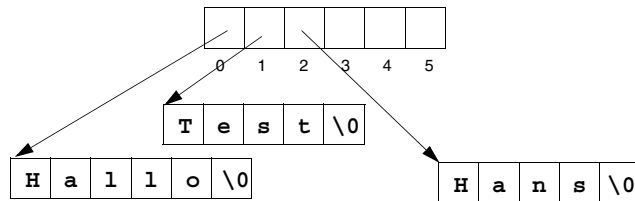


- Besprechung Aufgabe 2 (wsort)
- Aufgabe 3: malloc-Implementierung

2 wsort - Datenstrukturen (2. Möglichkeit)

U4-1 Aufgabe 2: Sortieren mit qsort

- Array von Zeigern auf Zeichenketten

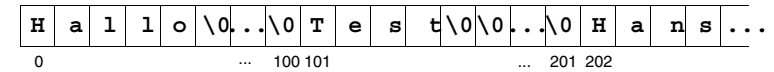


- Vorteile:
 - ◆ schnell, da nur Zeiger vertauscht werden (x86-32: 12 Bytes pro Umordnung)
 - ◆ Zeichenketten können beliebig lang sein
 - ◆ sparsame Speichernutzung

U4-1 Aufgabe 2: Sortieren mit qsort

1 wsort - Datenstrukturen (1. Möglichkeit)

- Array von Zeichenketten



- Vorteile:
 - ◆ einfach
- Nachteile:
 - ◆ hoher Kopieraufwand (303 Bytes pro Umordnung)
 - ◆ maximale Länge der Worte muss bekannt sein
 - ◆ Verschwendung von Speicherplatz

3 Speicherverwaltung

U4-1 Aufgabe 2: Sortieren mit qsort

- Berechnung des Array-Speicherbedarfs
 - ◆ bei Lösung 1: Anzahl der Wörter * 101 * sizeof(char)
 - ◆ bei Lösung 2: Anzahl der Wörter * sizeof(char*)
- realloc:
 - ◆ Anzahl der zu lesenden Worte ist unbekannt
 - ◆ Array muss vergrößert werden: realloc
 - ◆ Vergrößerung Effizienzgründen in Blöcken (z.B. je 1000 weitere Elemente)
 - ◆ Achtung: realloc kopiert möglicherweise das Array (teuer)
- dynamisch allozierter Speicher sollte wieder freigegeben werden
 - ◆ bei Lösung 1: Array freigeben
 - ◆ bei Lösung 2: zuerst Wörter freigeben, dann Zeiger-Array freigeben

4 Vergleichsfunktion

- Problem: qsort erwartet Zeiger auf die Vergleichsfunktion vom Typ

```
int (*)(const void *, const void *)
```

- Lösung: Typcast

- innerhalb der Funktion, z.B. (Lösungsvariante 2 mit Zeigerarray)
(weniger schön: Schnittstelle der Funktion wird nach außen verändert)

```
int compare(const void *a, const void *b) {
    return strcmp(
        *(const char * const *) a,
        *(const char * const *) b
    );
}
```

- schöner, beim qsort-Aufruf:

```
int compare(const char * const *a, const char * const *b);
...
qsort(field, nel, sizeof(char *),
      (int (*)(const void *, const void *)) compare);
```

U4-2 Aufgabe 3: einfache malloc-Implementierung

- First-Fit-Allokationsstrategie

- Vereinfachungen:

- 1 MiB Speicher statisch allokiert
- freier Speicher wird in einer einfach-verketteten Liste verwaltet
(benachbarte freie Blöcke werden nicht mehr verschmolzen)
- realloc verlängert den Speicher nicht, sondern wird grundsätzlich auf ein neues malloc, memcpy und free abgebildet

- Ziele der Aufgabe

- Zusammenhang zwischen "nacktem Speicher" und typisierten Datenbereichen verstehen
- Funktion aus der C-Bibliothek selbst realisieren

1 malloc-Funktion

- verwaltet einen vom Betriebssystem angeforderten Speicherbereich
 - welche Bereiche (Position, Länge) wurden vergeben
 - welche Bereiche sind frei

- Informationen über freie und belegte Speicherbereiche werden in Verwaltungsdatenstrukturen gehalten

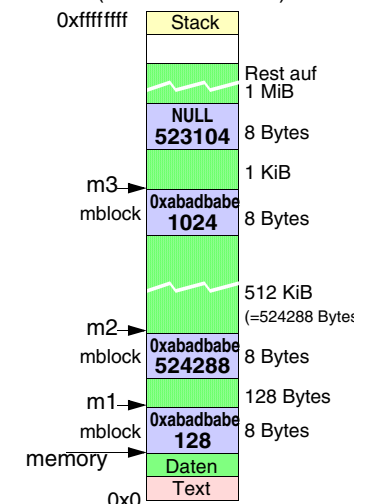
```
typedef struct mblock {
    size_t size; // Größe des anhängenden Bereichs
    struct mblock *next; // Verkettung freier Bereiche
} mblock;
```

- Die Verwaltungsdatenstrukturen liegen jeweils vor dem zugehörigen Speicherbereich
- Die Verwaltungsdatenstrukturen der freien Speicherbereiche sind untereinander verkettet, bei vergebenen Speicherbereichen enthält next den magischen Wert 0xabadbabe

1 malloc-Funktion

- Beispiel für die Situation nach 3 malloc-Aufrufen (32-Bit-Architektur)

```
...
char *m1, *m2, *m3;
...
m1 = (char *) malloc(128);
m2 = (char *) malloc(512*1024);
m3 = (char *) malloc(1024);
```



2 malloc-Interna - Initialisierung

- initialer Zustand
 - ◆ Speicher statisch allokiert

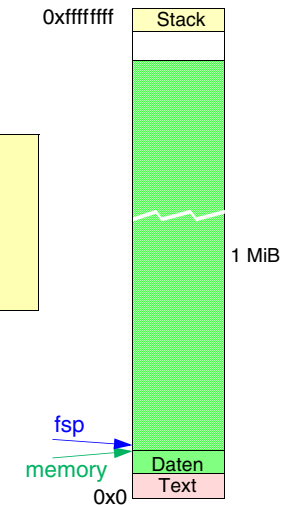
```
static char memory[1048576];
```



2 malloc-Interna - Initialisierung (2)

- initialer Zustand
 - ◆ Speicher statisch allokiert
 - ◆ struct mblock "hineinlegen"

```
// Kopfzeiger der Freispeicherliste
mblock *fsp;
...
fsp = (mblock *) memory;
```



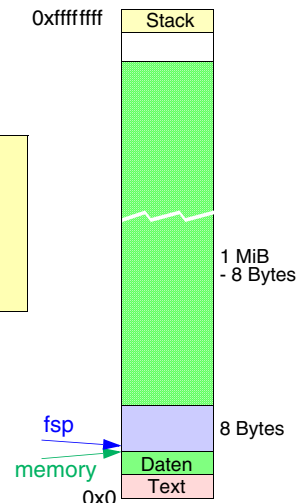
2 malloc-Interna - Initialisierung (3)

- initialer Zustand
 - ◆ Speicher statisch allokiert

```
static char memory[1048576];
```

- ◆ struct mblock "hineinlegen"

```
// Kopfzeiger der Freispeicherliste
mblock *fsp;
...
fsp = (mblock *) memory;
```



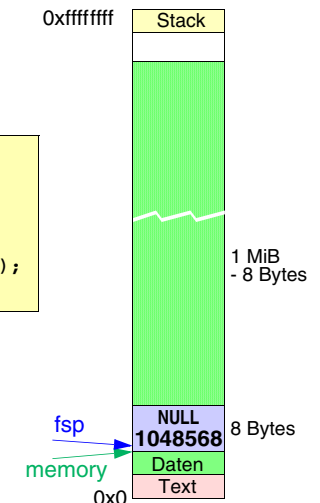
2 malloc-Interna - Initialisierung (4)

- initialer Zustand
 - ◆ Speicher statisch allokiert

```
static char memory[1048576];
```

- ◆ struct mblock "hineinlegen"

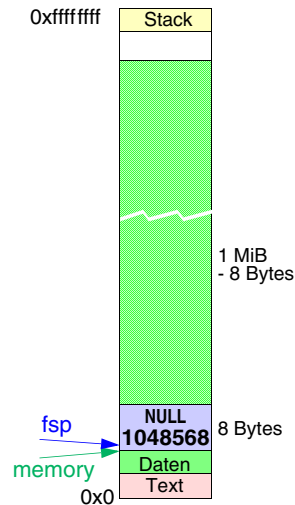
```
// Kopfzeiger der Freispeicherliste
mblock *fsp;
...
fsp = (mblock *) memory;
fsp->size = sizeof(memory) - sizeof(mblock);
fsp->next = NULL;
```



2 malloc-Interna - Initialisierung (5)

■ initialer Zustand

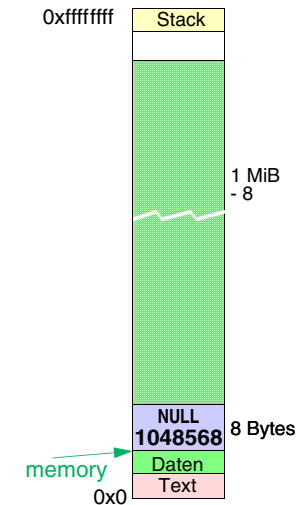
- ➔ zwei Zeiger mit unterschiedlichem Typ zeigen auf den gleichen Speicherbereich
 - unterschiedliche Semantik beim Zugriff (Zeigerarithmetik, Strukturkomponentenzugriffe)



3 malloc-Interna - Speichieranforderung

■ Aufgaben bei einer Speichieranforderung

```
char *m1;
m1 = (char *) malloc(128);
```

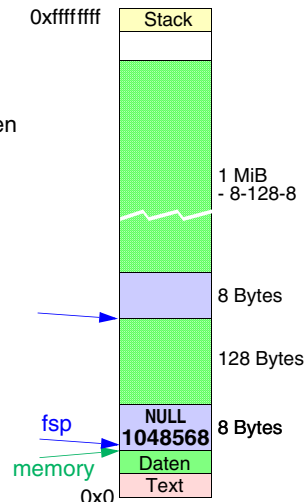


3 malloc-Interna - Speichieranforderung (2)

■ Aufgaben bei einer Speichieranforderung

```
char *m1;
m1 = (char *) malloc(128);
```

- ◆ 128 Bytes hinter dem fsp-mblock reservieren
- ◆ neuen mblock dahinter anlegen

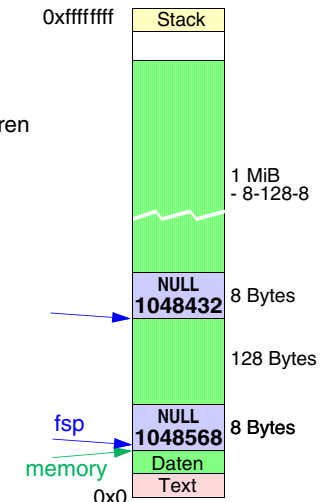


3 malloc-Interna - Speichieranforderung (3)

■ Aufgaben bei einer Speichieranforderung

```
char *m1;
m1 = (char *) malloc(128);
```

- ◆ 128 Bytes hinter dem fsp-mblock reservieren
- ◆ neuen mblock dahinter anlegen und initialisieren

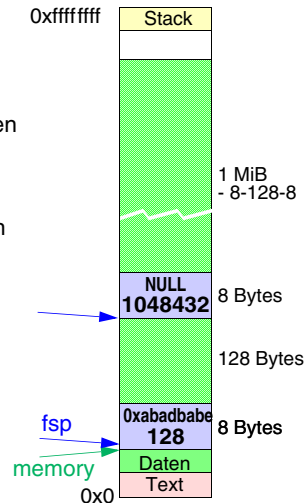


3 malloc-Interna - Speichieranforderung (4)

Aufgaben bei einer Speichieranforderung

```
char *m1;
m1 = (char *) malloc(128);
```

- ◆ 128 Bytes hinter dem fsp-mblock reservieren
- ◆ neuen mblock dahinter anlegen und initialisieren
- ◆ bisherigen fsp-mblock als belegt markieren

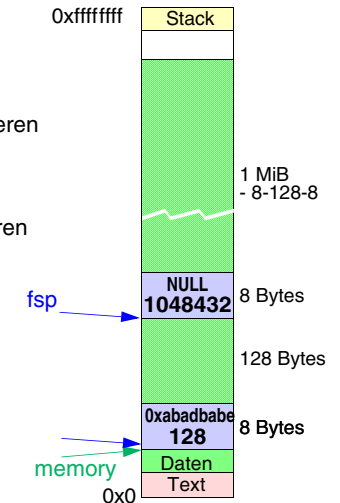


3 malloc-Interna - Speichieranforderung (5)

Aufgaben bei einer Speichieranforderung

```
char *m1;
m1 = (char *) malloc(128);
```

- ◆ 128 Bytes hinter dem fsp-mblock reservieren
- ◆ neuen mblock dahinter anlegen und initialisieren
- ◆ bisherigen fsp-mblock als belegt markieren
- ◆ fsp-Zeiger auf neuen mblock setzen

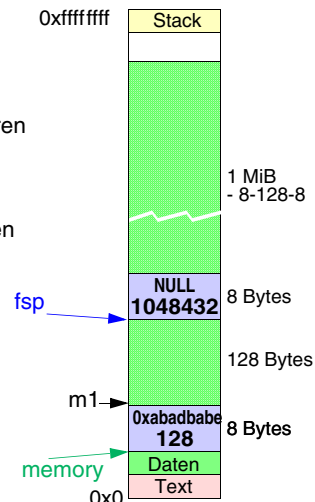


3 malloc-Interna - Speichieranforderung (6)

Aufgaben bei einer Speichieranforderung

```
char *m1;
m1 = (char *) malloc(128);
```

- ◆ 128 Bytes hinter dem fsp-mblock reservieren
- ◆ neuen mblock dahinter anlegen und initialisieren
- ◆ bisherigen fsp-mblock als belegt markieren
- ◆ fsp-Zeiger auf neuen mblock setzen
- ◆ Zeiger auf die reservierten 128 Bytes zurückgeben



3 malloc-Interna - Speichieranforderung (7)

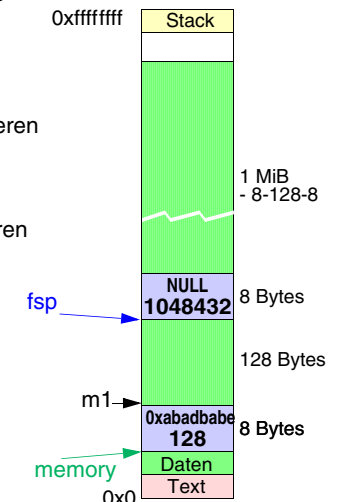
Aufgaben bei einer Speichieranforderung

```
char *m1;
m1 = (char *) malloc(128);
```

- ◆ 128 Bytes hinter dem fsp-mblock reservieren
- ◆ neuen mblock dahinter anlegen und initialisieren
- ◆ bisherigen fsp-mblock als belegt markieren
- ◆ fsp-Zeiger auf neuen mblock setzen
- ◆ Zeiger auf die reservierten 128 Bytes zurückgeben

■ Frage:
wie rechnet man auf dem Speicher?

- in **char**?
- in **mblock**?



4 malloc-Interna - Zeigerarithmetik

- Problem: Verwaltungsdatenstrukturen sind mblock-Strukturen, angeforderte Datenbereiche sind Bytes-Felder
 - Zeigerarithmetik teilweise mit mblock-, teilweise mit char-Einheiten
- Variante 1: Berechnungen von fsp_neu in Bytes-/char-Einheiten

```
void *malloc(size_t size) {
    mblock *fsp_neu, *fsp_alt;
    fsp_alt = fsp;
    ...
    fsp_neu = (mblock *)
        ((char *) fsp_alt + sizeof(mblock) + size);
    ...
    return((void *) (fsp_alt + 1));
}
```

4 malloc-Interna - Zeigerarithmetik (2)

- Variante 2: Berechnungen in mblock-Einheiten

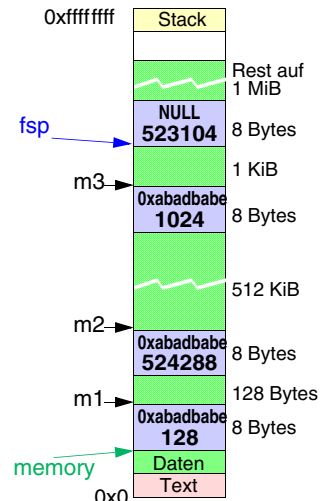
```
void *malloc(size_t size) {
    mblock *fsp_neu, *fsp_alt;
    int units;
    fsp_alt = fsp;
    ...
    units = ( (size-1) / sizeof(mblock) ) + 1;
    fsp_neu = fsp + 1 + units;
    ...
    return((void *) (fsp_alt + 1));
}
```

- ◆ Unterschied: Aufrundung von size auf Vielfaches von sizeof(mblock)
- ◆ Vorteil: die mblock-Strukturen liegen nach einer Anforderung von "krummen" Speichermengen nicht auf "ungeraden" Speichergrenzen
 - manche Prozessoren fordern, dass int-Werte immer auf Wortgrenzen (z.B. durch 4 teilbar) liegen (sonst Trap: Bus error beim Speicherzugriff)
 - bei Intel-Prozessoren: ungerade Positionen zwar erlaubt, aber ineffizient
 - aber: veränderte Größe in den Verwaltungsstrukturen beachten!

5 malloc-Interna - Speicher freigeben

- Situation nach 3 malloc-Aufrufen

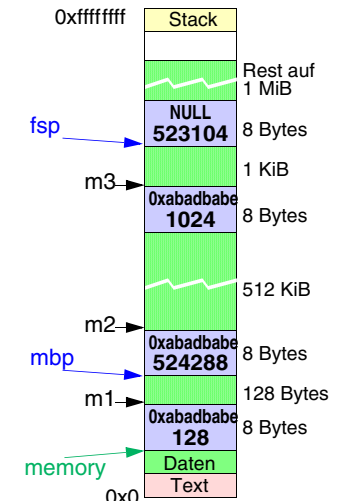
```
...
char *m1, *m2, *m3;
...
m1 = (char *) malloc(128);
m2 = (char *) malloc(512*1024);
m3 = (char *) malloc(1024);
...
free(m2);
```



5 malloc-Interna - Speicher freigeben (2)

- Freigabe von m2 - Aufgaben

```
...
char *m1, *m2, *m3;
...
m1 = (char *) malloc(128);
m2 = (char *) malloc(512*1024);
m3 = (char *) malloc(1024);
...
free(m2);
```



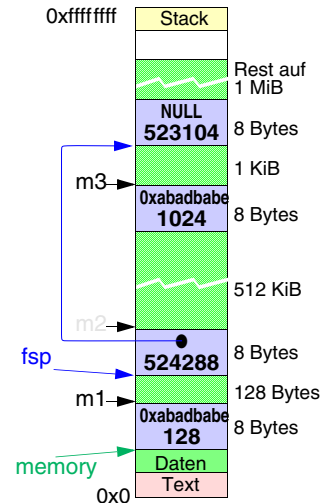
- ◆ Zeiger **mbp** auf zugehörigen mblock ermitteln
- ◆ überprüfen, ob ein gültiger, belegter mblock vorliegt (0xabadbabe)

5 malloc-Interna - Speicher freigeben (3)

Freigabe von m2 - Aufgaben

```
...
char *m1, *m2, *m3;
...
m1 = (char *) malloc(128);
m2 = (char *) malloc(512*1024);
m3 = (char *) malloc(1024);
...
free(m2);
```

- ◆ Zeiger **mbp** auf zugehörigen mblock ermitteln
- ◆ überprüfen, ob ein gültiger, belegter mblock vorliegt (0xabadbabe)
- ◆ **fsp** auf freigegebenen Block setzen, bisherigen fsp-mblock verketteten

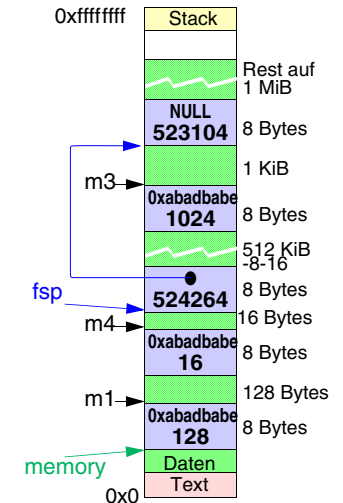


6 malloc-Interna - erneut Speicher anfordern

neue Anforderung von 10 Bytes

```
...
char *m4;
...
m4 = (char *) malloc(10);
...
```

- ◆ Annahme: Zeigerberechnung in struct mblock-Einheiten (mit Aufrunden => 16 Bytes)
- ◆ neuen mblock danach anlegen



7 malloc - abschließende Bemerkungen

- sehr einfache Implementierung - in der Praxis problematisch
 - ◆ Speicher wird im Laufe der Zeit stark fragmentiert
 - Suche nach passender Lücke dauert zunehmend länger
 - evtl. keine passende Lücke mehr zu finden, obwohl insgesamt genug Speicher frei
 - Lösung: Verschmelzung benachbarter freigegebener Blöcke
- sinnvolle Implementierung erfordert geeignete Speichervergabestrategie
 - ◆ Implementierung erheblich aufwändiger - Resultat aber entsprechend effizienter
 - ◆ Strategien werden im Abschnitt Speicherverwaltung in der Vorlesung behandelt (z. B. Best-Fit, Worst-Fit oder Buddy-Verfahren)