

Haskell, eine rein funktionale Programmiersprache

Ingo Blechschmidt
<iblech@web.de>

Augsburg.pm
3. Juni 2014





Fragen zu jeder Zeit willkommen!

Was ist schneller als C++, prägnanter als Perl, regelmäßiger als Python, flexibler als Ruby, typisierter als C#, robuster als Java und hat absolut nichts mit PHP gemeinsam? Es ist Haskell!

Haskell ist eine moderne und innovative Programmiersprache, die sich von bekannten imperativen Sprachen in vielerlei Hinsicht deutlich unterscheidet: Ein Haskell-Programm besteht nicht etwa aus einer Abfolge von auszuführenden Anweisungen, sondern aus einer Ansammlung von Deklarationen, deren Reihenfolge keine Rolle spielt. Auch gibt es keine veränderlichen Variablen, und ausgewertet wird nur, was wirklich benötigt wird; unendliche Datenstrukturen sind möglich und sinnvoll.

Dieses Denkparadigma mag anfangs sehr ungewohnt sein, zieht jedoch eine Reihe von Vorteilen mit sich: Da es keine Nebeneffekte wie beispielsweise globale Variablen gibt, kann man Code rein lokal verstehen. Damit wird es einfacher, modular Komponenten zusammenzubauen, sich Daten-

flüsse klarzumachen und Code auf seine Korrektheit hin zu überprüfen. Insbesondere vereinfacht sich die Programmierung mit Threads enorm.

Ferner ist Haskekls starkes statisches Typsystem eine große Hilfe beim Programmieren und verhindert viel mehr Fehler schon während des Kompilierens, als man vielleicht aus anderen Sprachen gewohnt ist. Es gibt das Motto, dass, wenn Haskell-Code erst einmal erfolgreich durchkompiliert, er dann auch schon korrekt ist. Das ist sicherlich übertrieben, hat aber einen erstaunlich wahren Kern.

Der Vortrag wird einen subjektiven Überblick über die Fähigkeiten und typischen Anwendungsgebiete von Haskell geben. Beim Erlernen von Haskell lernt man viele neue Herangehensweisen kennen, die auch in anderen Sprachen nützlich sind; das ist einer der Hauptvorteile an Haskell, der auch dann noch relevant ist, wenn man aus verschiedenen Gründen nicht in Haskell programmieren möchte.

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
- Webprogrammierung

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
- REPL



Imperative Sprachen

Kennzeichen imperativer Sprachen:

- Anweisungen
- veränderliche Variablen
- Nebeneffekte

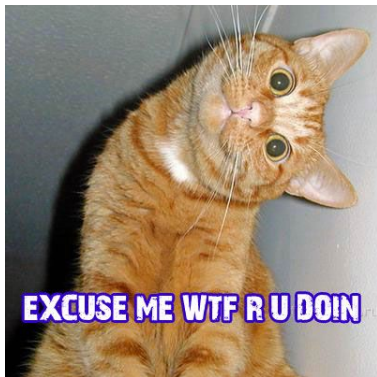


Haskell ist komisch!

Haskell ist rein funktional:

- keine Anweisungen
- keine veränderliche Variablen
- keine Nebeneffekte





EXCUSE ME WTF R U DOIN



ONE DOES NOT SIMPLY

"DO STUFF" IN HASKELL

quickmeme.com

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

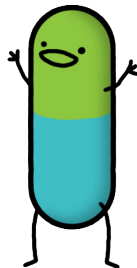
```
# Perl
sub main {
    my $radius      = 42;
    my $quadriert    = $radius ** 2;
    my $flaeche      = $quadriert * pi;
    print $flaeche;
}
```

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



Keine Nebeneffekte

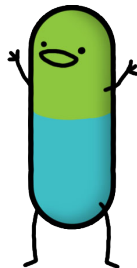
```
# Perl  
my $a = f($x);  
my $b = f($x);  
...;  
# Ist $a == $b?
```



Keine Nebeneffekte

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

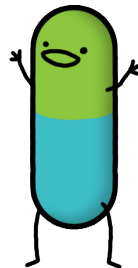
```
-- Haskell
let a = f x
    b = f x
in ...
-- a == b gilt stets.
```



Keine Nebeneffekte

<pre># Perl my \$a = f(\$x); my \$b = f(\$x); ...; # Ist \$a == \$b?</pre>	<pre>-- Haskell let a = f x b = f x in ... -- a == b gilt stets.</pre>
--	--

- 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.

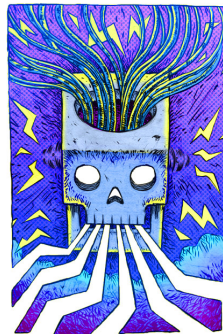
```
print (getLine ++ getLine)
```


Keine Eingabe/Ausgabe

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

vs.

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



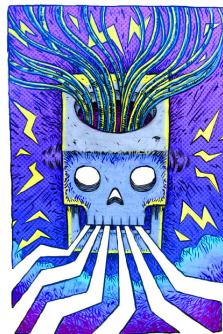
Keine Eingabe/Ausgabe

```
-- 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)



- Mit `let` werden nur Abkürzungen eingeführt.
- Die linke Seite einer solchen Zuweisung darf man daher überall durch die rechte ersetzen.
- Bei dem angegebenen Beispiel mit `getLine` wäre diese Erwartung verletzt.
- Zum Glück werden aber beide Code-Schnipsel wegen eines Typfehlers vom Compiler abgelehnt.
- Die Ausführung von Aktionen muss man in Haskell *explizit* angeben.

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 ]

```



A joint publication from the Telecommunications Industry Organisation and Financial Ombudsman Service

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:

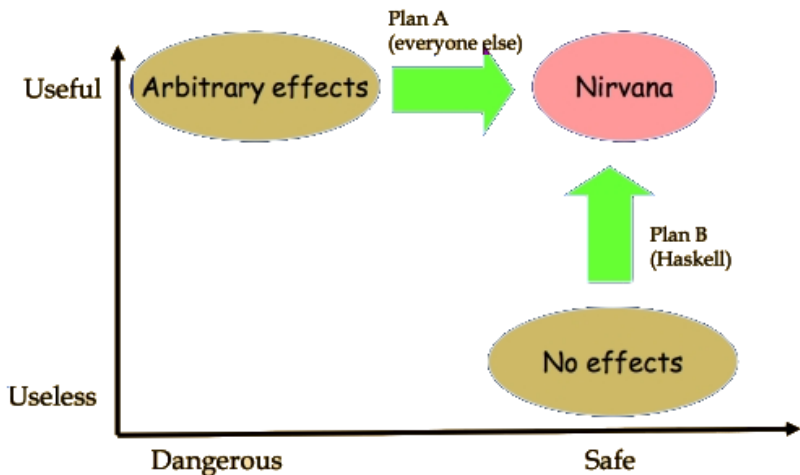
```
getLine  :: IO String
putStr   :: String  -> IO ()
readFile :: FilePath -> IO String
```

- 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
- Maybe (Behandlung von Fehlerfällen)
- Reader (vererbende Umgebung)
- State (veränderlicher Zustand)
- Writer (Logging)
- Listen für Nichtdeterminismus und Logikprogrammierung
- Cont (Continuations)
- ...



- Das Fachwort für Aktionen ist *Monaden*.
- In der Kategorientheorie, einem abstrakten Teilgebiet der Mathematik, waren Monaden schon seit etwa den 1950er Jahren bekannt.
- In die Informatik kamen sie hauptsächlich durch einen wegweisenden Artikel von Eugenio Moggi im Jahr 1991.
- Funktionen können auch *polymorph* in der Monade sein, wenn sie keine Besonderheiten einer bestimmten Monade ausnutzen.
- Monadische Werte sind wie andere Werte auch *first-class*, können also etwa in Datenstrukturen gespeichert werden.

```
main = sequence_ [putStrLn "abc", putStrLn "def"]
```

```
-- aus der Standardbibliothek
sequence_ :: (Monad m) => [m a] -> m ()
sequence_ []      = return ()
sequence_ (x:xs) = do
    x
    sequence_ xs
-- oder: sequence_ (x:xs) = x >> sequence_ xs
```

State-Aktionen

- Veränderlicher Zustand kann man dadurch emulieren, indem man ihn explizit durchfädelt:

```
-- Zustand von irgendeinem Typ St.  
foo :: St -> Integer -> (St, Double)  
bar :: St -> Double   -> (St, String)  
  
baz :: St -> Integer -> (St, String)  
baz s x =  
    let (s', y) = foo s x  
        (s'', z) = bar s' y  
    in  (s'', z)
```

- Das ist aber umständlich und fehleranfällig (wenn man aus Versehen alten Zustand wiederverwendet).

State-Aktionen (Forts.)

- Eleganter geht es mit der State-Aktion:

```
import Control.Monad.State

foo :: Integer -> State St Double
bar :: Double   -> State St String

baz :: Integer -> State St String
baz x = do
    y <- foo x
    z <- bar y
    return z
-- oder: baz x = foo x >>= bar
```

- Ein Wert vom Typ `State s a` ist eine Aktion, die einen Wert vom Typ `a` berechnet und als Nebeneffekt eine Zustandsvariable vom Typ `s` verändert.
- `get :: State s s`
- `put :: s -> State s ()`
- `evalState :: State s a -> s -> a`

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



Bedarfsauswertung (Forts.)

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

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



Bedarfsauswertung (Forts.)

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

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

```
fibs = 0 : 1 : zipWith (+) fibs (tail 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



Webprogrammierung

- Wieso Haskell fürs Web?
Effizienz, Sicherheit & die üblichen Vorteile
- Webframeworks: Happstack, Snap, Yesod
- Leichtgewichtige Threads, asynchrone IO
- Minimalbeispiel:

```
mainLoop sock = forever $ do
    conn <- accept sock
    forkIO $ runConn conn
```

http://www.haskell.org/haskellwiki/Implement_a_chat_server

Paketarchiv Hackage

- Entstehung 2007, mittlerweile 7000⁺ Pakete
- Installationswerkzeug cabal-install

A word cloud representing various Haskell package categories. The words are in shades of blue and arranged in a non-uniform, overlapping manner. The most prominent words are 'data', 'development', 'language', 'network', 'text', 'game', 'graphics', 'control', 'database', 'concurrency', 'algorithms', 'bioinformatics', 'codecs', 'compilers', 'cryptology', 'datastructures', 'distributed computing', 'distribution', 'failure', 'ffi', 'foreign', 'frp', 'generics', 'gui', 'hardware', 'interpreters', 'math', 'monads', 'music', 'nlp', 'numerical', 'parsing', 'sound', 'system', 'testing', 'theorem provers', 'user interfaces', 'utils', and 'web'. The word 'web' is at the bottom left, 'system' is to its left, 'text' is to its right, 'testing' is between 'system' and 'text', 'theorem provers' is to the right of 'text', 'user interfaces' is to the right of 'theorem provers', 'sound' is to the right of 'parsing', 'numerical' is to the right of 'nlp', 'network' is to the right of 'music', 'interpreters' is to the right of 'hardware', 'game' is to the right of 'foreign', 'generics' is to the right of 'frp', 'gui' is to the right of 'graphics', 'distribution' is to the right of 'distributed computing', 'datastructures' is to the right of 'database', 'cryptology' is to the right of 'concurrency', 'control' is to the right of 'console', 'algorithms' is to the right of 'ai', 'bioinformatics' is to the right of 'algorithms', 'codecs' is to the right of 'bioinformatics', and 'compilers' is to the right of 'codecs'.

Größere Anwendungen

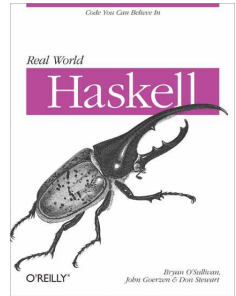
- Glasgow Haskell Compiler (GHC)
- darcs, verteiltes Versionskontrollsystem
- xmonad, „tiling“ Fenstermanager
- Pugs, Perl-6-Prototyp
- Cryptol, Sprache für Kryptographie
- Criterion, Benchmarktoolkit



- <http://haskell.org/>
- zum Herumspielen im Browser:
<http://tryhaskell.org/>
- interaktive Haskell-Shell:

```
$ apt-get install ghc  
$ 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>





► Bonusfolien

*Thank You,
Thank You,*



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
    ...
```

- Keine impliziten Casts zwischen `Integer`, `Float`, `Double`, ...
- Aber: Zahlliterale sind automatisch von dem Typ, den der Kontext erwartet.
- `7` ist syntaktischer Zucker für `fromInteger 7`:
`fromInteger :: (Num a) => Integer -> a`
- So ist etwa `x + 7` auch für `x :: Double` okay.
- Für Casts müssen weder Quell- noch Zieltyp angegeben werden:

```
fromIntegral :: (Integral a, Num b) => a -> b
```

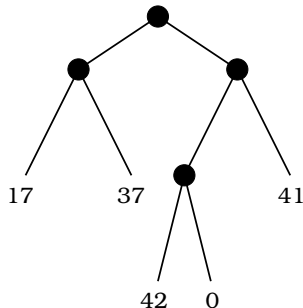
Benutzerdefinierte Datentypen

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

Konstruktoren:

Leaf :: Int -> Tree **und**

Fork :: Tree -> Tree -> Tree



Benutzerdefinierte Datentypen

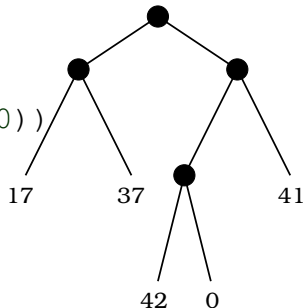
```
data Tree = Leaf Int | Fork Tree Tree
```

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
```

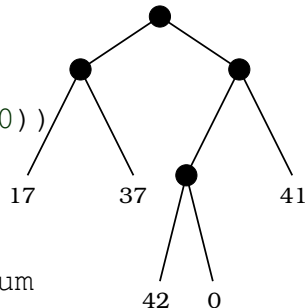
Konstruktoren:

Leaf :: Int -> Tree **und**

Fork :: Tree -> Tree -> Tree

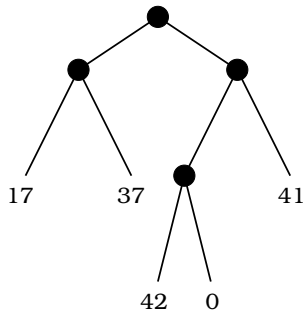
```
beispielBaum = Fork  
  (Fork (Leaf 17) (Leaf 37))  
  (Fork  
    (Fork (Leaf 42) (Leaf 0))  
    (Leaf 41))
```

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



Benutzerdefinierte Datentypen (Forts.)

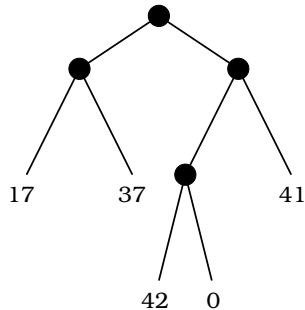
```
data Tree = Leaf Int | Fork Tree Tree
```



Benutzerdefinierte Datentypen (Forts.)

~~data Tree = Leaf Int | Fork Tree Tree~~

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

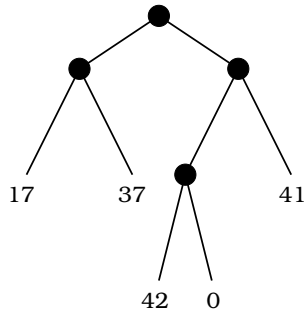


Benutzerdefinierte Datentypen (Forts.)

```
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
```

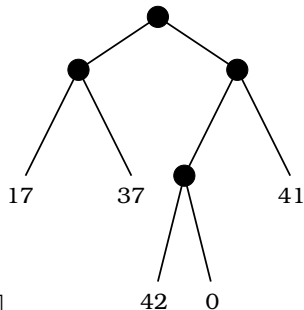
```
size (Fork links rechts) =  
    size links + size rechts
```

```
-- Blätter 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.

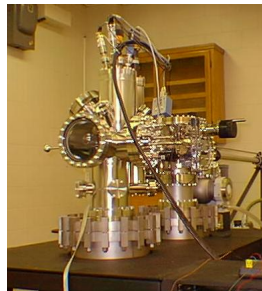
```
{ $y->lock(); $x->lock(); ...; }
```

```
# Deadlock!
```



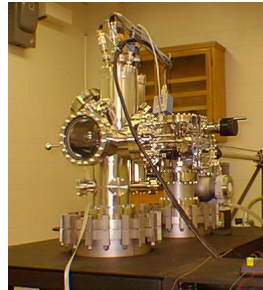
Software Transactional Memory

- 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 Haskell's reiner Funktionalität

Data Parallel Haskell

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

```
-- Komponentenweise Vektor-Addition
```

```
addP :: (Num a) => [a] -> [a] -> [a]  
addP xs ys =  
    [ x + y | x <- xs | y <- ys ]
```

```
-- Skalarprodukt
```

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

Bildquellen

- <http://betrlebsrat.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.lakehousecreations.com/images/ThankYou/Thank%20You%202003%20(12).jpg)
- <http://www.nataliedee.com/093009/death-is-a-side-effect-of-most-things.jpg>
- <http://www.quickmeme.com/img/bd/bdb89c032c3c7c09a86897422bf3bd32a0bb65731c7fd38ba5ea67741621ad35.jpg>
- http://www.simpsonsonline.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>