

---

## 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.

---

## Teil 1: Einführung und Motivation

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

---

## 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!

---

## 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](http://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...

- $\lambda$ -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))
```

---

## Erste Schritte mit Hugs

---

## 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.

---

## Hugs: Der Haskell-Interpreter...

Aufruf von Hugs: `hugs <fileName>`

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

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

Wichtige Kommandos in Hugs:

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

...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 | True :: Bool<br>False :: Bool   | Symbol für "wahr"<br>Symbol für "falsch"             |
| Operatoren | && :: Bool -> Bool -> Bool<br>   :: Bool -> Bool -> Bool<br>not :: Bool -> Bool | logisches und<br>logisches oder<br>logische Negation |

---

## Elementare Datentypen (2)

### Ganze Zahlen

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

---

## Elementare Datentypen (3)

### Ganze Zahlen (fortgesetzt)

|           |  |   |
|-----------|--|---|
| Relatoren | > :: Int -> Int -> Bool<br>>= :: Int -> Int -> Bool<br>== :: Int -> Int -> Bool<br>/= :: Int -> Int -> Bool<br><= :: Int -> Int -> Bool<br>< :: Int -> Int -> Bool | echt größer<br>größer gleich<br>gleich<br>ungleich<br>keiner gleich<br>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<br>(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

$$(. , . , \dots , . )$$

---

## 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]`
- *Listenkompensation*
  - ...ein erstes Beispiel:  
`[3*n | n <- list]` kurz für `[3,6,9,12]`, wobei hier `list` vom Wert `[1,2,3,4]` vorausgesetzt ist.
  - ~> Listenkompensation ist ein sehr elegantes und ausdruckskräftiges Sprachkonstrukt!

---

## Zeichenreihen

...in Haskell als spezielle Listen realisiert:

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

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

...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) $\lambda$ -artig

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

- Reminiszenz an den funktionaler Programmierung zugrun-  
deliegenden  $\lambda$ -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
  | ...                                     = r
  | 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      deCapVowels :: Char -> Char
capVowels letter              deCapVowels letter
= case letter of              = case letter of
  'a'   -> 'A'                'A'     -> 'a'
  'e'   -> 'E'                'E'     -> 'e'
  'i'   -> 'I'                'I'     -> 'i'
  'o'   -> 'O'                'O'     -> 'o'
  'u'   -> 'U'                'U'     -> 'u'
  letter -> letter            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](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!*