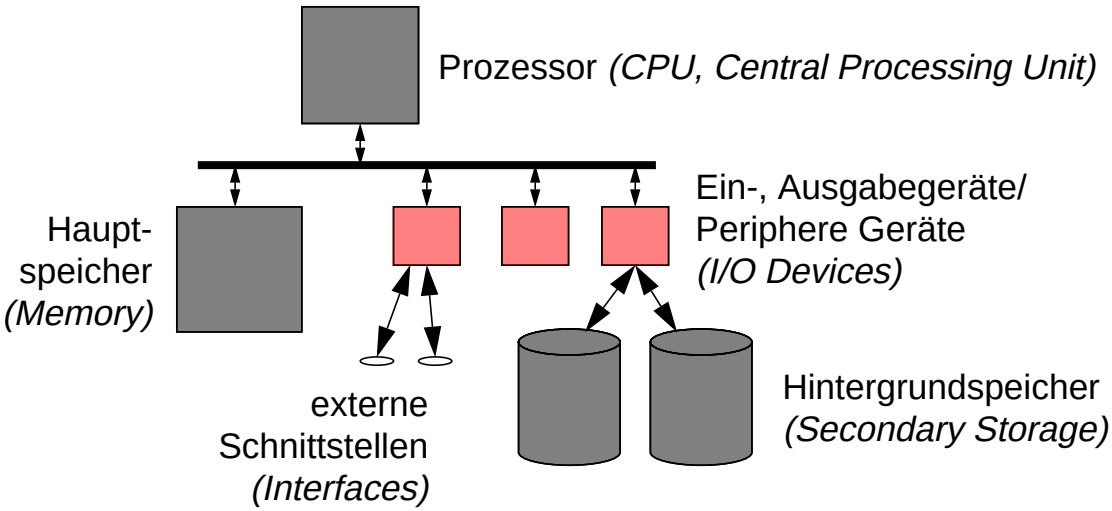
# G Ein-, Ausgabe



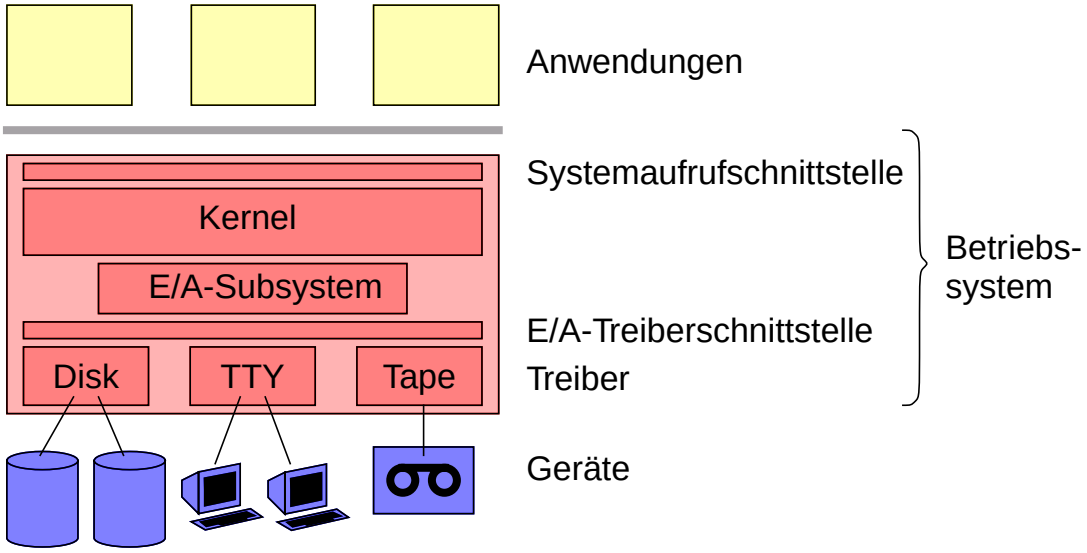

## G Ein- und Ausgabe

- Einordnung



# 1 Gerätezugang und Treiber

- Schichtung der Systemsoftware bis zum Gerät




*Nach Vahalia, 1996*




# 1.1 Gerätерepräsentation 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 Gerätерepräsentation 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



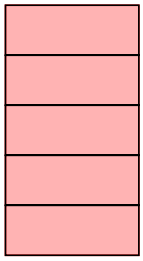

## 1.1 Gerätерepräsentation in UNIX (3)

- 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 Gerätерepräsentation in UNIX (4)

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

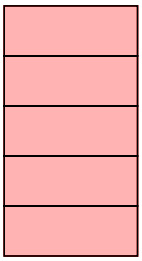


**`d_open`**
**`d_close`**
**`d_strategy`**
**`d_size`**
**`d_xhalt`**

...

**`struct bdevsw`**
für blockorientierte Geräte

**`struct cdevsw`**
für zeichenorientierte Geräte



**`d_open`**
**`d_close`**
**`d_write`**
**`d_read`**
**`d_ioctl`**

...

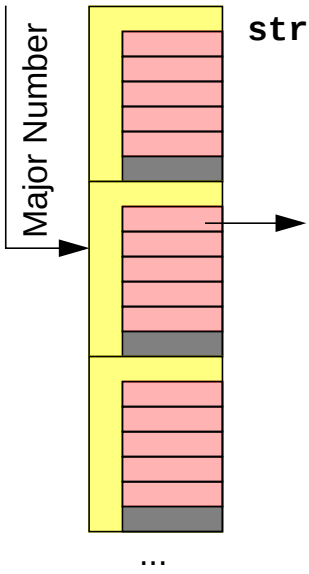



# 1.1 Gerätерepräsentation in UNIX (5)

- 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 Gerätерepräsentation in UNIX (6)

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

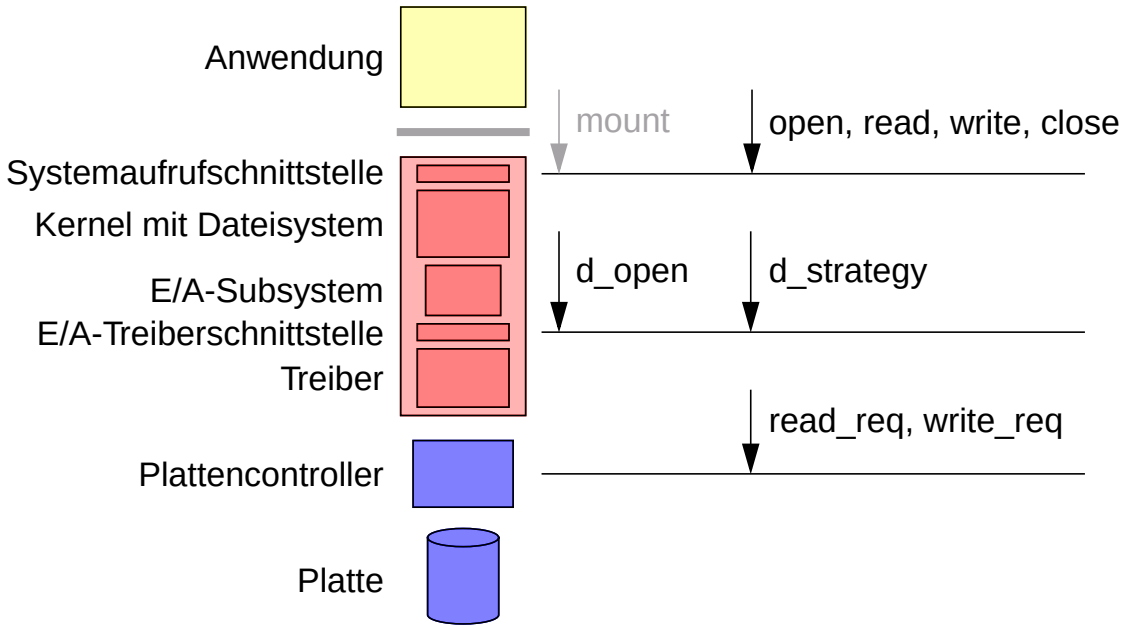



- *Major Number* bestimmt Element des Feldes
- Zeiger innerhalb des Feldelementes bestimmt Eintrittspunkt in die entsprechende Treiberfunktion
- *Minor Number* wird beim Aufruf als Parameter übergeben



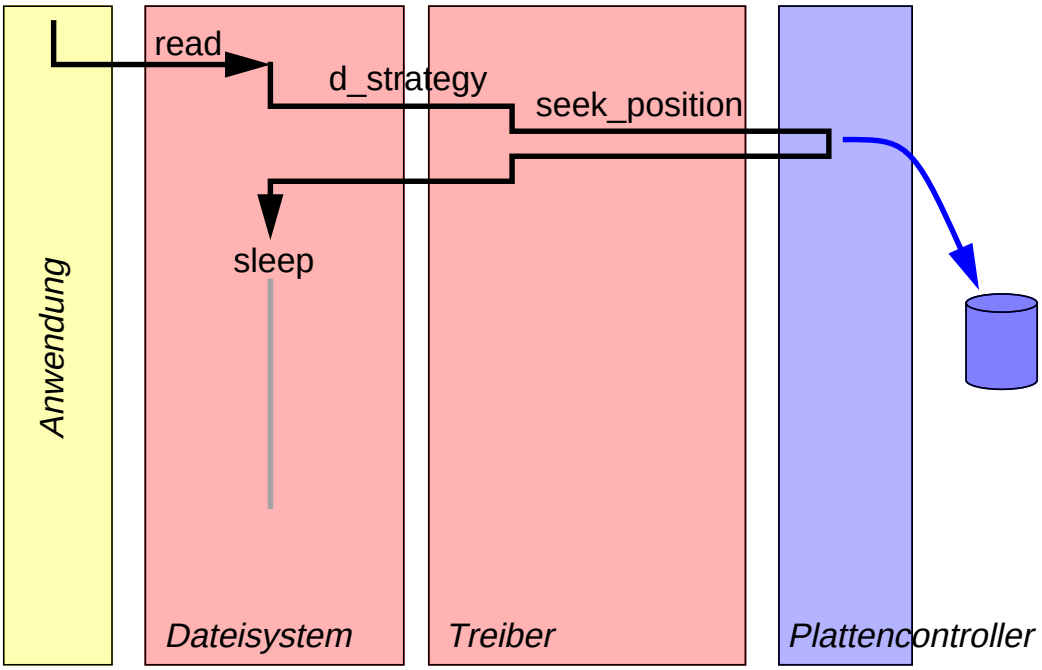

# 2 Plattentreiber

- Software und Hardware zwischen Anwender und Platte



## 2.1 Einfacher Treiber

- Ablauf eines Leseaufrufs

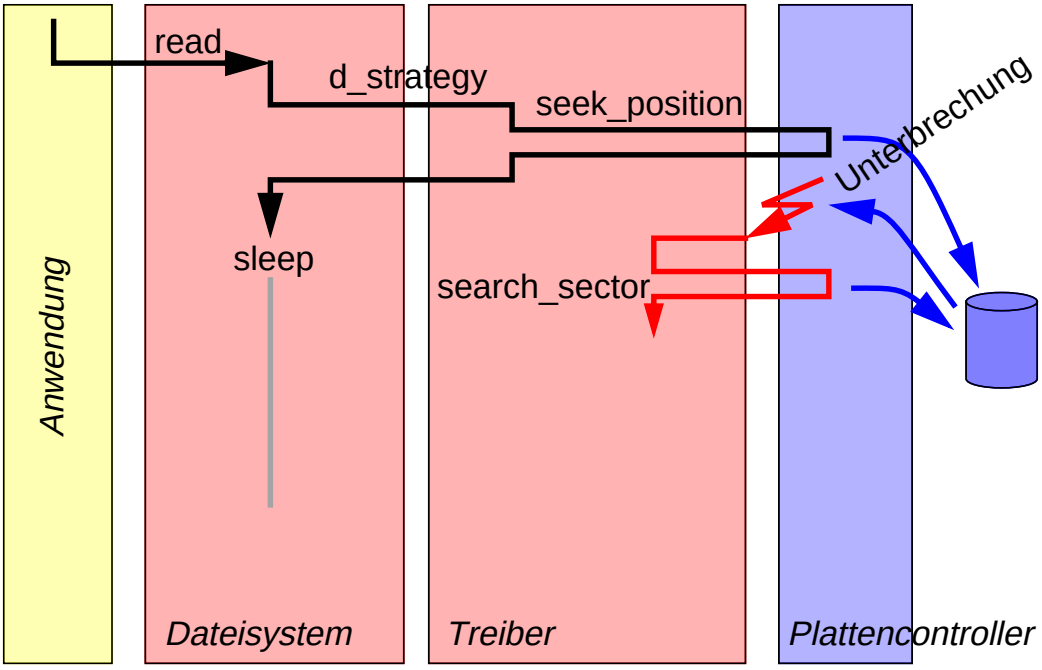






## 2.1 Einfacher Treiber

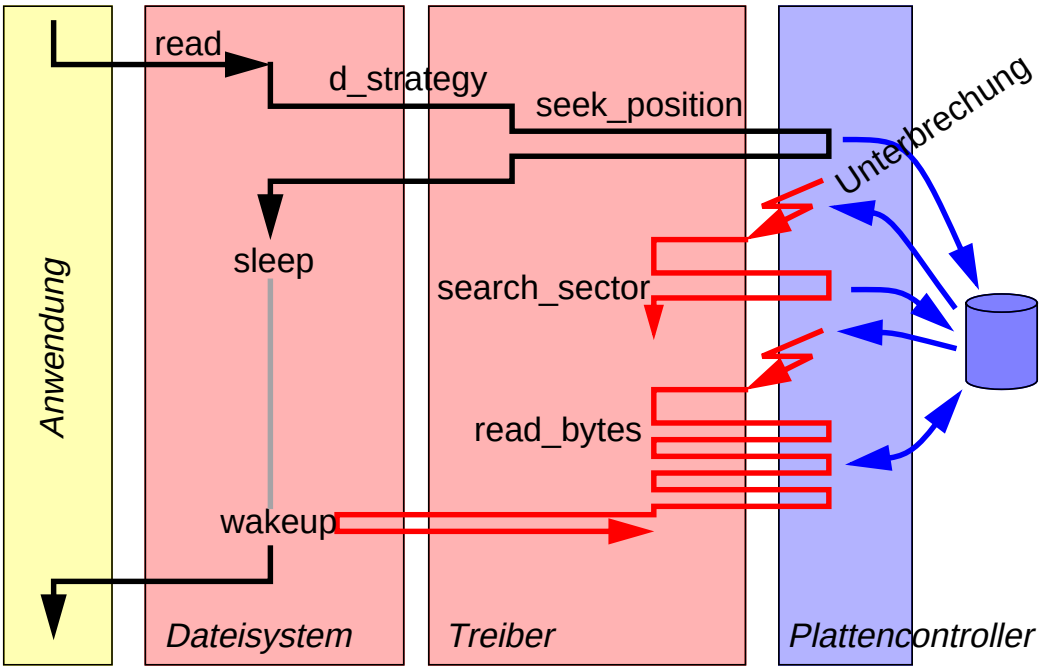
- Ablauf eines Leseaufrufs




Systemprogrammierung I
G – 11
© 1997-2001, Franz J. Hauck; 2002, F. Hofmann, Inf 4, Univ. Erlangen-Nürnberg[G-InOut.fm, 2002-12-16 07.26]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

## 2.1 Einfacher Treiber

- Ablauf eines Leseaufrufs





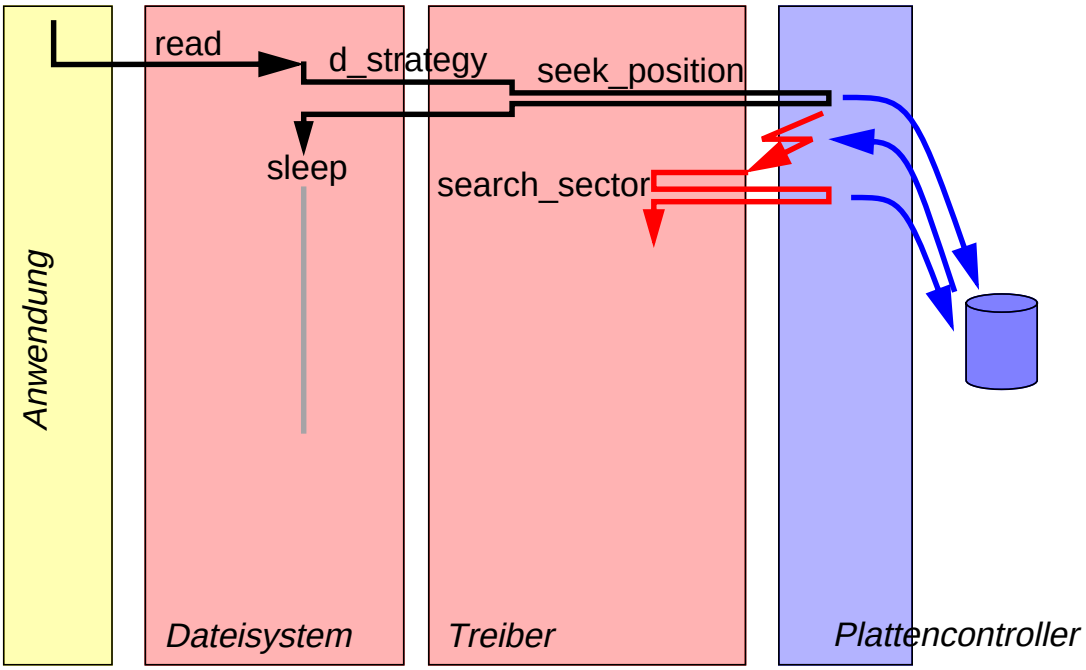


## 2.1 Einfacher Plattentreiber (2)

- 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

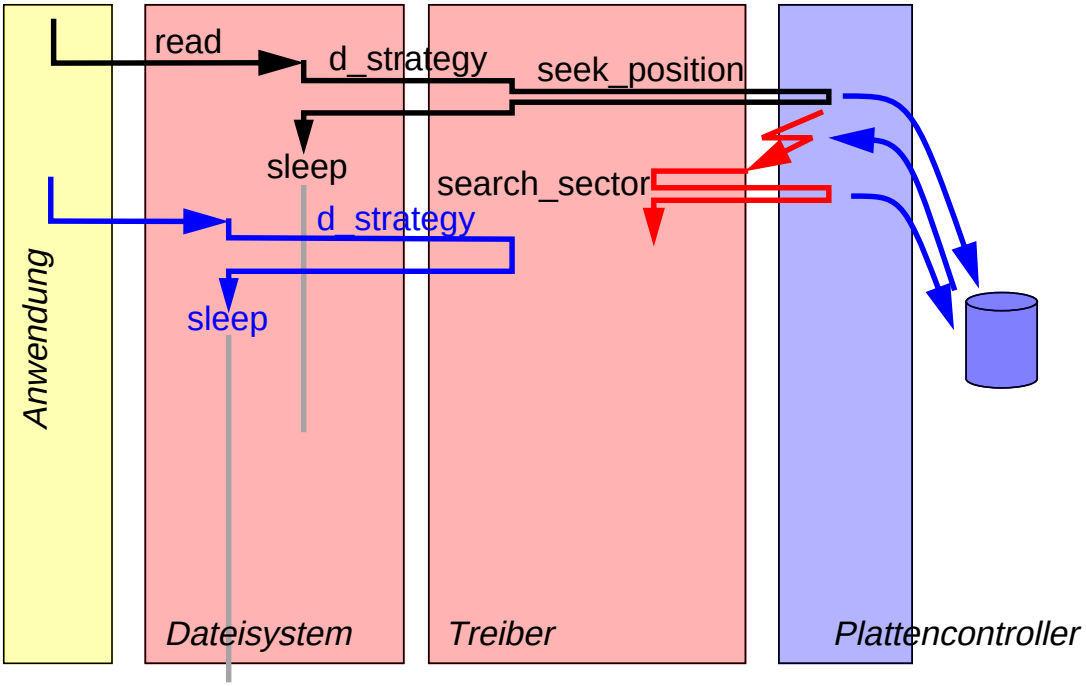






# 2.1 Einfacher Plattentreiber (3)

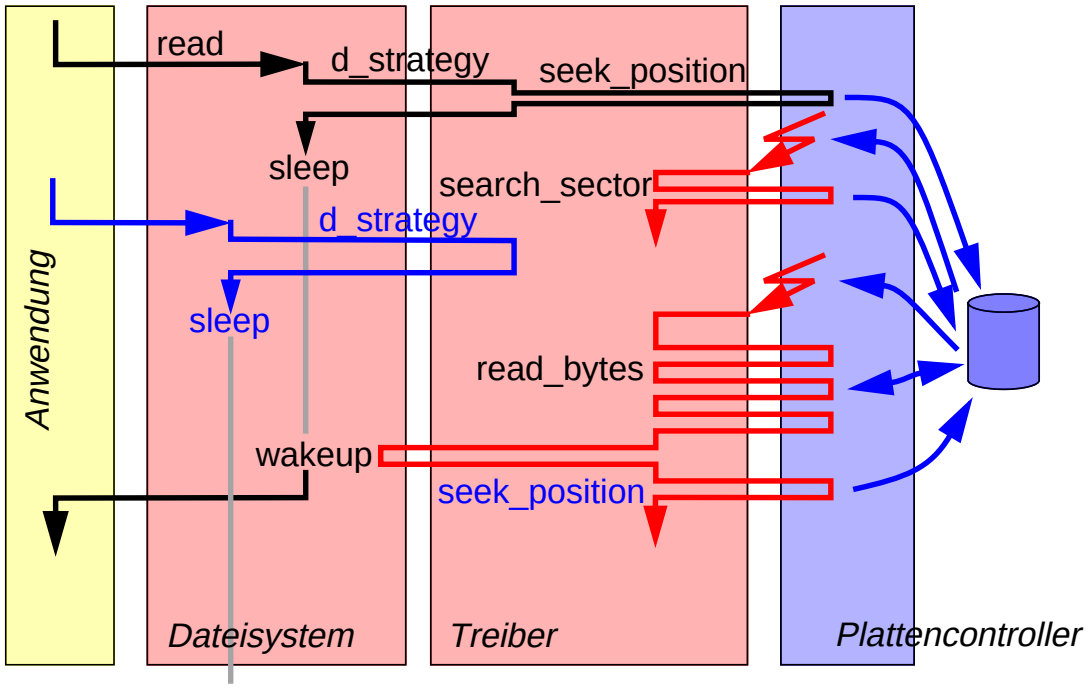
- Ablauf mehrerer Leseaufrufe




Systemprogrammierung I
G – 13
© 1997-2001, Franz J. Hauck; 2002, F. Hofmann, Inf 4, Univ. Erlangen-Nürnberg[G-InOut.fm, 2002-12-16 07.26]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

# 2.1 Einfacher Plattentreiber (3)

- Ablauf mehrerer Leseaufrufe

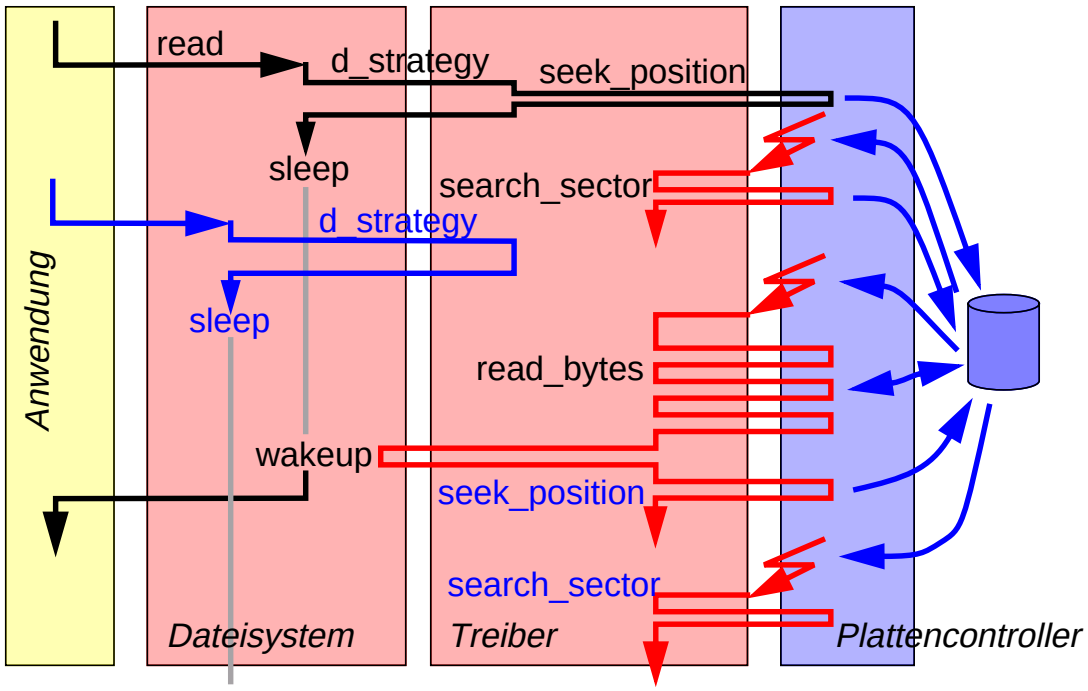






# 2.1 Einfacher Plattentreiber (3)

- Ablauf mehrerer Leseaufrufe



## 2.1 Einfacher Plattentreiber

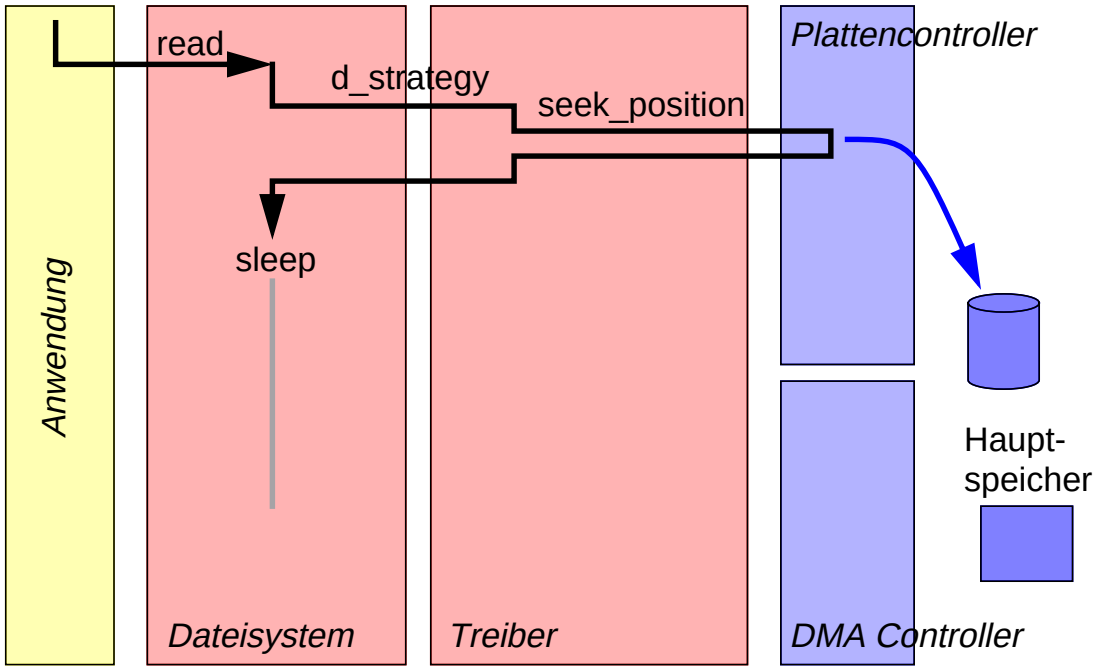
- Unterbrechungsbehandlung ist auch für weitere Aufträge zuständig
  - Ist der Auftrag abgeschlossen, muss die Unterbrechungsbehandlung den nächsten Auftrag auswählen und aufsetzen, da der zugehörige Prozess bereits blockiert ist.
  - Die Unterbrechungen laufender Aufträge sorgen für die Abwicklung der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

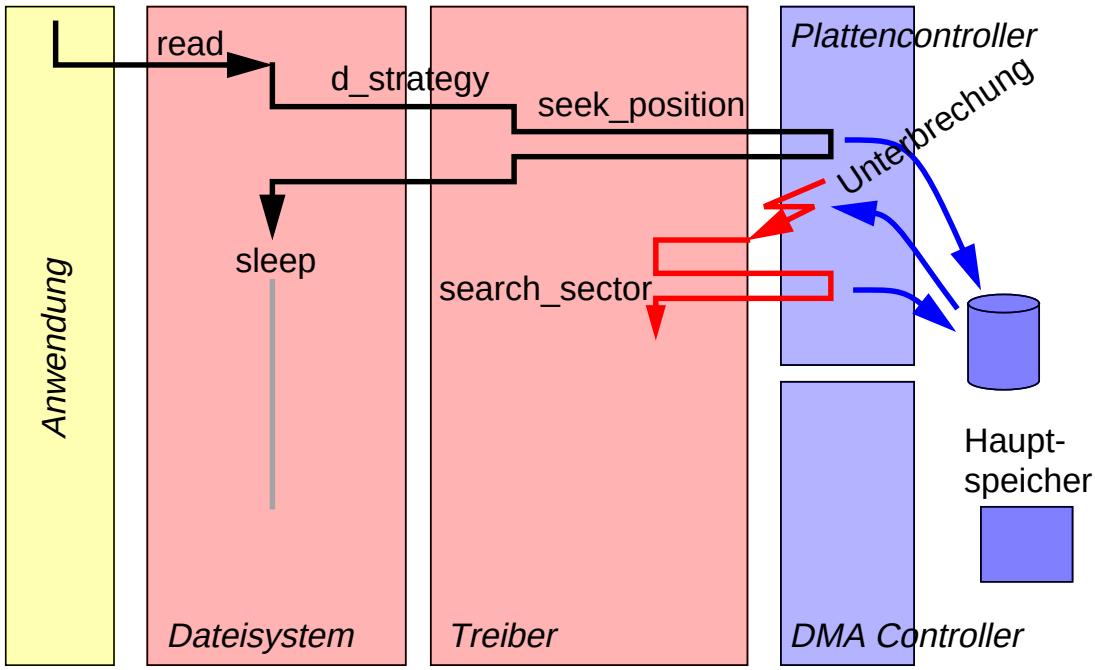
## 2.2 Treiber mit DMA (2)





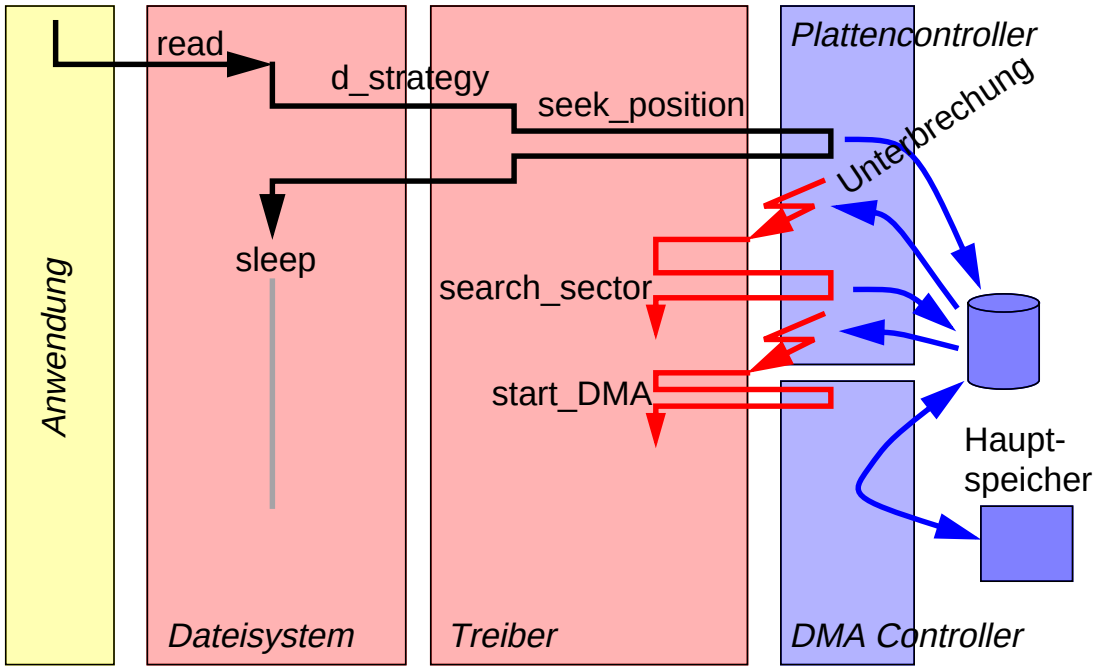


## 2.2 Treiber mit DMA (2)




Systemprogrammierung I
G – 16
© 1997-2001, Franz J. Hauck; 2002, F. Hofmann, Inf 4, Univ. Erlangen-Nürnberg[G-InOut.fm, 2002-12-16 07.26]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

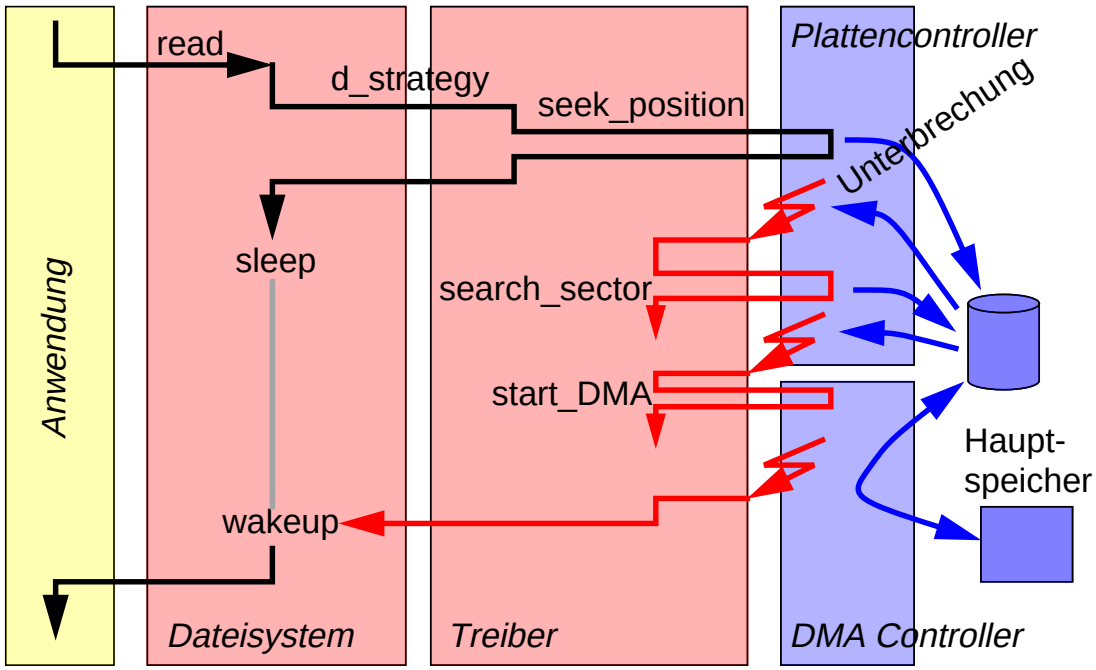
## 2.2 Treiber mit DMA (2)







## 2.2 Treiber mit DMA (2)



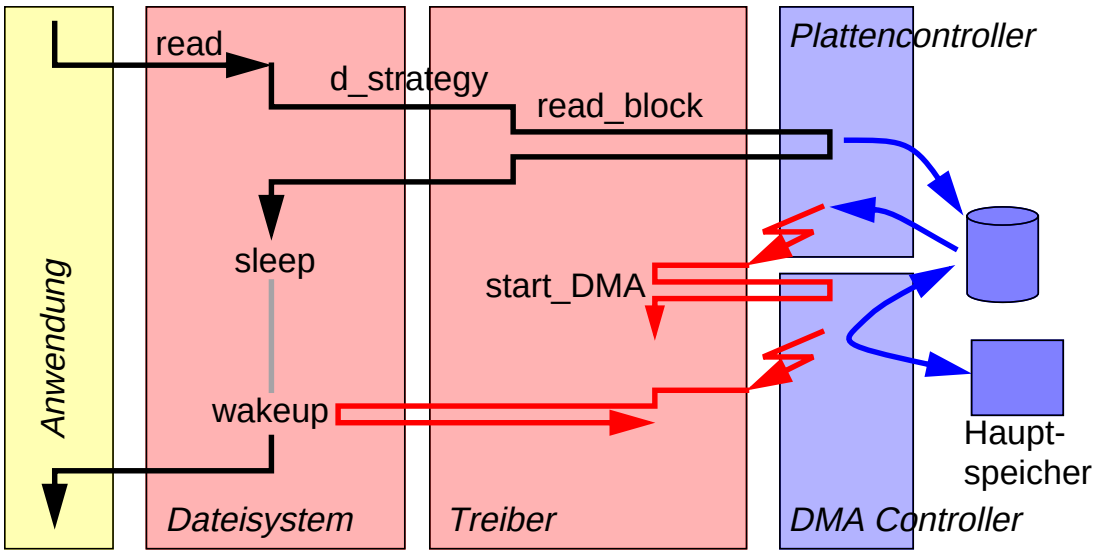
## 2.2 Treiber mit DMA (3)

- 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.



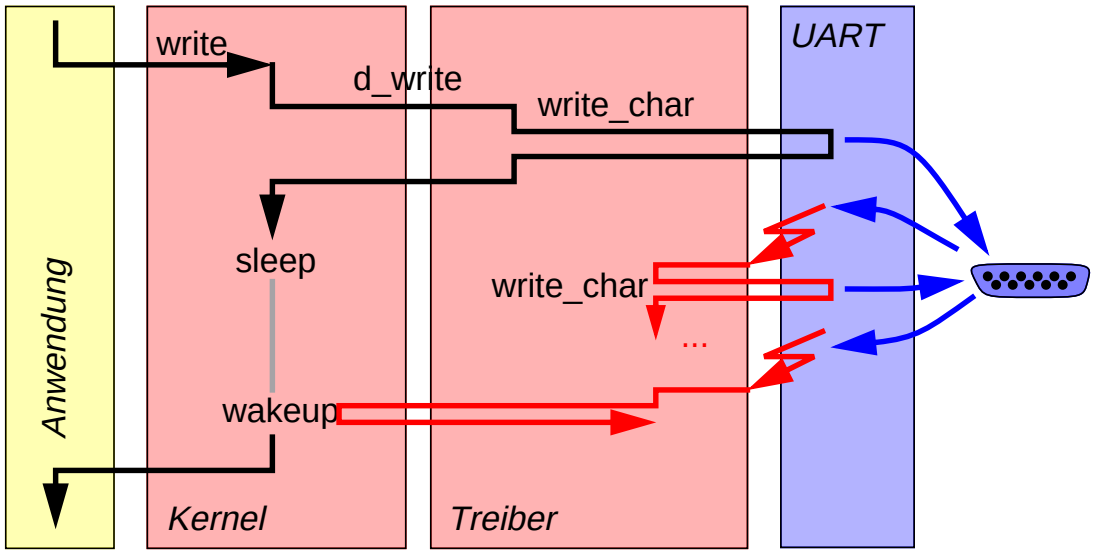
# 3 Treiber für serielle Schnittstellen

- 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()`**

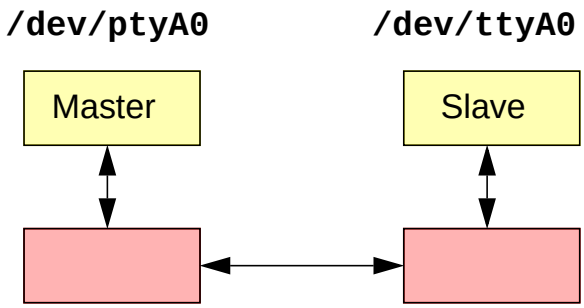
## 3.6 Pseudo-Terminals

- 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

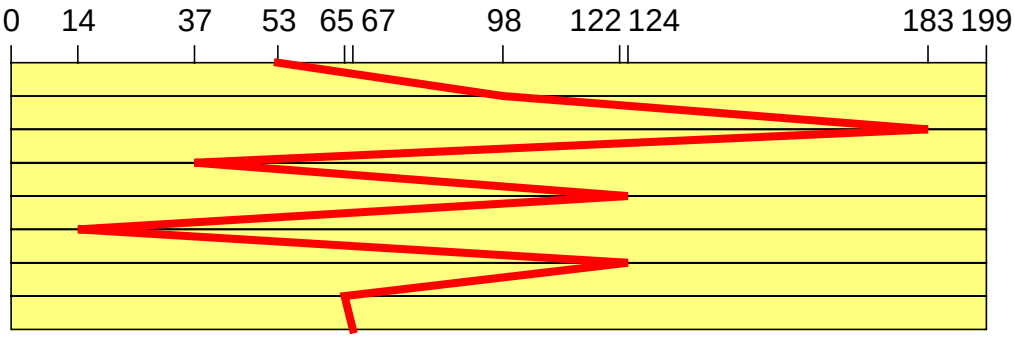
# 7 Disk-Scheduling

- 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

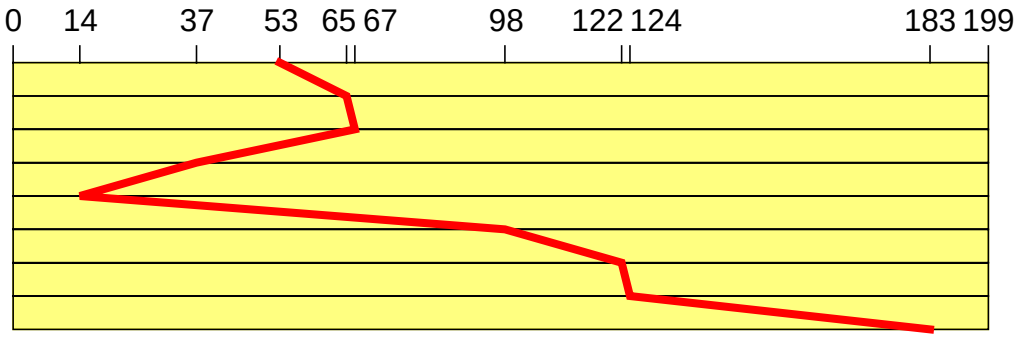
- Bearbeitung gemäß Ankunft des Auftrags
  - Referenzfolge (Folge von Zylindernummern):
    98, 183, 37, 122, 14, 124, 65, 67
  - Aktueller Zylinder: 53




  - 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)

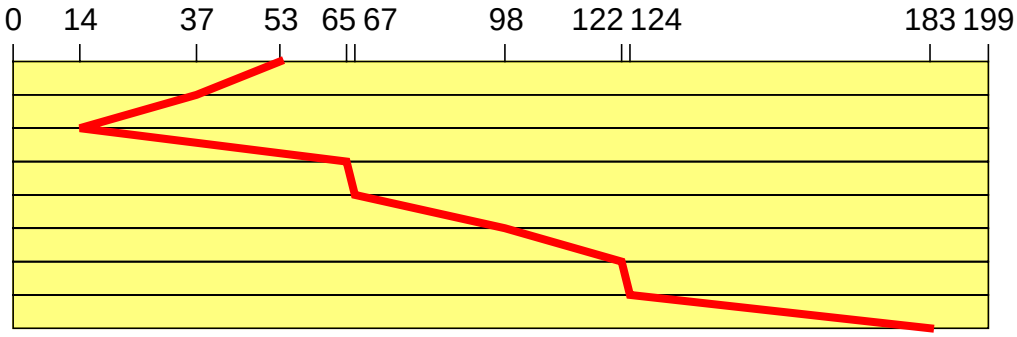



  - Gesamtzahl von Spurwechseln: 236
  - ähnlich wie SJF kann auch SSTF zur Aushungerung führen
  - noch nicht optimal




## 7.3 SCAN-Scheduling

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



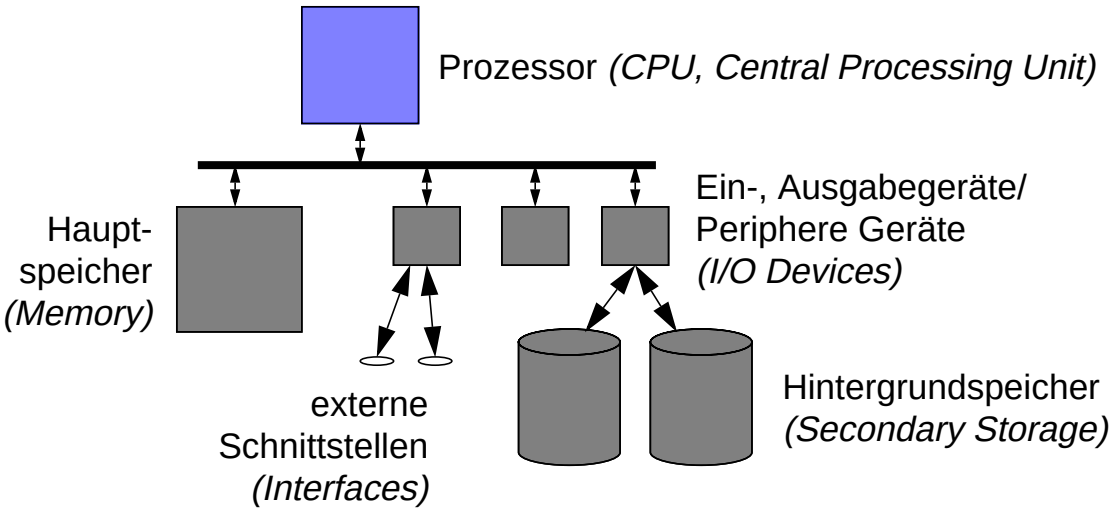

  - Gesamtzahl der Spurwechsel: 208
  - Neue Aufträge werden miterledigt ohne zusätzliche Positionierzeit und ohne mögliche Aushungerung
  - Variante C-SCAN *(Circular SCAN)*: Bewegung nur in eine Richtung

# H Verklemmungen




## H Verklemmungen

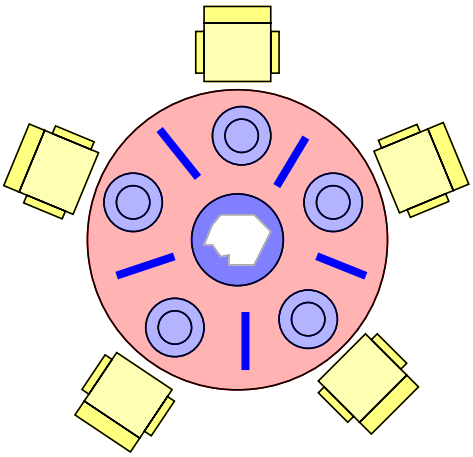
- Einordnung:




- Verhalten von Aktivitätsträgern / Prozessen

# 1 Motivation

- Beispiel: die fünf Philosophen am runden Tisch



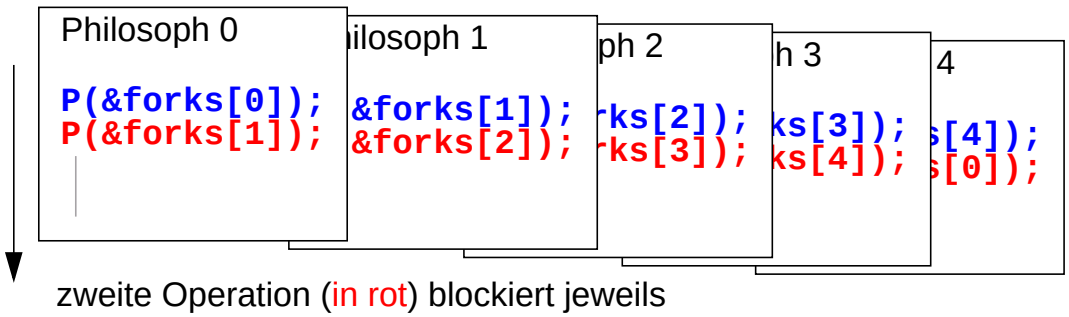
  - Philosophen denken oder essen "The life of a philosopher consists of an alternation of thinking and eating." (Dijkstra, 1971)
  - zum Essen benötigen sie zwei Gabeln, die jeweils zwischen zwei benachbarten Philosophen abgelegt sind

- 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

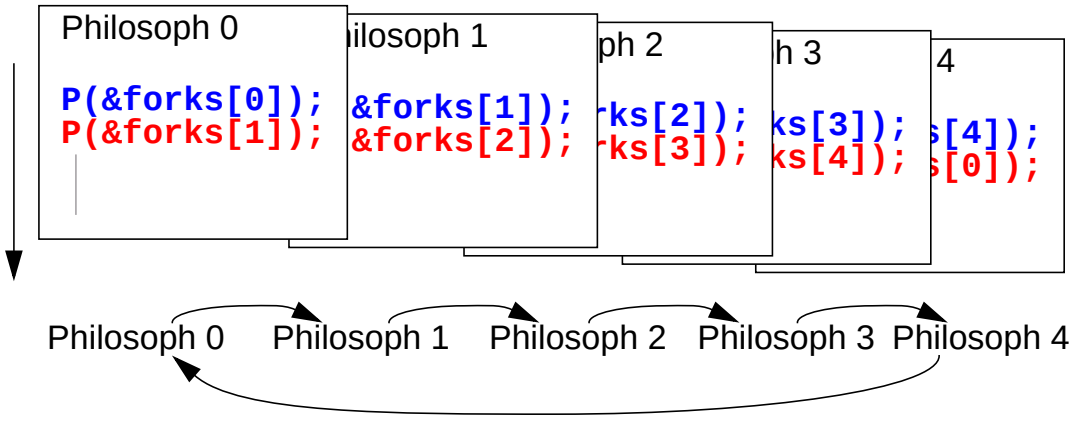
## 2.2 Voraussetzungen für Verklemmungen

- 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.



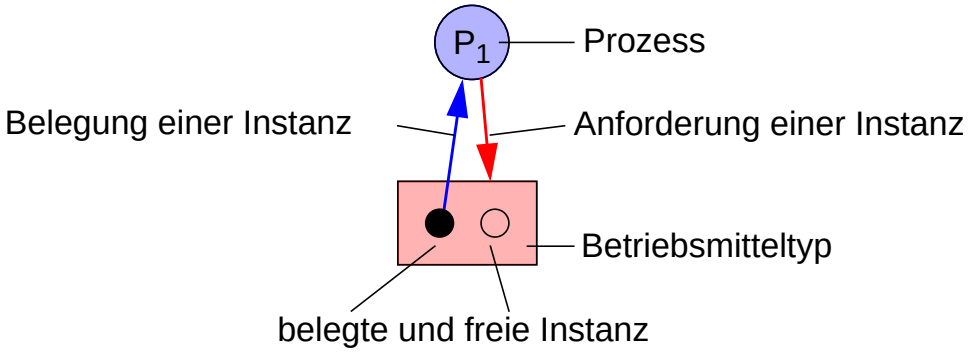

## 2.2 Voraussetzungen für Verklemmung (2)

- 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)

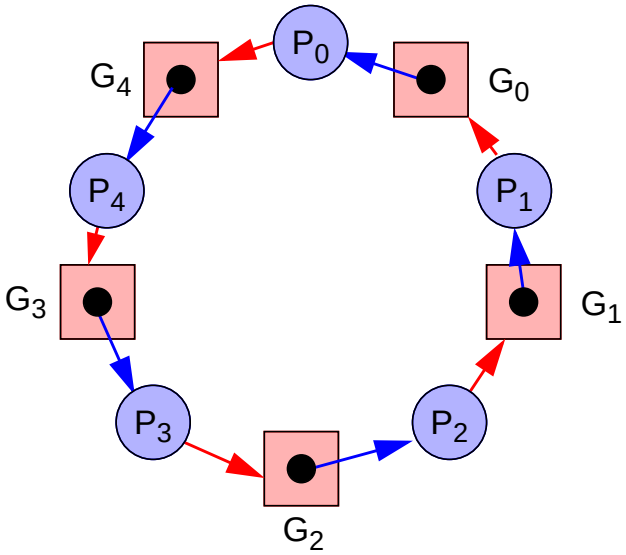



- Regeln:
  - kein Zyklus im Graph ➔ keine Verklemmung
  - Zyklus im Graph ➔ Verklemmung
  - nur jeweils eine Instanz pro Betriebsmitteltyp und Zyklus ➔ Verklemmung




## 2.3 Betriebsmittelgraphen (2)

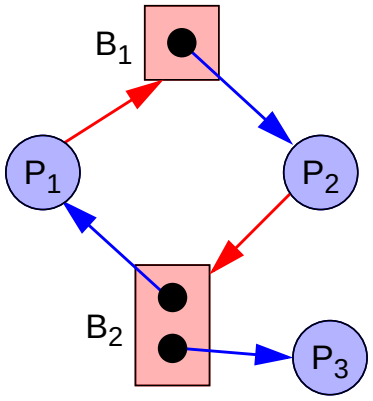
- Beispiel: fünf Philosophen




- 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

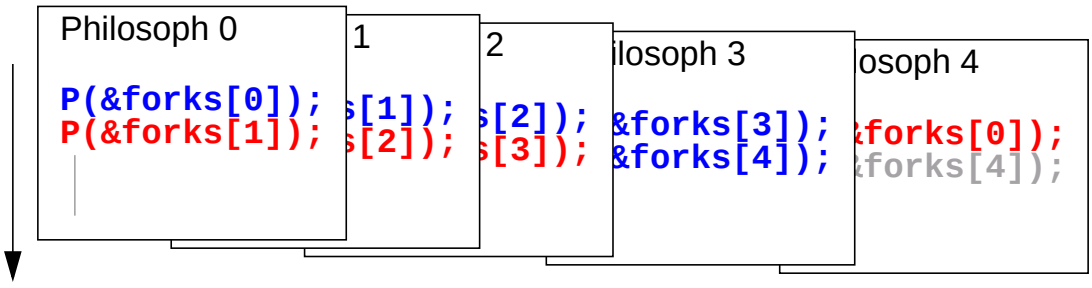
◆ *Zirkuläres Warten:* Vermeidung von Zyklen

- Totale Ordnung auf Betriebmitteltypen




# 3 Vermeidung von Verklemmungen (3)

- Anforderungen nur in der Ordnungsreihenfolge erlaubt

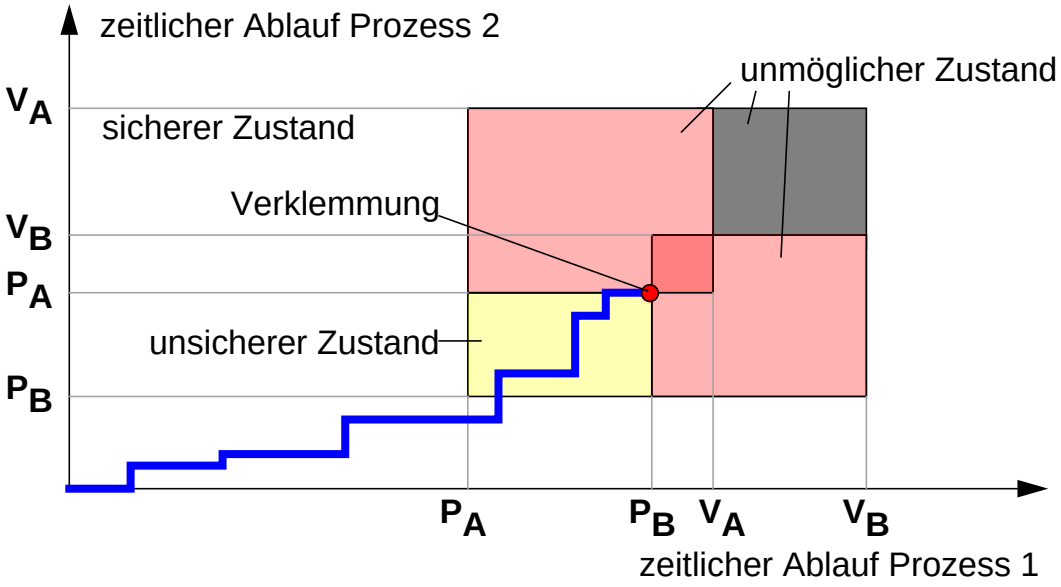



z.B. Gabeln: geordnet nach Gabelnummer

- 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?

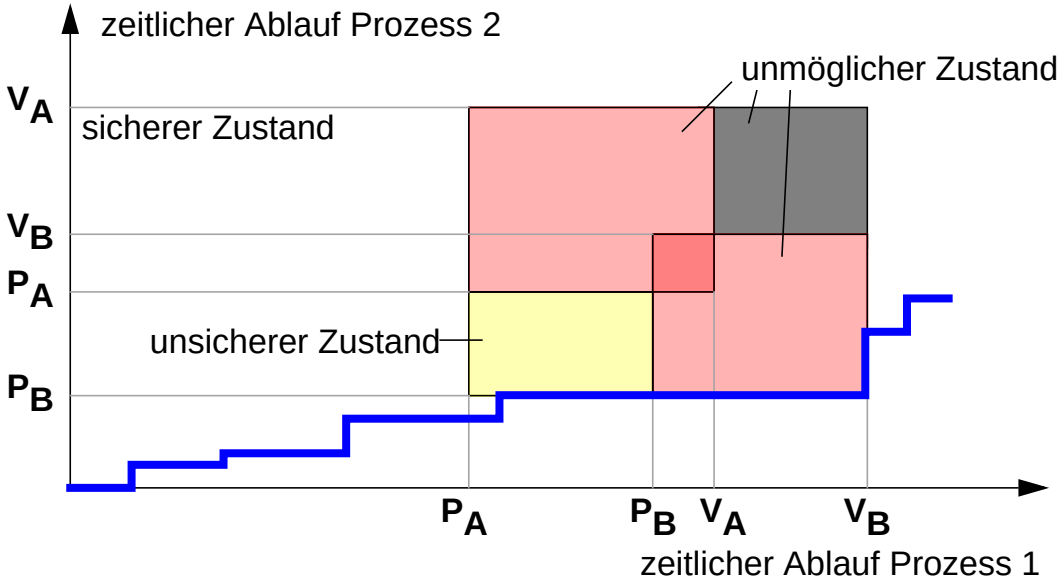



## 4.1 Sichere und unsichere Zustände (3)

- 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:

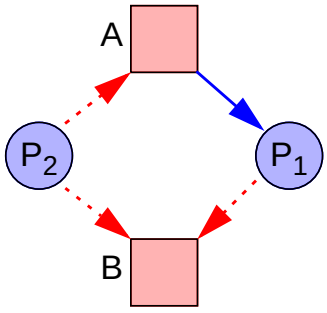



  - Prozess 2 darf $P_B$ nicht durchführen und muss warten




## 4.2 Betriebsmittelgraph

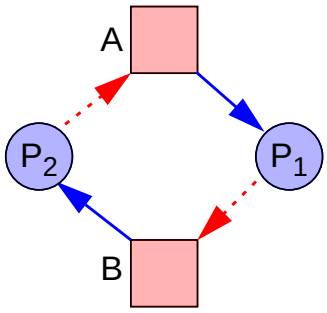
- Annahme: eine Instanz pro Betriebsmitteltyp
  - Einsatz von Betriebsmittelgraphen zur Erkennung unsicherer Zustände




  - 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 $A \leq B$, falls die Elemente der Vektoren jeweils paarweise in der gleichen Relation stehen
    z.B. $(1, 2, 3) \leq (2, 2, 4)$




## 4.3 Banker's Algorithm (3)

- Algorithmus
  1. alle Prozesse sind zunächst unmarkiert
  2. wähle einen nicht markierten Prozess $j$, so dass $M_j - C_j \leq R$
     (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 $M_j - C_j \leq R$
    → $P_1$
  - $R := R + C_1$ → $R = (4)$
  - wähle einen nicht markierten Prozess *j*, so dass $M_j - C_j \leq R$
    → 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)

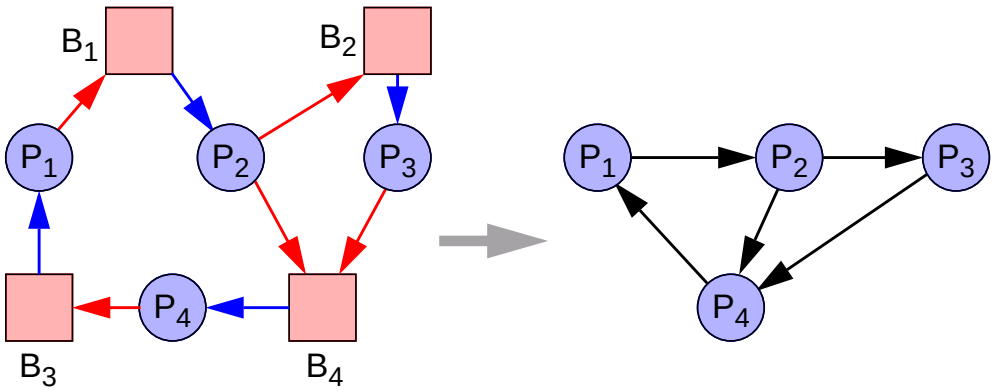
## 5.1 Wartegraphen

- 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

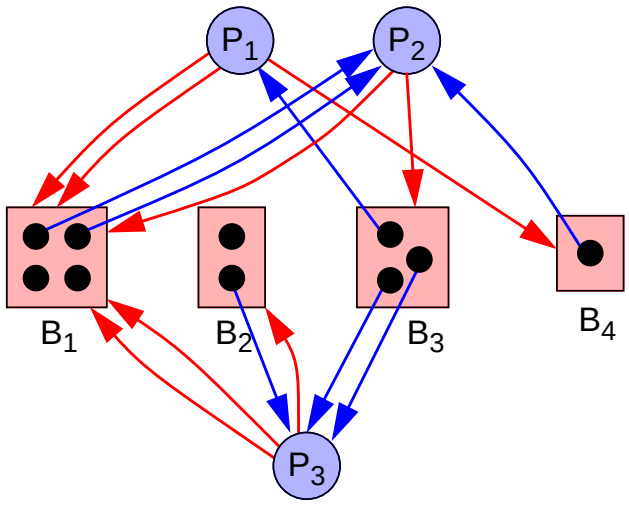
## 5.1 Wartegraphen (3)

- 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

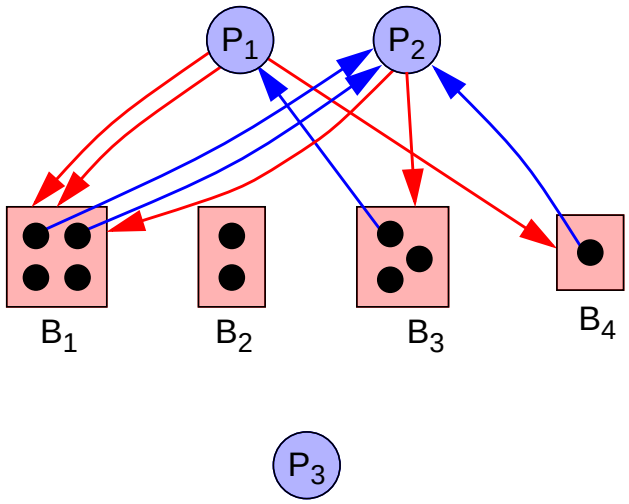
- Betriebsmittelgraph des Beispiels




- 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)

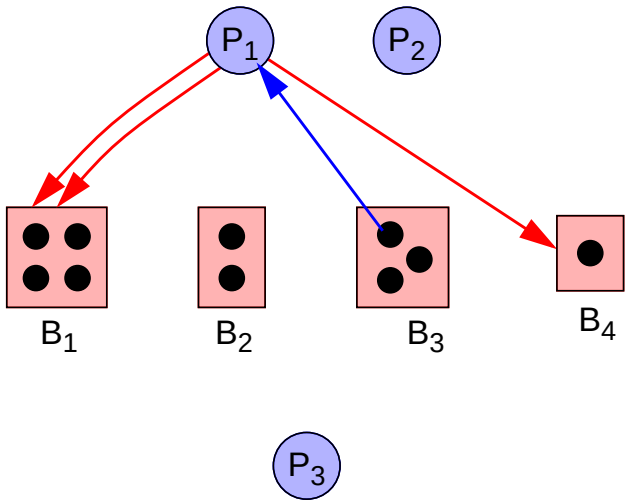



- Auswahl eines Prozesses für den Anforderungen erfüllbar: nur $P_2$ möglich
- Löschen aller Kanten des Prozesses




## 5.2 Erkennung durch graphische Reduktion (3)

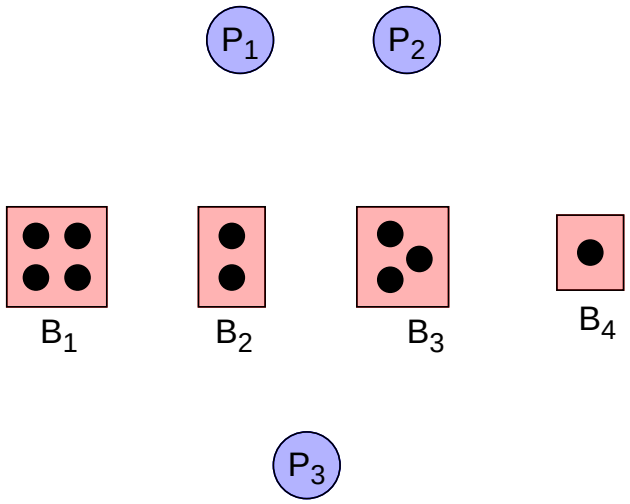
- Betriebsmittelgraph des Beispiels (2. Reduktion)




- 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 $( a_{j,1}, a_{j,2}, ... a_{j,m} )$ der aktuellen Anforderungen durch den Prozess $j$
  - zwei Vektoren A und B stehen in der Relation $A \leq B$, 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 $A_j \leq R$
     (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 $A_3 \leq R$; markiere Prozess 3
  - Addiere $C_3$ zu $R$: neues $R = ( 2, 2, 2, 0 )$
  - Auswahl eines Prozesses: Prozess 2, da $A_2 \leq R$; markiere Prozess 2
  - Addiere $C_2$ zu $R$: neues $R = ( 4, 2, 2, 1)$
  - Auswahl eines Prozesses: Prozess 1, da $A_1 \leq R$; 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