Übungen zu Systemprogrammierung 1

Ü3 – Freispeicherverwaltung

Sommersemester 2019

Simon Ruderich, Dustin Nguyen, Christian Eichler, Jürgen Kleinöder

Lehrstuhl für Informatik 4
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Lehrstuhl für Verteilte Systeme
und Betriebssysteme

Agenda

4.1 Besprechung Aufgabe 1: lilo

4.2 Freispeicherverwaltung

4.3 Implementierung

4.4 make

4.5 gdb

4.6 Aufgabe 3: halde

4.7 Gelerntes anwenden

Aufgabe 1: lilo

Aufgabenstellung

- Einfach verkettete Liste aus Ganzzahlen (`int`)
- 2 Funktionen:

```
int insertElement(int value);
int removeElement(void);
```

Vorstellen der Lösung von...

Agenda

4.1 Besprechung Aufgabe 1: lilo

4.2 Freispeicherverwaltung

4.3 Implementierung

4.4 make

4.5 gdb

4.6 Aufgabe 3: halde

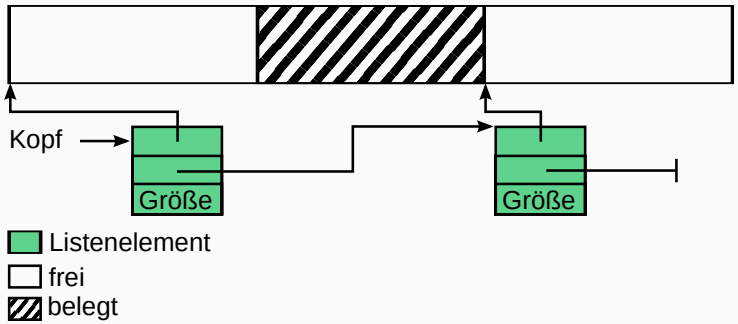
4.7 Gelerntes anwenden

Dynamische Speicherverwaltung (in C)

- Anforderung von Speicher: `void *malloc(size_t size);`
  - Parameter: Größe des angeforderten Speichers
  - Rückgabewert: Zeiger auf einen Speicherbereich
- **Explizite** Freigabe: `void free(void *ptr);`
  - Parameter: Zeiger auf freizugebenden Speicherbereich
  - Rückgabewert: –

Initialisierung

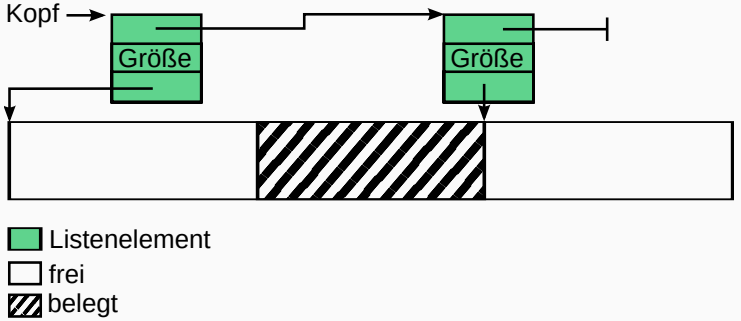
- Ziel: Speicherbereiche, die zur Laufzeit in beliebiger Größe angefordert werden können
- Skizze: Zustand eines teilweise belegten Heaps



  - 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!)

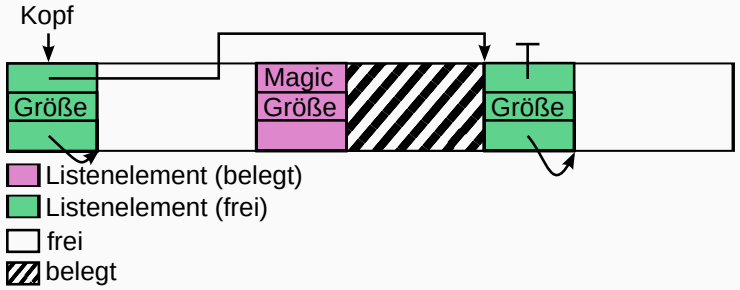


  - Freie Blöcke werden in einer verketteten Liste gespeichert
- Wiederholung Übung 1
  - Wie wird eine verkettete Liste in C implementiert?

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

4.1 Besprechung Aufgabe 1: lilo
4.2 Freispeicherverwaltung
4.3 Implementierung
4.4 make
4.5 gdb
4.6 Aufgabe 3: halde
4.7 Gelerntes anwenden

Implementierung

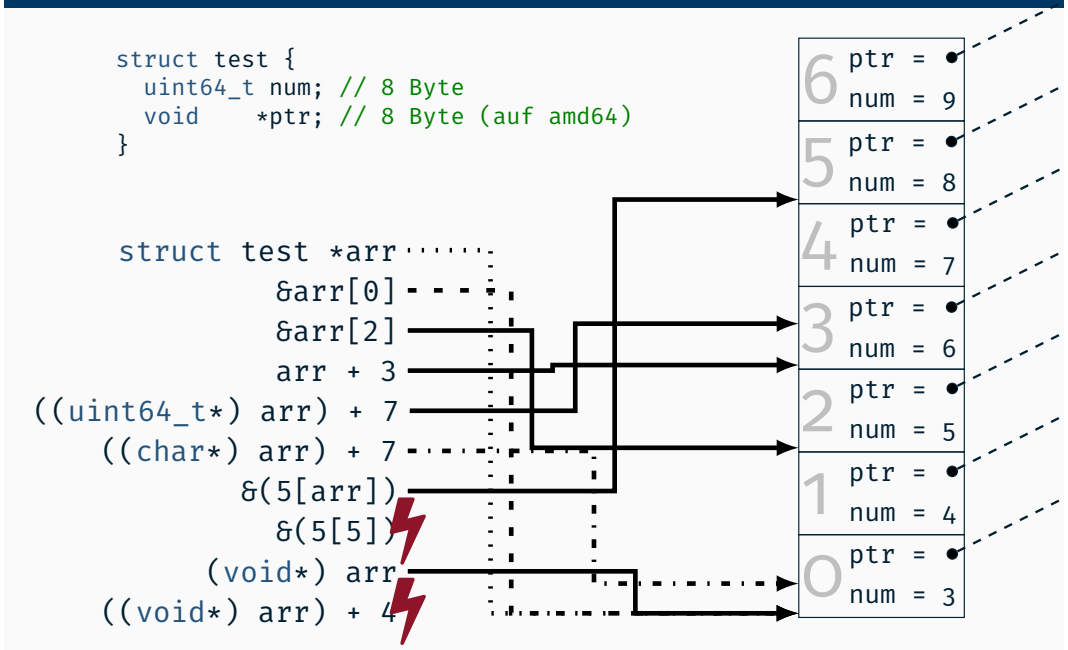
- Listenelementdefinition in C

```
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 **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`

Einschub: Zeiger und Zeigerarithmetik

```
struct test {
  uint64_t num; // 8 Byte
  void    *ptr; // 8 Byte (auf amd64)
}
```



Beispiel auf den Folien

- Schrittweises Abarbeiten des folgenden Codestückes:

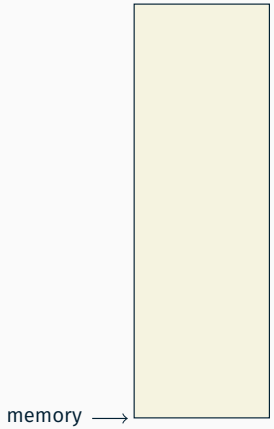
```
char *m1 = (char *)malloc(10);
char *m2 = (char *)malloc(20);

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

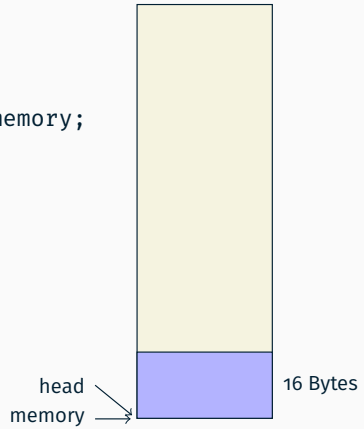
Initialisierung

- Speicher statisch alloziert
  `static char memory[100];`



Initialisierung

- Speicher statisch alloziert
  `static char memory[100];`
- `struct mblock` reinlegen
  `struct mblock *head = (struct mblock *)memory;`

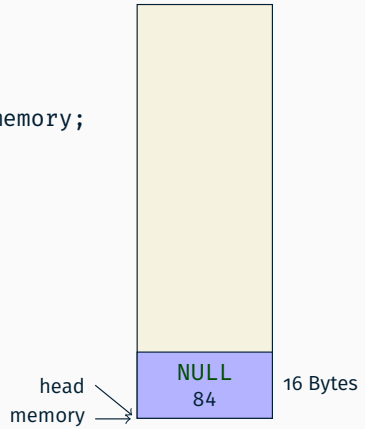


Initialisierung

- 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)

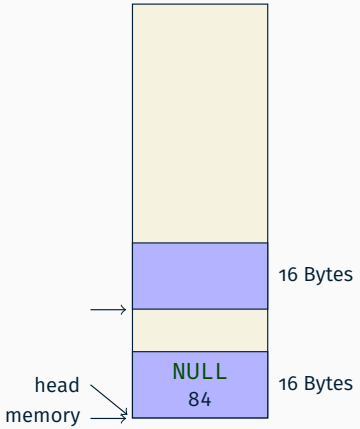


Speicheranforderung im Detail

- 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

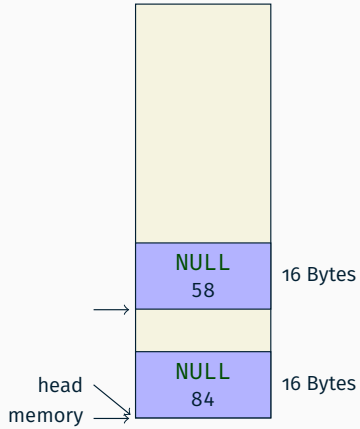


Speicheranforderung im Detail

- 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



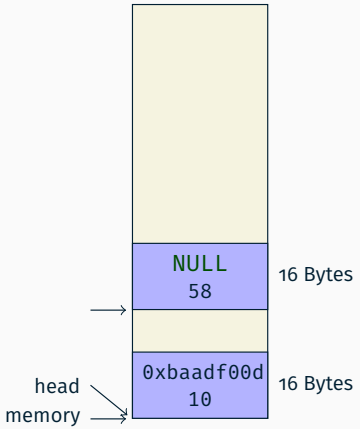
14

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



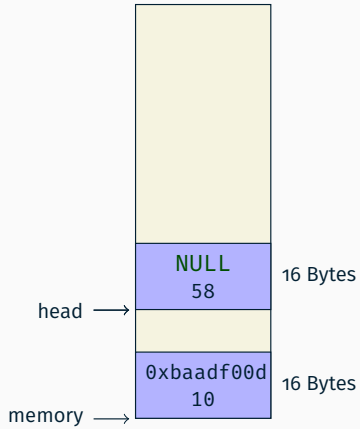
14

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

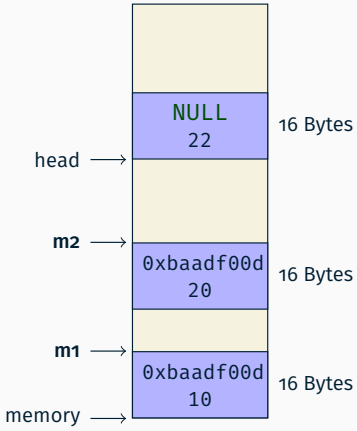


14

Speicheranforderung im Detail

- Situation nach 2 `malloc()`-Aufrufen

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

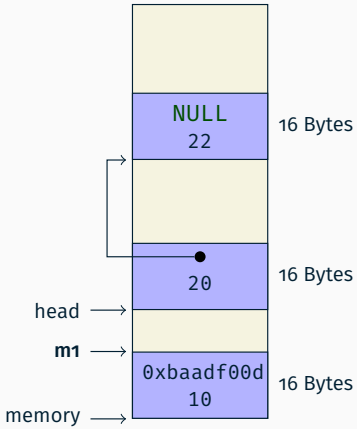


Speicherfreigabe

- Freigabe von `m2`

```
free(m2);
```

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

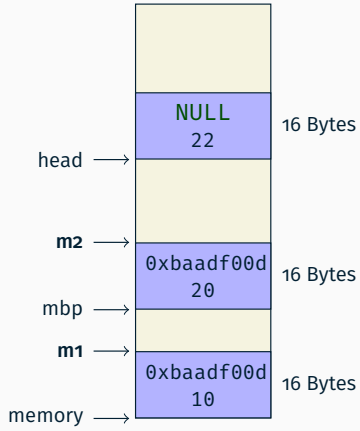


Speicherfreigabe

- Freigabe von `m2`

```
free(m2);
```

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



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
- langsame Suche nach freiem Speicherbereich passender Größe
  - in der Praxis: Gruppierung der freien Speicherbereiche (Buckets)
- 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

4.1 Besprechung Aufgabe 1: lilo

4.2 Freispeicherverwaltung

4.3 Implementierung

4.4 make

4.5 gdb

4.6 Aufgabe 3: halde

4.7 Gelerntes anwenden

Make – Warum?

# .c-Dateien	
lilo	1
vim 8.1	136
OpenSSH 7.9p1	269
Linux 4.19.1	> **26000**

✗ von Hand übersetzen: zu aufwändig

✗ Dauer bei wiederholtem Übersetzen

→ Automatisiertes Übersetzen **modifizierter Dateien**

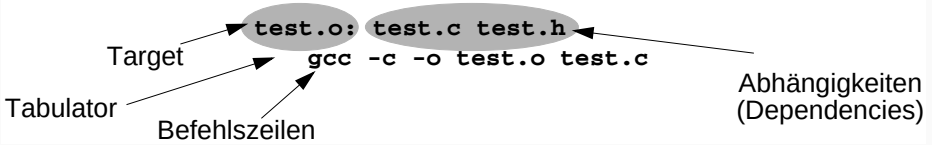
Make – Teil 1

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

- Falls Quelle(n) sich ändert wird der Befehl neu ausgeführt
- Änderung 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)
```

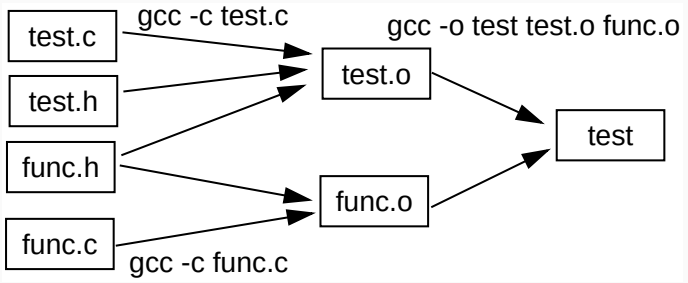
- Erzeugung neuer Makros durch Konkatenation

```
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
  - Beispiel:

```
test: test.o func.o
    gcc -o test test.o func.o

test.o: test.c test.h func.h
    gcc -c test.c

func.o: func.c func.h
    gcc -c func.c
```


Agenda

4.1 Besprechung Aufgabe 1: lilo
4.2 Freispeicherverwaltung
4.3 Implementierung
4.4 make
4.5 gdb
4.6 Aufgabe 3: halde
4.7 Gelerntes anwenden

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>`

Demo

```c
#include <stdio.h>

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

int main(void) {
  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++;
  }
}
```


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

4.1 Besprechung Aufgabe 1: lilo

4.2 Freispeicherverwaltung

4.3 Implementierung

4.4 make

4.5 gdb

4.6 Aufgabe 3: halde

4.7 Gelerntes anwenden

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

4.1 Besprechung Aufgabe 1: lilo
4.2 Freispeicherverwaltung
4.3 Implementierung
4.4 make
4.5 gdb
4.6 Aufgabe 3: halde
4.7 Gelerntes anwenden

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);
```

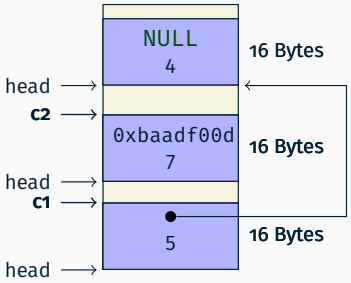
  - Szenario 3:

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


Lösung zu den Aufgaben

- Szenario 1:

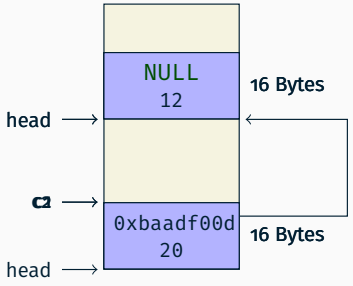
```
char *c1 = (char *)malloc(5);
char *c2 = (char *)malloc(7);
free(c1);
```



Lösung zu den Aufgaben

- Szenario 2:

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



Lösung zu den Aufgaben

- Szenario 3:

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