

# Systemprogrammierung

## Einleitung

Wolfgang Schröder-Preikschat

Lehrstuhl Informatik 4

Ergänzende Materialien

## Gliederung

### 1 Vorwort

### 2 Fallstudie

- Speicherverwaltung
- Analyse
- Zwischenzusammenfassung

### 3 Begriffsdeutung

- Literaturauszüge

### 4 Zusammenfassung

# Systemprogrammierung $\rightsquigarrow$ Betriebssysteme

## Infrastruktursoftware für Rechensysteme

- was Betriebssysteme sind, kann „Glaubenskriege“ hervorrufen
  - das Spektrum reicht von „Winzlingen“ bis hin zu „Riesen“
  - simple Prozeduren  $\Leftrightarrow$  komplexe Programmsysteme
- entscheidend ist, dass Betriebssysteme nie dem Selbstzweck dienen



## Sein oder Nichtsein...

Shakespeare zur Unabänderlichkeit oder Beeinflussbarkeit des Schicksals

## Betriebssysteme sind unerlässliches **Handwerkszeug** der Informatik

- mit dem umzugehen ist zur Benutzung eines Rechensystems
- das gelegentlich zu beherrschen, anzupassen und auch anzufertigen ist



- IBM: z/VM (vormals VM/CMS), z/OS



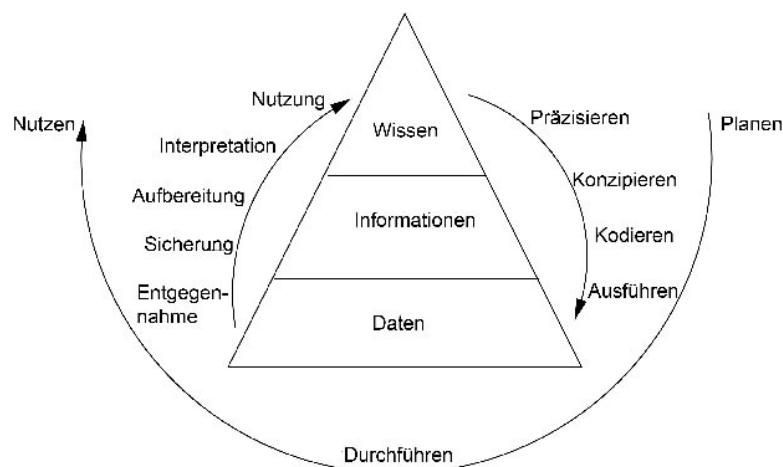
- DEC: VAX/VMS



- 3, 95, 98, Me, NT, 2000, XP, CE, Mobile, Vista, 7

# Teil der Wissenspyramide „Informatik“

Phantasie ist wichtiger als Wissen, denn Wissen ist begrenzt (Einstein)



Die *Funktionsweise eines Betriebssystems zu verstehen hilft, Phänomene eines Rechensystems zu begreifen und besser einzuschätzen.*

- Eigenschaften (*features*) von Fehlern (*bugs*) unterscheiden
  - um Fehler kann ggf. „herum programmiert“ werden
  - um zum Anwendungsfall unpassende Eigenschaften oft jedoch nicht
- **Systemverhalten** kann sich positiv/negativ „nach oben“ auswirken

## Gliederung

### 1 Vorwort

### 2 Fallstudie

- Speicherverwaltung
- Analyse
- Zwischenzusammenfassung

### 3 Begriffsdeutung

- Literaturauszüge

### 4 Zusammenfassung

# Vorbelegung einer Matrix

## Fall A: $j$ wächst schneller als $i$

```
void by_row (int *mx, unsigned int n, int v) {
    unsigned int i, j;
    for (i = 0; i < n; i++)
        for (j = 0; j < n; j++)
            mx[i * n + j] = v;
}
```

`mx` Zeiger auf ein Feld  $m[n][n]$  von  $n \times n$  Elementen ( $n$  Reihen,  $n$  Spalten)

`mx[i * n + j]` Selektion des  $j$ -ten Spaltenelements der  $i$ -ten Reihe; entspricht  $m[i][j]$  — sollte C eine solche Operation erlauben

## Fall B: $i$ wächst schneller als $j$

```
void by_column (int *mx, unsigned int n, int v) {
    unsigned int i, j;
    for (j = 0; j < n; j++)
        for (i = 0; i < n; i++)
            mx[i * n + j] = v;
}
```

Wirkt sich der Unterschied auf das Laufzeitverhalten aus?

# Instanzenbildung und Initialisierung der Matrix

```
#include <stdlib.h>

extern void by_row (int*, unsigned int, int);
extern void by_column (int*, unsigned int, int);

main (int argc, char *argv[])
{
    if (argc == 3) {
        unsigned int n;
        if ((n = atol(argv[2]))) {
            int *mx;
            if ((mx = (int*)calloc(n*n, sizeof(int)))) {
                if (*argv[1] == 'R') by_row(mx, n, 42);
                else by_column(mx, n, 42);
                free(mx);
            }
        }
    }
}
```

In Abhängigkeit von der Initialisierungsvariante (`argv[1]`) wird das dynamisch angelegte zweidimensionale Feld (`mx`) in verschiedener Weise mit demselben Wert (42) vorbelegt. Die Ausdehnung des Felds ist ein weiterer Programmparameter (`argv[2]`).

## Laufzeitverhalten

$N \times N$  Matrix, mit  $N = 11\,174 \approx 500$  MB Speicherplatzbedarf

Betriebssystem	Zentraleinheit	Speicher	by_row()	by_column()	
Solaris	2 × 1 GHz	8 GB	3.64r	27.07r	(a)
	UltraSPARC IIIi		2.09u	24.68u	
			1.11s	1.10s	
Windows XP (Cygwin)	2 × 3 GHz	4 GB	0.87r	11.94r	(b)
	Pentium 4 XEON		0.65u	11.62u	
			0.21s	0.21s	
Linux 2.6.20	2 × 3 GHz	4 GB	0.89r	14.73r	(c)
	Pentium 4 XEON		0.48u	14.34u	
			0.40s	0.39s	
	2 × 2.8 GHz	512 MB	51.23r	39.84r	(d)
	Pentium 4		0.47u	14.34u	
			2.17s	2.09s	
Mac OS X 10.4	1.25 GHz	512 MB	10.24r	106.72r	(e)
	PowerPC G4		0.69u	23.15u	
			2.12s	17.08s	
	1.5 GHz	512 MB	10.11r	93.68r	(f)
	PowerPC G4		0.46u	23.71u	
			2.08s	6.85s	
		1.25 GB	2.17r	27.95r	(g)
			0.43u	22.35u	
			1.50s	4.22s	

## Wo uns der Schuh drückt...

### (a)–(g) Linearisierung

- zweidimensionales Feld  $\mapsto$  eindimensionaler Arbeitsspeicher

### (a)–(g) Zwischenspeicher (engl. *cache*)

- Zugriffsfehler (engl. *cache miss*), Referenzfolgen

### (d) Kompilierer

- semantische Analyse, Erkennung gleicher Zugriffsmuster

### (d)–(f) virtueller Speicher

- Seitenfehler (engl. *page fault*), Referenzfolgen

### (e)–(g) Betriebssystemarchitektur

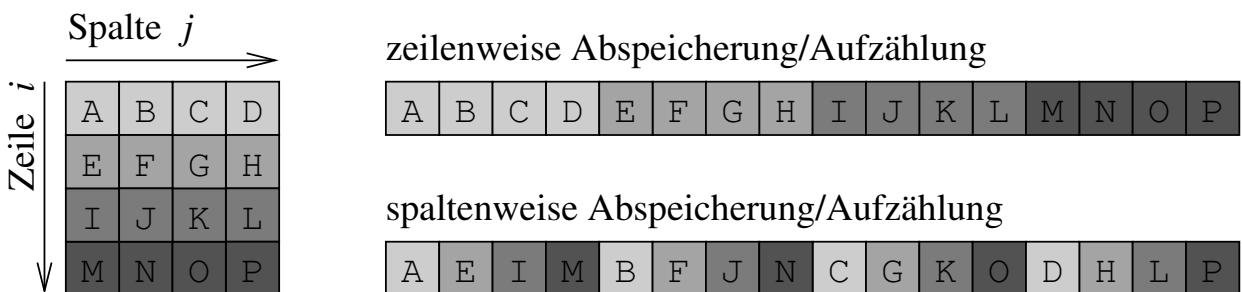
- Verortung der Funktion zur Seitenfehlerbehandlung

Sir Isaac Newton

Was wir wissen, ist ein Tropfen, was wir nicht wissen, ist ein Ozean.

# Linearisierung

Abspeicherung mehrdimensionaler Felder und Aufzählung der Feldelemente



- im Abstrakten könnte uns diese **Abbildung** egal sein
- im Konkreten jedoch nicht

Abspeicherung		Aufzählung	
		zeilenweise	spaltenweise
zeilenweise	😊	spaltenweise	😢
spaltenweise	😢		😊

## Fälle (a)–(g)

- Abspeicherung zeilenweise (C bzw. `main()`)
- Aufzählung zeilen- (`by_row()`) und spaltenweise (`by_column()`)

# Linearisierung (Forts.)

Referenzfolgen auf den Arbeitsspeicher

Entwicklung der Adresswerte  $A$  beim Zugriff auf die Elemente einer zeilenweise abgespeicherten Matrix mit Anfangsadresse  $\gamma$ :

$i \setminus j$	0	1	2	...	$N - 1$
0	0	1	2	...	$N - 1$
1	$N + 0$	$N + 1$	$N + 2$	...	$N + N - 1$
2	$2N + 0$	$2N + 1$	$2N + 2$	...	$2N + N - 1$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$N - 1$	$(N - 1)N + 0$	$(N - 1)N + 1$	$(N - 1)N + 2$	...	$(N - 1)N + N - 1$

- $A = \gamma + (i * N + j) * \text{sizeof}(\text{int})$ , für  $i, j = 0, 1, 2, \dots, N - 1$

## Fälle (a)–(g)

- linear im homogenen Fall (`by_row()`) → **starke Lokalität**
  - Abspeicherung und Aufzählung sind gleichförmig
- sprunghaft, sonst (`by_column()`) → **schwache Lokalität**

## Zwischenspeicher

Abpufferung langsamerer Arbeitsspeicherzugriffe: Latenzverbergung

**Normalfall** Datum befindet sich im Zwischenspeicher

- Zugriffszeit  $\approx$  Zykluszeit der CPU, Wartezeit = 0

**Ausnahmefall** Datum befindet sich *nicht* im Zwischenspeicher

- Zugriffsfehler  $\leadsto$  Einlagerung (Zwischenspeicherzeile, *cache line*)
- Zugriffszeit  $\geq$  Zykluszeit des RAM, Wartezeit  $> 0$

**GAU** Zwischenspeicher voll im Ausnahmefall

- Zugriffsfehler  $\leadsto$  Ein- und ggf. Auslagerung (Zwischenspeicherzeile)
- Zugriffszeit  $\geq 2 \times$  Zykluszeit des RAM, Wartezeit  $\gg 0$

**Problem:** Lokalität bzw. Linearität der Zugriffe

- starke Lokalität erhöht die **Trefferwahrscheinlichkeit** erheblich!!!

**Fälle (a)–(g):** Beide Varianten verursachen bei Ausführung den GAU

- `by_column()`  $\leadsto$  schwache Lokalität: schlechte Trefferquote

## Kompilierer

Semantische Analyse

**funktionale Eigenschaft**  $\mapsto$  „was“ etwas tut

- beide Varianten tun das gleiche — nur in verschiedener Weise

**nicht-funktionale Eigenschaft**  $\mapsto$  „wie“ sich etwas ausprägt

- `by_row()` zählt Feldelemente entsprechend Feldabspeicherung auf
- `by_row()` zeigt für gegebene Hardware günstigere Zugriffsmuster
- ⋮
- `by_row()` wird schneller als `by_column()` ablaufen können

**Fall (d): Beispiel eines wahren Mysteriums...**



- `gcc -O6 -S` zeigt identischen Assembliersprachenkode
  - `by_column()` ist Kopie von `by_row()`
  - statische Analyse sagt gleiches Verhalten beider Varianten voraus
- Experiment brachte Messreihen mit extremen Ausschlägen hervor
  - „dynamische Umgebung“ verhält sich zugunsten von `by_column()`

# Virtueller Speicher

## Überbelegung des Hauptspeichers

wenn z.B. gilt: `sizeof(Arbeitsspeicher) > sizeof(Hauptspeicher)`

- Hauptspeicher ist Zwischenspeicher  $\mapsto$  **Vordergrundspeicher**
  - von Teilen eines oder mehrerer voranschreitender Programme
- ungenutzte Bestände im Massenspeicher  $\mapsto$  **Hintergrundspeicher**
  - z.B. Plattenspeicher, SSD oder gar Hauptspeicher anderer Rechner

Problem: vgl. Zwischenspeicher, S. 13

- Ein-/Auslagerung löst zeitaufwändige Ein-/Ausgabevorgänge aus
- Zugriffszeit verlangsamt sich um einige Größenordnungen:  $ns \sim ms$

Fälle (a)–(g): Zwickmühle wegen Hauptspeicherkapazität...

(d)–(f) beide Varianten verursachen bei Ausführung den **GAU** (S. 13)

- kontraproduktiver **Seitenvorabruf** (engl. *pre-paging*)

sonst fallen „nur“ Einlagerungsvorgänge an: Münchhausen gleich...

- Programm zieht sich selbst komplett in den Hauptspeicher



# Betriebssystemarchitektur

## Repräsentation und Ausprägung von Systemfunktionen

Schönheit, Stabilität, Nützlichkeit — *Venustas, Firmitas, Utilitas*: Die drei Prinzipien von Architektur [8]:

- je nach Bedarf sind Systemfunktionen verschieden ausgelegt [7]
  - sie teilen sich dieselben **Domänen** oder eben auch nicht
  - bzgl. Adressraum, Ausführungsstrang, Prozessor oder Rechnersystem
- **Funktionsauslegung** und **funktionale Eigenschaft** sind zu trennen
  - beide rufen jedoch gewisse **nicht-funktionale Eigenschaften** hervor
  - z.B. verursachen domänenübergreifende Aktionen ggf. **Mehraufwand**

Fälle (e)–(g)

- Mac OS X = NeXTStep  $\cup$  Mach 2.5  $\sim$  **mikrokernbasiertes System**
  - Systemfunktionen laufen als *Tasks* in eigenen Adressräumen ab
  - Tasks bieten Betriebsmittel für ggf. mehrere Ausführungsstränge
  - Ausführungsstränge sind die Zuteilungseinheiten für Prozessoren
- **Ein-/Auslagerungstask als *external pager***
  - außerhalb des klassischen Kerns  $\sim$  domänenübergreifende Aktionen

# Ganzheitslehre erklärt das beobachtete Phänomen

## (a)–(g) Linearisierung

- Algorithmen und Datenstrukturen

✓

## (a)–(g) Zwischenspeicher

- Grundlagen der Technischen Informatik

✓

- Grundlagen der Rechnerarchitektur und -organisation

✓

## (d) Kompilierer

- Grundlagen des Übersetzerbaus

✗

## (d)–(f) virtueller Speicher

- Systemprogrammierung

✗

## (e)–(g) Betriebssystemarchitektur

- Systemprogrammierung

✗

- Betriebssysteme

✗

# Gliederung

## 1 Vorwort

## 2 Fallstudie

- Speicherverwaltung
- Analyse
- Zwischenzusammenfassung

## 3 Begriffsdeutung

- Literaturauszüge

## 4 Zusammenfassung

## Phänomen hin oder her...

# Was macht ein Betriebssystem [aus] ?

## Nachschriftgewerke

*Summe derjenigen Programme, die als **residenter Teil** einer EDV-Anlage für den Betrieb der Anlage und für die Ausführung der Anwenderprogramme erforderlich ist. [9]*

**Be'triebs·sys·tem** *< n.; -s, -e; EDV > Programm'bündel, das die Bedienung eines Computers ermöglicht. [12]*



## Lehrbücher

*Der Zweck eines Betriebssystems [besteht] in der Verteilung von Betriebsmitteln auf sich bewerbende Benutzer. [4]*

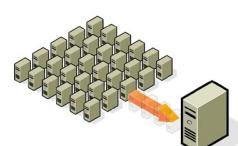
*Eine Menge von Programmen, die die Ausführung von Benutzerprogrammen und die Benutzung von Betriebsmitteln steuern. [3]*



## Lehrbücher (Forts.)

*Eine Softwareschicht, die alle Teile des Systems verwaltet und dem Benutzer eine Schnittstelle oder eine virtuelle Maschine anbietet, die einfacher zu verstehen und zu programmieren ist [als die nackte Hardware]. [11]*

*Ein Programm, das als Vermittler zwischen Rechnernutzer und Rechnerhardware fungiert. Der Sinn des Betriebssystems ist eine Umgebung bereitzustellen, in der Benutzer bequem und effizient Programme ausführen können. [10]*



## Philosophische Lektüre

*The operating system is itself a program which has the functions of **shielding the bare machine** from access by users (thus protecting the system), and also of **insulating the programmer** from the many extremely intricate and messy problems of reading the program, calling a translator, running the translated program, directing the output to the proper channels at the proper time, and passing control to the next user. [5]*



*Ein Betriebssystem kennt auf jeden Fall keinen Prozessor mehr, sondern ist neutral gegen ihn, und das war es vorher noch nie. Und auf diese Weise kann man eben **jeden beliebigen Prozessor auf jedem beliebigen anderen emulieren**, wie das schöne Wort lautet. [6]*



## Sachbücher und Normen

*Es ist das Betriebssystem, das die Kontrolle über das Plastik und Metall (Hardware) übernimmt und anderen Softwareprogrammen (Excel, Word, ...) eine **standardisierte Arbeitsplattform** (Windows, Unix, OS/2) schafft. [2]*



*Die Programme eines digitalen Rechensystems, die zusammen mit den Eigenschaften der Rechenanlage die Grundlage der möglichen Betriebsarten des digitalen Rechensystems bilden und insbesondere die **Abwicklung von Programmen steuern** und überwachen. [1] ☺*

# Gliederung

## 1 Vorwort

## 2 Fallstudie

- Speicherverwaltung
- Analyse
- Zwischenzusammenfassung

## 3 Begriffsdeutung

- Literaturauszüge

## 4 Zusammenfassung

# Resümee

**Be'triebs·sys·tem** < n.; -s, -e; EDV > (engl. *operating system*)

- eine **Menge von Programmen**, die
  - Programme, Anwendungen oder BenutzerInnen assistieren sollen
  - die Ausführung von Programmen überwachen und steuern
  - den Rechner für eine Anwendungsklasse betreiben
  - eine **abstrakte Maschine** implementieren
- verwaltet die **Betriebsmittel** eines Rechensystems
  - kontrolliert die Vergabe der (Software/Hardware) Ressourcen
  - verteilt diese ggf. gerecht an die mitbenutzenden Rechenprozesse
- definiert sich nicht über die Architektur, sondern über Funktionen

# Ausblick

Wir werden...

- ① einen „Hauch“ Rechnerorganisation und Softwaretechnik „einatmen“
- ② Rechnerbetriebsarten kennen- und unterscheiden lernen
- ③ Betriebssysteme in ihrer Grobfunktion „von aussen“ betrachten
- ④ Funktionen von Betriebssystemen im Detail untersuchen
- ⑤ den Stoff rekapitulieren

Zusammenhänge stehen im Vordergrund!

- Leitfaden ist die ganzheitliche Betrachtung von Systemfunktionen
- skizziert wird eine logische Struktur ggf. vieler Ausprägungsformen
- klassischer Lehrbuchstoff wird ergänzt, weniger repetiert oder vertieft

# Nachwort

Ausprägungen von Betriebssystemen dürfen nicht dogmatisiert werden

- etwa: ★✿■◆ „ist besser als“ ★✿■✿■◆ — umgekehrt dito
- oder: ★✿✿✿ „schlägt beide um Längen“ ...

Betriebssysteme sind immer im **Anwendungskontext** zu sehen/beurteilen

- „Universalbetriebssysteme“ gibt es nicht wirklich, wird es nie geben
- allen Anwendungsfällen wird **nie gleich gut** Genüge getragen      !!!



„Universalbetriebssystem“



„Spezialbetriebssystem“

# Literaturverzeichnis

- [1] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG:  
*Informationsverarbeitung — Begriffe.*  
Berlin, Köln, 1985 (DIN 44300)
- [2] EWERT, B. ; CHRISTOFFER, K. ; CHRISTOFFER, U. ; ÜNLÜ, S. :  
*FreeHand 10.*  
Galileo Design, 2001. —  
ISBN 3-898-42177-5
- [3] HABERMANN, A. N.:  
*Introduction to Operating System Design.*  
Science Research Associates, 1976. —  
ISBN 0-574-21075-X
- [4] HANSEN, P. B.:  
*Betriebssysteme.*  
Carl Hanser Verlag, 1977. —  
ISBN 3-446-12105-6

# Literaturverzeichnis (Forts.)

- [5] HOFSTADTER, D. R.:  
*Gödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid — A Metaphorical Fugue on Minds and Machines in the Spirit of Lewis Carroll.*  
Penguin Books, 1979. —  
ISBN 0-140-05579-7
- [6] KITTLER, F. :  
*Interview.*  
<http://www.hydra.umn.edu/kittler/interview.html>, 1993
- [7] LAUER, H. C. ; NEEDHAM, R. M.:  
On the Duality of Operating System Structures.  
In: *Proceedings of the Second International Symposium on Operating Systems, October 2–5, 1978, Rocquencourt, France* Institut de Recherche en Informatique et Automatique (IRIA), ACM, Apr. 1979 (SIGOPS Operating Systems Review Bd. 13 Nr. 2), S. 3–19
- [8] POLLIO, V. M. V.:  
*De Architectura Libris Decem.*  
Primus Verlag, 1996 (Original 27 v. Chr.)

## Literaturverzeichnis (Forts.)

- [9] SCHNEIDER, H.-J. :  
*Lexikon der Informatik und Datenverarbeitung.*  
München, Wien : Oldenbourg-Verlag, 1997. –  
ISBN 3-486-22875-7
- [10] SILBERSCHATZ, A. ; GALVIN, P. B. ; GAGNE, G. :  
*Operating System Concepts.*  
John Wiley & Sons, Inc., 2001. –  
ISBN 0-471-41743-2
- [11] TANENBAUM, A. S.:  
*Operating Systems: Design and Implementation.*  
Prentice-Hall, Inc., 1997. –  
ISBN 0-136-38677-6
- [12] WAHRIG-BURFEIND, R. :  
*Universalwörterbuch Rechtschreibung.*  
Deutscher Taschenbuch Verlag, 2002. –  
ISBN 3-423-32524-0