Generics

Programmiermethodik 2

Zum Nachlesen:
Christian Ullenboom: Java ist auch eine Insel, Kapitel 9
http://openbook.rheinwerk-verlag.de/javainsel/javainsel_09_001.html

Ausblick

Agenda

- Einführung
- Typen
- Typebounds
- Kompatibilität
- Generische Methoden

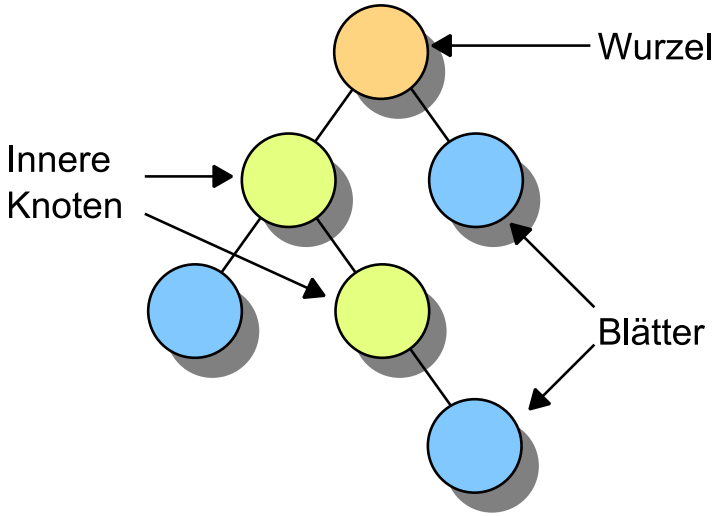
Einführung

Container und Elemente

- Container = Klassen zum Speichern anderer Objekte als Elemente
- Beispiele: Arrays, Collections
- Containerklassen können mit beliebigen Elementtypen arbeiten
    - Collections: ggf. Wrapperklasse nötig
    - sind ab Java 1.5 als „Generische Klassen“ definiert "Generische Typen" sind schon bekannt:
      Beispiele: LinkedList<Kontakt>, HashSet<String>
- Ziel: Eigene Definition neuer generischer Klassen

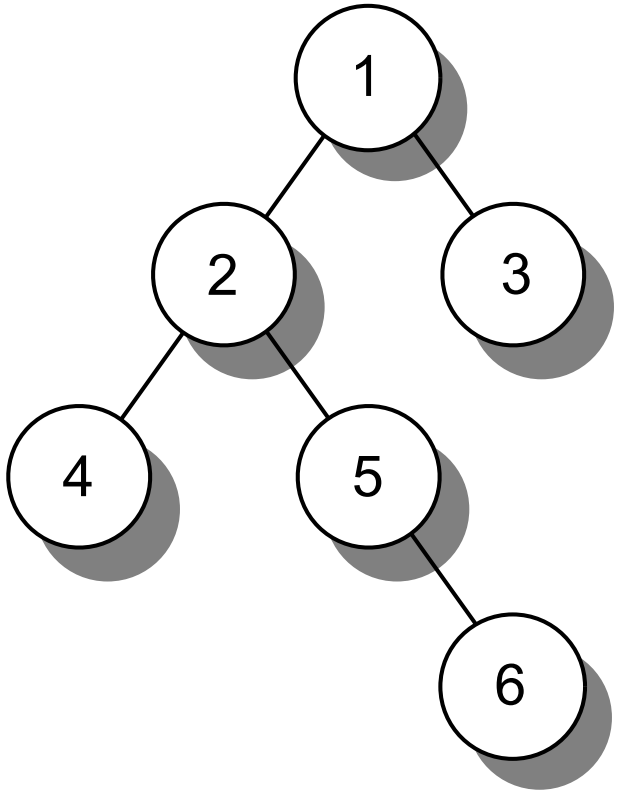
Beispiel: Baum

- Klasse für Knoten eines binären Baums
- Pro Knoten (maximal) zwei Kindknoten gleichen Typs
- Bezeichnungen:
  - Wurzelknoten = (einziger) Knoten ohne Elternknoten
  - Innere Knoten = Knoten mit einem oder zwei Kindknoten
  - Blattknoten = Knoten ohne Kindknoten
- Technische Umsetzung:
  - Kindknoten null = kein Kindknoten



Beispiel: Baum

- Knoten enthalten beliebige Daten (Elemente) als Inhalt
  - Container



Beispiel: ganzen Zahlen als Knoteninhalt

Beispiel: Baum

- Objektvariablen
  - links, rechts für Kindknoten
  - element für Knoteninhalt
    - Beliebiger Elementtyp → Basisklasse Object nötig
- Alle drei auswechselbar ⇒ kein final
- Java-Code:

```
public class Knoten {
     private Object element;
     private Knoten links;
     private Knoten rechts;
}
```

Beispiel: Baum

- Konstruktor mit Angabe des Inhalts und zwei Kindknoten

```
public Knoten(Object element, Knoten links, Knoten rechts){
      this.element = element;
      this.links = links;
      this.rechts = rechts;
}
```

- Getter / Setter für jede Objektvariable, Beispiel:

```
public Object getElement() {
      return element;
}
```

Beispiel: Baum

```
KnotenObject wurzelKnoten =
        new KnotenObject(new Integer(1), new KnotenObject(new Integer(2),
            new KnotenObject(new Integer(4), null, null), new KnotenObject(
                new Integer(5), null, new KnotenObject(new Integer(6), null,
                    null))), new KnotenObject(new Integer(3), null, null));

// Auf erstes Element zugreifen
int ersterWert = (Integer) wurzelKnoten.getElement();
System.out.println(wurzelKnoten.getLinks());
System.out.println(wurzelKnoten.getRechts());
System.out.println(ersterWert);
```

Murmelgruppe: Object

- Finden Sie drei Vor- und drei Nachteile der Verwendung von Object als Datentyp für die Inhalte der Knoten

Problemstellung: Nachteile der Verwendung von Elementtyp Object

- Fehleranfällig, da
  - keine Typüberprüfung durch den Compiler möglich ist
  - mehrere verschiedene Elementtypen innerhalb eines Baums möglich sind
  - Gefahr von Laufzeitfehlern!
- Aufwändig, da
  - kein Autoboxing für Wrapperklassen (z.B. Integer) verwendet werden kann (keine Typinformation vorhanden)
    - unübersichtlicher Code!
  - jeder Zugriff auf ein Element einen Typcast im Code erfordert
    - hoher Aufwand bei Änderungen!

Generische Klassen und generische Typen

- Definition einer generischen Klasse:
  - Verwendung einer Typvariablen für den Elementtyp statt eines konkreten Typs
- Automatische Definition eines generischen Typs durch Angabe eines konkreten (Referenz-)Typs für die Typvariable bei der Verwendung

Beispiel: Generischer Baum

- Typvariable `T`:

```
public class Knoten<T> {
      private T element;
      private Knoten<T> links;
      private Knoten<T> rechts;
}
```

- Deklaration und Initialisierung

```
Knoten<Integer> knotenInteger = new Knoten<Integer>(
      1, null, null);
Knoten<String> knotenString = new Knoten<String>(
      "Eins", null, null);
```

Abgrenzungen

- Generische Klasse = Klassendefinition mit Typvariablen
- Generischer Typ = Generische Klasse + konkreter Typ
- Eine generische Klasse ⇒ viele generische Typen
- Gilt genauso für generische Interfaces
- Typvariablen speichern keine Werte, sondern sind nur Platzhalter für einen konkreten Typ
- Das Ersetzen von Typvariablen durch einen konkreten Typ findet beim Übersetzen durch den Compiler statt
    - zur Laufzeit gibt es keine Typvariablen mehr

Generische Typen

Verwendung von Typvariablen

- Syntax
  - Nach dem Klassennamen folgt die Typvariable in spitzen Klammern:

```
class Klassenname<Typvariable> { … }
```

- Typvariable: beliebiger Java-Identifier
- Konvention: einzelner Großbuchstabe in alphabetischer Nähe zum „T“ (type)
- Beispiel

```
class Knoten<T> { … }
```

- Im Klassenrumpf
  - Verwendung der Typvariablen wie konkreter Typ
  - kleine Einschränkungen kommen noch

Generische Typen

- Generische Klasse + konkreter Typ = generischer Typ
- Jeder generische Typ ist eigenständig, gleichrangig zu anderen Javatypen

```
Knoten<String> und Knoten<Integer> sind inkompatibel:
Knoten<Integer> knoten;
knoten = new Knoten<String>("Hallo",null,null); // Typfehler
```

- Es sind daher nur Bäume mit Knoten desselben Typs konstruierbar
- Typecasts sind nicht mehr nötig:

```
String str = knoten.getElement();
Knoten<String> links = knoten.getLinks();
```

- Compiler sichert korrekte Verwendung ab, keine Tests zur Laufzeit!

Generische Interfaces

- können genauso wie generische Klassen definiert und verwendet werden
  - Ergebnis: generischer Typ
- Beispiel: Generisches Interface für alle Klassen deren Objekte Nachfolger haben

```
public interface HatNachfolger<T> {
  public T getNachfolger();
}
```

Generische Typen

- Jede Klasse, die das Interface implementiert, muss einen konkreten Typ für das generische Interface angeben:

```
public class Ding implements HatNachfolger<Ding> {
  /**
   * Jedes Ding hat eine Nachfolge-Ding
   */
  private Ding naechstesDing;

  public Ding(Ding naechstesDing) {
    this.naechstesDing = naechstesDing;
  }

  @Override
  public Ding getNachfolger() {
    return naechstesDing;
  }
}
```

Generische Typen

- Auch eine generische Klasse kann ein generisches Interface implementieren
- Nötig: Angabe eines konkreten Typs für das generische Interface
- Möglich: Verwendung der eigenen Typvariablen
    - Typ ist damit ebenfalls eindeutig festgelegt

```
public class KnotenMitNachfolger<T> extends Knoten<T>
    implements HatNachfolger<Knoten<T>> {
  …
```

Mehrere Typvariablen

```
public class KnotenMitNachfolger<T> extends Knoten<T> implements
    HatNachfolger<Knoten<T>> {
```

Übung: Paar

- Aufgabe: Schreiben Sie eine Klasse `Paar` zum Verwalten von Paaren von Werten
  - beide Werten sind als generische Typen definiert
  - die Klasse ist unveränderlich (immutable)
  - die Werte werden im Konstruktor gesetzt
  - für beide Werte gibt es eine Getter-Methode

- Beispielanwendung:

```
Paar<String,Integer> paar =
     new Paar<String,Integer>("Hallo", 42);
String erstes = paar.getErstes();
int zweites = paar.getZweites();
```

Typebounds

Typebounds

- Generische Klasse akzeptiert (bisher) beliebige Typen
- Oft sinnvoll: Einschränkung auf bestimmte Typen
- Lösung
  - Typebound bei der Definition einer generischen Klasse als Vorgabe angeben:

```
class Klassenname<Typvariable extends Typebound>
```

- Es werden nur konkrete Typen akzeptiert, die zum Typebound kompatibel sind!
- Typebound kann jeder beliebige Typ sein
  - extends steht hier gleichermaßen für Klassen und Interfaces

Typebounds

- Knoten mit ausschließlich numerischem Inhalt:

```
class Knoten<T extends Number> { … }
```

- Integer, Double kompatibel zu Number, aber nicht String, Object
- Compiler erkennt unpassende Typargumente:

```
Knoten<Integer> knotenInteger; // ok
Knoten<Double> knotenDouble; // ok
Knoten<Object> knotenObject; // Fehler!
Knoten<String> knotenString; // Fehler!
```

Typebounds

- Mehrfache Typebounds
- Es kann sogar eine Liste von Typebounds angegeben werden
  - mehrfache Einschränkungen
- Akzeptierte Typen müssen zu jedem Typebound kompatibel sein
- Syntax:

```
class Klassenname<Typvariable extends Typebound1 &
   Typebound2 & Typebound3 & …>
```

- Einschränkung
  - Typebound1 darf eine Klasse sein, der Rest nur Interfaces
- Reihenfolge der Typebounds ab Typebound2 irrelevant

Typebounds

- Typebounds mit Typvariablen
- Eine eigene Typvariable einer generischen Klasse kann auch für einen Typebound verwendet werden!
- Beispiel: Wunsch: Knotenelemente sollen verglichen werden können (um den Baum ggf. neu anzuordnen)
- Umsetzung: Typ T eines Knotens muss das Interface Comparable<T> implementieren
    - Comparable<T> ist ein generisches Interface
- Definition einer generischen Knotenklasse für geordnete Bäume:

```
class Knoten<T extends Comparable<T>> { … }
```

- Compiler überprüft die Einschränkung:

```
Knoten<String> knotenString; // ok, String impl. Interface
Knoten<Object> knotenObject; // Fehler!
```

Übung: Typebounds

- Gesucht ist eine Klasse `Knoten`, mit der Knoten in einem Baum repräsentiert werden können. Jeder Knoten beinhaltet ein Element (Inhalt). Als Elemente sollen Objekte der Klasse `A` und `B` (die Sie bei Bedarf anpassen können) möglich sein.

```
Knoten<A> knotenA = new Knoten<A>();
Knoten<B> knotenB = new Knoten<B>();
```

- Objekte anderer Klassen sollen nicht erlaubt sein:

```
Knoten<C> knotenC = new Knoten<C>();
```

- Fragen
  - Wie könnte die Signatur der Klasse `Knoten` lauten? Wie stellen Sie die Anforderungen sicher?
  - Wie könnten Sie testen, ob Ihre Umsetzung korrekt ist?

Kompatibilität

Kompatibilität

- Implizite Typkonversion: für bestimmte primitive Typen
- Beispiel

```
int → double:
int intWert = 1;
double doubleWert = i;
```

- Implementierung: Klasse → Interface
    - Beispiel Deposit → Asset
- Vererbung: Abgeleitete Klasse → Basisklasse
    - Beispiel

```
String → Object:
String text = "hallo";
Object objekt = s;
```

Kompatibilität

- Autoboxing: Primitiver Typ → Wrapperklasse und umgekehrt
- Beispiel

```
int → Integer:
int intWert = 1;
Integer integerWert = intWert;
```

- Kompatibilität zwischen Elementtypen überträgt sich auf Array-Typen
  - nur für Referenztypen
- Beispiel:

```
Object[] objectArray = new String[10]; // ok
```

- Dagegen keine Kompatibilität bei primitiven Typen und Wrapperklassen:

```
double[] doubleArray = new int[10]; // Fehler
Integer[] intArray = new int[10]; // Fehler
```

Kompatibilität

- generische Typen der gleichen generischen Klasse (aber unterschiedlicher Typ) nicht kompatibel
- Kompatibilität zwischen konkreten (Element-)Typen ist irrelevant für generische Typen
- Integer ist kompatibel zu Number

```
Number n = new Integer(23); // ok
```

- aber Knoten<Integer> nicht kompatibel zu Knoten<Number>

```
Knoten<Number> kn = new Knoten<Integer>(23); // Fehler
```

Wildcard-Typen

- Generischer Typ mit Wildcard-Zeichen ? ("Joker")
- als konkreter Typ = Wildcard-Typ ("unbekannter Typ")
  - Syntax: Generischer-Klassenname<?>
  - Beispiel: Knoten<?> knoten;
- Jeder generische Typ derselben generischen Klasse ist kompatibel zum Wildcardtyp
- Beispiele:

```
knoten = new Knoten<String>("hallo");  // ok
knoten = new Knoten<Integer>(1);       // ok
```

- Wildcardtypen sind Typen, aber keine Klassen
  - geeignet zur Definition von Variablen
  - aber nicht zur Instanziierung von Objekten (ähnlich wie bei Interfaces)
- Beispiel:

```
knoten = new Knoten<?>(); // Fehler!
```

Anwendung

- sinnvoll, wenn der konkrete Typ keine Rolle spielt
  - der Code kann für alle generischen Typen einer generischen Klasse identisch sein!
- Beispiel
  - Methode knotenZaehlen zum Zählen der Knoten in einem Baum
  - Inhalt der Knoten ist irrelevant, nur die Baumstruktur ist wichtig

```
public static int knotenZaehlen(Knoten<?> knoten) {
    int result = 0;
    if (knoten != null) {
      result =
          1 + knotenZaehlen(knoten.getLinks())
              + knotenZaehlen(knoten.getRechts());
    }
    return result;
  }
```

Wildcard-Typ

Einschränkungen

- Compiler kennt konkreten Typ des Wildcard-Argumentes nicht
- daher
  - Kein lesender Zugriff auf Elemente, auch wenn zur Laufzeit ein konkreter Typ vorliegt:

```
Knoten<?> knoten = new Knoten<Integer>(1);
Integer intWert = knoten.getElement(); // Fehler
```

  - Kein schreibender Zugriff auf Elemente, auch wenn zur Laufzeit ein konkreter Typ vorliegt:

```
Knoten<?> knoten = new Knoten<Integer>(1);
knoten.setElement(5); // Fehler
```

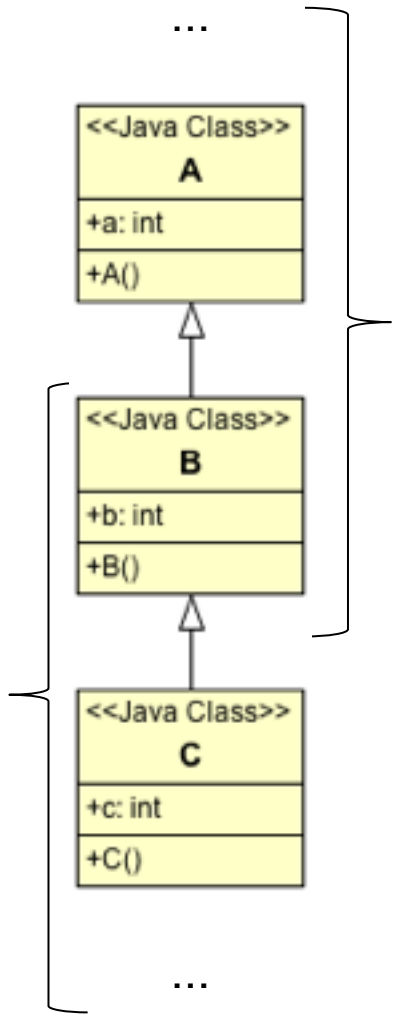
- Grund:
  - Entscheidung über korrekten generischen Typ trifft der Compiler
  - kein Einfluss der tatsächlichen (dynamischen) Typen!

Bounded Wildcards

- Wildcard ? führt zu Kompatibilität mit generischen Typen für alle konkreten Typen
- Einschränkung der Kompatibilität mit Typebound möglich

Bounded Wildcards

diese Typen dürfen jeweils als Belegung für die Typvariable verwendet werden



Lower bound:
Knoten<? super B>
lowerBound

Upper bound:
Knoten<? extends B>
upperBound

Upper Bound Wildcards

- Syntax: Generischer-Klassenname<? extends Typebound>
- Es sind nur generische Typen kompatibel, deren konkreter Typ zu Typebound kompatibel ist
- Beispiel:

```
Knoten<? extends B> knoten = new Knoten<C>(new C()); // ok
System.out.println(knoten.getElement()); // lesender Zugriff ok
// knoten = new Knoten<A>(new A()); // Fehler
```

Lower Bound Wildcards

- Umgekehrte Einschränkung:
- Syntax: Generischer-Klassenname <? super Typebound>
- Es sind nur generische Typen kompatibel, bei denen Typebound zum konkreten Typ kompatibel ist
    - d.h. wenn der konkrete Typ eine Basisklasse von Typebound ist
- Beispiel:

```
Knoten<? super B> knoten = new Knoten<A>(new A()); // ok
System.out.println(knoten.getElement()); // lesender Zugriff ok
// knoten = new Knoten<C>(new C()); // Fehler
```

Übung: Kompatibilität

1) Welche(n) der folgenden Typen kann man für die Typvariable bei der Instanziierung eines `Knoten`-Objektes verwenden, sodass die Instanz der Variablen `knoten`zugewiesen werden kann?

```
Knoten<? super Number> knoten;
```

- Object?
- Number?
- Integer?

2) Geben Sie die Deklaration einer Knoten-Variablen an, in die alle Objekte, die ein Interface A implementieren, als generischer Typparameter gesteckt werden können.

Generische Methoden

Generische Methoden

- außer generischen Klassen, Interfaces, Typen gibt es auch generische Methoden! Diese können ...
  - in "normalen" Klassen definiert und aufgerufen werden
  - unabhängig von generischen Klassen / generischen Typen verwendet werden
- Methodendefinition mit Typvariablen zwischen Modifiern und Ergebnistyp in spitzen Klammern
- Syntax:

```
<Modifier> <Typvariablen> <Ergebnistyp> Methodenbezeichner
          (<Parameterliste>)
```

Generische Methoden

- Beispiel
  - Methode ifNull, liefert zweites Argument, falls erstes null:

```
public static <T> T ifNull(T data, T backup) {
  return (data != null) ? data : backup;
}
```

Generische Methoden

- Beispiel: knotenZaehlen-Alternative

```
public static <T> int knotenZaehlenGenerisch(Knoten<T> knoten) {
  int ergebnis = 0;
  if (knoten != null) {
    ergebnis = 1 + knotenZaehlenGenerisch(knoten.getLinks())
                 + knotenZaehlenGenerisch(knoten.getRechts());
  }
  return ergebnis;
}
```

- Möglichkeit, den Typ T zu verwenden, wird hier nicht genutzt
  - verhält sich genau wie

```
int knotenZaehlen(Knoten<?> knoten) { … }
```

Aufruf generischer Methoden

- Aufruf mit konkreten Typen direkt vor dem Methodennamen
- Syntax:

```
Zielobjekt.<Typen>Methodenname(Argumentliste)
```

- Zielobjekt muss immer angegeben werden
  - this bei Aufruf von Methoden der eigenen Klasse
- Beispiele:

```
String text =<String>ifNull("Hallo","Hi"); // "Hallo"
int intWert = <Integer>ifNull(null, 4); // 4
```

- Compiler erkennt Typfehler:

```
int intWert = <Integer>ifNull("2", 4); // Fehler
```

Type-Inference

- Mechanismus des Compilers, der automatisch fehlende Typinformationen ermittelt
- Konkrete Typen und das Zielobjekt können beim Aufruf einer generischen Methode weggelassen werden, wenn der Compiler diese eindeutig berechnen kann
- Beispiele:

```
// explizites Typargument
String text = <String>ifNull("Hallo","Hi");
// äquivalent aufgrund Type-Inference
text = ifNull("Hallo","Hi");
// äquivalent aufgrund Type-Inference text =
ifNull(„Hallo","Hi");
```

Grenzen

- Typen der Argumente legen konkreten Typ eindeutig fest

```
String text = ifNull(null, "Hallo");
```

- Rückschluss aus Ergebnistyp legt konkreten Typ mittelbar fest:

```
String text = ifNull(null, null);
```

- Kein Rückschluss über zwei oder mehr Stufen

```
// wird nicht übersetzt
String text = ifNull(ifNull(null, null), null);
```

- Ok mit konkreter Typangabe oder String-Argument

```
String text= ifNull(<String>ifNull(null, null), null);
String text = ifNull(ifNull(null, "Hallo"), null);
```

Generische Methoden

- Typebounds können in generischen Methoden wie bei generischen Klassen verwendet werden
- Beispiel: Methode median liefert mittleres von drei Argumenten (anhand der Größe)
- Forderung: Der konkrete Typ T muss einen Größenvergleich zulassen
    - T (oder eine Basisklasse von T) muss das Interface Comparable implementieren!
- Methodensignatur:

```
<T extends Comparable<? super T>> T median(T x, T y, T z)
```

- Compiler sichert Einhaltung des Typebounds:

```
Integer i = median(3, 1, 2); // ok:
Object c = <Object>median(null,null,null); // Fehler
```

Übung: Generische Methoden

- Schreiben Sie eine generische Methode `print()`, die eine `ArrayList` von generischen Elementen als Parameter hat. Die Elemente sollen in der Methode zeilenweise ausgegeben werden (Verwenden der `toString()`-Methode der Elemente).

Zusammenfassung

- Typen
- Typebounds
- Kompatibilität
- Generische Methoden

Quellen

- Die Folien basieren teilweise auf Vorlesungsfolien von Prof. Martin Hübner, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg