

Übung zu Betriebssysteme

Kontextwechsel

12. Dezember 2024

Maximilian Ott, Dustin Nguyen, Phillip Raffeck & Bernhard Heinloth

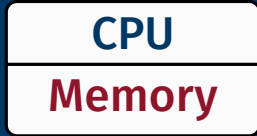
Lehrstuhl für Informatik 4
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg



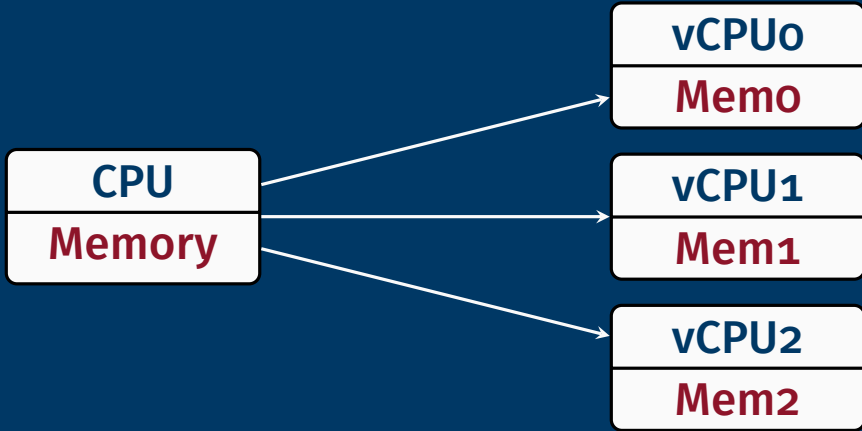
Lehrstuhl für Verteilte Systeme
und Betriebssysteme



Friedrich-Alexander-Universität
Technische Fakultät



tatsächliche
Hardware



tatsächliche
Hardware

illusionierte
Hardware

- Speicher virtualisieren

- CPU virtualisieren

■ Speicher virtualisieren ist einfach:

```
#define MEMSIZE 100  
char Mem0[MEMSIZE];  
char Mem1[MEMSIZE];  
char Mem2[MEMSIZE];
```



■ CPU virtualisieren

■ Speicher virtualisieren ist einfach:

```
#define MEMSIZE 100  
char Mem0[MEMSIZE];  
char Mem1[MEMSIZE];  
char Mem2[MEMSIZE];
```



■ CPU virtualisieren

- nicht teilbar im Ort

■ Speicher virtualisieren ist einfach:

```
#define MEMSIZE 100  
char Mem0[MEMSIZE];  
char Mem1[MEMSIZE];  
char Mem2[MEMSIZE];
```



■ CPU virtualisieren

- nicht teilbar im Ort
- aber teilbar in der Zeit

Koroutinen

Motivation: mehr Aktivitätsträger als CPUs

```
void foo(){
    int f = 42;

    while (f--){
        kout << "foo"
            << f
            << endl;

    }

}
```

```
void bar(){
    int b = 23;

    while (b--){
        kout << "bar"
            << b
            << endl;

    }

}
```

Einseitiger Aufruf

```
void foo(){
    int f = 42;

    while (f--){
        cout << "foo"
             << f
             << endl;

    }
    bar();
}
```

```
void bar(){
    int b = 23;

    while (b--){
        cout << "bar"
             << b
             << endl;

    }
}
```

Einseitiger Aufruf

foo41

foo40

...

foo1

foo0

Einseitiger Aufruf

foo41

foo40

...

foo1

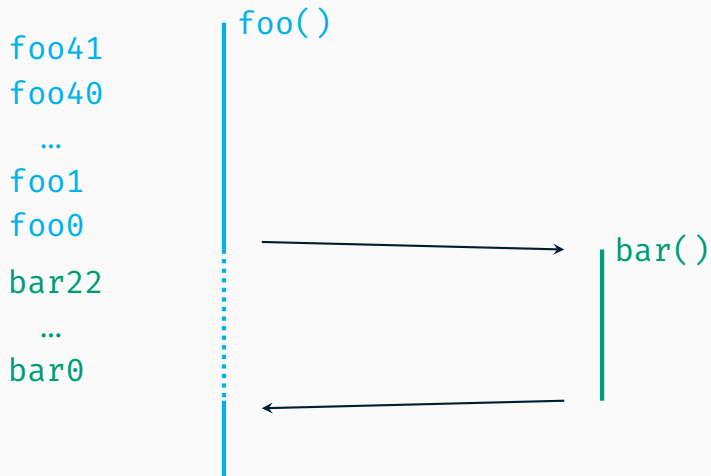
foo0

bar22

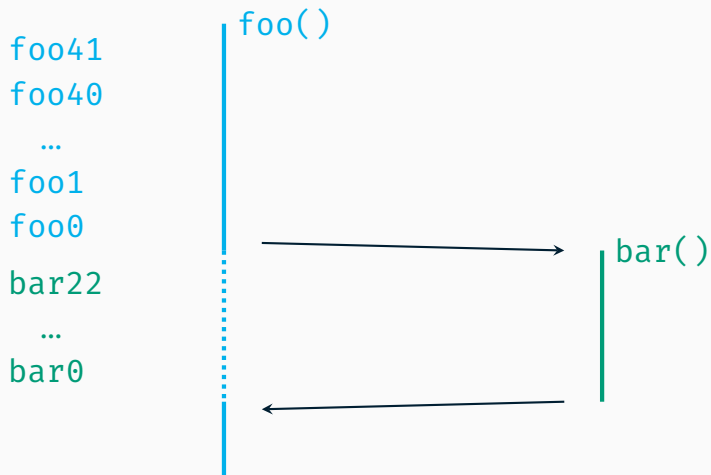
...

bar0

Einseitiger Aufruf



Einseitiger Aufruf



⚡ nicht parallel

Gegenseitiger Aufruf

```
void foo(){
    static int f = 42;

    while (f--){
        kout << "foo"
            << f
            << endl;
        bar();
    }
}
```

```
void bar(){
    static int b = 23;

    while (b--){
        kout << "bar"
            << b
            << endl;
        foo();
    }
}
```

Gegenseitiger Aufruf

foo41

bar22

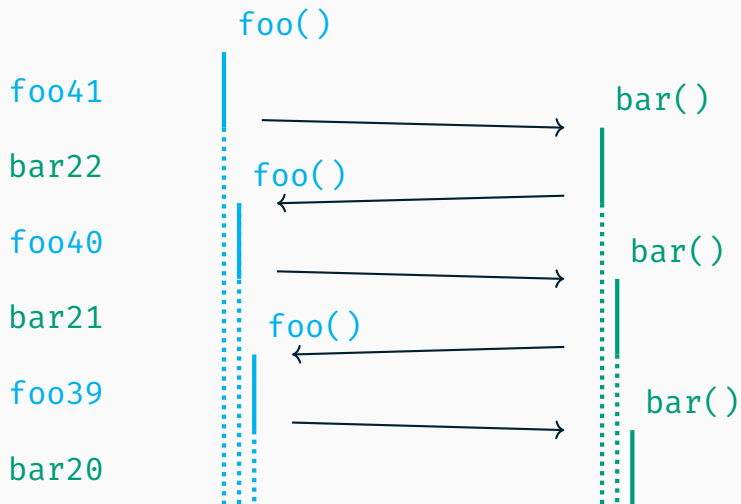
foo40

bar21

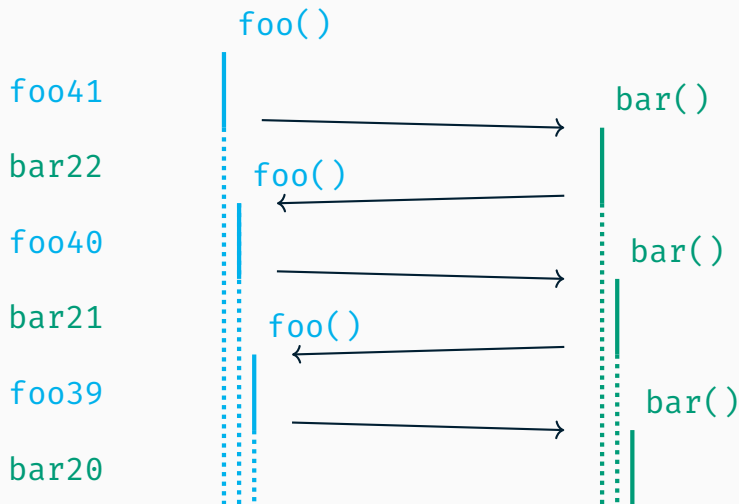
foo39

bar20

Gegenseitiger Aufruf



Gegenseitiger Aufruf



⚡ hoher Speicherverbrauch & (ggf.) Endlosrekursion

Umschaltung



Umschaltung



Kontrollflusszustand **sichern** & **laden**

Umschaltung



Kontrollflusszustand **sichern** & **laden**

- Stack
- Register

Umschaltung



Kontrollflusszustand **sichern** & **laden**

- Stack
 - Register
- } Kontext

Umschaltung



Kontrollflusszustand **sichern** & **laden**

- Stack
 - Register
 - Umschaltefunktion
- } Kontext

Umschaltung



Kontrollflusszustand **sichern** & **laden**

- Stack
- Register } Kontext
- Umschaltefunktion

```
context_switch(StackPointer *curr, StackPointer *next)
```

Wechselt vom aktuellen Kontext **curr** nach **next**

Umschaltung

```
void foo(){
    int f = 42;

    while (f--){
        kout << "foo"
            << f
            << endl;
        context_switch(
            &stack_foo,
            &stack_bar
        );
    }
}
```

```
void bar(){
    int b = 23;

    while (b--){
        kout << "bar"
            << b
            << endl;
        context_switch(
            &stack_bar,
            &stack_foo
        );
    }
}
```

Umschaltung

foo41

bar22

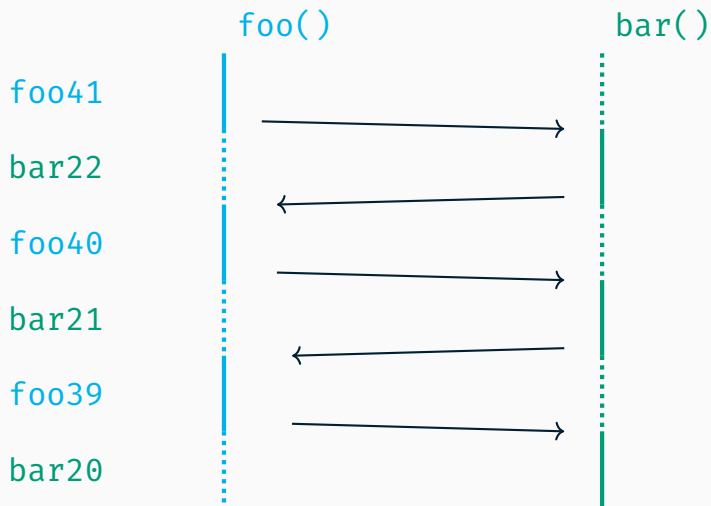
foo40

bar21

foo39

bar20

Umschaltung



Genau was wir wollen.

Bild: twemoji (modifiziert)



Exkurs:

**Von der Hochsprache
zum Maschinencode**

```
#include "user/app1/appl.h"
#include "device/textstream.h"
#include "interrupt/guarded.h"
#include "machine/core.h"

extern TextStream kout;

void Application::action() {
    unsigned core = Core::getID();
    for (unsigned n = 0; ; ++n) {
        Guarded section;
        kout.setPos(0, id);
        kout << n;
        kout.flush();
    }
}
```

```
#include "user/app1/appl.h"
#include "device/textstream.h"
#include "interrupt/guarded.h"
#include "machine/core.h"

extern TextStream kout;

void Application::action() {
    unsigned core = Core::getID();
    for (unsigned n = 0; ; ++n) {
        Guarded section;
        kout.setPos(0, id);
        kout << n;
        kout.flush();
    }
}
```

höhere Programmiersprache (3. Generation)

```
#include "user/app1/appl.h"
#include "device/textstream.h"
#include "interrupt/guarded.h"
#include "machine/core.h"

extern TextStream kout;

void Application::action() {
    unsigned core = Core::getID();
    for (unsigned n = 0; ; ++n) {
        Guarded section;
        kout.setPos(0, id);
        kout << n;
        kout.flush();
    }
}
```

höhere Programmiersprache (3. Generation)


```
#include "user/app1/appl.h"
#include "device/textstream.h"
#include "interrupt/guarded.h"
#include "machine/core.h"

extern TextStream kout;

void Application::action() {
    unsigned core = Core::getID();
    for (unsigned n = 0; ; ++n) {
        Guarded section;
        kout.setPos(0, id);
        kout << n;
        kout.flush();
    }
}
```

```
f3 0f 1e fa 55 53 31 db
48 83 ec 08 e8 4f d1 ff
ff 89 c5 0f 1f 44 00 00
e8 e3 c3 ff ff 89 ea 31
f6 bf 84 45 02 01 e8 e5
d2 ff ff 89 de bf 20 45
02 01 83 c3 01 e8 c6 fd
ff ff bf 20 45 02 01 e8
1c bf ff ff e8 37 c4 ff
ff eb cd
```

höhere Programmiersprache (3. Generation)

```
#include "user/app1/appl.h"
#include "device/textstream.h"
#include "interrupt/guarded.h"
#include "machine/core.h"

extern TextStream kout;

void Application::action() {
    unsigned core = Core::getID();
    for (unsigned n = 0; ; ++n) {
        Guarded section;
        kout.setPos(0, id);
        kout << n;
        kout.flush();
    }
}
```

höhere Programmiersprache
(3. Generation)

```
f3 0f 1e fa 55 53 31 db
48 83 ec 08 e8 4f d1 ff
ff 89 c5 0f 1f 44 00 00
e8 e3 c3 ff ff 89 ea 31
f6 bf 84 45 02 01 e8 e5
d2 ff ff 89 de bf 20 45
02 01 83 c3 01 e8 c6 fd
ff ff bf 20 45 02 01 e8
1c bf ff ff e8 37 c4 ff
ff eb cd
```

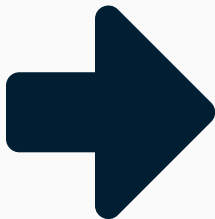
Maschinensprache
(1. Generation)

```
#include "user/app1/appl.h"
#include "device/textstream.h"
#include "interrupt/guarded.h"
#include "machine/core.h"

extern TextStream kout;

void Application::action() {
    unsigned core = Core::getID();
    for (unsigned n = 0; ; ++n) {
        Guarded section;
        kout.setPos(0, id);
        kout << n;
        kout.flush();
    }
}
```

höhere Programmiersprache
(3. Generation)



```
f3 0f 1e fa 55 53 31 db
48 83 ec 08 e8 4f d1 ff
ff 89 c5 0f 1f 44 00 00
e8 e3 c3 ff ff 89 ea 31
f6 bf 84 45 02 01 e8 e5
d2 ff ff 89 de bf 20 45
02 01 83 c3 01 e8 c6 fd
ff ff bf 20 45 02 01 e8
1c bf ff ff e8 37 c4 ff
ff eb cd
```

Maschinensprache
(1. Generation)

```
#include "user/app1/appl.h"
#include "device/textstream.h"
#include "interrupt/guarded.h"
#include "machine/core.h"

extern TextStream kout;

void Application::action() {
    unsigned core = Core::getID();
    for (unsigned n = 0; ; ++n) {
        Guarded section;
        kout.setPos(0, id);
        kout << n;
        kout.flush();
    }
}
```

höhere Programmiersprache
(3. Generation)



```
f3 0f 1e fa 55 53 31 db
48 83 ec 08 e8 4f d1 ff
ff 89 c5 0f 1f 44 00 00
e8 e3 c3 ff ff 89 ea 31
f6 bf 84 45 02 01 e8 e5
d2 ff ff 89 de bf 20 45
02 01 83 c3 01 e8 c6 fd
ff ff bf 20 45 02 01 e8
1c bf ff ff e8 37 c4 ff
ff eb cd
```

Maschinensprache
(1. Generation)

```
#include "user/app1/appl.h"
#include "device/textstream.h"
#include "interrupt/guarded.h"
#include "machine/core.h"

extern TextStream kout;

void Application::action() {
    unsigned core = Core::getID();
    for (unsigned n = 0; ; ++n) {
        Guarded section;
        kout.setPos(0, id);
        kout << n;
        kout.flush();
    }
}
```

```
class TextStream : public OutputStream, public TextWindow {
    // ...

} kout;

void Application::action() {
    unsigned n = 0;
    unsigned core;
    core = Core::getID();
    while(true) {
        Guard::enter();
        kout.setPos(0, id);
        unsigned i = n
        n += 1;
        kout.operator<<(i);
        kout.flush();
        Guard::leave();
    }
}
```

```
class TextStream : public OutputStream, public TextWindow {
    // ...

} kout;

void Application::action(Application * this) {
    unsigned n = 0;
    unsigned core;
    core = Core::getID();
    while(true) {
        Guard::enter();
        TextWindow::setPos(&kout, 0, id);
        unsigned i = n
        n += 1;
        OutputStream::operator<<(&kout, i);
        TextStream::flush(&kout);
        Guard::leave();
    }
}
```

```
class TextStream {
    class OutputStream { ... };
    class TextWindow { ... };
} kout;

void Application::action(Application * this) {
    unsigned n = 0;
    unsigned core;
    core = Core::getID();
    while(true) {
        Guard::enter();
        TextWindow::setPos(&(kout.TextWindow), 0, id);
        unsigned i = n
        n += 1;
        OutputStream::operator<<(&(kout.OutputStream), i);
        TextStream::flush(&(kout.OutputStream));
        Guard::leave();
    }
}
```



```
class TextStream {
    class OutputStream { ... }; // offset 0
    class TextWindow { ... }; // offset 64
} kout;

void Application::action(Application * this) {
    unsigned n = 0;
    unsigned core;
    core = Core::getID();
    while(true) {
        Guard::enter();
        TextWindow::setPos(&kout+64, 0, id);
        unsigned i = n
        n += 1;
        OutputStream::operator<<(&kout+0, i);
        TextStream::flush(&kout+0);
        Guard::leave();
    }
}
```

```
class TextStream {
    class OutputStream { ... }; // offset 0
    class TextWindow { ... }; // offset 64
} kout;

void _ZN11Application6actionEv(Application * this) {
    unsigned n = 0;
    unsigned core;
    core = _ZN4Core5getIDEv();
    while(true) {
        _ZN5Guard5enterEv();
        _ZN10TextWindow6setPosEjj(&kout+64, 0, id);
        unsigned i = n
        n += 1;
        _ZN12OutputStreamlsEj(&kout, i);
        _ZN10TextStream5flushEv(&kout);
        _ZN5Guard5leaveEv();
    }
}
```

```
void _ZN11Application6actionEv(Application * this) {

    unsigned n = 0
    unsigned core;
    core = _ZN4Core5getIDEv();

    while(true) {
        _ZN5Guard5enterEv();

        _ZN10TextWindow6setPosEjj(&kout+64, 0, core)
        unsigned i = n

        n += 1;
        _ZN12OutputStreamlsEj(&kout, i);

        _ZN10TextStream5flushEv(&kout);
        _ZN5Guard5leaveEv();
    }
}
```

```
_ZN11Application6actionEv:  
  endbr64  
  push  rbp  
  push  rbx  
  xor   ebx, ebx  
  sub   rsp, 0x8  
  call  _ZN4Core5getIDEv  
  mov   ebp, eax  
LOOP:  
  call  _ZN5Guard5enterEv  
  mov   edx, ebp  
  xor   esi, esi  
  mov   edi, kout+64  
  call  _ZN10TextWindow6setPosEjj  
  mov   esi, ebx  
  mov   edi, kout  
  add   ebx, 0x1  
  call  _ZN12OutputStreamlsEj  
  mov   edi, kout  
  call  _ZN10TextStream5flushEv  
  call  _ZN5Guard5leaveEv  
  jmp   LOOP
```

```
0100ba80 <_ZN11Application6actionEv>:
  100ba80:  endbr64
  100ba84:  push  rbp
  100ba85:  push  rbx
  100ba86:  xor   ebx, ebx
  100ba88:  sub   rsp, 0x8
  100ba8c:  call  1008be0 <_ZN4Core5getIDEv>
  100ba91:  mov   ebp, eax
  100ba93:  nop   DWORD PTR [rax+rax*1+0x0]
  100ba98:  call  1007e80 <_ZN5Guard5enterEv>
  100ba9d:  mov   edx, ebp
  100ba9f:  xor   esi, esi
  100baa1:  mov   edi, 0x1024584 <kout+64>
  100baa6:  call  1008d90 <_ZN10TextWindow6setPosEjj>
  100baab:  mov   esi, ebx
  100baad:  mov   edi, 0x1024520 <kout>
  100bab2:  add   ebx, 0x1
  100bab5:  call  100b880 <_ZN12OutputStreamlsEj>
  100baba:  mov   edi, 0x1024520 <kout>
  100babf:  call  10079e0 <_ZN10TextStream5flushEv>
  100bac4:  call  1007f00 <_ZN5Guard5leaveEv>
  100bac9:  jmp   100ba98 <_ZN11Application6actionEv+0x18>
```

```
01024520 <kout>
```

```
0100ba80 <_ZN11Application6actionEv>:
  100ba80:  endbr64
  100ba84:  push  rbp
  100ba85:  push  rbx
  100ba86:  xor   ebx, ebx
  100ba88:  sub   rsp, 0x8
  100ba8c:  call  1008be0
  100ba91:  mov   ebp, eax
  100ba93:  nop   DWORD PTR [rax+rax*1+0x0]
  100ba98:  call  1007e80
  100ba9d:  mov   edx, ebp
  100ba9f:  xor   esi, esi
  100baa1:  mov   edi, 0x1024584
  100baa6:  call  1008d90
  100baab:  mov   esi, ebx
  100baad:  mov   edi, 0x1024520
  100bab2:  add   ebx, 0x1
  100bab5:  call  100b880
  100baba:  mov   edi, 0x1024520
  100babf:  call  10079e0
  100bac4:  call  1007f00
  100bac9:  jmp   100ba98
```

```
01024520 <kout>
```

0100ba80 <_ZN11Application6actionEv>:

100ba80:	endbr64	f3 0f 1e fa
100ba84:	push rbp	55
100ba85:	push rbx	53
100ba86:	xor ebx, ebx	31 db
100ba88:	sub rsp, 0x8	48 83 ec 08
100ba8c:	call 1008be0	e8 4f d1 ff ff
100ba91:	mov ebp, eax	89 c5
100ba93:	nop DWORD PTR [rax+rax*1+0x0]	0f 1f 44 00 00
100ba98:	call 1007e80	e8 e3 c3 ff ff
100ba9d:	mov edx, ebp	89 ea
100ba9f:	xor esi, esi	31 f6
100baa1:	mov edi, 0x1024584	bf 84 45 02 01
100baa6:	call 1008d90	e8 e5 d2 ff ff
100baab:	mov esi, ebx	89 de
100baad:	mov edi, 0x1024520	bf 20 45 02 01
100bab2:	add ebx, 0x1	83 c3 01
100bab5:	call 100b880	e8 c6 fd ff ff
100baba:	mov edi, 0x1024520	bf 20 45 02 01
100babf:	call 10079e0	e8 1c bf ff ff
100bac4:	call 1007f00	e8 37 c4 ff ff
100bac9:	jmp 100ba98	eb cd

01024520 <kout>

```
_ZN11Application6actionEv:  
  endbr64  
  push  rbp  
  push  rbx  
  xor   ebx, ebx  
  sub   rsp, 0x8  
  call  _ZN4Core5getIDEv  
  mov   ebp, eax  
LOOP:  
  call  _ZN5Guard5enterEv  
  mov   edx, ebp  
  xor   esi, esi  
  mov   edi, kout+64  
  call  _ZN10TextWindow6setPosEjj  
  mov   esi, ebx  
  mov   edi, kout  
  add   ebx, 0x1  
  call  _ZN12OutputStreamlsEj  
  mov   edi, kout  
  call  _ZN10TextStream5flushEv  
  call  _ZN5Guard5leaveEv  
  jmp   LOOP
```



```
_ZN11Application6actionEv:  
  endbr64  
  push  rbp  
  push  rbx  
  xor   ebx, ebx  
  sub   rsp, 0x8  
  call  _ZN4Core5getIDEv  
  mov   ebp, eax  
LOOP:  
  call  _ZN5Guard5enterEv  
  mov   edx, ebp  
  xor   esi, esi  
  mov   edi, kout+64  
  call  _ZN10TextWindow6setPosEjj  
  mov   esi, ebx  
  mov   edi, kout  
  add   ebx, 0x1  
  call  _ZN12OutputStreamlsEj  
  mov   edi, kout  
  call  _ZN10TextStream5flushEv  
  call  _ZN5Guard5leaveEv  
  jmp   LOOP
```

Assembler

- Sprache der 2. Gen.
(maschinenorientiert)
- **Mnemonics** statt Bytes
- 1:1-Übersetzung

```

_ZN11Application6actionEv:
    endbr64
    push    rbp
    push    rbx
    xor     ebx, ebx
    sub    rsp, 0x8
    call   _ZN4Core5getIDEv
    mov    ebp, eax
LOOP:
    call   _ZN5Guard5enterEv
    mov    edx, ebp
    xor    esi, esi
    mov    edi, kout+64
    call   _ZN10TextWindow6setPosEjj
    mov    esi, ebx
    mov    edi, kout
    add    ebx, 0x1
    call   _ZN12OutputStreamlsEj
    mov    edi, kout
    call   _ZN10TextStream5flushEv
    call   _ZN5Guard5leaveEv
    jmp    LOOP

```

Assembler

- Sprache der 2. Gen.
(maschinenorientiert)
- **Mnemonics** statt Bytes
- 1:1-Übersetzung
- für x64-Architektur
Dokumentation im
Intel-Manual, Vol. 2



Intel® 64 and IA-32 Architectures
Software Developer's Manual

Volume 2 (2A, 2B, 2C & 2D):
Instruction Set Reference, A-Z

NOTE: The Intel 64 and IA-32 Architectures Software Developer's Manual consists of four volumes:
Basic Architecture, Order Number 325385; Instruction Set Reference, A-Z, Order Number 325383;
System Programming Guide, Order Number 325384; Model-Specific Registers, Order Number
325592. Refer to all four volumes when evaluating your design needs.



Syntaxunterschiede bei x86-Assembler

Intel:

```
mov edi, 0x17
```

(Ziel, Quelle)

```
objdump -M intel
```

Standard bei nasm (Netwide Assembler)

AT&T:

```
mov $0x17, %edi
```

(Quelle, Ziel)

```
Standard bei objdump
```

```
und GCC inline asm
```

Exkurs: Aufrufkonvention

Kontextsicherung gemäß Konvention

```
void baz(){  
    ...
```

```
func();
```

```
    ...  
}
```

```
void func(){
```

```
    ...
```

```
    return;  
}
```

Kontextsicherung gemäß Konvention

```
void baz(){
    ...

    // flüchtige Register
    // sichern

    func();

    // flüchtige Register
    // wiederherstellen

    ...
}

void func(){
    ...

    return;
}
```

Kontextsicherung gemäß Konvention

```
void baz(){
    ...

    // flüchtige Register
    // sichern

    func();

    // flüchtige Register
    // wiederherstellen

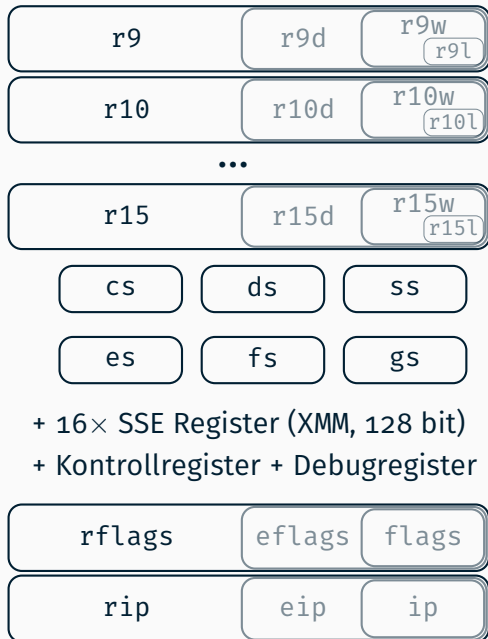
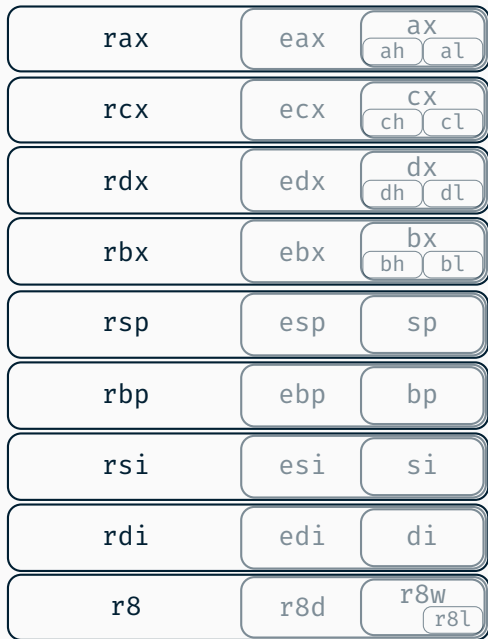
    ...
}
```

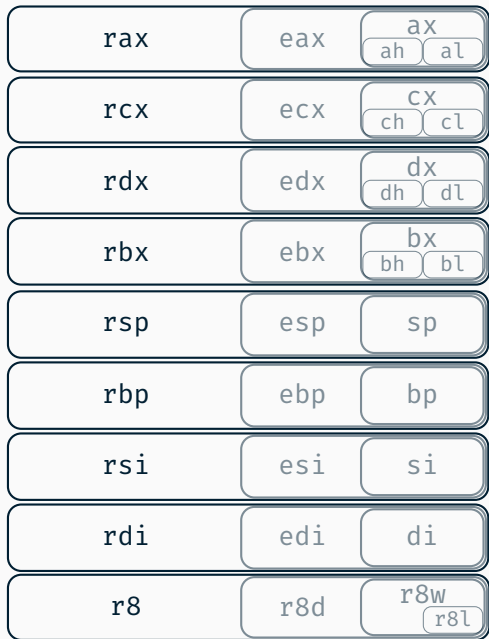
```
void func(){
    // nicht-flüchtige
    // Register
    // sichern

    ...

    // nicht-flüchtige
    // Register
    // wiederherstellen

    return;
}
```





rax	eax	ax ah al	r9	r9d	r9w r9l
rcx	ecx	cx ch cl	r10	r10d	r10w r10l
rdx	edx	dx dh dl	r11	r11d	r11w r11l
rbx	ebx	bx bh bl	r12	r12d	r12w r12l
rsp	esp	sp	r13	r13d	r13w r13l
rbp	ebp	bp	r14	r14d	r14w r14l
rsi	esi	si	r15	r15d	r15w r15l
rdi	edi	di	rflags	eflags	flags
r8	r8d	r8w r8l	rip	eip	ip

rax	eax	ax ah al	r9	r9d	r9w r9l
rcx	ecx	cx ch cl	r10	r10d	r10w r10l
rdx	edx	dx dh dl	r11	r11d	r11w r11l
rbx	ebx	bx bh bl	r12	r12d	r12w r12l
rsp	esp	sp	r13	r13d	r13w r13l
rbp	ebp	bp	r14	r14d	r14w r14l
rsi	esi	si	r15	r15d	r15w r15l
rdi	edi	di	rflags	eflags	flags
r8	r8d	r8w r8l	rip	eip	ip

flüchtige (*scratch / caller-save*) Register

rax	eax	ax ah al	r9	r9d	r9w r9l
rcx	ecx	cx ch cl	r10	r10d	r10w r10l
rdx	edx	dx dh dl	r11	r11d	r11w r11l
rbx	ebx	bx bh bl	r12	r12d	r12w r12l
rsp	esp	sp	r13	r13d	r13w r13l
rbp	ebp	bp	r14	r14d	r14w r14l
rsi	esi	si	r15	r15d	r15w r15l
rdi	edi	di	rflags	eflags	flags
r8	r8d	r8w r8l	rip	eip	ip

flüchtige (*scratch / caller-save*) Register nicht-flüchtig (*non-scratch / callee-save*)

Wieso nicht gleich die
flüchtigen Register beim
Funktionsaufruf nutzen?

Bild: twemoji



rax	eax	ax ah al
rcx	ecx	cx ch cl
rdx	edx	dx dh dl
rbx	ebx	bx bh bl
rsp	esp	sp
rbp	ebp	bp
rsi	esi	si
rdi	edi	di
r8	r8d	r8w r8l

rax	eax	ax ah al
rcx	ecx	cx ch cl
rdx	edx	dx dh dl
rbx	ebx	bx bh bl
rsp	esp	sp
rbp	ebp	bp
rsi	esi	si
rdi	edi	di
r8	r8d	r8w r8l

Rückgabewert

4. Parameter

3. Parameter

2. Parameter

1. Parameter

5. Parameter

Parameterübergabe gemäß Konvention

```
int i = func(23, 42);
```


Parameterübergabe gemäß Konvention

```
int i = func(23, 42);
```

```
; ggf. Register Sicherung  
push r9
```

```
; 2. Parameter in Register rsi  
mov esi, 0x2a
```

```
; 1. Parameter in Register rdi  
mov edi, 0x17
```

```
; Funktionsaufruf  
call func
```

Parameterübergabe gemäß Konvention

```
int i = func(23, 42);
```

```
; ggf. Register Sicherung  
push r9
```

```
; 2. Parameter in Register rsi  
mov esi, 0x2a
```

```
; 1. Parameter in Register rdi  
mov edi, 0x17
```

```
; Funktionsaufruf  
call func  
; pushed implizit die  
; Rücksprungadresse
```

```
L1:
```

Parameterübergabe gemäß Konvention

```
int i = func(23, 42);
```

```
; ggf. Register Sicherung  
push r9
```

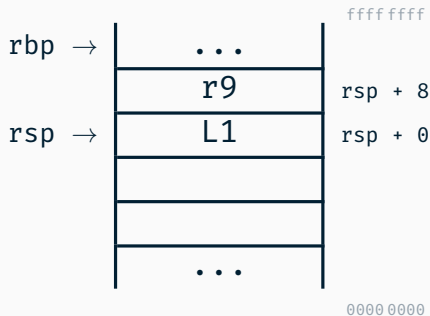
```
; 2. Parameter in Register rsi  
mov esi, 0x2a
```

```
; 1. Parameter in Register rdi  
mov edi, 0x17
```

```
; Funktionsaufruf  
call func  
; pushed implizit die  
; Rücksprungadresse
```

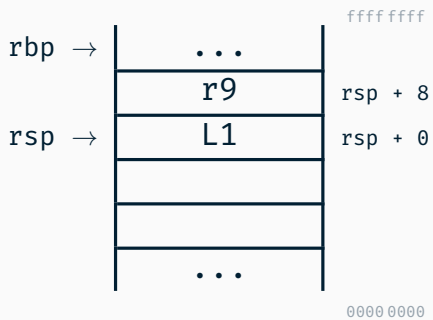
```
L1:
```

Stack beim Funktionsaufruf:



Parameterübergabe gemäß Konvention

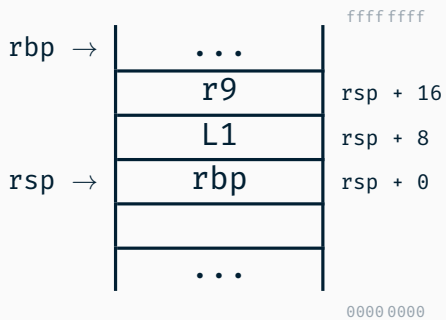
func:



Parameterübergabe gemäß Konvention

func:

```
; alten Rahmenzeiger sichern  
push rbp
```

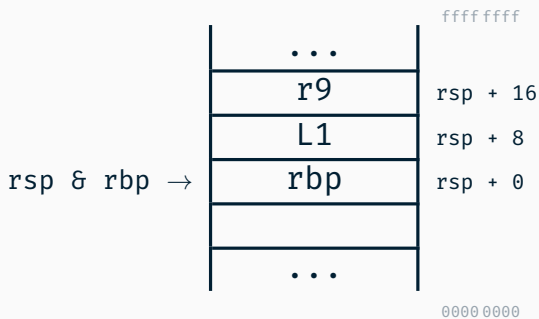


Parameterübergabe gemäß Konvention

func:

```
; alten Rahmenzeiger sichern  
push rbp
```

```
; aktuellen Rahmenzeiger setzen  
mov rbp, rsp
```



Parameterübergabe gemäß Konvention

func:

```
; alten Rahmenzeiger sichern
```

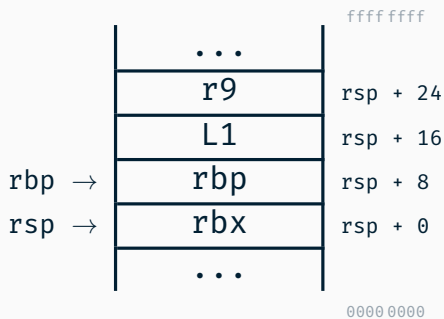
```
push rbp
```

```
; aktuellen Rahmenzeiger setzen
```

```
mov rbp, rsp
```

```
; ggf. weitere Register sichern
```

```
push rbx
```



Parameterübergabe gemäß Konvention

func:

```
; alten Rahmenzeiger sichern
```

```
push rbp
```

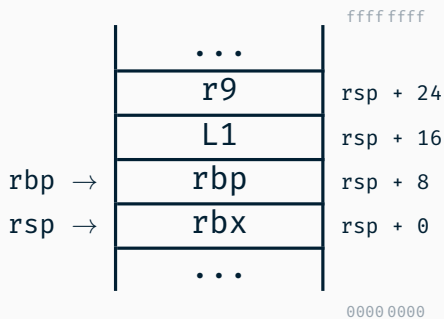
```
; aktuellen Rahmenzeiger setzen
```

```
mov rbp, rsp
```

```
; ggf. weitere Register sichern
```

```
push rbx
```

```
...
```



Parameterübergabe gemäß Konvention

func:

```
; alten Rahmenzeiger sichern
```

```
push rbp
```

```
; aktuellen Rahmenzeiger setzen
```

```
mov rbp, rsp
```

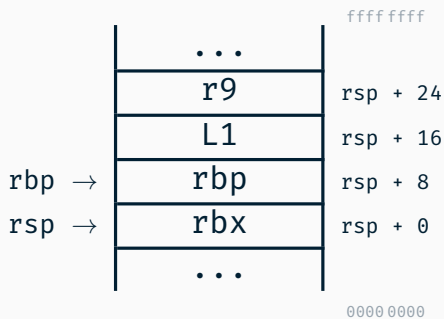
```
; ggf. weitere Register sichern
```

```
push rbx
```

```
...
```

```
; Rückgabewert nach rax
```

```
mov eax, 0xd
```



Parameterübergabe gemäß Konvention

func:

```
; alten Rahmenzeiger sichern
push rbp

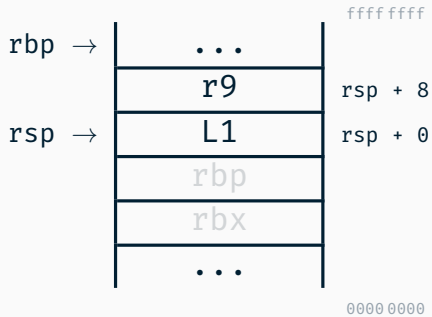
; aktuellen Rahmenzeiger setzen
mov rbp, rsp

; ggf. weitere Register sichern
push rbx

...

; Rückgabewert nach rax
mov eax, 0xd

; Register wiederherstellen
pop rbx
pop rbp
```



Parameterübergabe gemäß Konvention

func:

```
; alten Rahmenzeiger sichern
push rbp

; aktuellen Rahmenzeiger setzen
mov rbp, rsp

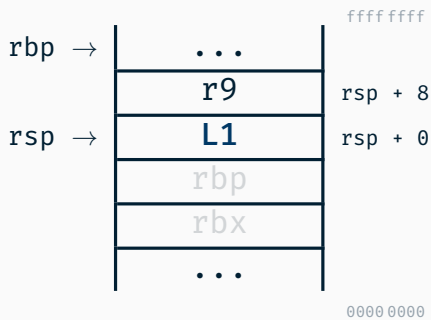
; ggf. weitere Register sichern
push rbx

...

; Rückgabewert nach rax
mov eax, 0xd

; Register wiederherstellen
pop rbx
pop rbp

; Rücksprung
ret
```



Parameterübergabe gemäß Konvention

```
int i = func(23, 42);
```

```
; ggf. Register Sicherung  
push r9
```

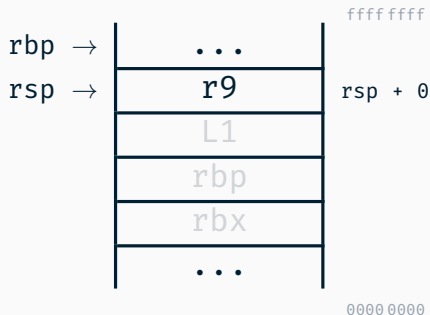
```
; 2. Parameter in Register rsi  
mov esi, 0x2a
```

```
; 1. Parameter in Register rdi  
mov edi, 0x17
```

```
; Funktionsaufruf  
call func  
; pushed implizit die  
; Rücksprungadresse
```

```
L1:
```

Stack nach Funktionsaufruf:



Parameterübergabe gemäß Konvention

```
int i = func(23, 42);
```

```
; ggf. Register Sicherung  
push r9
```

```
; 2. Parameter in Register rsi  
mov esi, 0x2a
```

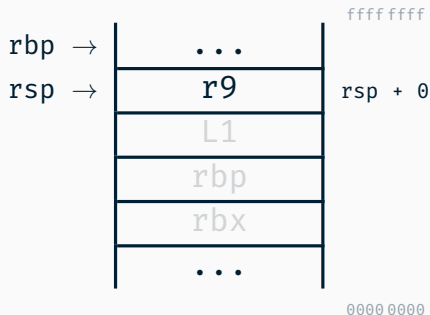
```
; 1. Parameter in Register rdi  
mov edi, 0x17
```

```
; Funktionsaufruf  
call func  
; pushed implizit die  
; Rücksprungadresse
```

L1:

```
; Rückgabewert in rax  
mov rsi, rax
```

Stack nach Funktionsaufruf:



Parameterübergabe gemäß Konvention

```
int i = func(23, 42);
```

```
; ggf. Register Sicherung
push r9

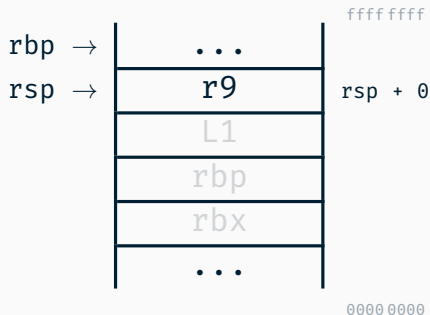
; 2. Parameter in Register rsi
mov esi, 0x2a

; 1. Parameter in Register rdi
mov edi, 0x17

; Funktionsaufruf
call func
; pushed implizit die
; Rücksprungadresse
L1:
; Rückgabewert in rax
mov rsi, rax

; ggf. Register wiederherstellen
pop r9
```

Stack nach Funktionsaufruf:



Umsetzung des Kontextwechsel

Umschaltung

```
void foo(){
    int f = 42;

    while (f--){
        kout << "foo"
            << f
            << endl;
        context_switch(
            &stack_foo,
            &stack_bar
        );
    }
}
```

```
void bar(){
    int b = 23;

    while (b--){
        kout << "bar"
            << b
            << endl;
        context_switch(
            &stack_bar,
            &stack_foo
        );
    }
}
```


Umschaltung im Detail



Kontrollflusszustand **sichern** & **laden**

Notwendige **Schritte** in `context_switch`:

Umschaltung im Detail



Kontrollflusszustand **sichern** & **laden**

Notwendige **Schritte** in `context_switch`:

1. **Register** sichern

Umschaltung im Detail



Kontrollflusszustand **sichern** & **laden**

Notwendige **Schritte** in `context_switch`:

1. **Register** sichern (*via Stack*)

Umschaltung im Detail



Kontrollflusszustand **sichern** & **laden**

Notwendige **Schritte** in `context_switch`:

1. **Register** sichern (*via Stack*)
2. **Stackpointer** (`rsp`) sichern

Umschaltung im Detail



Kontrollflusszustand **sichern & laden**

Notwendige **Schritte** in `context_switch`:

1. **Register** sichern (via *Stack*)
2. **Stackpointer** (rsp) sichern
3. **Stackpointer** (rsp) laden

Umschaltung im Detail



Kontrollflusszustand **sichern & laden**

Notwendige **Schritte** in `context_switch`:

1. **Register** sichern (via *Stack*)
2. **Stackpointer** (rsp) sichern
3. **Stackpointer** (rsp) laden
4. **Register** wiederherstellen

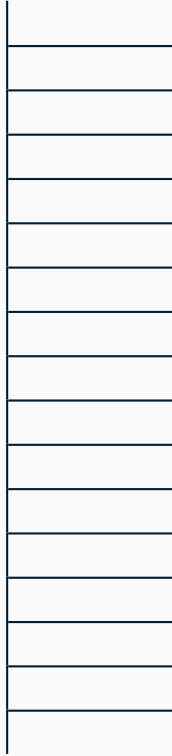
```
// Global sichtbar:
```

```
struct StackPointer {  
    void *kernel;
```

```
    // Später auch User-
```

```
    // Stackpointer (in BST)
```

```
};
```



```
// Global sichtbar:  
  
struct StackPointer {  
    void *kernel;  
  
    // Später auch User-  
    // Stackpointer (in BST)  
};  
  
StackPointer stack_foo;
```

stack_foo →

0100 bff0




```
// Global sichtbar:

struct StackPointer {
    void *kernel;

    // Später auch User-
    // Stackpointer (in BST)
};

StackPointer stack_foo;

StackPointer stack_bar;
```

A vertical diagram representing a memory stack. It consists of a vertical line on the left and a vertical line on the right, with horizontal lines dividing the space into rectangular cells. From top to bottom, there are 15 cells. The 11th cell from the top is labeled 'stack_foo' on the left and '0100 bff0' on the right. The 12th cell contains three dots '...' in the center. The 13th cell is labeled 'stack_bar' on the left and '0100 aef8' on the right. The remaining cells are empty.

stack_foo → 0100 bff0

...

stack_bar → 0100 aef8

```
// Global sichtbar:


struct StackPointer {
    void *kernel;

    // Später auch User-
    // Stackpointer (in BST)
};

StackPointer stack_foo;

StackPointer stack_bar;

// Sinnvoll initialisieren
// (mehr dazu später...)
```

A vertical stack of 15 rectangular boxes representing memory slots. The stack grows downwards. The 11th slot from the top contains the hexadecimal value 010d6aa8. The 12th slot contains three dots (...). The 13th slot contains the hexadecimal value 01100188. Arrows point from the labels stack_foo and stack_bar to these two slots respectively. To the right of the stack, the address 0100bff0 is aligned with the 010d6aa8 slot, and 0100aef8 is aligned with the 01100188 slot.

stack_foo → 010d6aa8 0100bff0

...

stack_bar → 01100188 0100aef8

```
void foo(){
```

```
...
```

```
context_switch(  
    &stack_foo,  
    &stack_bar  
);
```

```
...
```

rsp →

...

010d 6a68

stack_foo →

010d 6aa8

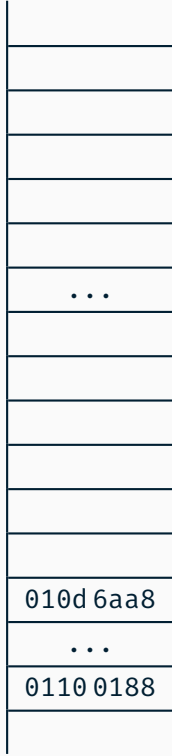
0100 bff0

...

stack_bar →

0110 0188

0100 aef8



```
void foo(){  
    ...  
  
    // Sicherung der  
    // flüchtigen Register  
    // von Kontext foo
```

```
context_switch(  
    &stack_foo,  
    &stack_bar  
);
```

```
...
```

rsp → ... 010d 6a68

stack_foo → 010d 6aa8 0100 bff0

stack_bar → 0110 0188 0100 aef8



```
void foo(){  
    ...  
  
    // Sicherung der  
    // flüchtigen Register  
    // von Kontext foo  
    // durch Übersetzer
```

```
context_switch(  
    &stack_foo,  
    &stack_bar  
);
```

```
...
```

rsp →

...

010d 6a68

stack_foo →

010d 6aa8

0100 bff0

...

stack_bar →

0110 0188

0100 aef8

```
void foo(){
```

```
...
```

```
// Sicherung der  
// flüchtigen Register  
// von Kontext foo  
// durch Übersetzer  
// (z.B. r8)
```

```
context_switch(  
    &stack_foo,  
    &stack_bar  
);
```

```
...
```

rsp →

r8

stack_foo →

010d 6aa8

stack_bar →

0110 0188

...

010d 6a68

010d 6a60

0100 bff0

0100 aef8

```
void foo(){
```

```
...
```

```
// Sicherung der  
// flüchtigen Register  
// von Kontext foo  
// durch Übersetzer  
// (z.B. r8)
```

```
context_switch(  
    &stack_foo,  
    &stack_bar  
);
```

```
...
```

rsp →

r8

stack_foo →

010d 6aa8

stack_bar →

0110 0188

...

010d 6a68

010d 6a60

0100 bff0

...

0100 aef8

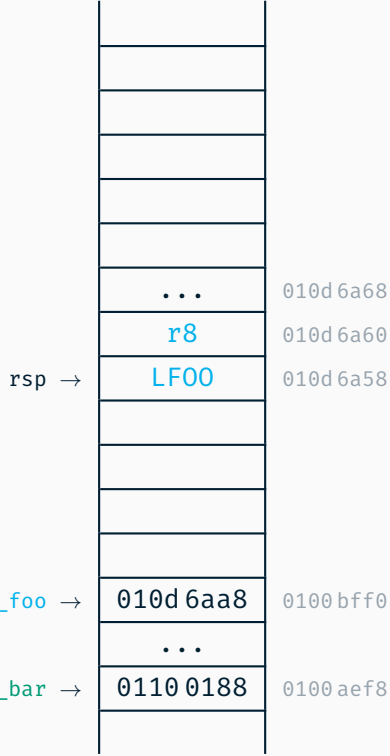
```
void foo(){
    ...

    // Sicherung der
    // flüchtigen Register
    // von Kontext foo
    // durch Übersetzer
    // (z.B. r8)
```

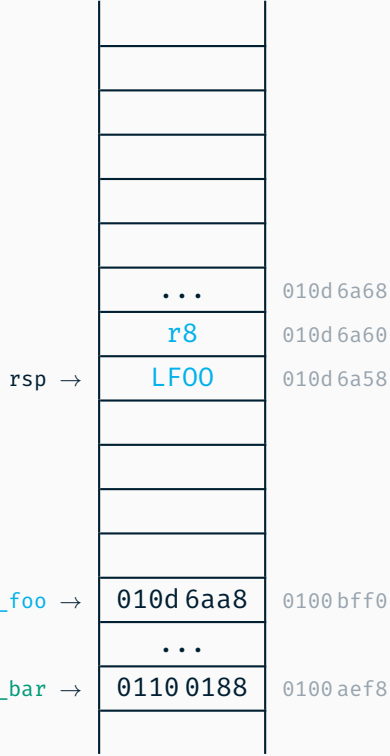
```
context_switch(
    &stack_foo,
    &stack_bar
);
```

```
LF00:
```

```
...
```



context_switch:

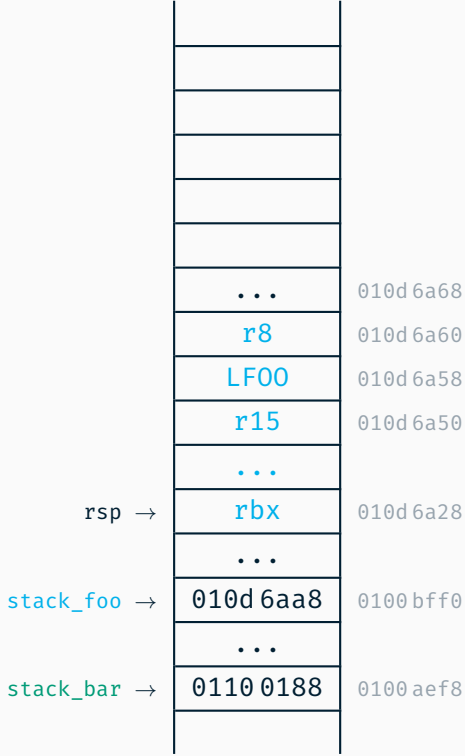


ret

context_switch:

```
;; nicht-flüchtige  
;; Register von  
;; foo sichern
```

ret

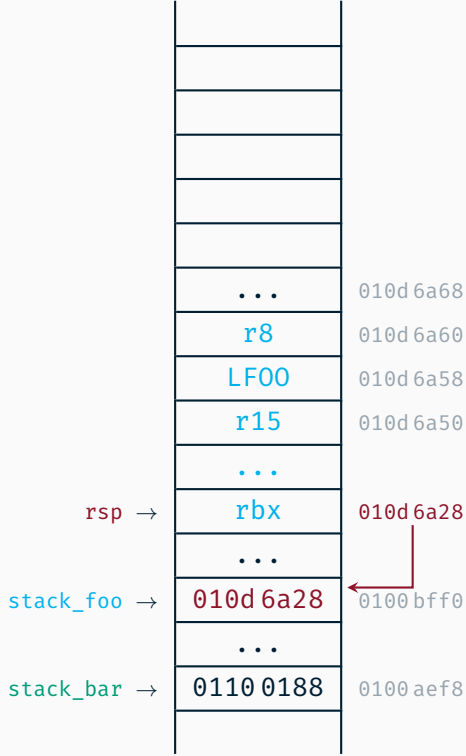


context_switch:

```
;; nicht-flüchtige  
;; Register von  
;; foo sichern
```

```
;; Stackzeiger von  
;; foo sichern
```

ret



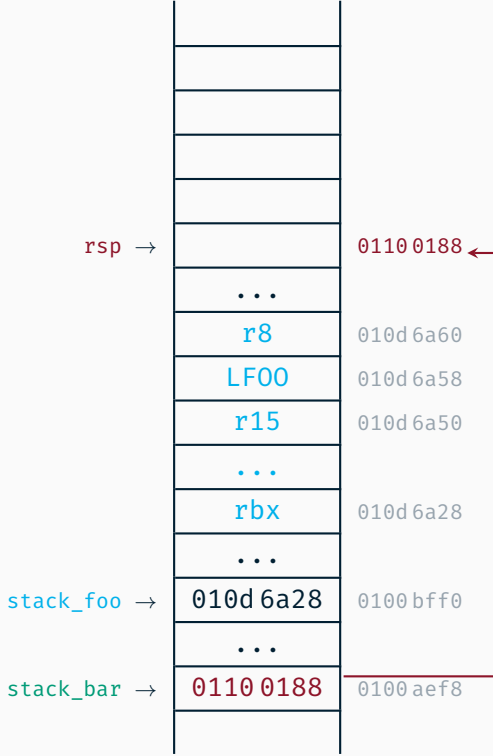
context_switch:

```
;; nicht-flüchtige  
;; Register von  
;; foo sichern
```

```
;; Stackzeiger von  
;; foo sichern
```

```
;; Stackzeiger von  
;; bar laden
```

ret



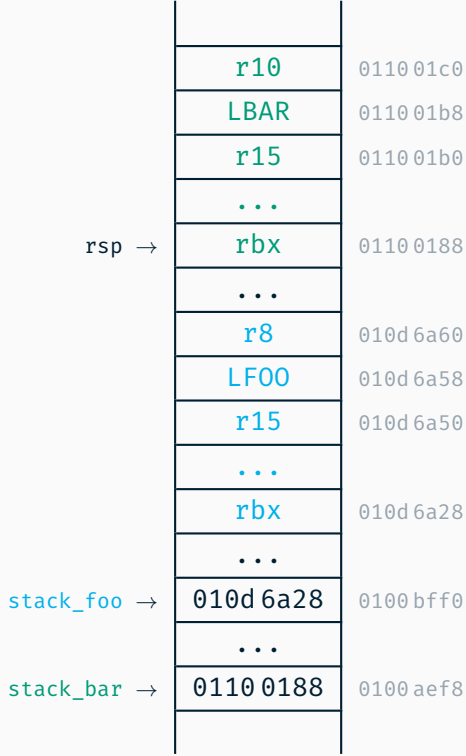
context_switch:

```
;; nicht-flüchtige  
;; Register von  
;; foo sichern
```

```
;; Stackzeiger von  
;; foo sichern
```

```
;; Stackzeiger von  
;; bar laden
```

ret



context_switch:

```
;; nicht-flüchtige  
;; Register von  
;; foo sichern
```

```
;; Stackzeiger von  
;; foo sichern
```

```
;; Stackzeiger von  
;; bar laden
```

```
;; nicht-flüchtige  
;; Register von  
;; bar laden
```

```
ret
```

rsp →

r10

0110 01c0

LBAR

0110 01b8

r15

0110 01b0

...

rbx

0110 0188

...

r8

010d 6a60

LF00

010d 6a58

r15

010d 6a50

...

rbx

010d 6a28

...

stack_foo →

010d 6a28

0100 bff0

...

stack_bar →

0110 0188

0100 aef8

context_switch:

```
;; nicht-flüchtige  
;; Register von  
;; foo sichern
```

```
;; Stackzeiger von  
;; foo sichern
```

```
;; Stackzeiger von  
;; bar laden
```

```
;; nicht-flüchtige  
;; Register von  
;; bar laden
```

```
ret
```

rsp →

r10

0110 01c0

LBAR

0110 01b8

r15

0110 01b0

...

rbx

0110 0188

...

r8

010d 6a60

LF00

010d 6a58

r15

010d 6a50

...

rbx

010d 6a28

...

stack_foo →

010d 6a28

0100 bff0

...

stack_bar →

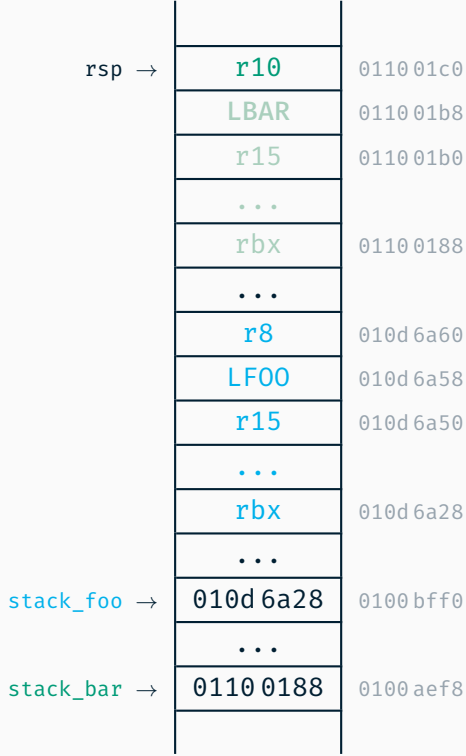
0110 0188

0100 aef8

```
void bar(){
    ...

    context_switch(
        &stack_bar,
        &stack_foo
    );
LBAR:

    ...
}
```




```
void bar(){
```

```
...
```

```
context_switch(  
    &stack_bar,  
    &stack_foo  
);
```

```
LBAR:
```

```
// Wiederherstellen der  
// flüchtigen Register  
// von Kontext bar  
// durch Übersetzer  
// (z.B. r10)
```

```
...
```

```
rsp →
```

```
r10
```

```
0110 01c0
```

```
LBAR
```

```
0110 01b8
```

```
r15
```

```
0110 01b0
```

```
...
```

```
rbx
```

```
0110 0188
```

```
...
```

```
r8
```

```
010d 6a60
```

```
LF00
```

```
010d 6a58
```

```
r15
```

```
010d 6a50
```

```
...
```

```
rbx
```

```
010d 6a28
```

```
...
```

```
stack_foo →
```

```
010d 6a28
```

```
0100 bff0
```

```
...
```

```
stack_bar →
```

```
0110 0188
```

```
0100 aef8
```

Koroutine (erstmalig) starten

Wie rufe ich die Koroutine erstmalig auf?

Ziel: Instruktionszeiger `rip` ändern

Koroutine (erstmalig) starten

Wie rufe ich die Koroutine erstmalig auf?

Ziel: Instruktionszeiger `rip` ändern

Problem: Register `rip` kann nicht direkt beschrieben werden

Koroutine (erstmalig) starten

Wie rufe ich die Koroutine erstmalig auf?

Ziel: Instruktionszeiger `rip` ändern

Problem: Register `rip` kann nicht direkt beschrieben werden

Lösung: Zieladresse auf Stack und `ret` ändert `rip`

Koroutine (erstmalig) starten

Wie rufe ich die Koroutine erstmalig auf?

Ziel: Instruktionszeiger `rip` ändern

Problem: Register `rip` kann nicht direkt beschrieben werden

Lösung: Zieladresse auf Stack und `ret` ändert `rip`

→ `context_switch` mit entsprechenden Stack

Koroutine (erstmalig) starten

Wie rufe ich die Koroutine erstmalig auf?

Ziel: Instruktionszeiger `rip` ändern

Problem: Register `rip` kann nicht direkt beschrieben werden

Lösung: Zieladresse auf Stack und `ret` ändert `rip`
→ `context_switch` mit entsprechenden Stack

Wie rufe ich die aller erste Koroutine auf?

Koroutine (erstmalig) starten

Wie rufe ich die Koroutine erstmalig auf?

Ziel: Instruktionszeiger `rip` ändern

Problem: Register `rip` kann nicht direkt beschrieben werden

Lösung: Zieladresse auf Stack und `ret` ändert `rip`
→ `context_switch` mit entsprechenden Stack

Wie rufe ich die aller erste Koroutine auf?

- `context_switch` mit Dummy-Stackzeiger als 1. Parameter

Koroutine (erstmalig) starten

Wie rufe ich die Koroutine erstmalig auf?

Ziel: Instruktionszeiger `rip` ändern

Problem: Register `rip` kann nicht direkt beschrieben werden

Lösung: Zieladresse auf Stack und `ret` ändert `rip`
→ `context_switch` mit entsprechenden Stack

Wie rufe ich die aller erste Koroutine auf?

- `context_switch` mit Dummy-Stackzeiger als 1. Parameter

Was wird für jede Koroutine gebraucht?

Koroutine (erstmalig) starten

Wie rufe ich die Koroutine erstmalig auf?

Ziel: Instruktionszeiger `rip` ändern

Problem: Register `rip` kann nicht direkt beschrieben werden

Lösung: Zieladresse auf Stack und `ret` ändert `rip`

→ `context_switch` mit entsprechenden Stack

Wie rufe ich die aller erste Koroutine auf?

- `context_switch` mit Dummy-Stackzeiger als 1. Parameter

Was wird für jede Koroutine gebraucht?

- eigener, präparierter Stack
- Speicher für Stackzeiger (`struct StackPointer`)

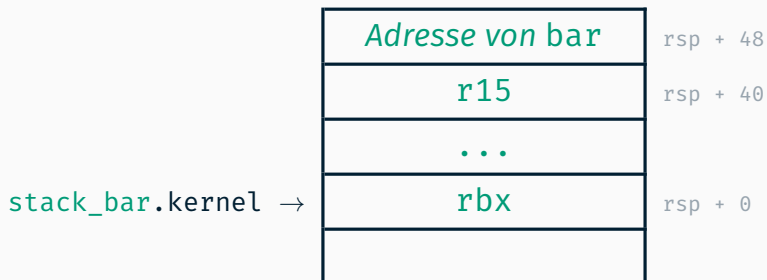
Stack aufsetzen

Stack für Einsprung in Koroutine `void bar()`

<i>Adresse von bar</i>
r15
...
rbx

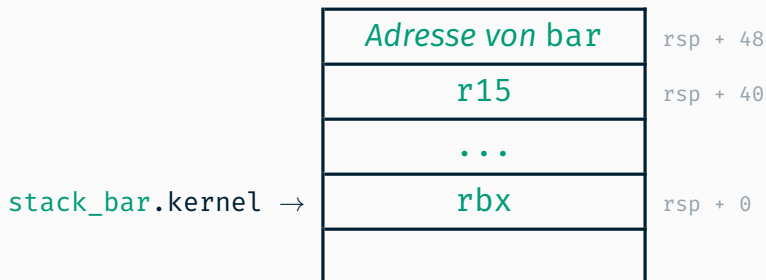
Stack aufsetzen

Stack für Einsprung in Koroutine `void bar()`



Stack aufsetzen

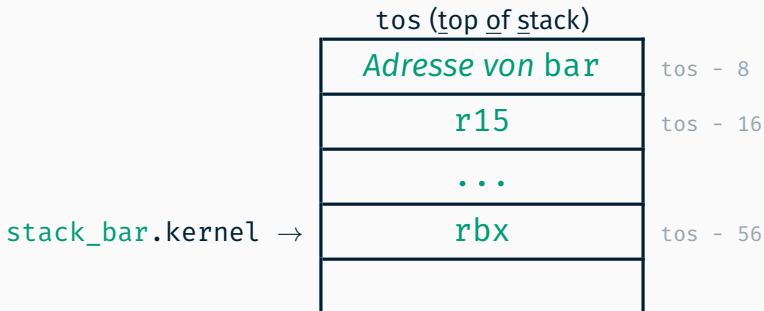
Stack für Einsprung in Koroutine `void bar()`



```
#define STACKSIZE 4096
char stackBar[STACKSIZE];
void* tos = stackBar + STACKSIZE;
```

Stack aufsetzen

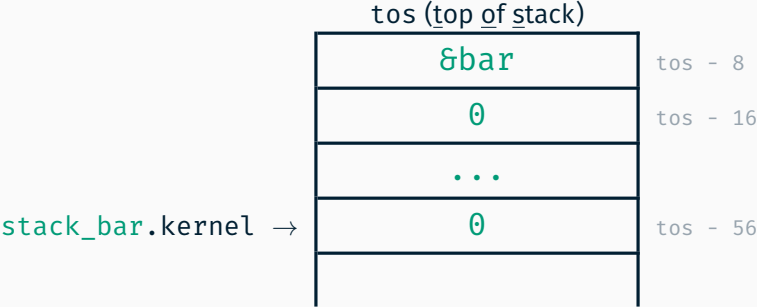
Stack für Einsprung in Koroutine `void bar()`



```
#define STACKSIZE 4096  
char stackBar[STACKSIZE];  
void* tos = stackBar + STACKSIZE;
```

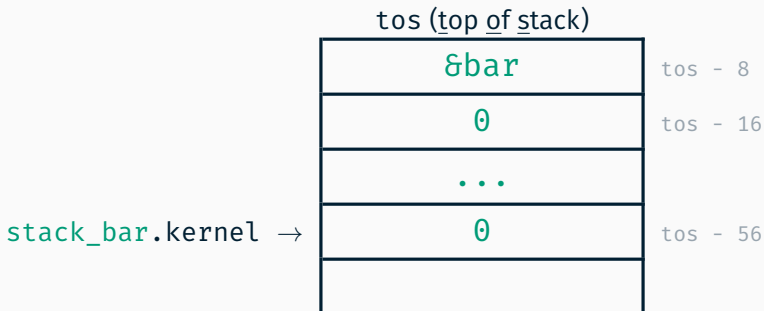
Stack aufsetzen

Stack für Einsprung in Koroutine `void bar()`



Stack aufsetzen

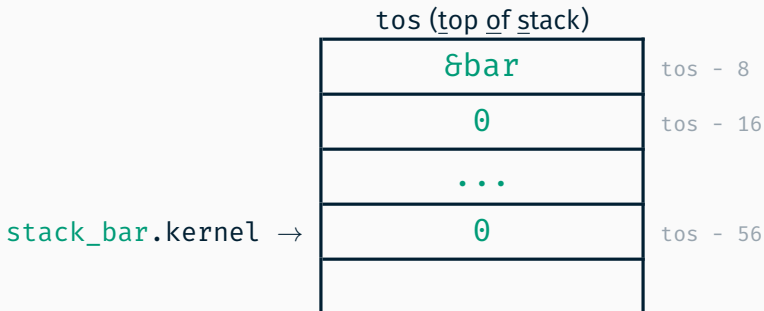
Stack für Einsprung in Koroutine `void bar()`



Was passiert nun bei `context_switch`?

Stack aufsetzen

Stack für Einsprung in Koroutine `void bar()`



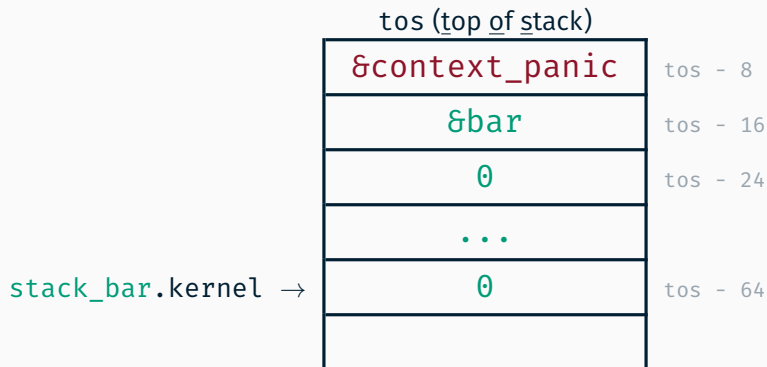
Was passiert wenn die Koroutine `bar` abgearbeitet ist?

Stack aufsetzen (Robust)

```
void context_panic() {  
    kernelpanic("Application should not return!!!");  
}
```

Stack aufsetzen (Robust)

```
void context_panic() {  
    kernelpanic("Application should not return!!!");  
}
```



Stack aufsetzen mit Funktionsparameter

Stack für Einsprung in Koroutine `void bar(int i)`

Stack aufsetzen mit Funktionsparameter

Stack für Einsprung in Koroutine `void bar(int i)` unter Verwendung einer zusätzlichen Hilfsfunktion – z.B. `bar_wrapper`

Stack aufsetzen mit Funktionsparameter

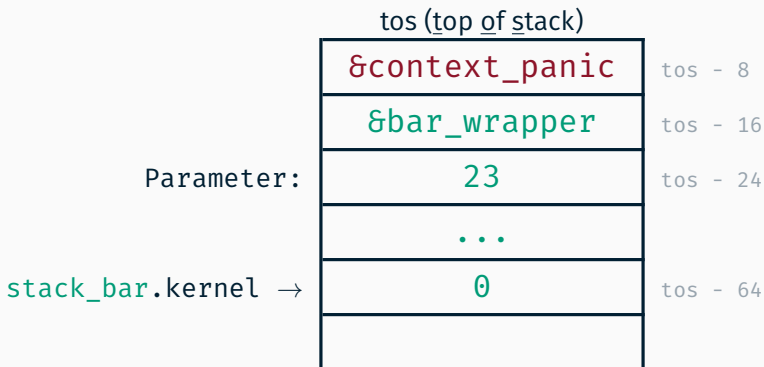
Stack für Einsprung in Koroutine `void bar(int i)` unter Verwendung einer zusätzlichen Hilfsfunktion – z.B. `bar_wrapper`

- liest Parameter aus nicht-flüchtigem Register (`r15`)
- schreibt Wert in flüchtiges Parameterregister (`rdi`)
- springt in eigentliche Funktion (`bar`)

Stack aufsetzen mit Funktionsparameter

Stack für Einsprung in Koroutine `void bar(int i)` unter Verwendung einer zusätzlichen Hilfsfunktion – z.B. `bar_wrapper`

- liest Parameter aus nicht-flüchtigem Register (`r15`)
- schreibt Wert in flüchtiges Parameterregister (`rdi`)
- springt in eigentliche Funktion (`bar`)



Umsetzung in OOSTuBS/MPStuBS

Threads

```
class Thread {  
    StackPointer sp;  
public:  
    Thread();  
    virtual void action() = 0;  
};
```


Threads

```
class Thread {  
    StackPointer sp;  
public:  
    Thread();  
    virtual void action() = 0;  
};
```

Adresse einer virtuellen Member-Funktion nicht (einfach) ermittelbar

Threads

```
class Thread {  
    StackPointer sp;  
public:  
    Thread();  
    virtual void action() = 0;  
};
```

Adresse einer virtuellen Member-Funktion nicht (einfach) ermittelbar

```
Thread * x = &app;  
x->action(); // Foo::action oder Bar::action ?
```

```
class Foo : public Thread {  
    void action() { ... }  
};
```

```
class Bar : public Thread {  
    void action() { ... }  
};
```

Threads

```
class Thread {
    StackPointer sp;
public:
    Thread();
    virtual void action() = 0;
};
```

Adresse einer virtuellen Member-Funktion nicht (einfach) ermittelbar

```
void kickoff(Thread* t){
    t->action();
}
```

Threads: Stack aufsetzen

```
void * prepareContext(void * tos,  
                    void (*kickoff)(void*),  
                    void * param);
```

Präpariert einen Stack für den ersten Einsprung

Threads: Stack aufsetzen

```
void * prepareContext(void * tos,  
                    void (*kickoff)(void*),  
                    void * param);
```

Präpariert einen Stack für den ersten Einsprung

- statisch reservierten Speicher tos als Stack aufsetzen

Threads: Stack aufsetzen

```
void * prepareContext(void * tos,  
                    void (*kickoff)(void*),  
                    void * param);
```

Präpariert einen Stack für den ersten Einsprung

- statisch reservierten Speicher tos als Stack aufsetzen
- nach dem Einsprung soll kickoff mit param aufgerufen werden

Threads: Stack aufsetzen

```
void * prepareContext(void * tos,  
                     void (*kickoff)(void*),  
                     void * param);
```

Präpariert einen Stack für den ersten Einsprung

- statisch reservierten Speicher tos als Stack aufsetzen
- nach dem Einsprung soll kickoff mit param aufgerufen werden
- Stackpointer kernel in Thread entsprechend setzen

Threads: Stack aufsetzen

```
void * prepareContext(void * tos,  
                     void (*kickoff)(void*),  
                     void * param);
```

Präpariert einen Stack für den ersten Einsprung

- statisch reservierten Speicher tos als Stack aufsetzen
- nach dem Einsprung soll kickoff mit param aufgerufen werden
- Stackpointer kernel in Thread entsprechend setzen
- in C++ (statt Assembler)

Threads: Stack aufsetzen

```
void * prepareContext(void * tos,  
                     void (*kickoff)(void*),  
                     void * param);
```

Präpariert einen Stack für den ersten Einsprung

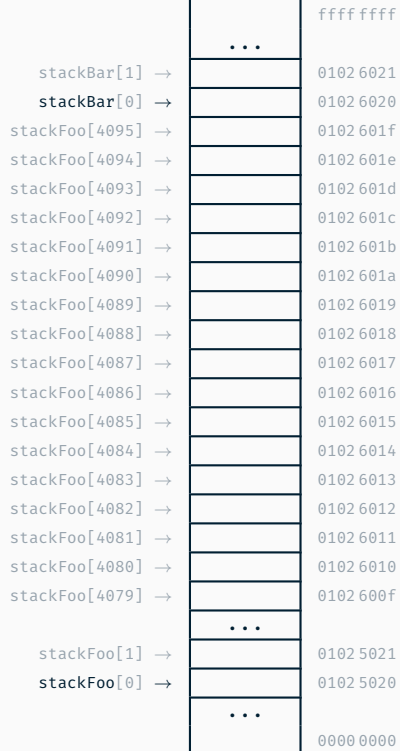
- statisch reservierten Speicher tos als Stack aufsetzen
- nach dem Einsprung soll kickoff mit param aufgerufen werden
- Stackpointer kernel in Thread entsprechend setzen
- in C++ (statt Assembler)
- Pointerarithmetik ist hilfreich

```
#define STACKSIZE 4096  
char stackBar[STACKSIZE];  
char stackFoo[STACKSIZE];
```

```
#define STACKSIZE 4096
```

```
char stackBar[STACKSIZE];
```

```
char stackFoo[STACKSIZE];
```



```
#define STACKSIZE 4096
```

```
char stackBar[STACKSIZE];
```

```
char stackFoo[STACKSIZE];
```

```
void* tos = stackFoo + STACKSIZE;
```

```
void** rsp = (void**) tos;
```

	...	ffff ffff
stackBar[1] →		0102 6021
stackBar[0] →		0102 6020
stackFoo[4095] →		0102 601f
stackFoo[4094] →		0102 601e
stackFoo[4093] →		0102 601d
stackFoo[4092] →		0102 601c
stackFoo[4091] →		0102 601b
stackFoo[4090] →		0102 601a
stackFoo[4089] →		0102 6019
stackFoo[4088] →		0102 6018
stackFoo[4087] →		0102 6017
stackFoo[4086] →		0102 6016
stackFoo[4085] →		0102 6015
stackFoo[4084] →		0102 6014
stackFoo[4083] →		0102 6013
stackFoo[4082] →		0102 6012
stackFoo[4081] →		0102 6011
stackFoo[4080] →		0102 6010
stackFoo[4079] →		0102 600f
	...	
stackFoo[1] →		0102 5021
stackFoo[0] →		0102 5020
	...	
		0000 0000

```

#define STACKSIZE 4096
char stackBar[STACKSIZE];
char stackFoo[STACKSIZE];

void* tos = stackFoo + STACKSIZE;
void** rsp = (void**) tos;

rsp--;
// rsp = &(stackFoo[4088])
*rsp = (void*) 0xdeadbeef0badf00d;

```

		ffff ffff
	...	
stackBar[1] →		0102 6021
stackBar[0] →		0102 6020
stackFoo[4095] →	de	0102 601f
stackFoo[4094] →	ad	0102 601e
stackFoo[4093] →	be	0102 601d
stackFoo[4092] →	ef	0102 601c
stackFoo[4091] →	0b	0102 601b
stackFoo[4090] →	ad	0102 601a
stackFoo[4089] →	f0	0102 6019
stackFoo[4088] →	0d	0102 6018
stackFoo[4087] →		0102 6017
stackFoo[4086] →		0102 6016
stackFoo[4085] →		0102 6015
stackFoo[4084] →		0102 6014
stackFoo[4083] →		0102 6013
stackFoo[4082] →		0102 6012
stackFoo[4081] →		0102 6011
stackFoo[4080] →		0102 6010
stackFoo[4079] →		0102 600f
	...	
stackFoo[1] →		0102 5021
stackFoo[0] →		0102 5020
	...	
		0000 0000

```

#define STACKSIZE 4096
char stackBar[STACKSIZE];
char stackFoo[STACKSIZE];

void* tos = stackFoo + STACKSIZE;
void** rsp = (void**) tos;

rsp--;
// rsp = &(stackFoo[4088])
*rsp = (void*) 0xdeadbeef0badf00d;

rsp--;
// rsp = &(stackFoo[4080])
extern Thread foo;
// &foo = 0x102 4280
*rsp = (void*) &foo;

```

	...	ffff ffff
stackBar[1] →		0102 6021
stackBar[0] →		0102 6020
stackFoo[4095] →	de	0102 601f
stackFoo[4094] →	ad	0102 601e
stackFoo[4093] →	be	0102 601d
stackFoo[4092] →	ef	0102 601c
stackFoo[4091] →	0b	0102 601b
stackFoo[4090] →	ad	0102 601a
stackFoo[4089] →	f0	0102 6019
stackFoo[4088] →	0d	0102 6018
stackFoo[4087] →	00	0102 6017
stackFoo[4086] →	00	0102 6016
stackFoo[4085] →	00	0102 6015
stackFoo[4084] →	00	0102 6014
stackFoo[4083] →	01	0102 6013
stackFoo[4082] →	02	0102 6012
stackFoo[4081] →	42	0102 6011
stackFoo[4080] →	80	0102 6010
stackFoo[4079] →		0102 600f
	...	
stackFoo[1] →		0102 5021
stackFoo[0] →		0102 5020
	...	0000 0000

```

#define STACKSIZE 4096
char stackBar[STACKSIZE];
char stackFoo[STACKSIZE];

void* tos = stackFoo + STACKSIZE;
void** rsp = (void**) tos;

rsp--;
// rsp = &(stackFoo[4088])
*rsp = (void*) 0xdeadbeef0badf00d;

rsp--;
// rsp = &(stackFoo[4080])
extern Thread foo;
// &foo = 0x102 4280
*rsp = (void*) &foo;

// ...

```

		ffff ffff
	...	
stackBar[1] →		0102 6021
stackBar[0] →		0102 6020
stackFoo[4095] →	de	0102 601f
stackFoo[4094] →	ad	0102 601e
stackFoo[4093] →	be	0102 601d
stackFoo[4092] →	ef	0102 601c
stackFoo[4091] →	0b	0102 601b
stackFoo[4090] →	ad	0102 601a
stackFoo[4089] →	f0	0102 6019
stackFoo[4088] →	0d	0102 6018
stackFoo[4087] →	00	0102 6017
stackFoo[4086] →	00	0102 6016
stackFoo[4085] →	00	0102 6015
stackFoo[4084] →	00	0102 6014
stackFoo[4083] →	01	0102 6013
stackFoo[4082] →	02	0102 6012
stackFoo[4081] →	42	0102 6011
stackFoo[4080] →	80	0102 6010
stackFoo[4079] →		0102 600f
	...	
stackFoo[1] →		0102 5021
stackFoo[0] →		0102 5020
	...	
		0000 0000



Stapelüberlauf

- Die Stacks sind nur 4K groß



Stapelüberlauf

- Die Stacks sind nur 4K groß
- Die Stacks liegen (oft) hintereinander



Stapelüberlauf

- Die Stacks sind nur 4K groß
- Die Stacks liegen (oft) hintereinander
- Das gilt auch für die initialen Stacks beim Systemstart



Stapelüberlauf

- Die Stacks sind nur 4K groß
 - Die Stacks liegen (oft) hintereinander
 - Das gilt auch für die initialen Stacks beim Systemstart
- Mechanismus zum Erkennen von Überlaufen hilfreich („Stack Canary“)

```

#define STACKSIZE 4096
char stackBar[STACKSIZE];
char stackFoo[STACKSIZE];

void* tos = stackFoo + STACKSIZE;
void** rsp = (void**) tos;

rsp--;
// rsp = &(stackFoo[4088])
*rsp = (void*) 0xdeadbeef0badf00d;

rsp--;
// rsp = &(stackFoo[4080])
extern Thread foo;
// &foo = 0x102 4280
*rsp = (void*) &foo;

// ...

```

		ffff ffff
	...	
stackBar[1] →		0102 6021
stackBar[0] →		0102 6020
stackFoo[4095] →	de	0102 601f
stackFoo[4094] →	ad	0102 601e
stackFoo[4093] →	be	0102 601d
stackFoo[4092] →	ef	0102 601c
stackFoo[4091] →	0b	0102 601b
stackFoo[4090] →	ad	0102 601a
stackFoo[4089] →	f0	0102 6019
stackFoo[4088] →	0d	0102 6018
stackFoo[4087] →	00	0102 6017
stackFoo[4086] →	00	0102 6016
stackFoo[4085] →	00	0102 6015
stackFoo[4084] →	00	0102 6014
stackFoo[4083] →	01	0102 6013
stackFoo[4082] →	02	0102 6012
stackFoo[4081] →	42	0102 6011
stackFoo[4080] →	80	0102 6010
stackFoo[4079] →		0102 600f
	...	
stackFoo[1] →		0102 5021
stackFoo[0] →		0102 5020
	...	
		0000 0000

```

#define STACKSIZE 4096
char stackBar[STACKSIZE];
char stackFoo[STACKSIZE];

void* tos = stackFoo + STACKSIZE;
void** rsp = (void**) tos;

rsp--;
// rsp = &(stackFoo[4088])
*rsp = (void*) 0xdeadbeef0badf00d;

rsp--;
// rsp = &(stackFoo[4080])
extern Thread foo;
// &foo = 0x102 4280
*rsp = (void*) &foo;

// ...

```

	...	ffff ffff
stackBar[1] →	aa	0102 6021
stackBar[0] →	55	0102 6020
stackFoo[4095] →	de	0102 601f
stackFoo[4094] →	ad	0102 601e
stackFoo[4093] →	be	0102 601d
stackFoo[4092] →	ef	0102 601c
stackFoo[4091] →	0b	0102 601b
stackFoo[4090] →	ad	0102 601a
stackFoo[4089] →	f0	0102 6019
stackFoo[4088] →	0d	0102 6018
stackFoo[4087] →	00	0102 6017
stackFoo[4086] →	00	0102 6016
stackFoo[4085] →	00	0102 6015
stackFoo[4084] →	00	0102 6014
stackFoo[4083] →	01	0102 6013
stackFoo[4082] →	02	0102 6012
stackFoo[4081] →	42	0102 6011
stackFoo[4080] →	80	0102 6010
stackFoo[4079] →		0102 600f
	...	
stackFoo[1] →	aa	0102 5021
stackFoo[0] →	55	0102 5020
	...	
		0000 0000

Scheduler

Zentrale Verwaltung der Koroutinen (Threads)

Zentrale Verwaltung der Koroutinen (Threads)

```
class Scheduler {  
    Queue<Thread> readylist;  
public:  
    void ready(Thread *);  
    void schedule();  
    void resume();  
    void exit();  
    void kill(Thread *);  
};
```



```
// Thread AppFoo
void AppFoo::action(){
    while (1){
        kout << "foo" << endl;
        scheduler.resume();
    }
}
```

```
// Thread AppBar
void AppBar::action(){
    while (1){
        kout << "bar" << endl;
        scheduler.resume();
    }
}
```

```
// Thread AppFoo
void AppFoo::action(){
    while (1){
        kout << "foo" << endl;
        scheduler.resume();
    }
}
```

```
// Thread AppBar
void AppBar::action(){
    while (1){
        kout << "bar" << endl;
        scheduler.resume();
    }
}
```

```
// main.cc
AppFoo appfoo;
AppBar appbar;
int main (){
    // ...
    scheduler.ready(&appfoo);
    scheduler.ready(&appbar);
    scheduler.schedule();
}
```

main()

```
// ...  
scheduler.ready(&appfoo)  
scheduler.ready(&appbar)  
scheduler.schedule()  
StackPointer dummy;  
context_switch(dummy, appfoo.sp)
```

AppFoo

```
kickoff(&appfoo)  
appfoo->action()  
kout << "foo" << endl  
scheduler.resume()
```

```
context_switch(appfoo.sp, appbar.sp)
```

```
context_switch(appbar.sp, appfoo.sp)
```

```
kout << "foo" << endl  
scheduler.resume()
```

```
context_switch(appfoo.sp, appbar.sp)
```

```
context_switch(appbar.sp, appfoo.sp)
```

AppBar

```
kickoff(&appbar)  
appbar->action()  
kout << "bar" << endl  
scheduler.resume()
```

```
kout << "bar" << endl  
scheduler.resume()
```

foo

bar

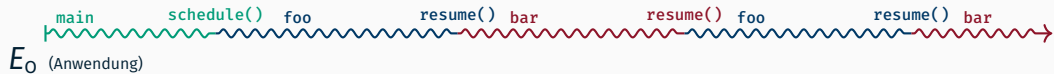
foo

bar

E_0 (Anwendung)

$E_{\frac{1}{2}}$ (Epilog)

E_1 (IRQ/Prolog)



$E_{\frac{1}{2}}$ (Epilog)

E_1 (IRQ/Prolog)

OOSTuBS immer synchrone Aufrufe
→ Konsistenz gesichert

OOSTuBS immer synchrone Aufrufe

→ Konsistenz gesichert

MPStuBS Synchronisation notwendig

OOSTuBS immer synchrone Aufrufe

→ Konsistenz gesichert

MPStuBS Synchronisation notwendig

→ Scheduling auf der Epilogebe

OOSTuBS immer synchrone Aufrufe

→ Konsistenz gesichert

MPStuBS Synchronisation notwendig

→ Scheduling auf der Epilogebe

(→ automatische Synchronisation der Ready-Liste)

```
main()
```

```
//...  
guard.enter()  
scheduler.schedule()  
StackPointer dummy;  
context_switch(dummy, appfoo.sp)
```

AppFoo

```
kickoff(&appfoo)  
guard.leave()  
appfoo->action()  
kout << "foo" << endl  
guard.enter()  
scheduler.resume()
```

```
context_switch(appfoo.sp, appbar.sp)
```

```
context_switch(appbar.sp, appfoo.sp)
```

```
guard.leave()  
kout << "foo" << endl  
guard.enter()  
scheduler.resume()
```

```
context_switch(appfoo.sp, appbar.sp)
```

AppBar

```
kickoff(&appbar)  
guard.leave()  
appbar->action()  
kout << "bar" << endl  
guard.enter()  
scheduler.resume()
```

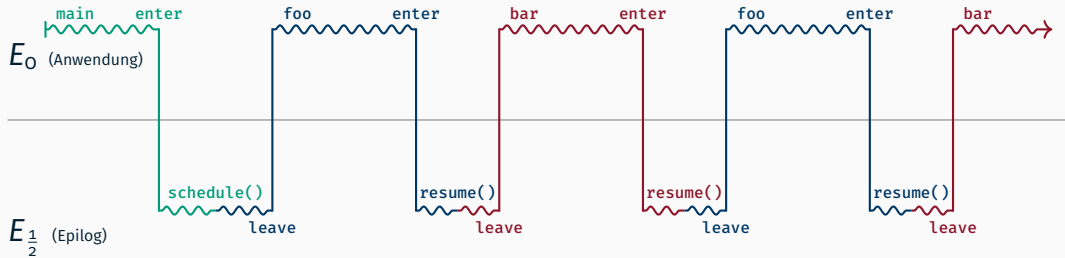
```
guard.leave()  
kout << "bar" << endl
```

foo

bar

foo

bar



E_1 (IRQ/Prolog)



Bild: twemoji

Fragen?



Bild: twemoji

Fragen?

Letzte Aufgabe des Jahres 2023,
wir wünschen euch ein frohes Fest!
(Abgabe bis zur nächsten Tafelübung)

Bild: twemoji

