

Praktische Informatik 3: Funktionale Programmierung

Vorlesung 10 vom 18.01.2021: Aktionen und Zustände

Christoph Lüth



Wintersemester 2020/21

Fahrplan

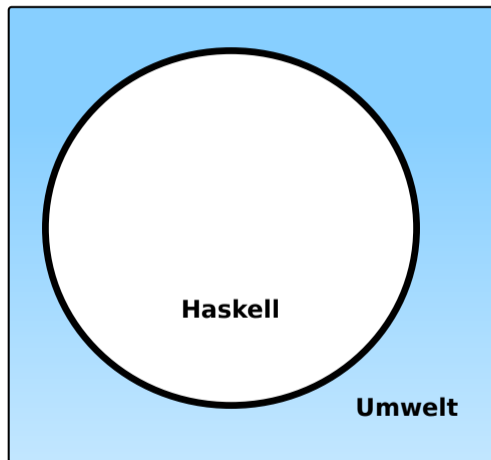
- ▶ Teil I: Funktionale Programmierung im Kleinen
- ▶ Teil II: Funktionale Programmierung im Großen
- ▶ **Teil III: Funktionale Programmierung im richtigen Leben**
 - ▶ Aktionen und Zustände
 - ▶ Monaden als Berechnungsmuster
 - ▶ Funktionale Webanwendungen
 - ▶ Scala — Eine praktische Einführung
 -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

Inhalt

- ▶ Ein/Ausgabe in funktionale Sprachen
- ▶ Wo ist das **Problem**?
- ▶ **Aktionen** und der Datentyp *IO*.
- ▶ Vordefinierte Aktionen
- ▶ Beispiel: Wortratespiel
- ▶ Aktionen als Werte

I. Funktionale Ein/Ausgabe

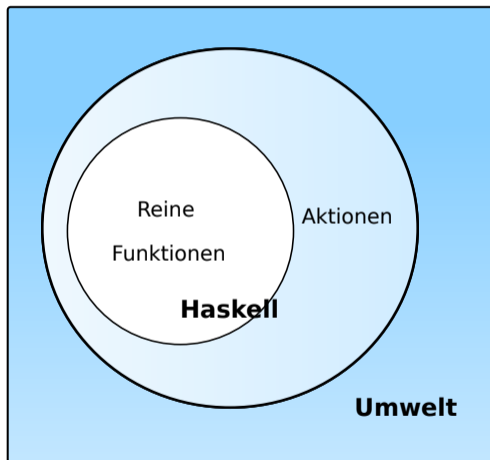
Ein- und Ausgabe in funktionalen Sprachen



Problem:

- ▶ Funktionen mit Seiteneffekten nicht referentiell transparent.
- ▶ `readString :: ... → String ??`

Ein- und Ausgabe in funktionalen Sprachen



Problem:

- ▶ Funktionen mit Seiteneffekten nicht referentiell transparent.
- ▶ `readString :: ... → String ??`

Lösung:

- ▶ Seiteneffekte am Typ erkennbar
- ▶ **Aktionen**
 - ▶ Können *nur* mit *Aktionen* komponiert werden
 - ▶ „einmal Aktion, immer Aktion“

Aktionen als abstrakter Datentyp

- ▶ ADT mit Operationen **Komposition** und **Lifting**

- ▶ Signatur:

```
type IO  $\alpha$ 
```

```
( $\gg$ ) :: IO  $\alpha \rightarrow (\alpha \rightarrow \text{IO } \beta) \rightarrow \text{IO } \beta$ 
```

```
return ::  $\alpha \rightarrow \text{IO } \alpha$ 
```

- ▶ Dazu **elementare** Aktionen (lesen, schreiben etc)

Elementare Aktionen

- ▶ Zeile von Standardeingabe (`stdin`) **lesen**:

```
getLine  :: IO String
```

- ▶ Zeichenkette auf Standardausgabe (`stdout`) **ausgeben**:

```
putStr   :: String → IO ()
```

- ▶ Zeichenkette mit Zeilenvorschub **ausgeben**:

```
putStrLn :: String → IO ()
```


Einfache Beispiele

▶ Echo einfach

```
echo1 :: IO ()  
echo1 = getLine >>= putStrLn
```

Einfache Beispiele

▶ Echo einfach

```
echo1 :: IO ()  
echo1 = getLine >>= putStrLn
```

▶ Echo mehrfach

```
echo :: IO ()  
echo = getLine >>= putStrLn >>= \_ → echo
```

▶ Was passiert hier?

- ▶ Verknüpfen von Aktionen mit $\gg=$
- ▶ Jede Aktion gibt **Wert** zurück

Noch ein Beispiel

- ▶ Umgekehrtes Echo:

```
ohce :: IO ()  
ohce = getLine >>= \s → putStrLn (reverse s) >> ohce
```

- ▶ Was passiert hier?

- ▶ **Reine** Funktion `reverse` wird innerhalb von **Aktion** `putStrLn` genutzt
- ▶ Folgeaktion `ohce` benötigt **Wert** der vorherigen Aktion nicht
- ▶ **Abkürzung:** `>>`

```
p >> q = p >>= \_ → q
```

Die do-Notation

- ▶ Syntaktischer Zucker für IO:

```
echo =  
  getLine  
  >>= λs → putStrLn s  
  >> echo
```



```
echo =  
  do s ← getLine  
     putStrLn s  
     echo
```

- ▶ Rechts sind $\gg=$, \gg implizit
- ▶ Mit \leftarrow gebundene Bezeichner **überlagern** vorherige
- ▶ Es gilt die **Abseitsregel**.
 - ▶ Einrückung der ersten Anweisung nach `do` bestimmt Abseits.

Drittes Beispiel

- ▶ Zählendes, endliches Echo

```
echo3 :: Int → IO ()
echo3 cnt = do
  putStr (show cnt ++ ":_")
  s ← getLine
  if s ≠ "" then do
    putStrLn $ show cnt ++ ":_" ++ s
    echo3 (cnt+ 1)
  else return ()
```

- ▶ Was passiert hier?
 - ▶ Kombination aus Kontrollstrukturen und Aktionen
 - ▶ **Aktionen** als **Werte**
 - ▶ Geschachtelte `do`-Notation

Zeit für eine Pause

Übung 10.1: Say My Name!

Wie sieht ein Haskell-Program aus, das erst nach dem Namen des Gegenübers fragt, und dann mit `Hallo, Christoph!` (oder was eingegeben wurde) freundlich grüßt?

Zeit für eine Pause

Übung 10.1: Say My Name!

Wie sieht ein Haskell-Program aus, das erst nach dem Namen des Gegenübers fragt, und dann mit `Hallo, Christoph!` (oder was eingegeben wurde) freundlich grüßt?

Lösung:

```
greeter :: IO ()
greeter = do
  putStr "What's your name, love?"
  s ← getLine
  putStrLn $ "Hullo," ++ s ++ ". Pleased to meet you."
```

- ▶ `putStr` statt `putStrLn` erlaubt „Prompting“
- ▶ Argumente von `putStrLn` klammern (oder `$`)

II. Aktionen als Werte

Aktionen als Werte

- ▶ **Aktionen** sind **Werte** wie alle anderen.
- ▶ Dadurch **Definition** von **Kontrollstrukturen** möglich.
- ▶ Endlosschleife:

```
forever :: IO  $\alpha$   $\rightarrow$  IO  $\alpha$   
forever a = a  $\gg$  forever a
```

- ▶ Iteration (feste Anzahl):

```
forN :: Int  $\rightarrow$  IO  $\alpha$   $\rightarrow$  IO ()  
forN n a | n == 0    = return ()  
         | otherwise = a  $\gg$  forN (n-1) a
```

Kontrollstrukturen

- ▶ Vordefinierte Kontrollstrukturen (`Control.Monad`):

```
when :: Bool → IO () → IO ()
```

- ▶ Sequenzierung:

```
sequence :: [IO α] → IO [α]
```

- ▶ Sonderfall: `[()]` als `()`

```
sequence_ :: [IO ()] → IO ()
```

- ▶ Map und Filter für Aktionen:

```
mapM      :: (α → IO β) → [α] → IO [β]
```

```
mapM_     :: (α → IO ()) → [α] → IO ()
```

```
filterM   :: (α → IO Bool) → [α] → IO [α]
```

Jetzt ihr!

Übung 10.2: Eine „While-Schleife“ in Haskell

Schreibt einen Kombinator

```
while :: IO Bool → IO α → IO ()
```

der solange das zweite Argument (den Rumpf) auswertet wie das erste Argument zu `True` auswertet.

Jetzt ihr!

Übung 10.2: Eine „While-Schleife“ in Haskell

Schreibt einen Kombinator

```
while :: IO Bool → IO α → IO ()
```

der solange das zweite Argument (den Rumpf) auswertet wie das erste Argument zu `True` auswertet.

Lösung:

► Erste Lösung:

```
while c b = do a ← c; if a then b >> while c b else return ()
```

► Vorteil: ist **endrekursiv**.

► Wieso eigentlich `IO ()`?

III. Ein/Ausgabe

Ein/Ausgabe mit Dateien

- ▶ Im Prelude **vordefiniert**:

- ▶ Dateien schreiben (überschreiben, anhängen):

```
type FilePath = String
writeFile    ::  FilePath → String → IO ()
appendFile  ::  FilePath → String → IO ()
```

- ▶ Datei lesen (verzögert):

```
readFile    ::  FilePath → IO String
```

- ▶ “Lazy I/O”: Zugriff auf Dateien erfolgt **verzögert**
- ▶ Interaktion von nicht-strikter Auswertung mit zustandsbasiertem Dateisystem kann überraschend sein

Beispiel: Zeichen, Wörter, Zeilen zählen (wc)

```
wc :: String -> IO ()
wc file =
  do cont <- readFile file
     putStrLn $ file ++ ": " ++
       show (length (lines cont)) ++ " lines, " ++
       show (length (words cont)) ++ " words, " ++
       show (length cont) ++ " bytes."
```

- ▶ Datei wird gelesen
- ▶ Anzahl Zeichen, Worte, Zeilen gezählt
- ▶ Erstaunlich (hinreichend) effizient

Ein/Ausgabe mit Dateien: Abstraktionsebenen

- ▶ **Einfach:** `readFile`, `writeFile`
- ▶ **Fortgeschritten:** Modul `System.IO` der Standardbücherei
 - ▶ Buffered/Unbuffered, Seeking, &c.
 - ▶ Operationen auf `Handle`
- ▶ **Systemnah:** Modul `System.Posix`
 - ▶ Filedeskriptoren, Permissions, special devices, etc.

IV. Ausnahmen und Fehlerbehandlung

Fehlerbehandlung

- ▶ **Fehler** werden durch `Exception` repräsentiert (Modul `Control.Exception`)
 - ▶ `Exception` ist **Typklasse** — kann durch eigene Instanzen erweitert werden
 - ▶ Vordefinierte Instanzen: u.a. `IOError`
- ▶ Fehlerbehandlung durch **Ausnahmen** (ähnlich Java)

```
throw :: Exception  $\gamma \Rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$   
catch :: Exception  $\gamma \Rightarrow \text{IO } \alpha \rightarrow (\gamma \rightarrow \text{IO } \alpha) \rightarrow \text{IO } \alpha$   
try   :: Exception  $\gamma \Rightarrow \text{IO } \alpha \rightarrow \text{IO } (\text{Either } \gamma \alpha)$ 
```

- ▶ Faustregel: `catch` für unerwartete Ausnahmen, `try` für erwartete
- ▶ Ausnahmen überall, Fehlerbehandlung **nur in Aktionen**

Fehler fangen und behandeln

“Ask forgiveness not permission” (Grace Hopper)

Generelle Regel: **Fehlerbehandlung** durch **Ausnahmebehandlung** besser als vorherige Abfrage von Fehlerbedingungen.

▶ Warum?

Fehler fangen und behandeln

“Ask forgiveness not permission” (Grace Hopper)

Generelle Regel: **Fehlerbehandlung** durch **Ausnahmebehandlung** besser als vorherige Abfrage von Fehlerbedingungen.

- ▶ Warum? Umwelt nicht **sequentiell**.
- ▶ Fehlerbehandlung für `wc`:

```
wc2 :: String → IO ()
wc2 file =
  catch (wc file)
    (\e → putStrLn $ "Fehler:␣" ++ show (e :: IOError))
```

- ▶ `IOError` kann analysiert werden (siehe `System.IO.Error`)
- ▶ `read` mit Ausnahme bei Fehler (statt Programmabbruch):

```
readIO :: Read α ⇒ String → IO α
```

Ausführbare Programme

- ▶ Eigenständiges Programm ist **Aktion**
- ▶ **Hauptaktion**: `main :: IO ()` in Modul `Main`
 - ▶ ... oder mit der Option `-main-is M.f` setzen
- ▶ `wc` als eigenständiges Programm:

```
module Main where
```

```
import System.Environment (getArgs)  
import Control.Exception
```

```
main :: IO ()  
main = do  
    args ← getArgs  
    putStrLn $ "Command_line_arguments:_" ++ show args  
    mapM_ wc2 args
```

Beispiel: Traversal eines Verzeichnisbaums

- ▶ Verzeichnisbaum traversieren, und für jede Datei eine **Aktion** ausführen:

```
travFS :: (FilePath → IO ()) → FilePath → IO ()
travFS action p = catch (do
  cs ← getDirectoryContents p
  let cp = map (p </>) (cs \\ [".", ".."])
      dirs ← filterM doesDirectoryExist cp
      files ← filterM doesFileExist cp
      mapM_ action files
      mapM_ (travFS action) dirs)
  (\e → putStrLn $ "ERROR:␣" ++ show (e :: IOError))
```

- ▶ Nutzt Funktionalität aus `System.Directory`, `System.FilePath`

Alles zählt.

Übung 10.3: Alles zählt

Kombiniert `Traverse` und `WC` zu einem Programm

```
ls :: FilePath → IO ()
```

welches in einem gegebenen Verzeichnis den Inhalt aller darin enthaltenen Dateien zählt.

Alles zählt.

Übung 10.3: Alles zählt

Kombiniert `Traverse` und `WC` zu einem Programm

```
ls :: FilePath → IO ()
```

welches in einem gegebenen Verzeichnis den Inhalt aller darin enthaltenen Dateien zählt.

Lösung: `wc2` (mit Fehlerbehandlung) wird einfach die Traversionsfunktion:

```
ls = travFS wc2
```

Das ist alles.

V. Anwendungsbeispiel

So ein Zufall!

- ▶ Zufallswerte:

```
randomRIO :: (α, α) → IO α
```

- ▶ Warum ist `randomIO` **Aktion**?

So ein Zufall!

- ▶ Zufallswerte:

```
randomRIO :: ( $\alpha$ ,  $\alpha$ )  $\rightarrow$  IO  $\alpha$ 
```

- ▶ Warum ist `randomIO` **Aktion**?

- ▶ **Beispiele:**

- ▶ Aktion zufällig oft ausführen:

```
atmost :: Int  $\rightarrow$  IO  $\alpha$   $\rightarrow$  IO [ $\alpha$ ]  
atmost most a =  
  do l  $\leftarrow$  randomRIO (1, most)  
     sequence (replicate l a)
```

- ▶ Zufälligen String erzeugen:

```
randomStr :: IO String  
randomStr = atmost 40 (randomRIO ('a', 'z'))
```

- ▶ Hinweis: Funktionen aus `System.Random` zu importieren, muss ggf. installiert werden.

Fallbeispiel: Wörter raten

- ▶ Unterhaltungsprogramm: der Benutzer rät Wörter
- ▶ Benutzer kann einzelne Buchstaben eingeben
- ▶ Wort wird maskiert ausgegeben, nur geratene Buchstaben angezeigt

Wörter raten: Programmstruktur

- ▶ Hauptschleife:

```
play :: String → String → String → IO ()
```

- ▶ Argumente: Geheimnis, geratene Buchstaben (enthalten, nicht enthalten)

- ▶ Benutzereingabe:

```
getGuess :: String → String → IO Char
```

- ▶ Argumente: geratene Zeichen (im Geheimnis enthalten, nicht enthalten)

- ▶ Hauptfunktion:

```
main :: IO ()
```

- ▶ Liest ein Lexikon, wählt Geheimnis aus, ruft Hauptschleife auf

Nunc est ludendum.

Übung 10.3: Linguistic Interlude

Ladet den Quellcode herunter, übersetzt das Spiel und ratet fünf Wörter.

Wer noch etwas tun möchte, kann das Spiel so erweitern, dass es nachdem das Wort erfolgreich geraten wurde, ein neues Wort rät, und insgesamt zählt, wieviele Worte schon (nicht) geraten wurden.

Zusammenfassung

- ▶ Ein/Ausgabe in Haskell durch **Aktionen**
- ▶ **Aktionen** (Typ `IO α`) sind seiteneffektbehaftete Funktionen
- ▶ **Komposition** von Aktionen durch

```
(\>>=)    :: IO α → (α → IO β) → IO β  
return   :: α → IO α
```

- ▶ **do**-Notation
- ▶ Fehlerbehandlung durch Ausnahmen (`IOError`, `catch`, `try`).
- ▶ Verschiedene Funktionen der Standardbibliothek:
 - ▶ Prelude: `getLine`, `putStr`, `putStrLn`, `readFile`, `writeFile`
 - ▶ Module: `System.IO`, `System.Random`
- ▶ Nächste Vorlesung: Wie sind Aktionen eigentlich **implementiert**? Schwarze Magie?