Betriebssysteme und nebenläufige Programmierung

SoSe 2025

Roland Wismüller
Betriebssysteme / verteilte Systeme
roland.wismueller@uni-siegen.de
Tel.: 0271/740-4050, Büro: H-B 8404

Stand: 10. April 2025

Betriebssysteme und nebenläufige Programmierung

SoSe 2025

1 Einführung

1 Einführung ...

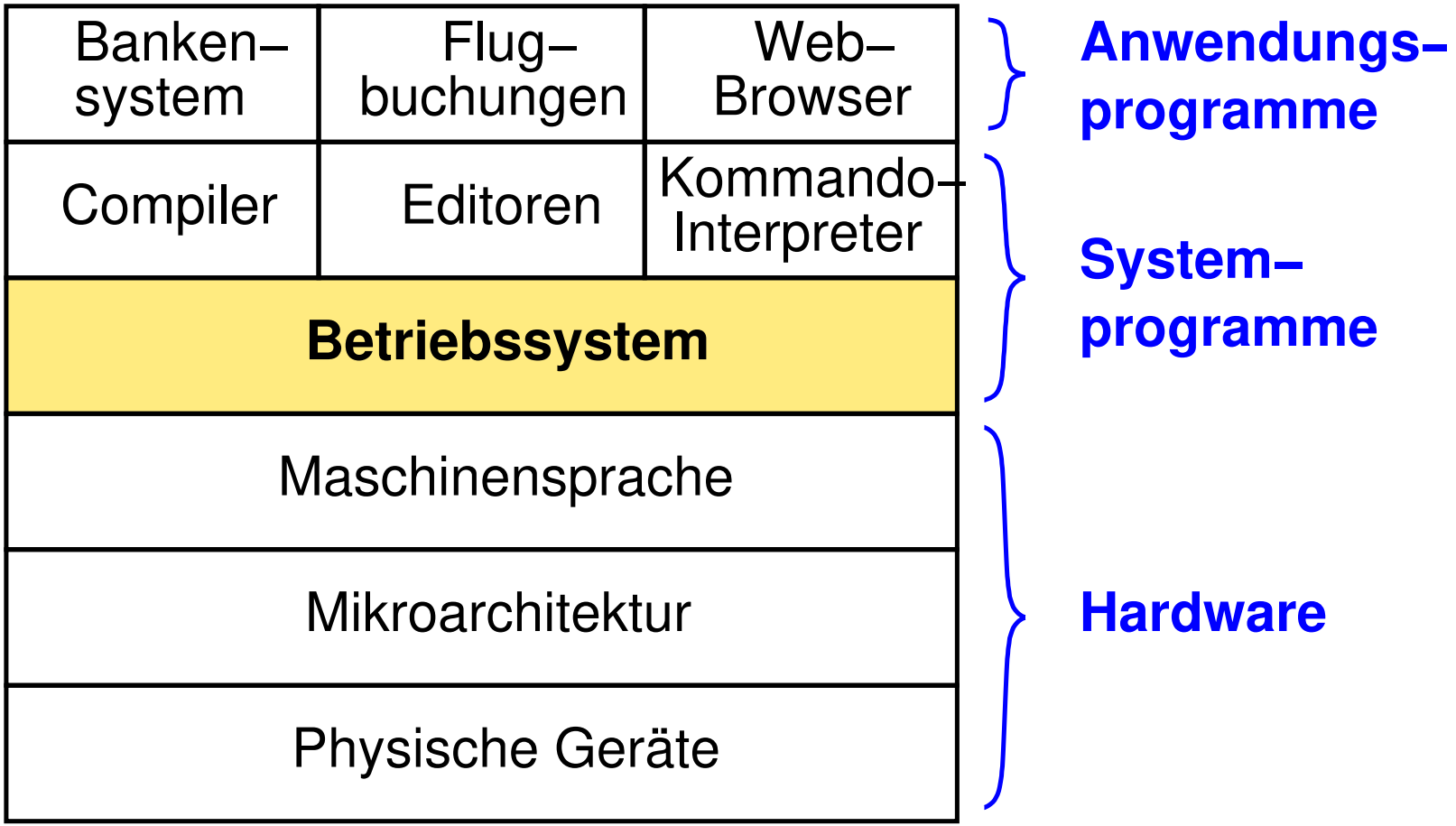
- Aufgaben eines Betriebssystems
- Historische Entwicklung der Betriebssysteme
- Arten von Betriebssystemen
- Überblick Computer-Hardware
- Grundlegende Betriebssystemkonzepte
- Systemaufrufe, Dienste eines Betriebssystems

- Tanenbaum 1.1 - 1.4.3, 1.5, 1.6

Ein Rechensystem besteht aus:

- Anwendungssoftware: zur Lösung bestimmter Probleme, z.B.:
  - Textverarbeitung, Adreßbuch, Datenbank, ...
  - WWW-Browser, Spiele, ...
  - Wettervorhersage, CAD, ...
  - Steuerung eines Kraftwerks, ...
- Systemsoftware: unterstützt Anwendungen, z.B.:
  - Übersetzer: erstellt Maschinenprogramme
  - Betriebssystem: unterstützt **laufende** Anwendungen
  - Dateimanager (z.B. Windows-Explorer), ...
- Hardware

Einordnung des Betriebssystems



Was soll ein Betriebssystem leisten?

- **Erweiterung (Veredelung) der Hardware**
- **Abstraktion der Hardware**
- **Verwaltung von Betriebsmitteln**

Abkürzung: **BS** = Betriebssystem

Erweiterung / Veredelung der Hardware

- Hardware muß billig, schnell und zuverlässig sein
  - Beschränkung auf das absolut notwendige
  - Folge: schwierige Programmierung
- BS stellt komplexe Funktionen bereit, die die Anwendungsprogramme verwenden können
  - Beispiel: Schreiben auf Festplatte
    - BS findet automatisch freie Blöcke auf der Platte, legt Verwaltungsinformation an
    - interne Struktur der Platte (Anzahl Köpfe, Zylinder, Sektoren, etc.) für Anwendung nicht mehr wichtig
  - Folge: erhebliche Vereinfachung der Programmierung

Abstraktion der Hardware

- Rechner sind trotz ähnlicher Architektur im Detail sehr unterschiedlich, z.B.:
  - Einteilung des Adreßraums (Speicher, E/A-Controller)
  - verschiedenste E/A-Controller und Geräte
- Fallunterscheidung wird vom BS vorgenommen
- BS realisiert einheitliche Sicht für Anwendungen
- Beispiel: Dateien abstrahieren Externspeicher
  - für Anwendungen kein Unterschied zwischen Festplatte, Diskette, CD-ROM, USB-Stick, Netzlaufwerk, ...
  - UNIX: selbst Drucker etc. wie Dateien behandelt
- BS realisiert eine **virtuelle Maschine**

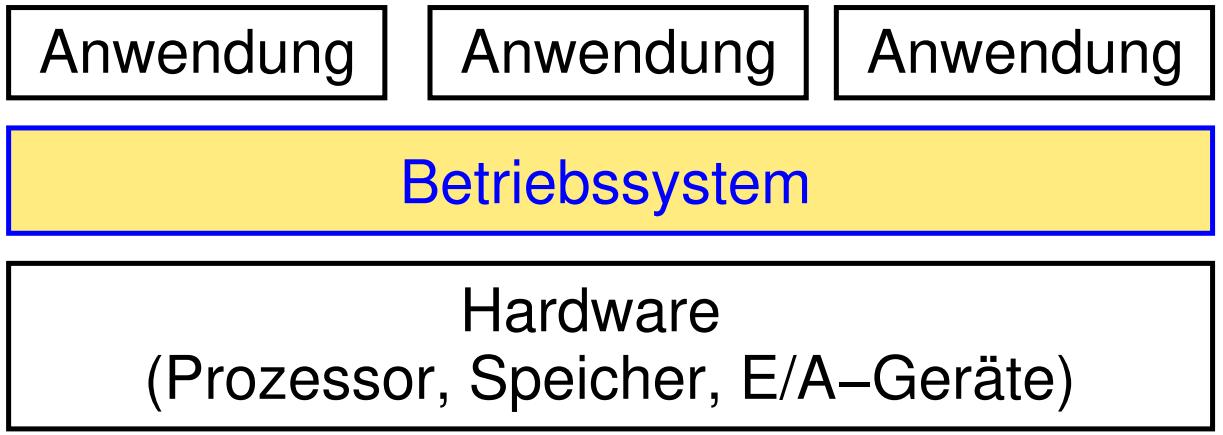
Verwaltung von Betriebsmitteln

- **Betriebsmittel** (**Ressourcen**): alles was eine Anwendung zur Ausführung braucht
  - Prozessor, Speicher, Geräte (Festplatte, Netzwerk, ...)
- Früher: auf einem Rechner lief zu jedem Zeitpunkt nur eine Anwendung eines Benutzers
- Heute: Rechner im **Mehrprozeß-** und **Mehrbenutzerbetrieb**
  - mehrere Anwendungen verschiedener Benutzer werden „gleichzeitig“ ausgeführt
- Notwendig:
  - Fairness: „gerechte“ Verteilung der Betriebsmittel
  - Sicherheit: Schutz der Anwendungen und Benutzer voreinander

Verwaltung von Betriebsmitteln ...

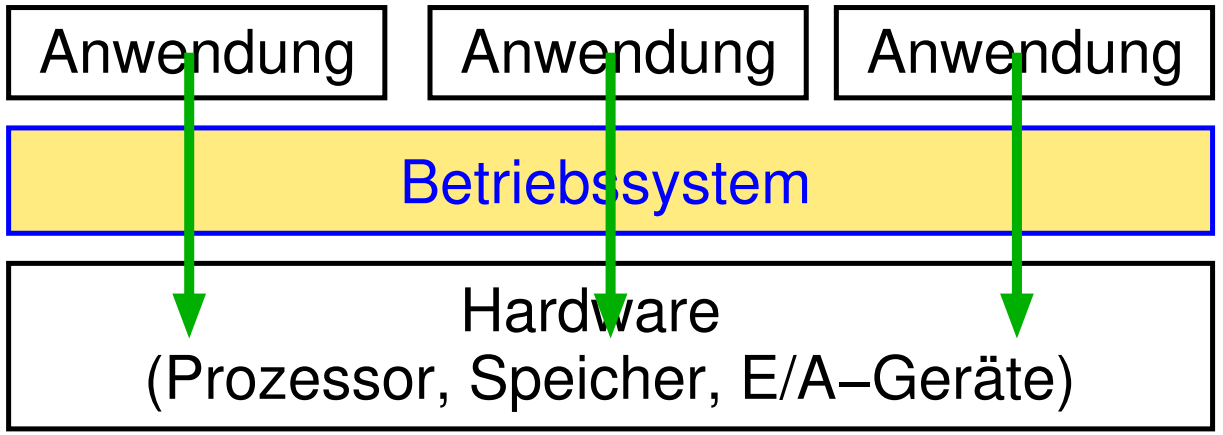
- Beispiel: Dateien
  - jeder Datei werden **Rechte** zugeordnet
    - legen z.B. fest, wer die Datei lesen darf
  - BS stellt die Einhaltung dieser Rechte sicher
    - unbefugter Zugriff wird verweigert
- Beispiel: Drucker
  - während Max druckt, will auch Moritz drucken
    - aber nicht auf dasselbe Blatt Papier ...
  - BS regelt den Zugriff auf den Drucker
    - der Auftrag von Moritz wird zurückgestellt, bis der von Max beendet ist

BS als Mittler zwischen Anwendungen und Hardware



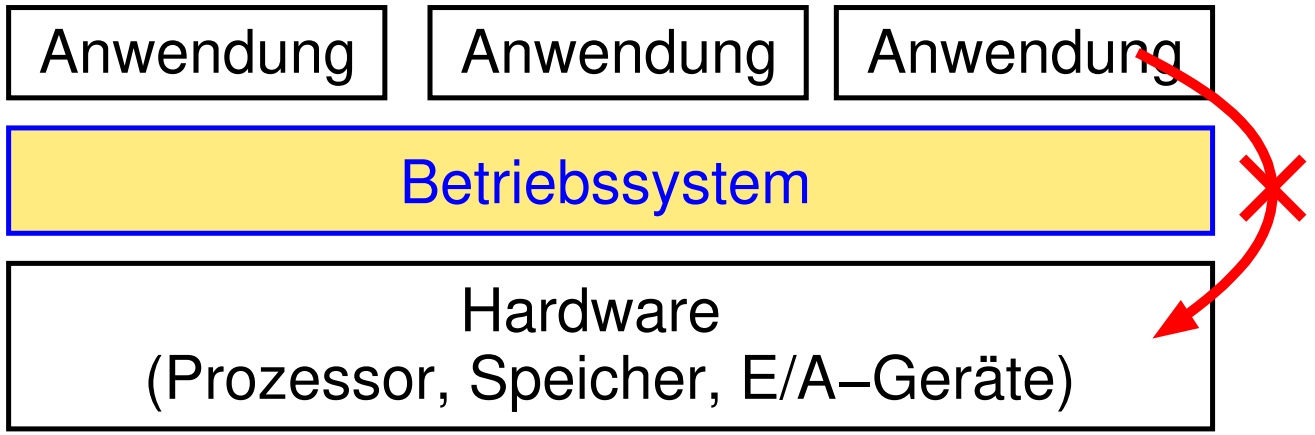
- Essentiell: Anwendungen können nicht direkt (d.h. **unkontrolliert**) auf die Hardware zugreifen
- Unterstützende Hardware-Mechanismen:
  - Ausführungsmodi des Prozessors (System- und Benutzermodus, ☞ **1.4.1**)
  - Adreßumsetzung (virtueller Speicher, ☞ **8.3**)

BS als Mittler zwischen Anwendungen und Hardware



- Essentiell: Anwendungen können nicht direkt (d.h. **unkontrolliert**) auf die Hardware zugreifen
- Unterstützende Hardware-Mechanismen:
  - Ausführungsmodi des Prozessors (System- und Benutzermodus, ☞ **1.4.1**)
  - Adreßumsetzung (virtueller Speicher, ☞ **8.3**)

BS als Mittler zwischen Anwendungen und Hardware



- Essentiell: Anwendungen können nicht direkt (d.h. **unkontrolliert**) auf die Hardware zugreifen
- Unterstützende Hardware-Mechanismen:
  - Ausführungsmodi des Prozessors (System- und Benutzermodus, ☞ **1.4.1**)
  - Adreßumsetzung (virtueller Speicher, ☞ **8.3**)

1. Generation (-1955): kein Betriebssystem

- Programm (jedesmal) manuell in Speicher eingeben

2. Generation (-1965): Stapelverarbeitung

- Lochkarten mit Programmcode (z.B. Assembler, Fortran)
- BS startet Übersetzer und Programm
- BS nimmt Ergebnis entgegen, gibt es auf Drucker aus
- später: auch mehrere Programme (**Jobs**) nacheinander (auf Magnetband): **Stapelbetrieb** (*batch*)
- Stapelbetrieb auch heute noch teilweise sinnvoll
  - lange, nicht-interaktive Jobs (z.B. Jahresabrechnungen)

3. Generation (-1980):

- Rechnerfamilien mit gleichem Befehlssatz (z.B. IBM 360)
  - BS abstrahiert Unterschiede der Rechner / Geräte
- Einführung des Mehrprogrammbetriebs
  - CPU wartet oft (bis zu 90% der Zeit) auf Geräte: Verschwendung!
  - besser: statt zu warten wird ein anderer Job bearbeitet
    - Problem: Verwaltung / Zuteilung der Betriebsmittel
- Gleichzeitig: interaktive Nutzung der Rechner
  - Terminals statt Lochkarten und Drucker
  - mehrere Benutzer gleichzeitig aktiv
    - gegenseitiger Schutz erforderlich

4. Generation (1980 - heute):

- Einführung von Mikroprozessoren
  - kleine, billige Rechner: Arbeitsplatzrechner
  - zurück zu Einbenutzersystemen (DOS, Windows 95, ...)
- Zunehmende Vernetzung der Rechner
  - Client/Server-Systeme: wieder mehrere Benutzer
  - Unix, Linux, Windows (ab NT), ...
- Trend / Zukunft: verteilte Betriebssysteme
  - mehrere Rechner erscheinen wie ein einziger
  - Ziele: höhere Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit

1.3 Arten von Betriebssystemen

- Mainframe-BSe
  - schnelle E/A, viele Prozesse, Transaktionen
- **Server-BSe**
  - viele Benutzer gleichzeitig, Netzwerkanbindung
- Multiprozessor-BSe
  - für Parallelrechner
- **PC-BSe**
- Echtzeit-BSe
- BSe für eingebettete Systeme
- BSe für Chipkarten

Betriebssysteme und nebenläufige Programmierung

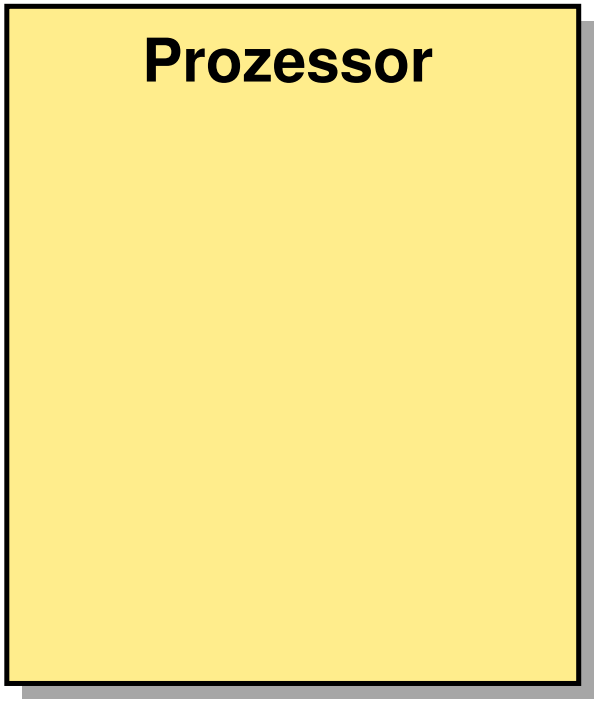
SoSe 2025

17.04.2025

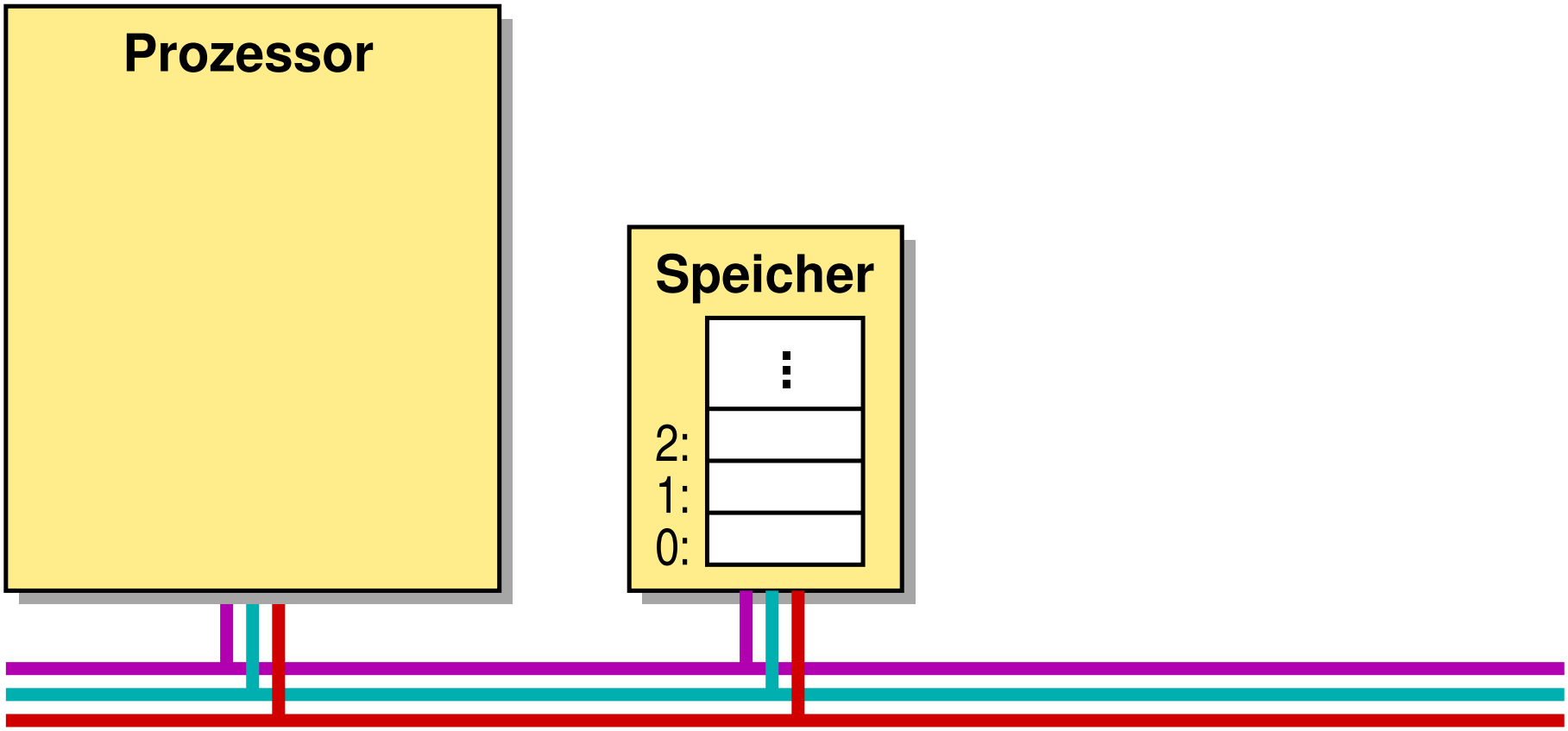
Roland Wismüller
Betriebssysteme / verteilte Systeme
roland.wismueller@uni-siegen.de
Tel.: 0271/740-4050, Büro: H-B 8404

Stand: 10. April 2025

Aufbau eines typischen PCs (stark vereinfacht)

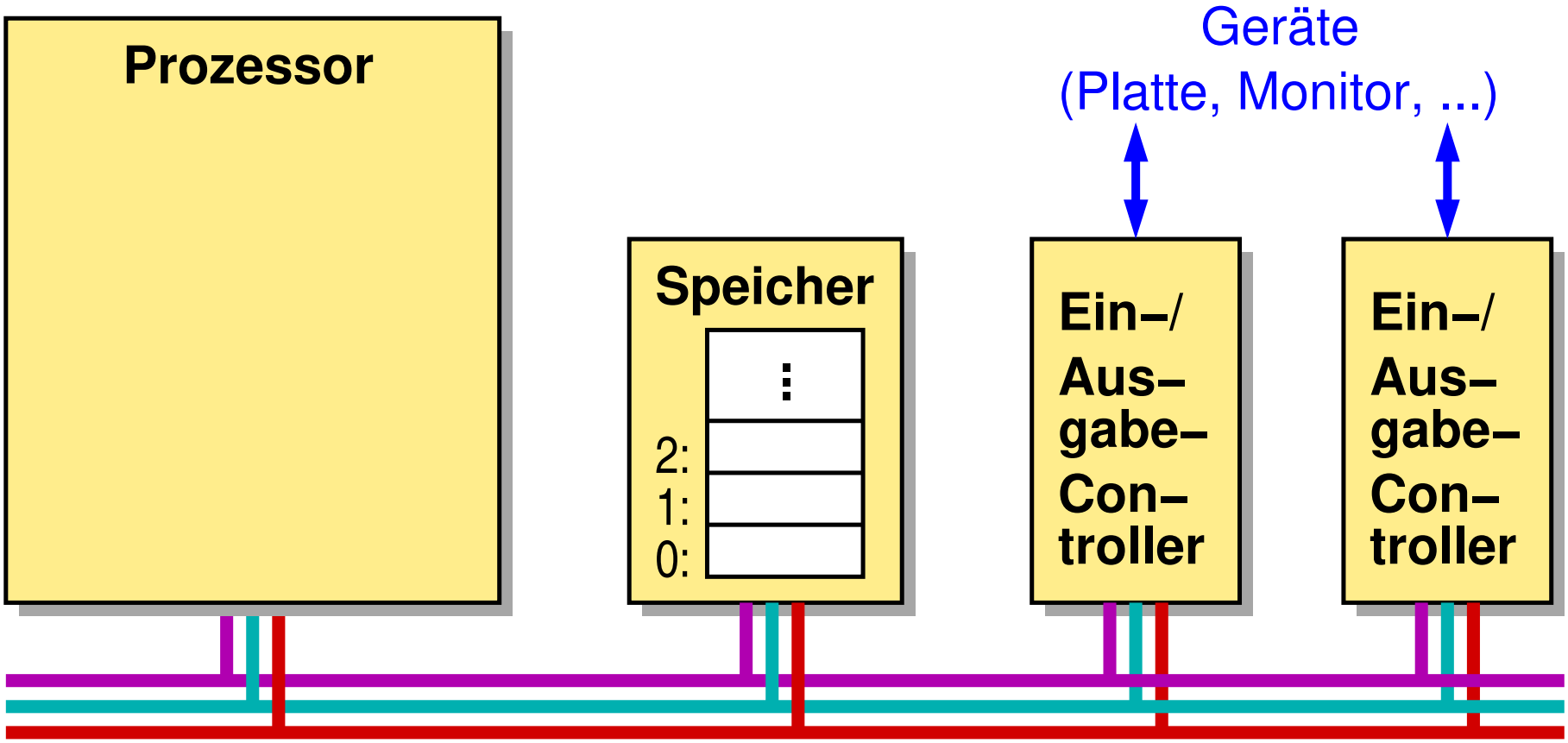


Aufbau eines typischen PCs (stark vereinfacht)



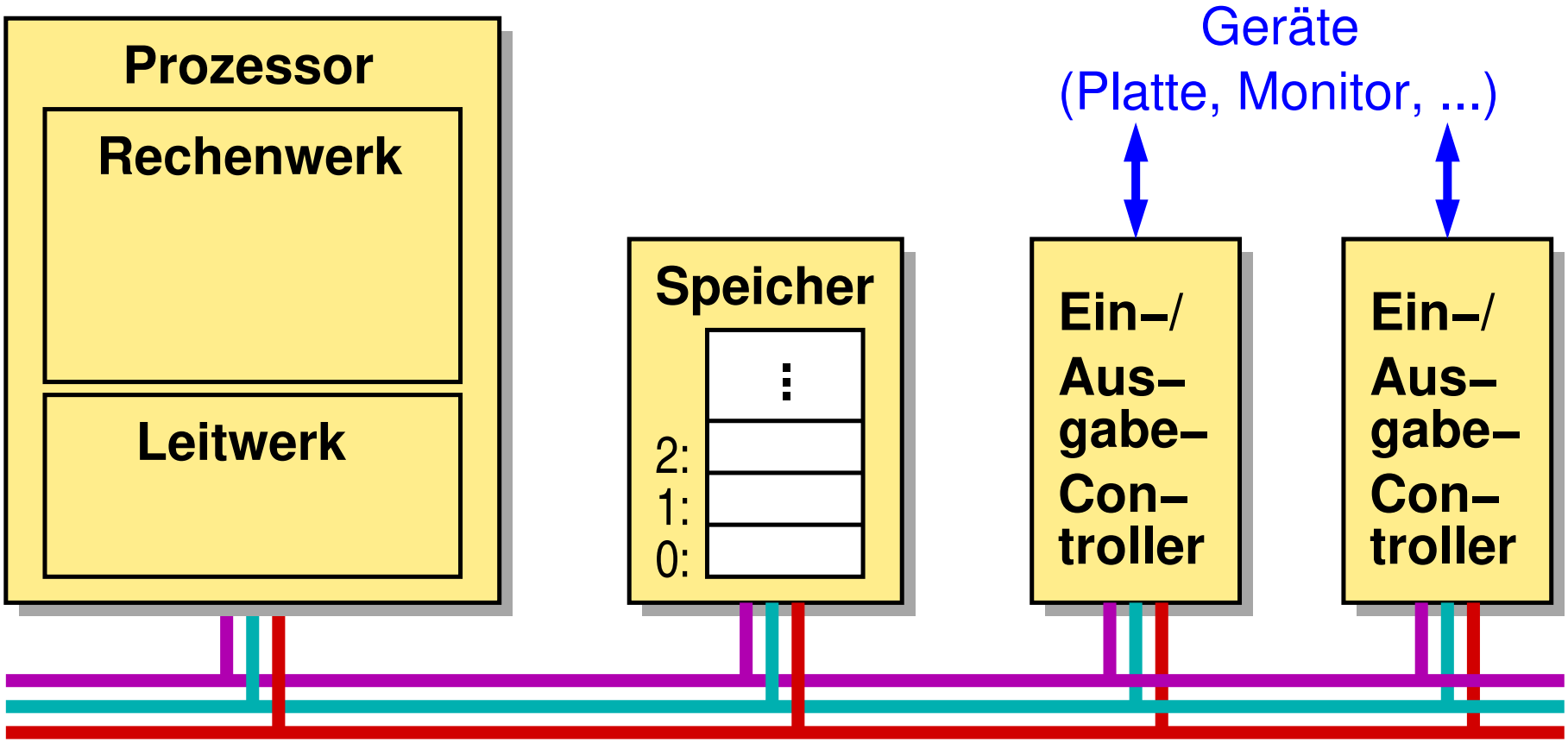
Systembus: Adressen, Daten, Steuersignale

Aufbau eines typischen PCs (stark vereinfacht)



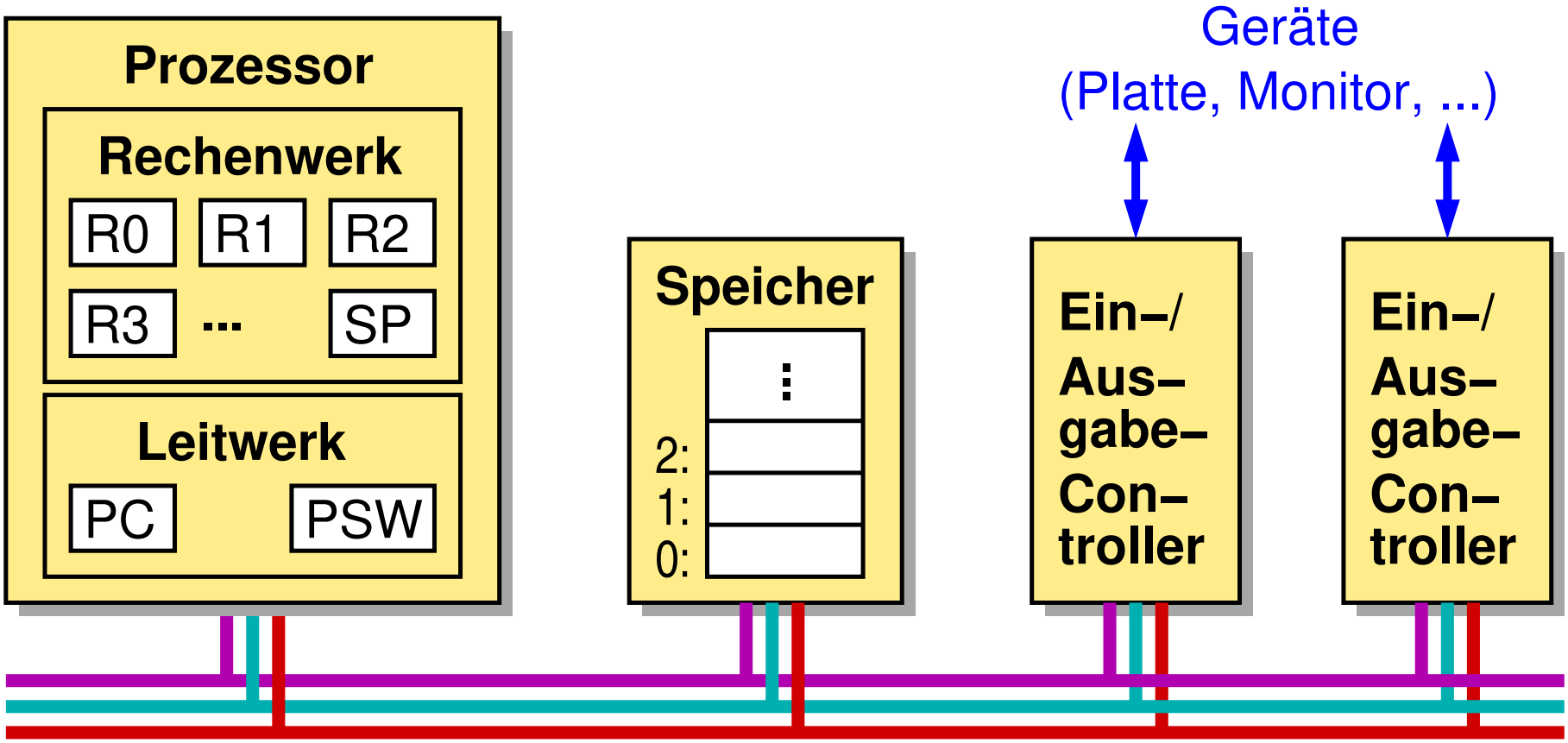
Systembus: Adressen, Daten, Steuersignale

Aufbau eines typischen PCs (stark vereinfacht)



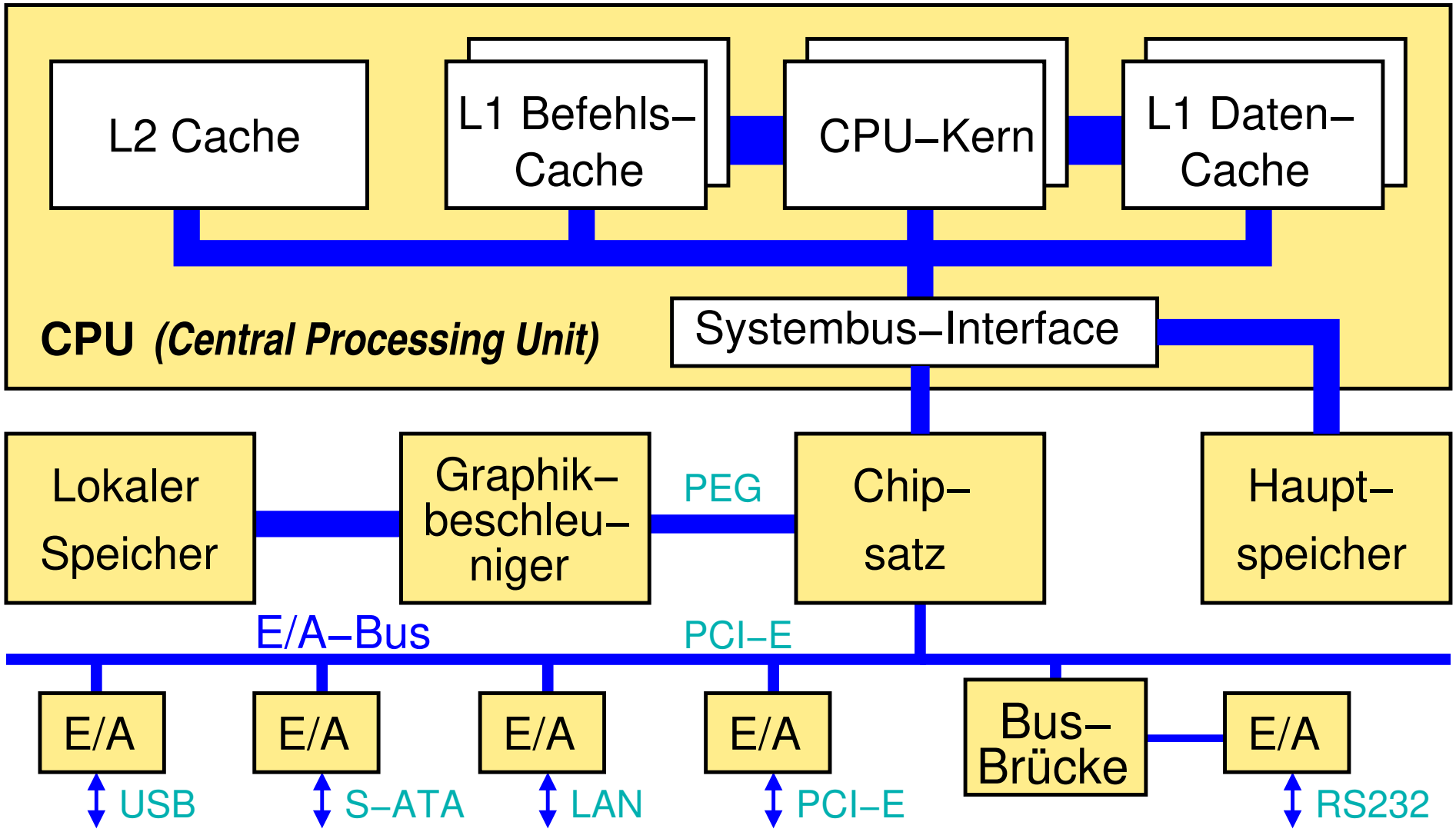
Systembus: Adressen, Daten, Steuersignale

Aufbau eines typischen PCs (stark vereinfacht)



Systembus: Adressen, Daten, Steuersignale

Aufbau eines typischen PCs (realistischer)



Multiprozessor-Systeme

- Heute i.a. Rechner mit mehreren CPUs (bzw. CPU-Kernen)
  - Multicore-Prozessoren
  - Server mit mehreren Prozessoren
- Im Folgenden einheitlich als Multiprozessor-Systeme bezeichnet
  - Begriff „CPU“ bzw. „Prozessor“ bezeichnet ggf. nur einen CPU-Kern
- Typische BS-Architektur für Multiprozessorsysteme:
  - im Speicher: eine Instanz des BSs für alls Prozessoren
  - jeder Prozessor kann Code des BSs ausführen
  - **symmetrisches Multiprozessor-System**

Elemente einer CPU

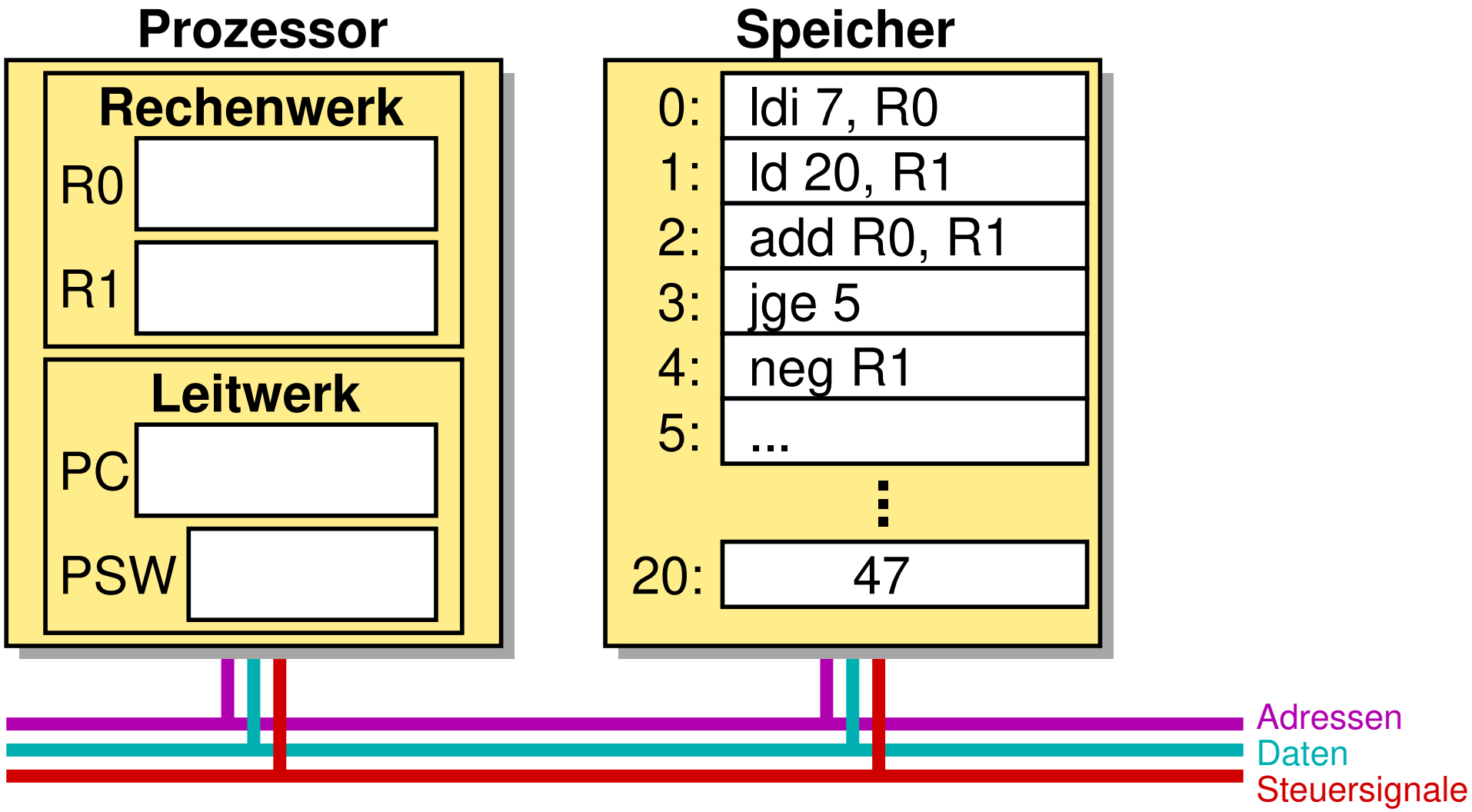
- Register
  - Ganzzahl-, Gleitkomma-Register
  - Befehlszähler (PC: *Program Counter*)
  - Kellerzeiger (SP: *Stack Pointer*)
  - Statusregister (PSW: *Program Status Word*)
- Arithmetisch-Logische Einheit (Rechenwerk, ALU)
  - führt die eigentlichen Berechnungen durch
- Steuerwerk
  - holt und interpretiert Maschinenbefehle

1.4.1 Prozessor (CPU) ...

Operationen:

- Lade- und Speicheroperationen
- Arithmetische und logische Operationen
- Sprünge (Änderung des Befehlszählers)
  - bedingt und unbedingt
  - Unterprogramm-Aufrufe und -Rücksprünge

Beispiel zur Befehlsausführung



Ausführungsmodi

- Eine der Maßnahmen, um den direkten Zugriff auf Systemressourcen durch Anwendungsprogramme zu unterbinden
- **Systemmodus**: ausgeführtes Programm hat vollen Zugriff auf alle Rechnerkomponenten
  - für das Betriebssystem
- **Benutzermodus**: eingeschränkter Zugriff
  - keine **privilegierten Befehle**
    - z.B. Ein-/Ausgabe, Zugriff auf Konfigurationsregister
  - Speicher nur über Adreßabbildung zugreifbar (☞ **1.5.2, 8.3**)

Ausführungsmodi ...

- Ausführung eines privilegierten Befehls im Benutzermodus führt zu **Ausnahme** (*Exception, Software Interrupt*)
  - Prozessor bricht gerade ausgeführten Befehl ab
  - Prozessor sichert PC (Adresse des Befehls) im Keller (Rückkehradresse)
  - Programmausführung wird an **vordefinierter** Adresse im Systemmodus fortgesetzt
    - d.h. Verzweigung an eine feste Stelle im BS

  Hardware

  - BS behandelt die Ausnahme
    - z.B. Abbruch des laufenden Prozesses
    - ggf. auch andere Behandlung und Rückkehr in die Anwendung
  - Rückkehrbefehl schaltet wieder in Benutzermodus

  BS

Ausführungsmodi ...

- Kontrollierter Moduswechsel
  - spezieller Befehl (**Systemaufruf**, *Trap, System Call*)
  - bei Ausführung des Befehls:
    - Prozessor sichert PC im Keller (Rückkehradresse)
    - Umschalten in Systemmodus
    - Verzweigung an eine **vordefinierte** Adresse (im BS)
  - BS analysiert die Art des Systemaufrufs und führt den Aufruf aus
  - Rückkehrbefehl schaltet wieder in Benutzermodus

Hardware

BS

Interrupts

- Prozessor kann auf externe, asynchrone Ereignisse reagieren
  - spezielles Eingangssignal: Unterbrechungssignal
  - Signal wird jeweils nach der Abarbeitung eines Befehls abgefragt
  - falls Signal gesetzt:
    - Prozessor sichert PC im Keller (Rückkehradresse)
    - Umschalten in Systemmodus
    - Verzweigung an eine **vordefinierte** Adresse (im BS) (**Unterbrechungsbehandlungsroutine**, *interrupt handler*)
    - im BS: Behandlung der Unterbrechung
    - Rückkehrbefehl schaltet wieder in Benutzermodus
- Hauptanwendung: Ein-/Ausgabe

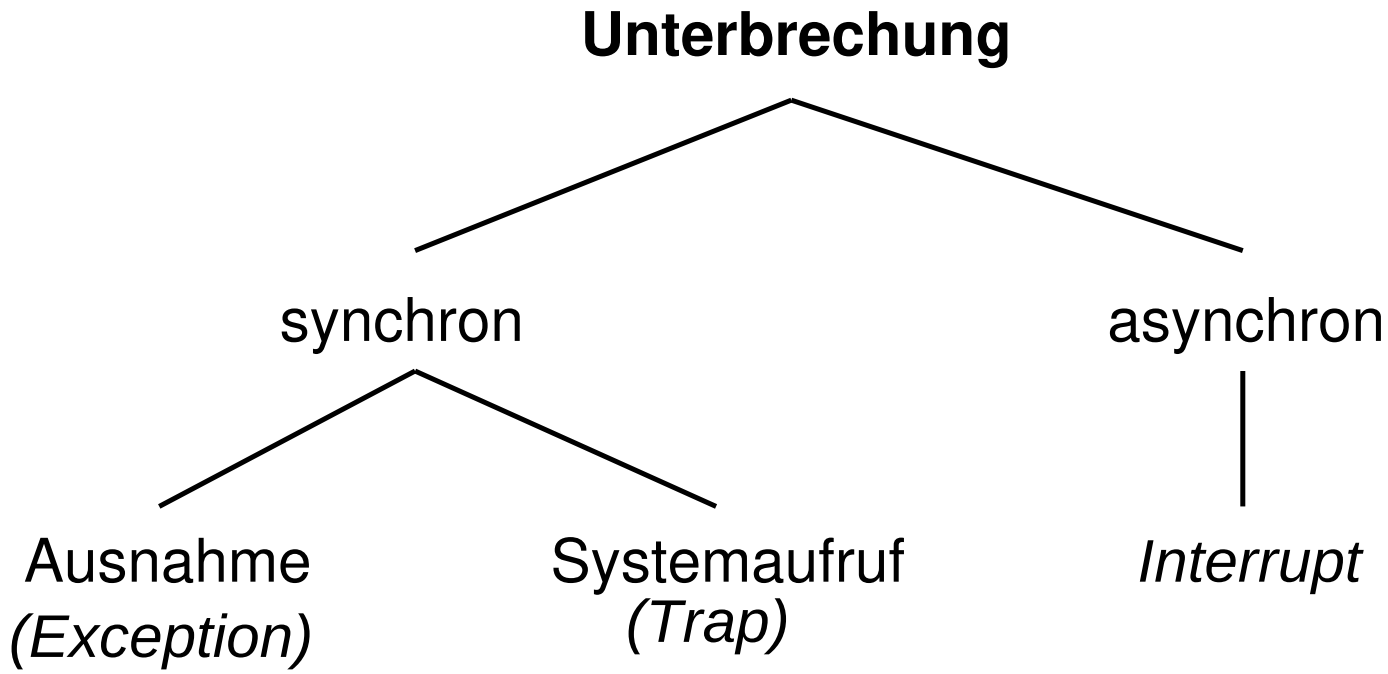
Hardware

BS

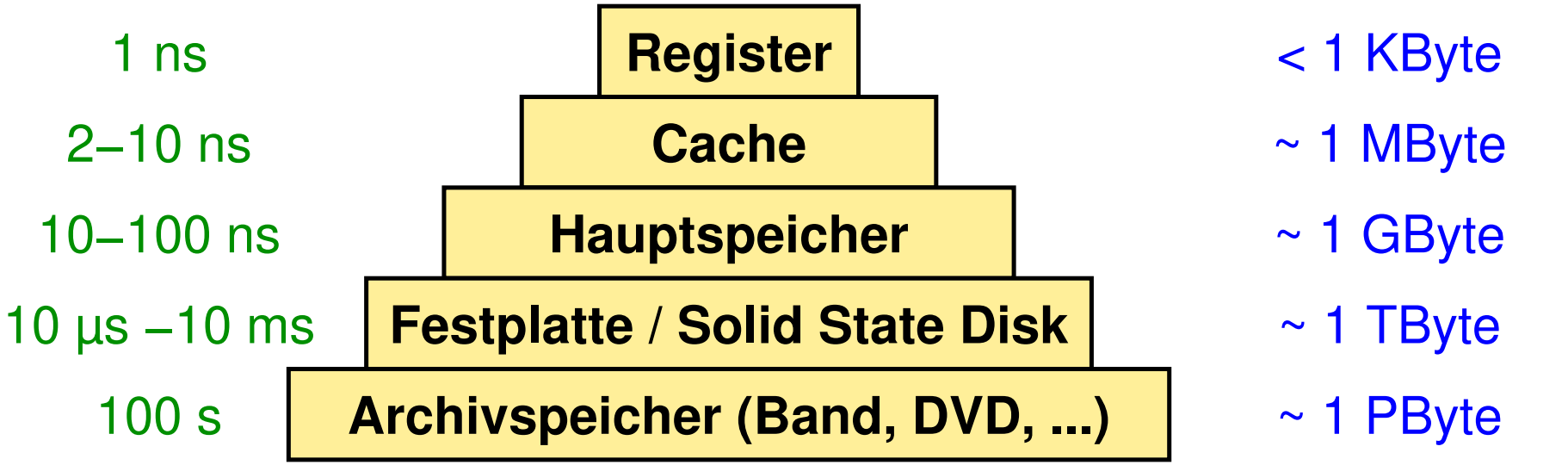
Interrupts ...

- I.d.R. mehrere Interrupts mit verschiedenen Prioritäten
  - jedem Interrupt kann eine eigene Behandlungsroutine zugewiesen werden
    - Tabelle von Adressen: **Unterbrechungsvektor**
  - ggf. Unterbrechung aktiver Behandlungsroutinen
- Interrupts können **maskiert** („ausgeschaltet“) werden
  - privilegierter Befehl!

Unterbrechungen des Programmablaufs



Speicherhierarchie



➥ Verwaltung von Hauptspeicher und Festplatte durch BS

Caches in Multiprozessorsystemen (incl. Multicore)

- **Cache**: schneller, prozessornaher Zwischenspeicher
  - speichert Kopien der zuletzt am häufigsten benutzten Daten aus dem Hauptspeicher
    - i.a. Blöcke (Cachezeilen) mit 32-64 Byte
  - falls Daten im Cache: kein Hauptspeicherzugriff nötig
  - durch Hardware verwaltet, für Programme transparent
- Caches sind in Multiprozessorsystemen essentiell
  - Cachezugriff 10-1000 mal schneller als Hauptspeicherzugriff
  - Entlastung von Hauptspeicher und Bus
- Konsistenz der Inhalte der einzelnen Caches durch Hardware sichergestellt (Cache-Kohärenz-Protokolle)

Ansteuerung der Geräte durch *Controller*

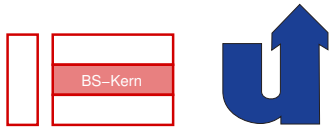
- Spezielle Hardware, oft mit eigenen Mikroprozessoren
- Steuert Gerät weitgehend autonom
- Register für Kommandos, Daten, Status
- Kann Interrupt an CPU senden, falls
  - Eingabedaten vorhanden
  - Ausgabeoperation abgeschlossen

Anbindung Controller - CPU

- Speicherbasierte E/A
  - Register des Controllers sind in den Speicheradreßraum eingeblendet
  - Zugriff über normale Schreib-/Lesebefehle
  - Zugriffsschutz über Adreßabbildung (☞ **1.5.2**, **8.3**)
- Separater E/A-Adreßraum (z.B. bei x86 üblich)
  - Zugriff auf Controller-Register nur über spezielle (privilegierte) E/A-Befehle
- Beide Varianten in Gebrauch

Klassen von E/A-Geräten

- **Zeichen-orientierte Geräte**
  - Ein-/Ausgabe einzelner Zeichen
  - z.B. Tastatur, Maus, Modem
- **Block-orientierte Geräte**
  - Ein-/Ausgabe größerer Datenblöcke
  - z.B. Festplatte, Netzwerk
  - Vorteil: Reduzierung der Interrupt-Rate
    - wichtig für Programm-Geschwindigkeit



Grundlegende Konzepte von BSen:

- Prozesse und Threads
- Speicherverwaltung
- Ein/Ausgabe
- Dateiverwaltung

Dazu orthogonale Aufgaben:

- Sicherheit
- Ablaufplanung und Resourcenverwaltung

Definitionen

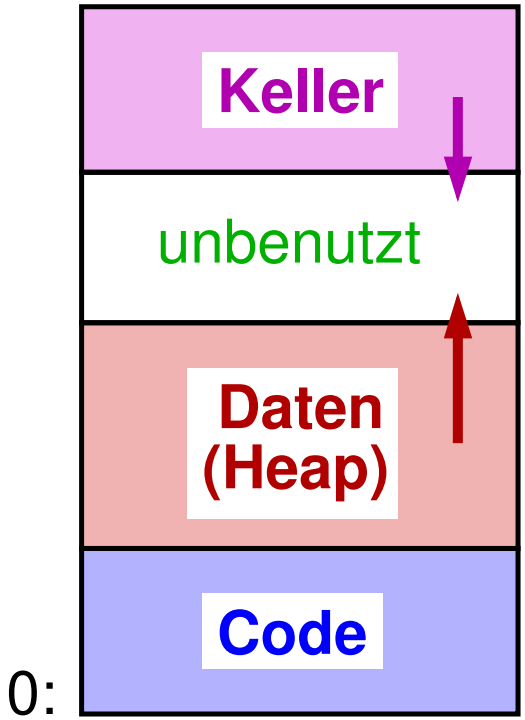
- Anschaulich: ein **Prozeß** ist ein Programm in Ausführung
- Formaler:
  - Aktivitätseinheit, gekennzeichnet durch
    - eine Ausführungsumgebung
      - Adreßraum (Programmcode und Daten)
      - Zustandsinformation benutzter Ressourcen (z.B. offene Dateien, Position der Lesezeiger, ...)
    - ein oder mehrere Aktivitätsträger (**Threads**, „Ablauffäden“)
- Anmerkungen:
  - implementierungsnahe Definition
  - klassischer Prozess enthält genau einen Thread
  - heute in den meisten BSen mehrfädige Prozesse möglich

Abarbeitung von Threads: *Timesharing*

- Threads werden abwechselnd vom Prozessor (bzw. den Prozessoren) bearbeitet
  - BS entscheidet, wer wann wie lange (auf welchem Prozessor) rechnen darf
- Gründe für Timesharing:
  - Bedürfnisse des Nutzers (mehrere Anwendungen)
  - bessere Auslastung des Rechners
- **Prozeß**wechsel bedingt Wechsel der Ausführungsumgebung
- Threads eines Prozesses teilen sich die Ausführungsumgebung
  - Wechsel zwischen Threads desselben Prozesses ist effizienter

(Virtueller) Adreßraum

- Beginnt bei Adresse 0, durchnumeriert bis Obergrenze
  - linearer Adreßraum
- Enthält:
  - Programmcode
  - Programmdaten (incl. Heap)
  - Keller (Rückkehradressen)
- Abstraktion des physischen Speichers
  - unabhängig von Größe und Technologie des physischen Speichers



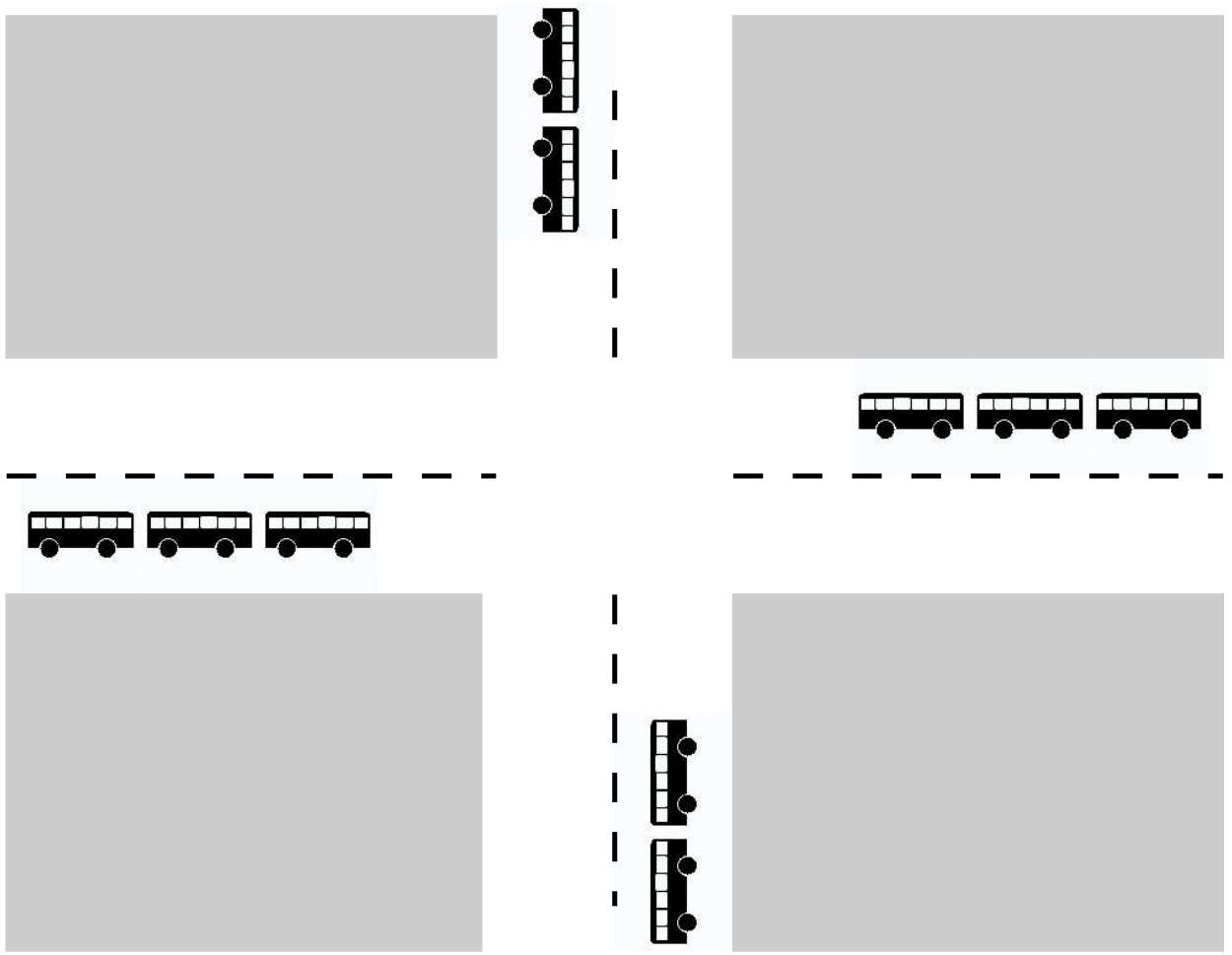
Ausführungskontext

- Alle sonstigen Daten, die zur Ausführung gebraucht werden
  - Prozessorstatus (Datenregister, PC, PSW, ...)
  - BS-relevante Daten (Eigentümer, Priorität, Eltern-Prozeß, genutzte Betriebsmittel, ...)
- Aufgeteilt in Prozeß- und Threadkontext
- Speicherung des Ausführungskontexts:
  - i.d.R. im Adreßraum des BSs: **Prozeß-** bzw. **Threadtabelle**
  - alternativ: (geschützter) Teil des Prozeßadreßraums

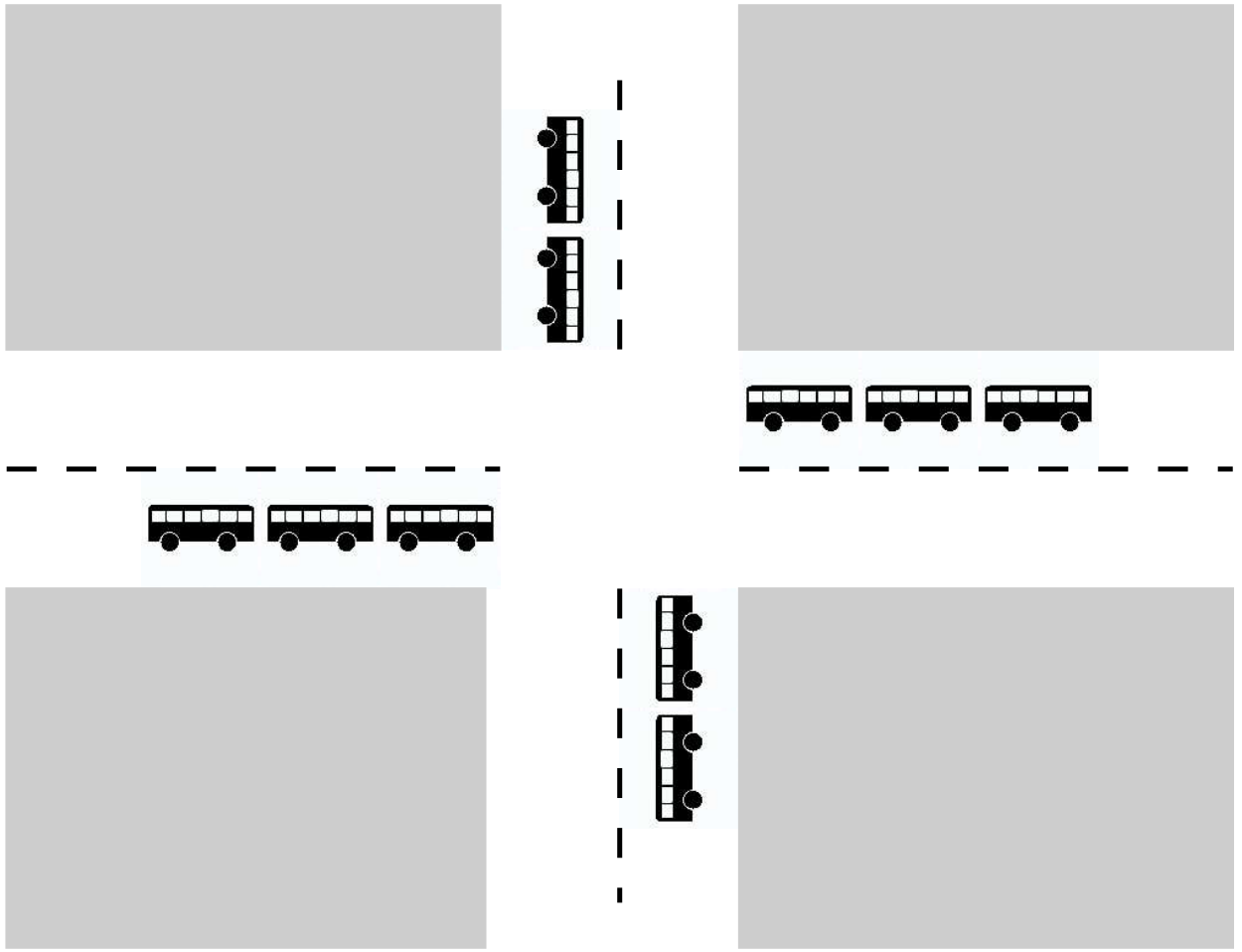
Prozeß-/Threadinteraktion (Interprozeßkommunikation, IPC)

- **Kommunikation**: Austausch von Informationen
  - durch Verwendung eines gemeinsamen Adreßraums (**Speicherkopplung**)
    - i.d.R. zwischen Threads eines Prozesses
  - durch explizites Senden/Empfangen von Nachrichten (**Nachrichtenkopplung**)
    - i.d.R. zwischen verschiedenen Prozessen
- **Synchronisation**
  - Steuerung der zeitlichen Reihenfolge von Aktivitäten (meist: Zugriffe auf gemeinsame Resourcen)
  - Problem: **Verklemmungen** (***Deadlocks***)
    - zyklische Wartebeziehungen

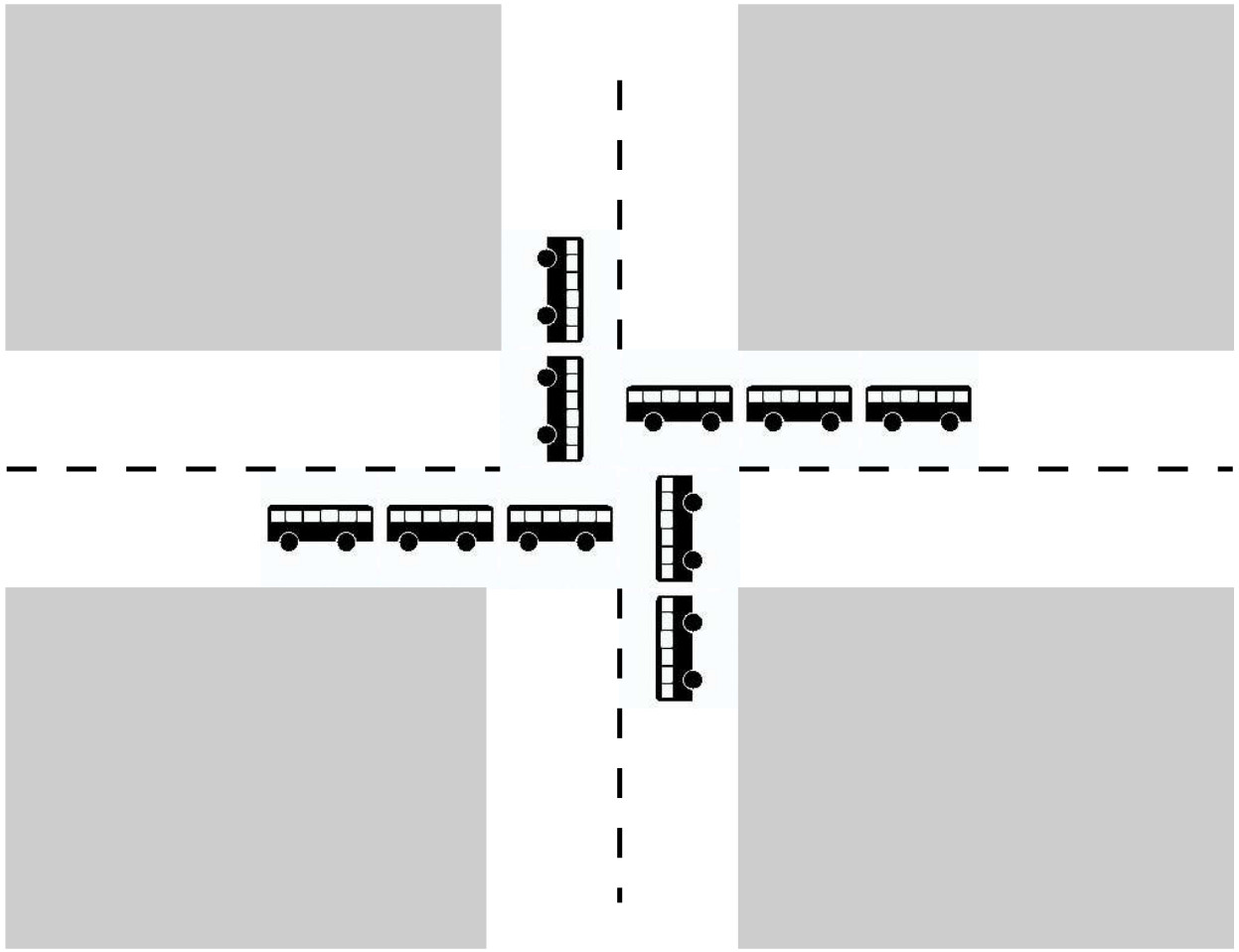
Eine anschauliche Verklemmung



Eine anschauliche Verklemmung

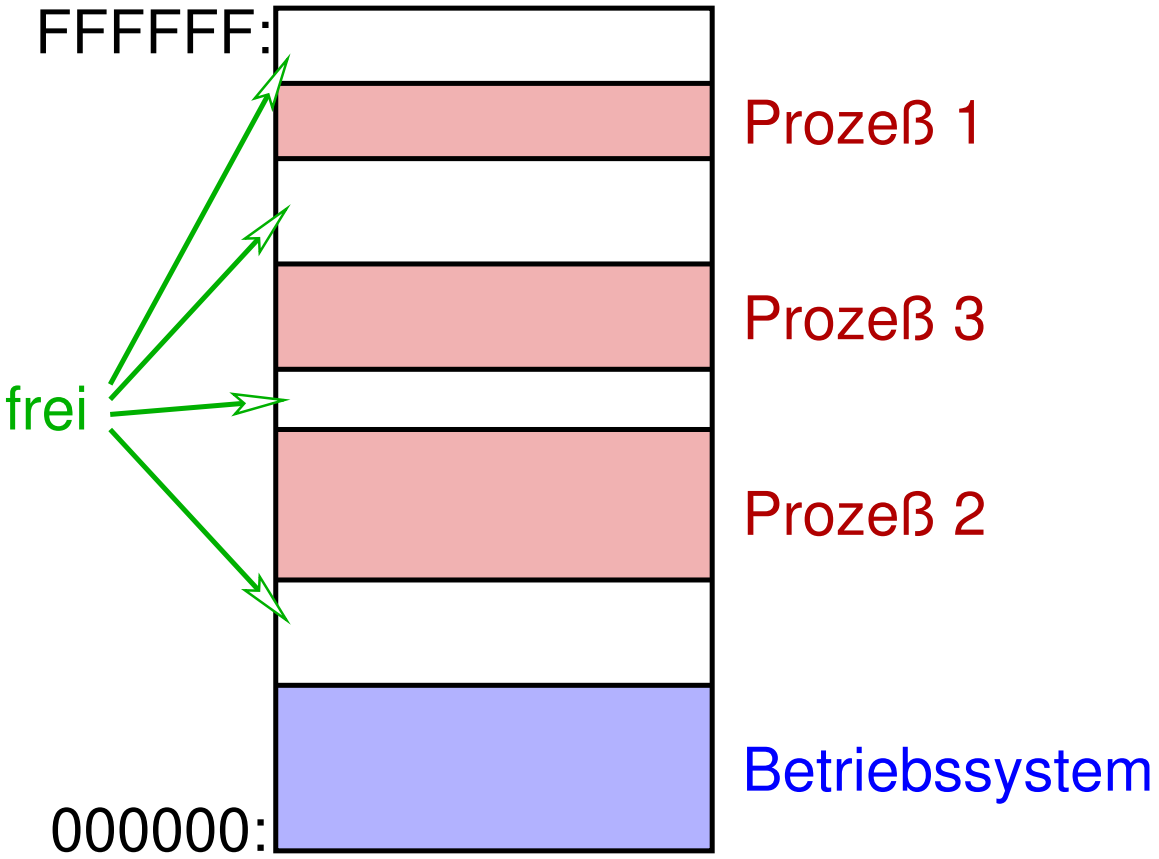


Eine anschauliche Verklemmung



Situation in Mehrprozeß-Systemen:

- Prozesse und BS teilen sich den Hauptspeicher, z.B.:



Fragen / Probleme für das BS:

- Wie werden die Speicherbereiche an Prozesse zugeteilt?
  - BS muß genügend großes Stück Speicher finden
  - was ist, wenn laufender Prozeß mehr Speicher anfordert?
- Programme enthalten Adressen
  - kann man Programme an beliebige Adressen schieben?
- Schutz der Prozesse gegeneinander
  - wie kann man verhindern, daß ein Prozeß auf den Speicher eines anderen Prozesses (oder des BSs) zugreift?
- Begrenzte Größe des Hauptspeichers
  - was ist, wenn nicht alle Prozesse in den Hauptspeicher passen?

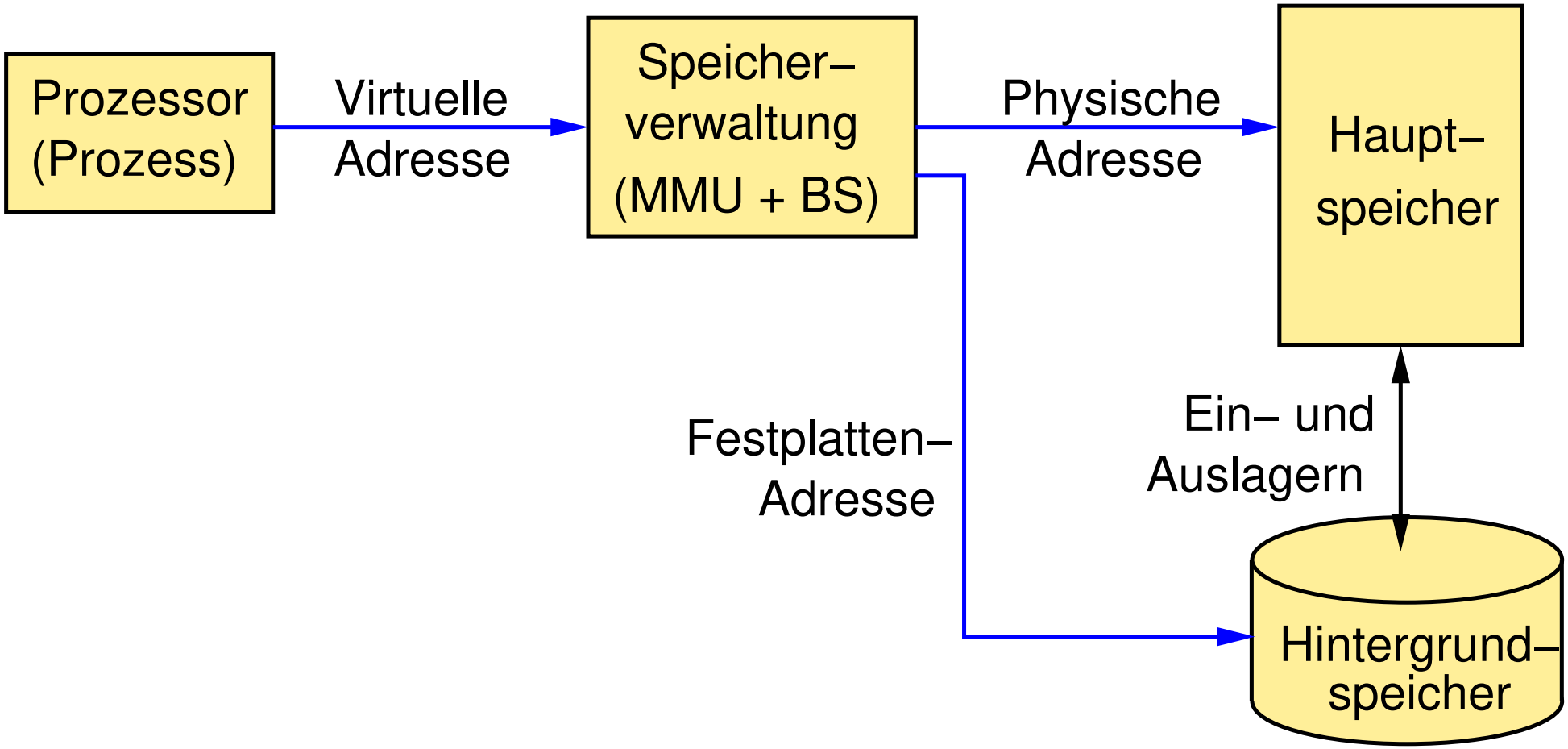
Fragen / Probleme für das BS: ...

- Transparenz für die Anwendungen
  - im Idealfall sollte die Anwendung annehmen dürfen, sie hätte den Rechner für sich alleine
  - Programmieraufwand sollte sich durch Speicherverwaltung nicht erhöhen

Lösung: Adressabbildung

- Adressen des Prozesses (**virtuelle Adressen**) werden durch Hardware (***Memory Management Unit***, **MMU**) auf Speicheradressen (**physische Adressen**) umgesetzt
  - einfachster Fall: Addition einer Basis-Adresse und Limit
- Weiterer Vorteil: Adreßraum kann auf Hauptspeicher und Hintergrundspeicher aufgeteilt werden

Adressierung beim virtuellen Speicher



1.5.3 Dateiverwaltung

- **Datei**: Einheit zur Speicherung von Daten
  - **persistente Speicherung**: über das Ende von Prozessen (Anwendungen) hinaus
- Struktur einer Datei:
  - bei heutigen BSen für PCs und Server: unstrukturierte Folge von Bytes (d.h.: BS kennt Struktur nicht)
  - in Mainframe-BSen u.a.:
    - Sequenz von Datensätzen fester Struktur
    - Index zum schnellen Zugriff auf Datensätze
- Typen von Dateien (u.a.):
  - reguläre Dateien (Dokumente, Programme, ...)
  - Verzeichnisse: Information zur Struktur des Dateisystems
  - Gerätedateien: falls Geräte ins Dateisystem abgebildet sind

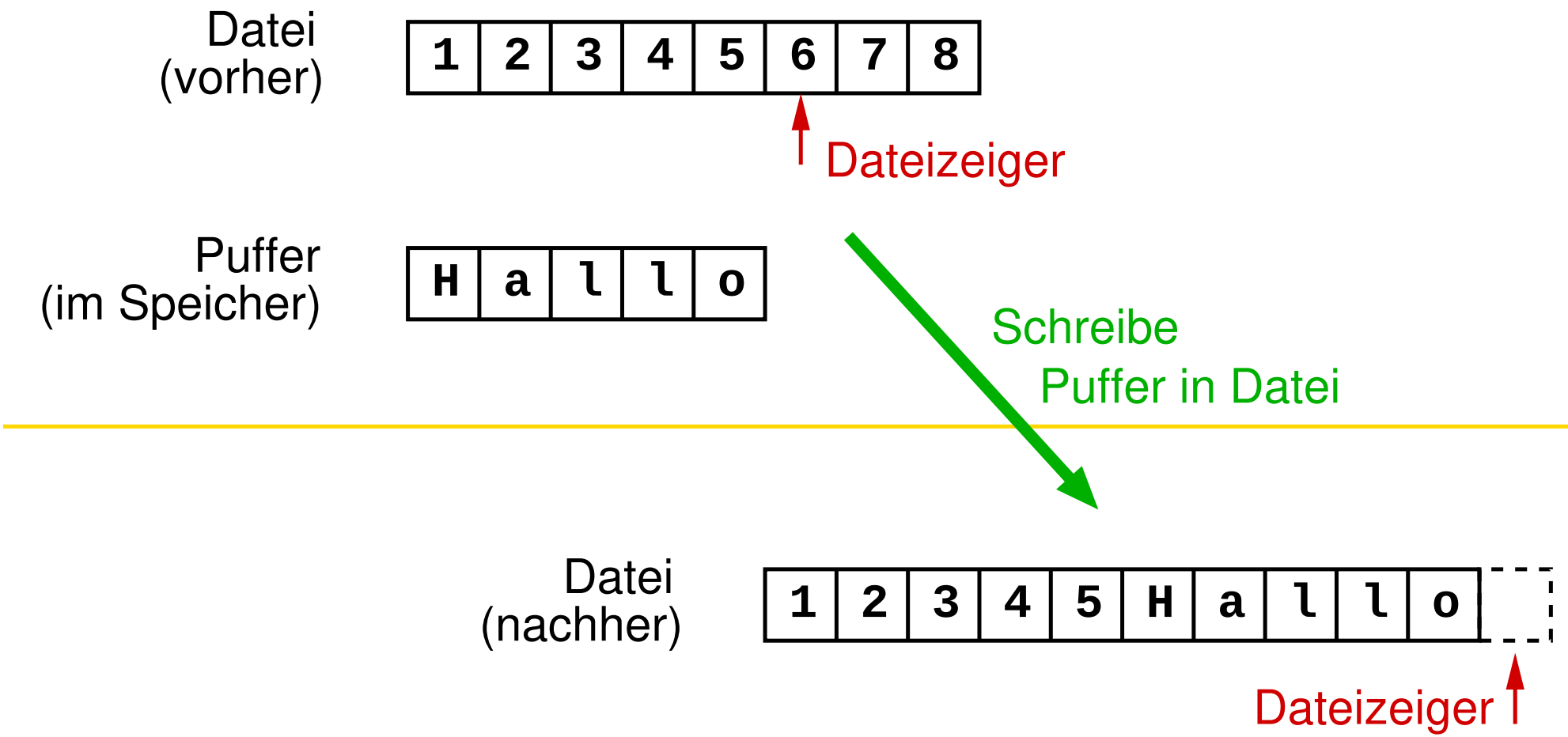
Typische Dateioperationen

- Öffnen einer Datei; Argumente u.a.:
  - Lesen/Schreiben/Anfügen, Erzeugen, Sperren, ...
- Schließen der Datei
- Lesen / Schreiben von Daten
  - Zugriff meist sequentiell (historisch bedingt)
  - daneben auch wahlfreier Zugriff möglich
    - Offset als Parameter beim Lesen / Schreiben oder explizites Positionieren (*seek*)
  - Alternative: Einblenden in den Prozeß-Adreßraum
- Erzeugen, Löschen, Umbenennen
- Lesen und Schreiben von Dateiattributen (z.B. Zugriffsrechte)

Das sequentielle Dateimodell

- Datei wird als unstrukturierte Byte-Folge aufgefaßt
- Nach dem Öffnen einer Datei besitzt ein Prozeß einen privaten **Dateizeiger**
  - nächstes zu lesendes Byte bzw. Schreibposition
- Lese- und Schreib-Operationen kopieren einen Datenblock zwischen Hauptspeicher und Datei
  - Dateizeiger wird entsprechend weitergeschoben
- Lesen über das Dateiende hinaus (***End-of-file***) ist nicht möglich
- Schreiben über das Dateiende führt zum Anfügen an Datei
- Dateizeiger kann auch explizit positioniert werden

Beispiel: Schreiben in eine sequentielle Datei

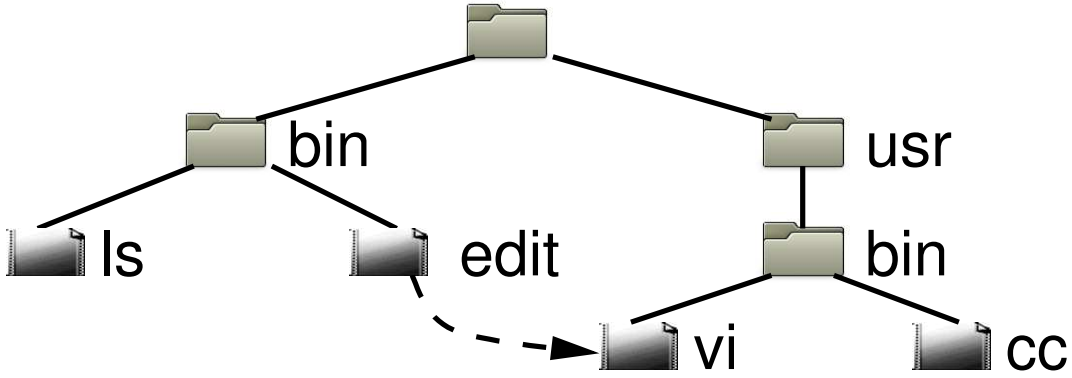


Verzeichnisse

- Zur hierarchischen Organisation von Dateien
  - Benennung von Dateien über Pfadnamen
  - absolute Pfadnamen (beginnend bei Wurzelverzeichnis)
    - z.B. `/home/wismueller/Vorlesungen/BS1/v02.pdf`
  - relative Pfadnamen
    - beginnen beim aktuellen Arbeitsverzeichnis
    - z.B. `BS1/v02.pdf`: selbe Datei wie oben, wenn Arbeitsverzeichnis `/home/wismueller/Vorlesungen` ist

Verzeichnisse ...

- Oft: Einführung von Verweisen (*Links*)
  - Datei (bzw. Verzeichnis) kann in mehr als einem Verzeichnis auftreten, ist aber physisch nur einmal vorhanden



/bin/edit führt zur Datei /usr/bin/vi

  - Links sind in der Regel transparent für die Anwendungen

Typische Aufgaben / Konzepte von BSen (Beispiel: Linux)

- Realisierung von Dateien und Verzeichnishierarchien
  - Abbildung von Dateien / Verzeichnissen auf das Speichermedium (z.B. Festplatte)
- Realisierung der Dateioperationen: (Erzeugen, Lesen, ...)
  - dabei Überprüfung der Zugriffsrechte
- Einhängen von Dateisystemen in die Verzeichnishierarchie
  - z.B. Zugriff auf Dateien auf Diskette über den Pfad `/media/floppy`
  - einheitliche Sicht auf alle Dateisysteme
- Spezialdateien (Gerätedateien, Pipes, Prozeßdateisystem, ...)

Aufgabenbereiche:

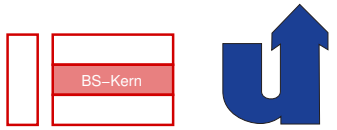
- Zugriffskontrolle
  - Benutzerzugriff auf Gesamtsystem, Subsysteme, Daten
  - Prozeßzugriff auf Ressourcen und Objekte des Systems
- Kontrolle des Informationsflusses
  - Regulierung des Datenflusses im System / an Benutzer (keine Weitergabe vertraulicher Daten an Unautorisierte)
- Zertifizierung
  - Nachweis, daß gewünschte Sicherheitseigenschaften vom System durchgesetzt werden

- In dieser Vorlesung wird nur Zugriffskontrolle betrachtet!

Beispiel: Zugriffskontrolle unter Linux

- Einführung von Benutzern und Benutzergruppen
  - spezieller Benutzer `root`: Administrator
- Prozesse und Dateien haben Eigentümer und Eigentümergruppe
- Zugriff auf Prozesse nur für Eigentümer (und `root`)
- Zugriff auf Dateien über 9 Rechtebits festgelegt: `rwx r-x ---` (user group others)
  - `r` = Lesen, `w` = Schreiben, `x` = Ausführen
  - im Bsp.: Eigentümer darf alles, Benutzer der Eigentümergruppe darf nicht schreiben, für alle anderen kein Zugriff
- Rechte werden bei jedem (relevanten) Zugriff vom BS geprüft

1.5.5 Ablaufplanung u. Resourcenverwaltung

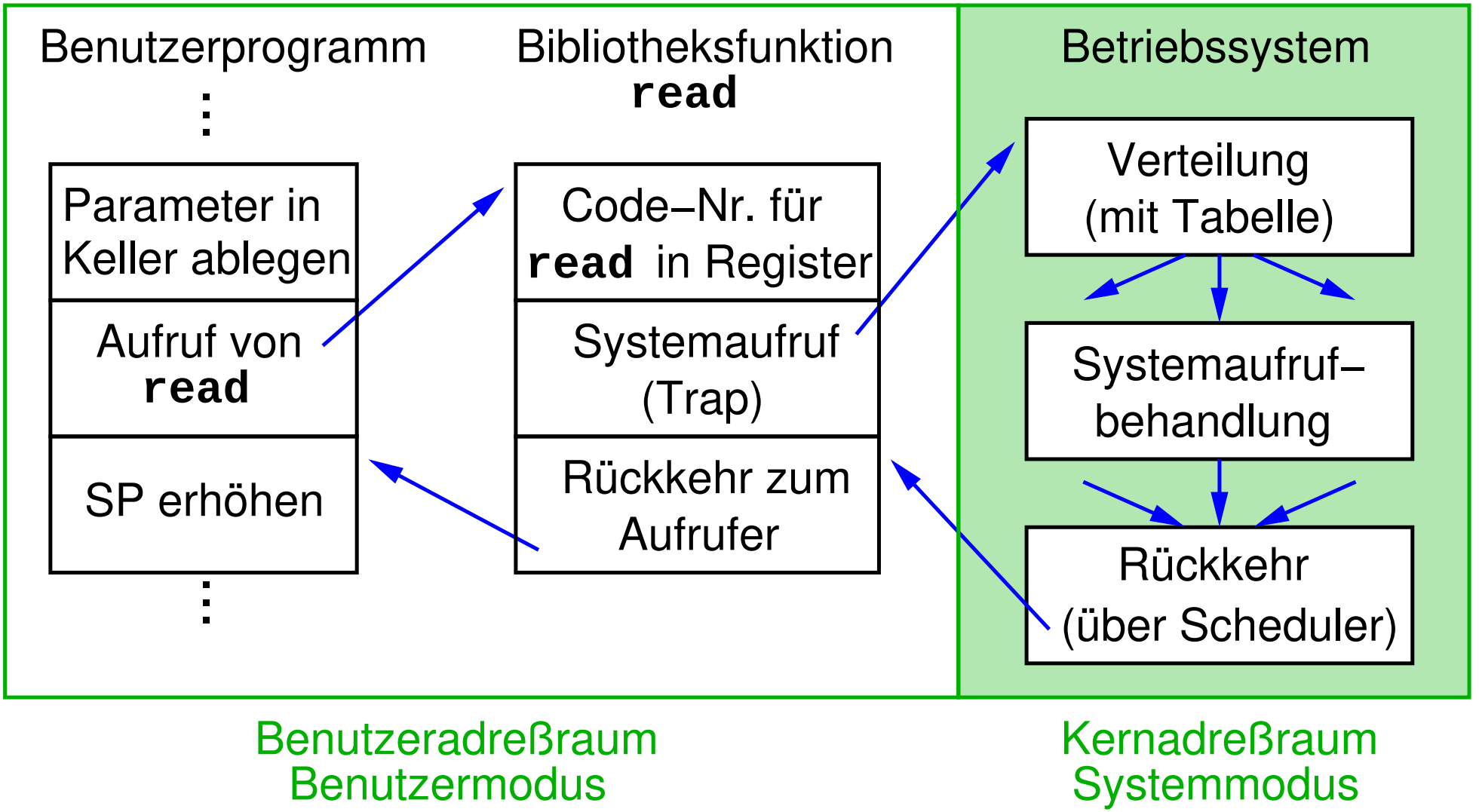


- Verwaltung / Planung der Ressourcen-Verwendung, z.B.
  - Hauptspeicher: Welcher Prozeß erhält wann wo wieviel Speicher? Wann wird Speicher ausgelagert?
  - Platten-E/A: Reihenfolge der Bedienung? (Optimierung der Armbewegung)
- Ziele:
  - Fairness: jeder Prozess sollte denselben Anteil der Ressourcen erhalten
  - Differenzierung: Berücksichtigung der unterschiedlichen Anforderungen verschiedener Job-Klassen
  - Effizienz: Durchsatz, Antwortzeit, Anzahl der Benutzer
    - Ziele teilweise widerspüchlich

1.6 Systemaufrufe

- Schnittstelle zwischen Benutzerprogrammen und BS
- Systemaufrufe meist in Bibliotheksfunktionen gekapselt
  - Details des Systemaufrufs sind hardwareabhängig
  - In der Regel:
    - Systemaufrufe sind durchnummeriert
    - Nummer wird vor Ausführung des *Trap*-Befehls in festes Register geschrieben
  - Im BS dann Verzweigung über Funktionstabelle

Ablauf eines Systemaufrufs



Anmerkungen zum Ablauf

- BS sichert zunächst den vollständigen Prozessorstatus in der Threadtabelle
- Aufrufender Thread kann blockiert werden
  - z.B. Warten auf Eingabe
- Rückkehr aus dem BS erfolgt über den Scheduler
  - er bestimmt den Thread, der weitergeführt wird
  - Rückkehr also nicht unbedingt (sofort) zum aufrufenden Thread
- Bei Rückkehr: Restaurieren des Prozessorstatus des weitergeführten Threads

Typische Systemaufrufe (Beispiel: Linux)

- Prozeßmanagement
  - `fork` – Erzeugen eines Kindprozesses
  - `waitpid` – Warten auf Ende eines Kindprozesses
  - `execve` – Ausführen eines anderen Programms
  - `exit` – Prozeß beenden und Statuswert zurückgeben
- Dateimanagement
  - `open` – Datei öffnen (Lesen/Schreiben)
  - `close` – Datei schließen
  - `read` – Daten aus Datei in Puffer lesen
  - `write` – Daten aus Puffer in Datei schreiben
  - `lseek` – Dateizeiger verschieben

Typische Systemaufrufe (Beispiel: Linux) ...

- Verzeichnismanagement
  - `mkdir` – Verzeichnis erzeugen
  - `rmdir` – Leeres Verzeichnis löschen
  - `unlink` – Datei löschen
  - `mount` – Datenträger in Dateisystem einhängen
- Verschiedenes
  - `chdir` – Arbeitsverzeichnis wechseln
  - `chmod` – Datei-Zugriffsrechte ändern
  - `kill` – Signal an Prozeß senden
  - `time` – Uhrzeit

1.7 Zusammenfassung / Wiederholung

- Aufgaben eines BSs
  - Erweiterung / Abstraktion der Hardware
  - Verwaltung der Betriebsmittel
    - Prozessor, Speicher, Platte, E/A, ...
  - BS liegt zwischen Anwendungen und Hardware
  - Zugriff auf Hardware nur über BS
- Entwicklung der BSe
- Arten von BSen

1.7 Zusammenfassung / Wiederholung ...

- Computer-Hardware
  - Ausführungsmodi der CPU
    - Systemmodus für BS
    - Benutzermodus für Anwendungen
      - Speicherabbildung, keine privilegierten Befehle
  - Unterbrechungen:
    - Systemaufruf (*Trap*)
    - Ausnahme (*Exception*)
    - Interrupt

1.7 Zusammenfassung / Wiederholung ...

- Grundkonzepte von BSen
  - Prozesse
  - Speicherverwaltung
  - Ein-/Ausgabe
  - Dateiverwaltung
- Konzeptübergreifende Aufgaben
  - Sicherheit
  - Ablaufplanung und Resourcenverwaltung
- Systemaufrufe