

Übungen zu Systemprogrammierung 2 (SP2)

Ü5 – C und Sicherheit

Christoph Erhardt, Jens Schedel, Jürgen Kleinöder

Lehrstuhl für Informatik 4
Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

WS 2013/14 – 16. bis 20. Dezember 2013

http://www4.cs.fau.de/Lehre/WS13/V_SP2

Agenda

- 5.1 Stack-Aufbau eines Prozesses
- 5.2 Live-Hacking
- 5.3 Gegenmaßnahmen
- 5.4 Weihnachts-Hacking



5.1 Stack-Aufbau eines Prozesses

5.2 Live-Hacking

5.3 Gegenmaßnahmen

5.4 Weihnachts-Hacking

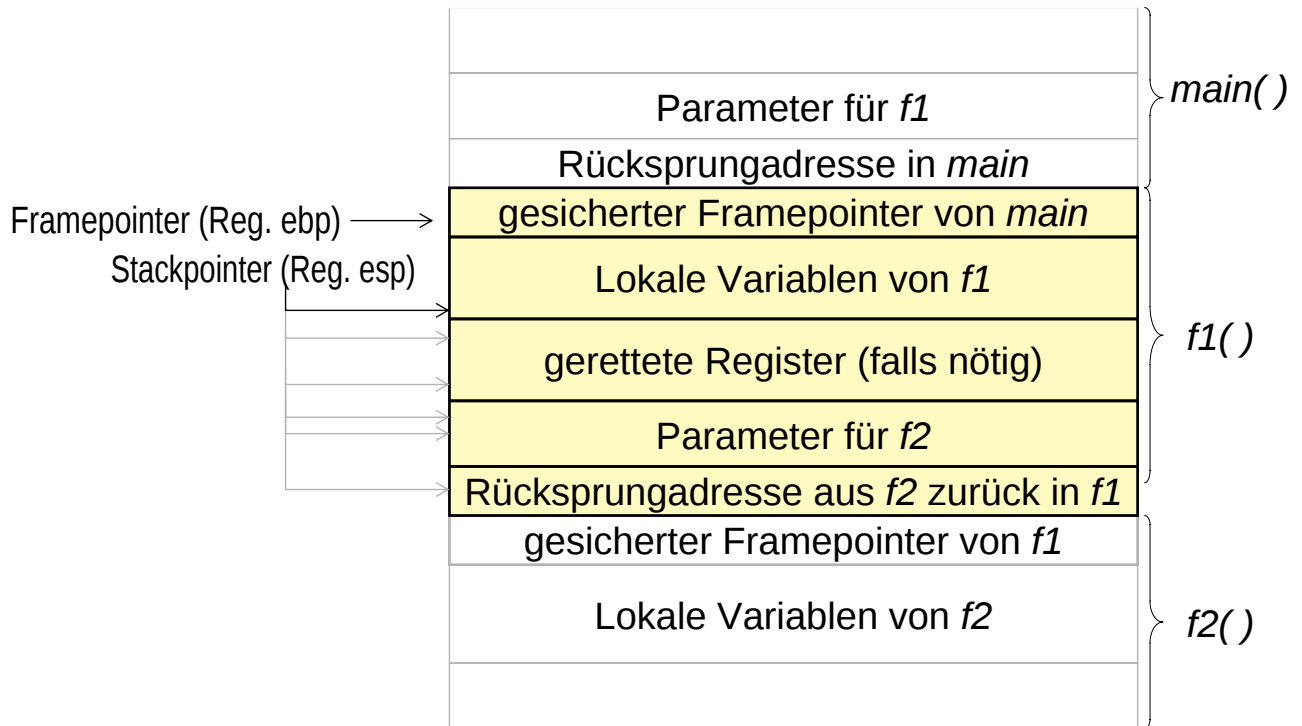


Stack-Aufbau eines Prozesses

- Bei jedem Funktionsaufruf wird ein **Stack-Frame** angelegt, der u. a.
 - lokale Variablen der Funktion
 - Aufrufparameter an weitere Funktionen
 - gesicherte Register... enthält
- Beim Rücksprung wird dieser Stack-Frame wieder abgeräumt
- Stack-Organisation ist abhängig von:
 - Prozessorarchitektur
 - Compiler (auch von Version und Flags)
 - Betriebssystem
- Im Folgenden: Beispiel für Linux auf einem x86-Prozessor (32-Bit, typisch für CISC-Architektur)
 - Spezifikation: <http://sco.com/developers/devspecs/abi386-4.pdf>
 - RISC-Prozessoren mit Register-Files gehen anders vor

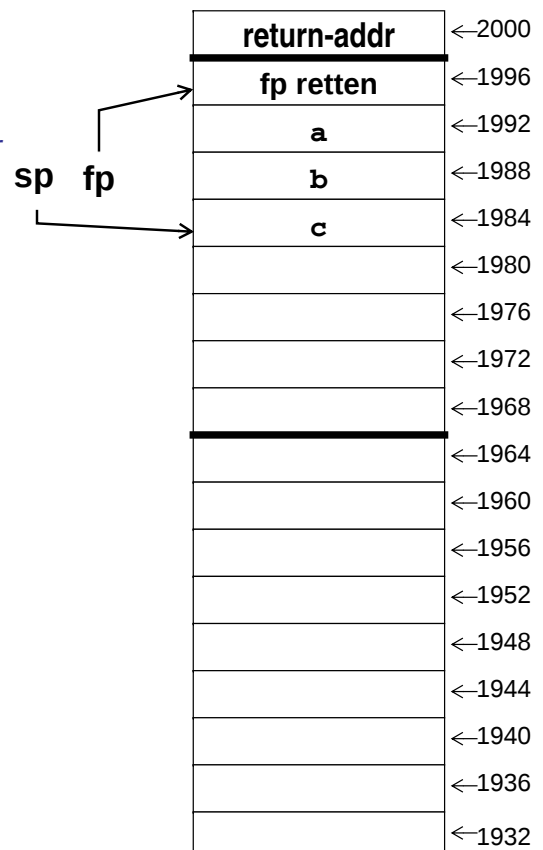


- Aufbau eines Stack-Frames (Funktionen `main()`, `f1()`, `f2()`):



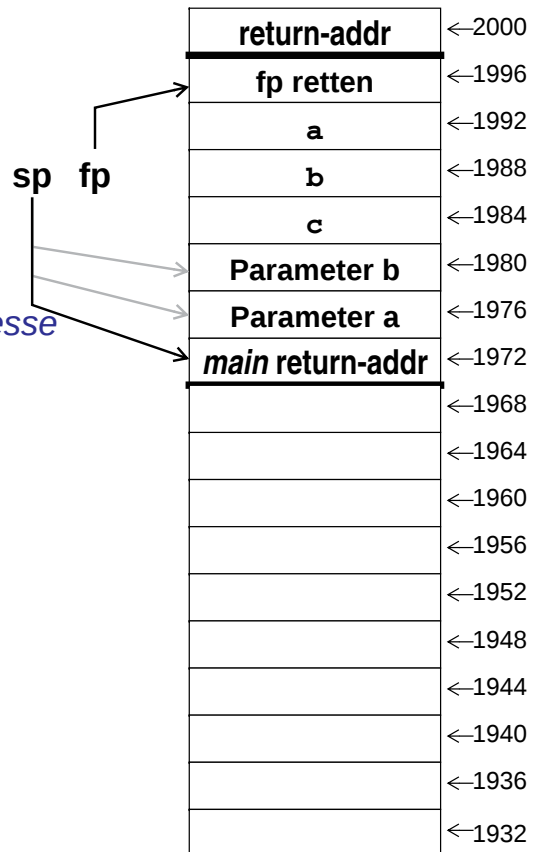
```
main() {
    int a, b, c;
    a = 10;
    b = 20;
    f1(a, b);
    return(a);
}
```

Stack-Frame für
main erstellen
 $&a = fp - 4$
 $&b = fp - 8$
 $&c = fp - 12$



```
main() {
    int a, b, c;
    a = 10;
    b = 20;
    f1(a, b);
    return(a);
}
```

Parameter
auf Stack legen
Bei Aufruf
Rücksprungadresse
auf Stack legen



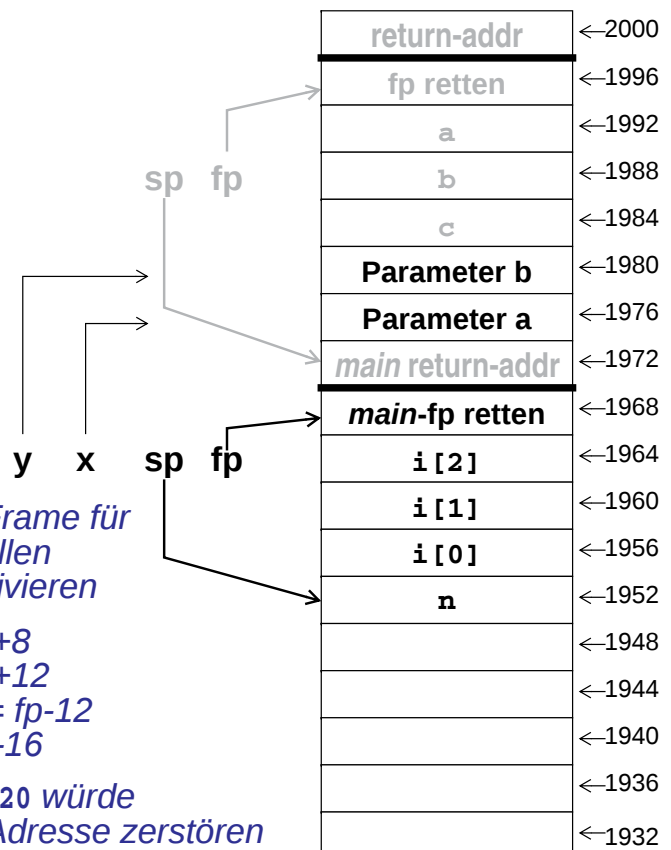
```
main() {
    int a, b, c;
    a = 10;
    b = 20;
    f1(a, b);
    return(a);
}
```

```
int f1(int x, int y) {
    int i[3];
    int n;
    x++;
    n = f2(x);
    return(n);
}
```

Stack-Frame für
f1 erstellen
und aktivieren

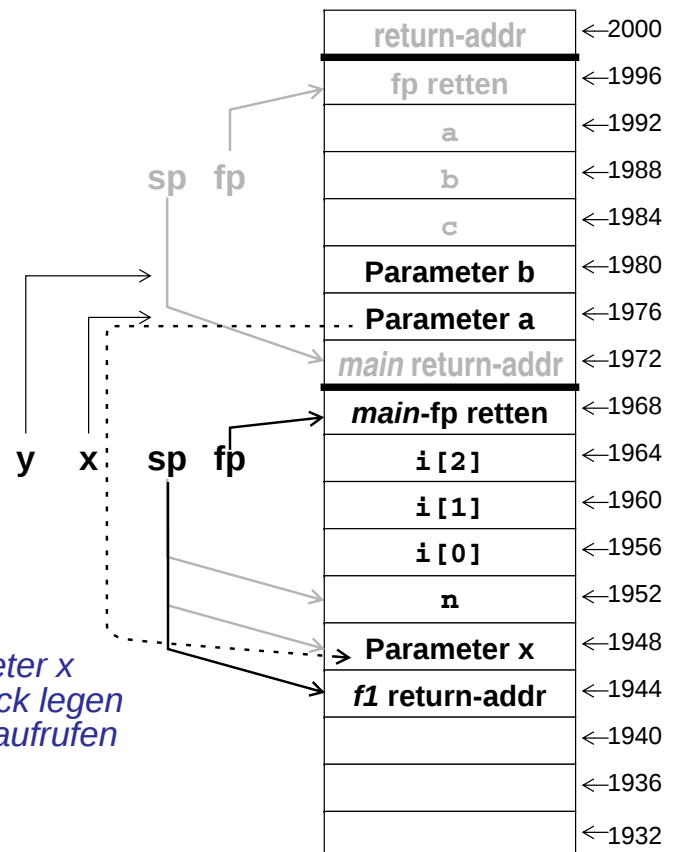
$&x = fp+8$
 $&y = fp+12$
 $&(i[0]) = fp-12$
 $&n = fp-16$

$i[4] = 20$ würde
return-Adresse zerstören



```
main() {
    int a, b, c;
    a = 10;
    b = 20;
    f1(a, b);
    return(a);
}
```

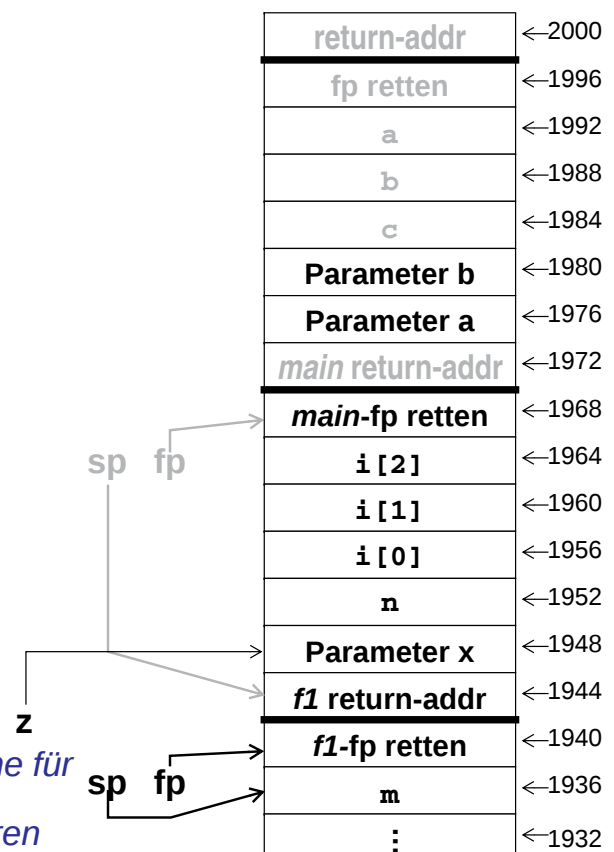
```
int f1(int x, int y) {
    int i[3];
    int n;
    x++;
    n = f2(x);
    return(n);
}
```



```
main() {
    int a, b, c;
    a = 10;
    b = 20;
    f1(a, b);
    return(a);
}
```

```
int f1(int x, int y) {
    int i[3];
    int n;
    x++;
    n = f2(x);
    return(n);
}
```

```
int f2(int z) {
    int m;
    m = 100;
    return(z+1);
}
```



```

main() {
    int a, b, c;
    a = 10;
    b = 20;
    f1(a, b);
    return(a);
}

int f1(int x, int y) {
    int i[3];
    int n;

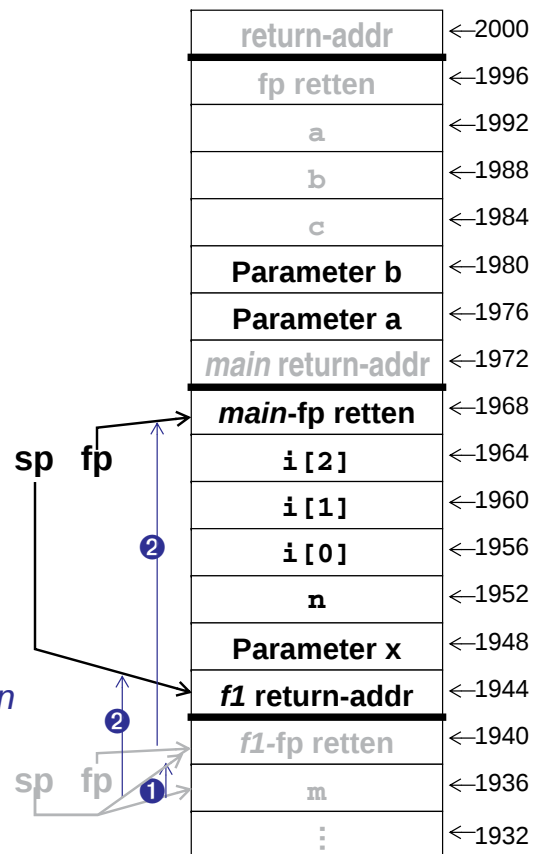
    x++;
    n = f2(x);
    return(n);
}

int f2(int z) {
    int m;
    m = 100;
    return(z+1);
}

```

Stack-Frame von
f2 abräumen

- ① $sp = fp$
- ② $fp = pop(sp)$



```

main() {
    int a, b, c;
    a = 10;
    b = 20;
    f1(a, b);
    return(a);
}

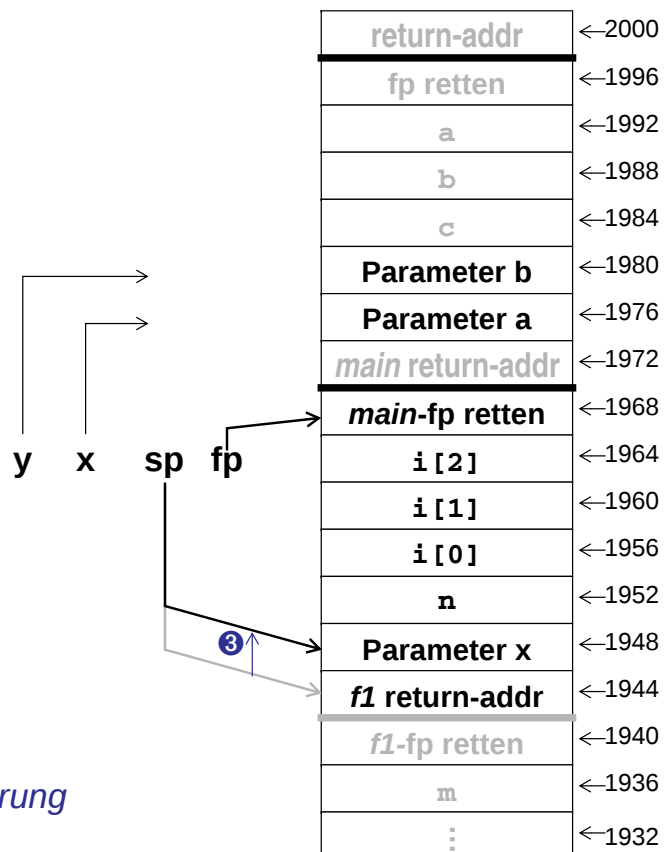
int f1(int x, int y) {
    int i[3];
    int n;

    x++;
    n = f2(x);
    return(n);
}

int f2(int z) {
    int m;
    m = 100;
    return(z+1);
}

```

Rücksprung
③ return



```
main() {
    int a, b, c;
    a = 10;
    b = 20;
    f1(a, b);
    return(a);
}
```

```
int f1(int x, int y) {
    int i[3];
    int n;
    x++;
    n = f2(x);
    return(n);
}
```

④ Aufrufparameter
abräumen

y x sp fp

return-addr	←2000
fp retten	←1996
a	←1992
b	←1988
c	←1984
Parameter b	←1980
Parameter a	←1976
main return-addr	←1972
main-fp retten	←1968
i[2]	←1964
i[1]	←1960
i[0]	←1956
n	←1952
Parameter x	←1948
f1 return-addr	←1944
f1-fp retten	←1940
m	←1936
⋮	←1932



```
main() {
    int a, b, c;
    a = 10;
    b = 20;
    f1(a, b);
    return(a);
}
```

```
int f1(int x, int y) {
    int i[3];
    int n;
    x++;
    n = f2(x);
    return(n);
}
```

y x sp fp

return-addr	←2000
fp retten	←1996
a	←1992
b	←1988
c	←1984
Parameter b	←1980
Parameter a	←1976
main return-addr	←1972
main-fp retten	←1968
i[2]	←1964
i[1]	←1960
i[0]	←1956
n	←1952
Parameter x	←1948
f1 return-addr	←1944
f1-fp retten	←1940
m	←1936
⋮	←1932



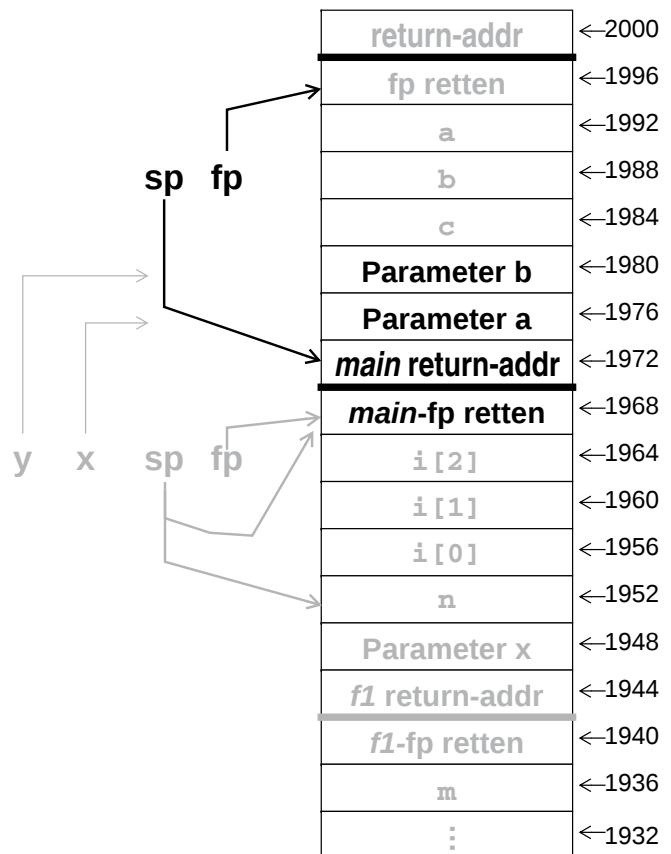
```

main() {
    int a, b, c;
    a = 10;
    b = 20;
    f1(a, b);
    return(a);
}

int f1(int x, int y) {
    int i[3];
    int n;

    x++;
    n = f2(x);
    return(n);
}

```



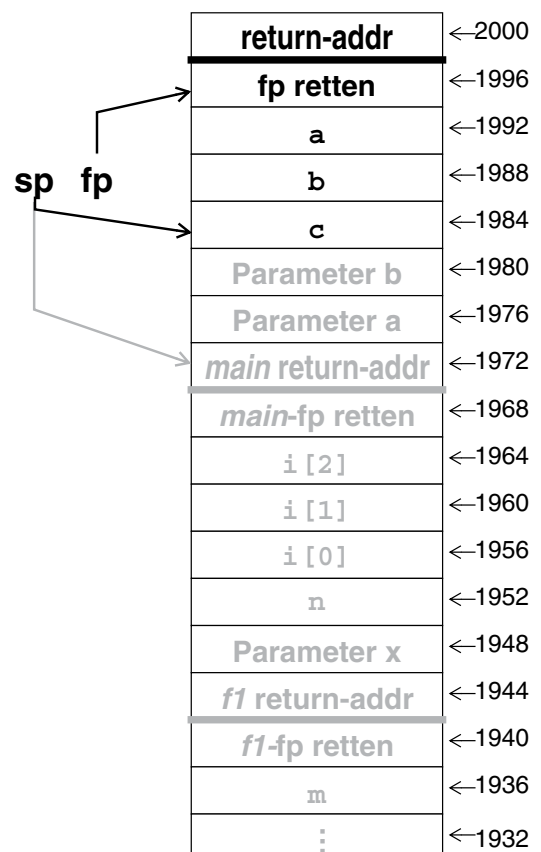
```

main() {
    int a, b, c;
    a = 10;
    b = 20;
    f1(a, b);
    return(a);
}

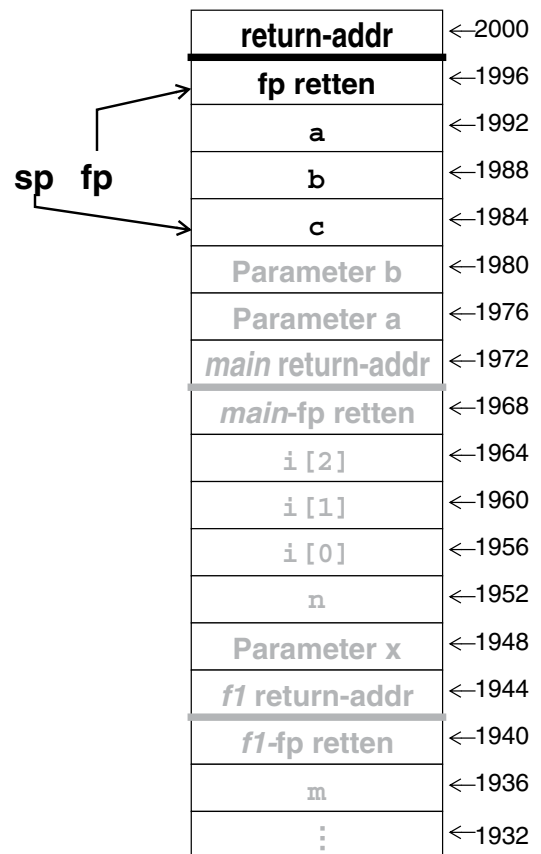
int f1(int x, int y) {
    int i[3];
    int n;

    x++;
    n = f2(x);
    return(n);
}

```



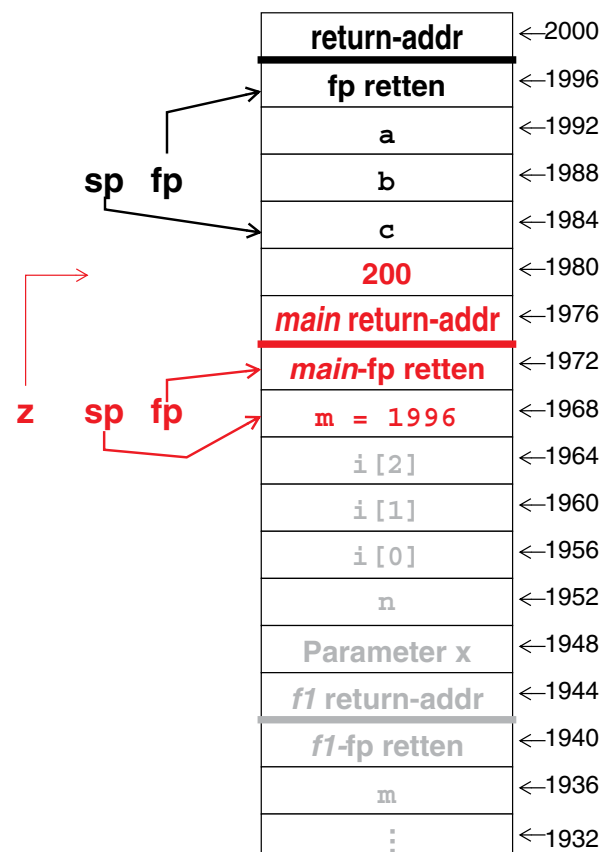
```
main() {
    int a, b, c;
    a = 10;
    b = 20;
    f1(a, b);
    return(a);
}
```



```
main() {
    int a, b, c;
    a = 10;
    b = 20;
    f1(a, b);
    f3(200);
}
```

Was wäre, wenn man nach f1() die Funktion f3() aufrufen würde?

```
int f3(int z) {
    int m;
    return z + m;
}
```



Agenda

5.1 Stack-Aufbau eines Prozesses

5.2 Live-Hacking

5.3 Gegenmaßnahmen

5.4 Weihnachts-Hacking



Live-Hacking

- Simple Authentifizierungs-Programm:
 1. Passwortabfrage
 2. Korrektes Passwort → Starten einer Shell
- Schaffen wir es die Shell zu starten, ohne das korrekte Passwort zu kennen?
- Code liegt in `/proj/i4sp2/pub/hack-demo`



■ Passwort-Authentifizierung:

```
static const char PASSWORD[] = "hello";

static int askForPassword(void) {
    fputs("Password: ", stdout);

    char password[8 + 1]; // Maximum: 8 characters and '\0'
    int n = scanf("%s", password);
    if (n == EOF)
        return -1;

    return strcmp(password, PASSWORD);
}
```

■ Pufferüberschreitung wird nicht überprüft:

- Die Variable `password` wird auf dem Stack angelegt
- Nach dem Einlesen von 9 Zeichen überschreiben alle folgenden Zeichen Daten auf dem Stack, z. B. andere Variablen, gesicherte Register oder die Rücksprungsadresse der Funktion

Angriffsvektor

- Pufferüberlauf innerhalb von `askForPassword()` hervorrufen
- Rücksprungsadresse mit der Adresse der Funktion `executeShell()` überschreiben
- Shell benutzen und freuen :-)

Wo im Textsegment liegen die Funktionen?

```
$ nm auth
0804876f r PASSWORD
08048750 r SHELL
08049890 d _DYNAMIC
08049984 d _GLOBAL_OFFSET_TABLE_
0804874c R _IO_stdin_used
           w _ITM_deregisterTMCloneTable
           w _ITM_registerTMCloneTable
           w _Jv_RegisterClasses
08048880 r __FRAME_END__
0804988c d __JCR_END__
0804988c d __JCR_LIST__
080499bc D __TMC_END__
080499bc A __bss_start
080499b4 D __data_start
08048580 t __do_global_dtors_aux
08049888 t __do_global_dtors_aux_fini_array_entry
080499b8 D __dso_handle
08049884 t __frame_dummy_init_array_entry
           w __gmon_start__
0804872a T __i686.get_pc_thunk.bx
08049888 t __init_array_end
08049884 t __init_array_start
           U __isoc99_scanf@GLIBC_2.7
080486c0 T __libc_csu_fini
080486d0 T __libc_csu_init
           U __libc_start_main@GLIBC_2.0
080499bc A _edata
080499e8 A _end
08048730 T _fini
08048748 R _fp_hw
0804840c T _init
080484e0 T _start
080485cc t askForPassword
080499e4 b completed.5730
080499b4 W data_start
08048510 t deregister_tm_clones
           U execl@GLIBC_2.0
0804862f t executeShell
           U exit@GLIBC_2.0
080485a0 t frame_dummy
           U fwrite@GLIBC_2.0
08048669 T main
           U perror@GLIBC_2.0
           U puts@GLIBC_2.0
08048540 t register_tm_clones
080499c0 B stderr@GLIBC_2.0
080499e0 B stdout@GLIBC_2.0
           U strcmp@GLIBC_2.0
```

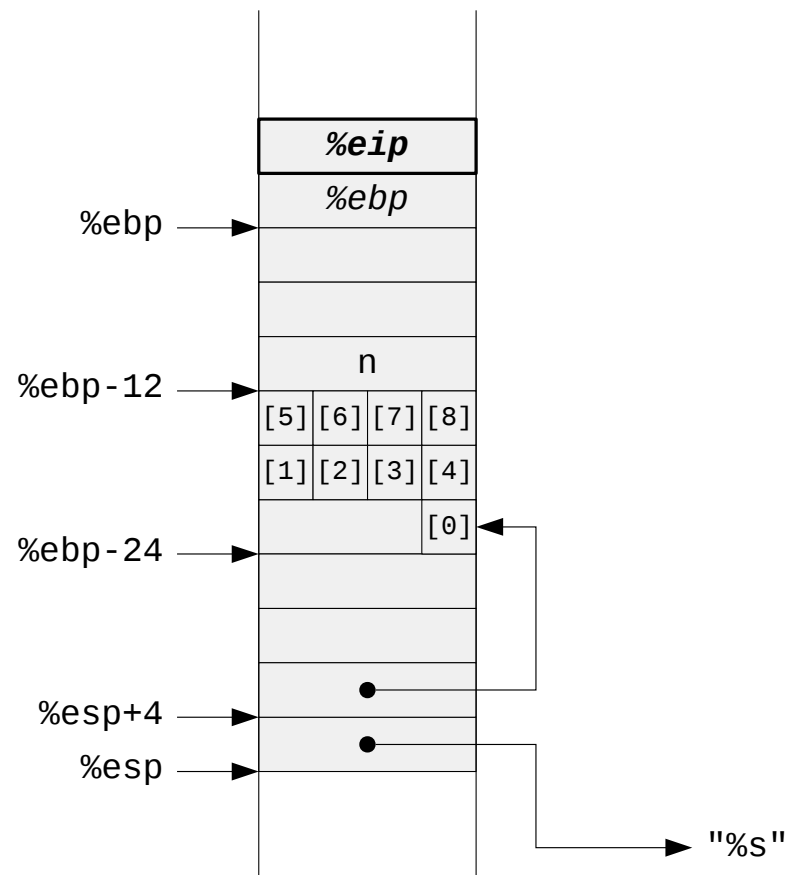
Analysieren des Stack-Layouts

```
$ objdump -d auth
080485cc <askForPassword>:
080485cc: 55          push    %ebp
080485cd: 89 e5       mov     %esp,%ebp
080485cf: 83 ec 28    sub     $0x28,%esp
080485d2: a1 e0 99 04 08 mov     0x80499e0,%eax
080485d7: 89 44 24 0c mov     %eax,0xc(%esp)
080485db: c7 44 24 08 0a 00 00 movl    $0xa,0x8(%esp)
080485e2: 00
080485e3: c7 44 24 04 01 00 00 movl    $0x1,0x4(%esp)
080485ea: 00
080485eb: c7 04 24 75 87 04 08 movl    $0x8048775,(%esp)
080485f2: e8 79 fe ff ff call    8048470 <fwrite@plt>
080485f7: 8d 45 eb    lea     -0x15(%ebp),%eax
080485fa: 89 44 24 04 mov     %eax,0x4(%esp)
080485fe: c7 04 24 80 87 04 08 movl    $0x8048780,(%esp)
08048605: e8 c6 fe ff ff call    80484d0 <__isoc99_scanf@plt>
0804860a: 89 45 f4    mov     %eax,-0xc(%ebp)
0804860d: 83 7d f4 ff cmpl    $0xffffffff,-0xc(%ebp)
08048611: 75 07       jne     804861a <askForPassword+0x4e>
08048613: b8 ff ff ff ff mov     $0xffffffff,%eax
08048618: eb 13       jmp     804862d <askForPassword+0x61>
0804861a: c7 44 24 04 6f 87 04 movl    $0x804876f,0x4(%esp)
08048621: 08
08048622: 8d 45 eb    lea     -0x15(%ebp),%eax
08048625: 89 04 24    mov     %eax,(%esp)
08048628: e8 23 fe ff ff call    8048450 <strcmp@plt>
0804862d: c9         leave
0804862e: c3         ret
```

Aufbauen des Stack-Frames

Lesen der Adresse von password

Schreiben von n



Ausnutzen des Pufferüberlaufs

- Erzeugen eines manipulierenden Eingabe-Datenstroms mit Hilfe eines kleinen Programms, das
 - zuerst einen Bytestrom schickt, der zu einem Stack-Überlauf und dem fehlerhaften Rücksprung (und damit zum Aufruf von `executeShell()`) führt:
 - 9 Bytes fürs char-Array
 - 4 Bytes für Variable `n`
 - 12 Bytes für Füll-Slots und Frame-Pointer
 - 4 Bytes für die neue Rücksprungadresse `0x0804862f`
→ Byte-Order beachten!
 - 1 Byte `'\n'` zum Abschließen der Eingabe
 - anschließend alle Zeichen von `stdin` hinterherschickt (die bekommt dann die in `executeShell()` gestartete Shell)
- Starten des Hilfsprogramms und Umleiten der Ausgabe ins `auth`-Programm



- In unserem Beispiel ist der im Rahmen des Angriffs auszuführende Code bereits Bestandteil des Programms
- Gefährlichere Alternative:
 - Zusätzlich zu der Manipulation der Rücksprungadresse schickt man eigenen Maschinencode hinterher – und manipuliert die Rücksprungadresse so, dass sie auf den mitgeschickten Code im Stack zeigt
 - Falls die Stack-Adresse nur grob bekannt ist, baut man eine „Rutsche“ aus *NOP*-Instruktionen vor den eigentlichen Schadcode
- Übliches Ziel: auf dem angegriffenen Rechner eine fernsteuerbare Shell bekommen



Weitere Einfallstore

- Pufferüberläufe sind nur eine von vielen möglichen Sicherheitslücken in C-Programmen
- Ganzzahlüber-/unterläufe:

```
// Lies width und height vom Benutzer  
int *matrix = malloc(width * height * sizeof(*matrix));  
// Befuelle matrix mit Daten vom Benutzer
```

- Falls `width * height > SIZE_MAX`, wird zu wenig Speicher für die Matrix alloziert!
- Puffer auf dem Heap wird überlaufen

- Format-String-Angriffe:

```
// Lies string vom Benutzer  
printf(string);
```

- Benutzer kann `printf()` einen beliebigen Format-String unterjubeln
- Durch geschicktes Einfügen von %-Platzhaltern kann er beliebige Stack-Inhalte auslesen und u. U. beliebige Speicherinhalte überschreiben



5.1 Stack-Aufbau eines Prozesses

5.2 Live-Hacking

5.3 Gegenmaßnahmen

5.4 Weihnachts-Hacking



Vermeiden von Pufferüberläufen in C Gegenmaßnahmen

- **Allerwichtigste Schutzmaßnahme ist das Bauen robuster Software!**
- Die folgenden Funktionen sind **absolut tabu** – man kann sie nicht korrekt verwenden:
 - `scanf("%s", buffer);`
 - Stattdessen: `char buffer[10]; scanf("%9s", buffer);`
 - `gets()`
 - Seit SUSv4 nicht mehr Teil der Standardbibliothek :-)
 - Stattdessen `fgets()` benutzen
- Nur mit Vorsicht zu genießen sind u. a. `strcpy()`, `strcat()`, `sprintf()` und eigene Schleifenkonstrukte
- Korrekte Implementierungsmöglichkeiten:
 1. Den Zielpuffer von vornherein mit der richtigen Größe anlegen
 - Wenn das geht, ist es immer der beste Weg!
 2. `snprintf()` benutzen
 - Alternativen `strncpy()`, `strncat()` haben keine wohldefinierte Semantik
 - Beispiel: `strncpy()` terminiert String nicht mit `'\0'`, falls Puffer zu klein :-)



Technische Gegenmaßnahmen

- Fehlerfreie Software ist eine Utopie :-/
- Das Ausnutzen von Pufferüberläufen kann aber durch technische Maßnahmen immerhin erschwert werden

Hardware-Ebene: *NX-Bit*

- Rechteverwaltung für Speicherseiten (*rwX*):
 - Prüfung jedes Speicherzugriffs durch die MMU
 - Sprung in eine als nicht ausführbar markierte Seite → **Trap**
 - Gängige Richtlinie: *W^X* – entweder schreiben oder ausführen
- Unterstützung in allen modernen CPU-Architekturen
 - Ausnahme: Intel x86 (vor x86_64)
- Verhindert z. B. Ausführen von Schadcode auf Stack oder Heap
- Manipulierte Sprünge auf existierende Code-Sequenzen sind aber weiterhin möglich (*Return-Oriented Programming*)

Technische Gegenmaßnahmen

Betriebssystem-Ebene: *Address-Space Layout Randomisation*

- Zufällige Positionierung der Sektionen im logischen Adressraum
- Erschwert Angriffe, bei denen Adressen bekannt sein müssen
- Umsetzbarkeit:
 - Heap, Stack: bei allen Programmen möglich
 - Daten, BSS, Code: Programm muss als *Position-Independent Executable* kompiliert worden sein (*-fPIE*)

Compiler-Ebene: *Canaries / Stack Cookies*

- Ablegen einer (zufälligen) magischen Zahl in jedem Stack-Frame
- Vor Rücksprung wird überprüft, ob der Wert verändert wurde
- Im GCC Aktivierung mit *-fstack-protector*

5.1 Stack-Aufbau eines Prozesses

5.2 Live-Hacking

5.3 Gegenmaßnahmen

5.4 Weihnachts-Hacking



Weihnachts-Hacking

- Shell-Server **harsh** (*Holey Assailable Remote Shell*):
 - Läuft auf Rechner `fau100a.cs.fau.de`, Port 10443
 - Verbindungen nur aus dem CIP-Netz (131.188.30.0/24)
 - Verbinden z. B. mit netcat: `nc -q0 fau100a 10443`
 - Startet nach Eingabe des richtigen Passworts eine einfache Shell: `cash` (*Castrated Shell*)
 - `cash` erlaubt Registrierung des eigenen Namens in einer *Hall of Fame*
- Quell- und Binärcode (32-Bit) in `/proj/i4sp2/pub/harsh`
- Teilnahme freiwillig, keine Bewertung
- Exploit basteln:
 1. Schwachstelle im Quellcode finden
 2. Binärcode analysieren (`nm`, `objdump`, `gdb`)
 3. Position und Layout der interessanten Daten und Codestücke herausfinden
 4. Manipulierten Datenstrom bauen und einschleusen
 5. ???
 6. PROFIT!



- Bildbearbeitungs-Server i4s (*i4 Insecure Image Inversion Service*):
 - Details siehe `/proj/i4sp2/pub/i4s/doc/readme.txt`
- Beide Dienste voraussichtlich bis Semesterende erreichbar



Frohe Weihnachten und einen guten Rutsch!



(Originalbild: <http://hackerstreefarm.com>)

