Generizität

OOPM, Ralf Lämmel

Motivation: *Wir wollen einen generischen Keller und nicht einen Keller für Ints.*

```
public class IntStack {
   private IntListEntry top = null;
   public void push(int item) {
      IntListEntry e = new IntListEntry();
      e.item = item;
      e.next = top;
      top = e;
   }
   public boolean isEmpty() { return top == null; }
   public int top() { return top.item; }
   public void pop() { top = top.next; }
}
```

Begriffsbestimmung und Motivation

Felder?

* Generische Typen (“Generics”):

  Typen mit mit einem oder mehreren Typparametern

* Generische Methoden:

  Methoden mit einem oder mehreren Typparametern

Hauptanwendung: “Container”

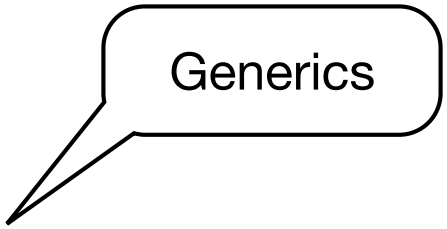
Hauptanwendung von Generics

- **Container**
  - Ein *Bild* besteht aus vielen Elementen.
  - Ein *Betrieb* besteht aus vielen Abteilungen, usw.
  - Ein *Bank* besteht aus Konten, Kunden, usw.
- Annahme: Wir wollen einen Containertyp **wiederverwenden.**
- Wiederverwendung verlangt dass

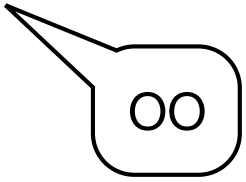
  der ***Containertyp nicht den Elementtyp vorschreibt***.

Generics
= Spezialfall von Polymorphismus

Formen von Polymorphismus



- **Parametrischer (oder universeller) Polymorphismus**
- Beschränkter Polymorphismus (“Subtyping”)
  - Schnittstellenpolymorphismus
  - ebenso für Klassentypen
- Ad-hoc Polymorphismus (“Überladung”)



Wiederholung:
Verwendung von *Schnittstellenpolymorphismus* zur Aufsummierung der Kontostände für die Konten einer Bank

Spezialfall von beschränktem Polymorphismus.

```
public class Bank {
   private Account[] accounts = new Account[42];
   public float totalBalance() {
      float result = 0;
      for (Account a : accounts)
         result += a.getBalance();
      return result;
   }
   ...
}
```

Datenkapsel unterschiedlicher Implementationstypen passen in dieses Feld.

Der tatsächliche Typ von *a* entscheidet über die anzuwendende Implementation von *getBalance*.

Programmierung von generischen Typen

Einfach verkettete Listen

```
public class IntListEntry {
   public int item;
   public IntListEntry next;
}
```

Monomorph / nicht generisch: Items können nur vom Typ int sein.

```
public class ListEntry<T> {
   public T item;
   public ListEntry<T> next;
}
```

Polymorph / generisch: Items können nun von einem beliebigen Referenztyp sein.

Methode zum Umkehren

```
public IntListEntry reverse() {
    if (this.next == null)
        return this;
    IntListEntry head = this;
    IntListEntry tail = this.next;
    head.next = null;
    IntListEntry result = tail.reverse();
    result.append(head);
    return result;
}
```

```
public ListEntry<T> reverse() {
    if (this.next == null)
        return this;
    ListEntry<T> head = this;
    ListEntry<T> tail = this.next;
    head.next = null;
    ListEntry<T> result = tail.reverse();
    result.append(head);
    return result;
}
```

T wird gebunden als formaler Typparameter der Klasse *ListEntry*. Im Typ von *reverse* fungiert *T* als aktueller Typparameter für den Ergebnistyp. *T* wird auch für die Deklaration von lokalen Variablen benötigt.

Datentypen mit Typ-Parametern

- Datentypsdeklarationen die variabel sind in Typen
  - **class** *DatentypName*<*Parameter-Typ*> { ... }
- Datentypsanwendungen die einen Typ wählen
  - *DatentypName*<*String*> *x* = ...;
- Verwendung von formalem *Parameter* in *Datentyp*
  - ... als aktueller Typ in generischem Typ
  - ... als Typ eines Attributes
  - ... als Argumenttyp einer Methode
  - ... als Ergebnistyp einer Methode
  - **... aber nicht als Konstruktorname.**

Wir betrachten hier nur uneingeschränkte Parameter im Gegensatz zu Typschranken und Wildcards für Java Generics.

Keller mit ints

```
public interface IntStack {
  void push(int item);
  boolean isEmpty();
  int top();
  void pop();
}
```

Generische Keller

```
public interface Stack<T> {
  void push(T item);
  boolean isEmpty();
  T top();
  void pop();
}
```

Binärbäume mit ints

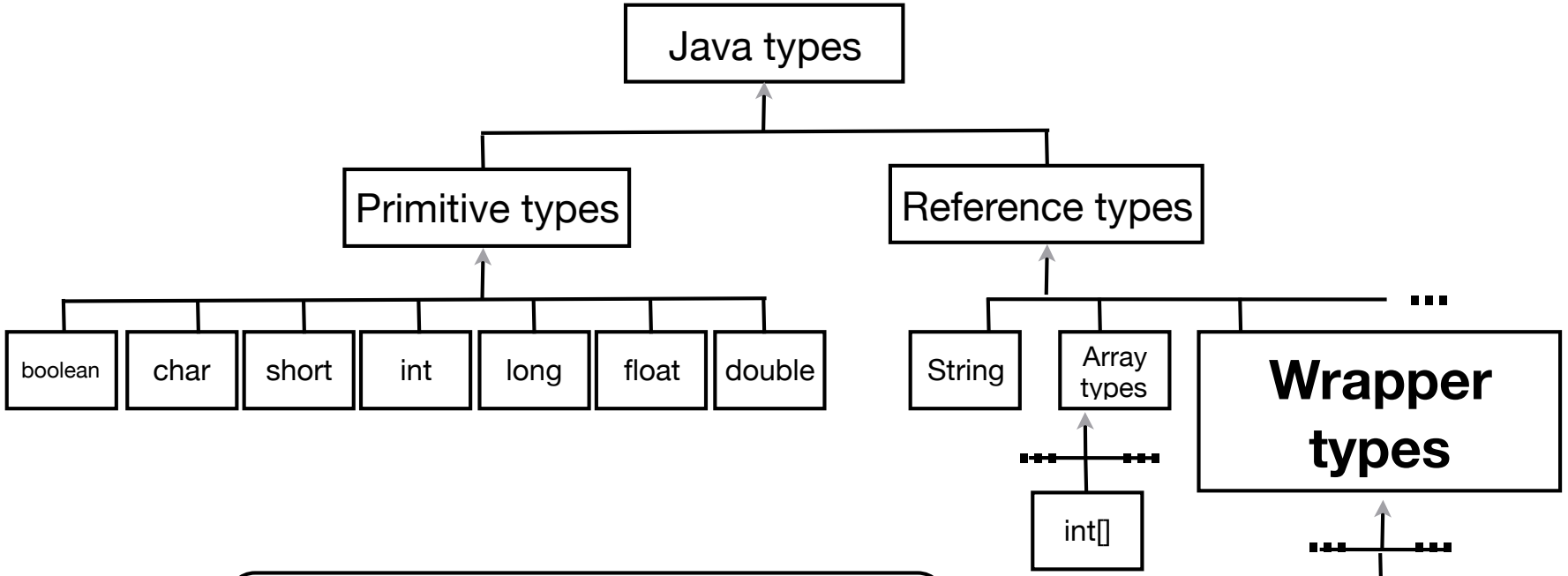
```
public class BinIntTree {
   private int info;
   private BinIntTree left, right;
   public int sum() {
      return   this.info
           + (this.left != null ? this.left.sum() : 0)
           + (this.right != null ? this.right.sum() : 0);
   }
   ...
}
```

Generische Binärbäume

```
public class BinTree<T> {
   private T info;
   private BinTree<T> left, right;
   public static int sum(BinTree<Integer> x) {
      return  x == null ? 0 : x.info
           + (x.left != null ? sum(x.left) : 0)
           + (x.right != null ? sum(x.right) : 0);
   }
   ...
}
```

Wir können sum nicht als Instanzmethode von *BinTree* definieren, da diese Klasse generisch ist. Wir können aber sehr wohl eine statische Methode über einem instanziierten Typ *BinTree<Integer>* definieren.

Java's Wrapper-Typen



*Primitive Typen können **nicht direkt** als aktuelle Parameter generischer Typen fungieren.*

Wrapper-Klassen für primitive Typen

- Wrappen-Klassen:
  - *Integer*: Referenztyp für int
  - analog für anderen primitive Typen
- Wrappen mit Konstruktor
- Unwrappen mit Getter
- Auto-un/boxing: Un-/wrappen implizit durch Typ.

```
Integer ri = null;    // Eine Wrapper-Variable
int pi = 0;           // Eine normale int Variable
ri = new Integer(42); // Wrappen von 42
ri = 42;              // Wrappen mit Autoboxing
pi = ri.intValue();   // Unwrappen von 42
pi = ri;              // Unwrappen mit Auto-Unboxing
```

Listen mit “einfacher” Iteration

```
public interface List<T> {
   public int getLength();
   public void add(T item);
   public void reset();
   public boolean hasNext();
   public T next();
}
```

Es kann nur eine laufende Iteration pro Liste geben.

Listen mit “fortgeschrittener” Iteration

- Elemente können angehängt werden.
- Elemente können entfernt werden.
- Man kann über die Elemente iterieren.

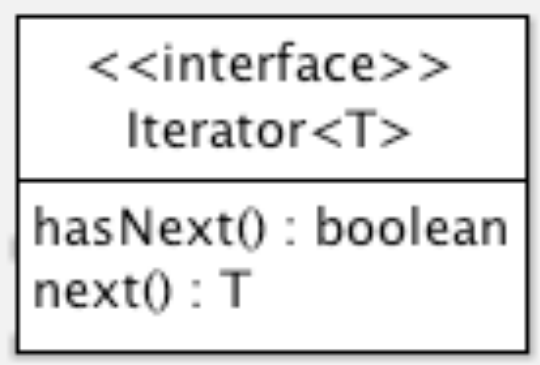
Zur Erinnerung: solche Iteration wird auch für Felder unterstützt.

```
List<Integer> l = new ...;
l.add(1);
l.add(2);
l.add(3);
int sum = 0;
for (int i : l)
   sum += i;
System.out.println(sum);
```

Diese Erwähnung der Liste erzeugt einen neuen “Iterator”.

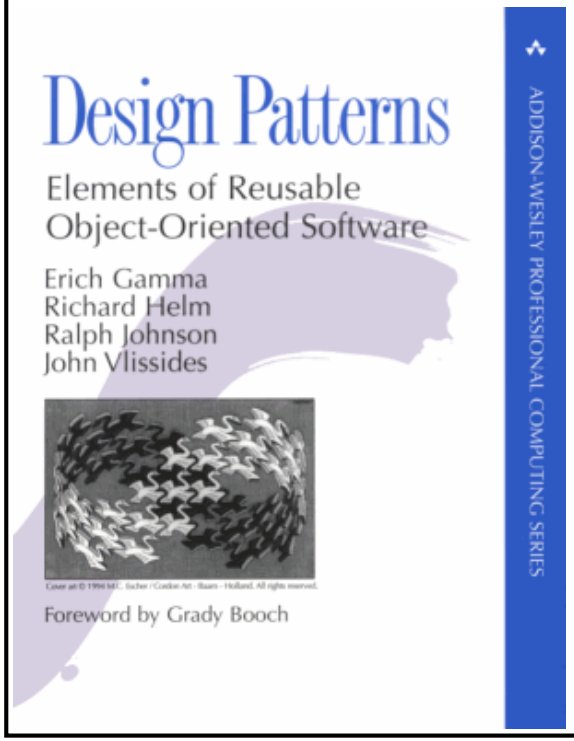
Die Iterator-Schnittstelle

- Instanzen kapseln Iteration über Objektstruktur.
- Methoden
  - *hasNext*: Testen ob Iteration noch Elemente liefert.
  - *next*: Liefere nächstes Element und rücke weiter.



Entwurfsmuster

Ein Entwurfsmuster gibt eine bewährte generische Lösung für ein immer wiederkehrendes Entwurfsproblem, das in bestimmten Situationen auftritt.



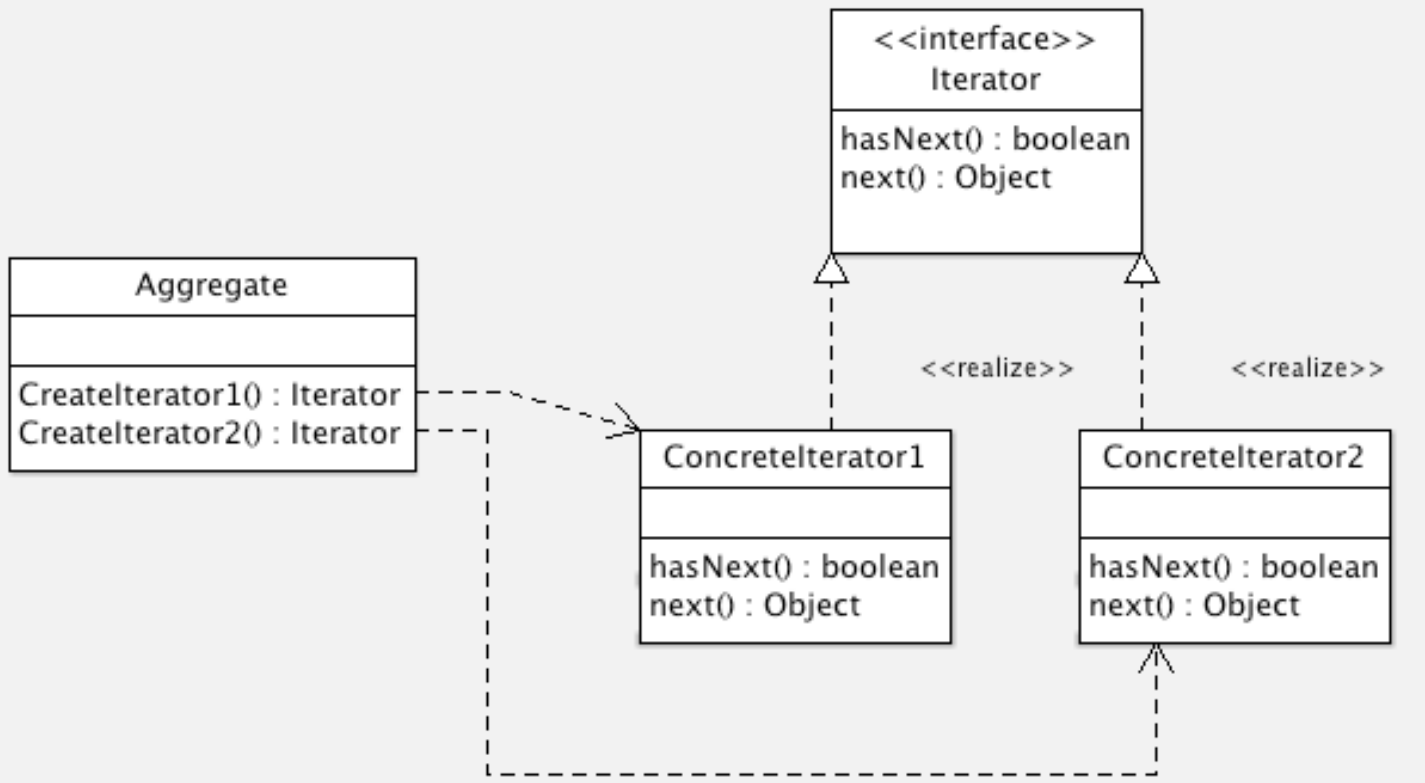
Design Patterns. Elements of Reusable Object-Oriented Software Addison-Wesley Professional Computing Series, 1995.

Entwurfsmuster ***Iterator***

* ***Intention***: Trennung von Objektstruktur und Iteration über “Elemente”. Ermöglichung verschiedener Iterationen über gleiche Objektstruktur. Verzahnung von Iteration und Verhalten per Element.

* ***Teilnehmer***: Aggregate---Klasse für Objektstruktur mit Elementen

* ***Struktur***



Listen mit Iterationen (Schnittstellen)

```
public interface Iterable<T> {
    Iterator<T> iterator();
}
public interface Iterator<T>
    boolean hasNext();
    T next();
    ...
}
public interface List<T> extends Iterable<T> {
    void add(T item);
    void remove(T item);
    Iterator<T> iterator();
}
```

Ein Datentyp ist “iterierbar” wenn seine Schnittstelle einen “Iterator” zurückgeben kann.

Ein Iterator ist ein Datentyp, der mittels *next* immer neue Elemente zurückgibt bis das Ende der Iteration erreicht wurde; siehe *hasNext*.

Der Listen-Datentyp ist “iterierbar”. Beachte: diese Vorgehensweise benutzt zwei (abhängige) Datenkapseln: die eigentliche Liste und einen Iterator.

Syntaktischer Zucker für for-each-Schleifen

```
int sum = 0;
for (int i : l)
   sum += i;
```

Die for-each-Schleife belegt eine Laufvariable des Elementtyps des Containers.

```
int sum = 0;
Iterator<Integer> i = l.iterator();
while (i.hasNext())
   sum += i.next();
```

Es kann mehrere Iteratoren pro Container-Objekt geben.

Der Compiler erzeugt im Prinzip Code mit einem expliziten Iterator und greift darauf mit *hasNext/next* zu.

Heterogene Container

- U.U. sollen Container verschiedener Typen beinhalten.

```
l.add(1);

l.add("2");

l.add(3);
```

- Dazu kann “Object” als “Übertyp” verwendet werden.

```
List<Object> l = new LinkedList<Object>();
```

Object als universeller Typ

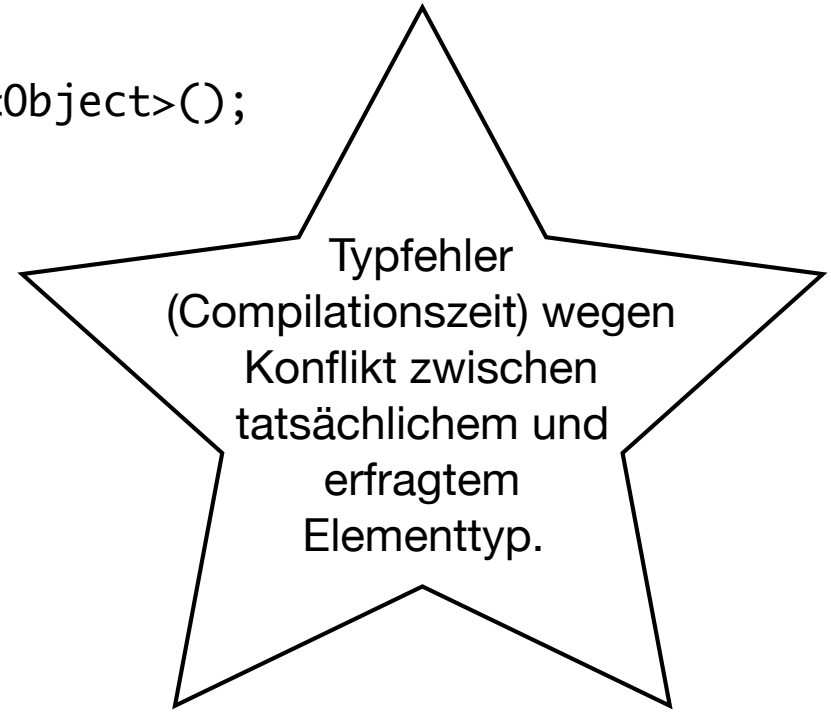
- Besonderer (universeller) Typ
  - Nicht direkt instanziierbar
  - Keine spezifischen Operationen
- Variablen dieses Typs enthalten beliebige Referenzen
  - Zuweisung “vergisst” Typ der rechten Seite
  - Lesender Zugriff benötigt *Cast* zur “Erinnerung”

```
String s = "Ich bin eine Zeichenkette.";
Object o = s; // Nun bin ich nur noch ein Objekt.
// s = o; // Typfehler!
s = (String)o; // Wenn’s klappt, ist o eine Zeichenkette.
```

Heterogene Container

- Wie kann man trotzdem Typannahmen machen?
- Beispiel Aufsummierung.

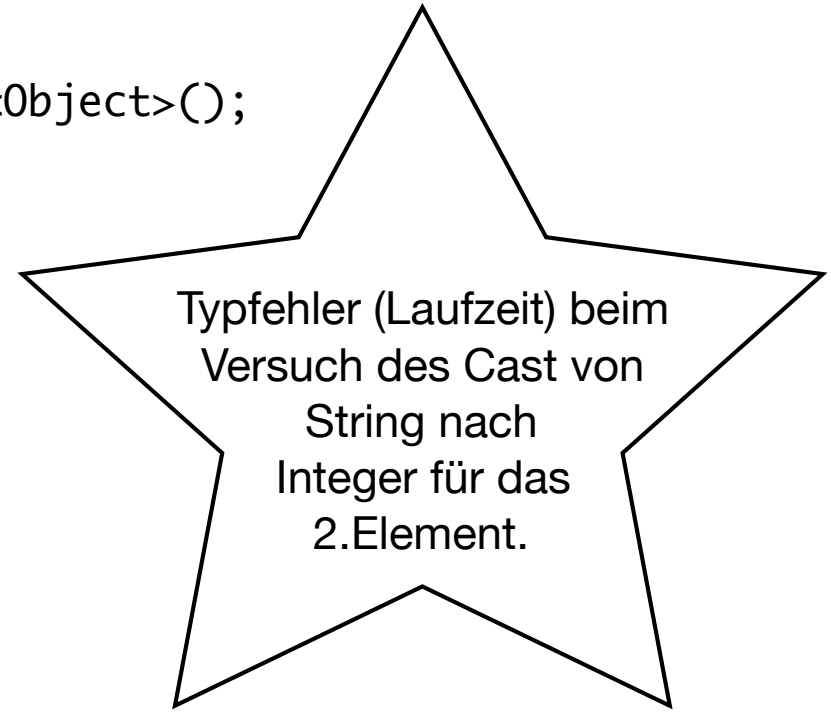
```
List<Object> l = new LinkedList<Object>();
l.add(1);
l.add("2");
l.add(3);
int sum = 0;
for (int i : l)
   sum += i;
System.out.println(sum);
```



Heterogene Container

- Wie kann man trotzdem Typannahmen machen?
  - Verwendung von Down-casting: **`(Zieltyp)object`**

```
List<Object> l = new LinkedList<Object>();
l.add(1);
l.add("2");
l.add(3);
int sum = 0;
for (Object o : l)
   sum += (Integer)o;
System.out.println(sum);
```



Heterogene Container

- Wie kann man trotzdem Typannahmen machen?
  - Verwendung von Down-casting ***und Typtest***.

```
List<Object> l = new LinkedList<Object>();
l.add(1);
l.add("2");
l.add(3);
int sum = 0;
for (Object o : l)
   if (o instanceof Integer)
   sum += (Integer)o;
System.out.println(sum);
```

Down-casting in der Bankanwendung

- Szenario:
  - Die Kredite von allen Konten sollen aufsummiert werden.
  - Nicht alle Konten bieten allerdings das Kredit-Feature.
  - Wie selektiert man die geeigneten Konten also?
- Der folgende Versuch ist nicht akzeptabel.

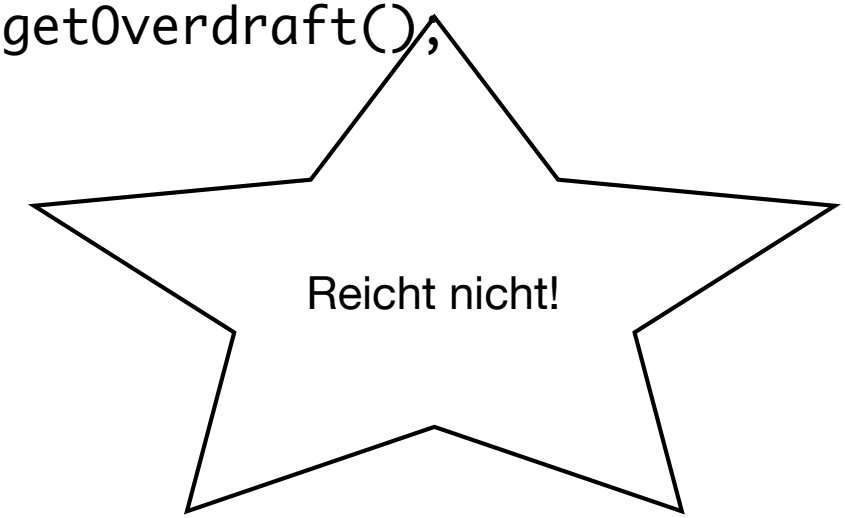
```
public class Bank {
   private Account[] accounts = new Account[42];
   public float totalOverdraft() {
      float result = 0;
      for (Account a : accounts)
         result += a.getOverdraft();
      return result;
   }
   ...
}
```

Die Anwendung dieser Methode ist nicht ***typkorrekt***.

Aufsummierung der Kredite für die Konten einer Bank

```
public class Bank {
   private Account[] accounts = new Account[42];
   public float totalOverdraft() {
      float result = 0;
      for (Account a : accounts)
        if (a instanceof CreditAccount)
          result += a.getOverdraft();
      return result;
   }
  ...
}
```

Test auf Machbarkeit von Down-Casting



Aufsummierung der Kredite für die Konten einer Bank

```
public class Bank {
   private Account[] accounts = new Account[42];
   public float totalOverdraft() {
      float result = 0;
      for (Account a : accounts)
         if (a instanceof CreditAccount)
            result += ((CreditAccount)a).getOverdraft();
      return result;
   }
  ...
}
```

Test auf Machbarkeit von Down-Casting

Down-casting (Beachte Klammerung!)

Zusammenfassung zu Down-casting und Typtest

- Gegeben sei eine Variable *v* vom (statischen) Typ *t*.
- *t* sei weiterhin ein Schnittstellentyp.
- *t'* sei ein Klassentyp der *t* implementiert.
- Alternativ ist *t'* ein Schnittstellentyp der *t* erweitert.
- Folgende Konstruktionen sind nun erlaubt:
  - **`v instanceof t'`**
    - Boolescher Ausdruck für Typtest:
      "Ist der aktuelle Typ von *v* *t'*?"
  - **`(t')v`**
    - Laufzeittypanpassung (ohne Werteanpassung)
      - Ergebnis ist vom Typ *t'*, falls definiert.
      - Ergebnis ist definiert bei erfolgreichen Typtest.
      - Fehlschlagender Typtest impliziert Ausnahme.

Wir übergehen an dieser Stelle weitere Aspekte, welche "Subtyping" betreffen.

Casting kann auch auf Kombinationen von primitiven Typen angewandt werden.

Die java.util Container-Typen

- Variationen
  - Zugriff über Schlüssel, Identität, Iteration, ...
  - Erhaltung der Einfügereihenfolge (“Listen”)
  - Synchronisierung für parallelen Zugriff
  - Unterstützung von Duplikaten
  - ...

Wahl der Schnittstelle und Implementation ist eine wichtige Entscheidung.

Die java.util Container-Typen (Auswahl)

- **Schnittstellen**
  - Collection
    - List
    - Set
      - SortedSet
    - Queue
      - BlockingQueue
  - Map
    - SortedMap
- **Implementationen**
  - LinkedList, ArrayList, Stack
  - HashSet
  - PriorityQueue
  - HashMap

Schnittstellen für Container

- **Collection**
  - Hinzufügen von Elementen
  - Entfernen von Elementen (Identitätsbasiert)
  - Testen auf Leere und Mitgliedschaft
  - Bestimmen der Größe
  - Konvertieren in ein Feld
- **List**: Zusätzliche Index-basierte Operationen.
- **Set**: Zusätzliche mengentheoretische Operationen.
- **Queue**: Zusätzliche FIFO/LIFO-Operationen.
- **Map**: Funktionen als Schlüssel/Werte-Paare.

java.util.Collection

```
public interface Collection<T> extends Iterable<T>{
   boolean add(T e);
   boolean contains(Object o);
   boolean isEmpty();
   Iterator<T> iterator();
   boolean remove(Object o);
   int size();
   Object[] toArray();
   ...
}
```

Dies ist die grundlegendste Schnittstelle. Implementationen müssen nicht eine bestimmte Reihenfolge der Elemente versprechen.

java.util.List

```
public interface List<T> extends Collection<T> {
   void add(int index, T element);
   T get(int index);
   int indexOf(Object o);
   T remove(int index);
   T set(int index, T element);
   ...
}
```

Es hängt von der konkreten Implementation ab, ob z.B. die Index-basierten Operationen effizient unterstützt sind.

Implementationen für Container

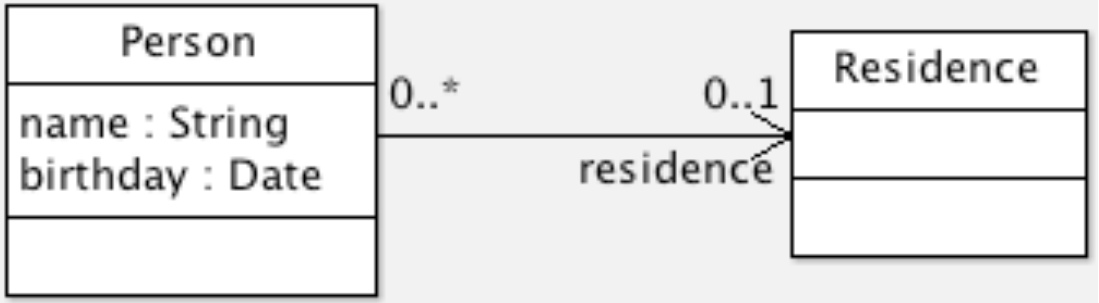
- ArrayList: Erweiterbare Felder
- Vector: wie ArrayList mit Synchronisierung
- LinkedList: Liste mit schnellen Mutationen
- HashSet: Einfache Mengenimplementation
- ...

Verwendung von (generischen) Container-Typen für die Java-***Implementation*** von UML-Assoziationen

- Variationen
  - Gerichtet und ungerichtet
  - Multiplizitäten 0..1, 1, 0..*, 1..*
  - Allgemein vs. Aggregation (Komposition)
  - *(Assoziationsklassen (Assoziationen mit Attributen))*
  - (Mehrfachgeneralisierungen (für Klassen))

Wir hatten die Nicht-*-Multiplizitäten schon im Kontext der Einführung in UML-Klassendiagramme besprochen.

“0..1”



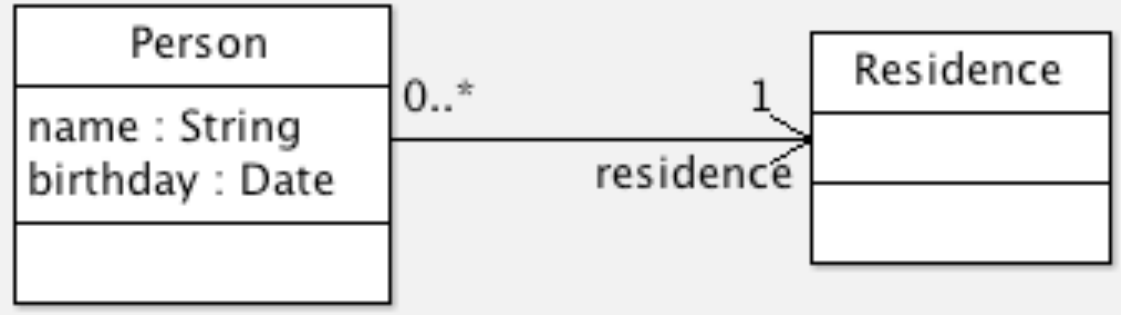
Wieder-holung

- Modell
  - Jede Person hat möglicherweise eine Residenz.
  - Jede Residenz beherbergt beliebig viele Personen.
  - Navigation ist nur von Person nach Residenz vorgesehen.
- Implementation
  - Klasse Person hat Feld vom Typ Residence.
  - Das Feld darf legal den Wert “null” annehmen.

```
/**
 * A person with an optional residence
 */
public class Person {

    private Residence residence;

    public Residence getResidence() {
     return residence;
    }

    public void setResidence(Residence residence) {
     this.residence = residence;
    }
}

/**
 * A residence ...
 */
public class Residence { ... }
```

Wieder-
holung

“1”



Wieder-holung

- Modell
  - Jede Person hat **genau** eine Residenz.
  - Sonst wie vorher.
- Implementation
  - *Konstruktion* einer Person benötigt eine Residenz.
    - Parameter des Konstruktors
    - Erzeugen des Residenzobjektes
    - Gestatten einer zeitweiligen Inkonsistenz

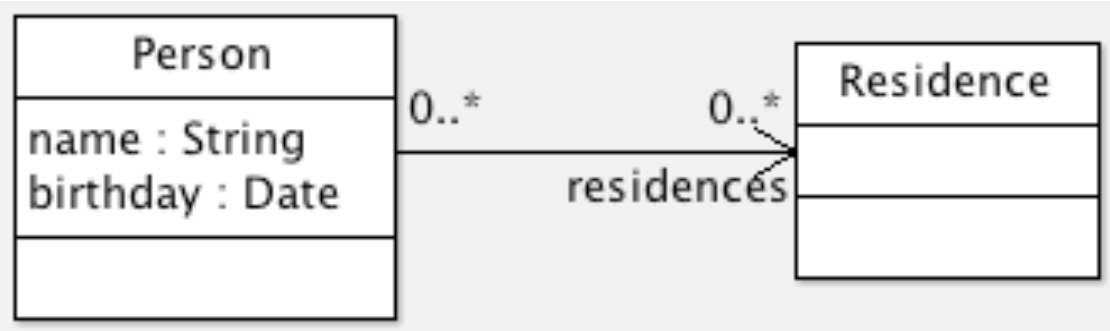
Jede Person hat **genau** eine Residenz. Überprüfung des Parameterkonstruktors

```
public class Person {

    private Residence residence;

    /** Construction requires a residence */
    public Person(Residence residence) {
        if (residence==null)
            throw new IllegalArgumentException();
        setResidence(residence);
    }

    ...
}
```

Wieder-
holung

Vordefinierte
Ausnahmeklasse

“0..*”

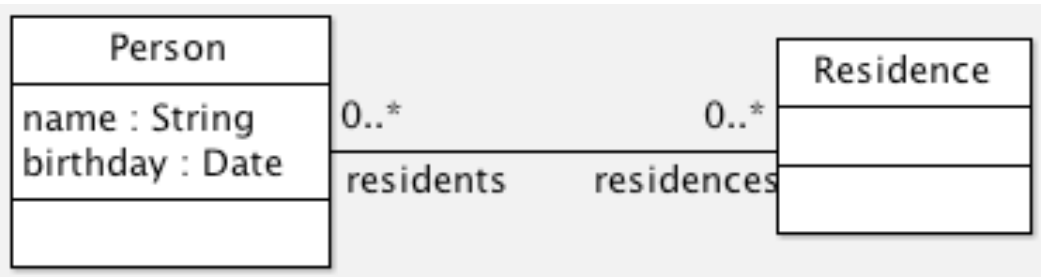


- Modell
  - Jede Person hat **beliebig viele** Residenzen.
  - Sonst wie vorher.
- Implementation
  - Das Feld für die Residenzen ist von einem *Container*-Typ.

Hinzufügen einer Verknüpfung

```
public class Person {

    private List<Residence> residences =
                new LinkedList< Residence >();

    public void addResidence(Residence r){
       residences.add(r);
    }

}

public class Residence { ... }
```

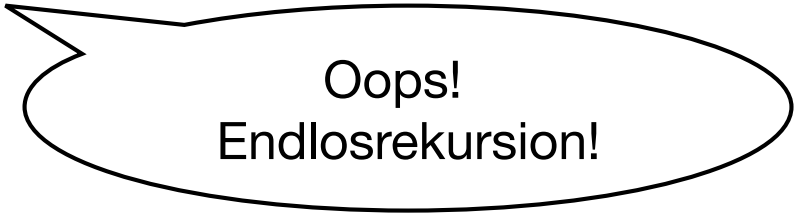
“ungerichtet”



- Modell
  - Navigation von Residenzen nach Personen nun zulässig.
- Implementation
  - add/remove-Operation werden beidseitig angewandt.

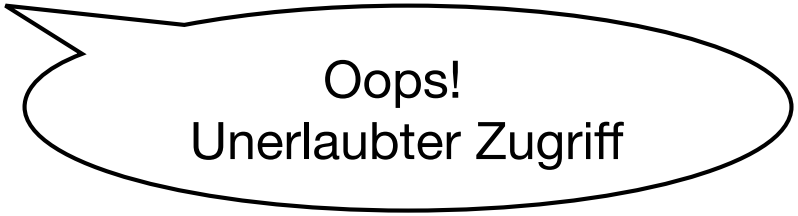
Hinzufügen einer Verknüpfung: gegenseitiger Aufruf

```
public class Person {

    private List<Residence> residences = new LinkedList< Residence >();

    public void addResidence(Residence r){
      residences.add(r);
      r.addPerson(this);
    }

}

public class Residence {

    private List<Person> persons = new LinkedList<Person>();

    public void addPerson(Person p){
      persons.add(p);
      p.addResidence(this);
    }

}
```



Hinzufügen einer Verknüpfung: entfernte Container-Manipulation

```
public class Person {

    private List< Residence > residences = new LinkedList< Residence >();

    public void addResidence(Residence r){
      residences.add(r);
      r.persons.add(this);
    }

}

public class Residence {

    private List<Person> persons = new LinkedList<Person>();

    public void addPerson(Person p){
      persons.add(p);
      p.residences.add(this);
    }

}
```



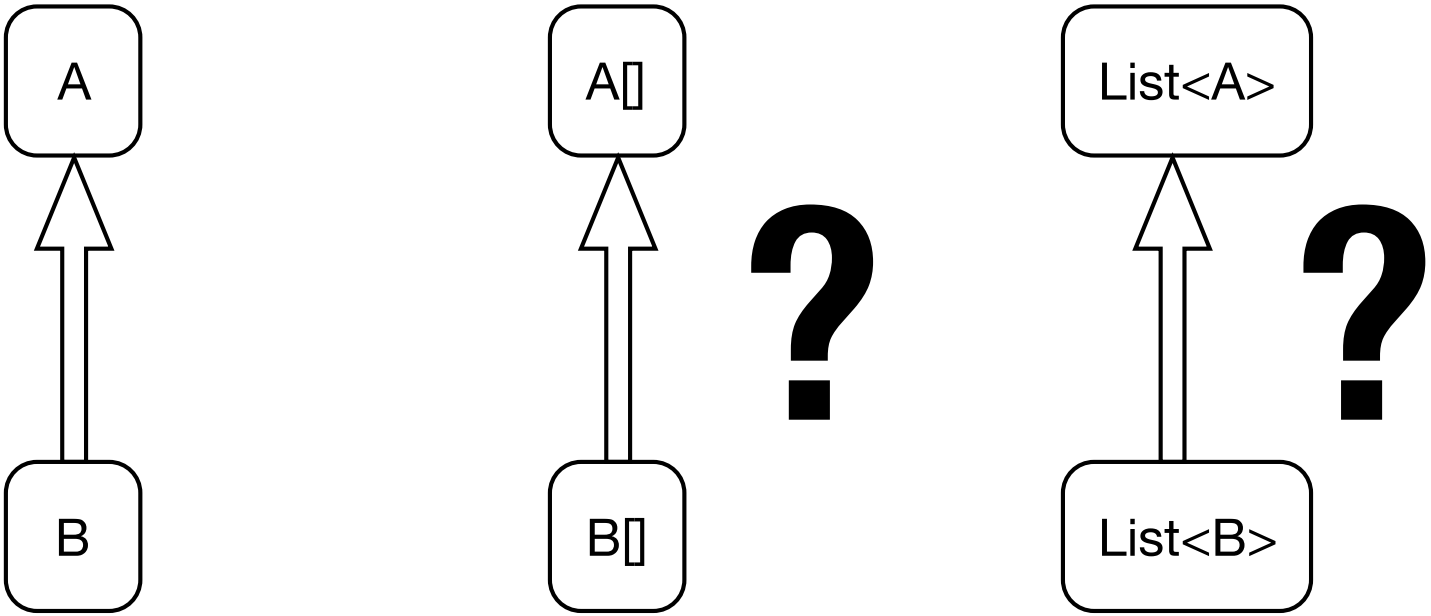
Hinzufügen einer Verknüpfung: Verwendung der Paketsichtbarkeit

```
public class Person {

    /* default */ List< Residence > residences = new LinkedList< Residence >();

     public void addResidence(Residence r){
       residences.add(r);
       r.persons.add(this);
     }

}

public class Residence {

    /* default */ List<Person> persons = new LinkedList<Person>();

     public void addPerson(Person p){
       persons.add(p);
       p.residences.add(this);
     }

}
```

Gibt es weitere Lösungsideen?

Varianz und Invarianz

Was ist In-/varianz?



Wenn die Beziehungen für Feldtypen und Listentypen gelten, dann würden wir von Co-Varianz sprechen*!*

Covarianz von Feldtypen

- Ein Feldtyp [*B*] ist ein Untertyp vom Feldtyp [*A*], wenn *B* ein Untertyp von *A* ist.
- Beispiel:

```
public class A {}

public class B extends A {}

B[] bs = new B[] { new B() };

A[] as;

as = bs;
```

"zuweisungskompatibel"

Laufzeitfehler bei Covarianz

* Beispiel:

```
public class A {}

public class B extends A {}

B[] bs = new B[] { new B() };

A[] as;

as = bs;

as[0] = new A();
```

Invarianz von Java “generics”

- Anwendungen von generische Typen auf Typparameter in Untertypsbeziehung stehen in keiner Untertypsbeziehung.
- Beispiel:

```
public class A {}

public class B extends A {}

List<B> bs = ...;

List<a> as;

as = bs; // nicht kovariant

bs = as; // nicht kontravariant
```

“zuweisungs**in**kompatibel”

Ko- und Kontravarianz bei Methodentypen

```
public class Plant { ... }
public class Grass extends Plant { ... }
public class Herbivore {
   public List<Plant> diet;
   public void eat(Plant food) { }
}
public class Cow extends Herbivore {
   public void eat(Grass food) { }
}
```

Pflanzenfresser fressen “alle” Pflanzen.

Diese Kühe fressen nur Gras. Damit ist der Typ des Arguments ***ko-variant***.

Dieser Java-Code überschreibt nicht wirklich “eat”. Was passiert? Warum ist Java so entworfen?

Im Einklang mit einfacher Typsicherheit:

- Kovariant im Resultatstyp.
- Kontravariant im Argumenttyp.

```
public abstract class A {

   public A m(B b) { ... }

}

public class B extends A {

   public B m(A a) { ... }

}
```

Java hat keine solche Kontravarianz. Es greift Überladung.

Java gestattet tatsächlich solche Kovarianz.

Zusammenfassung

- Datentypen für Container sollen generisch sein.
- Generizität braucht Object oder Typ-Parameter.
- Java bietet alle nötigen Formen von Polymorphismus.
- Java bietet eine reiche Container-Bibliothek.