



## Stichting NIOC en de NIOC kennisbank

Stichting NIOC ([www.nioc.nl](http://www.nioc.nl)) stelt zich conform zijn statuten tot doel: het realiseren van congressen over informatica onderwijs en voorts al hetgeen met een en ander rechtstreeks of zijdelings verband houdt of daartoe bevorderlijk kan zijn, alles in de ruimste zin des woords.

De stichting NIOC neemt de archivering van de resultaten van de congressen voor zijn rekening. De website [www.nioc.nl](http://www.nioc.nl) ontsluit onder "Eerdere congressen" de gearchiveerde websites van eerdere congressen. De vele afzonderlijke congresbijdragen zijn opgenomen in een kennisbank die via dezelfde website onder "NIOC kennisbank" ontsloten wordt.

Op dit moment bevat de NIOC kennisbank alle bijdragen, incl. die van het laatste congres (NIOC2023, gehouden op donderdag 30 maart 2023 jl. en georganiseerd door NHL Stenden Hogeschool). Bij elkaar bijna 1500 bijdragen!

We roepen je op, na het lezen van het document dat door jou is gedownload, de auteur(s) feedback te geven. Dit kan door je te registreren als gebruiker van de NIOC kennisbank. Na registratie krijg je bericht hoe in te loggen op de NIOC kennisbank.

Het eerstvolgende NIOC vindt plaats op donderdag 27 maart 2025 in Zwolle en wordt dan georganiseerd door Hogeschool Windesheim. Kijk op [www.nioc2025.nl](http://www.nioc2025.nl) voor meer informatie.

Wil je op de hoogte blijven van de ontwikkeling rond Stichting NIOC en de NIOC kennisbank, schrijf je dan in op de nieuwsbrief via

[www.nioc.nl/nioc-kennisbank/aanmelden-nieuwsbrief](http://www.nioc.nl/nioc-kennisbank/aanmelden-nieuwsbrief)

Reacties over de NIOC kennisbank en de inhoud daarvan kun je richten aan de beheerder:

R. Smedinga [kennisbank@nioc.nl](mailto:kennisbank@nioc.nl).

Vermeld bij reacties jouw naam en telefoonnummer voor nader contact.

# Functioneel programmeren met Helium



Bastiaan Heeren en Daan Leijen  
{bastiaan,daan}@cs.uu.nl  
Universiteit Utrecht

NIOC 2004, Groningen, 3 november.

- ▶ Functioneel programmeren
  - Haskell
  - Type inferentie
  - Nieuwe datatypes
  - Haskell in het onderwijs
  
- ▶ De Helium Compiler
  - Foutmeldingen en waarschuwingen
  - Registratiesysteem
  - Type inferentie directieven
  - wxHaskell

# Functioneel Programmeren

- ▶ *Imperatieve* programmeertalen
  - bijvoorbeeld: C, Java, Pascal, en Ada
  - een reeks commando's, uitgevoerd in een strikte volgorde
- ▶ *Functionele* programmeertalen
  - bijvoorbeeld: Haskell, Standard ML, Caml, Clean, en Erlang
  - één expressie, welke wordt geëvalueerd
  - andere voorbeelden: spreadsheets en SQL
- ▶ Het grote verschil: *wat* in plaats van *hoe*
- ▶ Volgorde van evaluatie is onbekend, dus geen assignment

# Haskell

- ▶ Een polymorf getypeerde, lazy, puur functionele programmeertaal
- ▶ Vernoemd naar Haskell Brooks Curry (wiskundige logicus)
- ▶ Gebaseerd op de lambda calculus



- ▶ Voordelen:
  - Hogere productiviteit (factor 9-25, Ericsson)
  - Code is korter, duidelijker, en beter onderhoudbaar (factor 2-10)
  - Minder fouten, grotere betrouwbaarheid (geen core dumps)
  - Zeer geschikt voor domein specifieke problemen
  - Kortere *lead times*
- ▶ Nadelen:
  - Minder snel dan bijvoorbeeld C
  - Vereist een ander perspectief op programmeren

# Faculteitsfunctie in Java (iteratief)

```
class Fac
{
    public static void main(String ps[])
    {
        System.out.println(fac(10));
    }
    public static int fac (int n)
    {
        int total = 1;
        for (int i=1; i<=n; i++)
        {
            total = total * i;
        }
        return total;
    }
}
```

# Faculteitsfunctie in Haskell

- ▶ Een recursieve definitie:

```
fac n = if n==0 then 1 else n * fac (n-1)
```

# Faculteitsfunctie in Haskell

- ▶ Een recursieve definitie:

```
fac n = if n==0 then 1 else n * fac (n-1)
```

- ▶ ... of een definitie met patronen:

```
fac 0 = 1  
fac n = n * fac (n-1)
```



# Faculteitsfunctie in Haskell

- ▶ Een recursieve definitie:

```
fac n = if n==0 then 1 else n * fac (n-1)
```

- ▶ ... of een definitie met patronen:

```
fac 0 = 1  
fac n = n * fac (n-1)
```

- ▶ ... of gebruik standaard functies:

```
fac n = product [1..n]
```

# Faculteitsfunctie in Haskell

- ▶ Een recursieve definitie:

```
fac n = if n==0 then 1 else n * fac (n-1)
```

- ▶ ... of een definitie met patronen:

```
fac 0 = 1  
fac n = n * fac (n-1)
```

- ▶ ... of gebruik standaard functies:

```
fac n = product [1..n]
```

- ▶ ... of met een *hogere orde* functie:

```
fac n = foldr (*) 1 [1..n]
```

# Faculteitsfunctie in Haskell

- ▶ Een recursieve definitie:

```
fac n = if n==0 then 1 else n * fac (n-1)
```

- ▶ ... of een definitie met patronen:

```
fac 0 = 1  
fac n = n * fac (n-1)
```

- ▶ ... of gebruik standaard functies:

```
fac n = product [1..n]
```

- ▶ ... of met een *hogere orde* functie:

```
fac n = foldr (*) 1 [1..n]
```

- ▶ ... of voor de echte hacker:

```
fac = foldr (*) 1 . enumFromTo 1
```

# Redeneren over expressies

```
kwadraat x = x * x
```

- ▶ Omdat er geen side-effects kunnen optreden, kunnen we redeneren over expressies die gebruik maken van de functie `kwadraat`.

```
kwadraat (4 + 4) = kwadraat 8  
                 = 8 * 8  
                 = 64
```

# Redeneren over expressies

```
kwadraat x = x * x
```

- ▶ Omdat er geen side-effects kunnen optreden, kunnen we redeneren over expressies die gebruik maken van de functie `kwadraat`.

```
kwadraat (4 + 4) = kwadraat 8
                  = 8 * 8
                  = 64
```

- ▶ Maar ook:

```
kwadraat (4 + 4) = (4 + 4) * (4 + 4)
                  = 8 * (4 + 4)
                  = 8 * 8
                  = 64
```

- ▶ Door het ontbreken van side-effects krijgen we referentiële transparantie. Hiermee kunnen we gelijkheid tussen expressies aantonen.
- ▶ De waarde van een expressie wordt alleen uitgerekend als deze nodig is (*lazy*).

# Type inferentie

- ▶ Haskell is sterk getypeerd: aan elke expressie wordt een type toegekend (tijdens het compileren), zonder dat er type annotaties nodig zijn.

```
4           :: Int
(+)        :: Int -> Int -> Int
product    :: [Int] -> Int
kwadraat   :: Int -> Int
```

# Type inferentie

- ▶ Haskell is sterk getypeerd: aan elke expressie wordt een type toegekend (tijdens het compileren), zonder dat er type annotaties nodig zijn.

```
4           :: Int
(+)         :: Int -> Int -> Int
product    :: [Int] -> Int
kwadraat   :: Int -> Int
```

- ▶ En dus ook:

```
kwadraat (4 + 4) :: Int
```

- ▶ Type inferentie voorkomt vele programmeerfouten.
- ▶ Milner (1978): “Well-typed programs cannot go wrong”
- ▶ Maar wat is dan het type voor bijvoorbeeld functie compositie?

# Polymorfie

$$(f \ . \ g) \ x = f \ (g \ x)$$

► Oplossing 1:

$$(\cdot) \ :: \ (Int \ \rightarrow \ Int) \ \rightarrow \ (Int \ \rightarrow \ Int) \ \rightarrow \ (Int \ \rightarrow \ Int)$$

Dit is geen goed idee, want:

$$f = \text{kwadraat} \ . \ (+1)$$

ok

$$g = (>10) \ . \ \text{kwadraat}$$

fout?



# Polymorfie

$$(f \ . \ g) \ x = f \ (g \ x)$$

## ► Oplossing 1:

$$(\cdot) \ :: \ (\text{Int} \ \rightarrow \ \text{Int}) \ \rightarrow \ (\text{Int} \ \rightarrow \ \text{Int}) \ \rightarrow \ (\text{Int} \ \rightarrow \ \text{Int})$$

Dit is geen goed idee, want:

$$f = \text{kwadraat} \ . \ (+1)$$

ok

$$g = (>10) \ . \ \text{kwadraat}$$

fout?

## ► Oplossing 2: subtype polymorfie

$$(\cdot) \ :: \ (\text{Obj} \ \rightarrow \ \text{Obj}) \ \rightarrow \ (\text{Obj} \ \rightarrow \ \text{Obj}) \ \rightarrow \ (\text{Obj} \ \rightarrow \ \text{Obj})$$

Werkt in dit geval ook niet, want:

$$g = (>10) \ . \ \text{kwadraat}$$

ok

$$h = \text{kwadraat} \ . \ (>10)$$

ok?

# Polymorfie

$$(f \ . \ g) \ x = f \ (g \ x)$$

► Oplossing 3: parametrische polymorfie

$$(\cdot) \ :: \ (b \ \rightarrow \ c) \ \rightarrow \ (a \ \rightarrow \ b) \ \rightarrow \ (a \ \rightarrow \ c)$$



# Nieuwe datatypes introduceren

► Een boom is...

- een blad met een expressie van het type `Int`
- of een tak met twee deelbomen

```
data IntBoom = Blad Int
              | Tak IntBoom IntBoom
```

De types van de twee *constructoren* zijn:

```
Blad  :: Int -> IntBoom
Tak   :: IntBoom -> IntBoom -> IntBoom
```

# Nieuwe datatypes introduceren

## ► Een boom is...

- een blad met een expressie van het type `Int`
- of een tak met twee deelbomen

```
data IntBoom = Blad Int
              | Tak IntBoom IntBoom
```

De types van de twee *constructoren* zijn:

```
Blad :: Int -> IntBoom
Tak  :: IntBoom -> IntBoom -> IntBoom
```

## ► Een voorbeeld:

```
boompje = Tak (Blad (3 + 4))
           (Tak (Blad (5 * 5)) (Blad 6))
```

# Een algemenere oplossing

```
data Boom a = Blad a
             | Tak (Boom a) (Boom a)
```

► De types van de twee *constructoren* zijn nu polymorf:

```
Blad :: a -> Boom a
```

```
Tak  :: Boom a -> Boom a -> Boom a
```

# Een algemenere oplossing

```
data Boom a = Blad a
             | Tak (Boom a) (Boom a)
```

- ▶ De types van de twee *constructoren* zijn nu polymorf:

```
Blad :: a -> Boom a
```

```
Tak  :: Boom a -> Boom a -> Boom a
```

- ▶ Natuurlijk kunnen we (inductieve) functies definiëren over bomen:

```
som (Blad n)      = n
```

```
som (Tak b1 b2)  = som b1 + som b2
```

```
diepte (Blad n)   = 0
```

```
diepte (Tak b1 b2) = 1 + max (diepte b1) (diepte b2)
```

# Een algemenere oplossing

```
data Boom a = Blad a
             | Tak (Boom a) (Boom a)
```

- ▶ De types van de twee *constructoren* zijn nu polymorf:

```
Blad :: a -> Boom a
```

```
Tak  :: Boom a -> Boom a -> Boom a
```

- ▶ Natuurlijk kunnen we (inductieve) functies definiëren over bomen:

```
som (Blad n)      = n
```

```
som (Tak b1 b2) = som b1 + som b2
```

```
diepte (Blad n)   = 0
```

```
diepte (Tak b1 b2) = 1 + max (diepte b1) (diepte b2)
```

```
som      :: Boom Int -> Int
```

```
diepte   :: Boom a   -> Int
```



# Haskell in het onderwijs

- ▶ Haskell is geschikt voor het onderwijs, want:
  - Elegante syntax, die lijkt op standaard wiskunde.
  - De nadruk ligt op *wat*, en minder op *hoe*.
  - De taal is puur, dus kunnen we equationeel redeneren over expressies.
  - Vele fouten worden vroegtijdig afgevangen.
  - Het type van een expressie kan automatisch worden afgeleid.
  - Polymorfie is een natuurlijk concept om *algemene* functies te beschrijven, wat bovendien het hergebruik van code bevordert.
  - Nieuwe algebraïsche datatypes kunnen eenvoudig worden toegevoegd.

# Haskell in het onderwijs

- ▶ Haskell is geschikt voor het onderwijs, want:
  - Elegante syntax, die lijkt op standaard wiskunde.
  - De nadruk ligt op *wat*, en minder op *hoe*.
  - De taal is puur, dus kunnen we equationeel redeneren over expressies.
  - Vele fouten worden vroegtijdig afgevangen.
  - Het type van een expressie kan automatisch worden afgeleid.
  - Polymorfie is een natuurlijk concept om *algemene* functies te beschrijven, wat bovendien het hergebruik van code bevordert.
  - Nieuwe algebraïsche datatypes kunnen eenvoudig worden toegevoegd.
- ▶ Helaas rapporteren Haskell compilers vaak cryptische foutmeldingen. Voor veel studenten is dit een serieuze belemmering om de taal (en de achterliggende concepten) te doorgronden.

# Cryptische foutmeldingen

- ▶ Een kleine denkfout kan leiden tot een lastig te begrijpen foutmelding.

```
main = xs : [4, 5, 6]
      where len = length xs
            xs   = [1, 2, 3]
```

- ▶ De Hugs interpreter rapporteert het volgende:

```
ERROR "Main.hs":1 - Unresolved top-level overloading
*** Binding           : main
*** Outstanding context : (Num [b], Num b)
```

- ▶ Het is volstrekt onduidelijk hoe de fout opgelost kan worden. De melding biedt weinig ondersteuning.

# Cryptische foutmeldingen

- ▶ Maar de foutmeldingen kunnen nog onduidelijker:

```
ERROR "BigTypeError.hs":6 - Type error in application
*** Expression      : sem_Expr_Lam <$ pKey "\\\" <*> pFoldr1 (sem_LamIds_Cons,sem_Lam
Ids_Nil) pVarid <*> pKey "->"
*** Term           : sem_Expr_Lam <$ pKey "\\\" <*> pFoldr1 (sem_LamIds_Cons,sem_Lam
Ids_Nil) pVarid
*** Type          : [Token] -> [((Type -> Int -> [[Char],(Type,Int,Int)))] -> Int
-> Int -> [(Int,(Bool,Int))] -> (PP_Doc,Type,a,b,[c] -> [Level],[S] -> [S])] -> Type
-> d -> [[Char],(Type,Int,Int)] -> Int -> Int -> e -> (PP_Doc,Type,a,b,f -> f,[S]
-> [S]),[Token]])
*** Does not match : [Token] -> [[Char] -> Type -> d -> [[Char],(Type,Int,Int)]
-> Int -> Int -> e -> (PP_Doc,Type,a,b,f -> f,[S] -> [S]),[Token]])
```

- ▶ Helaas zijn dit soort foutmeldingen geen uitzondering.

# De Helium Compiler

- ▶ In korte tijd ontwikkeld aan de Universiteit Utrecht.
- ▶ Doel: het rapporteren van precieze en gebruikersvriendelijke foutmeldingen om zo het onderwijs in Haskell te ondersteunen.
- ▶ Driemaal ingezet tijdens de introductiecursus Functioneel Programmeren.

# De Helium Compiler

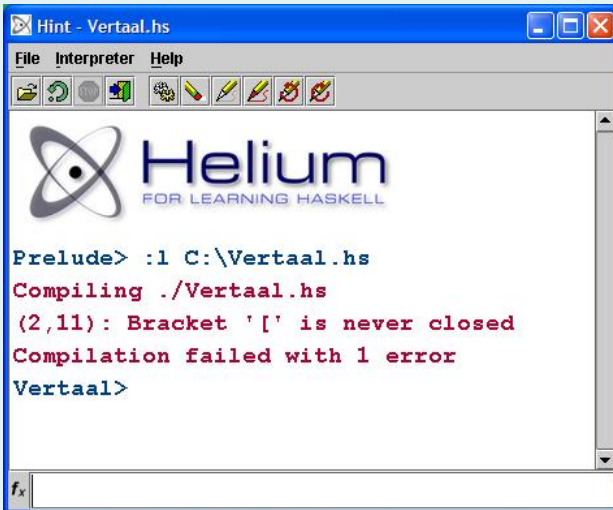
- ▶ In korte tijd ontwikkeld aan de Universiteit Utrecht.
- ▶ Doel: het rapporteren van precieze en gebruikersvriendelijke foutmeldingen om zo het onderwijs in Haskell te ondersteunen.
- ▶ Driemaal ingezet tijdens de introductiecursus Functioneel Programmeren.

Onze aanpak:

- ▶ Het inperken van de taal:
  - Helium ondersteunt bijna volledig (standaard) Haskell.
  - Het opvallendste verschil is het ontbreken van typeklassen.
- ▶ Het ontwerp is afgestemd op het geven van goede foutmeldingen.
- ▶ Helium maakt gebruik van een geavanceerd type systeem dat gebaseerd is op het verzamelen en oplossen van constraints.
- ▶ Anticiperen op veelgemaakte fouten.

# Grafische interpreter

```
vertaal :: [(Int, String)]  
vertaal = [(1, "een"), (2, "twee"), (3, "drie")]
```



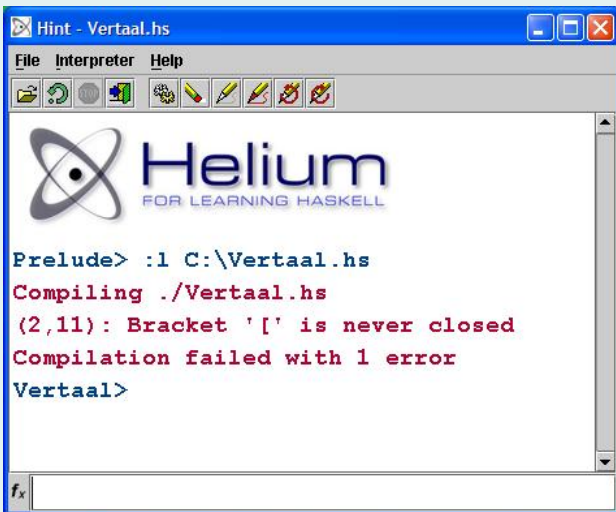
The screenshot shows a window titled "Hint - Vertaal.hs" with a menu bar containing "File", "Interpreter", and "Help". Below the menu is a toolbar with various icons. The main area displays the Helium logo (an atom symbol) and the text "Helium FOR LEARNING HASKELL". The command prompt shows the following interaction:

```
Prelude> :l C:\Vertaal.hs  
Compiling ./Vertaal.hs  
(2,11): Bracket '[' is never closed  
Compilation failed with 1 error  
Vertaal>
```

- ▶ Simpele, maar effectieve, grafische interpreter
- ▶ Exacte positie informatie (voor koppeling met editor)

# Grafische interpreter

```
vertaal :: [(Int, String)]  
vertaal = [(1, "een"), (2, "twee"), (3, "drie")]
```



hugs

```
ERROR "Vertaal.hs":3 - Syntax error in expression  
(unexpected '}', possibly due to bad layout)
```

ghci

```
Vertaal.hs:3: parse error  
(possibly incorrect indentation)
```

- ▶ Simpele, maar effectieve, grafische interpreter
- ▶ Exacte positie informatie (voor koppeling met editor)



# Foutmeldingen

- ▶ Ongedefinieerde variabelen - kortste edit-afstand algoritme

```
maxLengte :: [String] -> Int
maxLengte = maximun (map length xs)
```

```
(2,13): Undefined variable "maximun"
       Hint: Did you mean "maximum" ?
(2,33): Undefined variable "xs"
Compilation failed with 2 errors
```

# Foutmeldingen

- ▶ Ongedefinieerde variabelen - kortste edit-afstand algoritme

```
maxLengte :: [String] -> Int
maxLengte = maximun (map length xs)
```

```
(2,13): Undefined variable "maximun"
      Hint: Did you mean "maximum" ?
(2,33): Undefined variable "xs"
Compilation failed with 2 errors
```

- ▶ Dubbele definities - meerdere locaties worden vermeld

```
f x = ...
...
f x y z = ...
```

```
(1,1), (32,1): Duplicated definition "f"
Compilation failed with 1 error
```

# Waarschuwingen

## ► Functie zonder type signatuur

$$(f \ . \ g) \ x = f \ (g \ x)$$

(2,4): Warning: Missing type signature: `(.) :: (a -> b) -> (c -> a) -> c -> b`

# Waarschuwingen

## ► Functie zonder type signatuur

```
(f . g) x = f (g x)
```

```
(2,4): Warning: Missing type signature: (.) :: (a -> b) -> (c -> a) -> c -> b
```

## ► Verdachte functie compositie

```
test = sin .2
```

```
(1,12): Warning: Function composition (.) immediately followed by number
```

```
Hint: If a Float was meant, write "0.2"
```

```
Otherwise, insert a space for readability
```

# Waarschuwingen

## ► Functie zonder type signatuur

```
(f . g) x = f (g x)
```

```
(2,4): Warning: Missing type signature: (.) :: (a -> b) -> (c -> a) -> c -> b
```

## ► Verdachte functie compositie

```
test = sin .2
```

```
(1,12): Warning: Function composition (.) immediately followed by number
```

```
Hint: If a Float was meant, write "0.2"
```

```
Otherwise, insert a space for readability
```

## ► Verdachte functie definities

```
myFilter :: (a -> Bool) -> [a] -> [a]
myFilter p [] = []
myFilter p (x:xs) =
  if p x then x : myFilter p xs else myFilter p xs
```

```
(2,1), (3,1): Warning: Suspicious adjacent functions "myFilter" and "myFilter"
```

# Waarschuwingen

- ▶ Functie zonder type signatuur

```
(f . g) x = f (g x)
```

```
(2,4): Warning: Missing type signature: (.) :: (a -> b) -> (c -> a) -> c -> b
```

- ▶ Verdachte functie compositie

```
test = sin .2
```

```
(1,12): Warning: Function composition (.) immediately followed by number
```

```
Hint: If a Float was meant, write "0.2"
```

```
Otherwise, insert a space for readability
```

- ▶ Verdachte functie definities

```
myFilter :: (a -> Bool) -> [a] -> [a]
myFilter p [] = []
myFilter p (x:xs) =
  if p x then x : myFilter p xs else myFilter p xs
```

```
(2,1), (3,1): Warning: Suspicious adjacent functions "myFilter" and "myFilter"
```

- ▶ En verder: tab karakter, onvolledige patronen, ongebruikte variabelen, etc.

# Typeringsfouten

- ▶ Type inferentie proces is geformuleerd als een constraint probleem
- ▶ De meest waarschijnlijke fout wordt gerapporteerd
  - Bij twee tegenstrijdige types wordt het aantal locaties vergeleken dat één van beide types ondersteunt.
  - Speciale heuristieken worden ingezet om veelgemaakte fouten te detecteren

```
maakEven :: Int -> Int
maakEven x = if even x then True else x+1
```

```
(2,29): Type error in then branch of conditional
expression      : if even x then True else x + 1
constructor     : True
type            : Bool
does not match : Int
```

# Meer heuristieken

## ► Omdraaien van argumenten

```
(2,9): Type error in application
expression      : map [1 .. 10] even
term            : map
  type          : (a -> b) -> [a]          -> [b  ]
  does not match : [Int]    -> (Int -> Bool) -> [Bool]
probable fix    : re-order arguments
```

```
lijst :: [Bool]
lijst = map [1..10] even
```



# Meer heuristieken

## ► Omdraaien van argumenten

```
(2,9): Type error in application
expression      : map [1 .. 10] even
term            : map
  type          : (a -> b) -> [a]          -> [b ]
  does not match : [Int]    -> (Int -> Bool) -> [Bool]
probable fix    : re-order arguments
```

```
lijst :: [Bool]
lijst = map [1..10] even
```

## ► Verwisselen van functies

```
(2,11): Type error in constructor
expression      : :
  type          : a    -> [a ] -> [a ]
  expected type : [Int] -> [Int] -> [Int]
probable fix    : use ++ instead
```

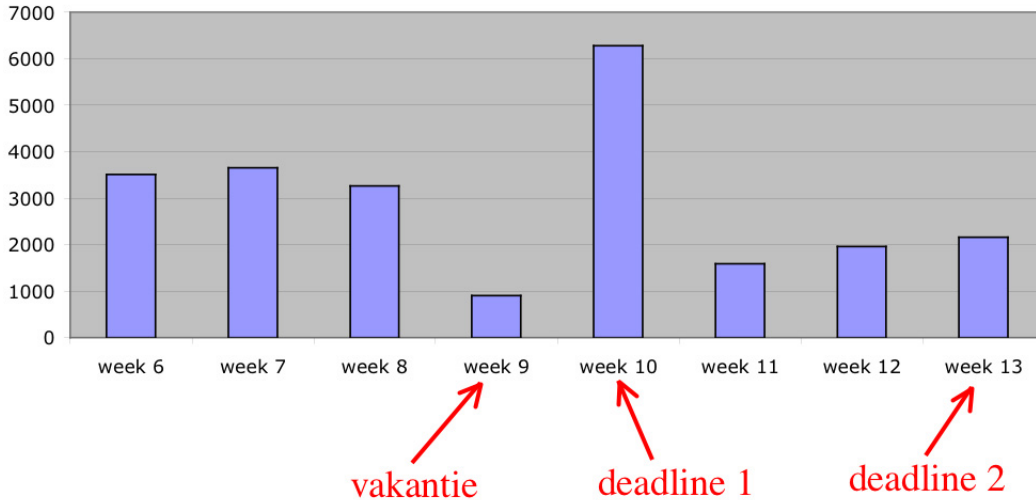
```
ints :: [Int]
ints = xs : [4, 5, 6]
      where xs = [1, 2, 3]
```

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

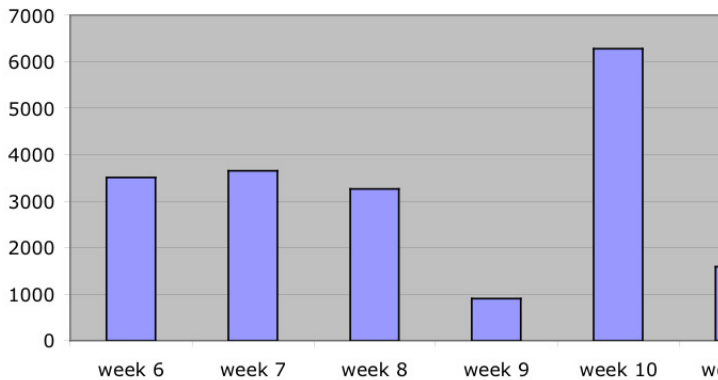
# Big brother is watching

- ▶ Tijdens de introductiecursussen FP in Utrecht hebben we een registratiesysteem ingezet om studentenprogramma's te loggen.
  - Voor het krijgen van inzicht in het programmeergedrag.
  - Ter verbetering van de compiler.
- ▶ Wat wordt er geregistreerd?
  - Ieder programma dat gecompileerd wordt vanaf de studentenmachines.
  - Niet geregistreerd: expressies vanuit de interpreter.
  - Historische informatie: naam, tijdstip en versie.
- ▶ Dit heeft geleid tot een database van ruim 60.000 programma's (zowel correcte als incorrecte)

Ontvangen programma's



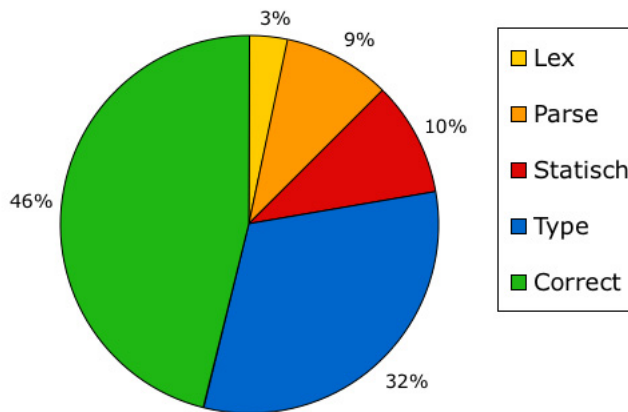
## Ontvangen programma's



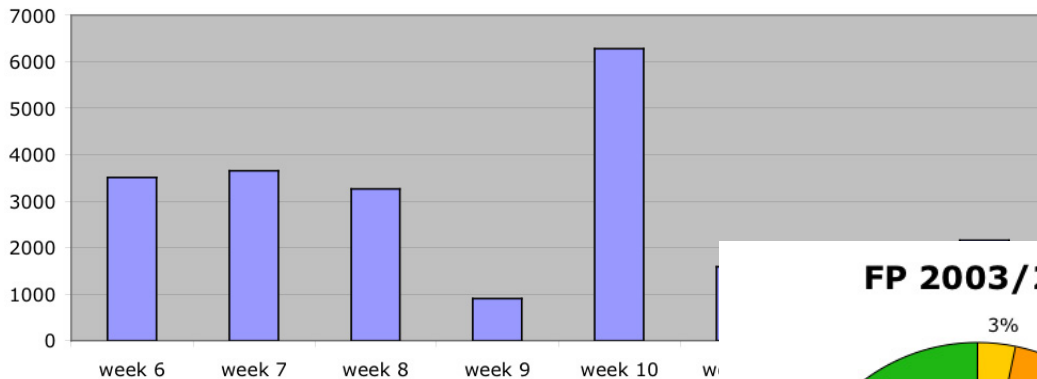
*vakantie*

*deadline*

## FP 2003/2004



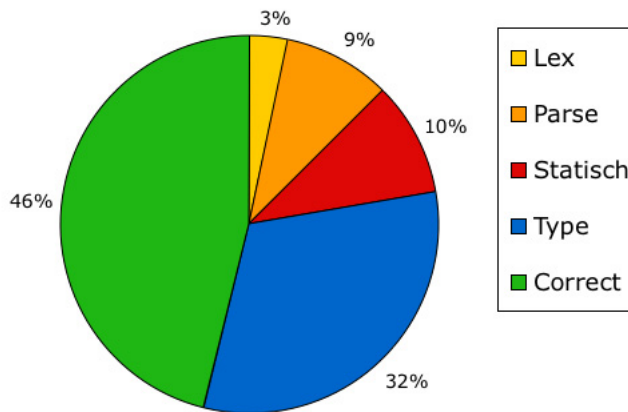
## Ontvangen programma's



vakantie

deadline

## FP 2003/2004



### Statische fouten

Ongedefinieerde variabele	2240	55.46%
Ongedefinieerde constructor	377	9.33%
Type signatuur zonder functie	368	9.11%
Ariteit bij constructor	223	5.52%
Ariteit bij functie definitie	209	5.17%
Ongedefinieerde type constructor	196	4.85%
Dubbele definitie	157	3.89%

# Type inferentie directieven

- ▶ Helium ondersteunt type inferentie directieven om van buitenaf het type inferentie proces te beïnvloeden (en in het bijzonder het rapporteren van foutmeldingen).
- ▶ Deze directieven worden opgeschreven in een *.type* bestand, welke wordt beschouwd vlak voor het type inferentie proces van het bijbehorende Haskell bestand.
- ▶ Bijvoorbeeld: declareer dat twee functies semantisch gerelateerd zijn aan elkaar. Probeer bij een typeringsfout of verwisseling het probleem verhelpt.

*.type file*

```
siblings    : , ++  
siblings    curry , uncurry
```

- ▶ Met speciale *typeklassen directieven* hopen we in de toekomst overloading te ondersteunen zonder kwaliteit in te leveren.

# Gespecialiseerde typeringsregels

.type file

```
x :: t1;    y :: t2;
```

```
-----  
x <$> y :: t3;
```

```
t1 == a1 -> b1      : left operand is not a function
```

```
t2 == Parser s1 a2  : right operand is not a parser
```

```
t3 == Parser s2 b2  : result type is not a parser
```

```
s1 == s2 : parser has an incorrect symbol type
```

```
a1 == a2 : function cannot be applied to parser's result
```

```
b1 == b2 : parser has an incorrect result type
```

- ▶ Specialisatie van het type inferentie proces voor de <\$> combinator
- ▶ Aangepaste foutmeldingen (domein-specifiek)
- ▶ De correctheid van deze typeringsregel wordt automatisch gecontroleerd

```
(<$>) :: (a -> b) -> Parser s a -> Parser s b
```

wxHaskell is een portable GUI library voor Haskell.

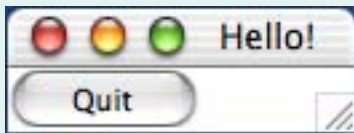
- ▶ *Portable*: Windows, MacOS X, Linux, FreeBSD, etc.
- ▶ *Simpel*: elegante abstracties in Haskell zorgen voor precieze programma's, zeker in vergelijking met equivalente C++ programma's.
- ▶ *Functionaliteit*: gebaseerd op wxWidgets, een serieuze open source C++ library. Gebruikt door AOL communicator en AVG anti-virus.
- ▶ *Onderhoud*: veel mensen werken aan de wxWidgets library, en wxHaskell profiteert daarvan.





# wxHaskell demo

```
gui :: IO ()
gui = do f <- frame    [text := "Hello!"]
        q <- button f [text := "Quit"
                      ,on command := close f]
        return ()
```



# General Board games Player

The screenshot displays the GeBoP (General Board Games Player) software interface. The main window is titled "Halma Brain" and shows a search tree on the left side, listing moves such as "0 (e8-f8)", "1 (e8-e9)", "2 (k12-j12)", etc. The search parameters are: complete depth: 0, maximum depth: 0, volume: 0. The game board is a triangular grid with pieces numbered 0-13. A smaller window titled "Halma" shows a larger view of the board with pieces numbered 1-17. The status bar at the bottom shows a player icon (a person) and a computer icon, indicating a human vs. AI match.

	A	B	C	D	E	F	G
7	Blue Piece						Brown Piece
6							
5							
4							

## Internet pagina's

- ▶ [www.cs.uu.nl/helium](http://www.cs.uu.nl/helium)
- ▶ [www.haskell.org](http://www.haskell.org)
- ▶ [wxhaskell.sourceforge.net](http://wxhaskell.sourceforge.net)

## Referenties

- [1] Bastiaan Heeren and Daan Leijen. Gebruiksvriendelijke compiler voor het onderwijs. *Informatie*, 46(8):46 – 50, Oktober 2004.
- [2] Bastiaan Heeren, Daan Leijen, and Arjan van IJzendoorn. Helium, for learning Haskell. In *ACM Sigplan 2003 Haskell Workshop*, pages 62 – 71, New York, 2003. ACM Press.