

Übungen zu Systemprogrammierung 2 (SP2)

ÜH – C und Sicherheit

Andreas Ziegler, Jürgen Kleinöder

Lehrstuhl für Informatik 4
Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

WS 2016 – 19. bis 23. Dezember 2016

http://www4.cs.fau.de/Lehre/WS16/V_SP2

25-Hacking_handout



Agenda

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

25-Hacking_handout



Agenda

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

25-Hacking_handout



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

25-Hacking_handout

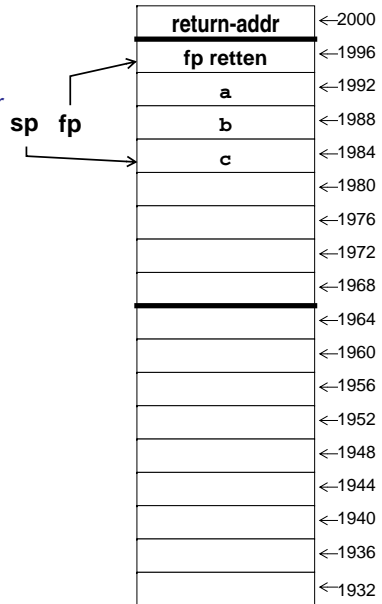


Beispiel

Stack-Aufbau eines Prozesses

```
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

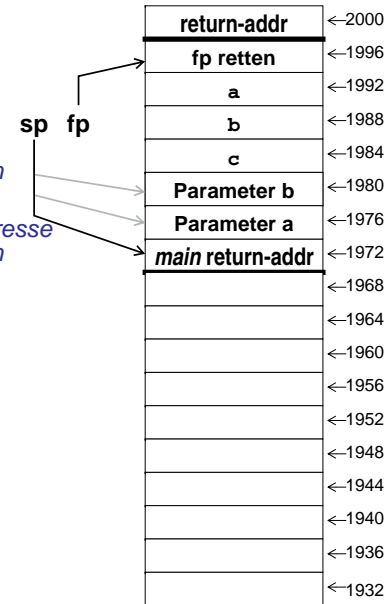


Beispiel

Stack-Aufbau eines Prozesses

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

Parameter auf Stack legen
 Bei Aufruf
 Rücksprungadresse auf Stack legen



25-Hacking_handout

25-Hacking_handout

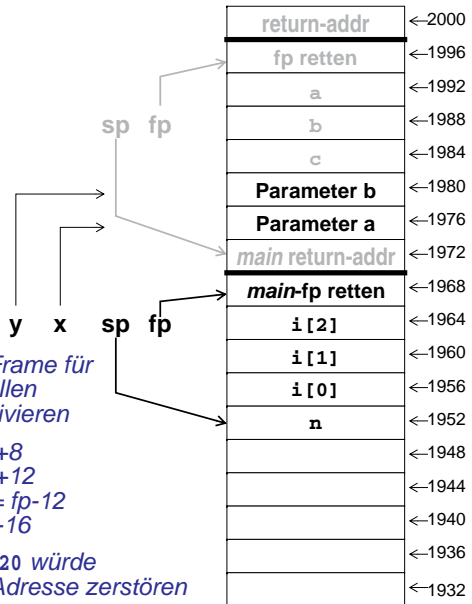
Beispiel

Stack-Aufbau eines Prozesses

```
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



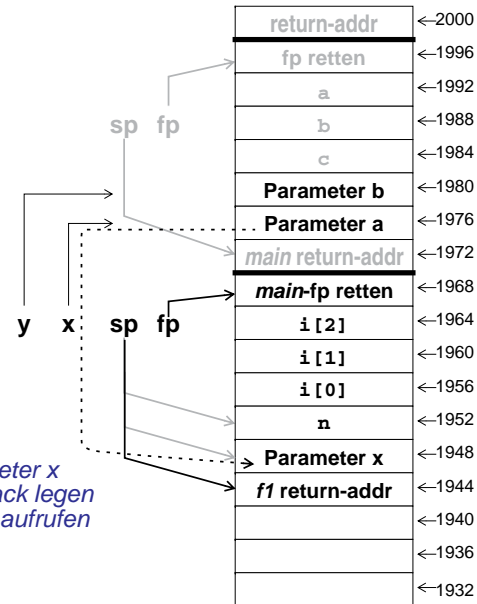
Beispiel

Stack-Aufbau eines Prozesses

```
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



25-Hacking_handout

25-Hacking_handout

Beispiel

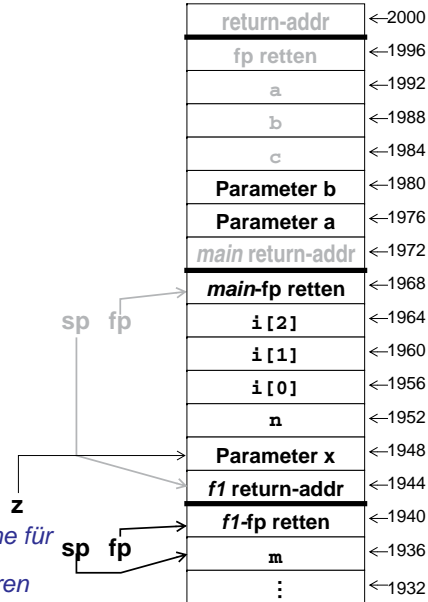
Stack-Aufbau eines Prozesses

```
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

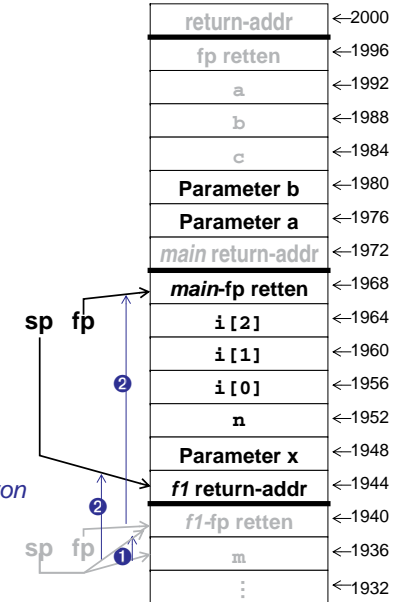
Stack-Aufbau eines Prozesses

```
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)



Beispiel

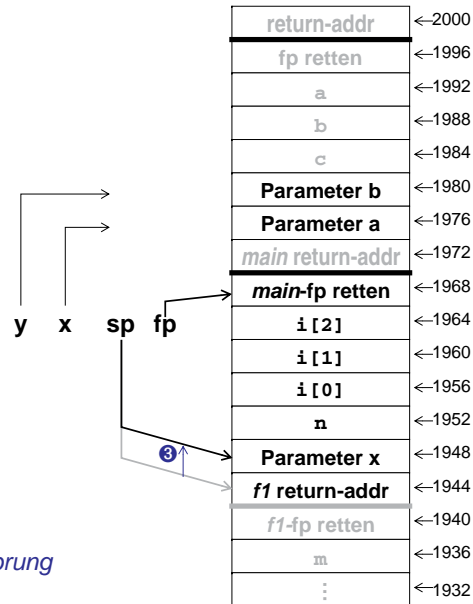
Stack-Aufbau eines Prozesses

```
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



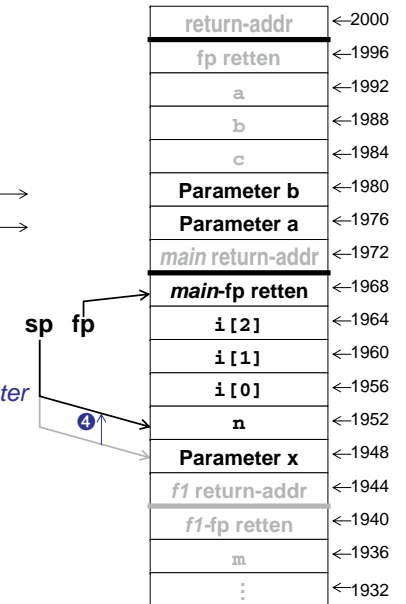
Beispiel

Stack-Aufbau eines Prozesses

```
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);
}
```

Aufrufparameter abräumen
 4

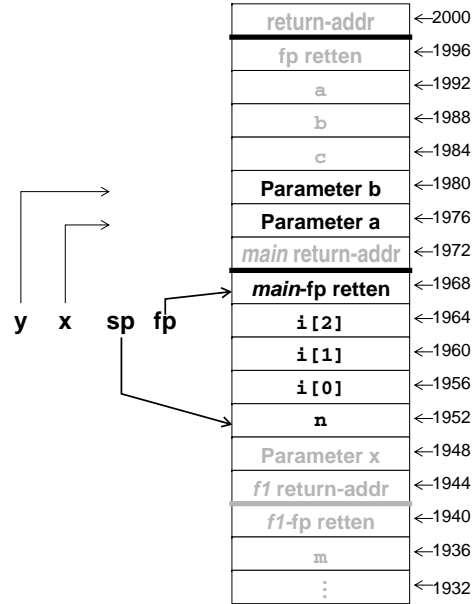


Beispiel

Stack-Aufbau eines Prozesses

```
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);
}
```

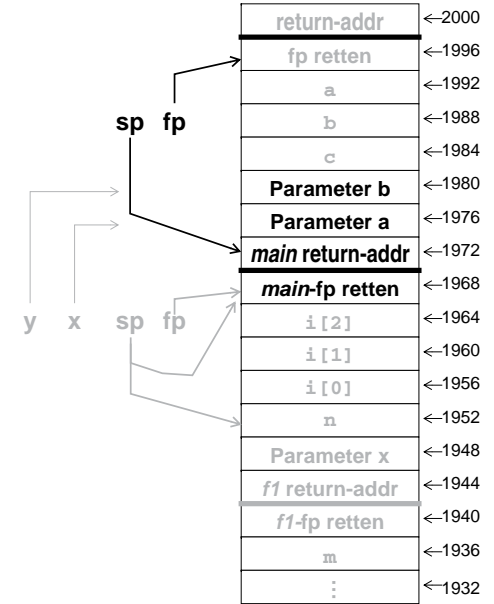


Beispiel

Stack-Aufbau eines Prozesses

```
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);
}
```

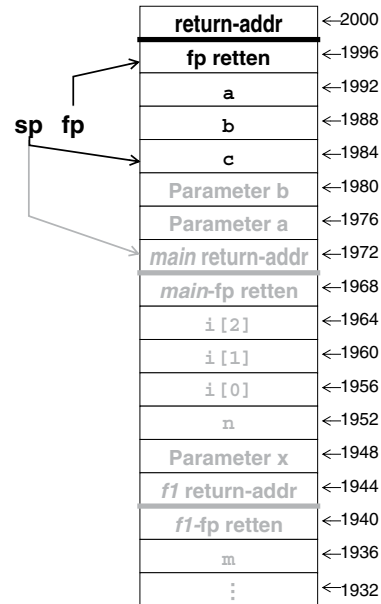


Beispiel

Stack-Aufbau eines Prozesses

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

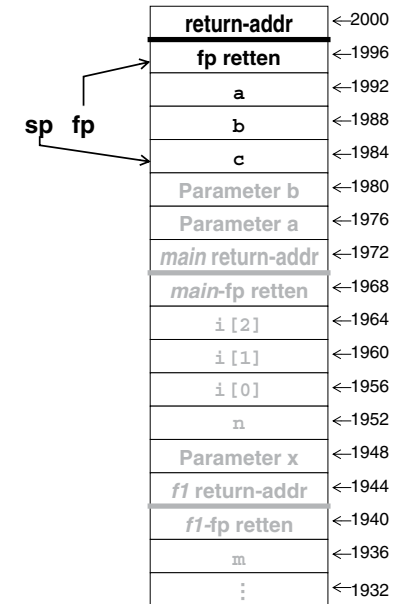
int f1(int x, int y) {
  int i[3];
  int n;
  x++;
  n = f2(x);
  return(n);
}
```



Beispiel

Stack-Aufbau eines Prozesses

```
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 Weihnachts-Hacking

25-Hacking_handout



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?

25-Hacking_handout



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

25-Hacking_handout



Angriffsplan

Live-Hacking

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

25-Hacking_handout



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
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
```

25-Hacking_handout



```
$ 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

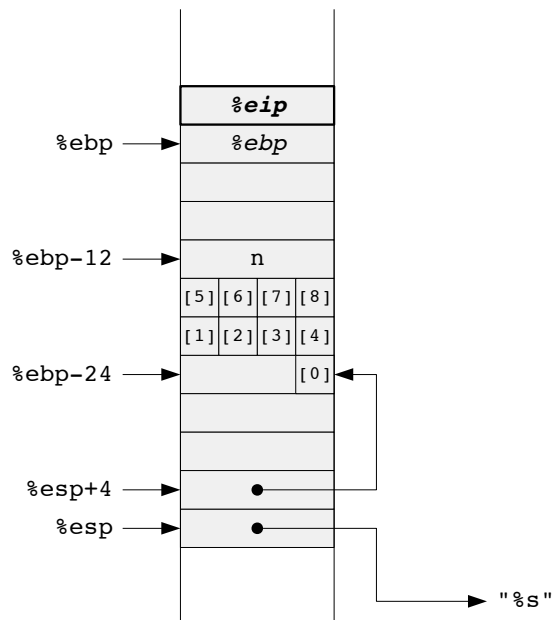
Lesen der Adresse von password

Schreiben von n

25-Hacking_handout



Stack-Layout beim Aufruf von scanf()



25-Hacking_handout



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



25-Hacking_handout



- 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 Weihnachts-Hacking



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**

Agenda

- 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 **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!

- 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



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