Überblick: Teil D Betriebssystemabstraktionen

Speicherorganisation

```
int a;                          // a: global, uninitialized
int b = 1;                      // b: global, initialized
const int c = 2;                // c: global, const

void main() {
  static int s = 3;             // s: local, static, initialized
  int x, y;                     // x: local, auto; y: local, auto
  char* p = malloc( 100 );      // p: local, auto; *p: heap (100 byte)
}
```

Wo kommt der Speicher für diese Variablen her?

- **Statische Allokation** – Reservierung beim Übersetzen / Linken
  - Betrifft globale und modullokale Variablen, sowie den Code
  - Allokation durch Platzierung in einer Sektion

.code	– enthält den Programmcode	`main()`
.bss	– enthält alle uninitialisierten / mit 0 initialisierten Variablen	`a`
.data	– enthält alle initialisierten Variablen	`b,s`
.rodata	– enthält alle initialisierten unveränderlichen Variablen	`c`

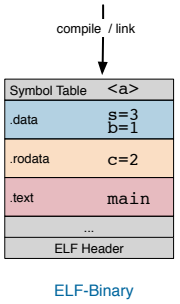
- **Dynamische Allokation** – Reservierung zur Laufzeit
  - Betrifft lokale Variablen und explizit angeforderten Speicher

Stack	– enthält alle aktuell gültigen lokalen Variablen	`x,y,p`
Heap	– enthält explizit mit `malloc()` angeforderte Speicherbereiche	`*p`

Speicherorganisation auf einem μC

```
int a;                          // a: global, uninitialized
int b = 1;                      // b: global, initialized
const int c = 2;                // c: global, const

void main() {
  static int s = 3;             // s: local, static, initialized
  int x, y;                     // x: local, auto; y: local, auto
  char* p = malloc( 100 );      // p: local, auto; *p: heap (100 byte)
}
```

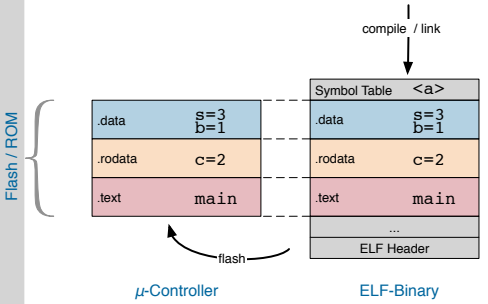


Beim Übersetzen und Linken werden die Programmelemente in entsprechenden Sektionen der ELF-Datei zusammen gefasst. Informationen zur Größe der `.bss`-Sektion landen ebenfalls in `.rodata`.

Speicherorganisation auf einem μC

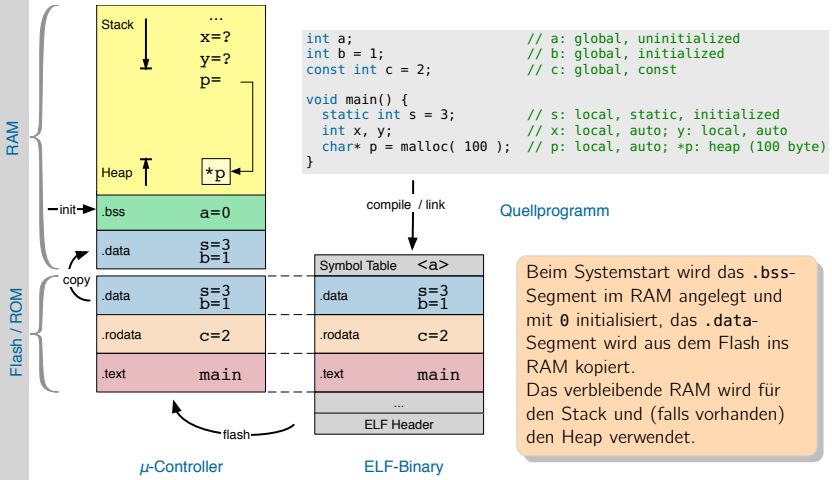
```
int a;                          // a: global, uninitialized
int b = 1;                      // b: global, initialized
const int c = 2;                // c: global, const

void main() {
  static int s = 3;             // s: local, static, initialized
  int x, y;                     // x: local, auto; y: local, auto
  char* p = malloc( 100 );      // p: local, auto; *p: heap (100 byte)
}
```



Zur Installation auf dem μC werden `.text` und `.[ro]data` in den Flash-Speicher des μC geladen.

Speicherorganisation auf einem μC




```
int a;                          // a: global, uninitialized
int b = 1;                      // b: global, initialized
const int c = 2;                // c: global, const

void main() {
  static int s = 3;             // s: local, static, initialized
  int x, y;                     // x: local, auto; y: local, auto
  char* p = malloc( 100 );      // p: local, auto; *p: heap (100 byte)
}
```

Quellprogramm

Beim Systemstart wird das `.bss`-Segment im RAM angelegt und mit `0` initialisiert, das `.data`-Segment wird aus dem Flash ins RAM kopiert.
Das verbleibende RAM wird für den Stack und (falls vorhanden) den Heap verwendet.

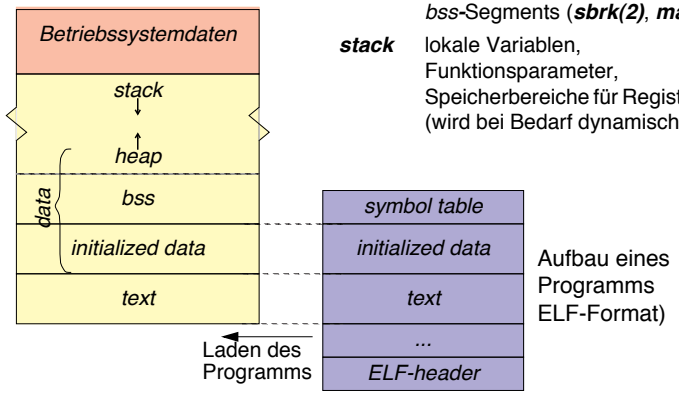
Verfügt die Architektur über keinen Daten-Flashspeicher (beim ATmega der Fall ↪ 14–3), so werden konstante Variablen ebenfalls in `.data` abgelegt (und belegen zur Laufzeit RAM).

Speicherorganisation in einem UNIX-Prozess

- **Programm:** Folge von Anweisungen
- **Prozess:** Betriebssystemkonzept zur Ausführung von Programmen
  - Programm, das sich in Ausführung befindet, und seine Daten (Beachte: ein Programm kann sich mehrfach in Ausführung befinden)
  - Eine konkrete Ausführungsumgebung für ein Programm (Prozessor, Speicher, . . .) ↦ vom Betriebssystem verwalteter *virtueller Computer*
- Jeder Prozess bekommt einen virtuellen Adressraum zugeteilt
  - 4 GB auf einem 32-Bit-System, davon bis zu 3 GB für die Anwendung
    - In das verbleibende GB werden Betriebssystem und *memory-mapped* Hardware (z. B. PCI-Geräte) eingeblendet
    - Daten des Betriebssystems werden durch Zugriffsrechte geschützt
  - Zugriff auf andere Prozesse ist nur über das Betriebssystem möglich
  - Virtueller Speicher wird durch das Betriebssystem auf physikalischen (Hintergrund-)Speicher abgebildet

Speicherorganisation in einem UNIX-Prozess (Forts.)

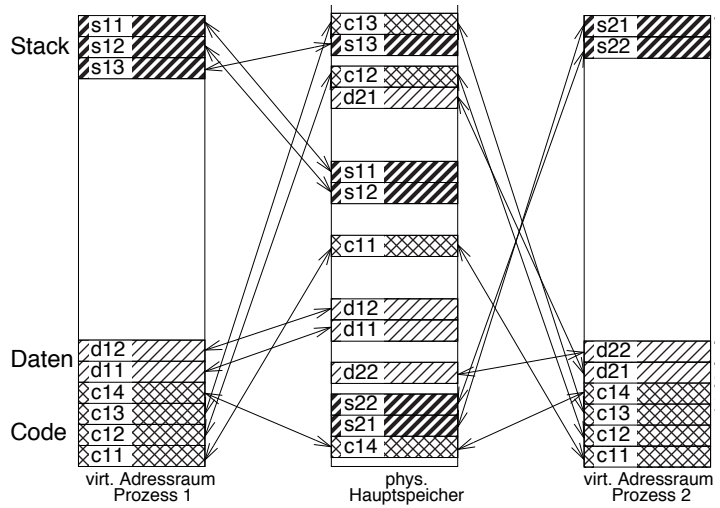
text	Programmkode
data	globale und static Variablen
bss	nicht initialisierte globale und *static* Variablen (wird vor der Vergabe an den Prozess mit 0 vorbelegt)
heap	dynamische Erweiterungen des *bss*-Segments (***sbrk(2)***, ***malloc(3)***)
stack	lokale Variablen, Funktionsparameter, Speicherbereiche für Registerinhalte, (wird bei Bedarf dynamisch erweitert)



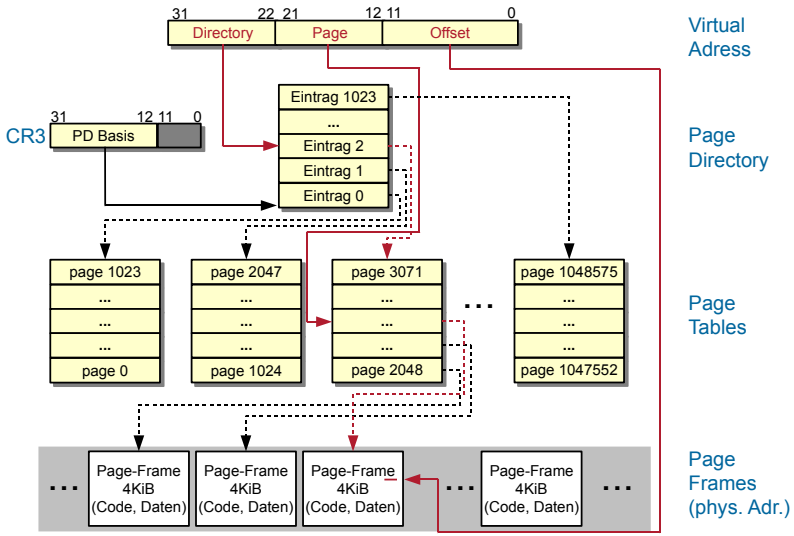
Seitenbasierte Speicherverwaltung

- Die Abbildung von virtuellem Speicher (*VS*) auf physikalischen Speicher (*PS*) erfolgt durch Seitenaddressierung (*Paging*)
  - *VS* eines Prozesses ist unterteilt in Speicherseiten (*Memory Pages*)
    - kleine Adressblöcke, üblich sind z. B. 4 KiB und 4 MiB Seiten
    - in dieser Granularität wird Speicher vom Betriebssystem zugewiesen
  - *PS* ist analog unterteilt in Speicherrahmen (*Page Frames*)
  - Abbildung: *Seite* ↦ *Rahmen* über eine Seitentabelle (*Page Table*)
    - Umrechnung *VS* auf *PS* bei jedem Speicherzugriff
    - Hardwareunterstützung durch MMU (*Memory Management Unit*)
    - Betriebssystem kann Seiten auf den Hintergrundspeicher auslagern
    - Abbildung ist nicht linkseindeutig: Seiten aus mehreren Prozesse können auf denselben Rahmen verweisen (z. B. gemeinsamer Programmcode)
- Seitenbasierte Speicherverwaltung ist auch ein Schutzkonzept
  - Seiten sind mit Zugriffsrechten versehen: *Read*, *Read–Write*, *Execute*
  - MMU überprüft bei der Umrechnung, ob der Zugriff erlaubt ist

Seitenbasierte Speicherverwaltung — Logische Sicht



Seitenbasierte Speicherverwaltung — Technische Sicht (IA32)



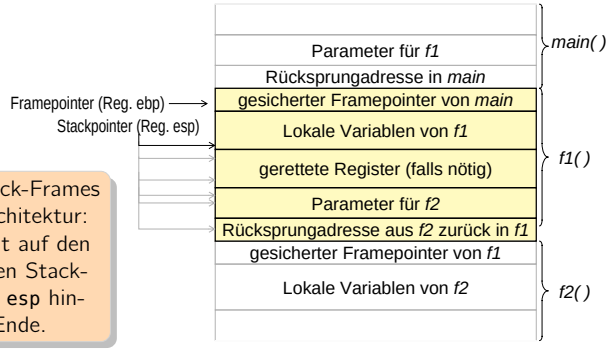
Dynamische Speicherallokation: Heap

- **Heap** := Vom Programm explizit verwalteter RAM-Speicher
  - Lebensdauer ist unabhängig von der Programmstruktur
- Anforderung und Wiederfreigabe über zwei Basisoperationen
  - `void* malloc( size_t n )` fordert einen Speicherblock der Größe *n* an; Rückgabe bei Fehler: 0-Zeiger (`NULL`)
  - `void free( void* pmem )` gibt einen zuvor mit `malloc()` angeforderten Speicherblock vollständig wieder frei
- Beispiel

```
#include <stdlib.h>
int* intArray( uint16_t n ) {    // alloc int[n] array
  return (int*) malloc( n * sizeof int );
}
void main() {
  int* array  = intArray(100);   // alloc memory for 100 ints
  if( array ) {                  // malloc() returns NULL on failure
    ...                          // if succeeded, use array
    array[99]   = 4711;
    ...
    free( array );               // free allocated block (** IMPORTANT! **)
  }
}
```

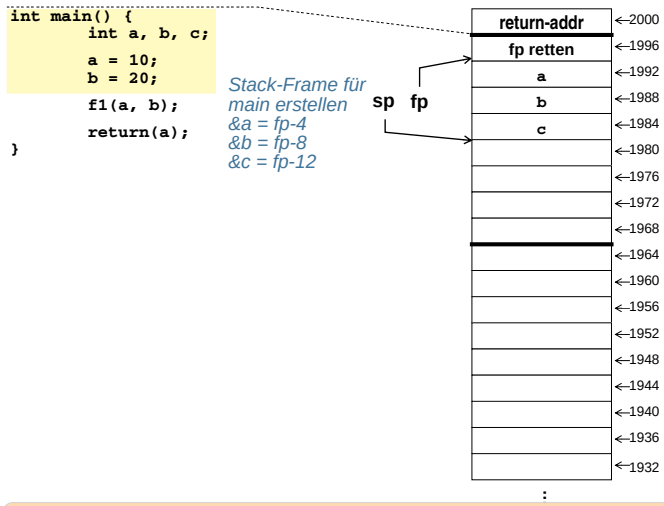

Dynamische Speicherallokation: Stack [↪ GDI, V-50]

- Lokale Variablen, Funktionsparameter und Rücksprungadressen werden vom Übersetzer auf dem Stack (Stapel, Keller) verwaltet
  - Prozessorregister `[e]sp` zeigt immer auf den nächsten freien Eintrag
  - Stack „wächst“ (architekturabhängig) „von oben nach unten“
- Die Verwaltung erfolgt in Form von Stack-Frames



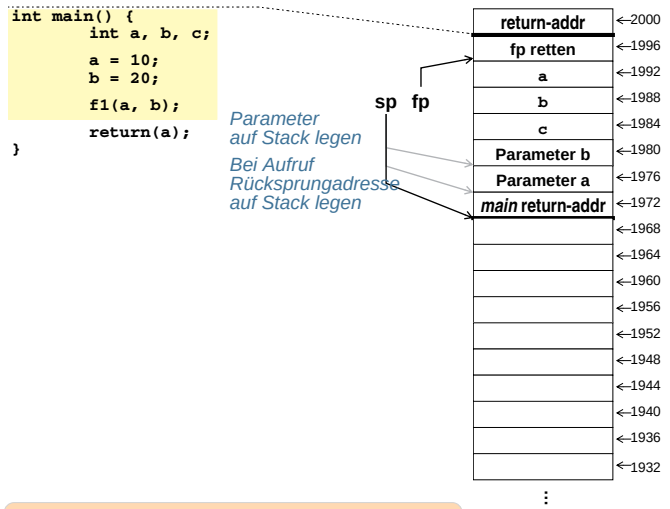
Aufbau eines Stack-Frames auf der IA-32-Architektur: Register `ebp` zeigt auf den Beginn des aktiven Stack-Frames; Register `esp` hinter das aktuelle Ende.

Stack-Aufbau bei Funktionsaufrufen



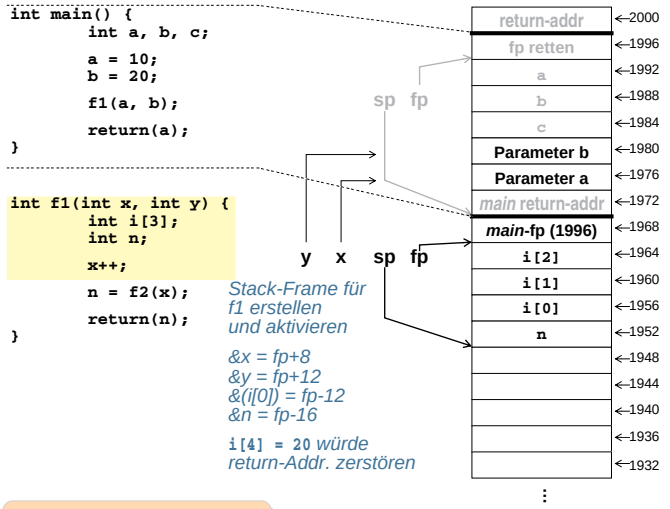
Beispiel hier für 32-Bit-Architektur (4-Byte `int`s), `main()` wurde soeben betreten

Stack-Aufbau bei Funktionsaufrufen



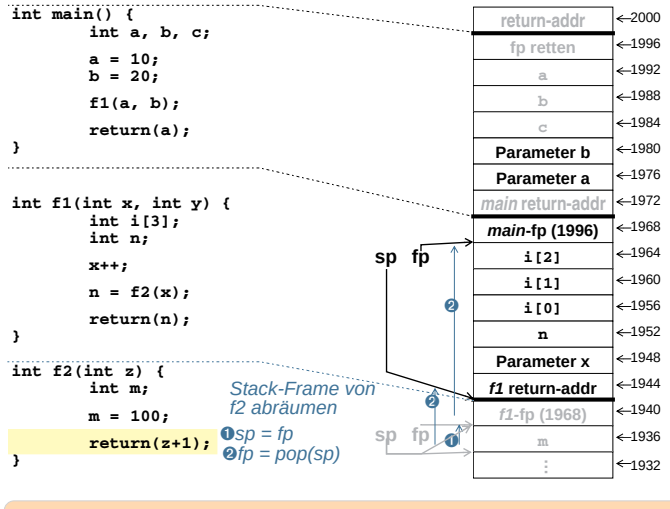
`main()` bereitet den Aufruf von `f1(int, int)` vor

Stack-Aufbau bei Funktionsaufrufen



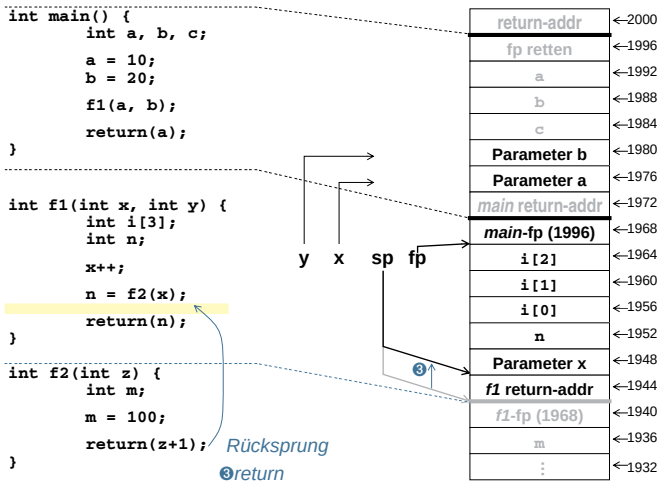
`f1()` wurde soeben betreten

Stack-Aufbau bei Funktionsaufrufen



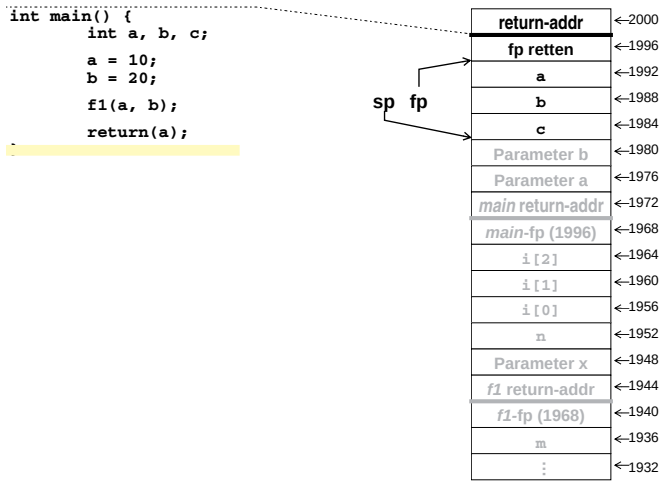
`f2()` bereitet die Terminierung vor (wurde von `f1()` aufgerufen und ausgeführt)

Stack-Aufbau bei Funktionsaufrufen



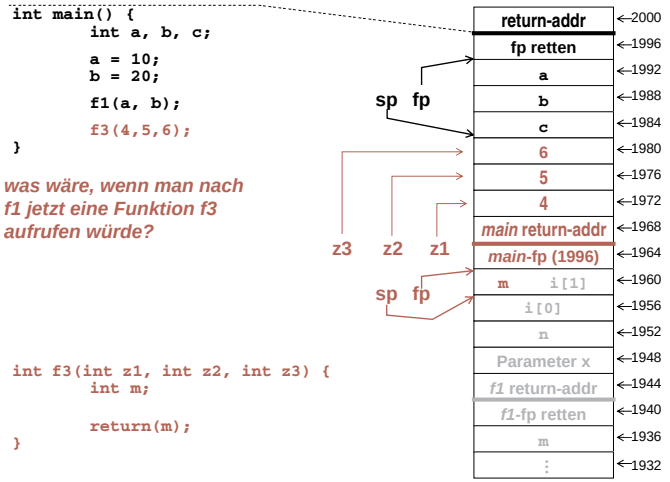
f2() wird verlassen

Stack-Aufbau bei Funktionsaufrufen



zurück in main()

Stack-Aufbau bei Funktionsaufrufen



m wird nicht initialisiert ⇝„erbt“ alten Wert vom Stapel

Statische versus dynamische Allokation

- Bei der **μC-Entwicklung** wird statische Allokation bevorzugt
  - **Vorteil:** Speicherplatzbedarf ist bereits nach dem Übersetzen / Linken exakt bekannt (kann z. B. mit `size` ausgegeben werden)
  - Speicherprobleme frühzeitig erkennbar (Speicher ist knapp! ↪ 1–3)

```
lohmann@faui48a:$ size sections.avr
text    data    bss    dec    hex filename
682     10      6      698    2ba sections.avr
```

Sektionsgrößen des Programms von ↪ 20–1

⇝ Speicher möglichst durch `static`-Variablen anfordern
  - Regel der geringstmöglichen Sichtbarkeit beachten ↪ 10–4
  - Regel der geringstmöglichen Lebensdauer „sinnvoll“ anwenden

- Ein Heap ist verhältnismäßig teuer ⇝ wird möglichst vermieden
  - Zusätzliche Speicherkosten durch Verwaltungsstrukturen und Code
  - Speicherbedarf zur Laufzeit schlecht abschätzbar
  - Risiko von Programmierfehlern und Speicherlecks