# EINI LW

## Einführung in die Informatik für Naturwissenschaftler und Ingenieure

### Vorlesung 2 SWS WS 11/12

**Dr. Lars Hildebrand**
**Fakultät für Informatik – Technische Universität Dortmund**
**lars.hildebrand@udo.edu**
**http://ls1-www.cs.uni-dortmund.de**

technische universität dortmund

Dr. Lars Hildebrand

- **Kapitel 8**
  **Dynamische Datenstrukturen**
  - Listen
  - Bäume

- **Unterlagen**
- Echtle, Goedicke: Einführung in die objektorientierte Programmierung mit Java, dpunkt-Verlag.
- Doberkat, Dissmann: Einführung in die objektorientierte Programmierung mit Java, Oldenbourg-Verlag, 2. Auflage

# Übersicht

## Begriffe

- Spezifikationen, Algorithmen, formale Sprachen, Grammatik
- Programmiersprachenkonzepte
- Grundlagen der Programmierung

- Algorithmen und Datenstrukturen
  - Felder
  - Sortieren
  - Rekursive Datenstrukturen (Baum, binärer Baum, Heap)
  - Heapsort

- Objektorientierung
  - Einführung
  - Vererbung
  - Anwendung

- Dynamische Datenstrukturen
  - Strukturen, die je nach Bedarf und damit dynamisch wachsen und schrumpfen können
  - Unterschied zu Feldern/Arrays!

- Grundidee
  - Dynamische Datenstrukturen bilden Mengen mit typischen Operationen ab
  - Einzelne Elemente speichern die zu speichernden / zu verarbeitenden Daten
  - Einzelne Elemente werden durch dynamische Datenstrukturen verknüpft
  - also: Trennung von Datenstrukturierung & Nutzdaten

- Art der Elemente ist problemabhängig, variiert je nach Anwendung

- Für die Verknüpfung existieren typische Muster:
  - Listen,
  - Bäume,
  - Graphen,
  - ...

- Objektorientierte Sicht

  Dynamische Datenstrukturen sind durch die Art der Verknüpfung der Elemente und die Zugriffsmethoden charakterisiert

# Wichtige dynamische Datenstrukturen

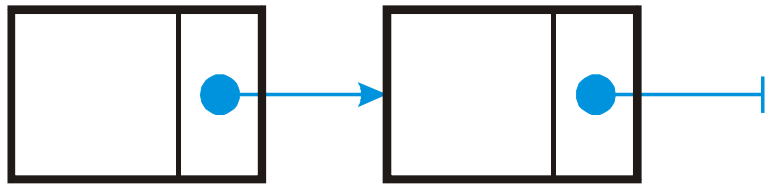
- Listen
  - lineare Listen
  - doppelt verkettete Listen
- Bäume
  - binäre Bäume
  - binäre Suchbäume
- Graphen
  - gerichtete Graphen
  - ungerichtete Graphen
- Stack
- Schlangen
- Mengen

# Fragen zur Organisation der Datenstrukturen

- Funktionen
  - Wie wird eine Instanz der Struktur initialisiert?
  - Wie werden Daten eingefügt,
  - modifiziert,
  - entfernt?
- Wie wird in den Strukturen navigiert?
- Wie werden einzelne Werte in einer Struktur wiedergefunden?
- Wie werden alle in einer Struktur abgelegten Werte besucht?

- Grundlage für den Aufbau dynamischer Datenstrukturen
  - Klassen enthalten Attribute (hier **`weiter`**), die Referenzen auf Objekte der **eigenen Klasse** darstellen
  - Diese Attribute schaffen die Möglichkeit, an eine Referenz ein weiteres Objekt der Klasse zu binden
  - Die einzelnen Objekte sind in der Lage, gemeinsam eine komplexe Struktur durch **aufeinander verweisende Referenzen** zu bilden

```
class Element {
   Element weiter;
   ...
}
```



# Listen

- Listen definieren eine **Reihenfolge von Elementen**, die gemäß dieser Reihenfolge miteinander verknüpft sind
- Typische Zugriffsmethoden:
  - Einfügen am Anfang, Einfügen an bestimmter Stelle
  - Anfügen (d.h. Einfügen am Ende)
  - Ermittlung der Länge, Prüfen, ob die Liste leer ist
  - Prüfen, ob Element in Liste vorkommt
  - Ermittlung der Position eines Elements
  - Ermittlung des ersten Elements
  - Liefern der Liste ohne erstes Element
- Nicht immer sind alle Methoden realisiert, aber man redet dennoch von Listen.

# Bestandteile einer Liste

technische universität dortmund
Dr. Lars Hildebrand

```
class Element {
    private int wert;          // Nutzinformation
    private Element weiter; //Verwaltungsinformation

    public Element(int i) {
        wert = i;
        weiter = null;
    }
}
```

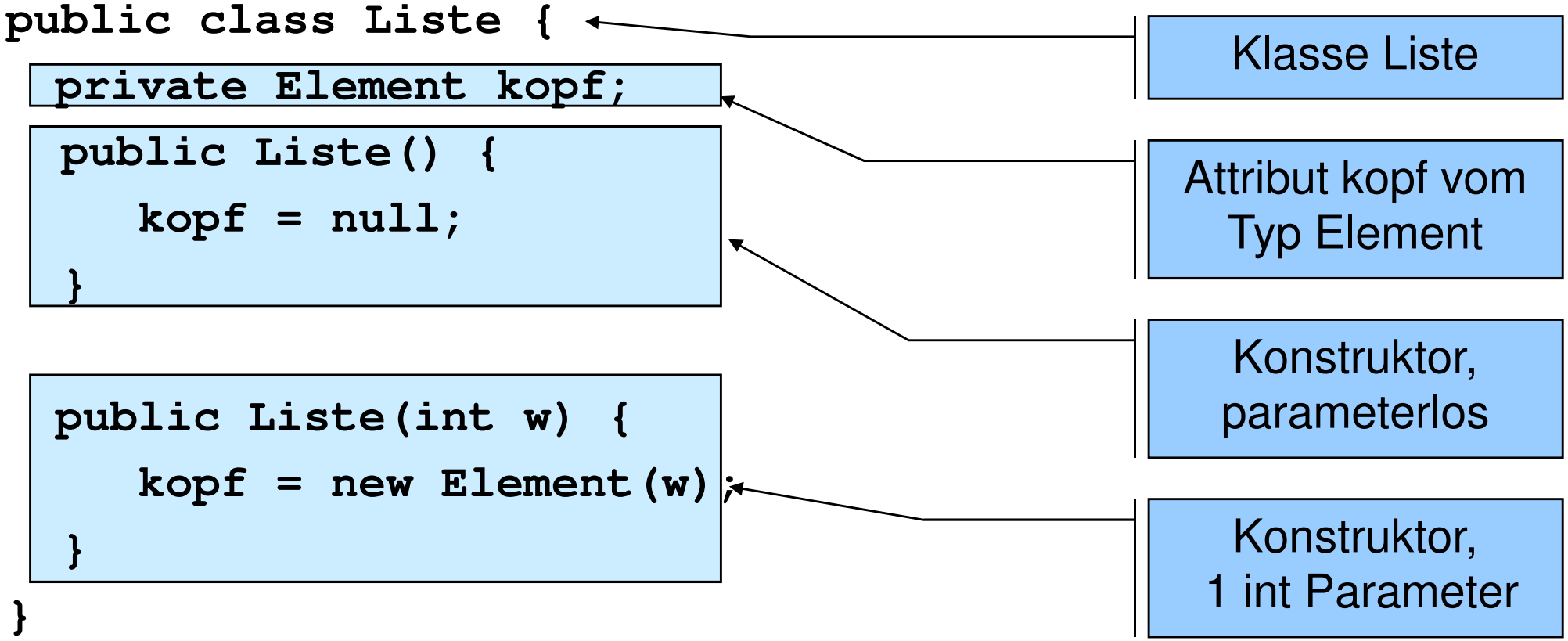
- Deklaration einer Klasse **`Element`** mit zwei **privaten Attributen** und einem **Konstruktor**
- Ein Objekt vom Typ Element enthält als **Attribute** eine **ganze Zahl** und eine Referenz auf ein **weiteres Objekt** des Typs **`Element`**
- **Jedes** Objekt vom Typ **`Element`** besitzt eine Referenz auf ein weiteres Element, man kann sie miteinander verketten

# Bestandteile einer Liste



Dr. Lars Hildebrand

- Woraus besteht eine Liste?
  - Elementen, die in der Liste gespeichert werden
  - Liste selber, die existiert, auch wenn kein Element gespeichert ist.



# Konstruktion von Listen



Dr. Lars Hildebrand

- Eine lineare Liste kann auf verschiedene Arten konstruiert werden
  - Neues Element an den Anfang,
  - in die Mitte oder
  - an das Ende einer **bereits bestehenden** Liste anhängen

- Zugriff auf die Liste wird durch eine Referenz realisiert,
  - die in der Klasse Liste realisiert ist,
  - die auf das erste Element der Liste zeigt.
  - Enthält eine Liste keine Elemente, zeigt die Referenz auf **`null`**.

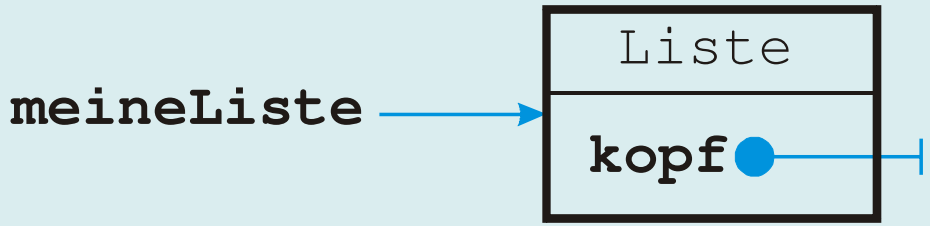
# Schema der Klasse lineare Liste

technische universität dortmund
Dr. Lars Hildebrand

## Was können wir an diesem Punkt mit der Liste tun?

- Eine **leere Liste** erzeugen:

```
Liste meineListe = new Liste();
```




- Eine **Liste mit einem Element** erzeugen:

```
Liste meineListe = new Liste(42);
```

technische universität dortmund
Dr. Lars Hildebrand

## Was fehlt noch?

- Typische Zugriffsmethoden:
  - Einfügen am Anfang, Einfügen an bestimmter Stelle
  - Anfügen (d.h. Einfügen am Ende)
  - Ermittlung der Länge, Prüfen, ob die Liste leer ist
  - Prüfen, ob Element in Liste vorkommt
  - Ermittlung der Position eines Elements
  - Ermittlung des ersten Elements
  - Liefern der Liste ohne erstes Element

technische universität dortmund
Dr. Lars Hildebrand

# Notwendige Ergänzungen an der Klasse Element

```
class Element {
  private int wert;
  private Element weiter;

  public Element(int i) { wert = i; weiter = null; }
  public Element(int i, Element e) { wert = i; weiter = e; }

  public void SetzeWert(int i) {
       wert = i;
  }
  public int HoleWert() {
       return wert;
  }
  public void SetzeWeiter(Element e) {
       weiter = e;
  }
  public Element HoleWeiter() {
       return weiter;
  }
}
```

# Klasse Element: Vollständig

## Anmerkungen zu den Ergänzungen

- zusätzlicher Konstruktor, der das neue Element **vor** ein bestehendes Element einreiht

- Get- und Set-methoden zum Zugriff auf die privaten Attribute
  - `public void SetzeWert(int i)`
  - `public int HoleWert()`
  - `public void SetzeWeiter(Element e)`
  - `public Element HoleWeiter()`

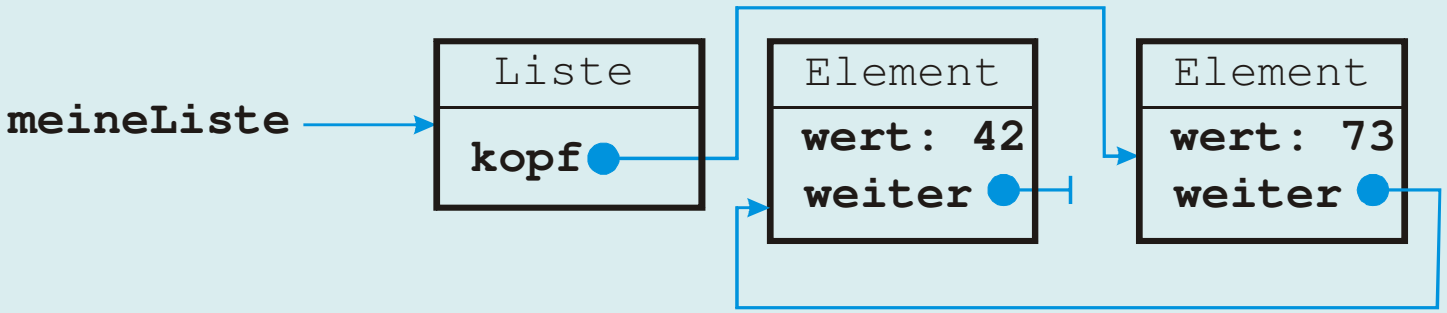
# An den Anfang der Liste einfügen

technische universität dortmund
Dr. Lars Hildebrand

```
class Liste {
    ...
    public void FuegeEin(int neuerWert) {
        kopf = new Element(neuerWert, kopf);
    }
}
```

```
Liste meineListe = new Liste(42);
```


```
meineListe.FuegeEin(73);
```



# An den Anfang der Liste einfügen

## Anmerkungen zu FuegeEin()

- Ein neues Element wird erzeugt
  - `kopf = new Element(neuerWert, kopf);`
  - `neuerWert` enthält die Nutzinformation
  - `kopf` enthält die Referenz auf das alte erste Element
  - das neue Element referenziert das alte erste Element

- Das neue Element wird zum neuen Kopf der Liste
  - `kopf = new Element(neuerWert, kopf);`

- Wichtig ist, dass die Referenz auf das alte erste Element nicht verloren geht

# Ausgeben der Liste



Dr. Lars Hildebrand

```
public class Liste {
    ...
     public void ZeigeListe() {
        Element aktuellesElement = this.kopf;
        while (aktuellesElement != null) {
           System.out.println( aktuellesElement.HoleWert());
           aktuellesElement = aktuellesElement.HoleWeiter();
        }
     }
}
```

```
Liste meineListe = new Liste(42);
meineListe.FuegeEin(73);
meineListe.ZeigeListe();
```

```
> run TestListe
73
42
```

technische universität dortmund
Dr. Lars Hildebrand

## Anmerkungen zu ZeigeListe()

- Anzahl der Elemente variabel, daher Programmierung einer Schleife notwendig
- Start ist das Element auf das **`kopf`** verweist

```
Element aktuellesElement = this.kopf;
```

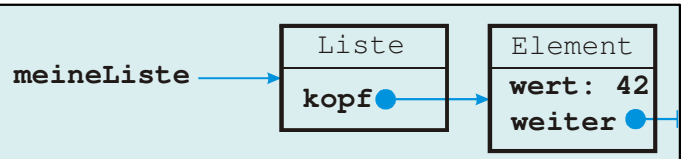
- Ist kein Element in der Liste gespeichert, verweist **`kopf`** auf **`null`**
- Solange das aktuelle Element **`!= null`** gilt
  - wird der Wert des aktuellen Elementes ausgegeben
    `System.out.println( aktuellesElement.HoleWert());`
  - das aktuelle Element auf das nächste Element gesetzt
    `aktuellesElement = aktuellesElement.HoleWeiter();`

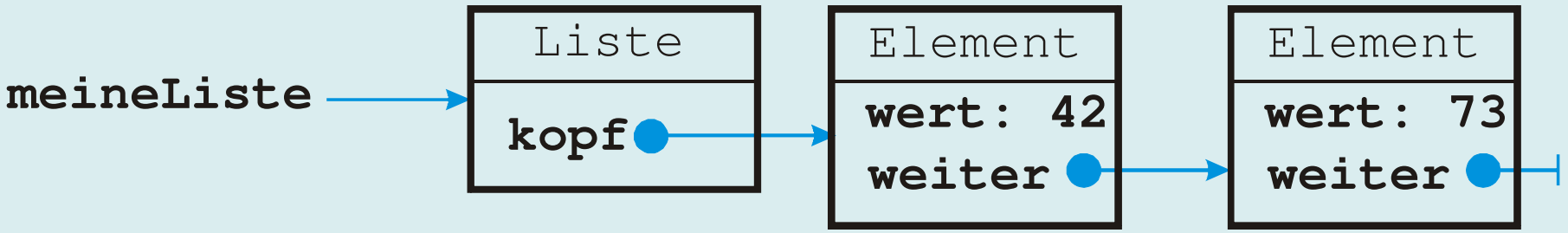
# An das Ende der Liste anfügen

technische universität dortmund
Dr. Lars Hildebrand

```
public class Liste {
    ...
    public void FuegeAn(int neuerWert) {
        Element aktuellesElement = this.kopf;
        if (aktuellesElement == null) FuegeEin(neuerWert);
        else {
            while (aktuellesElement.HoleWeiter() != null) {
                aktuellesElement = aktuellesElement.HoleWeiter();
            }
            aktuellesElement.SetzeWeiter(new Element(neuerWert));
}}}
```

```
Liste meineListe = new Liste(42);
meineListe.FuegeAn(73);
```



technische universität dortmund
Dr. Lars Hildebrand

## Anmerkungen zu FuegeAn()

- Anzahl der Elemente variabel, daher Programmierung einer Schleife notwendig
- Start ist das Element auf das **`kopf`** verweist

```
Element aktuellesElement = this.kopf;
```

- Ist kein Element in der Liste gespeichert, kann das neue Element mit `FuegeEin()` eingetragen werden
- Ansonsten muss das Ende der Liste gesucht werden

```
while (aktuellesElement.HoleWeiter() != null) {
            aktuellesElement = aktuellesElement.HoleWeiter();
}
```

- Dann kann dort das neue Element mit dem letzten Element verbunden werden.

```
aktuellesElement.SetzeWeiter(new Element(neuerWert));
```

# Etwas testen…



```
public class TestListe {
  public static void main(String[] args) {
    Liste meineListe = new Liste(42);
    meineListe.FuegeEin(73);
    meineListe.ZeigeListe();

    meineListe = new Liste();
    meineListe.ZeigeListe();
    meineListe.FuegeEin(42);
    meineListe.FuegeAn(73);
    meineListe.ZeigeListe();
}}
```

```
> run TestListe
73
42
42
73
```

# Effizienz der Klasse lineare Liste

## Aufwand

- Erzeugen einer Liste
  - eine Instanziierung
- **`FuegeEin()`**
  - unabhängig von der Anzahl der gespeicherten Elemente
- **`ZeigeListe()`**
  - abhängig von der Anzahl der gespeicherten Elemente
- **`FuegeAn()`**
  - Erfordert bei jedem Aufruf ein vollständiges Durchlaufen der Liste
  - Eine sehr viel effizientere Realisierung dieser Listenoperation wäre möglich,
    - wenn neben dem ersten Element
    - auch das letzte Element der Liste
  - unmittelbar erreichbar wäre

technische universität dortmund
Dr. Lars Hildebrand

## Änderungen an den Attributen & Konstruktoren

- Neues Attribut **`fuss`**, das das letzte Element der Liste referenziert
- Setzen von **`fuss`** in den Konstruktoren

```
public class EffizienteListe {

  private Element kopf;
  private Element fuss;

  public EffizienteListe() {
    kopf = null;
    fuss = null;
  }

  public EffizienteListe(int w) {
    kopf = new Element(w);
    fuss = kopf;
  }
```

technische universität dortmund
Dr. Lars Hildebrand

## Änderungen an der Methode FuegeAn()

- kein Suchen nach dem Ende der Liste
- das letzte Element der Liste ist immer in **`fuss`** gespeichert
- direkter Zugriff auf das letzte Element möglich

```
public void FuegeAn(int neuerWert) {
  Element neuesElement = new Element(neuerWert);
  if (fuss == null) {
    kopf = neuesElement;
    fuss = neuesElement;
  } else {
    fuss.SetzeWeiter(neuesElement);
    fuss = neuesElement;
  }
}
```

technische universität dortmund
Dr. Lars Hildebrand

## Änderungen an der Methode FuegeEin()

- Sonderfall, falls noch kein Element in der Liste ist
- da nur dann die **`fuss`**-Referenz berücksichtigt werden muss

```
public void FuegeEin(int neuerWert) {
  kopf = new Element(neuerWert, kopf);
  if (fuss == null)
    fuss = kopf;
}
```

technische universität dortmund

Dr. Lars Hildebrand

## Änderungen an der Methode ZeigeListe()

- keine

```
public void ZeigeListe() {
      Element aktuellesElement = this.kopf;
      while (aktuellesElement != null) {
         System.out.println( aktuellesElement.HoleWert());
         aktuellesElement = aktuellesElement.HoleWeiter();
      }
   }
```

technische universität dortmund
Dr. Lars Hildebrand

## Änderungen an der Klasse Element

- keine
  - Alle Änderungen betreffen die Verwaltungsinformationen der Klasse Liste
  - Die Klasse Element bleibt völlig **unbeeinflusst**
  - Die Methode `fuegeAn()` hat aber nun eine konstante Laufzeit
  - Die Laufzeit der Methode `fuegeAn()` der alten, ineffizienten Variante war abhängig von der Anzahl der bereits gespeicherten Elemente.

# Einfügen in geordnete Liste



Dr. Lars Hildebrand

- Einordnen eines Werts in eine aufsteigend geordnete Liste
- Keine zwei Elemente haben die identische Belegung des Attributs **`wert`**
- Der Algorithmus ist auf natürliche Weise rekursiv
- Idee:
  - Sei *x* der einzufügende Wert
  - 1. Fall: *x* kleiner als 1. Element => Einfügen am Anfang
  - 2. Fall: *x* größer als 1. Element:
    - Suche passende Position in der Liste
    - Trenne Liste in Anfangs- und Endteil auf
    - Setze Element an den Anfang des Endteils und verbinde Teillisten
    - Falls *x* größer als letztes Element der Liste, ist x der Endteil.

# Einfügen in geordnete Liste



**Präzisierung des Algorithmus:** Folgende Fälle sind zu unterscheiden:

- **`kopf == null`**
  - Einen Sonderfall bildet die Situation, dass die Liste leer ist, also noch kein Element enthält.
  - Es muss ein erstes Element angelegt werden, das sicherlich eine geordnete, einelementige Liste bildet.

- **`kopf != null:`**
  - Wir definieren eine private Methode **`Positioniere`**, die als Parameter den einzuordnenden Wert und eine Referenz auf den Anfang einer Teilliste übergeben bekommt.
  - Als Ergebnis gibt **`Positioniere`** eine Referenz auf **`Element`** zurück, die auf die Teilliste verweist, in die *x* einsortiert ist.

# Einfügen in geordnete Liste



- Sei **`anfang`** die an **`Positioniere`** übergebene Teilliste und gelte:
  - **`x < anfang.wert:`**
    - Erzeuge ein neues Element und füge es am Anfang der bei **`anfang`** beginnenden Teilliste ein.
  - **`x > anfang.wert:`**
    - Füge x in die mit **`anfang.weiter`** beginnende Restliste ein,
    - indem hierfür **`Positioniere`** mit den entsprechenden Parametern erneut aufgerufen wird.

# Einordnen mit Hilfe von Positioniere



Dr. Lars Hildebrand

```
class Liste {
  ...

  void OrdneEin(int i) {
       kopf    = Positioniere(kopf, i);
  }

private Element Positioniere(Element einElement, int i) {

  if (einElement == null)
      einElement = new Element(i);

    else {
      if (i < einElement.HoleWert()) {
        einElement = new Element(i, einElement);
      }

      if (i > einElement.HoleWert())
        einElement.SetzeWeiter(
             Positioniere(einElement.HoleWeiter(), i));
    }

    return einElement;
  }
```

# Durchlaufen einer Struktur



Dr. Lars Hildebrand

- In vielen Anwendungen, die auf dynamischen Datenstrukturen basieren, besteht die Notwendigkeit, alle Elemente der Struktur genau einmal zu besuchen
- Dies gilt für Listen wie für andere dynamische Strukturen
- Dieses möglichst nur einmalige Besuchen aller Elemente nennt man **Durchlaufen einer Struktur**
- Anwendungsbeispiele: Prüfen auf Vorhandensein, Einsortieren, aber auch Ausgabe

# Durchlaufen einer Liste



```
class Liste {
  ...
  public void ZeigeListe() {
    Element aktuellesElement = this.kopf;
    while (aktuellesElement != null) {
      System.out.println(aktuellesElement.HoleWert());
      aktuellesElement = aktuellesElement.HoleWeiter();
    }
  }

  public void ZeigeListeRekursiv() {
    ZeigeListeRekursiv(kopf);
  }

  private void ZeigeListeRekursiv(Element aktuellesElement) {
    if (aktuellesElement != null) {
      System.out.println(aktuellesElement.HoleWert());
      ZeigeListeRekursiv(aktuellesElement.HoleWeiter());
    }
  }
}
```

# Durchlaufen einer Liste



Dr. Lars Hildebrand

- Durchlauf einer Liste in **umgekehrter** Reihenfolge:
  - Referenz **`fuss`** verweist zwar auf das letzte Element einer Liste, kann jedoch nicht von dort zum vorletzten Element gelangen
  - Für eine umgekehrte Ausgabe müssen alle Listenelemente gemerkt werden, während die Liste vom Anfang zum Ende durchläuft
  - Erst nach einmaligem Durchlaufen kann vom letzten bis zum ersten Element gedruckt werden
- Großer Aufwand?

# Durchlaufen einer Liste

## Einsatz der rekursiven Variante

- analog zu **`ZeigeListeRekursiv()`**
- aber: rekursiver Aufruf und Ausgabe vertauscht

```
public void ZeigeListeUmgekehrt() {
  ZeigeListeUmgekehrt(kopf);
}

private void ZeigeListeUmgekehrt(Element
aktuellesElement) {
  if (aktuellesElement != null) {
    ZeigeListeUmgekehrt(aktuellesElement.HoleWeiter());
    System.out.println(aktuellesElement.HoleWert());
  }
}
```

# Etwas testen…

technische universität dortmund

Dr. Lars Hildebrand

```
public class TestListe {
  public static void main(String[] args) {

    Liste meineListe = new Liste(42);
    meineListe.OrdneEin(7);
    meineListe.OrdneEin(73);
    meineListe.OrdneEin(1);
    meineListe.OrdneEin(50);

    meineListe.ZeigeListeRekursiv();
    meineListe.ZeigeListeUmgekehrt();
}}
```

```
> run TestListe
1
7
42
50
73
73
50
42
7
1
```

# Doppelt verkettete Listen

Dr. Lars Hildebrand

- Wird der Durchlauf vom Ende einer Liste zu ihrem Anfang häufig benötigt, dann ist die lineare Verkettung von vorne nach hinten nicht der ideale Navigationspfad

- Besser wäre es dann, auch eine **Rückwärtsverkettung** zu haben

- Auf Grund dieser Überlegung kommt man zur **doppelt verketteten Liste**

- Die lokale Klasse **`Element`** enthält eine zweite Referenz **`voran`**, die genau entgegengesetzt zu **`weiter`** gerichtet ist und somit für jedes Element innerhalb der Liste auf seinen direkten Vorgänger verweist.

# Zusammenfassung

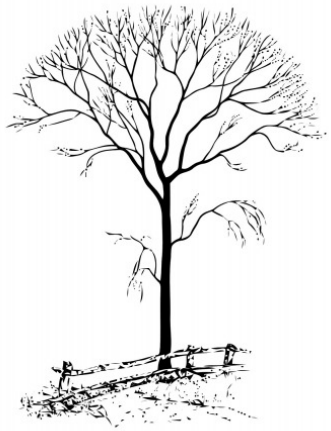


Dr. Lars Hildebrand

- Dynamische Datenstrukturen
  - können zur Laufzeit wachsen und schrumpfen
  - werden durch Nutzinformation und Verwaltungsinformation realisiert
  - Verwaltungsinformation ist Referenz auf eigene Klasse

- Listen
  - Einfache Listen
  - Einfache Listen mit Referenz auf das letzte Element
  - Sortierte Listen
  - Doppelt verkettete Listen

- Wie geht es weiter?



technische universität dortmund

Dr. Lars Hildebrand

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

## Nächste Termine

- Letzte Vorlesung

3.2.2012, 08:15
Campus Nord
EF50, HS 1