Vorsicht bei redundanten und unvollständigen Matches!

```
# let n = 7;;
val n : int = 7
# match n with 0 -> "null";;
Warning: this pattern-matching is not exhaustive.
Here is an example of a value that is not matched:
1
Exception: Match_failure ("", 5, -13).
# match n
   with 0 -> "null"
      | 0 -> "eins"
      | _ -> "Soweit kann ich nicht zaehlen!";;
Warning: this match case is unused.
- : string = "Soweit kann ich nicht zaehlen!"
```

2.5 Listen

Listen werden mithilfe von `[]` und `::` konstruiert.

Kurzschreibweise: `[42; 0; 16]`

```
# let mt = [];;
val mt : 'a list = []
# let l1 = 1::mt;;
val l1 : int list = [1]
# let l = [1;2;3];;
val l : int list = [1; 2; 3]
# let l = 1::2::3::[];;
val l : int list = [1; 2; 3]
```

Achtung:

Alle Elemente müssen den gleichen Typ haben:

```
# 1.0::1::[];;
This expression has type int but is here used with type float
```

Achtung:

Alle Elemente müssen den gleichen Typ haben:

```
# 1.0::1::[];;
This expression has type int but is here used with type float
```

`tau list` beschreibt Listen mit Elementen vom Typ `tau` :-)

Der Typ `'a` ist eine Typ-Variable:

`[]` bezeichnet eine leere Liste für beliebige Element-Typen :-))

Pattern Matching auf Listen:

```
# match l
   with []    -> -1
      | x::xs -> x;;
-: int = 1
```

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 Funktionens-Namen kommen die Parameter.

→ Der Funktionsname ist damit auch nur eine Variable, deren Wert eine Funktion ist :-)

→ 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 :-)

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
```

Achtung:

Eine Funktion ist ein Wert:

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

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 :-)

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` :-)

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
```

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
```

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]
```

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]
```

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>
```

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)`	$\equiv$	Karo Zehn
`("Kreuz",12)`	$\equiv$	Kreuz Bube
`("Pik",1)`	$\equiv$	Pik As

Nachteile:

- Beim Test auf eine Farbe muss immer ein String-Vergleich stattfinden

  $\longrightarrow$ ineffizient!

- Darstellung des Buben als `12` ist nicht intuitiv

  $\longrightarrow$ unleserliches Programm!

- Welche Karte repräsentiert das Paar `("Kaor",1)`?

  (Tippfehler werden vom Compiler nicht bemerkt)

Besser: Aufzählungstypen von Ocaml.

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)
```

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.

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;;
```

```
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:

```
# 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 :-)

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;;
```

```
  ...
# 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)
```