Praktische Informatik 3: Funktionale Programmierung
Vorlesung 13 vom 08.02.21: Scala — Eine praktische Einführung

Christoph Lüth

Wintersemester 2020/21

Organisatorisches

- Prüfungssituation: dynamisch
- Nächste Vorlesung: **synchron** (nicht aufgezeichnet) am

15.02.2021 um 12:00

Fahrplan

- Teil I: Funktionale Programmierung im Kleinen
- Teil II: Funktionale Programmierung im Großen
- **Teil III: Funktionale Programmierung im richtigen Leben**
  - Aktionen und Zustände
  - Monaden als Berechnungsmuster
  - Funktionale Webanwendungen
  - Scala — Eine praktische Einführung
  - Rückblick & Ausblick

Heute: Scala

- A **sca**lable **la**nguage
- Rein objektorientiert
- Funktional
- Eine "JVM-Sprache"
- Seit 2004 von Martin Odersky, EPFL Lausanne (`http://www.scala-lang.org/`).
- Seit 2011 kommerziell durch Lightbend Inc. (formerly Typesafe)

I. Scala am Beispiel

Scala am Beispiel: 01-GCD.scala

Was sehen wir hier?

```
def gcdLoop(x: Long, y: Long): Long = {
    var a = x
    var b = y
    while (a != 0) {
      val temp = a
      a = b % a
      b = temp
    }
    return b
  }

def gcd(x: Long, y: Long): Long =
  if (y == 0) x else gcd (y, x % y)
```

Scala am Beispiel: `01-GCD.scala`

Was sehen wir hier?

```
def gcdLoop(x: Long, y: Long): Long = {
    var a = x
    var b = y
    while (a != 0) {
      val temp = a
      a = b % a
      b = temp
    }
    return b
  }

def gcd(x: Long, y: Long): Long =
  if (y == 0) x else gcd (y, x % y)
```

- Variablen, veränderlich (`var`)

Scala am Beispiel: `01-GCD.scala`

Was sehen wir hier?

```
def gcdLoop(x: Long, y: Long): Long = {
    var a = x
    var b = y
    while (a != 0) {
      val temp = a
      a = b % a
      b = temp
    }
    return b
  }

def gcd(x: Long, y: Long): Long =
  if (y == 0) x else gcd (y, x % y)
```

- Variablen, veränderlich (`var`)
  - ***Mit Vorsicht benutzen!***

Scala am Beispiel: `01-GCD.scala`

Was sehen wir hier?

```
def gcdLoop(x: Long, y: Long): Long = {
    var a = x
    var b = y
    while (a != 0) {
      val temp = a
      a = b % a
      b = temp
    }
    return b
  }

def gcd(x: Long, y: Long): Long =
  if (y == 0) x else gcd (y, x % y)
```

- Variablen, veränderlich (`var`)
  - ***Mit Vorsicht benutzen!***
- Werte, unveränderlich (`val`)

Scala am Beispiel: `01-GCD.scala`

Was sehen wir hier?

```
def gcdLoop(x: Long, y: Long): Long = {
    var a = x
    var b = y
    while (a != 0) {
      val temp = a
      a = b % a
      b = temp
    }
    return b
  }

def gcd(x: Long, y: Long): Long =
  if (y == 0) x else gcd (y, x % y)
```

- Variablen, veränderlich (`var`)
  - ***Mit Vorsicht benutzen!***
- Werte, unveränderlich (`val`)
- `while`-Schleifen

Scala am Beispiel: `01-GCD.scala`

Was sehen wir hier?

```
def gcdLoop(x: Long, y: Long): Long = {
    var a = x
    var b = y
    while (a != 0) {
      val temp = a
      a = b % a
      b = temp
    }
    return b
  }

def gcd(x: Long, y: Long): Long =
  if (y == 0) x else gcd (y, x % y)
```

- Variablen, veränderlich (`var`)
  - ***Mit Vorsicht benutzen!***
- Werte, unveränderlich (`val`)
- `while`-Schleifen
  - ***Unnötig!***

Scala am Beispiel: `01-GCD.scala`

Was sehen wir hier?

```
def gcdLoop(x: Long, y: Long): Long = {
    var a = x
    var b = y
    while (a != 0) {
      val temp = a
      a = b % a
      b = temp
    }
    return b
  }

def gcd(x: Long, y: Long): Long =
  if (y == 0) x else gcd (y, x % y)
```

- Variablen, veränderlich (`var`)
  - ***Mit Vorsicht benutzen!***
- Werte, unveränderlich (`val`)
- `while`-Schleifen
  - ***Unnötig!***
- Rekursion
  - Endrekursion wird optimiert

Scala am Beispiel: `01-GCD.scala`

Was sehen wir hier?

```
def gcdLoop(x: Long, y: Long): Long = {
    var a = x
    var b = y
    while (a != 0) {
      val temp = a
      a = b % a
      b = temp
    }
    return b
  }

def gcd(x: Long, y: Long): Long =
  if (y == 0) x else gcd (y, x % y)
```

- Variablen, veränderlich (`var`)
  - ***Mit Vorsicht benutzen!***
- Werte, unveränderlich (`val`)
- `while`-Schleifen
  - ***Unnötig!***
- Rekursion
  - Endrekursion wird optimiert
- Typinferenz
  - Mehr als Java, weniger als Haskell

Scala am Beispiel: `01-GCD.scala`

Was sehen wir hier?

```
def gcdLoop(x: Long, y: Long): Long = {
    var a = x
    var b = y
    while (a != 0) {
      val temp = a
      a = b % a
      b = temp
    }
    return b
  }

def gcd(x: Long, y: Long): Long =
  if (y == 0) x else gcd (y, x % y)
```

- Variablen, veränderlich (`var`)
  - ***Mit Vorsicht benutzen!***
- Werte, unveränderlich (`val`)
- `while`-Schleifen
  - ***Unnötig!***
- Rekursion
  - Endrekursion wird optimiert
- Typinferenz
  - Mehr als Java, weniger als Haskell
- Interaktive Auswertung

Scala am Beispiel: 02-Rational-1.scala

Was sehen wir hier?

```
class Rational(n: Int, d: Int) {

  require(d != 0)

  private val g = gcd(n.abs, d.abs)
  val numer = n / g
  val denom = d / g

  def this(n: Int) = this(n, 1)

  def add(that: Rational): Rational =
    new Rational(
      numer * that.denom + that.numer * denom,
      denom * that.denom
    )

  override def toString = numer +"/"+ denom

  private def gcd(a: Int, b: Int): Int =
    if (b == 0) a else gcd(b, a % b)
}
```

Scala am Beispiel: 02-Rational-1.scala

Was sehen wir hier?

```
class Rational(n: Int, d: Int) {

  require(d != 0)

  private val g = gcd(n.abs, d.abs)
  val numer = n / g
  val denom = d / g

  def this(n: Int) = this(n, 1)

  def add(that: Rational): Rational =
    new Rational(
      numer * that.denom + that.numer * denom,
      denom * that.denom
    )

  override def toString = numer +"/"+ denom

  private def gcd(a: Int, b: Int): Int =
    if (b == 0) a else gcd(b, a % b)
}
```

- Klassenparameter

Scala am Beispiel: 02-Rational-1.scala

Was sehen wir hier?

```
class Rational(n: Int, d: Int) {

  require(d != 0)

  private val g = gcd(n.abs, d.abs)
  val numer = n / g
  val denom = d / g

  def this(n: Int) = this(n, 1)

  def add(that: Rational): Rational =
    new Rational(
      numer * that.denom + that.numer * denom,
      denom * that.denom
    )

  override def toString = numer +"/"+ denom

  private def gcd(a: Int, b: Int): Int =
    if (b == 0) a else gcd(b, a % b)
}
```

- Klassenparameter
- Konstruktoren (`this`)

Scala am Beispiel: 02-Rational-1.scala

Was sehen wir hier?

```
class Rational(n: Int, d: Int) {

  require(d != 0)

  private val g = gcd(n.abs, d.abs)
  val numer = n / g
  val denom = d / g

  def this(n: Int) = this(n, 1)

  def add(that: Rational): Rational =
    new Rational(
      numer * that.denom + that.numer * denom,
      denom * that.denom
    )

  override def toString = numer +"/"+ denom

  private def gcd(a: Int, b: Int): Int =
    if (b == 0) a else gcd(b, a % b)
}
```

- Klassenparameter
- Konstruktoren (`this`)
- Klassenvorbedingungen (`require`)

Scala am Beispiel: 02-Rational-1.scala

Was sehen wir hier?

```
class Rational(n: Int, d: Int) {

  require(d != 0)

  private val g = gcd(n.abs, d.abs)
  val numer = n / g
  val denom = d / g

  def this(n: Int) = this(n, 1)

  def add(that: Rational): Rational =
    new Rational(
      numer * that.denom + that.numer * denom,
      denom * that.denom
    )

  override def toString = numer +"/"+ denom

  private def gcd(a: Int, b: Int): Int =
    if (b == 0) a else gcd(b, a % b)
}
```

- Klassenparameter
- Konstruktoren (`this`)
- Klassenvorbedingungen (`require`)
- private Werte und Methoden

Scala am Beispiel: 02-Rational-1.scala

Was sehen wir hier?

```
class Rational(n: Int, d: Int) {

  require(d != 0)

  private val g = gcd(n.abs, d.abs)
  val numer = n / g
  val denom = d / g

  def this(n: Int) = this(n, 1)

  def add(that: Rational): Rational =
    new Rational(
      numer * that.denom + that.numer * denom,
      denom * that.denom
    )

  override def toString = numer +"/"+ denom

  private def gcd(a: Int, b: Int): Int =
    if (b == 0) a else gcd(b, a % b)
}
```

- Klassenparameter
- Konstruktoren (`this`)
- Klassenvorbedingungen (`require`)
- private Werte und Methoden
- Methoden, Syntax für Methodenanwendung

Scala am Beispiel: `02-Rational-1.scala`

Was sehen wir hier?

```
class Rational(n: Int, d: Int) {

  require(d != 0)

  private val g = gcd(n.abs, d.abs)
  val numer = n / g
  val denom = d / g

  def this(n: Int) = this(n, 1)

  def add(that: Rational): Rational =
    new Rational(
      numer * that.denom + that.numer * denom,
      denom * that.denom
    )

  override def toString = numer +"/"+ denom

  private def gcd(a: Int, b: Int): Int =
    if (b == 0) a else gcd(b, a % b)
}
```

- Klassenparameter
- Konstruktoren (`this`)
- Klassenvorbedingungen (`require`)
- private Werte und Methoden
- Methoden, Syntax für Methodenanwendung

- `override` (nicht optional)

Scala am Beispiel: 02-Rational-1.scala

Was sehen wir hier?

```
class Rational(n: Int, d: Int) {

  require(d != 0)

  private val g = gcd(n.abs, d.abs)
  val numer = n / g
  val denom = d / g

  def this(n: Int) = this(n, 1)

  def add(that: Rational): Rational =
    new Rational(
      numer * that.denom + that.numer * denom,
      denom * that.denom
    )

  override def toString = numer +"/"+ denom

  private def gcd(a: Int, b: Int): Int =
    if (b == 0) a else gcd(b, a % b)
}
```

- Klassenparameter
- Konstruktoren (`this`)
- Klassenvorbedingungen (`require`)
- private Werte und Methoden
- Methoden, Syntax für Methodenanwendung

- `override` (nicht optional)
- Overloading

Scala am Beispiel: 02-Rational-1.scala

Was sehen wir hier?

```
class Rational(n: Int, d: Int) {

  require(d != 0)

  private val g = gcd(n.abs, d.abs)
  val numer = n / g
  val denom = d / g

  def this(n: Int) = this(n, 1)

  def add(that: Rational): Rational =
    new Rational(
      numer * that.denom + that.numer * denom,
      denom * that.denom
    )

  override def toString = numer +"/"+ denom

  private def gcd(a: Int, b: Int): Int =
    if (b == 0) a else gcd(b, a % b)
}
```

- Klassenparameter
- Konstruktoren (`this`)
- Klassenvorbedingungen (`require`)
- private Werte und Methoden
- Methoden, Syntax für Methodenanwendung

- `override` (nicht optional)
- Overloading
- Operatoren

Scala am Beispiel: 02-Rational-1.scala

Was sehen wir hier?

```
class Rational(n: Int, d: Int) {

  require(d != 0)

  private val g = gcd(n.abs, d.abs)
  val numer = n / g
  val denom = d / g

  def this(n: Int) = this(n, 1)

  def add(that: Rational): Rational =
    new Rational(
      numer * that.denom + that.numer * denom,
      denom * that.denom
    )

  override def toString = numer +"/"+ denom

  private def gcd(a: Int, b: Int): Int =
    if (b == 0) a else gcd(b, a % b)
}
```

- Klassenparameter
- Konstruktoren (`this`)
- Klassenvorbedingungen (`require`)
- private Werte und Methoden
- Methoden, Syntax für Methodenanwendung

- `override` (nicht optional)
- Overloading
- Operatoren
- Singleton objects (`object`)

Your Turn

Übung 13.1: Scala die Erste

Ladet Euch die Quellen für die Vorlesung von unser Webseite, und den Scala-Interpreter und Compiler von

`https://www.scala-lang.org/`

herunter. Startet den Interpreter (`scala`), ladet das Beispiel oben mit

```
scala> :load 02-Rational-2.scala
```

Was passiert, wenn ihr ein `Rational`-Objekt konstruiert, bei dem die Vorbedingung verletzt ist?

Your Turn

Übung 13.1: Scala die Erste

Ladet Euch die Quellen für die Vorlesung von unser Webseite, und den Scala-Interpreter und Compiler von

`https://www.scala-lang.org/`

herunter. Startet den Interpreter (`scala`), ladet das Beispiel oben mit

```
scala> :load 02-Rational-2.scala
```

Was passiert, wenn ihr ein `Rational`-Objekt konstruiert, bei dem die Vorbedingung verletzt ist?

Lösung: Es gibt (wenig überraschend) eine Exception:

```
scala> new Rational(6,0)
java.lang.IllegalArgumentException: requirement failed
  at scala.Predef$.require(Predef.scala:327)
  ... 29 elided
```

II. Das Typsystem

Algebraische Datentypen: 03-Expr.scala

Was sehen wir hier?

```
abstract class Expr
case class Var(name: String) extends Expr
case class Num (num: Double) extends Expr
case class Plus (left: Expr, right: Expr) extends Expr
case class Minus (left: Expr, right: Expr) extends Expr
case class Times (left: Expr, right: Expr) extends Expr
case class Div (left: Expr, right: Expr) extends Expr
```

```
// Evaluating an expression
def eval(expr: Expr): Double = expr match {
   case v: Var ⇒ 0     // Variables evaluate to 0
   case Num(x) ⇒ x
   case Plus(e1, e2) ⇒ eval(e1) + eval(e2)
   case Minus(e1, e2) ⇒ eval(e1) - eval(e2)
   case Times(e1, e2) ⇒ eval(e1) * eval(e2)
   case Div(e1, e2) ⇒ eval(e1) / eval(e2)
   }

val e = Times(Num(12), Plus(Num(2.3),Num(3.7)))
```

Algebraische Datentypen: 03-Expr.scala

Was sehen wir hier?

```
abstract class Expr
case class Var(name: String) extends Expr
case class Num (num: Double) extends Expr
case class Plus (left: Expr, right: Expr) extends Expr
case class Minus (left: Expr, right: Expr) extends Expr
case class Times (left: Expr, right: Expr) extends Expr
case class Div (left: Expr, right: Expr) extends Expr
```

```
// Evaluating an expression
def eval(expr: Expr): Double = expr match {
   case v: Var ⇒ 0     // Variables evaluate to 0
   case Num(x) ⇒ x
   case Plus(e1, e2) ⇒ eval(e1) + eval(e2)
   case Minus(e1, e2) ⇒ eval(e1) - eval(e2)
   case Times(e1, e2) ⇒ eval(e1) * eval(e2)
   case Div(e1, e2) ⇒ eval(e1) / eval(e2)
   }

val e = Times(Num(12), Plus(Num(2.3),Num(3.7)))
```

- `case class` erzeugt
  - Factory-Methode für Konstruktoren
  - Parameter als implizite `val`
  - abgeleitete Implementierung für `toString`, `equals`
  - ...und pattern matching (`match`)
- Pattern sind
  - `case 4` ⇒ Literale
  - `case C(4)` ⇒ Konstruktoren
  - `case C(x)` ⇒ Variablen
  - `case C(_)`⇒ Wildcards
  - `case x: C` ⇒ getypte pattern
  - `case C(D(x: T, y), 4)`⇒ geschachtelt

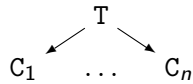
Implementierung algebraischer Datentypen

Haskell:

```
data T = C1 |...| Cn
```

- Ein Typ `T`
- Konstruktoren erzeugen Datentyp

Scala:



- Varianten als **Subtypen**
- Problem und Vorteil:

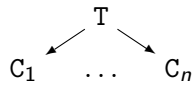
Implementierung algebraischer Datentypen

Haskell:

```
data T = C1 |...| Cn
```

- Ein Typ `T`
- Konstruktoren erzeugen Datentyp

Scala:



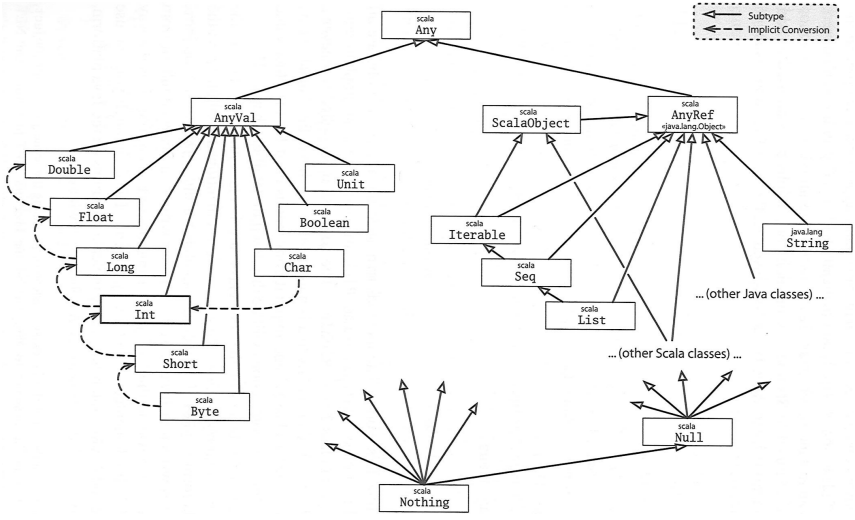
- Varianten als **Subtypen**
- Problem und Vorteil: **Erweiterbarkeit**
- `sealed` verhindert Erweiterung

Das Typsystem

Das Typsystem behebt mehrere Probleme von Java:

- Werte vs. Objekte
- Scala vs. Java
- `NULL` references

Vererbungshierarchie



Quelle: Odersky, Spoon, Venners: *Programming in Scala*

Your Turn

Übung 13.2: Scala die Zweite

Öffnen Sie die Datei `02-Expr-fold.scala`, und vervollständigen Sie die Definition der `fold`-Funktion für den Datentyp `Expr`.

Your Turn

Übung 13.2: Scala die Zweite

Öffnen Sie die Datei `02-Expr-fold.scala`, und vervollständigen Sie die Definition der `fold`-Funktion für den Datentyp `Expr`.

Lösung:

```
def fold[A]( v: String ⇒ A
           , n: Double ⇒ A
           , p: (A, A) ⇒ A
           , m: (A, A) ⇒ A
           , t: (A, A) ⇒ A
           , d: (A, A) ⇒ A): A = this match
  {
    case Var(variable) ⇒ v(variable)
    case Num(num) ⇒ n(num)
    case Plus(e1, e2)⇒ p( e1.fold(v, n, p, m, t, d)
                        , e1.fold(v, n, p, m, t, d))
    case Minus(e1, e2)⇒ m( e1.fold(v, n, p, m, t, d)
                         , e1.fold(v, n, p, m, t, d))
    case Times(e1, e2)⇒ t( e1.fold(v, n, p, m, t, d)
                         , e1.fold(v, n, p, m, t, d))
    case Div(e1, e2)⇒ d( e1.fold(v, n, p, m, t, d)
                       , e1.fold(v, n, p, m, t, d))
   }
```

III. Polymorphie und Vererbung

Parametrische Polymorphie

- Typparameter (wie in Haskell, Generics in Java), Bsp. `List[T]`
- Problem: Vererbung und Polymorphie
- Ziel: wenn `S < T`, dann `List[S] < List[T]`
- **Does not work** — `04-Ref.hs`

Parametrische Polymorphie

- Typparameter (wie in Haskell, Generics in Java), Bsp. `List[T]`
- Problem: Vererbung und Polymorphie
- Ziel: wenn `S < T`, dann `List[S] < List[T]`
- **Does not work** — `04-Ref.hs`
- Warum?
  - Funktionsraum nicht monoton im ersten Argument
  - Sei $X \subseteq Y$, dann $Z \longrightarrow X \subseteq Z \longrightarrow Y$, aber $X \longrightarrow Z \not\subseteq Y \longrightarrow Z$
  - Sondern $Y \longrightarrow Z \subseteq X \longrightarrow Z$

Typvarianz

`class C[+T]`

- **Kovariant**
- Wenn `S < T`, dann `C[S] < C[T]`
- Parametertyp `T` nur im Wertebereich von Methoden

`class C[T]`

- **Rigide**
- Kein Subtyping
- Parametertyp `T` kann beliebig verwendet werden

`class C[-T]`

- **Kontravariant**
- Wenn `S < T`, dann `C[T] < C[S]`
- Parametertyp `T` nur im Definitionsbereich von Methoden

Your Turn

Übung 13.3: Scala die Dritte

Betrachten Sie folgendes Beispiel:

```
class Function[S, T] {
  def apply(x:S) : T
  }
```

Wie müssen hier die Varianz-Annotation für die Typvariablen `S` und `T` lauten?

Your Turn

Übung 13.3: Scala die Dritte

Betrachten Sie folgendes Beispiel:

```
class Function[S, T] {
  def apply(x:S) : T
  }
```

Wie müssen hier die Varianz-Annotation für die Typvariablen `S` und `T` lauten?

Lösung:

```
class Function[-S, +T] {
  def apply(x:S) : T
  }
```

IV. Strukturierung mit Traits

Traits: `05-Funny.scala`

Was sehen wir hier?

- `Trait` (Mix-ins): abstrakte Klassen, Interfaces; Haskell: Typklassen
- „Abstrakte Klassen ohne Oberklasse“
- Unterschied zu Klassen:
  - Mehrfachvererbung möglich
  - Keine feste Oberklasse (`super` dynamisch gebunden)
  - Nützlich zur Strukturierung (Aspektorientierung)
- Nützlich zur Strukturierung:

$$\textit{thin interface} + \textit{trait} = \textit{rich interface}$$

Beispiel: `05-Ordered.scala`, `05-Rational.scala`

Was wir ausgelassen haben...

- **Komprehension** (nicht nur für Listen)
- **Gleichheit**: == (final), `equals` (nicht final), `eq` (Referenzen)
- *string interpolation*
- **Implizite** Parameter und Typkonversionen
- **Nebenläufigkeit** (Aktoren, Futures)
- Typsichere **Metaprogrammierung**
- Das *simple build tool* `sbt`
- Der JavaScript-Compiler `scala.js`

Schlammschlacht der Programmiersprachen

	Haskell	Scala	Java
Klassen und Objekte	-	+	+
Funktionen höherer Ordnung	+	+	-
Typinferenz	+	(+)	-
Parametrische Polymorphie	+	+	+
Ad-hoc-Polymorphie	+	+	-
Typsichere Metaprogrammierung	+	+	-

Alle: Nebenläufigkeit, Garbage Collection, FFI

Scala — Die Sprache

- Objekt-orientiert:
  - Veränderlicher, gekapselter **Zustand**
  - **Subtypen** und Vererbung
  - **Klassen** und **Objekte**
- Funktional:
  - Unveränderliche **Werte**
  - Parametrische und Ad-hoc **Polymorphie**
  - Funktionen höherer Ordnung
  - Hindley-Milner **Typinferenz**

Beurteilung

- **Vorteile**:
  - Funktional programmieren, in der Java-Welt leben
  - Gelungene Integration funktionaler und OO-Konzepte
  - Sauberer Sprachentwurf, effiziente Implementierung, reiche Büchereien
- **Nachteile**:
  - Manchmal etwas **zu** viel
  - Entwickelt sich ständig weiter
  - One-Compiler-Language, vergleichsweise langsam
- Mehr Scala?
  - Besuchen Sie auch die Veranstaltung **Reaktive Programmierung** (soweit verfügbar)