Reaktive Programmierung
Vorlesung 1 vom 14.04.15: Was ist Reaktive Programmierung?

Christoph Lüth & Martin Ring

Universität Bremen

Sommersemester 2014

Organisatorisches

- Vorlesung: Donnerstags 8-10, MZH 1450
- Übung: Dienstags 16-18, MZH 1460 (nach Bedarf)
- Webseite: `www.informatik.uni-bremen.de/~cxl/lehre/rp.ss15`
- Scheinkriterien:
  - Voraussichtlich 6 Übungsblätter
  - Alle bearbeitet, insgesamt 40% (Notenspiegel PI3)
  - Übungsgruppen 2 – 4 Mitglieder
  - Fachgespräch am Ende

Warum Reaktive Programmierung?

Herkömmliche Programmiersprachen:

- C, C++
- JavaScript, Ruby, PHP, Python
- Java
- (Haskell)

Eigenschaften:

- Imperativ und prozedural
- Sequentiell

Zugrundeliegendes Paradigma:

Warum Reaktive Programmierung?

Herkömmliche Programmiersprachen:

- C, C++
- JavaScript, Ruby, PHP, Python
- Java
- (Haskell)

Eigenschaften:

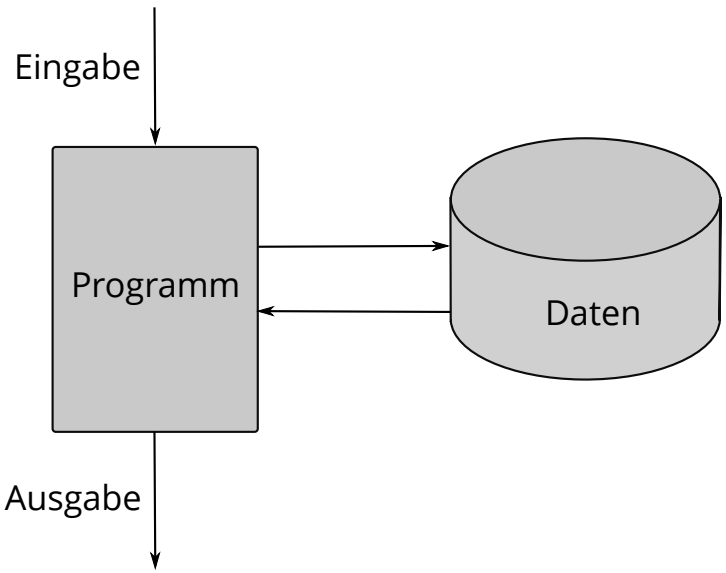
- Imperativ und prozedural
- Sequentiell

Zugrundeliegendes Paradigma:

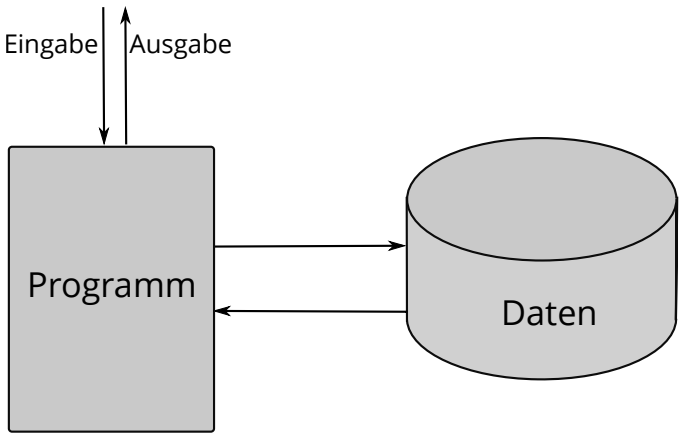
. . . aber die Welt ändert sich:

- Das Netz verbindet Rechner
- Selbst eingebettete Systeme sind vernetzt (Auto: ca. 100 Proz.)
- Mikroprozessoren sind mehrkernig
- Systeme sind eingebettet, nebenläufig, reagieren auf ihre Umwelt.

Probleme mit dem herkömmlichen Ansatz

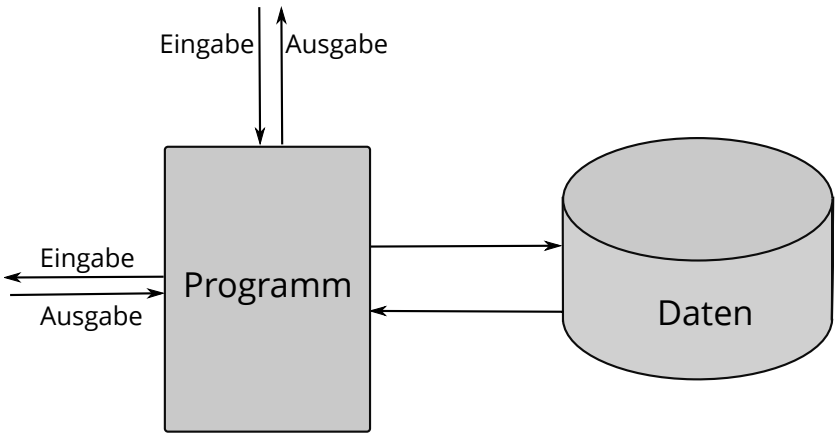


Probleme mit dem herkömmlichen Ansatz



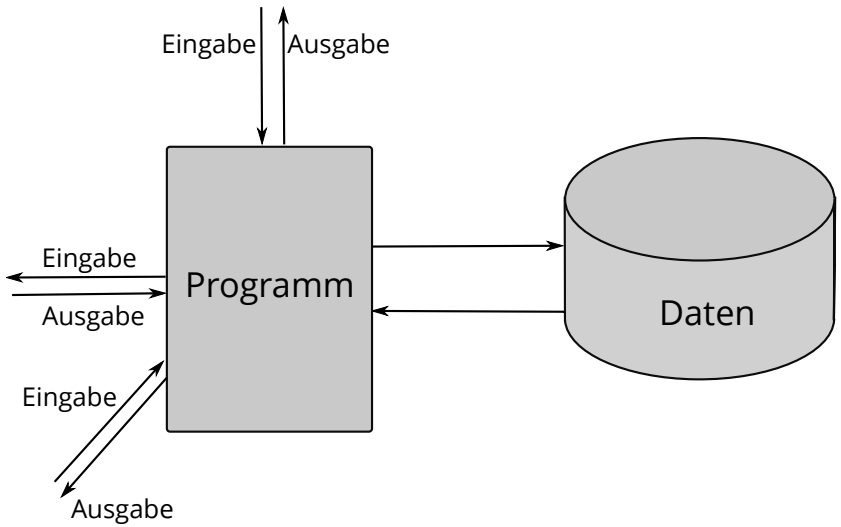
- Problem: Nebenläufigkeit

Probleme mit dem herkömmlichen Ansatz



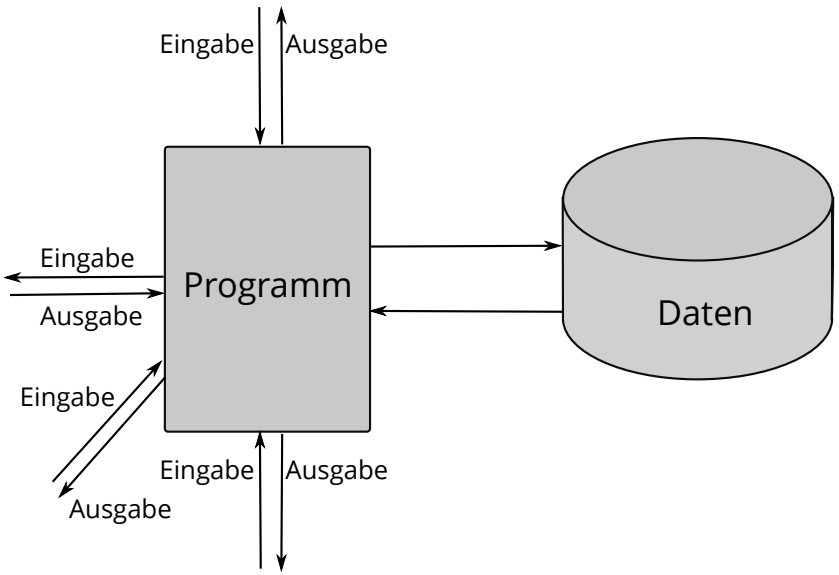
- Problem: Nebenläufigkeit

Probleme mit dem herkömmlichen Ansatz



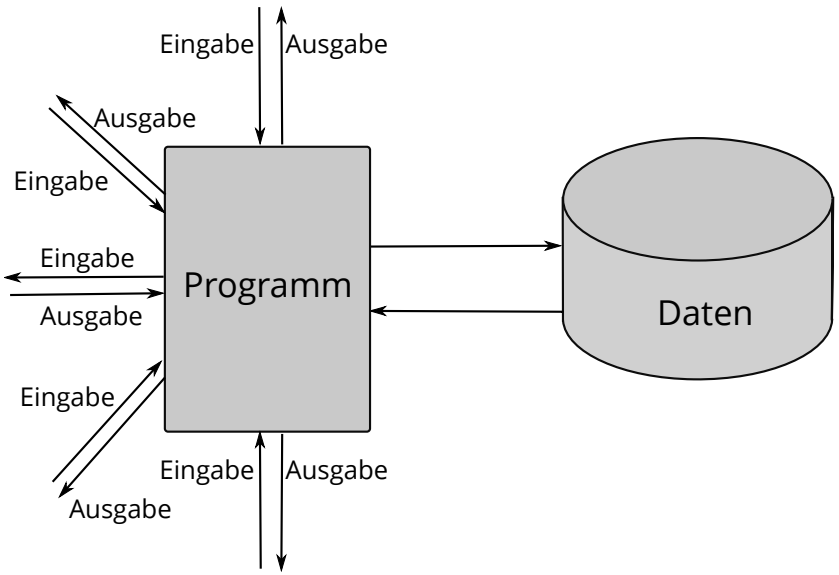
- Problem: Nebenläufigkeit
- Nebenläufigkeit verursacht Synchronisationsprobleme

Probleme mit dem herkömmlichen Ansatz



- Problem: Nebenläufigkeit
- Nebenläufigkeit verursacht Synchronisationsprobleme
- Behandlung:
  - Callbacks (JavaScript)
  - Events (Java)
  - Global Locks (Python, Ruby)
  - Programmiersprachenkonstrukte: Locks, Semaphoren, Monitore

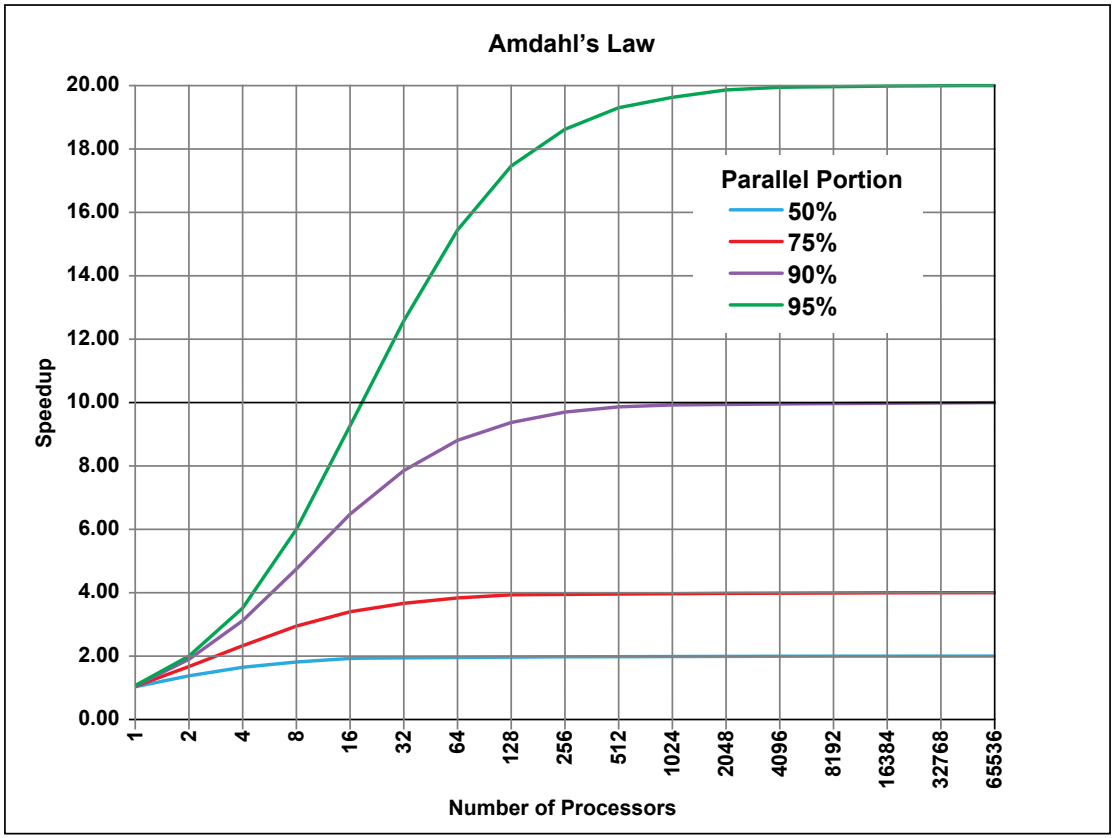
Probleme mit dem herkömmlichen Ansatz



- Problem: Nebenläufigkeit
- Nebenläufigkeit verursacht Synchronisationsprobleme
- Behandlung:
  - Callbacks (JavaScript)
  - Events (Java)
  - Global Locks (Python, Ruby)
  - Programmiersprachenkonstrukte: Locks, Semaphoren, Monitore

Amdahl's Law

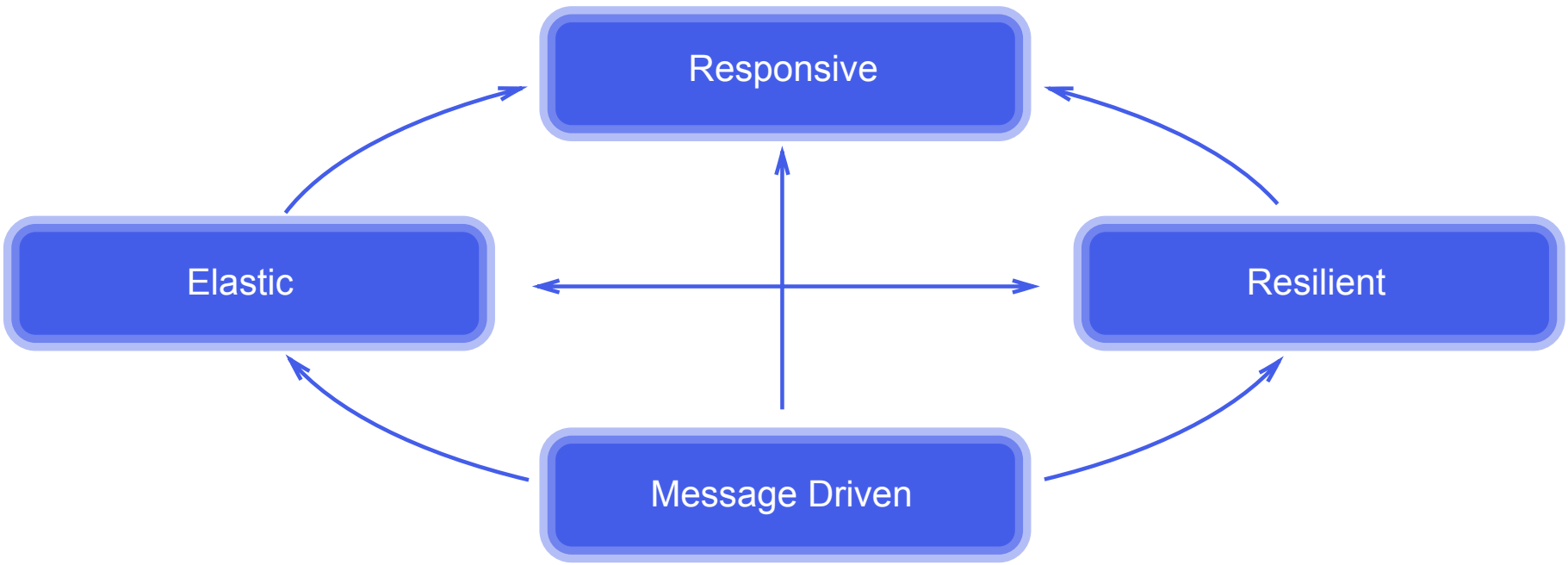
"The speedup of a program using multiple processors in parallel computing is limited by the sequential fraction of the program. For example, if 95% of the program can be parallelized, the theoretical maximum speedup using parallel computing would be 20× as shown in the diagram, no matter how many processors are used."



Quelle: Wikipedia

The Reactive Manifesto

- `http://www.reactivemanifesto.org/`



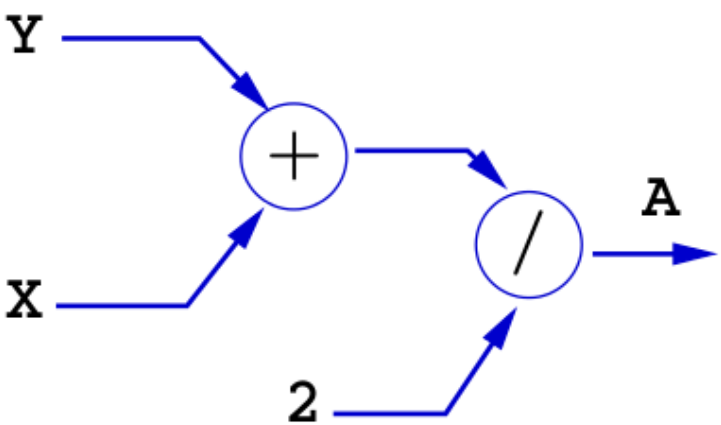
Was ist Reaktive Programmierung?

- Imperative Programmierung: Zustandsübergang
- Prozedural und OO: Verkapselter Zustand
- Funktionale Programmierung: Abbildung (mathematische Funktion)
- Reaktive Programmierung:

1. Datenabhängigkeit
2. Reaktiv = funktional + nebenläufig

Datenflusssprachen (data flow languages)

- Frühe Sprachen: VAL, SISAL, ID, LUCID (1980/1990)
- Heutige Sprachen: Esterel, Lustre (Gérard Berry, Verimag)
  - Keine Zuweisungen, sondern Datenfluss
  - Synchron: alle Aktionen ohne Zeitverzug
  - Verwendung in der Luftfahrtindustrie (Airbus)




```
node Average(X, Y : int)
returns (A : int);
let
   A = (X + Y) / 2 ;
tel
```

Fahrplan

- Teil I: Grundlegende Konzepte
  - Was ist Reaktive Programmierung?
  - Nebenläufigkeit und Monaden in Haskell
  - Funktional-Reaktive Programmierung
  - Einführung in Scala
  - Die Scala Collections
  - ScalaCheck
- Teil II: Nebenläufigkeit
- Teil III: Fortgeschrittene Konzepte

Fahrplan

- Teil I: Grundlegende Konzepte
- Teil II: Nebenläufigkeit
  - Futures and Promises
  - Reaktive Datenströme I
  - Reaktive Datenströme II
  - Das Aktorenmodell
  - Aktoren und Akka
- Teil III: Fortgeschrittene Konzepte

Fahrplan

- Teil I: Grundlegende Konzepte
- Teil II: Nebenläufigkeit
- Teil III: Fortgeschrittene Konzepte
  - Bidirektionale Programmierung: Zippers and Lenses
  - Robustheit, Entwurfsmuster
  - Theorie der Nebenläufigkeit

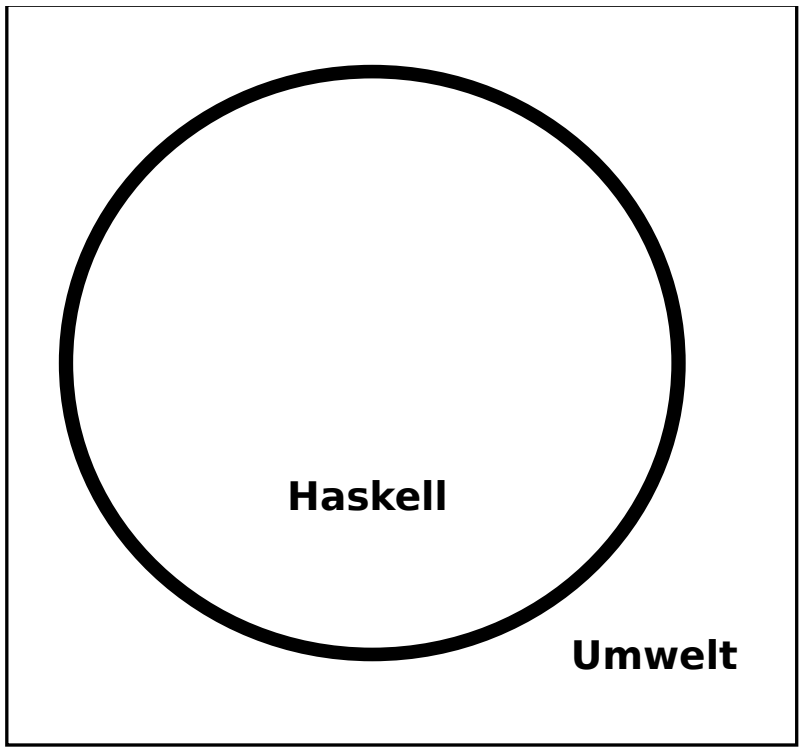
Rückblick Haskell

- Definition von Funktionen:
  - lokale Definitionen mit `let` und `where`
  - Fallunterscheidung und guarded equations
  - Abseitsregel
  - Funktionen höherer Ordnung
- Typen:
  - Basisdatentypen: `Int`, `Integer`, `Rational`, `Double`, `Char`, `Bool`
  - Strukturierte Datentypen: `[a]`, `(a, b)`
  - Algebraische Datentypen: `data Maybe a = Just a | Nothing`

Rückblick Haskell

- Abstrakte Datentypen
- Module
- Typklassen
- Verzögerte Auswertung und unendliche Datentypen

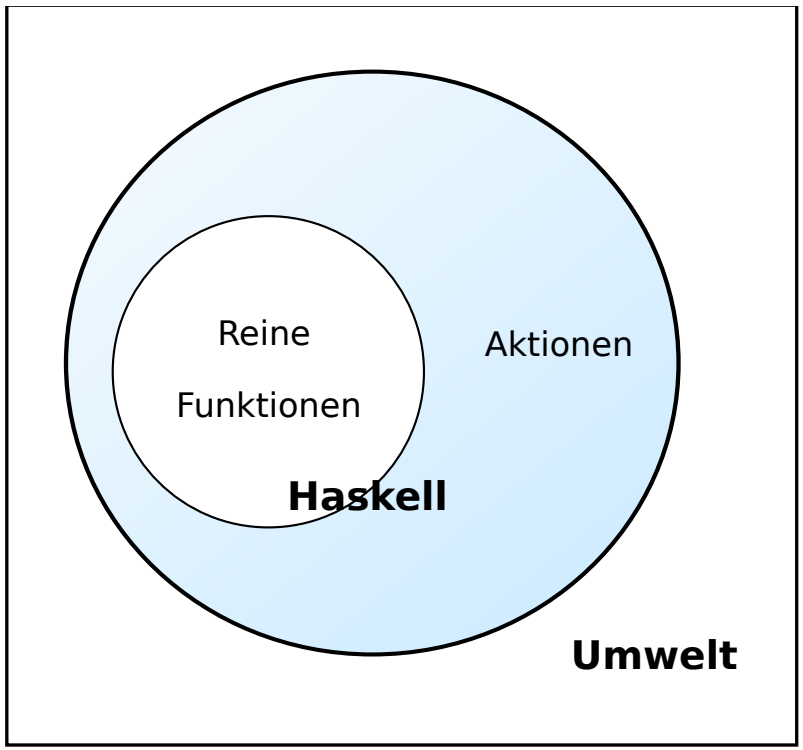
Ein- und Ausgabe in Haskell



Problem:

- Funktionen mit Seiteneffekten nicht referentiell transparent.
- readString :: ... $\rightarrow$String ??

Ein- und Ausgabe in Haskell



Problem:

- Funktionen mit Seiteneffekten nicht referentiell transparent.
- readString :: ... $\rightarrow$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 α

(>>=)  :: IO α → (α→ IO β) → IO β

return :: α→ IO α
```

- Plus elementare Operationen (lesen, schreiben etc)

Elementare Aktionen

- Zeile von stdin lesen:

```
getLine  :: IO String
```

- Zeichenkette auf stdout ausgeben:

```
putStr   :: String→ IO ()
```

- Zeichenkette mit Zeilenvorschub ausgeben:

```
putStrLn :: String→ IO ()
```

Einfache Beispiele

- Echo einfach

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

- Echo mehrfach

```
echo :: IO ()
echo = getLine >>= putStrLn >>= λ_ → echo
```

- Was passiert hier?
  - Verknüpfen von Aktionen mit $\gg=$
  - Jede Aktion gibt Wert zurück

Noch ein Beispiel

- Umgekehrtes Echo:

```
ohce :: IO ()
ohce = getLine
       >>= λs-> 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 >>= λ_ ->  q
```

Die do-Notation

- Syntaktischer Zucker für IO:

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

$\Longleftrightarrow$

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

  - Rechts sind $\gg=$, $\gg$ implizit.

- 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

Module in der Standardbücherei

- Ein/Ausgabe, Fehlerbehandlung (Modul IO)
- Zufallszahlen (Modul Random)
- Kommandozeile, Umgebungsvariablen (Modul System)
- Zugriff auf das Dateisystem (Modul Directory)
- Zeit (Modul Time)

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
```

- Mehr Operationen im Modul IO der Standardbücherei
  - Buffered/Unbuffered, Seeking, &c.
  - Operationen auf Handle

Beispiel: Zeichen, Wörter, Zeilen zählen (wc)

```
wc :: String→ IO ()
wc file =
  do cont ← readFile file
     putStrLn $ file++ ": "++
                show (length (lines cont),
                      length (words cont),
                      length cont)
```

- Datei wird gelesen
- Anzahl Zeichen, Worte, Zeilen gezählt

Aktionen als Werte

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

```
forever :: IO α→ IO α
forever a = a ≫ forever a
```

- Iteration (feste Anzahl):

```
forN :: Int→ IO α→ IO ()
forN n a | n == 0    = return ()
         | otherwise = a ≫ forN (n−1) a
```

- Vordefinierte Kontrollstrukturen (Control.Monad):
  - when, mapM, forM, sequence, ...

Map und Filter für Aktionen

- Listen von Aktionen sequenzieren:

```
sequence  :: [IO a] -> IO [a]

sequence_ :: [IO ()] -> IO ()
```

- Map für Aktionen:

```
mapM  :: (a -> IO b) -> [a] -> IO [b]

mapM_ :: (a -> IO ()) -> [a] -> IO ()
```

- Filter für Aktionen
  - Importieren mit `import Monad (filterM)`.

```
filterM :: (a -> IO Bool) -> [a] -> IO [a]
```

Fehlerbehandlung

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

```
catch :: Exception e⇒ IO α → (e→ IO α) → IO α
try   :: Exception e⇒ IO α → IO (Either e a)
```

- Faustregel: catch für unerwartete Ausnahmen, try für erwartete
- Fehlerbehandlung nur in Aktionen

Fehler fangen und behandeln

- Fehlerbehandlung für wc:

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

- IOError kann analysiert werden (siehe System.IO.Error)

- read mit Ausnahme bei Fehler (statt Programmabbruch):

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

Ausführbare Programme

- Eigenständiges Programm ist Aktion
- Hauptaktion: main :: IO () in Modul Main
- wc als eigenständiges Programm:

```
module Main where

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

...

```
main :: IO ()
main = do
  args ← getArgs
  mapM_ wc2 args
```

So ein Zufall!

- Zufallswerte:

```
randomRIO :: (α, α) → IO α
```

  - Warum ist randomIO Aktion?

So ein Zufall!

- Zufallswerte:

```
randomRIO :: (α, α)→ IO α
```

  - Warum ist randomIO Aktion?

- Beispiele:
  - Aktion zufällig oft ausführen:

```
atmost :: Int→ IO α→ IO [α]
atmost most a =
  do l← randomRIO (1, most)
     sequence (replicate l a)
```

  - Zufälligen String erzeugen:

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

Funktionen mit Zustand

- Idee: Seiteneffekt explizit machen
- Funktion $f : A \to B$ mit Seiteneffekt in Zustand S:

$$f : A \times S \to B \times S$$
$$\cong$$
$$f : A \to S \to B \times S$$

- Datentyp: $S \to B \times S$
- Komposition: Funktionskomposition und uncurry

In Haskell: Zustände explizit

- Datentyp: Berechnung mit Seiteneffekt in Typ σ (polymorph über α)

```
type State σ α = σ → (α, σ)
```

- Komposition zweier solcher Berechnungen:

```
comp :: State σ α → (α → State σ β) → State σ β
comp f g = uncurry g ∘ f
```

- Lifting:

```
lift :: α → State σ α
lift = curry id
```

Beispiel: Ein Zähler

- Datentyp:

```
type WithCounter α = State Int α
```

- Zähler erhöhen:

```
tick :: WithCounter ()
tick i = ((), i+1)
```

- Zähler auslesen:

```
read :: WithCounter Int
read i = (i, i)
```

- Zähler zurücksetzen:

```
reset :: WithCounter ()
reset i = ((), 0)
```

Implizite vs. explizite Zustände

- Nachteil: Zustand ist explizit
  - Kann dupliziert werden
- Daher: Zustand implizit machen
  - Datentyp verkapseln
  - Signatur State, comp, lift , elementare Operationen
- Beispiel für eine Monade
  - Generische Datenstruktur, die Verkettung von Berechnungen erlaubt

Aktionen als Zustandstransformationen

- Idee: Aktionen sind Transformationen auf Systemzustand S
- S beinhaltet
  - Speicher als Abbildung $A \rightharpoonup V$ (Adressen A, Werte V)
  - Zustand des Dateisystems
  - Zustand des Zufallsgenerators
- In Haskell: Typ RealWorld

```
type IO α = State RealWorld α  -- ... oder so ähnlich
```

  - "Virtueller" Typ, Zugriff nur über elementare Operationen
  - Entscheidend nur Reihenfolge der Aktionen

War das jetzt reaktiv?

- Haskell ist funktional
- Für eine reaktive Sprache fehlt Nebenläufigkeit
  - Nächste Vorlesung: Concurrent Haskell
  - Damit könnten wir die Konzepte dieser VL modellieren
  - Besser: Scala = Funktional + JVM

Zusammenfassung

- Reaktive Programmierung: Beschreibung der Abhängigkeit von Daten
- Rückblick Haskell:
  - Abhängigkeit von Aussenwelt in Typ IO kenntlich
  - Benutzung von IO: vordefinierte Funktionen in der Haskell98 Bücherei
  - Werte vom Typ IO (Aktionen) können kombiniert werden wie alle anderen
- Nächstes Mal:
  - Monaden und Nebenläufigkeit in Haskell