

Einfache Datenstrukturen

Manfred Hauswirth | Open Distributed Systems | Einführung in die Programmierung, WS 23/24

Rückblick

- VL 0 „Organisation und Inhalt“: Ablauf der Vorlesung, Termine
- VL 1 „Algorithmen, Pseudocode, Sortieren I“: Insertion Sort
- VL 2 „Algorithmen, Pseudocode, Sortieren II“: Selection Sort, Bubble Sort, Count Sort
- VL 3 „Laufzeit und Speicherplatz“: Laufzeitanalyse der vorgestellten Sortiervverfahren
- VL 4 „Einfache Datenstrukturen“: Arrays, verkettete Listen, Structs in C, Stack, Queue**
- VL 5 „Bäume“: Binärbäume, Baumtraversierung, Laufzeitanalyse Baumoperationen
- VL 6 „Dateien in C“: Dateien, Dateisysteme, Verzeichnisse, Dateiverwaltung mit C
- VL 7 „Teile und Herrsche I“: Einführung der algorithmischen Methode, Merge Sort
- VL 8 „Korrektheitsbeweise“: Rechnermodel, Beispielbeweise
- VL 9 „Prioritätenschlangen/Halden/Heaps“: Heap Sort, Binärer Heap, Heap Operationen
- VL 10 „Fortgeschrittene Sortiervverfahren“: Quick Sort, Radix Sort
- VL 11 „AVL Bäume“: Definition, Baumoperationen, Traversierung
- VL 12 „Teile und Herrsche II“: Generalisierung des algorithmischen Prinzips, Mastertheorem
- VL 13 „Q & A“: Offene Vorlesung/Wiederholung

Einfache Datenstrukturen

- Arrays
 - Verkettete Listen
 - Doppeltverkettete Listen
 - Stack (Stapel/Kellerspeicher)
 - Queue (Warteschlangen)
-
- Warum? Grundlagen für alle weiteren Algorithmen!

Arrays

Arrays

- Arrays: Speicherung größerer Mengen oder Folgen gleichartiger Elemente.
 - Größe wird bei der Initialisierung festgelegt.
 - Zugriff auf Elemente durch Index, z.B. `a[0]`.



length

Problem: Unbekannte Anzahl an Elementen

- **Probleme:**
 - Die Anzahl der Elemente ist oft vorher nicht bekannt
 - Die Anzahl ändert sich während des Programmdurchlaufs
 - ...
- **Folgerung:**
 - Brauchen dynamischere Möglichkeit der Speicherverwaltung
- **Möglichkeiten:**
 - Ad hoc mittels malloc / realloc
 - Oder mittels **dynamischer Datenstrukturen**

Dynamische Datenstrukturen

Dynamische Datenstrukturen

- Beispiele für dynamische Datenstrukturen:
 - Liste
 - Baum
 - Graph
 - ...
- Eigenschaften
 - Erweiterbar
 - Schnelles Einfügen
 - Löschen möglich

Wie dynamisch sind Arrays?

- Arrays: Speicherung größerer Mengen oder Folgen gleichartiger Elemente.
 - Größe wird bei der Initialisierung festgelegt.
 - Zugriff auf Elemente durch Index, z.B. `a[0]`.
- Allerdings:
 - Löschen: Lücken im Array.
 - Einfügen: i. A. neues Array und Daten müssen kopiert werden.

Arrays

- Arrays: Speicherung größerer Mengen oder Folgen gleichartiger Elemente.
 - Größe wird bei der Initialisierung festgelegt.
 - Zugriff auf Elemente durch Index, z.B. `a[0]`.
- Allerdings:
 - **Löschen: Lücken im Array.**
 - Einfügen: i. A. neues Array und Daten müssen kopiert werden.



length

Arrays

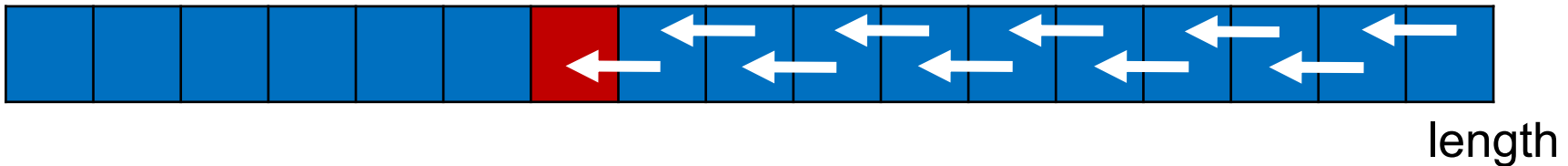
- Arrays: Speicherung größerer Mengen oder Folgen gleichartiger Elemente.
 - Größe wird bei der Initialisierung festgelegt.
 - Zugriff auf Elemente durch Index, z.B. `a[0]`.
- Allerdings:
 - **Löschen: Lücken im Array.**
 - Einfügen: i. A. neues Array und Daten müssen kopiert werden.



length

Arrays

- Arrays: Speicherung größerer Mengen oder Folgen gleichartiger Elemente.
 - Größe wird bei der Initialisierung festgelegt.
 - Zugriff auf Elemente durch Index, z.B. `a[0]`.
- Allerdings:
 - Löschen: Lücken im Array.
 - Einfügen: i. A. neues Array und Daten müssen kopiert werden.



Arrays

- Arrays: Speicherung größerer Mengen oder Folgen gleichartiger Elemente.
 - Größe wird bei der Initialisierung festgelegt.
 - Zugriff auf Elemente durch Index, z.B. `a[0]`.
- Allerdings:
 - **Löschen: Lücken im Array.**
 - Einfügen: i. A. neues Array und Daten müssen kopiert werden.



length

Dynamic Array

- Dynamic Array: Erweiterung des klassischen Arrays für effizientes Löschen / Einfügen am Ende.

Dynamic Array

- Dynamic Array: Erweiterung des klassischen Arrays für effizientes Löschen / Einfügen am Ende.
 - Unterscheidung zwischen capacity und length:
 - capacity: Größe im Speicher.

capacity

Dynamic Array

- Dynamic Array: Erweiterung des klassischen Arrays für effizientes Löschen / Einfügen am Ende.
 - Unterscheidung zwischen capacity und length:
 - capacity: Größe im Speicher.



capacity

Dynamic Array

- Dynamic Array: Erweiterung des klassischen Arrays für effizientes Löschen / Einfügen am Ende.
 - Unterscheidung zwischen capacity und length:
 - capacity: Größe im Speicher.
 - length: Anzahl der tatsächlich verwendeten Elemente.



Dynamic Array

- Dynamic Array: Erweiterung des klassischen Arrays für effizientes Löschen / Einfügen am Ende.
 - Vorteile des klassischen Arrays bleiben erhalten.
 - Einfügen und Löschen am Ende sind $\approx O(1)$.



Dynamic Array

- Dynamic Array: Erweiterung des klassischen Arrays für effizientes Löschen / Einfügen am Ende.
 - Vorteile des klassischen Arrays bleiben erhalten.
 - Einfügen und Löschen am Ende sind $\approx O(1)$.
 - ABER: Einfügen und Löschen an einer beliebigen Stelle immer noch teuer.



Einfache Datenstrukturen

- Arrays
 - Verkettete Listen
 - Doppeltverkettete Listen
 - Stack (Stapel/Kellerspeicher)
 - Queue (Warteschlangen)
-
- Warum? Grundlagen für viele weitere Algorithmen!

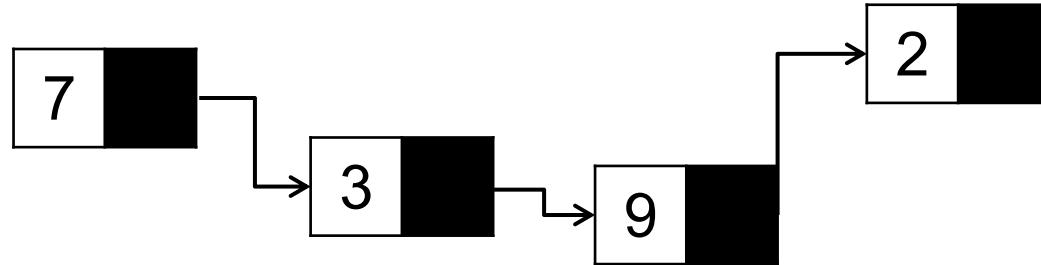
Verkettete Listen

Verkettete Liste

- Verkettete Liste:
 - Elemente bestehen aus Inhalt und Nachfolger.
 - Jedes Element “verweist” auf seinen Nachfolger.

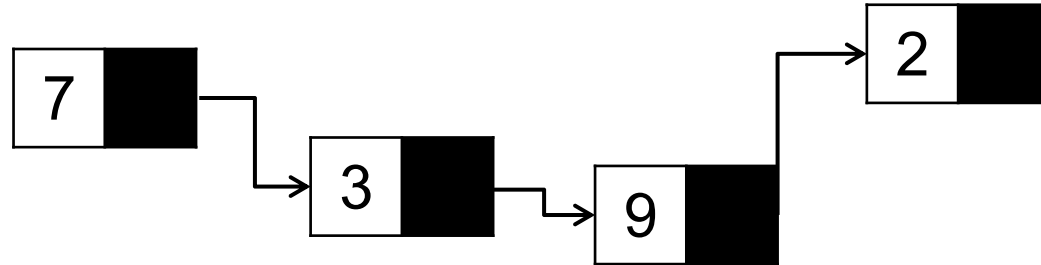
Verkettete Liste

- Verkettete Liste:
 - Elemente bestehen aus Inhalt und Nachfolger.
 - Jedes Element “verweist” auf seinen Nachfolger.



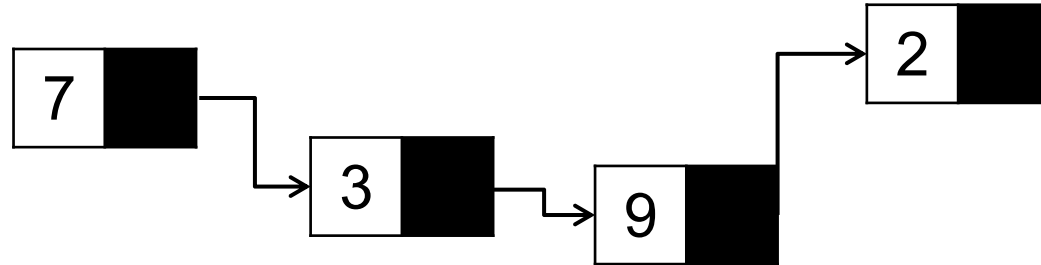
Verkettete Liste

- Verkettete Liste:
 - Jedes Element “verweist” auf seinen Nachfolger.



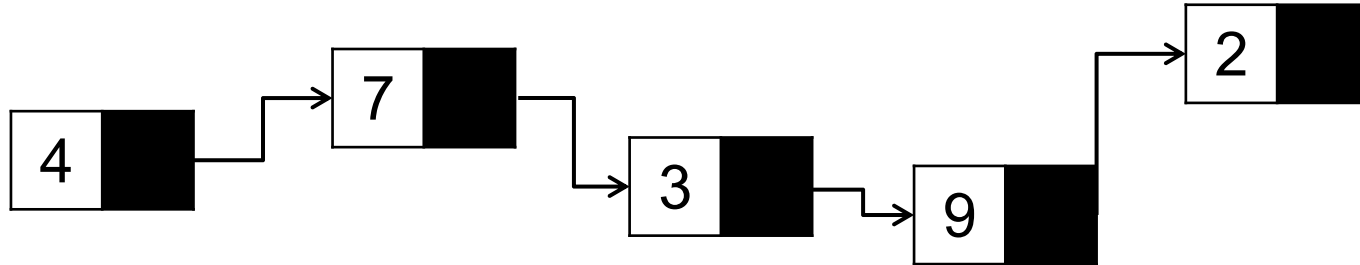
Verkettete Liste

- Verkettete Liste:
 - Jedes Element “verweist” auf seinen Nachfolger.
 - Elemente können **an beliebiger Stelle eingefügt** werden.



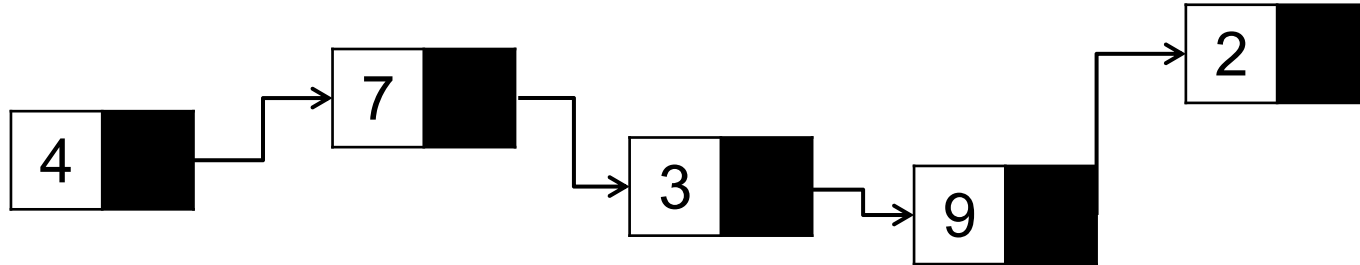
Verkettete Liste

- Verkettete Liste:
 - Jedes Element “verweist” auf seinen Nachfolger.
 - Elemente können **an beliebiger Stelle eingefügt** werden.



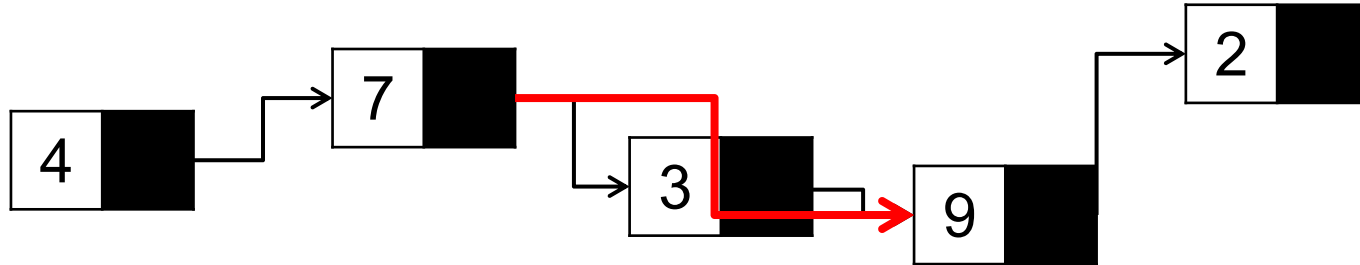
Verkettete Liste

- Verkettete Liste:
 - Jedes Element “verweist” auf seinen Nachfolger.
 - Elemente können an beliebiger Stelle eingefügt **und gelöscht** werden.



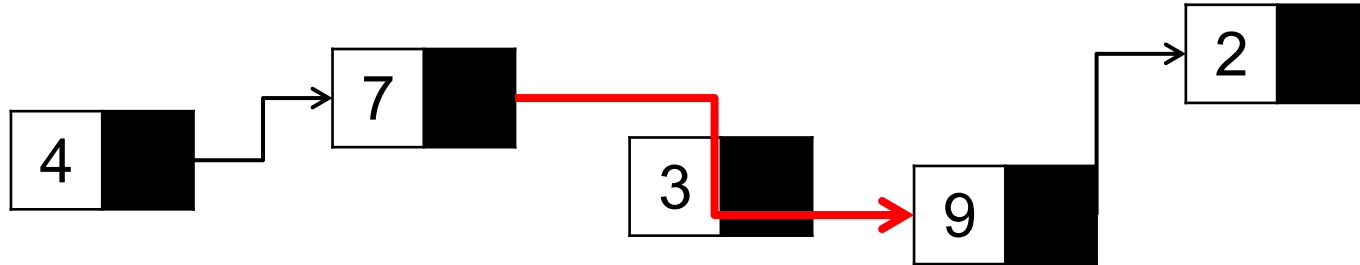
Verkettete Liste

- Verkettete Liste:
 - Jedes Element “verweist” auf seinen Nachfolger.
 - Elemente können an beliebiger Stelle eingefügt und gelöscht werden.



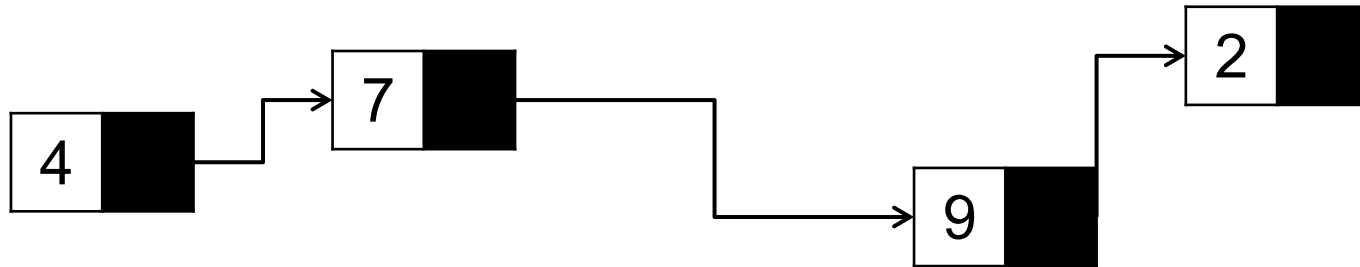
Verkettete Liste

- Verkettete Liste:
 - Jedes Element “verweist” auf seinen Nachfolger.
 - Elemente können an beliebiger Stelle eingefügt und gelöscht werden.



Verkettete Liste

- Verkettete Liste:
 - Jedes Element “verweist” auf seinen Nachfolger.
 - Elemente können an beliebiger Stelle eingefügt und gelöscht werden.



- Dabei wird „nur“ der Verweis auf den Nachfolger umgesetzt.
- Und der Speicher des gelöschten Elements freigegeben.

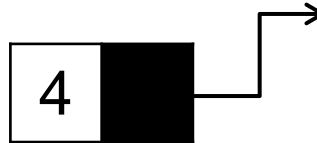
Verkettete Liste: Implementierung

Verkettete Liste: Implementierung

- Die Implementierung von verketteten Listen benötigt:
 - **Elemente** bestehend aus
 - Inhalt
 - Verweis auf Nachfolger
 - Und die **Logik** zum
 - Einfügen
 - Durchlaufen und Ausgeben
 - Löschen

Verkettete Liste Elemente

- Listenelemente sind ein **zusammengesetzter Datentyp**
 - Datenwert
 - Verweis auf das nächste Element
 - ...



Exkurs: Zusammengesetzte Datentypen (Records) in C

Zusammengesetzte Datentypen

- Zusammenfassung von zusammengehörigen Daten in eigenen Datentyp durch **struct**

Zusammengesetzte Datentypen

- Zusammenfassung von zusammengehörigen Daten in eigenen Datentyp durch **struct**
- Beispiel Produkte mit Namen und Preis:

```
struct produkt {                // Definition
    char name[255];
    float preis;
};
struct produkt beispiel;       // Deklaration
```

Zusammengesetzte Datentypen

- Zusammenfassung von zusammengehörigen Daten in eigenen Datentyp durch **struct**
- Beispiel Produkte mit Namen und Preis:

```
struct produkt {                // Definition
    char name[255];
    float preis;
};
struct produkt beispiel;       // Deklaration
```

- Zugriff durch Selektor **.** (Punkt)

```
beispiel.preis = 0.79;
strncpy(beispiel.name, "Apfel", 255);
printf("Ware %s mit Preis %f\n",
    beispiel.name, beispiel.preis);
```

Zusammengesetzte Datentypen

- Zusammenfassung von zusammengehörigen Daten in eigenen Datentyp durch **struct**
- Beispiel Produkte mit Namen und Preis:

```
struct produkt {  
    char name[255];  
    float preis;  
};  
struct produkt beispiel;  
// Array vom Typ struct produkt  
struct produkt warenkorb[100];
```

- D.h. Structs sind ganz normale Datentypen bei denen wir Arrays, Pointer, Adressen, etc. haben.

Zusammengesetzte Datentypen

- Zusammenfassung von zusammengehörigen Daten in eigenen Datentyp durch **struct**
- Beispiel Produkte mit Namen und Preis:

```
struct produkt {  
    char name[255];  
    float preis;  
};  
struct produkt beispiel;  
// Array vom Typ struct produkt  
struct produkt warenkorb[100];  
// Pointer = Adresse  
struct produkt *ware = warenkorb;
```

- D.h. Structs sind ganz normale Datentypen bei denen wir Arrays, Pointer, Adressen, etc. haben.

Zusammengesetzte Datentypen

- Zusammenfassung von zusammengehörigen Daten in eigenen Datentyp durch **struct**
- Beispiel Produkte mit Namen und Preis:

```
struct produkt {  
    char name[255];  
    float preis;  
};  
struct produkt beispiel;  
struct produkt warenkorb[100];  
struct produkt *ware = warenkorb;
```

- Zugriff bei Pointern durch Selektor **->** („Pfeil“)

```
printf("Produkt %s mit Preis %f\n",  
    ware->name, ware->preis);
```


Typdefinitionen

- Oft sinnvoll, eigene Typen zu definieren mittels **typedef**
- Beispiel:

```
typedef struct produkt {  
    char name[255];  
    float preis;  
} produkt_t;  
// Variablendeklaration  
produkt_t produkt1, produkt2;
```

- Warum? Bessere Lesbarkeit, bessere Dokumentation!

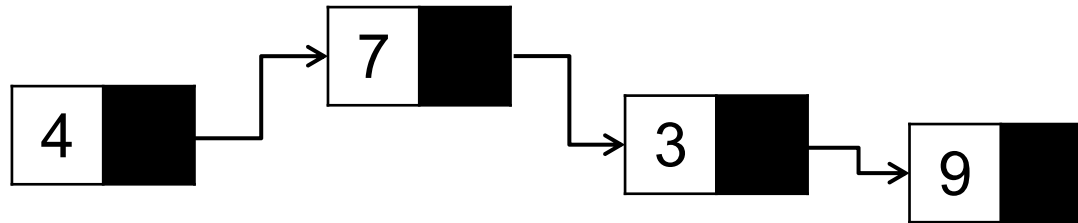
Ende Exkurs: Zusammengesetzte Datentypen (Records) Weiter mit: Implementierung verketteter Listen

Verkettete Liste

- Verkettete Liste:
 - Jedes Element “verweist” auf seinen Nachfolger.

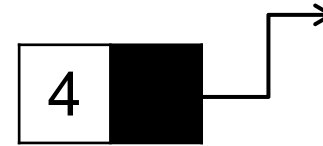
Verkettete Liste

- Verkettete Liste:
 - Jedes Element “verweist” auf seinen Nachfolger.



Verkettete Liste – Elemente

- Listenelemente sind ein **zusammengesetzter Datentyp**
 - Datenwert
 - Verweis auf das nächste Element

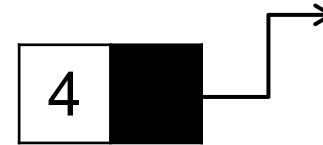


- Einfach verkettete Liste

```
/* Datentyp für einfach verkettete Liste */  
struct simple_list {  
    int value;                // Daten  
    struct simple_list *next; // Nachfolger  
};  
  
struct simple_list meine_liste; // Deklaration
```

Verkettete Liste – Elemente

- Listenelemente sind ein **zusammengesetzter Datentyp**
 - Datenwert
 - Verweis auf das nächste Element

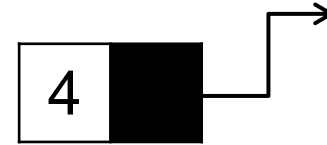


- Einfach verkettete Liste

```
/* Datentyp für einfach verkettete Liste */  
typedef struct simple_list {  
    int value;                // Daten  
    struct simple_list *next; // Nachfolger  
} slist;  
  
slist meine_liste;           // Deklaration
```

Verkettete Liste – Elemente

- Listenelemente sind ein **zusammengesetzter Datentyp**
 - Datenwert
 - Verweis auf das nächste Element

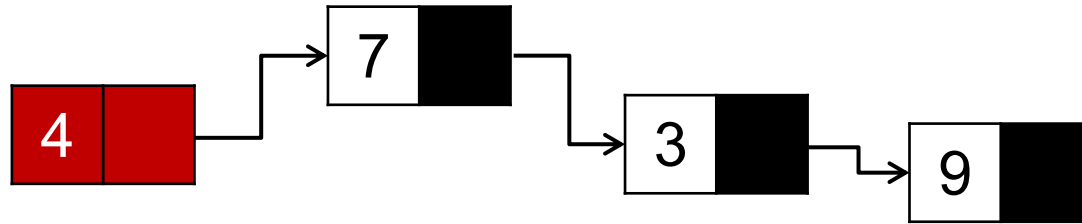


- Struct Definition oft mit Namenskonvention `_typename`

```
/* Datentyp für einfach verkettete Liste */  
typedef struct _slist {  
    int value;                // Daten  
    struct _slist *next;     // Nachfolger  
} slist;  
  
slist meine_liste;          // Deklaration
```

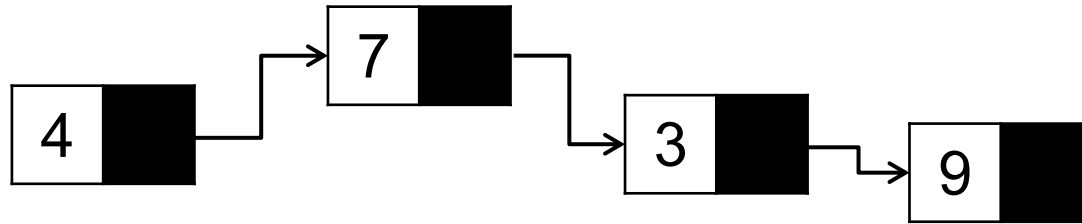
Verkettete Liste – Wurzel

- Verkettete Liste:
 - Jedes Element “verweist” auf seinen Nachfolger.
- Erstes Element wird oft „**Wurzel**“ (engl. „root“), „**Anker**“ oder „**Kopf**“ der Liste genannt



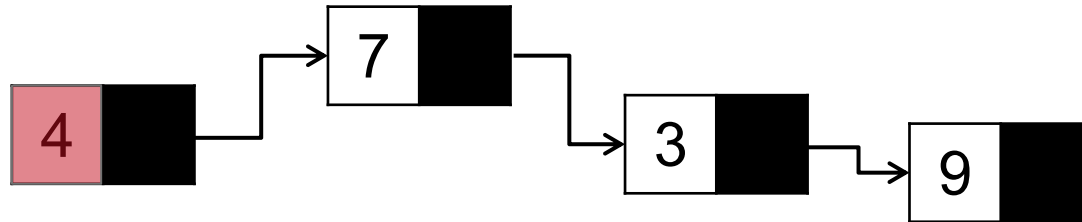
Verkettete Liste – Durchlauf

- Durchlaufen der Liste:
 - Anfang an der Wurzel
 - Solange wie ein Nachfolger existiert
 - Gib den Wert aus
 - Gehe zum Nachfolger



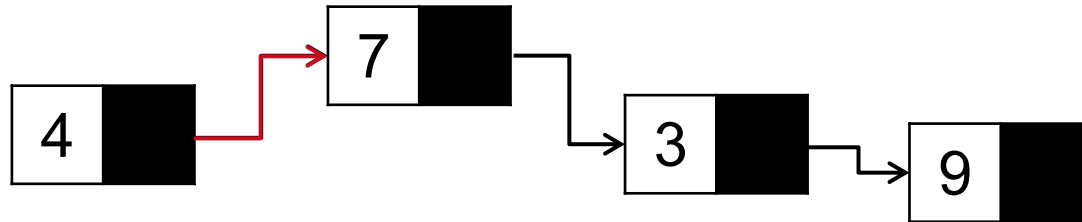
Verkettete Liste – Durchlauf

- Durchlaufen der Liste:
 - Anfang an der Wurzel
 - Solange wie ein Nachfolger existiert
 - Gib den Wert aus
 - Gehe zum Nachfolger



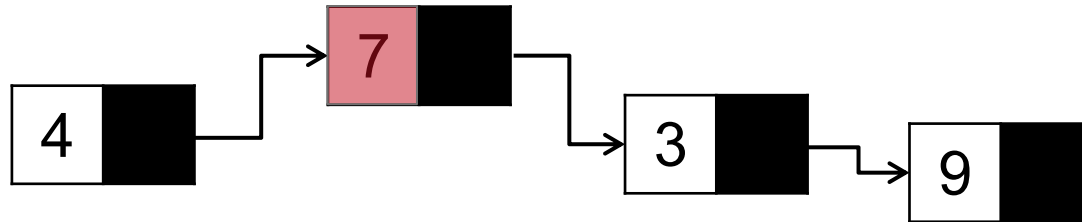
Verkettete Liste – Durchlauf

- Durchlaufen der Liste:
 - Anfang an der Wurzel
 - Solange wie ein Nachfolger existiert
 - Gib den Wert aus
 - Gehe zum Nachfolger



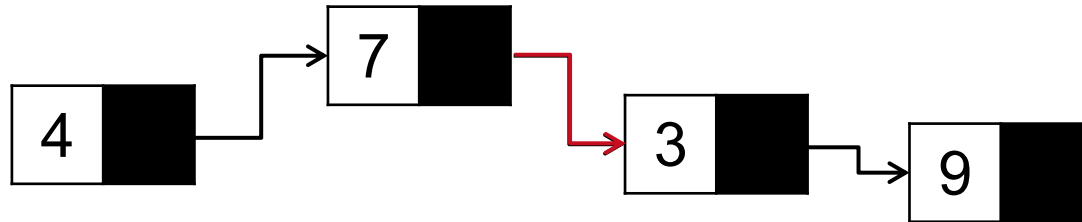
Verkettete Liste – Durchlauf

- Durchlaufen der Liste:
 - Anfang an der Wurzel
 - Solange wie ein Nachfolger existiert
 - Gib den Wert aus
 - Gehe zum Nachfolger



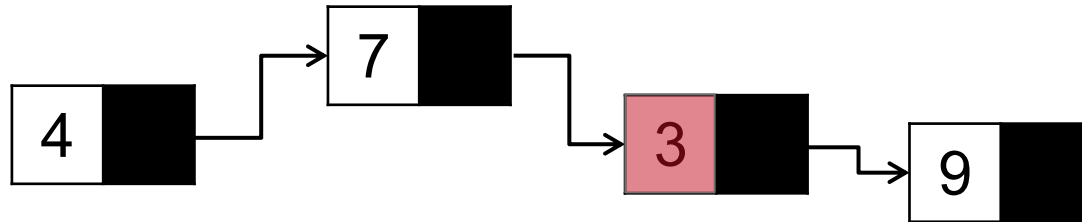
Verkettete Liste – Durchlauf

- Durchlaufen der Liste:
 - Anfang an der Wurzel
 - Solange wie ein Nachfolger existiert
 - Gib den Wert aus
 - Gehe zum Nachfolger



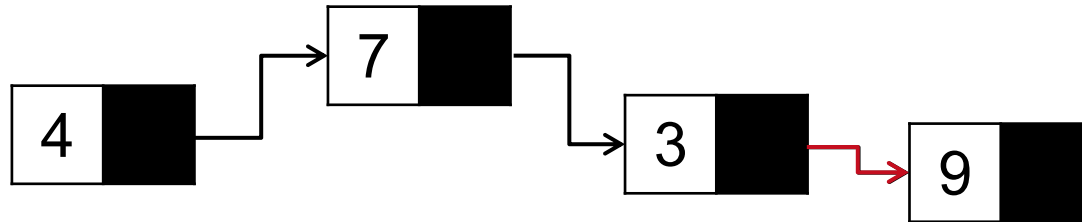
Verkettete Liste – Durchlauf

- Durchlaufen der Liste:
 - Anfang an der Wurzel
 - Solange wie ein Nachfolger existiert
 - Gib den Wert aus
 - Gehe zum Nachfolger



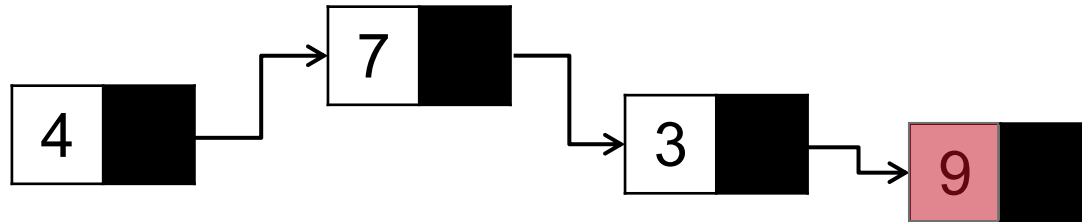
Verkettete Liste – Durchlauf

- Durchlaufen der Liste:
 - Anfang an der Wurzel
 - Solange wie ein Nachfolger existiert
 - Gib den Wert aus
 - Gehe zum Nachfolger



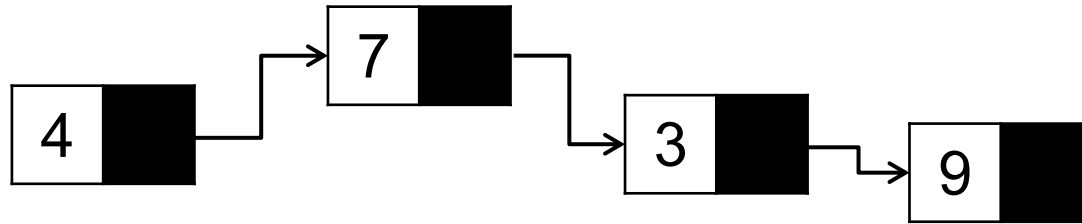
Verkettete Liste – Durchlauf

- Durchlaufen der Liste:
 - Anfang an der Wurzel
 - Solange wie ein Nachfolger existiert
 - Gib den Wert aus
 - Gehe zum Nachfolger



Verkettete Liste – Durchlauf

- Durchlaufen der Liste:
 - Anfang an der Wurzel
 - Solange wie ein Nachfolger existiert
 - Gib den Wert aus
 - Gehe zum Nachfolger



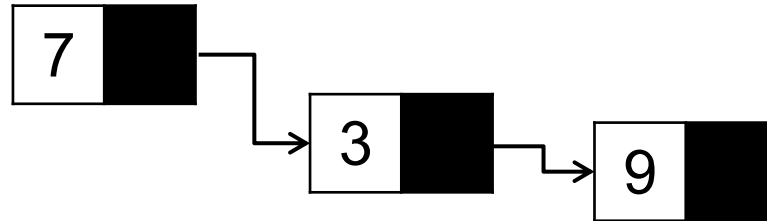
Verkettete Liste – Durchlaufen

- ```
typedef struct _slist {
 int value; // Daten
 struct _slist *next; // Nachfolger
} slist;
```
- Durchlaufen der Liste i.d.R. von der Wurzel der Liste aus  

```
slist *root, *tmp;
tmp = root; // Anfang an der Wurzel
while(tmp != NULL) { // Solange Nachfolger
 printf("%d\n", tmp->value); // Wert
 tmp = tmp->next; // Nächstes Element
}
```

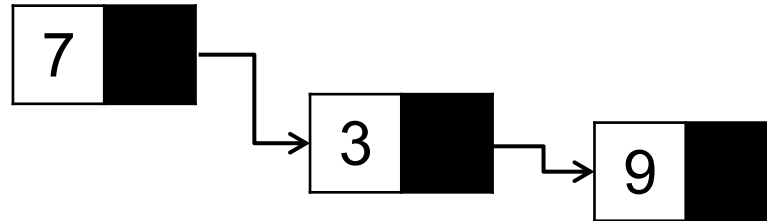
# Verkettete Liste – Einfügen

- Einfügen:



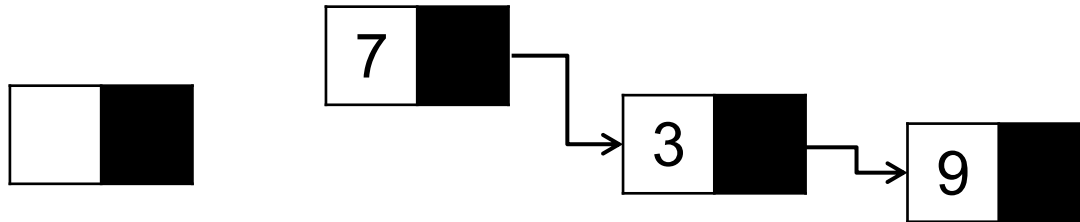
# Verkettete Liste – Einfügen

- Einfügen:
  - Neuen Knoten anlegen



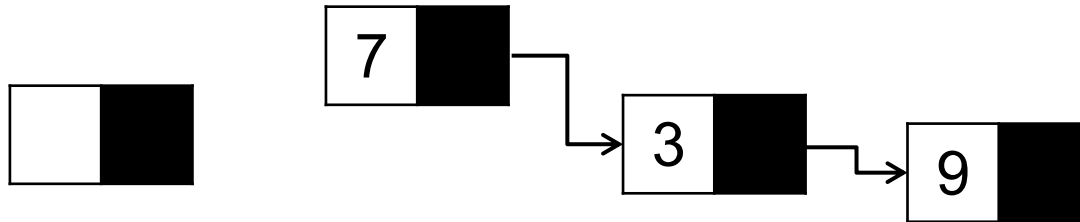
# Verkettete Liste – Einfügen

- Einfügen:
  - Neuen Knoten anlegen



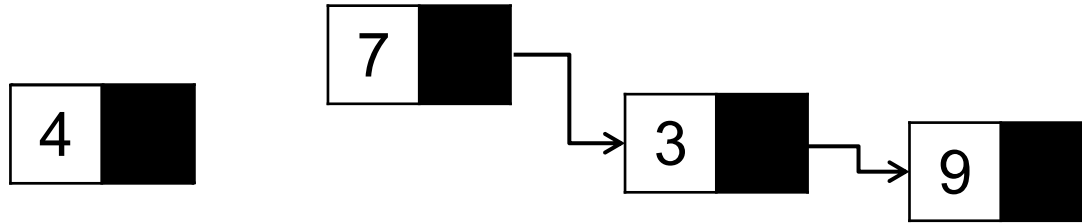
# Verkettete Liste – Einfügen

- Einfügen:
  - Neuen Knoten anlegen
  - Knoten initialisieren



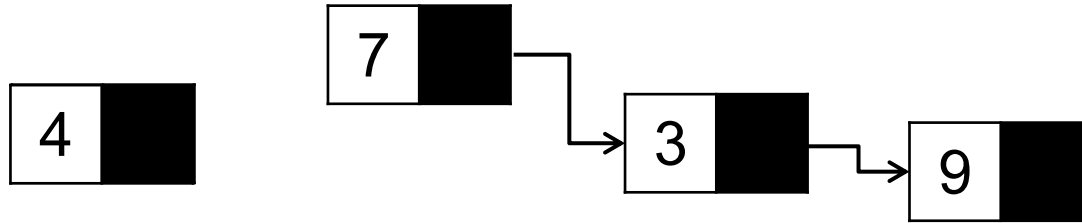
# Verkettete Liste – Einfügen

- Einfügen:
  - Neuen Knoten anlegen
  - Knoten initialisieren



# Verkettete Liste – Einfügen

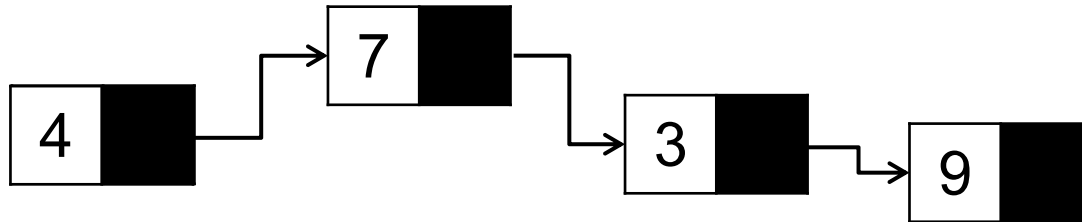
- Einfügen:
  - Neuen Knoten anlegen
  - Knoten initialisieren
  - Knoten einfügen (hier am Anfang)





# Verkettete Liste – Einfügen

- Einfügen:
  - Neuen Knoten anlegen
  - Knoten initialisieren
  - Knoten einfügen (hier am Anfang)



# Verkettete Liste – Einfügen

- Objekte vom Typ Liste werden zur Laufzeit:

- Alloziert

```
slist *insert(slist *list_pointer, int value){
 slist * new;
 new = (slist *) calloc(1, sizeof(slist));
```

- Besetzt bzw. initialisiert

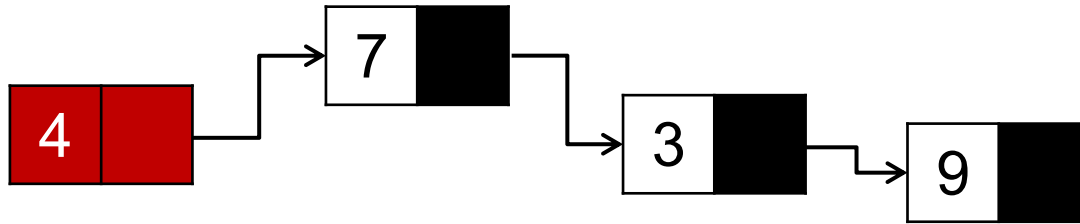
```
 new->value = value;
 new->next = NULL;
```

- Und in die Liste eingehängt

```
 if(list_pointer)
 new->next = list_pointer;
 return(new) ;
}
```

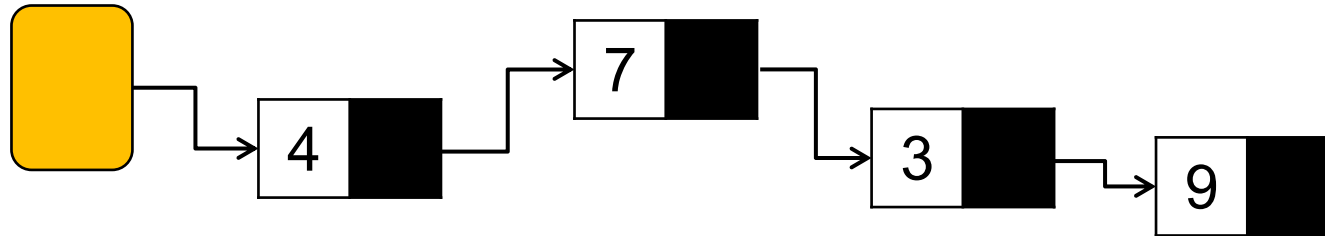
# Verkettete Liste mit extra Wurzel

- Erstes Element wird oft „Wurzel“ (engl. „root“), „Anker“ oder „Kopf“ der Liste genannt
- Allerdings braucht man häufig weitere Informationen
  - Anzahl (#) Listenelemente
  - Letztes Element der Liste



# Verkettete Liste mit Wurzel

- Erstes Element wird oft „Wurzel“ (engl. „root“), „Anker“ oder „Kopf“ der Liste genannt
- Allerdings braucht man häufig weitere Informationen
  - Anzahl (#) Listenelemente
  - Letztes Element der Liste
- Lösung
  - **Separate Wurzel** für Verwaltungsinformationen



# Verkettete Liste mit Wurzelelement

- Datentyp für das Element (nun etwas modifiziert)

```
typedef struct _list_el {
 int value; // Daten
 struct _list_el *next; // Nachfolger
} list_el;
```

- Datentyp für die Wurzel

```
typedef struct _list {
 int count; // Anzahl Listeneinträge
 list_el *first; // Erstes Element der Liste
} list;
```

- Funktion zum Initialisieren

```
list * warenliste = calloc(1, sizeof(list));
void init_list(list *list_pointer){
 list_pointer->first = NULL;
 list_pointer->count = 0;
}
init_list(warenliste);
```

# Verkettete Liste mit Wurzelement

- Datentyp für die Wurzel

```
typedef struct _list {
 int count; // Anzahl Listeneinträge
 list_el *first; // Erstes Element der Liste
} list;
```

- Funktion zum Einfügen

```
list * warenliste = calloc(1, sizeof(list));
void list_insert(list *list_pointer, int value){
 list_el * new = (list_el *) calloc(1, sizeof(list_el));
 new->value = value;
 new->next = list_pointer->first;
 list_pointer->first = new;
 list_pointer->count++;
}
list_insert(warenliste, 100);
```

# Verkettete Liste mit Wurzelement

- Datentyp für die Wurzel

```
typedef struct _list {
 int count; // Anzahl Listeneinträge
 list_el *first; // Erstes Element der Liste
} list;
```

- Funktion zum Ausgeben

```
list * warenliste = calloc(1, sizeof(list));
void list_print(list *list_pointer){
 list_el *tmp = list_pointer->first;
 while(tmp) {
 printf("cur: %d ", tmp->value);
 tmp = tmp->next;
 } printf("\n");
}
list_print(warenliste);
```

# Verkettete Liste – Operationen

- Typische Operationen
  - Initialisieren
  - Einfügen
  - Suchen entspricht Durchlaufen
  - Löschen – gleich
  - Invertieren – gleich
  - Sortieren – später
  - Konkatenieren
  - ...



# Linked List Implementierungen und Laufzeiten

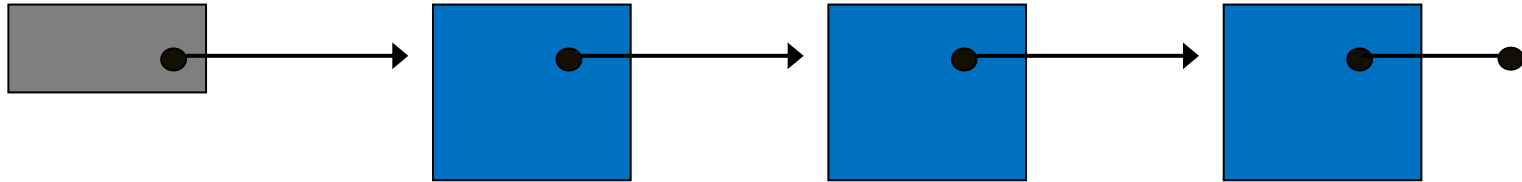
- Zahlreiche Variationsmöglichkeiten bei der Implementierung.
  - “Beste” Variante hängt vom Problem ab.

# Linked List Implementierungen und Laufzeiten

- Zahlreiche Variationsmöglichkeiten bei der Implementierung.
  - “Beste” Variante hängt vom Problem ab.
- Minimale Implementierung:
  - head (Kopfzeiger): Zeigt auf das erste Element der Liste.
  - Methoden / Funktionen:
    - Find element // Suchen
    - Insert element // Einfügen
    - Delete element // Löschen

# Wiederholung Listenoperationen: Suchen

- Suchen eines Objektes in der Liste

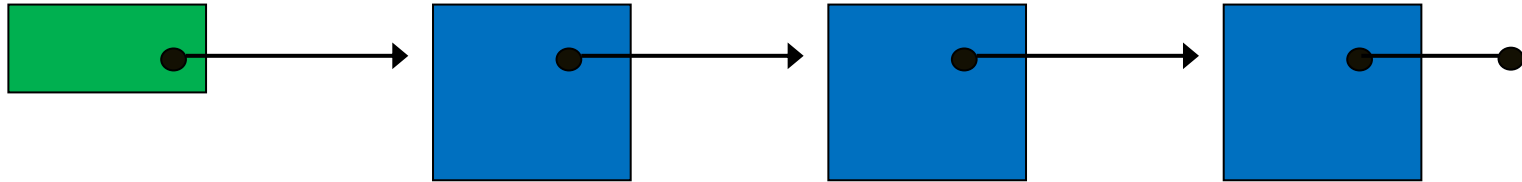


- Durchlaufen der Liste

# Wiederholung

## Listenoperationen: Suchen

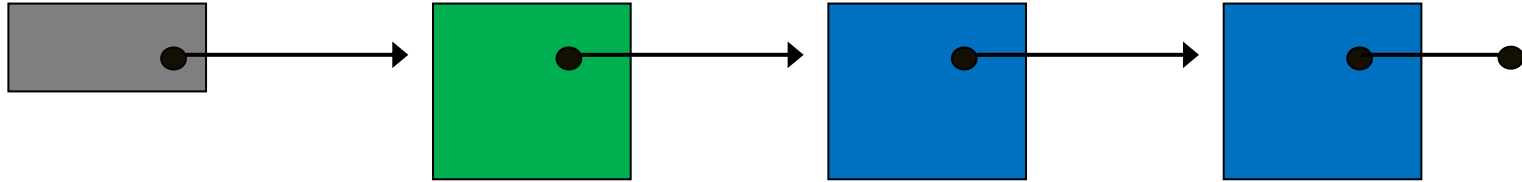
- Suchen eines Objektes in der Liste



- Durchlaufen der Liste

# Wiederholung: Suchen

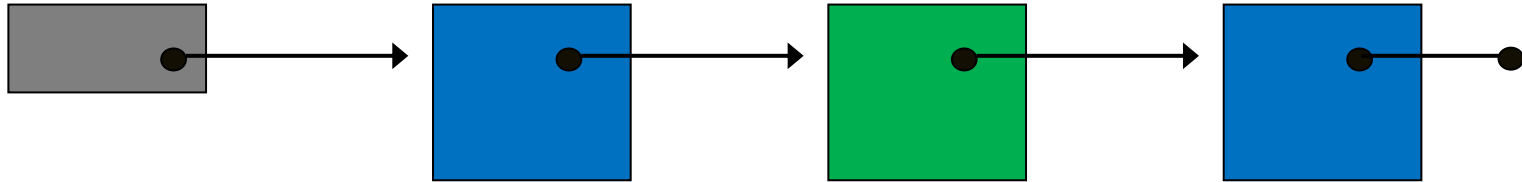
- Suchen eines Objektes in der Liste



- Durchlaufen der Liste

# Wiederholung: Suchen Laufzeit

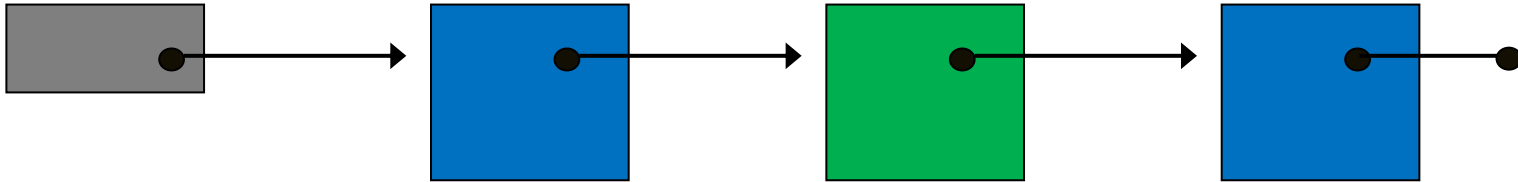
- Suchen eines Objektes in der Liste



- Durchlaufen der Liste
  - Bis das gewünschte Element gefunden wurde
  - Oder das Ende der Liste erreicht ist

# Wiederholung: Suchen Laufzeit

- Suchen eines Objektes in der Liste

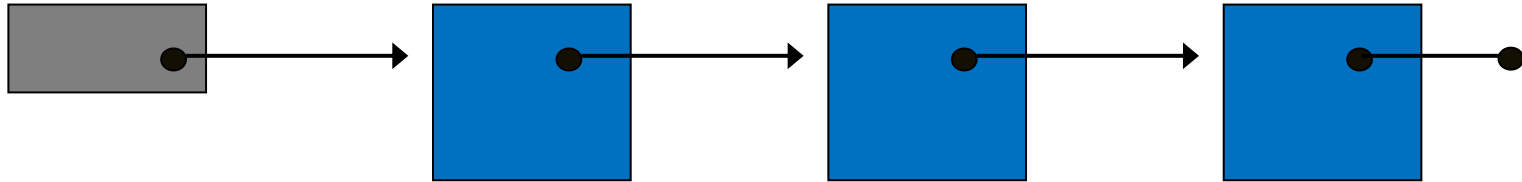


- Durchlaufen der Liste
  - Bis das gewünschte Element gefunden wurde
  - Oder das Ende der Liste erreicht ist
- Laufzeit:  $O(n)$

# Wiederholung

## Listenoperationen: Einfügen

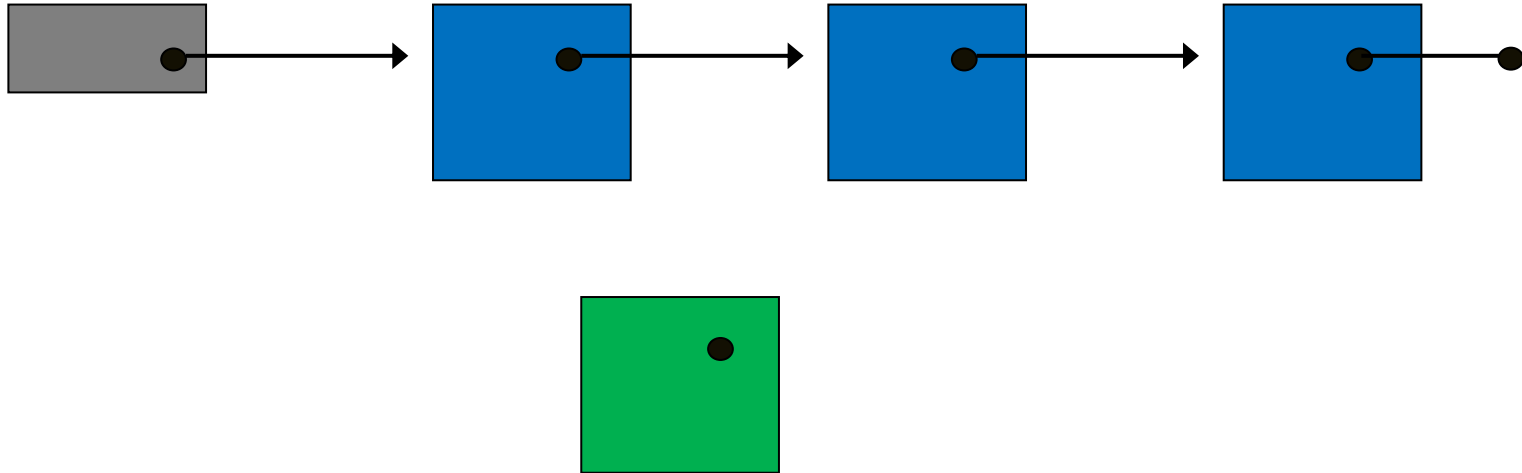
- Einfügen eines Objektes in die Liste:





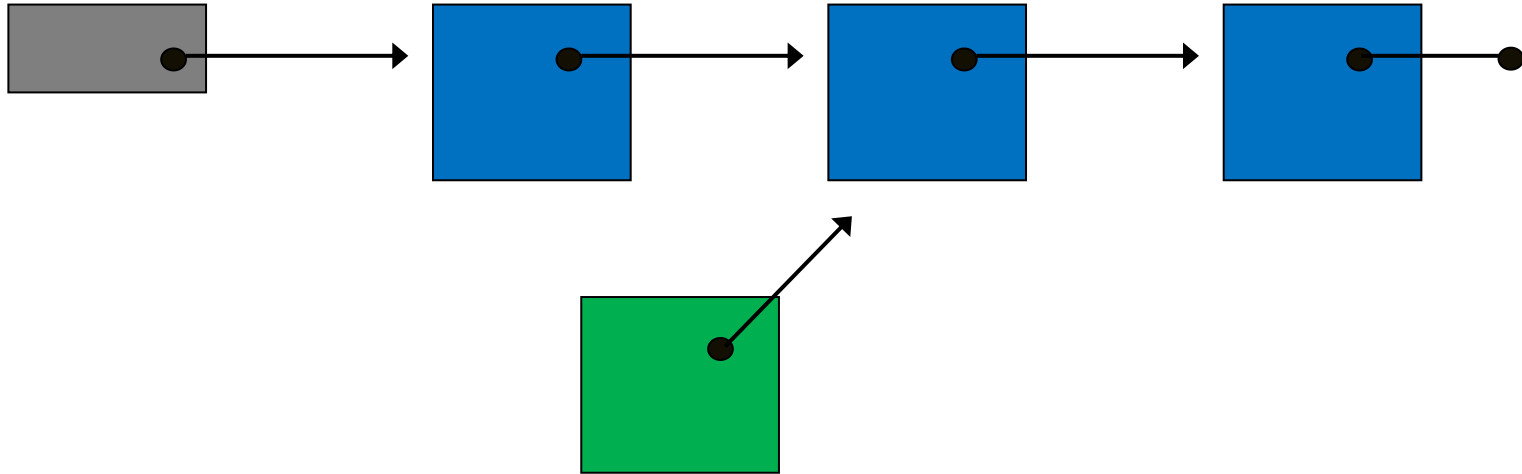
# Wiederholung Listenoperationen: Einfügen

- Einfügen eines Objektes in die Liste:



# Wiederholung Listenoperationen: Einfügen

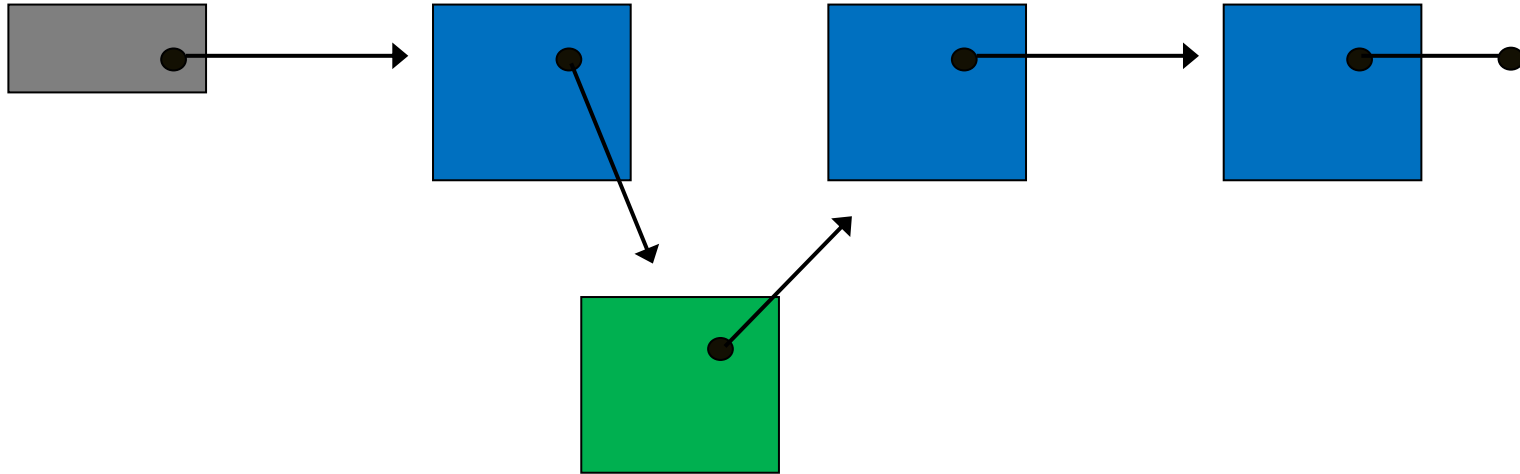
- Einfügen eines Objektes in die Liste:



# Wiederholung

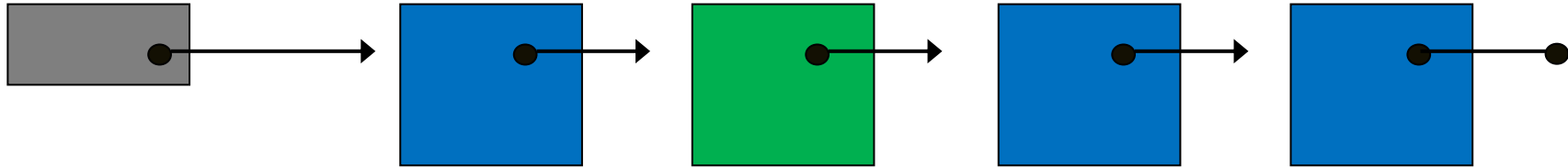
## Listenoperationen: Einfügen

- Einfügen eines Objektes in die Liste:



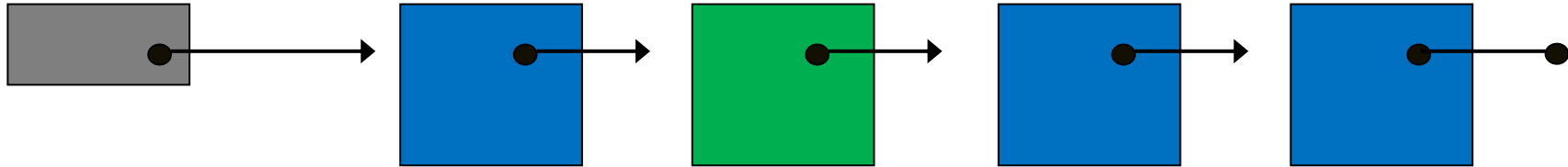
# Wiederholung Listenoperationen: Einfügen

- Einfügen eines Objektes in die Liste:



# Listenoperationen: Einfügen Laufzeit

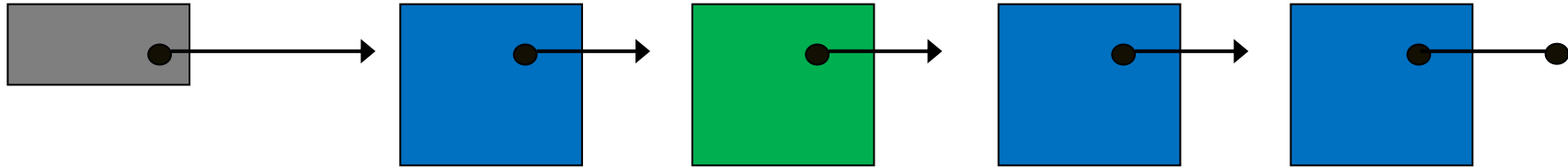
- Einfügen eines Objektes in die Liste:



- Elemente werden nur „eingehängt“.

# Listenoperationen: Einfügen Laufzeit

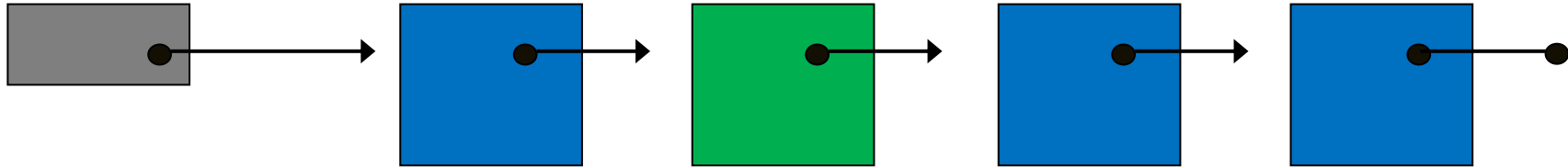
- Einfügen eines Objektes in die Liste:



- Elemente werden nur „eingehängt“.
- Einfügen „hinter“ bekannter Stelle ist  $O(1)$ .  
Position ist durch Pointer bekannt.

# Listenoperationen: Einfügen Laufzeit

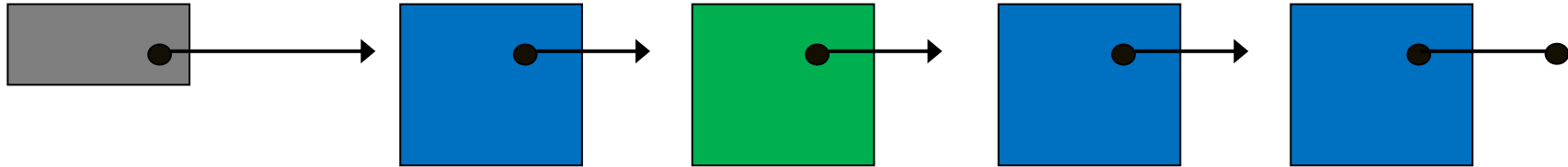
- Einfügen eines Objektes in die Liste:



- Elemente werden nur „eingehängt“.
- Einfügen „hinter“ bekannter Stelle ist  $O(1)$ .  
Position ist durch Pointer bekannt.
- Einfügen an unbekannter Stelle ist  $O(n)$ .

# Listenoperationen: Einfügen Laufzeit

- Einfügen eines Objektes in die Liste:

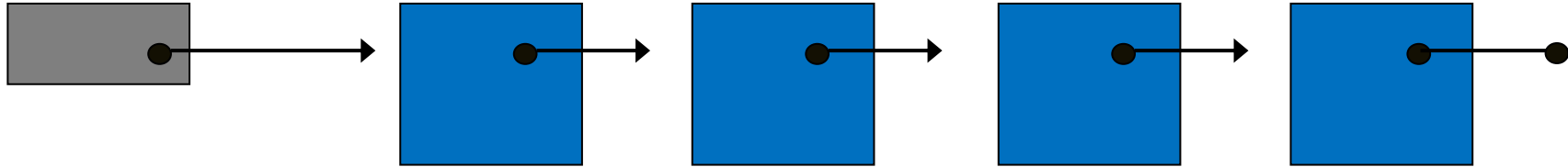


- Elemente werden nur „eingehängt“.
- Einfügen „hinter“ bekannter Stelle ist  $O(1)$ .  
Position ist durch Pointer bekannt.
- Einfügen an unbekannter Stelle ist  $O(n)$ .
  - Warum? Position muss erst gesucht werden: Kosten  $O(n)$



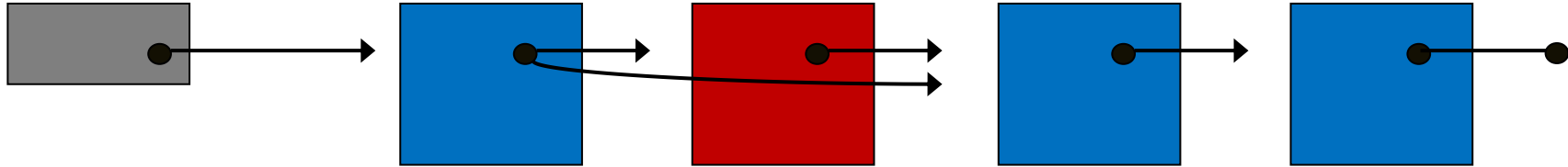
# Entfernen

- Beim Entfernen wird ein Element, dessen Position bekannt ist, aus der Liste entfernt



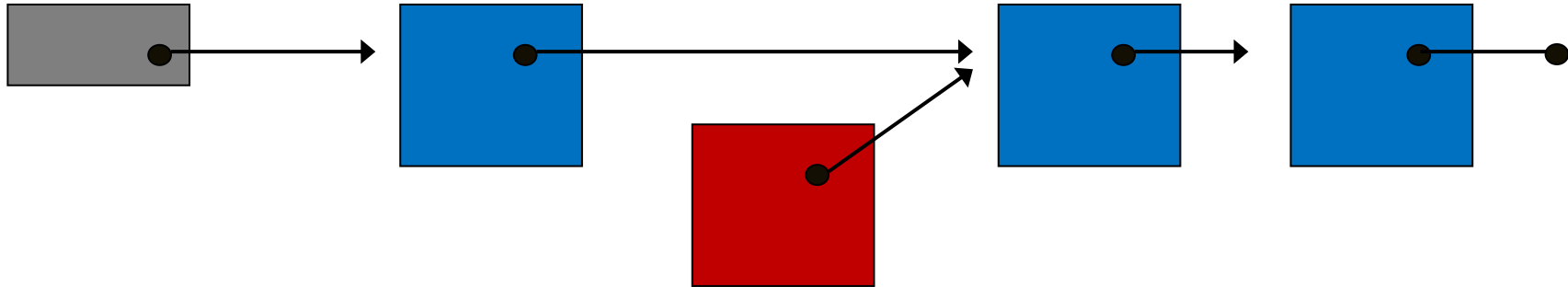
# Entfernen

- Beim Entfernen wird ein Element, dessen Position bekannt ist, aus der Liste entfernt



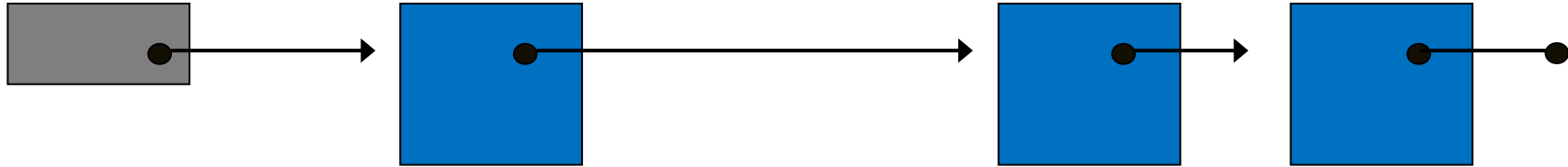
# Entfernen

- Beim Entfernen wird ein Element, dessen Position bekannt ist, aus der Liste entfernt



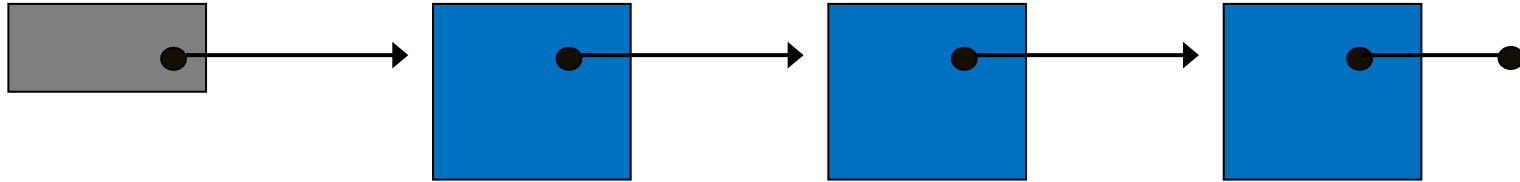
# Entfernen

- Beim Entfernen wird ein Element, dessen Position bekannt ist, aus der Liste entfernt



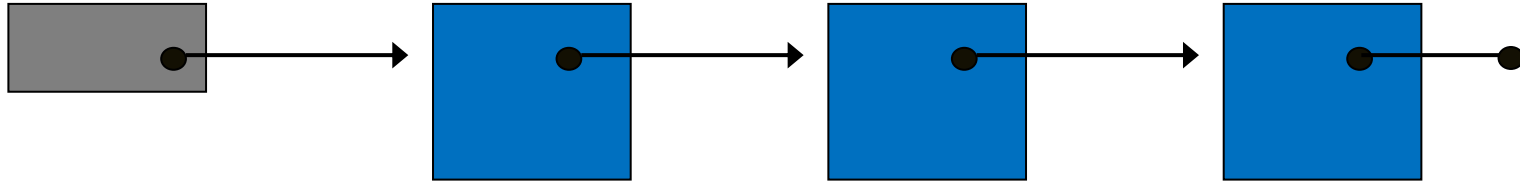
# Entfernen Laufzeit

- Beim Entfernen wird ein Element, dessen Position bekannt ist, aus der Liste entfernt



# Entfernen Laufzeit

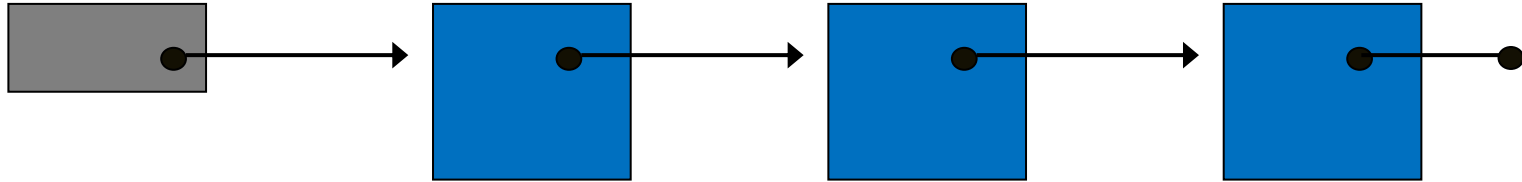
- Beim Entfernen wird ein Element, dessen Position bekannt ist, aus der Liste entfernt



- Laufzeit Entfernen bei bekannter Position:  $O(1)$

# Entfernen Laufzeit

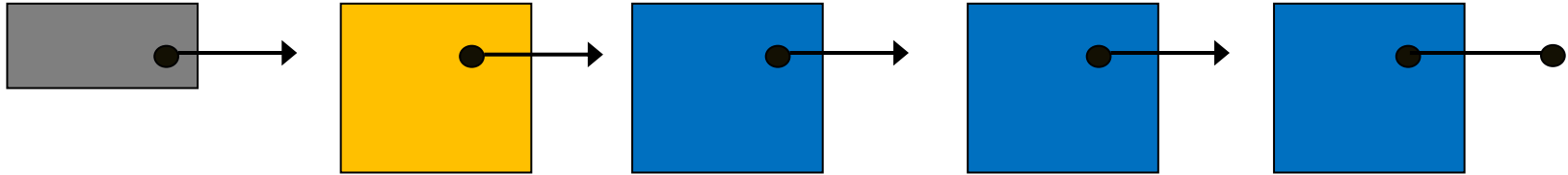
- Beim Entfernen wird ein Element, dessen Position bekannt ist, aus der Liste entfernt



- Laufzeit Entfernen bei bekannter Position:  $O(1)$
- Laufzeit Entfernen bei unbekannter Position:  $O(n)$

# Versetzen eines Elements

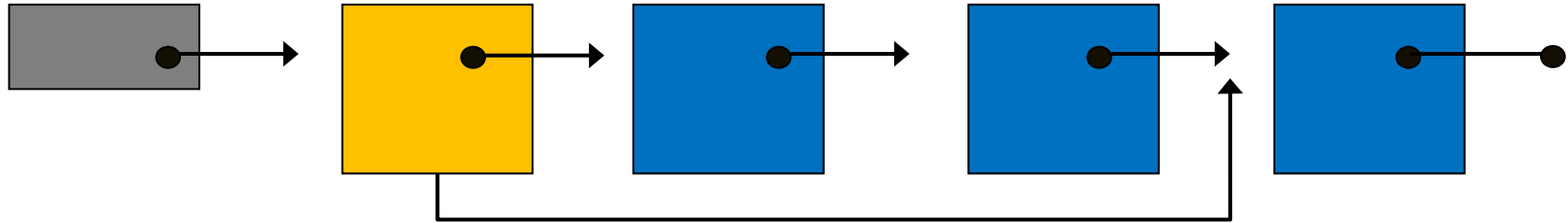
- Um bei Arrays die Reihenfolge der Elemente zu ändern, müssen alle Elemente dazwischen verschoben werden.
- Bei verketteten Listen werden Elemente einfach versetzt





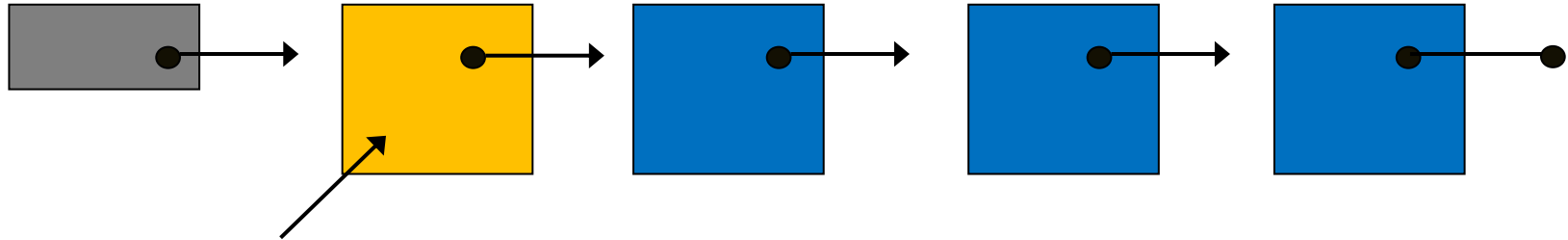
# Versetzen eines Elements

- Um bei Arrays die Reihenfolge der Elemente zu ändern, müssen alle Elemente dazwischen verschoben werden.
- Bei verketteten Listen werden Elemente einfach versetzt



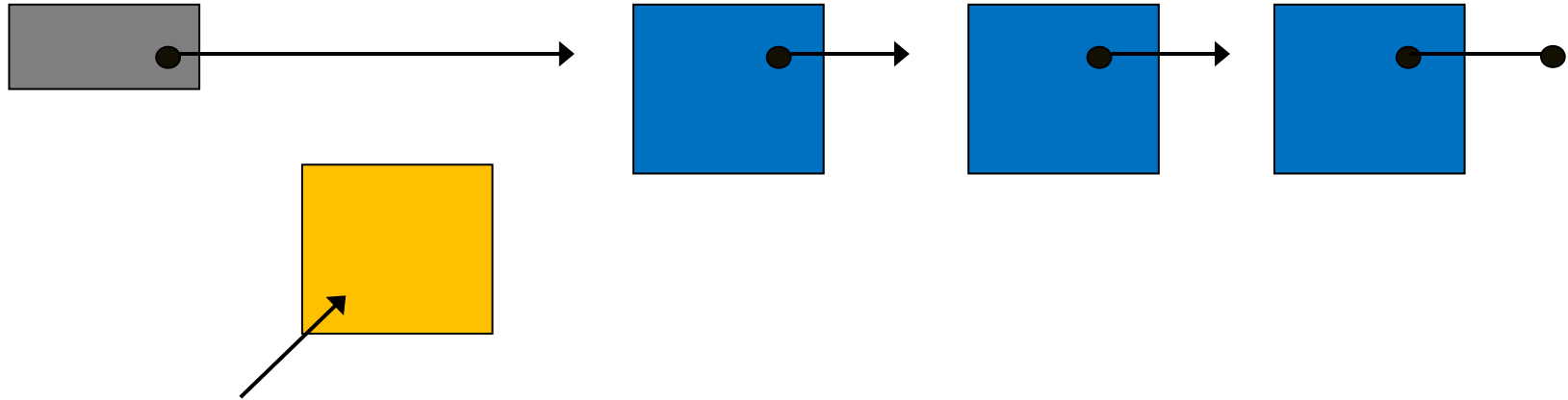
# Versetzen eines Elements

- Um bei Arrays die Reihenfolge der Elemente zu ändern, müssen alle Elemente dazwischen verschoben werden.
- Bei verketteten Listen werden Elemente einfach versetzt



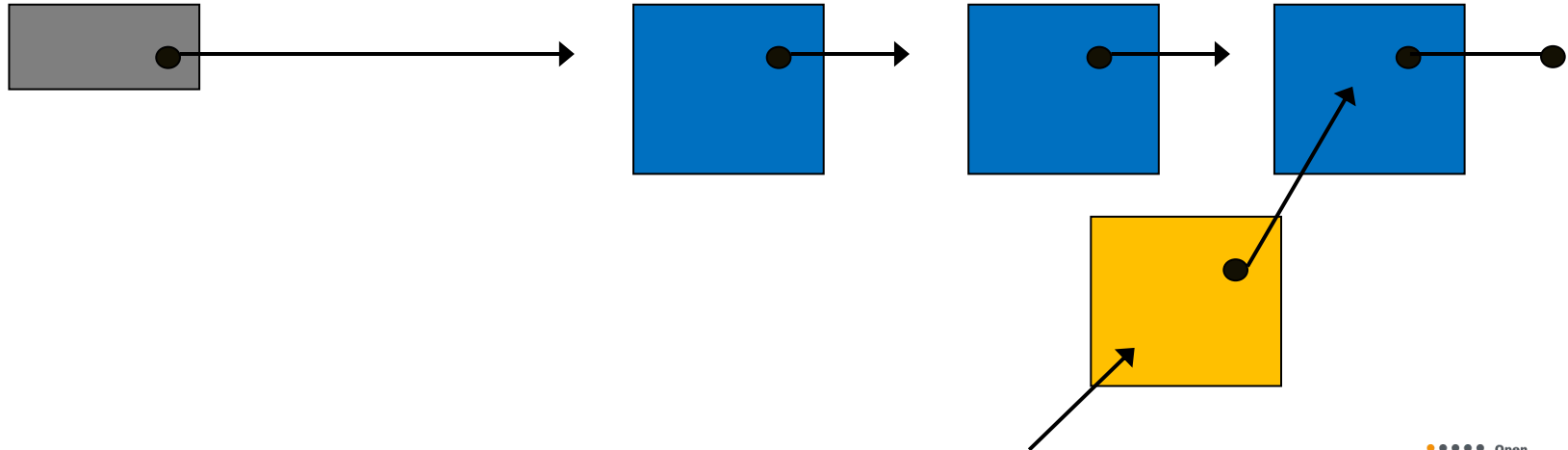
# Versetzen eines Elements

- Um bei Arrays die Reihenfolge der Elemente zu ändern, müssen alle Elemente dazwischen verschoben werden.
- Bei verketteten Listen werden Elemente einfach versetzt



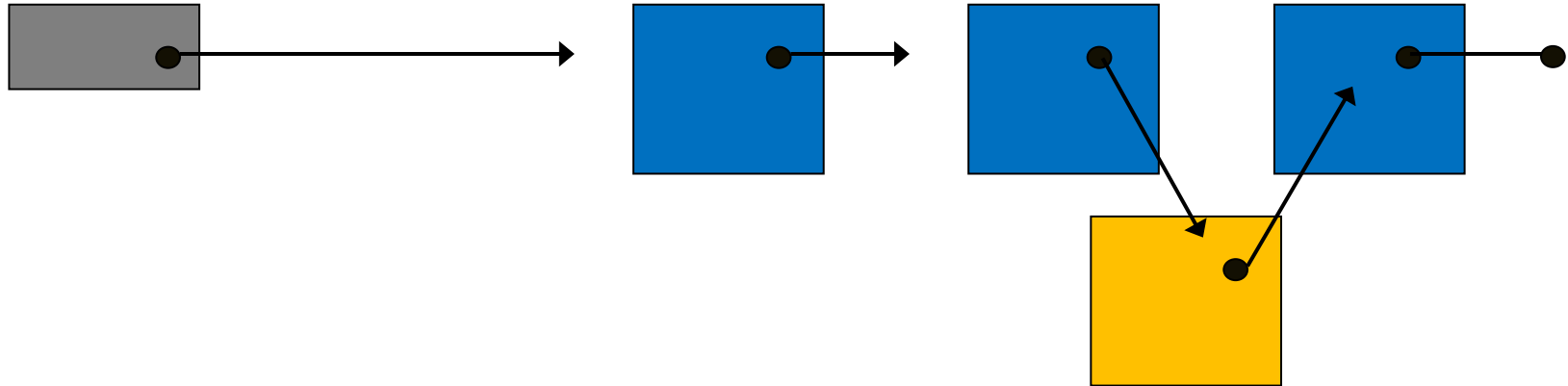
# Versetzen eines Elements

- Um bei Arrays die Reihenfolge der Elemente zu ändern, müssen alle Elemente dazwischen verschoben werden.
- Bei verketteten Listen werden Elemente einfach versetzt



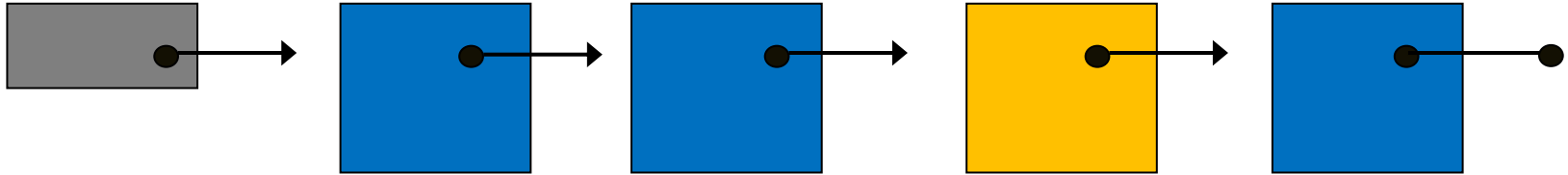
# Versetzen eines Elements

- Um bei Arrays die Reihenfolge der Elemente zu ändern, müssen alle Elemente dazwischen verschoben werden.
- Bei verketteten Listen werden Elemente einfach versetzt



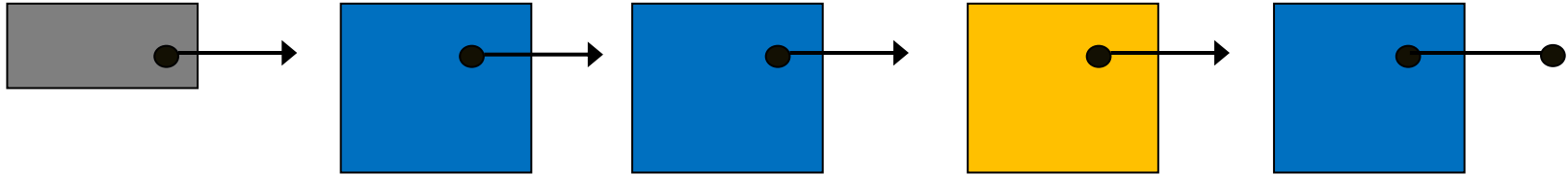
# Versetzen eines Elements Laufzeit

- Um bei Arrays die Reihenfolge der Elemente zu ändern, müssen alle Elemente dazwischen verschoben werden.
- Bei verketteten Listen werden Elemente einfach versetzt



# Versetzen eines Elements Laufzeit

- Um bei Arrays die Reihenfolge der Elemente zu ändern, müssen alle Elemente dazwischen verschoben werden.
- Bei verketteten Listen werden Elemente einfach versetzt



- Laufzeit bei bekannten (Pointern an) Positionen:  $O(1)$   
(statt  $O(k)$ ,  $k$  Anzahl der Stellen, bei Arrays)

# Linked Lists: Implementierungsvarianten



# Linked List Implementierung

## Wiederholung

- Zahlreiche Variationsmöglichkeiten bei der Implementierung.
  - “Beste” Variante hängt vom Problem ab.

# Linked List Implementierung

## Wiederholung

- Zahlreiche Variationsmöglichkeiten bei der Implementierung.
  - “Beste” Variante hängt vom Problem ab.
- Minimale Implementierung:
  - head (Kopfzeiger): Zeigt auf das erste Element der Liste.
  - Methoden / Funktionen:
    - Find element.
    - Insert element.
    - Delete element.

# Implementierungsvarianten

## Einfacher Kopfzeiger

- head zeigt auf das erste Element.
- Das Ende der Folge ist durch einen leeren Zeiger (Wert = NULL) gekennzeichnet.
  - Die leere Folge wird dann durch einen leeren Kopfzeiger repräsentiert.

# Implementierungsvarianten

## Einfacher Kopfzeiger

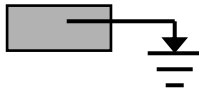
- head zeigt auf das erste Element.
- Das Ende der Folge ist durch einen leeren Zeiger (Wert = NULL) gekennzeichnet.
  - Die leere Folge wird dann durch einen leeren Kopfzeiger repräsentiert.
- Leere Folge:

# Implementierungsvarianten

## Einfacher Kopfzeiger

- head zeigt auf das erste Element.
- Das Ende der Folge ist durch einen leeren Zeiger (Wert = NULL) gekennzeichnet.
  - Die leere Folge wird dann durch einen leeren Kopfzeiger repräsentiert.
- Leere Folge:

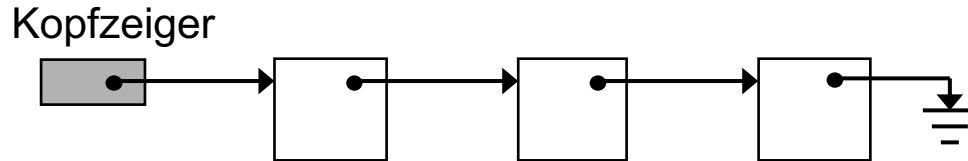
Kopfzeiger



# Implementierungsvarianten

## Einfacher Kopfzeiger

- head zeigt auf das erste Element.
- Das Ende der Folge ist durch einen leeren Zeiger (Wert = NULL) gekennzeichnet.
  - Die leere Folge wird dann durch einen leeren Kopfzeiger repräsentiert.
- Nichtleere Folge:



# Implementierungsvarianten

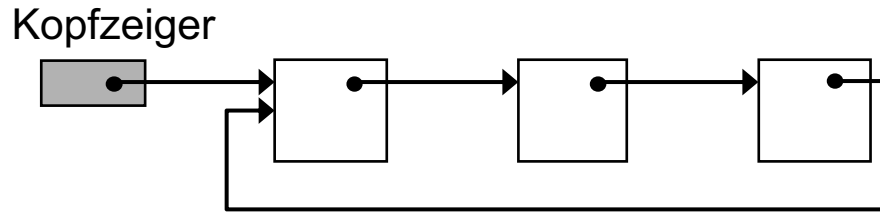
## Einfacher Kopfzeiger

- head zeigt auf das erste Element.
- Das Ende der Folge ist durch einen leeren Zeiger (Wert = NULL) gekennzeichnet.
  - Die leere Folge wird dann durch einen leeren Kopfzeiger repräsentiert.
- Hinweis zur Implementierung:
  - head muss immer auf das erste Element zeigen (Beachte z.B. insert und delete)

# Implementierungsvarianten

## Zyklische Verkettung

- Man kann die Zeigerkette schließen
  - Das erleichtert das Ablaufen in vielen Fällen.
- Nichtleere Liste:





# Implementierungsmöglichkeiten

## Kopfzeiger mit Nullelement (dummy)

- Neben dem Kopfzeiger wird ein Nullelement verwendet, das dynamisch erzeugt ist und sich daher nicht von den anderen Elementen unterscheidet.

# Implementierungsmöglichkeiten

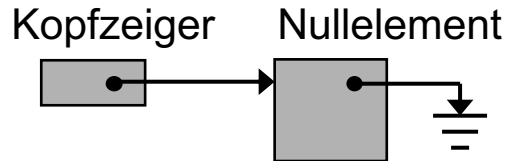
## Kopfzeiger mit Nullelement (dummy)

- Neben dem Kopfzeiger wird ein Nullelement verwendet, das dynamisch erzeugt ist und sich daher nicht von den anderen Elementen unterscheidet.
- Leere Folge:

# Implementierungsmöglichkeiten

## Kopfzeiger mit Nullelement (dummy)

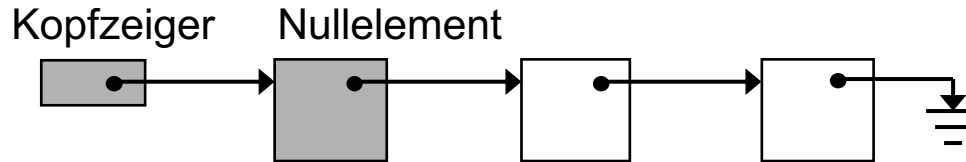
- Neben dem Kopfzeiger wird ein Nullelement verwendet, das dynamisch erzeugt ist und sich daher nicht von den anderen Elementen unterscheidet.
- Leere Folge:



# Implementierungsmöglichkeiten

## Kopfzeiger mit Nullelement (dummy)

- Neben dem Kopfzeiger wird ein Nullelement verwendet, das dynamisch erzeugt ist und sich daher nicht von den anderen Elementen unterscheidet.
- Nicht leere Folge:



# Implementierungsmöglichkeiten

## Kopfzeiger mit Nullelement (dummy)

- Neben dem Kopfzeiger wird ein Nullelement verwendet, jedoch mit zyklischer Verkettung.

# Implementierungsmöglichkeiten

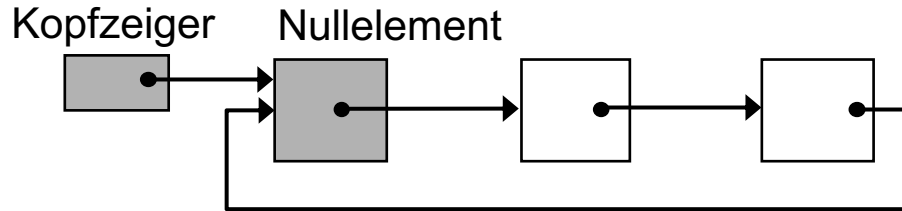
## Kopfzeiger mit Nullelement (dummy)

- Neben dem Kopfzeiger wird ein Nullelement verwendet, jedoch mit zyklischer Verkettung.
- Nicht leere Folge

# Implementierungsmöglichkeiten

## Kopfzeiger mit Nullelement (dummy)

- Neben dem Kopfzeiger wird ein Nullelement verwendet, jedoch mit zyklischer Verkettung.
- Nicht leere Folge



- Auf diese Weise lassen sich viele Listenoperationen recht kompakt und elegant formulieren.

# Einfache Datenstrukturen

- Arrays
  - Verkettete Listen
  - **Doppeltverkettete Listen**
  - Stack (Stapel/Kellerspeicher)
  - Queue (Warteschlangen)
- 
- Warum? Grundlagen für alle weiteren Algorithmen!

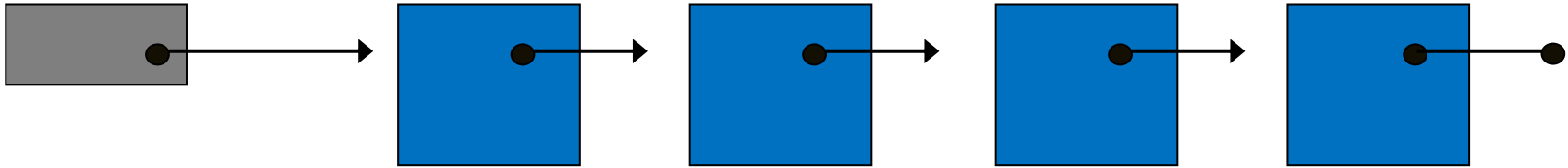


# Doppelt Verkettete Liste: Fortgeschrittene Methoden einer Linked List

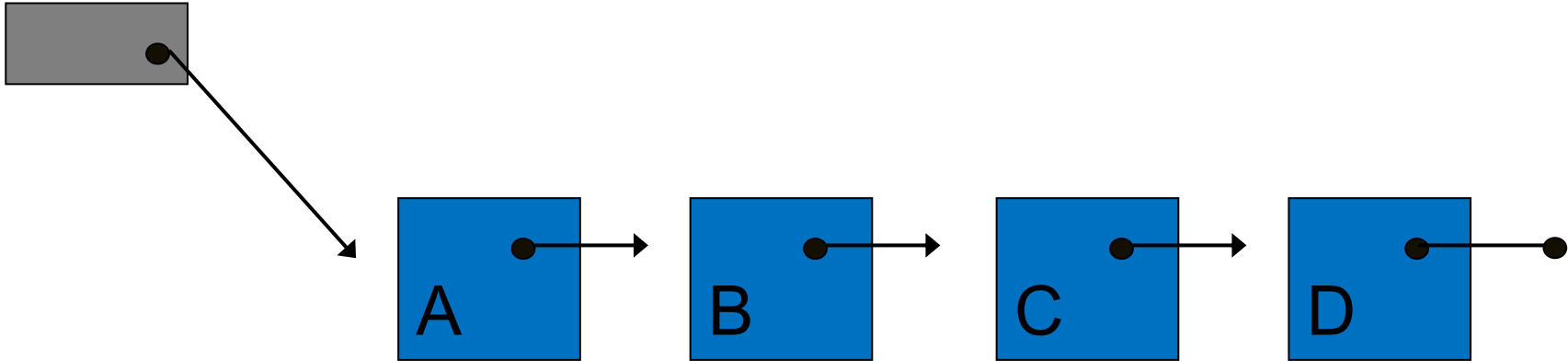
# Invertieren

- Einfach verkettete Folgen können nicht in umgekehrter Richtung durchlaufen werden.
- Dazu kann bei Bedarf eine Operation „Invertieren“ angeboten werden.
  - Zweimaliges Invertieren muss wieder die ursprüngliche Folge ergeben.

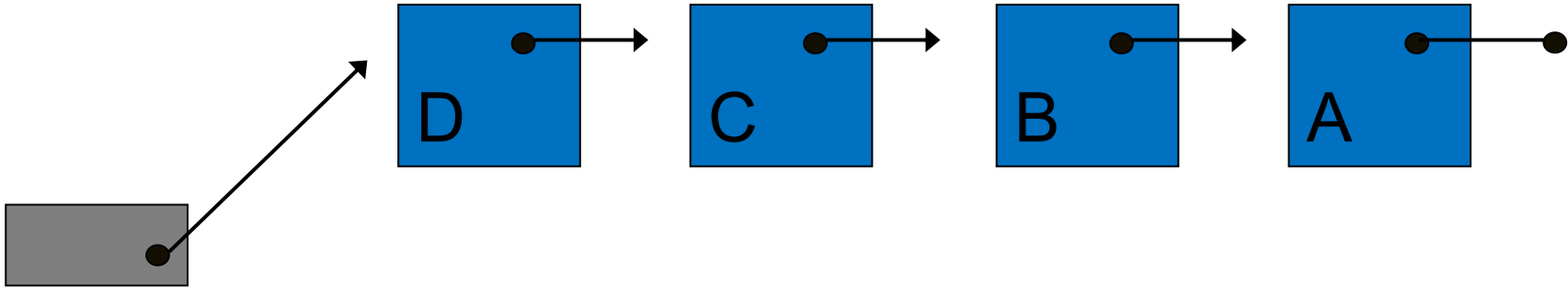
# Invertieren



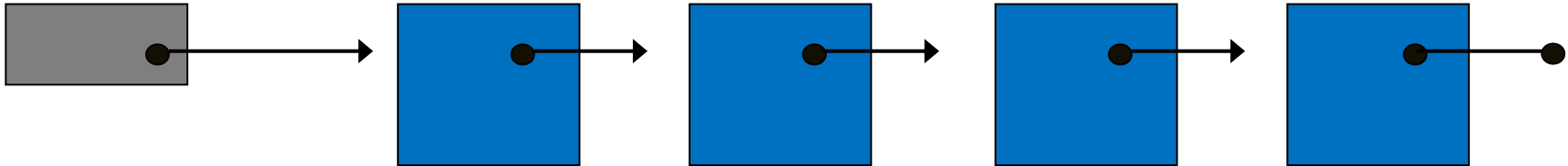
# Invertieren



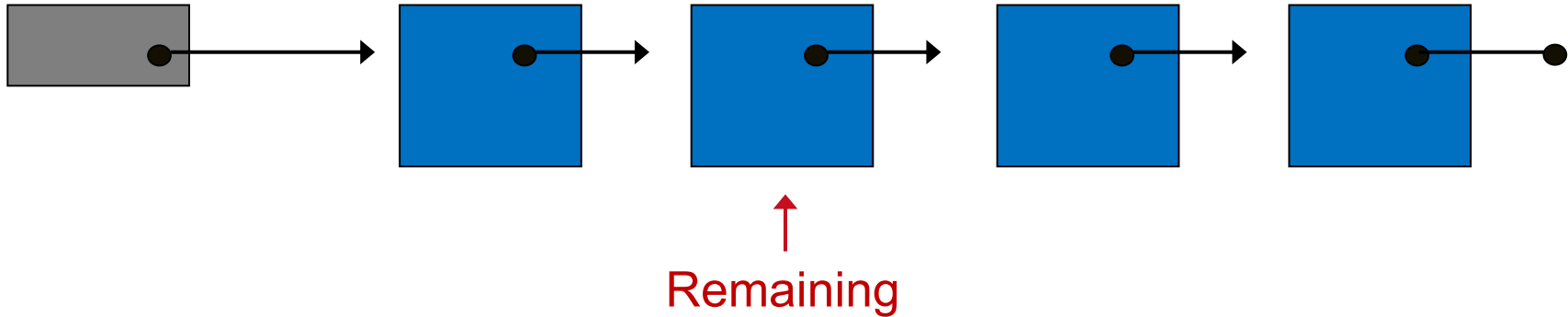
# Invertieren



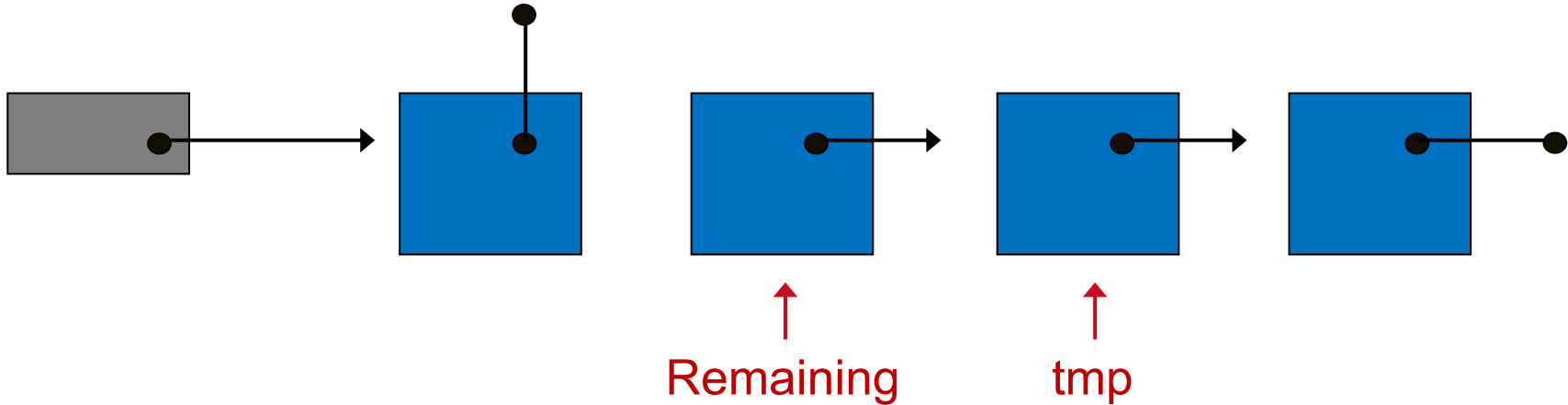
# Invertieren



# Invertieren

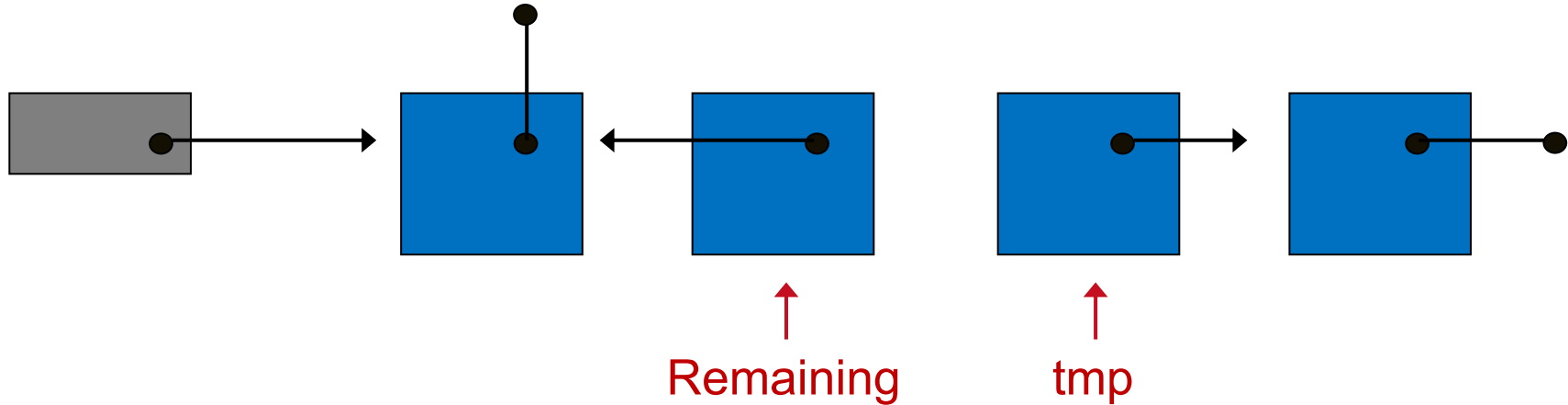


# Invertieren

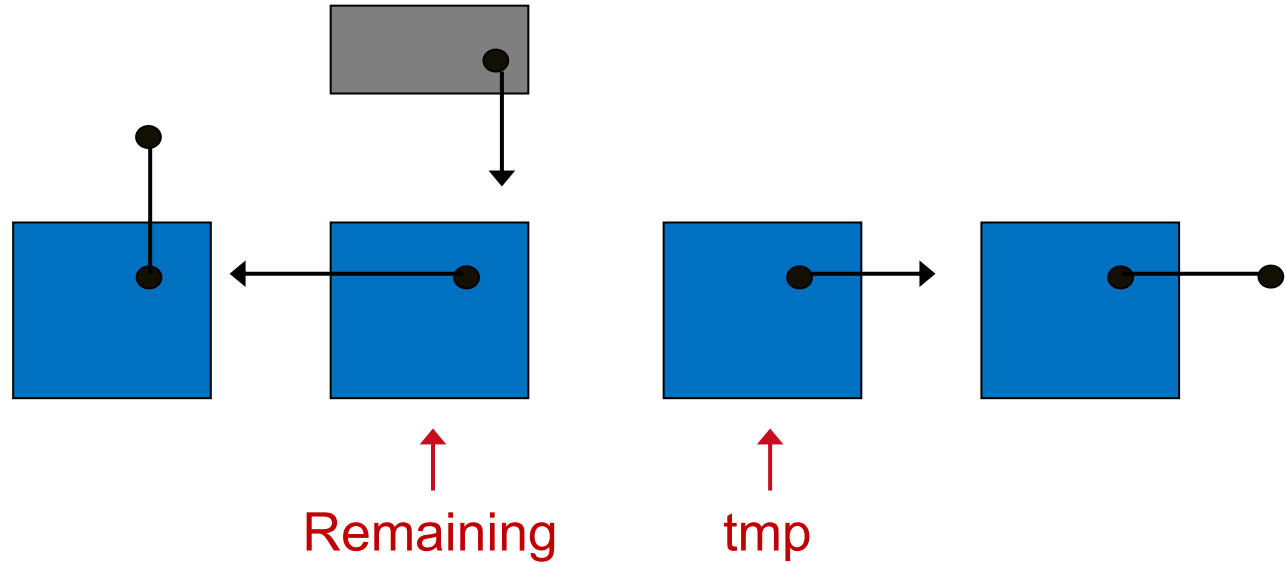




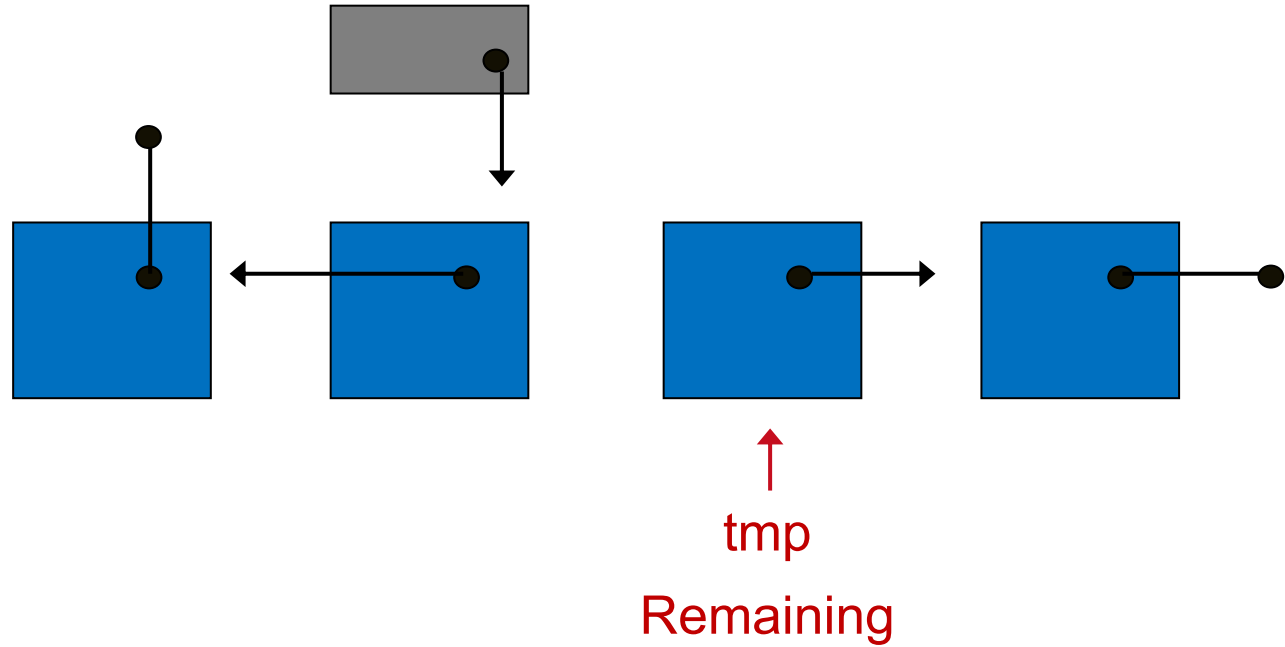
# Invertieren



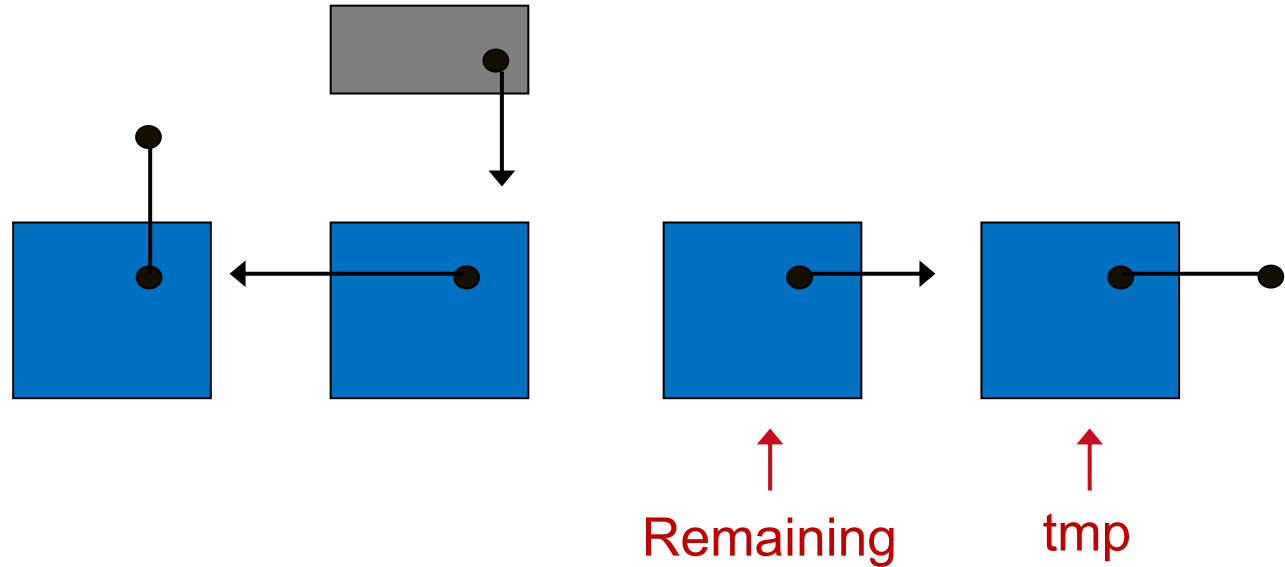
# Invertieren



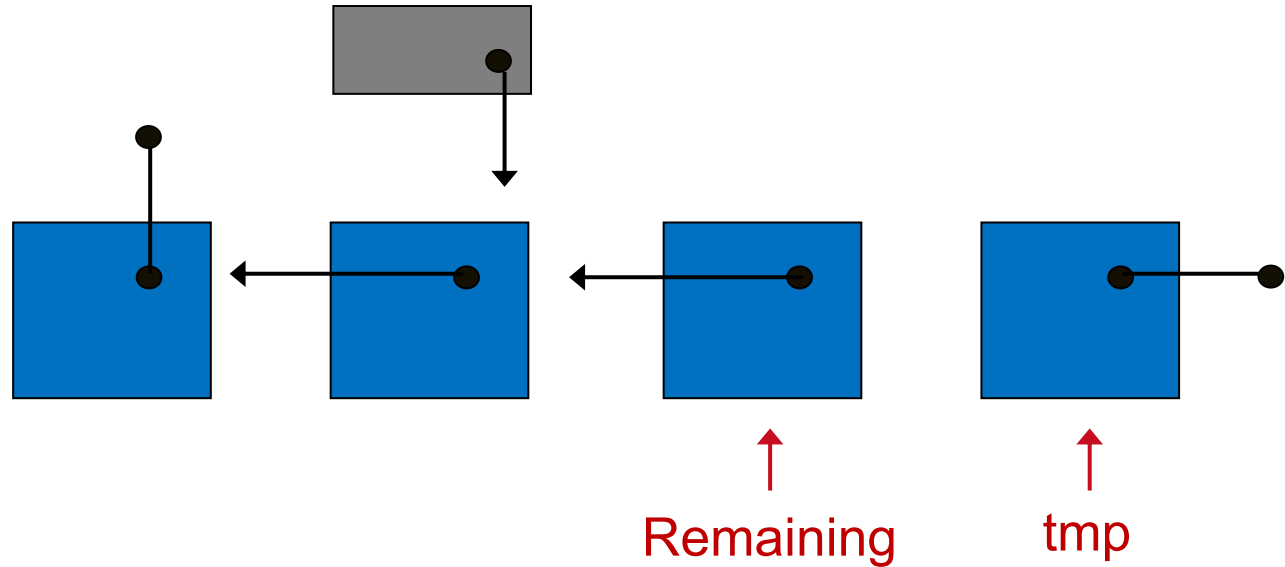
# Invertieren



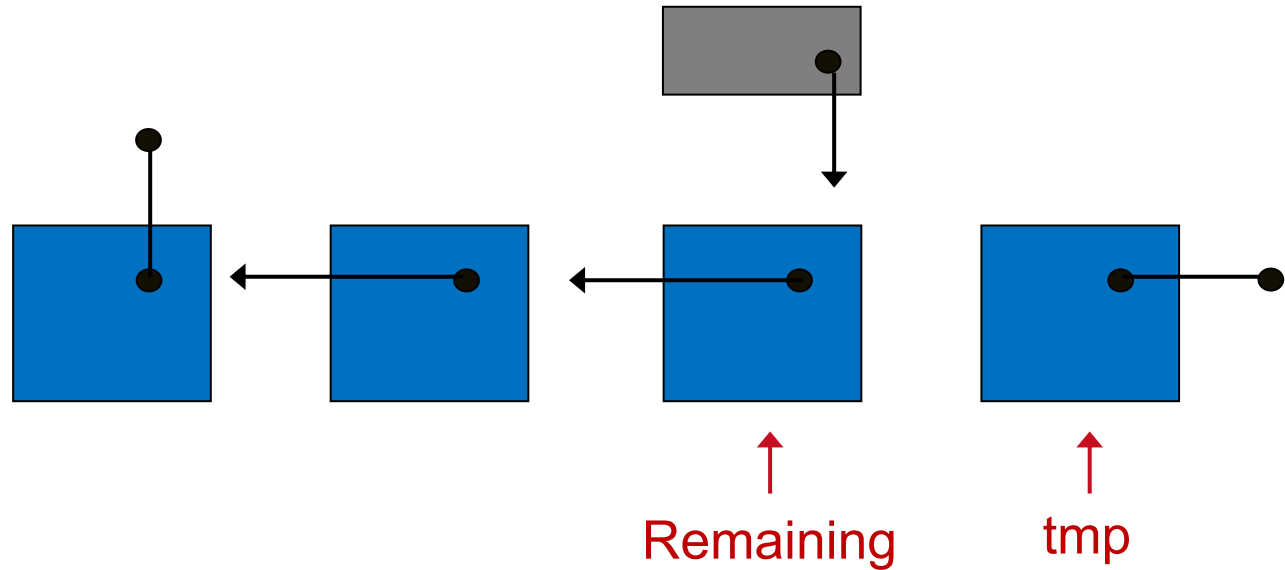
# Invertieren



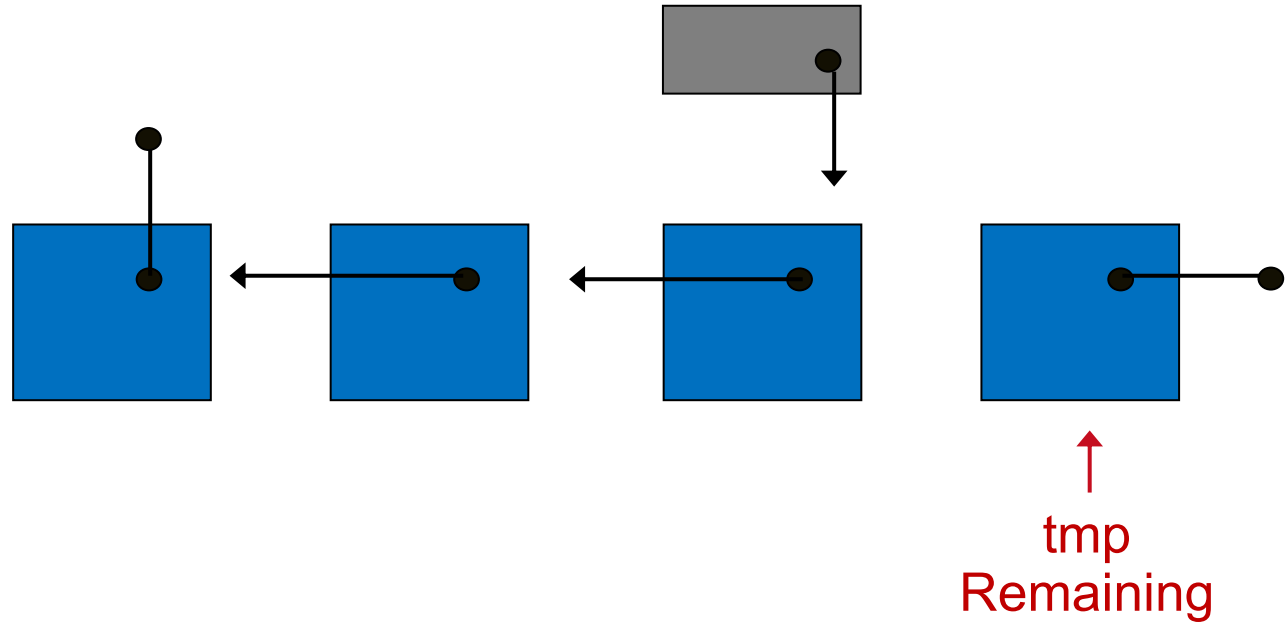
# Invertieren



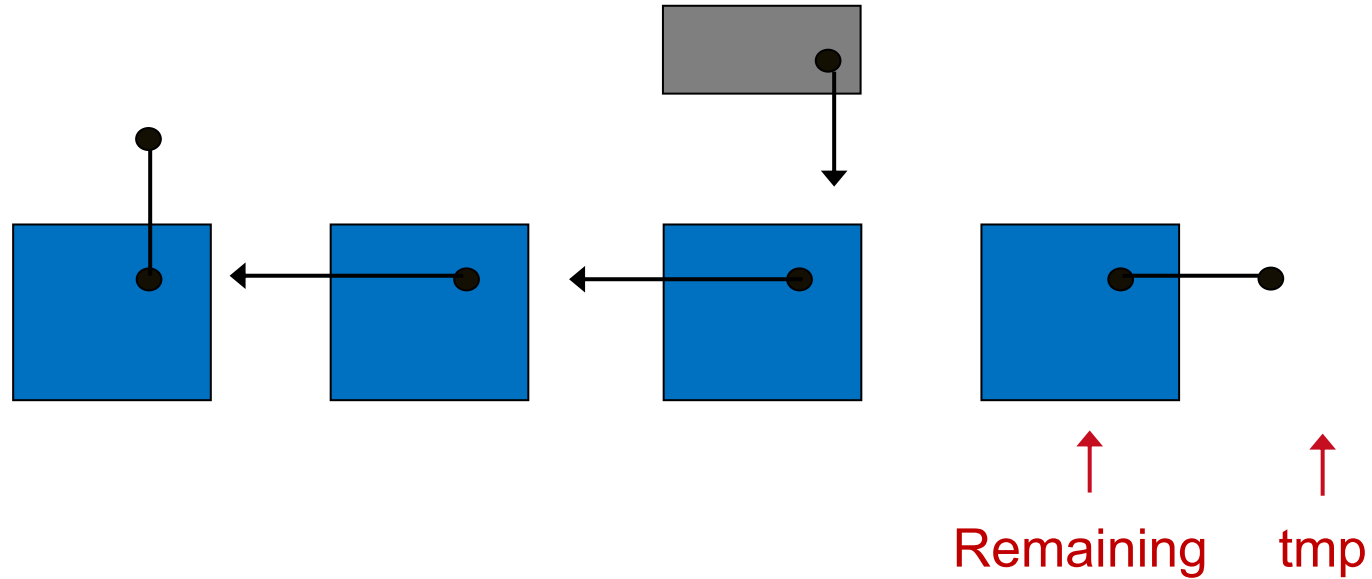
# Invertieren



# Invertieren

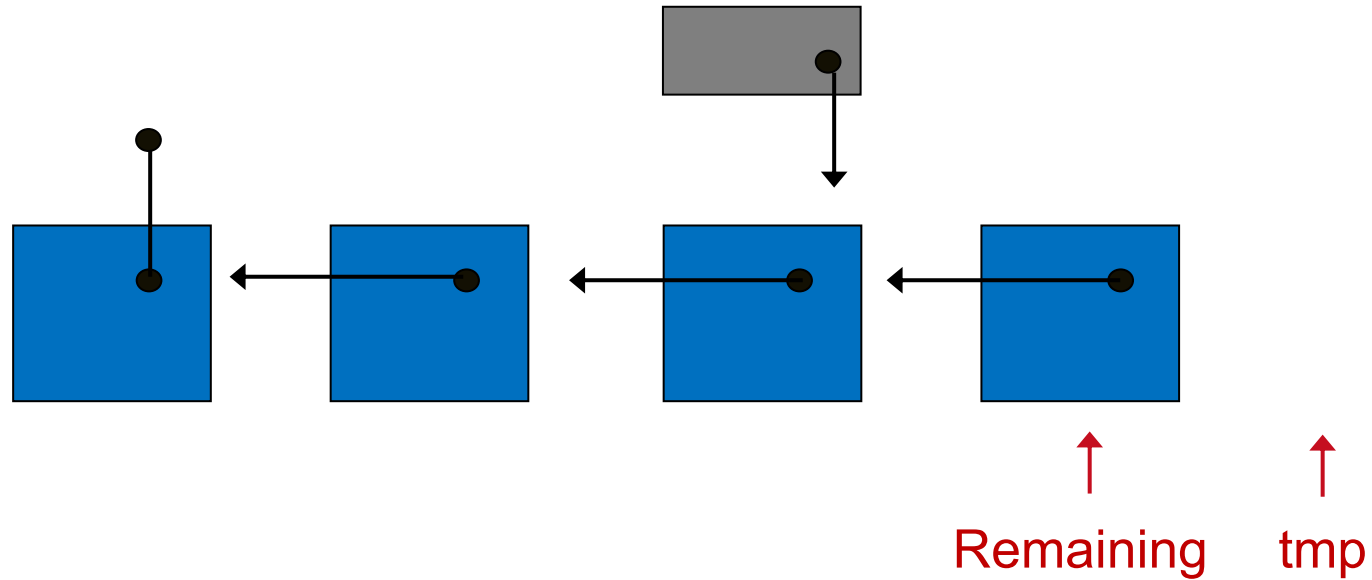


# Invertieren

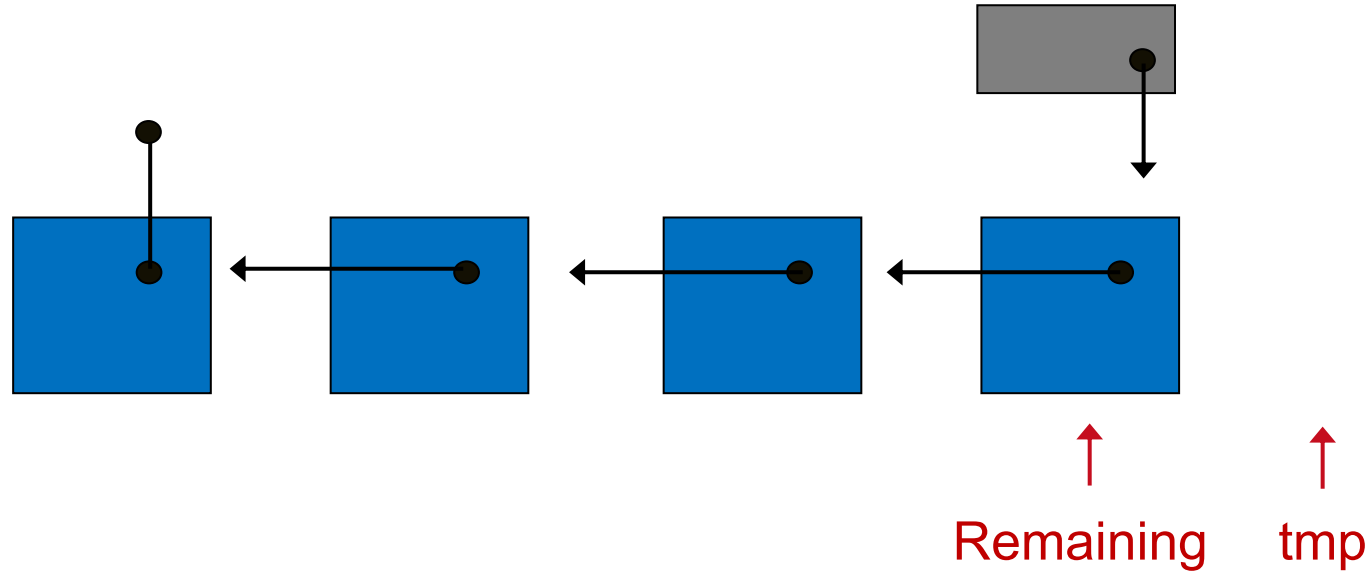




# Invertieren



# Invertieren

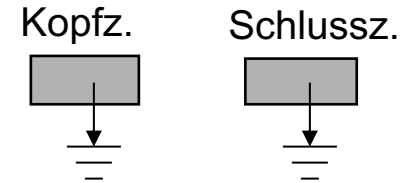
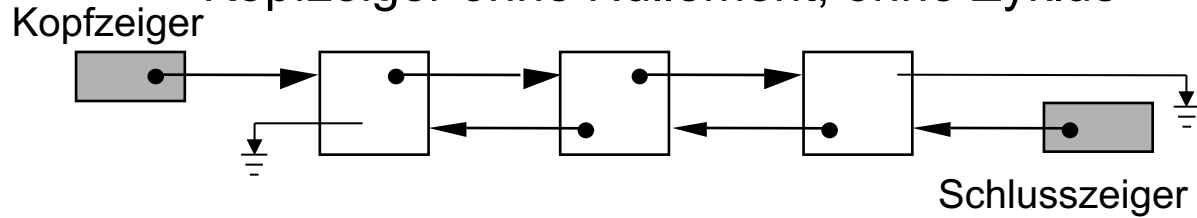


# Double Linked List

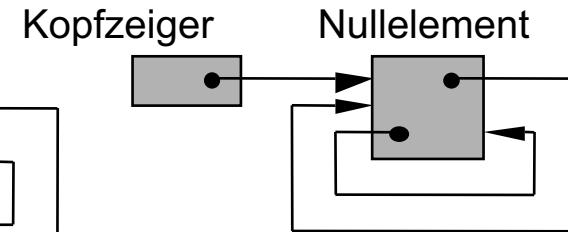
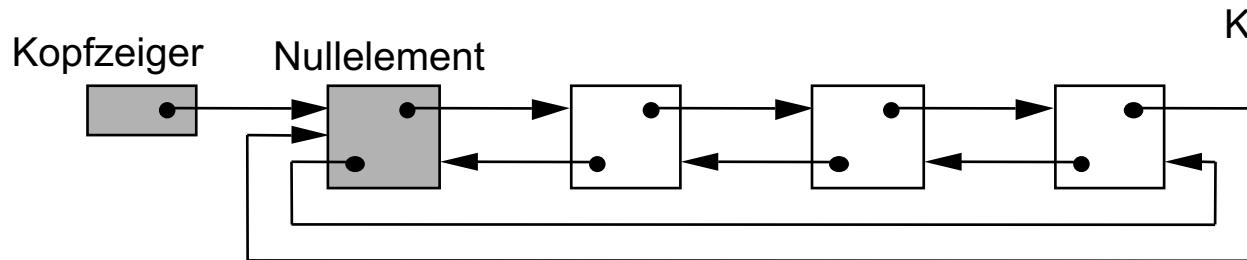
- Soll eine Folge in beiden Richtungen effizient abgelaufen werden können, so ist eine Doppelverzeigerung erforderlich.

# Double Linked List

- Implementierungsvarianten
  - Kopfzeiger ohne Nullelement, ohne Zyklus



- Kopfzeiger auf Nullelement, zyklisch verkettet



# Double Linked List

- Merkmale:
  - Teilweise schnellere Laufzeit, z.B. wenn Pointer auf Listenposition vorhanden: delete, insert in  $O(1)$
  - Durchlaufrichtung frei wählbar (invertieren nicht notwendig)
  - Aber: Erhöhter Speicherbedarf für Sekundärdaten
    - Nachfolger und Vorgänger, d.h., next und previous Pointer

# Einfache Datenstrukturen

- Arrays
  - Verkettete Listen
  - Doppeltverkettete Listen
  - Stack (Stapel/Kellerspeicher)
  - Queue (Warteschlangen)
- 
- Warum: Grundlagen für alle weiteren Algorithmen

# Vergleich der Eigenschaften

|                          | Static Array | Dynamic Array | Linked List |
|--------------------------|--------------|---------------|-------------|
| Element Access           | $O(1)$       | $O(1)$        | $O(n)$      |
| Insert at begin          | $O(n)$       | $O(n)$        | $O(1)$      |
| Insert at end            | $O(n)$       | $O(1)$        | $O(1)^*$    |
| Insert at known position | $O(n)$       | $O(n)$        | $O(1)$      |
| Extra space              | 0            | $O(n)$        | $O(n)$      |

\*wenn Zeiger auf Ende zur Verfügung

# Einfache Datenstrukturen

- Arrays
  - Verkettete Listen
  - Doppeltverkettete Listen
  - **Stack (Stapel/Kellerspeicher)**
  - Queue (Warteschlangen)
- 
- Warum? Grundlagen für alle weiteren Algorithmen!



# Stacks und Queues: Bauen auf Linked List auf

# Stapel (Stack)

- Stack: Datenstruktur, welche effizientes Entfernen in der umgekehrten Einfügereihenfolge ermöglicht.
  - Last-In-First-Out (LIFO)  
First-In-Last-Out (FILO) Datenstruktur.
  - Methoden: **push/pop**

# Stapel (Stack)

- Stack: Datenstruktur, welche effizientes Entfernen in der umgekehrten Einfügereihenfolge ermöglicht.
  - Last-In-First-Out (LIFO)  
First-In-Last-Out (FILO) Datenstruktur.
  - Methoden: **push/pop**
- Einsatzbereiche:
  - Tellerstapeln
  - Browser Historie
  - Funktionsaufrufe! U.a. Bei der Rekursion
  - Kartenstapel

# Stapel (Stack)

- Stack: Datenstruktur, welche effizientes Entfernen in der umgekehrten Einfügereihenfolge ermöglicht.
  - Last-In-First-Out (LIFO)  
First-In-Last-Out (FILO) Datenstruktur.
  - Methoden: **push/pop**

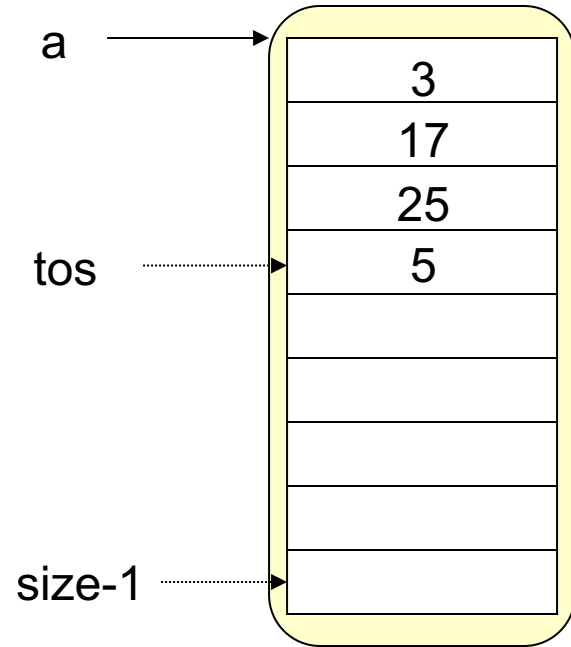
# Stapel (Stack)

- Stack: Datenstruktur, welche effizientes Entfernen in der umgekehrten Einfügereihenfolge ermöglicht.
  - Last-In-First-Out (LIFO)  
First-In-Last-Out (FILO) Datenstruktur.
  - Methoden: **push/pop**
- Die Implementierung kann als Liste erfolgen:
  - **push** fügt am Kopf ein neues Element ein
  - **pop** entnimmt das als Letztes eingefügte Element
  - Beide Operationen können in  $O(1)$  durchgeführt werden.
  - head ist gleichzeitig "top of stack".

# Stapel (Stack)

## Implementierung als Array

- Auch in einem Array können push und pop mit Laufzeit  $O(1)$  implementiert werden.
- Nachteil: Max. Stackgröße ist fest, d.h. der Stapel kann "überlaufen" (stack overflow).
  - Zugriff auf Element kann jedoch effizienter sein, als mit Linked List.

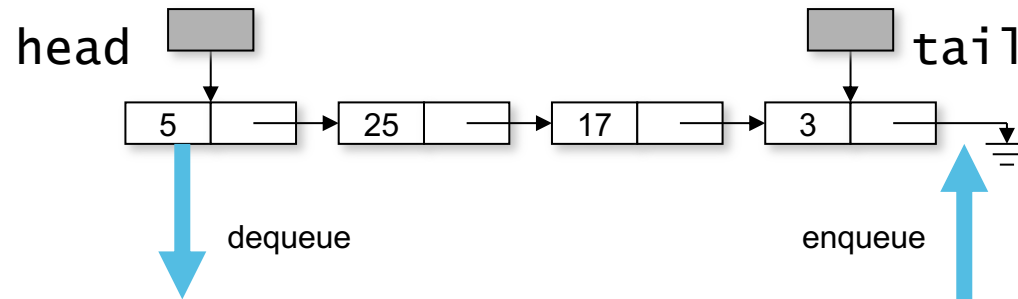


# Warteschlange (Queue)

- Queue: Datenstruktur, welche effizientes Entfernen in der Einfügereihenfolge ermöglicht.
  - First-In-First-Out (FIFO) Datenstruktur.
  - Zugriff durch Methoden `enqueue`/`dequeue` realisiert.
- Einsatzbereiche:
  - Mensa
  - Verwaltung
  - Druckjobs
  - Wursttheke
  - ...

# Warteschlange (Queue)

- Queue: Datenstruktur, welche effizientes Entfernen in der Einfügereihenfolge ermöglicht.
  - First-In-First-Out (FIFO) Datenstruktur.
  - Zugriff durch Methoden **enqueue**/**dequeue** realisiert.
- Implementierung durch Linked List möglich:



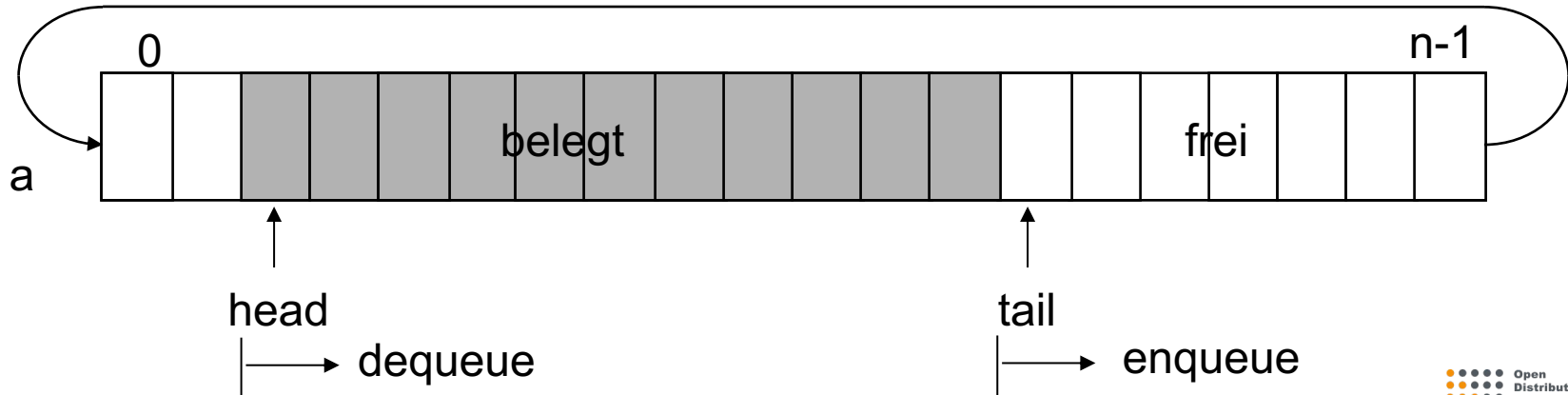


# Warteschlange (Queue)

- Queue: Datenstruktur, welche effizientes Entfernen in der Einfügereihenfolge ermöglicht.
  - First-In-First-Out (FIFO) Datenstruktur.
  - Zugriff durch Methoden `enqueue`/`dequeue` realisiert.
- Implementierung durch Linked List möglich:
  - Auch hier gelingt die Implementierung von `enqueue` und `dequeue` mit konstanter Laufzeit  $O(1)$ .

# Warteschlange (Queue)

- Array-Implementierung der Warteschlange  
üblicherweise als Ringpuffer (Ringbuffer) realisiert.
- Es werden zwei Zeiger (Indizes) mitgeführt, die auf den  
Anfang bzw. das Ende der Warteschlange zeigen.



# Warteschlange (Queue)

- Array-Implementierung der Warteschlange üblicherweise als Ringpuffer (ring buffer) realisiert.
- Es werden zwei Zeiger (Indizes) mitgeführt, die auf den Anfang bzw. das Ende der Warteschlange zeigen.
  - Nachteil: Max. Größe ist fest.
  - Zugriff auf Elemente kann effizienter sein als mit Linked Lists.

# Ausblick

- VL 0 „Organisation und Inhalt“: Ablauf der Vorlesung, Termine
- VL 1 „Algorithmen, Pseudocode, Sortieren I“: Insertion Sort
- VL 2 „Algorithmen, Pseudocode, Sortieren II“: Selection Sort, Bubble Sort, Count Sort
- VL 3 „Laufzeit und Speicherplatz“: Laufzeitanalyse der vorgestellten Sortiervverfahren
- VL 4 „Einfache Datenstrukturen“: Arrays, verkettete Listen, Structs in C, Stack, Queue**
- VL 5 „Bäume“: Binärbäume, Baumtraversierung, Laufzeitanalyse Baumoperationen**
- VL 6 „Dateien in C“: Dateien, Dateisysteme, Verzeichnisse, Dateiverwaltung mit C
- VL 7 „Teile und Herrsche I“: Einführung der algorithmischen Methode, Merge Sort
- VL 8 „Korrektheitsbeweise“: Rechnermodel, Beispielbeweise
- VL 9 „Prioritätenslangen/Halden/Heaps“: Heap Sort, Binärer Heap, Heap Operationen
- VL 10 „Fortgeschrittene Sortiervverfahren“: Quick Sort, Radix Sort
- VL 11 „AVL Bäume“: Definition, Baumoperationen, Traversierung
- VL 12 „Teile und Herrsche II“: Generalisierung des algorithmischen Prinzips, Mastertheorem
- VL 13 „Q & A“: Offene Vorlesung/Wiederholung