

Kapitel 2: Datentyp Liste

- Einleitung
- Listen-Interface
- Liste als Feld: ArrayList
- Einfach verkettete Listen
- Hilfskopfknotentechnik
- Liste als einfach verkettete Liste: LinkedList
- Doppelt verkettete Listen

Listen

Definition

- Eine **Liste** der Länge n ist eine endliche Folge von n Elementen:

$$a_0, a_1, \dots, a_{n-1}$$

- Die Elemente einer Liste der Länge n besitzen eine Position:

$$0, 1, \dots, n-1.$$

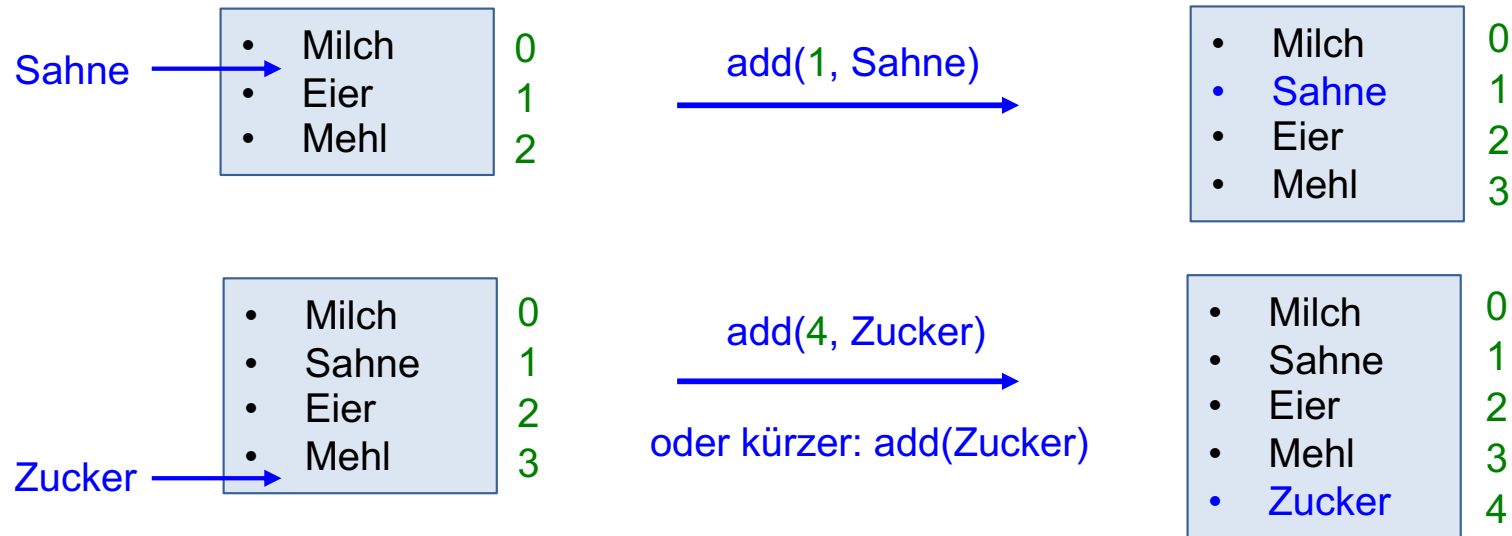
Beispiele:

- Einkaufslisten
- Tagesordnungen
- ...

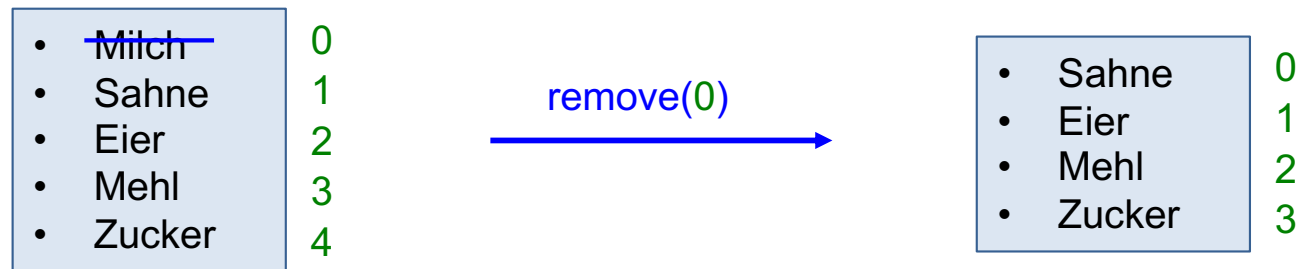
	Position:
• Milch	0
• Eier	1
• Mehl	2
• Zucker	3

Operationen auf Listen

- Einfügen eines Elements x an der Position idx mit $add(idx, x)$:



- Löschen eines Elements an die Position idx mit $remove(idx)$:



Listen-Interface

```
public interface List {
    void add(int x);
    void add(int idx, int x);
    int set(int idx, int x);
    int get(int idx);
    void remove(int idx);
    int size();
    void clear();
    boolean isEmpty();
}
```

- **x** steht für ein **Element** der Liste
- **idx** (Index) steht für eine **Position** in der Liste

- `list.add(x)` fügt `x` in der Liste `list` hinten an; entspricht `list.add(list.size(), x)`
- `list.add(idx, x)` fügt an die Position `idx` das Element `x` ein.
- `list.set(idx, x)` überschreibt das Element an der Position `idx` mit `x`. Der alte Wert wird zurückgeliefert.
- `list.get(idx)` liefert den Wert an der Position `idx`.
- `list.remove(idx)` löscht das Element an der Position `idx`.
- `list.size()` ist die Anzahl Elemente in der Liste `list`.
- `list.clear()` löscht alle Elemente.
- `list.isEmpty()` prüft, ob die Liste `list` leer ist.

Jetzt nur int-Liste; generische Liste später

- In diesem Kapitel sollen vorerst nur int-Listen behandelt werden.
- Die Erweiterung auf beliebige Element-Typen geschieht später als generischer Listentyp.

Generisches Listen-Interface:

```
public interface List<E> {  
    void add(E x);  
    void add(int idx, E x);  
    int set(int idx, E x);  
    E get(int idx);  
    void remove(int idx);  
    int size();  
    void clear();  
    boolean isEmpty();  
}
```

E steht für einen beliebigen Elementtyp

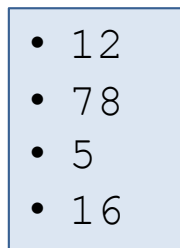
Kapitel 2: Datentyp Liste

- Einleitung
- Listen-Interface
- **Liste als Feld: ArrayList**
- Einfach verkettete Listen
- Hilfskopfknotentechnik
- Liste als einfach verkettete Liste: LinkedList
- Doppelt verkettete Listen

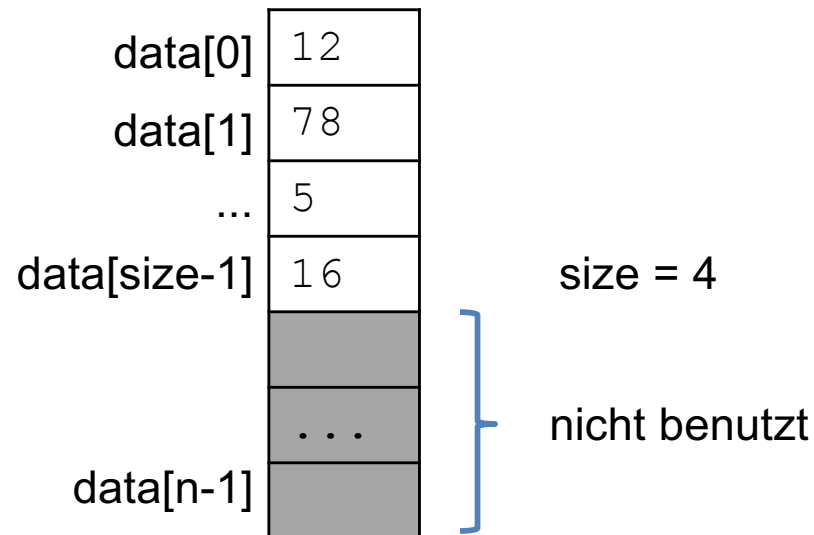
Liste als Feld: class ArrayList (1)

- Die Realisierung einer Liste als Feld ist naheliegend
- Elemente werden lückenlos im Feld gehalten.
Beim Einfügen bzw. Löschen müssen die Elemente verschoben werden.
- Falls das Feld voll ist, muss das Feld vergrößert werden,
d.h. umkopieren in ein größeres Feld.

Liste



Liste als Feld:



Liste als Feld: class ArrayList (2)

```
public class ArrayList implements List {  
  
    public ArrayList() {  
        clear();  
    }  
  
    public final void clear() {  
        size = 0;  
        data = new int[DEF_CAPACITY];  
    }  
  
    public int size() {return size;}  
  
    public boolean isEmpty() {return size == 0;}  
  
    // ...  
  
    private static final int DEF_CAPACITY = 32;  
    private int size;  
    private int[] data;  
}
```

Methode clear ist final und kann damit durch Klassenerweiterungen nicht mehr überschrieben werden.

Wichtig, da das Verhalten des Konstruktors sich nicht mehr ändern darf.

Liste als Feld: class ArrayList (3)

```
public class ArrayList implements List {
    // ...

    public void add(int x) {add(size(), x);}

    public void add(int idx, int x) {
        if (idx < 0 || idx > size)
            throw new IndexOutOfBoundsException();
        if (data.length == size)
            data = Arrays.copyOf(data, 2*size);
        for (int i = size; i > idx; i--) {
            data[i] = data[i-1];
        }
        data[idx] = x;
        size++;
    }

    // ...
}
```

Argument prüfen.

Feld verdoppeln, falls kein Platz mehr ist.

Elemente um eine Position nach rechts verschieben.

Liste als Feld: class ArrayList (4)

```
public class ArrayList implements List {  
  
    // ...  
    public int set(int idx, int x) {  
        if (idx < 0 || idx >= size)  
            throw new IndexOutOfBoundsException();  
        int old = data[idx];  
        data[idx] = x;  
        return old;  
    }  
  
    public int get(int idx) {  
        if (idx < 0 || idx >= size)  
            throw new IndexOutOfBoundsException();  
        return data[idx];  
    }  
  
    public void remove(int idx) {  
        if (idx < 0 || idx >= size)  
            throw new IndexOutOfBoundsException();  
        for (int i = idx; i < size-1; i++)  
            data[i] = data[i+1];  
        size--;  
    }  
}
```

Elemente um eine Position
nach links verschieben.

Liste als Feld: class ArrayList (5)

```
public class ArrayList implements List {  
  
    // ...  
  
    @Override  
    public String toString() {  
        StringBuilder s = new StringBuilder("");  
        for (int i = 0; i < size; i++) {  
            s.append(data[i]).append(", ");  
        }  
        s.append("size = ").append(size);  
        return s.toString();  
    }  
}
```

Liste als Feld: class ArrayList (6)

```
public static void main(String[] args) {  
    List l = new ArrayList();  
    l.add(5);  
    l.add(3);  
    l.add(2);  
    l.add(0,12);  
    System.out.println(l);  
  
    System.out.println(l.get(1));  
    System.out.println(l.set(1,13));  
    System.out.println(l.get(1));  
    System.out.println(l);  
  
    l.remove(1);  
    System.out.println(l);  
}
```

12, 5, 3, 2, size = 4

5
5
13
12, 13, 3, 2, size = 4

12, 3, 2, size = 3

Aufgaben zu ArrayList

Aufgabe 2.1

Erweitern Sie das Interface `List` und die Klasse `ArrayList` um eine Methode `append(List list)`, die eine weitere Liste `list` anhängt.

Sehen Sie auch die Möglichkeit von **verketteten append-Aufrufen** vor (wie bei `StringBuilder`).

```
List l1 = new ArrayList();
l1.add(5); l1.add(2); l1.add(3);

List l2 = new ArrayList();
l2.add(4); l2.add(1);

l1.append(l2); // l1 = {5,2,3,4,1}

l1.append(l2).append(l2); // l1 = {5,2,3,4,1,4,1,4,1}
```

Aufgabe 2.2

Realisieren Sie einen Konstruktor `ArrayList(List list)`, der die Liste mit `list` initialisiert.

Bemerkungen

- Dynamisch wachsende Listen erfordert teures Kopieren in größere Felder.
Falls Feldgrößen verdoppelt werden (wie hier), ist das Umkopieren nicht so häufig notwendig.
Frage: wie oft muss das Feld verdoppelt werden, damit ca. 1 Million Elemente abgespeichert werden können, wenn die Anfangsgröße $2^7 = 128$ ist?
Die Verdopplung der Feldgrößen geht jedoch auf Kosten von nicht benötigtem Speicherplatz.
- Bei schrumpfenden Listen findet keine Anpassung der Felder statt; das ließe sich jedoch durch Umkopieren in kleinere Felder realisieren.
- Zugriff und Ändern von Elementen ist sehr effizient gelöst.
- Einfügen und Löschen von Elementen ist mit teurem Verschieben verbunden. Besonders teuer ist das Einfügen und Löschen am Listenanfang.
- Daher sind oft verkettete Listen (nächste Folie) die bessere Alternative.

Kapitel 2: Datentyp Liste

- Einleitung
- Listen-Interface
- Liste als Feld: ArrayList
- Einfach verkettete Listen
- Hilfskopfknotentechnik
- Liste als einfach verkettete Liste: LinkedList
- Doppelt verkettete Listen

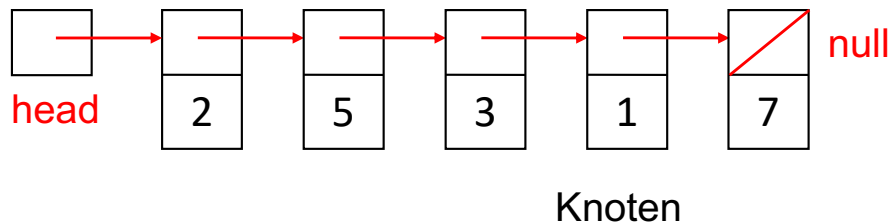
Verkettete Listen

Begriffe

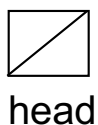
- Eine linear verkettete Liste besteht aus einer Folge von Elementen, die über jeweils eine **Referenz auf das nächste Element** verkettet sind.
- Element und Referenz auf das nächste Element nennt man auch **Knoten** (engl. node).
- Es gibt eine **Referenz auf den ersten Knoten**: wird oft **head** genannt.
- Letzter Knoten enthält die **null-Referenz**.

Beispiel

- Liste mit 5 Knoten:



- leere Liste:



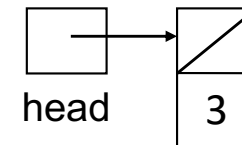
Datentyp Node

Knotentyp Node:

```
class Node {  
  
    Node next;  
    int data;  
  
    Node(int x, Node p) {  
        data = x;  
        next = p;  
    }  
}
```

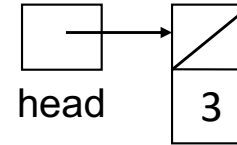
Knoten erzeugen:

```
Node head = new Node(3, null);
```

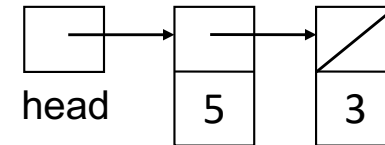


Liste aufbauen durch Einfügen am Anfang

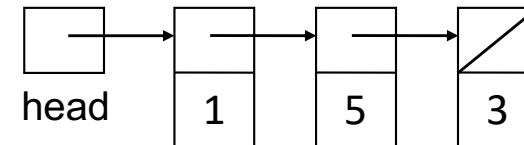
```
Node head = new Node(3, null);
```



```
head = new Node(5, head);
```



```
head = new Node(1, head);
```



- die drei oberen Anweisungen lassen sich auch in eine Anweisung zusammenfassen:

```
head = new Node(1,  
    new Node(5,  
    new Node(3, null)));
```

Liste durch Schleife aufbauen

```
Scanner in = new Scanner(System.in);  
  
Node head = null;  
  
System.out.println("Eingabe: ");  
  
while (in.hasNextInt()) {  
    int x = in.nextInt();  
    head = new Node(x, head);  
}
```

Liste durchlaufen

Liste ausgeben:

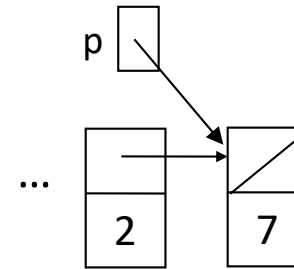
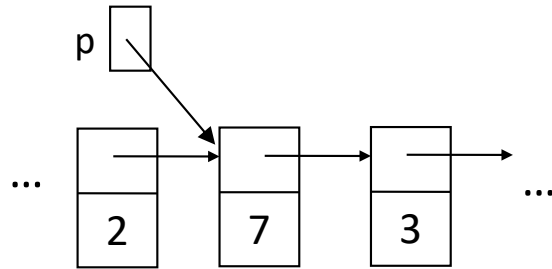
```
for (Node p = head; p != null; p = p.next) {  
    System.out.println(p.data);  
}
```

Liste nach x durchsuchen:

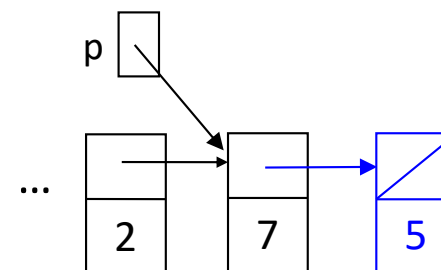
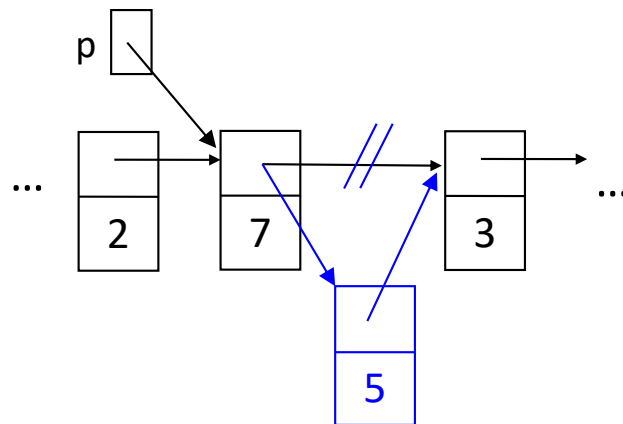
```
Node p;  
for (p = head; p != null; p = p.next) {  
    if (p.data == x)  
        break;  
}  
  
if (p != null)  
    System.out.println(x + " gefunden");  
else  
    System.out.println(x + " nicht gefunden");
```

Einfügen nach einem beliebigen Knoten

- Referenz p auf den Knoten positionieren, nach dem eingefügt werden soll.



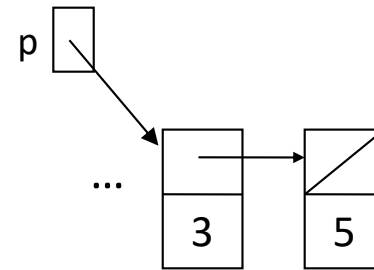
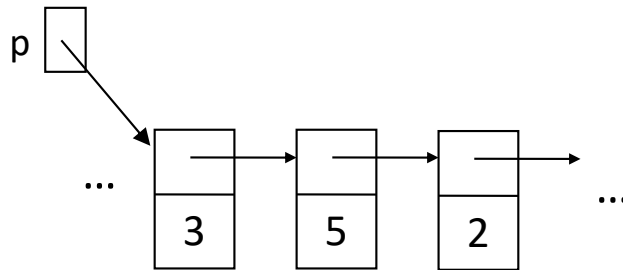
- Einfügen nach p:



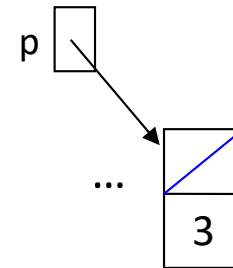
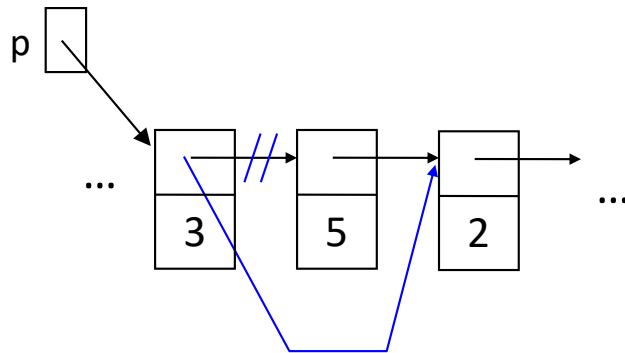
```
p.next = new Node(5, p.next);
```

Löschen nach einem beliebigen Knoten

- Referenz p auf den Knoten positionieren, nach dem ein Knoten gelöscht werden soll. Es muss daher $p.next \neq null$ gelten.

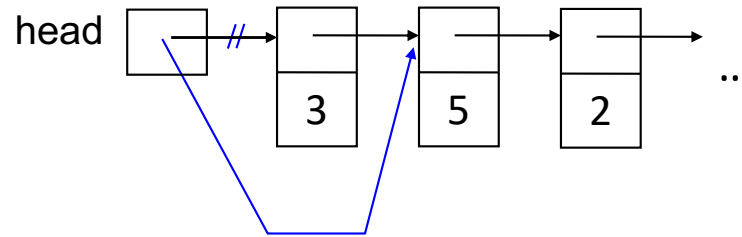


- Löschen des Knotens nach p:



```
p.next = p.next.next;
```

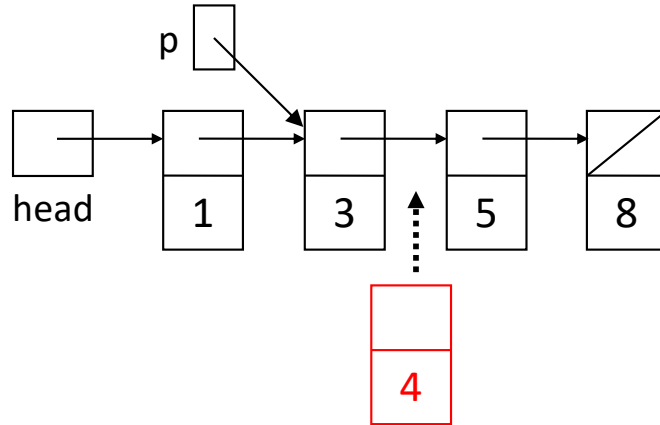
Spezialfall: Löschen des vordersten Knoten



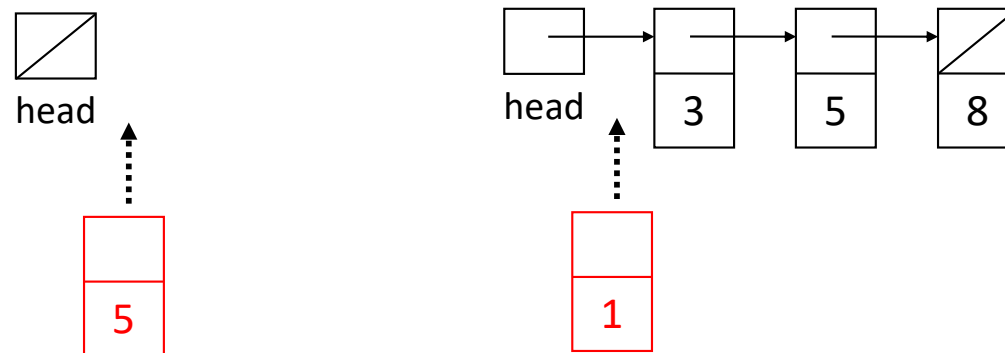
```
head = head.next;
```

Einfügen in sortierte Liste (1)

- Allgemeiner Fall beim Einfügen von x:



- Sonderfälle beim Einfügen von x:
 - Einfügen in leere Liste (d.h. head == null)
 - Einfügen am Anfang (d.h. $x \leq \text{head.data}$)



Einfügen in sortierte Liste (2)

```
// Einfügen von x in sortierte Liste head:
```

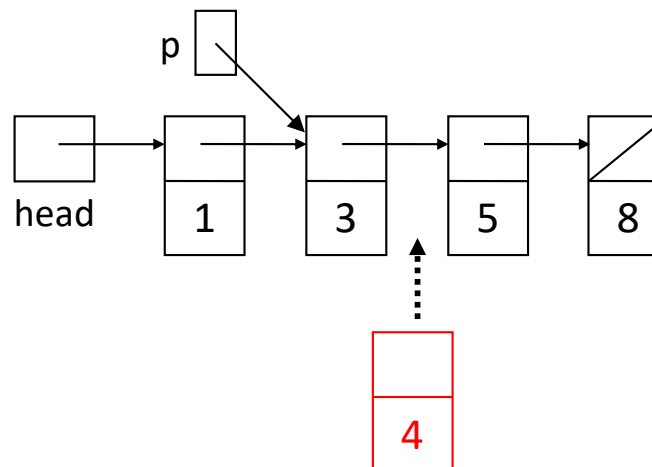
```
if (head == null || x <= head.data) {  
    head = new Node(x, head);  
}  
else {  
    Node p = head;  
    while (p.next != null && p.next.data < x) {  
        p = p.next;  
    }  
    p.next = new Node(x, p.next);  
}
```

Sonderfälle:

- Einfügen in leere Liste
- Einfügen am Listenanfang

Allgemeiner Fall:

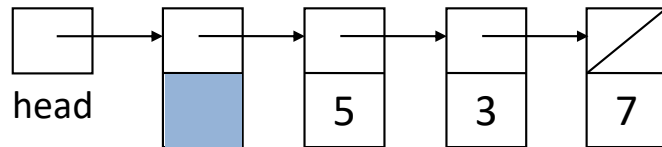
- Einfügen nach einem Knoten



Listen mit Hilfskopfknoten

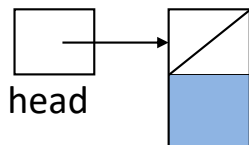
- Am Anfang der Liste wird zusätzlich ein nicht-datenspeichernder Knoten (Hilfskopfknoten; engl. dummy head node) eingefügt.
- Die leere Liste besteht damit genau aus einem Hilfskopfknoten.
- **Vorteil:** In der Regel keine Sonderfälle bei leerer Liste und Behandlung des ersten Datenknotens.

Liste mit einem Hilfskopfknoten und 3 Daten-Knoten:



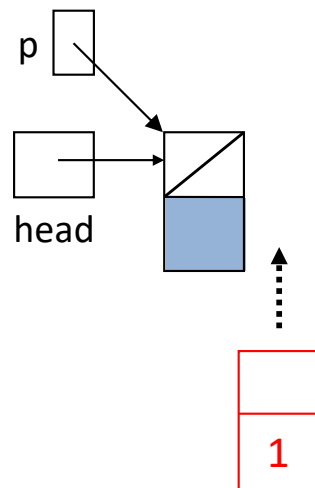
Leere Liste:

Enthält keinen Daten-Knoten.

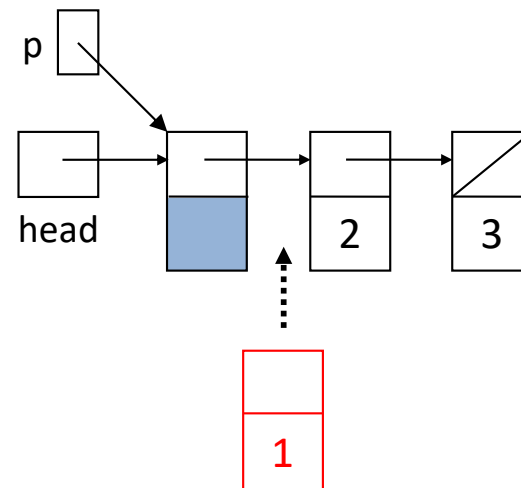


Einfügen in sortierte Liste mit Hilfskopfknoten

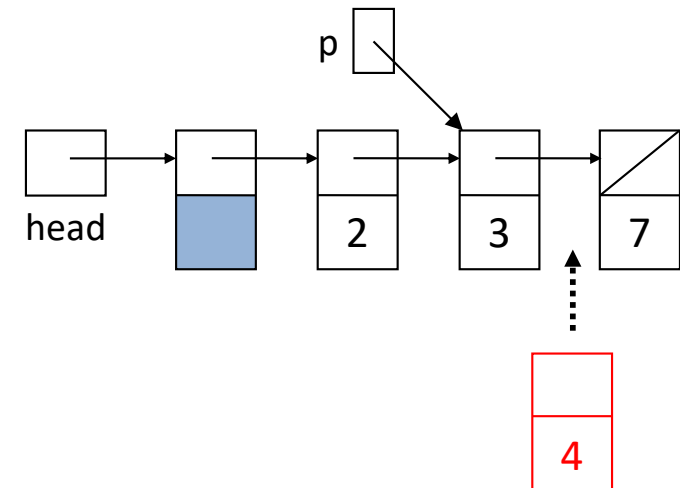
```
// Einfügen von x in sortierte Liste head:  
  
Node p = head;  
while (p.next != null && p.next.data < x) {  
    p = p.next;  
}  
p.next = new Node(x, p.next);
```



Einfügen in
leere Liste



Einfügen am
Listenanfang



Einfügen nach einem
Datenknoten

Kapitel 2: Datentyp Liste

- Einleitung
- Listen-Interface
- Liste als Feld: ArrayList
- Einfach verkettete Listen
- Hilfskopfknotentechnik
- **Liste als einfach verkettete Liste: LinkedList**
- Doppelt verkettete Listen

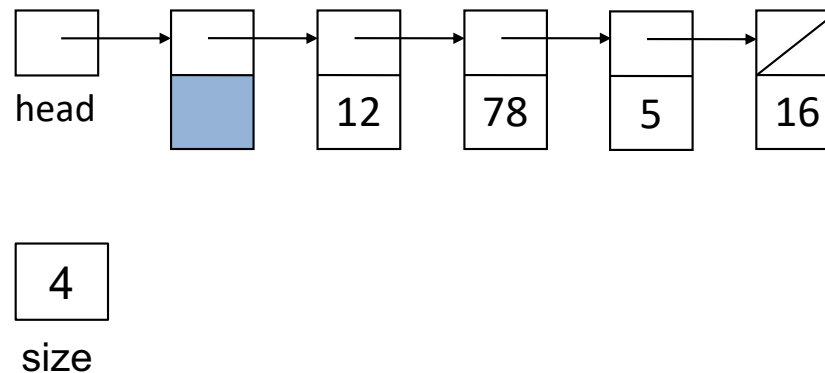
Datentyp Liste als einfach verkettete Liste

- Realisierung einer Liste als einfach verkettete Liste mit Hilfskopfknoten, um Sonderfälle bei den verschiedenen Operationen zu vermeiden.

Liste

- 12
- 78
- 5
- 16

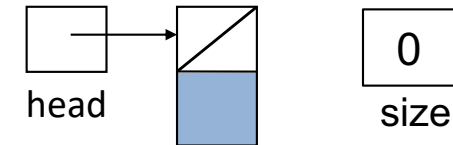
Liste als einfach verkettete Liste :



class LinkedList (1)

```
public class LinkedList implements List {  
  
    public LinkedList() {clear();}  
  
    public final void clear() {  
        head = new Node(0, null);  
        size = 0;  
    }  
  
    // ...  
  
    private static class Node {  
        Node next;  
        int data;  
        Node(int x, Node p) {  
            data = x;  
            next = p;  
        }  
    }  
  
    private Node head;  
    private int size;  
}
```

Konstruktor legt leere Liste mit Hilfskopfknoten an.



Statisch geschachtelte Klasse Node: Verhält sich wie eine Top-Level-Klasse, jedoch ist Node nur innerhalb LinkedList zugreifbar.

Listenobjekt besteht aus head-Referenz für verkettete Liste und Anzahl der Listenelemente.

class LinkedList (2)

```
public class LinkedList implements List {
    // ...

    public int size() {
        return size;
    }

    public boolean isEmpty() {
        return size == 0;
    }

    public void add(int x) {
        add(size(), x);
    }

    public void add(int idx, int x) {
        if (idx < 0 || idx > size)
            throw new IndexOutOfBoundsException();
        Node p = head;
        for (int i = 0; i < idx; i++)
            p = p.next;
        p.next = new Node(x, p.next);
        size++;
    }
}
```

class LinkedList (3)

```
public class LinkedList implements List {  
  
    // ...  
  
    public int set(int idx, int x) {  
        if (idx < 0 || idx >= size)  
            throw new IndexOutOfBoundsException();  
        Node p = head.next;  
        for (int i = 0; i < idx; i++)  
            p = p.next;  
        int old = p.data;  
        p.data = x;  
        return old;  
    }  
  
    public int get(int idx) {  
        if (idx < 0 || idx >= size)  
            throw new IndexOutOfBoundsException();  
        Node p = head.next;  
        for (int i = 0; i < idx; i++)  
            p = p.next;  
        return p.data;  
    }  
}
```


class LinkedList (4)

```
public class LinkedList implements List {

    // ...

    public void remove(int idx) {
        if (idx < 0 || idx >= size)
            throw new IndexOutOfBoundsException();
        Node p = head;
        for (int i = 0; i < idx; i++)
            p = p.next;
        p.next = p.next.next;
        size--;
    }

    @Override
    public String toString() {
        StringBuilder s = new StringBuilder("");
        for (Node p = head.next; p != null; p = p.next) {
            s.append(p.data).append(", ");
        }
        s.append("size = ").append(size);
        return s.toString();
    }
}
```

class LinkedList (5)

```
public static void main(String[] args) {  
    List l = new LinkedList();  
    l.add(5);  
    l.add(3);  
    l.add(2);  
    l.add(0,12);  
    System.out.println(l);  
  
    System.out.println(l.get(1));  
    System.out.println(l.set(1,13));  
    System.out.println(l.get(1));  
    System.out.println(l);  
  
    l.remove(1);  
    System.out.println(l);  
}
```

12, 5, 3, 2, size = 4

5
5
13
12, 13, 3, 2, size = 4

12, 3, 2, size = 3

Aufgaben zu LinkedList

Aufgabe 2.3

Erweitern Sie die Klasse `LinkedList` um eine Methode `removeElement(int x)`, die aus der Liste das erste Element mit dem Wert `x` löscht.

Aufgabe 2.4

Erweitern Sie die Klasse `LinkedList` um eine Methode `removeAllElement(int x)`, die aus der Liste alle Elemente mit dem Wert `x` löscht.

Aufgabe 2.5

Erweitern Sie die Klasse `LinkedList` um eine Methode `append(List list)`, die eine weitere Liste `list` anhängt.

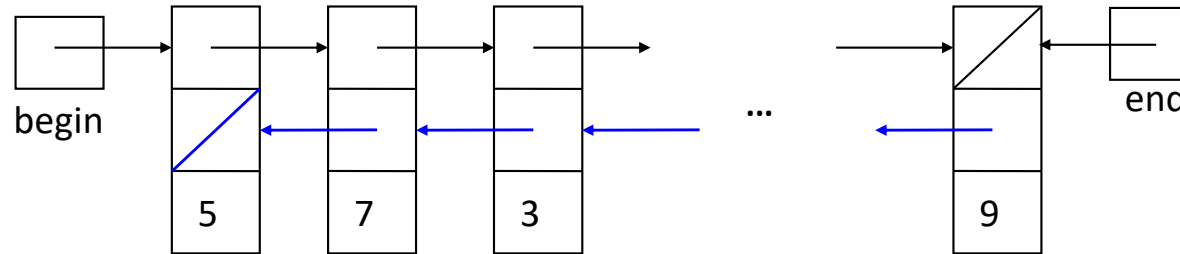
Aufgabe 2.6

Realisieren Sie einen Konstruktor `LinkedList(List list)`, der die verkettete Liste mit `list` initialisiert.

Kapitel 2: Datentyp Liste

- Einleitung
- Listen-Interface
- Liste als Feld: ArrayList
- Einfach verkettete Listen
- Hilfskopfknotentechnik
- Liste als einfach verkettete Liste: LinkedList
- Doppelt verkettete Listen

Doppelt verkettete Liste

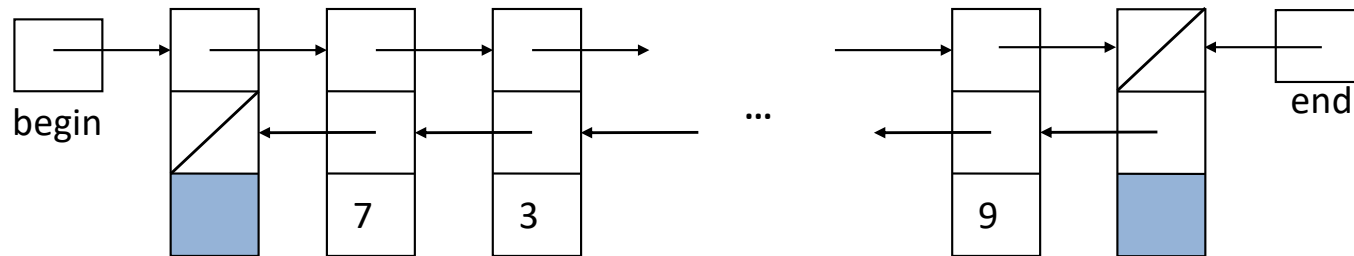


- Jeder Knoten enthält zusätzlich einen Zeiger auf den **Vorgängerknoten**.
- Damit effizienter Zugriff auf Vorgängerknoten möglich.
- Oft ist auch Speicherung einer Referenz auf den letzten Knoten geschickt.
- Andere Bezeichnungen: begin als Referenz auf den ersten Knoten und end als Referenz auf den letzten Knoten.

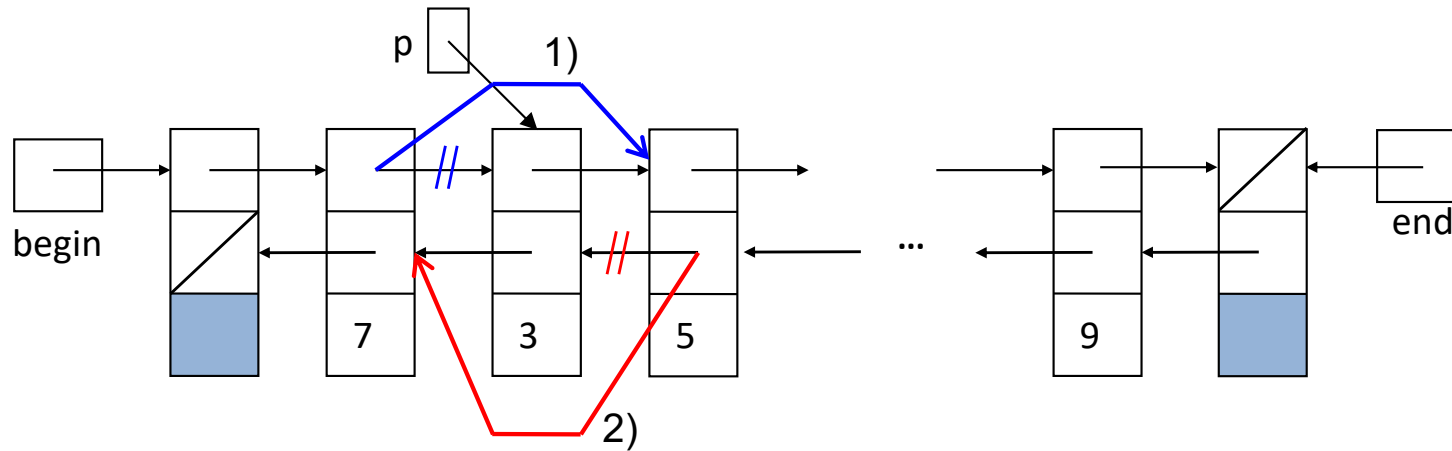
```
class Node {  
  
    Node next;  
    Node prev; // previous  
    int data;  
  
    Node(int x, Node n, Node p) {  
        data = x;  
        next = n;  
        prev = p;  
    }  
}
```

Doppelt verkettete Liste mit Hilfsknoten

- Durch zusätzliche nicht datenspeichernde **Hilfsknoten** am Anfang und am Ende werden Behandlung von Spezialfällen überflüssig.

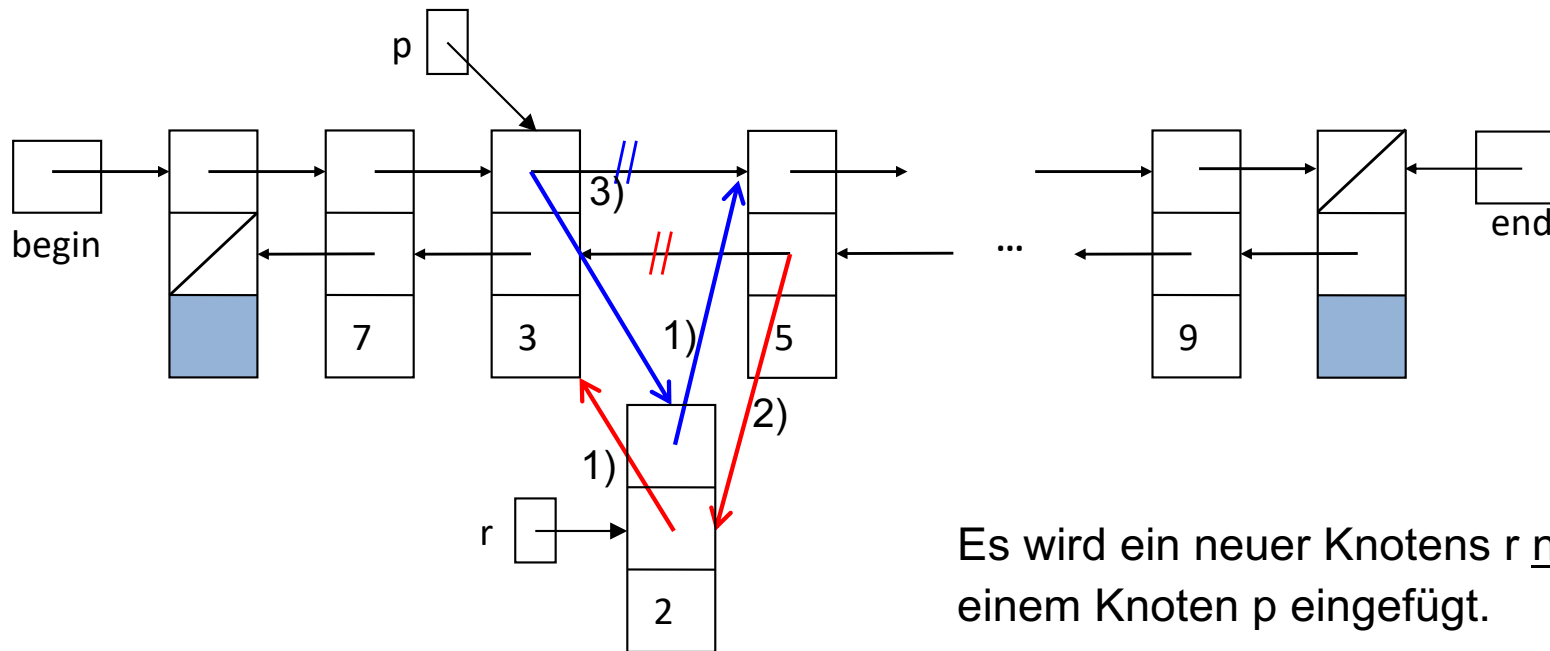


Löschen eines (Daten-)Knotens p:



```
p.prev.next = p.next; // 1)  
p.next.prev = p.prev; // 2)
```

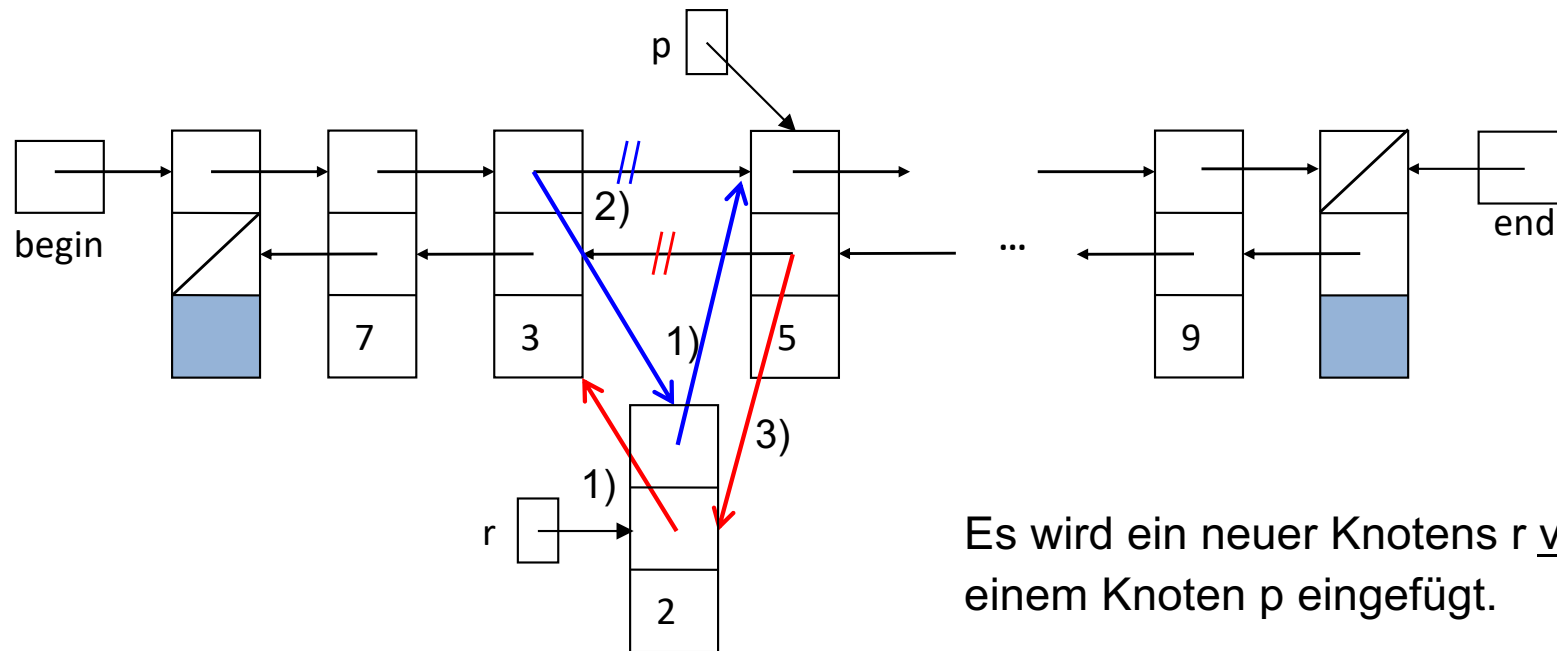
Einfügen nach einem Knoten p



Es wird ein neuer Knotens r nach einem Knoten p eingefügt.

```
Node r = new Node(x, p.next, p); // 1)
r.next.prev = r; // 2)
p.next = r; // 3)
```


Einfügen vor einem Knoten p



Es wird ein neuer Knotens *r* vor einem Knoten *p* eingefügt.

```
Node r = new Node(x, p, p.prev); // 1)
r.prev.next = r; // 2)
p.prev = r; // 3)
```

Aufgabe zu doppelt verketteten Listen

Aufgabe 2.7

Der Typ Liste soll nun mit doppelt verketteten Listen mit Hilfskopfknoten realisiert werden.

- Definieren Sie die Methode `clear()`.
- Definieren Sie die Methode `add(i,x)` so, dass bei höheren Indexwerten `i` die Liste von hinten nach vorne durchlaufen wird.

```
public class DoubleLinkedList
    implements List {

    private static class Node {
        private Node next;
        private Node prev; // previous
        private int data;

        public Node(int x, Node n, Node p){
            data = x;
            next = n;
            prev = p;
        }
    }

    private Node begin;
    private Node end;
    private int size;

    // ...
}
```