

Übungen zu Systemprogrammierung 1

Ü3 – Freispeicherverwaltung

Wintersemester 2018/19

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



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: –

Anforderungsanalyse



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



□ frei
▨ belegt

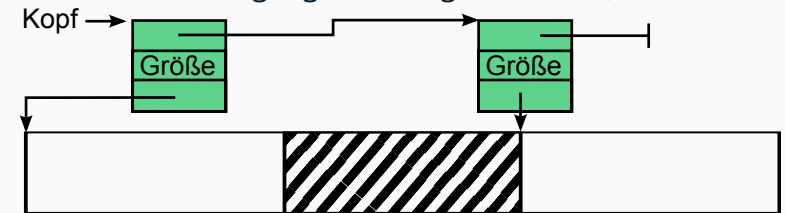
- Welche Informationen muss eine Freispeicherverwaltung bereit halten?
 - für freie Blöcke: Größe und Lage des Speicherbereichs
 - für belegte Blöcke: Größe des Speicherbereichs
- Welche Datenstruktur ist für eine Freispeicherverwaltung geeignet?
 - KISS (Keep it small and simple): einfach verkettete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

6

Konzept: Verkettete Liste zur Allokation



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



■ Listenelement
□ frei
▨ belegt

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

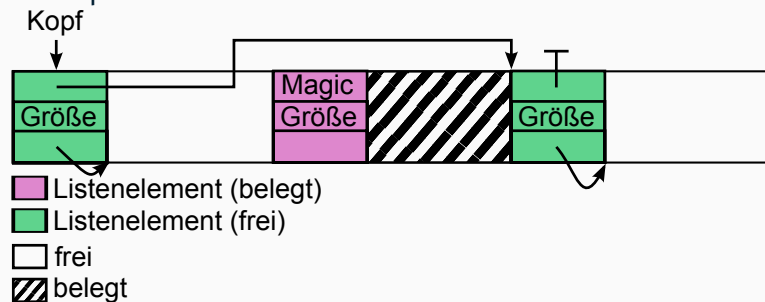
```
insertVal() → malloc() → insertVal() → malloc() →  
insertVal() → malloc() → insertVal() → malloc() →  
insertVal() → malloc() → insertVal() → malloc() →  
insertVal() → ...
```

7

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

8

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

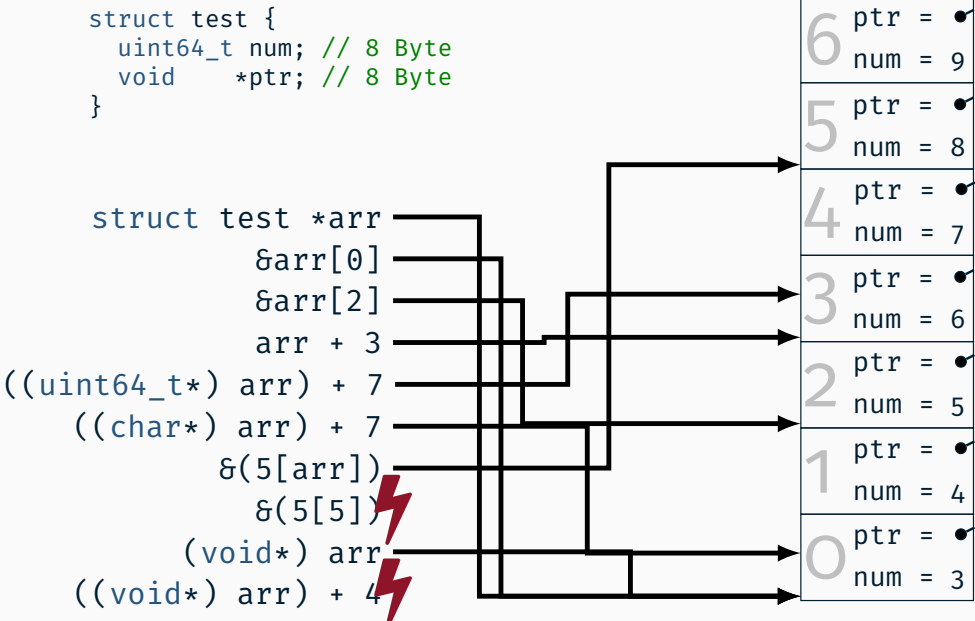


■ Listenelementdefinition in C

```
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



Beispiel auf den Folien



- Schrittweises Abarbeiten des folgenden Codestückes:

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

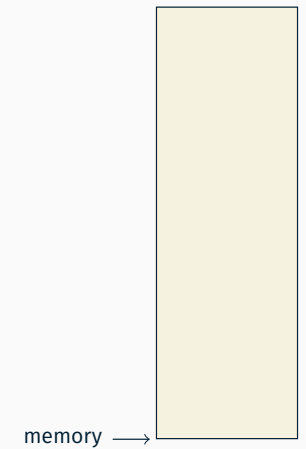
- Annahmen:

- 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



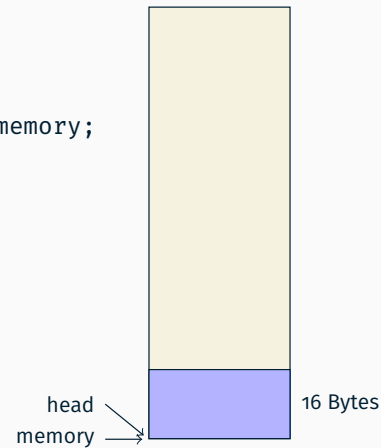
- Speicher statisch alloziert
`static char memory[100];`



Initialisierung



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



13

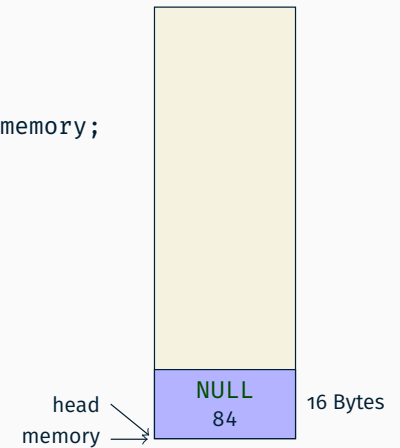
Initialisierung



- 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)



13

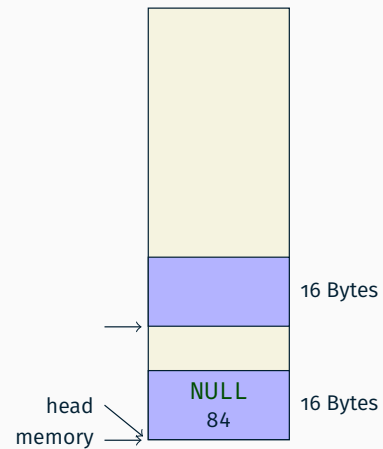
Speicheranforderung im Detail



■ 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



14

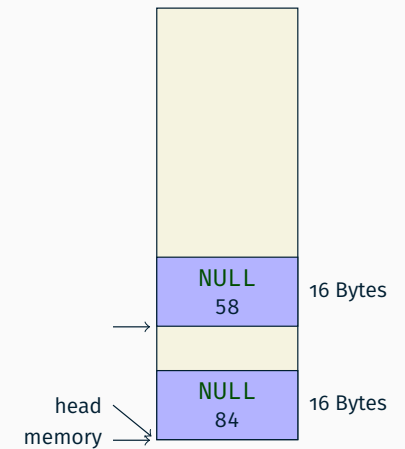
Speicheranforderung im Detail



■ 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



14

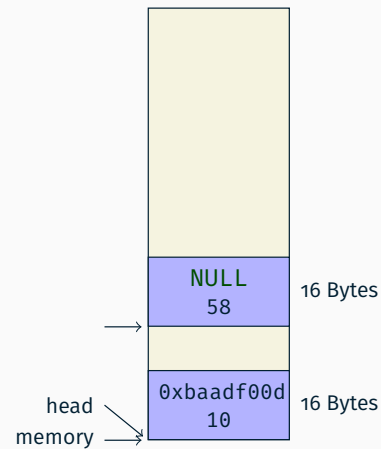
Speicheranforderung im Detail



■ 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

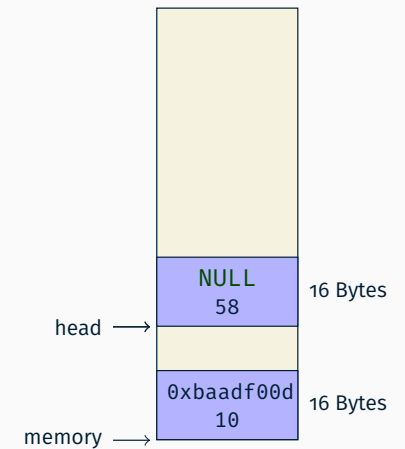
Speicheranforderung im Detail



■ 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



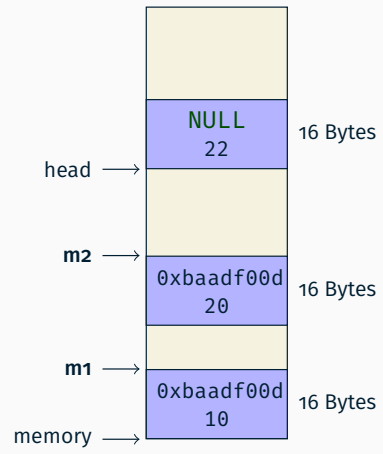
14

Speicheranforderung im Detail



■ Situation nach 2 malloc()-Aufrufen

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



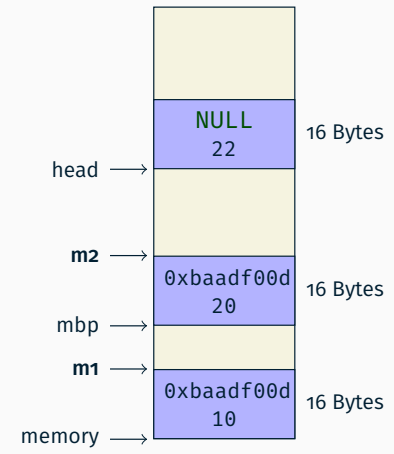
Speicherfreigabe



■ Freigabe von m2

```
free(m2);
```

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



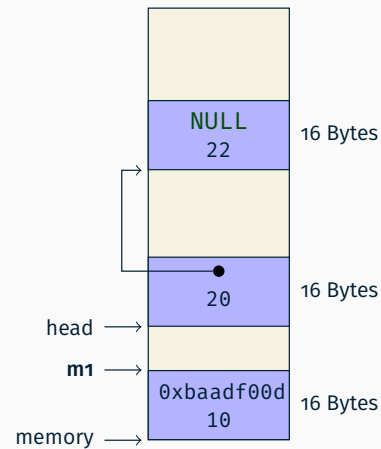
Speicherfreigabe



■ 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



16

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)

17

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 – Teil 1



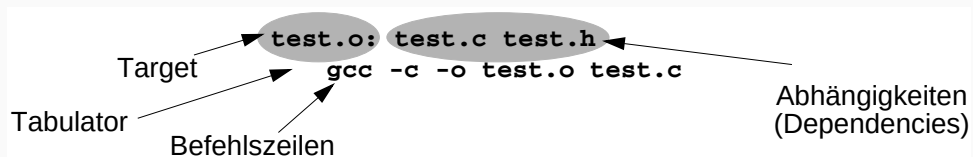
- Grundsätzlich: Erzeugung von Dateien aus anderen Dateien
 - für uns interessant: Erzeugung einer .o-Datei aus einer .c-Datei



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



- 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



- In einem Makefile können Makros definiert werden


```
SOURCE = test.c func.c
```
- Verwendung der Makros mit `$(NAME)` oder `${NAME}`

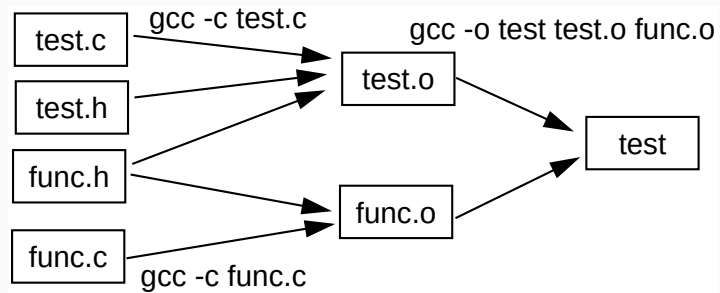
```
test: $(SOURCE)
gcc -o test $(SOURCE)
```
- Erzeugung neuer Makros durch Konkatination


```
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



- 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>`

24

Beispiel



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

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

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

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

    return EXIT_SUCCESS;
}
```

25

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#`

26

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`: Stoppt bei jedem Zugriff (kombiniert `watch` und `rwatch`)
- Anzeigen und Löschen analog zu den Breakpoints

27

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);
```



- „Hier könnte Ihre Lösung stehen“

- ⇒ In den Tafelübungen wird die Lösung gezeigt
- ⇒ Besucht die Tafelübungen, es lohnt sich! ;-)