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

Zum Beispiel:

- `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:

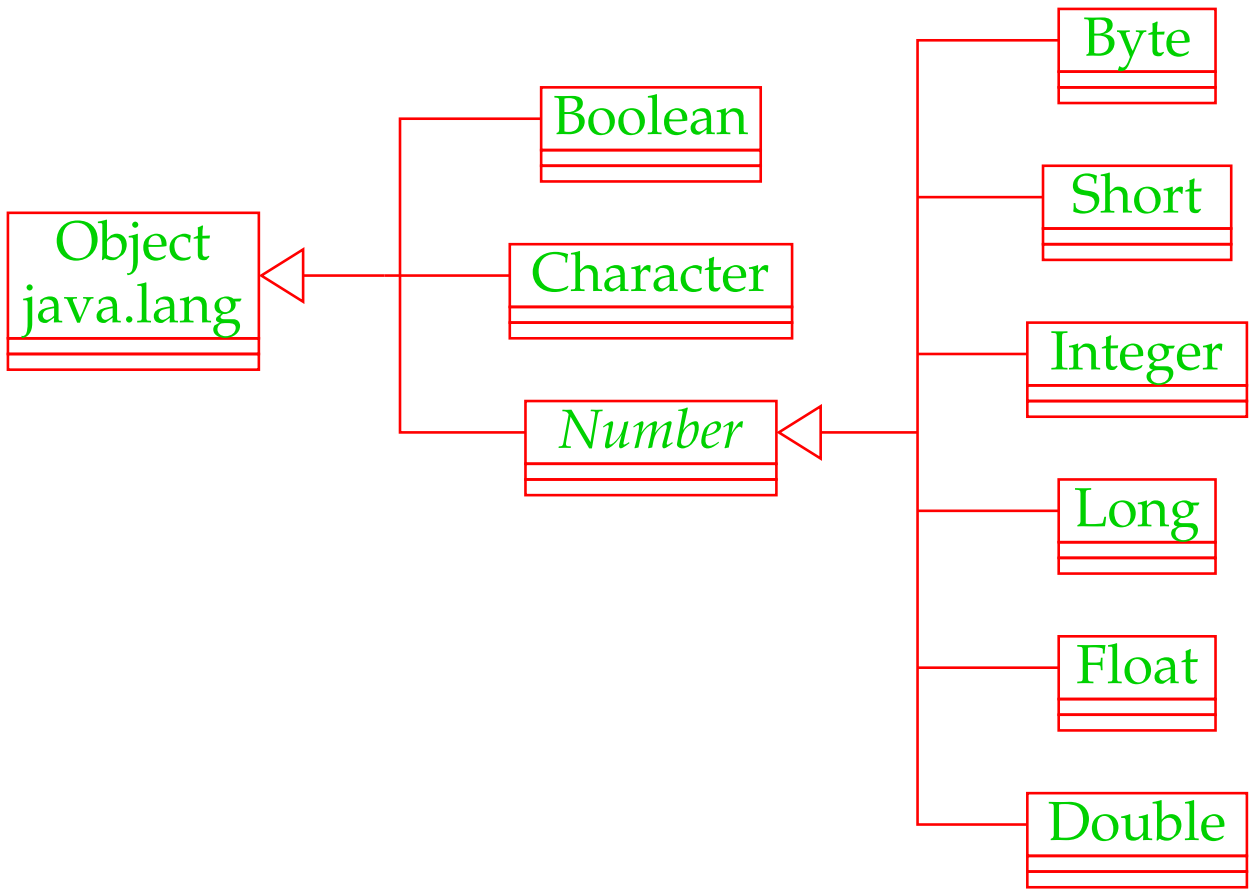
- Außer dem Konstruktor: `public Integer(int value);` gibt es u.a. `public Integer(String s) throws NumberFormatException;`
- Dieser Konstruktor liefert zu einem `String`-Objekt `s` ein `Integer`-Objekt, dessen Wert `s` darstellt.
- `public boolean equals(Object obj);` liefert `true` genau dann wenn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

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:



- 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)` (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.

Spezialitäten:

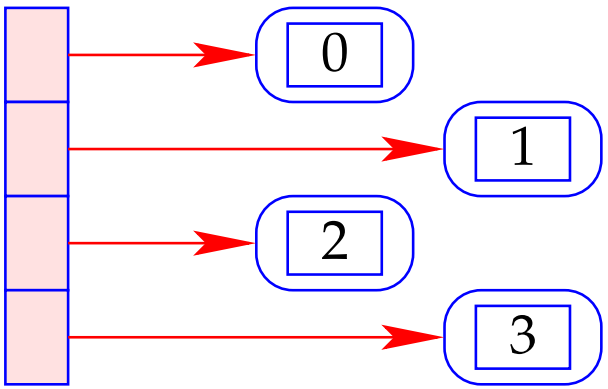
- `Double` und `Float` enthalten zusätzlich die Konstanten

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

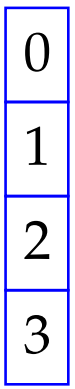
- Zusätzlich gibt es die Tests
  - `public static boolean isInfinite(double v);`
    `public static boolean isNaN(double v);`
    (analog für `float`)
  - `public boolean isInfinite();`
    `public boolean isNaN();`

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

Vergleich `Integer` mit `int`:



`Integer []`



`int []`

\+ `Integers` 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.

14 Abstrakte Klassen, finale Klassen und Interfaces

- Eine abstrakte Objekt-Methode ist eine Methode, für die keine Implementierung bereit gestellt wird.
- Eine Klasse, die abstrakte Objekt-Methoden enthält, heißt ebenfalls abstrakt.
- Für eine abstrakte Klasse können offenbar keine Objekte angelegt werden :-)
- Mit abstrakten können wir Unterklassen mit verschiedenen Implementierungen der gleichen Objekt-Methoden zusammenfassen.

Beispiel: Implementierung der JVM

```
public abstract class Instruction {
   protected static IntStack stack = new IntStack();
   protected static int pc = 0;
   public boolean halted() { return false; }
   abstract public int execute();
} // end of class Instruction
```

- Die Unterklassen von `Instruction` repräsentieren die Befehle der JVM.
- Allen Unterklassen gemeinsam ist eine Objekt-Methode `execute()` – immer mit einer anderen Implementierung :-)
- Die statischen Variablen der Oberklasse stehen sämtlichen Unterklassen zur Verfügung.

- Eine abstrakte Objekt-Methode wird durch das Schlüsselwort `abstract` gekennzeichnet.
- Eine Klasse, die eine abstrakte Methode enthält, muss selbst ebenfalls als `abstract` gekennzeichnet sein.
- Für die abstrakte Methode muss der vollständige Kopf angegeben werden – inklusive den Parameter-Typen und den (möglicherweise) geworfenen Exceptions.
- Eine abstrakte Klasse kann konkrete Methoden enthalten, hier: `boolean halted()`.
- Die angebene Implementierung liefert eine Default-Implementierung für `boolean halted()`.
- Klassen, die eine andere Implementierung brauchen, können die Standard-Implementierung ja überschreiben :-)

- Die Methode `execute()` soll die Instruktion ausführen und als Rückgabe-Wert den `pc` des nächsten Befehls ausgeben.

Beispiel für eine Instruktion:

```
public final class Const extends Instruction {
   private int n;
   public Const(int x) { n=x; }
   public int execute() {
      stack.push(n);
      return ++pc;
   }  // end of execute()
}     // end of class Const
```

- Der Befehl CONST benötigt ein Argument. Dieses wird dem Konstruktor mitgegeben und in einer privaten Variable gespeichert.
- Die Klasse ist als `final` deklariert.
- Zu als final deklarierten Klassen dürfen keine Unterklassen deklariert werden !!!
- Aus Sicherheits- wie Effizienz-Gründen sollten so viele Klassen wie möglich als final deklariert werden ...
- Statt ganzer Klassen können auch einzelne Variablen oder Methoden als `final` deklariert werden.
- Finale Members dürfen nicht in Unterklassen umdefiniert werden.
- Finale Variablen dürfen zusätzlich nur initialisiert, aber nicht modifiziert werden $\Longrightarrow$ Konstanten.

... andere Instruktionen:

```
public final class Sub extends Instruction {
   public int execute() {
      final int y = stack.pop();
      final int x = stack.pop();
      stack.push(x-y); return ++pc;
   }  // end of execute()
}     // end of class Sub
public final class Halt extends Instruction {
   public boolean halted() {
      pc=0; stack = new IntStack(); return true;
      }
   public int execute() { return 0; }
}     // end of class Halt
```

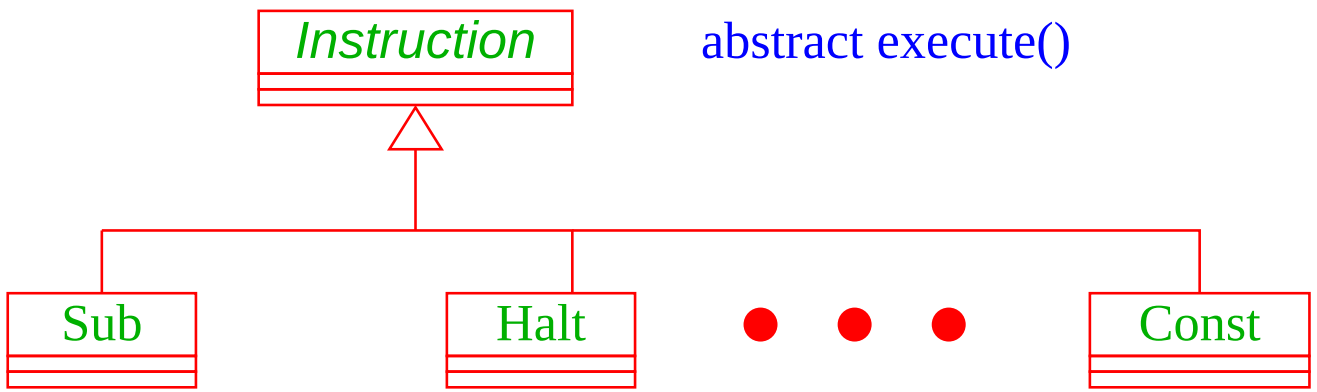
- In der Klasse `Halt` wird die Objekt-Methode `halted()` neu definiert.
- Achtung bei `Sub` mit der Reihenfolge der Argumente!

... die Funktion `main()` einer Klasse `Jvm`:

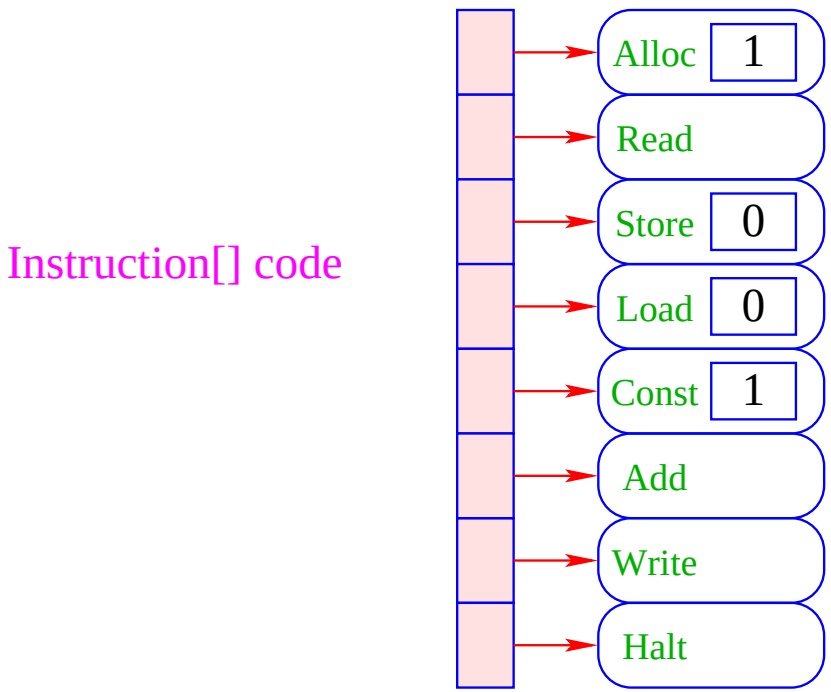
```
public static void main(String[] args) {
   Instruction[] code = getCode();
   Instruction ir = code[0];
   while(!ir.halted())
      ir = code[ir.execute()];
   }
```

- Für einen vernünftigen Interpreter müssen wir natürlich auch in der Lage sein, ein JVM-Programm einzulesen, d.h. eine Funktion `getCode()` zu implementieren...

Die abstrakte Klasse `Instruction`:



- Jede Unterklasse von `Instruction` verfügt über ihre eigene Methode `execute()`.
- In dem Feld `Instruction[] code` liegen Objekte aus solchen Unterklassen.

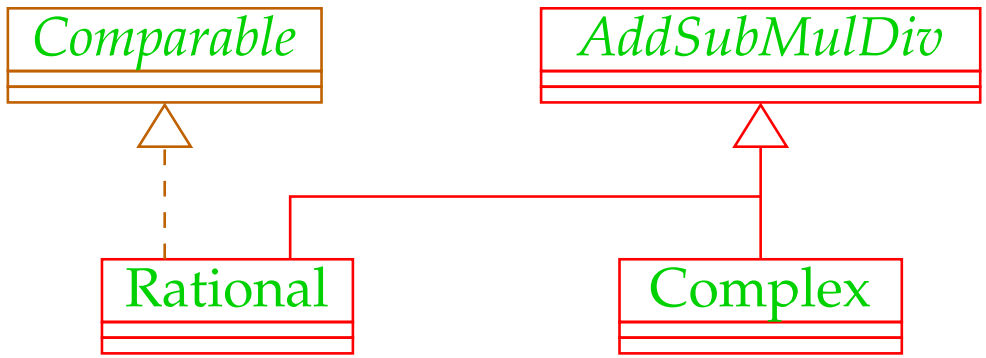


- Die Interpreter-Schleife ruft eine Methode `execute()` für die Elemente dieses Felds auf.
- Welche konkrete Methode dabei jeweils aufgerufen wird, hängt von der konkreten Klasse des jeweiligen Objekts ab, d.h. entscheidet sich erst zur Laufzeit.
- Das nennt man auch dynamische Bindung.

- Die Interpreter-Schleife ruft eine Methode `execute()` für die Elemente dieses Felds auf.
- Welche konkrete Methode dabei jeweils aufgerufen wird, hängt von der konkreten Klasse des jeweiligen Objekts ab, d.h. entscheidet sich erst zur Laufzeit.
- Das nennt man auch dynamische Bindung.

Leider (zum Glück?) lässt sich nicht die ganze Welt hierarchisch organisieren ...

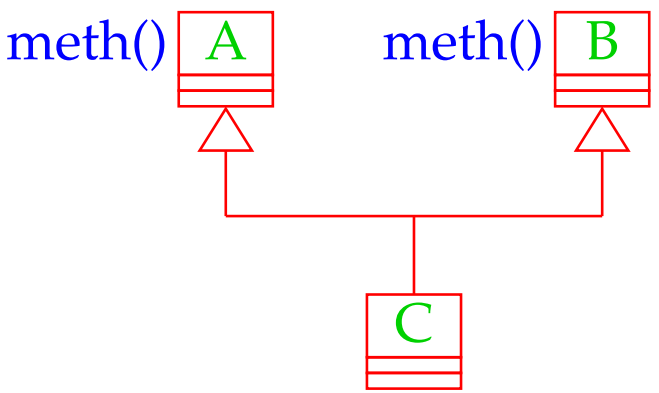
Beispiel:



AddSubMulDiv = Objekte mit Operationen `add()`, `sub()`, `mul()`, und `div()`

Comparable = Objekte, die eine `compareTo()`-Operation besitzen.

- Mehrere direkte Oberklassen einer Klasse führen zu konzeptuellen Problemen:
  - Auf welche Klasse bezieht sich `super` ?
  - Welche Objekt-Methode `meth()` ist gemeint, wenn wenn mehrere Oberklassen `meth()` implementieren ?



- Kein Problem entsteht, wenn die Objekt-Methode `meth()` in allen Oberklassen abstrakt ist :-)
- oder zumindest nur in maximal einer Oberklasse eine Implementierung besitzt :-))

- Kein Problem entsteht, wenn die Objekt-Methode `meth()` in allen Oberklassen abstrakt ist :-)
- oder zumindest nur in maximal einer Oberklasse eine Implementierung besitzt :-))

Ein Interface kann aufgefasst werden als eine abstrakte Klasse, wobei:

- alle Objekt-Methoden abstrakt sind;
- es keine Klassen-Methoden gibt;
- alle Variablen Konstanten sind.

Beispiel:

```
public Interface Comparable {
   int compareTo(Object x);
   }
```

- Methoden in Interfaces sind automatisch Objekt-Methoden und `public`.
- Es muss eine Obermenge der in Implementierungen geworfenen Exceptions angegeben werden.
- Evt. vorkommende Konstanten sind automatisch `public static`.

Beispiel (Forts.):

```
public class Rational extends AddSubMulDiv
                      implements Comparable {
private int zaehler, nenner;
public int compareTo(Object cmp) {
   Rational fraction = (Rational) cmp;
   long left = zaehler * fraction.nenner;
   long right = nenner * fraction.zaehler;
   if (left == right) return 0;
   else if (left < right) return -1;
   else return 1;
   } // end of compareTo
   ...
}    // end of class Rational
```