

Reaktive Programmierung  
Vorlesung 12 vom 12.06.19  
Funktional-Reaktive Programmierung

Christoph Lüth, Martin Ring

Universität Bremen

Sommersemester 2019

# Fahrplan

- ▶ Einführung
- ▶ Monaden und Monadentransformer
- ▶ Nebenläufigkeit: Futures and Promises
- ▶ Aktoren I: Grundlagen
- ▶ Aktoren II: Implementation
- ▶ Meta-Programmierung
- ▶ Bidirektionale Programmierung
- ▶ Reaktive Ströme I
- ▶ Reaktive Ströme II
- ▶ **Funktional-Reaktive Programmierung**
- ▶ Software Transactional Memory
- ▶ Eventual Consistency
- ▶ Robustheit und Entwurfsmuster
- ▶ Theorie der Nebenläufigkeit, Abschluss

# Das Tagemenü

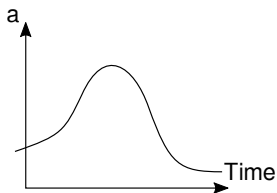
- ▶ **Funktional-Reaktive Programmierung** (FRP) ist **rein** funktionale, reaktive Programmierung.
- ▶ Sehr **abstraktes** Konzept — im Gegensatz zu Observables und Aktoren.
- ▶ Literatur: Paul Hudak, **The Haskell School of Expression**, Cambridge University Press 2000, Kapitel 13, 15, 17.
- ▶ Andere (effizientere) Implementierung existieren.

# FRP in a Nutshell

Zwei Basiskonzepte:

- ▶ **Kontinuierliches**, über der Zeit veränderliches **Verhalten**:

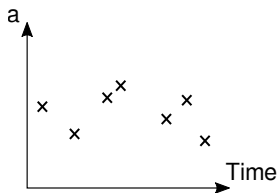
```
type Time = Float
type Behaviour a = Time → a
```



- ▶ Beispiel: Position eines Objektes

- ▶ **Diskrete Ereignisse** zu einem bestimmten Zeitpunkt:

```
type Event a = [(Time, a)]
```



- ▶ Beispiel: Benutzereingabe

Obige Typdefinitionen sind **Spezifikation**, nicht **Implementation**

# Verhalten: erste einfache Beispiele

- ▶ Ein kreisender und ein pulsierender Ball:

```
circ    = translate (cos time, sin time) (ell 0.2 0.2)
pulse   = ell (cos time * 0.5) (cos time * 0.5)
```

- ▶ Was passiert hier?
  - ▶ Basisverhalten: `time :: Behaviour Time`, `constB :: a → Behavior a`
  - ▶ Grafikbücherei: Datentyp `Region`, Funktion `Ellipse`
  - ▶ Liftings `(*, 0.5, sin, ...)`

# Lifting

- ▶ Um einfach mit Behaviour umgehen zu können, werden Funktionen zu Behaviour **geliftet**:

```
Behavior ff $* Behavior fb  
lift1 f b1 = lift0 f $* b1
```

- ▶ Gleiches mit lift2, lift3, ...

- ▶ Damit komplexere Liftings (für viele andere Typklassen):

```
(+) = lift2 (+)  
(* ) = lift2 (* )
```

```
pi    = lift0 pi  
cos   = lift1 cos
```

# Reaktive Animationen: Verhaltensänderung

- ▶ Beispiel: auf Knopfdruck Farbe ändern:

```
color1 = red 'untilB' lbp → blue
```

- ▶ Was passiert hier?

- ▶ `untilB` und `switch` kombinieren Verhalten:

```
Behavior fb 'untilB' Event fe =  
Behavior fb 'switch' Event fe =
```

- ▶  $\Rightarrow\Rightarrow$  ist `map` für Ereignisse:

```
Event fe  $\Rightarrow\Rightarrow$  f = Event (map (fmap f) o fe)  
e → v = e  $\Rightarrow\Rightarrow$   $\lambda\_ \rightarrow v$ 
```

# Reaktive Animationen: Verhaltensänderung

- ▶ Beispiel: auf Knopfdruck Farbe ändern:

```
color3 = white 'switch' (key ==>> λc →
```

- ▶ Was passiert hier?
  - ▶ untilB und switch kombinieren Verhalten:

```
Behavior fb 'untilB' Event fe =  
Behavior fb 'switch' Event fe =
```

- ▶  $\Rightarrow\Rightarrow$  ist map für Ereignisse:

```
Event fe ==>> f = Event (map (fmap f) o fe)  
e → v = e ==>> λ_ → v
```

- ▶ Kombination von Ereignissen:

```
Event fe1 .|. Event fe2
```



# Der Springende Ball

```
g = -4
x = -3 + integral 0.5
y = 1.5 + integral vy
vy = integral g 'switch'
    (hity 'snapshot_' vy =>>> λv' → lift0 (-v') + integral g)
hity = when (y < * -1.5)
```

## ► Nützliche Funktionen:

```
integral = genIntegral 0 (+) (*)
Event fe 'snapshot' Behavior fb
= Event (λuts → zipWith' aux (fe uts) (fb uts))
```

# Der Springende Ball

```
g = -4
x = -3 + integral vx
vx = 1 'switch' (hitx 'snapshot_' vx ==>> λv' → lift0 (-v'))
hitx = when (x < * -3 || * x > * 3)
y = 1.5 + integral vy
vy = integral g 'switch'
    (hity 'snapshot_' vy ==>> λv' → lift0 (-v') + integral g)
hity = when (y < * -1.5)
```

- ▶ Nützliche Funktionen:

```
integral = genIntegral 0 (+) (*)
Event fe 'snapshot' Behavior fb
  = Event (λuts → zipWith' aux (fe uts) (fb uts))
```

- ▶ **Erweiterung:** Ball ändert Richtung, wenn er gegen die Wand prallt.

# Implementation

- ▶ Verhalten, erste Annäherung:

```
data Beh1 a = Beh1 ([[UserAction, Time]] → Time → a)
```

- ▶ Problem: **Speicherleck** und **Ineffizienz**
- ▶ Analogie: suche in **sortierten** Listen

```
inList :: [Int] → Int → Bool  
inList xs y = elem y xs
```

```
manyInList' :: [Int] → [Int] → [Bool]  
manyInList' xs ys = map (inList xs) ys
```

- ▶ Besser Sortiertheit direkt nutzen

```
manyInList :: [Int] → [Int] → [Bool]
```

# Implementation

- ▶ Verhalten werden **inkrementell abgetastet**:

```
data Beh2 a
  = Beh2 ((UserAction, Time) → [Time] → [a])
```

- ▶ Verbesserungen:
  - ▶ Zeit doppelt, nur **einmal**
  - ▶ Abtastung auch **ohne Benutzeraktion**
  - ▶ **Currying**

```
data Behavior a
  = Behavior (([Maybe UserAction], [Time]) → [a])
```

- ▶ Ereignisse sind im Prinzip **optionales Verhalten**:

```
data Event a = Event (Behaviour (Maybe a))
```

# Längeres Beispiel: Pong!

▶ Pong besteht aus Paddel, Mauern und einem Ball.

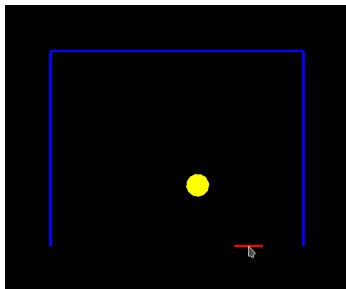
▶ Das Paddel:

▶ Die Mauern:

```
walls :: Behavior Picture
```

▶ ... und alles zusammen:

```
paddleball vel =  
  walls 'over'  
  paddle 'over'  
  pball vel
```



# Pong: der Ball

## ► Der Ball:

```
let xvel    = vel 'stepAccum' xbounce → negate
    xpos    = integral xvel
    xbounce = when (xpos >* 2 ||* xpos <*-2)
    yvel    = vel 'stepAccum' ybounce → negate
    ypos    = integral yvel
    ybounce = when (ypos >* 1.5
                    ||* ypos    'between' (-2.0,-1.5) &&*
                    fst mouse 'between' (xpos-0.25,xpos+0.25))
in paint yellow (translate (xpos, ypos) (ell 0.2 0.2))
```

## ► Ball völlig unabhängig von Paddel und Wänden

## ► Nützliche Funktionen:

```
while, when :: Behavior Bool → Event ()
step :: a → Event a → Behavior a
stepAccum :: a → Event (a→a) → Behavior a
```

# Warum nicht in Scala?

- ▶ Lifting und Typklassen für **syntaktischen Zucker**
- ▶ Aber: zentrales Konzept sind **unendliche** Listen (Ströme) mit **nicht-strikte** Auswertung
  - ▶ Implementation mit Scala-Listen nicht möglich
  - ▶ Benötigt: **Ströme** als unendliche Listen mit effizienter, nicht-strikter Auswertung
  - ▶ Möglich, aber aufwändig

# Zusammenfassung

- ▶ Funktional-Reaktive Programmierung am Beispiel FAL (Functional Animation Library)
- ▶ Zwei Kernkonzepte: kontinuierliches **Verhalten** und diskrete **Ereignisse**
- ▶ Implementiert in Haskell, Systemverhalten als unendlicher Strom von Zuständen
- ▶ Stärke: Erlaubt **abstrakte** Programmierung von **reaktiven Animationen**
- ▶ Schwächen:
  - ▶ Fundamental **nicht-kompositional** — ist gibt **eine** Hauptfunktion
  - ▶ Debugging, Fehlerbehandlung, Nebenläufigkeit?
- ▶ Nächste Vorlesung: Software Transactional Memory (STM)