6 Polymorphie

Problem:

- Unsere Datenstrukturen `List`, `Stack` und `Queue` können einzig und allein `int`-Werte aufnehmen.
- Wollen wir `String`-Objekte oder andere Arten von Zahlen ablegen, müssen wir die jeweilige Datenstruktur grade nochmal definieren.

6.1 Unterklassen-Polymorphie

Idee:
Überall wo ein Objekt vom Typ `ClassA` verwendet wird, können wir auch ein Objekt einer Unterklasse von `ClassA` nutzen.

- Zuweisungen:

```
ClassA a;
ClassB b = new ClassB();
a = b; // weise Objekt einer Unterklasse zu
```

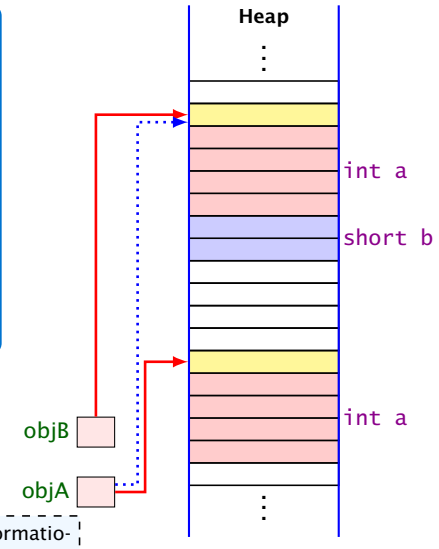
- Methodenaufrufe:

```
void meth(ClassA a) {};
ClassB b = new ClassB();
void bla() {
    meth(b); // rufe meth mit Objekt von
             // Unterklasse auf
}
```

Eine Funktion, die für mehrere Argumenttypen definiert ist, heißt auch polymorph.

Was passiert hier eigentlich?

```
public ClassA {
    int a;
}
public ClassB extends classA {
    short b;
}
public class Test {
    public static void main() {
        ClassA objA = new ClassA();
        ClassB objB = new ClassB();
        objA = objB;
    }
}
```



Ein Objekt vom Typ `classB` ist auch ein Objekt vom Typ `classA`.

Die gelben Felder enthalten Verweise auf Typinformationen, die aber für diesen Fall der Zuweisung nicht benötigt werden.

Unrealistisches Beispiel

Der Finanzminister möchte jedem Konto 10 € gutschreiben, um die Wirtschaft anzukurbeln:

Das Array `arr` enthält Objekte unterschiedlicher Typen.

```
void boostEconomy(BankAccount[] arr) {
    for (int i=0; i<arr.length, i++) {
        arr[i].deposit(10);
    }
}
```

- Die Methode bekommt ein Array mit allen Konten übergeben.
- Die einzelnen Elemente des Arrays können `BankAcccount`, `CheckingAccount`, `SavingsAccount`, oder `BonusSaverAccount` sein.
- Es wird jeweils die Methode `deposit` aufgerufen, die in der Klasse `BankAccount` implementiert ist.

Beachte, dass die Unterklassen von `BankAccount` die Methode `deposit` nicht überschreiben.

Realistisches Beispiel

Die Mafia ist durch ein Hack in den Besitz einer großen Menge von Bankdaten gekommen. Diese gilt es auszunutzen:

```
void exploitHack(BankAccount[] arr) {
    for (int i=0; i<arr.length, i++) {
        arr[i].withdraw(10);
    }
}
```

- Hier wird die (spezielle) withdraw-Methode des jeweiligen Account-Typs aufgerufen.
- Die kann der Compiler aber nicht kennen!!!
- Dynamische Methodenbindung!!!

Statischer vs. dynamischer Typ

Der statische Typ eines Ausdrucks ist, der Typ, der sich gemäß den Regeln zu Auswertung von Ausdrücken ergibt.

Der dynamische Typ eines Referenzausdrucks e ist der Typ des wirklichen Objekts auf dass e zur Laufzeit zeigt.

Beispiel:

```
SavingsAccount s = new SavingsAccount(89,10,0.2);
BankAccount b = s;

s //statischer Typ SavingsAccount
b //statischer Typ BankAccount

s //dynamischer Typ SavingsAccount
b //dynamischer Typ SavingsAccount
```

Ermittlung der aufgerufenen Methode

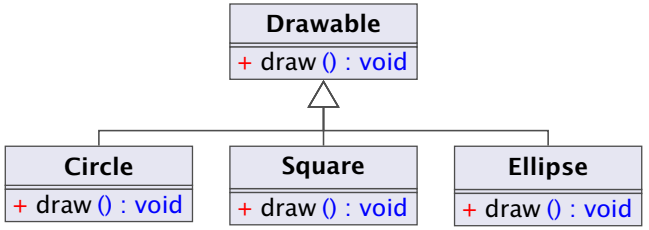
Betrachte einen Aufruf $e_0.\mathrm{f}(e_1,\ldots,e_k)$.

Das Verfahren beschreibt den Vorgang für Objektmethoden. Bei statischen Aufrufen, würde die in Schritt 2 gefundene Methode gewählt.

1. Bestimme die statischen Typen $T_0,\ldots,T_k$ der Ausdrücke $e_0,\ldots,e_k$.
2. Suche in einer Oberklasse von T_0 nach einer Methode mit Namen f, deren Liste von Argumenttypen bestmöglich zu der Liste $T_1,\ldots,T_k$ passt.
   Sei S Signatur dieser rein statisch gefundenen Methode f.
3. Der dynamische Typ D des Objekts, zu dem sich e_0 auswertet, gehört zu einer Unterklasse von T_0.
4. Es wird die Methode f aufgerufen, die Signatur S hat, und die in der nächsten Oberklasse von D implementiert wird.

Das Ermittlen der Methode, die am besten passt, wurde schon im Kapitel über die Auswertung von Ausdrücken behandelt. Es kommen nur zusätzliche implizite Typecasts hinzu: Ein Cast von einer Unterklasse in eine zugehörige Oberklasse ist immer möglich, und wird vom Compiler als impliziter Typecast durchgeführt.

Weiteres Beispiel




```
1  public class Figure {
2      Drawable[] arr; // contains basic shapes of figure
3      Figure(/* some parameters */) {
4          /* constructor initializes arr */
5      }
6      void draw() {
7          for (int i=0; i<arr.length; ++i) {
8              a[i].draw();
9          }
10 }   }
```

Die Klasse Object

- Die Klasse `Object` ist eine gemeinsame Oberklasse für alle Klassen.
- Eine Klasse ohne angegebene Oberklasse ist eine direkte Unterklasse von `Object`.

Die Klasse Object

Einige nützliche Methoden der Klasse `Object`:

- `String toString()` liefert Darstellung als `String`;
- `boolean equals(Object obj)` testet auf Objekt-Identität oder Referenz-Gleichheit:

```
1 public boolean equals(Object obj) {
2     return this == obj;
3 }
```

- `int hashCode()` liefert Nummer für das Objekt.
- . . . viele weitere geheimnisvolle Methoden, die u.a. mit paralleler Programmausführung zu tun haben.

Achtung: `Object`-Methoden können aber in Unterklassen durch geeignetere Methoden überschrieben werden.

Beispiel

```
1  public class Poly {
2      public String toString() { return "Hello"; }
3  }
4  public class PolyTest {
5      public static String addWorld(Object x) {
6          return x.toString() + " World!";
7      }
8      public static void main(String[] args) {
9          Object x = new Poly();
10         System.out.println(addWorld(x));
11     }
12 }
```

liefert: `"Hello World!"`

Erläuterungen

- Die Klassen-Methode `addWorld()` kann auf jedes Objekt angewendet werden.
- Die Klasse `Poly` ist eine Unterklasse von `Object`.
- Einer Variable der Klasse `ClassA` kann ein Objekt jeder Unterklasse von `ClassA` zugewiesen werden.
- Darum kann `x` das neue `Poly`-Objekt aufnehmen.

Die Klasse `Poly` enthält keinen explizit definierten Konstruktor.

Eine Klasse `ClassA`, die keinen anderen Konstruktor besitzt, erhält einen Default-Konstruktor `public ClassA()`.

Beispiel

```
1 public class PolyB {
2      public String greeting() { return "Hello"; }
3 }
4 public class PolyTestB {
5      public static void main(String[] args) {
6          Object x = new PolyB();
7          System.out.println(x.greeting()+" World!");
8      }
9 }
```

liefert: Compilerfehler

```
Method greeting() not found in class java.lang.Object.
    System.out.print(x.greeting()+" World!\n");
                                 ^
1 error
```


Erklärung

- Die Variable x ist als Object deklariert.
- Der Compiler weiss nicht, ob der aktuelle Wert von x ein Objekt aus einer Unterklasse ist, in welcher die Objektmethode greeting() definiert ist.
- Darum lehnt er dieses Programm ab.

Methodenaufruf

Der Aufruf einer statischen Methode:

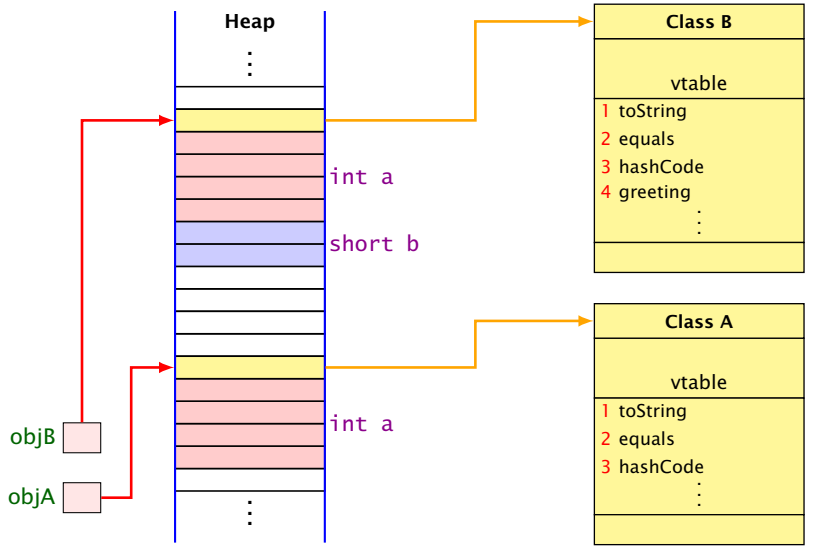
1. Aktuelle Parameter und Rücksprungadresse auf den Stack legen.
2. Zum Code der Funktion springen.

Aufruf einer Objektmethode:

1. Aktuelle Parameter (auch this) und Rücksprungadresse auf den Stack legen.
2. **Problem:** Die aufgerufene Funktion ist zur Compilezeit noch nicht bekannt; existiert vielleicht nicht einmal.

> Die Funktion addWorld() im vorherigen Beispiel könnte schon existieren, bevor die Klasse Poly geschrieben wird. Wie kann dann addWorld() die richtige toString()-Funktion aufrufen?

Methodenaufruf



Methodenaufruf

Ein Aufruf `obj.equals()` wird wie folgt verarbeitet.
- Suche die `vtable` des Objekts auf das `obj` zeigt.
- Suche in dieser `vtable` nach dem Index von `equals()`.
- Springe an die dort gespeicherte Sprungadresse.

- Jede Klasse hat eine Tabelle (`vtable`) mit Methoden, die zu dieser Klasse gehören. Darin wird die Adresse des zugehörigen Codes gespeichert.
- Ein Aufruf einer Objektmethode (z.B. `equals`) sucht in dieser Tabelle nach der Sprungadresse.
- Beim Überschreiben einer Methode in einer Unterklasse wird dieser Eintrag auf die Sprungadresse der neuen Funktion geändert.
- Dynamische Methodenbindung

Wichtig

Der Index der Funktionen innerhalb der (`vtable`) ist in jeder abgeleiteten Klasse gleich.

Dies ist nur eine (sehr naheliegende) Möglichkeit dynamische Methodenbindung zu realisieren. D.h. nicht, dass die JVM dies genau so umsetzt.

Beispiel

```
1 public class PolyB {
2       public String greeting() { return "Hello"; }
3 }
4 public class PolyTestB {
5       public static void main(String[] args) {
6           Object x = new PolyB();
7           System.out.println(x.greeting()+" World!");
8       }
9 }
```

liefert: Compilerfehler

```
Method greeting() not found in class java.lang.Object.
    System.out.print(x.greeting()+" World!\n");
                                 ^
1 error
```


Ausweg

Benutze einen expliziten cast in die entsprechende Unterklasse!

```
1 public class PolyC {
2     public String greeting() { return "Hello"; }
3 }
4 public class PolyTestC {
5     public void main(String[] args) {
6         Object x = new PolyC();
7         if (x instanceof PolyC)
8             System.out.print(((PolyC) x).greeting()+"
                  World!\n");
9         else
10            System.out.print("Sorry: no cast
                  possible!\n");
11    }
12 }
```


Fazit

Java vergisst die Zugehörigkeit zu B nicht vollständig. Bei einem Aufruf von Objektmethoden, werden evt. von B überschriebene Methoden aufgerufen.

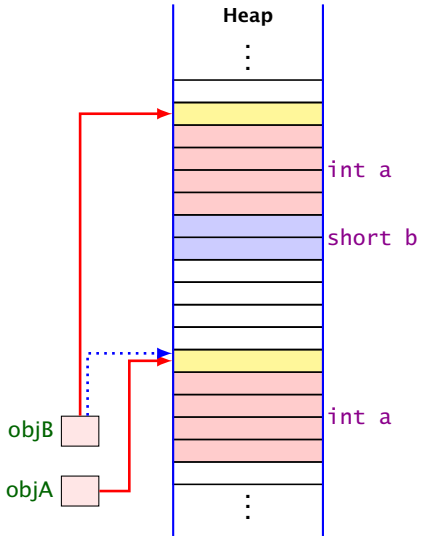
- Eine Variable x einer Klasse A kann Objekte b aus sämtlichen Unterklassen B von A aufnehmen.
- Durch diese Zuweisung vergisst Java die Zugehörigkeit zu B, da Java alle Werte von x als Objekte der Klasse A behandelt.
- Mit dem Ausdruck `x instanceof B` können wir zur Laufzeit die Klassenzugehörigkeit von x testen;
- Sind wir uns sicher, dass x aus der Klasse B ist, können wir in diesen Typ casten.
- Ist der aktuelle Wert der Variablen x bei dem versuchten Cast tatsächlich ein Objekt (einer Unterklasse) der Klasse B, liefert der Ausdruck genau dieses Objekt zurück. Andernfalls wird eine ↑Exception ausgelöst.

Was passiert hier eigentlich?

```
objB = (ClassB) objA;
```

Die Typinformationen der Objekte werden geprüft (zur Laufzeit) um sicherzustellen, dass `objA` ein `ClassB`-Objekt ist, d.h., dass es insbesondere `short b` enthält.

Hier gibt es einen Laufzeitfehler.



Beispiel — Listen

Wir definieren Liste für `Object` anstatt jeweils eine für `Rational`, `BankAccount`, etc.

```
1  public class List {
2      public Object info;
3      public List next;
4      public List(Object x, List l) {
5          info = x;
6          next = l;
7      }
8      public void insert(Object x) {
9          next = new List(x,next);
10     }
11     public void delete() {
12         if (next != null) next = next.next;
13     }
14 // continued...
```


Beispiel — Listen

```
14     public String toString() {
15         String result = "[" + info;
16         for (List t = next; t != null; t = t.next)
17             result = result+ ", " + t.info;
18         return result + "]";
19     }
20     ...
21 } // end of class List
```

- Die Implementierung funktioniert ganz analog zur Implementierung für `int`.
- Die `toString()`-Methode ruft implizit die (stets vorhandene) `toString()`-Methode der Listenelemente auf.

Beispiel — Listen

Achtung:

```
1 //...
2 Poly x = new Poly();
3 List list = new List(x);
4 x = list.info;
5 System.out.println(x);
6 //...
```

liefert einen Compilerfehler. Der Variablen `x` dürfen nur Unterklassen von `Poly` zugewiesen werden.

Beispiel — Listen

Stattdessen:

```
1 //...
2 Poly x = new Poly();
3 List list = new List(x);
4 x = (Poly) list.info;
5 System.out.println(x);
6 //...
```

Das ist hässlich!!! Geht das nicht besser???

6.2 Generische Klassen

Idee:

- Java verfügt über generische Klassen...
- Anstatt das Attribut `info` als `Object` zu deklarieren, geben wir der Klasse einen Typ-Parameter `T` für `info` mit!
- Bei Anlegen eines Objekts der Klasse `List` bestimmen wir, welchen Typ `T` und damit `info` haben soll...

Beispiel — Listen

```
1 public class List<T> {
2     public T info;
3     public List<T> next;
4     public List (T x, List<T> l) {
5        info = x;
6        next = l;
7     }
8     public void insert(T x) {
9        next = new List<T> (x, next);
10    }
11    public void delete() {
12       if (next != null) next = next.next;
13    }
14    //continued...
```


Beispiel — Listen

```
15    public static void main (String [] args) {
16       List<Poly> list
17             = new List<Poly> (new Poly(), null);
18       System.out.println(list.info.greeting());
19    }
20 } // end of class List
```

- Die Implementierung funktioniert ganz analog zur Implementierung für `Object`.
- Der Compiler weiß aber nun in `main`, dass `list` vom Typ `List` ist mit Typparameter `T` = `Poly`.
- Deshalb ist `list.info` vom Typ `Poly`.
- Folglich ruft `list.info.greeting()` die entsprechende Methode der Klasse `Poly` auf.

Bemerkungen

- Die Typ-Parameter der Klasse dürfen nur in den Typen von Objekt-Attributen und Objekt-Methoden verwendet werden!!!
- Jede Unterklasse einer parametrisierten Klasse muss mindestens die gleichen Parameter besitzen:

  `A<S,T> extends B<T>` ist erlaubt.

  `A<S> extends B<S,T>` ist verboten.

- `Poly` ist eine Unterklasse von `Object`; aber `List<Poly>` ist keine Unterklasse von `List<Object>`!!!

Fallstricke

Parametrisierte Datentypen sind in Java über Type-Erasure implementiert.

Das heißt, dass für die JVM `List<Integer>` und `List<String>` gleich aussehen und es nur einen Typ `List<Object>` gibt.

Nur der Compiler unterscheidet zwischen `List<Integer>` und `List<String>` und stellt z.B. sicher dass

```
1 List<Integer> l;
2 // some other code...
3 Integer i = l.remove();
```

in Zeile 3 immer einen `Integer` zurückliefert.

Beispiel – Arrays

Die Zuweisung in Zeile 4 ist erlaubt, da Arrays in Java kovariant sind.

Der Basistyp des Arrays ist (normalerweise) zur Laufzeit bekannt. Deshalb kann in Zeile 5 eine Typprüfung (zur Laufzeit) stattfinden.

```
1 Animal[] a;
2 Dog[] d = new Dog[100];
3
4 a = d;
5 a[0] = new Cat(); // Laufzeitfehler
6 myDog = d[0];
```

Kovarianz/Kontravarianz/Invarianz

Seien A und B Typen und f eine Typtransformation.

- Falls $A \leq B \Rightarrow f(A) \leq f(B)$ heißt f kovariant.
- Falls $A \leq B \Rightarrow f(A) \geq f(B)$ heißt f kontravariant.
- Falls $A \leq B$ keine Beziehung zwischen $f(A)$ und $f(B)$ impliziert heißt f invariant.

Beispiele:

- $A \leq B \Rightarrow$ `A[]` $\leq$ `B[]` (Arrays sind in Java kovariant)
- $A \leq B$ impliziert keine Beziehung zwischen `List<A>` und `List<B>`
- $A \leq B \Rightarrow$ `A.meth()` $\leq$ `B.meth()` (wenn man eine Methode überschreibt muß der Rückgabetyp kovariant sein)

Beispiel – Generische Listen

```
1 List<Animal> a;
2 List<Dog> d = new List<Dog>(...);
3
4 a = d; // Compilerfehler
5 a.insert(new Cat());
6 myDog = d.get();
```

Zeile 4 erzeugt einen Compilerfehler, da generische Datentypen in Java invariant sind.

Zeile 5: hier kann Java aufgrund von Type-Erasure keinen Laufzeitfehler erzeugen. Für die JVM sehen `List<Cat>` und `List<Dog>` gleich aus, also kann man diese Zuweisung nicht verbieten.

Zeile 6: Eine Hauptvorteil von Generics in Java ist, dass diese Zuweisung nicht zu einem Laufzeitfehler führt; d.h., der Compiler stellt zur Compilezeit sicher, dass dieses funktioniert. Deshalb möchte man hier keinen Laufzeitfehler erzeugen.

Beispiel – Wildcards

```
1 List<?> a;
2 List<Dog> d = new List<Dog>(...);
3
4 a = d;
5 a.insert(new Cat()); // Compilerfehler
6 myDog = d.get();
```

List<?> steht für eine Liste mit einem beliebigen (aber unbekannten) Datentyp. Man kann solch einer Liste beliebige Listen der Form List<T> zuweisen (für konkrete Werte von T). Demnach ist Zeile 4 erlaubt.

Zeile 5: Da der eigentliche Typ der Liste (bei Zugriff über a) nicht bekannt ist, können keine Methoden aufgerufen werden, die den parametrisierten Datentyp benutzen (aber z.B. a.length() könnte man aufrufen).

Beispiel – Raw Types

Raw Types sollte man so weit wie möglich vermeiden!

```
1 List a;
2 List<Dog> d = new List<Dog>(...);
3
4 a = d;
5 a.insert(new Cat()); // Compilerwarnung
6 myDog = d.get(); // Laufzeitfehler
```

List ist ein Raw Type. Bei der Verwendung dieses Typs wird die Typprüfung des Compilers umgangen. Deshalb ist Zeile 4 erlaubt.

Zeile 5: Da a eine Liste mit einem unbekannten Basistyp ist, ist diese Zuweisung gefährlich und kann nicht vom Compiler auf Typsicherheit geprüft werden.

In Zeile 6 bekommt man den Laufzeitfehler, der durch die Umgehung der Typprüfung entsteht. Wenn man keine Raw-Types verwendet (und alles compiliert) ist eine Zuweisung wie myDog = d.get() statisch geprüft.

Beispiel – Arrays

```
1 Animal[] a;
2 Dog[] d = new Dog[100];
3
4 a = d;
5 a[0] = new Cat(); // Laufzeitfehler
6 myDog = d[0];
```

```
1 List<Animal>[] a;
2 List<Dog>[] d =
3       new List<Dog>[100]; // Laufzeitfehler!
4
5 a = d;
6 a[0] = myCatList; // Laufzeitfehler???
7 myDog = d[0].get();
```

Die JVM kann in Zeile 5 keinen Laufzeitfehler erzeugen, da durch Type Erasure auf beiden Seiten der Zuweisung einfach nur eine Liste steht.
Stattdessen gibt es ein Laufzeitfehler in Zeile 2.
Man sollte Generics und Arrays in Java nicht mischen.

Bemerkungen

- Für einen Typ-Parameter T kann man auch eine Oberklasse (oder ein Interface) angeben, das T auf jeden Fall erfüllen soll...

```
1  class Drawable {
2      void draw() {}
3  }
4  public class DrawableList<E extends Drawable> {
5      E element;
6      DrawableList<E> next;
7      void drawAll() {
8          element.draw();
9          if (next == null) return;
10         else next.drawAll();
11     }
12 }
```

6.3 Wrapper-Klassen

Problem

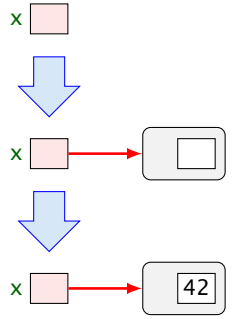
- Der Datentyp `String` ist eine Klasse;
- Felder sind Klassen; aber
- Basistypen wie `int`, `boolean`, `double` sind keine Klassen!
  (Eine Zahl ist eine Zahl und kein Verweis auf eine Zahl.)

Ausweg

- Wickle die Werte eines Basis-Typs in ein Objekt ein!
  $\Longrightarrow$ Wrapper-Objekte aus Wrapper-Klassen.

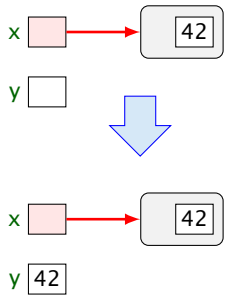
Beispiel

Die Zuweisung `Integer x = new Integer(42);` bewirkt:



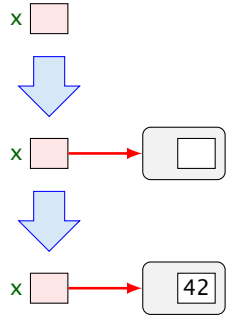
Beispiel

Eingewickelte Werte können auch wieder ausgewickelt werden.
Bei Zuweisung `int y = x;` erfolgt automatische Konvertierung:



Beispiel

Umgekehrt wird bei Zuweisung eines `int`-Werts an eine `Integer`-Variable: `Integer x = 42;` automatisch der Konstruktor aufgerufen:



Man nennt diese Konvertierungen boxing- bzw. unboxing-conversions

Nützliches

Gibt es erst einmal die Klasse `Integer`, lassen sich dort auch viele andere nützliche Dinge ablegen.

Beispiele:

- `public static int MIN_VALUE = -2147483648;` liefert den kleinsten `int`-Wert;
- `public static int MAX_VALUE = 2147483647;` liefert den größten `int`-Wert;
- `public static int parseInt(String s) throws NumberFormatException;` berechnet aus dem `String`-Objekt `s` die dargestellte Zahl — sofern `s` einen `int`-Wert darstellt.

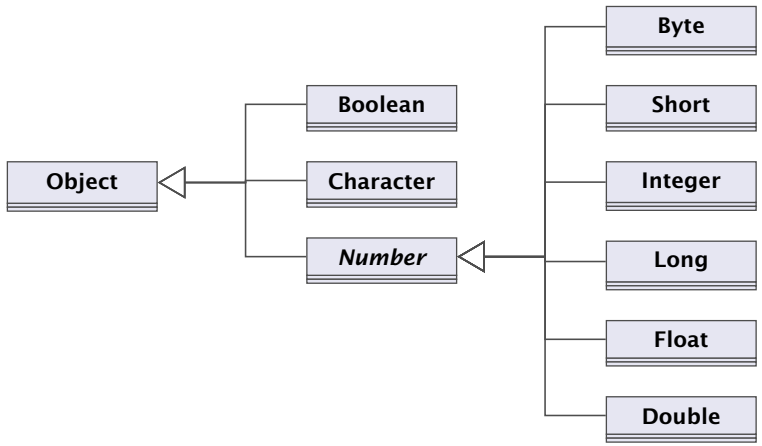
  Andernfalls wird eine ↑`Exception` geworfen.

Bemerkungen

- Außer dem Konstruktor: `public Integer(int value);` gibt es u.a. `public Integer(String s) throws NumberFormatException;`
- Dieser Konstruktor liefert zu einem `String`-Objekt `s` ein `Integer`-Objekt, dessen Wert `s` darstellt.
- `public boolean equals(Object obj);` liefert `true` genau dann wenn `obj` den gleichen `int`-Wert enthält.

Ähnliche Wrapper-Klassen gibt es auch für die übrigen Basistypen...

Wrapper-Klassen



Die Klasse `Number` ist hier in italics geschrieben, da es sich um eine abstrakte Klasse handelt.

Bemerkungen

- Sämtliche Wrapper-Klassen für Typen `type` (außer `char`) verfügen über
  - Konstruktoren aus Basiswerten bzw. `String`-Objekten;
  - eine statische Methode `type parseType(String s);`
  - eine Methode `boolean equals(Object obj)` die auf Gleichheit testet (auch `Character`).
- Bis auf `Boolean` verfügen alle über Konstanten `MIN_VALUE` und `MAX_VALUE`.
- `Character` enthält weitere Hilfsfunktionen, z.B. um Ziffern zu erkennen, Klein- in Großbuchstaben umzuwandeln...
- Die numerischen Wrapper-Klassen sind in der gemeinsamen Oberklasse `Number` zusammengefasst.
- Diese Klasse ist ↑abstrakt d.h. man kann keine `Number`-Objekte anlegen.

Spezielles

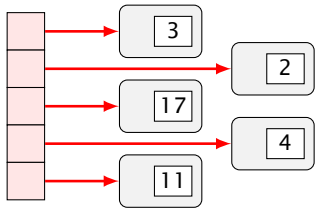
- `Double` und `Float` enthalten zusätzlich die Konstanten

  ```
  NEGATIVE_INFINITY  =  -1.0/0
  POSITIVE_INFINITY  =  +1.0/0
  NaN                =   0.0/0
  ```

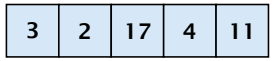
- Zusätzlich gibt es die Tests
  - `public static boolean isInfinite(double v);`
    `public static boolean isNaN(double v);`
    (analog für `float`)
  - `public boolean isInfinite();`
    `public boolean isNaN();`

  mittels derer man auf (Un)Endlichkeit der Werte testen kann.

Integer vs. Int



`Integer[]`



`int[]`

+ `Integer`s können in polymorphen Datenstrukturen hausen.
- Sie benötigen mehr als doppelt so viel Platz.
- Sie führen zu vielen kleinen (evt.) über den gesamten Speicher verteilten Objekten
  $\Longrightarrow$ schlechteres Cache-Verhalten.