

## Vorlesung



# Programmieren I und II

## Unit 9 Generische Datentypen

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

1

## Disclaimer



### Zur rechtlichen Lage an Hochschulen:

Dieses Handout und seine Inhalte sind durch den Autor selbst erstellt. Aus Gründen der Praktikabilität für Studierende lehnen sich die Inhalte stellenweise im Rahmen des Zitatrechts an Lehrwerken an.

Diese Lehrwerke sind explizit angegeben.

Abbildungen sind selber erstellt, als Zitate kenntlich gemacht oder unterliegen einer Lizenz die nicht die explizite Nennung vorsieht. Sollten Abbildungen in Einzelfällen aus Gründen der Praktikabilität nicht explizit als Zitate kenntlichgemacht sein, so ergibt sich die Herkunft immer aus ihrem Kontext: „Zum Nachlesen ...“.

### Creative Commons:

Und damit andere mit diesen Inhalten vernünftig arbeiten können, wird dieses Handout unter einer Creative Commons Attribution-ShareAlike Lizenz (CC BY-SA 4.0) bereitgestellt.

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>



Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

2





**Prof. Dr. rer. nat.  
Nane Kratzke**

*Praktische Informatik und  
betriebliche Informationssysteme*

- **Raum: 17-0.10**
- **Tel.: 0451 300 5549**
- **Email: [nane.kratzke@th-luebeck.de](mailto:nane.kratzke@th-luebeck.de)**



**@NaneKratzke**  
Updates der Handouts auch über Twitter #prog\_inf und #prog\_itd

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

3



## Units

|                                                                                                                            |                                                                                              |                                                                                           |                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| <b>Unit 1</b><br>Einleitung und<br>Grundbegriffe                                                                           | <b>Unit 2</b><br>Grundelemente<br>imperativer Programme                                      | <b>Unit 3</b><br>Selbstdefinierbare<br>Datentypen und<br>Collections                      | <b>Unit 4</b><br>Einfache I/O<br>Programmierung              |
| <b>Unit 5</b><br>Rekursive<br>Programmierung und<br>rekursive<br>Datenstrukturen                                           | <b>Unit 6</b><br>Einführung in die<br>objektorientierte<br>Programmierung und<br>UML         | <b>Unit 7</b><br>Konzepte<br>objektorientierter<br>Programmiersprachen<br>(SELBSTSTUDIUM) | <b>Unit 8</b><br>Testen<br>(objektorientierter)<br>Programme |
|  <b>Unit 9</b><br>Generische Datentypen | <b>Unit 10</b><br>Objektorientierter<br>Entwurf und<br>objektorientierte<br>Designprinzipien | <b>Unit 11</b><br>Graphical User<br>Interfaces                                            | <b>Unit 12</b><br>Multithread<br>Programmierung              |

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

4

Worum geht es in dieser Unit



Die generischen  und das  
Geheimnis der spitzen Klammer

A Generic<? super Concept> Story

## Abgedeckte Ziele dieser UNIT



|                                                                                                               |                                                                                                                                    |                                                                                                                              |                                                                                                                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kennen existierender Programmierparadigmen und Laufzeitmodelle                                                | Sicheres Anwenden grundlegender programmiersprachlicher Konzepte (Datentypen, Variable, Operatoren, Ausdrücke, Kontrollstrukturen) | Fähigkeit zur problemorientierten Definition und Nutzung von Routinen und Referenztypen (insbesondere Liste, Stack, Mapping) | Verstehen des Unterschieds zwischen Werte- und Referenzsemantik                                                                                    |
| Kennen und Anwenden des Prinzips der rekursiven Programmierung und rekursiver Datenstrukturen                 | Kennen des Algorithmusbegriffs, Implementieren einfacher Algorithmen                                                               | Kennen objektorientierter Konzepte Datenkapselung, Polymorphie und Vererbung                                                 | Sicheres Anwenden programmiersprachlicher Konzepte der Objektorientierung (Klassen und Objekte, Schnittstellen und Generics, Streams, GUI und MVC) |
| Kennen von UML Klassendiagrammen, sicheres Übersetzen von UML Klassendiagrammen in Java (und von Java in UML) | Kennen der Grenzen des Testens von Software und erste Erfahrungen im Testen (objektorientierter) Software                          | Sammeln erster Erfahrungen in der Anwendung objektorientierter Entwurfsprinzipien                                            | Sammeln von Erfahrungen mit weiteren Programmiermodellen und -paradigmen, insbesondere Multithread Programmierung sowie funktionale Programmierung |

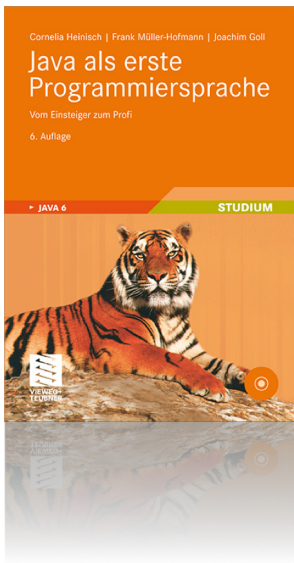
Am Beispiel der Sprache JAVA

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

7

## Zum Nachlesen ...





### Kapitel 17

#### Generizität

- 17.1 Generische Klassen
- 17.2 Eigenständig generische Methoden
- 17.3 Bounded Typ-Parameter und Wildcards
- 17.4 Generische Schnittstellen

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

8

## Themen dieser Unit



### Generizität

- Typsicherheit
- Type Erasure
- Generizität in Vererbungsbeziehungen
- Eigenständig generische Methoden

### Bounded Types

- Einschränkung der Generizität
- Wildcards
- Upper Bounds
- Lower Bounds

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

9

## Das Konzept der Generizität



- Generizität erlaubt es, die Definition von Klassen, Methoden und Schnittstellen mit Hilfe von „Typ-Platzhaltern“ (Typ-Parametern) durchzuführen.
- Dadurch werden parametrisierbare Elemente geschaffen, die im Programm mit konkreten Datentypen aufgerufen werden können.

Eine Klasse mit formalem Typ-Parameter ist eine **generische Klasse**. Der Typ-Parameter ist ein symbolischer Name, der eingeschlossen in **spitzen Klammern** nach dem Klassennamen angegeben werden kann.

```
class Punkt <T> {  
    private T x;  
    private T y;  
  
    public Punkt (T x, T y) {  
        this.x = x;  
        this.y = y;  
    }  
}
```

```
Punkt<Integer> pi =  
    new Punkt<Integer>(1,2);
```

```
Punkt<Double> pi =  
    new Punkt<Double>(1.0,2.0);
```

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

10

## Warum Generizität?



- Mit der Generizität von Klassen, Schnittstellen und Methoden werden die folgenden Ziele verfolgt:
  - **Höhere Typsicherheit:** Erkennen von Typ-Umwandlungsfehlern zur Kompilierzeit anstatt zur Laufzeit
  - **Wiederverwendbarkeit** von Code
  - **Vermeiden des expliziten Casts** beim Auslesen aus einer Collection aus Elementen vom Typ Object

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

11

## Generische Klassen (I)



### Ohne Generizität (vor JAVA 5)

Komplette Kopie (nur die Datentypen sind geändert)

```
class PunktInteger {  
    private Integer x;  
    private Integer y;  
  
    public Punkt (Integer x, Integer y) {  
        this.x = x;  
        this.y = y;  
    }  
}
```

```
class PunktDouble {  
    private Double x;  
    private Double y;  
  
    public Punkt (Double x, Double y) {  
        this.x = x;  
        this.y = y;  
    }  
}
```

### Mit Generizität (seit JAVA 5)

Nur eine Klassendefinition notwendig. Datentypen sind parametrisiert.

```
class Punkt <T> {  
    private T x;  
    private T y;  
  
    public Punkt (T x, T y) {  
        this.x = x;  
        this.y = y;  
    }  
}
```

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

12

## Generische Klassen (II)



- Generische Klassen können beliebig viele parametrisierte Datentypen haben:

```
class GenClass <T, R, S, ... , U, V, W> {  
    T data1;  
    R data2;  
    ....  
    W data_n;  
}
```

- Die Benennung der Parameter kann dabei den üblichen JAVA-Konventionen für Bezeichner folgen.
- *D.h. Typparameter müssen nicht notwendig nur aus einem Buchstaben bestehen. Dies wird aus Gründen der Einfachheit in diesem Handout jedoch weiterhin so gemacht werden.*

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

13

## Generische Klassen (III)



- Durch die Nutzung **formaler Typ-Parameter** können Klassen unabhängig von einem speziellen Typ generisch definiert werden.
- Der formale Typ-Parameter wird bei der Verwendung der Klasse dann durch den gewünschten konkreten Datentyp ersetzt.
- Werden formale Typ-Parameter durch **aktuelle Typ-Parameter** (konkreter Referenzdatentyp) ersetzt, so handelt es sich um eine konkrete Ausprägung einer generischen Klasse, die auch **aktuell parametrisierte Klasse** genannt wird.
- **Der aktuelle Typ-Parameter muss ein Referenztyp und darf kein primitiver Datentyp sein.**
- Aktuell parametrisierte Klassen stehen auf einer Ebene in der Vererbungshierarchie. **Zwischen ihnen bestehen keine Vererbungsbeziehungen!**



Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

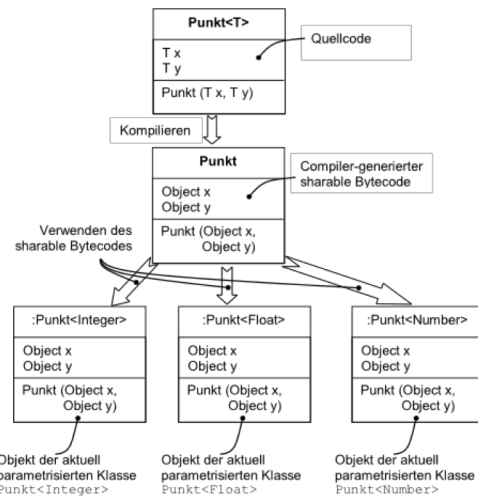
14

## Generische Klassen (IV)



### Shareable Bytecode

Der Compiler erzeugt bei der Übersetzung einer generischen Klasse nur eine einzige Bytecode-Datei, unabhängig davon, wie viele aktuell parametrisierte Klassen der generischen Klasse verwendet werden. Für die Klasse `Punkt` erzeugt der Compiler nur eine `Punkt.class` Datei.



Quelle: Java als erste Programmiersprache

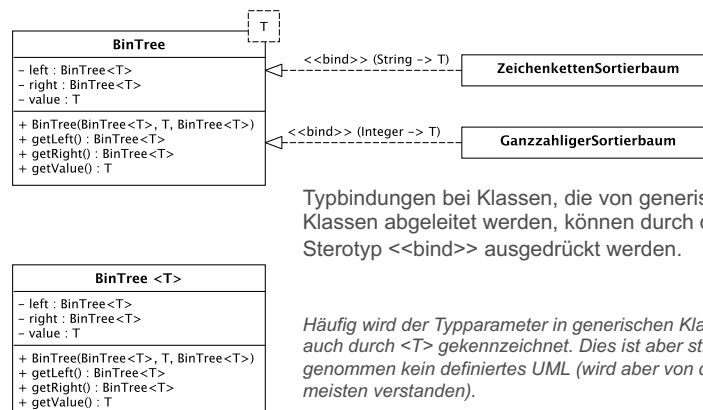
Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
 Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

15

## Generische Klassen (UML Notation)



Die UML Notation für generische Klassen sieht wie folgt aus. Der Typparameter wird als gestricheltes Rechteck in der oberen rechten Ecke dargestellt.



Typbindungen bei Klassen, die von generischen Klassen abgeleitet werden, können durch den Stereotyp `<<bind>>` ausgedrückt werden.

Häufig wird der Typparameter in generischen Klassen auch durch `<T>` gekennzeichnet. Dies ist aber streng genommen kein definiertes UML (wird aber von den meisten verstanden).

Quelle: Java als erste Programmiersprache

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
 Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

16



## Type Erasure



- Durch Type Erasure werden beim Übersetzen einer generischen Klasse alle Vorkommen der formalen Typ-Parameter `T` ersetzt und im Rumpf der Klasse durch `Object` ersetzt.

```
class GenClass <T> {  
    private T data;  
  
    public T getData() {  
        return data;  
    }  
  
    public void setData(T d) {  
        data = d;  
    }  
}
```

```
class GenClass {  
    private Object data;  
  
    public Object getData() {  
        return data;  
    }  
  
    public void setData(Object d) {  
        data = d;  
    }  
}
```

- Der dann eigentlich erforderliche explizite Down-Cast müsste vom Programmierer selbst gemacht werden (wie von Collections bekannt). Dies erfolgt aber durch den Compiler vorgenommen transparenten Cast-Operator beim Aufruf von Methoden mit Rückgabetypen der parametrisierten Datentypen automatisch.

```
GenClass<Integer> ref = new GenClass<Integer>();  
Integer data = ref.getData();  
// wird intern in die folgende Zeile übersetzt  
Integer data = (Integer)ref.getData();
```

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

17

## Generische Klasse und Vererbungsbeziehungen



- Auch generische Klassen können Teil einer Vererbungshierarchie sein
- Folgende Fälle können auftreten:

Fall 1: Generische Klassen werden von anderen generischen Klassen abgeleitet

Fall 2: Generische Klassen werden von herkömmlichen Klassen abgeleitet

Fall 3: Herkömmliche Klassen werden von generischen Klassen abgeleitet

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

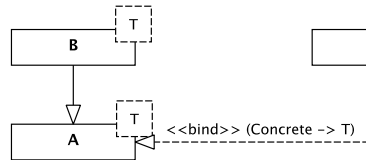
18

## Fall 1: Generische Klasse abgeleitet von generischer Klasse



Erste Möglichkeit  
Parameter wird durchgeschleift

Zweite Möglichkeit  
Parameter wird ersetzt und  
neuer Typparameter wird eingeführt



```
class B<T> extends A<T> {
}
```

In diesem Fall ist der formale Typ-Parameter T der Klasse B der aktuelle Typ-Parameter der Klasse A. Wird nun Klasse B mit dem aktuellen Typ-Parameter Concrete instanziiert, so werden auch alle Vorkommen des formalen Typ-Parameters innerhalb der Klassendefinition von A ersetzt.

```
class B<T> extends A<Concrete> {
}
```

Eine Definition dieser Form hat zur Folge, dass alle Vorkommen eines für die Klasse A definierten formalen Typ-Parameters beim Ableiten durch den Typ Concrete ersetzt werden.

Würde B nun mit einem weiteren Typ-Parameter FurtherConcrete instanziiert, so wird der formale Typ-Parameter nur noch in B, nicht aber mehr in A ersetzt (A<Concrete> wird sozusagen wie eine herkömmliche Klasse aufgefasst).

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

19

## Fall 1.1 (Beispiel): Generische Klasse abgeleitet von generischer Klasse



### Beispiel: Erste Möglichkeit

```
class B<T> extends A<T> {
    T data2;
    T getData2() { return data2; }
}
```

```
class A<T> {
    T data1;
    T getData1() { return data1; }
}
```

ist im Falle folgender Instanziierung

```
B<Integer> b = new B<Integer>();
```

eigentlich zu lesen wie:

```
class B extends A {
    Integer data2;
    Integer getData2() {
        return data2;
    }
}
```

```
class A {
    Integer data1;
    Integer getData1() {
        return data1;
    }
}
```

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

20

## Fall 1.2 (Beispiel): Generische Klasse abgeleitet von generischer Klasse



### Beispiel: Zweite Möglichkeit

```
class B<T> extends A<Double> {  
    T data2;  
    T getData2() { return data2; }  
}
```

```
class A<T> {  
    T data1;  
    T getData1() { return data1; }  
}
```

ist im Falle folgender Instanziierung

```
B<Integer> b = new B<Integer>();
```

eigentlich zu lesen wie:

```
class B extends A {  
    Integer data2;  
    Integer getData2() {  
        return data2;  
    }  
}
```

```
class A {  
    Double data1;  
    Double getData1() {  
        return data1;  
    }  
}
```

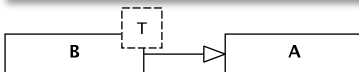
Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

21

## Fall 2: Generische Klasse erweitert herkömmliche Klasse



```
class B<T> extends A {  
}
```



Der Umstand, dass eine generische Klasse B von einer herkömmlichen Klasse A abgeleitet wird, hat keinen Einfluss auf den Code der herkömmlichen Klasse.

Die generische Klasse B erbt ganz herkömmlich nicht-generische Eigenschaften (Datenfelder und Methoden) der herkömmlichen Klasse A.

### Beispiel:

```
class A {  
    ConcreteType data1;  
    ConcreteType getData1() {  
        return data1;  
    }  
}
```

```
class B<T> extends A {  
    T data2;  
    T getData2() {  
        return data2;  
    }  
}
```

ist im Falle folgender Instanziierung

```
B<Integer> b = new B<Integer>();
```

zu lesen wie folgt:

```
class B extends A {  
    Integer data2;  
    Integer getData2() {  
        return data2;  
    }  
}
```

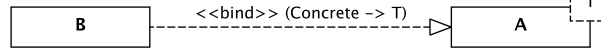
An der Klasse A (da nicht parametrisiert)  
ändert sich nichts.

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

22

### Fall 3:

#### Herkömmliche Klasse leitet von generischer Klasse ab



```
class B extends A<Concrete> {  
}
```

Dies kann nur geschehen, wenn beim Ableiten der formale Typ-Parameter der generischen Klasse A durch einen aktuellen Typ-Parameter gesetzt wird.

Andernfalls müsste B auch generisch sein

#### Beispiel:

```
class A<T> {  
    T data1;  
    T getData1() {  
        return data1;  
    }  
}
```

#### ist zu lesen wie folgt:

```
class A {  
    Integer data1;  
    Integer getData2() {  
        return data2;  
    }  
}
```

```
class B extends A<Integer> {  
    String data2;  
    String getData2() {  
        return data2;  
    }  
}
```

```
class B extends A {  
    String data2;  
    String getData2() {  
        return data2;  
    }  
}
```

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

23

### Eigenständig generische Methoden



- Klassenmethoden, Instanzmethoden und Konstruktoren können als eigenständige Methoden in einer Klasse existieren, **ohne dass die Klasse selbst generisch ist**.
- Die **Gültigkeit** der durch die Typ-Parameter-Sektion bekannt gemachten formalen Typ-Parameter bezieht sich nicht wie bei einer generischen Klasse auf die gesamte Klasse, sondern nur auf die entsprechende **Methode/Konstruktor**.

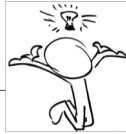
```
public <T> RetTyp genericMethod(T p) {  
    ...  
}
```

- Üblicherweise setzt man generische Methoden bei Hilfsklassen ein, um ein und dieselbe Methode für verschiedene Typ-Parameter zu verwenden. Algorithmen sollen unabhängig vom Datentyp der Objekte sein, auf denen er ausgeführt wird.

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

24

### Miniübung:



Entwickeln Sie nun eine **eigenständig generische** Methode **invert**, die beliebige Listen **typsicher** umdreht und bspw. wie folgt aufgerufen werden kann (Sie dürfen in der Methode **invert** keine Type Castings verwenden und die Methode **invert** nicht überladen):

```
List<String> testString = new LinkedList<String>();  
List<Integer> testInt = new LinkedList<Integer>();  
  
for (int i = 1; i <= 100; i++) {  
    testString.add("Test " + i);  
    testInt.add(i);  
}  
  
System.out.println(invert(testString));  
System.out.println(invert(testInt));
```

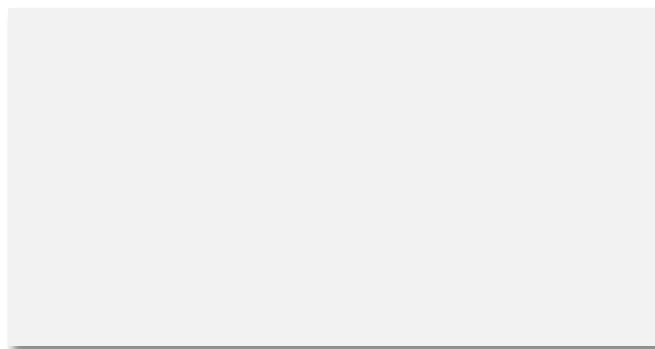
Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

25

### Miniübung:



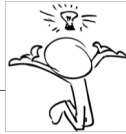
Denkbare Lösung:



Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

26

### Miniübung:



Entwickeln Sie nun eine generische Klasse **Inverter**, die beliebige Listen **typsicher** umdreht und bspw. wie folgt aufgerufen werden kann (Sie dürfen wieder keine Type Castings verwenden):

```
List<String> testString = new LinkedList<String>();  
List<Integer> testInt = new LinkedList<Integer>();  
  
for (int i = 1; i <= 100; i++) {  
    testString.add("Test " + i);  
    testInt.add(i);  
}  
  
Inverter<String> i1 = new Inverter<String>(testStrings);  
Inverter<Integer> i2 = new Inverter<Integer>(testInts);  
  
System.out.println(i1.invert());  
System.out.println(i2.invert());
```

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

27

### Miniübung:



Denkbare Lösung:

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

28

## Themen dieser Unit



### Generizität

- Typsicherheit
- Type Erasure
- Generizität in Vererbungsbeziehungen
- Eigenständig generische Methoden

### Bounded Types

- Einschränkung der Generizität
- Wildcards
- Upper Bounds
- Lower Bounds

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

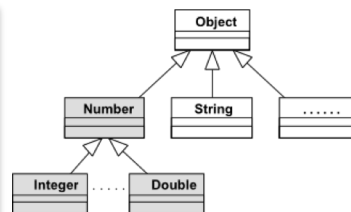
29

## Bounded Typ-Parameter



- Ein Typ-Parameter innerhalb einer generischen Klasse kann eingeschränkt werden durch den Einsatz eines so genannten Bounded Typ-Parameters
- `T extends UpperBound`
- **Mit einem Bounded Typ-Parameter kann der zulässige Wertebereich von Typ-Parametern auf einen Teilbaum einer Klassenhierarchie eingeschränkt werden.**

```
class Punkt <T extends Number> {  
    private T x;  
    private T y;  
  
    public Punkt (T x, T y) {  
        this.x = x;  
        this.y = y;  
    }  
}
```



Bei der Klasse Punkt würde einige Datentypen (z.B. String, List, Stack) als Typ-Parameter keinen Sinn ergeben, da die Datenfelder x und y immer numerische Werte sein sollten.

Dies lässt sich wie oben dargestellt ausdrücken. Ein unsinniges Objekt vom Typ Punkt<Stack> ist so nicht mehr möglich.

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

30

## Type Erasure bei Bounded Typ-Parametern



- Durch das Type Erasure werden beim Übersetzen einer generischen Klasse alle Vorkommen eines Bounded Typ-Parameter `T extends Type` ersetzt und im Rumpf der Klasse durch `Type` ersetzt.

```
class GenClass <T extends Type>
{
    private T data;

    public T getData() {
        return data;
    }

    public void setData(T d) {
        data = d;
    }
}
```

```
class GenClass
{
    private Type data;

    public Type getData() {
        return data;
    }

    public void setData(Type d) {
        data = d;
    }
}
```

- Ansonsten funktioniert das Verfahren wie beim unbounded Type Erasure. Der Compiler übernimmt transparent die eigentlich erforderlichen Down-Casts.

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

31

## Unbounded Wildcard ?



- Um eine Referenzvariable definieren zu können, die auf Objekte beliebiger aktuell parametrisierter Klassen eines generischen Typs zeigen kann, existiert ein sogenannter Wildcard ?
- Eine Referenzvariable `Punkt<?> ref` kann auf alle Objekte aktuell parametrisierter Klassen des generischen Typs `Punkt<T>` zeigen.
- Das `?` wird auch Unbounded Wildcard bezeichnet, weil es keine Einschränkungen gibt, durch welche konkreten Typ die Wildcard `?` ersetzt werden kann.
- Die Wildcard `?` steht im Gegensatz zu einem formalen Typ-Parameter `T` nicht stellvertretend für genau einen Typ, sondern für alle möglichen Typen.

```
Punkt<?> ref = new Punkt<Integer>(1, 2);
ref = new Punkt<Double>(1.0, 2.0);
```

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

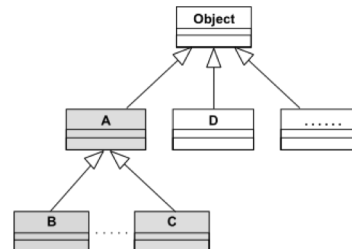
32



## Upper Bound Wildcard



- Ähnlich wie sich Typ-Parameter einschränken lassen, lassen sich auch Wildcards einschränken.
- Die Upper Bound Wildcard
- **<? extends UpperBound>**
- legt eine **obere Schranke** für einen formalen Typ-Parameter fest.



```
void methode(GenKlasse<? extends A> p) {  
    ...  
}
```

methode() akzeptiert damit Referenzen auf Objekte vom Typ GenKlasse<T>, wobei für den formalen Typ-Parameter T entweder der Typ A oder Subtypen von A erlaubt sind.

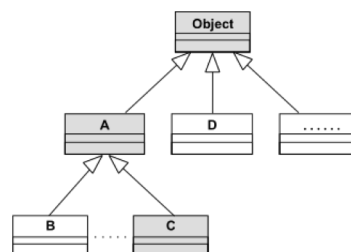
Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

33

## Lower Bound Wildcard



- Das Pendant zum Upper Bound Wildcard ist der Lower Bound Wildcard
- **<? super LowerBound>**
- Es legt eine **untere Schranke** für einen formalen Typ-Parameter fest.



```
void methode(GenKlasse<? super C> p) {  
    ...  
}
```

methode() akzeptiert damit Referenzen auf Objekte vom Typ GenKlasse<T>, wobei für den formalen Typ-Parameter T entweder der Typ C oder Basistypen von C erlaubt sind.

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

34

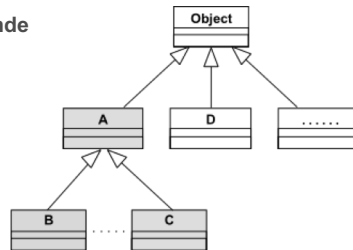
## Mini-Übung: Wildcard Raten



Gegeben: Folgende Klassenhierarchie und folgende Methoden

```
void func(GenKlasse<? super B> p) {  
    ...  
}
```

```
void foo(GenKlasse<? extends A> p) {  
    ...  
}
```



Welche Aufrufe sind dann statthaft?

|                                              |                     |                                             |                     |
|----------------------------------------------|---------------------|---------------------------------------------|---------------------|
| <code>func(new GenKlasse&lt;A&gt;());</code> | <code>// ok</code>  | <code>foo(new GenKlasse&lt;A&gt;());</code> | <code>// ok</code>  |
| <code>func(new GenKlasse&lt;B&gt;());</code> | <code>// ok</code>  | <code>foo(new GenKlasse&lt;B&gt;());</code> | <code>// ok</code>  |
| <code>func(new GenKlasse&lt;C&gt;());</code> | <code>// nok</code> | <code>foo(new GenKlasse&lt;C&gt;());</code> | <code>// ok</code>  |
| <code>func(new GenKlasse&lt;D&gt;());</code> | <code>// nok</code> | <code>foo(new GenKlasse&lt;D&gt;());</code> | <code>// nok</code> |

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

35

## Generische Schnittstellen



- Genauso wie Klassen können auch Schnittstellen generisch sein.
- Bspw. ist folgende Schnittstelle generisch:

```
public interface GenSchnittstelle <T> {  
    public void methode1(T param);  
    public void methode2();  
}
```

- Die Implementierung einer generischen Schnittstelle durch eine Klasse kann nun auf zwei Arten erfolgen:
  - Die implementierende Schnittstelle ersetzt den formalen Typ-Parameter durch einen aktuell parametrisierten Typ-Parameter
  - Die implementierende Schnittstelle ersetzt den formalen Typ-Parameter nicht

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

36

## Die zwei Möglichkeiten der Implementierung einer generischen Schnittstelle



### Erste Möglichkeit

```
class A implements IF<Concrete>
{
}
}
```

In diesem Fall müssen alle formalen Parameter der Schnittstelle `IF` durch aktuelle Typ-Parameter `Concrete` in der Klasse `A` ersetzt werden.

Die Klasse `A` ist eine herkömmliche Klasse.

### Zweite Möglichkeit

```
class A<T> implements IF<T>
{
}
}
```

In diesem Fall implementiert, die Klasse `A` alle Methoden der generischen Schnittstelle `IF` und macht den formalen Typ-Parameter in ihrer Deklaration bekannt.

Die Klasse `A` wird so selbst generisch.

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

37

## Mini-Übung: Implementierung einer generischen Schnittstelle mit Ersetzung des formalen Typ-Parameters



Gegeben sei folgende Schnittstellen-Definition:

```
interface IF<T> {
    T data1;
    T getData1();
}
```

Dann ist im Falle folgender Klassendeklaration

```
class A implements IF<List> {
    ...
}
```

die Klasse `A` wie zu implementieren?

```
class A implements IF<List> {
    List data1;
    List getData1() {
        return data1;
    }
}
```

Die Klasse `A` kann dann wie instanziiert werden?

```
A ref = new A();
// A ist nicht generisch, der
// „innere“ Typ ist durch die
// Implementierung vorgegeben.
```

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

38

**Beispiel:**  
Implementierung einer generischen Schnittstelle **ohne** Ersetzung  
des formalen Typ-Parameters



Gegeben sei folgende Schnittstellen-Definition:

```
interface IF<T> {  
    T data1;  
    T getData1();  
}
```

Dann ist im Falle folgender  
Klassendeklaration ...

```
class A<T> implements IF<T> {  
    ...  
}
```

... die Klasse A wie zu implementieren?

```
class A<T> implements IF<T> {  
    T data1;  
    T getData1() {  
        return data1;  
    }  
}
```

Die Klasse A kann dann wie instanziiert werden?

```
A<Stack> ref1 = new A<Stack>();  
A<Integer> ref2 = new A<Integer>();  
A<MyType> ref3 = new A<MyType>();  
// Klasse A ist generisch!!!
```

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

39

**Schnittstellen und Bounds**



- UpperBounds werden bei formalen Typ-Parametern dazu genutzt, um aktuelle Typ-Parametrisierungen auf Teilbäume einer Klassenhierarchie einzuschränken.
- Sie haben ferner gelernt, dass in JAVA Klassen nur von einer Klasse abgeleitet werden können, aber beliebig viele Schnittstellen implementieren können.
- Beide Regeln gelten auch für die Definition von UpperBounds von formalen Typ-Parametern.

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

40

## Definition von Bounds mit Klassen und Schnittstellen



- Eine Bound kann aus einer Klasse `Klasse` und beliebig vielen Schnittstellen `I1` bis `In` bestehen.
- Die Verknüpfung der einzelnen Bounds findet über den logischen UND-Operator `&` statt.
- Die Deklaration einer solchen Bound für den formalen Typ-Parameter `T` lautet dann:

```
T extends Klasse & I1 & I2 & ... & In
```



- Diese Notation hat zur Konsequenz, dass der aktuelle Typ-Parameter, der den formalen Typ-Parameter `T` ersetzt,
  - von der Klasse `Klasse` abgeleitet ist
  - und ferner alle Schnittstellen `I1` bis `In` implementiert hat
- damit der Compiler die Ersetzung des formalen Typ-Parameters durch den aktuellen Typ-Parameter zulässt.

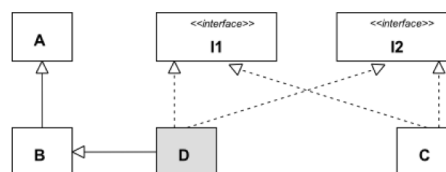
Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
 Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

41

## Mini-Übung: Bounds mit Klassen und Schnittstellen-Raten



Gegeben sei folgende Klassenhierarchie. Welche der Referenztypen A, B, C und D sind dann zulässig als aktuelle Typ-Parameter für die generischen Klassen `Generic1`, `Generic2` und `Generic3`?



```
class Generic1 <T extends A> {
    private T data;
    public T getData() { return data; }
    ...
}
```

A ist zulässig  
 B ist zulässig, da von A abgeleitet  
 C ist nicht zulässig, da nicht von A abgeleitet  
 D ist zulässig, da von A abgeleitet

```
class Generic2 <T extends A & I1 & I2> {
    private T data;
    public T getData() { return data; }
    ...
}
```

A nicht zulässig, implementiert nicht I1 und I2  
 B nicht zulässig, implementiert nicht I1 und I2  
 C nicht zulässig, nicht von A abgeleitet  
 D ist zulässig

```
class Generic3 <T extends I1 & I2> {
    private T data;
    public T getData() { return data; }
    ...
}
```

A nicht zulässig, implementiert nicht I1 und I2  
 B nicht zulässig, implementiert nicht I1 und I2  
 C ist zulässig  
 D ist zulässig

Quelle: Java als erste Programmiersprache

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
 Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

42

## Mini-Übung: Type Erasure bei UpperBounds mit Klassen und Schnittstellen



Es gilt die folgende Regel beim Type Erasure in JAVA: **Durch das Type Erasure werden beim Übersetzen einer generischen Klasse die formalen Typ-Parameter, die eine UpperBound besitzen, durch den ersten Typ der UpperBound ersetzt.**



• So werden bei `class G<T extends Klasse & I1>` alle Vorkommen von `T` durch `Klasse` ersetzt.

• Und bei `class G<T extends I1 & I2>` alle Vorkommen von `T` durch `I1` ersetzt.

Wie sehen nach dieser Regel dann die unten stehenden Type Erasures aus?

```
class Generic1 <T extends A> {  
    private T data;  
    public T getData() { return data; }  
    ...  
}
```

```
class Generic1 {  
    private A data;  
    public A getData() { return data; }  
    ...  
}
```

```
class Generic2 <T extends B & I1 & I2> {  
    private T data;  
    public T getData() { return data; }  
    ...  
}
```

```
class Generic2 {  
    private B data;  
    public B getData() { return data; }  
    ...  
}
```

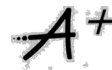
```
class Generic3 <T extends I1 & I2> {  
    private T data;  
    public T getData() { return data; }  
    ...  
}
```

```
class Generic3 {  
    private I1 data;  
    public I1 getData() { return data; }  
    ...  
}
```

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

43

## Zusammenfassung (Generizität)



- Konzept und Gründe für Generizität
- Shareable Byte Code und Type Erasure
- Generische Klassen in Vererbungsbeziehungen
- Generische Methoden
- Bounded Type Parameter und Type Erasure
- (Upper/Lower Bound) Wildcards
- Generische Schnittstellen
- UpperBounds mit (Klassen und) Schnittstellen und Type Erasure



Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

44