
Hinweise in eigener Sache...

- *Anmeldesystem ist freigeschaltet!*
<http://www.complang.tuwien.ac.at/anmeldung>
...Anmeldungen sind bis zum 23.10.2006 möglich!
(Abmeldungen sind bis zum 31.10.2006 möglich, ebenfalls über das elektronische Anmeldesystem.)
- *Erstes Aufgabenblatt*
Ausgabe: Montag, den 16.10.2006
Abgabe: Montag, den 23.10.2006
- *Für Ihre automatische Benachrichtung per Email...*
...über Ergebnisse zu den Übungsaufgaben: Richten Sie sich bitte eine Nachrichtenweiterleitung unter Ihrer fp-Kennung zu Ihrem bevorzugten elektronischen Postfach ein!
- *Partnerbörse*
...am Ende der Vorlesung für Teilnehmer, die noch auf Partnersuche für die Gruppenbildung sind.

Heutiges Thema

- *Teil 1: Einführung und Motivation*
 - Funktionale Programmierung: Warum? Warum mit Haskell?
 - Erste Schritte in Haskell, erste Schritte mit Hugs
- *Teil 2: Grundlagen*
 - Elementare Datentypen
 - Tupel, Listen und Funktionen

Beachte: ...einige Begriffe werden heute im Vorgriff angerissen und erst im Lauf der Vorlesung genau geklärt!)

Teil 1: Einführung und Motivation

- Funktionale Programmierung: Warum überhaupt? Warum mit Haskell?
- Erste Schritte in Haskell, erst Schritte mit Hugs

Warum funktionale Programmierung?

Ein bunter Strauß an *Programmierparadigmen*, z.B.

- *imperativ*
 - prozedural (Pascal, Modula, C,...)
 - objektorientiert (Smalltalk, Oberon, C++, Java,...)
- *deklarativ*
 - funktional (Lisp, ML, Miranda, Haskell, Gofer,...)
 - logisch (Prolog und Varianten)
- Mischformen
z.B. funktional/logisch, funktional/objektorientiert,...
- *visuell*
Stichwort: Visual Programming Languages (VPLs),
z.B. Forms/3, FAR,...
Einstieg für mehr: web.engr.oregonstate.edu/~burnett
- ...

Ein Vergleich - prozedural vs. funktional

Gegeben eine Aufgabe A .

Prozedural: Typischer Lösungsablauf in folgenden Schritten:

1. Beschreibe eine(n) Lösung(sweg) L für A .
2. Gieße L unter expliziter Organisation der Speicherverwaltung in die Form einer Menge von Anweisungen für den Rechner.

Zur Illustration ein einfaches Beispiel

Betrachte folgende Aufgabe:

... "bestimme die Werte aller Komponenten eines ganzzahligen Feldes, deren Werte kleiner oder gleich 10 sind."

Eine typische Lösung *prozedural*...

...

```
j := 1;
```

```
FOR i:=1 TO maxLength DO
```

```
    IF a[i] <= 10 THEN b[j] := a[i]; j := j+1 FI
```

```
OD;
```

Mögliches Problem bei großen Anwendungen:

...inadäquates Abstraktionsniveau \rightsquigarrow Softwarekrise!

Softwarekrise

- Ähnlich wie objektorientierte Programmierung verspricht deklarative, insbesondere funktionale Programmierung ein angemesseneres Abstraktionsniveau zur Problemlösung zur Verfügung zu stellen
- ...und damit einen Beitrag zur Überwindung der vielzitierten Softwarekrise zu leisten

Zum Vergleich...

...eine typische Lösung *funktional*:

```
...  
a :: [Int]  
b :: [Int]  
...  
b = [ n | n <- a, n <= 10 ]
```

Vergleiche diese Lösung mit: $\{n \mid n \in a \wedge n \leq 10\}$

...und der Idee, etwas von der Eleganz der Mathematik in die Programmierung zu bringen!

Essenz funktionaler Programmierung

...statt des "wie" das "was" in den Vordergrund stellen!

Hilfsmittel im obigen Beispiel:

- *Listenkomprehension* (engl. list comprehension!)
...typisch und spezifisch für funktionale Sprachen!

Noch nicht überzeugt?

Betrachte *Quicksort*, ein komplexeres Beispiel...

Aufgabe: Sortiere eine Liste L ganzer Zahlen aufsteigend.

Lösung (mittels Quicksort):

- *Teile*: Wähle ein Element l aus L und partitioniere L in zwei (möglicherweise leere) Teillisten L_1 und L_2 so, dass alle Elemente von L_1 (L_2) kleiner oder gleich (größer) dem Element l sind.
- *Herrsche*: Sortiere L_1 und L_2 mit Hilfe rekursiver Aufrufe von Quicksort.
- *Zusammenführen der Teilergebnisse*: Trivial, die Gesamtliste entsteht durch Konkatenation der sortierten Teillisten.

Quicksort...

...eine typische *prozedurale* (Pseudocode-) Realisierung:

```
quickSort (L,low,high)
  if low < high
    then splitInd = partition(L,low,high)
         quickSort(L,low,splitInd-1)
         quickSort(L,splitInd+1,high) fi
```

```
partition (L,low,high)
  l = L[low]
  left = low
  for i=low+1 to high do
    if L[i] <= l then left = left+1
                           swap(L[i],L[left]) fi od
  swap(L[low],L[left])
  return left
```

...mit dem initialen Aufruf quickSort(L,1,length(L)).

Zum Vergleich...

...eine typische *funktionale* Realisierung von Quicksort, hier in Haskell:

```
quickSort :: [Int] -> [Int]
```

```
quickSort [] = []
```

```
quickSort (x:xs) =
```

```
    quickSort [ y | y<-xs, y<=x ] ++
```

```
        [x] ++ quickSort [ y | y<-xs, y>x ]
```

Vorteile funktionaler Programmierung

- *Einfach(er) zu erlernen*
...da weniger Grundkonzepte (insbesondere: keine Zuweisung, keine Schleifen, keine Sprünge)
- *Höhere Produktivität*
...da Programme dramatisch kürzer als funktional vergleichbare imperative Programme (Faktor 5 bis 10)
- *Höhere Zuverlässigkeit*
...da Korrektheitsüberlegungen/-beweise einfach(er)
(math. Hintergrund, keine durchscheinende Maschine)

Nachteile funktionaler Programmierung

- *Geringe(re) Effizienz*
...aber: enorme Fortschritte, zudem Korrektheit vorrangig gegenüber Geschwindigkeit, weiters einfache(re) Parallelisierbarkeit
- *Gelegentlich unangemessen*, oft für inhärent zustandsbasierte Anwendungen oder zur GUI-Programmierung
...aber: Anwendungseignung ist stets zu überprüfen; kein Spezifikum fkt. Programmierung

Warum Haskell?

Ein Blick auf andere funktionale (Programmier-)sprachen...

- λ -Kalkül (Ende der 30er-Jahre, Alonzo Church, Stephen Kleene)
- Lisp (frühe 60er-Jahre, John McCarthy)
- ML, SML (Mitte 70er-Jahre, Michael Gordon, Robin Milner)
- Hope (um 1980, Rod Burstall, David McQueen)
- Miranda (um 1980, David Turner)
- OPAL (Mitte der 80er-Jahre, Peter Pepper et al.)
- Haskell (Ende der 80er-Jahre, Paul Hudak, Philip Wadler et al.)
- Gofer (Anfang der 90er-Jahre, Mark Jones)
- ...

Warum etwa nicht Haskell?

Haskell ist...

- eine fortgeschrittene moderne funktionale Sprache
 - starke Typisierung
 - lazy evaluation
 - pattern matching
 - Polymorphie
 - Generizität
 - Datenabstraktion (abstrakte Datentypen)
 - Modularisierung (Programmierung im Großen)
 - ...
- eine Sprache für “real world” Probleme
(s.a. <http://homepages.inf.ed.ac.uk/wadler/realworld/index.html> (URL noch gültig?))
 - mächtige Bibliotheken
 - Schnittstellen z.B. zu C
 - ...

Nicht zuletzt: Wenn auch reich, ist Haskell eine “gute” Lehrsprache, auch dank Hugs!

Fassen wir noch einmal zusammen...

Steckbrief: **Funktionale Programmierung**

Grundlage: Lambda-Kalkül

Abstraktion: Funktionen (höherer Ordnung)

Eigenschaft: referentielle Transparenz

Historische Bedeutung: Basis vieler Programmiersprachen

Anwendungsbereiche: Theoretische Informatik
Artificial Intelligence
experimentelle Software
Programmierunterricht

Programmiersprachen: Lisp, ML, Miranda, Haskell,...

sowie...

Steckbrief: **Haskell**

benannt nach: Haskell B. Curry (1900-1982)
<http://www-gap.dcs.st-and.ac.uk/~history/Mathematicians/Curry.html>

Paradigma: rein funktionale Programmierung

Eigenschaften: lazy evaluation, pattern matching

Typsicherheit: stark typisiert, Typinferenz
modernes polymorphes Typsystem

Syntax: komprimiert, intuitiv

Informationen: <http://haskell.org>
<http://haskell.org/tutorial/>

Interpreter: Hugs (<http://haskell.org/hugs/>)

Erste Schritte in Haskell

Haskell-Programme...

...gibt es in zwei (notationellen) Varianten:

Als sog.

- *(Gewöhnliches) Haskell-Skript*

Intuitiv ...alles, was nicht als Kommentar notationell ausgezeichnet ist, wird als Programmtext betrachtet.

- *Literate Haskell-Skript*

Intuitiv ...alles, was nicht als Programmtext notationell ausgezeichnet ist, wird als Kommentar betrachtet.

Zur Illustration: Ein Programm als...

...(gewöhnliches) Haskell-Skript:

```
{-#####  
    FirstScript.hs ...‘‘ordinary scripts’’ erhalten  
        die Dateiendung .hs  
#####-}  
  
-- Die konstante Funktion sum17and4  
sum17and4 :: Int  
sum17and4 = 17+4  
  
-- Die Funktion square zur Quadrierung einer ganzen Zahl  
square :: Int -> Int  
square n = n*n  
  
-- Die Funktion double zur Verdopplung einer ganzen Zahl  
double :: Int -> Int  
double n = 2*n  
  
-- Die Funktion doubleSquare, eine Anwendung der vorherigen  
doubleSquare :: Int  
doubleSquare = double (square (4711 - sum17and4))
```

Zum Vergleich das gleiche Programm...

...als literate Haskell-Skript:

```
#####  
    FirstLiterate.lhs ...'literate scripts' erhalten  
        die Dateiendung .lhs  
#####
```

Die konstante Funktion sum17and4

```
>    sum17and4 :: Int  
>    sum17and4 = 17+4
```

Die Funktion square zur Quadrierung einer ganzen Zahl

```
>    square :: Int -> Int  
>    square = n*n
```

Die Funktion double zur Verdopplung einer ganzen Zahl

```
>    double :: Int -> Int  
>    double = 2*n
```

Die Funktion doubleSquare, eine Anwendung der vorherigen

```
>    doubleSquare :: Int  
>    doubleSquare = double (square (4711 - sum17and4))
```

Kommentare in Haskell-Programmen

Kommentare in...

- *(gewöhnlichem) Haskell-Skript*
 - *einzeilig*: ...bis zum Rest der Zeile nach --
 - *mehrzeilig*: ...alles zwischen {- und -}
- *literate Haskell-Skript*
 - Jede nicht durch > eingeleitete Zeile

Konvention: Dateiendung...

- `.hs` für gewöhnliche
- `.lhs` für literate

Haskell-Skripte.

Erste Schritte mit Hugs

Hugs: Der Haskell-Interpreterer...

Aufruf von Hugs: `hugs <fileName>`

...und z.B. im Fall von FirstScript für `<fileName>` weiter mit:

```
Main> double (sum17and4)
42
```

Wichtige Kommandos in Hugs:

<code>:?</code>	Liefert Liste der Hugs-Kommandos
<code>:load <fileName></code>	Lädt die Haskell-Datei <code><fileName></code> (erkennbar an Endung <code>.hs</code> bzw. <code>.lhs</code>)
<code>:reload</code>	wiederholt letztes Ladekommando
<code>:quit</code>	Beendet den aktuellen Hugs-Lauf
<code>:info name</code>	Liefert Information über das mit <code>name</code> bezeichnete "Objekt"
<code>:type exp</code>	Liefert den Typ des Argumentausdrucks <code>exp</code>
<code>:edit <fileName>.hs</code>	Öffnet die Datei <code><fileName>.hs</code> enthaltende Datei im voreingestellten Editor
<code>:find name</code>	Öffnet die Deklaration von <code>name</code> im voreingestellten Editor
<code>!<com></code>	Ausführen des Unix- oder DOS-Kommandos <code><com></code>

...mehr dazu: <http://www.haskell.org/hugs/>

Fehlermeldungen&Warnungen in Hugs

- Fehlermeldungen

- Syntaxfehler

- Main> sum17and4 == 21) ...liefert

- ERROR: Syntax error in input (unexpected ‘)’)

- Typfehler

- Main> sum17and4 + False ...liefert

- ERROR: Bool is not an instance of class ‘Num’

- Programmfehler

- ...später

- Modulfehler

- ...später

- Warnungen

- Systemmeldungen

- ...später

...mehr zu Fehlermeldungen:

<http://www.cs.kent.ac.uk/people/staff/sjt/craft2e/errors.html>

Bequem...

Haskell stellt umfangreiche Bibliotheken (`Prelude.hs`,...) mit vielen vordefinierten Funktionen zur Verfügung, z.B. zum

- Umkehren von Zeichenreihen (`reverse`)
- Aufsummieren von Listenelementen (`sum`)
- Verschmelzen von Listen (`zip`)
- ...

Exkurs: Mögliche Namenskonflikte

...soll eine Funktion gleichen (bereits vordefinierten) Namens deklariert werden, können Namenskonflikte durch *Verstecken* (engl. *hiding*) vordefinierter Namen vermieden werden.

Am Beispiel von `reverse`, `sum`, `zip`:

Ergänze...

```
import Prelude hiding (reverse,sum,zip)
```

...am Anfang des Haskell-Skripts im Anschluss an die Modul-Anweisung (so vorhanden), wodurch die vordefinierten Namen `reverse`, `sum` und `zip` verborgen werden.

(Mehr dazu später im Zusammenhang mit dem Modulkonzept von Haskell).

Teil 2: Grundlagen

- Elementare Datentypen (Bool, Int, Integer, Float, Char)
- Tupel, Listen und Funktionen

Elementare Datentypen

...werden in der Folge nach nachstehendem Muster angegeben:

- Name des Typs
- Typische Konstanten des Typs
- Typische Operatoren (und Relatoren, so vorhanden)

(Ausgew.) Elementare Datentypen (1)

Wahrheitswerte

Typ	Bool	Wahrheitswerte
Konstanten	<code>True :: Bool</code> <code>False :: Bool</code>	Symbol für "wahr" Symbol für "falsch"
Operatoren	<code>&& :: Bool -> Bool -> Bool</code> <code> :: Bool -> Bool -> Bool</code> <code>not :: Bool -> Bool</code>	logisches und logisches oder logische Negation

Elementare Datentypen (2)

Ganze Zahlen

Typ	Int	Ganze Zahlen(endl. Ausschn.)
Konstanten	0 :: Int	Symbol für "0"
	-42 :: Int	Symbol für "-42"
	2147483647 :: Int	Wert für "maxInt"
	...	
Operatoren	+ :: Int -> Int -> Int	Addition
	* :: Int -> Int -> Int	Multiplikation
	^ :: Int -> Int -> Int	Exponentiation
	- :: Int -> Int -> Int	Subtraktion (Infix)
	- :: Int -> Int	Vorzeichenwechsel (Prefix)
	div :: Int -> Int -> Int	Division
	mod :: Int -> Int -> Int	Divisionsrest
	abs :: Int -> Int	Absolutbetrag
negate :: Int -> Int	Vorzeichenwechsel	

Elementare Datentypen (3)

Ganze Zahlen (fortgesetzt)

Relatoren	<code>> :: Int -> Int -> Bool</code>	echt größer
	<code>>= :: Int -> Int -> Bool</code>	größer gleich
	<code>== :: Int -> Int -> Bool</code>	gleich
	<code>/= :: Int -> Int -> Bool</code>	ungleich
	<code><= :: Int -> Int -> Bool</code>	keiner gleich
	<code>< :: Int -> Int -> Bool</code>	echt kleiner

...die Relatoren `==` und `/=` sind auf Werte aller Elementar- und vieler weiterer Typen anwendbar, beispielsweise auch auf Wahrheitswerte (Stichwort: *Überladen* (engl. *Overloading*))!

...mehr dazu später.

Elementare Datentypen (4)

Ganze Zahlen (Variante)

Typ	Integer	Ganze Zahlen
Konstanten	0 :: Integer	Symbol für "0"
	-42 :: Integer	Symbol für "-42"
	21474836473853883234 :: Integer	"Große" Zahl
	...	
Operatoren	...	

...wie Int, jedoch ohne a priori Beschränkung für eine maximal darstellbare Zahl.

Elementare Datentypen (5)

Gleitkommazahlen

Typ	Float	Gleitkommazahlen (endlicher Ausschnitt)
Konstanten	0.123 :: Float	Symbol für "0,123"
	-42.4711 :: Float	Symbol für "-42,4711"
	123.6e-2 :: Float	$123,6 \times 10^{-2}$
	...	
Operatoren	+ :: Float -> Float -> Float	Addition
	* :: Float -> Float -> Float	Multiplikation
	...	
	sqrt :: Float -> Float	(pos.) Quadratwurzel
	sin :: Float -> Float	sinus
	...	
Relatoren	== :: Float -> Float -> Bool	gleich
	/= :: Float -> Float -> Bool	ungleich
	...	

Elementare Datentypen (6)

Zeichen

Typ	Char	Zeichen (Literal)
Konstanten	'a' :: Char	Symbol für "a"
	...	
	'Z' :: Char	Symbol für "Z"
	'\t' :: Char	Tabulator
	'\n' :: Char	Neue Zeile
	'\\' :: Char	Symbol für "backslash"
	'\'' :: Char	Hochkomma
	'\"' :: Char	Anführungszeichen
Operatoren	ord :: Char -> Int	Konversionsfunktion
	chr :: Int -> Char	Konversionsfunktion

Zusammengesetzte Datentypen und Funktionen...

- Tupel
- Listen
 - *Spezialfall*: Zeichenreihen
- Funktionen

Tupel

Tupel ...fassen eine festgelegte Zahl von Werten möglicherweise verschiedener Typen zusammen.

↪ Tupel sind *heterogen!*

Beispiele:

- ...Modellierung von Studentendaten

```
("Max Mustermann", "e0123456@student.tuwien.ac.at", 534) ::  
    (String, String, Int)
```

- ...Modellierung von Bibliotheksdaten

```
("PeytonJones", "Implementing Funct. Lang.", 1987, True) ::  
    (String, String, Int, Bool)
```

Tupel...

- Allgemeines Muster

$$(v_1, v_2, \dots, v_k) :: (T_1, T_2, \dots, T_k)$$

mit v_1, \dots, v_k Bezeichnungen von Werten und T_1, \dots, T_k Bezeichnungen von Typen mit

$$v_1 :: T_1, v_2 :: T_2, \dots, v_k :: T_k$$

Lies: v_i ist vom Typ T_i

- Standardkonstruktor

$$(\cdot, \cdot, \dots, \cdot)$$

Spezialfall: Paare (“Zweitupel”)

- Beispiele

```
type Point = (Float, Float)
```

```
(0.0,0.0) :: Point
```

```
(3.14,17.4) :: Point
```

- Standardselektoren (für Paare)

```
fst (x,y) = x
```

```
snd (x,y) = y
```

- Anwendung der Standardselektoren

```
fst (0.0,0.0) = 0.0
```

```
snd (3.14,17.4) = 17.4
```

Hilfreich...

Typsynonyme

```
type Student = (String, String, Int)
type Buch = (String, String, Int, Bool)
```

...erhöhen die Transparenz in Programmen.

Beachte: Typsynonyme definieren *keine* neuen Typen, sondern einen Namen für einen schon existierenden Typ (später mehr dazu).

Tupel...

Selbstdefinierte Selektorfunktionen...

```
type Student = (String, String, Int)
```

```
name  :: Student -> String
```

```
email :: Student -> String
```

```
kennzahl :: Student -> Int
```

```
name (n,e,k) = n
```

```
email (n,e,k) = e
```

```
kennZahl (n,e,k) = k
```

...mittels *Mustererkennung* (engl. *pattern matching*)
(später mehr dazu).

Selbstdefinierte Selektorfunktionen...

Ein weiteres Beispiel...

```
autor :: Buch -> String
kurzTitel :: Buch -> String
erscheinungsjahr :: Buch -> Int
ausgeliehen :: Buch -> Bool
```

```
autor (a,t,j,b) = a
kurzTitel (a,t,j,b) = t
erscheinungsjahr (a,t,j,b) = j
ausgeliehen (a,t,j,b) = b
```

```
autEntlehnt (a,t,j,b) = (autor (a,t,j,b), ausgeliehen (a,t,j,b))
```

...auch hier mittels Mustererkennung

Listen

Listen ...fassen eine beliebige/unbestimmte Zahl von Werten gleichen Typs zusammen.

↪ Listen sind *homogen*!

Einfache Beispiele:

- Listen ganzer Zahlen
[2,5,12,42] :: [Int]
- Listen von Wahrheitswerten
[True,False,True] :: [Bool]
- Listen von Gleitkommazahlen
[3.14,5.0,12.21] :: [Float]
- Leere Liste
[]
- ...

Listen

Beispiele komplexerer Listen:

- Listen von Listen

`[[2,4,23,2,5], [3,4], [], [56,7,6,]] :: [[Int]]`

- Listen von Paaren

`[(3.14,42.0), (56.1,51.3)] :: [(Float,Float)]`

- ...

- *Ausblick:* Listen von Funktionen

`[fac, abs, negate] :: [Integer -> Integer]`

Vordefinierte Funktionen auf Listen

Die Funktion `length` mit einigen Aufrufen:

```
length :: [a] -> Integer
length []      = 0
length (x:xs) = 1 + length xs
```

```
length [1, 2, 3] => 3
length ['a', 'b', 'c'] => 3
length [[1], [2], [3]] => 3
```

Die Funktionen `head` und `tail` mit einigen Aufrufen:

```
head :: [a] -> a
head (x:xs) = x
```

```
tail :: [a] -> [a]
tail (x:xs) = xs
```

```
head [[1], [2], [3]] => [1]
tail [[1], [2], [3]] => [[2], [3]]
```

Spezielle Notationen für Listen

- Spezialfälle (i.w. für Listen über Zahlen und Zeichen)
 - ...[2 .. 6] kurz für [2,3,4,5,6]
 - ...[11,9 .. 2] kurz für [11,9,7,5,3]
 - ...['a','d' .. 'j'] kurz für ['a','d','g','j']
 - ...[0.0,0.3 .. 1.0] kurz für [0.0,0.3,0.6,0.9]
- *Listenkomprehension*
 - ...ein erstes Beispiel:
 - [3*n | n <- list] kurz für [3,6,9,12], wobei hier list vom Wert [1,2,3,4] vorausgesetzt ist.
 - ~> Listenkomprehension ist ein sehr elegantes und ausdruckskräftiges Sprachkonstrukt!

Zeichenreihen

...in Haskell als spezielle Listen realisiert:

Typ	<code>String</code> <code>type String = [Char]</code>	Zeichenreihen Deklaration (als Liste von Zeichen)
Konstanten	<code>"Haskell" :: String</code> <code>" "</code> ...	Zeichenr. für "Haskell" Leere Zeichenreihe
Operatoren	<code>++ :: String -> String -> String</code>	Konkatenation
Relatoren	<code>== :: String -> String -> Bool</code> <code>/= :: String -> String -> Bool</code>	gleich ungleich

Weitere Beispiele zu Zeichenreihen

```
['h','e','l','l','o'] == "hello"
```

```
"hello" ++ " world" == "hello world"
```

Es gilt:

```
[1,2,3] == 1:2:3:[]
```

Funktionen in Haskell

...am Beispiel der Fakultätsfunktion:

Zur Erinnerung:

$$! : IN \rightarrow IN$$

$$n! = \begin{cases} 1 & \text{falls } n = 0 \\ n * (n - 1)! & \text{sonst} \end{cases}$$

...und *eine* mögliche Realisierung in Haskell:

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

Beachte: ...Haskell stellt eine Reihe, oft eleganterer, notati-
oneller Varianten zur Verfügung!

Fkt. in Haskell: Notat. Varianten (1)

...am Beispiel der Fakultätsfunktion.

```
fac :: Integer -> Integer
```

(1) In Form “bedingter Gleichungen”

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

~> *Hinweis*: Variante (1) ist “der” Regelfall in Haskell!

Fkt. in Haskell: Notat. Varianten (1)

(2) λ -artig

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

- Reminiszenz an den funktionaler Programmierung zugrundeliegenden λ -Kalkül ($\lambda x y. (x + y)$)
- In Haskell: $\lambda x y \rightarrow x + y$ sog. *anonyme* Funktion. Praktisch, wenn der Name keine Rolle spielt und man sich deshalb bei Verwendung anonymer Funktionen keinen zu überlegen braucht.

(3) Gleichungsorientiert

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

Fkt. in Haskell: Notat. Varianten (2)

...am Beispiel weiterer Funktionen.

kVA :: Float -> (Float, Float)

-- Berechnung von Volumen (V) und Fläche (A)
einer Kugel (K).

Zur Erinnerung: $V = \frac{4}{3} \pi r^3$ $A = 4 \pi r^2$

Mittels *lokaler Deklarationen*...

(4a) *where*-Konstrukt

```
kVA r =  
  ((4/3) * myPi * rcube r, 4 * myPi * square r)  
  where  
    myPi      = 3.14  
    rcube x   = x * square x  
    square x = x * x
```

Fkt. in Haskell: Notat. Varianten (3)

bzw...

(4b) *let*-Konstrukt

```
kVA r =  
  let  
    myPi      = 3.14  
    rcube x   = x * square x  
    square x  = x * x  
  in  
    ((4/3) * myPi * rcube r, 4 * myPi * square r)
```

Fkt.in Haskell: Notat. Varianten (4)

In einer Zeile...

(5a) ...mittels “;”

```
kVA r =  
  ((4/3) * myPi * rcube r, 4 * myPi * square r)  
  where  
  myPi = 3.14; rcube x = x * square x; square x = x * x
```

(5b) ...mittels “;”

```
kVA r =  
  let myPi = 3.14; rcube x = x * square x; square x = x * x  
  in  
  ((4/3) * myPi * rcube r, 4 * myPi * square r)
```

Fkt. in Haskell: Notat. Varianten (5)

Spezialfall: *binäre* (zweistellige) Funktionen...

```
imax :: Integer -> Integer -> Integer
```

```
imax p q
```

```
  | p >= q      = p
```

```
  | otherwise   = q
```

```
tripleMax :: Integer -> Integer -> Integer -> Integer
```

```
tripleMax p q r
```

```
  | (imax p q == p) && (p `imax` r == p) = p
```

```
  | ...
```

```
  | otherwise = r
```

...imax in tripleMax als *Präfix-* und als *Infixoperator* verwandt

Fkt. in Haskell: Notat. Varianten (6)

Musterbasiert...

```
fib :: Integer -> Integer
fib 0 = 1
fib 1 = 1
fib n = fib(n-2) + fib(n-1)
```

```
capVowels :: Char -> Char
capVowels 'a' = 'A'
capVowels 'e' = 'E'
capVowels 'i' = 'I'
capVowels 'o' = 'O'
capVowels 'u' = 'U'
capVowels c = c
```

Fkt. in Haskell: Notat. Varianten (7)

Mittels *case*-Ausdrucks...

```
capVowels :: Char -> Char
capVowels letter
  = case letter of
    'a'      -> 'A'
    'e'      -> 'E'
    'i'      -> 'I'
    'o'      -> 'O'
    'u'      -> 'U'
    letter   -> letter
```

```
deCapVowels :: Char -> Char
deCapVowels letter
  = case letter of
    'A'      -> 'a'
    'E'      -> 'e'
    'I'      -> 'i'
    'O'      -> 'o'
    'U'      -> 'u'
    otherwise -> letter
```

Fkt. in Haskell: Notat. Varianten (8)

Mittels *Muster* und “*wild cards*”...

```
add :: Integer -> Integer -> Integer
```

```
add n 0 = n
```

```
add 0 n = n
```

```
add m n = m+n
```

```
mult :: Integer -> Integer -> Integer
```

```
mult _ 0 = 0
```

```
mult 0 _ = 0
```

```
mult m n = m*n
```

Muster können (u.a.) sein...

- *Werte* (z.B. 0, 'c', True)
...ein Argument "passt" auf das Muster, wenn es vom entsprechenden Wert ist.
 - *Variablen* (z.B. n)
...jedes Argument passt.
 - *Wild card* "_"
...jedes Argument passt (sinnvoll für nicht zum Ergebnis beitragende Argumente)
 - ...
- ↪ mehr über Muster und musterbasierte Funktionsdefinitionen später...

Literaturhinweis

...auf den Haskell-Sprachreport:

- *Haskell 98: Language and Libraries. The Revised Report.* Simon Peyton Jones (Hrsg.), Cambridge University Press, 2003.

Zum ersten Aufgabenblatt...

- ...erhältlich ausschließlich im Web unter folgender URL
http://www.complang.tuwien.ac.at/knoop/fp185161_ws0607.html
...ab Montag, den 16.10.2006
- Abgabe: Mo, den 23.10.2006, 12:00 Uhr
- Zweitabgabe: Mo, den 30.10.2006, 12:00 Uhr

Vorschau:

Ausgabe des...

- zweiten Aufgabenblatts: Mo, den 23.10.2006
...Abgabetermine: Mo, 30.10.2006, und Mo, 07.11.2006
- dritten Aufgabenblatts: Mo, den 30.10.2006
...Abgabetermine: Mo, 07.11.2006, und Mo, 14.11.2006

Vorschau auf die nächsten Vorlesungstermine...

- **Ersatztermin:** Di, 17.10.2006, 13 Uhr s.t. - 14 Uhr, Treitl-Hörsaal
- Do, 19.10.2006, Vorlesung von 16:30 Uhr bis 18:00 Uhr im Radinger-Hörsaal
- **Ersatztermin:** Di, 24.10.2006, 13 Uhr s.t. - 14 Uhr, Treitl-Hörsaal
- *Do, 26.10.2006: Nationalfeiertag, keine Vorlesung!*