

Praktische Informatik 3: Funktionale Programmierung Vorlesung 12 vom 17.01.17: Domänenspezifische Sprachen (DSLs)

Christoph Lüth

Universität Bremen

Wintersemester 2016/17

16.02.34 2017-01-17

1 [25]



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
 - ▶ Domänenspezifische Sprachen (DSLs)
 - ▶ Scala — Eine praktische Einführung
 - ▶ Rückblick & Ausblick

PI3 WS 16/17

2 [25]



Domain-Specific Languages (DSLs)

- ▶ Was ist das?
- ▶ Wie macht man das?
- ▶ Wozu braucht man so etwas?

PI3 WS 16/17

3 [25]



Programmiersprachen sind überall

- ▶ Beispiel 1: **SQL** — Anfragesprache für relationale Datenbanken
- ▶ Beispiel 2: **Excel** — Modellierung von Berechnungen
- ▶ Beispiel 3: **HTML** oder **LaTeX** oder **Word** — Typesetting

PI3 WS 16/17

4 [25]



Vom Allgemeinen zum Speziellen

- ▶ Modellierung von **Problemen** und **Lösungen**

Allgemein ← → Spezifisch

Allgemeine Lösung: **GPL**

- ▶ Mächtige Sprache (Turing-mächtig)
- ▶ Große Klasse von Problemen
- ▶ Großer Abstand zum Problem
- ▶ Java, Haskell, C . . .
- ▶ General purpose language (GPL)

Spezifische Lösung: **DSL**

- ▶ Maßgeschneiderte Sprache
- ▶ Wohldefinierte Unterklasse (Domäne) von Problemen
- ▶ Geringer Abstand zum Problem
- ▶ **Domain-Specific Language (DSL)**
- ▶ Als Teil einer Programmiersprache (**eingebettet**) oder alleinstehend (**stand-alone**)

PI3 WS 16/17

5 [25]



DSL: Definition 1

A domain-specific language (DSL) is a programming language or executable specification language that offers, through appropriate notations and abstractions, expressive power focused on, and usually restricted to, a particular problem domain.

(van Deursen et al., 2000)

PI3 WS 16/17

6 [25]



Eigenschaften von DSLs

- ▶ **Fokussierte** Ausdrucksmächtigkeit
 - ▶ Turing-Mächtigkeit nicht Ziel der Sprache (aber kein Ausschlusskriterium)
 - ▶ Oftmals deutlich weniger mächtig: Reguläre Ausdrücke, Makefiles, HTML
- ▶ Üblicherweise **klein** ("little languages", "micro-languages")
- ▶ Anzahl der Sprachkonstrukte **ingeschränkt** und auf die Anwendung **zugeschnitten**
- ▶ Meist **deklarativ**: XSLT, Relax NG Schemas, Excel Formeln . . .

PI3 WS 16/17

7 [25]



DSL-Beispiel: Relax NG

Adressbuchformat

```
grammar {
  start = entries
  entries = element entries { entry* }
  entry = element entry {
    attribute name { text },
    attribute birth { xsd:dateTime },
    text }
}
```

- ▶ Beschreibung von **XML-Bäumen**
 - ▶ Erlaubte Element-Verschachtelungen & -Reihenfolgen
 - ▶ Datentypen von Attributen & Elementwerten
- ▶ Automatische Generierung von Validatoren
- ▶ Nicht Turing-mächtig (?)

PI3 WS 16/17

8 [25]



Domain-Specific Embedded Languages

- ▶ DSL direkt in eine GPL **einbetten**
 - ▶ Vorhandenes Ausführungsmodell und Werkzeuge
- ▶ Funktionale Sprachen eignen sich hierfür besonders gut
 - ▶ Algebraische Datentypen zur Termrepräsentation
 - ▶ Funktional \subseteq Deklarativ
 - ▶ Funktionen höherer Ordnung ideal für **Kombinatoren**
 - ▶ Interpreter (ghci, ocaml, ...) erlauben "rapid prototyping"
 - ▶ Erweiterung zu **stand-alone** leicht möglich
- ▶ Andere Sprachen:
 - ▶ Java: Eclipse Modelling Framework, Xtext

PI3 WS 16/17

9 [25]



Beispiel: Reguläre Ausdrücke

Ein regulärer Ausdruck ist: Haskell-Implementierung — Signatur:

- ▶ Leeres Wort ϵ
- ▶ Einzelnes Zeichen c
- ▶ Beliebiges Zeichen $?$
- ▶ Sequenzierung $e_1 e_2$
- ▶ Alternierung $e_1 | e_2$
- ▶ Kleene-Stern $e^* = \epsilon | ee^*$
- ▶ Abgeleitet:
 - ▶ Kleene-Plus $e^+ = e e^*$

type RegEx

```
eps :: RegEx
char :: Char -> RegEx
arb :: RegEx
seq :: RegEx -> RegEx -> RegEx
alt :: RegEx -> RegEx -> RegEx
star :: RegEx -> RegEx
```

Implementierung: siehe RegEx.hs

PI3 WS 16/17

10 [25]



Regular Ausdrücke: Suche

- ▶ Wie modellieren wir mehrfache Suche?

- ▶ Signatur:

```
type RegEx =
  String -> [String]
```

- ▶ Wie modellieren wir ersetzen?

Besser: Repräsentation durch **Datentypen**

```
data RE = Eps
  | Chr Char
  | Str String
  | Arb
  | Seq RE RE
  | Alt RE RE
  | Star RE
  | Plus RE
  | Range [Char]
  deriving (Eq, Show)
```

```
interp :: RE -> RegEx
```

```
searchAll :: RE -> String ->
  [String]
```

PI3 WS 16/17

11 [25]



Flache Einbettung vs. Tiefe Einbettung

- ▶ **Flache Einbettung:**

- ▶ Domänenfunktionen direkt als Haskell-Funktionen
- ▶ Keine explizite Repräsentation der Domänenobjekte in Haskell

- ▶ **Tiefe Einbettung:**

- ▶ Repräsentation der Domänenobjekte durch Haskell-Datentyp (oder ADT)
- ▶ Domänenfunktionen auf diesem Datentyp

PI3 WS 16/17

12 [25]



Flach oder Tief?

- ▶ **Vorteile flache** Einbettung:

- ▶ Schnell geschrieben, weniger 'boilerplate'
- ▶ Flexibel erweiterbar

- ▶ **Vorteile tiefe** Einbettung:

- ▶ Mächtiger: Manipulation der Domänenobjekte
- ▶ Transformation, Übersetzung, ...
- ▶ Bsp: Übersetzung RE in Zustandsautomaten

PI3 WS 16/17

13 [25]



Beispiel: Grafik

- ▶ Erzeugung von SVG-Grafiken

- ▶ Eingebettete DSL:

- ▶ Erste Näherung: TinySVG (modelliert nur die Daten)
- ▶ Erweiterung: Monade Draw (Zustandsmonade)

- ▶ Funktionen zum Zeichnen:

```
line :: Point -> Point -> Draw ()
polygon :: [Point] -> Draw ()
```

- ▶ "Ausführen":

```
draw :: Double -> Double -> String -> Draw () -> IO ()
```

PI3 WS 16/17

14 [25]



Beispielprogramm: Sierpiński-Dreieck

Dreieck mit Eckpunkten zeichnen:

```
drawTriangle :: Point -> Point -> Point -> Draw ()
```

Mitte zwischen zwei Punkten:

```
midway :: Point -> Point -> Point
midway p q = 0.5 'smult' (p+q)
```

Sierpiński-Dreieck rekursiv

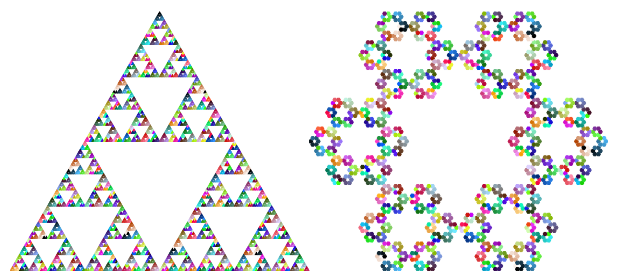
```
spTri :: Double -> Int -> Draw ()
spTri sz limit = sp3 a b c 0 where
  h = sz * sqrt 3/4
  a = Pt 0 (-h); b = Pt (-sz/2) h; c = Pt (sz/2) h
  sp3 :: Point -> Point -> Point -> Int -> Draw ()
  sp3 a b c n
    | n >= limit = drawTriangle a b c
    | otherwise = do
      let ab = midway a b; bc = midway b c; ca = midway c a
      sp3 a ab ca (n+1); sp3 ab b bc (n+1); sp3 ca bc c (n+1)
```

PI3 WS 16/17

15 [25]



Resultat: Sierpiński-Dreieck und Schneeflocke



PI3 WS 16/17

16 [25]



Erweiterung: Transformation

- ▶ Allgemein: **Transformation** von Grafiken

```
xform :: (Graphics → Graphics) → Draw() → Draw()
```

- ▶ Speziell:

- ▶ Rotation um einen Punkt:

```
rotate :: Point → Double → Draw () → Draw ()
```

- ▶ Skalierung um einen Faktor:

```
scale :: Double → Draw() → Draw ()
```

- ▶ Verschiebung um einen Vektor (Punkt):

```
translate :: Point → Draw () → Draw ()
```

PI3 WS 16/17

17 [25]



Beispiele: Verschiebung und Skalierung



PI3 WS 16/17

18 [25]



Weitere Abgrenzung

Programmierschnittstellen (APIs)

- ▶ Etwa `jUnit`: `assertTrue()`, `assertEquals()` Methoden & `@Before`, `@Test`, `@After` Annotationen
- ▶ Funktionsnamen spiegeln ebenfalls Domänenvokabular wider
- ▶ Gängige Sprachen (Java, C/C++) erschweren weitere Abstraktion: Syntaxerweiterungen, Konzepte höherer Ordnung
- ▶ Imperative Programmiersprache vs. deklarative DSL

Skriptsprachen

- ▶ JavaScript, PHP, Lua, Tcl, Ruby werden für DS-artige Aufgaben verwendet
 - ▶ HTML/XML DOM-Manipulation
 - ▶ Game Scripting, GUIs, ...
 - ▶ Webprogrammierung (Ruby on Rails)
- ▶ Grundausrüstung: programmatische Erweiterung von Systemen

PI3 WS 16/17

19 [25]



Beispiel: Hardware Description Languages

- ▶ Ziel: Funktionalität von Schaltkreisen beschreiben

- ▶ Einfachster Fall:

```
and :: Bool → Bool → Bool  
or :: Bool → Bool → Bool
```

- ▶ Moderne Schaltkreise sind etwas komplizierter ...

CλaSH

- ▶ Modellierung und Simulation von Schaltkreisen in Haskell
- ▶ Typ `Signal α` für synchrone sequentielle Schaltkreise
- ▶ Rekursion für Feedback
- ▶ Simulation des Verhalten des Schaltkreises möglich
- ▶ Generiert VHDL, Verilog, SystemVerilog, und Testdaten

- ▶ Verwandt: Chisel (in Scala), Bluespec (kommerziell), Lava (veraltet)

PI3 WS 16/17

20 [25]



Beispiel: SQL

- ▶ SQL-Anfragen werden in Haskell modelliert, dann übersetzt und an DB geschickt
- ▶ Vorteil: typsicher, ausdrucksstark
- ▶ Wie modelliert man das **Ergebnis**? → Abbildung Haskell-Typen auf DB
- ▶ Haskell: Opaleye
- ▶ Scala: Slick

PI3 WS 16/17

21 [25]



Vorteile der Verwendung von DSLs

- ▶ Ausdruck von Problemen/Lösungen in der Sprache und auf dem Abstraktionslevel der Anwendungsdomäne
- ▶ Notation matters: Programmiersprachen bieten oftmals nicht die Möglichkeit, Konstrukte der Domäne angemessen wiederzugeben
- ▶ DSL-Lösungen sind oftmals selbstdokumentierend und knapp
- ▶ Bessere (automatische) Analyse, Optimierung und Testfallgenerierung von Programmen
 - ▶ Klar umrissene Domänensemantik
 - ▶ eingeschränkte Sprachmächtigkeit ⇒ weniger Berechenbarkeitsfallen
- ▶ Leichter von Nicht-Programmierern zu erlernen als GPLs

PI3 WS 16/17

22 [25]



Nachteile der Verwendung von DSLs

- ▶ Hohe initiale Entwicklungskosten
- ▶ Schulungsbedarf
- ▶ Sprachdesign ist eine äußerst schwierige und komplexe Angelegenheit, deren Aufwand nahezu immer unterschätzt wird
- ▶ Fehlender Tool-Support
 - ▶ Debugger
 - ▶ Generierung von (Online-)Dokumentation
 - ▶ Statische Analysen, ...
- ▶ Effizienz: Interpretation ggf. langsamer als direkte Implementierung in GPL

PI3 WS 16/17

23 [25]



Zusammenfassung





- ▶ DSL: Maßgeschneiderte Sprache für wohldefinierten Problembereich
- ▶ Vorteile: näher am Problem, näher an der Lösung
- ▶ Nachteile: Initialer Aufwand
- ▶ Klassifikation von DSLs:
 - ▶ Flache vs. tiefe Einbettung
 - ▶ Stand-alone vs. embedded
- ▶ Nächste Woche: Scala — eine Einführung.

PI3 WS 16/17

24 [25]



Literatur

-  Koen Claessen and David Sands.
Observable sharing for functional circuit description.
In P. S. Thiagarajan and R. Yap, editors, *Advances in Computing Science – ASIAN'99*, volume 1742 of *LNCS*, pages 62–73, 1999.
-  Paul Hudak.
Building domain-specific embedded languages.
ACM Comput. Surv., 28, 1996.
-  Marjan Mernik, Jan Heering, and Anthony M. Sloane.
When and how to develop domain-specific languages.
ACM Comput. Surv., 37(4):316–344, 2005.
-  Arie van Deursen, Paul Klint, and Joost Visser.
Domain-specific languages: an annotated bibliography.
SIGPLAN Not., 35(6):26–36, 2000.