Systemprogrammierung

Grundlage von Betriebssystemen

Teil C – VIII. Zwischenbilanz

Wolfgang Schröder-Preikschat

15. Oktober 2015

Agenda

SP1
- Lehrziele
- C
- UNIX
- Einleitung
- Rechnerorganisation
- Betriebssystemkonzepte
- Betriebsarten

SP2
- Ausblick

Gliederung

Lernziele

- Vorgänge innerhalb von Rechensystemen **ganzheitlich** verstehen

$$\textbf{Zusammenspiel} \left\{ \begin{array}{rcl} \text{Hardware} & \leftrightarrow & \text{Software} \\ & \vdots & \\ \text{Anwendung} & \leftrightarrow & \text{Betriebssystem} \\ & \vdots & \\ \text{Treiber} & \leftrightarrow & \text{Gerät} \end{array} \right\} \textbf{begreifen}$$

- imperative Systemprogrammierung (in C) in Grundzügen kennenlernen
  - im Kleinen für **Dienstprogramme** praktizieren
  - im Großen durch **Betriebssysteme** erfahren
- Beziehungen zwischen funktionalen und nicht-funktionalen Systemmerkmalen erfassen

Quelle: `fotalia.com`

Kurzeinführung

Schlüsselwörter

```
auto     break    case     char     const    continue  default  do
double   else     enum     extern   float    for       goto     if
int      long     register return   short    signed    sizeof   static
struct   switch   typedef  union    unsigned void      volatile while
```

Operatoren, Selektoren, Klammerungen und andere „Satzzeichen“

```
!    "    %    &    '    (    )    *    +    ,    -    .    /
:    ;    <    =    >    ?    [    ]    ^    {    }    ~
```

- was macht dieses Programm?

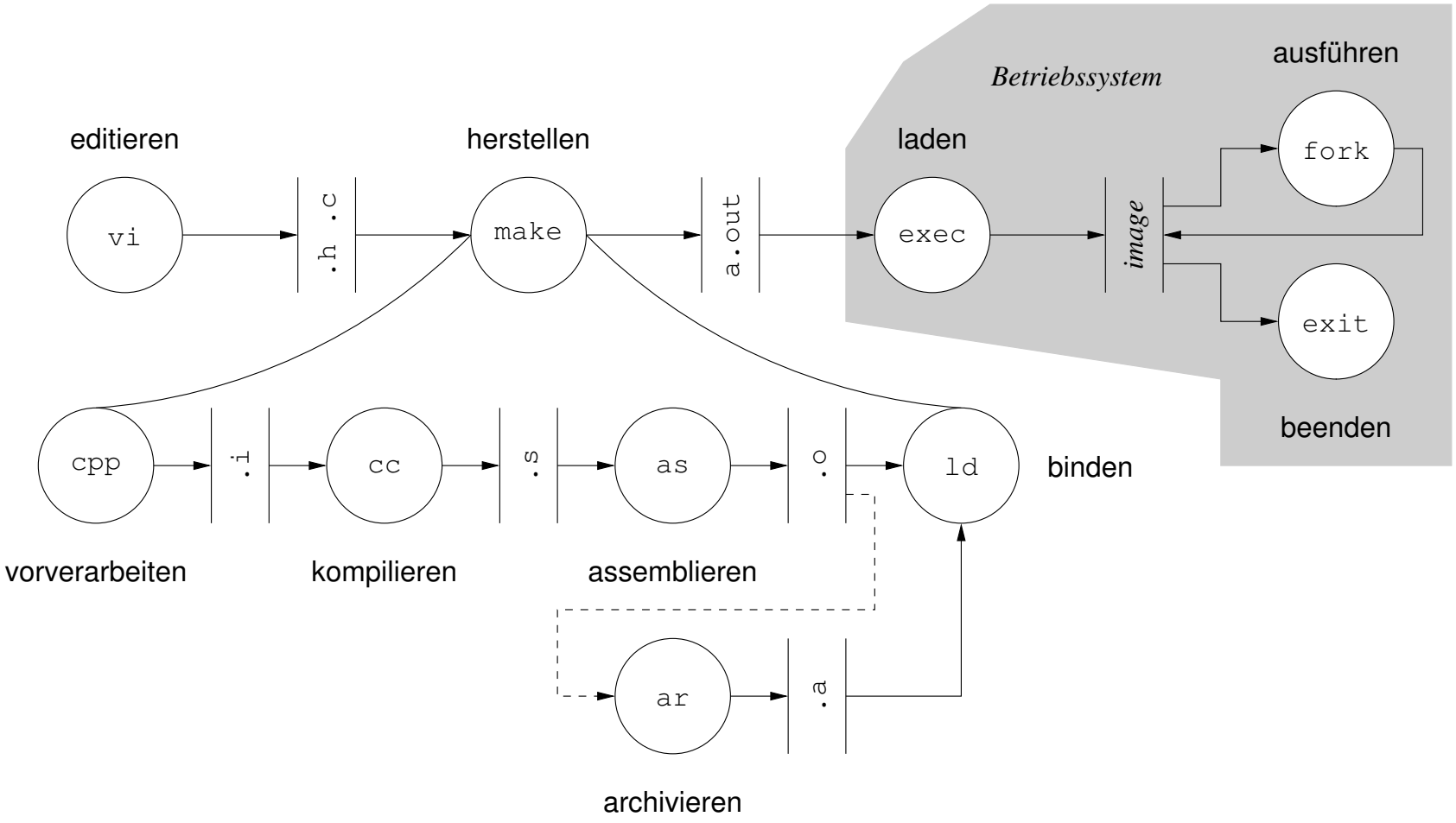
```
1  #include <unistd.h>
2
3  int main() {
4      printf("%d\n", getpid());
5  }
```

- was kann man daraus machen?
  - ***buffer overflow exploit***

- was geschieht nun?

```
6  #include <stdio.h>
7  #include <string.h>
8
9  int getpid() {
10     char buffer[20];
11     gets(buffer);
12     return strlen(buffer);
13 }
```

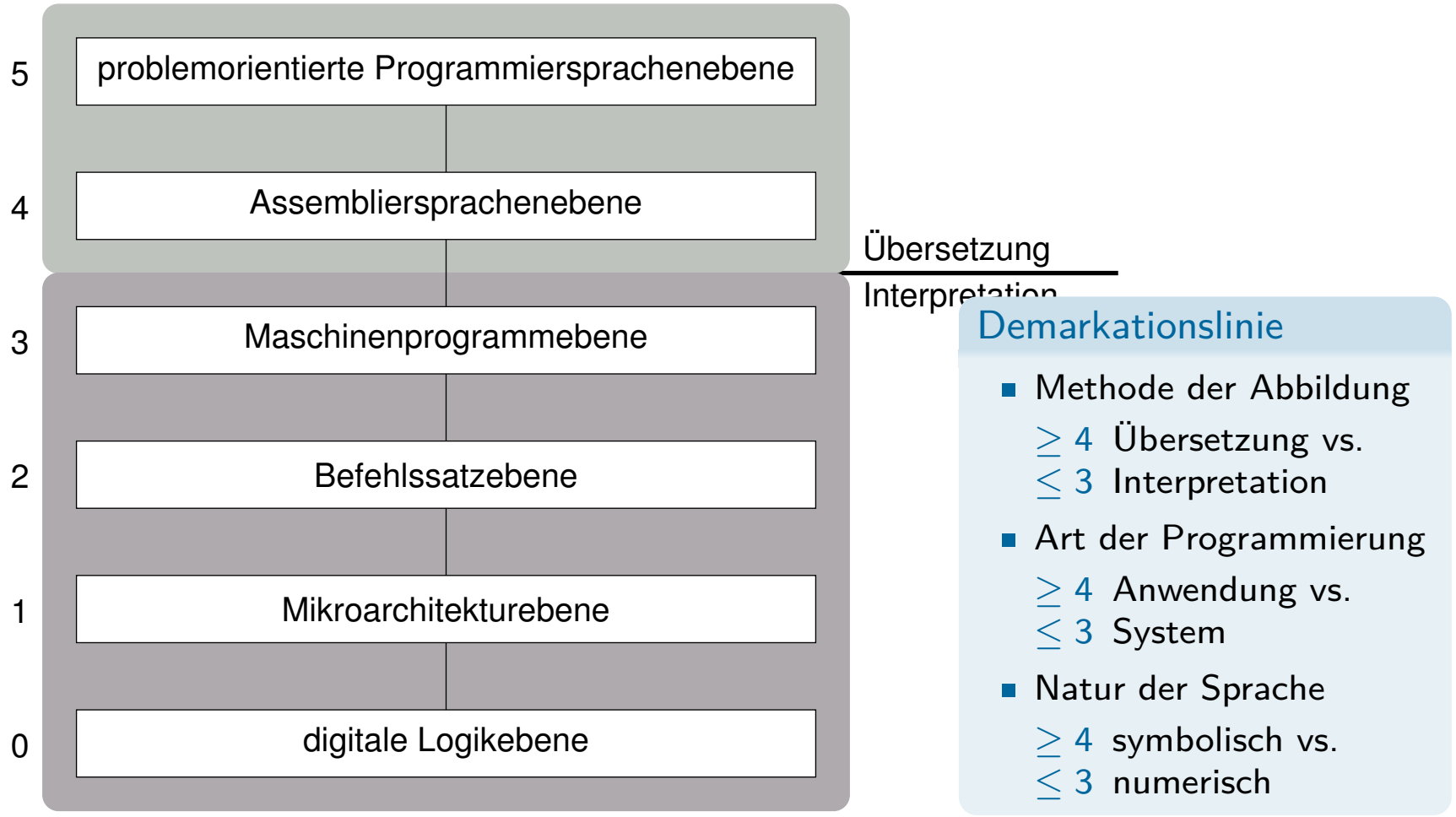
Quellprogramm $\mapsto$ Prozess



Handwerkszeug der Informatik

- funktionale und nichtfunktionale Eigenschaften von Betriebssystemen werden durch die **Anwendungsdomäne** vorgegeben
  - gelegentlich passen bestehende „unspezifische“ Lösungen (z.B. Linux)
  - viel häufiger sind jedoch **anwendungsspezifische Lösungen** erforderlich
- Allgemeinzwecksysteme
  - *die* Domäne von Groß-, Zentral-, Klein-, Arbeitsplatz- und Klapprechner
  - nur ein vergleichsweise kleiner Anteil an Installationen weltweit
- Spezialzwecksysteme
  - vor allem **eingebettete Systeme**
    - Mobiltelefon nicht mitgerechnet
  - **Echtzeitsysteme** eingeschlossen
    - für weiche, feste oder harte Termine
    - mit vorhersagbarem Laufzeitverhalten
- Rechensysteme zur Steuerung oder Regelung „externer“ Prozesse

Schichtenfolge in Rechensystemen I

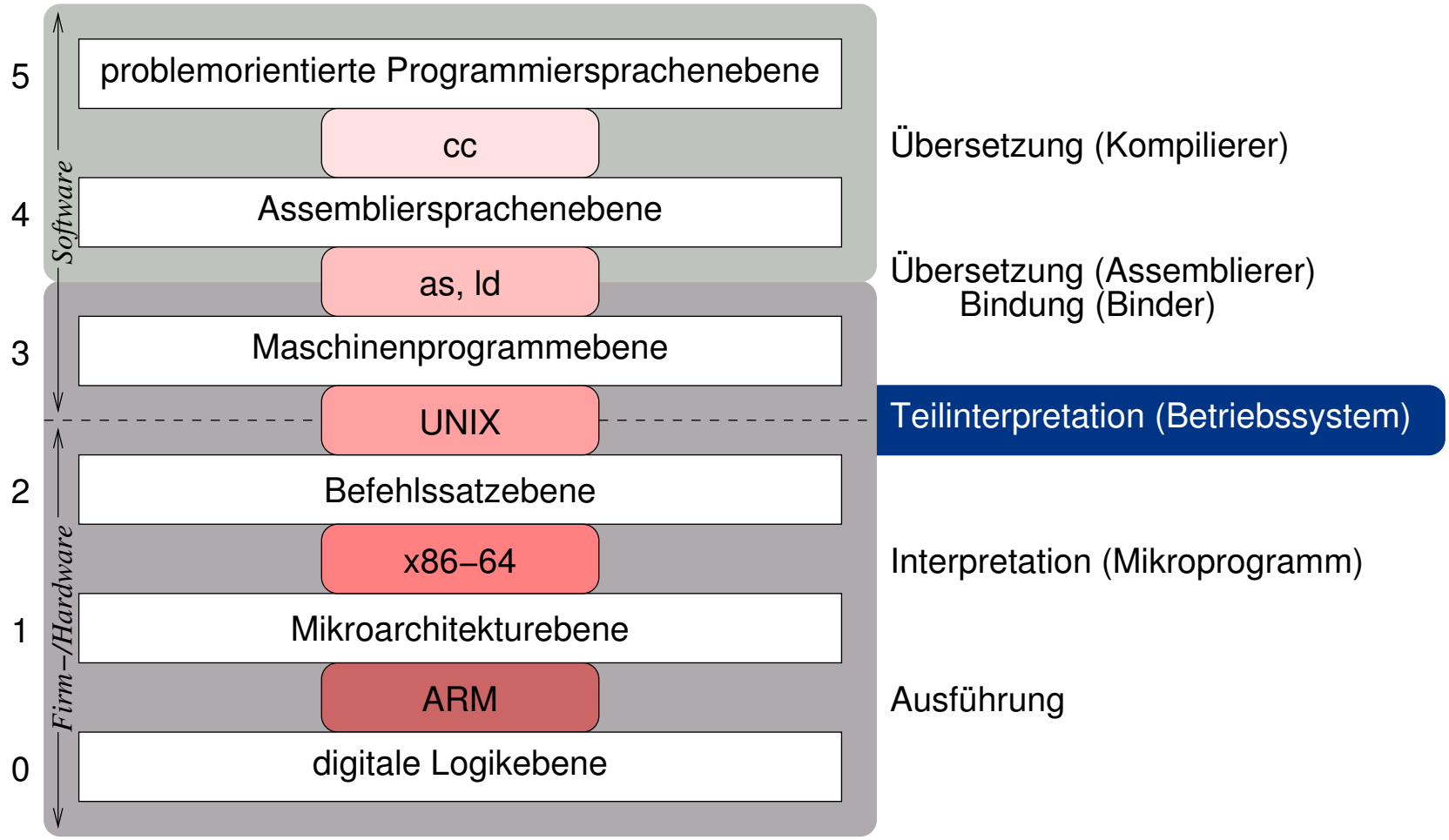


Demarkationslinie

- Methode der Abbildung
  - ≥ 4 Übersetzung vs.
  - ≤ 3 Interpretation
- Art der Programmierung
  - ≥ 4 Anwendung vs.
  - ≤ 3 System
- Natur der Sprache
  - ≥ 4 symbolisch vs.
  - ≤ 3 numerisch

- Schichten der Ebene$_{[4,5]}$ sind nicht wirklich existent
  - sie werden durch Übersetzung aufgelöst und auf tiefere Ebenen abgebildet
  - so dass am Ende nur ein Maschinenprogramm (Ebene$_3$) übrigbleibt

Schichtenfolge in Rechensystemen II



- RISC auf Ebene$_1$ und gegebenenfalls (hier) CISC auf Ebene$_2$
  - nach außen „*complex*“, innen aber „*reduced instruction set computer*“
  - Intel *Core* oder *Haswell* $\leftrightarrow$ AMD *Bulldozer* oder *Zen* (ARM)

Systemaufrufschnittstelle (*system call interface*)[1]

```
1  read:
2    push %ebx
3    movl 16(%esp),%edx
4    movl 12(%esp),%ecx
5    movl 8(%esp),%ebx
6    mov  $3,%eax
7    int  $0x80
8    pop  %ebx
9    cmp  $-4095,%eax
10   jae  __syscall_error
11   ret
```

- „Grenzübergangsstelle“ **Aufrufstumpf**
  - einerseits erscheint ein Systemaufruf als normaler Prozeduraufruf
  - andererseits bewirkt der Systemaufruf eine (synchrone) Programmunterbrechung
- sorgt für **Ortstransparenz** (funktional)
  - die Lokalität der aufgerufenen Funktion muss nicht bekannt sein

- Systemaufrufe sind **Prozedurfernaufrufe**, um **Prozessdomänen** in kontrollierter Weise zu überwinden
  - 3–5 tatsächliche Parameter (Argumente) in Registern übergeben
  - 6 Systemaufrufnummer (Operationskode) in Register übergeben
  - 7 Domänenwechsel (Ebene$_3$ $\mapsto$ Ebene$_2$) auslösen
  - Aufruf abfangen (*trap*) und dem Betriebssystem zustellen
  - 9–10 Status überprüfen und ggf. Fehlerbehandlung durchführen

[1] UNIX Programmers Manual (UPM), Lektion 2 — `man(2)`

Teilinterpretation

- Befehle der Maschinenprogrammbene, also Ebene_3-Befehle sind...
  - „normale“ Befehle der Ebene_2, die die CPU direkt ausführen kann
    - **unprivilegierte Befehle**, die in jedem Arbeitsmodus ausführbar sind
  - „unnormale“ Befehle der Ebene_2, die das Betriebssystem ausführt
    - **privilegierte Befehle**, die nur im privilegierten Arbeitsmodus ausführbar sind
- die „aus der Reihe fallenden“ Befehle stellen Adressräume, Prozesse, Speicher, Dateien und Wege zur Ein-Ausgabe bereit
  - Interpreter dieser Befehle ist das Betriebssystem
  - der dadurch definierte Prozessor ist die **Betriebssystemmaschine**
- demzufolge ist ein Betriebssystem immer nur ausnahmsweise aktiv:
  - es muss von außerhalb aktiviert werden
    - programmiert im Falle eines Systemaufrufs (`CD80`: Linux/x86) oder einer sonstigen synchronen Programmunterbrechung (*trap*)
    - nicht programmiert, also nicht vorhergesehen, im Falle einer asynchronen Programmunterbrechung (*interrupt*)
  - es deaktiviert sich immer selbst, in beiden Fällen programmiert (`CF`: x86)

Prozess

Betriebssysteme bringen Programme zur Ausführung, in dem dazu Prozesse erzeugt, bereitgestellt und begleitet werden

- im Informatikkontext ist ein Prozess ohne Programm nicht möglich
  - die als Programm kodierte Berechnungsvorschrift definiert den Prozess
  - das Programm legt damit den Prozess fest, gibt ihn vor
  - gegebenenfalls bewirkt, steuert, terminiert es gar andere Prozesse[2]
- ein Programm beschreibt (auch) die Art des Ablaufs eines Prozesses

  sequentiell
  - eine Folge von zeitlich nicht überlappenden Aktionen
  - verläuft deterministisch, das Ergebnis ist determiniert

  parallel
  - nicht sequentiell
- in beiden Arten besteht ein Programmablauf aus **Aktionen**

Beachte: Programmablauf und Abstraktionsebene

Ein und derselbe Programmablauf kann auf einer Abstraktionsebene sequentiell, auf einer anderen parallel sein.

[2] Wenn das Betriebssystem die dazu nötigen Befehle anbietet.

Speicherverwaltung I

- zentrale Aufgabe ist es, über die **Speicherzuteilung** an einen Prozess Buch zu führen und seine Adressraumgröße dazu passend auszulegen

  Platzierungsstrategie (*placement policy*)
  - wo im Hauptspeicher ist noch Platz?
- zusätzliche Aufgabe kann die **Speichervirtualisierung** sein, um trotz knappem Hauptspeicher Mehrprogrammbetrieb zu maximieren

  Ladestrategie (*fetch policy*)
  - wann muss ein Datum im Hauptspeicher liegen?

  Ersetzungsstrategie (*replacement policy*)
  - welches Datum im Hauptspeicher ist ersetzbar?
- die zur Durchführung dieser Aufgaben typischerweise zu verfolgenden Strategien profitieren voneinander — oder bedingen einander
  - ein Datum kann ggf. erst platziert werden, wenn Platz freigemacht wurde
  - etwa indem das Datum den Inhalt eines belegten Speicherplatzes ersetzt
  - ggf. aber ist das so ersetzte Datum später erneut zu laden
  - bevor ein Datum geladen werden kann, ist Platz dafür bereitzustellen

Speicherverwaltung II

- normalerweise sind die **Verantwortlichkeiten** auf mehrere Ebenen innerhalb eines Rechensystems verteilt
  - Speicherzuteilung
    - Maschinenprogramm und Betriebssystem
    - Haldenspeicher, Hauptspeicher
  - Speichervirtualisierung
    - ist allein Aufgabe des Betriebssystems
    - Haupt-/Arbeitsspeicher, Ablagespeicher
- das Maschinenprogramm verwaltet den seinem Prozess (-adressraum) jeweils zugeteilten Speicher **lokal** eigenständig
  - nämlich den Haldenspeicher $\rightsquigarrow$ `malloc`/`free`
  - stellt dabei **sprachenorientierte Kriterien** in den Vordergrund
- das Betriebssystem verwaltet den gesamten Haupt-/Arbeitsspeicher **global** für alle Prozesse bzw. Prozessadressräume
  - stellt dabei **systemorientierte Kriterien** in den Vordergrund
  - hilft, einen Haldenspeicher zu verwalten $\rightsquigarrow$ z.B. `sbrk`/`mmap`
- Maschinenprogramm und Betriebssystem gehen somit eine **Symbiose** ein, sie nehmen eine **Arbeitsteilung** vor
  - genauer gesagt: das Laufzeitsystem (`libc`) im Maschinenprogramm

Prozessadressraum

- **Seitennummerierung** (*paging*)
  - jede Adresse wird interpretiert als Tupel $A_p = (p, o)$, wobei

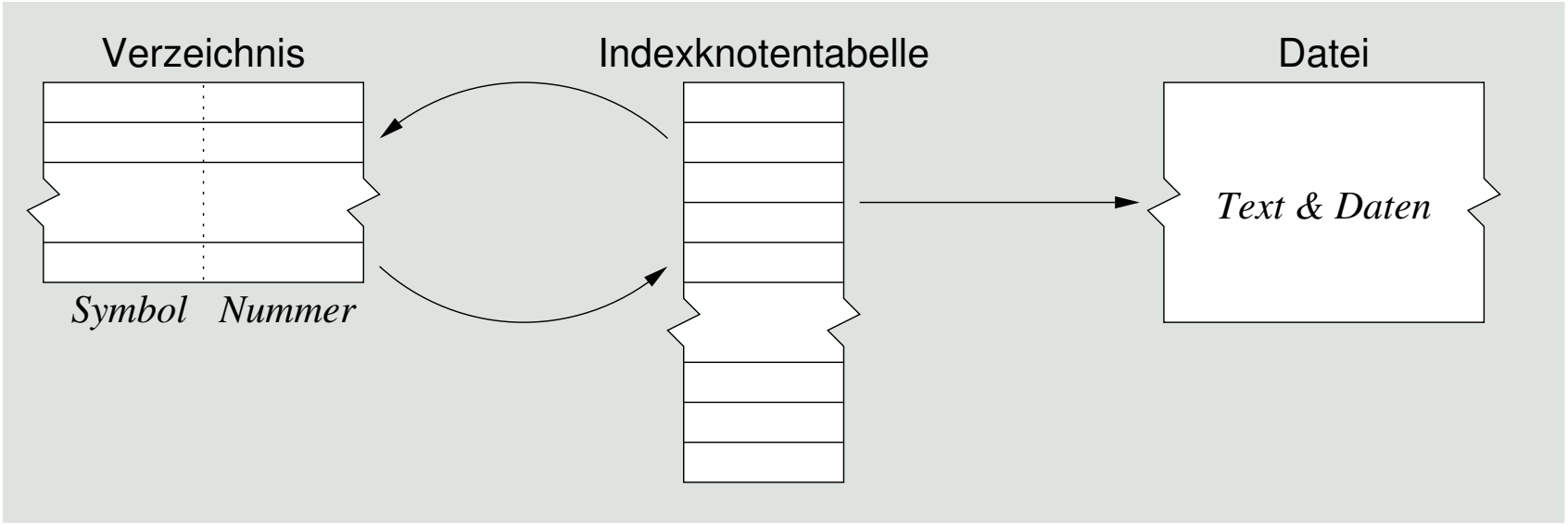
    Oktettnummer $o = [0, 2^i - 1]$, mit $9 \leq i \leq 30$

    Seitennummer $p = [0, 2^{n-i} - 1]$, mit $32 \leq n \leq 64$
  - übliche Einkomponentenadresse $\rightsquigarrow$ **eindimensionaler Adressraum**
    - d.h., Oktetts oder Worte in einer Dimension aufgereiht
- **Segmentierung** (*segmentation*)
  - jede Adresse ist repräsentiert als Paar $A_s = (s, a)$, wobei

    Segmentname $s = [0, 2^m - 1]$, mit $12 \leq m \leq 18$

    Adresse $a = [0, 2^n - 1]$, mit $32 \leq n \leq 64$
  - Zweikomponentenadresse $\rightsquigarrow$ **zweidimensionaler Adressraum**
    - d.h., Segmente in der ersten und Segmentinhalte in der zweiten Dimension
- **seitennummerierte Segmentiertung** (*paged segmentation*)
  - jedes Segment ist seitennummeriert ausgelegt, d.h., a in A_s entspricht A_p

Organisation des Ablagespeichers[3]



- die **Indexknotentabelle** (*inode table*) ist ein statisches Feld (*array*) von Indexknoten und die zentrale Datenstruktur
  - ein Indexknoten ist **Deskriptor** insb. eines Verzeichnisses oder einer Datei
- das **Verzeichnis** (*directory*) ist eine **Abbildungstabelle**, es übersetzt symbolisch repräsentierte Namen in Indexknotennummern
  - eine von der Namensverwaltung des Betriebssystems definierte Datei
- die **Datei** (*file*) ist eine abgeschlossene Einheit zusammenhängender Daten beliebiger Repräsentation, Struktur und Bedeutung

[3] Als Einheit auf demselben Medium (z.B. Ablagespeicher) abgelegt.

Stapelbetrieb

- abgesetzter Betrieb: Satellitenrechner, Hauptrechner
  - Entlastung durch Spezialrechner
- überlappte Ein-/Ausgabe: DMA, *Interrupts*
  - nebenläufige Programmausführung
- überlappte Auftragsverarbeitung: Einplanung, Vorgriff
  - Verarbeitungsstrom von Aufträgen
- abgesetzte Ein-/Ausgabe: *Spooling*
  - Entkopplung durch Pufferbereiche
- Mehrprogrammbetrieb: *Multiprogramming*
  - Multiplexen der CPU
- dynamisches Laden: Überlagerung (*overlay*)
  - programmiertes Nachladen von Programmbestandteilen

Mehrzugangsbetrieb

- Dialogbetrieb: Dialogstationen
  - mehrere Benutzer gleichzeitig bedienen können
- Hintergrundbetrieb: Mischbetrieb
  - Programme im Vordergrund starten
- Teilnehmerbetrieb: Zeitscheibe, *Timesharing*
  - eigene Dialogprozesse absetzen können
- Teilhaberbetrieb: residente Dialogprozesse
  - sich gemeinsame Dialogprozesse teilen können
- Multiprozessorbetrieb: Parallelrechner, SMP
  - Parallelverarbeitung von Programmen
- Speicheraustausch: *Swapping*, *Paging*
  - von ganzen Prozessadressräumen oder einzelnen Bestandteilen

- externe (physikalische) Prozesse definieren, was genau bei einer nicht termingerecht geleisteten Berechnung zu geschehen hat:

  weich (*soft*) auch „schwach“
  - das Ergebnis ist weiterhin von Nutzen, verliert jedoch mit jedem weiteren Zeitverzug des internen Prozesses zunehmend an Wert
  - die Terminverletzung ist tolerierbar

  fest (*firm*) auch „stark“
  - das Ergebnis ist wertlos, wird verworfen, der interne Prozess wird abgebrochen und erneut bereitgestellt
  - die Terminverletzung ist tolerierbar

  hart (*hard*) auch „strikt“
  - Verspätung der Ergebnislieferung kann zur „Katastrophe“ führen, dem internen Prozess wird eine **Ausnahmesituation** zugestellt
  - Terminverletzung ist keinesfalls tolerierbar — aber möglich...

- ggf. zusätzlich geforderte Randbedingung ist die Termineinhaltung unter allen Last- und Fehlerbedingungen

Gliederung

Vertiefung

- Prozessverwaltung
  - Einplanung (klassisch, Fallstudien)
  - Koroutinen, Programmfäden, Einlastung
- Synchronisation
  - ein-/mehrseitig, blockierend/nicht-blockierend
  - Verklemmungen (Gegenmaßnahmen, Auflösung)
- Speicherverwaltung
  - Adressräume, MMU (Pentium)
  - Disziplinen, virtueller Speicher, Arbeitsmenge
- Dateiverwaltung
  - Organisation des Hintergrundspeichers
  - Datenverfügbarkeit (RAID)