

8. Lazy Evaluation

eager

vs.

lazy

allgemeines Prinzip (auch in der SWT):

Erst werden **alle evtl. benötigten Werte** berechnet, dann die Operation darauf ausgeführt.

Strikte Auswertung: Wenn ein Operand `bottom` liefert (nicht terminiert), dann liefert auch der Ausdruck `bottom`.

Eine **Berechnung wird erst dann** ausgeführt, **wenn ihr Ergebnis benötigt** wird.

Zusammengesetzte Ergebnisse werden **nur so tief wie nötig ausgewertet**.

Mehrfach benötigte **Ergebnisse** werden nur einmal berechnet und dann **wiederverwendet**.

Parameterübergabe: call.by-value

call-by-name, call-by-need

Datenstrukturen: Listen

Ströme

Sprachsemantik: SML, Lisp

Haskell, Miranda

Vorlesung Funktionale Programmierung SS 2012 / Folie 801

Ziele:

Übersicht zum Begriff Lazy

in der Vorlesung:

Wiederholung zu früheren Folien

Einführung in Notationen von Haskell

Definitionen von Funktionen:

```
add :: Int -> Int -> Int
add x y = x + y
```

vorangestellte Signatur ist guter Stil,
aber nicht obligatorisch

```
inc1 :: Int -> Int
inc1 = add 1
```

```
inc2 :: Int -> Int
inc2 = (+2)
```

entspricht `(secr op+ 2)` in SML

```
sub :: Int -> Int -> Int
sub = \x y -> x - y
```

Lambda-Ausdruck in Haskell

Funktionen über Listen:

```
lg :: [a] -> Int
lg [] = 0
lg (_:xs) = 1 + lg xs
```

```
xmap f [] = []
xmap f (x:xs) = (f x) : (xmap f xs)
```

Aufruf z. B.: `xmap (+2) [1,2,3]`

```
quicksort [] = []
quicksort (x:xs) =
  quicksort [y | y <- xs, y < x] ++
  [x] ++
  quicksort [y | y <- xs, y >= x]
```

Vorlesung Funktionale Programmierung SS 2012 / Folie 802

Ziele:

Einfache Haskell-Funktionen lesen können

in der Vorlesung:

An den Beispielen werden die Notationen erläutert.

Lazy-Semantik in Haskell

FP-8.3

Die Semantik von Haskell ist **konsequent lazy**,
nur elementare Rechenoperationen (+, *, ...) werden strikt ausgewertet.

Beispiele:

```
inf = inf
```

ist wohldefiniert; aber die Auswertung würde nicht terminieren.

```
f x y = if x == 0 then True else y
```

Parameterübergabe call-by-need:

```
f 0 inf                liefert True
```

```
f inf False           terminiert nicht, liefert bottom
```

Vorlesung Funktionale Programmierung SS 2012 / Folie 803

Ziele:

Lazy-Semantik anwenden

in der Vorlesung:

Konsequenzen der Lazy-Semantik werden erläutert.

Lazy Listen in Haskell

FP-8.4

Listen in Haskell haben Lazy-Semantik - wie alle Datentypen.

Definition einer **nicht-endlichen Liste** von 1en:

```
ones :: [Int]
ones = 1 : ones
```

```
take 4 ones        liefert [1, 1, 1, 1]
```

Funktionsaufrufe brauchen nicht zu terminieren:

```
numsFrom :: Int -> [Int]
numsFrom n = n : numsFrom (n+1)
```

```
take 4 (numsFrom 3) liefert [3, 4, 5, 6]
```

Vorlesung Funktionale Programmierung SS 2012 / Folie 804

Ziele:

Nicht-endlichen Listen verstehen

in der Vorlesung:

An Beispielen wird erläutert:

- Definition nicht-endlicher Listen,
- Berechnung von nicht-endlichen Listen.

Listen als Ströme verwenden

Listen können unmittelbar wie Ströme verwendet werden:

```
squares :: [Int]
squares = map (^2) (numsFrom 0)

take 5 squares          liefert [0, 1, 4, 9, 16]
```

Paradigma Konvergenz (vgl. FP-7.7):

```
within :: Float -> [Float] -> Float
within eps (x1:(x2:xs)) =
  if abs(x1-x2)<eps then x2 else within eps (x2:xs)

myIterate :: (a->a) -> a -> [a]
myIterate f x = x : myIterate f (f x)

nextApprox a x = (a / x + x) / 2.0

groot a = within 1e-8 (myIterate (nextApprox a) 1.0)
```

Strom von Fibonacci-Zahlen:

```
fib :: [Int]                zip erzeugt Strom von Paaren
fib = 1 : 1 : [ a+b | (a,b) <- zip fib (tail fib) ]

fibs :: [Int]              zipWith verknüpft die Elemente zweier Ströme
fibs = 1 : 1 : (zipWith (+) fibs (tail fibs))
```

Vorlesung Funktionale Programmierung SS 2012 / Folie 805

Ziele:

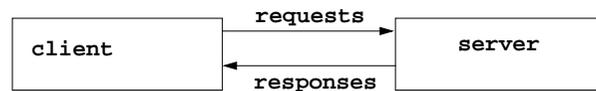
Listen als Ströme verstehen

in der Vorlesung:

An Beispielen wird erläutert:

- Ströme sind nicht-endliche Listen,
- Zusammensetzen von Strömen,
- spezielle Notationen zur Berechnung von Listen.

Simulation zyklischer Datenflüsse



```
reqs = client csInit resps
resps = server reqs

server :: [Int] -> [Int]
server (req:reqs) = process req : server reqs

client :: Int -> [Int] -> [Int]
-- client init (resp:resps) = init : client (next resp) resps
-- Fehler: das zweite Pattern wird zu früh ausgewertet

-- client init resps = init : client (next (head resps)) (tail resps)
-- funktioniert: Das zweite Pattern wird erst bei Benutzung ausgewertet

client init ~(resp:resps) = init : client (next resp) resps
-- Das zweite Pattern wird erst bei Benutzung ausgewertet

csInit = 0
next resp = resp
process req = req+1
```

Vorlesung Funktionale Programmierung SS 2012 / Folie 806

Ziele:

Beispiel für Simulation verstehen

in der Vorlesung:

Am Beispiel wird erläutert:

- suggestive Komposition auch zyklischer Ströme,
- lazy Bindung von Pattern,
- freie Variable mit Vorwärtsreferenzen: next, process

Beispiel: Hamming-Folge

Erzeuge eine Folge $X = x_0, x_1, \dots$ mit folgenden Eigenschaften:

1. $x_{i+1} > x_i$ für alle i
2. $x_0 = 1$
3. Falls x in der Folge X auftritt, dann auch $2x$, $3x$ und $5x$.
4. Nur die durch (1), (2) und (3) spezifizierten Zahlen treten in X auf.

Funktion zum Verschmelzen zweier aufsteigend sortierten Listen zu einer ohne Duplikate:

```
setMerge :: Ord a => [a] -> [a] -> [a]
setMerge allx@(x:xs) ally@(y:ys) -- allx ist Name für das gesamte Pattern
  | x == y   = x : setMerge xs  ys
  | x < y    = x : setMerge xs  ally
  | otherwise = y : setMerge allx ys
```

Funktion für die Hamming-Folge, wie definiert:

```
hamming :: [Int]
hamming = 1 : setMerge (map (*2) hamming)
                  (setMerge (map (*3) hamming)
                            (map (*5) hamming))
```

Ziele:

Klare Definition durch Lazy

in der Vorlesung:

Es wird erläutert:

- Hamming-Folge als Spezialfall: Mengenabschluss bzgl. einiger Funktionen und Anfangswerte
- Definition von setMerge und hamming