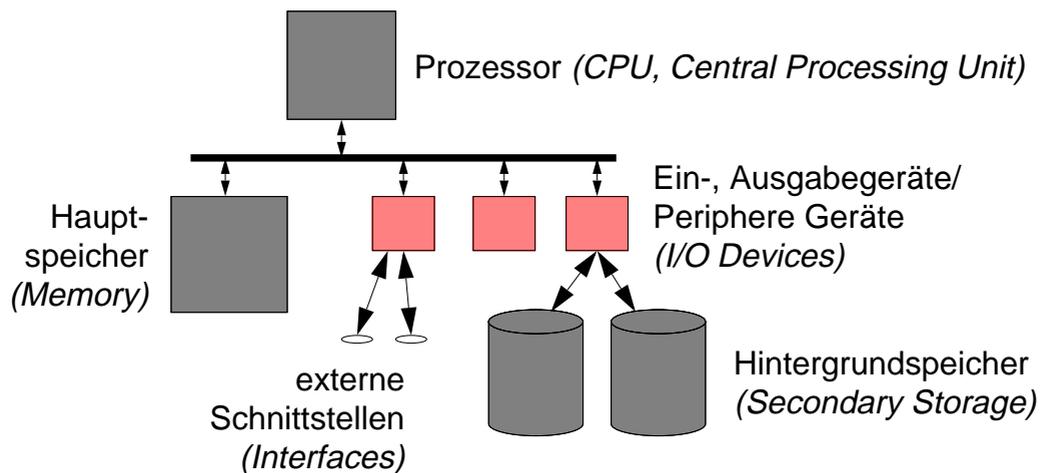


G Ein-, Ausgabe

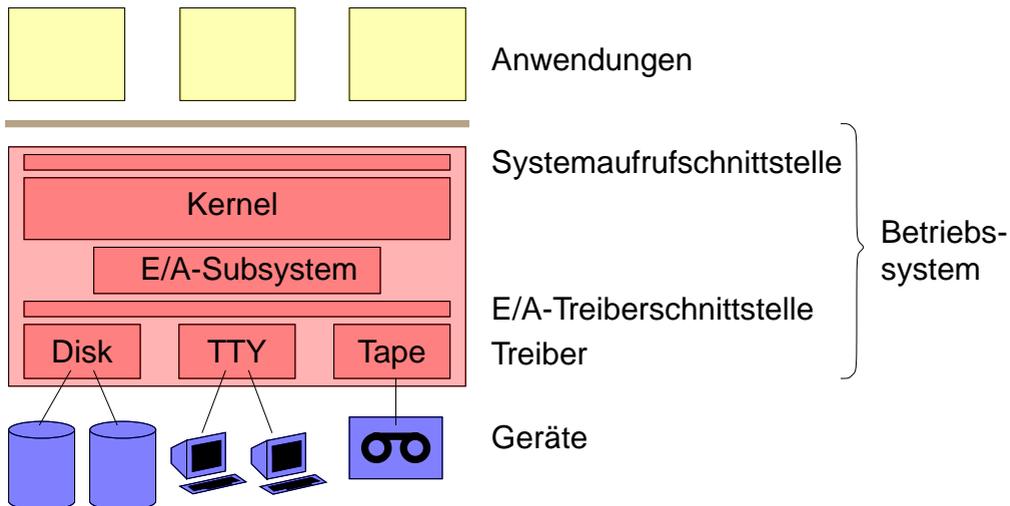
G Ein- und Ausgabe

■ Einordnung



1 Gerätezugang und Treiber

- Schichtung der Systemsoftware bis zum Gerät



Nach Vahalia, 1996

1.1 Geräterepäsentation in UNIX

- Periphere Geräte werden als Spezialdateien repräsentiert
 - ◆ Geräte können wie Dateien mit Lese- und Schreiboperationen angesprochen werden
 - ◆ Öffnen der Spezialdateien schafft eine Verbindung zum Gerät, die durch einen Treiber hergestellt wird
 - ◆ direkter Durchgriff vom Anwender auf den Treiber
- Blockorientierte Spezialdateien
 - ◆ Plattenlaufwerke, Bandlaufwerke, Floppy Disks, CD-ROMs
- Zeichenorientierte Spezialdateien
 - ◆ Serielle Schnittstellen, Drucker, Audiokanäle etc.
 - ◆ blockorientierte Geräte haben meist auch eine zusätzliche zeichenorientierte Repräsentation

1.1 Geräterepäsentation in UNIX (2)

- Eindeutige Beschreibung der Geräte durch ein Tupel:
(Gerätetyp, *Major Number*, *Minor Number*)
 - ◆ Gerätetyp: Block Device, Character Device
 - ◆ Major Number: Auswahlnummer für einen Treiber
 - ◆ Minor Number: Auswahl eines Gerätes innerhalb eines Treibers

1.1 Geräterepäsentation in UNIX (3)

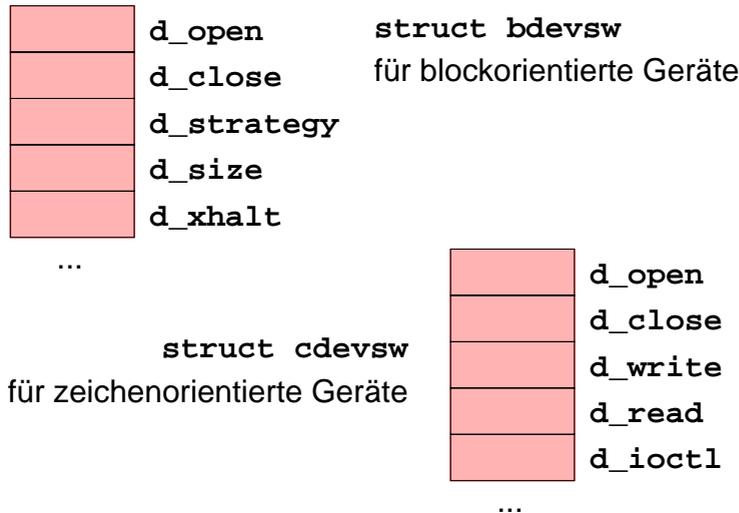
- Beispiel eines Kataloglisting von `/dev` (Ausschnitt)

```
crw----- 1 fzhauck 108, 0 Oct 16 1996 audio
crw----- 1 fzhauck 108,128 Oct 16 1996 audioc1
crw-rw-rw- 1 root 21, 0 May 3 1996 conslog
brw-rw-rw- 1 root 36, 2 Oct 16 1996 fd0
crw----- 1 fzhauck 17, 0 Oct 16 1996 mouse
crw-rw-rw- 1 root 13, 2 Jan 13 09:09 null
crw-rw-rw- 1 root 36, 2 Jul 2 1997 rfd0
crw-r----- 1 root 32, 0 Oct 16 1996 rsd3a
crw-r----- 1 root 32, 1 Oct 16 1996 rsd3b
crw-r----- 1 root 32, 2 Oct 16 1996 rsd3c
brw-r----- 1 root 32, 0 Oct 16 1996 sd3a
brw-r----- 1 root 32, 1 Oct 16 1996 sd3b
brw-r----- 1 root 32, 2 Oct 16 1996 sd3c
crw-rw-rw- 1 root 22, 0 Sep 19 09:11 tty
crw-rw-rw- 1 root 29, 0 Oct 16 1996 ttya
crw-rw-rw- 1 root 29, 1 Oct 16 1996 ttyb
```

1.1 Geräterepäsentation in UNIX (4)

■ Interne Treiberschnittstelle

- ◆ Vektor von Funktionszeigern pro Treiber (Major Number):



1.1 Geräterepäsentation in UNIX (5)

■ Funktionen eines Block device-Treibers

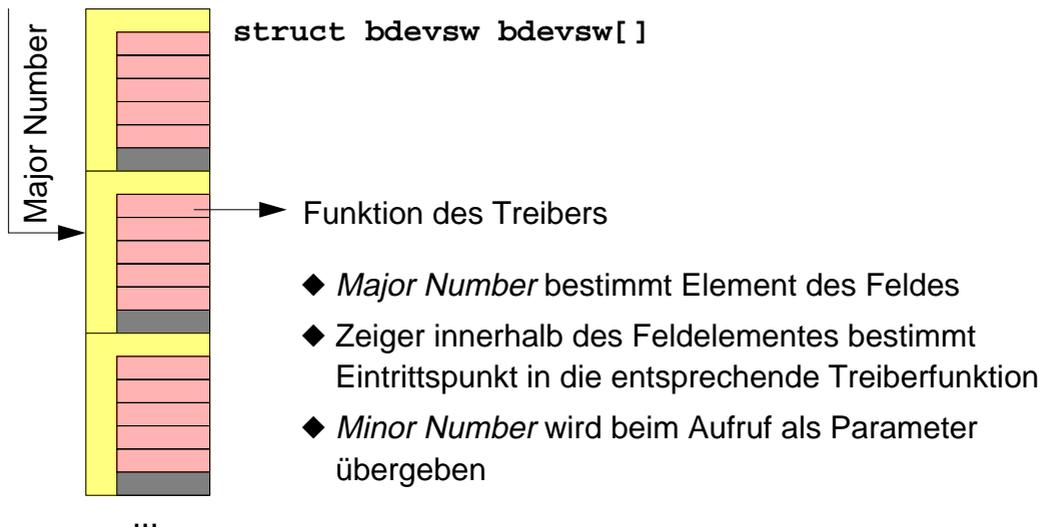
- ◆ **d_open**: Öffnen des Gerätes
- ◆ **d_close**: Schließen des Gerätes
- ◆ **d_strategy**: Abgeben von Lese- und Schreibaufträgen auf Blockbasis
- ◆ **d_size**: Ermitteln der Gerätegröße (z.B. Partitions- oder Plattengröße)
- ◆ **d_xhalt**: Abschalten des Gerätes
- ◆ u.a.

■ Funktionen eines Character device-Treibers

- ◆ **d_open, d_close**: Öffnen und Schließen des Gerätes
- ◆ **d_read, d_write**: Lesen und Schreiben von Zeichen
- ◆ **d_ioctl**: generische Kontrolloperation
- ◆ u.a.

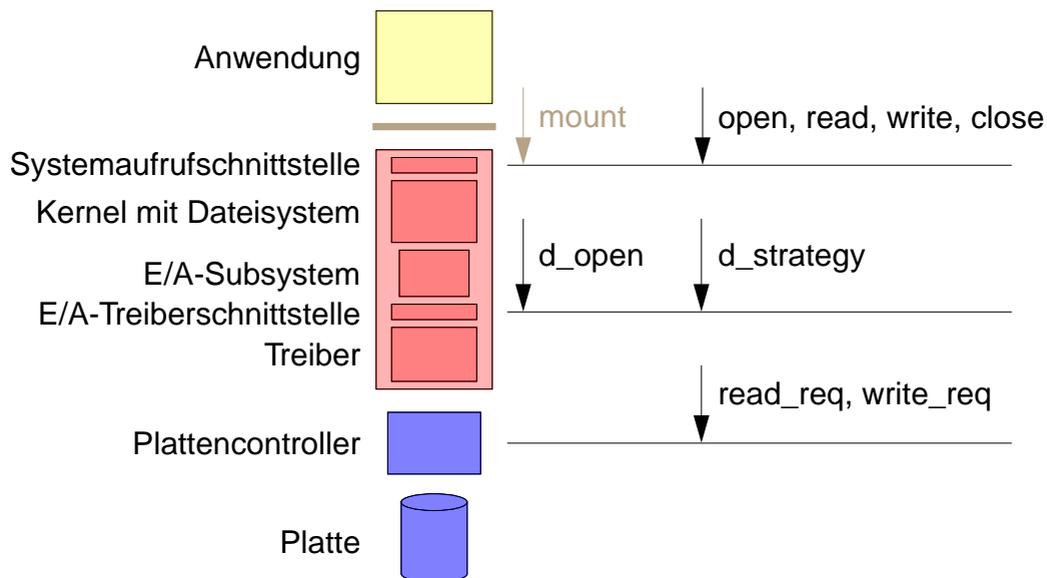
1.1 Geräterepäsentation in UNIX (6)

- Felder für den Aufruf von Treibern (`bdevsw[]` und `cdevsw[]`)



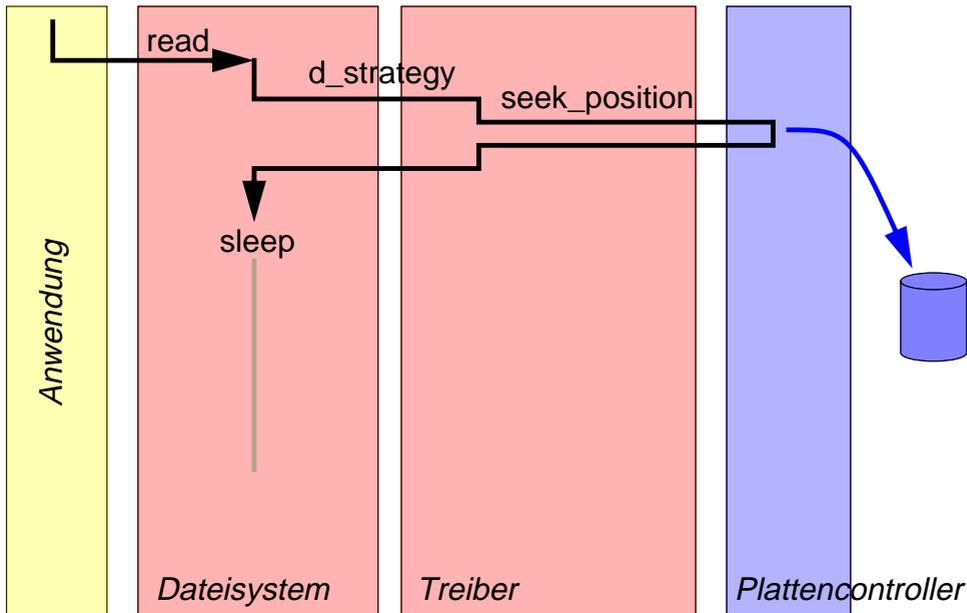
2 Plattentreiber

- Software und Hardware zwischen Anwender und Platte



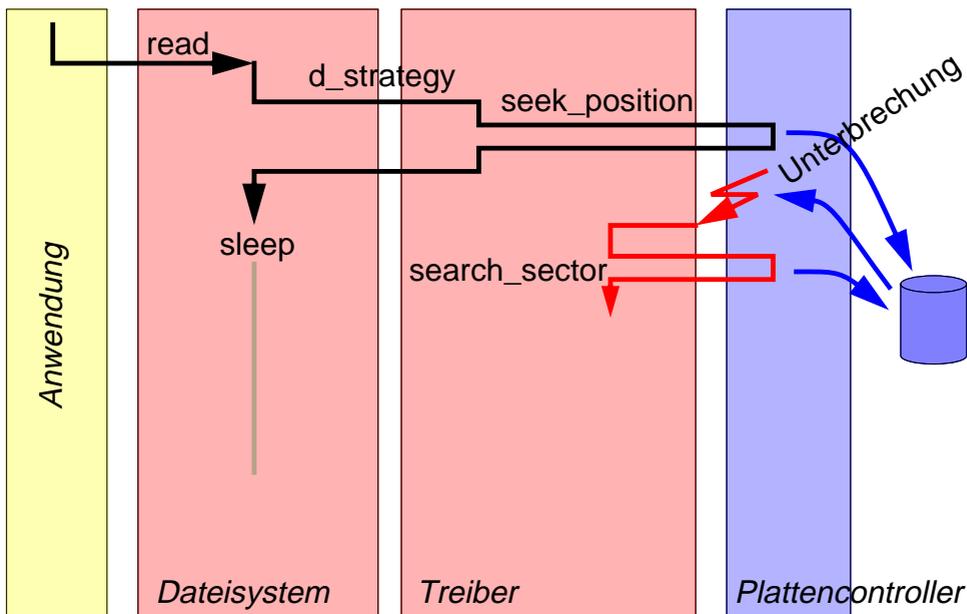
2.1 Einfacher Treiber

Ablauf eines Leseaufrufs



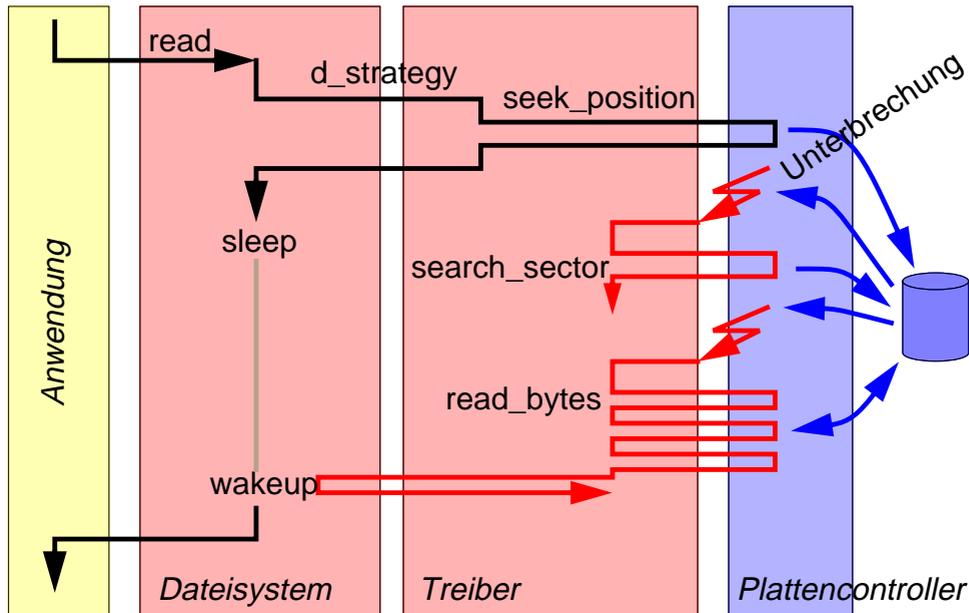
2.1 Einfacher Treiber

Ablauf eines Leseaufrufs



2.1 Einfacher Treiber

■ Ablauf eines Leseaufrufs

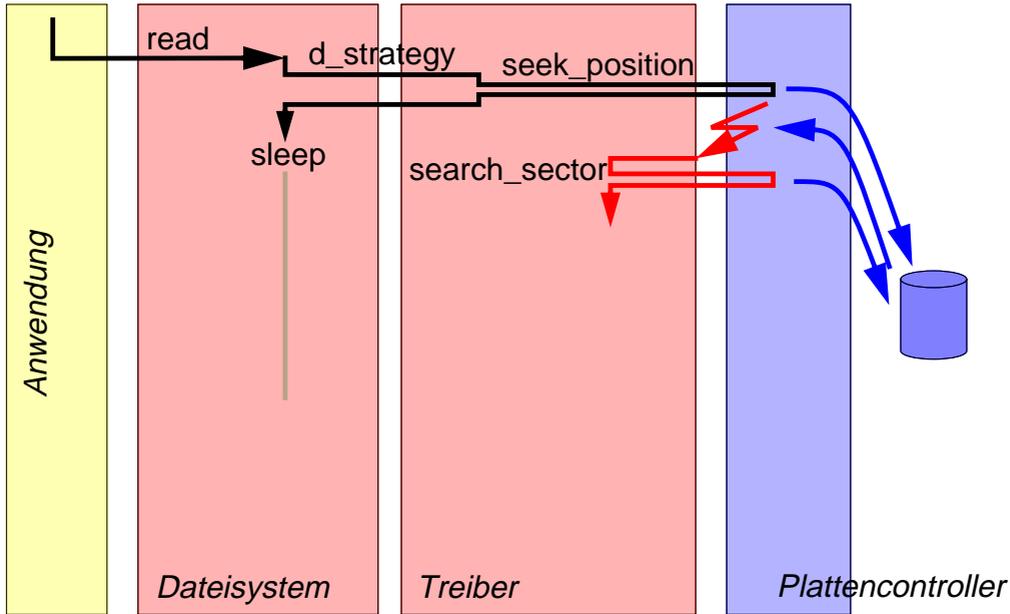


2.1 Einfacher Plattentreiber (2)

- ◆ Anwendung führt `read()` Systemaufruf aus.
- ◆ Dateisystem prüft, ob entsprechender Block im Speicher vorhanden.
- ◆ Falls der Block nicht vorhanden ist, wird ein Speicherplatz bereitgestellt und `d_strategy` im entsprechenden Treiber aufgerufen.
- ◆ Die Ausführung von `d_strategy` stößt Plattenpositionierung an.
- ◆ Die Anwendung blockiert sich im Kern. System kann andere Prozesse ablaufen lassen.
- ◆ Plattencontroller meldet sich bei erfolgter Positionierung durch eine Unterbrechung.
- ◆ Unterbrechungsbehandlung stößt Sektorsuche an.
- ◆ In erneuter Unterbrechung nach gefundenem Sektor werden die Daten im Pollingbetrieb eingelesen.
- ◆ Schließlich wird der Anwendungsprozess wieder aufgeweckt (in den Zustand bereit überführt).

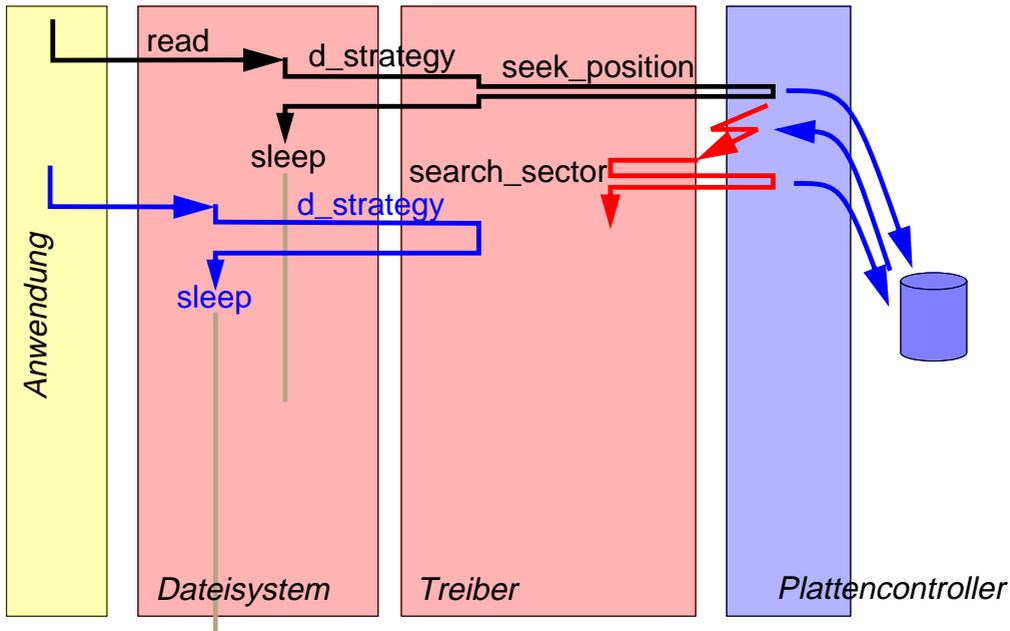
2.1 Einfacher Plattentreiber (3)

Ablauf mehrerer Leseaufrufe



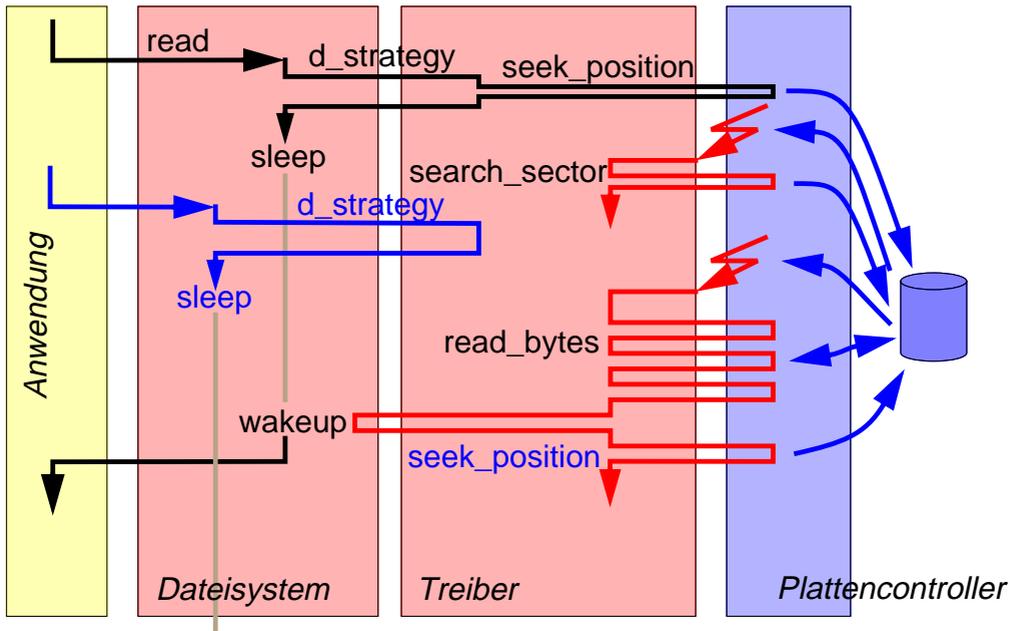
2.1 Einfacher Plattentreiber (3)

Ablauf mehrerer Leseaufrufe



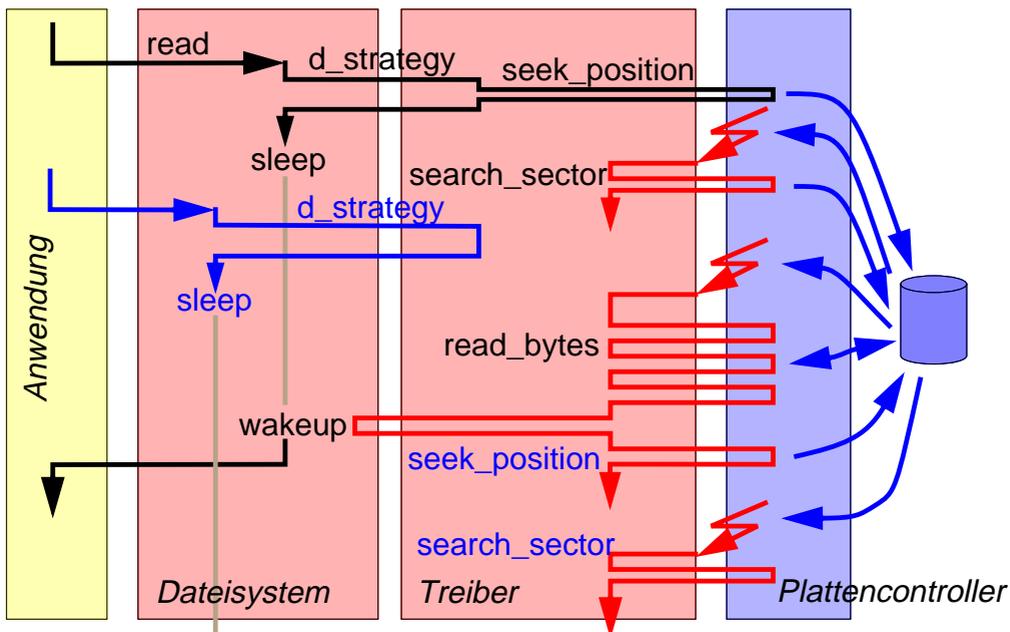
2.1 Einfacher Plattentreiber (3)

Ablauf mehrerer Leseaufrufe



2.1 Einfacher Plattentreiber (3)

Ablauf mehrerer Leseaufrufe



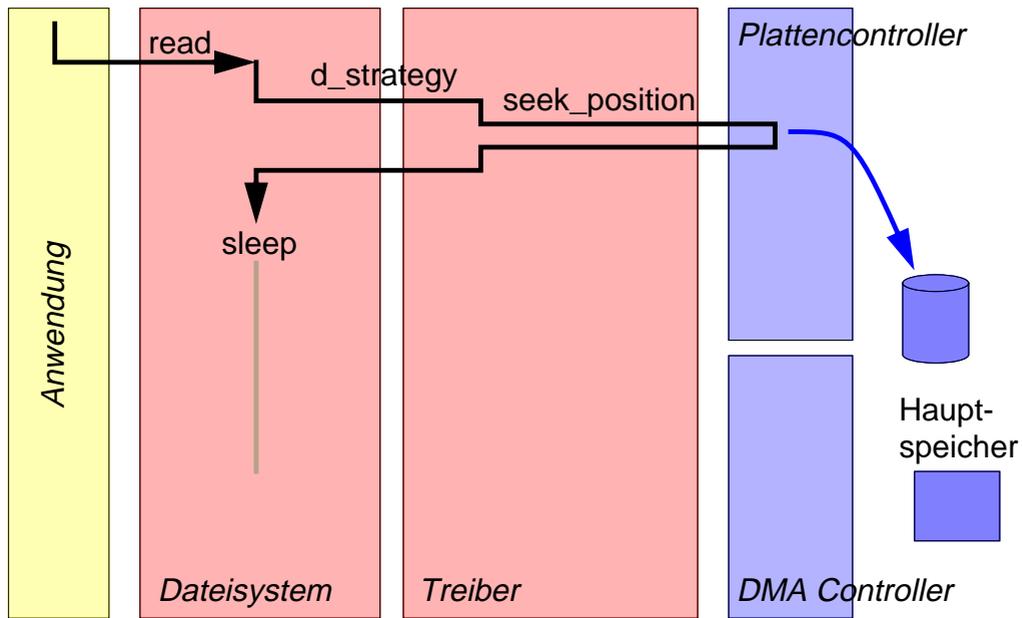
2.1 Einfacher Plattentreiber

- Unterbrechungsbehandlung ist auch für weitere Aufträge zuständig
 - ◆ Ist der Auftrag abgeschlossen, muss die Unterbrechungsbehandlung den nächsten Auftrag auswählen und aufsetzen, da der zugehörige Prozess bereits blockiert ist.
 - ◆ Die Unterbrechungen laufender Aufträge sorgen für die Abwicklung der folgenden Aufträge.

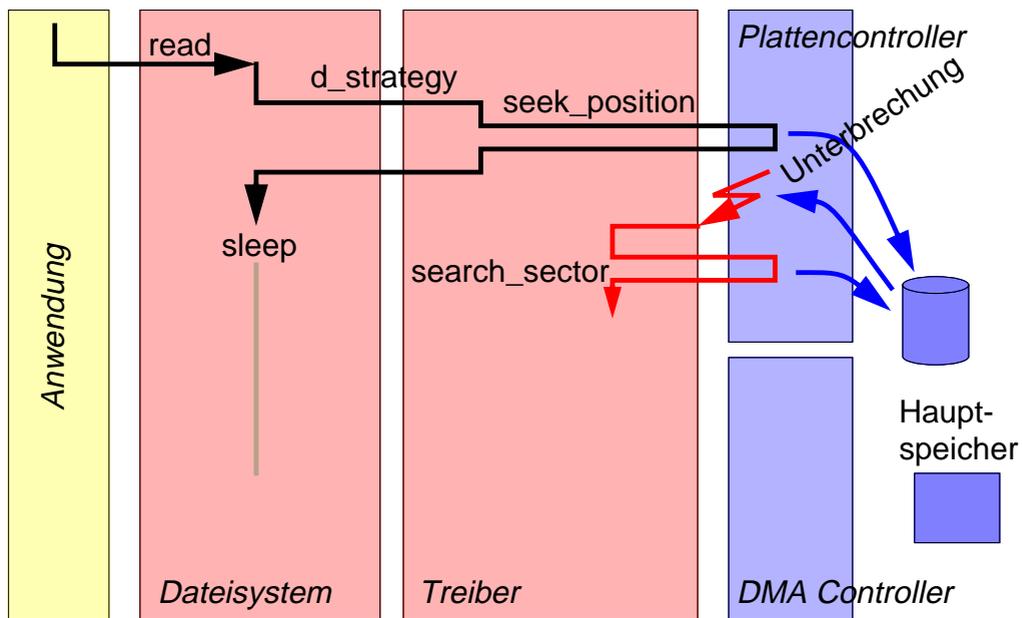
2.2 Treiber mit DMA

- DMA (*Direct Memory Access*) erlaubt Einlesen und Schreiben ohne Prozessorbeteiligung
 - ◆ DMA Controller erhält verschiedene Parameter:
 - die Hauptspeicheradresse zum Abspeichern bzw. Auslesen eines Plattenblocks
 - die Adresse des Plattencontrollers zum Abholen bzw. Abgeben der Daten
 - die Länge der zu transferierenden Daten
 - ◆ DMA Controller löst bei Fertigstellung eine Unterbrechung aus
- ★ Vorteile
 - ◆ Prozessor muss Zeichen eines Plattenblocks nicht selbst abnehmen (kein Polling sondern Interrupt)
 - ◆ Plattentransferzeit kann zum Ablauf anderer Prozesse genutzt werden

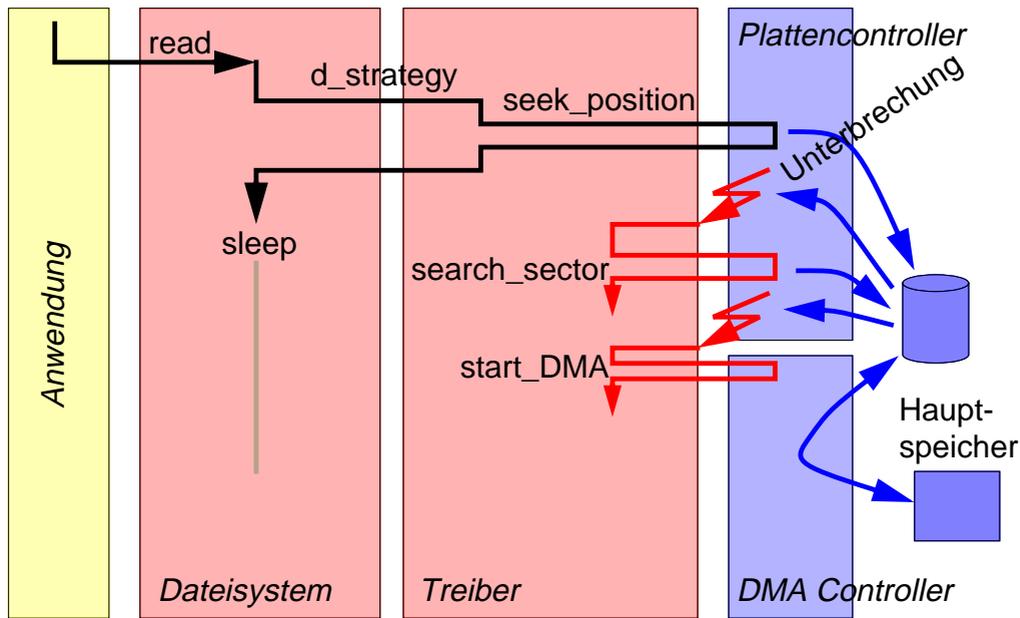
2.2 Treiber mit DMA (2)



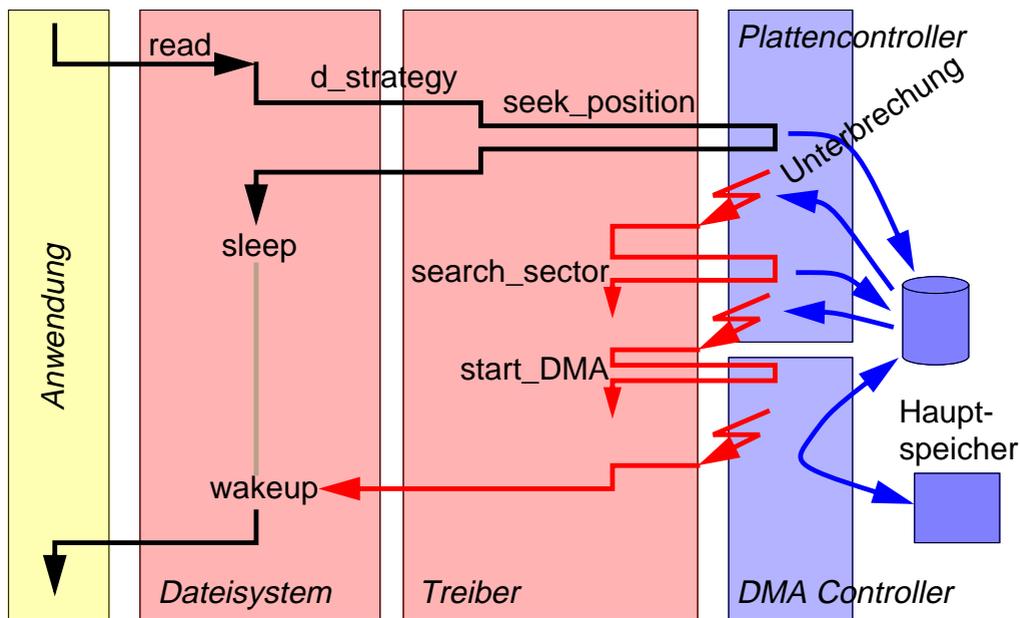
2.2 Treiber mit DMA (2)



2.2 Treiber mit DMA (2)



2.2 Treiber mit DMA (2)

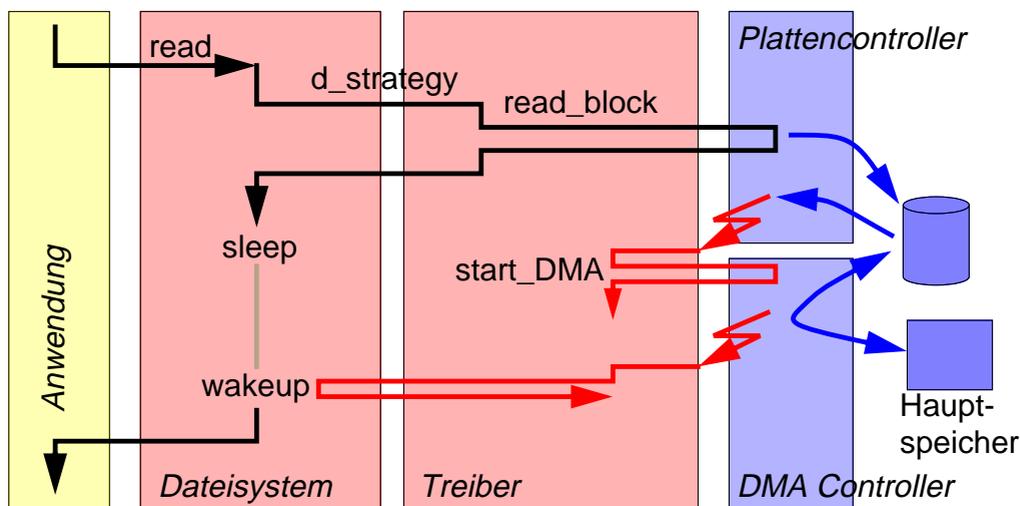


2.2 Treiber mit DMA (3)

- Große Systeme mit mehreren DMA-Kanälen und vielen Platten
 - ◆ es muss ein freier DMA-Kanal gesucht werden und evtl. auf einen freien gewartet werden bevor der Auftrag ausgeführt werden kann
 - ◆ Anforderung kann parallel zur Plattenpositionierung erfolgen
- Mainframe-Systeme
 - ◆ Steuereinheit fasst mehrere Platten zu einem Gerät zusammen
 - ◆ mehrere Steuereinheiten hängen an einem Kanal zum Hauptspeicher
 - ◆ zum Zugriff auf die eigentliche Platte muss erst die Steuereinheit und dann der Kanal belegt werden (Teilwegbelegung)
- DMA und Caching
 - ◆ heutige Prozessoren arbeiten mit Datencaches
 - ◆ DMA läuft am Cache vorbei: Betriebssystem muss vor dem Aufsetzen von DMA-Transfers Caches zurückschreiben und invalidieren

2.3 Treiber für intelligente Platte

- Intelligente Platten besitzen eigenen Prozessor für
 - ◆ das Umsortieren von Aufträgen (interne Plattenstrategie)
 - ◆ eigene Bad block-Erkennung, etc.

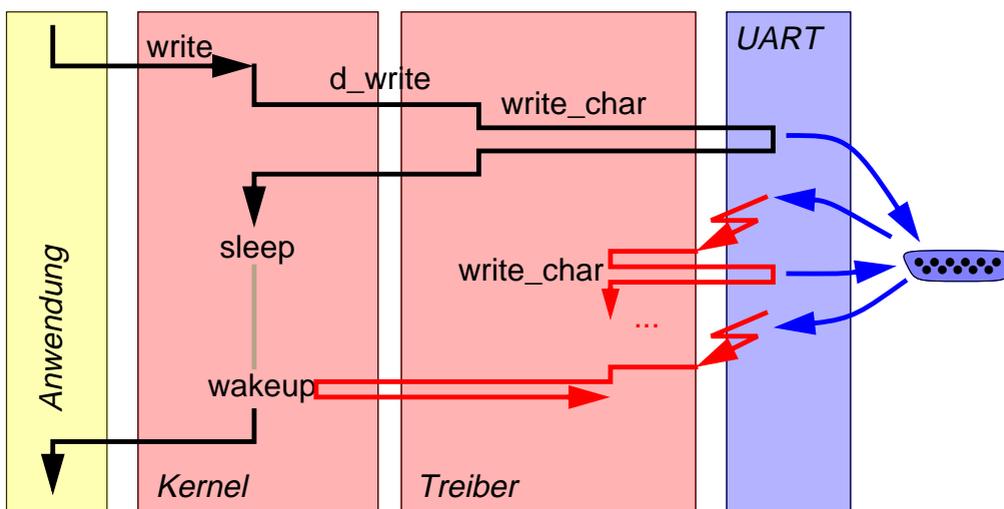


3 Treiber für serielle Schnittstellen

- Einsatz serieller Schnittstellen (z.B. RS-232)
 - ◆ Terminals
 - ◆ Drucker
 - ◆ Modems
- Datenübertragung
 - ◆ zeichenweise seriell (z.B. Startbit, Datenbits, Stopbits)
 - ◆ getaktet in bestimmter Geschwindigkeit (Bitrate, z.B. 38.400 Bit/s), im Vergleich zu Platten relativ langsam
 - ◆ Flusskontrolle (d.h. Empfänger kann Datenfluss bremsen)
 - ◆ bidirektional
- Treiber
 - ◆ zeichenorientiertes Gerät
 - ◆ vom Prinzip her ähnlich dem Plattentreiber

3.1 TTY-Treiber

- TTY-Treiber (*Teletype*, Fernschreiber) und der Ablauf eines Schreibaufrufs



- ◆ UART = Universal Asynchronous Receiver / Transmitter

3.1 TTY-Treiber (2)

- Enger Zusammenhang zwischen Ein- und Ausgabe
 - ◆ Echofunktion (getippte Zeichen werden angezeigt)
 - eingelesene Zeichen werden gleich wieder ausgegeben
 - ◆ Flusskontrolle (bestimmtes Zeichen in der Eingabe hält Ausgabe an: ^S)
 - wird ^S eingelesen wird Ausgabe angehalten bis ^Q eingelesen wird
- Zeilenorientierte Treiber
 - ◆ Anwendung will Zeichen zeilenweise, z.B. Shell
 - ◆ Treiber blockiert Prozess bis Zeilenende erkannt
 - ◆ Treiber erlaubt das Editieren der Zeile (Backspace, etc.)
- Signale
 - ◆ bestimmte Zeichen lösen Signale an korrespondierende Prozesse aus

3.2 TTY-Treiber in UNIX

- Konfigurierbar
 - ◆ Repräsentation einer seriellen Schnittstellen als zeichenorientiertes Gerät
 - ◆ durch Aufruf von `ioctl` kann Treiber konfiguriert werden

```
int ioctl( int fd, int request, /* arg */ );
```
 - ◆ Kommando zum Lesen der Konfiguration: Übergabe einer Strukturadresse

```
struct termios t;
ioctl( fd, TCGETS, &t );
```
 - ◆ Kommando zum Schreiben einer Konfiguration:

```
ioctl( fd, TCSETS, &t );
```
 - ◆ Struktur enthält Bitfelder für verschiedene Einstellungen
 - ◆ Bitmasken sind als Makros verfügbar
 - ◆ näheres: „`man termios`“ und „`man ioctl`“

3.3 Einstellung der physikalischen Parameter

- Bitrate einer seriellen Schnittstelle
 - ◆ **B2400** 2400 Bit/s
 - ◆ **B4800** 4800 Bit/s
 - ◆ **B9600** 9600 Bit/s
 - ◆ **B19200** 19200 Bit/s
 - ◆ **B38400** 38400 Bit/s
 - ◆ **B57600** 57600 Bit/s

- Zeichengröße, Parität, Stopbits
 - ◆ **CS7** 7 Bits
 - ◆ **CSTOPB** zwei Stopbits sonst eins
 - ◆ **PARENB** Parität einschalten
 - ◆ **CRTSCTS** Hardware-basierte Flusskontrolle einschalten

3.4 Einstellung der Ein-, Ausgabeverarbeitung

- Festlegen der Zeichen mit Sonderbedeutung
 - ◆ Erase-Character: löscht letztes Zeichen (Backspace)
 - ◆ Kill-Character: löscht ganze Zeile (^K)

- Eingabeverarbeitung
 - ◆ **ICRNL** CR-Zeichen wird als NL-Zeichen gelesen
 - ◆ **ICANON** kanonische Eingabeverarbeitung (Zeileneditierung)
 - ◆ **IXON** erlaube Flusskontrolle mit ^Q und ^S

- Ausgabeverarbeitung
 - ◆ **ECHO** schaltet Echofunktion ein
 - ◆ **ECHOE** Echo von Backspace als Backspace, Leerzeichen, Backspace
 - ◆ **ONLCR** NL-Zeichen wird als CR, NL ausgegeben

3.5 Signalauslösung und Jobkontrolle

- Signalauslösung
 - ◆ **ISIG**: Schaltet Signale ein
 - ◆ **INTR**-Zeichen: sendet **SIGINT**-Signal (^C)
 - ◆ **QUIT**-Zeichen: sendet **SIGQUIT**-Signal (^|)
- Signal wird an ganze Prozessgruppe geschickt
 - ◆ alle Prozesse der Gruppe empfangen Signal
 - ◆ Beispiel: `cat /etc/passwd | grep Mueller | sort`
 - ◆ alle Prozesse erhalten **SIGINT** bei ^C
- Prozessgruppe
 - ◆ Prozessgruppen-ID wird wie eine Prozess-ID (PID) bezeichnet
 - ◆ Prozess mit gleicher PID und Prozessgruppen-ID ist Gruppenführer
 - ◆ Shell sorgt dafür, dass im Beispiel `cat`, `grep` und `sort` in der gleichen Prozessgruppe sind (`sort` wird Gruppenführer)

3.5 Signalauslösung und Jobkontrolle (2)

- Vordergrund- und Hintergrundprozesse
 - ◆ Hintergrundprozesse erhalten keine Signale.
 - ◆ Bei Shells mit Jobkontrolle kann zwischen Vorder- und Hintergrundprozessen umgeschaltet werden.
- Sessions
 - ◆ Shell öffnet eine Session, die mehrere Prozessgruppen enthalten kann (spezieller systemabhängiger Systemaufruf).
 - ◆ Shell wird Sessionführer.
 - ◆ Shell erzeugt Prozesse und Prozessgruppen.
 - ◆ Ein TTY wird Controlling-Terminal für alle Prozessgruppen der Session.
 - ◆ Unterbrechen der Terminalverbindung (**SIGHUP**) wird dem Sessionführer zugestellt.

3.5 Signalauslösung und Jobkontrolle (3)

- Vordergrundprozess
 - ◆ Eine Prozessgruppe der Session kann zur Vordergrundprozessgruppe gemacht werden.
 - ◆ **SIGINT** und **SIGQUIT** sowie die Eingabe vom Terminal werden nur der Vordergrundprozessgruppe zugestellt.
- Hintergrundprozesse
 - ◆ Alle Hintergrundprozesse bekommen keine Eingabe vom Terminal und werden gestoppt, wenn sie lesen wollen (Shell wird benachrichtigt).
- Jobkontrolle
 - ◆ Shell kann zwischen Vorder- und Hintergrundprozessgruppen umschalten
 - ◆ Benutzer kann Vordergrundprozesse stoppen und gelangt zur Shell zurück

3.5 Signalzustellung und Jobkontrolle (4)

- Beispiel: Stoppen und wiederaufnehmen eines Vordergrundprozesses

```
prompt> cc -o test.c
^Z
Suspended
prompt> jobs
[1] Suspended cc -o test.c
prompt> fg %1
```

- ◆ Realisiert mit einem Signal namens **SIGTSTP**, das die Prozessgruppe stoppt
- ◆ Shell bekommt dies mit über ein **waitpid()**
- ◆ Shellkommando **fg** sendet ein Signal **SIGCONT** und die Prozesse fahren fort

3.5 Signalzustellung und Jobkontrolle (5)

- Beispiel: Stoppen eines Vordergrundprozesses, Umwandlung in einen Hintergrundprozess

```
prompt> cc -o test.c
^Z
Suspended
prompt> bg
[1] Running cc -o test.c
prompt>
```

- ◆ Wie auf vorheriger Folie, aber:
Shell schaltet die Prozessgruppe in den Hintergrund und wartet nicht mehr auf deren Beendigung.

3.5 Signalzustellung und Jobkontrolle (6)

- Beispiel: Starten eines Hintergrundprozesses und Umwandlung in einen Vordergrundprozess

```
prompt> cc -o test.c &
prompt> jobs
[1] Running cc -o test.c
prompt> fg %1
```

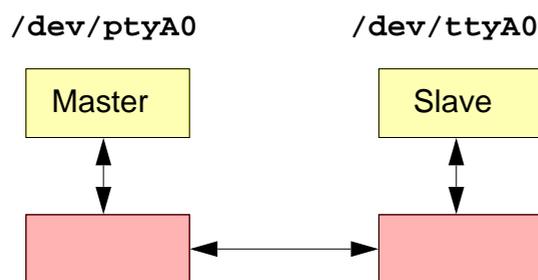
- ◆ Shell startet eine Hintergrundprozessgruppe und nimmt Kommandos entgegen
- ◆ **fg** Kommando schaltet die Hintergrundgruppe in eine Vordergrundprozessgruppe um und wartet auf deren Beendigung mit **waitpid()**

3.6 Pseudo-Terminals

- Pseudo-TTY-Treiber (*PTTY*)
 - ◆ keine echte serielle Schnittstelle vorhanden
 - ◆ Shell und andere Prozesse benötigen aber ein TTY für
 - Flusskontrolle,
 - Echofunktion,
 - Job-Kontrolle etc.
 - ◆ fungiert als gewohnte Schnittstelle von Anwendungsprozessen
 - ◆ Einsatz beispielsweise bei einem Fenstersystem (xterm-Programm)
 - xterm-Programm bedient die Masterseite eines PTTY
 - Shell und Anwendungsprogramme sehen xterm-Fenster wie ein TTY (Slaveseite)

3.6 Pseudo-Terminals (2)

- Master- und Slaveseite sehen wie ein normales TTY-Device aus



- ◆ Slaveseite besitzt Modul zur Flusskontrolle, Eingabeeditierung, Signalzustellung, Flusskontrolle etc.

3.7 Warten auf mehrere Ereignisse

- Bisher: Lese- oder Schreibaufrufe blockieren
 - ◆ Was tun beim Lesen von mehreren Quellen?
- Alternative 1: nichtblockierende Ein-, Ausgabe
 - ◆ `O_NDELAY` beim `open()`
 - ◆ Pollingbetrieb: Prozess muss immer wieder `read()` aufrufen, bis etwas vorliegt

3.7 Warten auf mehrere Ereignisse (2)

- Alternative 2: Blockieren an mehreren Filedeskriptoren
 - ◆ Systemaufruf:

```
int select( int nfd, fd_set *readfds, fd_set *writefds,  
           fd_set *errorfds, struct timeval *timeout);
```
 - ◆ `nfd` legt fest, bis zu welchem Filedeskriptor `select` wirken soll.
 - ◆ `xxxfds` sind Filedeskriptoren, auf die gewartet werden soll:
 - `readfds` — bis etwas zum Lesen vorhanden ist
 - `writefds` — bis man schreiben kann
 - `errorfds` — bis ein Fehler aufgetreten ist
 - ◆ Timeout legt fest, wann der Aufruf spätestens deblockiert.
 - ◆ Makros zum Erzeugen der Filedeskriptormengen
 - ◆ Ergebnis: in den Filedeskriptormengen sind nur noch die Filedeskriptoren vorhanden, die zur Deblockade führten

4 Bildschirmtreiber

- Bildspeicher
 - ◆ zeichenorientiert
 - ◆ pixelorientiert
- Aufgaben des Treibers
 - ◆ Bereitstellen von Graphikprimitiven (z.B. Ausgabe von Text, Zeichnen von Rechtecken, etc.)
 - ◆ Ansprechen von Graphikprozessoren (schnelle Verschiebeoperationen, komplexe Zeichenoperationen, 3D Rendering, Textures)
 - ◆ Einblenden des Bildspeichers in Anwendungsprogramme (z.B. X11-Server)
- Bildspeicher
 - ◆ spezieller Speicher, der den Bildschirminhalt repräsentiert
 - ◆ Dual ported RAM (Videochip und Prozessor können gleichzeitig zugreifen)

5 Netzwerktreiber

- Beispiel: Ethernet
 - ◆ schneller serieller Bus mit CSMA/CD
(*Carrier sense media access / Collision detect*)
zu deutsch: es wird dann gesendet, wenn nicht gerade jemand anderes sendet; Kollisionen werden erkannt und aufgelöst
 - ◆ spezieller Netzwerkchip
 - implementiert unterstes Kommunikationsprotokoll
 - erkennt eintreffende Pakete
- Netzwerktreiber
 - ◆ wird von höheren Protokollen innerhalb des Betriebssystems angesprochen, z.B. von der IP-Schicht

5 Netzwerktreiber (2)

- Senden
 - ◆ Treiber übergibt dem Netzwerkchip eine Datenstruktur mit den notwendigen Informationen: Sendeadresse, Adresse und Länge von Datenpuffern
 - ◆ Netzwerkchip löst Unterbrechung bei erfolgreichem Senden aus
- Empfangen
 - ◆ Treiber übergibt dem Netzwerkchip eine Datenstruktur mit Adressen von freien Arbeitspuffern
 - ◆ erkennt der Netzwerkchip ein Paket (für die eigene Adresse), füllt er das Paket in einen freien Puffer
 - ◆ der Puffer wird in eine Liste von empfangenen Paketen eingehängt und eine Unterbrechung ausgelöst
 - ◆ Treiber kann die empfangenen Pakete aushängen

5 Netzwerktreiber (3)

- Übertragung der Daten erfolgt durch DMA
 - ◆ evtl. direkt durch den Netzwerkchip
- Intelligente und nicht-intelligente Netzwerkhardware
 - ◆ intelligente Hardware: kann evtl. auch höhere Protokolle, Filterung etc.
 - ◆ nicht-intelligente Hardware: benötigt mehr Unterstützung durch den Treiber (Prozessor)

6 Andere Geräte

- Uhr
 - ◆ Hardwareuhren (z.B. DCF 77, GPS Empfänger)
 - ◆ Systemuhr fast immer in Software (wird mit Hardwareuhren synchronisiert)
 - ◆ UNIX: `getitimer`, `setitimer`
 - vier Intervalltimer pro Prozess: Signal `SIGALRM` nach Ablauf
 - Ablauf konfigurierbar:
Realzeit, Virtuelle Zeit, Virtuelle Zeit (einschl. Systemzeit des Prozesses)
- Bandlaufwerk
 - ◆ zeichenorientiertes Gerät
 - ◆ Spuloperationen durch `d_ioct1` realisiert

6 Andere Geräte (2)

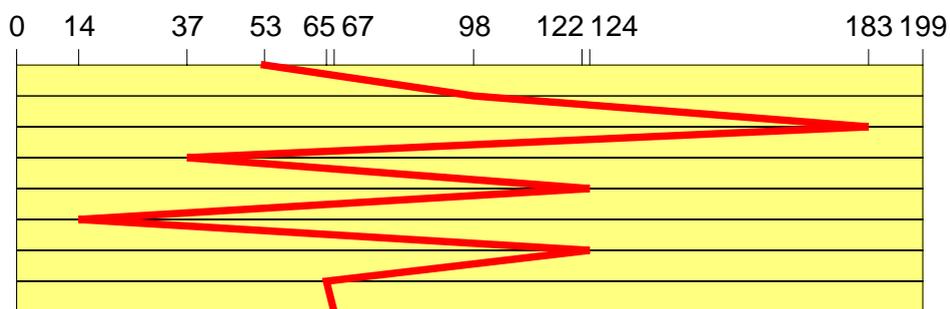
- CD-ROM
 - ◆ wird wie Platte behandelt (eigener Treiber)
 - ◆ nicht beschreibbar
 - ◆ spezielle Treiber für Audio-Tracks möglich
- Maus und Tastatur
 - ◆ meist über serielle Schnittstellen und bestimmtes Protokoll implementiert
- Floppy-Disk
 - ◆ wird im Prinzip wie Platte behandelt (eigener Treiber)
 - ◆ spezielle Dateisysteme zur Realisierung von FAT-Dateisystemen unter UNIX

7 Disk-Scheduling

- Plattentreiber hat in der Regel mehrere Aufträge in seiner Warteschlange
 - ◆ Warteschlange wird z.B. in UNIX durch Aufruf der Funktion `d_strategy()` gefüllt
 - ◆ eine bestimmte Ordnung der Ausführung kann Effizienz steigern
 - ◆ Zusammensetzung der Bearbeitungszeit eines Auftrags:
 - Positionierzeit: abhängig von der aktuellen Stellung des Plattenarms
 - Latenzzeit: Zeit bis der Magnetkopf den Sektor bestreicht
 - Übertragungszeit: Zeit zur Übertragung der eigentlichen Daten
- ★ Ansatzpunkt: Positionierzeit

7.1 FCFS-Scheduling

- Bearbeitung gemäß Ankunft des Auftrags
 - ◆ Referenzfolge (Folge von Zylindernummern):
98, 183, 37, 122, 14, 124, 65, 67
 - ◆ Aktueller Zylinder: 53



- ◆ Gesamtzahl der Spurwechsel: 640
- ◆ Weite Bewegungen des Schwenkarms: mittlere Bearbeitungsdauer lang

7.2 SSTF-Scheduling

- Es wird der Auftrag mit der kürzesten Positionierzeit vorgezogen (*Shortest Seek Time First*)
 - ◆ Gleiche Referenzfolge
(Annahme: Positionierzeit proportional zum Zylinderabstand)



- ◆ Gesamtzahl von Spurwechseln: 236
- ◆ ähnlich wie SJF kann auch SSTF zur Aushungerung führen
- ◆ noch nicht optimal

7.3 SCAN-Scheduling

- Bewegung des Plattenarm in eine Richtung bis keine Aufträge mehr vorhanden sind (Fahrstuhlstrategie)
 - ◆ Gleiche Referenzfolge (Annahme: bisherige Kopfbewegung Richtung 0)



- ◆ Gesamtzahl der Spurwechsel: 208
- ◆ Neue Aufträge werden miterledigt ohne zusätzliche Positionierzeit und ohne mögliche Aushungerung
- ◆ Variante C-SCAN (*Circular SCAN*): Bewegung nur in eine Richtung