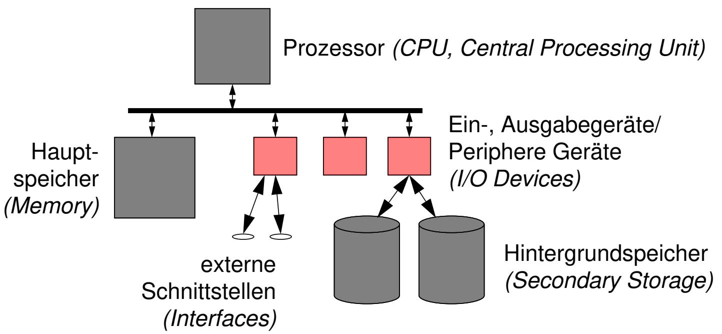
G Ein-, Ausgabe

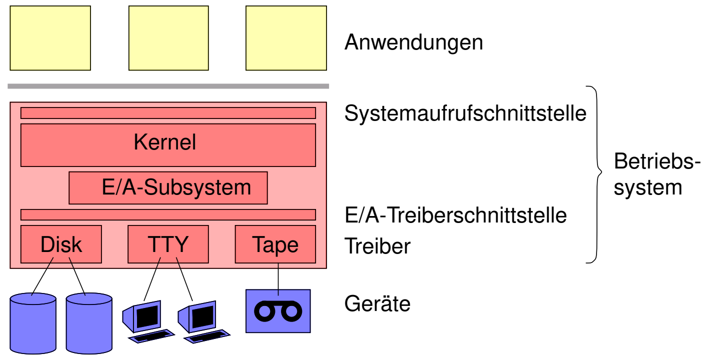
G Ein- und Ausgabe

- Einordnung



1 Gerätezugang und Treiber

- Schichtung der Systemsoftware bis zum Gerät



Nach Vahalia, 1996

1.1 Gerätepräsentation 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 Gerätepräsentation 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

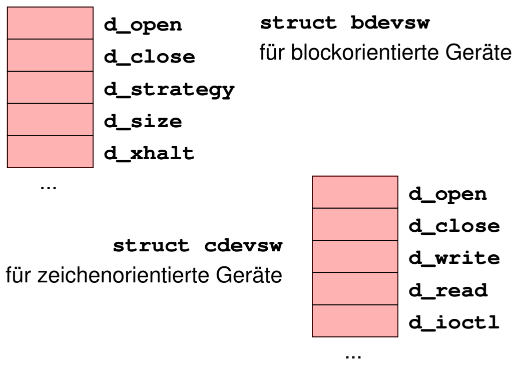
1.1 Gerätepräsentation in UNIX (3)

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

```
crw-------   1 fzhauck  108,  0 Oct 16  1996 audio
crw-------   1 fzhauck  108,128 Oct 16  1996 audioctl
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 Gerätepräsentation in UNIX (4)

- Interne Treiberschnittstelle
  - Vektor von Funktionszeigern pro Treiber (Major Number):

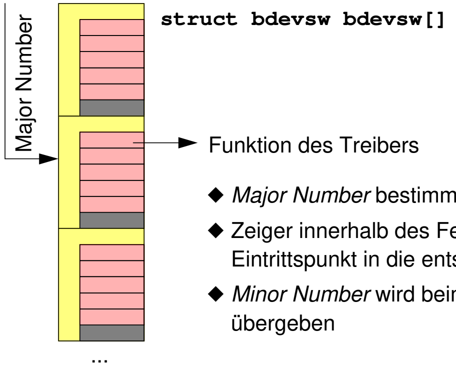


1.1 Gerätepräsentation in UNIX (5)

- 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 Gerätepräsentation in UNIX (6)

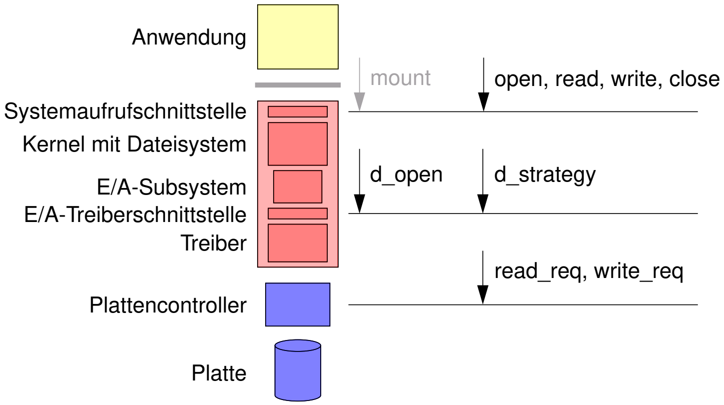
- Felder für den Aufruf von Treibern (**`bdevsw[]`** und **`cdevsw[]`**)



- ◆ *Major Number* bestimmt Element des Feldes
- ◆ Zeiger innerhalb des Feldelementes bestimmt Eintrittspunkt in die entsprechende Treiberfunktion
- ◆ *Minor Number* wird beim Aufruf als Parameter übergeben

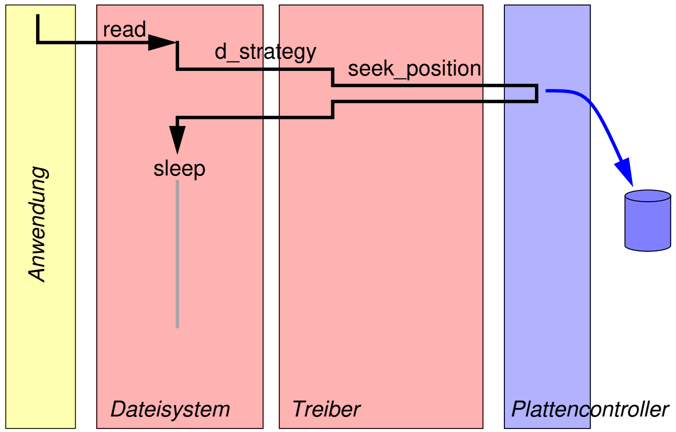
2 Plattentreiber

- Software und Hardware zwischen Anwender und Platte



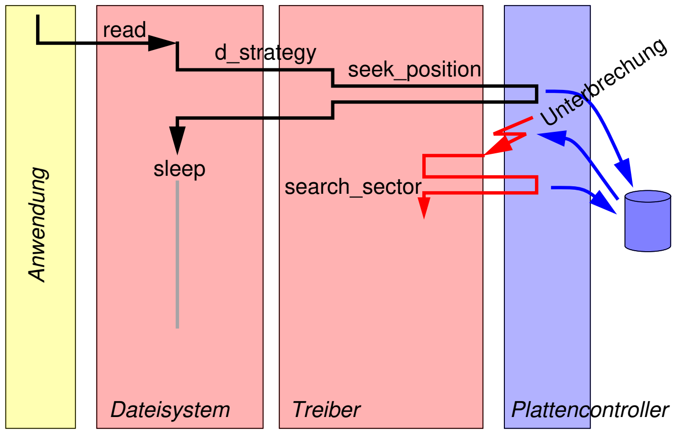
2.1 Einfacher Treiber

- Ablauf eines Leseaufrufs



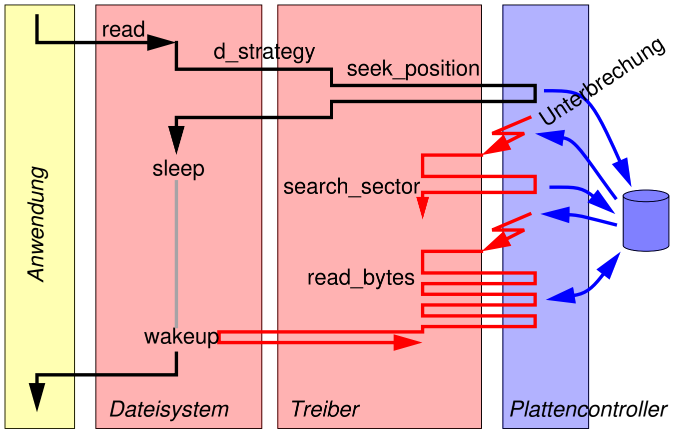
2.1 Einfacher Treiber

- Ablauf eines Leseaufrufs



2.1 Einfacher Treiber

- Ablauf eines Leseaufrufs

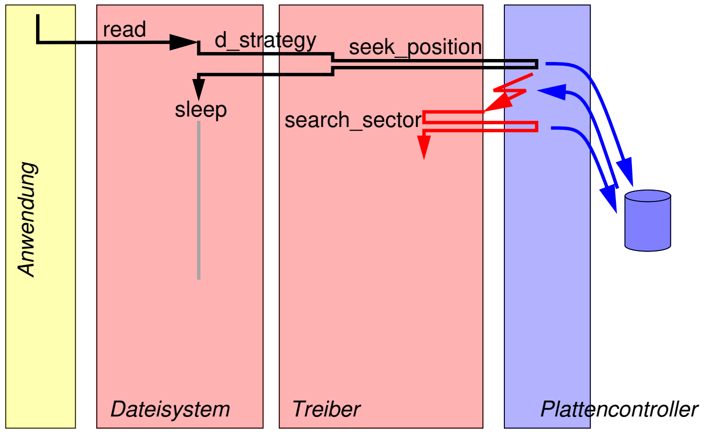


2.1 Einfacher Plattentreiber (2)

- 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).

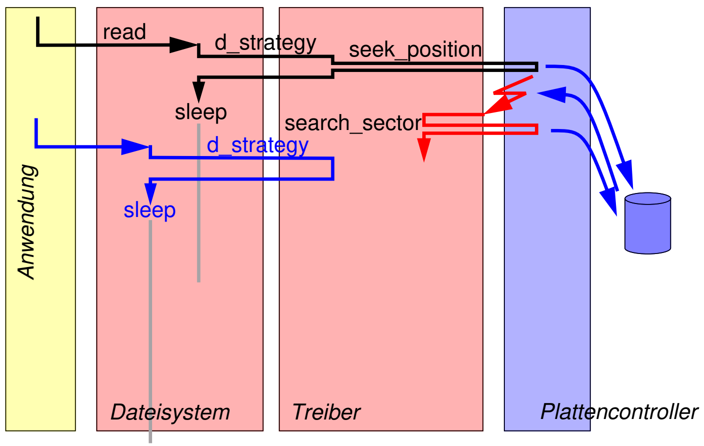
2.1 Einfacher Plattentreiber (3)

- Ablauf mehrerer Leseaufrufe



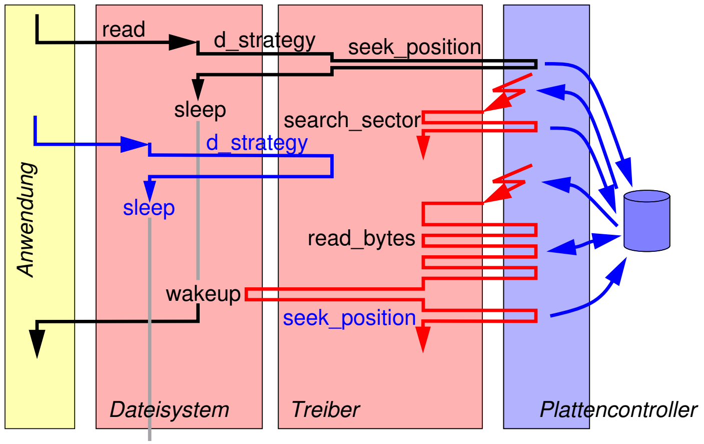
2.1 Einfacher Plattentreiber (3)

- Ablauf mehrerer Leseaufrufe



2.1 Einfacher Plattentreiber (3)

- Ablauf mehrerer Leseaufrufe

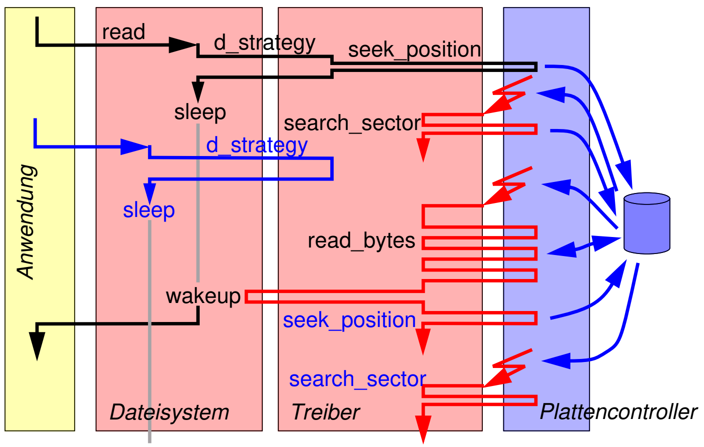


2.1 Einfacher Plattentreiber

- 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.

2.1 Einfacher Plattentreiber (3)

- Ablauf mehrerer Leseaufrufe

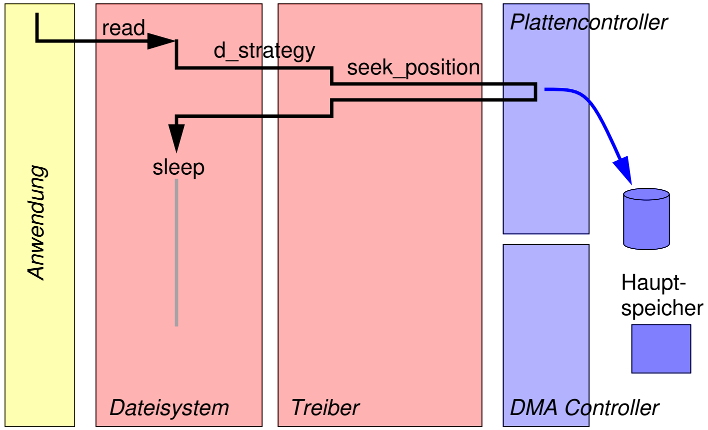


2.2 Treiber mit DMA

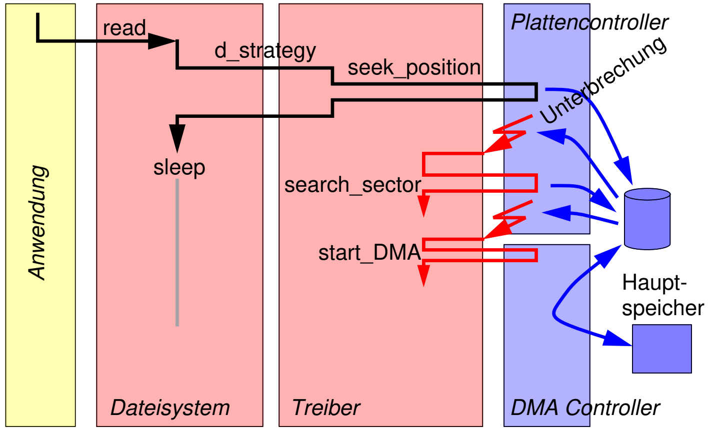
- DMA *(Direct Memory Access)* erlaubt Einlesen und Schreiben ohne Prozessorbeteiligung
  - ◆ DMA Controller erhält verschiedene Parameter:
    - die Hauptspeicheradresse zum Abspeichern bzw. Auslesen eines Plattenblocks
    - die Adresse des Plattencontrollers zum Abholen bzw. Abgeben der Daten
    - 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

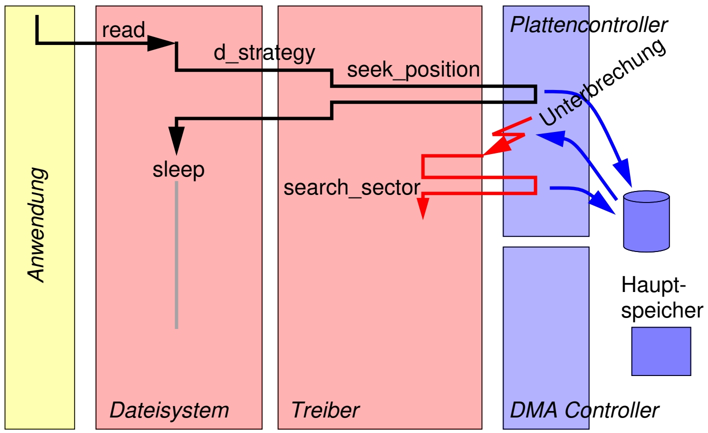
2.2 Treiber mit DMA (2)



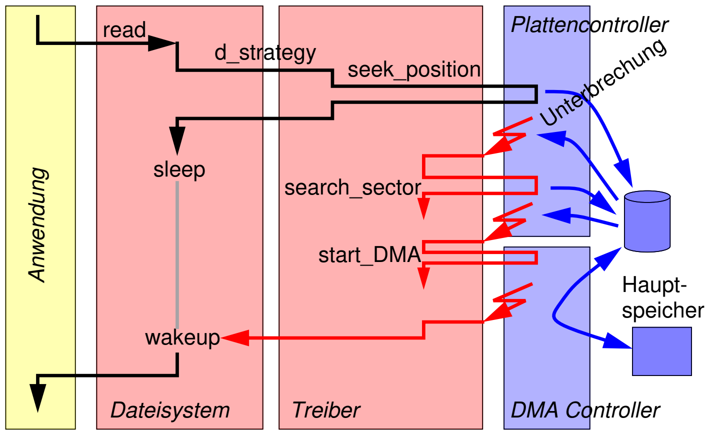
2.2 Treiber mit DMA (2)



2.2 Treiber mit DMA (2)



2.2 Treiber mit DMA (2)

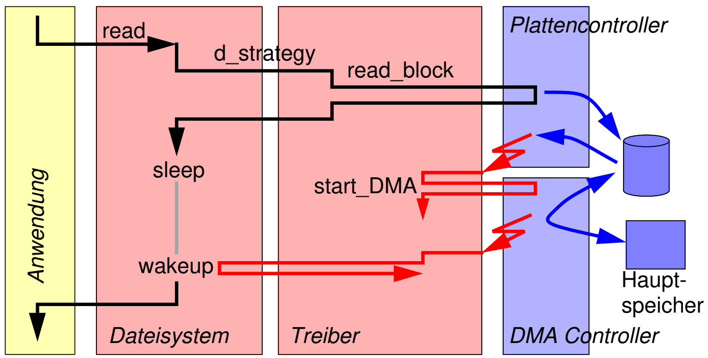


2.2 Treiber mit DMA (3)

- 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.

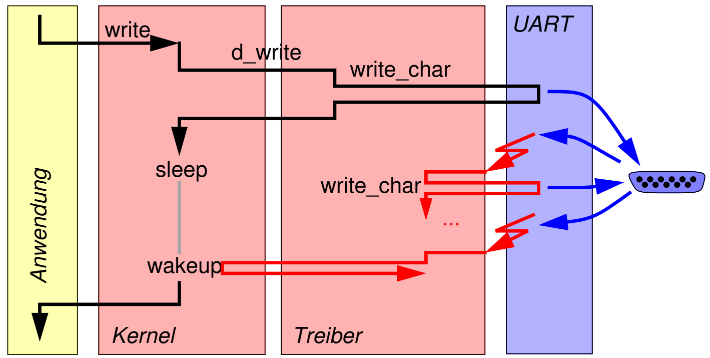


3 Treiber für serielle Schnittstellen

- 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 fildes, 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 Stoppbits 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 sytemabhängiger 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 einn 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

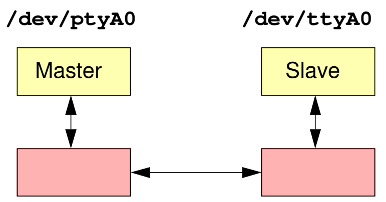
◆ Shell und andere Prozesse benötigen aber ein TTY für
  - Flusskontrolle,
  - Echofunktion,
  - Job-Kontrolle etc.

◆ 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 nfds, fd_set *readfds, fd_set *writefds,
            fd_set *errorfds, struct timeval *timeout);
```

  - **`nfds`** 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 erfolgtem 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_ioctl`** 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

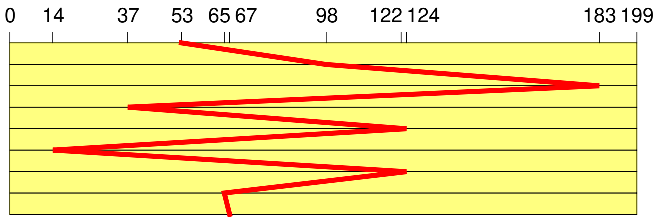
7 Disk-Scheduling

- 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

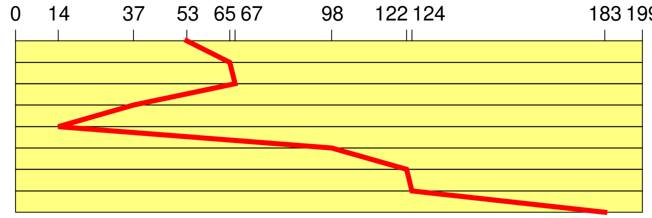
- Bearbeitung gemäß Ankunft des Auftrags
  - ◆ Referenzfolge (Folge von Zylindernummern): 98, 183, 37, 122, 14, 124, 65, 67
  - ◆ Aktueller Zylinder: 53



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

7.2 SSTF-Scheduling

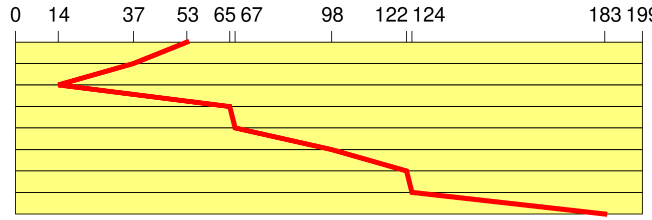
- Es wird der Auftrag mit der kürzesten Positionierzeit vorgezogen *(Shortest Seek Time First)*
  - ◆ Gleiche Referenzfolge (Annahme: Positionierzeit proportional zum Zylinderabstand)



  - ◆ 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)

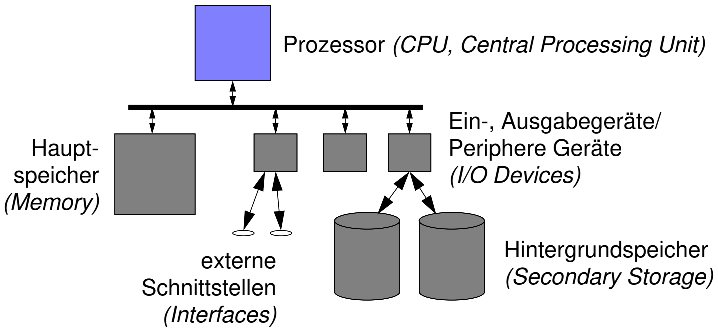


  - ◆ Gesamtzahl der Spurwechsel: 208
  - ◆ Neue Aufträge werden miterledigt ohne zusätzliche Positionierzeit und ohne mögliche Aushungerung
  - ◆ Variante C-SCAN *(Circular SCAN)*: Bewegung nur in eine Richtung

H Verklemmungen

H Verklemmungen

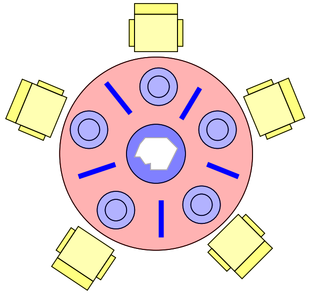
- Einordnung:



- ◆ Verhalten von Aktivitätsträgern / Prozessen

1 Motivation

- Beispiel: die fünf Philosophen am runden Tisch

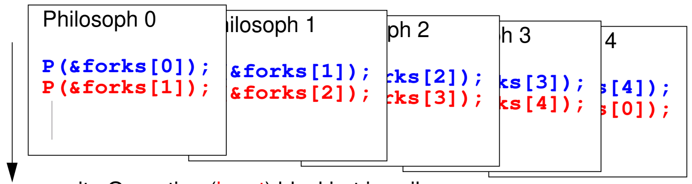


- ◆ Philosophen denken oder essen
  "The life of a philosopher consists of an alternation of thinking and eating." (Dijkstra, 1971)
- ◆ zum Essen benötigen sie zwei Gabeln, die jeweils zwischen zwei benachbarten Philosophen abgelegt sind

- Philosophen können verhungern, wenn sie sich „dumm“ anstellen.

1 Motivation (2)

- Problem der Verklemmung *(Deadlock)*
  - ◆ alle Philosophen nehmen gleichzeitig die linke Gabel auf und versuchen dann die rechte Gabel aufzunehmen



zweite Operation (in rot) blockiert jeweils

  - ◆ System ist **verklemmt:** Philosophen warten alle auf ihre Nachbarn

- Problemkreise:
  - ◆ Vermeidung und Verhinderung von Verklemmungen
  - ◆ Erkennung und Erholung von Verklemmungen

2 Betriebsmittelbelegung

- Betriebsmittel
  - CPU, Drucker, Geräte (Platten, CD-ROM, Floppy, Audio, usw.)
  - nur elektronisch vorhandene Betriebsmittel der Anwendung oder des Betriebssystems, z.B. Gabeln der Philosophen
- Unterscheidung von Typ und Instanz
  - Typ definiert ein Betriebsmittel eindeutig
  - Instanz ist eine Ausprägung des Typs
    (die Anwendung benötigt eine Instanz eines best. Typs, egal welche)
    - **CPU:** Anwendung benötigt eine von mehreren gleichartigen CPUs
    - **Drucker:** Anwendung benötigt einen von mehreren gleichen Druckern (falls Drucker nicht austauschbar und gleichwertig, so handelt es sich um verschiedene Typen)
    - **Gabeln:** jede Gabel ist ein eigener Betriebsmitteltyp

2.1 Belegung

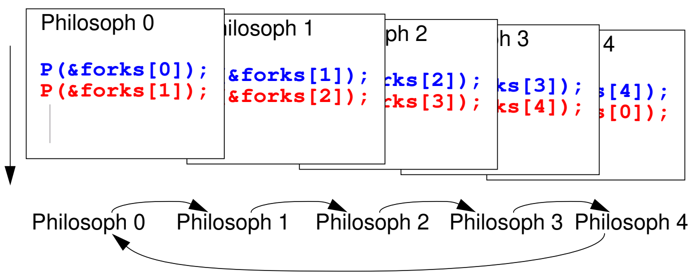
- Belegung erfolgt in drei Schritten
  - Anfordern des Betriebsmittels
    - blockiert evtl. falls Betriebsmittel nur exklusiv benutzt werden kann
    - **Gabel:** nur exklusiv
    - **Bildschirmausgabe:** exklusiv oder nicht-exklusiv
  - Nutzen des Betriebsmittels
    - **Gabel:** Philosoph kann essen
    - **Drucker:** Anwendung kann drucken
  - Freigeben des Betriebsmittels
    - **Gabel:** Philosoph legt Gabel wieder zwischen die Teller

2.2 Voraussetzungen für Verklemmungen

- Vier notwendige Bedingungen
  - *Exklusive Belegung*
    Mindestens ein Betriebsmitteltyp muss nur exklusiv belegbar sein.
  - *Nachforderungen von Betriebsmittel möglich*
    Es muss einen Prozess geben, der bereits Betriebsmittel hält, und ein neues Betriebsmittel anfordert.
  - *Kein Entzug von Betriebsmitteln möglich*
    Betriebsmittel können nicht zurückgefordert werden bis der Prozess sie wieder freigibt.
  - *Zirkuläres Warten*
    Es gibt einen Ring von Prozessen, in dem jeder auf ein Betriebsmittel wartet, das der Nachfolger im Ring besitzt.

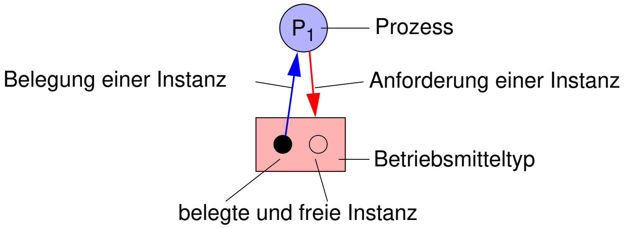
2.2 Voraussetzungen für Verklemmung (2)

- Beispiel: fünf Philosophen
  - Exklusive Belegung: **ja**
  - Nachforderungen von Betriebsmittel möglich: **ja**
  - Entzug von Betriebsmitteln: **nicht vorgesehen**
  - Zirkuläres Warten: **ja**



2.3 Betriebsmittelgraphen

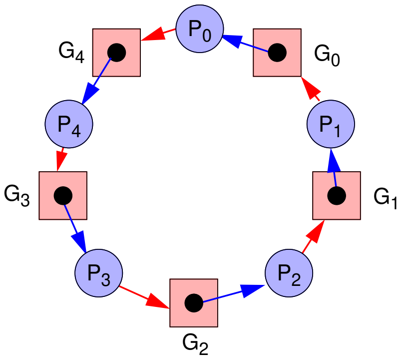
- Veranschaulichung der Belegung und Anforderung durch Graphen (nur exklusive Belegungen)



- Regeln:
  - ◆ kein Zyklus im Graph → keine Verklemmung
  - ◆ Zyklus im Graph $\nrightarrow$ Verklemmung
  - ◆ nur jeweils eine Instanz pro Betriebsmitteltyp und Zyklus → Verklemmung

2.3 Betriebsmittelgraphen (2)

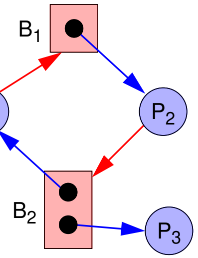
- Beispiel: fünf Philosophen



◆ Zyklus und jeder Betriebsmitteltyp hat nur eine Instanz → Verklemmung

2.3 Betriebsmittelgraphen (3)

- Beispiel mit Zyklus und ohne Verklemmung



◆ Prozess 3 kann seine Instanz vom Betriebsmitteltyp B_2 wieder zurückgeben und den Zyklus damit auflösen

3 Vermeidung von Verklemmungen

- Ansatz: Vermeidung der notwendigen Bedingungen für Verklemmungen
  - ◆ *Exklusive Belegung:*
    oft nicht vermeidbar
  - ◆ *Nachforderungen von Betriebsmittel möglich:*
    alle Betriebsmittel müssen auf einmal angefordert werden
    - ungenutzte aber belegte Betriebsmittel vorhanden
    - Aushungerung möglich: ein anderer Prozess hält immer das nötige Betriebsmittel belegt

3 Vermeidung von Verklemmungen (2)

◆ *Kein Entzug von Betriebsmitteln möglich:*
Entzug von Betriebsmitteln erlauben

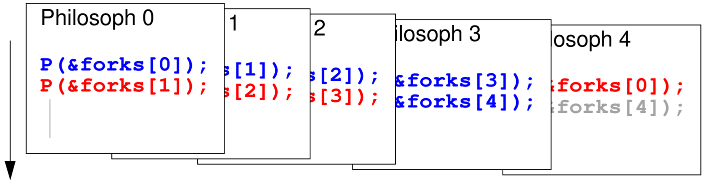
- bei neuer Belegung werden alle gehaltenen Betriebsmittel freigegeben und mit der neuen Anforderung zusammen wieder angefordert
- während ein Prozess wartet, werden seine bereits belegten Betriebsmittel anderen Prozessen zur Verfügung gestellt
- möglich für CPU oder Speicher jedoch nicht für Drucker, Bandlaufwerke oder ähnliche

◆ *Zirkuläres Warten:* Vermeidung von Zyklen

- Totale Ordnung auf Betriebmitteltypen

3 Vermeidung von Verklemmungen (3)

- Anforderungen nur in der Ordnungsreihenfolge erlaubt



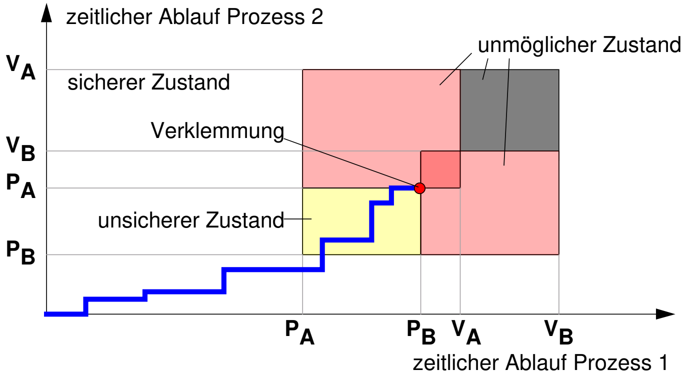
z.B. Gabeln: geordnet nach Gabelnummer

- Bei neuer Anforderung wird geprüft, ob letzte Anforderung kleiner bzgl. der totalen Ordnung war (Instanzen gleichen Typs müssen gleichzeitig angefordert werden); sonst: Abbruch mit Fehlermeldung
- Philosoph 4 bekäme eine Fehlermeldung, wenn er in der obigen Situation zuerst Gabel 4 und dann Gabel 0 anfordert: Rückgabe und neuer Versuch

4 Verhinderung von Verklemmungen

■ Annahme: es ist bekannt, welche Betriebsmittel ein Prozess brauchen wird (hier je zwei binäre Semaphore A und B)

◆ Betriebssystem überprüft System auf unsichere Zustände



4.1 Sichere und unsichere Zustände

■ Sicherer Zustand

◆ Es gibt eine Sequenz, in der die vorhandenen Prozesse abgearbeitet werden können, so dass ihre Anforderungen immer befriedigt werden können.

◆ Sicherer Zustand erlaubt immer eine verklemmungsfreie Abarbeitung

■ Unsicherer Zustand

◆ Es gibt keine solche Sequenz.

◆ Verklemmungszustand ist ein unsicherer Zustand

◆ Ein unsicherer Zustände führt zwangsläufig zur Verklemmung, wenn die Prozesse ihre angenommenen Betriebsmittel wirklich anfordern bevor sie von anderen Prozessen wieder freigegeben werden.

4.1 Sichere und unsichere Zustände (2)

- Beispiel:
  - 12 Magnetbandlaufwerke vorhanden
  - P_0 braucht (bis zu) 10 Laufwerke
  - P_1 braucht (bis zu) 4 Laufwerke
  - P_2 braucht (bis zu) 9 Laufwerke

  - Aktuelle Situation: P_0 hat 5, P_1 hat 2 und P_2 hat 2 Laufwerke
  - Zustand sicher?

  - Aktuelle Situation: P_0 hat 5, P_1 hat 2 und P_2 hat 3 Laufwerke
  - Zustand sicher?

4.1 Sichere und unsichere Zustände (3)

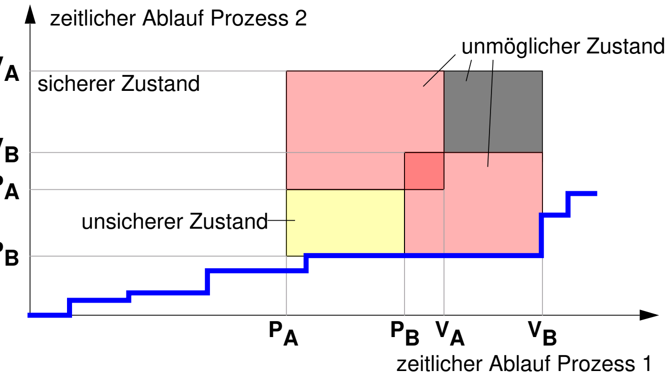
- Verhinderung von Verklemmungen
  - Verhinderung von unsicheren Zuständen
  - Anforderungen blockieren, falls sie in einen unsicheren Zustand führen würden

- Beispiel von Folie H.page 17:
  - Zustand: P_0 hat 5, P_1 hat 2 und P_2 hat 2 Laufwerke
  - P_2 fordert ein zusätzliches Laufwerk an
  - Belegung würde in unsicheren Zustand führen: P_2 muss warten

▲ Verhinderung von unsicheren Zuständen schränkt Nutzung von Betriebsmitteln ein
  - verhindert aber Verklemmungen

4.1 Sichere und unsichere Zustände (4)

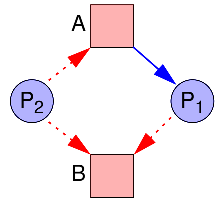
- Beispiel von Folie H.page 15:



  - Prozess 2 darf $\mathbf{P_B}$ nicht durchführen und muss warten

4.2 Betriebsmittelgraph

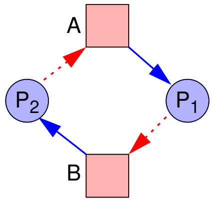
- Annahme: eine Instanz pro Betriebsmitteltyp
  - Einsatz von Betriebsmittelgraphen zur Erkennung unsicherer Zustände



  - zusätzliche Kanten zur Darstellung möglicher Anforderungen (Ansprüche, *Claims*)
  - Anspruchskanten werden gestrichelt dargestellt und bei Anforderung in Anforderungskanten umgewandelt
  - Anforderung und Belegung von B durch P_2 führt in einen unsicheren Zustand (siehe Beispiel von Folie H.15)

4.2 Betriebsmittelgraph (2)

- Erkennung des unsicheren Zustands an Zyklen im erweiterten Betriebsmittelgraph
  - Anforderung und Belegung von B durch P_2 führt zu:



  - Zyklenerkennung hat einen Aufwand von $O(n^2)$

- ▲ Betriebsmittelgraph nicht anwendbar bei mehreren Instanzen eines Betriebsmitteltyps

4.3 Banker's Algorithm

- Erkennung unsicherer Zustände bei mehreren Instanzen pro Betriebsmitteltyp

- Annahmen:
  - m Betriebsmitteltypen; Typ i verfügt über b_i Instanzen
  - n Prozesse

- Definitionen
  - B ist der Vektor $(b_1, b_2, \ldots b_m)$ der vorhandenen Instanzen
  - R ist der Vektor $(r_1, r_2, \ldots r_m)$ der noch verfügbaren Restinstanzen
  - C_j sind die Vektoren $(c_{j,1}, c_{j,2}, \ldots c_{j,m})$ der aktuellen Belegung durch den Prozess j

- Es gilt: $\sum_{j=1}^{n} c_{j,i} + r_i = b_i$ für alle $1 \le i \le m$

4.3 Banker's Algorithm (2)

- Weitere Definitionen
  - M_j sind die Vektoren $(m_{j,1}, m_{j,2}, \ldots m_{j,m})$ der bekannten maximalen Belegung der Betriebsmittel 1 bis m durch den Prozess j
  - zwei Vektoren A und B stehen in der Relation $A \le B$, falls die Elemente der Vektoren jeweils paarweise in der gleichen Relation stehen
    z.B. $(1, 2, 3) \le (2, 2, 4)$

4.3 Banker's Algorithm (3)

- Algorithmus
  1. alle Prozesse sind zunächst unmarkiert
  2. wähle einen nicht markierten Prozess j, so dass $M_j - C_j \le R$
     (Prozess ist ohne Verklemmung ausführbar, selbst wenn er alles anfordert, was er je brauchen wird)
  3. falls ein solcher Prozess j existiert, addiere C_j zu R, markiere Prozess j und beginne wieder bei Punkt (2)
     (Bei Terminierung wird der Prozess alle Betriebsmittel freigeben)
  4. falls ein solcher Prozess nicht existiert, terminiere Algorithmus

  - Sind alle Prozesse markiert, ist das System in einem sicheren Zustand.

4.4 Beispiel

- Beispiel:
  - ◆ 12 Magnetbandlaufwerke vorhanden
  - ◆ P_0 braucht (bis zu) 10 Laufwerke
  - ◆ P_1 braucht (bis zu) 4 Laufwerke
  - ◆ P_2 braucht (bis zu) 9 Laufwerke
  - ◆ Aktuelle Situation: P_0 hat 5, P_1 hat 2 und P_2 hat 3 Laufwerke
- Belegung der Datenstrukturen
  - ◆ $m = 1$
  - ◆ $n = 3$
  - ◆ $B = (12)$
  - ◆ $R = (2)$
  - ◆ $C_0 = (5)$, $C_1 = (2)$, $C_2 = (3)$
  - ◆ $M_0 = (10)$, $M_1 = (4)$, $M_2 = (9)$

4.4 Beispiel (2)

- Anwendung des Banker's Algorithm
  - ◆ wähle einen nicht markierten Prozess j, so dass $M_j - C_j \le R$
    ➔ P_1
  - ◆ $R := R + C_1$ ➔ $R = (4)$
  - ◆ wähle einen nicht markierten Prozess j, so dass $M_j - C_j \le R$
    ➔ kein geeigneter Prozess vorhanden
  - ◆ Zustand ist unsicher

5 Erkennung von Verklemmungen

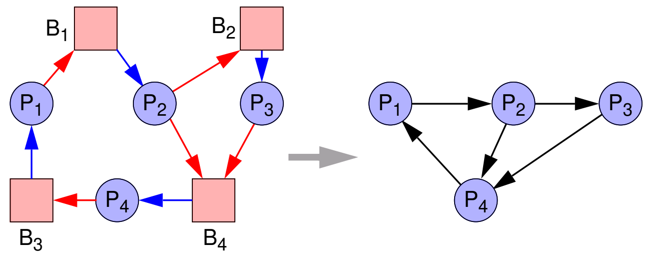
- Systeme ohne Mechanismen zur Vermeidung oder Verhinderung von Verklemmungen
  - ◆ Verklemmungen können auftreten
  - ◆ Verklemmung sollte als solche erkannt werden
  - ◆ Auflösung der Verklemmung sollte eingeleitet werden (Algorithmus nötig)

5.1 Wartegraphen

- Annahme: nur eine Instanz pro Betriebsmitteltyp
  - ◆ Einsatz von Wartegraphen, die aus dem Betriebsmittelgraphen gewonnen werden können

5.1 Wartegraphen (2)

- Wartegraphen
  - ◆ Betriebsmittel und Kanten werden aus Betriebsmittelgraph entfernt
  - ◆ zwischen zwei Prozessen wird eine „wartet auf"-Kante eingeführt, wenn es Kanten vom ersten Prozess zu einem Betriebsmittel und von diesem zum zweiten Prozess gibt



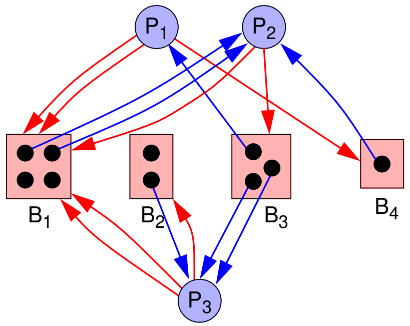
Betriebsmittelgraph Wartegraph

5.1 Wartegraphen (3)

- Erkennung von Verklemmungen
  - Wartegraph enthält Zyklen: System ist verklemmt
- Betriebsmittelgraph nicht für Systeme geeignet, die mehrere Instanzen pro Betriebsmitteltyp zulassen

5.2 Erkennung durch graphische Reduktion

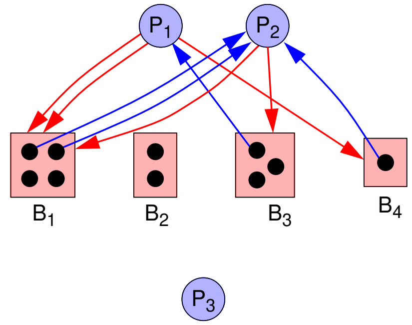
- Betriebsmittelgraph des Beispiels



  - Auswahl eines Prozesses für den Anforderungen erfüllbar: nur P_3 möglich
  - Löschen aller Kanten des Prozesses

5.2 Erkennung durch graphische Reduktion (2)

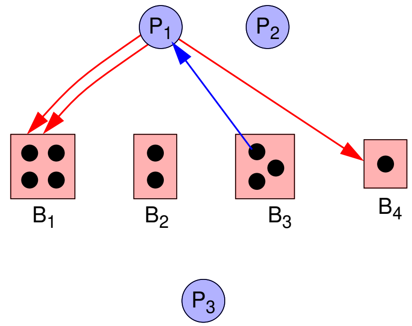
- Betriebsmittelgraph des Beispiels (1. Reduktion)



  - Auswahl eines Prozesses für den Anforderungen erfüllbar: nur P_2 möglich
  - Löschen aller Kanten des Prozesses

5.2 Erkennung durch graphische Reduktion (3)

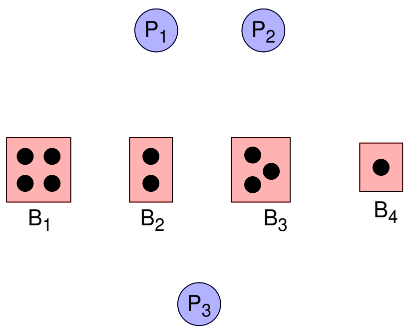
- Betriebsmittelgraph des Beispiels (2. Reduktion)



  - Auswahl eines Prozesses für den Anforderungen erfüllbar: P_1
  - Löschen aller Kanten des Prozesses

5.2 Erkennung durch graphische Reduktion (4)

- Betriebsmittelgraph des Beispiels (3. Reduktion)



- ◆ es bleiben keine Prozesse mit Anforderungen übrig ➔ keine Verklemmung
- ◆ übrig bleibende Prozesse sind verklemmt und in einem Zyklus

5.3 Erkennung durch Reduktionsverfahren

- Annahmen:
  - ◆ m Betriebsmitteltypen; Typ i verfügt über b_i Instanzen
  - ◆ n Prozesse
- Definitionen
  - ◆ B ist der Vektor $(b_1, b_2, \ldots b_m)$ der vorhandenen Instanzen
  - ◆ R ist der Vektor $(r_1, r_2, \ldots r_m)$ der noch verfügbaren Restinstanzen
  - ◆ C_j sind die Vektoren $(c_{j,1}, c_{j,2}, \ldots c_{j,m})$ der aktuellen Belegung durch den Prozess j
- Es gilt: $\sum_{j=1}^{n} c_{j,i} + r_i = b_i$ für alle $1 \le i \le m$

5.3 Erkennung durch Reduktionsverfahren (2)

- Weitere Definitionen
  - ◆ A_j sind die Vektoren $(a_{j,1}, a_{j,2}, \ldots a_{j,m})$ der aktuellen Anforderungen durch den Prozess j
  - ◆ zwei Vektoren A und B stehen in der Relation $A \le B$, falls die Elemente der Vektoren jeweils paarweise in der gleichen Relation stehen
- Algorithmus
  1. alle Prozesse sind zunächst unmarkiert
  2. wähle einen Prozess j, so dass $A_j \le R$
     (Prozess ist ohne Verklemmung ausführbar)
  3. falls ein solcher Prozess j existiert, addiere C_j zu R, markiere Prozess j und beginne wieder bei Punkt (2)
     (Bei Terminierung wird der Prozess alle Betriebsmittel freigeben)
  4. falls ein solcher Prozess nicht existiert, terminiere Algorithmus
  - ◆ alle nicht markierten Prozesse sind an einer Verklemmung beteiligt

5.3 Erkennung durch Reduktionsverfahren (3)

- Beispiel
  - ◆ $m = 4$; $B = (4, 2, 3, 1)$
  - ◆ $n = 3$; $C_1 = (0, 0, 1, 0)$; $C_2 = (2, 0, 0, 1)$; $C_3 = (0, 1, 2, 0)$
  - ◆ daraus ergibt sich $R = (2, 1, 0, 0)$
  - ◆ Anforderungen der Prozesse lauten:
    $A_1 = (2, 0, 0, 1)$; $A_2 = (1, 0, 1, 0)$; $A_3 = (2, 1, 0, 0)$
- Ablauf
  - ◆ Auswahl eines Prozesses: Prozess 3, da $A_3 \le R$; markiere Prozess 3
  - ◆ Addiere C_3 zu R: neues $R = (2, 2, 2, 0)$
  - ◆ Auswahl eines Prozesses: Prozess 2, da $A_2 \le R$; markiere Prozess 2
  - ◆ Addiere C_2 zu R: neues $R = (4, 2, 2, 1)$
  - ◆ Auswahl eines Prozesses: Prozess 1, da $A_1 \le R$; markiere Prozess 1
  - ◆ kein Prozess mehr unmarkiert: keine Verklemmung

5.4 Einsatz der Verklemmungserkennung

- Wann sollte Erkennung ablaufen?
  - ◆ Erkennung ist aufwendig (Aufwand $O(n^2)$ bei Zyklenerkennung)
  - ◆ Häufigkeit von Verklemmungen eher gering

  - ◆ zu häufig: Verschwendung von Ressourcen zur Erkennung
  - ◆ zu selten: Betriebsmittel werden nicht optimal genutzt, Anzahl der verklemmten Prozesse steigt
- Möglichkeiten:
  - ◆ Erkennung, falls eine Anforderung nicht sofort erfüllt werden kann
  - ◆ periodische Erkennung (z.B. einmal die Stunde)
  - ◆ CPU Auslastung beobachten; falls Auslastung sinkt, Erkennung starten

5.5 Erholung von Verklemmungen

- Verklemmung erkannt: Was tun?
  - ◆ Operateur benachrichtigen; manuelle Beseitigung
  - ◆ System erholt sich selbst
- Abbrechen von Prozessen (terminierte Prozesse geben ihre Betriebsmittel wieder frei)
  - ◆ alle verklemmten Prozesse abbrechen
    (großer Schaden)
  - ◆ einen Prozess nach dem anderen abbrechen bis Verklemmung behoben
    (kleiner Schaden aber rechenzeitintensiv)
  - ◆ mögliche Schäden:
    - Verlust von berechneter Information
    - Dateninkonsistenzen

5.5 Erholung von Verklemmungen (2)

- Entzug von Betriebsmitteln
  - ◆ Aussuchen eines „Opfer“-Prozesses
    (Aussuchen nach geringstem entstehendem Schaden)
  - ◆ Entzug der Betriebsmittel und Zurückfahren des „Opfer“-Prozesses
    (Prozess wird in einen Zustand zurückgefahren, der unkritisch ist; benötigt Checkpoint oder Transaktionsverarbeitung)
  - ◆ Verhinderung von Aushungerung
    (es muss verhindert werden, dass immer derselbe Prozess Opfer wird und damit keinen Fortschritt mehr macht)

6 Kombination der Verfahren

- Einsatz verschiedener Verfahren für verschiedene Betriebsmittel
  - ◆ Interne Betriebsmittel:
    Verhindern von Verklemmungen durch totale Ordnung der Betriebsmittel (z.B. IBM Mainframe-Systeme)
  - ◆ Hauptspeicher:
    Verhindern von Verklemmungen durch Entzug des Speichers (z.B. durch Swap-Out)
  - ◆ Betriebsmittel eines Jobs:
    Angabe der benötigten Betriebsmittel beim Starten; Einsatz der Vermeidungsstrategie durch Feststellen unsicherer Zustände
  - ◆ Hintergrundspeicher (Swap-Space):
    Vorausbelegung des Hintergrundspeichers