Übungen zu Systemprogrammierung 1 (SP1)

Ü3 – Freispeicherverwaltung

Andreas Ziegler, Jürgen Kleinöder

Lehrstuhl für Informatik 4
Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

WS 2016 – 21. bis 25. November 2016

http://www4.cs.fau.de/Lehre/WS16/V_SP1

Agenda

Agenda

Dynamische Speicherverwaltung

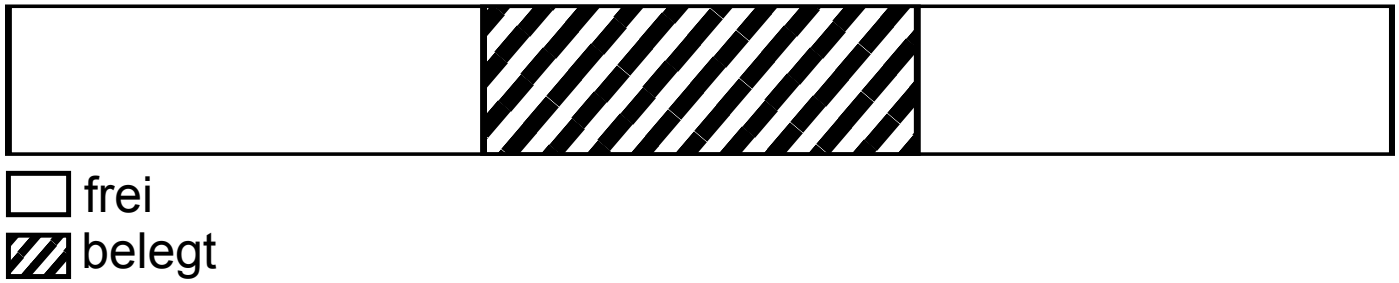
Auszug aus Wikipedia

„Der dynamische Speicher, auch Heap (engl. für ‚Halde‘, ‚Haufen‘), Haldenspeicher oder Freispeicher ist ein Speicherbereich, aus dem zur Laufzeit eines Programms zusammenhängende Speicherabschnitte angefordert und in beliebiger Reihenfolge wieder freigegeben werden können.”

- In C
  - Anforderung des Speichers mit Hilfe von `malloc(3)`
    - Parameter: Größe des angeforderten Speichers
    - Rückgabewert: Zeiger auf einen Speicherbereich
  - Explizite Freigabe mit Hilfe von `free(3)`
    - Parameter: Zeiger auf freizugebenden Speicherbereich
    - Rückgabewert: –

Anforderungsanalyse

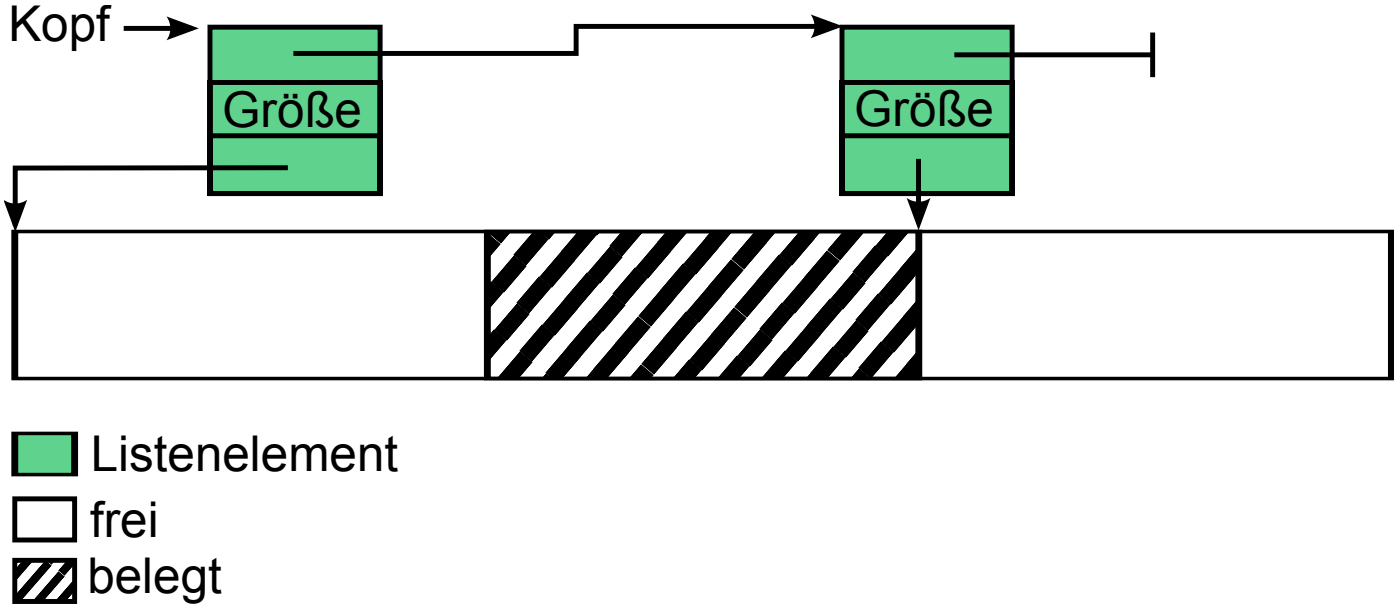
- Ziel: Speicherbereiche, die zur Laufzeit in beliebiger Größe angefordert werden können
- Skizze: Zustand eines teilweise belegten Heaps



- Welche Informationen muss eine Freispeicherverwaltung bereit halten?
  - für freie Blöcke: Größe und Lage des Speicherbereichs
  - für belegte Blöcke: Größe des Speicherbereichs
- Welche Datenstruktur ist für eine Freispeicherverwaltung geeignet?
  - KISS (Keep it small and simple): einfach verkettete Liste

Konzept: Verkettete Liste zur Allokation

- Konzept einer Freispeicherverwaltung auf Basis einer verketteten Liste (ohne Berücksichtigung der belegten Blöcke!)



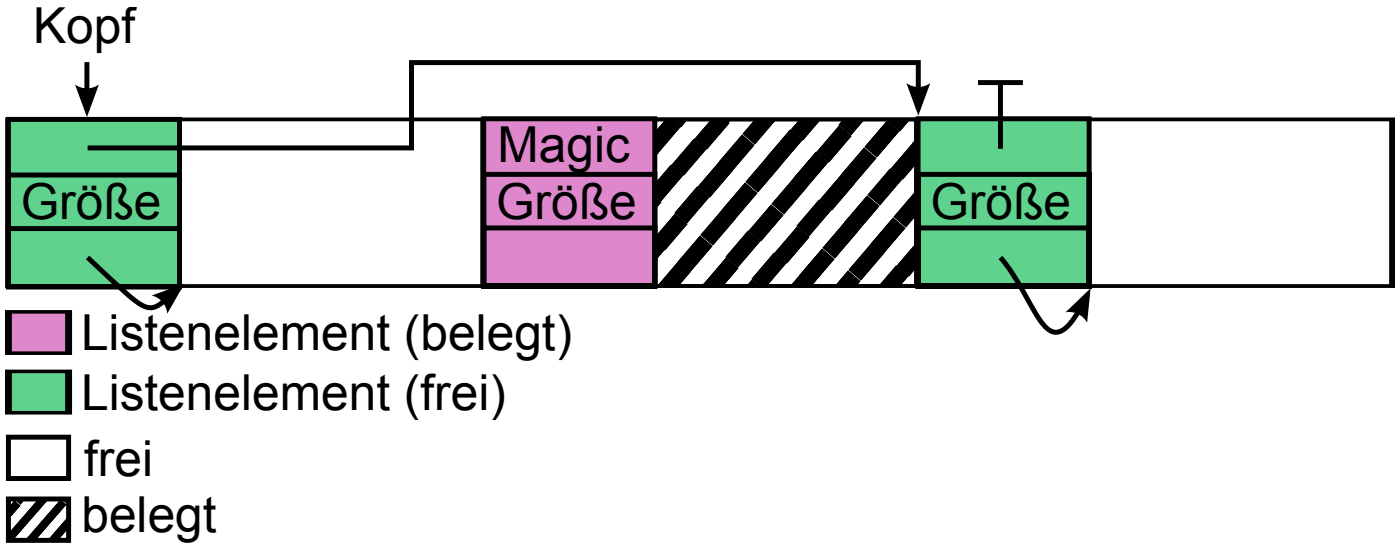
  - Freie Blöcke werden in einer verketteten Liste gespeichert

- Wiederholung Übung 1
  - Wie wird eine verkettete Liste in C implementiert?

    `insertVal()` → `malloc()` → `insertVal()` → `malloc()` → `insertVal()` → `malloc()` → `insertVal()` → `malloc()` → `insertVal()` → `malloc()` → `insertVal()` → ...

Speicher für die Listenelemente

- Woher den Speicher für die Listenelemente nehmen?



- Listenelemente werden innerhalb des verwalteten Speichers am Anfang des jeweiligen Speicherbereichs abgelegt
- Listenelemente auch in belegten Blöcken vorhanden, aber nicht verkettet
  - Verweis auf nächstes Listenelement wird zur Realisierung eines Schutzmechanismus eingesetzt
  - Abspeichern eines wohldefinierten magischen Wertes und Überprüfung des Wertes vor dem Freigeben

Agenda

Implementierung

Listenelementdefinition in C

```
struct mblock {
  struct mblock *next; // Zeiger zur Verkettung
  size_t size;         // Größe des Speicherbereichs
  char mem_area[];     // Anfang des Speicherbereichs
};
```

- Verwendung von FAM (Flexible Array Member):
  - `mem_area` ist eigentlich ein Feld beliebiger Länge
  - In unserem Fall: `mem_area` ist ein konstanter „Verweis" auf das Ende der Struktur
  - `mem_area` selbst hat die Größe 0

Beispiel auf den Folien

- Schrittweises Abarbeiten des folgenden Codestückes:

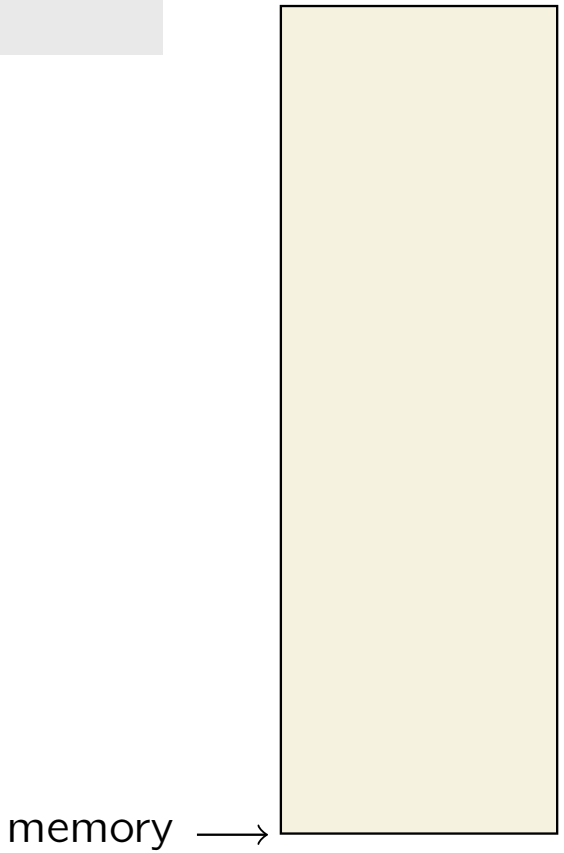
```
char *m1 = (char *) malloc(10);
char *m2 = (char *) malloc(20);

free(m2);
```

- Annahmen:
  - Freispeicherverwaltung verwaltet 100 Bytes statisch allozierten Speicher
  - Verwendung von absoluten Größen (Annahme: 64-Bit-Architektur)
    - Größe eines Zeigers: 8 Bytes
    - Größe der `struct mblock`: 16 Bytes

Initialisierung

- Speicher statisch alloziert

```
static char memory[100];
```



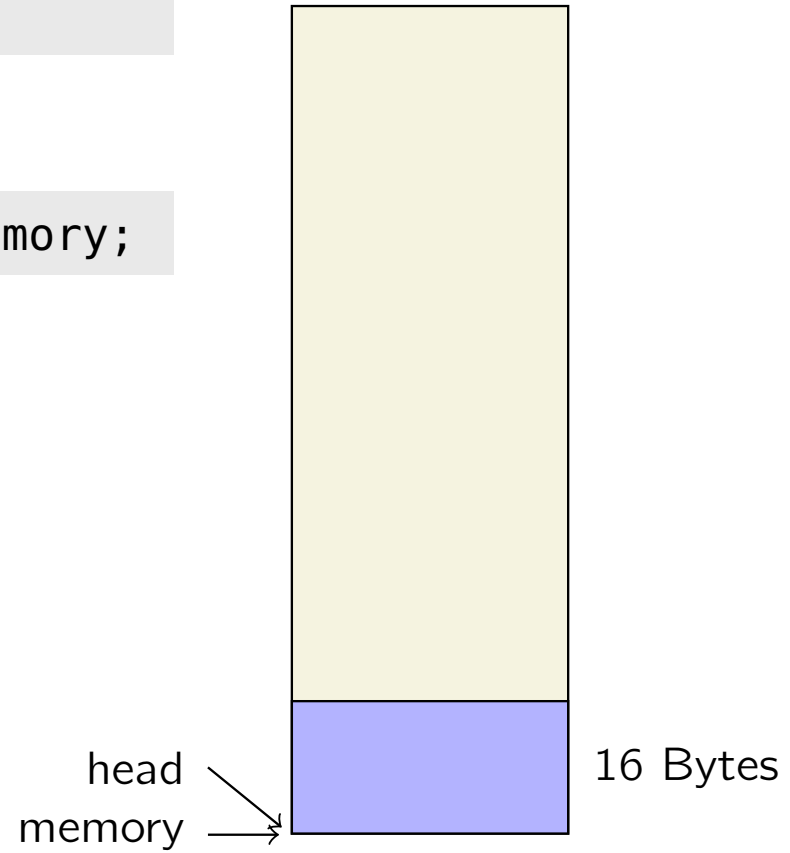
Initialisierung

- Speicher statisch alloziert

```
static char memory[100];
```

- `struct mblock` reinlegen

```
struct mblock* head = (struct mblock*) memory;
```



Initialisierung

- Speicher statisch alloziert

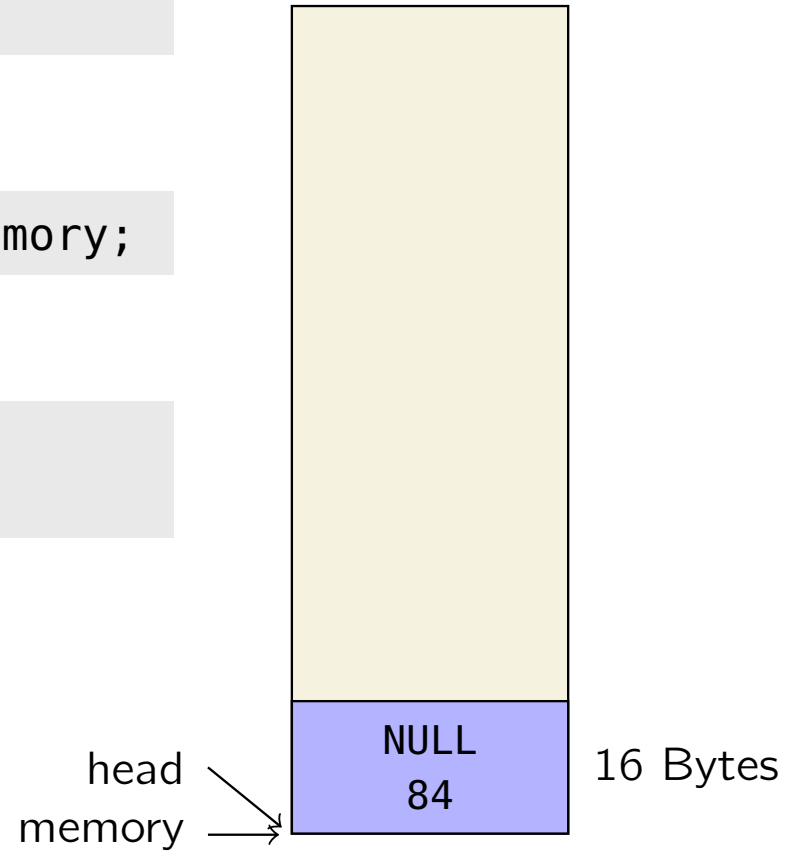
```
static char memory[100];
```

- `struct mblock` reinlegen

```
struct mblock* head = (struct mblock*) memory;
```

- `struct mblock` initialisieren

```
head->next = NULL;
head->size = 84;
```



! zwei Zeiger mit unterschiedlichem Typ auf den gleichen Speicherbereich

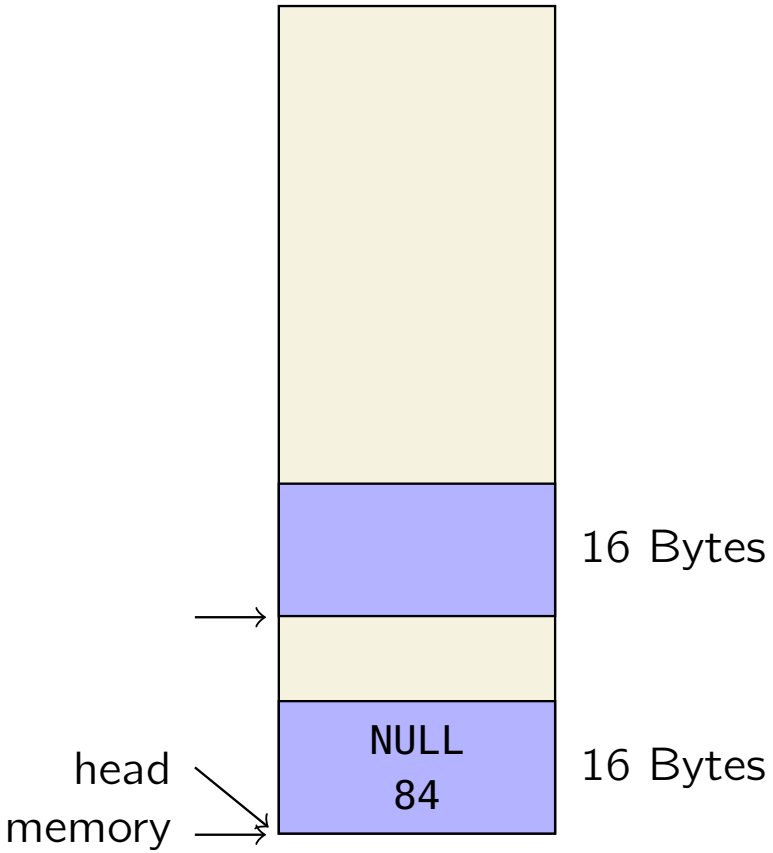
- unterschiedliche Semantik beim Zugriff (Zeigerarithmetik, Strukturkomponenten)

Speicheranforderung im Detail

- Speicheranforderung von 10 Bytes

```
char* m1 = (char *) malloc(10);
```

  - Freispeicherliste nach mblock mit ausreichend Speicher durchsuchen
  - 10 Bytes hinter dem **head**-mblock einen neuen mblock anlegen

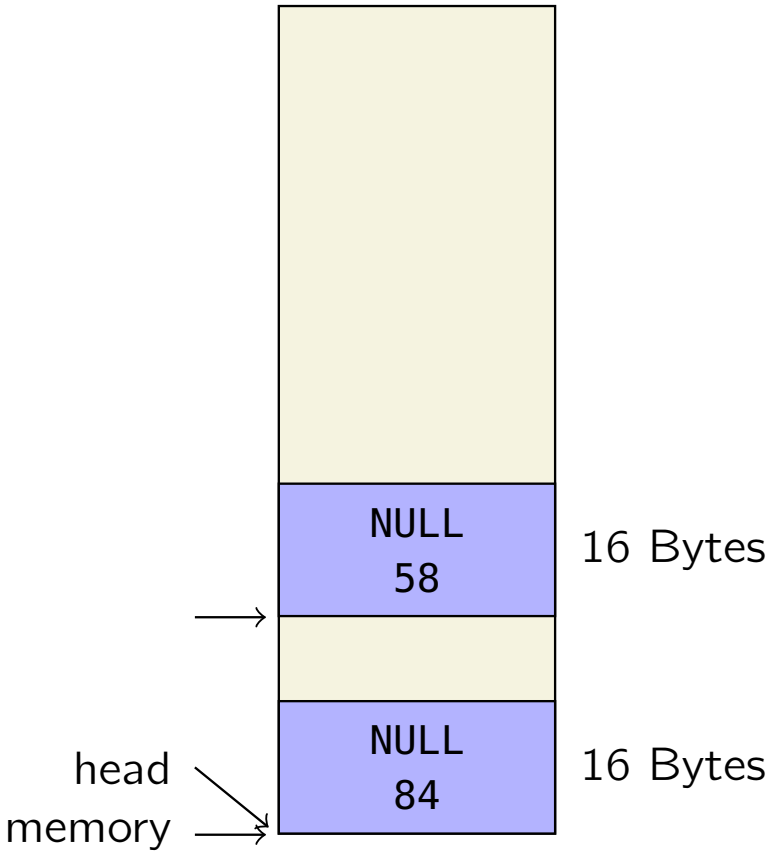


Speicheranforderung im Detail

- Speicheranforderung von 10 Bytes

```
char* m1 = (char *) malloc(10);
```

  - Freispeicherliste nach mblock mit ausreichend Speicher durchsuchen
  - 10 Bytes hinter dem **head**-mblock einen neuen mblock anlegen
  - ... und initialisieren

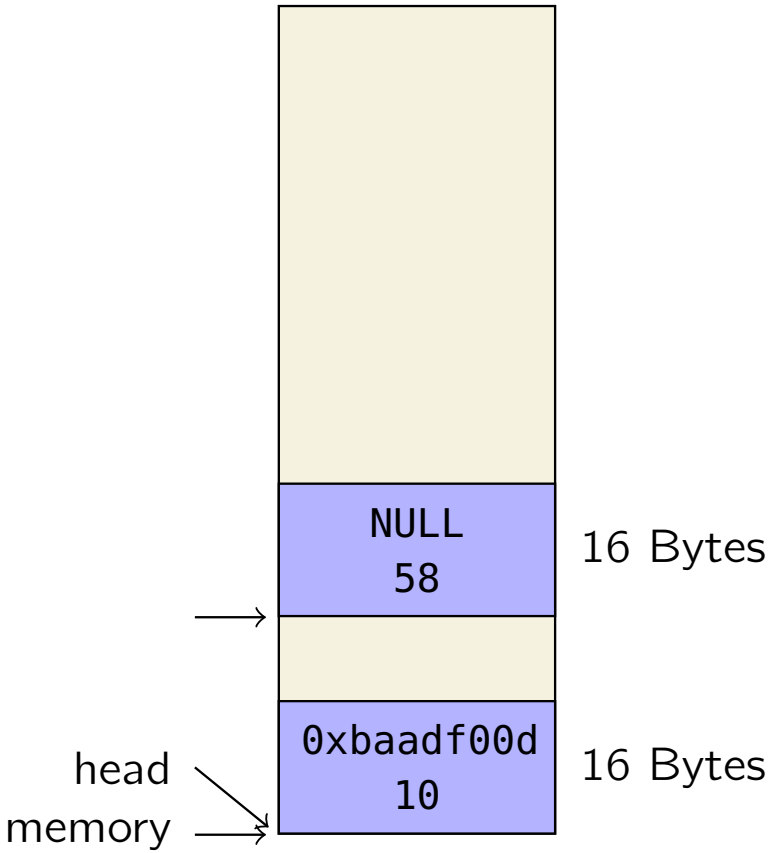


Speicheranforderung im Detail

Speicheranforderung von 10 Bytes

```
char* m1 = (char *) malloc(10);
```

- Freispeicherliste nach mblock mit ausreichend Speicher durchsuchen
- 10 Bytes hinter dem **head**-mblock einen neuen mblock anlegen
- ... und initialisieren
- Bisherigen **head-mblock** anpassen
  - als belegt markieren
  - Größe des Speicherbereichs aktualisieren

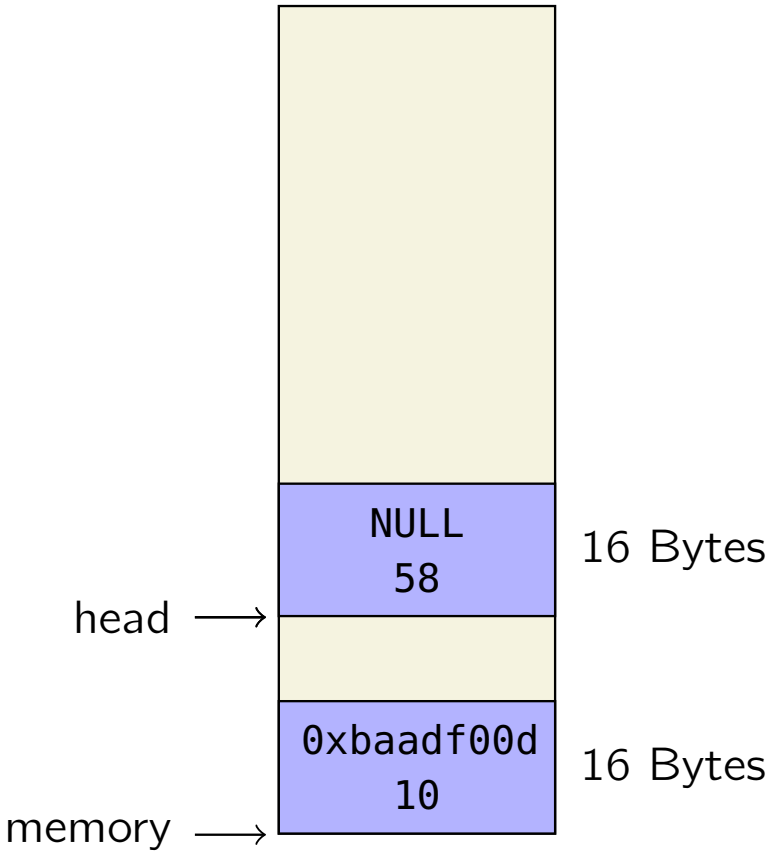


Speicheranforderung im Detail

- Speicheranforderung von 10 Bytes

```
char* m1 = (char *) malloc(10);
```

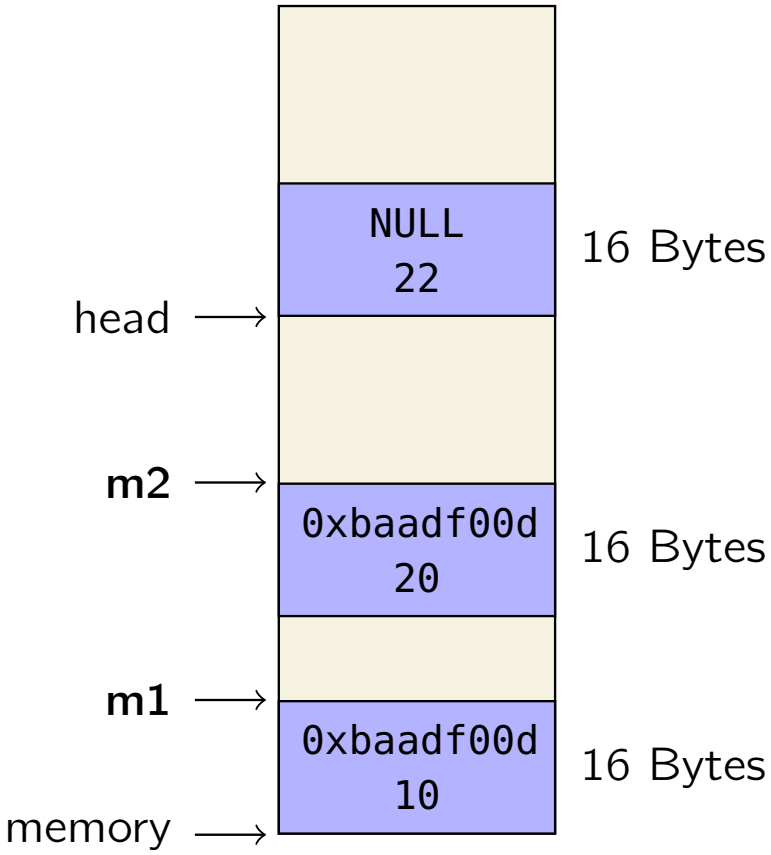
- Freispeicherliste nach mblock mit ausreichend Speicher durchsuchen
- 10 Bytes hinter dem **head**-mblock einen neuen mblock anlegen
- ... und initialisieren
- Bisherigen **head-mblock** anpassen
  - als belegt markieren
  - Größe des Speicherbereichs aktualisieren
- **head**-Zeiger auf neues Kopfelement setzen



Speicheranforderung im Detail

- Situation nach 2 `malloc()`-Aufrufen

```
char* m1 = (char *) malloc(10);
char* m2 = (char *) malloc(20);
```

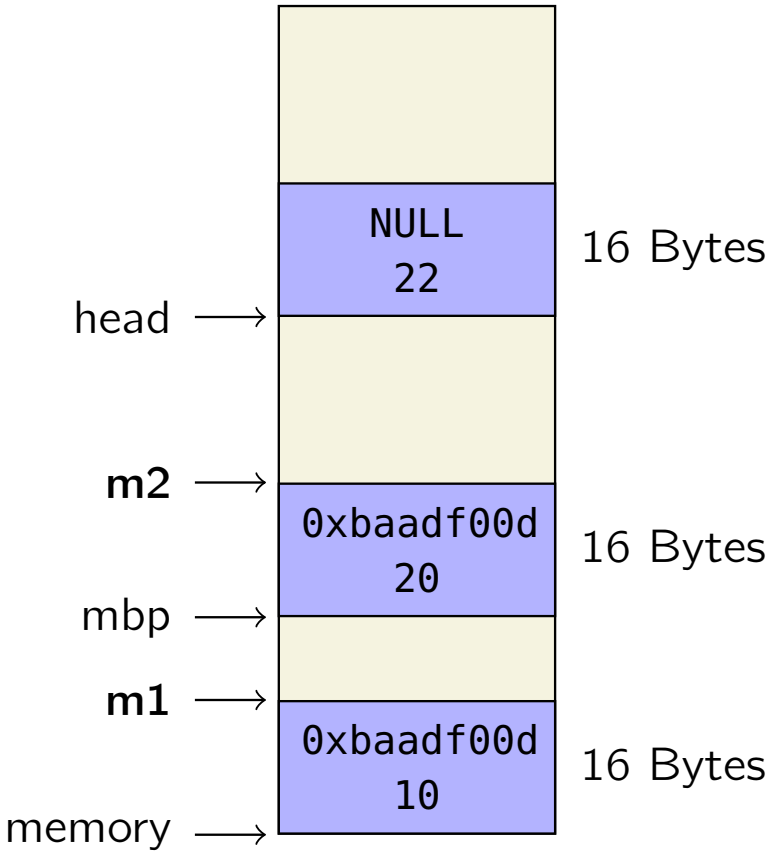


Speicherfreigabe

- Freigabe von `m2`

```
free(m2);
```

  - Zeiger `mbp` auf zugehörigen `mblock` ermitteln
  - Überprüfen, ob ein gültiger, belegter `mblock` vorliegt (`0xbaadf00d`)

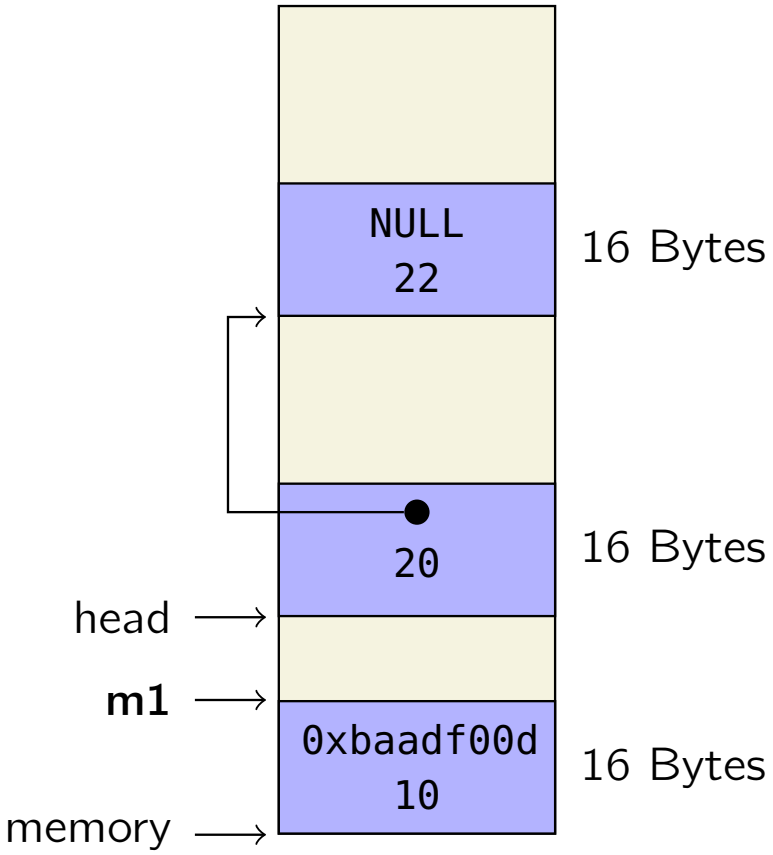


Speicherfreigabe

- Freigabe von `m2`

```
free(m2);
```

- Zeiger `mbp` auf zugehörigen `mblock` ermitteln
- Überprüfen, ob ein gültiger, belegter `mblock` vorliegt (`0xbaadf00d`)
- `head` auf freigegebenen `mblock` setzen, bisherigen `head-mblock` verketten



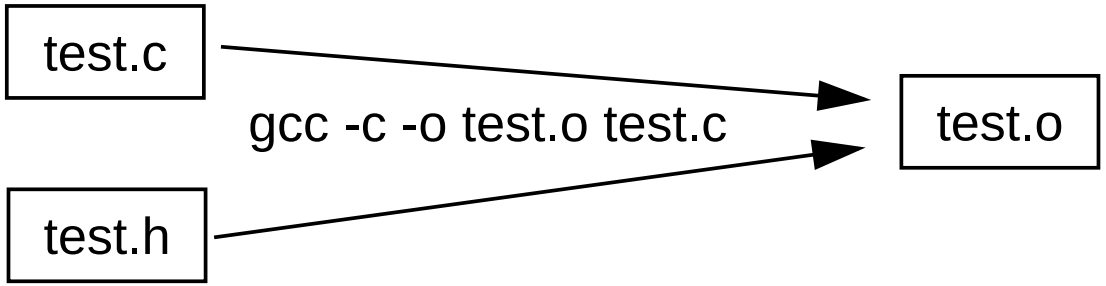
Zusammenfassung

- sehr einfache Implementierung – in der Praxis problematisch
  - Speicher wird im Laufe der Zeit stark fragmentiert
    - Suche nach passender Lücke dauert zunehmend länger
    - eventuell keine passende Lücke mehr vorhanden, obwohl insgesamt genug Speicher frei ist
  - in der Praxis: Verschmelzung benachbarter Freispeicherblöcke
- kein nachträgliches Vergrößern des Heaps
  - in der Praxis: Speicherseiten vom Betriebssystem nachfordern
- sinnvolle Implementierung erfordert geeignete Speichervergabestrategie
  - Implementierung erheblich aufwändiger – Resultat aber entsprechend effizienter
  - Strategien werden im Abschnitt Speicherverwaltung in SP2 behandelt (z. B. First-Fit, Best-Fit, Worst-Fit oder Buddy-Verfahren)

Agenda

Make – Teil 1

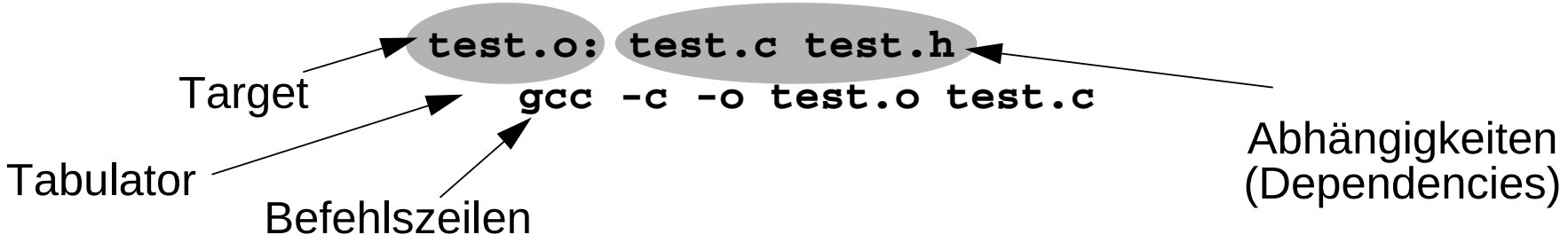
- Grundsätzlich: Erzeugung von Dateien aus anderen Dateien
  - für uns interessant: Erzeugung einer .o-Datei aus einer .c-Datei



- Ausführung von *Update*-Operationen (auf Basis der Modifikationszeit)

Funktionsweise

- Regeldatei mit dem Namen `Makefile`



  - Target (was wird erzeugt?)
    - Name der zu erstellenden Datei
  - Abhängigkeiten (woraus?)
    - Namen aller Eingabedateien (direkt oder indirekt)
    - Können selbst Targets sein
  - Befehlszeilen (wie?)
    - Erzeugt aus den Abhängigkeiten das Target

- zu erstellendes Target bei `make`-Aufruf angeben: `make test.o`
  - Falls nötig baut `make` die angegebene Datei neu
  - Davor werden rekursiv alle veralteten Abhängigkeiten aktualisiert
  - Ohne Target-Angabe bearbeitet `make` das erste Target im Makefile

Makros

- In einem Makefile können Makros definiert werden

```
SOURCE = test.c func.c
```

- Verwendung der Makros mit `$(NAME)` oder `${NAME}`

```
test: $(SOURCE)
  gcc -o test $(SOURCE)
```

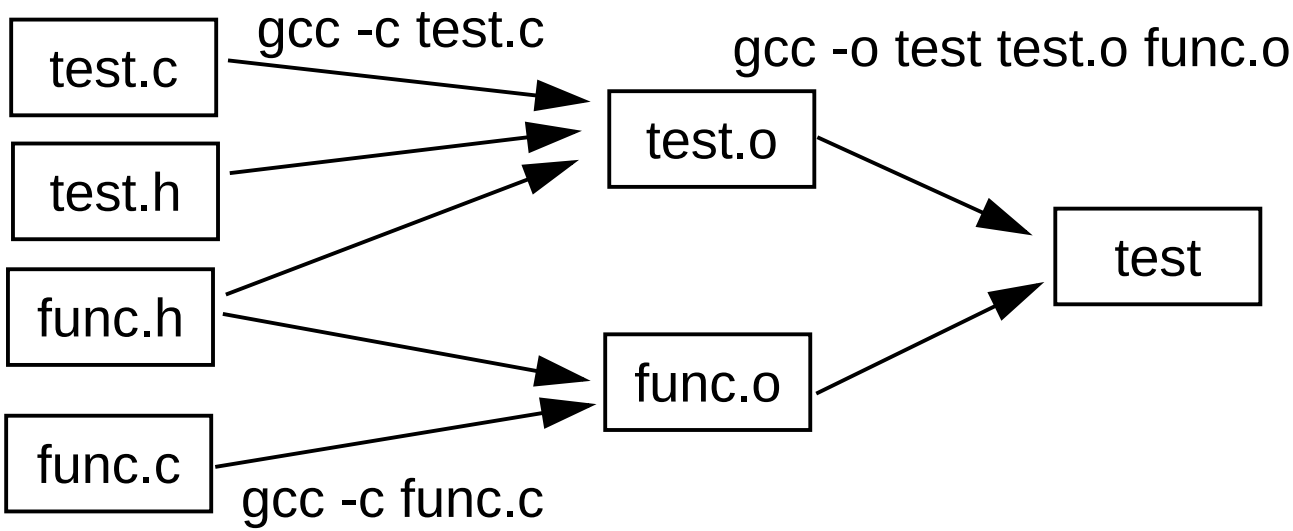
- Erzeugung neuer Makros durch Konkatenation

```
ALLOBJS = $(OBJS) hallo.o
```

- Gängige Makros:
  - `CC` C-Compiler-Befehl
  - `CFLAGS` Optionen für den C-Compiler

Schrittweises Übersetzen

- Rechner beim Erzeugen von ausführbaren Dateien „entlasten”



  - Zwischenprodukte verwenden und somit Übersetzungszeit sparen

Agenda

Debugger: gdb

- Ein Debugger dient zum Suchen und Finden von Fehlern in Programmen
- Im Debugger kann man u.a.
  - das Programm schrittweise abarbeiten
  - Variablen- und Speicherinhalte ansehen und modifizieren
  - core dumps (Speicherabbilder beim Programmabsturz) analysieren
    - Erlauben von core dumps (in der laufenden Shell): z. B. `limit coredumpsize 1024k` oder `limit coredumpsize unlimited`
- Programm sollte Debug-Symbole enthalten
  - mit GCC-Flag `-g` übersetzen
- Aufruf des Basis-Debuggers mit `gdb <Programmname>`
- Inklusive Visualisierung des Quelltextes: `cgdb <Programmname>`

Beispiel

```
void initArray(long *array, unsigned int size) {
  int i;
  for ( i=0; i<=size; i++ ) {
    array[i] = 0;
  }
}

int main(int argc, char *argv[]) {
  long *array;
  long buf[7];
  array = buf;

  initArray(buf,sizeof(buf)/sizeof(long));

  while ( array != buf+sizeof(buf)/sizeof(long) ) {
    printf("%ld\n", *array);
    array++;
  }

  exit(EXIT_SUCCESS);
}
```


Befehlsübersicht

- Programmausführung beeinflussen
  - Breakpoints setzen:
    - `b [<Dateiname>:]<Funktionsname>`
    - `b <Dateiname>:<Zeilennummer>`
  - Starten des Programms mit `run` (+ evtl. Befehlszeilenparameter)
  - Fortsetzen der Ausführung bis zum nächsten Stop mit `c` (continue)
  - schrittweise Abarbeitung auf Ebene der Quellsprache mit
    - `s` (step: läuft in Funktionen hinein)
    - `n` (next: behandelt Funktionsaufrufe als einzelne Anweisung)
  - Breakpoints anzeigen: `info breakpoints`
  - Breakpoint löschen: `delete breakpoint#`

Befehlsübersicht

- Variableninhalte anzeigen/modifizieren
  - Anzeigen von Variablen mit: `p expr`
    - `expr` ist ein C-Ausdruck, im einfachsten Fall der Name einer Variable
  - Automatische Anzeige von Variablen bei jedem Programmstopp (Breakpoint, Step, ...): `display expr`
  - Setzen von Variablenwerten mit `set <variablenname>=<wert>`
- Ausgabe des Funktionsaufruf-Stacks (backtrace): `bt`
- Quellcode an aktueller Position anzeigen: `list`
- Watchpoints: Stoppt Ausführung bei Zugriff auf eine bestimmte Variable
  - `watch expr`: Stoppt, wenn sich der Wert des C-Ausdrucks `expr` ändert
  - `rwatch expr`: Stoppt, wenn `expr` gelesen wird
  - `awatch expr`: Stopp bei jedem Zugriff (kombiniert `watch` und `rwatch`)
  - Anzeigen und Löschen analog zu den Breakpoints

Agenda

Ziele der Aufgabe

- Ziele der Aufgabe
  - Zusammenhang zwischen „nacktem Speicher” und typisierten Datenbereichen verstehen
  - Funktion aus der C-Bibliothek selbst realisieren
  - Umgang mit `make(1)`
  - Entwickeln eigener Testfälle für selbstgeschriebenen Code
- Vereinfachungen
  - First-Fit-ähnliche Allokationsstrategie
  - 1 MiB Speicher statisch alloziert
  - freier Speicher wird in einer einfach verketteten Liste (unsortiert) verwaltet
  - benachbarte freie Blöcke werden nicht verschmolzen
  - `realloc` wird grundsätzlich auf `malloc`, `memcpy` und `free` abgebildet

Agenda

Aktive Mitarbeit!

„Aufgabenstellung“

- Skizzieren Sie den Aufbau des verwalteten Speicherbereichs (hier: 64 Bytes, `sizeof(struct mblock)` = 16 Bytes) nach jedem Schritt des jeweiligen Szenarios
  - Szenario 1:

```
char* c1 = (char *) malloc(5);
char* c2 = (char *) malloc(7);
free(c1);
```

  - Szenario 2:

```
char* c1 = (char *) malloc(20);
free(c1);
char* c2 = (char *) malloc(4);
```

  - Szenario 3:

```
char* c1 = (char *) malloc(18);
char* c2 = (char *) malloc(14);
free(c1);
```

Lösung zu den Aufgaben

- **„Hier könnte Ihre Lösung stehen”**

⇒ In den Tafelübungen wird die Lösung gezeigt

⇒ Besucht die Tafelübungen, es lohnt sich! ;-)