

Haskell, eine rein funktionale Programmiersprache

Ingo Blechschmidt
<iblech@web.de>

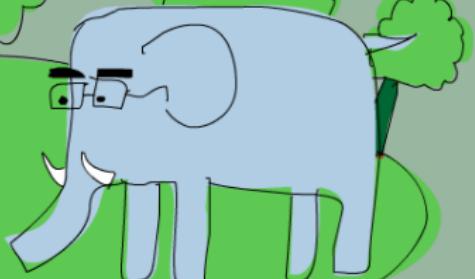
LUG-Camp 2011 Tschieriv
3. Juni 2011





A cartoon illustration featuring a bright yellow sun with rays at the top left, two white fluffy clouds, and several small green trees on a green hill. The background is a light green color.

Learn You a
for Great
Haskell
Good!



1 Grundlegendes

- Keine Variablen
- Keine Nebeneffekte
- Keine Ein-/Ausgabe
- Erste Beispiele: Aufsummieren und Quicksort

2 Typsystem

- Grundtypen
- Typerschließung
- Aktionstypen

3 Weitere Fähigkeiten

- Aktionsarten
- Parser-Aktionen
- Bedarfsauswertung
- QuickCheck

4 Gemeinschaft

- Hackage
- Größere Anwendungen
- Einstiegspunkte

Über Haskell

- Hochsprache, rein funktional, statisch stark typisiert, „nicht-strikt“
- Sprachspezifikation durch ein Komitee
- Veröffentlichung von Haskell 1.0: 1990
- Kompiliert und interpretiert



Imperative Sprachen

Kennzeichen imperativer Sprachen:

- veränderliche Variablen
- Nebeneffekte
- Anweisungen

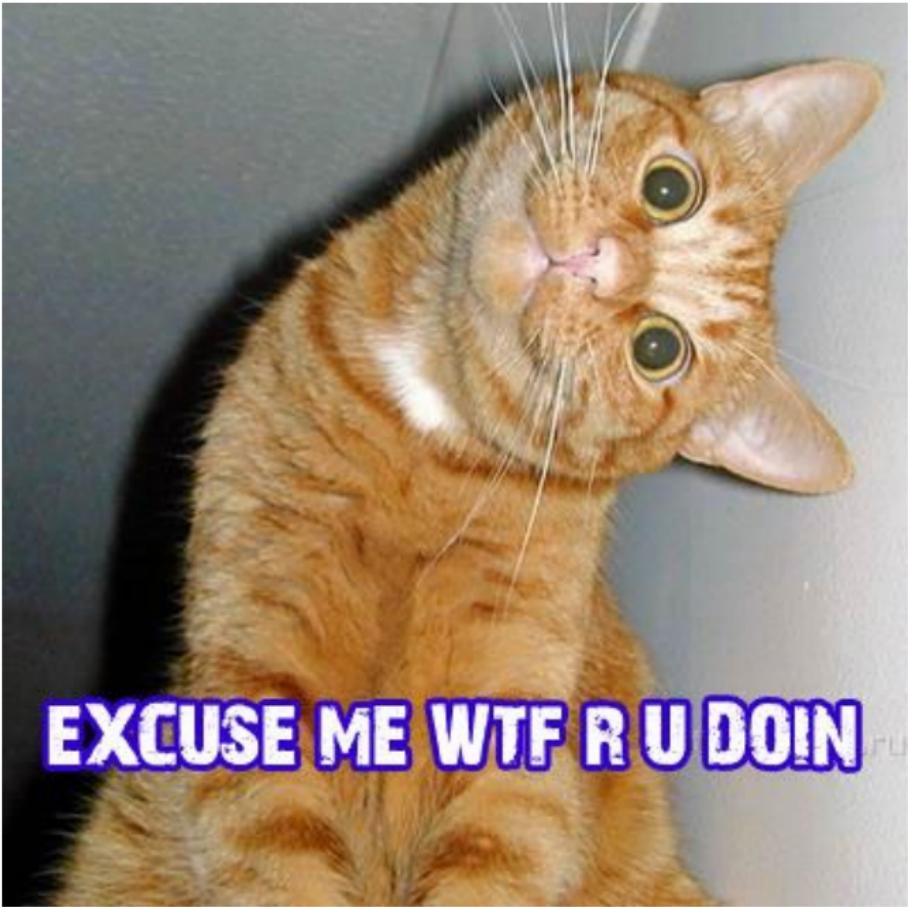


Haskell ist komisch!

Haskell ist rein funktional:

- keine veränderliche Variablen
- keine Nebeneffekte
- keine Anweisungen





EXCUSE ME WTF R U DOIN

Erstes Beispiel

```
# Perl
sub main {
    my $radius      = 42;
    my $quadriert = $radius ** 2;
    my $flaeche    = $quadriert * pi;
    print $flaeche;
}
```



Erstes Beispiel

```
# Perl
sub main {
    my $radius      = 42;
    my $quadriert = $radius ** 2;
    my $flaeche    = $quadriert * pi;
    print $flaeche;
}
```

-- Haskell

```
main =
    let radius      = 42
        quadriert = radius^2
        flaeche    = quadriert * pi
    in print flaeche
```



Erstes Beispiel

```
# Perl
sub main {
    my $radius      = 42;
    my $quadriert = $radius ** 2;
    my $flaeche    = $quadriert * pi;
    print $flaeche;
}

-- Haskell
main =
    let flaeche      = quadriert * pi
        quadriert = radius^2
        radius     = 42
    in print flaeche
```



Erstes Beispiel

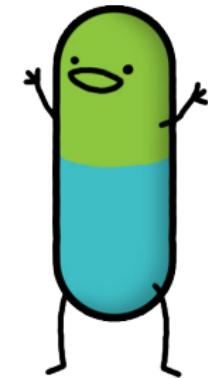
```
# Perl
sub main {
    my $radius      = 42;
    my $quadriert  = $radius ** 2;
    my $flaeche     = $quadriert * pi;
    print $flaeche;
}
```

```
-- Haskell
main = print flaeche
      where
          flaeche   = quadriert * pi
          quadriert = radius^2
          radius    = 42
```



Keine Nebeneffekte

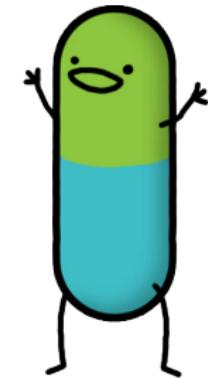
```
# Perl
my $a = f($x);
my $b = f($x);
...
# Ist $a == $b?
```



Keine Nebeneffekte

```
# Perl
my $a = f($x);
my $b = f($x);
...
# Ist $a == $b?
```

```
-- Haskell
let a = f x
    b = f x
in ...
-- a == b gilt stets.
```

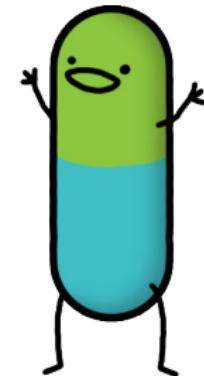


Keine Nebeneffekte

```
# Perl
my $a = f($x);
my $b = f($x);
...
# Ist $a == $b?
```

```
-- Haskell
let a = f x
    b = f x
in ...
-- a == b gilt stets.
```

- Gleiche Argumente \rightsquigarrow gleiche Rückgaben
- Keine Ein-/Ausgabe,
keine Zustandsveränderungen, ...
- Rein lokales Codeverständnis!
- Tiefgreifende Optimierungsmöglichkeiten!



Keine Eingabe/Ausgabe

```
let x = getLine  
in print (x ++ x)
```

VS.

```
print (getLine ++ getLine)
```

Keine Eingabe/Ausgabe

```
-- Compile-Zeit-Fehler!
let x = getLine
in print (x ++ x)
```

vs.

```
-- Compile-Zeit-Fehler!
print (getLine ++ getLine)
```



Keine Eingabe/Ausgabe

```
-- Compile-Zeit-Fehler!
let x = getLine
in print (x ++ x)
```

vs.

```
-- Compile-Zeit-Fehler!
print (getLine ++ getLine)
```

- Aktionen \neq Werte
- Explizite Unterscheidung durchs Typsystem (s. gleich)



Beispiel: Aufsummieren einer Zahlenliste

Deklaration durch Musterabgleich:

```
sum []      = 0
sum (x:xs) = x + sum xs
```

Beispielauswertung:

```
sum [1,2,3]
== 1 + sum [2,3]
== 1 + (2 + sum [3])
== 1 + (2 + (3 + sum []))
== 1 + (2 + (3 + 0))
== 6
```



Beispiel: Quicksort

```
qsort []      = []
qsort (x:xs) =
    qsort kleinere ++ [x] ++ qsort groessere
    where
        kleinere = [ y | y <- xs, y < x ]
        groessere = [ y | y <- xs, y >= x ]
```



Werte und Typen

- Statische starke Typisierung;
jeder Wert ist von genau einem Typ.
- Keine impliziten Typumwandlungen
- Enorm hilfreich!



Enorm hilfreich!

Werte und Typen

- Statische starke Typisierung;
jeder Wert ist von genau einem Typ.
- Keine impliziten Typumwandlungen
- Enorm hilfreich!



Werte und Typen

- Statische starke Typisierung;
jeder Wert ist von genau einem Typ.
- Keine impliziten Typumwandlungen
- Enorm hilfreich!
- Primitive Typen:

"Hallo, Welt!" :: String

True :: Bool

37 :: Integer (beliebige Größe)

37 :: Int (mind. 31 Bit)

- Zusammengesetzte Typen:

['A', 'B', 'C'] :: [Char]

[[1,2], [3], []] :: [[Integer]]



Werte und Typen (Forts.)

■ Funktionstypen:

```
head      :: [a] -> a  
-- Bsp.: head [1,2,3] == 1
```



```
tail      :: [a] -> [a]  
-- Bsp.: tail [1,2,3] == [2,3]
```

-- Operatoren:

```
(&&)      :: Bool -> Bool -> Bool  
(++)      :: [a] -> [a] -> [a]
```

java.io.InputStreamReader



Automatische Typerschließung

Automatische Erschließung nicht angegebener Typen durch den Compiler

```
greet name = "Hallo " ++ name ++ "!"
```



Automatische Typerschließung

Automatische Erschließung nicht angegebener Typen durch den Compiler

```
greet :: String -> String
greet name = "Hallo " ++ name ++ "!"
```



Automatische Typerschließung

Automatische Erschließung nicht angegebener Typen durch den Compiler

```
greet :: String -> String
greet name = "Hallo " ++ name ++ "!"
```

```
dup xs = xs ++ xs
-- Bsp.:
dup [1,2,3] ==
[1,2,3,1,2,3]
```



Automatische Typerschließung

Automatische Erschließung nicht angegebener Typen durch den Compiler

```
greet :: String -> String
greet name = "Hallo " ++ name ++ "!"
```

```
dup :: [a] -> [a]
dup xs = xs ++ xs
-- Bsp.:
dup [1,2,3] ==
[1,2,3,1,2,3]
```



Typen von Ein-/Ausgabe-Operationen

- `IO Foo` meint:
Wert vom Typ `Foo` produzierende IO-Aktion
- Häufig benutzte Ein-/Ausgabe-Operationen:

```
getLine  :: IO String
putStr   :: String    -> IO ()
readFile :: FilePath  -> IO String
```

Typen von Ein-/Ausgabe-Operationen

- `IO Foo` meint:
Wert vom Typ `Foo` produzierende IO-Aktion
- Häufig benutzte Ein-/Ausgabe-Operationen:

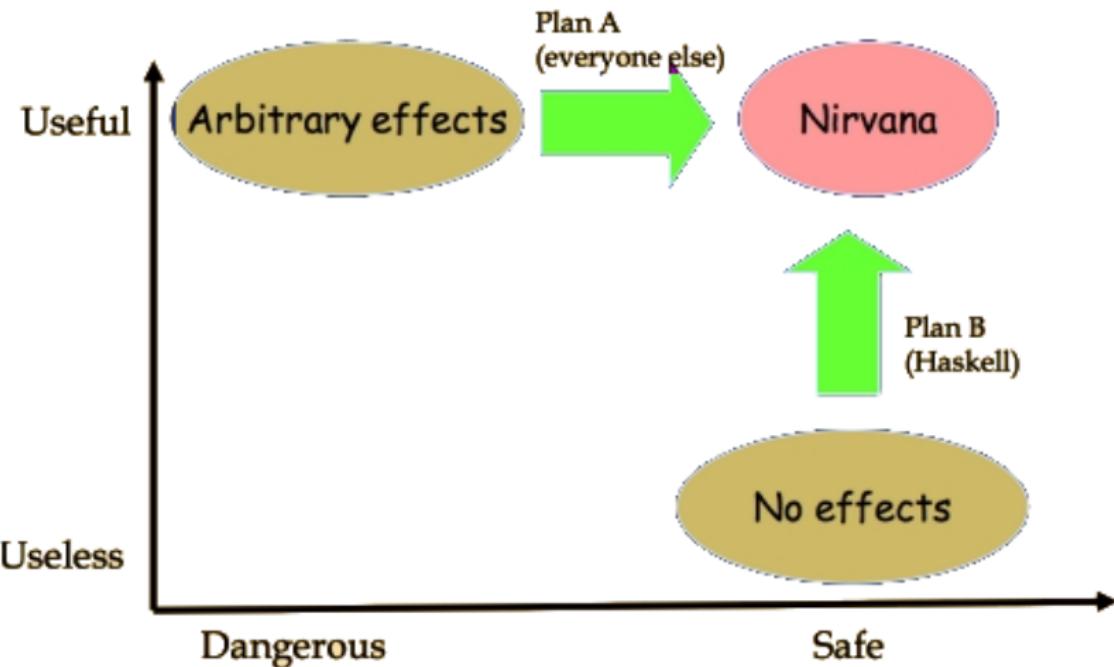
```
getLine  :: IO String
putStr   :: String    -> IO ()
readFile :: FilePath  -> IO String
```

- Zum früheren Beispiel:

```
main :: IO ()  
main = do  
    x <- getLine  
    print (x ++ x)
```

```
main :: IO ()  
main = do  
    x <- getLine  
    y <- getLine  
    print (x ++ y)
```

The challenge of effects



Grafik gestohlen von: Simon Peyton Jones

Arten von Aktionen

- IO (Eingabe/Ausgabe)
- Parser
- Reader (vererbende Umgebung)
- State (veränderlicher Zustand)
- Writer (Logging)
- Cont (Continuations)
- ...



Parser-Aktionen

Parser für Perl-Bezeichner (z.B. \$foo, @bar123):

```
perlBezeichner :: Parser String
perlBezeichner = do
    sigil <- oneOf "$@%&"
    name   <- many alphaNum
    return (sigil : name)
```

Dabei verwendete Funktionen aus
Parser-Bibliothek:

```
oneOf      :: [Char] -> Parser Char
alphaNum :: Parser Char
many       :: Parser a -> Parser [a]
```



Bedarfsauswertung

```
-- 100. Zeile aus Datei ausgeben
main = do
    daten <- readFile "große-datei.txt"
    print (lines daten !! 99)
```



Bedarfsauswertung

```
-- 100. Zeile aus Datei ausgeben
main = do
    daten <- readFile "große-datei.txt"
    print (lines daten !! 99)
```

- Auswertung von Ausdrücken erst dann, wenn Ergebnisse wirklich benötigt
- Wegabstraktion des Speicherkonzepts!
- Somit Fähigkeit für unendliche Datenstrukturen:
Potenzreihen, Zeitreihen,
Entscheidungsbäume, ...



Bedarfsauswertung (Forts.)

```
natürlicheZahlen = [1..]  
-- natürlicheZahlen == [1,2,3,4,...]
```



Bedarfsauswertung (Forts.)

```
natürlicheZahlen = [1..]
-- natürlicheZahlen == [1,2,3,4,...]
```

```
ungeradeZahlen = filter odd [1..]
-- ungeradeZahlen == [1,3,5,7,...]
```



Bedarfsauswertung (Forts.)

```
natürlicheZahlen = [1..]
-- natürlicheZahlen == [1,2,3,4,...]
```

```
ungeradeZahlen = filter odd [1..]
-- ungeradeZahlen == [1,3,5,7,...]
```

```
fibs = 0 : 1 : zipWith (+) fibs (tail fibs)
-- fibs == [0,1,1,2,3,5,8,13,21,34,...]
```



QuickCheck

```
# Perl
is(sqrt(0), 0, "sqrt(0) ist ok");
is(sqrt(1), 1, "sqrt(1) ist ok");
is(sqrt(4), 2, "sqrt(4) ist ok");
is(sqrt(9), 3, "sqrt(9) ist ok");
is(sqrt(16), 4, "sqrt(16) ist ok");
...; # ??
```



QuickCheck

```
# Perl
is(sqrt(0), 0, "sqrt(0) ist ok");
is(sqrt(1), 1, "sqrt(1) ist ok");
is(sqrt(4), 2, "sqrt(4) ist ok");
is(sqrt(9), 3, "sqrt(9) ist ok");
is(sqrt(16), 4, "sqrt(16) ist ok");
...; # ??
```

```
-- Haskell mit QuickCheck
propSqrt :: Double -> Bool
propSqrt x =
    sqrt (x * x) == x
```



QuickCheck (Forts.)

```
propSqrt :: Double -> Bool  
propSqrt x = sqrt (x * x) == x
```

```
ghci> quickCheck propSqrt  
Falsifiable, after 6 tests:  
-4
```



QuickCheck (Forts.)

```
propSqrt :: Double -> Bool  
propSqrt x = sqrt (x * x) == x
```

```
ghci> quickCheck propSqrt  
Falsifiable, after 6 tests:  
-4
```

```
propSqrt' :: Double -> Bool  
propSqrt' x = sqrt (x * x) == abs x
```

```
ghci> quickCheck propSqrt'  
OK, passed 100 tests.
```



QuickCheck (Forts.)

- Spezifikationsüberprüfung durch zufällig generierte Stichproben
- Enorm hilfreich!



QuickCheck (Forts.)

- Spezifikationsüberprüfung durch zufällig generierte Stichproben
 - Enorm hilfreich!
-
- Implementierung durch Typklasse:

```
class Arbitrary a where
    arbitrary :: Gen a
```
 - Instanzen von `Arbitrary` nicht nur für primitive, sondern automatisch auch für zusammengesetzte Typen



Paketarchiv Hackage

- Entstehung 2007, mittlerweile 2400⁺ Pakete
- Installationswerkzeug cabal-install

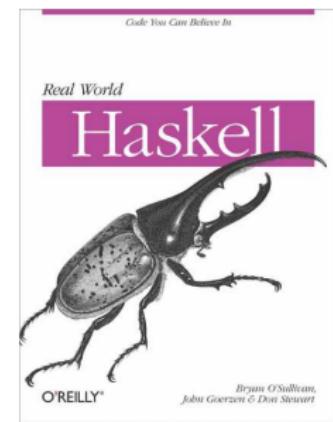
ai algorithms bioinformatics codec compilers
concurrency console control cryptography data
database datastructures debug
development distributedcomputing distribution
failure ffi foreign frp game generics graphics gui
hardware interpreters language math monads
music network nlp numerical parsing sound
system testing text theoremprovers userinterfaces
utils web xml

Größere Anwendungen

- Glasgow Haskell Compiler (GHC)
- darcs, verteiltes Versionskontrollsysteem
- xmonad, „tiling“ Fenstermanager
- Pugs, Perl-6-Prototyp
- Cryptol, Sprache für Kryptographie
- Criterion, Benchmarktoolkit



- <http://haskell.org/>
- zum Herumspielen im Browser:
<http://tryhaskell.org/>
- interaktive Haskell-Shell:
\$ apt-get install ghc6
\$ ghci
- <http://learnyouahaskell.com/>
- Buch: Real World Haskell, O'Reilly
- Teile dieses Vortrags inspiriert von einem Vortrag von Audrey Tang:
<http://feather.perl6.nl/~audreyt/osdc/haskell.xul>





Thank You,
Thank You,

► Bonusfolien



Bonusfolien

5 Details zum Typsystem

- Typklassen
- Benutzerdefinierte Datentypen
- Umgang mit fehlenden Werten

6 Foreign Function Interface

7 Nebenläufigkeit

- Software Transactional Memory
- Data Parallel Haskell

8 Bildquellen



Typklassen (= Schnittstellen, Rollen)

- Typklassen für ad-hoc Polymorphismus:

```
add37 x = x + 37  
-- Bsp.: add37 5 == 42
```

Typklassen (= Schnittstellen, Rollen)

- Typklassen für ad-hoc Polymorphismus:

```
add37 :: a -> a
```

```
add37 x = x + 37
```

```
-- Bsp.: add37 5 == 42
```

Typklassen (= Schnittstellen, Rollen)

- Typklassen für ad-hoc Polymorphismus:

```
add37 :: (Num a) => a -> a
```

```
add37 x = x + 37
```

```
-- Bsp.: add37 5 == 42
```

Typklassen (= Schnittstellen, Rollen)

- Typklassen für ad-hoc Polymorphismus:

```
add37 :: (Num a) => a -> a
```

```
add37 x = x + 37
```

```
-- Bsp.: add37 5 == 42
```

```
min x y = if x <= y then x else y
```

```
-- Bsp.: min 19 17 == 17
```

Typklassen (= Schnittstellen, Rollen)

■ Typklassen für ad-hoc Polymorphismus:

```
add37 :: (Num a) => a -> a
```

```
add37 x = x + 37
```

```
-- Bsp.: add37 5 == 42
```

```
min :: (Ord a) => a -> a -> a
```

```
min x y = if x <= y then x else y
```

```
-- Bsp.: min 19 17 == 17
```

Typklassen (= Schnittstellen, Rollen)

■ Typklassen für ad-hoc Polymorphismus:

```
add37 :: (Num a) => a -> a
```

```
add37 x = x + 37
```

```
-- Bsp.: add37 5 == 42
```

```
min :: (Ord a) => a -> a -> a
```

```
min x y = if x <= y then x else y
```

```
-- Bsp.: min 19 17 == 17
```

■ Deklaration:

```
class Num a where
```

```
    (+) :: a -> a -> a
```

```
    (-) :: a -> a -> a
```

```
    (*) :: a -> a -> a
```

```
    ...
```

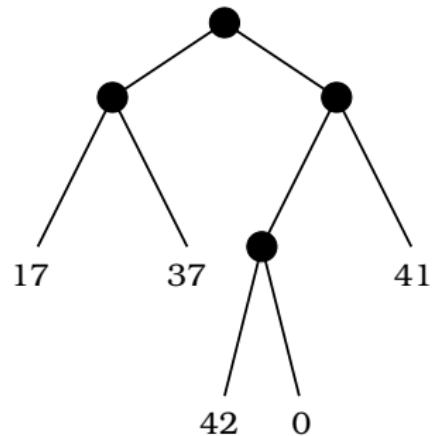
Benutzerdefinierte Datentypen

```
data Tree = Leaf Int | Fork Tree Tree
```

Konstruktoren:

Leaf :: Int \rightarrow Tree und

Fork :: Tree \rightarrow Tree \rightarrow Tree



Benutzerdefinierte Datentypen

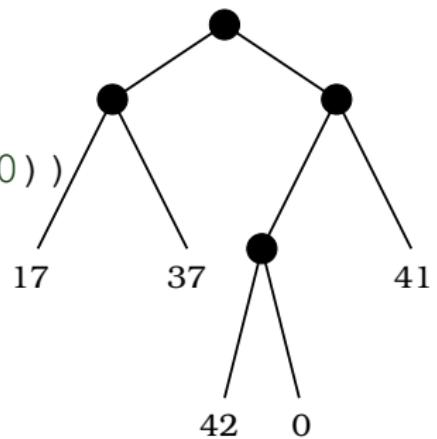
```
data Tree = Leaf Int | Fork Tree Tree
```

Konstruktoren:

Leaf :: Int -> Tree und

Fork :: Tree -> Tree -> Tree

```
beispielBaum = Fork  
  (Fork (Leaf 17) (Leaf 37))  
  (Fork  
    (Fork (Leaf 42) (Leaf 0))  
    (Leaf 41))
```



Benutzerdefinierte Datentypen

```
data Tree = Leaf Int | Fork Tree Tree
```

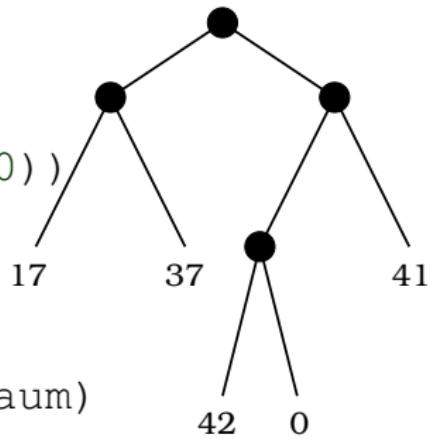
Konstruktoren:

Leaf :: Int -> Tree und

Fork :: Tree -> Tree -> Tree

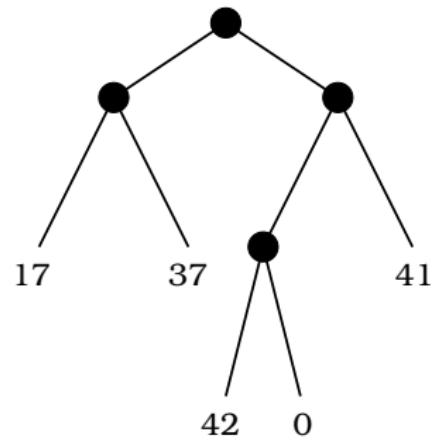
```
beispielBaum = Fork
  (Fork (Leaf 17) (Leaf 37))
  (Fork
    (Fork (Leaf 42) (Leaf 0))
    (Leaf 41))
```

```
komischerBaum = Fork
  (Fork (Leaf 23) komischerBaum)
```



Benutzerdefinierte Datentypen (Forts.)

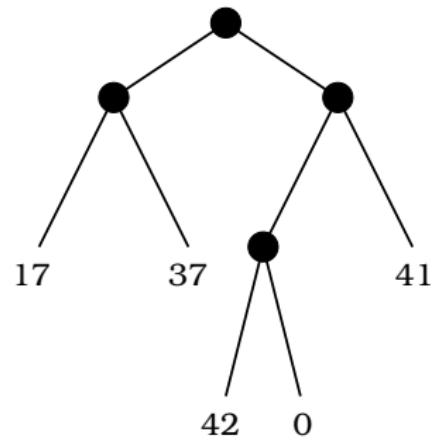
```
data Tree    = Leaf Int | Fork Tree Tree
```



Benutzerdefinierte Datentypen (Forts.)

```
data Tree = Leaf Int | Fork Tree Tree
```

```
data Tree a = Leaf a | Fork (Tree a) (Tree a)
```



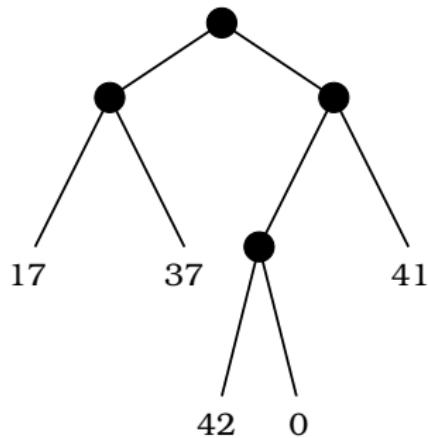
Benutzerdefinierte Datentypen (Forts.)

```
data Tree = Leaf Int | Fork Tree Tree
```

```
data Tree a = Leaf a | Fork (Tree a) (Tree a)
```

-- Gesamtzahl Blätter zählen

```
size :: Tree a -> Integer
size (Leaf _) = 1
size (Fork links rechts) =
    size links + size rechts
```



Benutzerdefinierte Datentypen (Forts.)

```
data Tree = Leaf Int | Fork Tree Tree
```

```
data Tree a = Leaf a | Fork (Tree a) (Tree a)
```

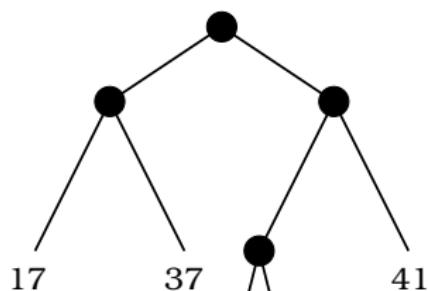
-- Gesamtzahl Blätter zählen

```
size :: Tree a -> Integer
```

```
size (Leaf _) = 1
```

```
size (Fork links rechts) =
```

```
    size links + size rechts
```



-- Blätter inorder als Liste zurückgeben

```
inorder :: Tree a -> [a]
```

```
inorder (Leaf x) = [x]
```

```
inorder (Fork links rechts) =
```

```
    inorder links ++ inorder rechts
```

Umgang mit fehlenden Werten

- „Null References: The Billion Dollar Mistake“ (Tony Hoare)
- In Haskell: Explizite Kennzeichnung von möglicherweise fehlenden Werten durch Maybe-Typen

```
data Maybe a = Nothing | Just a
```

```
lookupFarbe :: String -> Maybe Color
```

```
-- Bsp.:
```

```
lookupFarbe "Simpsons" == Just YELLOW  
lookupFarbe "Simqsons" == Nothing
```



Maybe-Ketten

Anwendbarkeit des syntaktischen Zuckers von Aktionstypen für Maybe:

```
berechneA :: Integer -> Maybe String  
berechneB :: Integer -> Maybe [Double]  
berechneC :: [Double] -> Maybe String
```

```
berechne :: Integer -> Maybe String  
berechne x = do  
    teil1 <- berechneA x  
    teil2 <- berechneB x  
    teil2' <- berechneC teil2  
    return (teil1 ++ teil2)
```

Foreign Function Interface

```
{-# INCLUDE <math.h> #-}  
foreign import ccall unsafe "sin"  
    c_sin :: CDouble -> CDouble
```



- Einbindung von (C-)Bibliotheken
- Keine besondere Handhabung der importierten Funktionen
- Callbacks aus dem C-Code heraus möglich

Nebenläufigkeit

- Aufgabenparallelismus:
Software Transactional Memory ► weiter
- Datenparallelismus:
Data Parallel Haskell ► weiter



Traditionelles Locking

- Schwierigkeiten bei traditionellem Locking:
nichtlokales Denken, Deadlocks, Livelocks,
Prioritätsinversion
- „lock-based programs do not compose“



Traditionelles Locking (Forts.)

```
1 # Perl  
$x->withdraw(3);  
$y->deposit(3);  
# Race Condition!
```



Traditionelles Locking (Forts.)

```
1 # Perl  
$x->withdraw(3);  
$y->deposit(3);  
# Race Condition!  
  
2 $x->lock(); $y->lock();  
$x->withdraw(3);  
$y->deposit(3);  
$y->unlock(); $x->unlock();
```



Traditionelles Locking (Forts.)

1 # Perl
\$x->withdraw(3);
\$y->deposit(3);
Race Condition!

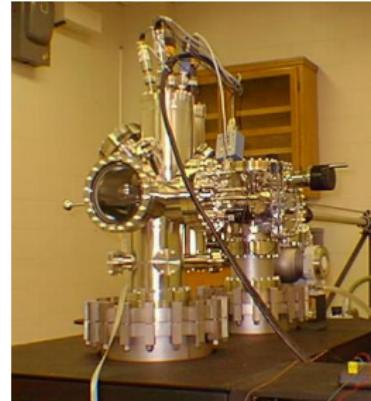
2 \$x->lock(); \$y->lock();
\$x->withdraw(3);
\$y->deposit(3);
\$y->unlock(); \$x->unlock();

3 { \$x->lock(); \$y->lock(); ...; }
vs.
{ \$y->lock(); \$x->lock(); ...; }
Deadlock!



Software Transactional Memory

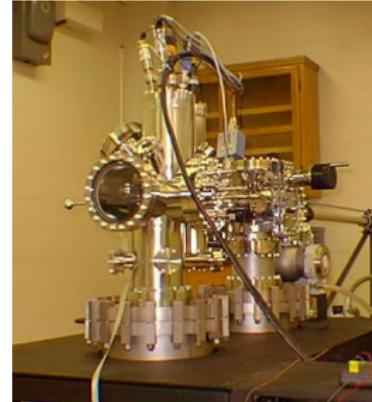
- Transaktionsvorstellung:
Unabhängige, einfädige Ausführung jeder Transaktion
- Implementierung durch Schreiben in temporären Puffer; Commit nur, wenn gelesene Variablen noch unverändert, sonst Neustart
- Vorteile:
keine expliziten Locks,
keine Race Conditions,
Komponierbarkeit



Software Transactional Memory (Forts.)

```
-- Haskell
withdraw :: Account -> Int -> STM ()
deposit  :: Account -> Int -> STM ()

atomically $ do
    withdraw x 3
    deposit  y 3
```



Flat/Nested Data Parallelism

- Flat Data Parallelism:

```
for my $i (1..$N) {  
    work($i);  
}
```

- Parallelisierung durch einfaches Aufteilen der Fälle auf die Prozessoren
- Effizienz verschenkt, wenn `work()` selbst parallel arbeiten könnte!

Data Parallel Haskell

- Umsetzung von Nested Data Parallelism
- Automatische Programmtransformationen:
Flattening (global), Fusion (lokal)
- Wesentliche Abhängigkeit von Haskells reiner Funktionalität

Data Parallel Haskell

- Umsetzung von Nested Data Parallelism
- Automatische Programmtransformationen:
Flattening (global), Fusion (lokal)
- Wesentliche Abhängigkeit von Haskells reiner Funktionalität

```
-- Komponentenweise Vektor-Multiplikation
mulP :: (Num a) => [:a:] -> [:a:] -> [:a:]
mulP xs ys =
  [: x + y | x <- xs | y <- ys :]

-- Skalarprodukt
dotP :: (Num a) => [:a:] -> [:a:] -> a
dotP xs ys = sumP (mulP xs ys)
```

Bildquellen

- <http://betriebsrat.files.wordpress.com/2009/10/zeitungs-logo-standard.jpg>
- http://de.academic.ru/pictures/dewiki/100/dining_philosophers.png
- <http://i.ehow.com/images/a04/8i/g0/show-real-smile-photographs-800x800.jpg>
- http://imgs.xkcd.com/comics/regular_expressions.png
- <http://learnyouahaskell.com/splash.png>
- <http://media.nokrev.com/junk/haskell-logos/logo7.png>
- <http://otierney.net/images/perl6.gif>
- <http://perl.plover.com/yak/presentation/samples/present.gif>
- <http://save-endo.cs.uu.nl/target.png>
- <http://theleftwinger.files.wordpress.com/2010/01/lazy.jpg>
- <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7d/Bug.png>
- http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c6/Metal_movable_type_edit.jpg
- <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d0/Jabberwocky.jpg>
- <http://wordaligned.org/images/the-challenge-of-effects.jpg>
- <http://www.coverbrowser.com/image/oreilly-books/42-1.jpg>
- <http://www.ctri.co.uk/images/cat30.jpg>
- <http://www.darcs.net/logos/logo.png>
- http://www.fos.org.au/custom/files/media/sort_it_cover_300.jpg
- <http://www.galois.com/~dons/images/cloud.png>
- http://www.galois.com/files/Cryptol/Cryptol_logo_image.png
- <http://www.homemortgagerates.us/variable-rates-636.jpg>
- [http:
//www.lakehousecreations.com/images/ThankYou/Thank%20You%202003%20\(12\).jpg](#)
- http://www.luga.de/LUGA_Logo
- <http://www.nataliedee.com/093009/death-is-a-side-effect-of-most-things.jpg>
- http://www.simpsonsline.com/rb/fakten/vorspann/02_kasse.jpg
- http://www.sketchybeast.com/wp-content/uploads/2007/12/input_output.jpg
- <http://www.sopaed-lern.uni-wuerzburg.de/uploads/pics/Pruefung.jpg>
- http://www.wfu.edu/nanotech/Microscopy%20Facility/stm_view.jpg
- <http://www.wishlist.nu/wp-content/uploads/2007/10/gargoyle.jpg>
- <http://xmonad.org/images/logo.png>