

Betriebssysteme und nebenläufige Programmierung

SoSe 2026

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

Stand: 20. März 2026

Betriebssysteme und nebenläufige Programmierung

SoSe 2026

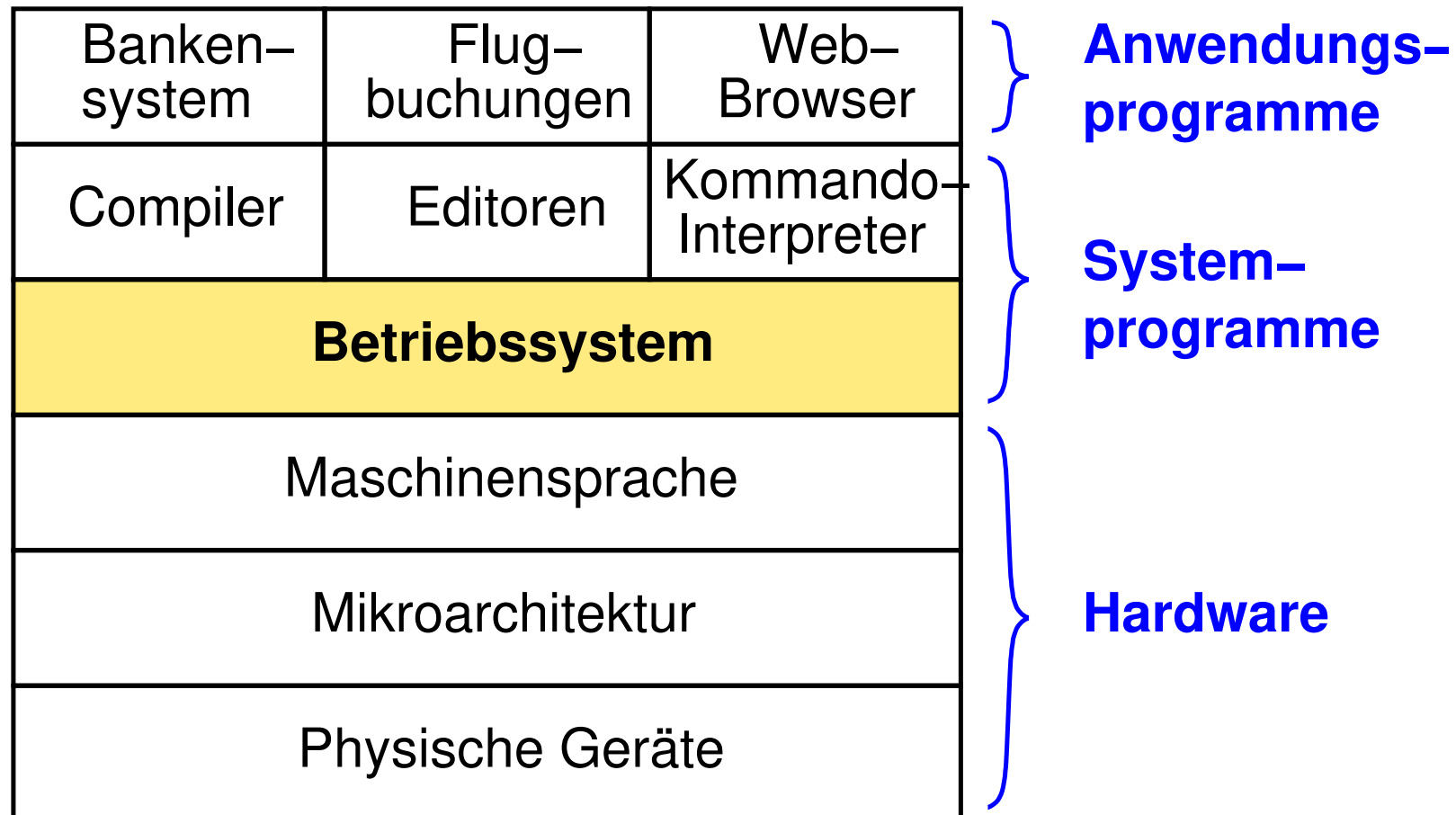
1 Einführung



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 ...

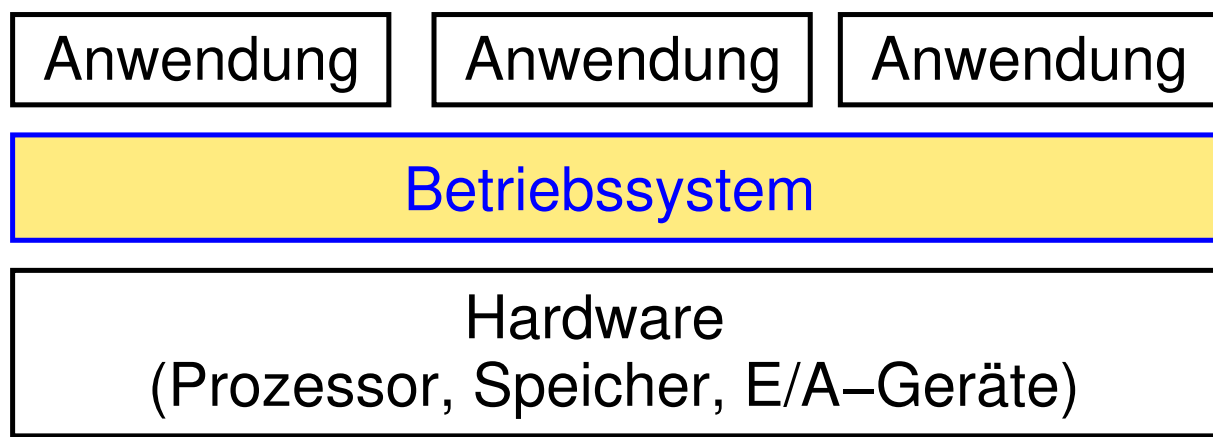
➔ Beispiel: Dateien

- ➔ 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

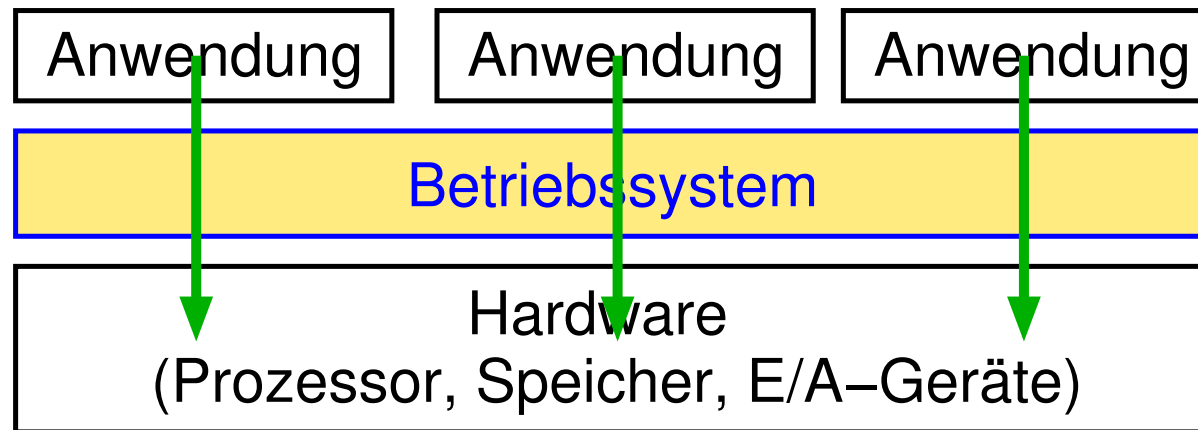
- ➔ während Max druckt, will auch Moritz drucken
 - ➔ aber nicht auf dasselbe Blatt Papier ...
- ➔ BS regelt den Zugriff auf den Drucker
 - ➔ der Auftrag von Moritz wird zurückgestellt, bis der von Max beendet ist

BS als Mittler zwischen Anwendungen und Hardware



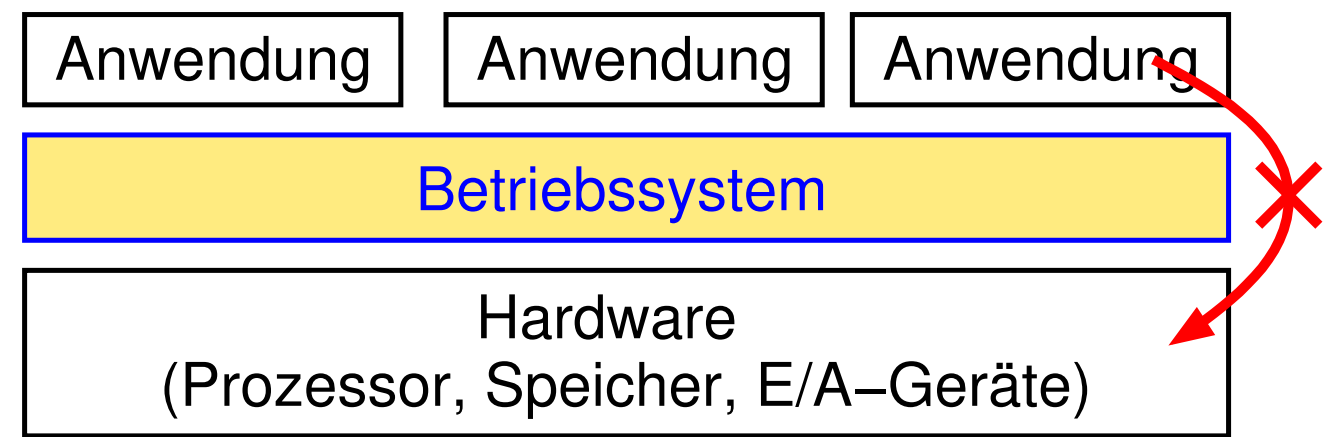
- ➔ Essentiell: Anwendungen können nicht direkt (d.h. **unkontrolliert**) auf die Hardware zugreifen
- ➔ Unterstützende Hardware-Mechanismen:
 - ➔ Ausführungsmodi des Prozessors (System- und Benutzermodus, 📖 **1.4.1**)
 - ➔ Adreßumsetzung (virtueller Speicher, 📖 **8.3**)

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



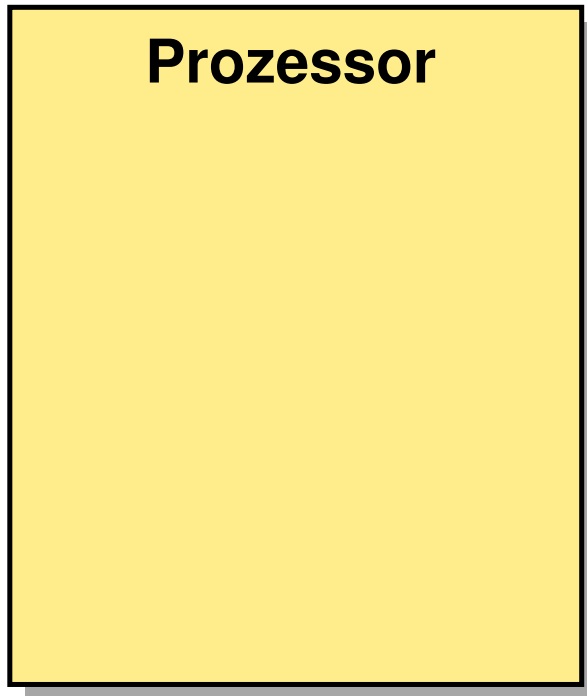
4. Generation (1980 - heute):

- ➔ 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

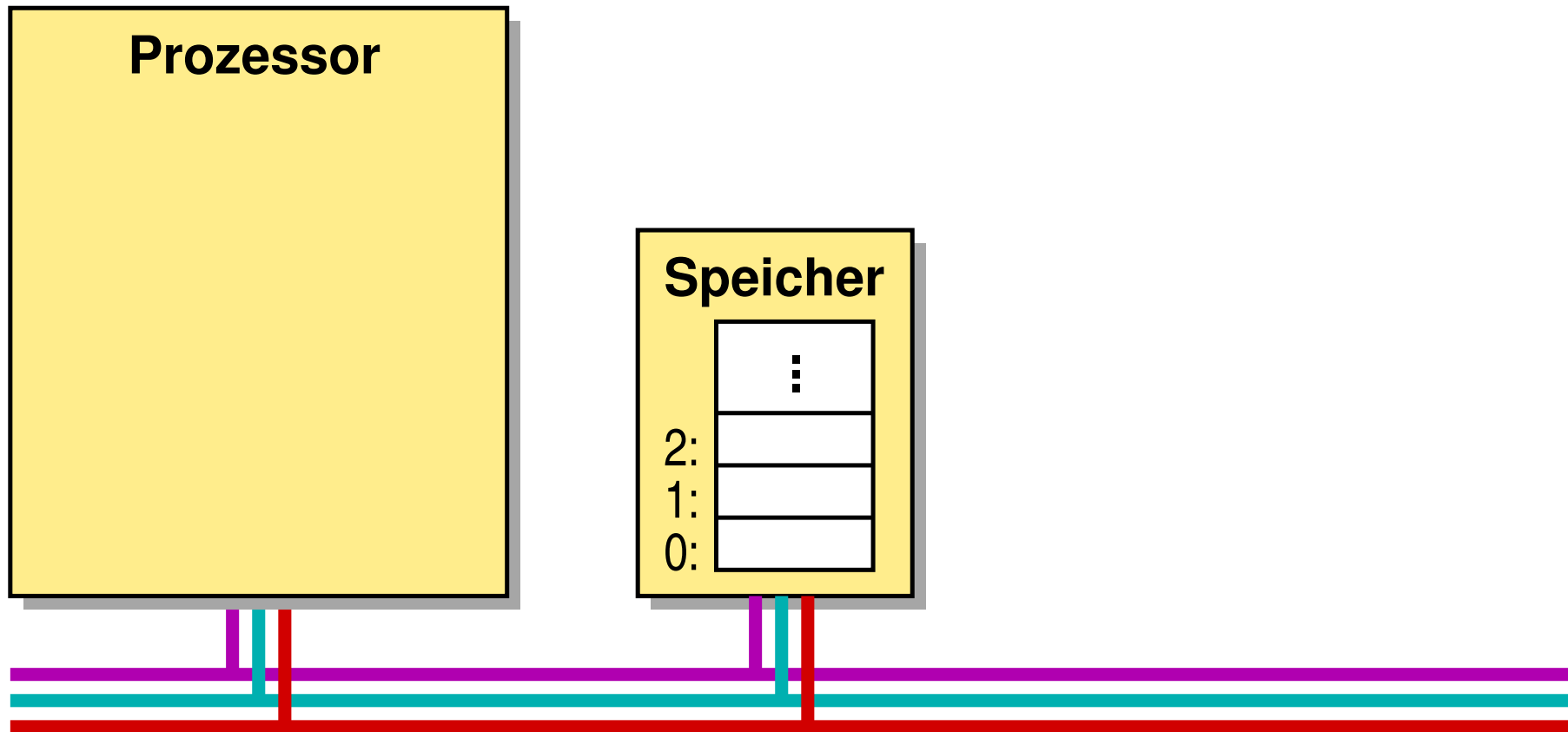


- ➔ Mainframe-BSe
 - ➔ schnelle E/A, viele Prozesse, Transaktionen
- ➔ **Server-BSe**
 - ➔ viele Benutzer gleichzeitig, Netzwerkanbindung
- ➔ Multiprozessor-BSe
 - ➔ für Parallelrechner
- ➔ **PC-BSe**
- ➔ Echtzeit-BSe
- ➔ BSe für eingebettete Systeme
- ➔ BSe für Chipkarten

Aufbau eines typischen PCs (stark vereinfacht)

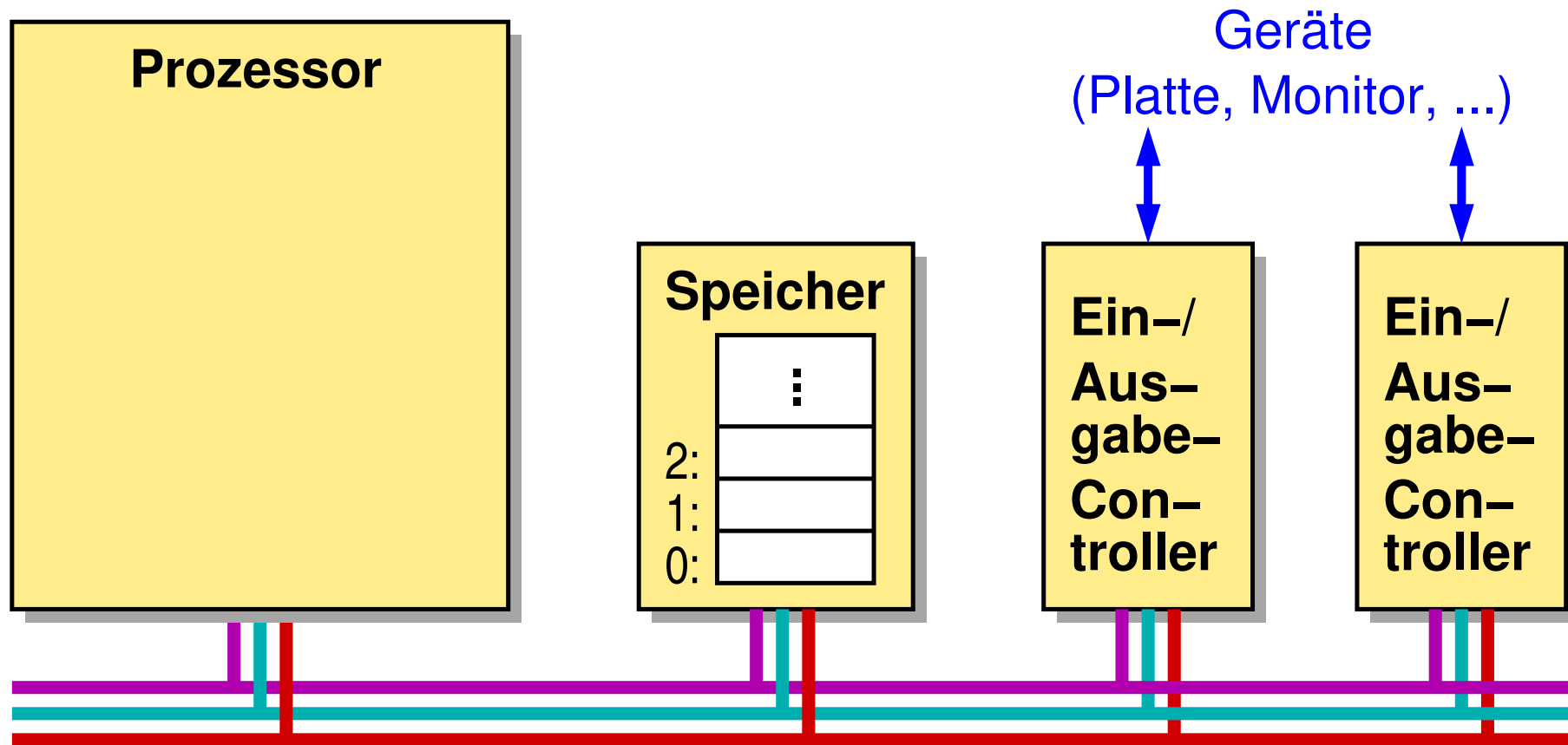


Aufbau eines typischen PCs (stark vereinfacht)



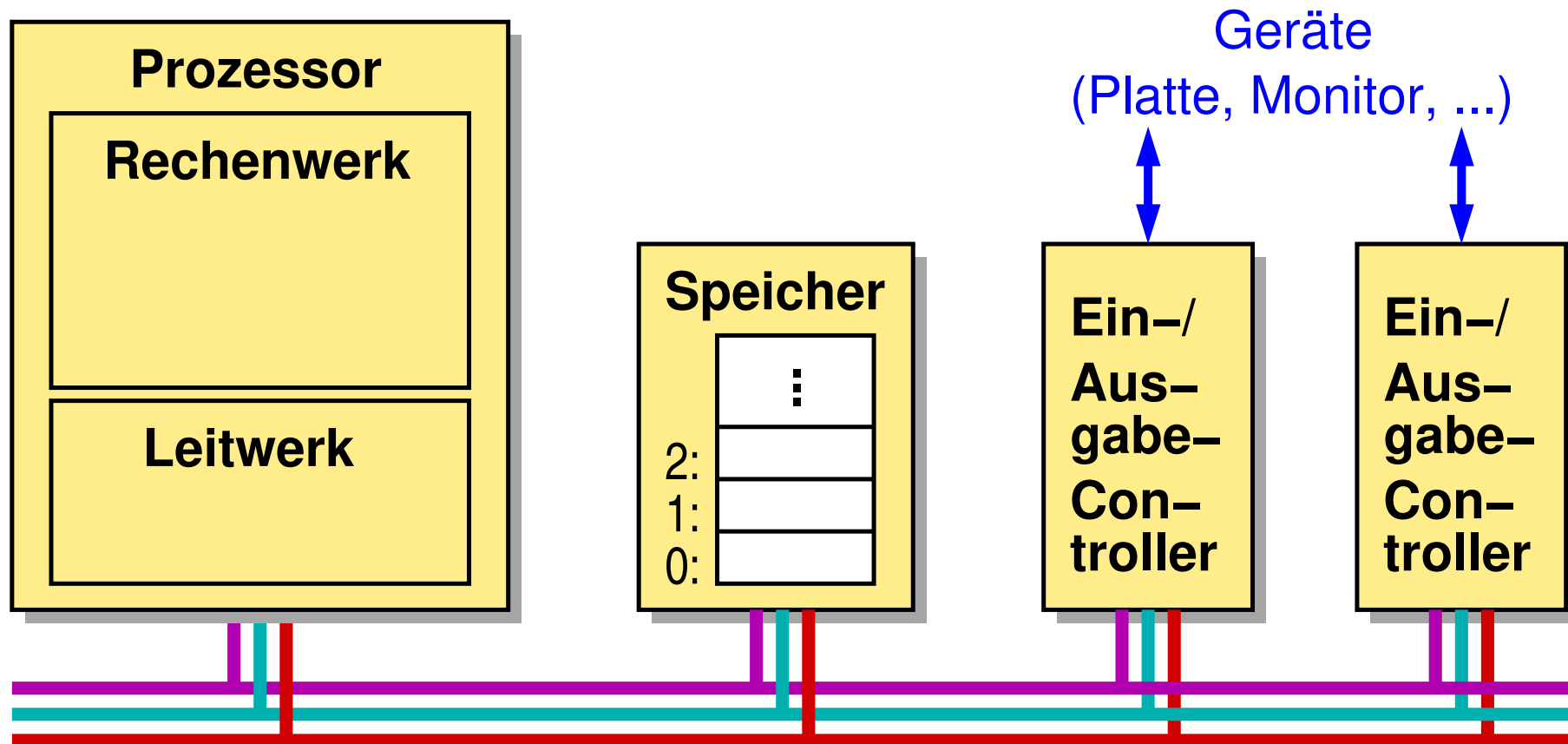
Systembus: Adressen, Daten, Steuersignale

Aufbau eines typischen PCs (stark vereinfacht)



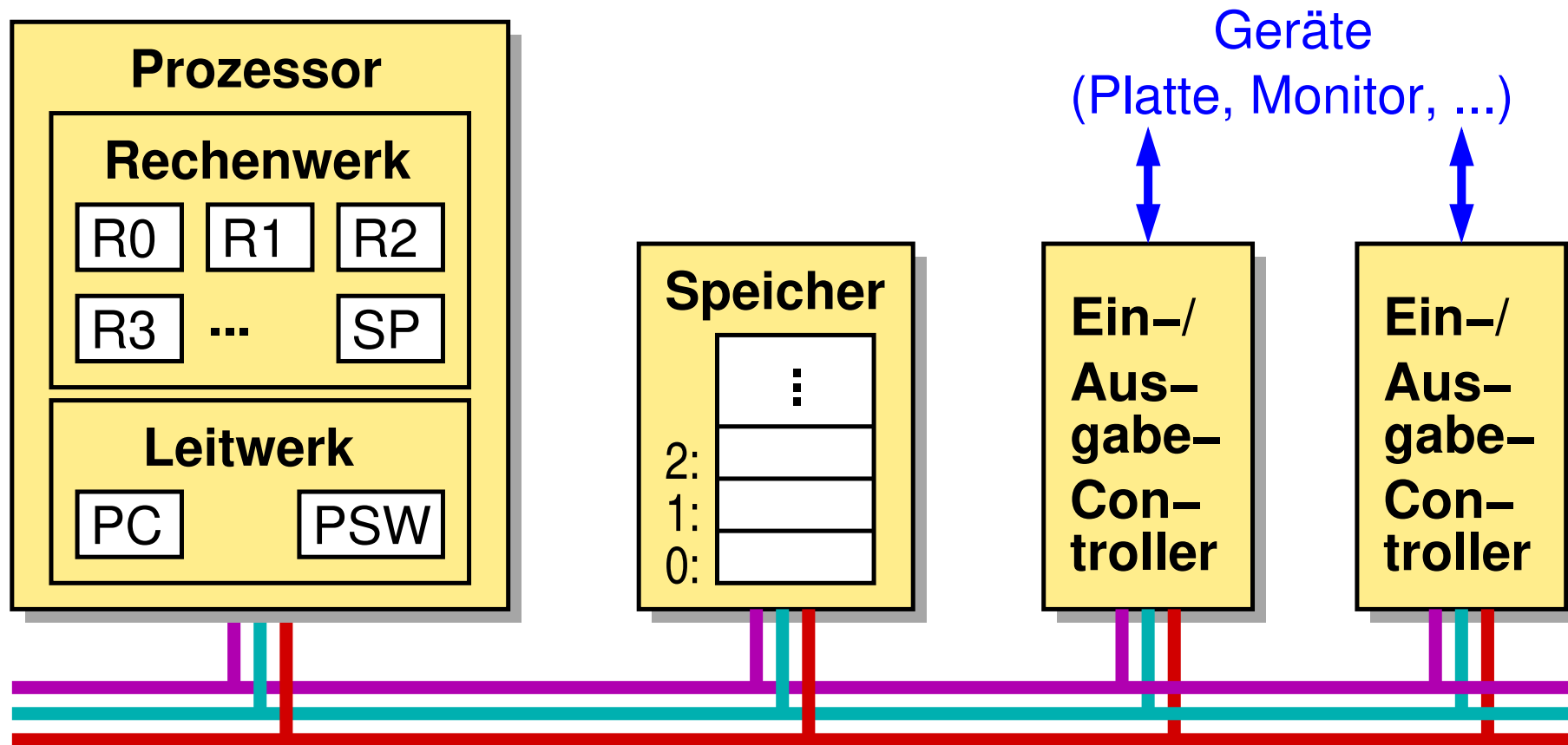
Systembus: Adressen, Daten, Steuersignale

Aufbau eines typischen PCs (stark vereinfacht)



Systembus: Adressen, Daten, Steuersignale

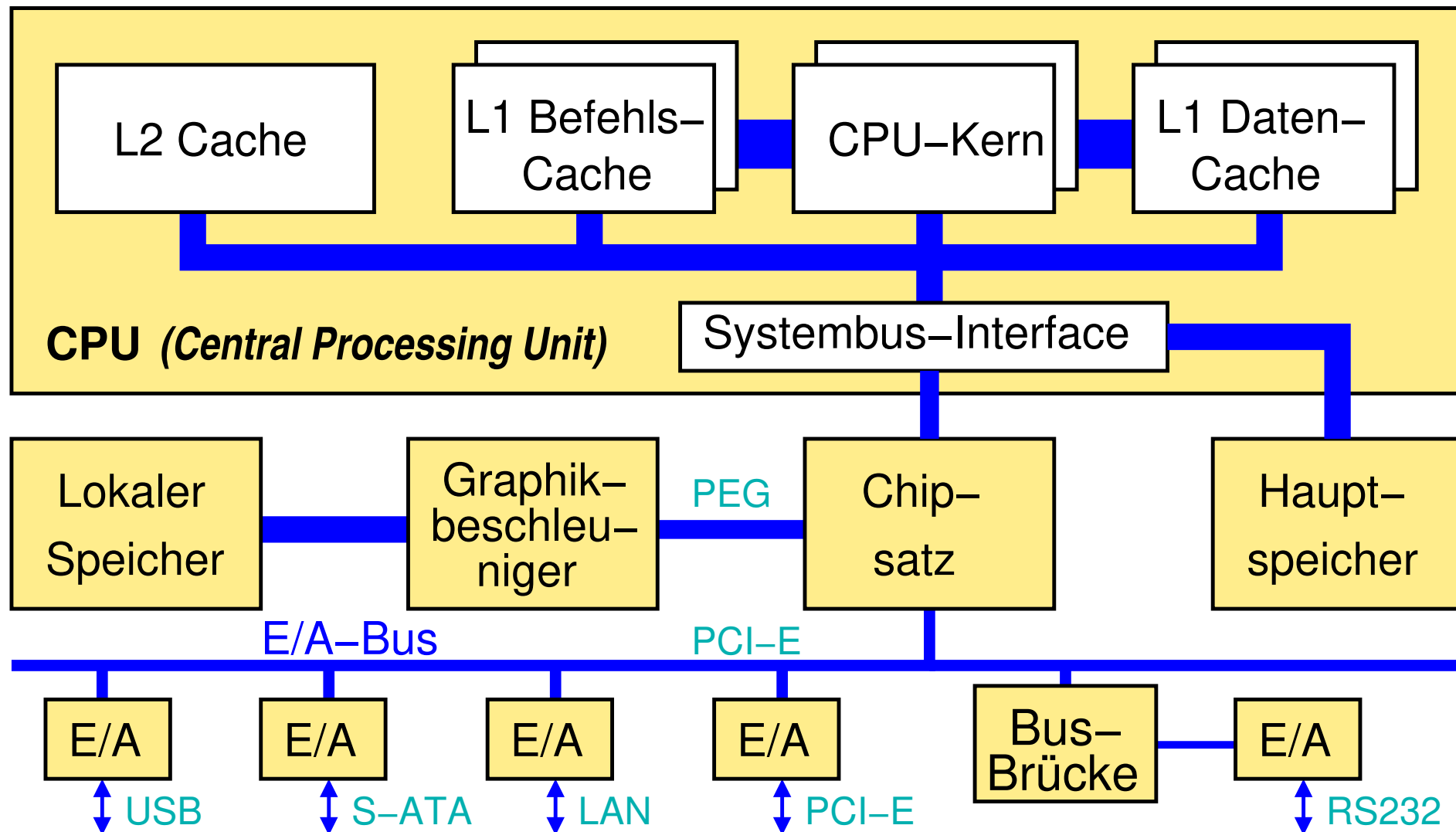
Aufbau eines typischen PCs (stark vereinfacht)



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 alle 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

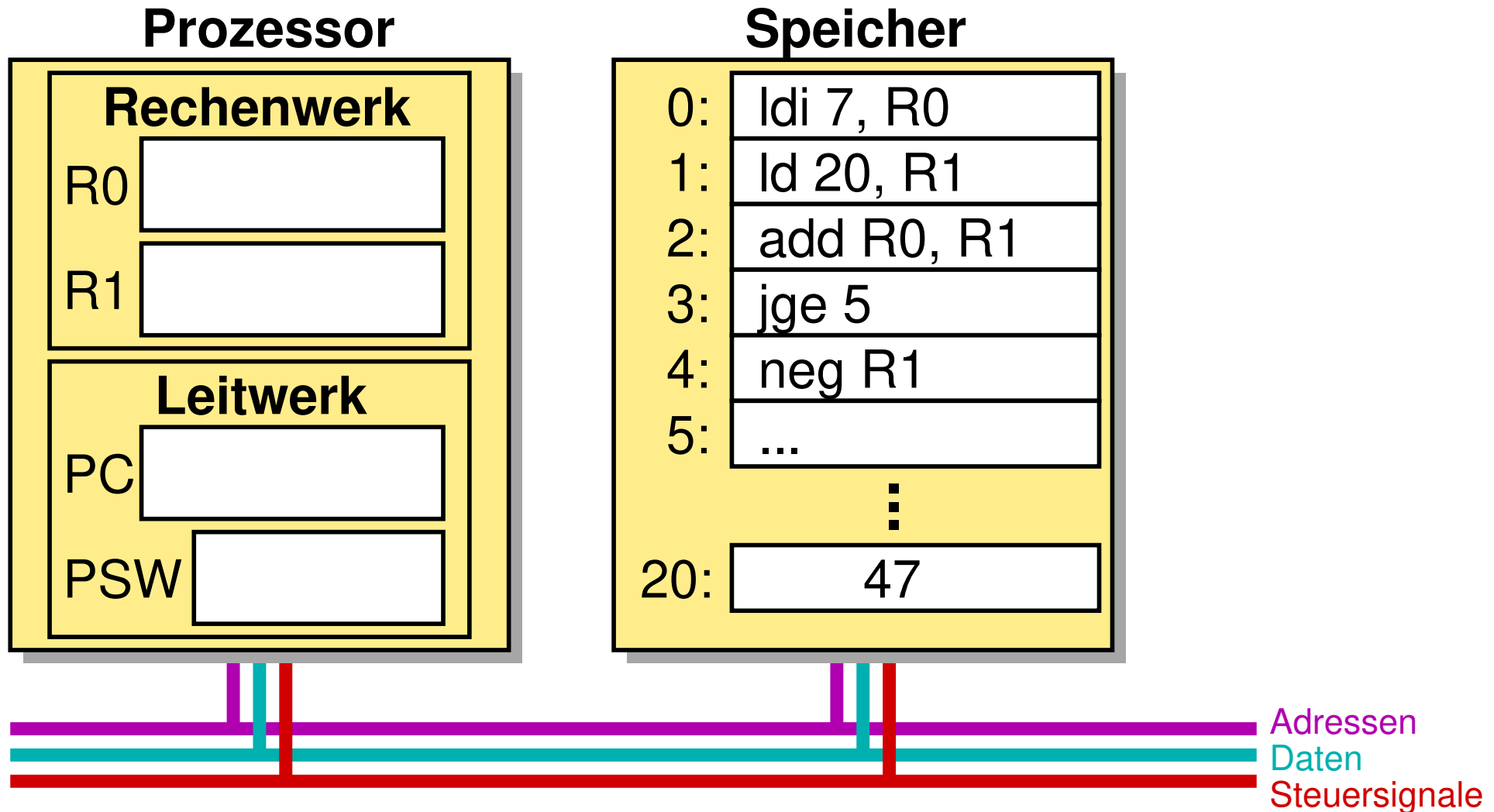


Operationen:

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

Hardware

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

Hardware

BS

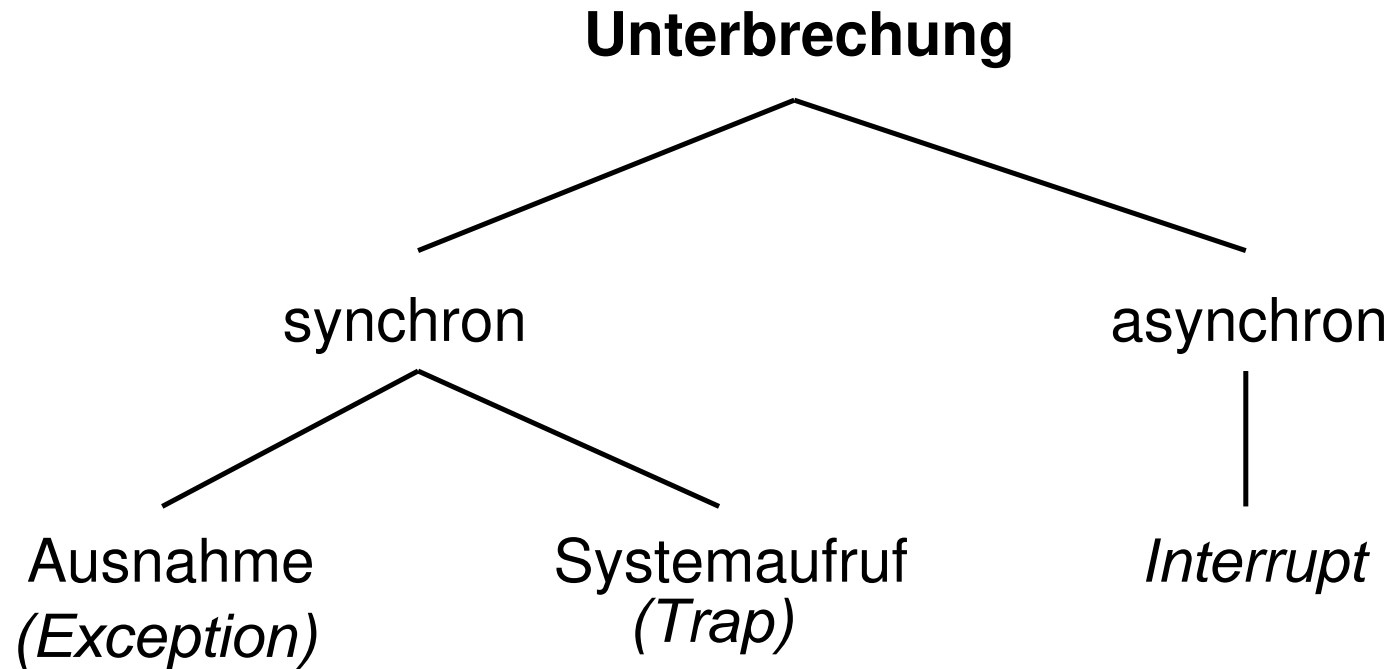
- ➔ Hauptanwendung: Ein-/Ausgabe

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!



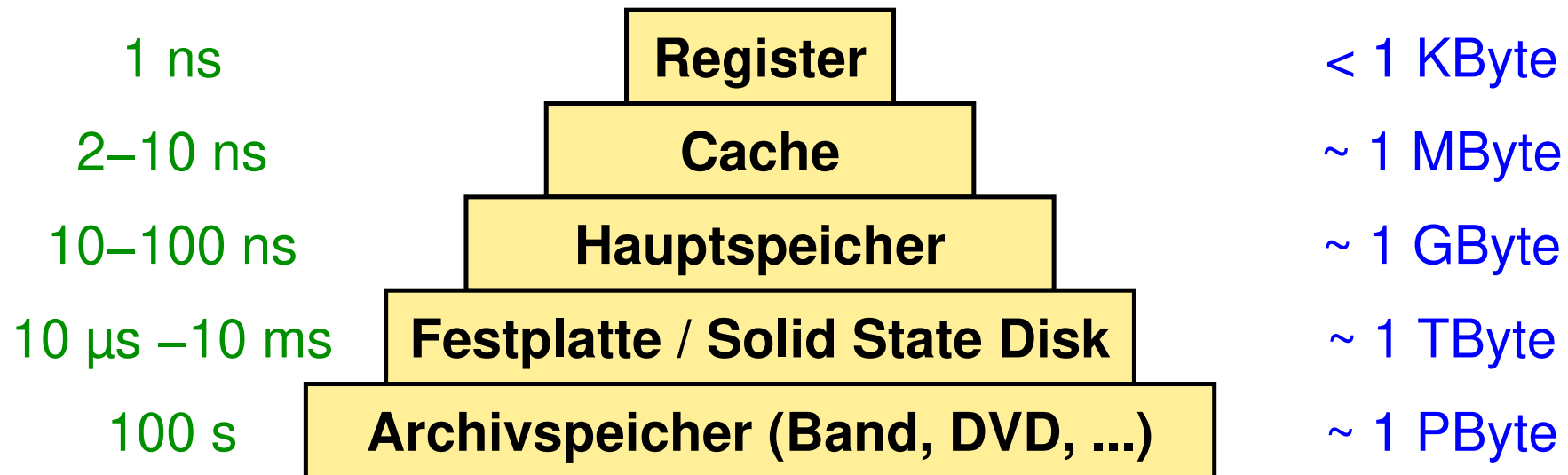
Unterbrechungen des Programmablaufs



Speicherhierarchie

typ. Zugriffszeit

typ. Kapazität



➔ 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 Speicheradreibraum eingeblendet
 - ➔ Zugriff über normale Schreib-/Lesebefehle
 - ➔ Zugriffsschutz über Adreßabbildung (☞ **1.5.2, 8.3**)
- ➔ Separater E/A-Adreibraum (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 Ressourcenverwaltung

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

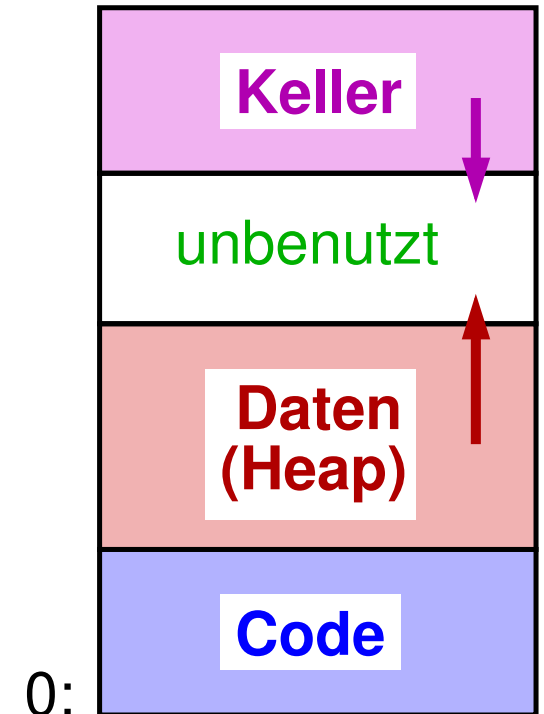


Abarbeitung von Threads: *Timesharing*

- ➔ 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
- ➔ **Prozeßwechsel** bedingt Wechsel der Ausführungsumgebung
- ➔ Threads eines Prozesses teilen sich die Ausführungsumgebung
 - ➔ Wechsel zwischen Threads desselben Prozesses ist effizienter

(Virtueller) Adreßraum

- ➔ Beginnt bei Adresse 0, durchnummeriert bis Obergrenze
 - ➔ linearer Adreßraum
- ➔ Enthält:
 - ➔ Programmcode
 - ➔ Programmdateien (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

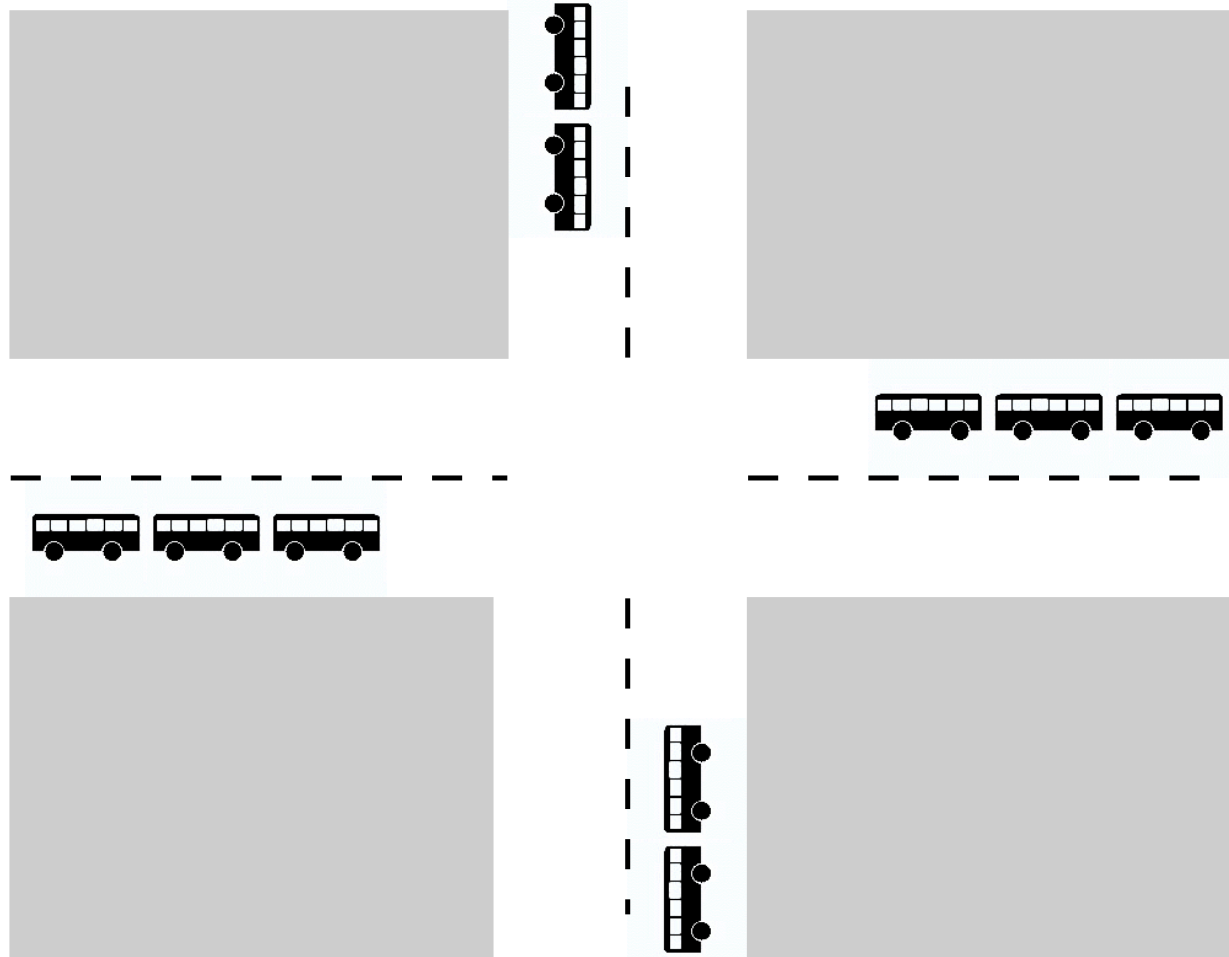


Prozeß-/Threadinteraktion (Interprozeßkommunikation, IPC)

- ➔ **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 Ressourcen)
 - ➔ Problem: **Verklemmungen** (**Deadlocks**)
 - ➔ zyklische Wartebeziehungen



Eine anschauliche Verklemmung

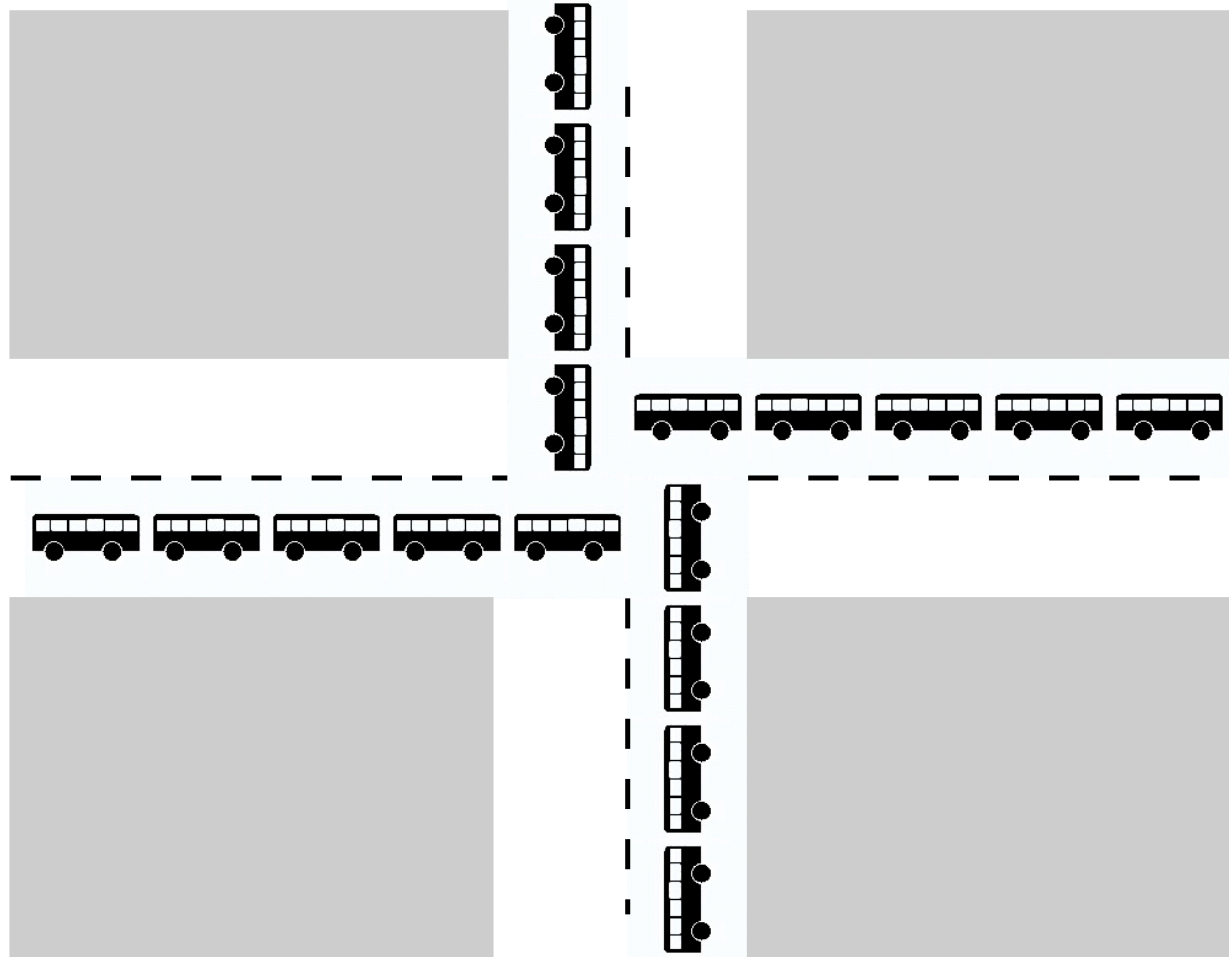




Eine anschauliche Verklemmung

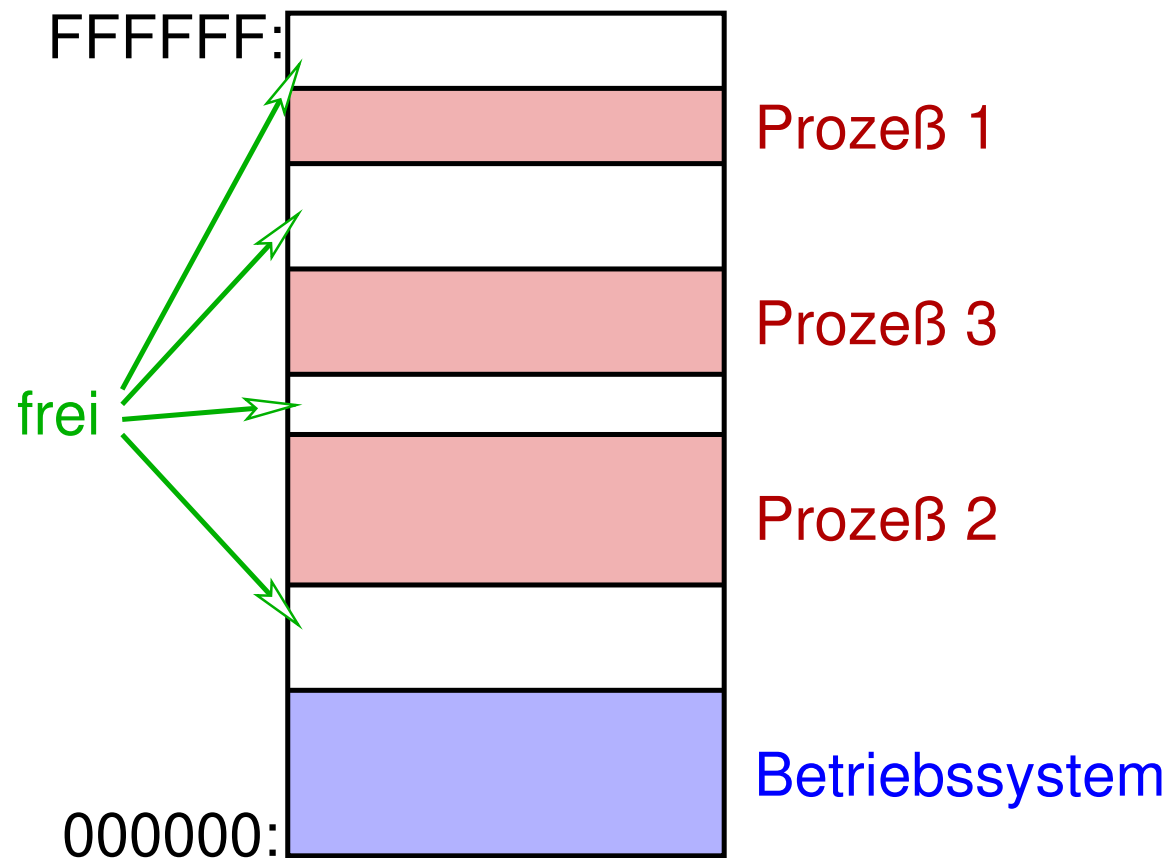


Eine anschauliche Verklemmung



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?

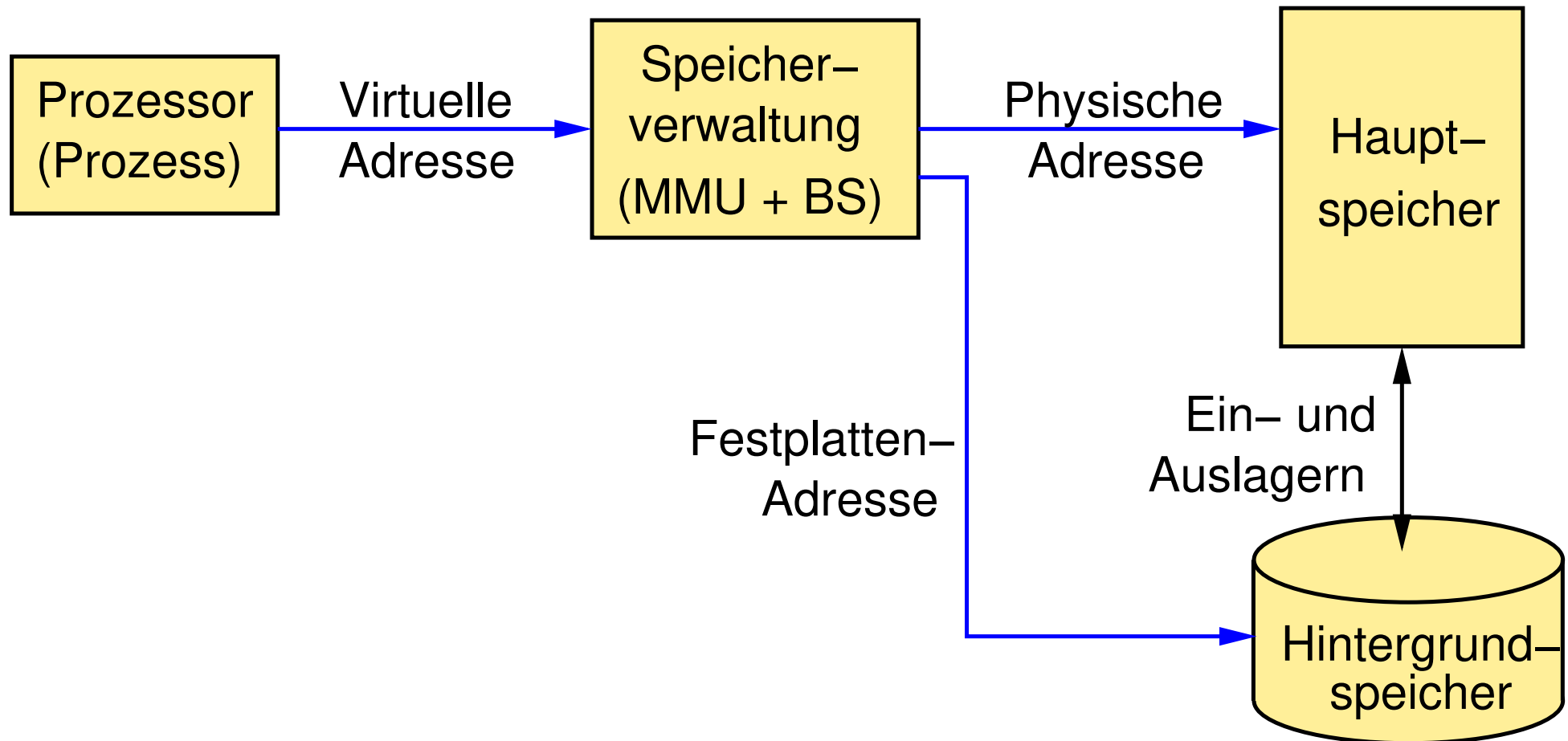
Fragen / Probleme für das BS: ...

- ➔ 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



- ➔ **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)

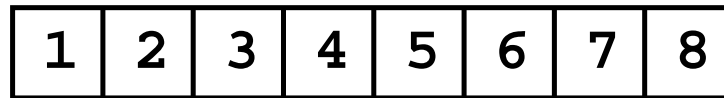
Das sequentielle Dateimodell

- ➔ 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



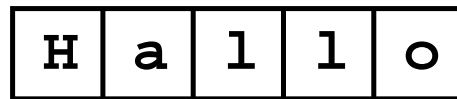
Beispiel: Schreiben in eine sequentielle Datei

Datei
(vorher)



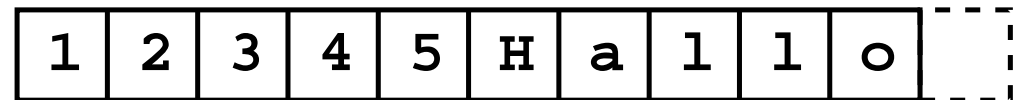
↑ Dateizeiger

Puffer
(im Speicher)



Schreibe
Puffer in Datei

Datei
(nachher)



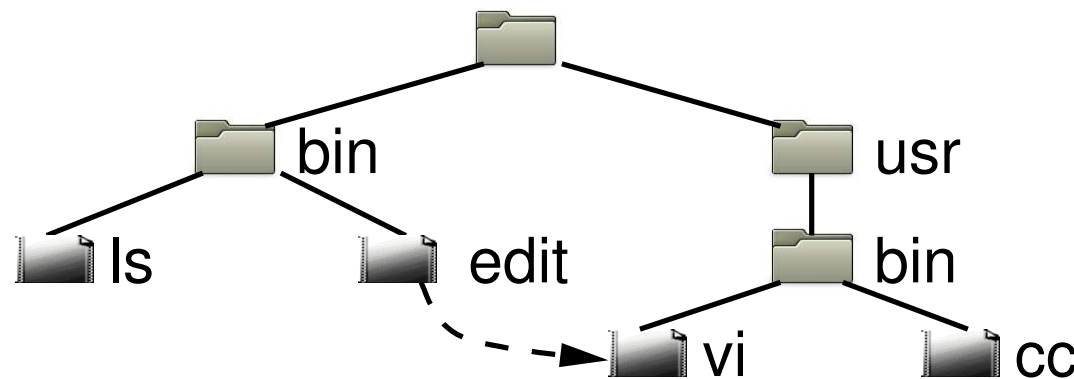
↑ Dateizeiger

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:

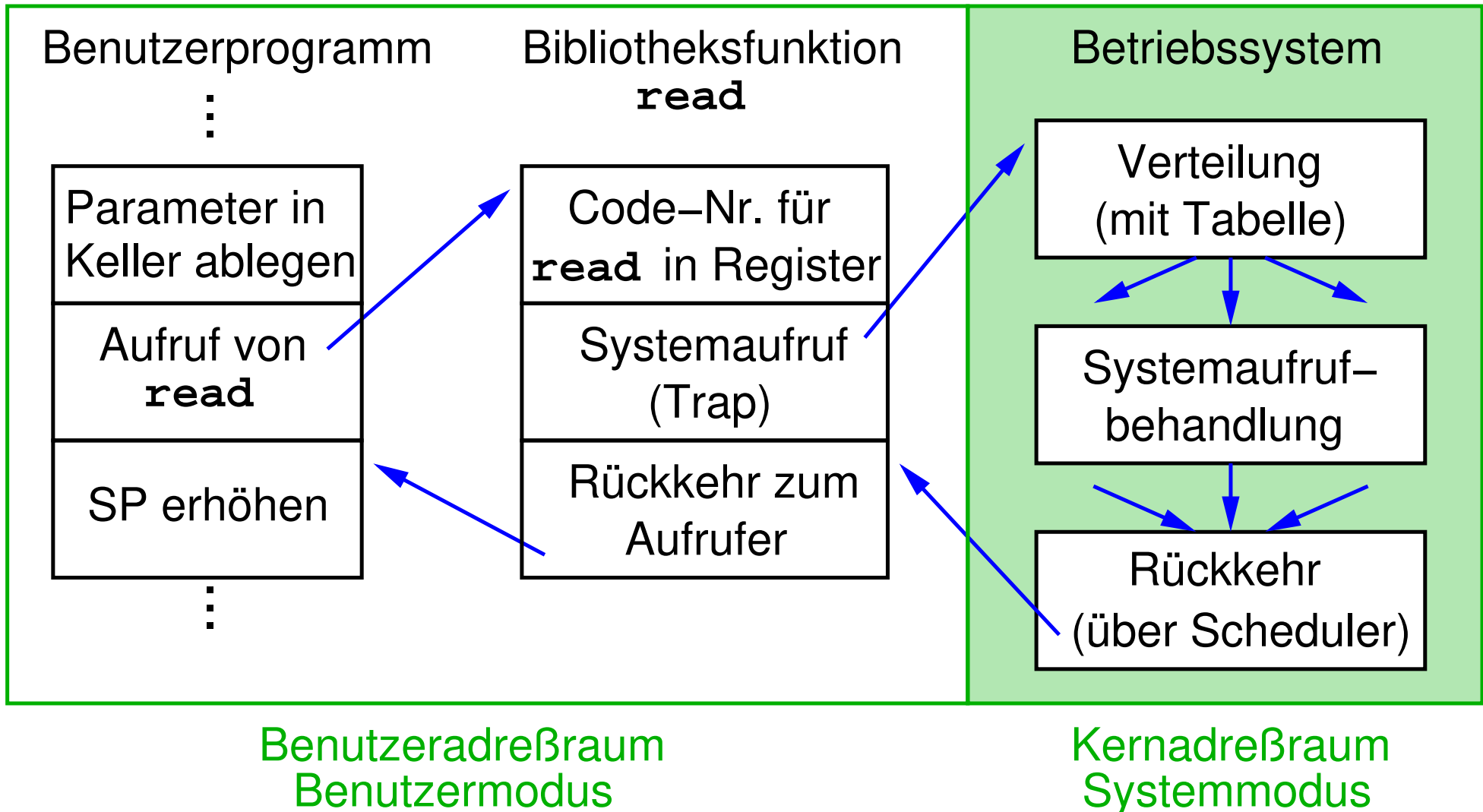
<code>rw</code>	<code>r-x</code>	<code>---</code>
user	group	others
- ➔ `r` = Lesen, `w` = Schreiben, `x` = Ausführen
 - ➔ im Bsp.: Eigentümer darf alles, Benutzer der Eigentümergruppe darf nicht schreiben, für alle anderen kein Zugriff
- ➔ Rechte werden bei jedem (relevanten) Zugriff vom BS geprüft

- ➔ 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 widersprüchlich

- ➔ 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



- ➔ 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

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



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