/10/31

- Interrupts
- System Calls

# Interrupts

# Übersicht: BS Praxis und BS Theorie

- |                              |                                |
|------------------------------|--------------------------------|
| Einführung                   | <b>System Calls</b> ← Folien D |
| Shell                        | Scheduler / Prioritäten        |
| Dateiverwaltung              | Synchronisation                |
| Filter                       | Speicherverwaltung             |
| C-Compiler                   | Software-Verwaltung            |
| Prozesse / Jobs              | Partitionen                    |
| Threads                      | Auskunft                       |
| <b>Interrupts</b> → Folien D | User, Gruppen, Rechte          |

# Motivation (1)

- Festplattenzugriff ca. um Faktor 1.000.000 langsamer als Ausführen einer CPU-Anweisung
- Naiver Ansatz für Plattenzugriff:

```

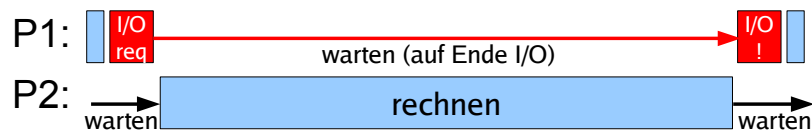
naiv () {
    rechne (500 ZE);
    sende_anfrage_an (disk);
    antwort = false;
    while ( ! antwort ) {
        /* diese Schleife rechnet 1.000.000 ZE lang */
        antwort = test_ob_fertig (disk);
    }
    rechne (500 ZE);
    return 0;
}
    
```

- Naiver Ansatz heißt „Pollen“: in Dauerschleife ständig wiederholte Geräteabfrage
- Pollen verbraucht sehr viel Rechenzeit:



- Besser wäre es, in der Wartezeit etwas anderes zu tun
- Auch bei Parallelbearbeitung mehrerer Prozesse: Polling immer noch ungünstig

- Idee: Prozess, der I/O-Anfrage gestartet hat, solange schlafen legen, bis die Anfrage bearbeitet ist – in der Zwischenzeit was anderes tun



- Woher weiß das System,
  - wann die Anfrage bearbeitet ist, also
  - wann der Prozess weiterarbeiten kann?

- Lösung: Interrupts – bestimmte Ereignisse können den „normalen“ Ablauf unterbrechen
- Nach jeder ausgeführten CPU-Anweisung prüfen, ob es einen Interrupt gibt (gab)

- **I/O (Eingabe/Ausgabe, asynchrone Interrupts)**  
Meldung vom I/O-Controller: „Aktion ist abgeschlossen“
- **Timer**
- **Hardware-Fehler**  
Stromausfall, RAM-Paritätsfehler
- **Software-Interrupts (Exceptions, Traps, synchrone Interrupts)**  
Falscher Speicherzugriff, Division durch 0, unbekannte CPU-Instruktion, ...

### Vorteile

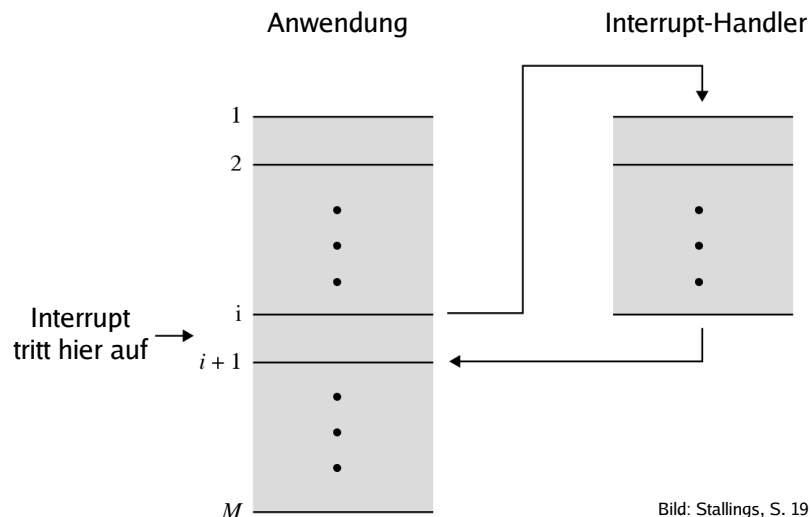
- **Effizienz**  
I/O-Zugriff sehr langsam → sehr lange Wartezeiten, wenn Prozesse warten, bis I/O abgeschlossen ist
- **Programmierlogik**  
Nicht immer wieder Gerätestatus abfragen (Polling), sondern schlafen, bis passender Interrupt kommt

### Nachteile

- **Mehraufwand**  
Kommunikation mit Hardware wird komplexer, Instruction Cycle erhält zusätzlichen Schritt

### Grundsätzlich

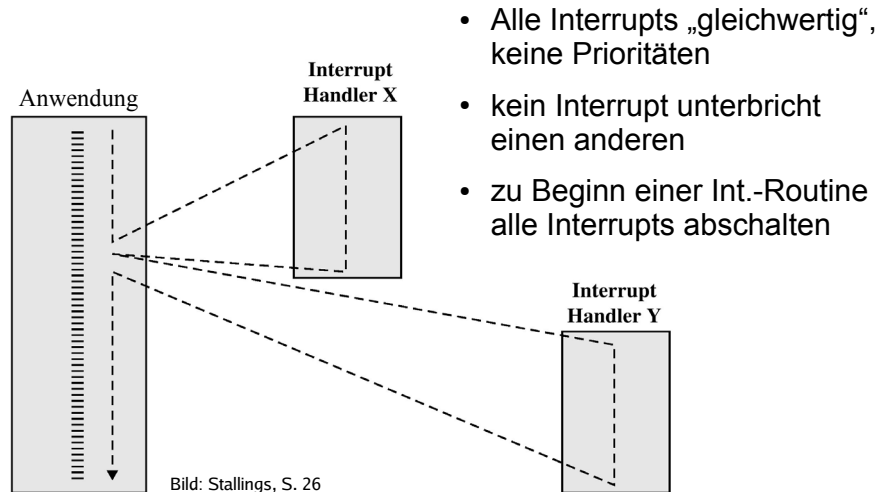
- Interrupt tritt auf
- Laufender Prozess wird (nach aktuellem Befehl) unterbrochen, BS übernimmt Kontrolle
- BS speichert Daten des Prozesses (wie bei Prozesswechsel → Scheduler)
- BS ruft Interrupt-Handler auf
- Danach: Scheduler wählt Prozess aus, der weiterarbeiten darf (z. B. den unterbrochenen)



### Was tun bei Mehrfach-Interrupts?

#### Drei Möglichkeiten

- Während Abarbeitung eines Interrupts alle weiteren ausschließen (DI, disable interrupts) → Interrupt-Warteschlange
- Während Abarbeitung andere Interrupts zulassen
- Interrupt-Prioritäten: Nur Interrupts mit höherer Priorität unterbrechen solche mit niedrigerer



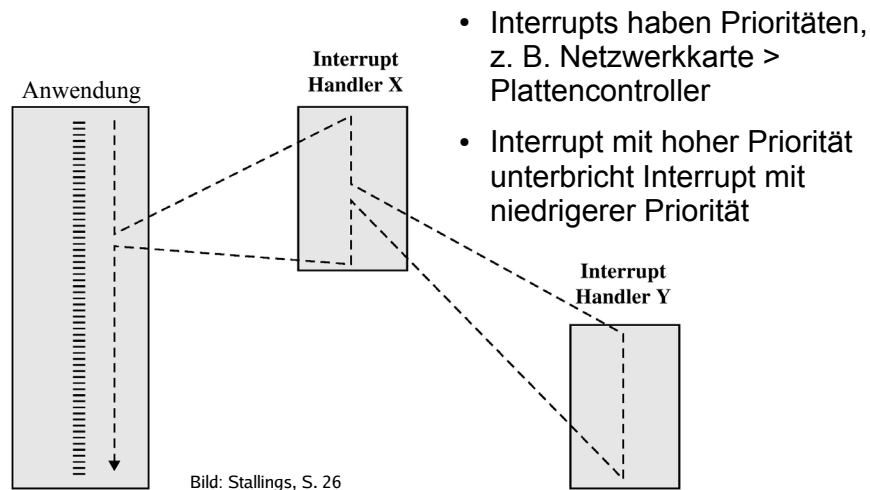
- Alle Interrupts „gleichwertig“, keine Prioritäten
- kein Interrupt unterbricht einen anderen
- zu Beginn einer Int.-Routine alle Interrupts abschalten

### • CPU-lastiger Prozess

- Prozess benötigt überwiegend CPU-Rechenzeit und vergleichsweise wenig I/O-Operationen
- Längere Rechenphasen werden nur gelegentlich durch I/O-Wartezeiten unterbrochen

### • I/O-lastiger Prozess

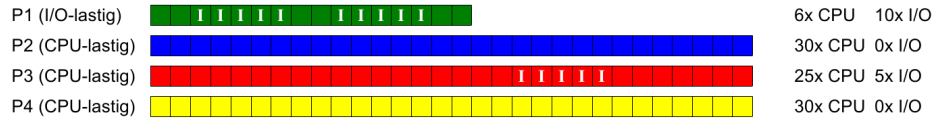
- Prozess führt viele I/O-Operationen durch und benötigt vergleichsweise wenig Rechenzeit
- Sehr kurze Rechenphasen wechseln sich mit häufigen Wartezeiten auf I/O ab



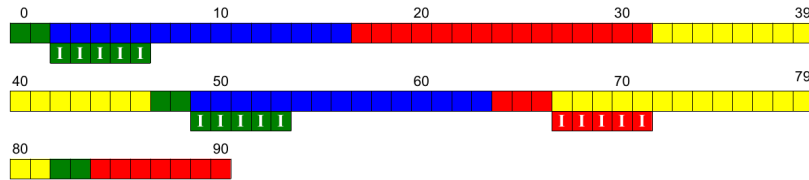
- Interrupts haben Prioritäten, z. B. Netzwerkkarte > Plattencontroller
- Interrupt mit hoher Priorität unterbricht Interrupt mit niedrigerer Priorität

### Multitasking und Interrupts

- Multitasking verbessert CPU-Nutzung:
  - I/O-lastiger Prozess wartet auf I/O-Events,
  - CPU-lastiger Prozess rechnet währenddessen weiter
- Prozess stößt I/O-Operation an und blockiert (wartet darauf, dass das BS ihn wieder auf „bereit“ setzt und irgendwann fortsetzt)
- optimale Performance: gute Mischung I/O- und CPU-lastiger Prozesse



Ausführreihenfolge mit Round Robin, Zeitquantum 15:



Prozess	CPU-Zeit	I/O-Zeit	Summe	Laufzeit	Wartezeit *)
P1	6	10	16	84	68
P2	30	0	30	64	34
P3	25	5	30	91	61
P4	30	0	30	82	52

# Praxis: Interrupts unter Linux

```
[esser@server ~]$ cat /proc/interrupts
CPU0
 0: 3353946487      XT-PIC timer
 2: 0              XT-PIC cascade
 3: 4663           XT-PIC NVidia CK804
 5: 159275991      XT-PIC ohci1394, nvidia
 7: 971775         XT-PIC hsfpcibasic2
 8: 2              XT-PIC rtc
 9: 0              XT-PIC acpi
10: 31052          XT-PIC libata, ohci_hcd
11: 197906977      XT-PIC libata, ehci_hcd
12: 16904921       XT-PIC eth0
14: 60349322       XT-PIC ide0
NMI: 0
LOC: 0
ERR: 0
MIS: 0
```

```
[esser@quad:~]$ cat /proc/interrupts
          CPU0      CPU1      CPU2      CPU3
 0: 5224          3          1          1  IO-APIC-edge timer
 1: 298114       774        793        793  IO-APIC-edge i8042
 3: 9            8          6          9  IO-APIC-edge
 4: 8            9          8          6  IO-APIC-edge
 8: 0            0          0          1  IO-APIC-edge rtc0
 9: 0            0          0          0  IO-APIC-fasteoi acpi
12: 3070145     16539      16542     16485  IO-APIC-edge i8042
16: 2760924     881        904        886  IO-APIC-fasteoi uhci_hcd:usb1, nvidia
18: 24122388    6538      6698      6647  IO-APIC-fasteoi ehci_hcd:usb6, uhci_hcd:usb7
19: 281          28         27         10  IO-APIC-fasteoi uhci_hcd:usb3, uhci_hcd:usb5
21: 22790        0          0          0  IO-APIC-fasteoi uhci_hcd:usb2
22: 7786588     10464141  8251870   8439964  IO-APIC-fasteoi HDA Intel
23: 899          0          1          1  IO-APIC-fasteoi uhci_hcd:usb4, ehci_hcd:usb8
221: 9519152     10751650  9745810   10326363  PCI-MSI-edge eth0
222: 14462926    38205     38095     38178  PCI-MSI-edge ahci
NMI: 0
LOC: 724999305  786034088  748693018  748218173  Local timer interrupts
RES: 5334382   3576152   3464671   3357556   Rescheduling interrupts
CAL: 2111668   4233550   4067655   3871450   function call interrupts
TLB: 101757   113319   88752   107777   TLB shutdowns
TRM: 0
SPU: 0
ERR: 0
MIS: 0
```

**Für jedes Gerät:**

- Interrupt Request (IRQ) Line
- Interrupt Handler (Interrupt Service Routine, ISR) → Teil des Gerätetreibers
- C-Funktion
- läuft in speziellem Context (Interrupt Context)
- „top half“ und „bottom half“

**Tasklet (bottom half)**

- Tasklets führen längere Berechnungen durch, die zur Interrupt-Verarbeitung gehören – dabei sind Interrupts zugelassen
- Tasklet ist kein Prozess (struct tasklet\_struct), läuft direkt im Kernel; im Interrupt-Context
- Zwei Prioritäten:
  - *tasklet\_hi\_schedule*: startet direkt nach ISR
  - *tasklet\_schedule*: startet erst, wenn kein anderer Soft IRQ mehr anliegt

**„top half“ und „bottom half“****top half**

- Interrupt handler
- startet sofort, erledigt zeitkritische Dinge
- bestätigt (der Hardware) den Erhalt des Interrupts, setzt Gerät zurück etc.
- erzeugt bottom half
- Alles andere → bottom half

**Mehr Informationen:**

- [1] Linux Kernel 2.4 Internals, Kapitel 2,  
[http://www.faqs.org/docs/kernel\\_2\\_4/lki-2.html](http://www.faqs.org/docs/kernel_2_4/lki-2.html)
- [2] J. Quade, E.-K. Kunst: „Linux-Treiber entwickeln“, dpunkt-Verlag,  
<http://ezs.kr.hsnr.de/TreiberBuch/html/>

- **System Call:** Mechanismus, über den ein Anwendungsprogramm Dienstleistungen des BS nutzt.
- Führt eine Anwendung einen System Call aus, schaltet das BS in den **Kernel-Modus** („privilegierten Modus“) um.
- Für viele Aufgaben (etwa Zugriff auf Geräte oder Kommunikation mit anderen Prozessen) sind Rechte nötig, die normale Anwendungen nicht besitzen (User mode vs. Kernel mode). Das geht dann nur mit System Calls.
- Oft implementiert über **Software Interrupt (Trap)**. Nach Interrupt Wechsel in den Kernel-Modus.
- System-Call-Nummer in ein Register eintragen und den Software-Interrupt auslösen

Beispiel für einen System Call:

Library-Funktion *fread()*

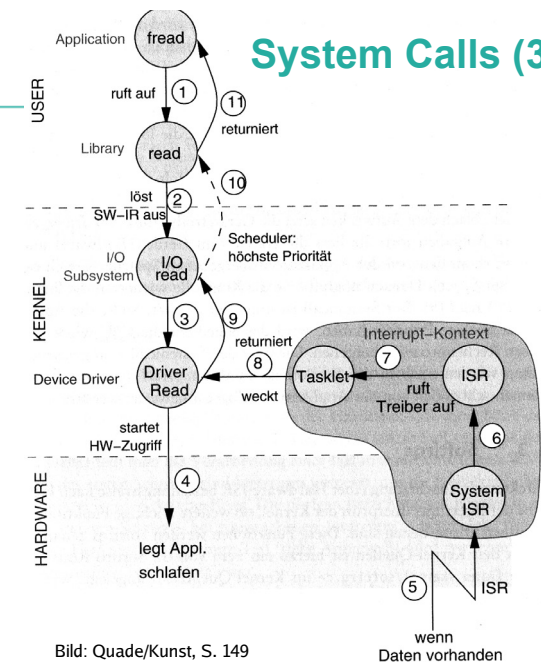


Bild: Quade/Kunst, S. 149

*/usr/include/asm/unistd\_32.h*: Über 300 System Calls

```

/*
 * This file contains the system call
 * numbers.
 */

#define __NR_restart_syscall 0
#define __NR_exit 1
#define __NR_fork 2
#define __NR_read 3
#define __NR_write 4
#define __NR_open 5
#define __NR_close 6
#define __NR_waitpid 7
#define __NR_creat 8
#define __NR_link 9
#define __NR_unlink 10
#define __NR_execve 11
#define __NR_chdir 12
#define __NR_time 13
#define __NR_mknod 14
#define __NR_chmod 15
#define __NR_lchown 16

#define __NR_break 17
#define __NR_oldstat 18
#define __NR_lseek 19
#define __NR_getpid 20
#define __NR_mount 21
#define __NR_umount 22
#define __NR_setuid 23
#define __NR_getuid 24
#define __NR_stime 25
#define __NR_ptrace 26
#define __NR_alarm 27
#define __NR_oldfstat 28
#define __NR_pause 29
#define __NR_utime 30
#define __NR_stty 31
#define __NR_gtty 32
#define __NR_access 33
#define __NR_nice 34
#define __NR_ftime 35
#define __NR_sync 36
#define __NR_kill 37
...
    
```

System Calls  
für Programmierer:  
Standardfunktionen in C

## open( ) Daten zum Lesen/Schreiben öffnen

```
int open(const char *pathname, int flags);
int open(const char *pathname, int flags, mode_t mode);
int creat(const char *pathname, mode_t mode);
```

Rückgabewert: File Descriptor

man 2 open

Beispiel:

```
fd = open("/tmp/datei.txt", O_RDONLY);
```

## Beispiel: read( ) und open( )

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#include <fcntl.h>
#include <unistd.h>
#include <stdio.h>
int main (void) {
    int len; int bufsiz=128; char line[bufsiz+1];
    line[bufsiz] = '\0';
    int fd = open( "/etc/fstab", O_RDONLY );
    while ( (len = read ( fd, line, bufsiz )) > 0 ) {
        if ( len < bufsiz ) { line[len]='\0'; }
        printf ("%s", line );
    }
    close(fd);
    return 0;
}
```

## read( ) Daten aus Datei (File Descriptor) lesen

```
ssize_t read(int fd, void *buf, size_t count);
```

Rückgabewert: Anzahl gelesene Bytes

man 2 read

Beispiel:

```
int bufsiz=128; char line[bufsiz+1];
int fd = open( "/etc/fstab", O_RDONLY );
int len = read ( fd, line, bufsiz );
```

## write( ) Daten in Datei (File Descriptor) schreiben

```
ssize_t write(int fd, void *buf, size_t count);
```

Rückgabewert: Anzahl geschriebene Bytes

man 2 write

Beispiel:

```
main() {
    char message[] = "Hello world\n";
    int fd = open( "/tmp/datei.txt",
        O_CREAT | O_WRONLY, S_IRUSR | S_IWUSR );
    write ( fd, message, sizeof(message) );
    close(fd);
    exit(0);
}
```



## close( ) Datei (File Descriptor) schließen

```
int close(int fd);
```

Rückgabewert: 0 bei Erfolg, sonst -1 (errno enthält dann Grund)

man 2 close

Beispiel:  
close(fd);

## fork( ) neuen Prozess starten

```
pid_t fork(void);
```

Rückgabewert: Child-PID (im Vaterprozess); 0 (im Sohnprozess); -1 (im Fehlerfall)

man fork

Beispiel:  
pid=fork();

## exit( ) Programm beenden

```
void exit(int status);
```

Kein Rückgabewert, aber *status* wird an aufrufenden Prozess weitergegeben.

man 3 exit

Beispiel:  
exit(0);

## exec( ) Anderes Programm im Prozess laden

```
int execl(const char *path, const char *arg, ...);  
int execlp(const char *file, const char *arg, ...);  
int execle(const char *path, const char *arg, ..., char * const envp[]);  
int execv(const char *path, char *const argv[]);  
int execvp(const char *file, char *const argv[]);
```

Rückgabewert: keiner (Funktion kehrt nicht zurück)  
Parameter arg0 (Name), arg1, ..., letztes Argument: NULL-Zeiger

man 3 exec

Beispiele:  
execl ("/usr/bin/vi", "", "/etc/fstab", (char \*) NULL);  
execlp ("vi", "", "/etc/fstab", (char \*) NULL);

Am Anfang jedes C-Programms:

```
#include <fcntl.h>  
#include <sys/types.h>  
#include <sys/stat.h>  
#include <stdlib.h>
```

*sys/stat.h* enthält z. B. S\_IRUSR, S\_IWUSR  
*fcntl.h* enthält z. B. O\_CREAT, O\_WRONLY