

Übungen zu Systemprogrammierung 2 (SP2)

ÜH – C und Sicherheit

Andreas Ziegler, Stefan Reif, Jürgen Kleinöder

Lehrstuhl für Informatik 4
Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

SS 2016 – 02. bis 06. Mai 2016

http://www4.cs.fau.de/Lehre/SS16/V_SP2



Agenda

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



Agenda

5.1 Stack-Aufbau eines Prozesses

5.2 Live-Hacking

5.3 Gegenmaßnahmen

5.4 Pfingst-Hacking



Stack-Aufbau eines Prozesses

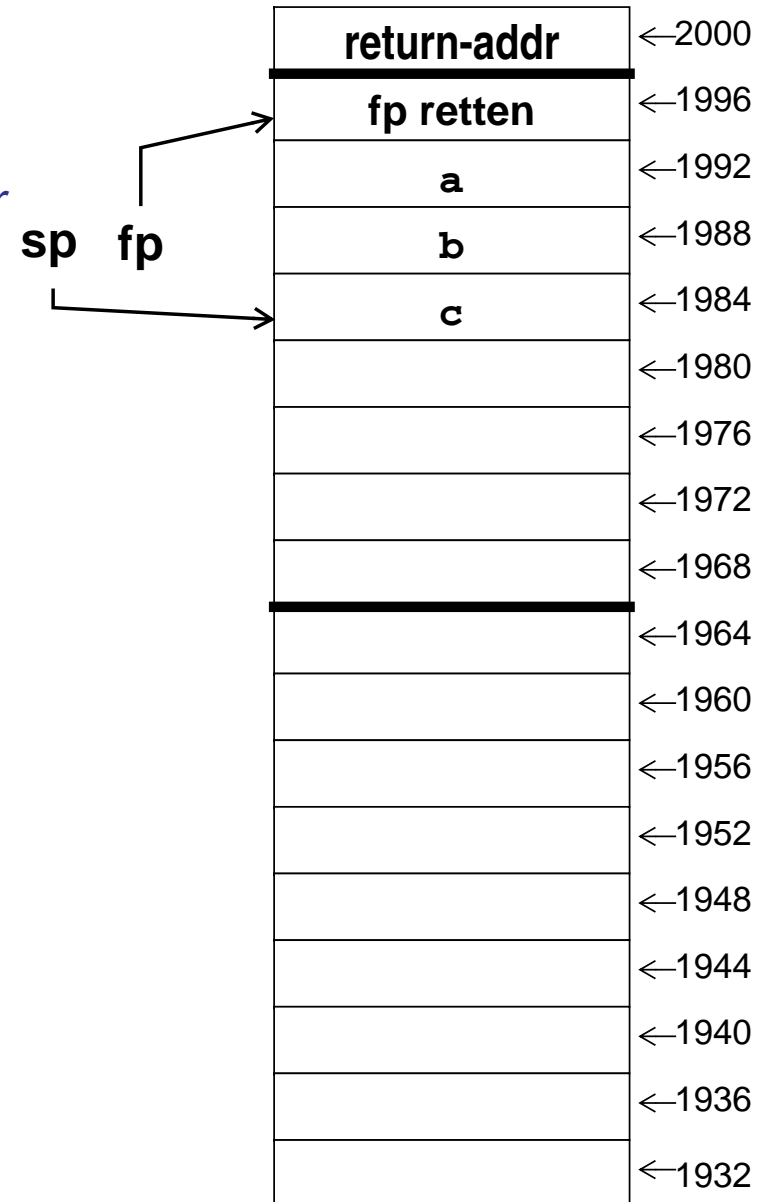
- Bei jedem Funktionsaufruf wird ein **Stack-Frame** angelegt, der u. a.
 - lokale Variablen der Funktion
 - Aufrufparameter an weitere Funktionen
 - gesicherte Register... enthält
- Beim Rücksprung wird dieser Stack-Frame wieder abgeräumt
- Stack-Organisation ist abhängig von:
 - Prozessorarchitektur
 - 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



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

*Stack-Frame für
main erstellen*

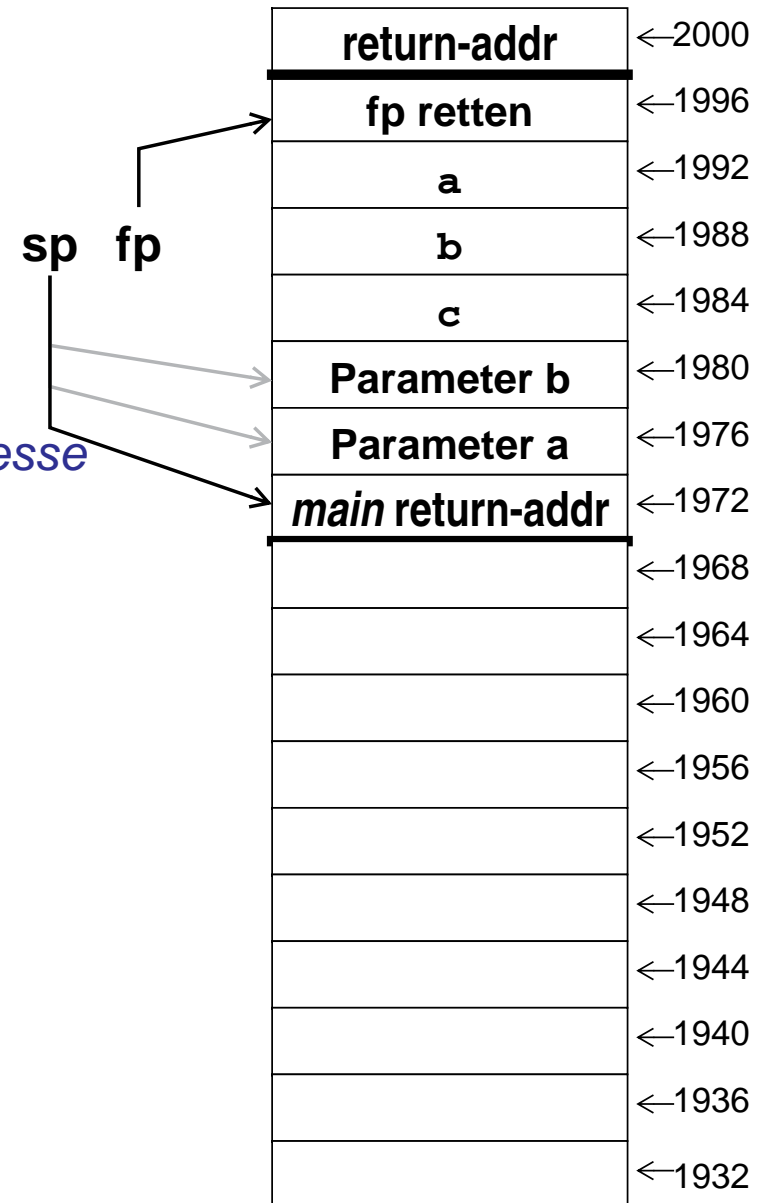
*&a = fp - 4
&b = fp - 8
&c = fp - 12*



```
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;

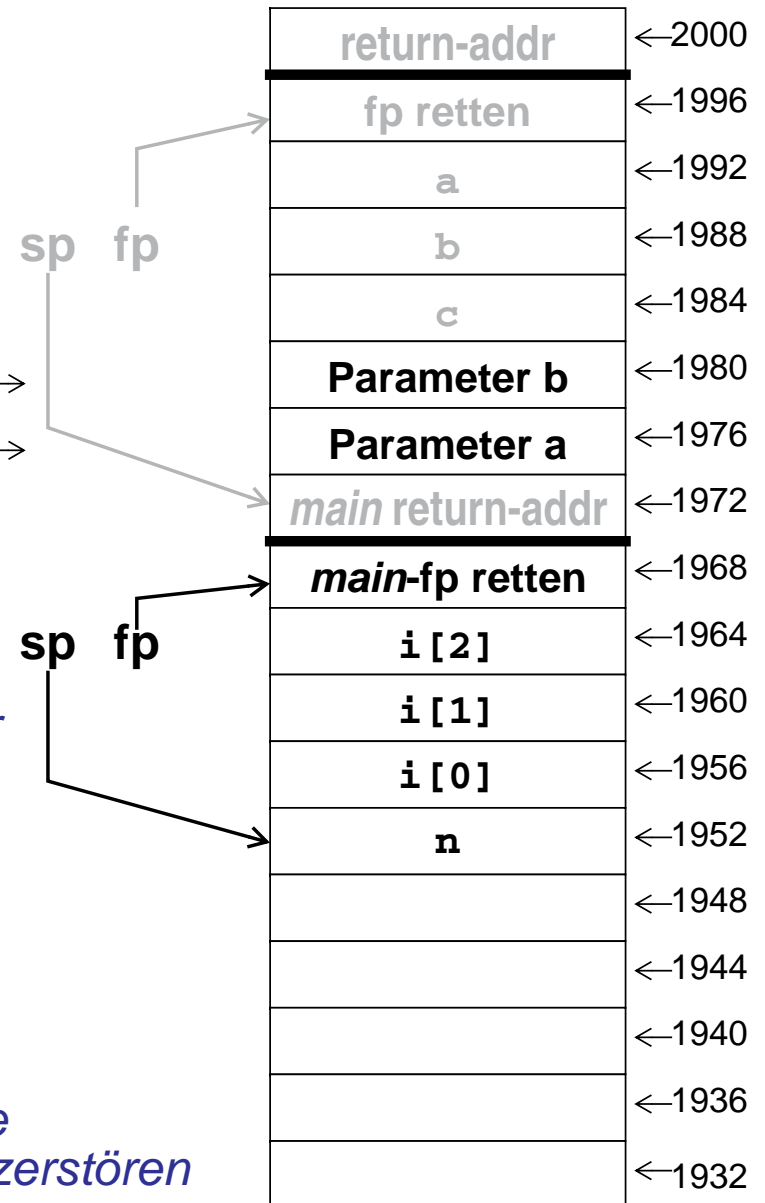
    x++;

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

Stack-Frame für f1 erstellen und aktivieren

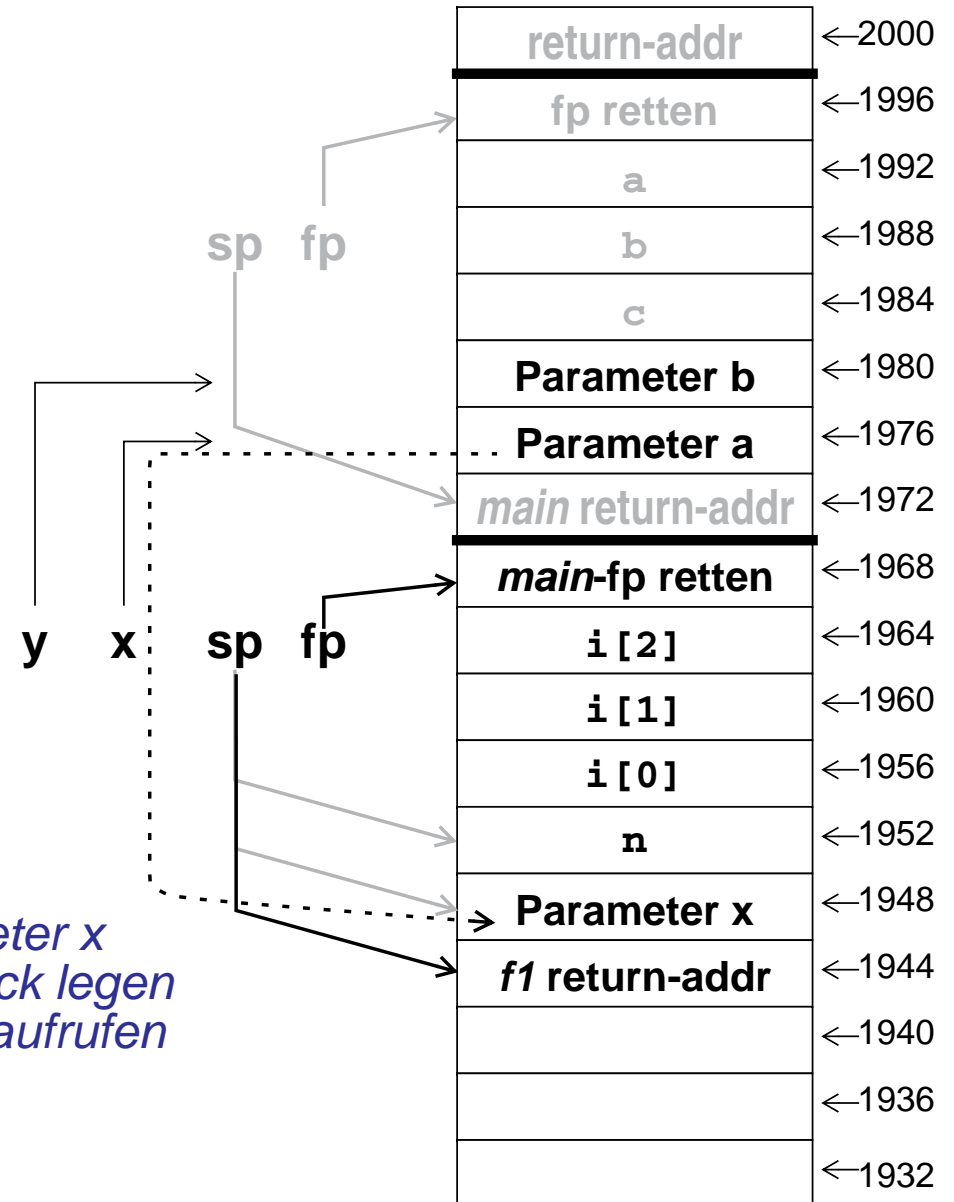
$&x = fp+8$
 $&y = fp+12$
 $&(i[0]) = fp-12$
 $&n = fp-16$

$i[4] = 20$ 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);  
}
```



*Parameter x
auf Stack legen
und f2 aufrufen*



```
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++;

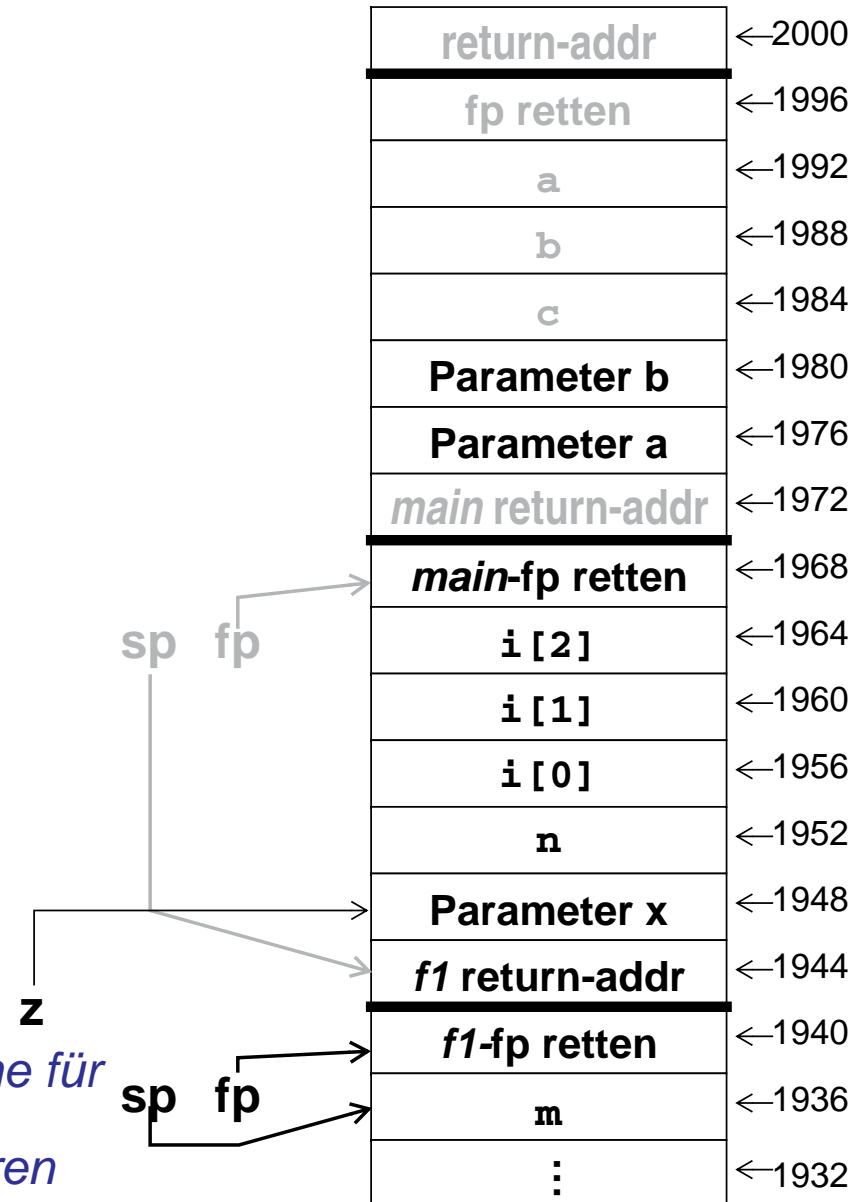
    n = f2(x);

    return(n);
}

int f2(int z) {
    int m;

    m = 100;

    return(z+1);
}
```



Stack-Frame für f2 erstellen und aktivieren



```
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++;

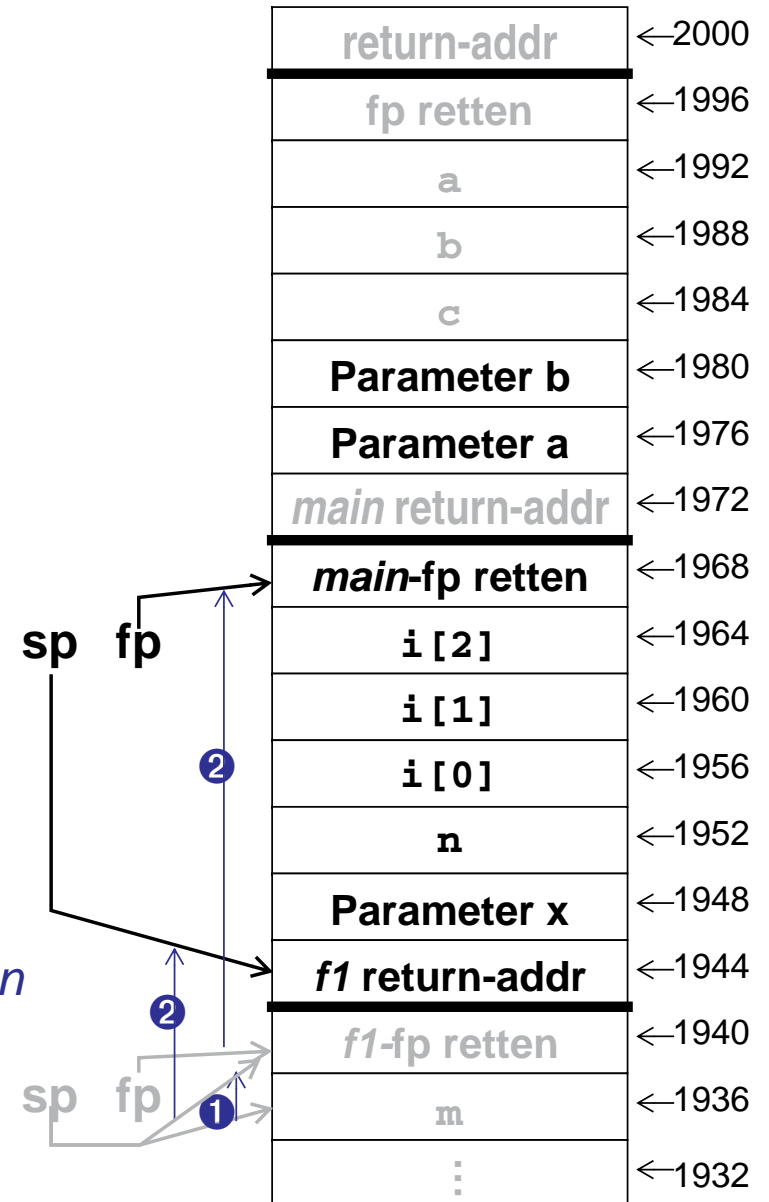
    n = f2(x);

    return(n);
}

int f2(int z) {
    int m;

    m = 100;

    return(z+1);
}
```



Stack-Frame von f2 abräumen

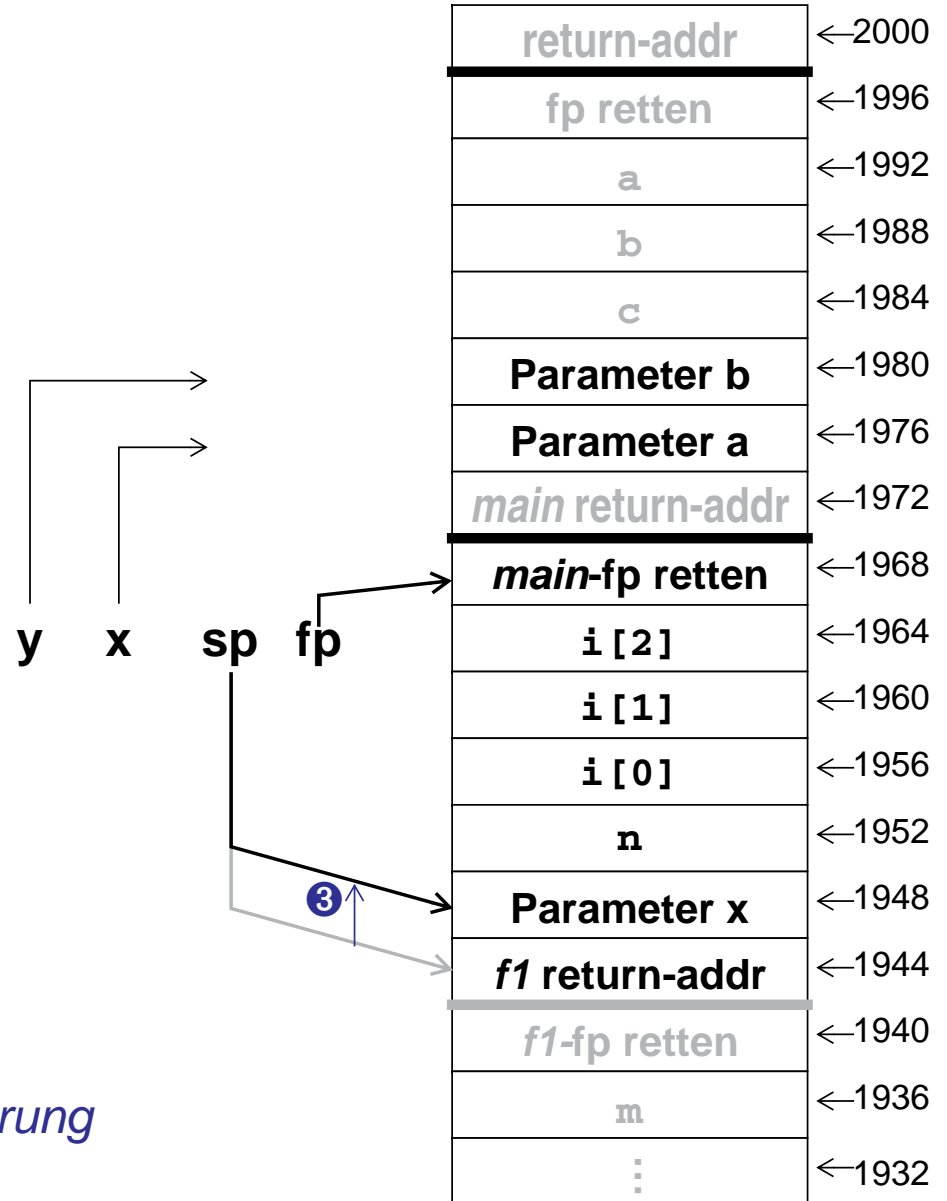
- ① $sp = fp$
- ② $fp = pop(sp)$



```
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

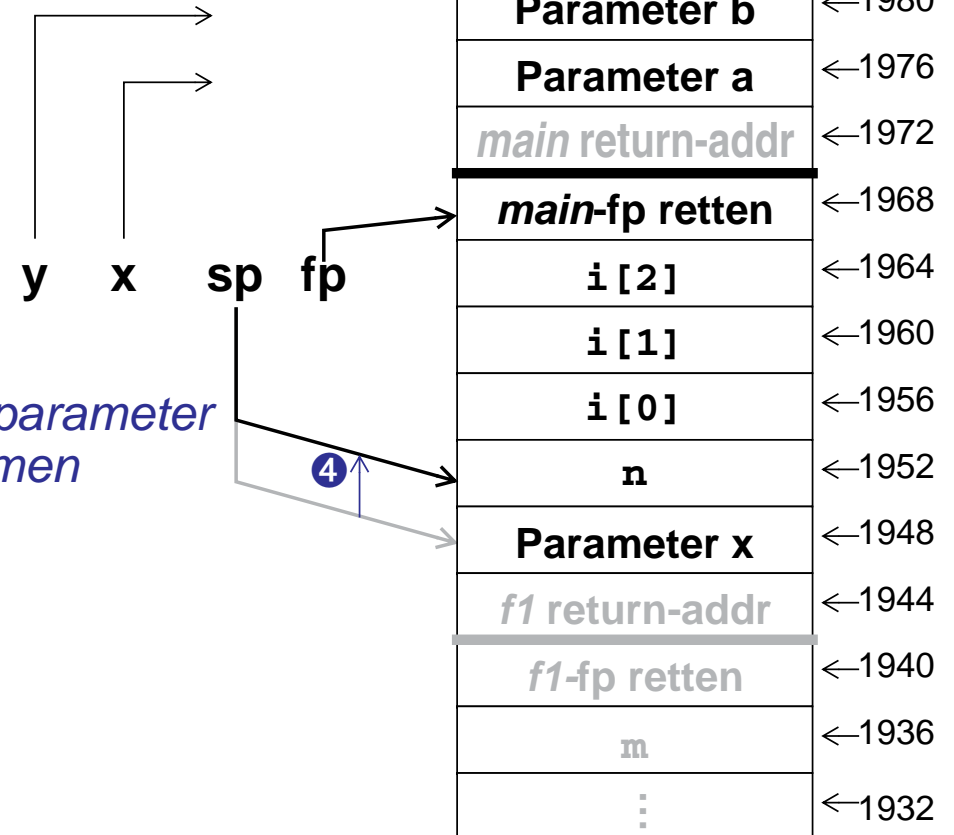
③ return



```
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*



```
main() {
    int a, b, c;

    a = 10;
    b = 20;

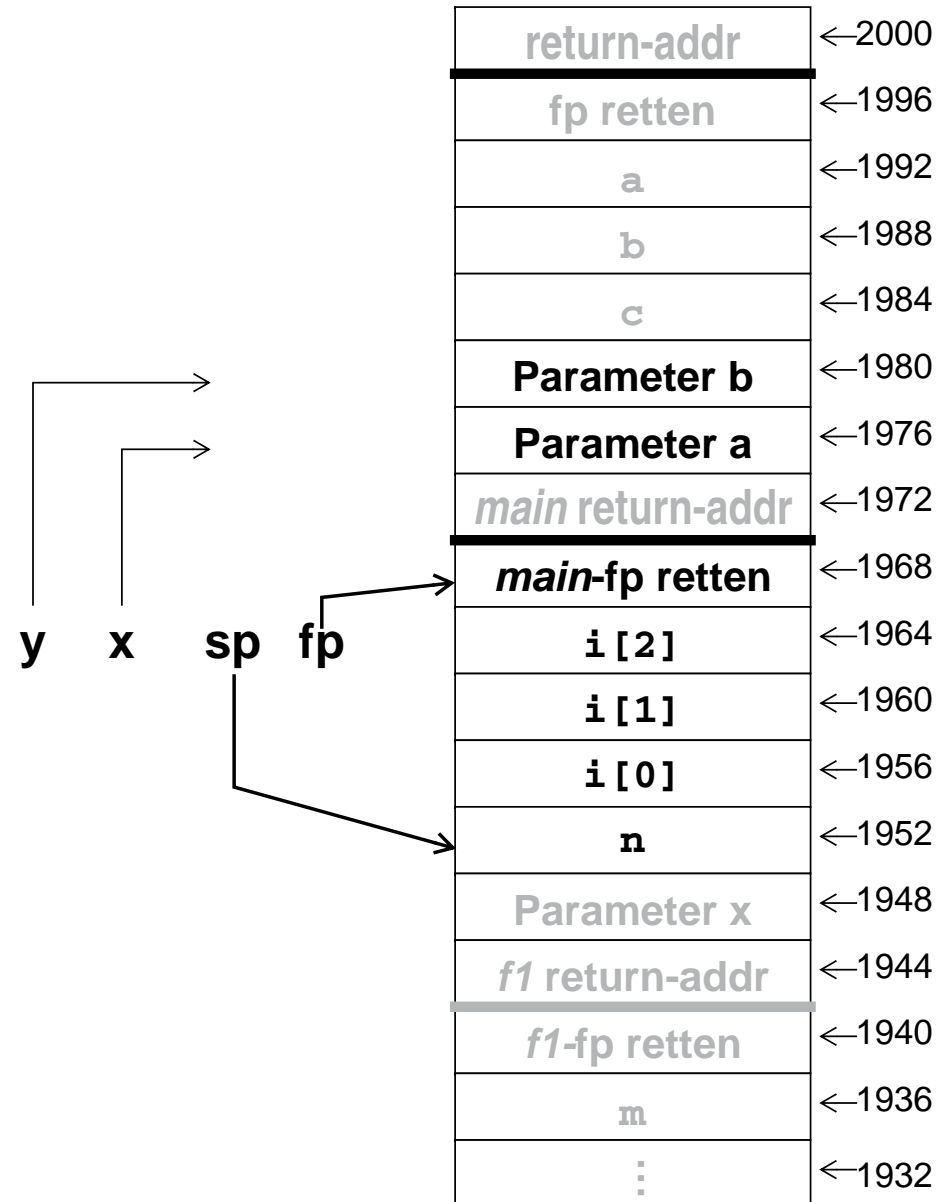
    f1(a, b);

    return(a);
}

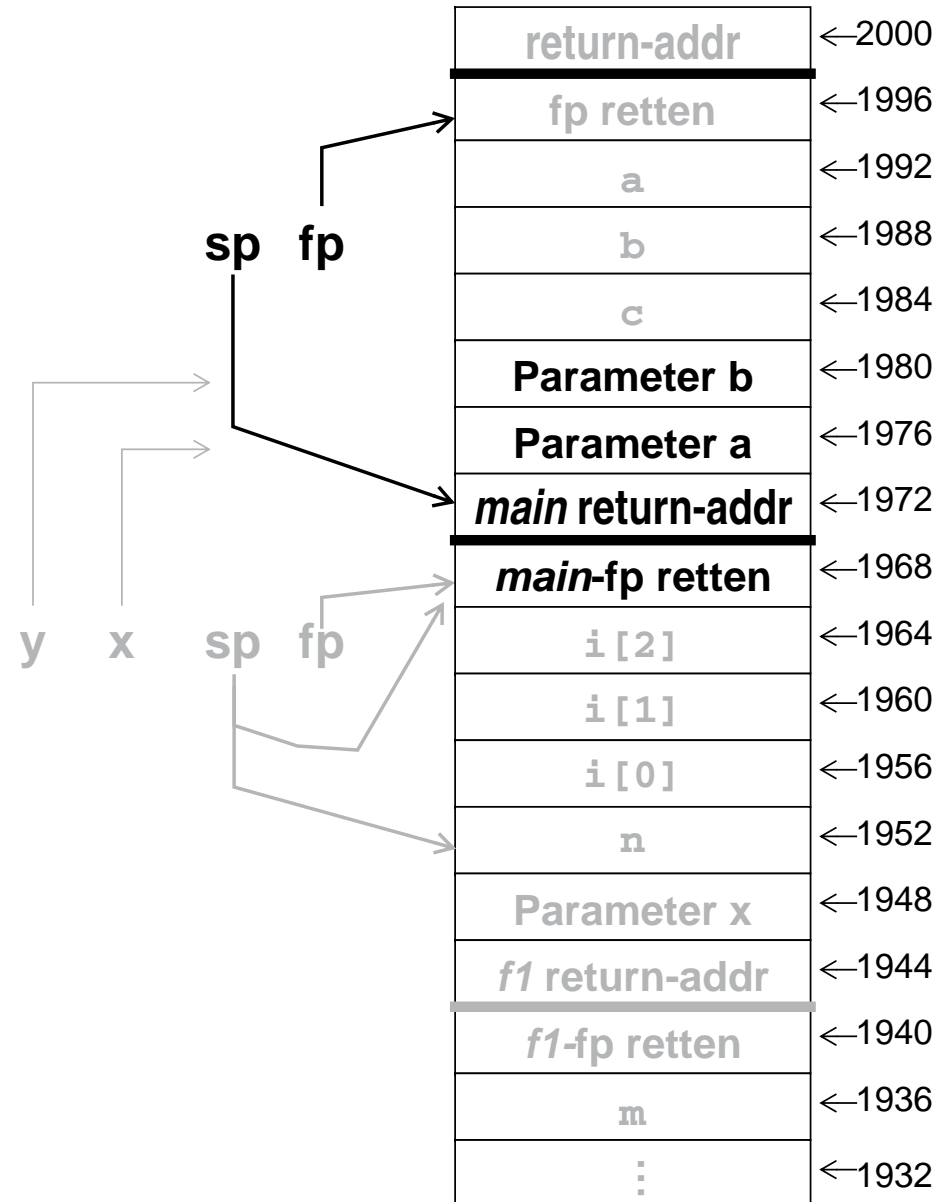
int f1(int x, int y) {
    int i[3];
    int n;

    x++;

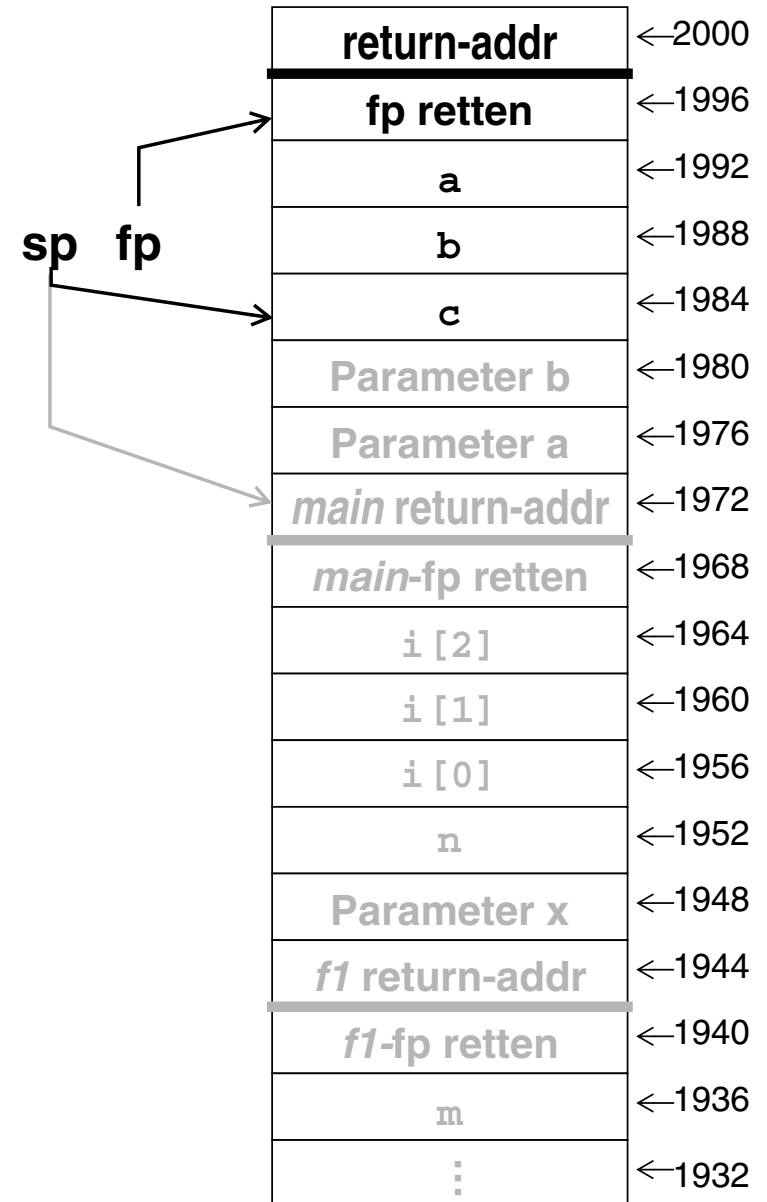
    n = f2(x);
    return(n);
}
```



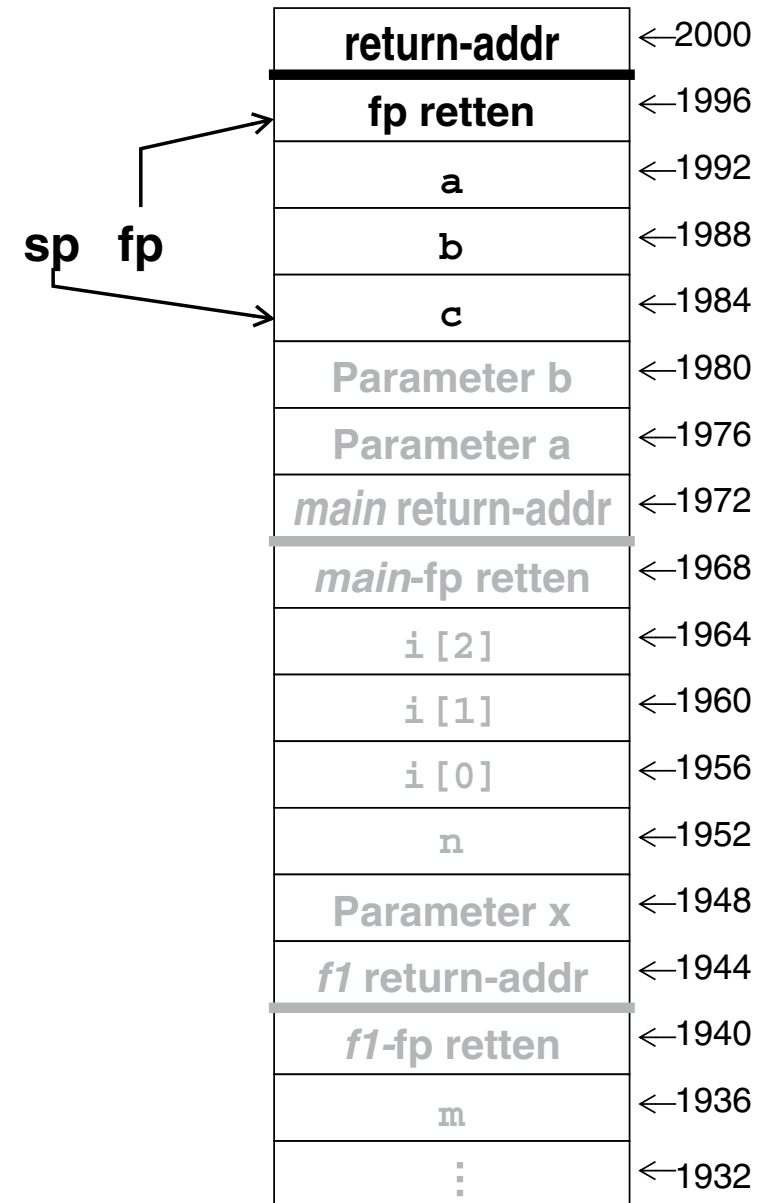
```
main() {  
    int a, b, c;  
    a = 10;  
    b = 20;  
    f1(a, b);  
    return(a);  
}  
  
int f1(int x, int y) {  
    int i[3];  
    int n;  
    x++;  
    n = f2(x);  
    return(n);  
}
```



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



Agenda

5.1 Stack-Aufbau eines Prozesses

5.2 Live-Hacking

5.3 Gegenmaßnahmen

5.4 Pfingst-Hacking



Live-Hacking

- Simple Authentifizierungs-Programm (z. B. einem Netzwerkdienst vorgeschaltet):
 1. Passwortabfrage
 2. Korrektes Passwort → Starten einer Shell
- Code liegt in `/proj/i4sp2/pub/hack-demo`
 - Ausführen mit Skript `run.sh`
- Schaffen wir es die Shell zu starten, ohne das korrekte Passwort zu kennen?



■ Passwort-Authentifizierung:

```
static int authenticate(void) {  
  
    fputs("Password: ", stdout);  
    fflush(stdout);  
  
    char password[8 + 1]; // Maximum: 8 characters and '\0'  
    int n = scanf("%s", password);  
    if (n == EOF)  
        return -1;  
  
    return checkPassword(password);  
}
```

■ scanf() überprüft nicht auf Pufferüberschreitung!

- Das Array password liegt auf dem Stack
- Nach dem Einlesen von 9 Zeichen überschreiben alle folgenden Zeichen andere Daten auf dem Stack



1. Pufferüberlauf innerhalb von `authenticate()` hervorrufen
2. Rücksprungadresse mit der Adresse der Funktion `executeShell()` überschreiben
3. Shell benutzen und freuen :-)



■ Wo im Textsegment liegen unsere Funktionen?

```
$ nm auth
080489e0 r PASSWD_FILE
08048a04 r SHELL
08049bf8 d _DYNAMIC
08049cec d _GLOBAL_OFFSET_TABLE_
080489c4 R _IO_stdin_used
        w _ITM_deregisterTMCloneTable
        w _ITM_registerTMCloneTable
        w _Jv_RegisterClasses
08048be8 r __FRAME_END__
08049bf4 d __JCR_END__
08049bf4 d __JCR_LIST__
08049d3c D __TMC_END__
08049d3c B __bss_start
08049d34 D __data_start
08048700 t __do_global_dtors_aux
08049bf0 t __do_global_dtors_aux_fini_array_entry
08049d38 D __dso_handle
08049bec t __frame_dummy_init_array_entry
        w __gmon_start__
08049bf0 t __init_array_end
08049bec t __init_array_start
        U __isoc99_scanf@@GLIBC_2.7
08048990 T __libc_csu_fini
08048920 T __libc_csu_init
        U __libc_start_main@@GLIBC_2.0
08048680 T __x86.get_pc_thunk.bx
08049d3c D _edata
08049d48 B _end
08048994 T _fini
080489c0 R _fp_hw
0804852c T _init
08048650 T _start
08048831 t authenticate
0804874b t checkPassword
08049d44 b completed.6279
        U crypt@@GLIBC_2.0
08049d34 W data_start
08048690 t deregister_tm_clones
        U execl@@GLIBC_2.0
08048894 t executeShell
        U exit@@GLIBC_2.0
        U fclose@@GLIBC_2.1
        U ferror@@GLIBC_2.0
        U fflush@@GLIBC_2.0
        U fgetpwent@@GLIBC_2.0
        U fopen@@GLIBC_2.1
08048720 t frame_dummy
        U fwrite@@GLIBC_2.0
080488cb T main
        U perror@@GLIBC_2.0
        U puts@@GLIBC_2.0
080486c0 t register_tm_clones
08049d40 B stdout@@GLIBC_2.0
        U strcmp@@GLIBC_2.0
```



Analysieren des Stack-Layouts

```
$ objdump -d auth
```

```
08048831 <authenticate>:
```

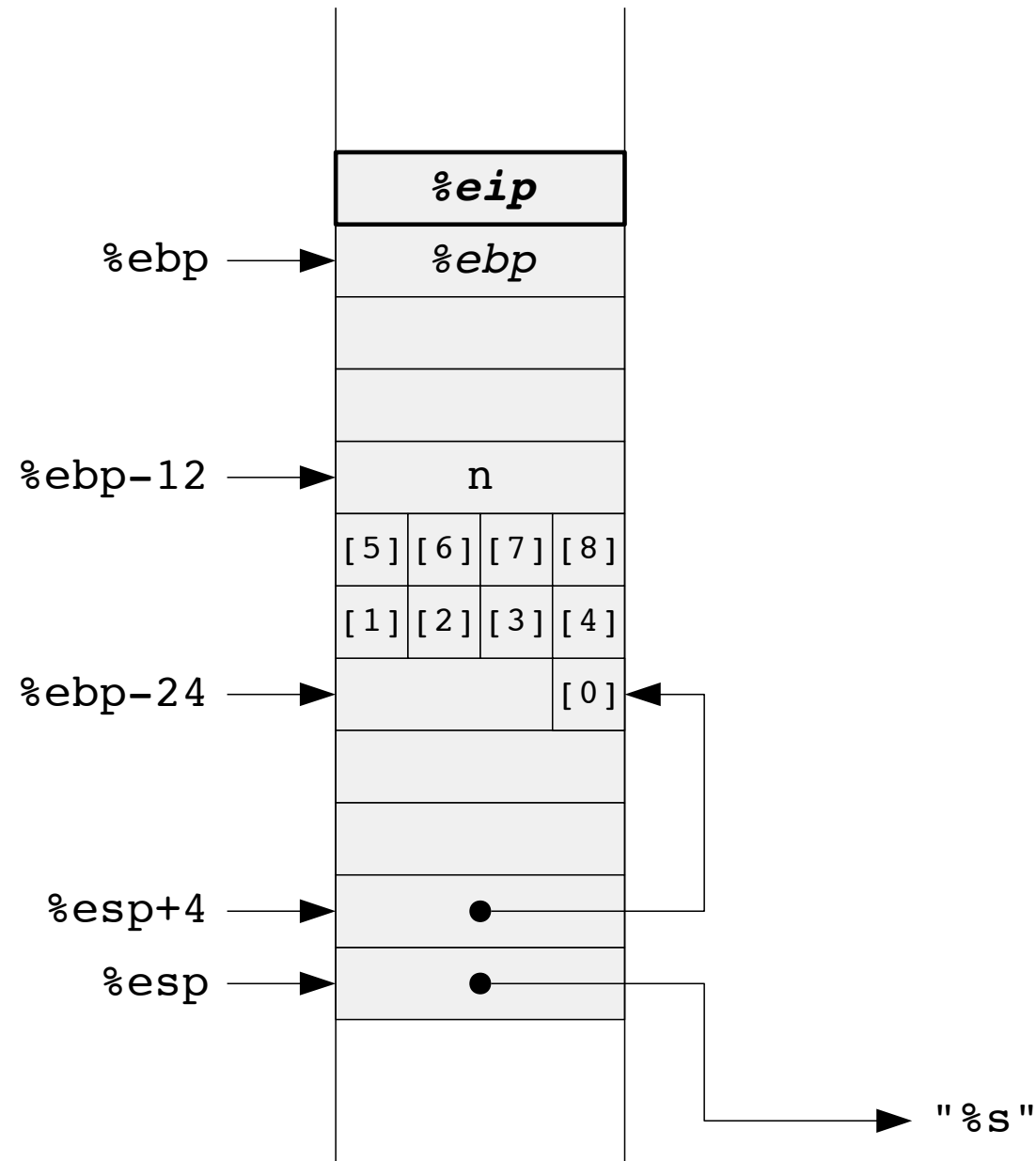
```
8048831: 55          push   %ebp
8048832: 89 e5      mov    %esp,%ebp
8048834: 83 ec 28   sub   $0x18,%esp
8048837: a1 40 9d 04 08  mov   0x8049d40,%eax
804883c: 50        push   %eax
804883d: 6a 0a     push   $0xa
804883f: 6a 01     push   $0x1
8048841: 68 3a 8a 04 08  push  $0x8048a3a
8048846: e8 65 fd ff ff  call  80485b0 <fwrite@plt>
804884b: 83 c4 10   add   $0x10,%esp
804884e: a1 40 9d 04 08  mov   0x8049d40,%eax
8048853: 83 ec 0c   sub   $0xc,%esp
8048856: 50        push   %eax
8048857: e8 14 fd ff ff  call  8048570 <fflush@plt>
804885c: 83 c4 10   add   $0x10,%esp
804885f: 83 ec 08   sub   $0x8,%esp
8048862: 8d 45 eb   lea   -0x15(%ebp),%eax
8048865: 50        push   %eax
8048866: 68 45 8a 04 08  push  $0x8048a45
804886b: e8 d0 fd ff ff  call  8048640 <__isoc99_scanf@plt>
8048870: 83 c4 10   add   $0x10,%esp
8048873: 89 45 f4   mov   %eax,-0xc(%ebp)
8048876: 83 7d f4 ff  cmpl  $0xffffffff,-0xc(%ebp)
804887a: 75 07     jne   8048883 <authenticate+0x52>
804887c: b8 ff ff ff ff  mov   $0xffffffff,%eax
8048881: eb 0f     jmp   8048892 <authenticate+0x61>
8048883: 83 ec 0c   sub   $0xc,%esp
8048886: 8d 45 eb   lea   -0x15(%ebp),%eax
8048889: 50        push   %eax
804888a: e8 bc fe ff ff  call  804874b <checkPassword>
804888f: 83 c4 10   add   $0x10,%esp
```

Aufbauen des Stack-Frames

Lesen der Adresse von password

Schreiben von n





- Manipulierenden Eingabe-Datenstrom mit Hilfe eines kleinen Programms erzeugen, das
 - zuerst eine Bytesequenz schickt, die zu Stack-Überlauf und fehlerhaftem 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 `0x08048894`
 - Byte-Order beachten!
 - 1 Byte `'\n'` zum Abschließen der Eingabe
 - anschließend alle Zeichen von `stdin` hinterherschickt (die bekommt dann die in `executeShell()` gestartete Shell)
- Hilfsprogramm starten und Ausgabe an den `auth`-Prozess senden



- 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



- 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 * sizeof(*matrix) > 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



Agenda

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



- **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



Agenda

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



Pfingst-Hacking

- Shell-Server `harsh` (*Holey Assailable Remote Shell*):
 - Läuft auf Rechner `faii00a.cs.fau.de`, Port 10443
 - Verbindungen nur aus dem CIP-Netz (131.188.30.0/24)
 - Verbinden z. B. mit netcat: `nc -q0 faii00a 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!



Pfingst-Hacking

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

