

Betriebssystemtechnik

Adressräume: Trennung, Zugriff, Schutz

II. Systemaufruf

Wolfgang Schröder-Preikschat

18. April 2016



Rekapitulation

Mehrebenenmaschinen

Teilinterpretierung

Funktionale Hierarchie

Analogie

Abstraktion

Implementierung

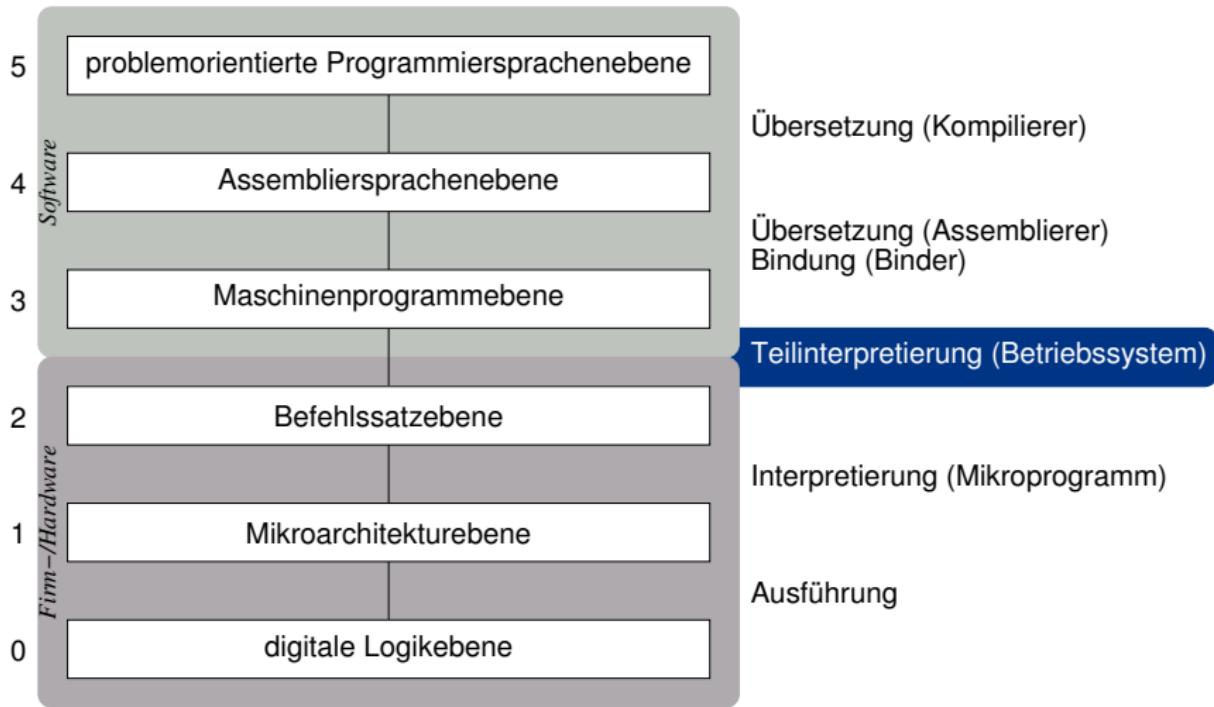
Entvirtualisierung

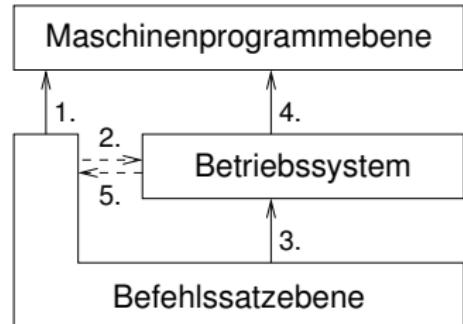
Befehlsarten

Ablaufkontext

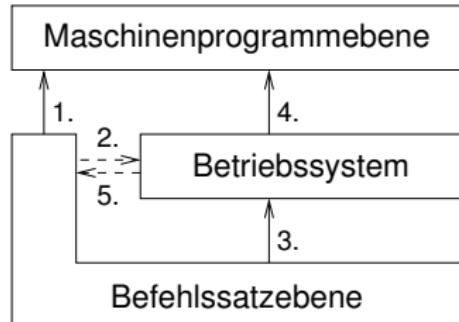
Zusammenfassung



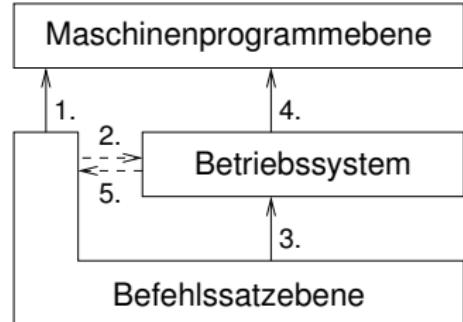




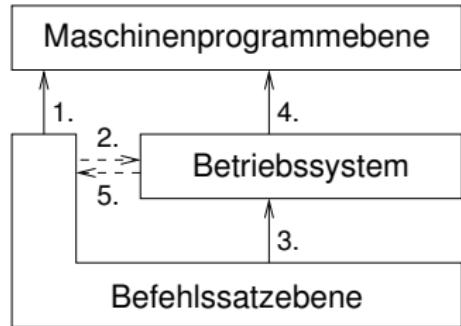
1. Die Befehlssatzebene interpretiert das Maschinenprogramm befehlsweise



1. Die Befehlssatzebene interpretiert das Maschinenprogramm befehlsweise,
2. setzt dessen Ausführung aus,
 - Ausnahmesituation
 - Programmunterbrechungstartet das Betriebssystem

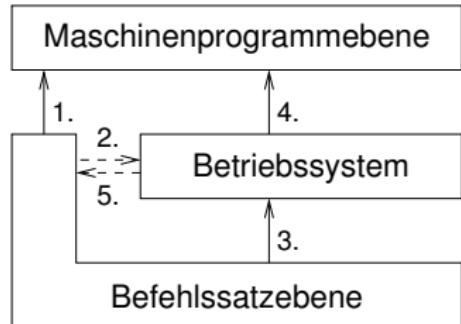


1. Die Befehlssatzebene interpretiert das Maschinenprogramm befehlsweise,
2. setzt dessen Ausführung aus,
 - Ausnahmesituation
 - **Programmunterbrechung**
- startet das Betriebssystem und
3. interpretiert die Programme des Betriebssystems befehlsweise.

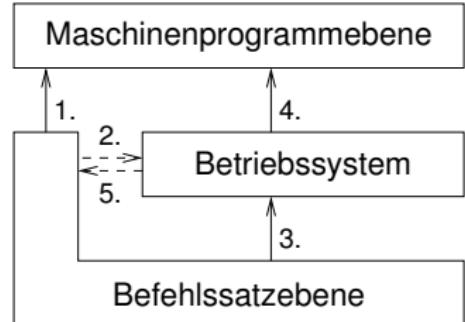


1. Die Befehlssatzebene interpretiert das Maschinenprogramm befehlsweise,
2. setzt dessen Ausführung aus,
 - Ausnahmesituation
 - Programmunterbrechungstartet das Betriebssystem und
3. interpretiert die Programme des Betriebssystems befehlsweise.

Folge von 3.: Ausführung von Betriebssystemprogrammen



1. Die Befehlssatzebene interpretiert das Maschinenprogramm befehlsweise,
2. setzt dessen Ausführung aus,
 - Ausnahmesituation
 - Programmunterbrechungstartet das Betriebssystem und
3. interpretiert die Programme des Betriebssystems befehlsweise.



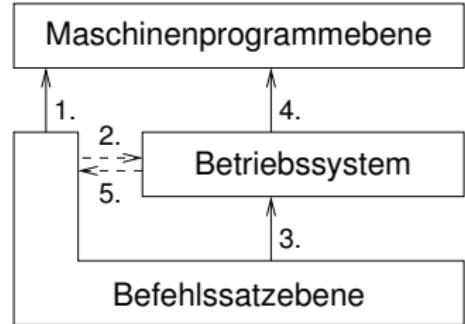
Folge von 3.: Ausführung von Betriebssystemprogrammen

4. Das *Betriebssystem interpretiert* das soeben oder zu einem früheren Zeitpunkt unterbrochene Maschinenprogramm¹ befehlsweise

¹Gegebenenfalls teilinterpretiert sich das Betriebssystem selbst partiell!



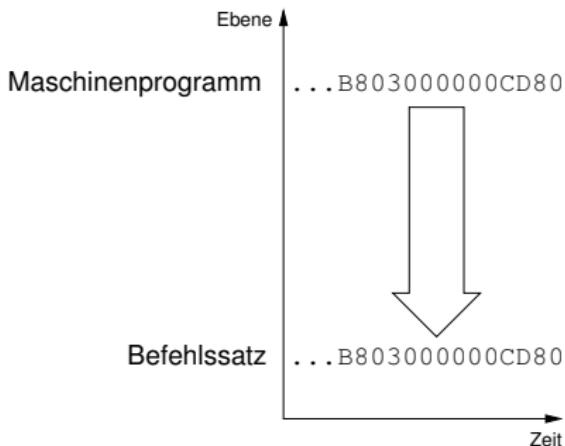
1. Die Befehlssatzebene interpretiert das Maschinenprogramm befehlsweise,
2. setzt dessen Ausführung aus,
 - Ausnahmesituation
 - Programmunterbrechungstartet das Betriebssystem und
3. interpretiert die Programme des Betriebssystems befehlsweise.



Folge von 3.: Ausführung von Betriebssystemprogrammen

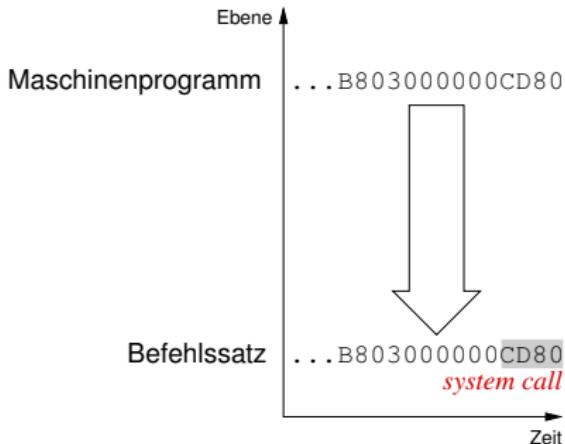
4. Das *Betriebssystem interpretiert* das soeben oder zu einem früheren Zeitpunkt unterbrochene Maschinenprogramm¹ befehlsweise und
5. instruiert die Befehlssatzebene, die Ausführung des/eines zuvor unterbrochenen Maschinenprogramms¹ wieder aufzunehmen.

¹Gegebenenfalls teilinterpretiert sich das Betriebssystem selbst partiell!



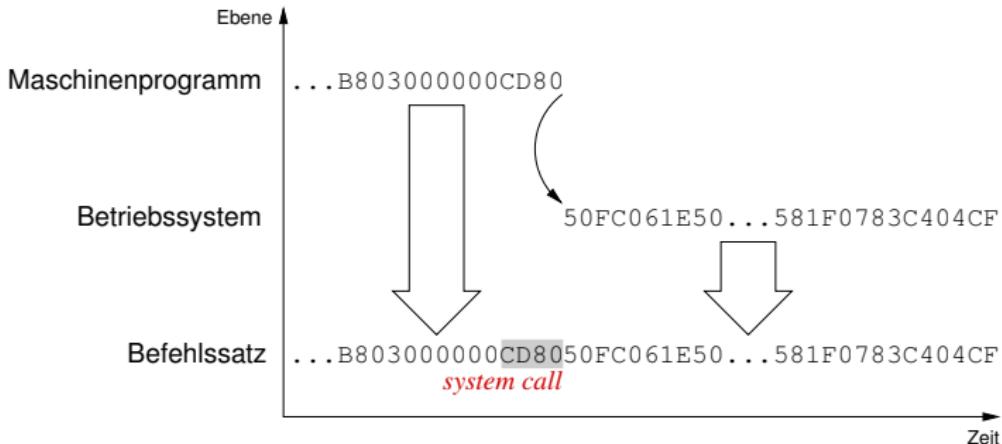
- Ausführung eines Maschinenprogramms





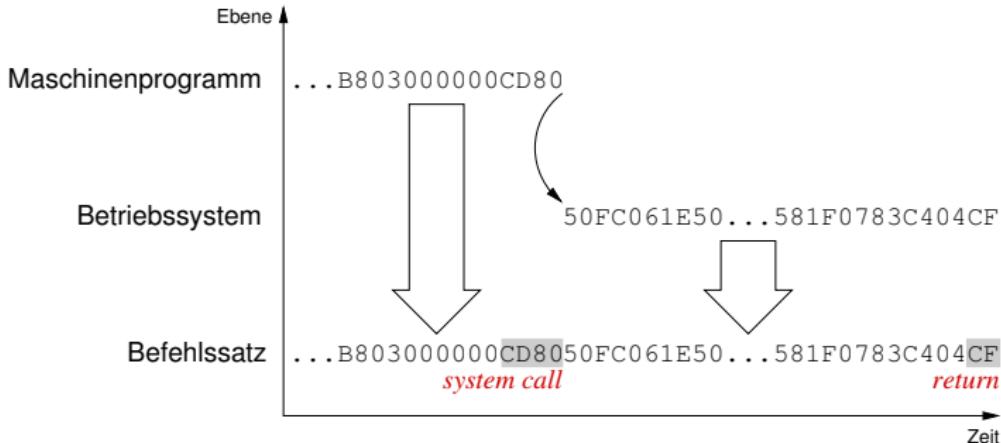
- Ausführung eines Maschinenprogramms
- Auslösung eines Systemaufrufs durch den Prozessor





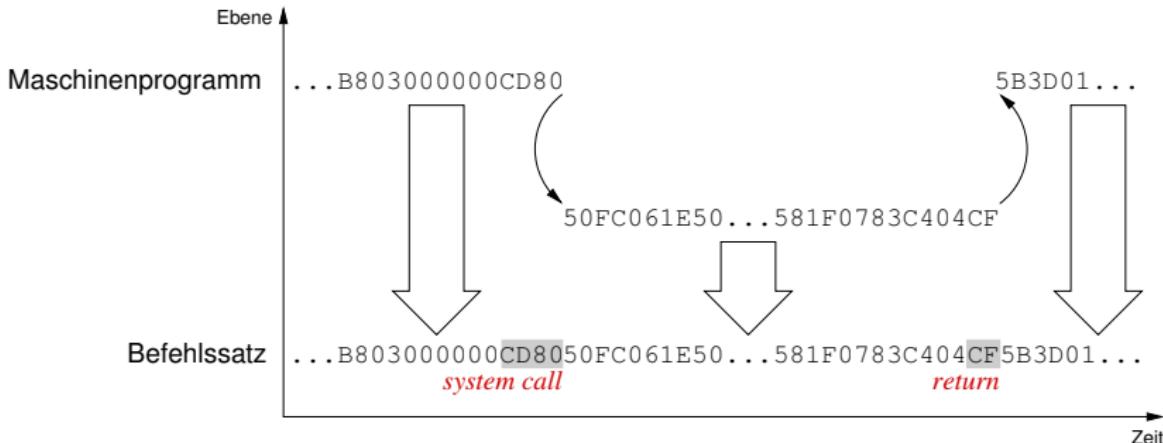
- Ausführung eines Maschinenprogramms
- Auslösung eines Systemaufrufs durch den Prozessor
- Verzweigung zum Betriebssystem und Behandlung des Systemaufrufs





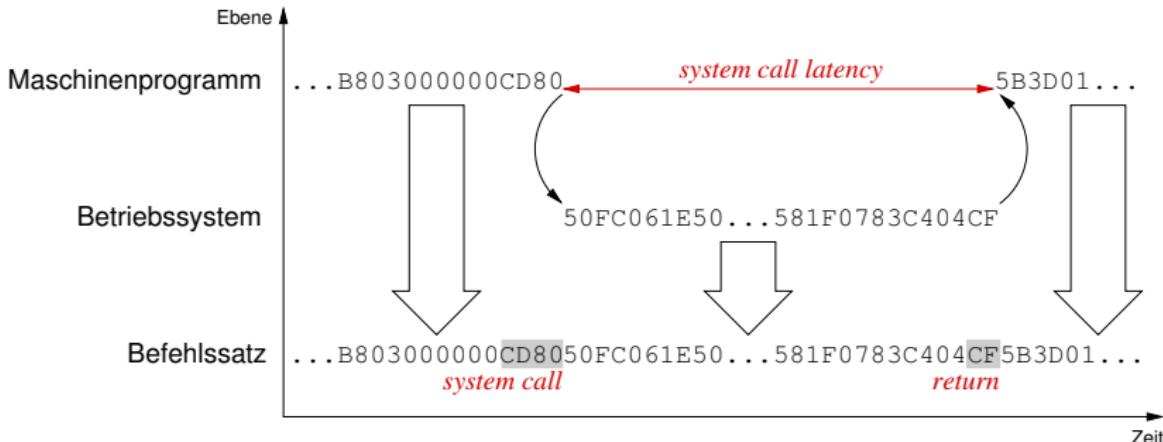
- Ausführung eines Maschinenprogramms
- Auslösung eines Systemaufrufs durch den Prozessor
- Verzweigung zum Betriebssystem und Behandlung des Systemaufrufs
- Beendigung des Systemaufrufs





- Ausführung eines Maschinenprogramms
- Auslösung eines Systemaufrufs durch den Prozessor
- Verzweigung zum Betriebssystem und Behandlung des Systemaufrufs
- Beendigung des Systemaufrufs
- Rückverzweigung zum Maschinenprogramm





- Ausführung eines Maschinenprogramms
- Auslösung eines Systemaufrufs durch den Prozessor
- Verzweigung zum Betriebssystem und Behandlung des Systemaufrufs
- Beendigung des Systemaufrufs
- Rückverzweigung zum Maschinenprogramm



Gliederung

Rekapitulation

Mehrebenenmaschinen

Teilinterpretierung

Funktionale Hierarchie

Analogie

Abstraktion

Implementierung

Entvirtualisierung

Befehlsarten

Ablaufkontext

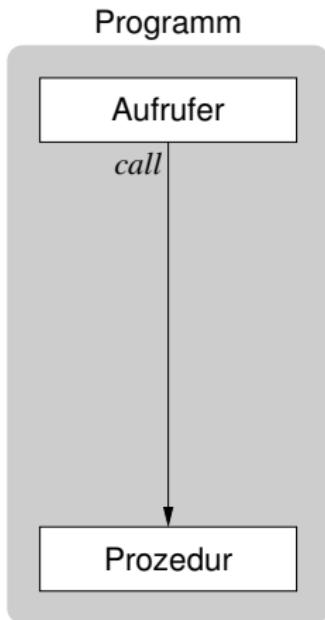
Zusammenfassung



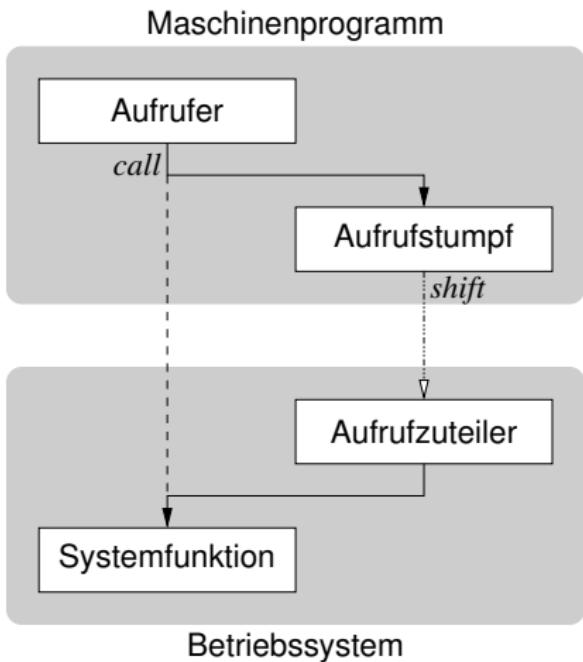
Prozedur- vs. Systemaufruf



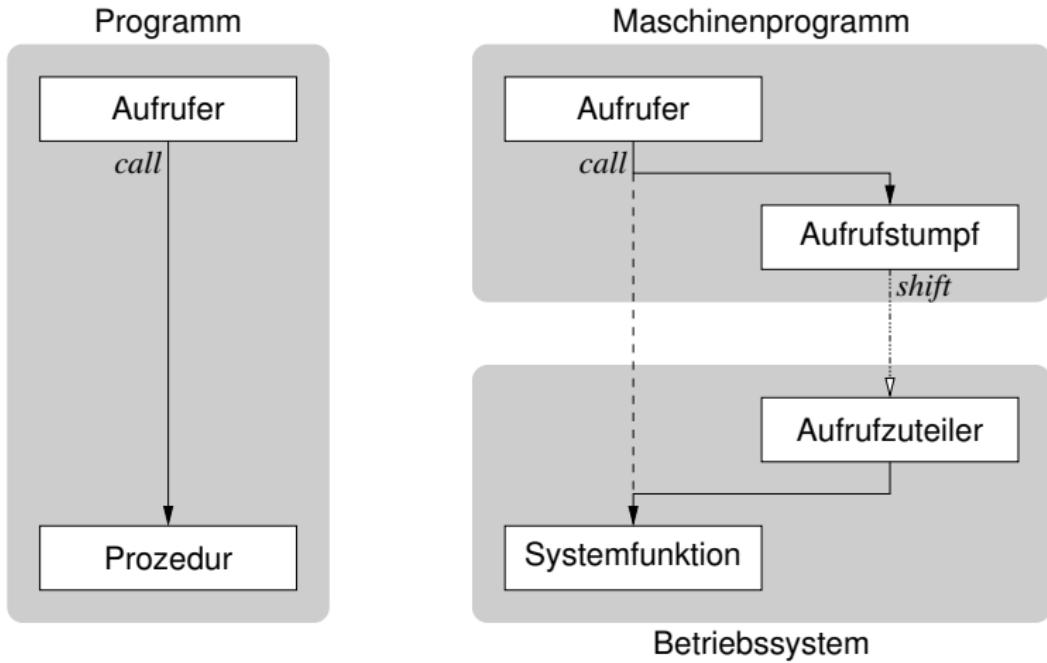
Prozedur- vs. Systemaufruf



Prozedur- vs. Systemaufruf



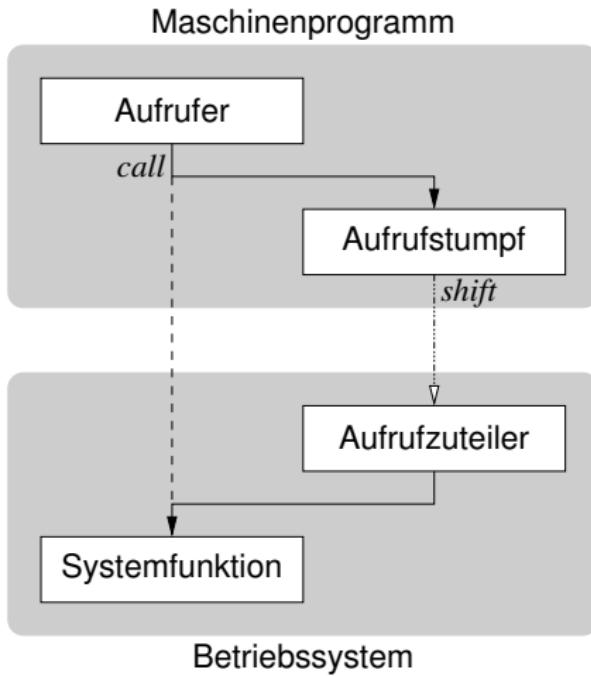
Prozedur- vs. Systemaufruf



- Systemaufruf als adressraumübergreifender Prozeduraufruf
 - verlagert (*shift*) die weitere Prozedurausführung ins Betriebssystem



Abstraktion von Betriebssystemabschottung

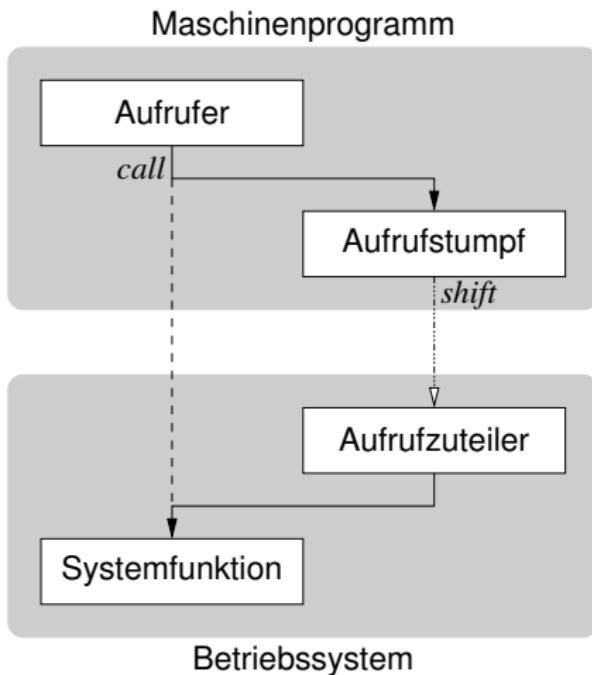


Ortstransparenz

- durch den Aufrufstumpf
 - für den Aufrufer
- durch den Aufrufzuteiler
 - für die Systemfunktion



Abstraktion von Betriebssystemabschottung



Ortstransparenz

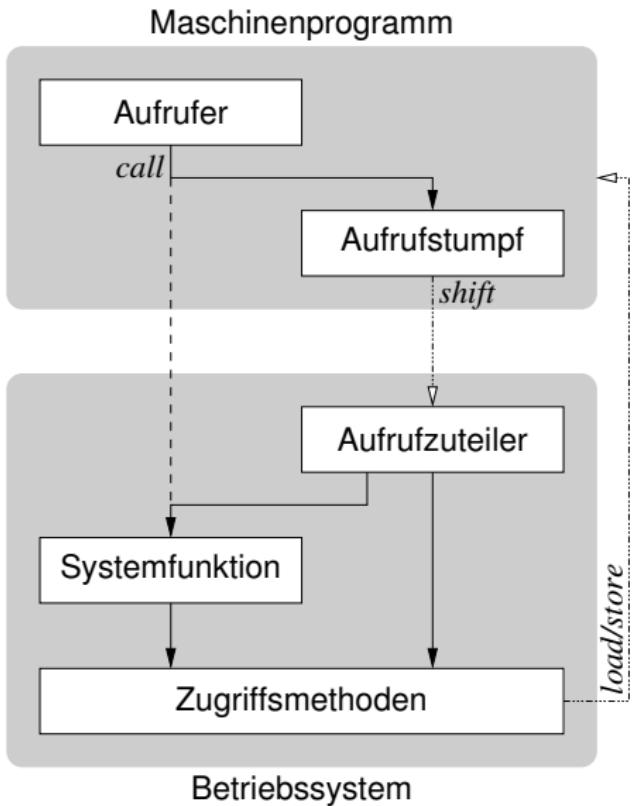
- durch den Aufrufstumpf
 - für den Aufrufer
- durch den Aufrufzuteiler
 - für die Systemfunktion

Entkopplung

- des Maschinenprogramms
 - von Programmen des Betriebssystems
- ↪ ursprüngliches Anliegen



Abstraktion von Maschinenprogrammabschottung



Ortstransparenz

- durch den Aufrufstumpf
 - für den Aufrufer
 - für die Systemfunktion
- durch den Aufrufzuteiler
 - für die Systemfunktion

Entkopplung

- des Maschinenprogramms
- von Programmen des Betriebssystems

Zugriffstransparenz

- durch Zugriffsmethoden
 - für den Aufrufzuteiler
 - für die Systemfunktion



Standard ist die **synchrone Programmunterbrechung** (*trap*)

- Ausnahme (*exception*) von der „normalen“ Programmausführung
 - OS/360 ■ svc, für System/360 und danach
 - Unix V6 ■ trap, für PDP 11
 - Windows ■ int \$0x2e
 - Linux ■ int \$0x80, für x86
 - swi, für ARM
 - t, für SPARC



Standard ist die **synchrone Programmunterbrechung (trap)**

- Ausnahme (*exception*) von der „normalen“ Programmausführung

OS/360 ■ svc, für System/360 und danach

Unix V6 ■ trap, für PDP 11

Windows ■ int \$0x2e

Linux ■ int \$0x80, für x86

■ swi, für ARM

■ t, für SPARC

MacOS ■ \$0xa, für m68k: *A-traps*, illegaler Operationskode²

■ int \$0x80, für x86

²Motorola verwendete Befehle beginnend mit 1111₂ (reserviert für 68881, FPU-Koprozessor) und 1010₂ niemals in Prozessoren der 68000-Familie.



Standard ist die **synchrone Programmunterbrechung** (*trap*)

- Ausnahme (*exception*) von der „normalen“ Programmausführung
 - OS/360 ■ svc, für System/360 und danach
 - Unix V6 ■ trap, für PDP 11
 - Windows ■ int \$0x2e
 - Linux ■ int \$0x80, für x86
 - swi, für ARM
 - t, für SPARC
 - MacOS ■ \$0xa, für m68k: *A-traps*, illegaler Operationskode²
 - int \$0x80, für x86
- im Vergleich zum normalen Prozederaufruf, sehr kostspielig (S. 27)

²Motorola verwendete Befehle beginnend mit 1111_2 (reserviert für 68881, FPU-Koprozessor) und 1010_2 niemals in Prozessoren der 68000-Familie.



Standard ist die **synchrone Programmunterbrechung** (*trap*)

- Ausnahme (*exception*) von der „normalen“ Programmausführung

OS/360 ■ svc, für System/360 und danach

Unix V6 ■ trap, für PDP 11

Windows ■ int \$0x2e

Linux ■ int \$0x80, für x86

■ swi, für ARM

■ t, für SPARC

MacOS ■ \$0xa, für m68k: *A-traps*, illegaler Operationskode²

■ int \$0x80, für x86

- im Vergleich zum normalen Prozederaufruf, sehr kostspielig (S. 27)

Avantgarde sind Ansätze, die im Grunde frei von Aufrufsemantik sind

- der Fokus liegt auf **Moduswechsel**: sysenter/syscall (x86-64)

²Motorola verwendete Befehle beginnend mit 1111_2 (reserviert für 68881,

FPU-Koprozessor) und 1010_2 niemals in Prozessoren der 68000-Familie.



Gliederung

Rekapitulation

- Mehrebenenmaschinen

- Teilinterpretierung

Funktionale Hierarchie

- Analogie

- Abstraktion

Implementierung

- Entvirtualisierung

- Befehlsarten

- Ablaufkontext

Zusammenfassung



- Systemaufruf als Konstrukt problemorientierter Programmiersprache

```
1 int done;  
2 char buf[1];  
3  
4 done = read(0, buf, sizeof(buf));
```



- Systemaufruf als Konstrukt problemorientierter Programmiersprache

```
1 int done;  
2 char buf[1];  
3  
4 done = read(0, buf, sizeof(buf));
```

- seine semantisch äquivalente Umsetzung in Assemblersprache
 - gcc -O6 -m32 -fomit-frame-pointer -S

```
1 subl $12, %esp      ; allocate parameter block  
2 movl $1, 8(%esp)   ; input buffer: length (in bytes)  
3 movl $buf, 4(%esp)  ; input buffer: address  
4 movl $0, (%esp)    ; file descriptor: standard input  
5 call read          ; execute system function  
6 movl %eax, done     ; save return code  
7 addl $12, %esp      ; release parameter block
```



- Systemaufruf als Konstrukt der Maschinenprogrammoberfläche:

```
1  read:  
2      pushl %ebx          ; backup callee-save register  
3      movl 16(%esp), %edx ; pass 3rd input parameter  
4      movl 12(%esp), %ecx ; pass 2nd input parameter  
5      movl 8(%esp), %ebx  ; pass 1st input parameter  
6      scall $3           ; perform system call and return  
7      popl %ebx          ; restore callee-save register  
8      ret
```



- Systemaufruf als Konstrukt der Maschinenprogrammebene:

```
1  read:  
2      pushl %ebx          ; backup callee-save register  
3      movl 16(%esp), %edx ; pass 3rd input parameter  
4      movl 12(%esp), %ecx ; pass 2nd input parameter  
5      movl 8(%esp), %ebx  ; pass 1st input parameter  
6      scall $3           ; perform system call and return  
7      popl %ebx          ; restore callee-save register  
8      ret
```

- problemspezifische Varianten, je nach **Betriebssystembefehlsart**:

- Primitivbefehl (RISC-artig), im Beispiel hier (Linux-artig) und *ff*.
 - Anzahl der zu sichernden nichtflüchtigen (*callee-save*) Register
 - Hauptspeicher oder flüchtige (*caller-save*) Register als Sicherungspuffer
 - stapel- oder registerbasierte Parameterübergabe
 - rückkehrende oder rückkehrlose Interaktion mit dem Betriebssystem
- Komplexbefehl (CISC-artig), vgl. auch S. 21



- rückkehrender Systemaufruf mit zwei Eingabeparametern:

1 kill:

```
2     movl %ebx, %edx      ; backup into caller-save register
3     movl 8(%esp), %ecx ; pass 2nd input parameter
4     movl 4(%esp), %ebx ; pass 1st input parameter
5     scar $37           ; perform system call and return
6     movl %edx, %ebx      ; restore from caller-save register
7     ret
```



- rückkehrender Systemaufruf mit zwei Eingabeparametern:

```
1    kill:  
2        movl %ebx, %edx      ; backup into caller-save register  
3        movl 8(%esp), %ecx ; pass 2nd input parameter  
4        movl 4(%esp), %ebx ; pass 1st input parameter  
5        scar $37           ; perform system call and return  
6        movl %edx, %ebx      ; restore from caller-save register  
7        ret
```

- rückkehrloser Systemaufruf mit einem Eingabeparameter:

```
1    _exit:  
2        movl 4(%esp), %ebx ; pass input parameter  
3        sc    $252          ; perform system call, no return
```



- rückkehrender Systemaufruf mit zwei Eingabeparametern:

```
1 kill:  
2     movl %ebx, %edx      ; backup into caller-save register  
3     movl 8(%esp), %ecx ; pass 2nd input parameter  
4     movl 4(%esp), %ebx ; pass 1st input parameter  
5     scar $37           ; perform system call and return  
6     movl %edx, %ebx      ; restore from caller-save register  
7     ret
```

- rückkehrloser Systemaufruf mit einem Eingabeparameter:

```
1 _exit:  
2     movl 4(%esp), %ebx ; pass input parameter  
3     sc    $252          ; perform system call, no return
```

- rückkehrender parameterloser Systemaufruf:

```
1 getpid:  
2     scar $20            ; perform system call and return  
3     ret
```



■ Absetzen des Systemaufrufs

```
1 .macro sc scn
2     movl \scn, %eax      ; pass system call number
3     int $128             ; cause software interrupt
4 .endm
```



■ Absetzen des Systemaufrufs

```
1 .macro sc scn
2     movl \scn, %eax      ; pass system call number
3     int $128            ; cause software interrupt
4 .endm
```

■ Systemaufruf und Fehlerbehandlung nach Rückkehr

```
1 .macro scar scn
2     sc \scn             ; perform system call and return
3     cmpl $-4095, %eax ; check for system call error
4     jb .s\@             ; normal operation, if applicable
5     neg %eax            ; derive (positiv) error code
6     movl %eax, errno    ; put aside for possibly reworking
7     movl $-1, %eax      ; indicate failure of operation
8 .s\@:                  ; come here if error free
9 .endm
```



■ Absetzen des Systemaufrufs

```
1 .macro sc scn
2     movl \scn, %eax      ; pass system call number
3     int $128            ; cause software interrupt
4 .endm
```

■ Systemaufruf und Fehlerbehandlung nach Rückkehr

```
1 .macro scar scn
2     sc \scn             ; perform system call and return
3     cmpl $-4095, %eax ; check for system call error
4     jb .s@              ; normal operation, if applicable
5     neg %eax            ; derive (positiv) error code
6     movl %eax, errno    ; put aside for possibly reworking
7     movl $-1, %eax      ; indicate failure of operation
8     .s@:                ; come here if error free
9 .endm
```

■ Platzhalter für den Fehlerkode (im Datensegment, .data)

```
1 .long errno
```



- Problem: Schutzdomänen überschreitende **Ausnahmeauslösung**
 - normale Funktionsergebnisse von ausnahmebedingten unterscheiden
 - eine für das gesamte Rechensystem **effiziente Umsetzung** durchsetzen



- Problem: Schutzdomänen überschreitende **Ausnahmeauslösung**
 - normale Funktionsergebnisse von ausnahmebedingten unterscheiden
 - eine für das gesamte Rechensystem **effiziente Umsetzung** durchsetzen
- Lösungen dazu hängen ab von Betriebssystem und Befehlssatzebene



- Problem: Schutzdomänen überschreitende Ausnahmeauslösung
 - normale Funktionsergebnisse von ausnahmebedingten unterscheiden
 - eine für das gesamte Rechensystem effiziente Umsetzung durchsetzen
 - Lösungen dazu hängen ab von Betriebssystem und Befehlssatzebene
 - Wertebereich für Funktionsergebnisse beschneiden (z. B. Linux)
 - Wert im Rückgaberegister (%eax) zeigt den Ausnahme- oder Normalfall an
- $v \in [-1, -4095] \Rightarrow v$ ist Fehlerkode $\geq 0xfffff000$ (IA-32)
sonst $\Rightarrow v$ ist Funktionsergebnis $< 0xfffff000$ (IA-32)
- betriebssystemseitig einfach, sofern *alle* Funktionsergebnisse dazu passen



- Problem: Schutzdomänen überschreitende Ausnahmeauslösung
 - normale Funktionsergebnisse von ausnahmebedingten unterscheiden
 - eine für das gesamte Rechensystem effiziente Umsetzung durchsetzen
 - Lösungen dazu hängen ab von Betriebssystem und Befehlssatzebene
 - Wertebereich für Funktionsergebnisse beschneiden (z. B. Linux)
 - Wert im Rückgaberegister (%eax) zeigt den Ausnahme- oder Normalfall an
- $$v \in [-1, -4095] \Rightarrow v \text{ ist Fehlerkode} \quad \geq 0xfffff000 \text{ (IA-32)}$$
- $$\text{sonst} \Rightarrow v \text{ ist Funktionsergebnis} \quad < 0xfffff000 \text{ (IA-32)}$$
- betriebssystemseitig einfach, sofern alle Funktionsergebnisse dazu passen
 - Übertragsmerker (*carry flag*) im Statusregister setzen³
 - Stapelrahmen (*stack frame*) des Systemaufrufs so manipulieren, dass bei Rückkehr der Merker den Ausnahme- (1) oder Normalfall (0) anzeigt
 - betriebssystemseitig mit größerem Mehraufwand (*overhead*) verbunden

³Jeder Merker zur Steuerung bedingter Sprünge eignet sich dafür.



- Problem: Schutzdomänen überschreitende Ausnahmeauslösung
 - normale Funktionsergebnisse von ausnahmebedingten unterscheiden
 - eine für das gesamte Rechensystem effiziente Umsetzung durchsetzen
- Lösungen dazu hängen ab von Betriebssystem und Befehlssatzebene
 - Wertebereich für Funktionsergebnisse beschneiden (z. B. Linux)
 - Wert im Rückgaberegister (%eax) zeigt den Ausnahme- oder Normalfall an
- $v \in [-1, -4095] \Rightarrow v \text{ ist Fehlerkode} \geq \text{0xffffffff000 (IA-32)}$
 $\text{sonst } \Rightarrow v \text{ ist Funktionsergebnis} < \text{0xffffffff000 (IA-32)}$
 - betriebssystemseitig einfach, sofern alle Funktionsergebnisse dazu passen
- Übertragsmerker (*carry flag*) im Statusregister setzen³
 - Stapelrahmen (*stack frame*) des Systemaufrufs so manipulieren, dass bei Rückkehr der Merker den Ausnahme- (1) oder Normalfall (0) anzeigt
 - betriebssystemseitig mit größerem Mehraufwand (*overhead*) verbunden
- als Befehlssatzebenerweiterung wäre der Merkeransatz konsequent

³Jeder Merker zur Steuerung bedingter Sprünge eignet sich dafür.

```
1 scd:  
2     pushl %ebp  
3     pushl %edi  
4     pushl %esi  
5     pushl %edx  
6     pushl %ecx  
7     pushl %ebx  
8     cmpl $NJTE,%eax  
9     jae scd_fault  
10    call *jump_table(,%eax,4)  
11 scd_leave:  
12    popl %ebx  
13    popl %ecx  
14    popl %edx  
15    popl %esi  
16    popl %edi  
17    popl %ebp  
18    iret
```



```
1 scd:  
2     pushl %ebp  
3     pushl %edi  
4     pushl %esi  
5     pushl %edx  
6     pushl %ecx  
7     pushl %ebx  
8     cmpl $NJTE,%eax  
9     jae scd_fault  
10    call *jump_table(,%eax,4)  
11 scd_leave:  
12    popl %ebx  
13    popl %ecx  
14    popl %edx  
15    popl %esi  
16    popl %edi  
17    popl %ebp  
18    iret
```

system call dispatcher:

- 2–7 i Sicherung
- ii Parametertransfer
- 8–9 Überprüfung
- 10 Ausführung
- 12–17 Wiederherstellung
- 18 Wiederaufnahme



```
1 scd:  
2     pushl %ebp  
3     pushl %edi  
4     pushl %esi  
5     pushl %edx  
6     pushl %ecx  
7     pushl %ebx  
8     cmpl $NJTE,%eax  
9     jae scd_fault  
10    call *jump_table(,%eax,4)  
11 scd_leave:  
12    popl %ebx  
13    popl %ecx  
14    popl %edx  
15    popl %esi  
16    popl %edi  
17    popl %ebp  
18    iret
```

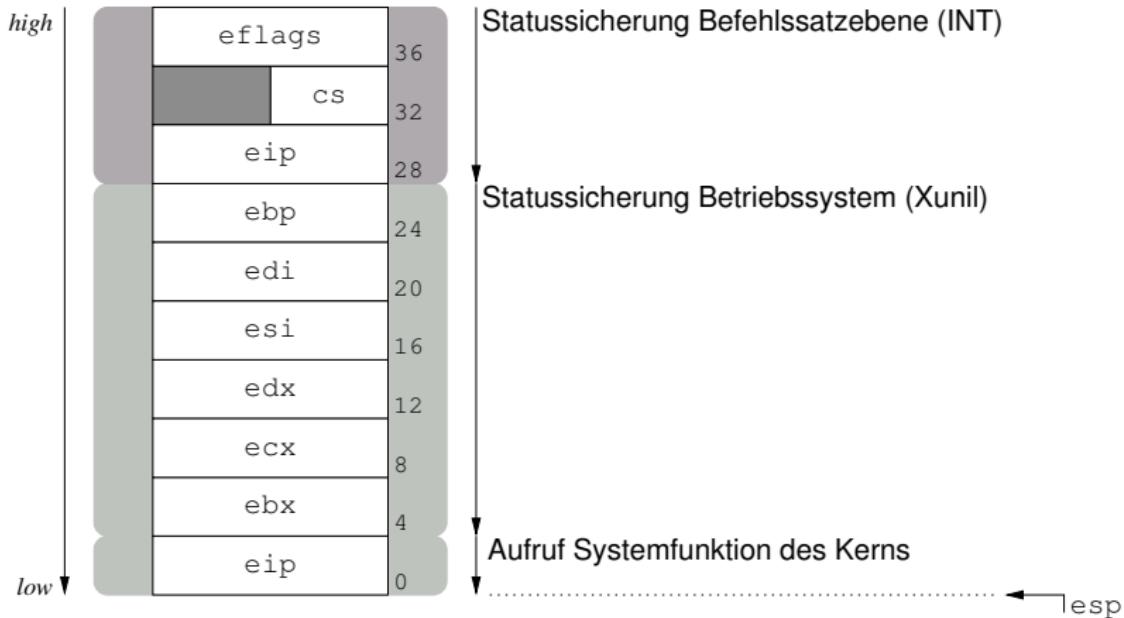
system call dispatcher:

- 2–7 i Sicherung
- ii Parametertransfer
- 8–9 Überprüfung
- 10 Ausführung
- 12–17 Wiederherstellung
- 18 Wiederaufnahme

Fehlerbehandlung

```
1 scd_fault:  
2     movl $-ENOSYS,%eax  
3     jmp scd_leave
```





- Stapelaufbau⁴ nach Aufruf der Systemfunktion über die Sprungtabelle
 - `call *jump_table(,%eax,4)`

⁴IA-32 real-address mode

```
1 extern int sys_ni_syscall(void);
2 extern int sys_exit(int);
3 extern int sys_fork(void);
4 extern int sys_read(int, void*, int);
5 extern int sys_write(int, void*, int);
6 ...
7
8 #define NJTE 326 /* number of jump table entries */
9
10 int (*jump_table[NJTE])() = {      /* opcode */
11     sys_ni_syscall,                /* 0 */
12     sys_exit,                     /* 1 */
13     sys_fork,                     /* 2 */
14     sys_read,                     /* 3 */
15     sys_write,                    /* 4 */
16     ...
17 };
```



```
1  asmlinkage
2  ssize_t sys_read(unsigned fd, char *buf, size_t count) {
3      ssize_t ret;
4      struct file *file;
5
6      ret = -EBADF;
7      file = fget(fd);
8      if (file) {
9          ...
10     }
11     return ret;
12 }
```

asmlinkage

Instruiert gcc, die Funktionsparameter auf dem Stapel zu erwarten und nicht in Prozessorregistern.



```
1 asmlinkage
2 ssize_t sys_read(unsigned fd, char *buf, size_t count) {
3     ssize_t ret;
4     struct file *file;
5
6     ret = -EBADF;
7     file = fget(fd);
8     if (file) {
9         ...
10    }
11    return ret;
12 }
```

asmlinkage
Instruiert gcc, die Funktionsparameter auf dem Stapel zu erwarten und nicht in Prozessorregistern.

```
1 asmlinkage long sys_ni_syscall(void) {
2     return -ENOSYS;
3 }
```



■ Primitivbefehl

```
1 movl op6, %ebp  
2 movl op5, %edi  
3 movl op4, %esi  
4 movl op3, %edx  
5 movl op2, %ecx  
6 movl op1, %ebx  
7 movl opc, %eax  
8 int $42
```



■ Primitivbefehl

```
1 movl op6, %ebp  
2 movl op5, %edi  
3 movl op4, %esi  
4 movl op3, %edx  
5 movl op2, %ecx  
6 movl op1, %ebx  
7 movl opc, %eax  
8 int $42
```

■ Komplexbefehl

```
1           int $42  
2 .long opc  
3 .long op1  
4 .long op2  
5 further operands  
6 .long opn
```



■ Primitivbefehl

```
1 movl op6, %ebp  
2 movl op5, %edi  
3 movl op4, %esi  
4 movl op3, %edx  
5 movl op2, %ecx  
6 movl op1, %ebx  
7 movl opc, %eax  
8 int $42
```

■ Komplexbefehl: uniforme (li.) oder individuelle (re.) Operanden

1 int \$42	1 int \$42
2 .long opc	2 .byte opc
3 .long op1	3 .align 4
4 .long op2	4 .long op1
5 further operands	5 .long op2
6 .long opn	6 further operands/alignments
	7 .long opn



■ Primitivbefehl

```
1 movl op6, %ebp  
2 movl op5, %edi  
3 movl op4, %esi  
4 movl op3, %edx  
5 movl op2, %ecx  
6 movl op1, %ebx  
7 movl opc, %eax  
8 int $42
```

Beachte

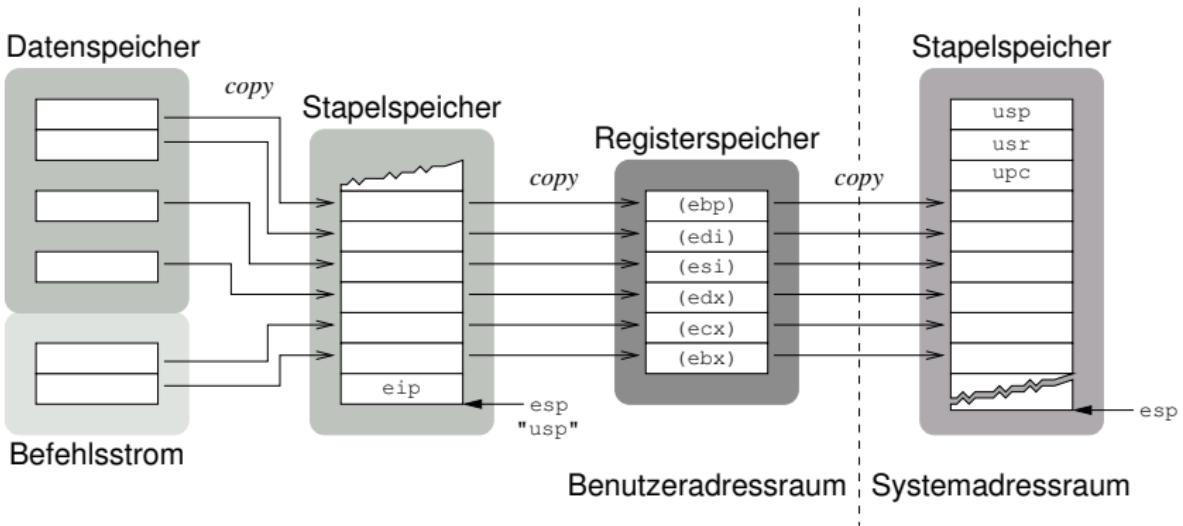
- bei Primitivbefehlen erfolgt die Auswertung der Operanden dynamisch, zur Laufzeit
 - Prozessorregister müssen freigemacht werden
- bei Komplexbefehlen geschieht dies statisch, zur Assemblier-/Bindezeit, und registerlos

■ Komplexbefehl: uniforme (li.) oder individuelle (re.) Operanden

```
1     int $42  
2 .long opc  
3 .long op1  
4 .long op2  
5 further operands  
6 .long opn
```

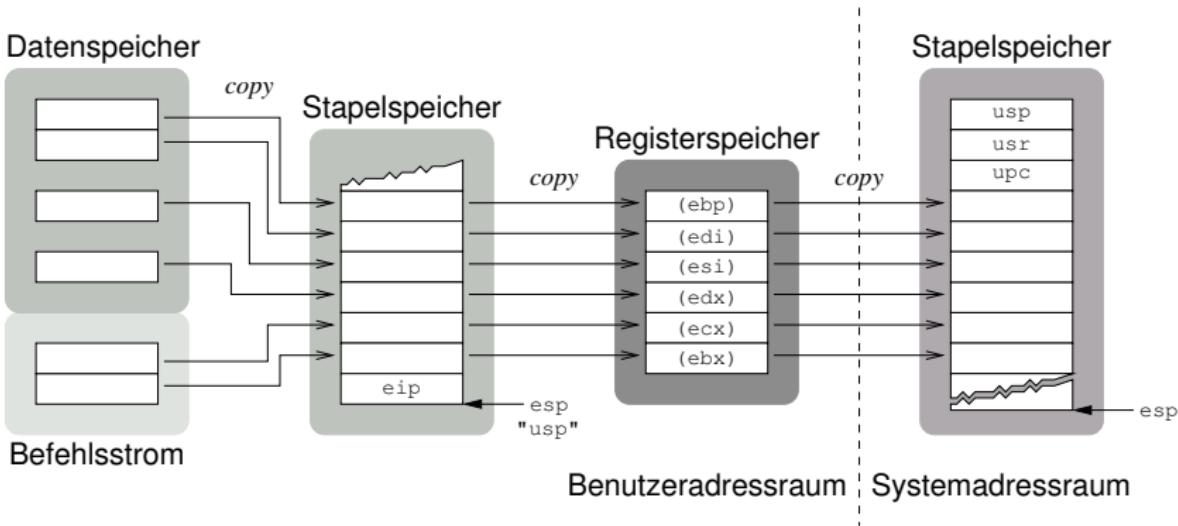
```
1     int $42  
2 .byte  opc  
3 .align 4  
4 .long   op1  
5 .long   op2  
6 further operands/alignments  
7 .long   opn
```





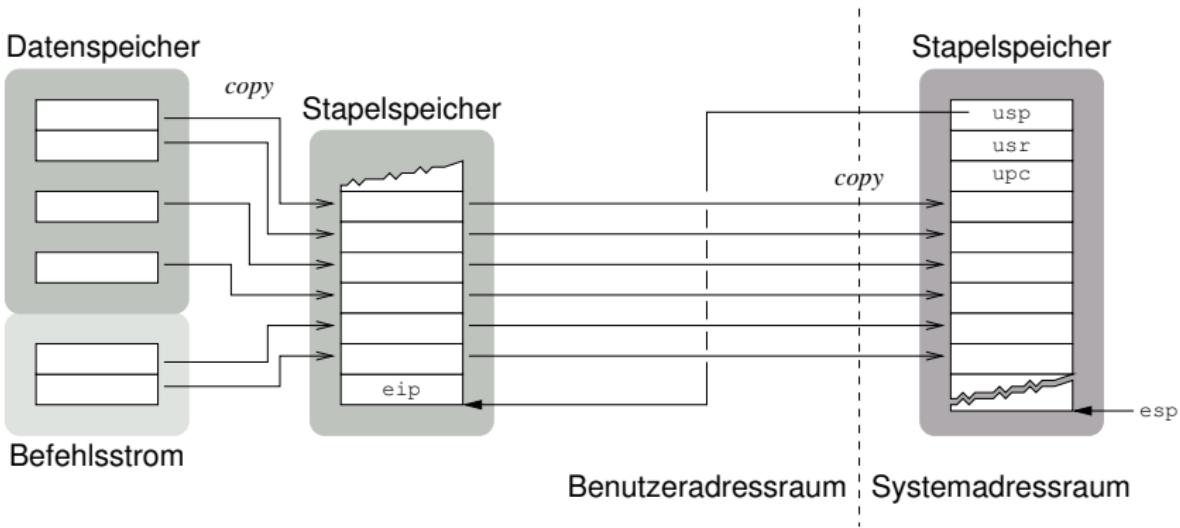
- Werteübergabe (*call by value*) für alle Parameter
 - Variable: Befehlsoperand ist Adresse im Datenspeicher inkl. Register
 - Direktwert: Bestandteil des Befehls im Befehlsstrom





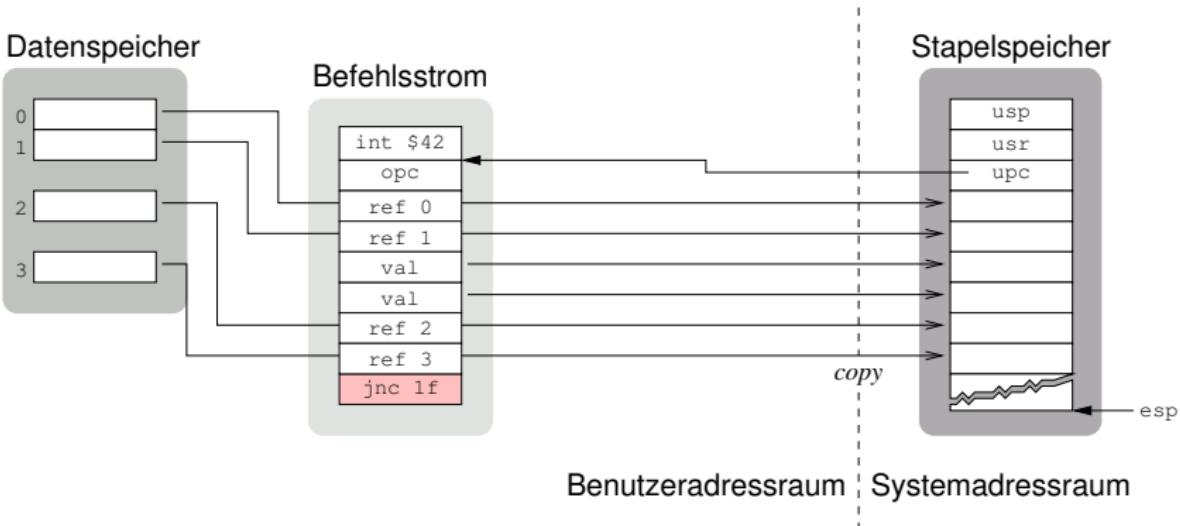
- Werteübergabe (*call by value*) für alle Parameter
 - Variable: Befehlsoperand ist Adresse im Datenspeicher inkl. Register
 - Direktwert: Bestandteil des Befehls im Befehlsstrom
- Systemaufrufe als Primitivbefehle sind (meist) **Unterprogramme**





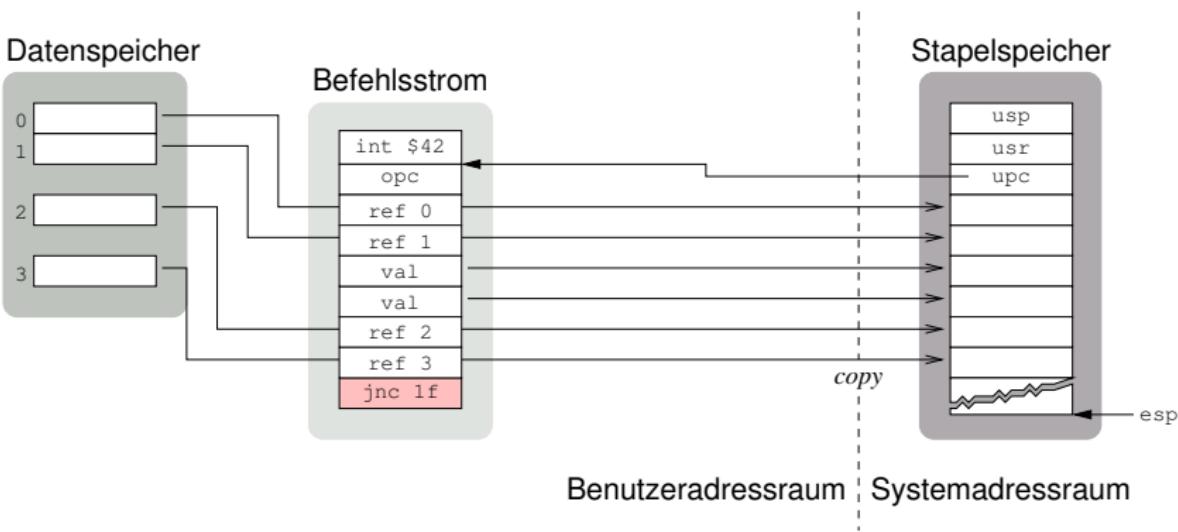
- Systemaufrufparameter werden nicht (mehr) in Registern transferiert
 - Systemaufrufe sind Unterprogramme, Parameter werden gestapelt
 - in Ergänzung zum Registeransatz, falls die Parameteranzahl zu groß ist
- das Betriebssystem lädt Parameter direkt vom Benutzerstapel





- das Betriebssystem lädt Parameter direkt vom Benutzeradressraum
 - Werteübergabe (*call by value*) für alle Direktwerte
 - Referenzübergabe (*call by reference*) sonst





- das Betriebssystem lädt Parameter direkt vom Benutzeradressraum
 - Werteübergabe (*call by value*) für alle Direktwerte
 - Referenzübergabe (*call by reference*) sonst
- Systemaufrufe als Komplexbefehle sind (meist) **Makroanweisungen**





- Primitivbefehl

- +/- Werteübergabe von Operanden im Maschinenprogramm
- +/- dynamische Operandenauswertung (Laufzeit)



- Primitivbefehl

- +/- Werteübergabe von Operanden im Maschinenprogramm
- +/- dynamische Operandenauswertung (Laufzeit)
 - durch Prozessorregistersatz begrenzte Operandenanzahl
 - betriebssystemseitig bestenfalls teilweise Zustandssicherung
 - maschinenprogrammseitiger Mehraufwand zum Operandenabruf



- Primitivbefehl
 - +/- Werteübergabe von Operanden im Maschinenprogramm
 - +/- dynamische Operandenauswertung (Laufzeit)
 - durch Prozessorregistersatz begrenzte Operandenanzahl
 - betriebssystemseitig bestenfalls teilweise Zustandssicherung
 - maschinenprogrammseitiger Mehraufwand zum Operandenabruf
- Komplexbefehl
 - + entspricht dem (statischen) Befehlsformat der Befehlssatzebene
 - + kompakte Darstellung/Kodierung von Systemaufrufen
 - + vollständige betriebssystemseitige Zustandssicherung



- Primitivbefehl
 - +/- Werteübergabe von Operanden im Maschinenprogramm
 - +/- dynamische Operandenauswertung (Laufzeit)
 - durch Prozessorregistersatz begrenzte Operandenanzahl
 - betriebssystemseitig bestenfalls teilweise Zustandssicherung
 - maschinenprogrammseitiger Mehraufwand zum Operandenabruf
- Komplexbefehl
 - + entspricht dem (statischen) Befehlsformat der Befehlssatzebene
 - + kompakte Darstellung/Kodierung von Systemaufrufen
 - + vollständige betriebssystemseitige Zustandssicherung
 - +/- statische Operandenauswertung (Assemblier- oder Bindezeit)



- Primitivbefehl

- +/- Werteübergabe von Operanden im Maschinenprogramm
- +/- dynamische Operandenauswertung (Laufzeit)
 - durch Prozessorregistersatz begrenzte Operandenanzahl
 - betriebssystemseitig bestenfalls teilweise Zustandssicherung
 - maschinenprogrammseitiger Mehraufwand zum Operandenabruf

- Komplexbefehl

- + entspricht dem (statischen) Befehlsformat der Befehlssatzebene
- + kompakte Darstellung/Kodierung von Systemaufrufen
- + vollständige betriebssystemseitige Zustandssicherung
- +/- statische Operandenauswertung (Assemblier- oder Bindezeit)
 - Referenzübergabe von Operanden im Maschinenprogramm
 - betriebssystemseitiger Mehraufwand zum Operandenabruf



- Primitivbefehl
 - +/- Werteübergabe von Operanden im Maschinenprogramm
 - +/- dynamische Operandenauswertung (Laufzeit)
 - durch Prozessorregistersatz begrenzte Operandenanzahl
 - betriebssystemseitig bestenfalls teilweise Zustandssicherung
 - maschinenprogrammseitiger Mehraufwand zum Operandenabruf
- Komplexbefehl
 - + entspricht dem (statischen) Befehlsformat der Befehlssatzebene
 - + kompakte Darstellung/Kodierung von Systemaufrufen
 - + vollständige betriebssystemseitige Zustandssicherung
 - +/- statische Operandenauswertung (Assemblier- oder Bindezeit)
 - Referenzübergabe von Operanden im Maschinenprogramm
 - betriebssystemseitiger Mehraufwand zum Operandenabruf
- wie gravierend die Negativpunkte sind, hängt vom Anwendungsfall ab



- reale Sicht: ursprünglicher Zweck von Systemaufrufen (um 1955)
 - transiente Maschinenprogramme und residente Systemsoftware trennen



- reale Sicht: ursprünglicher Zweck von Systemaufrufen (um 1955)
 - transiente Maschinenprogramme und residente Systemsoftware trennen
- logische Sicht: Systemaufrufe aktivieren einen privilegierten Kontext
 - Abschottung des Betriebssystemadressraums
 - Wechsel hin zum eigenen Adressraum des Betriebssystems
 - Erweiterung um den Adressraum des aufrufenden Maschinenprogramms
 - Erlaubnis zur (eingeschränkten) Durchführung bevorrechtigter Funktionen
 - Speicher-/Geräteverwaltung, Ein-/Ausgabe, . . . , Betriebssystemdienste
 - allgemein: direkte Ausführung von Programmen der Befehlssatzebene
 - Zusicherung eigener Softwarebetriebsmittel zur Programmausführung
 - Stapelspeicher: $1 : 1 \rightsquigarrow$ prozessbasierter, $N : 1 \rightsquigarrow$ ereignisbasierter Kern
 - Prozessorregistersatz: Sicherung/Wiederherstellung oder Spiegelung



- reale Sicht: ursprünglicher Zweck von Systemaufrufen (um 1955)
 - transiente Maschinenprogramme und residente Systemsoftware trennen
- logische Sicht: Systemaufrufe aktivieren einen privilegierten Kontext
 - Abschottung des Betriebssystemadressraums
 - Wechsel hin zum eigenen Adressraum des Betriebssystems
 - Erweiterung um den Adressraum des aufrufenden Maschinenprogramms
 - Erlaubnis zur (eingeschränkten) Durchführung bevorrechtigter Funktionen
 - Speicher-/Geräteverwaltung, Ein-/Ausgabe, . . . , Betriebssystemdienste
 - allgemein: direkte Ausführung von Programmen der Befehlssatzebene
 - Zusicherung eigener Softwarebetriebsmittel zur Programmausführung
 - Stapelspeicher: $1 : 1 \rightsquigarrow$ prozessbasierter, $N : 1 \rightsquigarrow$ ereignisbasierter Kern
 - Prozessorregistersatz: Sicherung/Wiederherstellung oder Spiegelung



- reale Sicht: ursprünglicher Zweck von Systemaufrufen (um 1955)
 - transiente Maschinenprogramme und residente Systemsoftware trennen
- logische Sicht: Systemaufrufe aktivieren einen privilegierten Kontext
 - Abschottung des Betriebssystemadressraums
 - Wechsel hin zum eigenen Adressraum des Betriebssystems
 - Erweiterung um den Adressraum des aufrufenden Maschinenprogramms
 - Erlaubnis zur (eingeschränkten) Durchführung bevorrechtigter Funktionen
 - Speicher-/Geräteverwaltung, Ein-/Ausgabe, . . . , Betriebssystemdienste
 - allgemein: direkte Ausführung von Programmen der Befehlssatzebene
 - Zusicherung eigener Softwarebetriebsmittel zur Programmausführung
 - Stapelspeicher: $1 : 1 \rightsquigarrow$ prozessbasierter, $N : 1 \rightsquigarrow$ ereignisbasierter Kern
 - Prozessorregistersatz: Sicherung/Wiederherstellung oder Spiegelung



- reale Sicht: ursprünglicher Zweck von Systemaufrufen (um 1955)
 - transiente Maschinenprogramme und residente Systemsoftware trennen
- logische Sicht: Systemaufrufe aktivieren einen privilegierten Kontext
 - Abschottung des Betriebssystemadressraums
 - Wechsel hin zum eigenen Adressraum des Betriebssystems
 - Erweiterung um den Adressraum des aufrufenden Maschinenprogramms
 - Erlaubnis zur (eingeschränkten) Durchführung bevorrechtigter Funktionen
 - Speicher-/Geräteverwaltung, Ein-/Ausgabe, . . . , Betriebssystemdienste
 - allgemein: direkte Ausführung von Programmen der Befehlssatzebene
 - Zusicherung eigener Softwarebetriebsmittel zur Programmausführung
 - Stapelspeicher: $1 : 1 \rightsquigarrow$ prozessbasierter, $N : 1 \rightsquigarrow$ ereignisbasierter Kern
 - Prozessorregistersatz: Sicherung/Wiederherstellung oder Spiegelung



Abschottung und bevorrechtigte Ausführung

Systemaufrufe als eine synchrone Programmunterbrechung (*trap*) zu realisieren, ist ein mögliches Mittel zum Zweck und kein Muss

- effektiv müssen mit dem Mittel zwei Eigenschaften durchsetzbar sein:
 - i **privilegierter Arbeitsmodus** für den Betriebssystemkern
 - ii **Integrität** – Verhinderung einer Infiltration⁵ ersterer Eigenschaft

⁵Im Sinne von „verdeckte Spionage und Sabotage in anderen Strukturen“.

Abschottung und bevorrechtigte Ausführung

Systemaufrufe als eine synchrone Programmunterbrechung (*trap*) zu realisieren, ist ein mögliches Mittel zum Zweck und kein Muss

- effektiv müssen mit dem Mittel zwei Eigenschaften durchsetzbar sein:
 - i **privilegierter Arbeitsmodus** für den Betriebssystemkern
 - ii **Integrität** – Verhinderung einer Infiltration⁵ ersterer Eigenschaft
- ein *Trap* ist hinreichendes Mittel, aber auch vergleichsweise teuer
 - Zustandssicherung, Speicher- bzw. Tabellensuchen (*table look-up*)

⁵Im Sinne von „verdeckte Spionage und Sabotage in anderen Strukturen“.

Abschottung und bevorrechtigte Ausführung

Systemaufrufe als eine synchrone Programmunterbrechung (*trap*) zu realisieren, ist ein mögliches Mittel zum Zweck und kein Muss

- effektiv müssen mit dem Mittel zwei Eigenschaften durchsetzbar sein:
 - i **privilegierter Arbeitsmodus** für den Betriebssystemkern
 - ii **Integrität** – Verhinderung einer Infiltration⁵ ersterer Eigenschaft
- ein *Trap* ist hinreichendes Mittel, aber auch vergleichsweise teuer
 - Zustandssicherung, Speicher- bzw. Tabellensuchen (*table look-up*)

Systemaufrufbeschleunigung durch **Spezialbefehle** (Intel, Pentium II)

- privilegierten Programmtext nahezu „in Reihe“ (*inline*) anordnen

```
1      movl $1f, %edx ; user mode continuation address
2      movl %esp, %ecx ; user mode stack pointer
3      sysenter        ; enlist in privileged mode
4 1:
```

- vgl. auch VDSO (*virtual dynamic shared object*) in Linux

⁵Im Sinne von „verdeckte Spionage und Sabotage in anderen Strukturen“.

- Kontextwechsel der CPU ohne Kontextsicherung und Tabellensuche

- sysenter**
 - setzt CS, EIP und SS, ESP auf systemspezifische Werte
 - schaltet Segmentierung ab (CS und SS: $[0..2^{32} - 1]$)
 - sperrt asynchrone Programmunterbrechungen (IRQ)
 - aktiviert Schutzring 0
- sysexit**
 - setzt CS und SS auf prozessspezifische Werte
 - setzt EIP/ESP auf die in EDX/ECX stehenden Werte
 - aktiviert Schutzring 3 – nur von Ring 0 aus ausführbar



- Kontextwechsel der CPU ohne Kontextsicherung und Tabellensuche
 - **sysenter**
 - setzt CS, EIP und SS, ESP auf systemspezifische Werte
 - schaltet Segmentierung ab (CS und SS: $[0..2^{32} - 1]$)
 - sperrt asynchrone Programmunterbrechungen (IRQ)
 - aktiviert Schutzring 0
 - **sysexit**
 - setzt CS und SS auf prozessspezifische Werte
 - setzt EIP/ESP auf die in EDX/ECX stehenden Werte
 - aktiviert Schutzring 3 – nur von Ring 0 aus ausführbar
- das Betriebssystem belegt **modellspezifische Register** der CPU vor
 - MSR (*model-specific register*) 174h, 175h, 176h: CS, ESP und EIP, resp.
 - bei sysenter: $SS = MSR[174h] + 8$
 - bei sysexit: $CS = MSR[174h] + 16$, $SS = MSR[174h] + 24$
 - mit $MSR[174h]$ als eine Art „Basisindexregister“ in die Segmenttabelle



- Kontextwechsel der CPU ohne Kontextsicherung und Tabellensuche
 - sysenter**
 - setzt CS, EIP und SS, ESP auf systemspezifische Werte
 - schaltet Segmentierung ab (CS und SS: $[0..2^{32} - 1]$)
 - sperrt asynchrone Programmunterbrechungen (IRQ)
 - aktiviert Schutzring 0
 - sysexit**
 - setzt CS und SS auf prozessspezifische Werte
 - setzt EIP/ESP auf die in EDX/ECX stehenden Werte
 - aktiviert Schutzring 3 – nur von Ring 0 aus ausführbar
- das Betriebssystem belegt **modellspezifische Register** der CPU vor
 - MSR (*model-specific register*) 174h, 175h, 176h: CS, ESP und EIP, resp.
 - bei sysenter: $SS = MSR[174h] + 8$
 - bei sysexit: $CS = MSR[174h] + 16$, $SS = MSR[174h] + 24$
 - mit $MSR[174h]$ als eine Art „Basisindexregister“ in die Segmenttabelle
- Kontextsicherung liegt komplett in Hand des Benutzerprozesses...



- Kontextwechsel der CPU ohne Kontextsicherung und Tabellensuche
 - sysenter**
 - setzt CS, EIP und SS, ESP auf systemspezifische Werte
 - schaltet Segmentierung ab (CS und SS: $[0..2^{32} - 1]$)
 - sperrt asynchrone Programmunterbrechungen (IRQ)
 - aktiviert Schutzring 0
 - sysexit**
 - setzt CS und SS auf prozessspezifische Werte
 - setzt EIP/ESP auf die in EDX/ECX stehenden Werte
 - aktiviert Schutzring 3 – nur von Ring 0 aus ausführbar
- das Betriebssystem belegt **modellspezifische Register** der CPU vor
 - MSR (*model-specific register*) 174h, 175h, 176h: CS, ESP und EIP, resp.
 - bei sysenter: $SS = MSR[174h] + 8$
 - bei sysexit: $CS = MSR[174h] + 16$, $SS = MSR[174h] + 24$
 - mit $MSR[174h]$ als eine Art „Basisindexregister“ in die Segmenttabelle
- Kontextsicherung liegt komplett in Hand des Benutzerprozesses...
- alternativ: **syscall/sysret** (ursprünglich AMD; aber auch Intel 64)



Zusicherung eigener Softwarebetriebsmittel

- Prozessorregistersatz
 - im Regelfall durch Sicherung und Wiederherstellung von Registerinhalten



Zusicherung eigener Softwarebetriebsmittel

- Prozessorregistersatz
 - im Regelfall durch Sicherung und Wiederherstellung von Registerinhalten
 - etwa der Stapelzeiger bei IA-32 [2]: Tupel (SS, ESP) sichern⁶
 - Statusregister und Befehlszeiger (*program counter*) sichern
 - alle, nur flüchtige oder wirklich verwendete Arbeitsregister sichern [4]
 - ↪ dazu den Stapspeicher des Betriebssystemkerns nutzen ↗ Stapelwechsel

⁶Ausnahme *real-address mode*.



Zusicherung eigener Softwarebetriebsmittel

■ Prozessorregistersatz

- im Regelfall durch Sicherung und Wiederherstellung von Registerinhalten
 - etwa der Stapelzeiger bei IA-32 [2]: Tupel (SS, ESP) sichern⁶
 - Statusregister und Befehlszeiger (*program counter*) sichern
 - alle, nur flüchtige oder wirklich verwendete Arbeitsregister sichern [4]
→ dazu den Stapspeicher des Betriebssystemkerns nutzen ↼ Stapelwechsel
- verschiedentlich auch (zusätzlich) durch Spiegelung einzelner Register
 - etwa der Stapelzeiger beim MC68020: A7 ⇔ SP und USP [3]

⁶Ausnahme *real-address mode*.



Zusicherung eigener Softwarebetriebsmittel

- Prozessorregistersatz
 - im Regelfall durch Sicherung und Wiederherstellung von Registerinhalten
 - etwa der Stapelzeiger bei IA-32 [2]: Tupel (SS, ESP) sichern⁶
 - Statusregister und Befehlszeiger (*program counter*) sichern
 - alle, nur flüchtige oder wirklich verwendete Arbeitsregister sichern [4]
 - dazu den Stapspeicher des Betriebssystemkerns nutzen ↗ Stapelwechsel
 - verschiedentlich auch (zusätzlich) durch Spiegelung einzelner Register
 - etwa der Stapelzeiger beim MC68020: A7 ⇔ SP und USP [3]
- Stapspeicher
 - dem Systemaufruf einen Stapel für den Betriebssystemkern zuteilen
 - logische Konsequenz, wenn der Betriebssystemadressraum abgeschottet ist

⁶Ausnahme *real-address mode*.



Zusicherung eigener Softwarebetriebsmittel

■ Prozessorregistersatz

- im Regelfall durch Sicherung und Wiederherstellung von Registerinhalten
 - etwa der Stapelzeiger bei IA-32 [2]: Tupel (SS, ESP) sichern⁶
 - Statusregister und Befehlszeiger (*program counter*) sichern
 - alle, nur flüchtige oder wirklich verwendete Arbeitsregister sichern [4]
 - ↪ dazu den Stapspeicher des Betriebssystemkerns nutzen ↼ Stapelwechsel
- verschiedentlich auch (zusätzlich) durch Spiegelung einzelner Register
 - etwa der Stapelzeiger beim MC68020: A7 ⇔ SP und USP [3]

■ Stapspeicher

- dem Systemaufruf einen Stapel für den Betriebssystemkern zuteilen
 - ↪ logische Konsequenz, wenn der Betriebssystemadressraum abgeschottet ist
 - einen Stapel im Betriebssystem für alle Kernfäden im Maschinenprogramm
 - ↪ typisch für ereignisbasierte Kerne ($N : 1$)
 - einen Stapel im Betriebssystem pro Kernfaden im Maschinenprogramm
 - ↪ typisch für prozessbasierte Kerne ($1 : 1$)

⁶Ausnahme *real-address mode*.



Zusicherung eigener Softwarebetriebsmittel

■ Prozessorregistersatz

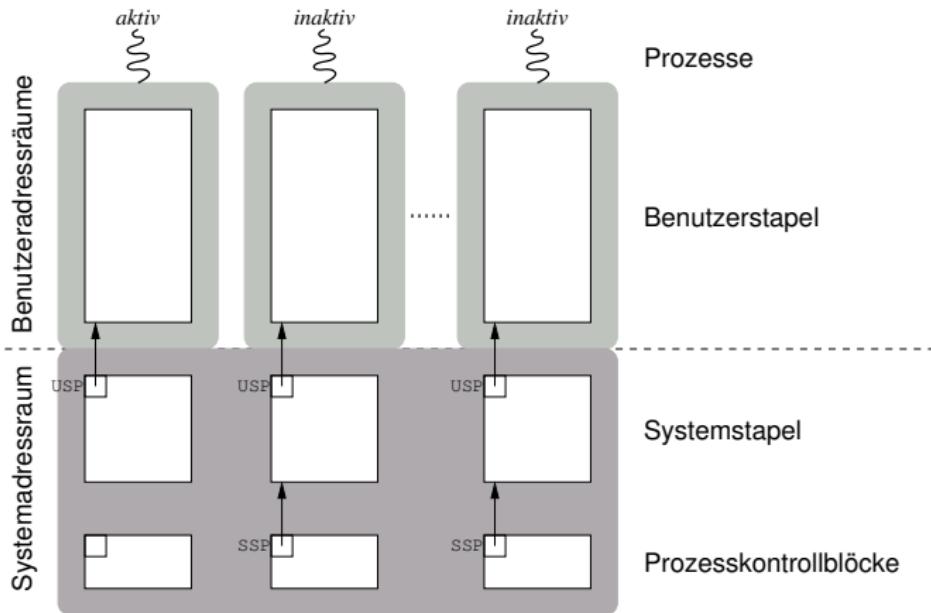
- im Regelfall durch Sicherung und Wiederherstellung von Registerinhalten
 - etwa der Stapelzeiger bei IA-32 [2]: Tupel (SS, ESP) sichern⁶
 - Statusregister und Befehlszeiger (*program counter*) sichern
 - alle, nur flüchtige oder wirklich verwendete Arbeitsregister sichern [4]
 - dazu den Stapspeicher des Betriebssystemkerns nutzen ↼ Stapelwechsel
- verschiedentlich auch (zusätzlich) durch Spiegelung einzelner Register
 - etwa der Stapelzeiger beim MC68020: A7 ⇔ SP und USP [3]

■ Stapspeicher

- dem Systemaufruf einen Stapel für den Betriebssystemkern zuteilen
 - logische Konsequenz, wenn der Betriebssystemadressraum abgeschottet ist
 - einen Stapel im Betriebssystem für alle Kernfäden im Maschinenprogramm
→ typisch für ereignisbasierte Kerne ($N : 1$)
 - einen Stapel im Betriebssystem pro Kernfaden im Maschinenprogramm
→ typisch für prozessbasierte Kerne ($1 : 1$)
- ähnlich wird (oft) bei asynchronen Programmunterbrechungen verfahren

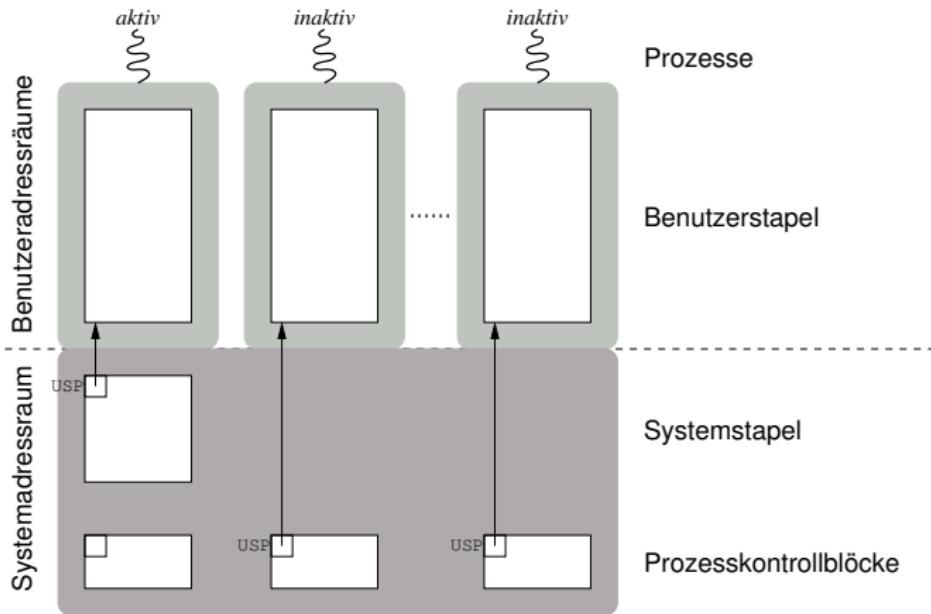
⁶Ausnahme *real-address mode*.





- Prozessverdrängung/-blockierung im Kern ist (fast) überall möglich





- Prozessverdrängung/-blockierung im Kern ist bedingt möglich [1]



Gliederung

Rekapitulation

- Mehrebenenmaschinen

- Teilinterpretierung

Funktionale Hierarchie

- Analogie

- Abstraktion

Implementierung

- Entvirtualisierung

- Befehlsarten

- Ablaufkontext

Zusammenfassung



- Rekapitulation
 - Maschinenprogramme werden durch Betriebssysteme teilinterpretiert
 - Teilinterpretierung wird (insb. auch) durch Systemaufrufe ausgelöst
- funktionale Hierarchie
 - Systemaufrufstümpfe trennen Maschinenprogramm von Betriebssystem
 - im Betriebssystem aktiviert ein Systemaufrufzuteiler die Systemfunktionen
 - der Systemaufruf ist ein adressraumübergreifender Prozeduraufruf
- Implementierung
 - ein Systemaufruf ist als Primitiv- oder Komplexbefehl realisiert
 - Primitivbefehle nutzen (ausschließlich) Register zur Parameterübergabe
 - Komplexbefehle erlauben einen unverfälschten Zustandsabzug
 - Fehler werden durch spezielle Rückgabewerte oder Merker signalisiert
 - einem Systemaufruf ist ein Betriebssystemstapel 1 : 1 oder N : 1 zugeteilt



- Rekapitulation
 - Maschinenprogramme werden durch Betriebssysteme teilinterpretiert
 - Teilinterpretierung wird (insb. auch) durch Systemaufrufe ausgelöst
- funktionale Hierarchie
 - Systemaufrufstümpfe trennen Maschinenprogramm von Betriebssystem
 - im Betriebssystem aktiviert ein Systemaufrufzuteiler die Systemfunktionen
 - der Systemaufruf ist ein adressraumübergreifender Prozeduraufruf
- Implementierung
 - ein Systemaufruf ist als Primitiv- oder Komplexbefehl realisiert
 - Primitivbefehle nutzen (ausschließlich) Register zur Parameterübergabe
 - Komplexbefehle erlauben einen unverfälschten Zustandsabzug
 - Fehler werden durch spezielle Rückgabewerte oder Merker signalisiert
 - einem Systemaufruf ist ein Betriebssystemstapel 1 : 1 oder N : 1 zugeteilt



- Rekapitulation
 - Maschinenprogramme werden durch Betriebssysteme teilinterpretiert
 - Teilinterpretierung wird (insb. auch) durch Systemaufrufe ausgelöst
- funktionale Hierarchie
 - Systemaufrufstümpfe trennen Maschinenprogramm von Betriebssystem
 - im Betriebssystem aktiviert ein Systemaufrufzuteiler die Systemfunktionen
 - der Systemaufruf ist ein adressraumübergreifender Prozeduraufruf
- Implementierung
 - ein Systemaufruf ist als Primitiv- oder Komplexbefehl realisiert
 - Primitivbefehle nutzen (ausschließlich) Register zur Parameterübergabe
 - Komplexbefehle erlauben einen unverfälschten Zustandsabzug
 - Fehler werden durch spezielle Rückgabewerte oder Merker signalisiert
 - einem Systemaufruf ist ein Betriebssystemstapel 1 : 1 oder N : 1 zugeteilt



- Rekapitulation
 - Maschinenprogramme werden durch Betriebssysteme teilinterpretiert
 - Teilinterpretierung wird (insb. auch) durch Systemaufrufe ausgelöst
- funktionale Hierarchie
 - Systemaufrufstümpfe trennen Maschinenprogramm von Betriebssystem
 - im Betriebssystem aktiviert ein Systemaufrufzuteiler die Systemfunktionen
 - der Systemaufruf ist ein adressraumübergreifender Prozeduraufruf
- Implementierung
 - ein Systemaufruf ist als Primitiv- oder Komplexbefehl realisiert
 - Primitivbefehle nutzen (ausschließlich) Register zur Parameterübergabe
 - Komplexbefehle erlauben einen unverfälschten Zustandsabzug
 - Fehler werden durch spezielle Rückgabewerte oder Merker signalisiert
 - einem Systemaufruf ist ein Betriebssystemstapel 1 : 1 oder N : 1 zugeteilt



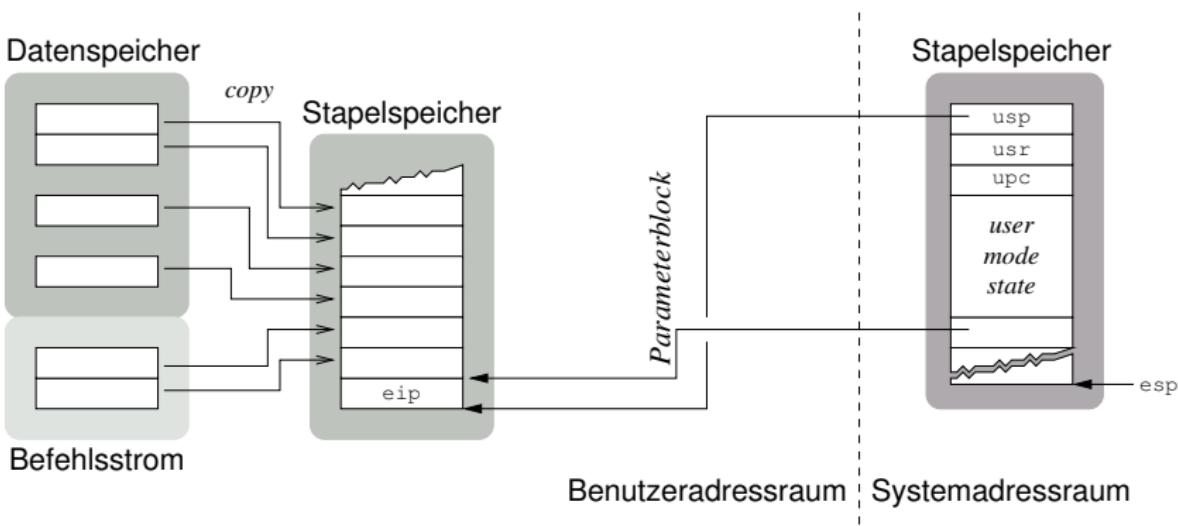
Literaturverzeichnis I

- [1] DRAVES, R. ; BERSHAD, B. N. ; RASHID, R. F. ; DEAN, R. W.:
Using Continuations to Implement Thread Management and Communication in
Operating Systems.
In: *Proceedings of the Thirteenth ACM Symposium on Operating System Principles*
(SOSP 1991), ACM Press, 1991. –
ISBN 0-89791-447-3, S. 122–136
- [2] INTEL CORPORATION (Hrsg.):
Intel 64 and IA-32 Architectures: Software Developer's Manual.
Order Number: 325462-045US.
Santa Clara, California, USA: Intel Corporation, Jan. 2013
- [3] MOTOROLA SEMICONDUCTOR PRODUCTS INC. (Hrsg.):
MC68020-MC68EC02009E Microprocessors User's Manual.
First Edition.
Phoenix, Arizona, USA: Motorola Semiconductor Products Inc., 1992
- [4] SCHRÖDER-PREIKSCHAT, W. ; KLEINÖDER, J. :
Systemprogrammierung.
http://www4.informatik.uni-erlangen.de/Lehre/WS08/V_SP, 2008 ff.



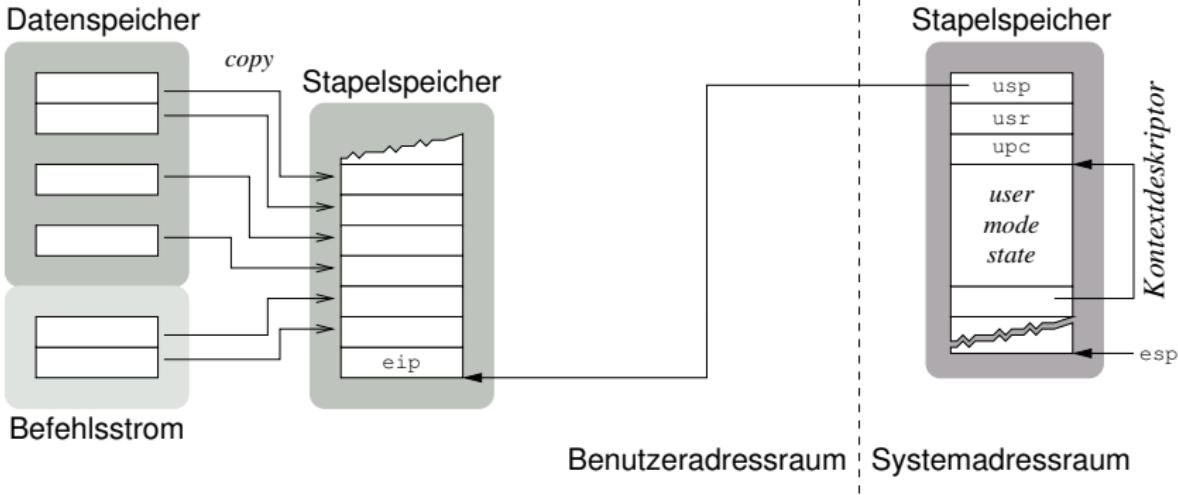
- [5] TANENBAUM, A. S.:
Multilevel Machines.
In: *Structured Computer Organization*.
Prentice-Hall, Inc., 1979. –
ISBN 0-130-95990-1, Kapitel 7, S. 344–386





- die Systemfunktion lädt Parameter direkt vom Benutzerstapel
 - indirekte Adressierung durch einen Zeiger auf den Parameterblock
 - Verzicht auf Ortstransparenz in der Systemfunktion
- der Prozessorstatus ist komplett betriebssystemseitig gesichert





- Systemaufrufparameter indirekt über einen Kontextdeskriptor laden
 - den Parameterblock vom Benutzerstapelzeiger ableiten
 - unterstützt insb. die merkerbasierte Signalisierung von Fehlerkodes
- Offenlegung des durch die CPU gesicherten Prozessorzustands

