# Programmierzertifikat Objekt-Orientierte Programmierung mit Java

## Vorlesung 08: Vergleich und Schranken

Peter Thiemann

Universität Freiburg, Germany

SS 2008

# Ziel

- Werkzeuge fürs Arbeiten mit Mengen und Abbildungen

# Inhalt

# Vergleichen

```
interface Comparable<T> {
  // compare this object with the other
  public int compareTo (T other);
}
```

- Ergebnis:
  - $< 0$, falls **this** kleiner als that
  - $= 0$, falls **this** gleich that
  - $> 0$, falls **this** größer als that
- Diese Ordnung ist die **natürliche Ordnung**

# Beispiel: Vergleichen

- Vordefiniert: Integer **implements** Comparable<Integer>

```
Integer int0 = 0;
Integer int1 = 1;
assert int0.compareTo (int1) < 0;
```

- Vordefiniert: String **implements** Comparable<String>

```
String str0 = "zero";
String str1 = "one";
assert str0.compareTo (str1) > 0;
```

# Beispiele: Nicht vergleichbar

- Sinnlose Vergleiche werden abgefangen

```
Integer i = 0;
String s = "one";
assert i.compareTo (s) < 0; // type error
```

- Manche Vergleiche werden nicht unterstützt

```
Number m = new Integer(2);
Number n = new Double (3.14);
assert m.compareTo (n) < 0; // type error
```

# Anforderungen an `compareTo()`

## Konsistenz mit `equals()`

Für zwei Objekte `x` und `y` muss gelten

*x.equals(y) genau dann, wenn x.compareTo(y) == 0*

- Verwendung mit `SortedMap` oder `SortedSet`: Wenn zwei Objekte, die nach `compareTo` gleich sind, in `SortedSet` / `SortedMap` eingefügt werden, so ist nachher nur eins der Objekte enthalten.
- Konsistenz ist in den Standardbibliotheksklassen gesichert.
- Ausnahme: Vergleiche von `BigDecimal` ignorieren die Zahl der Stellen
- Vergleich mit null
  - x.equals(null) == false
  - x.compareTo(null) $\Rightarrow$ `NullPointerException`

# Anforderungen an `compareTo()`

## Eigenschaften

- java.lang.Integer.signum(x) liefert $-1$, 0 oder 1 je nachdem, ob `x` negativ, null oder positiv ist
- `compareTo` ist antisymmetrisch

$$\text{signum}\ (x.\text{compareTo}\ (y)) == -\text{signum}\ (y.\text{compareTo}\ (x))$$

- Vergleichen ist transitiv

*Falls* $x.compareTo(y) <= 0$ *und* $y.compareTo(z) <= 0$, *dann ist* $x.compareTo(z) <= 0$

- Vergleichen ist eine Kongruenz

*Falls* $x.compareTo(y) == 0$, *dann ist*

$signum(x.compareTo(z)) == signum(y.compareTo(z)$

- Vergleichen ist reflexiv

$$x.\text{compareTo}(x) == 0$$

# equals() und hashCode()

- Methoden aus java.lang.Object
- **public** int hashCode()
  muss eine Zahl liefern, die
  - gleich bleibt, solange keine Felder verändert werden, von denen `equals()` abhängt
  - gleich ist für Objekte, die `equal()` sind, d.h.

    *Falls x.equal(y), dann x.hashCode() == y.hashCode()*

  - Die Umkehrung ist nicht erforderlich (meist auch nicht möglich), kann aber die Effizienz von Hashtabellen verbessern.

$\Rightarrow$ Wenn `equals()` überschrieben wird, dann muss auch `hashCode()` überschrieben werden.

# Maximum einer Collection

# Erste Implementierung

```
// maximum of a non−empty collection
public static <T extends Comparable<T>> T max(Collection<T> coll) {
  T candidate = coll.iterator().next();
  for (T elem : coll) {
    if (candidate.compareTo(elem) < 0) {
      candidate = elem;
    }
  }
  return candidate;
}
```

- Funktioniert für alle Typen `T`, die `Comparable<T>` implementieren.
- Effizienz kann verbessert werden. Wie?

# Beispiele

- `Integer`

```
List<Integer> ints = Arrays.asList(0, 1, 2);
assert max(ints) == 2;
```

- `String`

```
List<String> strs = Arrays.asList("zero", "one", "two");
assert max(strs) == "zero";
```

- **Nicht** für `Number`

```
List<Number> nums = Arrays.asList(1,2,3.14);
assert max(nums) == 3.14; // type error
```

# Verbesserte Signatur

- Ausgangspunkt

```
public static <T extends Comparable<T>>
T max(Collection<T> coll);
```

- Die Eingabecollection darf auch einen Subtyp von `T` als Elementtyp haben, **da aus ihr nur gelesen wird.**

```
public static <T extends Comparable<T>>
T max(Collection<? extends T> coll);
```

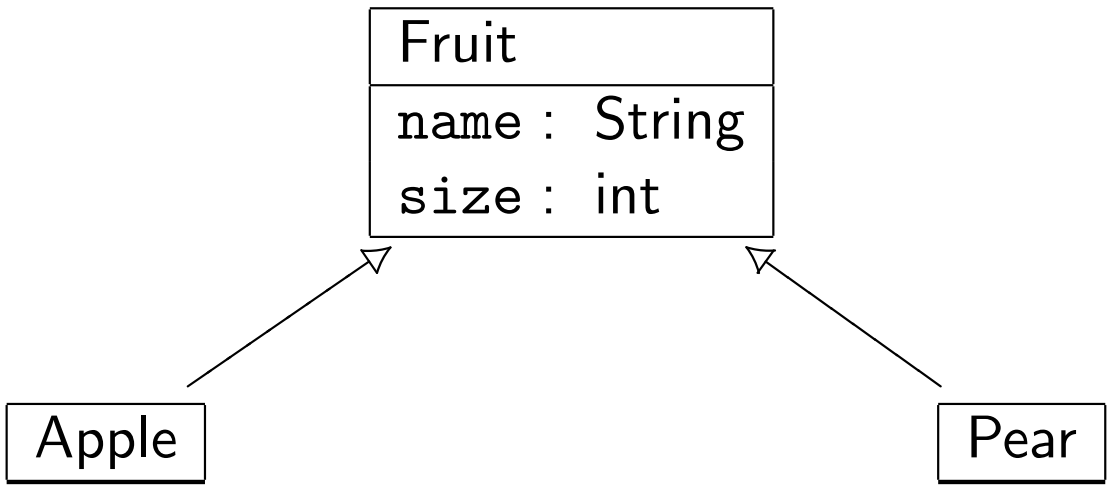
- Die Vergleichsoperation könnte auch auf einem Supertyp von `T` definiert sein.

```
public static <T extends Comparable<? super T>>
T max(Collection<? extends T> coll);
```

- Definition in Java-Bibliothek noch etwas komplizierter
- Rumpf der Methode bleibt unverändert

# Fruchtige Beispiele

# Äpfel und Birnen




Zwei Möglichkeiten zum Vergleichen

- Äpfel und Birnen dürfen verglichen werden
- Äpfel und Birnen dürfen **nicht** verglichen werden

# Vergleich von Äpfel und Birnen erlaubt

```
abstract class Fruit implements Comparable<Fruit> {
    protected String name;
    protected int size;
    protected Fruit (String name, int size) {
        this.name = name; this.size = size;
    }
    public boolean equals (Object o) {
        if (o instanceof Fruit) {
            Fruit that = (Fruit) o;
            return this.name.equals (that.name) && this.size == that.size;
        } else { return false; }
    }
    public int hashCode() {
        return name.hashCode()*29 + size;
    }
    public int compareTo (Fruit that) {
        return this.size < that.size ? -1 :
                this.size > that.size ? 1 : 0;
    }
}
```

# Äpfel und Birnen

```
class Apple extends Fruit {
    public Apple (int size) {
        super ("Apple", size);
    }
}
```

```
class Pear extends Fruit {
    public Pear (int size) {
        super ("Pear", size);
    }
}
```

# Test mit Vergleichen

```
class ApplePearTest {
    public static void main (String[] arg) {
        Apple a1 = new Apple(1); Apple a2 = new Apple(2);
        Pear o3 = new Pear(3); Pear o4 = new Pear(4);

        List<Apple> apples = Arrays.asList(a1,a2);
        assert Collections.max(apples).equals(a2);

        List<Pear> pears = Arrays.asList(o3,o4);
        assert Collections.max(pears).equals(o4);

        List<Fruit> mixed = Arrays.<Fruit>asList(a1,o3);
        assert Collections.max(mixed).equals(o3); // ok
    }
}
```

# Einschub: Signatur von `max`

- Die allgemeine Signatur von `max` war

```
public static <T extends Comparable<? super T>>
T max(Collection<? extends T> coll);
```

- Für `Fruit` ist dies erforderlich, da sonst `max` nicht auf pears anwendbar wäre.

  Pear **implements** Comparable<Pear> **gilt nämlich nicht**.
- Aber Pear **extends** Comparable<? **extends** Fruit> ist erfüllt, denn
  - Pear **extends** Fruit
  - Fruit **extends** Comparable<Fruit>

  implizieren, dass
  - Fruit **super** Pear
  - Pear **extends** Comparable<Fruit>

# Vergleich von Äpfeln mit Birnen nicht erlaubt

```
abstract class Fruit1 {
    protected String name;
    protected int size;
    protected Fruit1 (String name, int size) {
        this.name = name; this.size = size;
    }
    public boolean equals (Object o) {
        if (o instanceof Fruit1) {
            Fruit1 that = (Fruit1) o;
            return this.name.equals (that.name) && this.size == that.size;
        } else { return false; }
    }
    public int hashCode() {
        return name.hashCode()*29 + size;
    }
    protected int compareTo (Fruit1 that) {
        return this.size < that.size ? -1 :
                this.size > that.size ? 1 : 0;
    }
}
```

# Äpfel und Birnen

```
class Apple1 extends Fruit1 implements Comparable<Apple1> {
    public Apple1 (int size) {
        super ("Apple", size);
    }
    public int compareTo (Apple1 a) {
        return super.compareTo(a);
    }
}
```

```
class Pear1 extends Fruit1 implements Comparable<Pear1> {
    public Pear1 (int size) {
        super ("Pear", size);
    }
    public int compareTo (Pear1 that) {
        return super.compareTo (that);
    }
}
```

# Test mit Vergleichen

```
class ApplePearTest1 {
    public static void main (String[] arg) {
        Apple1 a1 = new Apple1(1); Apple1 a2 = new Apple1(2);
        Pear1 o3 = new Pear1(3); Pear1 o4 = new Pear1(4);

        List<Apple1> apples = Arrays.asList(a1,a2);
        assert Collections.max(apples).equals(a2);

        List<Pear1> pears = Arrays.asList(o3,o4);
        assert Collections.max(pears).equals(o4);

        List<Fruit1> mixed = Arrays.<Fruit1>asList(a1,o3);
        assert Collections.max(mixed).equals(o3); // type error
    }
}
```

# Einschub: Innere und anonyme Klassen

# Innere Klassen

- Eine innere Klasse wird innerhalb einer anderen Klasse deklariert.
- Anwendung:
  - Strukturierung von Code
  - Kapselung von Hilfsklassen
- Innere Klassen können selbst mit Sichtbarkeitsattributen versehen werden. (Oft **private**)
- Innere Klassen können auch erben, Interfaces implementieren und generisch sein.
- **Achtung:** eine innere Klasse übernimmt **nicht** die Superklassen und Interfaces der umschließenden Klasse!

# Statische innere Klassen

```
class DeeplyNested {
    private static int foo = 42;
    private static class A {
        private static int a;
        private static void testA() {
            a = foo;
        }
    }
    private static class OuterB {
        private static class InnerB {
            private static int testB() {
                return A.a;
            }
        }
    }
    public int testDeeplyNested () {
        A .testA();
        return OuterB.InnerB.testB();
    }
}
```

# Statische innere Klassen

- Statische innere Klassen können nur auf statische Elemente anderer Klassen zugreifen.
- Sie können selbst aber auch *nicht-statische* Elemente enthalten.
- Sichtbarkeit
  - Äußere Klassen können auf private Elemente in inneren Klassen zugreifen.
  - Innere Klassen können auf private Elemente in äußeren Klassen zugreifen.
  - Innere Klassen können auf private Elemente anderer innerer Klassen mit gleicher äußerer Klasse zugreifen.

# Verkettete Listen

```
class LinkedList {
    private ListElem header = new ListElem(null,null,null);
    private int size = 0;
    LinkedList() {
        header.next = header;
        header.prev = header;
    }
    ...
    private static class ListElem {
        private Entry entry;
        private ListElem next;
        private ListElem prev;
        ListElem(Entry entry,ListElem next,ListElem prev) {
            this.entry = entry;
            this.next = next;
            this.prev = prev;
        }
    }
}
```

# ... mit Iterator

```
class LinkedList {...
    private int size = 0;
    private static class ListElem {...}

    private class ListIterator implements Iterator {
        private int nextIndex = 0;
        private ListElem next = header.next;
        public boolean hasNext() {
            return nextIndex != size;
        }
        public Entry next() {...}
        public void remove() {...}
    }

    public Iterator iterator() {
        return new ListIterator();
    }
}
```

# Nicht-statische innere Klassen

- Jede Instanz einer nicht-statischen inneren Klasse hält implizit eine Referenz auf das dazugehörige Objekt der äußeren Klasse.
- In der Methode hasNext wird auf die nicht statische Instanzvariable size zugegriffen. Deshalb kann die Klasse ListIterator nicht statisch sein.
- Auf das Objekt der äußeren Klasse LinkedList kann mit LinkedList.**this** aus der Klasse ListIterator heraus zugegriffen werden.
- Falls keine Namenskonflikte existieren, kann direkt auf Attribute und Methoden des äußeren Objekts zugegriffen werden.
- Ein ListIterator-Objekt kann für ein LinkedList-Objekt myList durch myList.**new** ListIterator() erzeugt werden. (hiermuss muss die innere Klasse sichtbar sein!)

# Anonyme Klassen

- Anonyme Klasse = Klasse ohne Namen
- Abkürzung für innere Klasse, die nur einmal benötigt wird.
- Beispiele
  - Listener für Swing-Objekte
  - Filter für Listenfilterung
  - Vergleichsoperatoren
- Erzeugung eines Objekts durch den **Ausdruck**

```
new Interface () {
  // Felder und Methoden zur Implementierung von Interface
  // genau wie im Rumpf einer Klassendeklaration
};
```

- Alternativ eine Instanz einer abstrakten Klasse

```
new AClass (arg1,..., argn) {
  // Felder und Methoden
};
```

# Andere Ordnungen

# Alternative Vergleiche

- Die natürliche Ordnung ist manchmal nicht die richtige.
- Beispiel:
  - Früchte dem Namen nach vergleichen
  - Strings der Länge nach vergleichen
- Java stellt dafür das `Comparator` Interface bereit.

# Comparator

```
interface Comparator<T> {
  public int compare(T o1, T o2);
}
```

- compare (x,y) liefert
  - $< 0$, falls x kleiner als y
  - $= 0$, falls x gleich y
  - $> 0$, falls x größer als y

# Beispiel: Strings zuerst der Länge nach vergleichen

```
class SizeOrder implements Comparator<String> {
  public SizeOrder () {}
  public int compare (String x, String y) {
    return x.length() < y.length() ? −1 :
           x.length() > y.length() ? 1 :
           x.compareTo(y);
  }
}
```

## Verwendung

```
assert "two".compareTo("three") > 0;
assert new SizeOrder().compare ("two", "three") < 0;
```

# Beispiel nochmal mit anonymer Klasse

```
Comparator<String> sizeOrder =
new Comparator<String> () {
  public int compare (String x, String y) {
    return x.length() < y.length() ? −1 :
           x.length() > y.length() ? 1 :
           x.compareTo(y);
  }
};
```

## Verwendung

```
assert "two".compareTo("three") > 0;
assert sizeOrder.compare ("two", "three") < 0;
```

# Comparator in der Java-Bibliothek

- Die Java-Bibliothek enthält immer beide Varianten, für `Comparable` und für `Comparator`
- Beispiel: `max`

```
public static <T extends Comparable<? super T>>
T max(Collection<? extends T> coll);
```

```
public static <T>
T max(Collection<? extends T> coll, Comparator<? super T> cmp);
```

- Analog für `min`

# Beispiele mit Comparator

```
Collection<String> strings = Arrays.asList("from", "aaa", "to", "zzz");
assert max(strings).equals("zzz");
assert min(strings).equals("aaa");
assert max(strings, sizeOrder).equals("from");
assert min(strings, sizeOrder).equals("to");
```

# Maximum mit Comparator

```
public static <T>
T max(Collection <? extends T> coll, Comparator<? super T> comp) {
  Iterator<? extends T> iter = coll.iterator();
  T candidate = iter.next();
  while(iter.hasNext()) {
    T elem = iter.next();
    if (comp.compare(candidate, elem) < 0)
    candidate = elem;
  }
  return candidate;
}
```

# Natürliche Ordnung als Comparator

## Mit anonymer Klasse

```
public static <T extends Comparable<? super T>>
Comparator<T> naturalOrder() {
  return
  new Comparator<T> () {
    public int compare(T t1, T t2) {
      return t1.compareTo(t2);
    }
  };
}
```

# Umdrehen der Ordnung

## Mit anonymer Klasse

```
public static <T>
Comparator<T> reverseOrder(final Comparator<T> comp) {
  return
  new Comparator<T> () {
    public int compare(T t1, T t2) {
      return comp.compare(t2, t1);
      // alternativ:
      // return -comp.compare(t1, t2);
    }
  };
}
```

# Implementierung des Minimums

- Mit Comparable:

```
public static <T extends Comparable<? super T>>
T min(Collection<? extends T> coll) {
  return min(coll, Comparison.<T>naturalOrder());
}
```

- Mit Comparator:

```
public static
<T> T min(Collection<? extends T> coll, Comparator<? super T> comp) {
  return max(coll, reverseOrder(comp));
}
```

# Lexikographisches Vergleichen für Listen aus Elementvergleich

```
public static <T>
Comparator<List<T>> listComparator(final Comparator<T> comp) {
  return new Comparator<List<T>>() {
    public int compare(List<T> l1, List<T> l2) {
      int n1 = l1.size();
      int n2 = l2.size();
      for(int i = 0; i < Math.min(n1, n2); i++) {
        int k = comp.compare(l1.get(i), l2.get(i));
        if (k != 0) {
          return k;
        }
      }
      return n1 < n2 ? -1 :
      n1 == n2 ? 0 : 1;
    }
  };
}
```

# Aufzählungstypen (Enumerated Types)

# Aufzählungstypen in Java 5

- Ein Aufzählungstyp enthält endlich viele benannte Elemente.
- Beispiel

```
enum Season { WINTER, SPRING, SUMMER, AUTUMN }
```

- Diese Werte können im Programm als Konstanten verwendet werden.
- Konvention: Konstanten werden komplett groß geschrieben.
- Die Implementierung von Aufzählungstypen erfolgt mit Hilfe einer generischen Klasse mit einer interessanten Typschranke.

# Implementierung von Season

```
enum Season { WINTER, SPRING, SUMMER, AUTUMN }
```

- Es gibt eine Klasse Season
- Von dieser Klasse gibt es genau vier Instanzen, eine für jeden Wert.
- Jeder Wert ist durch ein **static final** Feld in Season verfügbar.
- Season erbt von einer Klasse Enum, die das Grundgerüst der Implementierung liefert.
- (Implementierung nach Joshua Bloch, Effective Java)

# Die Klasse Enum

```
public abstract class Enum<E extends Enum<E>> implements Comparable<E> {
    private final String name;
    private final int ordinal;
    protected Enum (String name, int ordinal) {
        this.name = name; this.ordinal = ordinal;
    }
    public final String name() { return name; }
    public final int ordinal() { return ordinal; }
    public String toString() { return name; }
    public final int compareTo(E o) {
        return ordinal − o.ordinal;
    }
}
```

# Die Klasse Season

```
// corresponding to
// enum Season { WINTER, SPRING, SUMMER, AUTUMN }
final class Season extends Enum<Season> {
    private Season(String name, int orginal) { super(name, ordinal); }
    public static final Season WINTER = new Season ("WINTER", 0);
    public static final Season SPRING = new Season ("SPRING", 1);
    public static final Season SUMMER = new Season ("SUMMER", 2);
    public static final Season AUTUMN = new Season ("AUTUMN", 3);
    private static final Season[] VALUES = { WINTER, SPRING, SUMMER, AUTUMN
    public static Season[] values() { return VALUES.clone(); }
    public static Season valueOf (String name) {
        for (Season e : VALUES) {
            if (e.name().equals (name)) {
                return e;
            }
        }
        throw new IllegalArgumentException();
    }
}
```

# Erklärung für die Typschranken

```
public abstract class Enum<E extends Enum<E>> implements Comparable<E> {
```

```
final class Season extends Enum<Season> {
```

- Wofür ist Enum<E **extends** Enum<E>> notwendig?
- Die Klasse Season ist passend definiert:
  **class** Season **extends** Enum<Season>
- Da außerdem Enum<E> **implements** Comparable<E>, gilt weiter
  Enum<Season> **implements** Comparable<Season> und
  Season **extends** Comparable<Season>

# Erklärung für die Typschranken

```
public abstract class Enum<E extends Enum<E>> implements Comparable<E> {
```

```
final class Season extends Enum<Season> {
```

- Wofür ist Enum<E **extends** Enum<E>> notwendig?
- Die Klasse Season ist passend definiert:
  **class** Season **extends** Enum<Season>
- Da außerdem Enum<E> **implements** Comparable<E>, gilt weiter
  Enum<Season> **implements** Comparable<Season> und
  Season **extends** Comparable<Season>

$\Rightarrow$ Elemente von Season miteinander vergleichbar, **aber nicht** mit Elementen von anderen Aufzählungstypen!

# So tut's nicht: zu einfach

- Ohne die Typschranken könnten Elemente von beliebigen Aufzählungstypen miteinander verglichen werden.
- Angenommen, es wäre
  - **class** Enum **implements** Comparable<Enum>
  - **class** Season **extends** Enum
- Dann gilt Season **implements** Comparable<Enum>, genau wie für jeden anderen Aufzählungstyp!
- (Vgl. Fruit-Beispiel)
- **Dieses Verhalten ist unerwünscht!**