Übungen zu Systemprogrammierung 2 (SP2)

ÜH – C und Sicherheit

C. Erhardt, J. Schedel, A. Ziegler, J. Kleinöder

Lehrstuhl für Informatik 4
Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

WS 2015 – 26. bis 30. Oktober 2015

https://www4.cs.fau.de/Lehre/WS15/V_SP2

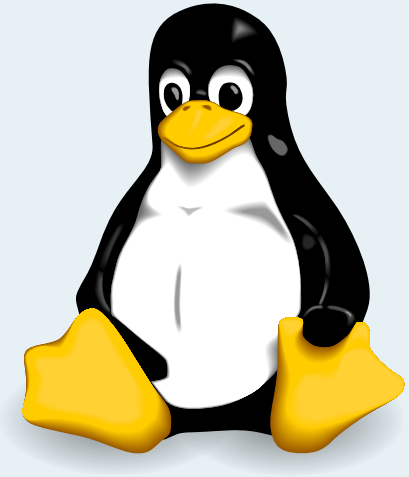
Agenda

Agenda

Veranstaltungshinweis

Linux-Install-Party der FSI

- am Montag, den 02.11.2015, ab 14:00
- im 02.152-113 (Blaues Hochhaus, 2. Stock)
- weitere Informationen unter
  `https://fsi.cs.fau.de/linuxinstall`



Agenda

Stack-Aufbau eines Prozesses

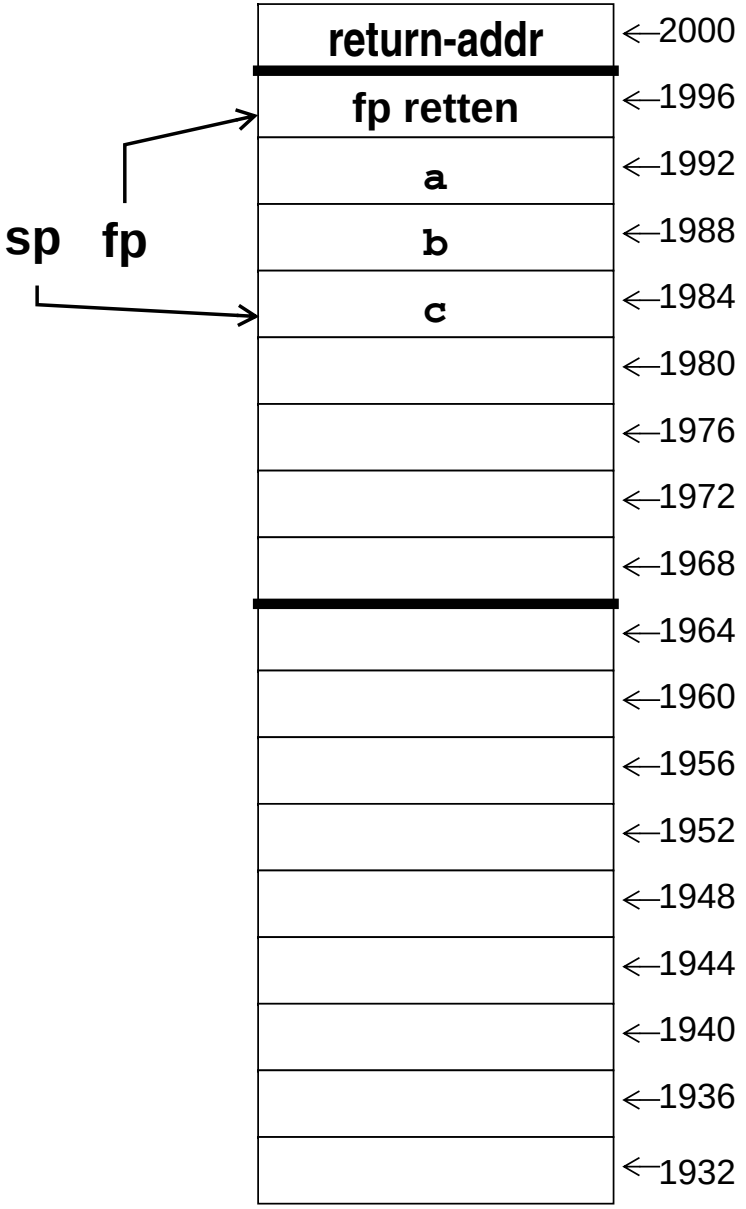
- Bei jedem Funktionsaufruf wird ein **Stack-Frame** angelegt, der u. a.
  - lokale Variablen der Funktion
  - Aufrufparameter an weitere Funktionen
  - gesicherte Register

  ... 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

Beispiel

```
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

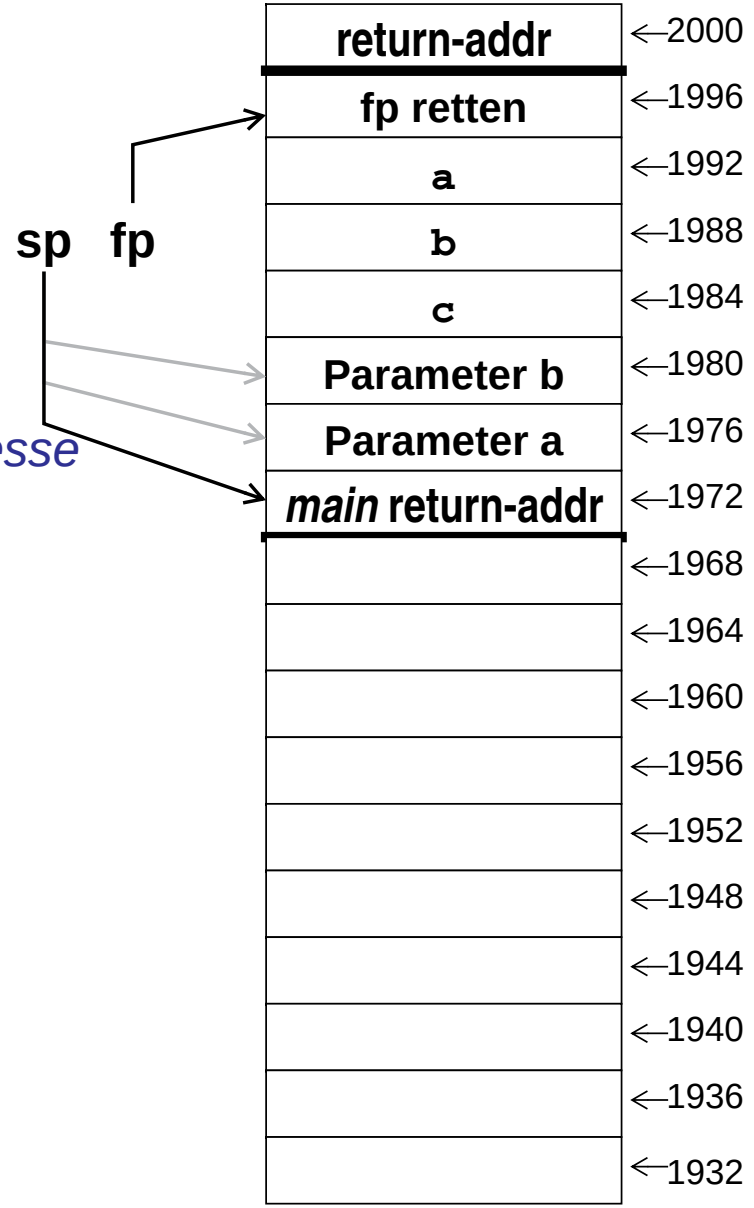


Beispiel

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

        a = 10;
        b = 20;

        f1(a, b);

        return(a);
}
```

Parameter auf Stack legen

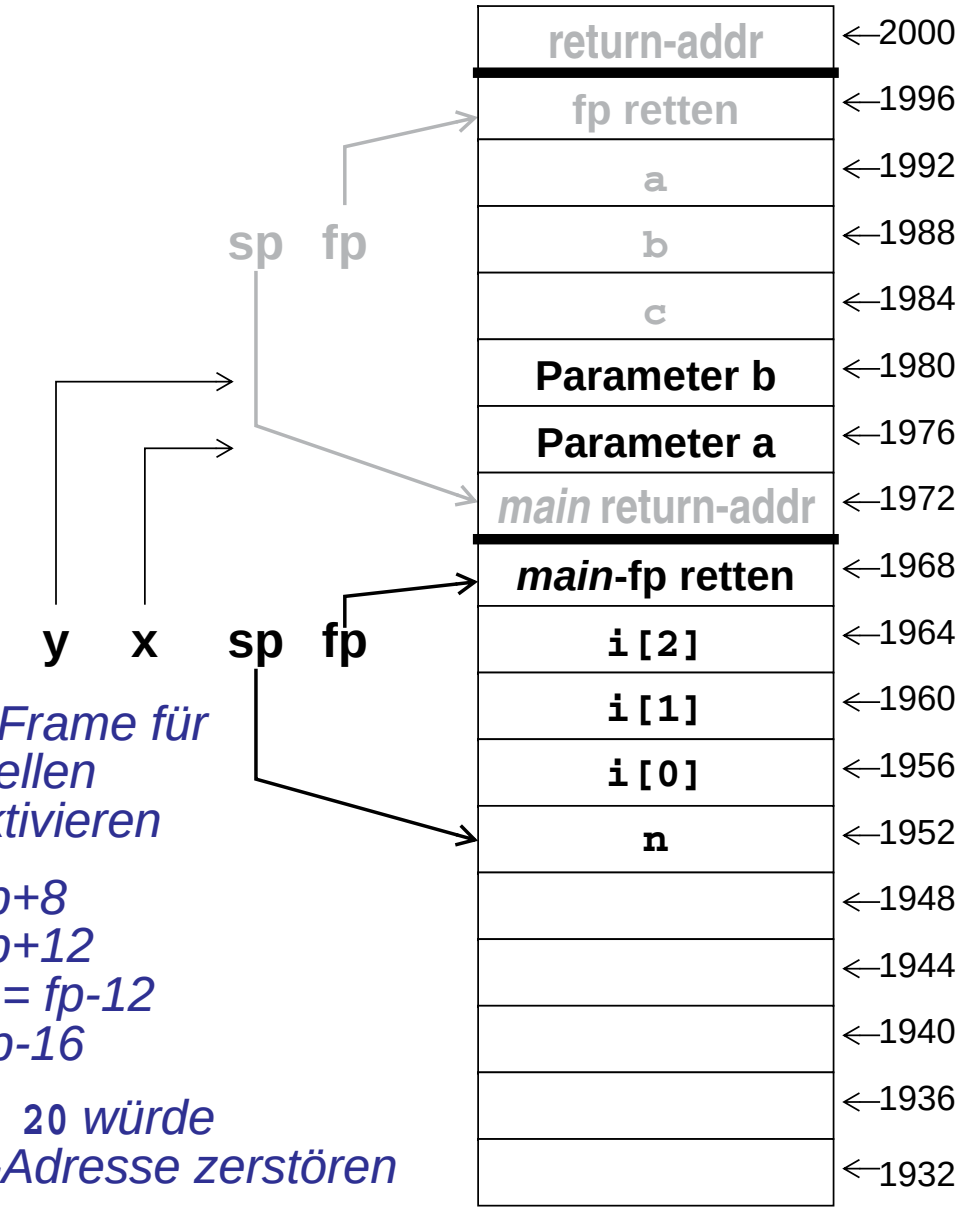
Bei Aufruf Rücksprungadresse auf Stack legen



Beispiel

```
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

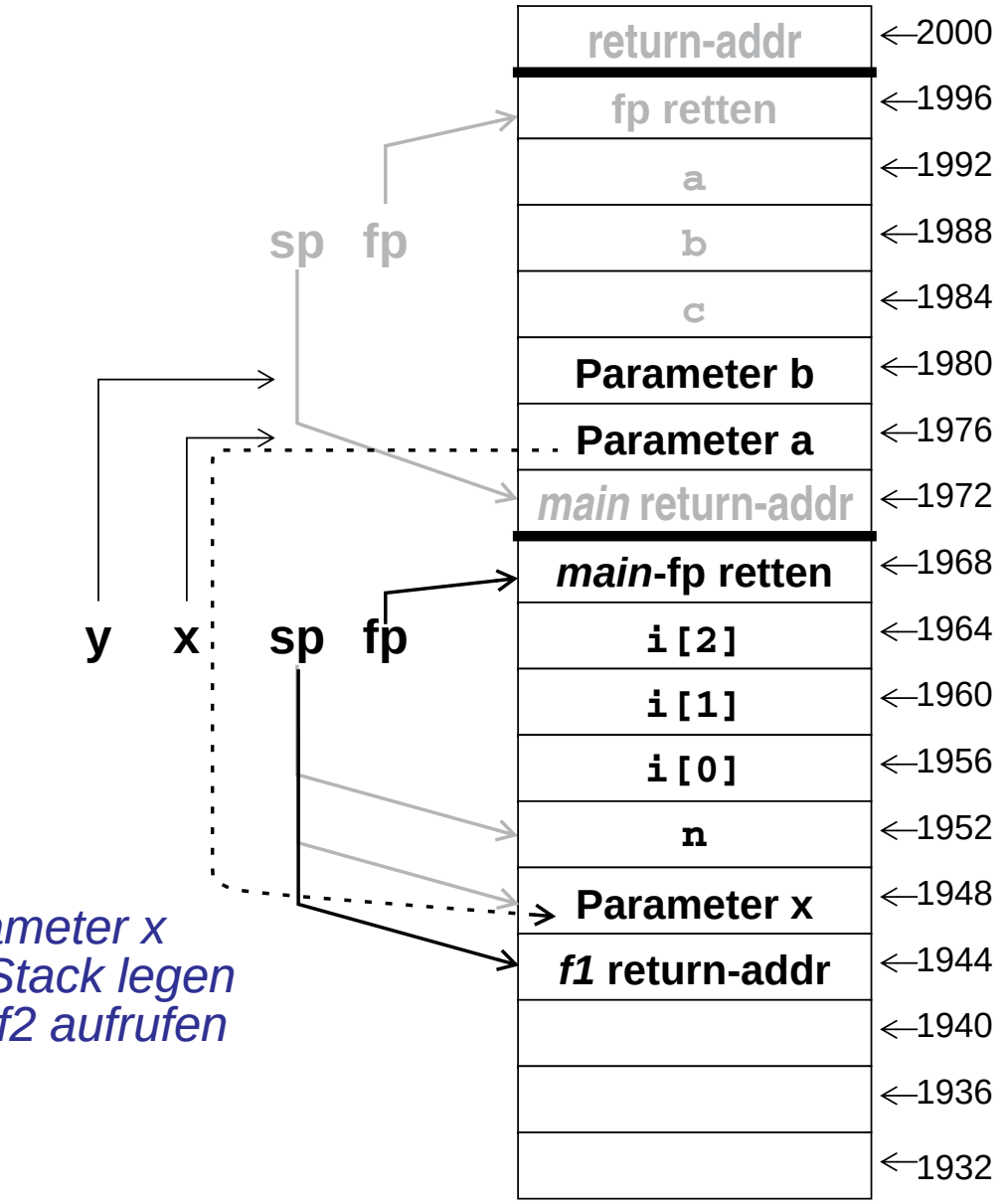
&x = fp+8
&y = fp+12
&(i[0]) = fp-12
&n = fp-16

`i[4] = 20` *würde return-Adresse zerstören*

Beispiel

```
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);
}
```

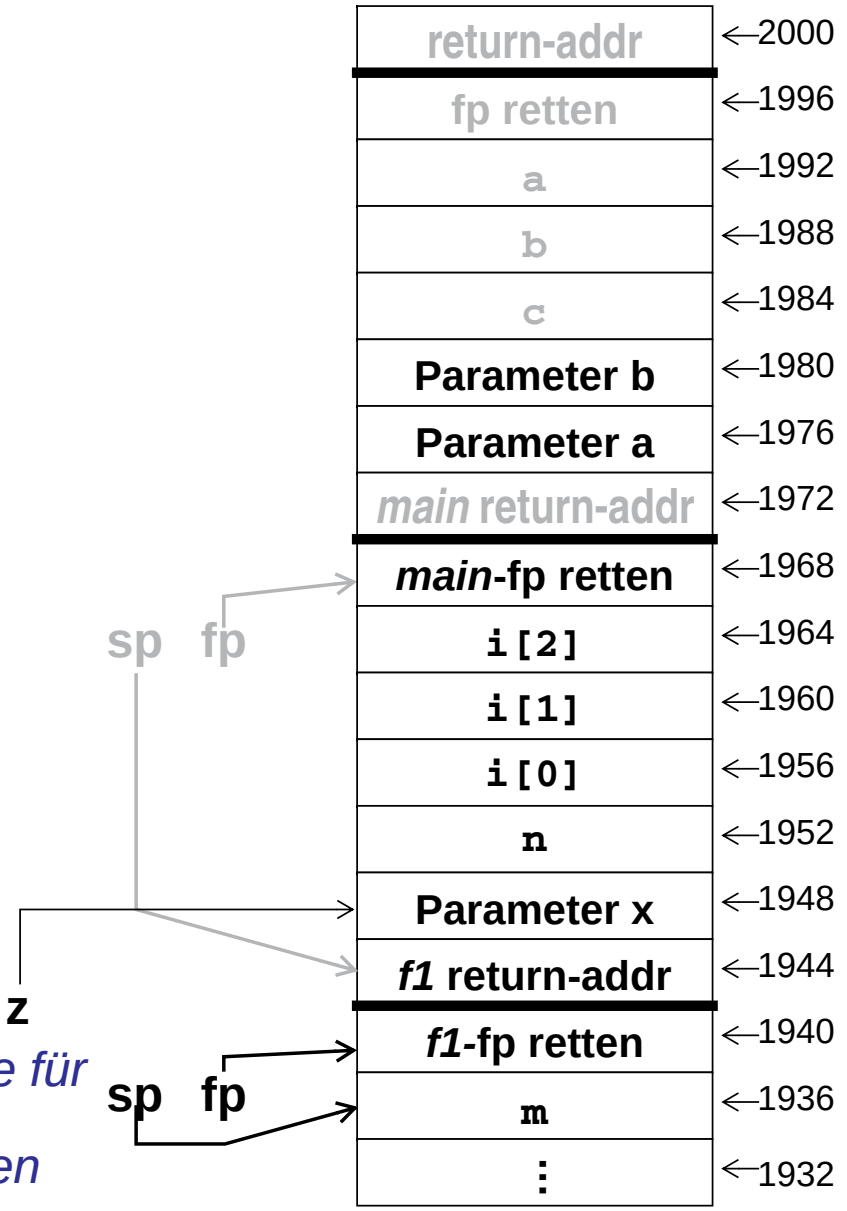


Parameter x auf Stack legen und f2 aufrufen

Beispiel

```
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

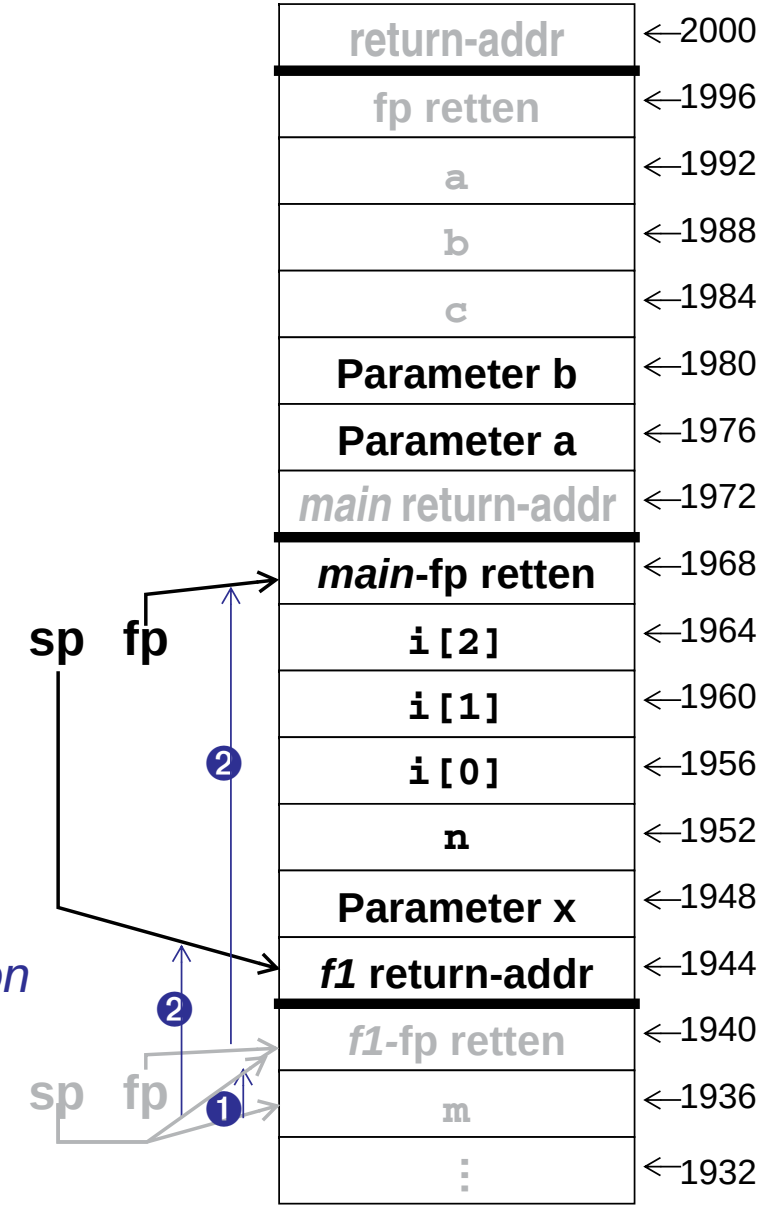


Beispiel

```
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

❶ *sp = fp*
❷ *fp = pop(sp)*

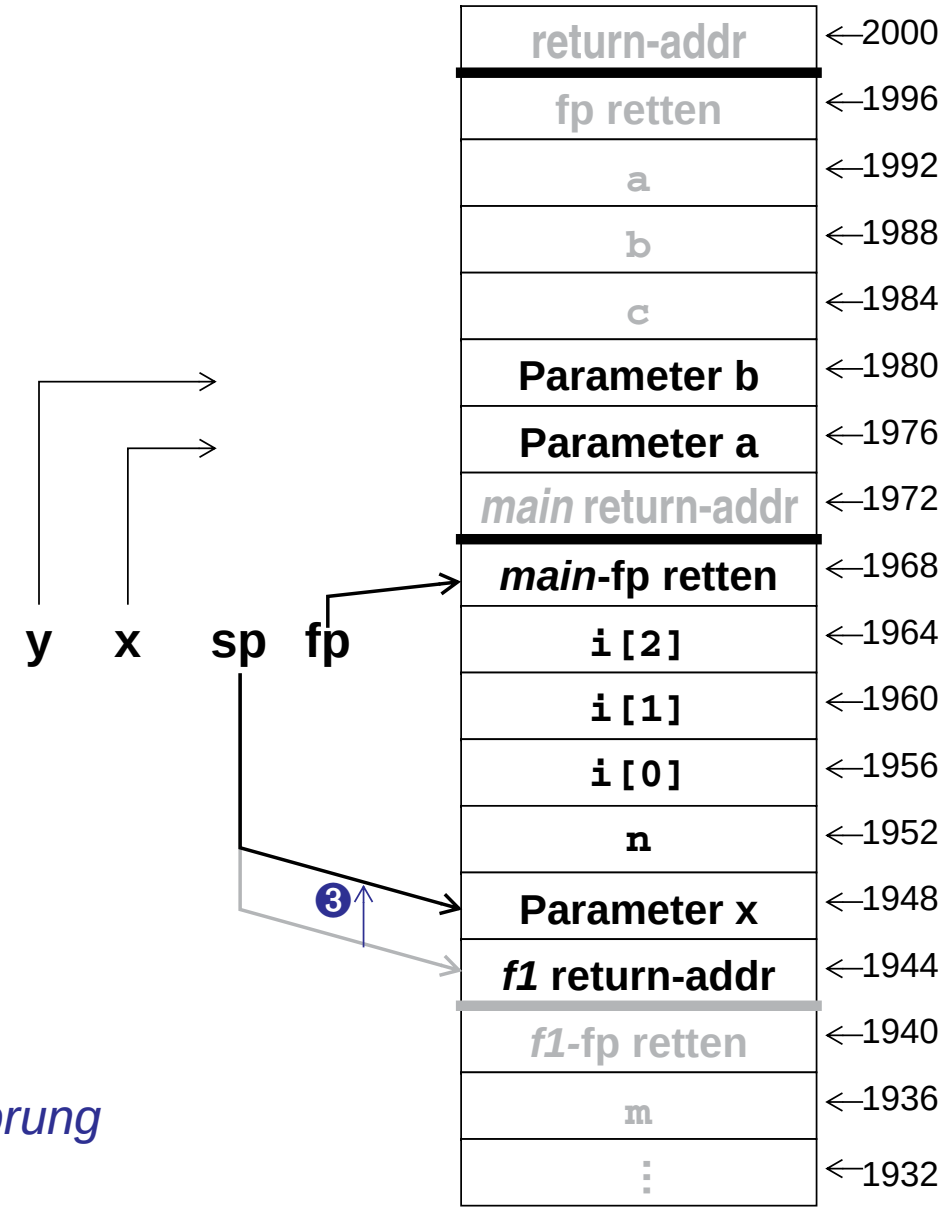


Beispiel

```
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

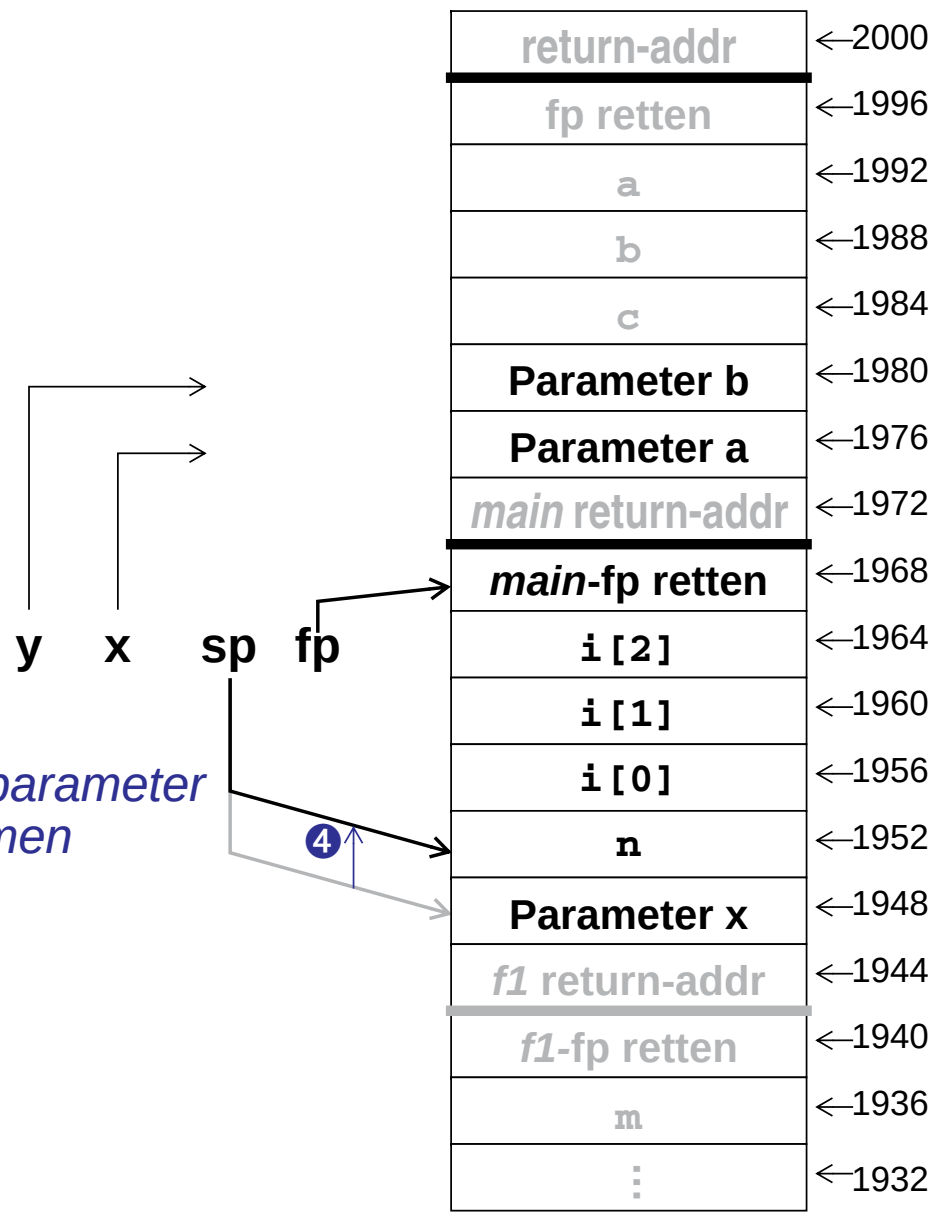
❸return



Beispiel

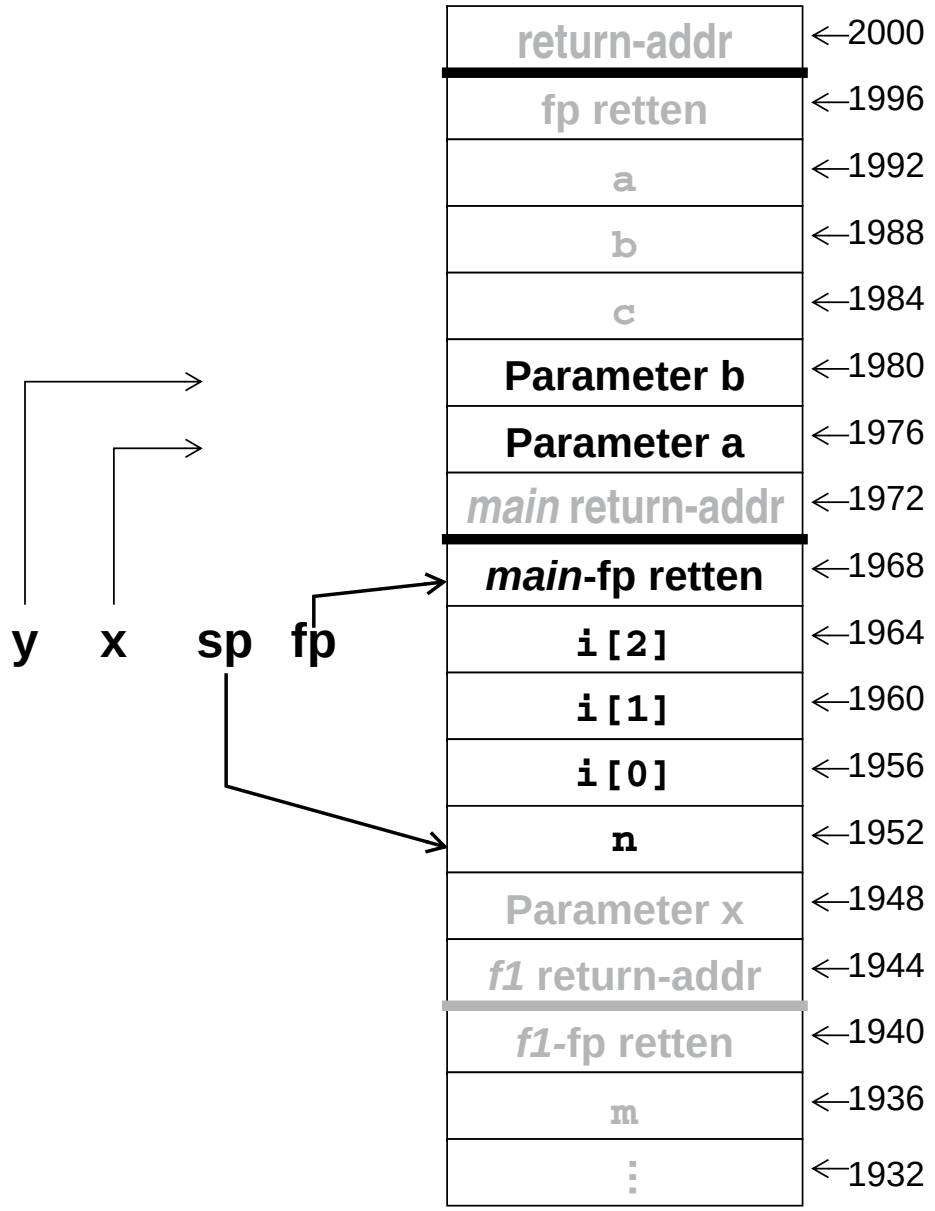
```
main() {
        int a, b, c;

        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);
}
```

❹ *Aufrufparameter abräumen*



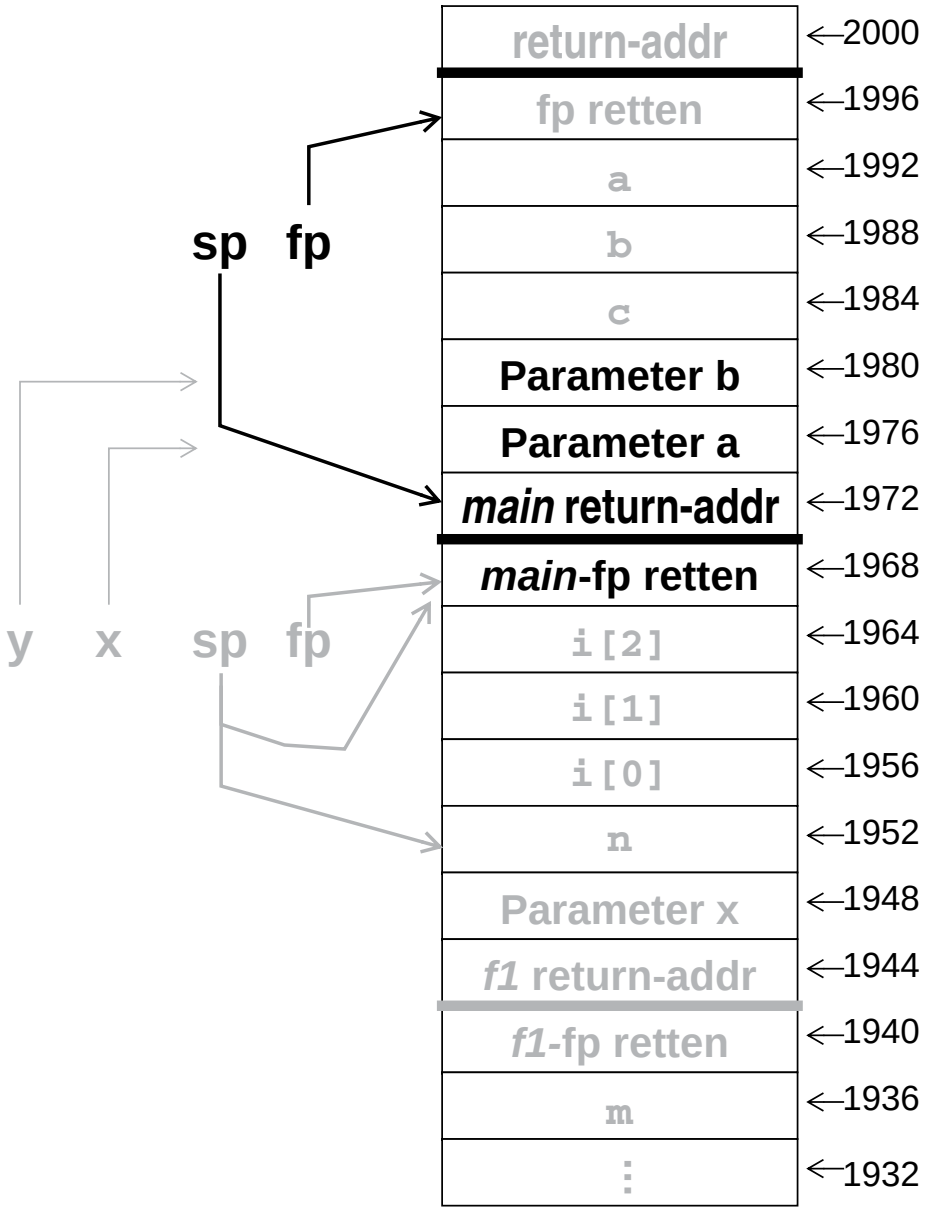
Beispiel

```
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);
}
```



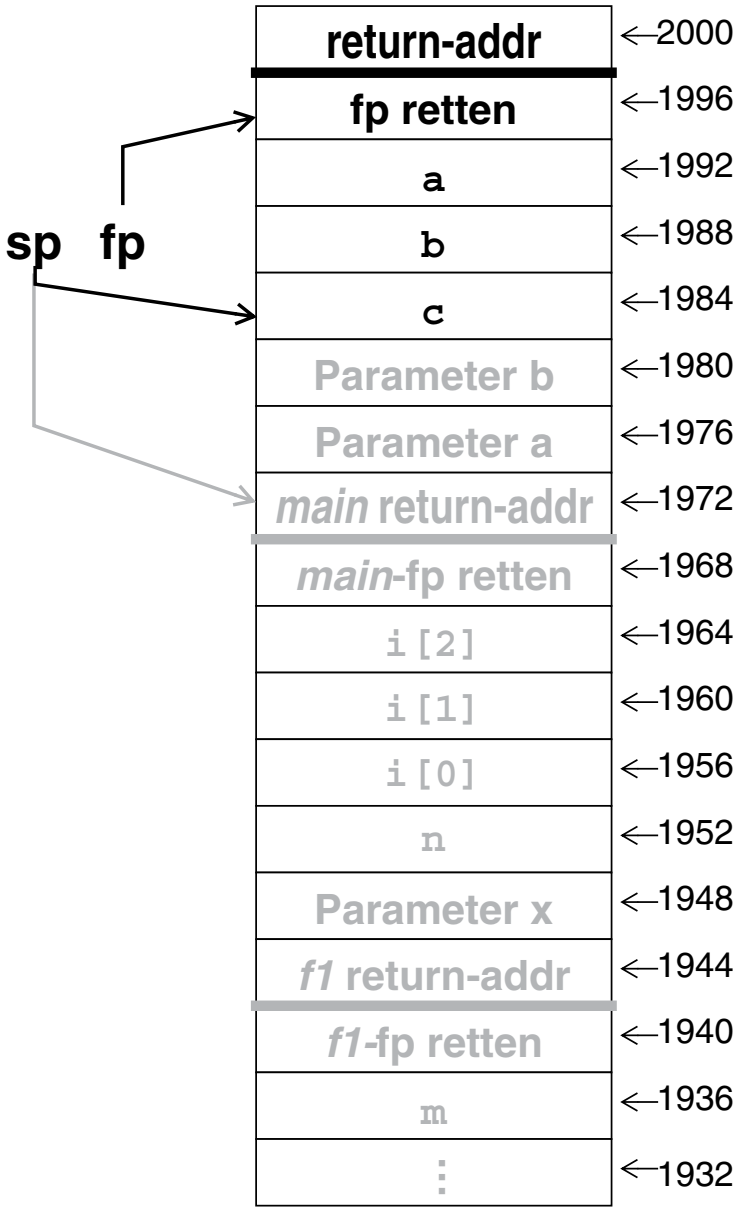
Beispiel

```
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);
}
```



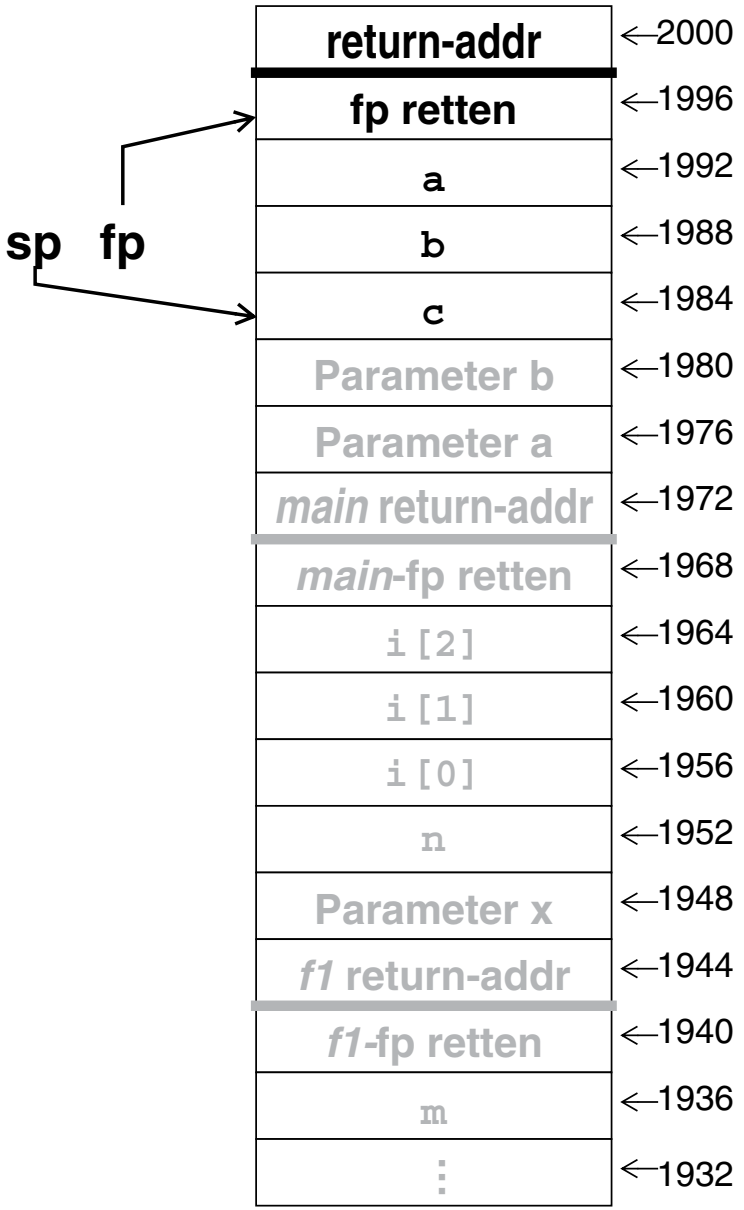
Beispiel

```
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);
}
```



Beispiel

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

        a = 10;
        b = 20;

        f1(a, b);

        return(a);
}
```



Agenda

Live-Hacking

- Simples 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?

Live-Hacking

- 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

Angriffsplan

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

Analysieren des Code-Layouts

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

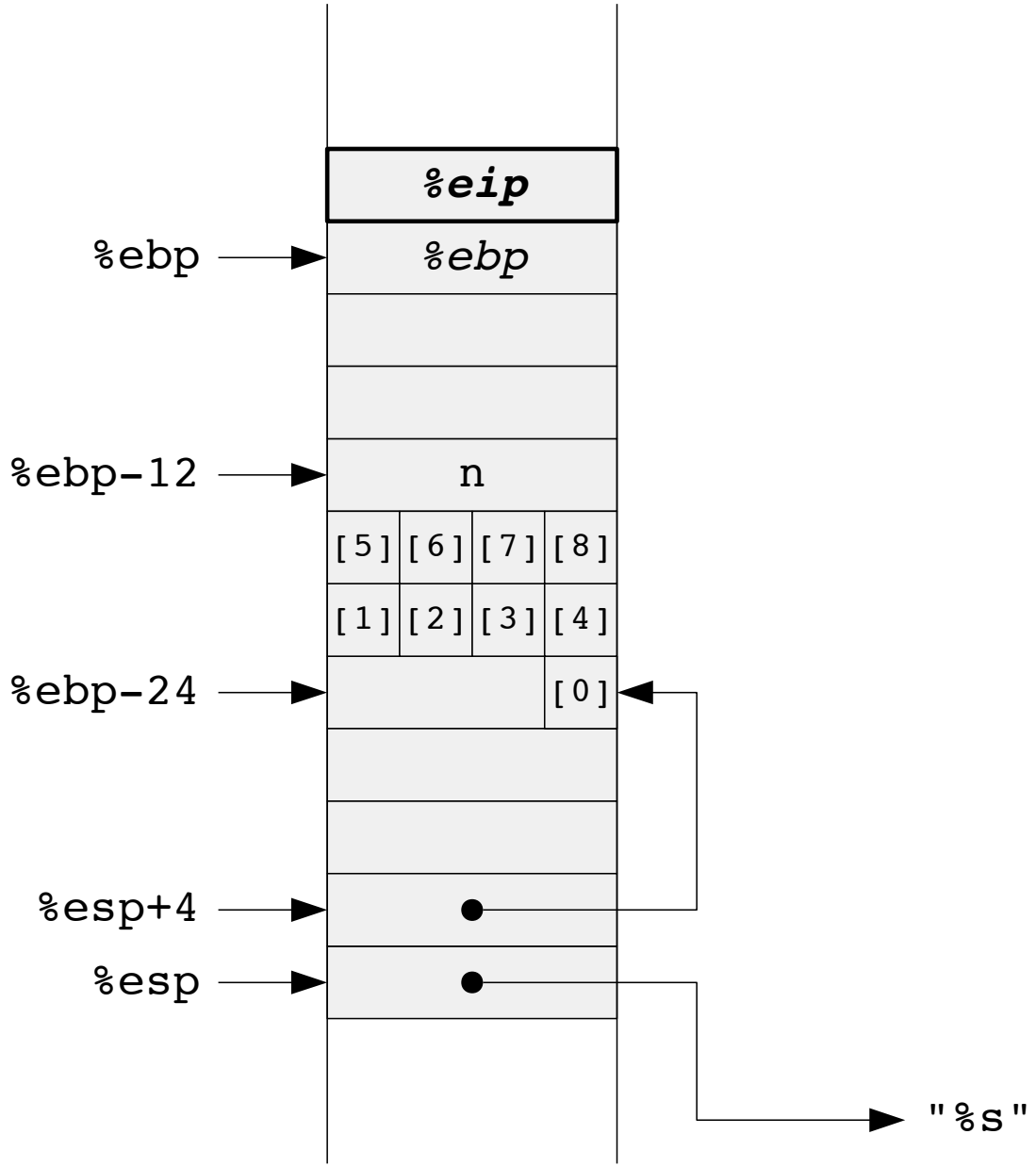

```
$ objdump -d auth
08048831 <authenticate>:
 8048831:       55                      push   %ebp
 8048832:       89 e5                   mov    %esp,%ebp
 8048834:       83 ec 28                sub    $0x18,%esp
 8048837:       a1 40 9d 04 08          mov    0x8049d40,%eax
 804883c:       50                      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`

Stack-Layout beim Aufruf von `scanf()`



Ausnutzen des Pufferüberlaufs

- 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

Einschleusen von eigenem Schadcode

- 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
- Üblicher 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 * 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

Vermeiden von Pufferüberläufen in C

- 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`