

# Systemprogrammierung

## Speicherverwaltung: Zuteilungsverfahren

Wolfgang Schröder-Preikschat

Lehrstuhl Informatik 4

11. Januar 2012

## Gliederung

- 1 Überblick
- 2 Platzierungsstrategie
  - Freispeicherorganisation
  - Verfahrensweisen
- 3 Speicherverschnitt
  - Fragmentierung
  - Verschmelzung
  - Kompaktifizierung
- 4 Zusammenfassung

## Politiken bei der Speicherverwaltung

### Speicherzuteilungsverfahren



#### Platzierungsstrategie (engl. *placement policy*)

- **wohin** im Arbeitsspeicher ist ein Fragment abzulegen?
  - dorthin, wo der Verschnitt am kleinsten/größten ist?
  - oder ist es egal, weil Verschnitt zweitrangig ist?

### Speichervirtualisierung

#### Ladestrategie (engl. *fetch policy*)

- **wann** ist ein Fragment in den Arbeitsspeicher zu laden?
  - im Moment der Anforderung durch einen Prozess?
  - oder im Voraus, auf Grund von Vorabwissen oder Schätzungen?

#### Ersetzungsstrategie (engl. *replacement policy*)

- **welches** Fragment ist ggf. aus den Arbeitsspeicher zu verdrängen?
  - das älteste, am seltensten genutzte oder am längsten ungenutzte?

## Gliederung

- 1 Überblick
- 2 Platzierungsstrategie
  - Freispeicherorganisation
  - Verfahrensweisen
- 3 Speicherverschnitt
  - Fragmentierung
  - Verschmelzung
  - Kompaktifizierung
- 4 Zusammenfassung

## Verwaltung der „Hohlräume“ im Arbeitsspeicher

**Bitkarte** (engl. *bit map*) von Fragmenten fester Größe

- eignet sich für seitennummerierte Adressräume
- grobkörnige Vergabe auf Seitenrahmenbasis
- alle freien Fragmente sind gleich gut



**verkettete Liste** (engl. *free list*) von Fragmenten variabler Größe

- ist typisch für segmentierte Adressräume
- feinkörnige Vergabe auf Segmentbasis
- nicht alle freien Fragmente sind gleich gut



Freispeicher erscheint als „Hohlräume“ (auch „Löcher“ genannt) im RAM, die mit Programmtext/-daten auffüllbar sind

- als Bitkarte/verk. Liste implementierte **Löcherliste** (engl. *hole list*)

## Freispeicher(bit)karte: Gemeinkosten

Erfassung freier Fragmente beansprucht mehr oder weniger viel Speicher:

- z.B. ein System mit 1 GB Hauptspeicher und 4 KB Seitengröße
- die dazu passende Bitkarte hat eine Größe von 32 KB:

$$\begin{aligned} \text{sizeof}(\text{bit map}) &= 1 \text{ GB} \div 4 \text{ KB} \div 8 \text{ Bits} \\ &= 2^{30} \div 2^{12} \div 2^3 = 2^{15} \text{ Bytes} \end{aligned}$$

- der Bitkartenumfang variiert mit der Seiten(rahmen)größe
  - gleich gr. Speicher  $\leadsto$  ungleich gr. indirekte Speicherkosten
- die MMU erlaubt ggf. eine Feinabstimmung (engl. *tuning*)
  - durch einstell- bzw. programmierbare Seiten(rahmen)größen

- je feinkörniger die Speicherzuteilung, desto größer die Bitkarte

## Freispeicher(bit)karte

Erfassung freien Speichers fester Größe

Fragmenten des Arbeitsspeichers ist (mind.) ein **Zustand** zugeordnet, der durch einen Bitwert repräsentiert wird: 0  $\mapsto$  **belegt**, 1  $\mapsto$  **frei**

- Suche, Belegung und Freigabe  $\leadsto$  Operationen zur Bitverarbeitung

Anforderungen von  $K$  Bytes zu erfüllen bedeutet,  $M$  Zuteilungseinheiten in der Bitkarte zu suchen, deren Zustand „frei“ anzeigt:

$$M = \frac{K + \text{sizeof}(\text{unit}) - 1}{\text{sizeof}(\text{unit})}$$

- mit *unit* definiert als  $\text{char}[N]$ , d.h. allgemein ein Bytefeld darstellend
  - $N = 1$  im Falle segmentierter Adressräume
  - $N = \text{sizeof}(\text{page})$  im Falle seitennummerierter Adressräume

- **Abfall**  $M * \text{sizeof}(\text{unit}) - K$  ist nur möglich für  $\text{sizeof}(\text{unit}) > 1$

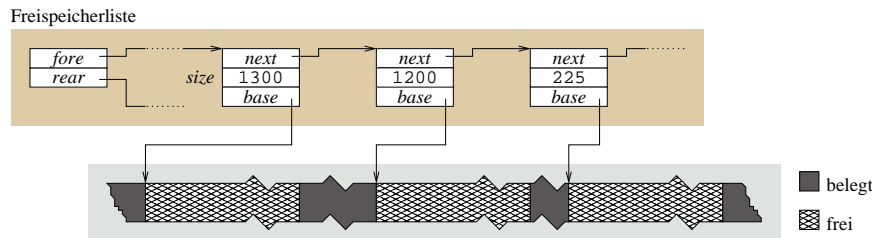
## Freispeicherliste

Erfassung freien Speichers variabler Größe

**Löcherliste** (engl. *hole list*) führt Buch über freie Speicherbereiche

- ein Listenelement hält **Anfangsadresse** und **Länge** eines Bereichs
  - d.h., es erfasst genau ein freies Fragment
- für die Liste ergeben sich **zwei grundlegende Repräsentationen**:
  - 1 Liste und Löcher sind („adressräumlich“) **voneinander getrennt**
    - verteilt über logischen/virtuellen (BS) und physikalischen Adressraum
    - die Listenelemente sind Löcherdeskriptoren, sie belegen Betriebsmittel
    - Löcher haben eine beliebige Größe  $N$ ,  $N > 0$
  - 2 Liste und Löcher sind („adressräumlich“) **miteinander vereint**
    - sie liegen gemeinsam im physikalischen Adressraum
    - die Listenelemente sind die Löcher, sie belegen keine Betriebsmittel
    - Löcher haben eine Mindestgröße  $N$ ,  $N \geq \text{sizeof}(\text{list element})$
- **strategische Überlegungen** bestimmen die Art der Listenverwaltung

## Freispeicherliste: Listenelemente als Löcherdeskriptoren



- die Liste und der Listenkopf liegen im Betriebssystemadressraum
  - *fore*, *rear* und *next* sind logische/virtuelle Adressen
  - *size* ist die Größe des Lochs, Vielfaches von *sizeof(unit)*
  - *base* ist die physikalische Adresse des freien Fragments

(S. 6)

- Listenmanipulationen erfolgen innerhalb eines log./virt. Adressraums

## Löcher der Größe nach sortieren

*best-fit* verwaltet Löcher nach aufsteigenden Größen

- Ziel ist es, den **Verschnitt** zu **minimieren**
  - d.h., das kleinste passende Loch zu suchen
- erzeugt kl. Löcher am Anfang, erhält gr. Löcher am Ende
  - hinterlässt eher kleine Löcher, bei steigendem Suchaufwand

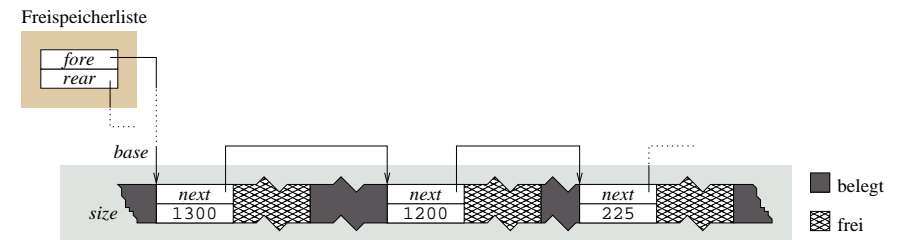
*worst-fit* verwaltet Löcher nach absteigenden Größen

- Ziel ist es, den **Suchaufwand** zu **minimieren**
  - ist das erste Loch zu klein, sind es alle anderen auch
- zerstört gr. Löcher am Anfang, macht kl. Löcher am Ende
  - hinterlässt eher große Löcher, bei konstantem Suchaufwand

Ist die angeforderte Größe kleiner als das gefundene Loch, fällt Verschnitt an, der als verbleibendes Loch in die Liste neu einsortiert werden muss:

- d.h., die **Freispeicherliste ist ggf. zweimal zu durchlaufen**

## Freispeicherliste: Listenelemente als Löcher



- nur der Listenkopf liegt im Betriebssystemadressraum
  - *fore*, *rear*, *next* und *base* sind physikalische Adressen
  - *size* ist die Größe des Lochs, Vielfaches von *sizeof(unit)*

(S. 6)

- Listenmanipulationen müssen ggf. Adressraumgrenzen überschreiten
  - die Listenoperationen laufen im Betriebssystemadressraum ab
  - der Betriebssystemadressraum ist ein logischer/virtueller Adressraum
  - die Liste ist im physikalischen Adressraum: **Adressraumumschaltung**

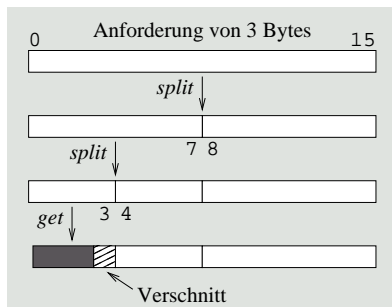
## Löcher der Größe nach sortieren: Größe = 2er-Potenz

*buddy* (Kamerad, Kumpel) verwaltet Löcher nach aufsteigenden Größen

- das kleinste passende Loch *buddy<sub>i</sub>* der Größe  $2^i$  suchen
  - $i$ , Index in eine Tabelle von Adressen auf Löcher der Größe  $2^i$
- *buddy<sub>i</sub>* entsteht durch sukzessive Splittung von *buddy<sub>j, j > i</sub>*:
  - $2^n = 2 \times 2^{n-1}$
  - zwei gleichgroße Blöcke, die *Buddy* des jeweils anderen sind
- der ggf. anfallende Verschnitt kann beträchtlich sein
  - schlimmstenfalls  $2^i - 1$  bei  $2^i + 1$  angeforderten Einheiten
- ein Kompromiss zwischen *best-fit* und *worst-fit*
  - vergleichsweise geringer Such- und Aufsplittungsaufwand
  - passt gut zum Laufzeitsystem, das in 2er-Potenzen anfordert

- jeder Rest ist als Summe freier *Buddies* darstellbar, wie auch jede Dezimalzahl als Summe von 2er-Potenzen

## Löcher der Größe nach sortieren: *Buddy*-Verfahren



- 1 Block  $2^4$  teilen:  $3 < 2^4/2$
- 2 Block  $2^3$  teilen:  $3 < 2^3/2$
- 3 Block  $2^2$  vergeben:  $3 \geq 2^2/2$ 
  - Verschneid von  $2^2 - 3 = 1$  Byte

Ob der Verschneid als interne Fragmentierung zu verbuchen ist, hängt von der MMU ab.

**Verschmelzung** bei Speicherfreigabe wird zum „Kinderspiel“...

- zwei freie Blöcke lassen sich verschmelzen, wenn sie *Buddies* sind
  - die Adressen von *buddies* unterscheiden sich nur in einer Bitposition
- zwei Blöcke der Größe  $2^i$  sind genau dann *Buddies*, wenn sich ihre Adressen in Bitposition  $i$  unterscheiden

## Gliederung

- 1 Überblick
- 2 Platzierungsstrategie
  - Freispeicherorganisation
  - Verfahrensweisen
- 3 Speicherverschnitt
  - Fragmentierung
  - Verschmelzung
  - Kompaktifizierung
- 4 Zusammenfassung

## Löcher der Adresse nach sortieren

*first-fit* verwaltet Löcher nach aufsteigenden Adressen

- Ziel ist es, den **Verwaltungsaufwand** zu **minimieren**
  - invariante Adressen sind das Sortierkriterium
  - die Liste ist bei anfallendem Rest nicht umzusortieren
- erzeugt kl. Löcher vorne, erhält gr. Löcher am Ende
  - hinterlässt eher kl. Löcher bei steigendem Suchaufwand

*next-fit* reihum (engl. *round-robin*) Variante von *first-fit*

- Ziel ist es, den **Suchaufwand** zu **minimieren**
  - Suche beginnt immer beim zuletzt zugeteiltem Loch
- nähert sich einer Verteilung „gleichgroßer Löcher“
  - als Folge nimmt der Suchaufwand ab

Ist die angeforderte Größe kleiner als das gefundene Loch, fällt Verschneid an, der jedoch nicht als Restloch in die Liste einsortiert werden muss:

- d.h., die **Freispeicherliste ist nur einmal zu durchlaufen**

## Verschneid durch zuviel zugeteilte/nicht nutzbare Bereiche

Abfall eines zugeteilten Bereichs oder Hohlräume im Arbeitsspeicher

### (lat.) Bruchstückbildung

- Zerstückelung des Speichers in immer kleinere, verstreut vorliegende Bruchstücke

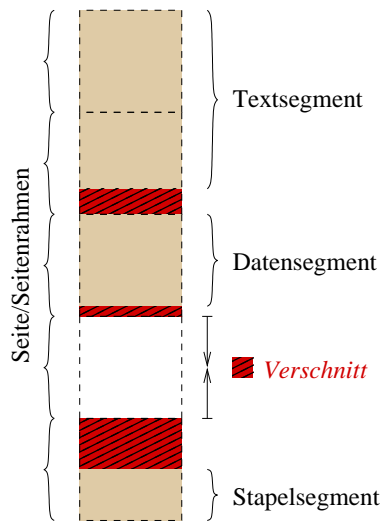
*intern* bei seitennummerierten Adressräumen  $\leadsto$  **Verschwendung**

- Speicher wird in Einheiten gleicher, fester Größe vergeben
  - eine angeforderte Größe muss kein Seitenvielfaches sein
  - am Seiten(rahmen)ende kann ein Bruchstück entstehen
- der „lokale Verschneid“ ist nutzbar, dürfte aber nicht sein

*extern* bei segmentierten Adressräumen  $\leadsto$  **Verlust**

- Speicher wird in Einheiten variabler Größe vergeben
  - eine linear zusammenhängende Bytefolge passender Länge
  - anhaltender Betrieb produziert viele kleine Bruchstücke
- der „globale Verschneid“ ist ggf. nicht mehr zuteilbar
- **Verschmelzung** und **Kompaktifizierung** schaffen Abhilfe

## Interne Fragmentierung



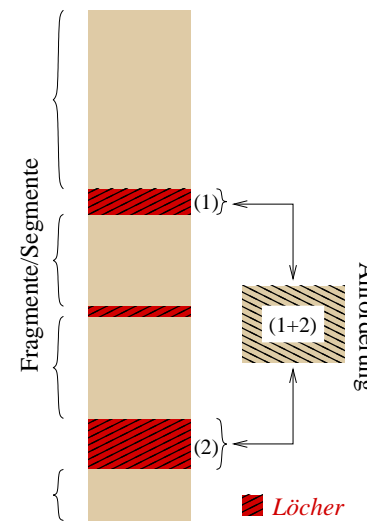
### Seitennumerierter Adressraum

- abzubildende Programmsegmente sind Vielfaches von Bytes
- der (log./virt.) Prozessadressraum ist aber ein Vielfaches von Seiten
- die jew. letzte Seite der Segmente ist ggf. nicht komplett belegt

### Seitenlokaler Verschnitt

- wird vom Programm *logisch* nicht beansprucht
- ist vom Prozess *physisch* jedoch adressierbar
- da eine seitennummerierte MMU Seiten schützt, keine Segmente

## Externe Fragmentierung



### Segmentierter Adressraum

- die zu platzierenden Fragmente sind Vielfaches von Bytes
- sie werden 1:1 auf Segmente einer MMU abgebildet
- die jew. eine lineare Bytefolge im phys. Adressraum bedingen

### Globaler Verschnitt

- die Summe von Löchern ist groß genug für die Speicheranforderung
- die Löcher liegen aber verstreut im phys. Adressraum vor und
- jedes einzelne Loch ist zu klein für die Speicheranforderung

## Vereinigung eines Lochs mit angrenzenden Löchern

**Verschmelzung** von Löchern erzeugt ein großes Loch, die Maßnahme...

- beschleunigt Speicherzuteilung, **verringert externe Fragmentierung**
- erfolgt bei Speicherfreigabe oder scheiternder Speichervergabe

**Löchervereinigung** sieht sich mit vier Situationen konfrontiert, je nach dem, welche relative Lage ein Loch im Arbeitsspeicher hat:

- |                                  |                              |
|----------------------------------|------------------------------|
| ① zw. zwei zugeteilten Bereichen | • keine Vereinigung möglich  |
| ② direkt nach einem Loch         | • Vereinigung mit Vorgänger  |
| ③ direkt vor einem Loch          | • Vereinigung mit Nachfolger |
| ④ zwischen zwei Löchern          | • Kombination von 2. und 3.  |

- der Aufwand variiert z.T. sehr stark mit dem Zuteilungsverfahren

## Bezug zum Zuteilungsverfahren

Aufwand ist klein bei *buddy*, mittel bei *first/next-fit*, groß bei *best/worst-fit*

**buddy** anhand eines Bits der Adresse des zu verschmelzenden Lochs lässt sich leicht feststellen, ob sein *Buddy* bereits als Loch in der Tabelle verzeichnet ist

**first/next-fit** beim Durchlaufen der Freispeicherliste (bei Freigabe) wird jeder Eintrag daraufhin überprüft, ob...

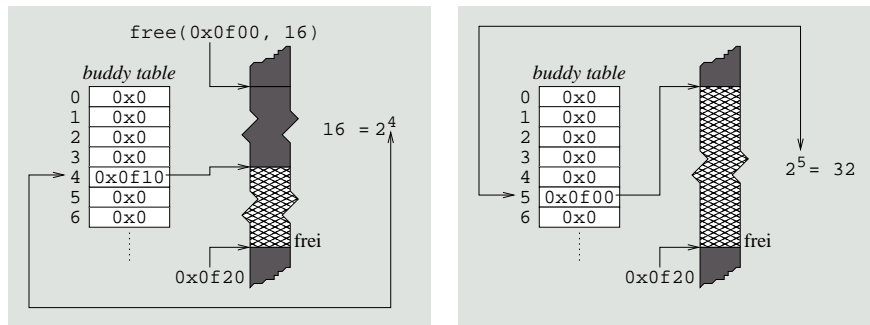
- Adresse plus Größe eines Eintrags gleich der Adresse des zu verschmelzenden Lochs ist (S. 19, 2.)
- Adresse plus Größe eines zu verschmelzenden Lochs der Adresse eines Eintrags entspricht (S. 19, 3.)

**best/worst-fit** ähnlich wie bei *first/next-fit*, jedoch kann im Gegensatz dazu nicht davon ausgegangen werden, dass bei einem angrenzenden Loch das Vorgänger-/Nachfolgerelement in der Liste das ggf. andere angrenzende Loch sein muss

- es muss weitergesucht werden

## Vereinigung von Löchern: *Buddy*-Verfahren

Zwei Blöcke  $2^i$  sind *Buddies*, wenn sich ihre Adressen in Bitposition  $i$  unterscheiden



0f00<sub>16</sub> = 0000 1111 0000 0000<sub>2</sub>  
 0f10<sub>16</sub> = 0000 1111 0001 0000<sub>2</sub>  
 16<sub>10</sub> = 0000 0000 0001 0000<sub>2</sub>

0f00<sub>16</sub> = 0000 1111 0000 0000<sub>2</sub>  
 0f20<sub>16</sub> = 0000 1111 0010 0000<sub>2</sub>  
 32<sub>10</sub> = 0000 0000 0010 0000<sub>2</sub>

## Auflösung externer Fragmentierung

Vereinigung des globalen Verschnitts

Segmente von (Bytes oder Seitenrahmen) werden so verschoben, dass am Ende ein einziges großes Loch vorhanden ist

- alle in der Freispeicherliste erfassten Löcher werden sukzessive verschmolzen, so dass schließlich nur noch ein Loch übrigbleibt
- durch **Umlagerung** (engl. *swapping*) kompletter Segmente bzw. Adressräume wird der Kopiervorgang „erleichtert“

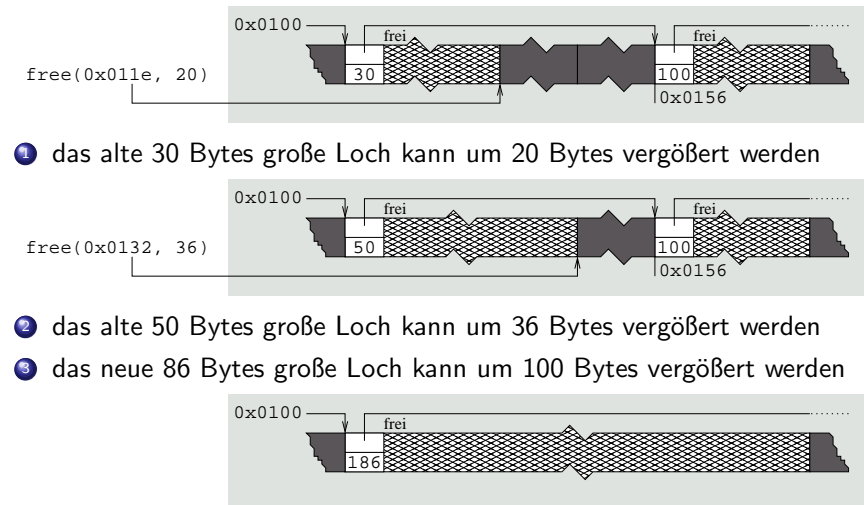
**Relokation** der verschobenen Segmente/Seiten(rahmen) ist erforderlich

- das Betriebssystem implementiert logische/virtuelle Adressräume oder
- der Übersetzer generiert positionsunabhängigen Programmtext

- je nach Fragmentierungsgrad ein komplexes **Optimierungsproblem**

## Vereinigung von Löchern: *first/next-fit*-Verfahren

Freizugebender Block ist Nachfolger und/oder Vorgänger



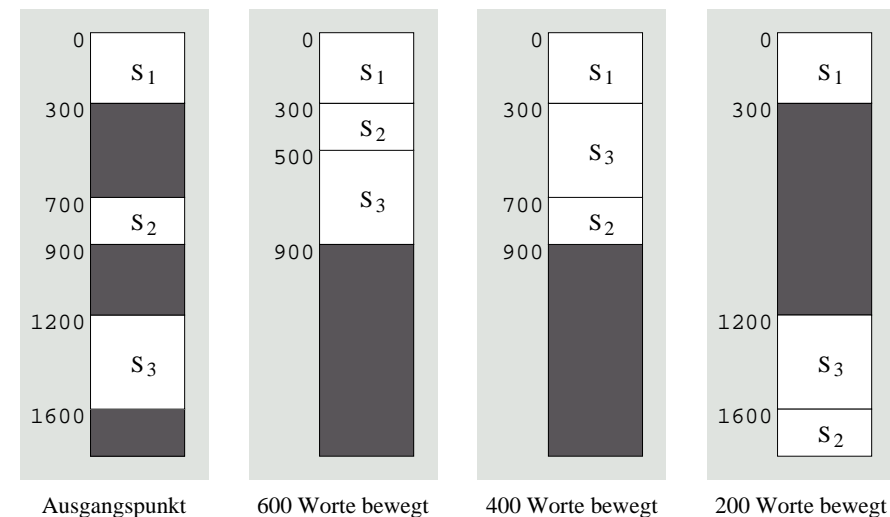
- das alte 30 Bytes große Loch kann um 20 Bytes vergrößert werden

- das alte 50 Bytes große Loch kann um 36 Bytes vergrößert werden

- das neue 86 Bytes große Loch kann um 100 Bytes vergrößert werden

## Auflösung externer Fragmentierung: Optionen

Loslegen und Aufwand riskieren oder vorher nachdenken und Aufwand einsparen...



# Gliederung

## 1 Überblick

## 2 Platzierungsstrategie

- Freispeicherorganisation
- Verfahrensweisen

## 3 Speicherverschnitt

- Fragmentierung
- Verschmelzung
- Kompaktifizierung

## 4 Zusammenfassung

# Resümee

- Zuteilung von Arbeitsspeicher ist Aufgabe der **Platzierungsstrategie**
  - die Erfassung freier Bereiche hängt u.a. ab vom Adressraummodell
    - (a) Seiten bzw. Seitenrahmen  $\leadsto$  Bitkarte oder Löcherliste
    - (b) Segmente  $\leadsto$  Löcherliste
  - Folge davon ist **interne (a)** oder **externe (b) Fragmentierung**
    - Speicherverschnitt durch zuviel zuteilte bzw. nicht nutzbare Bereiche
- die **Zuteilungsverfahren** verwalten Löcher nach Größe oder Adresse
  - nach abnehmender Größe *worst-fit*
  - nach ansteigender  $\left\{ \begin{array}{ll} \text{Größe} & \text{best-fit, buddy} \\ \text{Adresse} & \text{first-fit, next-fit} \end{array} \right.$
- angefallener **Speicherverschnitt** ist zu reduzieren oder aufzulösen
  - (a) Verschmelzung von Löchern verringert externe Fragmentierung
    - beschleunigt die Speicherzuteilungsverfahren und
    - lässt die Speicherzuteilung im Mittel häufiger gelingen
  - (b) Kompaktifizierung der Löcher löst externe Fragmentierung auf
    - hinterlässt (im Idealfall) ein großes Loch
    - erfordert aber positionsunabhängige Programme oder log. Adressräume