

Title: Info2 (20.11.2015)

Date: Fri Nov 20 08:36:18 CET 2015

Duration: 87:34 min

Pages: 32

→ Alternativ können wir eine Variable einführen, deren Wert direkt eine Funktion beschreibt.

```
# let double = fun x -> 2*x;;  
val double : int -> int = <fun>
```

- Diese Funktionsdefinition beginnt mit `fun`, gefolgt von den formalen Parametern.
- Nach `->` kommt die Berechnungsvorschrift.
- Die linken Variablen dürfen rechts benutzt werden.

$(\text{fun } x \rightarrow x + 1, 7)$

## 2.6 Definitionen von Funktionen

```
# let double x = 2*x;;  
val double : int -> int = <fun>  
# (double 3, double (double 1));;  
- : int * int = (6,4)
```

- Nach dem Funktions-Namen kommen die Parameter.
- Der Funktionsname ist damit auch nur eine Variable, deren Wert eine Funktion ist.

## Achtung

Funktionen sehen die Werte der Variablen, die zu ihrem **Definitionszeitpunkt** sichtbar sind:

```
# let faktor = 2;  
val faktor : int = 2  
# let double x = faktor*x;;  
val double : int -> int = <fun>  
# let faktor = 4;;  
val faktor : int = 4  
# double 3;;  
- : int = 6
```

## Rekursive Funktionen

Eine Funktion ist **rekursiv**, wenn sie sich selbst aufruft.

```
# let rec fac n = if n<2 then 1 else n * fac (n-1);;
val fac : int -> int = <fun>
# let rec fib = fun x -> if x <= 1 then 1
                        else fib (x-1) + fib (x-2);;
val fib : int -> int = <fun>
```

Dazu stellt **Ocaml** das Schlüsselwort **rec** bereit.

160

## Achtung

Eine Funktion ist ein **Wert**:

```
# double;;
- : int -> int = <fun>
```

159

## Rekursive Funktionen

Eine Funktion ist **rekursiv**, wenn sie sich selbst aufruft.

```
# let rec fac n = if n<2 then 1 else n * fac (n-1);;
val fac : int -> int = <fun>
# let rec fib = fun x -> if x <= 1 then 1
                        else fib (x-1) + fib (x-2);;
val fib : int -> int = <fun>
```

Dazu stellt **Ocaml** das Schlüsselwort **rec** bereit.

160

Rufen mehrere Funktionen sich gegenseitig auf, heißen sie **verschränkt rekursiv**.

```
# let rec even n = if n=0 then "even" else odd (n-1)
                  and odd n = if n=0 then "odd" else even (n-1);;
val even : int -> string = <fun>
val odd : int -> string = <fun>
```

Wir kombinieren ihre Definitionen mit dem Schlüsselwort **and**.

even 2  
↳ odd 1  
↳ even 0

161

## Definition durch Fall-Unterscheidung

```
# let rec len = fun l -> match l
  with [] -> 0
      | x::xs -> 1 + len xs;;
val len : 'a list -> int = <fun>
# len [1;2;3];;
- : int = 3
```

$1 + \text{len}([2;3])$   
 $\downarrow$   
 $1 + 1 + \text{len}([3])$   
 $\downarrow$   
 $1 + 1 + 1 + \text{len}([])$

162

## Definition durch Fall-Unterscheidung

```
# let rec len = fun l -> match l
  with [] -> 0
      | x::xs -> 1 + len xs;;
val len : 'a list -> int = <fun>
# len [1;2;3];;
- : int = 3
```

... kann kürzer geschrieben werden als:

```
# let rec len = function [] -> 0
  | x::xs -> 1 + len xs;;
val len : 'a list -> int = <fun>
# len [1;2;3];;
- : int = 3
```

163

## Fall-Unterscheidung bei mehreren Argumenten

```
# let rec app l y = match l
  with [] -> y
      | x::xs -> x :: app xs y;;
val app : 'a list -> 'a list -> 'a list = <fun>
# app [1;2] [3;4];;
- : int list = [1; 2; 3; 4]
```

... kann auch geschrieben werden als:

```
# let rec app = function [] -> fun y -> y
  | x::xs -> fun y -> x::app xs y;;
val app : 'a list -> 'a list -> 'a list = <fun>
# app [1;2] [3;4];;
- : int list = [1; 2; 3; 4]
```

165

## Fall-Unterscheidung bei mehreren Argumenten

```
# let rec app l y = match l
  with [] -> y
      | x::xs -> x :: app xs y;;
val app : 'a list -> 'a list -> 'a list = <fun>
# app [1;2] [3;4];;
- : int list = [1; 2; 3; 4]
```

164

## Fall-Unterscheidung bei mehreren Argumenten

```
# let rec app l y = match l
  with [] -> y
    | x::xs -> x :: app xs y;;
val app : 'a list -> 'a list -> 'a list = <fun>
# app [1;2] [3;4];;
- : int list = [1; 2; 3; 4]
```

... kann auch geschrieben werden als:

```
# let rec app = function [] -> fun y -> y
  | x::xs -> fun y -> x::app xs y;;
val app : 'a list -> 'a list -> 'a list = <fun>
# app [1;2] [3;4];;
- : int list = [1; 2; 3; 4]
```

165

## 2.7 Benutzerdefinierte Typen

Beispiel: Spielkarten

Wie kann man die Farbe und den Wert einer Karte spezifizieren?

1. Idee: Benutze Paare von Strings und Zahlen, z.B.

```
("Karo",10) ≡ Karo Zehn
("Kreuz",12) ≡ Kreuz Bube
("Pik",1) ≡ Pik As
```

167

## Lokale Definitionen

Definitionen können mit `let` lokal eingeführt werden:

```
# let x = 5
  in let sq = x*x
    in sq+sq;;
- : int = 50
# let facit n = let rec
  iter m yet = if m>n then yet
                else iter (m+1) (m*yet)
  in iter 2 1;;
val facit : int -> int = <fun>
```

166

## Nachteile

- Beim Test auf eine Farbe muss immer ein String-Vergleich stattfinden  
→ ineffizient!
- Darstellung des Buben als 12 ist nicht intuitiv  
→ unleserliches Programm!
- Welche Karte repräsentiert das Paar ("Karo",1)?  
(Tippfehler werden vom Compiler nicht bemerkt)

Besser: Aufzählungstypen von `Ocaml`.

168

Beispiel: Spielkarten

## 2. Idee: Aufzählungstypen

```
# type farbe = Karo | Herz | Pik | Kreuz;;
type farbe = Karo | Herz | Pik | Kreuz
# type wert = Neun | Bube | Dame | Koenig | Zehn | As;;
type wert = Neun | Bube | Dame | Koenig | Zehn | As
# Kreuz;;
- : farbe = Kreuz
# let pik_bube = (Pik,Bube);;
val pik_bube : farbe * wert = (Pik, Bube)
```

169

## Aufzählungstypen (cont.)

Konstruktoren können verglichen werden:

```
# Kreuz < Karo;;
- : bool = false;;
# Kreuz > Karo;;
- : bool = true;;
```

Pattern Matching auf Konstruktoren:

```
# let istTrumpf = function
    (Karo,_) -> true
  | (_,Bube) -> true
  | (_,Dame) -> true
  | (Herz,Zehn) -> true
  | (_,_) -> false;;
```

171

## Vorteile

- Darstellung ist intuitiv.
- Tippfehler werden erkannt:  
# (Kaor,As);;  
Unbound constructor Kaor
- Die interne Repräsentation ist **effizient**.

## Bemerkungen

- Durch **type** wird ein **neuer Typ** definiert.
- Die Alternativen heißen **Konstruktoren** und werden durch **|** getrennt.
- Jeder Konstruktor wird groß geschrieben und ist **eindeutig** einem Typ zugeordnet.

170

## Vorteile

- Darstellung ist intuitiv.
- Tippfehler werden erkannt:  
# (Kaor,As);;  
Unbound constructor Kaor
- Die interne Repräsentation ist **effizient**.

## Bemerkungen

- Durch **type** wird ein **neuer Typ** definiert.
- Die Alternativen heißen **Konstruktoren** und werden durch **|** getrennt.
- Jeder Konstruktor wird groß geschrieben und ist **eindeutig** einem Typ zugeordnet.

170

## Aufzählungstypen (cont.)

Konstruktoren können verglichen werden:

```
# Kreuz < Karo;;
- : bool = false;;
# Kreuz > Karo;;
- : bool = true;;
```

Pattern Matching auf Konstruktoren:

```
# let istTrumpf = function
  (Karo,_) -> true
  | (_,Bube) -> true
  | (_,Dame) -> true
  | (Herz,Zehn) -> true
  | (_,_) -> false;;
```

171

```
# let string_of_farbe = function
  Karo -> "Karo"
  | Herz -> "Herz"
  | Pik -> "Pik"
  | Kreuz -> "Kreuz";;
val string_of_farbe : farbe -> string = <fun>
```

### Beachte

Die Funktion `string_of_farbe` wählt für eine Farbe in **konstanter Zeit** den zugehörigen String aus (der Compiler benutzt – hoffentlich – **Sprungtabellen**).

173

```
val istTrumpf : farbe * wert -> bool = <fun>
```

Damit ergibt sich z.B.:

```
# istTrumpf (Karo,As);;
- : bool = true
# istTrumpf (Pik,Koenig);;
- : bool = false
```

### Eine andere nützliche Funktion:

172

Jetzt kann **Ocaml** schon fast Karten spielen:

```
# let sticht = function
  ((Herz,Zehn),_) -> true
  | (_, (Herz,Zehn)) -> false
  | ((f1,Dame),(f2,Dame)) -> f1 > f2
  | ((_,Dame),_) -> true
  | (_,(_,Dame)) -> false
  | ((f1,Bube),(f2,Bube)) -> f1 > f2
  | ((_,Bube),_) -> true
  | (_,(_,Bube)) -> false
  | ((Karo,w1),(Karo,w2)) -> w1 > w2
  | ((Karo,_) ,_) -> true
  | (_, (Karo,_) ) -> false
  | ((f1,w1),(f2,w2)) -> if f1=f2 then w1 > w2
    else false;;
```

174

```

...
# let nimm (karte2,karte1) =
  if sticht (karte2,karte1) then karte2 else karte1;;

# let stich (karte1,karte2,karte3,karte4) =
  nimm (karte4, nimm (karte3, nimm (karte2,karte1)));;

# stich ((Herz,Koenig),(Karo,As), (Herz,Bube),(Herz,As));
- : farbe * wert = (Herz, Bube)
# stich((Herz,Koenig),(Pik,As), (Herz,Koenig),(Herz,As));
- : farbe * wert = (Herz, As)

```

175

Jetzt kann **Ocaml** schon fast Karten spielen:

```

# let sticht = function
  ((Herz,Zehn),_)      -> true
| (_, (Herz,Zehn))    -> false
| ((f1,Dame),(f2,Dame)) -> f1 > f2
| (_, Dame), _       -> true
| (_, (_, Dame))     -> false
| ((f1,Bube),(f2,Bube)) -> f1 > f2
| (_, Bube), _       -> true
| (_, (_, Bube))     -> false
| ((Karo,w1),(Karo,w2)) -> w1 > w2
| ((Karo,_),_)       -> true
| (_, (Karo,_))      -> false
| ((f1,w1),(f2,w2)) -> if f1=f2 then w1 > w2
                       else false;;

```

174

## Summentypen

Summentypen sind eine Verallgemeinerung von Aufzählungstypen, bei denen die Konstruktoren **Argumente** haben.

**Beispiel:** Hexadezimalzahlen

```

type hex = Digit of int | Letter of char;;
let char2dez c = if c >= 'A' && c <= 'F'
  then (Char.code c)-55
  else if c >= 'a' && c <= 'f'
  then (Char.code c)-87
  else -1;;
let hex2dez = function
  Digit n -> n
| Letter c -> char2dez c;;

```

176

```

...
# let nimm (karte2,karte1) =
  if sticht (karte2,karte1) then karte2 else karte1;;

# let stich (karte1,karte2,karte3,karte4) =
  nimm (karte4, nimm (karte3, nimm (karte2,karte1)));;

# stich ((Herz,Koenig),(Karo,As), (Herz,Bube),(Herz,As));
- : farbe * wert = (Herz, Bube)
# stich((Herz,Koenig),(Pik,As), (Herz,Koenig),(Herz,As));
- : farbe * wert = (Herz, As)

```

175

Jetzt kann Ocaml schon fast Karten spielen:

```
# let sticht = function
  ((Herz,Zehn),_)      -> true
| (_, (Herz,Zehn))    -> false
| ((f1,Dame),(f2,Dame)) -> f1 > f2
| ((_,Dame),_)       -> true
| (_, (_,Dame))      -> false
| ((f1,Bube),(f2,Bube)) -> f1 > f2
| ((_,Bube),_)       -> true
| (_, (_,Bube))      -> false
| ((Karo,w1),(Karo,w2)) -> w1 > w2
| ((Karo,_) ,_)      -> true
| (_, (Karo,_) )     -> false
| ((f1,w1),(f2,w2)) -> if f1=f2 then w1 > w2
                        else false;;
```

174

## Summentypen

Summentypen sind eine Verallgemeinerung von Aufzählungstypen, bei denen die Konstruktoren **Argumente** haben.

**Beispiel:** Hexadezimalzahlen

```
type hex = Digit of int | Letter of char;;
let char2dez c = if c >= 'A' && c <= 'F'
  then (Char.code c)-55
  else if c >= 'a' && c <= 'f'
  then (Char.code c)-87
  else -1;;
let hex2dez = function
  Digit n -> n
| Letter c -> char2dez c;;
```

176

## Summentypen

Summentypen sind eine Verallgemeinerung von Aufzählungstypen, bei denen die Konstruktoren **Argumente** haben.

**Beispiel:** Hexadezimalzahlen

```
type hex = Digit of int | Letter of char;;
let char2dez c = if c >= 'A' && c <= 'F'
  then (Char.code c)-55
  else if c >= 'a' && c <= 'f'
  then (Char.code c)-87
  else -1;;
let hex2dez = function
  Digit n -> n
| Letter c -> char2dez c;;
```

176

let char2dez = function  
| 'A' -> 10  
| 'B' -> 11  
| 'C' -> 12  
| 'D' -> 13  
| 'E' -> 14  
| 'F' -> 15

## Summentypen

Summentypen sind eine Verallgemeinerung von Aufzählungstypen, bei denen die Konstruktoren **Argumente** haben.

**Beispiel:** Hexadezimalzahlen

```
type hex = Digit of int | Letter of char;;
let char2dez c = if c >= 'A' && c <= 'F'
  then (Char.code c)-55
  else if c >= 'a' && c <= 'f'
  then (Char.code c)-87
  else -1;;
let hex2dez = function
  Digit n -> n
  | Letter c -> char2dez c;;
```