

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



SP1

Lehrziele
C
UNIX
Einleitung
Rechnerorganisation
Betriebssystemkonzepte
Betriebsarten

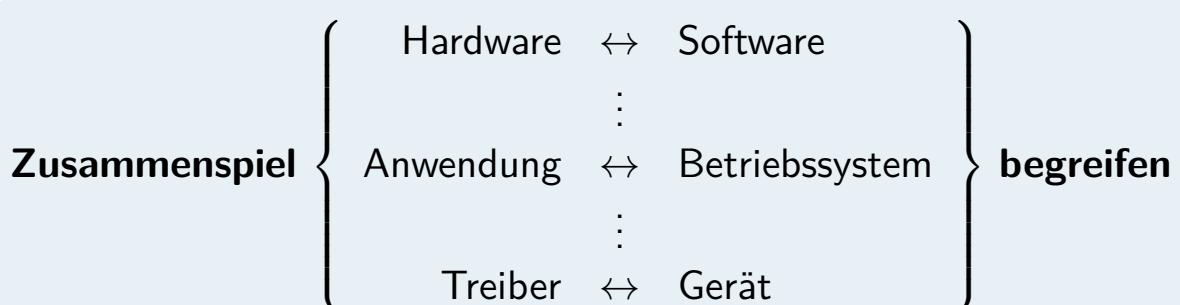
SP2

Ausblick



Lernziele

- Vorgänge innerhalb von Rechensystemen **ganzheitlich** verstehen



- 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?

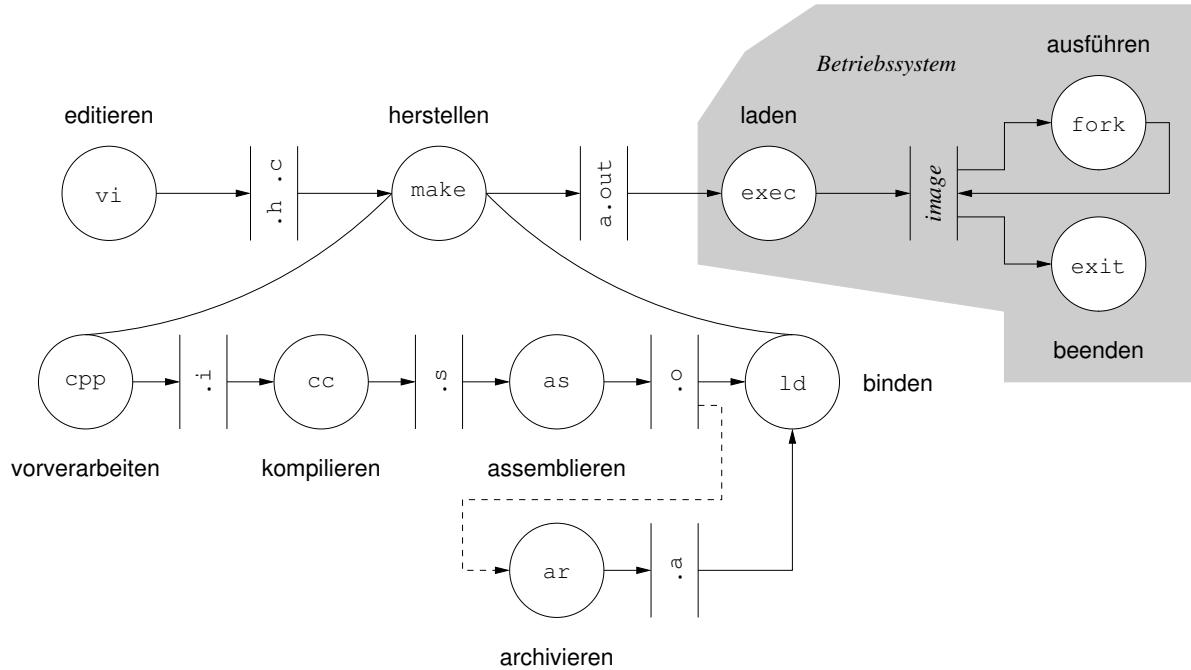
- **buffer overflow exploit**

- 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 }
```



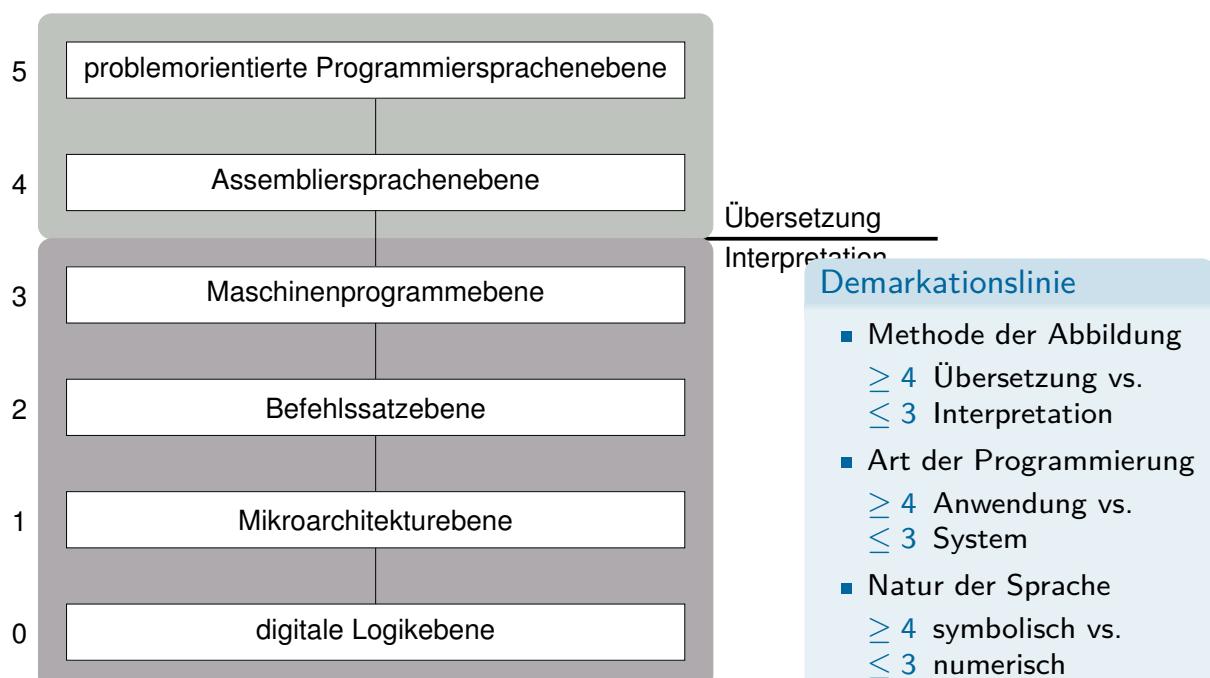
Quellprogramm → Prozess



- 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



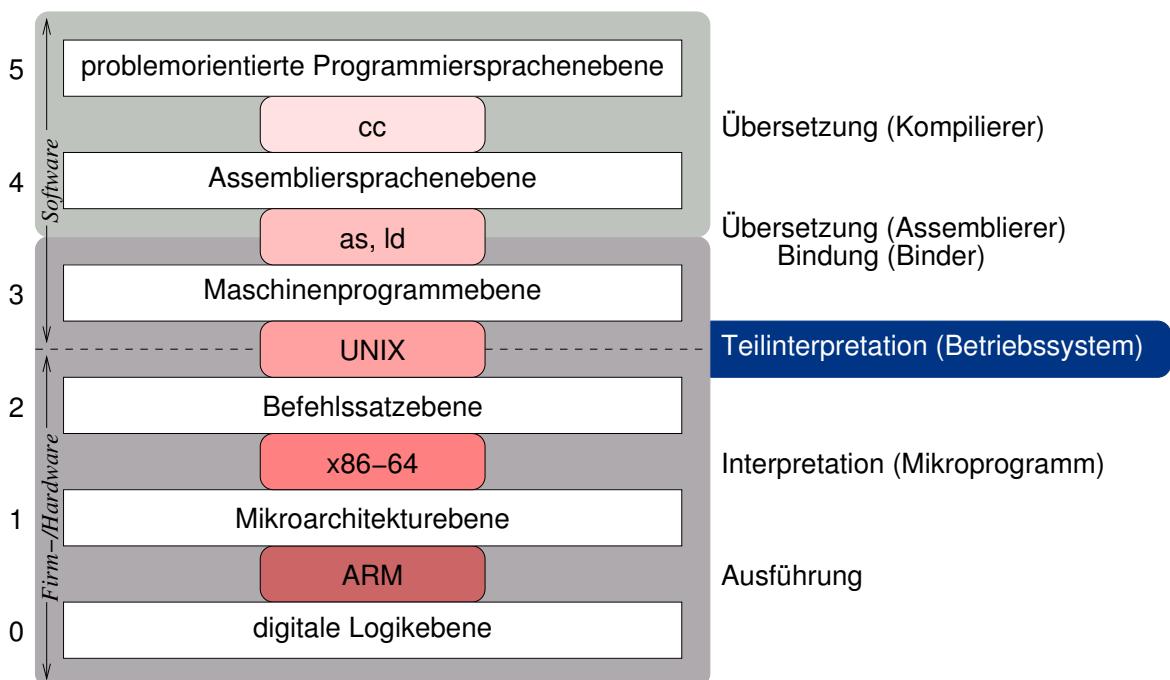
Schichtenfolge in Rechensystemen I



- 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 (Ebene₃) übrigbleibt



Schichtenfolge in Rechensystemen II



- RISC auf Ebene₁ und gegebenenfalls (hier) CISC auf Ebene₂
 - nach außen „complex“, innen aber „reduced instruction set computer“
 - Intel Core oder Haswell ↔ AMD Bulldozer oder Zen (ARM)



Systemaufrufsschnittstelle (*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 **Prozedurauftrag**
 - 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 (Ebene₃ → Ebene₂) auslösen
 - Aufruf abfangen (*trap*) und dem Betriebssystem zustellen
 - 9–10 ■ Status überprüfen und ggf. Fehlerbehandlung durchführen

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



Teilinterpretation

- Befehle der Maschinenprogrammbene, also Ebene₃-Befehle sind...
 - „normale“ Befehle der Ebene₂, die die CPU direkt ausführen kann
 - **unprivilegierte Befehle**, die in jedem Arbeitsmodus ausführbar sind
 - „unnormale“ Befehle der Ebene₂, 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

Programmablauf, Programm in Ausführung

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 Prozesse²
- 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.

²Wenn das Betriebssystem die dazu nötigen Befehle anbietet.



- 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 \sim `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 \sim z.B. `sbrk/mmap`
- Maschinenprogramm und Betriebssystem gehen somit eine **Symbiose** ein, sie nehmen eine **Arbeitsteilung** vor
 - genauer gesagt: das Laufzeitsystem (`libc`) im Maschinenprogramm

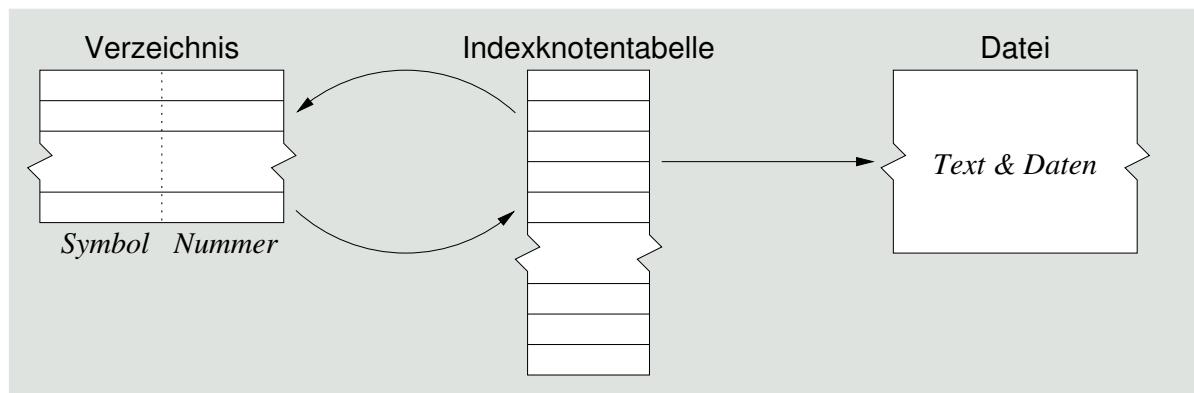


- **Seitennummerierung (paging)**
 - jede Adresse wird interpretiert als Tupel $A_p = (p, o)$, wobei
 - Oktettnummer** $o = [0, 2^i - 1]$, mit $9 \leq i \leq 30$
 - Seitennummer** $p = [0, 2^{n-i} - 1]$, mit $32 \leq n \leq 64$
 - übliche Einkomponentenadresse \leadsto **eindimensionaler Adressraum**
 - 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 \leadsto **zweidimensionaler Adressraum**
 - d.h., Segmente in der ersten und Segmentinhalte in der zweiten Dimension
- **seitennummelierte Segmentierung (paged segmentation)**
 - jedes Segment ist seitenummeriert ausgelegt, d.h., a in A_s entspricht A_p



Organisation des Ablagespeichers³

Dateisystem (*file system*)



- 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

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



- **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



- **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

SP1

Lehrziele
C
UNIX
Einleitung
Rechnerorganisation
Betriebssystemkonzepte
Betriebsarten

SP2

Ausblick



- **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)

