

Grundlagen der Programmierung

Dr. Christian Herzog
Technische Universität München

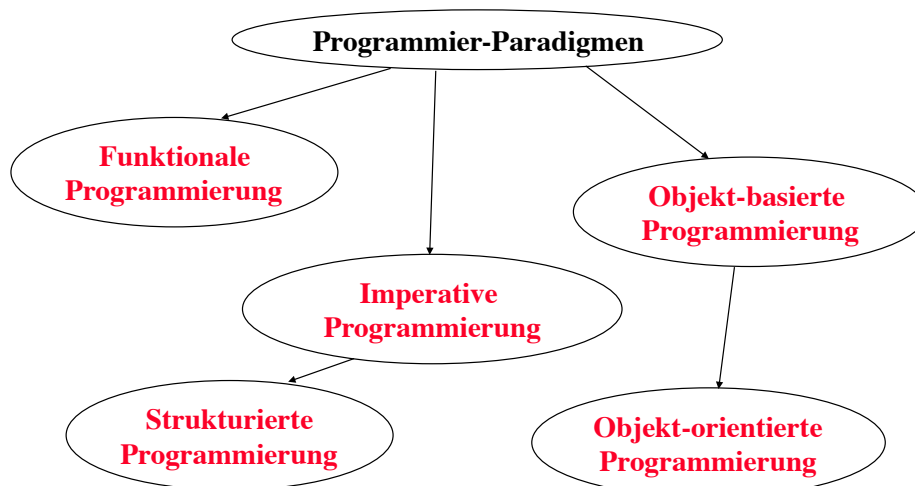
Wintersemester 2014/2015

Kapitel 8: Objektorientierter Programmierstil

Überblick: Wo stehen wir?

- ❖ **Funktionale Programmierung:** Ein Programm ist eine Menge von Funktionen. Die Ausführung des Programms besteht in der Berechnung eines Ausdrucks mit Hilfe der Funktionen und liefert Ergebniswerte
- ❖ **Imperative Programmierung:** Ein Programm besteht aus einer Menge von Daten und Operationen (Prozeduren, Funktionen). Die Ausführung des Programms verändert die Werte dieser Daten. Die Operationen sind nicht an die Daten gebunden.
 - **Strukturierte Programmierung:** Alle imperativen Programme können mit Zuweisungs-, **if**-, **for**-, **while**- und **do-while**-Anweisungen realisiert werden.
- ❖ **Objekt-basierte Programmierung:** Ein Programm ist eine Menge von kooperierenden Klassen, die Daten und Operationen (Methoden genannt) enthalten. *Methoden können nicht außerhalb von Klassen existieren.*
- ❖ **Ein neuer Begriff:**
- ❖ **Objekt-orientierte Programmierung:** Ein Programm ist eine Menge von kooperierenden und *wieder verwendbaren* Klassen. Klassen können ihre Eigenschaften *vererben*.

Überblick über die Programmier-Paradigmen



Überblick über diesen Vorlesungsblock

- ❖ Konzepte der objekt-orientierten Programmierung
 - ◆ Vererbung
 - ◆ Abstrakte Klassen
 - ◆ Generische Klassen
 - ◆ Schnittstellen (*interfaces*)
- ❖ Ziele:
 - Sie verstehen die Gründe für objekt-orientierte Programmierung.
 - Sie können aktiv mit Vererbung umgehen, insbesondere mit Vererbung durch Spezifikation und Vererbung durch Implementierung.
 - Sie kennen den Unterschied in Java zwischen Klasse, abstrakter Klasse und Schnittstelle.
- ❖ Beispiel:
 - Hierarchie von Mengendarstellungen
 - Enumeratoren (Iteratoren)

Objekt-Orientierung

❖ **Objekt-orientierte Programmierung:** Hauptziel ist die **Wiederverwendung** (reuse) von Bausteinen (components). Drei Konzepte werden wir jetzt kennen lernen:

1. Implementierungsvererbung (implementation inheritance), auch reale Vererbung genannt:

Wiederverwendung von Implementierungen

2. Spezifikationsvererbung (interface inheritance), auch virtuelle Vererbung genannt:

Wiederverwendung von Schnittstellen

3. Generische Klassen:

Wiederverwendbarkeit von Datenstrukturen mit unterschiedlichen Basistypen.

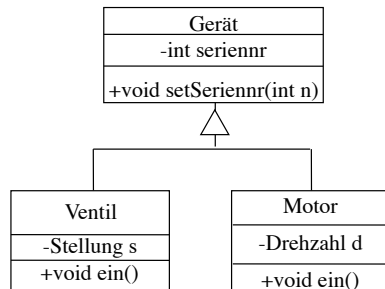
❖ Im folgenden besprechen wir Javakonstrukte für diese Konzepte.

Die Vererbungsbeziehung (vgl. Kapitel 3, Folie 32)

- ❖ Zwei Klassen stehen in einer **Vererbungsbeziehung** (*inheritance relationship*) zueinander, falls die eine Klasse, auch **Unterklasse** (Subklasse) genannt, alle Merkmale der anderen Klasse, auch **Oberklasse** genannt, besitzt, und darüber hinaus noch zusätzliche Merkmale.
- ❖ Eine Unterklasse wird also durch Hinzufügen von Merkmalen **spezialisiert**.
- ❖ Umgekehrt verallgemeinert die Oberklasse die Unterklasse dadurch, dass sie spezialisierende Eigenschaften weglässt. Wir nennen das auch **Verallgemeinerungsbeziehung** (*generalization relationship*).
- ❖ **Alternativer Sprachgebrauch (Java):** Eine von einer **Superklasse B** abgeleitete Klasse **A** **erbt** die Attribute und Methoden, die **B** anbietet.

Beispiel für Vererbung

❖ **Modell:**



```
// Irgendwo in main() oder in einer anderen Klasse:
....
Ventil v = new Ventil();
v.setSeriennr(1508);
Gerat g = new Ventil(); // ein Ventil ist ein Gerät
```

Java Code:

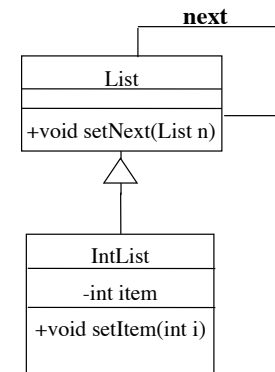
```
class Gerat {
    private int seriennr;
    public void setSeriennr(int n) {
        seriennr = n;
    }
}
```

```
class Ventil extends Gerat {
    private Stellung s;
    public void ein() {
        s.an = true;
    }
}
```

```
class Motor extends Gerat {
    private Drehzahl d;
    public void ein() {
        d.on = true;
    }
}
```

Noch ein Beispiel

❖ **Modell:**



Java Code:

```
class List {
    private List next;
    public void setNext(List n) {
        next = n;
    }
}
```

```
class IntList extends List {
    private int item;
    public void setItem(int i) {
        item = i;
    }
}
```

```
.....
List list = new IntList();
list.setNext(null);
.....
```

❖ **IntList** erweitert **List** um ein neues Attribut **item** und eine neue Methoden **setItem()**.

Überschreibbare Methoden

- ❖ Falls die Unterklasse tatsächlich die Implementierung einer Methode aus der Superklasse wieder verwendet, sprechen wir von **Implementierungs-Vererbung** (implementation inheritance).
- ❖ Oft ist Flexibilität gefordert: Die Implementierung der Methode aus der Superklasse muss an die Besonderheiten der Unterklasse angepasst werden, und zwar durch eine Reimplementierung.
- ❖ Methoden, die eine Reimplementierung zulassen, heißen **überschreibbare Methoden**.
 - In Java sind überschreibbare Methoden Standard, d.h. es gibt kein Schlüsselwort, um überschreibbare Methoden zu kennzeichnen.
 - Wenn eine Methode nicht überschrieben werden darf, muss sie mit dem Schlüsselwort **final** gekennzeichnet sein.

Beispiel für die Überschreibung einer Methode

Ursprünglicher Java-Code: Neuer Java-Code :

```
class Geraet {
    private int seriennr;
    public final void help() {...}
    public void setSeriennr(int n) {
        seriennr = n;
    }
}

class Ventil extends Geraet {
    private Stellung s;
    public void ein() {
        s.an = true;
    }
}

class Geraet {
    protected int seriennr;
    public final void help() {...}
    public void setSeriennr(int n) {
        seriennr = n;
    }
}

class Ventil extends Geraet {
    private Stellung s;
    public void ein() {
        s.an = true;
    }
    public void setSeriennr(int n) {
        seriennr = n + 10000;
    }
} // class Ventil
```

nicht überschreibbar

protected erlaubt Zugriff von Unterklassen aus

Überschreibt die Methode setSeriennr() aus der Klasse Geraet

Der Sichtbarkeits-Modifikator „protected“

- ❖ Zur Erinnerung
 - Die **Sichtbarkeit** eines Attributs oder einer Operation regelt, welche Objekte dieses Merkmal verwenden dürfen.
 - Die Sichtbarkeit ist zwischen Klassen definiert, d.h. alle Objekte einer Klasse K_1 haben auf ein Merkmal eines Objekts einer Klasse K_2 dieselben Zugriffsrechte.
- ❖ Nun kennen wir drei Sichtbarkeiten:
 - **public**: jedes Objekt jeder Klasse hat unbeschränkten Zugriff;
 - **private**: nur die Objekte derselben Klasse dürfen das Merkmal verwenden.
 - **protected**: auch Objekte von abgeleiteten Klassen (Unterklassen) haben Zugriff
- ❖ In UML wird
 - „public“ durch ein vorangestelltes „+“-Zeichen gekennzeichnet,
 - „private“ durch ein „-“-Zeichen und
 - „protected“ durch ein „#“-Zeichen.

Abstrakte Methoden und Abstrakte Klasse

- ❖ Wenn eine Methode noch keine Implementierung hat, nicht einmal einen leeren Methodenrumpf, dann sprechen wir von einer **abstrakten Methode** (abstract method)
 - Eine Klasse, die mindestens eine abstrakte Methode enthält, ist eine **abstrakte Klasse** (abstract class). Sie wird mit den Schlüsselworten **abstract class** gekennzeichnet.

Beispiel einer abstrakten Methode

Ursprünglicher Java Code:

```
class Geraet {
    private int seriennr;
    public void setSeriennr(int n) {
        seriennr = n;
    }
}
```

Abstrakte Methode: hat keinen Rumpf, nicht einmal Klammern {}

class Ventil extends Geraet {

```
    private Stellung s;
    public void ein() {
        s.an = true;
    }
}
```

Implementierung der abstrakten Methode setSeriennr()

Java Code mit abstrakter Methode:

```
abstract class Geraet {
    protected int seriennr;
    public abstract void setSeriennr(int n);
}
```

class Ventil extends Geraet {

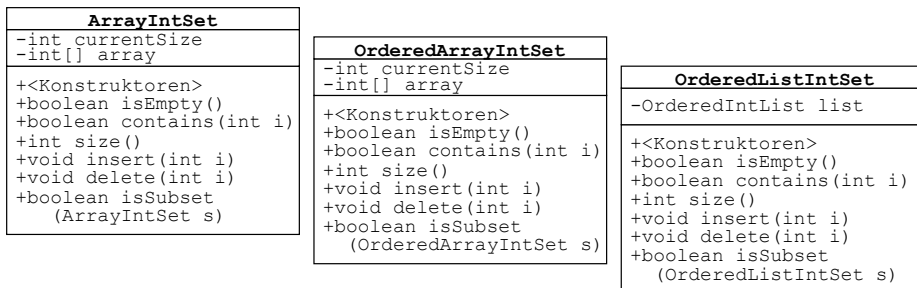
```
    private Stellung s;
    public void ein() {
        s.an = true;
    }
    public void setSeriennr(int n) {
        seriennr = n;
    }
} // class Ventil
```

Eigenschaften von Klassen mit abstrakten Methoden

- ❖ Wenn wir eine Methode als abstrakt deklarieren, dann überlassen wir die Implementierung einer Unterklasse, die von der Superklasse erbt.
 - Die Funktionalität der Methode in der Unterklassenimplementierung muss mit der Funktionalität der abstrakten Methode identisch sein.
- ❖ Eine Klasse, die eine abstrakte Methode enthält, ist automatisch auch abstrakt, und muss deshalb als abstrakt deklariert werden.
- ❖ **Abstrakte Klassen können nicht instantiiert werden:**
 - Nur Unterklassen, in denen alle Methoden implementiert sind, können instantiiert werden.
- ❖ Wenn eine Unterklasse einer abstrakten Klasse nicht alle abstrakten Methoden implementiert, dann ist die Unterklasse selber auch abstrakt.

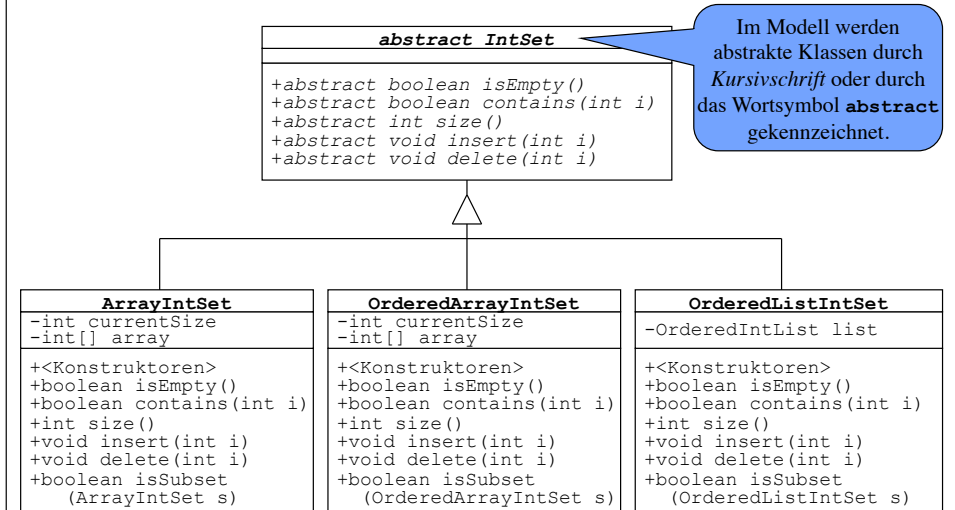
Zurück zur Darstellung von Integer-Mengen

- ❖ In Kapitel 7 hatten wir drei verschiedene Klassen zur Darstellung von Mengen über ganzen Zahlen entwickelt:



- ❖ Die Schnittstellen der Klassen unterscheiden sich nur in den Konstruktoren und in der Funktionalität der Methode `isSubset()`.
- ❖ Es bietet sich also die Generalisierung an, eine Oberklasse mit dem gemeinsamen Teil der Schnittstellen zu bilden.
- ❖ Da wir nur (zunächst) Schnittstellen vererben, wird die Klasse abstrakt.

Eine abstrakte Oberklasse für die Mengendarstellungen



Die abstrakte Klasse *IntSet* in Java

```
abstract class IntSet {
    public abstract boolean isEmpty();
    public abstract boolean contains(int i);
    public abstract int size();
    public abstract void insert(int i);
    public abstract void delete(int i);
}
```

Die anderen Klassen sind Ableitungen dieser Klasse, z.B.:

```
class ArrayIntSet extends IntSet{
    ... Klassendefinition wie bisher ...
}
```

Wiederverwendung von Code: die Methode *isEmpty()*

❖ In allen bisherigen Implementierungen von Mengendarstellungen haben wir **isEmpty()** auf **size()** abgestützt, die Implementierung war jeweils identisch.

– **isEmpty()** selbst ist also unabhängig von der konkreten Datenstruktur und kann bereits auf abstrakter Ebene implementiert werden:

```
abstract class IntSet {
    // die datenstrukturunabhaengige Methode isEmpty
    // wird bereits hier implementiert:
    public boolean isEmpty() {
        return size() == 0;
    }
    public abstract boolean contains(int i);
    public abstract int size();
    public abstract void insert(int i);
    public abstract void delete(int i);
}
```

❖ In den abgeleiteten Klassen muss die Implementierung von **isEmpty()** nicht wiederholt werden; der Code wird wieder verwendet.

Variablen vom Typ *IntSet*

- ❖ Was haben wir durch die Einführung der abstrakten Klasse **IntSet** bisher erreicht?
 - Der Code der Methode **isEmpty()** wurde wieder verwendet.
 - Wir können mit Variablen vom Typ **IntSet** arbeiten, wenn wir nur über die Schnittstelle von **IntSet** zugreifen müssen:

```
class SetTest {
    public static void besetze (IntSet set) {
        for (int i=101; i<=110; i++)
            set.insert(i);
        System.out.println(set);
    }
    public static void main (String[] args) {
        ArrayIntSet arrSet = new ArrayIntSet(10);
        OrderedArrayIntSet oArrSet = new OrderedArrayIntSet(10);
        OrderedListIntSet oListSet = new OrderedListIntSet();

        besetze(arrSet);
        besetze(oArrSet);
        besetze(oListSet);
    }
}
```

Dynamische Bindung:
Die zum konkreten Objekt „passenden“ Versionen der Methoden **insert()** und **toString()** werden ermittelt und angewendet.

Instantiierung mittels **new** ist nur bei konkreten Klassen möglich!

Verallgemeinerung des Copy-Konstruktors

❖ „Natürlich“ sind wir mit dem Erreichten noch nicht zufrieden:

– Als nächstes Ziel wünschen wir uns, dass jede der drei konkreten Klassen einen Copy-Konstruktor erhält, der es erlaubt, die Kopie einer Menge **set** in der gewünschten Darstellung zu erhalten, gleichgültig wie **set** selbst dargestellt ist.

– Ein Beispiel für die Klasse **OrderedListIntSet**:

```
IntSet set;
... // set wird irgendwie besetzt

// nun wird eine Kopie in der Darstellung OrderedListIntSet erzeugt:
OrderedListIntSet oListSet = new OrderedListIntSet(set);
```

❖ Die Klasse **OrderedListIntSet** benötigt also einen allgemeinen Copy-Konstruktor mit folgender Schnittstelle:

```
public OrderedListIntSet(IntSet s) { ... }
```

Iteratoren (bzw. Enumeratoren)

- ❖ Für den verallgemeinerten Copy-Konstruktor müssen wir unsere Mengendarstellungen um die Möglichkeit erweitern, die dargestellten Integer-Werte der Reihe nach aufzuzählen (zu enumerieren)
 - bzw. durch die Menge zu „laufen“ (zu iterieren)
- ❖ Dafür verwendet man eine eigene Objektklasse, die **Iteratoren** oder **Enumeratoren**:
- ❖ Ein Iterator lässt sich gut mit einem **Lesezeichen** zu einem Buch vergleichen:
 - Das Lesezeichen gehört nicht selbst zum Buch, kennt sich aber mit der Struktur des Buches gut aus.
 - Das Lesezeichen kann folgende Fragen beantworten:
 - ◆ Kommt noch eine weitere Seite im Buch?
 - ◆ Wenn ja, welches ist die nächste Seite?
- ❖ Analog besteht die Schnittstelle eines Iterators aus den zwei Methoden **boolean hasMoreElements()** und **Data nextElement()** (dabei ist **Data** der Typ der Elemente).

Die abstrakte Klasse **IntEnumeration**

- ❖ Die Klasse **IntEnumeration** definiert die Schnittstelle für **int**-Iteratoren:
 - Sie ist abstrakte Oberklasse für Enumeratoren über Ansammlungen von Elementen vom Typ **int** (z.B. über unsere Integer-Mengen);
 - Sie ist unabhängig von konkreten Datenstrukturen und besitzt deshalb keine eigenen Attribute.

```
abstract class IntEnumeration {  
  
    // Methode, die angibt, ob noch weitere Elemente  
    // folgen:  
    public abstract boolean hasMoreElements();  
  
    // Methode, die nur aufgerufen werden darf, falls noch  
    // weitere Elemente folgen;  
    // in diesem Fall wird das nächste Element ausgeliefert  
    // und gleichzeitig die Enumeration um ein Element  
    // weiterschaltet:  
    public abstract int nextElement();  
  
}
```

Die Klasse **ArrayIntSetEnumeration**

- ❖ **ArrayIntSetEnumeration**
 - ist eine Ableitung von **IntEnumeration**;
 - zählt die Elemente von Integer-Mengen auf, die mittels Reihungen dargestellt sind;
 - „kennt“ die Struktur der Darstellungen, d.h. sie bekommt über ihren Konstruktor direkten Zugriff auf die Attribute **currentSize** und **array**.

```
class ArrayIntSetEnumeration extends IntEnumeration {  
  
    //Attribute:  
  
    // direkter Zugriff auf die Attribute der  
    // zugehörigen Menge:  
    private int currentSize;  
    private int[] array;  
  
    // Index, der die Menge durchläuft  
    // (mit erstem Element initialisiert):  
    private int index = 0;  
  
    ...  
  
}
```

Konstruktor und Methoden der Klasse **ArrayIntSetEnumeration**

```
//Konstruktor:  
  
    // die Attribute der zugehörigen Menge werden  
    // als Parameter uebergeben:  
    public ArrayIntSetEnumeration(int currentSize, int[] array) {  
        this.currentSize = currentSize;  
        this.array = array;  
    }  
  
// Implementierung der Methoden:  
    public boolean hasMoreElements() {  
        // genau dann, wenn index noch nicht currentSize  
        // erreicht hat:  
        return index < currentSize;  
    }  
    public int nextElement() {  
        // index auf nächstes Element weiterschalten:  
        index++;  
        // Inhalt des vorher aktuellen Elements  
        // ausliefern:  
        return array[index-1];  
    }  
}
```

Analog: die Klasse `OrderedListIntSetEnumeration`

```
class OrderedListIntSetEnumeration extends IntEnumeration {
// Attribute:
// direkter Zugriff auf das Attribut list der
// zugehoerigen Menge:
private OrderedIntList list;
// Konstruktor:
// das Attribut list der zugehoerigen Menge wird als
// Parameter uebergeben:
public OrderedListIntSetEnumeration(OrderedIntList list) {
this.list = list;
}
// Implementierung der Methoden:
public boolean hasMoreElements() {
// genau dann, wenn Liste nicht leer ist:
return list != null;
}
public int nextElement() {
// vor dem Weiterschalten Inhalt merken:
int item = list.getItem();
// Enumeration weiterschalten:
list = list.getNext();
// gemerkten Inhalt ausliefern:
return item;
}
}
```

Erweiterung der Mengendarstellungen um Iteratoren

- ❖ Die abstrakte Menge `IntSet` erhält nun eine zusätzliche abstrakte Methode:

```
abstract public IntEnumeration getEnumeration();
```

- ❖ Sie wird in `ArrayIntSet` und `OrderedArrayIntSet` gleichlautend folgendermaßen implementiert:

```
public IntEnumeration getEnumeration() {
return new ArrayIntSetEnumeration(currentSize, array);
}
```

- ❖ Damit ist das Ziel erreicht, über eine allgemeine Schnittstelle (`IntEnumeration`) eine Möglichkeit zu erhalten, durch die konkrete Datenstruktur zu navigieren.

- ❖ Für die Klasse `OrderedListIntSet` wird die Methode folgendermaßen implementiert:

```
public IntEnumeration getEnumeration() {
return new OrderedListIntSetEnumeration(list);
}
```

Der verallgemeinerte Copy-Konstruktor für `ArrayIntSet`

- ❖ Mit den zur Verfügung gestellten Iteratoren lassen sich nun tatsächlich die gewünschten verallgemeinerten Copy-Konstruktoren realisieren.

- ❖ Beginnen wir mit dem für die Klasse `ArrayIntSet`:

```
// Konstruktor, der die Kopie einer beliebigen Menge liefert:
// die Reihungsgroesse wird wieder so gewaehlt, dass
// zusaetzliche Elemente Platz finden
public ArrayIntSet(IntSet s) {
currentSize = s.size();

if (currentSize < DEFAULT_CAPACITY)
array = new int[DEFAULT_CAPACITY];
else
array = new int[currentSize + DEFAULT_CAPACITY_INCREMENT];

// die Elemente aus s werden mittels
// Iterator uebertragen:
int index=0;
IntEnumeration enu = s.getEnumeration();
while (enu.hasMoreElements()) {
array[index] = enu.nextElement();
index++;
}
}
```

Der Iterator ist ein eigenständiges Objekt, der wie ein Lesezeichen in `s` „steckt“ und weitergeschaltet werden kann.

Der verallgemeinerte Copy-Konstruktor für `OrderedArrayIntSet`

- ❖ Bei allgemeinen Mengen kann (leider) nicht angenommen werden, dass die Elemente vom Iterator in aufsteigender Reihenfolge geliefert werden.

- ❖ Die Elemente müssen also einzeln in die richtige Ordnung gebracht (einsortiert) werden.

– Dafür stützen wir uns ab auf die Methode `insert()` :

```
public OrderedArrayIntSet(IntSet s) {
if (s.size() < DEFAULT_CAPACITY)
array = new int[DEFAULT_CAPACITY];
else
array = new int[s.size() + DEFAULT_CAPACITY_INCREMENT];

currentSize = 0; // vorerst ist Menge leer
// Uebertragung der Elemente mittels Iterator
// und insert():
IntEnumeration enu = s.getEnumeration();
while (enu.hasMoreElements())
insert(enu.nextElement());
}
```

Der verallgemeinerte Copy-Konstruktur für `OrderedListIntSet`

- ❖ Analog der verallgemeinerte Konstruktor für die Darstellung auf sortierten Listen in der Klasse `OrderedListIntSet`.
- ❖ Diesmal stützen wir uns auf die Methode `insertElement()` der Klasse `OrderedIntList` ab, um die Elemente einzusortieren:

```
public OrderedListIntSet(IntSet s) {
    list = null;
    IntEnumeration enu = s.getEnumeration();
    while (enu.hasMoreElements()) {
        list = OrderedIntList.insertElement(enu.nextElement(), list);
    }
}
```

Beispiel: Anwendung der neuen Copy-Konstruktoren

- ❖ Die verallgemeinerten Copy-Konstruktoren erlauben es uns nun, Mengen beliebiger Darstellungen ineinander überzuführen:

```
class SetTest {
    public static void besetze (IntSet set) {
        for (int i=101; i<=110; i++)
            set.insert(i);
        System.out.println(set);
    }

    public static void main (String[] args) {
        ArrayIntSet arrSet = new ArrayIntSet(10);
        besetze (arrSet);
        OrderedArrayIntSet oArrSet = new OrderedArrayIntSet(arrSet);
        System.out.println(oArrSet);
        OrderedListIntSet oListSet = new OrderedListIntSet(oArrSet);
        System.out.println(oListSet);
    }
}
```

Die **dynamische Bindung** sorgt dafür, dass der jeweils „passende“ Iterator die Elemente der Menge aufzählt.

Zusammenfassung Iteratoren bzw. Enumeratoren

- ❖ Unseren Mengendarstellungen aus Kapitel 7 hat die Möglichkeit gefehlt, alle Elemente der Menge der Reihe nach aufzuzählen.
- ❖ Mit den Iteratoren haben wir eine Lösung gefunden, die Elemente aufzuzählen ohne get-Methoden für die spezielle Datenstruktur in die Mengen-Schnittstelle aufnehmen zu müssen.
 - Wir haben z.B. vermieden, eine Methode `getArray()` in die Schnittstelle von `IntArraySet` aufnehmen zu müssen.
- ❖ Ein Iterator ist ein eigenständiges Objekt
 - das die Datenstruktur der zugehörigen Menge kennt,
 - aber mit `hasMoreElements()` und `nextElement()` eine datenstruktur-unabhängige Schnittstelle bietet.
- ❖ Die abstrakte Klasse `IntEnumeration` *generalisiert* die allen Integer-Iteratoren gemeinsame Schnittstelle und erlaubt es damit, von der Datenstruktur zu *abstrahieren*.
- ❖ Java bietet einen Typ `Enumeration` mit exakt unserer Schnittstelle an, allerdings
 - als Interface statt abstrakter Klasse (siehe später)
 - und in generischer Form (siehe später).

Die datenstrukturunabhängige Implementierung weiterer Methoden der Klasse `IntSet` mittels Iteratoren

- ❖ Die Iteratoren erlauben es nun, weitere Methoden bereits in der Klasse `IntSet` (auf abstraktem Niveau) zu implementieren.
- ❖ Bei Verwendung von Iteratoren müssen `contains()`, `size()`, `isSubset()` und `toString()` nicht auf die konkrete Datenstruktur zugreifen.
 - Sie können also bereits auf abstrakter Ebene implementiert werden.
 - Die Unterklassen können entscheiden, ob sie diese Implementierung der Methoden wieder verwenden (erben) oder die Methoden re-implementieren (überschreiben).
 - ◆ Reimplementierung ist dann zu empfehlen, wenn Eigenschaften der Datenstruktur ausgenutzt werden können, um die Methoden effizienter zu realisieren.
 - ◆ Beispiel: Ausnutzen von Sortiertheit

Implementierung der Methoden `contains()` und `size()` in der Klasse `IntSet`

```

// Abfrage, ob Element enthalten ist:
public boolean contains(int i) {
    IntEnumeration enu = getEnumeration();
    while (enu.hasMoreElements()) {
        int item = enu.nextElement();
        // Falls gefunden:
        if (item == i)
            return true;
    }
    // i nicht gefunden:
    return false;
}

// Abfrage nach Groesse der Menge:
public int size() {
    int result = 0;
    IntEnumeration enu = getEnumeration();
    while (enu.hasMoreElements()) {
        result++;
        int dummy = enu.nextElement();
    }
    return result;
}

```

Auf dieser Ebene kann eine eventuell vorhandene Sortiertheit der Elemente nicht ausgenutzt werden!

Das Funktionsergebnis wird hier nicht benötigt.

Implementierung der Methoden `isSubset()` und `toString()` in der Klasse `IntSet`

```

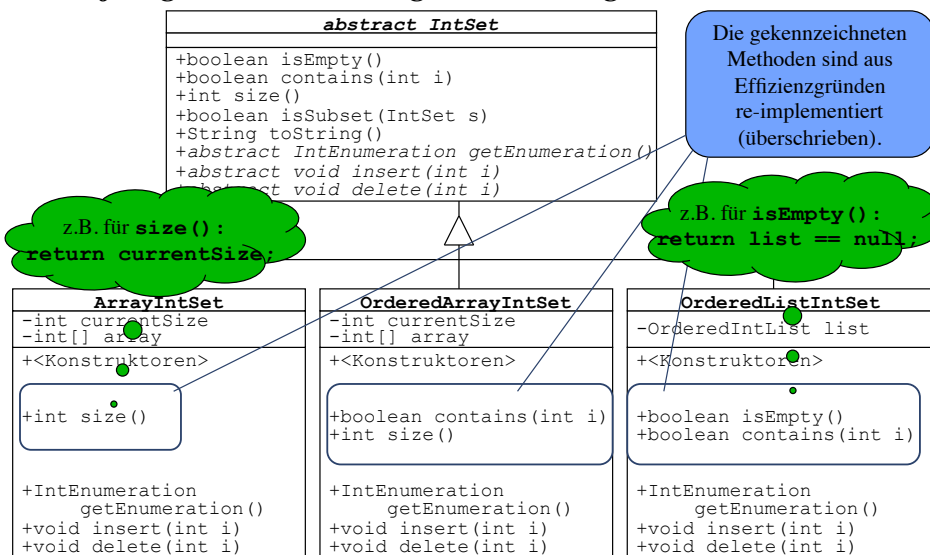
// Abfrage nach Teilmengeneigenschaft:
public boolean isSubset(IntSet s) {
    IntEnumeration enu = getEnumeration();
    while (enu.hasMoreElements())
        if (!s.contains(enu.nextElement()))
            return false;
    // Teilmengeneigenschaft ist nie verletzt:
    return true;
}

// Ausgabefunktion:
public String toString() {
    String result = "{";
    IntEnumeration enu = getEnumeration();
    while (enu.hasMoreElements()) {
        result += enu.nextElement();
        if (enu.hasMoreElements())
            result += ",";
    }
    return result + "}";
}

```

Auch hier kann eine eventuell vorhandene Sortiertheit der Elemente nicht ausgenutzt werden!

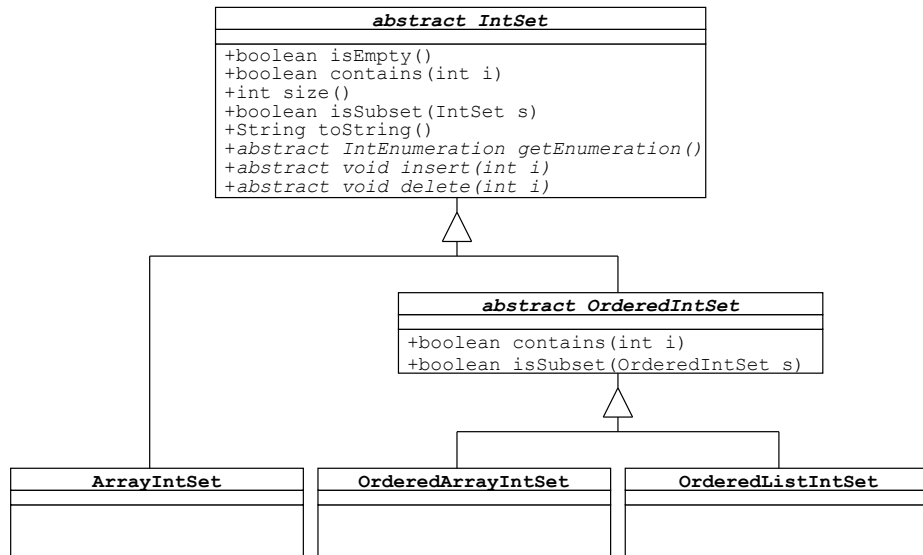
Der jetzige Stand der Mengendarstellungen im Modell



Die abstrakte Klasse `OrderedIntSet`

- ❖ Wir wollen noch eine abstrakte Menge `OrderedIntSet` als Oberklasse der sortierten Mengendarstellungen einführen.
 - `OrderedIntSet` generalisiert also die Eigenschaft, dass die Elemente der Menge sortiert sind.
 - Iteratoren über Unterklassen von `OrderedIntSet` liefern die Elemente in aufsteigender Reihenfolge.
 - Bereits in `OrderedIntSet` kann damit die effizientere Fassung der Methode `contains()` implementiert werden.
 - Auch in `OrderedArrayIntSet` kann dann beispielsweise eine effizientere Fassung des Copy-Konstruktors, speziell für Parameter vom Typ `OrderedIntSet`, realisiert werden.
 - In `OrderedIntSet` kann bereits die effizientere Fassung der Methode `isSubset()`, speziell für Parameter vom Typ `OrderedIntSet`, realisiert werden.
- ❖ **Definition Überladen:** Wenn es in einer Klasse mehrere Konstruktoren oder Methoden mit demselben Bezeichner aber unterschiedlicher Funktionalität gibt, so sprechen wir von **Überladen**.

Die Klasse `OrderedIntSet` im Modell



Copyright 2014 Bernd Brügge, Christian Herzog

Grundlagen der Programmierung TUM Wintersemester 2014/15

Kapitel 8, Folie 37

Reimplementierung von `contains()` in `OrderedIntSet`

```

abstract class OrderedIntSet extends IntSet {

// Methoden, die bei Sortiertheit effizienter implementierbar sind:

    // Abfrage, ob Element enthalten ist:
    public boolean contains(int i) {
        IntEnumeration enu = getEnumeration();
        while (enu.hasMoreElements()) {
            int item = enu.nextElement();
            // Falls gefunden:
            if (item == i)
                return true;
            // Ordnung wird ausgenutzt:
            if (item > i)
                return false;
        }
        // i nicht gefunden:
        return false;
    }
    ...
}
    
```

Copyright 2014 Bernd Brügge, Christian Herzog

Grundlagen der Programmierung TUM Wintersemester 2014/15

Kapitel 8, Folie 38

Überladen von `isSubset()` in `OrderedIntSet` für sortierte Parametermengen

```

public boolean isSubset(OrderedIntSet s) {
    // Enumeration für die Menge selbst:
    IntEnumeration enu = getEnumeration();
    // Enumeration für andere Menge:
    IntEnumeration enuS = s.getEnumeration();

    while (enu.hasMoreElements()) {
        int item = enu.nextElement();

        if (!enuS.hasMoreElements()) // keine Teilmenge
            return false;

        // kleinere Elemente in s ueberspringen:
        int itemS;
        do {
            itemS = enuS.nextElement();
        } while (item > itemS && enuS.hasMoreElements());

        if (item != itemS)
            // Element der Menge kann nicht auch in s sein
            return false;
    }
    // Teilmengeeigenschaft ist nie verletzt:
    return true;
}
    
```

Copyright 2014 Bernd Brügge, Christian Herzog

Grundlagen der Programmierung TUM Wintersemester 2014/15

Kapitel 8, Folie 39

Zusammenfassung: Implementieren, Überschreiben, Überladen

❖ Implementieren:

- Unterklassen **implementieren** abstrakte Methoden einer abstrakten Oberklasse. Die Funktionalität ist identisch.
- Unterklassen, in denen nicht alle abstrakten Methoden der Oberklasse implementiert sind, sind selbst abstrakt.

❖ Überschreiben:

- Unterklassen **überschreiben** (oder **reimplementieren**) bereits implementierte Methoden der Oberklasse, wenn in der Unterklasse eine speziellere Behandlung nötig oder eine effizientere Realisierung möglich ist. Die Funktionalität ist identisch.
- Man bezeichnet dies auch als **Polymorphie** („Vielgestaltigkeit“ der Methode“).

❖ Überladen:

- Methoden oder Konstruktoren werden **überladen**, wenn für eine **spezielle Funktionalität** eine speziellere Behandlung nötig oder eine effizientere Realisierung möglich ist.

Copyright 2014 Bernd Brügge, Christian Herzog

Grundlagen der Programmierung TUM Wintersemester 2014/15

Kapitel 8, Folie 40

Von `ArrayIntSet` zu `ArraySet` (1. Version)

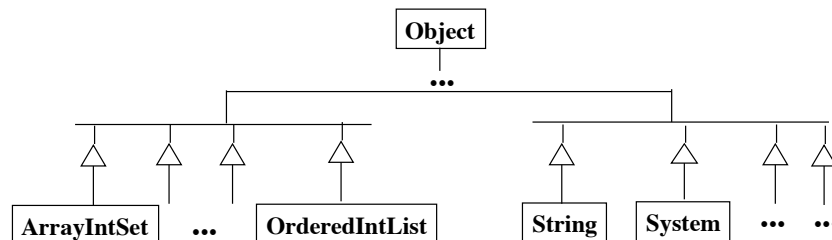
```
class ArraySet {  
    // Attribute:  
    private static final int DEFAULT_CAPACITY = 5;  
    private static final int DEFAULT_CAPACITY_INCREMENT = 5;  
    private int currentSize; // aktuelle Groesse der Menge  
    private Object[] array; // speichert die Elemente der Menge  
    // einer der Konstruktoren fuer die leere Menge:  
    public ArraySet(int capacity) {  
        array = new Object[capacity];  
        currentSize = 0;  
    }  
    ...  
    // ausgewählte Methoden:  
    ...  
    public boolean contains(Object o) {  
        for(int index=0; index<currentSize; index++) {  
            if (array[index] == o)  
                return true;  
        }  
        return false;  
    }  
    ...  
}
```

Verallgemeinerung der Methode `delete()` (1. Version)

```
public void delete(Object o) {  
    // Indexposition von o ermitteln:  
    int index = 0;  
    while (index < currentSize && array[index] != o)  
        index++;  
  
    if (index >= currentSize) {  
        // in diesem Fall ist o nicht in Menge enthalten  
        System.out.println("delete: " + o + " nicht enthalten!");  
        return;  
    }  
  
    // Sonst steht o auf Position index; o wird geloescht, indem  
    // das rechte Element auf Position index umgespeichert wird  
    array[index] = array[currentSize-1];  
  
    // Konsistente Verminderung von currentSize:  
    currentSize--;  
}
```

Die Klassenhierarchie in Java

- ❖ In Java unterscheiden wir benutzerdefinierte Klassen und vordefinierte Klassen.
 - Benutzerdefinierte Klassen: `ArrayIntSet`, `OrderedIntList`, ...
 - Vordefinierte Klassen: `String`, `System`, ...
- ❖ Alle Klassen in Java bilden eine Klassenhierarchie.
 - Die Superklasse der Klassenhierarchie heißt `Object`
 - Jede Java-Klasse, bis auf `Object`, hat eine Superklasse.



Die Java-Klasse `Object`

```
public class Object {  
    ...  
    // ausgewählte Instanzmethoden:  
  
    public String toString() {...}  
        // Konvertiert die Werte der Attribute eines  
        // Objekts in eine Zeichenkette  
        // Wird in der Regel von Unterklassen geeignet  
        // überschrieben  
    ...  
  
    public boolean equals(Object obj) {...}  
        // true, wenn beide Objekte gleich sind.  
        // Voreinstellung: Referenzgleichheit (wie bei == )  
        // Wird in der Regel von Unterklassen geeignet  
        // überschrieben  
    ...  
}
```

Vollständige Definition von `Object`
=> Java Referenz-Manual

Die Operationen == und != in den Methoden contains () und delete () der Klasse ArraySet

```
public boolean contains(Object o) {
    for(int index=0; index<currentSize; index++) {
        if (array[index] == o)
            return true;
    }
    return false;
}
```

Auf diese Weise kann nur die Gleichheit bzw. Ungleichheit der Referenzen ermittelt werden.

Verbesserung:
Verwendung der Methode equals () der Klasse Object

```
public void delete(Object o) {
    int index = 0;
    while (index < currentSize && array[index] != o)
        index++;
    if (index >= currentSize) {
        System.out.println("delete: " + o + " nicht enthalten!");
        return;
    }
    array[index] = array[currentSize-1];
    currentSize--;
}
```

Verbesserte Version der Methoden contains () und delete () der Klasse ArraySet

```
public boolean contains(Object o) {
    for(int index=0; index<currentSize; index++) {
        if (array[index].equals(o))
            return true;
    }
    return false;
}
```

equals () kann in den benutzerdefinierten Unterklassen von Object so überschrieben werden, dass es die jeweils gewünschte Gleichheit realisiert.

```
public void delete(Object o) {
    int index = 0;
    while (index < currentSize && ! array[index].equals(o))
        index++;
    if (index >= currentSize) {
        System.out.println("delete: " + o + " nicht enthalten!");
        return;
    }
    array[index] = array[currentSize-1];
    currentSize--;
}
```

Das Problem mit den Grundtypen

- ❖ Java unterscheidet zwischen **Grundtypen** und **Objekttypen**.
 - Objekttypen sind z.B. **String** und alle benutzerdefinierten Klassen wie **ArrayIntSet**.
 - ♦ Objekttypen sind Unterklassen von **Object** (eventuell über mehrere Stufen).
 - Die 8 Grundtypen in Java sind **char**, **boolean** und die 6 Typen zur Darstellung von Zahlen:
 - ♦ **byte**, **short**, **int** und **long** stellen ganze Zahlen mit Vorzeichen mit 8, 16, 32 bzw. 64 Bit dar.
 - ♦ **float** und **double** sind Gleitkommazahlen mit 32 bzw. 64 Bit.
- ❖ **Problem:** Grundtypen stellen **keine Unterklassen** von **Object** dar.
 - Unsere generische Klasse **ArraySet** kann damit keine Elemente vom Typ **int** aufnehmen.
- ❖ **Lösung:** Grundtypen werden in Objekttypen (sog. **Hüll-Klassen**) eingebettet.

Eine Hüll-Klasse für int

- ❖ Um mit der generischen Klasse **ArraySet** auch Mengen ganzer Zahlen darstellen zu können, bilden wir um **int** herum eine Hüllklasse **MyInteger**:

```
class MyInteger {
    // Attribute (Datenstruktur):
    private int value;
    // Konstruktor hüllt int ein:
    public MyInteger(int value) {
        this.value = value;
    }
    // sonstige Methoden:
    // liefert den int-Wert aus:
    public int getValue() {
        return value;
    }
    // Ausgabefunktion;
    // ueberschreibt entsprechende
    // Methode von Object:
    public String toString() {
        return "" + value;
    }
} // class MyInteger

// vergleicht, ob zwei MyIntegers
// denselben Wert haben;
// ueberschreibt entsprechende
// Methode aus Object:
public boolean equals(Object o) {
    if (o == null)
        return false;
    if (getClass() != o.getClass())
        return false;
    // Typkonvertierung von Object auf
    // MyInteger, damit Zugriff auf
    // nicht vererbte Attribute
    // moeglich werden:
    MyInteger i = (MyInteger) o;
    return value == i.getValue();
}
```

getClass () ist eine in Object definierte Methode

Hüllklassen und Typkonvertierung

- ❖ Mit Hilfe der Hüllklasse **MyInteger** lassen sich jetzt ganze Zahlen in unsere Mengendarstellung eingeben:

```
ArraySet set = new ArraySet();  
set.insert(new MyInteger(27));
```

- ❖ Wenn eine Variable vom Typ **Object** auf ein Objekt vom Typ **MyInteger** verweist, muss vor dem Zugriff auf nicht vererbte Merkmale der Klasse **MyInteger** eine Typkonvertierung (*type casting*) vorgenommen werden:

```
Object o = new MyInteger(27);  
System.out.println(o.getValue());
```

getValue() für Variable vom Typ **Object** nicht definiert!

Statt dessen Typkonvertierung vor dem Zugriff:

```
MyInteger i = (MyInteger) o;  
System.out.println(i.getValue());
```

Oder in einer Anweisung:

```
System.out.println( (MyInteger) o ).getValue();
```

- ❖ In Java gibt es bereits vorgefertigte Hüllklassen für alle Grundtypen.

– Z.B. die Klasse **Integer** für **int**. **Integer im Referenz-Manual**

Typkonvertierung

- ❖ **Definition:** Eine **Typkonvertierung** konvertiert einen Typ in einen anderen.

Die Konvertierung wird mittels eines Typ-Bezeichners gemacht, der geklammert vor dem zu konvertierenden Ausdruck steht.

- ❖ Beispiele:

```
- char c = 'a'; // Variable c vom Type char  
- int k; // Variable k vom Typ int  
- k = (int) c; // Die Variable k bekommt den int-Wert von a  
// (der int-Wert ist 97, der sogenannte ASCII-  
// Wert von 'a')  
- Object o = new Integer(27); // Die Java-Hüllklasse  
- if ( ((Integer) o).intValue() > 0) ...
```

Typkonvertierungen in Java

- ❖ Typkonvertierung in Java folgt vielen Regeln und Konventionen. In einigen Fällen kann der Programmierer sogar implizite Typkonvertierungen veranlassen. Beispiele:

char → **int**:

```
char ch;  
int k;  
k = ch; // konvertiert einen Buchstaben  
// in eine 32-Bit-Zahl
```

int → **double**:

```
int i;  
double d;  
d = i; // konvertiert eine ganze  
// 32-Bit- Zahl in eine 64-Bit-  
// Gleitkommazahl
```

- ❖ In anderen Fällen muss der Programmierer explizite Typkonvertierungen machen. Beispiele

double → **int**:

```
int i;  
double d;  
i = d; // geht nicht implizit!  
// Eine Zahl vom Typ double passt  
// nicht in eine Zahl vom Typ int.  
// Explizite Typkonvertierung:
```

- ❖ **i = (int) d;**

❖ **int** → **String**: mit **valueOf()**

```
- String s;  
- int i;  
- i = 45;  
- s = String.valueOf(i);
```

Zusammenfassung generische Klassen und Hinweis auf Neuerungen seit Java 5

- ❖ Eine **generische Klasse** erlaubt eine allgemeine Formulierung von Datenstrukturen wie Listen und Mengen.
- ❖ Anstelle eines festen Basistyps wird die Klasse **Object** verwendet.
 - Die üblichen Operationen (contains, insert, delete) müssen auf Daten vom Typ **Object** definiert werden.
- ❖ In der generischen Klasse wird der Basistyp also nicht festgelegt, sondern erst in der Anwendung, die die generische Klasse für ihre applikationsspezifischen Daten (**Person**, **Adresse**, **Kunde**, **Bauteil**, ...) wieder verwenden will.
- ❖ Eine Menge vom Typ **ArraySet** kann aber gleichzeitig sowohl Elemente vom Typ **Integer** als auch beispielsweise vom Typ **String** enthalten.
 - Für die Konsistenz der Daten muss der Programmierer sorgen!
- ❖ Seit Java-Version 5 sind auch **parametrisierte Klassen** erlaubt, wie beispielsweise die die sog. *Templates* in der Sprache C++. Diese heißen dann wieder „generische Klassen“:
 - Beispiel: `public class ArraySet<T> extends Set<T> { ... }`
 - Verwendung: `ArraySet<Integer> set = new ArraySet<Integer>(20);`

Konzepte für Wiederverwendbarkeit in Java

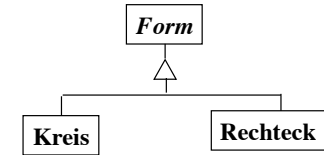
- ✓ Vererbung
- ✓ Abstrakte Klassen
- ✓ Generische Klassen
- Schnittstellen (*interfaces*)

Noch ein Beispiel für abstrakte Methoden

```
public abstract class Form {
    public abstract double flaeche();
    public abstract double umfang();
}

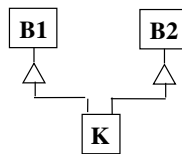
class Kreis extends Form{
    private double r;
    public Kreis() { this(1.0); }
    public Kreis(double radius) { r = radius; }
    public double flaeche() { return Math.PI * r * r; }
    public double umfang() { return 2 * Math.PI * r; }
    public double getRadius() { return r; }
}
```

```
class Rechteck extends Form {
    private double b, h;
    public Rechteck() { this(0.0, 0.0); }
    public Rechteck(double breite, double hoehe)
        { b = breite; h = hoehe; }
    public double flaeche() { return b * h; }
    public double umfang() { return 2 * (b + h); }
    public double getBreite() { return b; }
    public double getHoehe() { return h; }
}
```



Mehrverfachvererbung

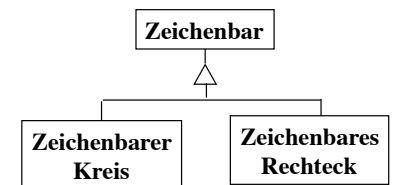
- ❖ **Definition Mehrfachvererbung:** Eine Klasse K erbt von mehreren Superklassen B_1, \dots, B_n .



- ❖ Mehrfachvererbung kommt in der Modellierung ganz natürlich vor. Schauen wir uns noch einmal die Klasse **Form** an.
 - Wir wollen diese Klasse so erweitern, dass wir eine Anzahl von Formen auf dem Bildschirm malen können.

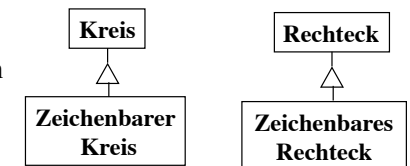
Modellierung von zeichenbaren Formen

- ❖ Wir könnten eine abstrakte Klasse **Zeichenbar** definieren, und dann wieder verschiedene Unterklassen definieren, wie z.B. **ZeichenbarerKreis**, **ZeichenbaresRechteck**, usw.

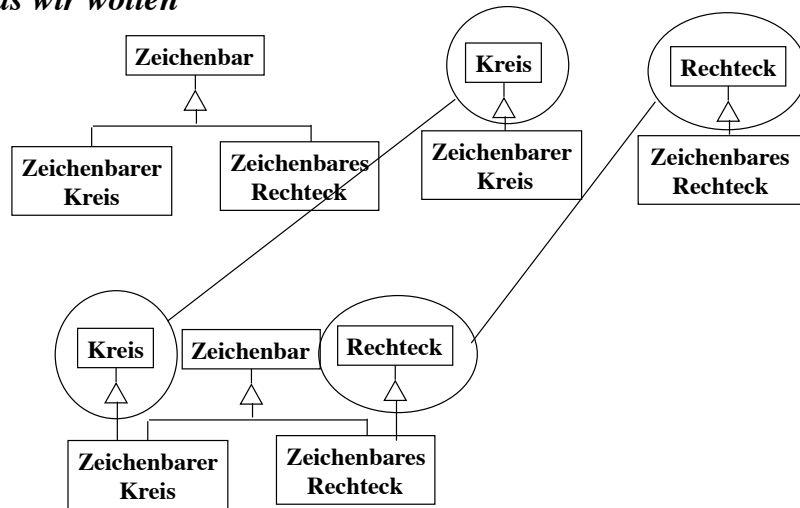


- ❖ Wir wollen aber auch, daß diese **Zeichenbar** Typen die Methoden **flaeche** und **umfang** anbieten.

- Um diese Methoden zu reimplementieren, würden wir gern **ZeichenbarerKreis** zu einer Unterklasse von **Kreis** machen, und **ZeichenbaresRechteck** zu einer Unterklasse von **Rechteck**.

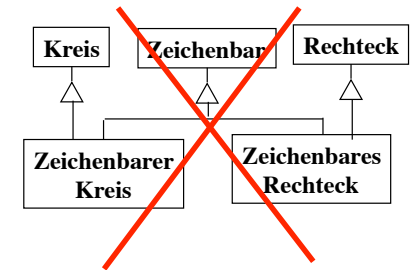


Was wir wollen



Mehrfachvererbung ist in Java nicht erlaubt

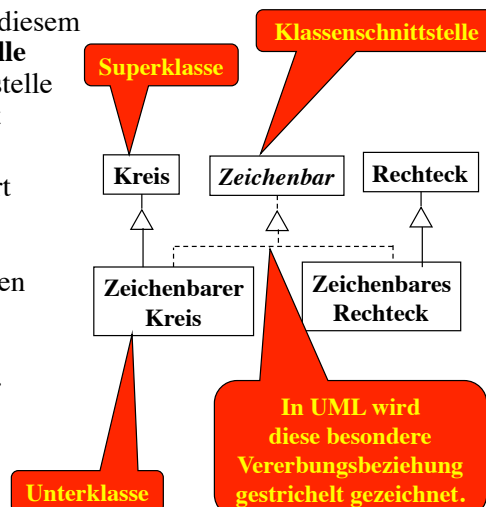
- ❖ **Java verbietet Mehrfachvererbung.**
 - In Java können Klassen nur eine Superklasse haben.
 - Wenn **ZeichenbarerKreis** Unterklasse von **Kreis** ist, dann kann sie nicht gleichzeitig Unterklasse von **Zeichenbar** sein.



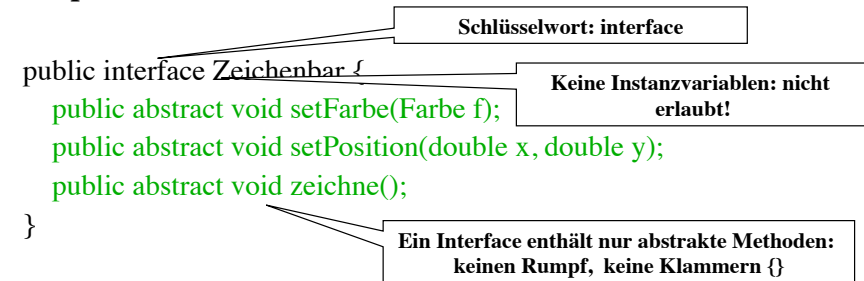
Java-Implementierung mit Klassenschnittstelle

- ❖ Java hat eine andere Lösung zu diesem Problem: die **Klassenschnittstelle** (interface). Eine Klassenschnittstelle ist wie eine abstrakte Klasse mit folgenden Unterschieden:

- Sie benutzt das Schlüsselwort **"interface"** anstatt **"abstract class"**.
- Sie darf keine Instanzvariablen haben, nur Konstanten (**"final static"**).
- Alle Methoden sind abstrakt.



Beispiel einer Klassenschnittstelle in Java



- ❖ Sprachgebrauch:
 - Eine Klasse erweitert (**extends**) ihre Superklasse
 - Eine Klasse implementiert (**implements**) eine Schnittstelle.

- ❖ Beispiel:

```

public class ZeichenbaresRechteck extends Rechteck
    implements Zeichenbar { ... }
  
```


Implementierung einer Java-Schnittstelle

```
interface Zeichenbar {
    public void setFarbe(Farbe f);
    public void setPosition(double x,
        double y);
    public void zeichne();
}

public class ZeichenbaresRechteck extends
    Rechteck implements Zeichenbar {
    private Farbe lf;
    private double lx, ly;
    private void zeichneRechteck () {
        // Zeichnet ein Rechteck in Farbe lf in
        // Position lx, ly. Breite und Höhe
        // bekommt man durch Aufruf von
        // getBreite() und getHoehe() (öffentliche
        // Methoden in Rechteck).
    };
    // Implementierungen von Zeichenbar:
    public void setFarbe(Farbe f)
        { lf = f; }
    public void setPosition(double x, double y)
        { lx = x; ly = y; }
    public void zeichne()
        { zeichneRechteck(); }
}
```

Wie benutzt man Klassenschnittstellen in Java?

- ❖ Im Gegensatz zur Vererbung von Klassen, bei denen in Java nur die Einfachvererbung zulässig ist, können auch mehrere (Klassen-)Schnittstellen mittels der **implements**-Klausel aufgeführt und implementiert werden.
- ❖ Eine Klasse, die eine Schnittstelle realisiert, muss alle in der Schnittstelle genannten Methoden implementieren.
- ❖ Eine Schnittstelle ist in Java ein Referenztyp (reference type), d.h. man kann Variablen oder Parameter mit einer Schnittstelle als Typ deklarieren.
 - Dies wird oft bei der Programmierung generischer Klassen gemacht.

Eine Basistyp für generische Mengen auf sortierten Reihenungen

- ❖ Auf den Elementen einer sortierten Reihung muss eine Ordnung definiert sein.
 - Deshalb scheidet **Object** als Basistyp für eine generische Klasse aus.
 - Wir definieren deshalb einen abstrakten Basistyp **Comparable**, dessen Schnittstelle eine Vergleichsoperation enthält.
 - Um für abgeleitete Klassen zusätzliche Vererbungen zuzulassen, definieren wir **Comparable** als Schnittstelle:

```
interface Comparable {
    // die Vergleichsoperation compareTo liefert
    // -1, falls this kleiner als c ist
    // 0, falls this gleich c ist
    // 1, falls this grösser als c ist
    public abstract int compareTo(Comparable c);
}
```

- ❖ **Comparable** kann nun als Basistyp für die generische Mengendarstellung auf sortierten Reihenungen verwendet werden:

Eine generische Klasse **OrderedArraySet** für sortierte Mengen

- ❖ Die Attribute der Klasse **OrderedArraySet**:

```
private int currentSize; // aktuelle Groesse der Menge
private Comparable[] array; // speichert die Elemente
```

- ❖ Die Methode **contains()** der Klasse **OrderedArraySet**:

```
public boolean contains (Comparable c) {
    for(int index=0; index<currentSize; index++) {
        if (array[index].compareTo(c) == 0)
            // Element gefunden
            return true;
        if (array[index].compareTo(c) == 1)
            // größeres Element erreicht
            return false;
    }
    // Ansonsten Element nicht enthalten
    return false;
}
```

Die Methode delete () der Klasse OrderedArraySet

```
public void delete(Comparable c) {  
    // Indexposition von c ermitteln:  
    int index = 0;  
    while (index < currentSize && array[index].compareTo(c) == -1)  
        index++;  
  
    if (index >= currentSize || array[index].compareTo(c) == 1) {  
        // in diesem Fall ist c nicht in Menge enthalten  
        System.out.println("delete: " + c + " nicht enthalten!");  
        return;  
    }  
  
    // Sonst steht c auf Position index; c wird geloescht,  
    // indem die Elemente rechts von Position index nach  
    // links umgespeichert werden  
    for (int k=index+1; k<currentSize; k++)  
        array[k-1] = array[k];  
  
    // Konsistente Verminderung von currentSize:  
    currentSize--;  
}
```

Erweiterung von MyInteger um die Methode compareTo ()

- ❖ Damit unsere Klasse **MyInteger** für Elemente einer generischen Liste vom Typ **OrderedList** verwendet werden kann, muss sie die Schnittstelle **Comparable** implementieren, d.h.
 - der Klassenkopf muss ergänzt werden um **implements Comparable**
 - Die Vergleichsoperation **compareTo ()** muss implementiert werden:

```
class MyInteger implements Comparable {  
    ...  
    // Konstruktor und Methoden wie bisher  
    ...  
    public int compareTo(Comparable c) {  
        // Zunaechst Typkonvertierung von c auf MyInteger:  
        MyInteger i = (MyInteger) c;  
        if (value < i.value)  
            return -1;  
        if (value == i.value)  
            return 0;  
        return 1;  
    }  
}
```

Zusammenfassung: Wiederverwendung durch Vererbung

- ❖ Klassenvererbung durch Implementierungs- und Schnittstellenvererbung.
- ❖ **Implementierungsvererbung:** Der Programmierer schreibt Java-Methoden und erlaubt, dass einige von ihnen überschrieben werden.
- ❖ **Schnittstellenvererbung:**
 - Ein Klassenschnittstelle (Java-Interface) ist wie eine abstrakte Klasse, kann aber keine Attribute (Instanzvariablen) haben.
 - In einer Schnittstellendefinition sind alle Methoden abstrakt, d.h. keine Methode hat einen Methodenrumpf.
 - Der Ersteller einer Schnittstelle spezifiziert, welche Methoden von den Klassen realisiert werden müssen, die diese Schnittstelle implementieren.
 - Die Methodenrumpfe werden in den Klassen definiert, die die Methoden bzw. die Schnittstelle implementieren.

Hinweis

- ❖ Auf der Homepage der Vorlesung steht unter.
 - **HierarchieGenerisch.zip**
die komplette Hierarchie von Mengendarstellungen als generische Klassen zur Verfügung.