

Betriebssysteme (BS)

Abstraktionen und Strukturen

Olaf Spinczyk

Arbeitsgruppe Eingebettete Systemsoftware

Lehrstuhl für Informatik 12

TU Dortmund

Olaf.Spinczyk@tu-dortmund.de

<http://ess.cs.uni-dortmund.de/~os/>





- **Wiederholung**
- Ein Blick in die Geschichte
 - Serielle Verarbeitung und Stapelbetrieb
 - Mehrprogramm- und Dialogbetrieb
- Systemabstraktionen im Überblick
 - Prozesse
 - CPU-Zuteilung
 - Synchronisation und Verklemmungen
 - Interprozesskommunikation
 - Speicherverwaltung
 - Arbeitsspeicher
 - Hintergrundspeicher

Literatur

Silberschatz, Kap. 1,
„Einführung“

Tanenbaum, Kap. 1,
„Einführung“



Wiederholung

- Es gibt viele Auslegungen des Begriffs „Betriebssystem“
- Festhalten kann man ...
 - Das Betriebssystem dient den Anwendern bzw. deren Anwendungsprogramm(en) und nie dem Selbstzweck.
 - Es muss die Hardware genau kennen und den Anwendungen geeignete Abstraktionen zur Verfügung stellen.
- Hardware und Anwendungsanforderungen bestimmen die Dienste des Betriebssystems
 - Struktur und Funktionsweise ergeben sich entsprechend
- ➔ Um zu verstehen, welche Hardwareabstraktionen Betriebssysteme heute anbieten, muss man ihre **Entwicklungsgeschichte** im Zusammenhang mit der Hardwareentwicklung und typischer Anwendungen betrachten.

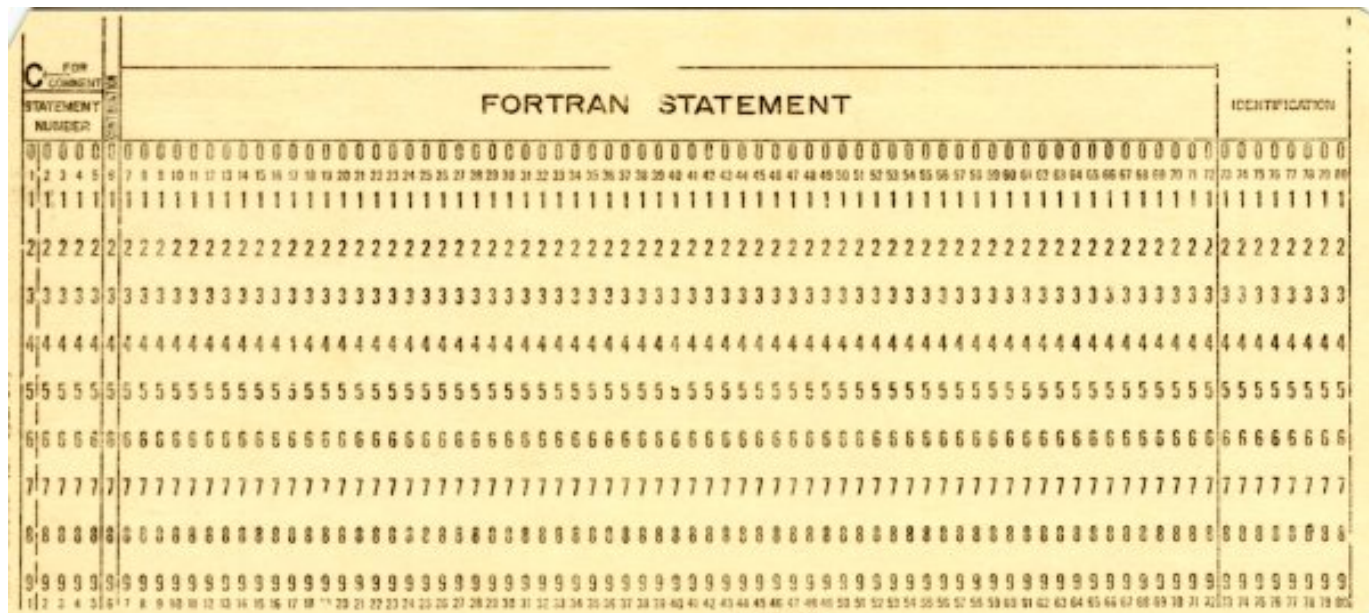


- Wiederholung
- **Ein Blick in die Geschichte**
 - Serielle Verarbeitung und Stapelbetrieb
 - Mehrprogramm- und Dialogbetrieb
- Systemabstraktionen im Überblick
 - Prozesse
 - CPU-Zuteilung
 - Synchronisation und Verklemmungen
 - Interprozesskommunikation
 - Speicherverwaltung
 - Arbeitsspeicher
 - Hintergrundspeicher



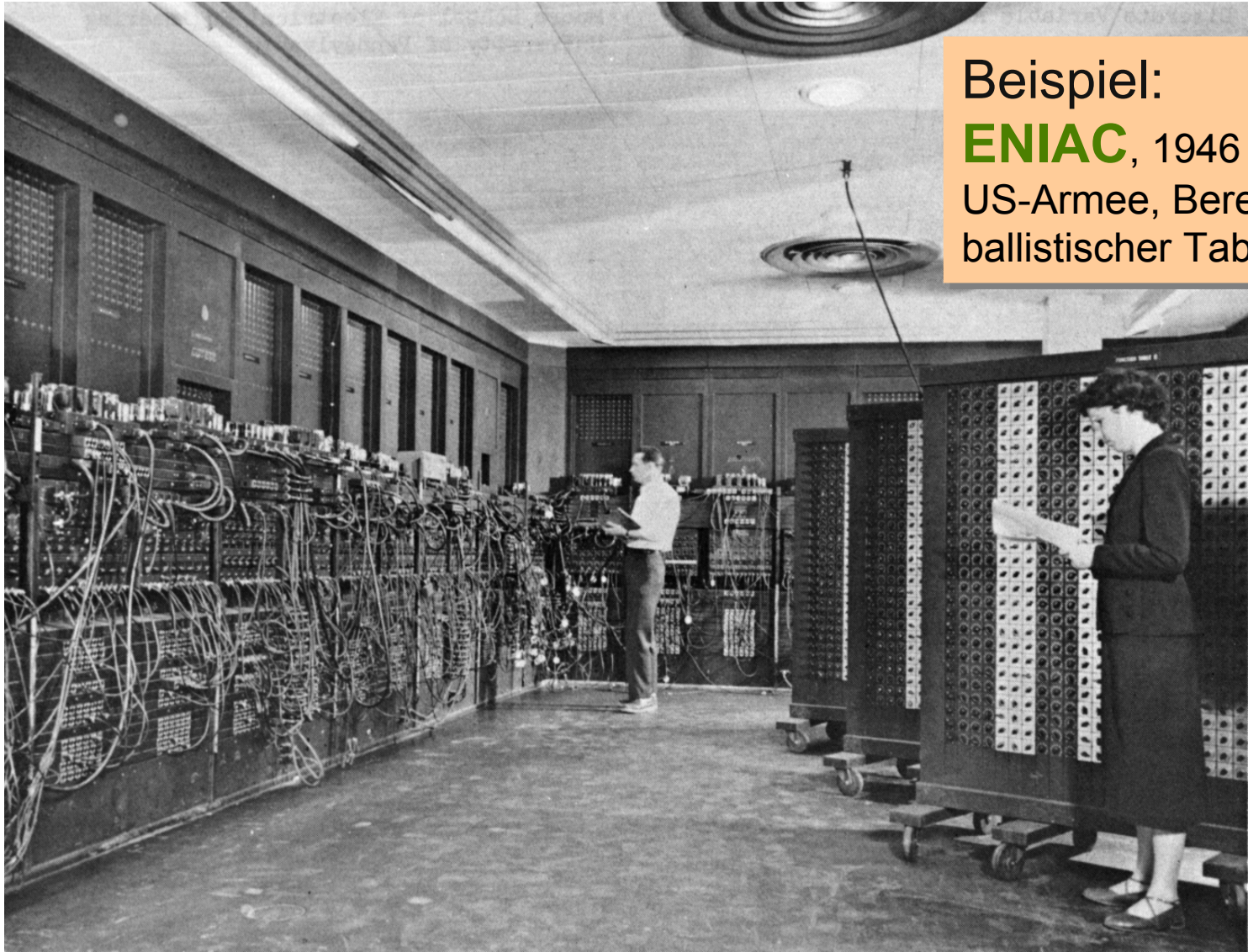
Am Anfang stand die Lochkarte

- Es gibt sie schon seit 1725 zur Webstuhlsteuerung
- Herman Hollerith nutzte sie 1890 für eine Volkszählung
 - aus seiner Firma und zwei weiteren ging später IBM hervor
- Sie wurde bis in die 70er Jahre als vielseitiger Speicher eingesetzt.





Erste elektronische Universalrechner



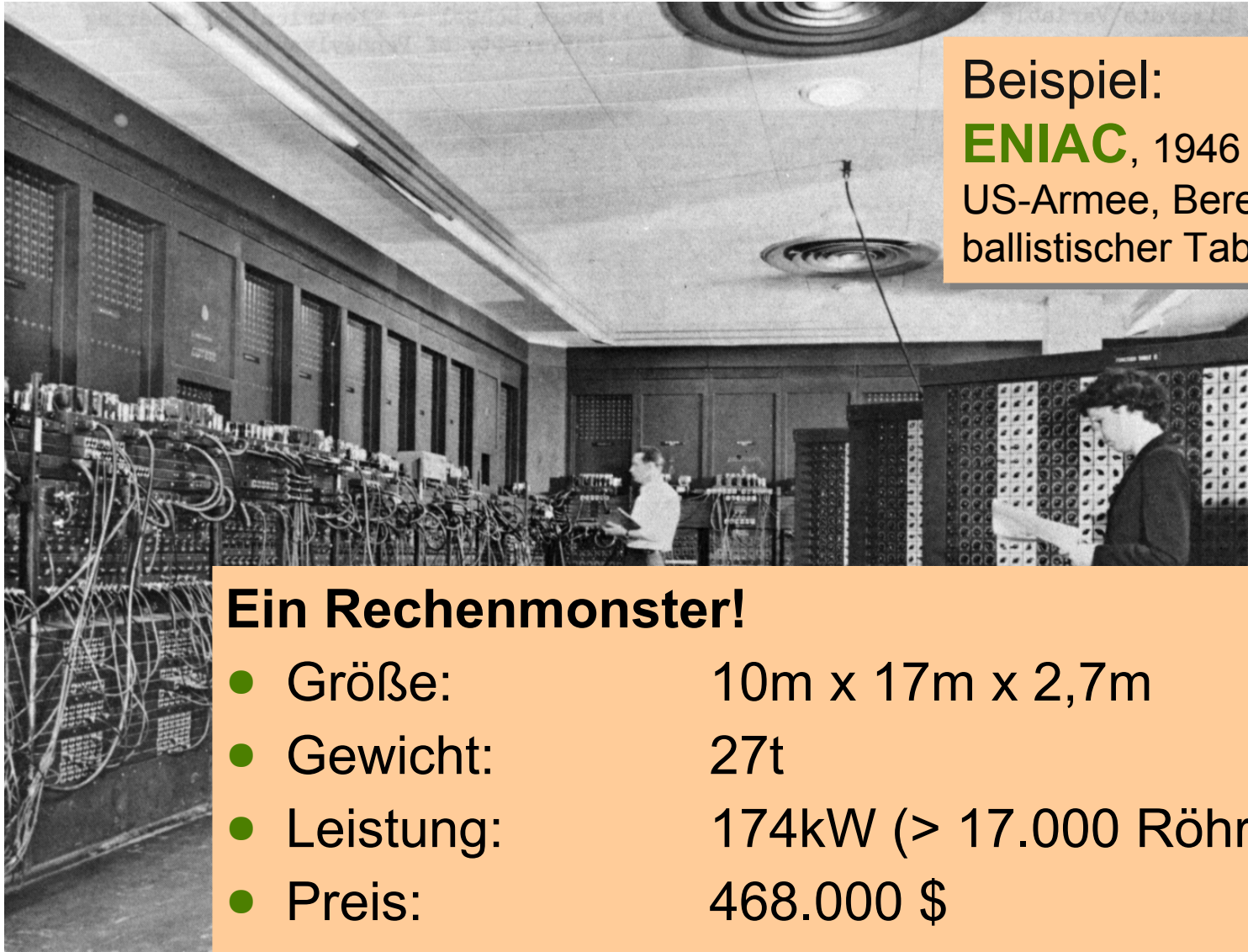
Beispiel:

ENIAC, 1946

US-Armee, Berechnung
ballistischer Tabellen



Erste elektronische Universalrechner



Beispiel:

ENIAC, 1946

US-Armee, Berechnung
ballistischer Tabellen

Ein Rechenmonster!

- Größe: 10m x 17m x 2,7m
- Gewicht: 27t
- Leistung: 174kW (> 17.000 Röhren!)
- Preis: 468.000 \$
- Geschwindigkeit: 500 Additionen pro Sekunde



Serielle Verarbeitung (ab 1945)

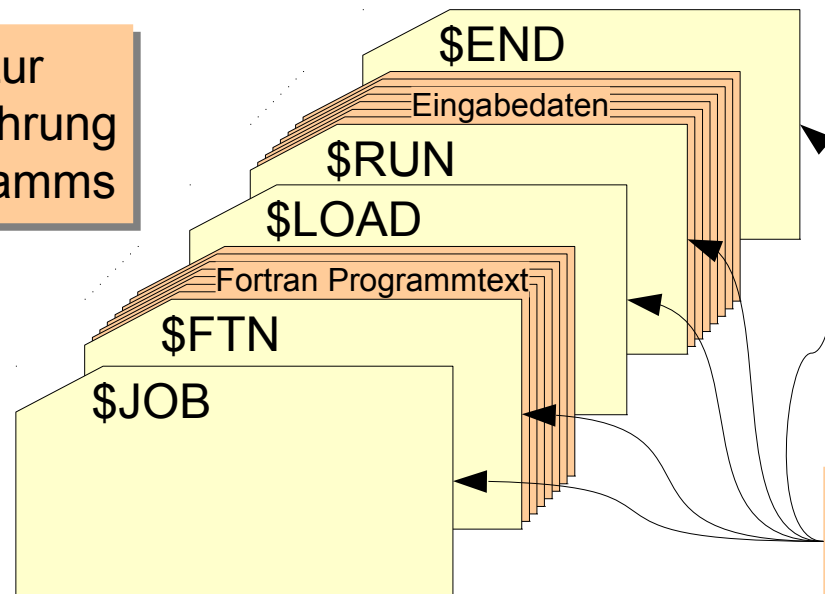
- Programmierung
 - i.d.R. in Maschinencode
 - Eingabe über Lochkartenleser
 - Ausgaben über Drucker
 - Fehleranzeige durch Kontrolllämpchen
- Rechnerzeituteilung auf Papierterminkalender
 - **Rechnerzeitverschwendung** durch zu großzügige Reservierung oder Abbruch wegen Fehler
- Minimale Auslastung der CPU
 - Die meiste Zeit verbrauchten **langsame E/A Geräte** (Lochkartenleser, Drucker)
- Erste Systemsoftware in Form wiederverwendbarer **Programmbibliotheken**
 - Binder, Lader, *Debugger*, Gerätetreiber, ...



Einfache Stapelsysteme (ab 1955)

- Verringerten die Häufigkeit manueller Betriebseingriffe
- Die ersten Betriebssysteme: „**residente Monitore**“
 - Interpretation von *Job*-Steuerbefehlen
 - Laden und Ausführen von Programmen
 - Geräteansteuerung

Ein Stapel Lochkarten zur Übersetzung und Ausführung eines FORTRAN Programms



NEU: „Steuerkarten“
(engl. *control cards*)



Einfache Stapelsysteme (ab 1955)

Der Monitor bleibt dauerhaft im Speicher während er ein Anwendungsprogramm nach dem anderen ausführt.

- **Probleme** durch fehlerhafte Anwendungen:
 - Programm terminiert nicht,
 - schreibt in den Speicherbereich des residenten Monitors
 - Greift auf den Kartenleser direkt zu und interpretiert Steuerbefehle als Daten

Monitor

Arbeitsspeicher

Gerätetreiber

Sequentielle
Job-Steuerung

Steuersprach-
interpreter

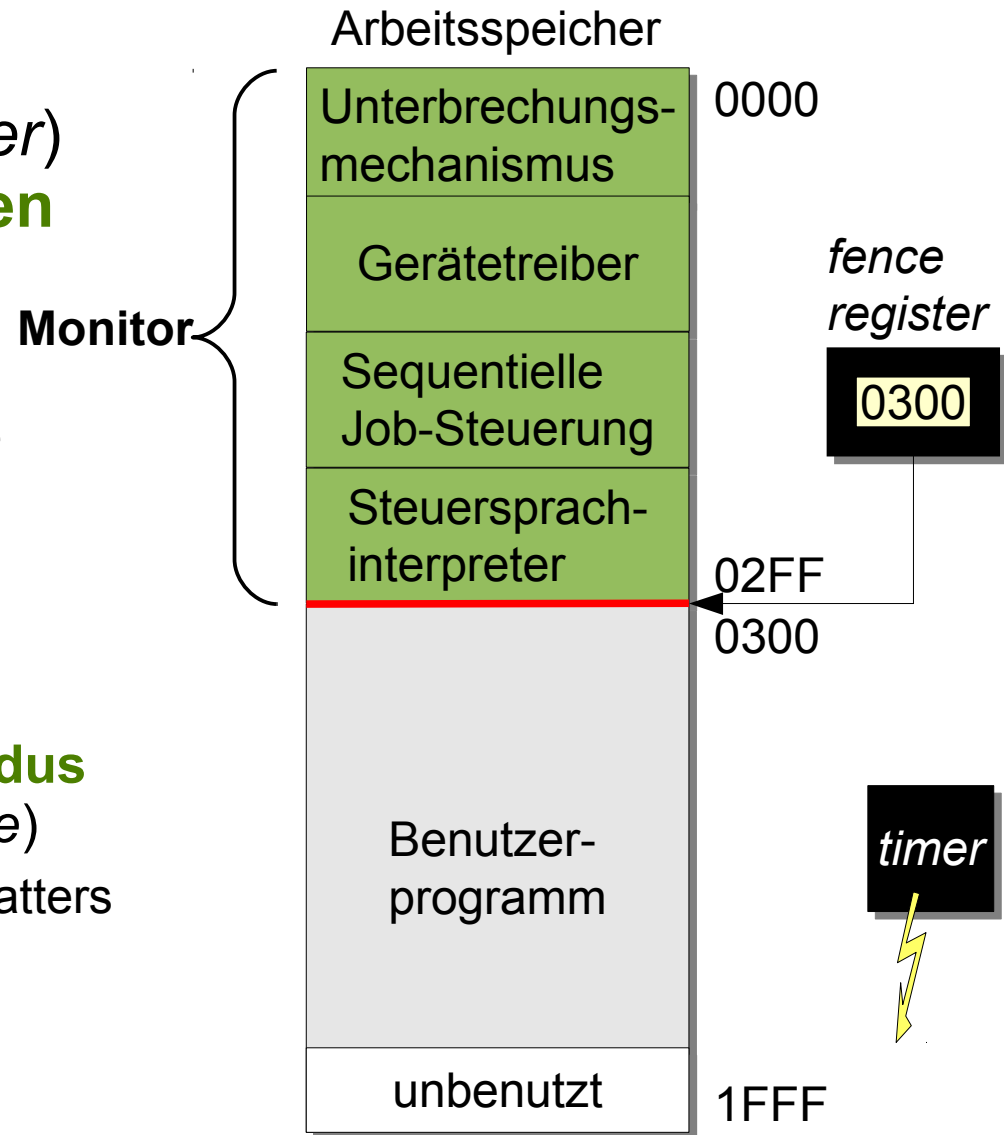
Benutzer-
programm-
bereich



Einfache Stapelsysteme (ab 1955)

Lösungen:

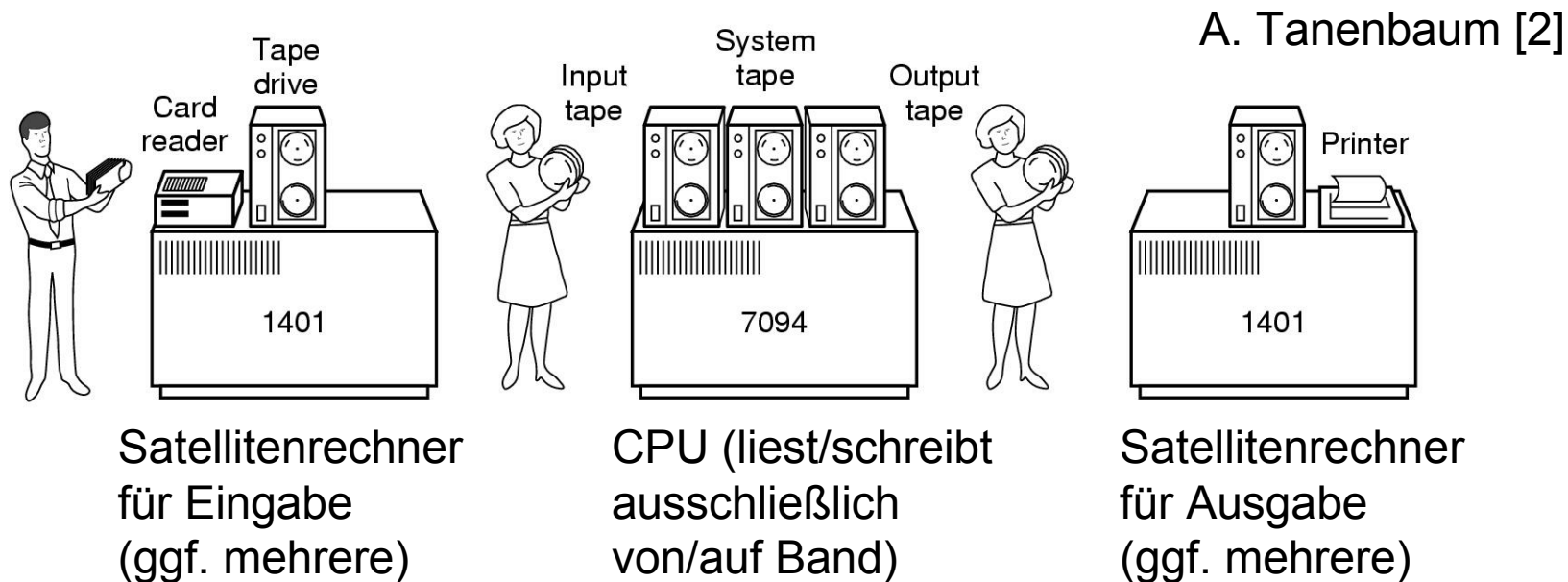
- Zeitgeberbaustein (*timer*) liefert **Unterbrechungen** (*interrupts*)
- **Fallen** (*traps*) für fehlerhafte Programme
 - Schutzgatterregister (engl. *fence register*) realisiert primitiven **Speicherschutz**
 - **Privilegierter Arbeitsmodus** der CPU (*supervisor mode*)
 - Deaktivierung des Schutzgatters
 - Ein-/Ausgabe





Der Ein-/Ausgabe-Flaschenhals

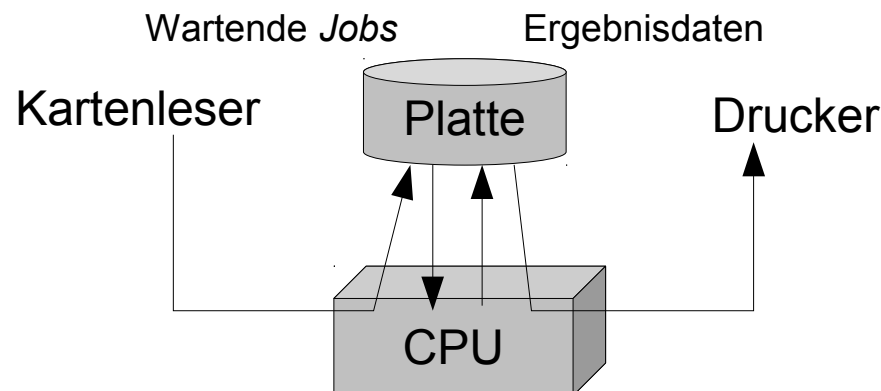
- **Problem:** CPU ist schneller als Kartenleser und Drucker
 - kostbare Rechenzeit wird durch (aktives) Warten verschwendet
- **Lösung 1: *Off-line processing***
 - dank Bandlaufwerken
 - Parallelisierung von Ein-/Ausgaben durch mehrere **Satellitenrechner**





Der Ein-/Ausgabe-Flaschenhals

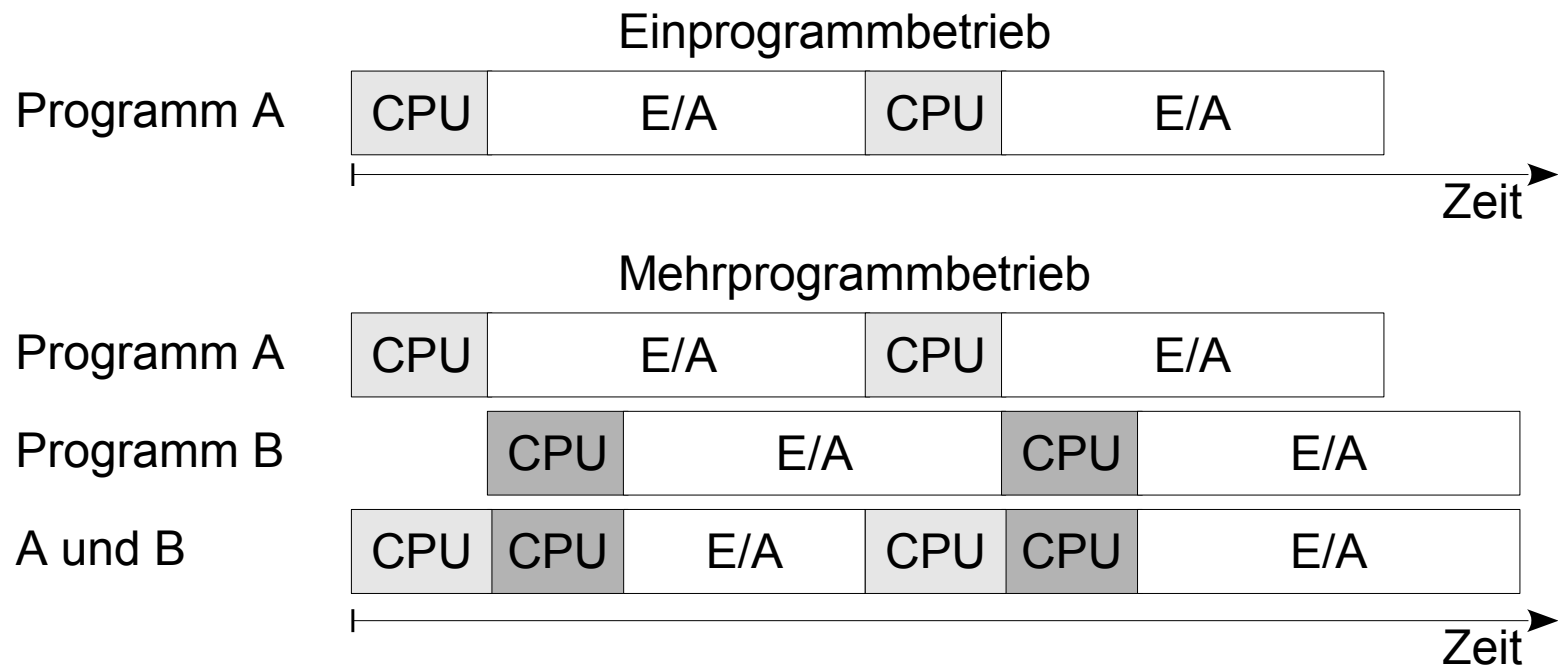
- **Problem:** CPU ist schneller als Kartenleser und Drucker
 - kostbare Rechenzeit wird durch (aktives) Warten verschwendet
- **Lösung 2: Spooling**
 - dank Plattenlaufwerken (wahlfreier Zugriff) und **Direct Memory Access**
 - Berechnungen und Ein-/Ausgaben werden dabei überlappt.
 - Regeln für **Prozessorzuteilung**





Mehrprogrammmbetrieb (ab 1965)

- Trotz *spooling* nutzt ein einzelnes Programm die CPU nicht effizient.
 - CPU-Stöße (*CPU bursts*) und E/A-Stöße (*I/O bursts*), bei denen die CPU warten muss, wechseln sich ab.
- Beim Mehrprogrammmbetrieb bearbeitet die CPU mehrere Aufträge gleichzeitig:





Mehrprogrammmbetrieb (ab 1965)

- Trotz *spooling* nutzt ein einzelnes Programm die CPU nicht effizient.
 - CPU-Stöße (*CPU bursts*) und E/A-Stöße (*I/O bursts*), bei denen die CPU warten muss, wechseln sich ab.
- Beim Mehrprogrammmbetrieb bearbeitet die CPU mehrere Aufträge gleichzeitig:

Einprogrammmbetrieb

Das Betriebssystem wird immer komplexer:

- Umgang mit nebenläufigen E/A Aktivitäten
- **Verwaltung des Arbeitsspeichers** für mehrere Programme
- Interne Verwaltung von Programmen in Ausführung („**Prozesse**“)
- **Prozessorzuteilung** (*scheduling*)
- Mehrbenutzerbetrieb: **Sicherheit** und Abrechnung (*accounting*)

A und B

CPU

CPU

E/A

CPU

CPU

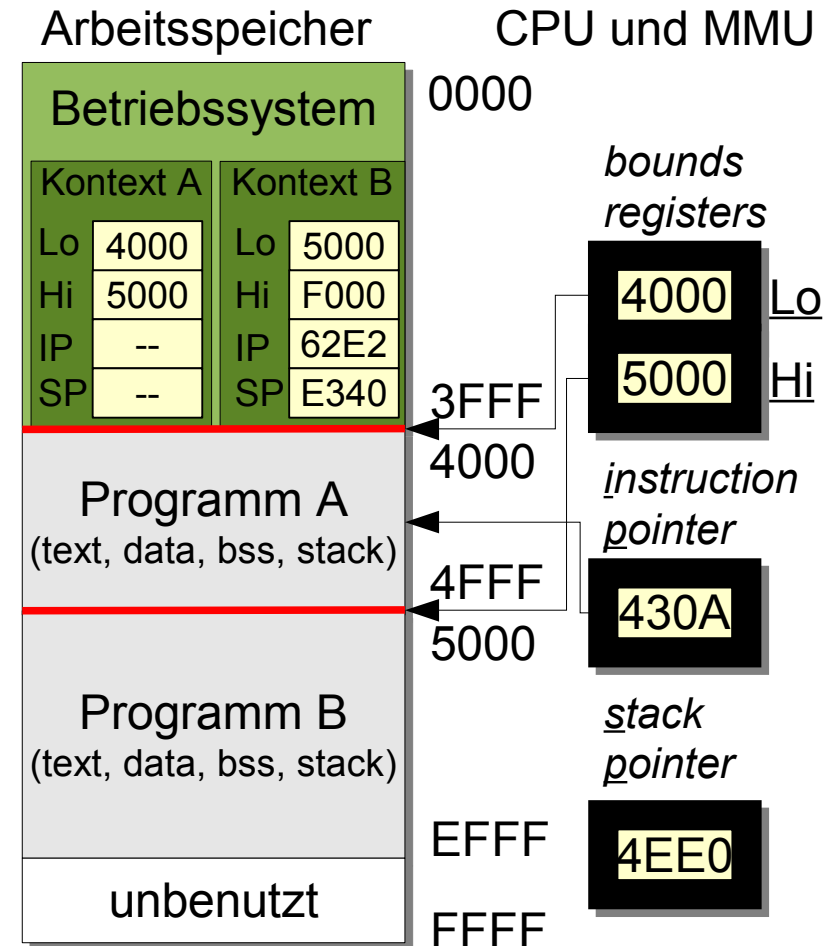
E/A

Zeit



Mehrprogrammbetrieb (ab 1965)

- **Speicherverwaltung:**
 - Den zu startenden Programmen muss dynamisch freier Speicher zugewiesen werden.
- **Speicherschutz:**
 - Einfaches Schutzgatter reicht nicht mehr, um einzelne Programme zu isolieren. Lösung: einfache Speicherverwaltungseinheit, MMU („Memory Management Unit“)
- **Prozessverwaltung:**
 - Jedes „Programm in Ausführung“ besitzt einen Kontext. Beim Prozesswechsel muss dieser ausgetauscht werden.





Dialogbetrieb (ab 1970)

- Neue Ein- und Ausgabegeräte erlauben interaktive Software
 - Tastatur, Monitor, später Maus
- *Time-Sharing* Betrieb
 - ermöglicht akzeptable Antwortzeiten für interaktive Nutzer
 - Zeitgeber-Unterbrechungen sorgen für Verdrängung (zu) lang laufender Prozesse
- Systemprogramme erlauben auch interaktive SW-Entwicklung.
 - *Editor, Shell, Übersetzer, Debugger*
- Platten und Dateisysteme erlauben jederzeit Zugriff auf Programme und Daten



Quelle: DIGITAL Computing Timeline



- Wiederholung
- Ein Blick in die Geschichte
 - Serielle Verarbeitung und Stapelbetrieb
 - Mehrprogramm- und Dialogbetrieb
- **Systemabstraktionen im Überblick**
 - **Prozesse**
 - CPU-Zuteilung
 - Synchronisation und Verklemmungen
 - Interprozesskommunikation
 - Speicherverwaltung
 - Arbeitsspeicher
 - Hintergrundspeicher



Ein Prozess ...

- Horning/Randell, Process Structuring

„... P ist ein Tripel (S, f, s) , wobei S einen Zustandsraum, f eine Aktionsfunktion und $s \subset S$ die Anfangszustände des Prozesses P bezeichnen. Ein Prozess erzeugt Abläufe, die durch die Aktionsfunktion generiert werden können.“

- Dennis/van Horn, Programming Semantics for Multiprogrammed Computations

„... ist das Aktivitätszentrum innerhalb einer Folge von Elementaroperationen. Damit wird ein Prozess zu einer abstrakten Einheit, die sich durch die Instruktionen eines abstrakten Programms bewegt, wenn dieses auf einem Rechner ausgeführt wird.“

- Habermann, Introduction to Operating System Design

„... wird durch ein Programm kontrolliert und benötigt zur Ausführung dieses Programms einen Prozessor.“



Ein Prozess ...

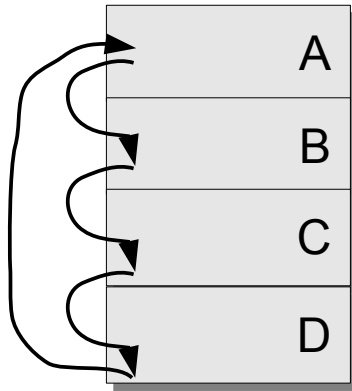
- „*ist ein Programm in Ausführung.*“
 - unbekannte Referenz, „Mundart“
- Dazu gehört ein **Prozesskontext**, i.d.R. ...
 - Code-, Daten und Stapelsegment (*text, data, stack*)
 - Prozessorregisterinhalte
 - Instruktionszeiger
 - Stapelzeiger
 - Vielzweckregister
 - ...
 - Prozesszustand
 - Benutzerkennung
 - Zugriffsrechte
 - Aktuell belegte Betriebsmittel
 - Dateien, E/A-Geräte, u.s.w.
 - ...

wird repräsentiert durch einen
Prozesskontrollblock
(*process control block, PCB*)

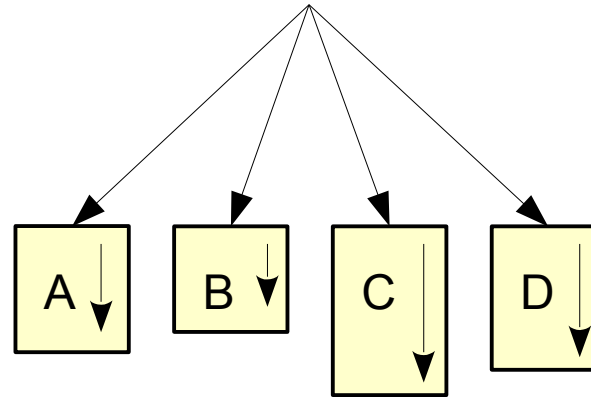


Prozessmodell

Mehrprogrammbetrieb

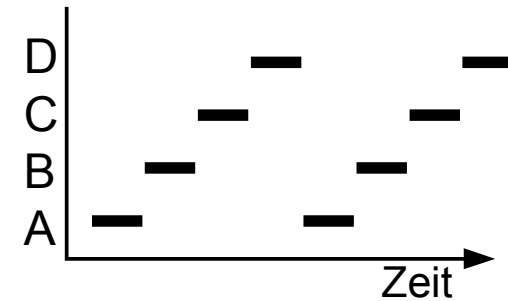


Nebenläufige
Prozesse



Multiplexing der CPU

Prozess



Technische Sicht

- 1 Instruktionszeiger
- Kontextwechsel

Konzeptionelle Sicht

- 4 unabhängige sequentielle Kontrollflüsse

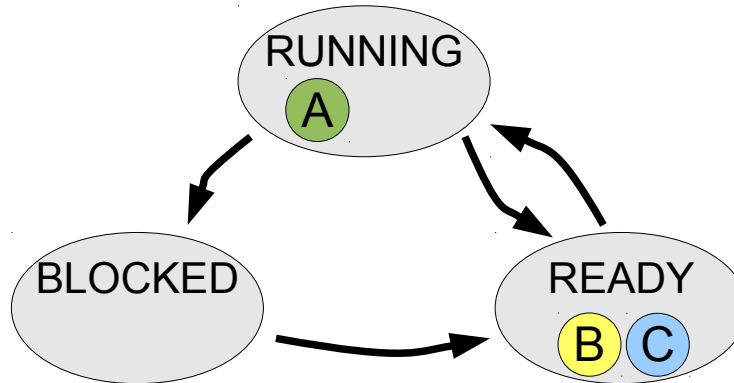
Realzeit-Sicht

(Gantt-Diagramm)

- Zu jedem Zeitpunkt ist nur ein Prozess aktiv (Uni-Prozessor-HW)

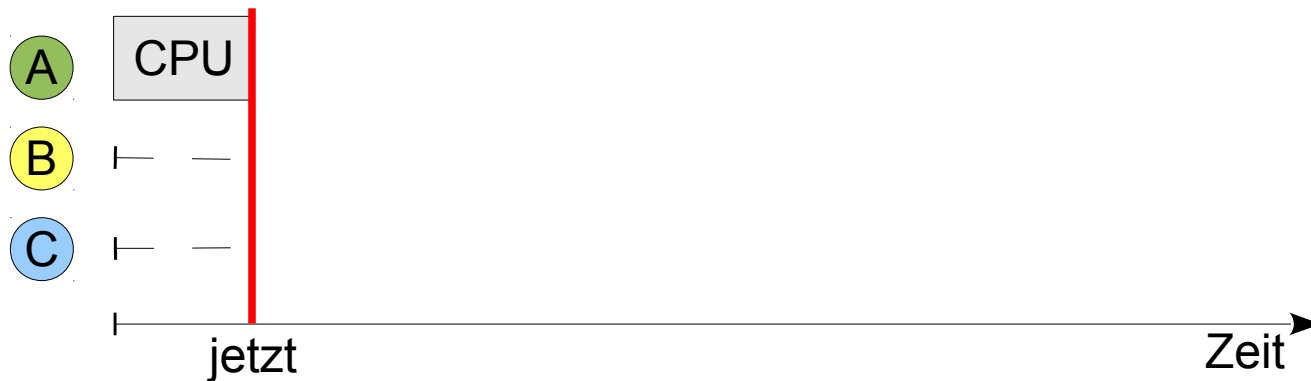


Prozessverhalten und -zustände (1)



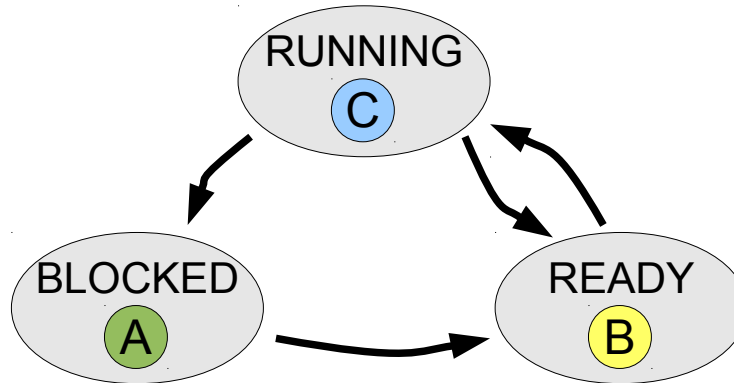
Prozesszustände

- **RUNNING**
 - Prozess wird gerade ausgeführt
- **READY**
 - Prozess ist rechenbereit, wartet auf die CPU
- **BLOCKED**
 - Prozess wartet auf die Beendigung einer E/A-Aktivität





Prozessverhalten und -zustände (2)

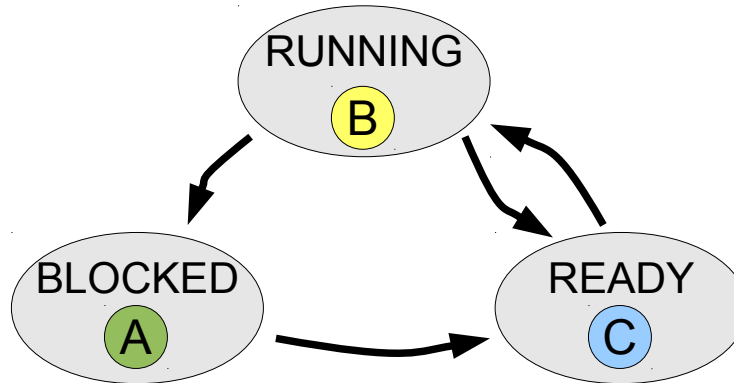


Prozess A hat einen E/A-Vorgang gestartet und ist in den Zustand BLOCKED übergegangen. Da A die CPU nun nicht benötigt, hat das Betriebssystem den Prozess C ausgewählt und von READY in RUNNING überführt. Es fand ein **Kontextwechsel** von A zu C statt.

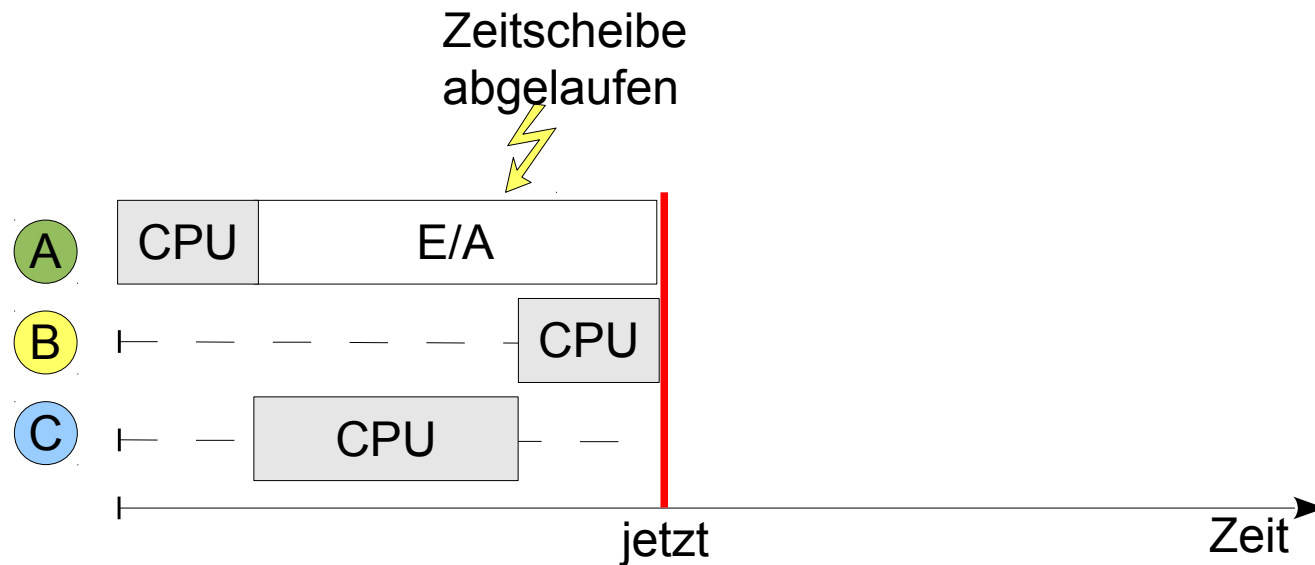




Prozessverhalten und -zustände (3)

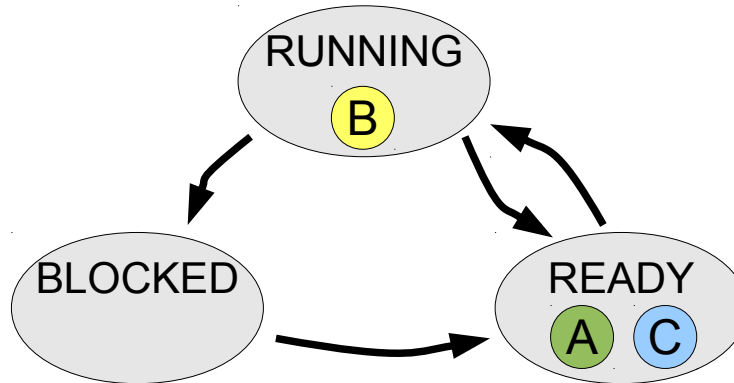


C hat die CPU zu lange „besessen“, wurde „**verdrängt**“ und ist daher nun wieder im Zustand READY. Damit kann jetzt endlich auch B bearbeitet werden und wird RUNNING.

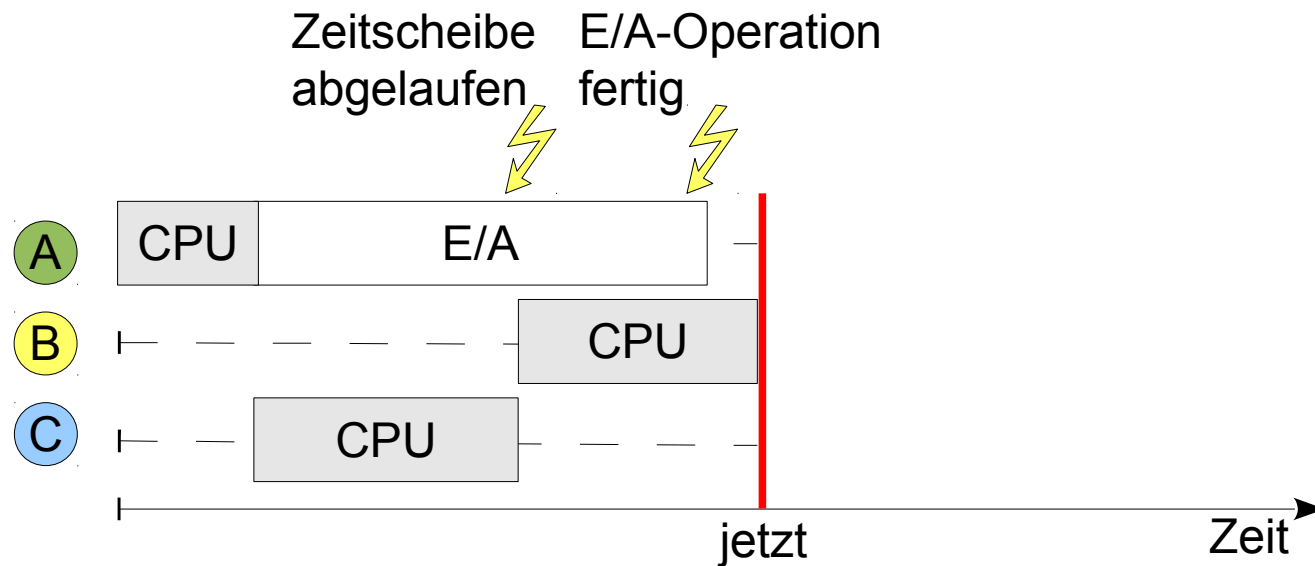




Prozessverhalten und -zustände (3)

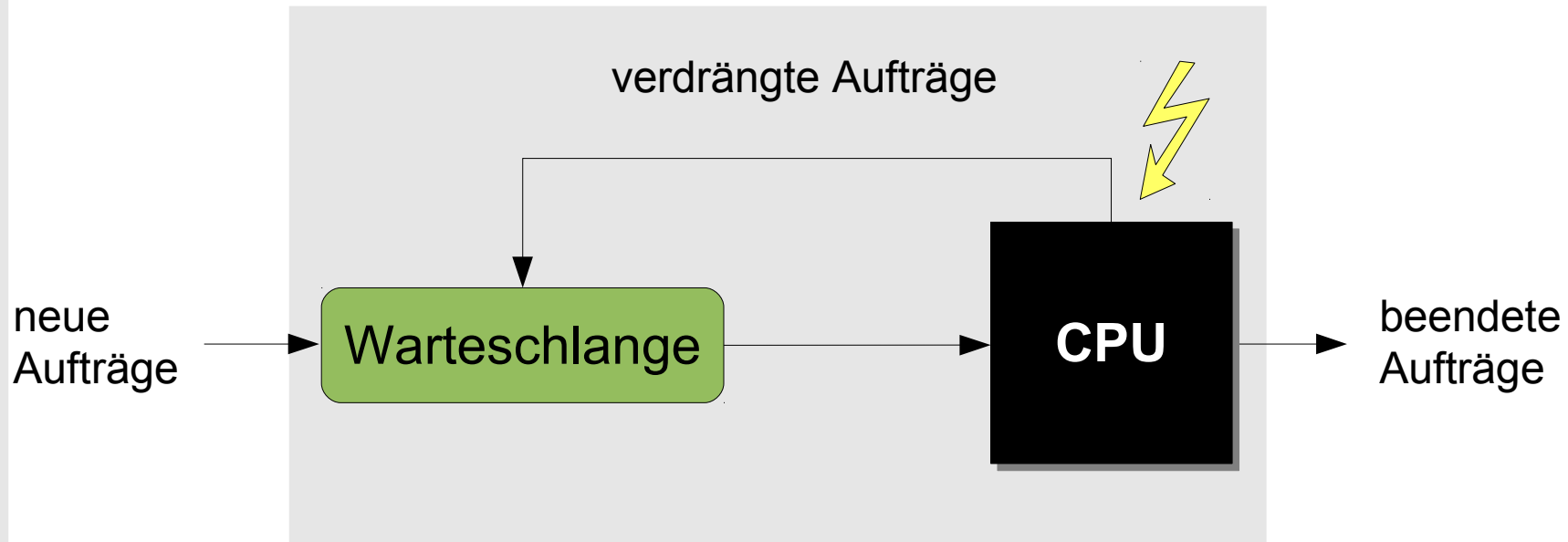


Die E/A-Operation von A ist nun abgeschlossen. Daraufhin wird A nun READY und wartet auf die Zuteilung der CPU.





CPU-Zuteilung (*Scheduling*)



Ein einzelner **Scheduling-Algorithmus** charakterisiert sich durch die Reihenfolge von Prozessen in der Warteschlange und die Bedingungen, unter denen die Prozesse der Warteschlange zugeführt werden.



CPU-Zuteilung (*Scheduling*)

(auch "Ablaufplanung")

- Sorgt für den geordneten Ablauf konkurrierender Prozesse
- Grundsätzliche Fragestellungen
 - Welche Arten von Ereignissen führen zur Verdrängung?
 - In welcher Reihenfolge sollen Prozesse ablaufen?
- Ziele eines *Scheduling*-Algorithmus
 - benutzerorientiert, z.B. kurze Antwortzeiten
 - systemorientiert, z.B. optimale CPU-Auslastung
- Kein *Scheduling*-Algorithmus kann alle Bedürfnisse erfüllen.



Prozesssynchronisation

- Beispiel: unkoordinierter Druckerzugriff

Prozess A

```
...  
print("Hallo Otto\n");  
print("Ruf mich an.\n");  
print("Tel.: 420815\n");  
...
```

Prozess B

```
...  
print("Karl-");  
print("Ich mag dich.\n");  
...
```



Hallo **Karl-Otto**
Ruf mich an.
Ich mag dich.
Tel.: 420815



Prozesssynchronisation

- Ursache: **kritische Abschnitte**
- Lösungsmöglichkeit: **Gegenseitiger Ausschluss**
 - *Mutex*-Abstraktion

Prozess A

```
...  
lock(&printer_mutex);  
print("Hallo Otto\n");  
print("Ruf mich an.\n");  
print("Tel.: 420815\n");  
unlock(&printer_mutex);  
...
```

Prozess B

```
...  
lock(&printer_mutex);  
print("Karl-");  
print("Ich mag dich.\n");  
unlock(&printer_mutex);  
...
```

Wenn sich einer der Prozesse A oder B zwischen **lock** und **unlock** befindet, kann der jeweils andere das **lock** nicht passieren und blockiert dort, bis der kritische Abschnitt wieder frei ist (**unlock**).



Verklemmungen (*Deadlocks*)





Interprozesskommunikation

- ... ermöglicht die Zusammenarbeit mehrerer Prozesse
 - lokal (*local*), z.B. Drucker-Dämon, X-Server
 - entfernt (*remote*), z.B. Webserver, Datenbank-Server, ftp-Server
 - „Client/Server-Systeme“
- Abstraktionen/Programmiermodelle
 - Gemeinsamer Speicher
 - mehrere Prozesse dürfen gleichzeitig denselben Speicherbereich nutzen
 - zusätzlich Synchronisation notwendig
 - Nachrichtenaustausch
 - Semantik eines Faxes (verschickt wird die Kopie einer Nachricht)
 - synchron oder asynchron



- Was ist ein Betriebssystem?
- Ein Blick in die Geschichte
 - Serielle Verarbeitung und Stapelbetrieb
 - Mehrprogramm- und Dialogbetrieb
- **Systemabstraktionen im Überblick**
 - Prozesse
 - CPU-Zuteilung
 - Synchronisation und Verklemmungen
 - Interprozesskommunikation
 - **Speicherverwaltung**
 - Arbeitsspeicher
 - Hintergrundspeicher



Die Speicherhierarchie

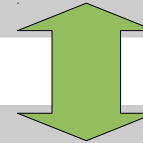
Speichereigenschaften

- steigende Zugriffszeiten
- steigende Kapazität
- sinkender Preis pro Bit

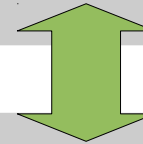
Sehr wirtschaftlich
durch das
Lokalitätsprinzip!



Register
Cache



Hauptspeicher
ROM/FLASH



Hintergrundspeicher
DVD, Blu-ray Disk
Magnetband



Speicherverwaltung

- **Adressabbildung**

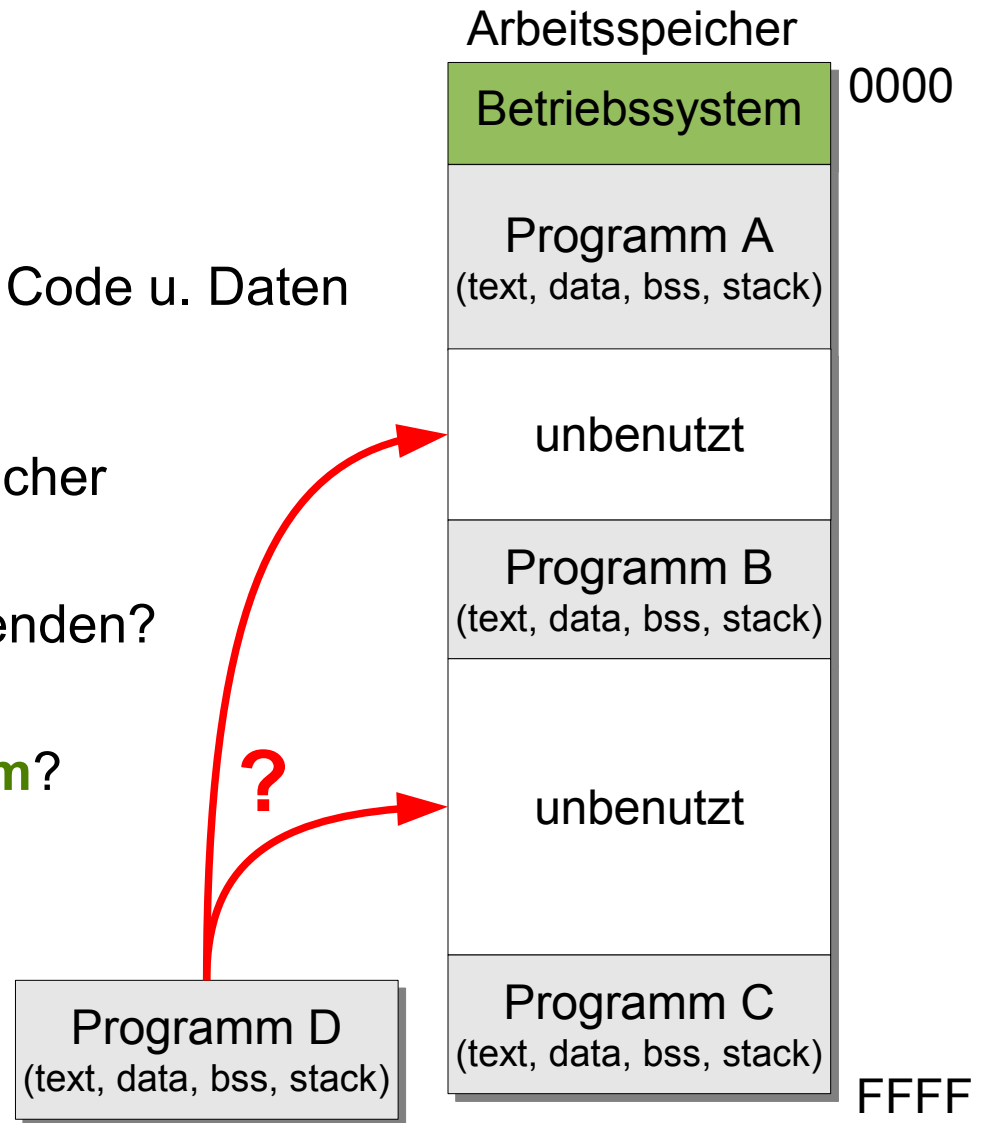
- **Logische Adressen** auf physikalische Adressen
- Gestattet **Relokation** von Code u. Daten

- **Platzierungsstrategie**

- In welcher Lücke soll Speicher reserviert werden?
- **Kompaktifizierung** verwenden?
- Wie minimiert man das **Fragmentierungsproblem**?

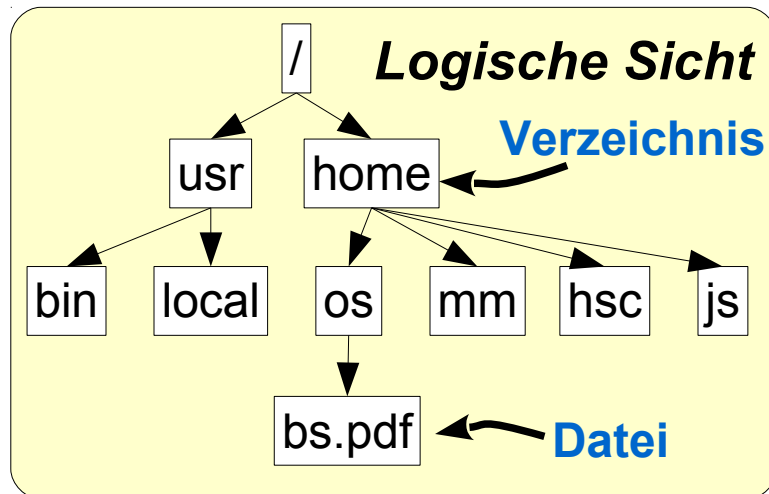
- **Ersetzungsstrategie**

- Welcher Speicherbereich könnte sinnvoll ausgelagert werden?



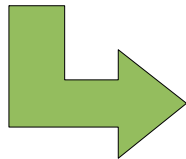


Hintergrundspeicher

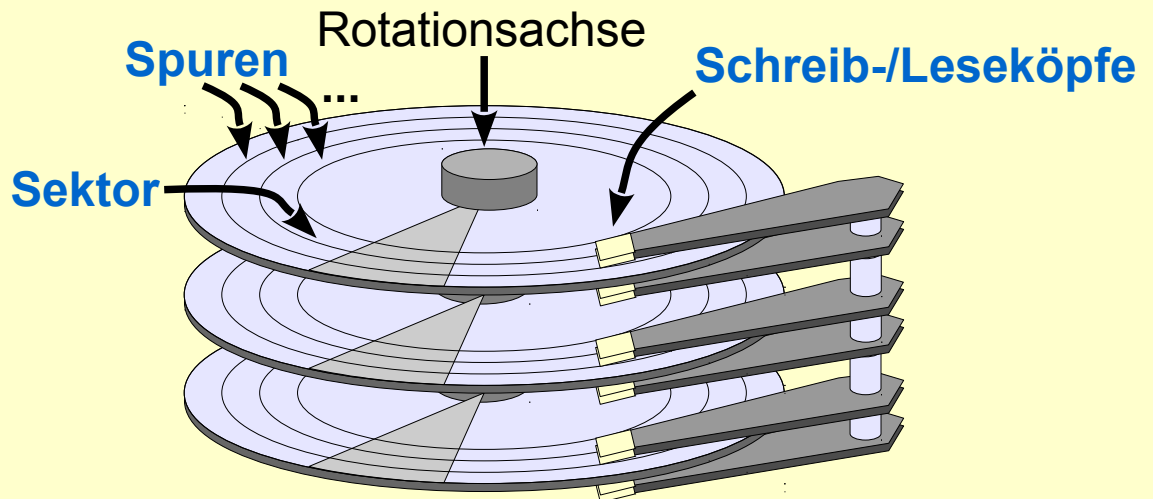


Dateisysteme erlauben die dauerhafte Speicherung großer Datenmengen.

Abbildung



Physikalische Sicht



Festplatte mit
6 Oberflächen

Das Betriebssystem stellt den Anwendungen die logische Sicht zur Verfügung und muss diese effizient realisieren.



Fazit: Das Betriebssystem ...

- verwaltet Betriebsmittel, insbesondere CPU und Speicher
- stellt Abstraktionen zur Verfügung, z.B. ...
 - Prozesskonzept
 - Dateien und Verzeichnisse
- ist für ein bestimmtes Anwendungsprofil optimiert
 - allen Anwendungen 100% gerecht zu werden ist unmöglich

Betriebssysteme, typische Anwendungen und Hardware haben sich Hand in Hand im Laufe der vergangenen Jahrzehnte entwickelt. Die heute üblichen Systemabstraktionen sind das Ergebnis einer Evolution, die noch lange andauern wird.