
Heutiges Thema...

Struktur, insbesondere...

- Struktur von *Programmen*
 - *Klassifikation von Rekursionstypen*
 - ~> *Anmerkungen zu Effektivität und Effizienz*
 - ~> *Komplexitätsklassen*
 - Aufrufgraphen
- Ergänzungen zu Funktionstermen
 - Currifizierte vs. uncurrifizierte Funktionen
- Struktur von *Daten*
 - Algebraische Datentypen (`data Tree = ...`)
 - Typsynonyme (`type Student = ...`)
 - Spezialitäten (`newtype State = ...`)

Hinweis: Die kursiv hervorgehobenen Punkte sind bereits in der Vorlesung am 03.11.2005 besprochen worden.

Ergänzungen zu Funktionstermen (1)

Betrachten wir noch einmal die Funktion `add`:

```
add  :: Int -> (Int -> Int)
add m n = m+n
```

...und die Frage nach der “Existenz(berechtigung)” von

```
add 2 :: Int -> Int
```

...welches eine Funktion auf ganzen Zahlen ist, die ihr um 2 erhöhtes Argument als Resultat liefert.

Wir können diese Funktion `doubleInc` nennen...

Ergänzungen zu Funktionstermen (2)

...und in natürlicherweise wie folgt definieren:

```
doubleInc :: Int -> Int
doubleInc n = 2+n
```

Wir können die Definition von `doubleInc` aber auch auf die Funktion `(add 2)` abstützen:

```
doubleInc :: Int -> Int
doubleInc n = (add 2) n
```

...oder noch kürzer argumentlos (als Identität von Funktionen) einführen:

```
doubleInc :: Int -> Int
doubleInc = (add 2)
```

Beobachtung: `doubleInc` ist (nur noch) ein anderer Name für die Funktion `(add 2)`, die hier und in den obigen Bsp. nur der Deutlichkeit halber geklammert ist.

Ergänzungen zu Funktionstermen (3)

Vergleiche `doubleInc`, `add 2`

```
doubleInc :: Int -> Int
doubleInc = add 2
```

mit

```
\n -> add 2 n
```

Beobachtung: `doubleInc`, `add 2` und `\n -> add 2 n` sind...

- i.w. gleichwertige Formulierungen derselben Funktion
- i.w. dadurch unterschieden, dass `doubleInc` eine herkömmlich und im gewohnten Sinn benannte Funktion ist, wohingegen `(add 2)` und `(\n -> (add 2) n)` unbenannt, zumindest nicht im gewohnten Sinn mit einem Namen benannt sind; die Funktion `(\n -> (add 2) n)` speziell ist im Haskell-Jargon eine sog. *anonyme Funktion*!

“Erfahrenheits” - Faustregel

Die Implementierung einer Funktion wie `doubleInc`

- durch

```
doubleInc :: Int -> Int
doubleInc n = 2+n
```

...zeigt, dass vermutlich noch wenig Erfahrung mit funktionaler Programmierung vorliegt

- durch

```
doubleInc :: Int -> Int      doubleInc :: Int -> Int
doubleInc = (+) 2           doubleInc = (+2)  -- sog. operator section
```

...zeigt, dass bereits mehr Erfahrung mit funktionaler Programmierung vorliegt

- durch

```
\n -> 2+n
```

...zeigt gleichfalls, dass bereits mehr Erfahrung mit funktionaler Programmierung vorliegt, und darüberhinaus, dass in der konkreten Anwendungssituation ein Name, unter dem auf die Funktion mit der Bedeutung “`doubleInc`” zugegriffen werden könnte, keine Rolle spielt.

~> *Beispiele dafür später, aber...*

Als Ausblick... (1)

...ein kleines Beispiel schon jetzt:

```
map :: (Int -> Int) -> [Int] -> [Int]
map f [] = []
map f (x:xs) = (f x) : (map f xs)
```

Anwendung:

```
map (\n -> 2+n) [1,2,3] => [3,4,5]
```

...oder genausogut

```
map (add 2) [1,2,3] => [3,4,5]
map (2+) [1,2,3] => [3,4,5]
```

Machen Sie sich klar, dass die Typisierung von `add'` folgendes nicht zuläßt:

```
map (add' 2) [1,2,3]
```

↪ später mehr dazu unter dem Stichwort "Funktionale", speziell Funktionale auf Listen...

Als Ausblick... (2)

Als Beispiel aussagekräftiger und überzeugender:

```
map (\n -> 3*n+42) [1,2,3]    =>    [45,48,51]
```

Wird eine Funktion mit der Abbildungsvorschrift von ($\backslash n \rightarrow 3*n+42$) ansonsten nicht gebraucht, spart man sich durch Verwendung der anonymen Funktion wie oben die Deklaration einer ansonsten nur genau einmal benutzten Funktion wie `dreifachPlus42`:

```
dreifachPlus42 :: Int -> Int
dreifachPlus42 n = 3*n+42
```

```
map dreifachPlus42 [1,2,3]    =>    [45,48,51]
```

Ein anderer Nachtrag: Operatoren in Haskell

Operatoren in Haskell sind...

- ...grundsätzlich *Präfixoperatoren*, insbesondere alle selbst-deklarierten Operatoren (*vulgo*: selbstdeklarierte Funktionen)

Beispiele: `fac 5`, `imax 2 3`, `tripleMax 2 5 3`,...

- ...in einigen wenigen Fällen *Infixoperatoren*, dies gilt insbesondere für arithmetische Operatoren

Beispiele: `2+3`, `3*5`, `7-4`, `5^3`,...

Binäre Operatoren in Haskell: Infix- vs. Präfix

Für binäre Operatoren in Haskell gilt...

- Binäre Operatoren `bop`, die standardmäßig als...
 - Präfixoperatoren verwendet werden, können in der Form `'bop'` als Infixoperator verwendet werden
Beispiel: `2 'imax' 3` (statt standardmäßig `imax 2 3`)
 - Infixoperatoren verwendet werden, können in der Form `(bop)` als Präfixoperator verwendet werden
Beispiel: `(+) 2 3` (statt standardmäßig `2+3`)

Abschließend zu Funktionstermen (1)

Betrachten wir noch einmal die Funktionen `add` und `add'`:

`add` :: `Int -> (Int -> Int)`

`add'` :: `(Int,Int) -> Int`

Abschließend zu Funktionstermen (2)

...hier noch einmal zusammen mit ihren Implementierungen:

```
add  :: Int -> (Int -> Int)
```

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

```
add' :: (Int,Int) -> Int
```

```
add' (m,n) = m+n
```

Sprechweise: Die Funktion...

- add ist *curryfiziert*
- add' ist *uncurryfiziert*

Curryfiziert vs. uncurryfiziert (1)

Idee: ...ziehe die Art der Konsumation mehrerer Argumente zur Klassifizierung von Funktionen heran

Erfolgt die Konsumation mehrerer Argumente durch Funktionen...

- einzeln Argument für Argument: *curryfiziert*
- gebündelt als Tupel: *uncurryfiziert*

Beispiele:

Funktion add curryfiziert: add 2 3 bzw. (add 2) 3

Funktion add' uncurryfiziert: add' (2,3)

Curryfiziert vs. uncurryfiziert (2)

Zentral sind die beiden *Funktionale* (synonym: *Funktionen höherer Ordnung*) `curry` und `uncurry`...

$$\text{curry} :: ((a,b) \rightarrow c) \rightarrow (a \rightarrow b \rightarrow c)$$
$$\text{curry } f \ x \ y = f \ (x,y)$$
$$\text{uncurry} :: (a \rightarrow b \rightarrow c) \rightarrow ((a,b) \rightarrow c)$$
$$\text{uncurry } g \ (x,y) = g \ x \ y$$

Intuitiv:

- *Curryfizieren* ersetzt Produkt-/Tupelbildung “ \times ” durch Funktionspfeil “ \rightarrow ”.
- *Decurryfizieren* ersetzt Funktionspfeil “ \rightarrow ” durch Produkt-/Tupelbildung “ \times ”.

Bemerkung: Die Bezeichnung geht auf Haskell B. Curry zurück, die (weit ältere) Idee auf M. Schönfinkel aus der Mitte der 20er-Jahre.

Curryfiziert vs. uncurryfiziert (3)

Die Funktionale `curry` und `uncurry` bilden...

- uncurryfiziert vorliegende Funktionen auf ihr curryfiziertes Gegenstück ab, d.h.

...für uncurryfiziertes $f :: (a,b) \rightarrow c$ ist

$\text{curry } f :: a \rightarrow b \rightarrow c$ curryfiziert.

- curryfiziert vorliegende Funktionen auf ihr uncurryfiziertes Gegenstück ab, d.h.

...für curryfiziertes $g :: a \rightarrow b \rightarrow c$ ist

$\text{uncurry } g :: (a,b) \rightarrow c$ uncurryfiziert.

```
curry :: ((a,b) -> c) -> (a -> b -> c)
curry f x y = f (x,y)
```

```
curry f :: a -> b -> c
```

```
uncurry :: (a -> b -> c) -> ((a,b) -> c)
uncurry g (x,y) = g x y
```

```
uncurry g :: (a,b) -> c
```

Im Beispiel...

```
add  :: Int -> (Int -> Int)
add m n = m+n
```

```
add' :: (Int,Int) -> Int
add' (m,n) = m+n
```

Damit gilt:

```
curry add' :: Int -> Int -> Int
```

```
uncurry add :: (Int,Int) -> Int
```

...und somit sind die folgenden Aufrufe gültige Aufrufe:

```
curry add' 17 4
  ⇒ add' (17,4) ⇒ 17+4 ⇒ 21
```

```
uncurry add (17,4)
  ⇒ add 17 4 ⇒ 17+4 ⇒ 21
```

Curryfiziert oder uncurryfiziert?

...das ist hier die Frage.

Zum einen...

- Geschmackssache (sozusagen eine notationelle Spielerei)
...sicher, auch das, aber: die Verwendung curryfizierter Formen ist in der Praxis vorherrschend
 $\rightsquigarrow f\ x, f\ x\ y, f\ x\ y\ z, \dots$ möglicherweise eleganter als
 $f\ x, f\ (x,y), f\ (x,y,z), \dots?$

Zum anderen (und weit wichtiger!) folgendes...

- Sachargument
 ...(nur) Funktionen in curryfizierter Darstellung unterstützen *partielle Auswertung*
 \rightsquigarrow Funktionen liefern Funktionen als Ergebnis!

Beispiel: `add 4711 :: Int -> Int`

...ist eine einstellige Funktion auf den ganzen Zahlen, die ihr Argument um 4711 erhöht als Resultat zurückliefert.

Datentypdeklarationen in Haskell

...selbstdefinierte (neue) Datentypen in Haskell!

↷ Haskell's Vehikel dafür: *Algebraische Typen*

Algebraische Typen erlauben uns zu definieren...

- Summentypen
 - *Spezialfälle*
 - * Produkttypen
 - * Aufzählungstypen

In der Praxis besonders wichtige Varianten...

- Rekursive Typen (↷ “unendliche” Datenstrukturen)
- Polymorphe Typen (↷ Wiederverwendung): *Später!*

Grundlegende Typmuster

Aufzählungs-, Produkt- und Summentypen:

- *Aufzählungstypen*
 - ↪ Typen mit endlich vielen Werten
 - ...typisches Beispiel: Typ Jahreszeiten mit Werten
Fruehling, Sommer, Herbst und Winter.
- *Produkttypen (synonym: Verbundtypen)*
 - ↪ Typen mit möglicherweise unendlich vielen Tupelwerten
 - ...typisches Beispiel: Typ Person mit Werten
(Adam, maennlich, 27), (Eva, weiblich, 25), etc.
- *Summentypen (synonym: Vereinigungstypen)*
 - ↪ Vereinigung von Typen mit möglicherweise jeweils unendlich vielen Werten
 - ...typisches Beispiel: Typ Verkehrsmittel als Vereinigung der
(Werte der) Typen Auto, Schiff, Flugzeug, etc.

Zum Einstieg und Vergleich... (1)

Realisierung von Typdefinitionen in imperativen Sprachen

...hier am Bsp. von Pascal

- *Aufzählungstypen*

```
TYPE jahreszeiten = (fruehling, sommer, herbst, winter);
   spielkartenfarben = (kreuz, pik, herz, karo);
   werktage = (montag, dienstag, mittwoch,
              donnerstag, freitag);
   transportmittel = (fahrrad, auto, schiff, flugzeug);
   form = (kreis, rechteck, quadrat, dreieck);
```

- *Produkttypen*

```
TYPE person = RECORD
    name: ARRAY [1..42] OF char;
    geschlecht: (maennlich, weiblich);
    alter: integer
END;
```

Zum Einstieg und Vergleich... (2)

- *Summentypen*

```
TYPE verkehrsmittel =
  RECORD
    CASE vkm: transportmittel OF
      fahrrad: (tandem: Boolean);
      auto: (hersteller: ARRAY [1..30] OF char;
            hubraum: real);
      schiff: (name: ARRAY [1..30] OF char;
              tiefgang: real;
              heimathafen: ARRAY [1..50] OF char);
      flugzeug: (reichweite: real;
                sitzplaetze: integer)
    END;

geometrischefigur =
  RECORD
    CASE fgr: form OF
      kreis: (radius: real);
      rechteck : (breite, hoehe: real);
      quadrat : (seitenlaenge, diagonale: real);
      dreieck: (s1, s2, s3: real; rechtwkg: boolean);
    END;
```

Zum Einstieg und Vergleich... (3)

Aufzählungstypen, Produkttypen, Summentypen...

- In Pascal ...drei verschiedene Sprachkonstrukte
- In Haskell ...ein *einheitliches* Sprachkonstrukt
 \rightsquigarrow die *algebraische Datentypdefinition*

Zum Einstieg und Vergleich... (4)

Obige Einstiegsdatentypbeispiele in Haskell...

- Aufzählungstyp Jahreszeiten

```
data Jahreszeiten = Fruehling | Sommer | Herbst | Winter
data Werktage    = Montag | Dienstag | Mittwoch | Donnerstag | Freitag
data Bool        = True | False
```

- Produkttyp Person

```
data Person = Pers Name Geschlecht Alter
```

mit

```
type Name = String
type Alter = Int
data Geschlecht = Maennlich | Weiblich
```

Zum Einstieg und Vergleich... (5)

- Summentyp Verkehrsmittel

```
data Verkehrsmittel = Fahrrad Bool |  
                        Auto String Float |  
                        Schiff String Float String |  
                        Flugzeug Float Int
```

In obiger Form offenbar wenig transparent im Vergleich zu:

```
TYPE verkehrsmittel =  
  RECORD  
    CASE vkm: transportmittel OF  
      fahrrad: (tandem: Boolean);  
      auto: (hersteller: ARRAY [1..30] OF char;  
            hubraum: real);  
      schiff: (name: ARRAY [1..30] OF char;  
              tiefgang: real;  
              heimathafen: ARRAY [1..50] OF char);  
      flugzeug: (reichweite: real;  
                sitzplaetze: integer)  
    END;
```

Zum Einstieg und Vergleich... (5)

- Summentyp Verkehrsmittel

```
data Verkehrsmittel = Fahrrad Tandem |  
                    Auto Hersteller Hubraum |  
                    Schiff Name Tiefgang Heimathafen |  
                    Flugzeug Spannweite Sitzplaetze
```

mit

```
type Tandem        = Bool  
type Hersteller    = String  
type Hubraum       = Float  
type Name          = String  
type Tiefgang      = Float  
type Heimathafen   = String  
type Reichweite    = Float  
type Sitzplaetze   = Int
```

Man erkennt: Typsynonyme bringen *Transparenz* ins Programm!

Algebraische Datentypen in Haskell

...das allg. Muster der algebraischen Datentypdefinition:

```
data Typename
  = Con1 t11 ... t1k1 |
    Con2 t21 ... t2k2 |
    ...
    Conn tn1 ... tnkn
```

Sprechweisen:

- Typename ... *Typname/-identifikator*
- Con_i , $i = 1..n$... *Konstruktor(en)/-identifikatoren*
- k_i , $i = 1..n$... *Stelligkeit* des Konstruktors Con_i , $k_i \geq 0$,
 $i = 1, \dots, n$

Beachte: Typ- und Konstruktoridentifikatoren müssen mit einem Großbuchstaben beginnen (siehe z.B. True, False)!

Konstruktoren...

...können als Funktionsdefinitionen gelesen werden:

$$\text{Con}_i :: \tau_{i1} \rightarrow \dots \rightarrow \tau_{ik_i} \rightarrow \text{Typname}$$

Konstruktion von Werten eines algebraischen Datentyps durch...

...Anwendung eines Konstruktors auf Werte "passenden" Typs, d.h....

$$\text{Con}_i v_{i1} \dots v_{ik_i} :: \text{Typname}$$

wobei $v_{ij} :: \tau_{ij}, j = 1, \dots, k_i$

Beispiele:

- `Pers "Adam" Maennlich 27 :: Person`
- `Schiff "Donaukönigin" 2.74 "Wien" :: Verkehrsmittel`
- `Flugzeug 8540.75 275 :: Verkehrsmittel`

Aufzählungstypen (1)

Nullstellige Konstruktoren führen auf *Aufzählungstypen*...

Beispiele:

```
data Spielfarbe = Kreuz | Pik | Herz | Karo
data Wochenende = Sonnabend | Sonntag
data Geschlecht = Maennlich | Weiblich
data Form       = Kreis | Rechteck | Quadrat | Dreieck
```

Insbesondere ist der Typ der Wahrheitswerte...

```
data Bool = True | False
```

...Beispiel eines in Haskell vordefinierten Aufzählungstyps.

Aufzählungstypen (2)

Funktionsdefinitionen über Aufzählungstypen...

~> üblicherweise mit Hilfe von Pattern-matching.

Beispiele:

```
hatEcken :: Form -> Bool
```

```
hatEcken Kreis = False
```

```
hatEcken _     = True
```

```
istLandgebunden :: Verkehrsmittel -> Bool
```

```
istLandgebunden Fahrrad = True
```

```
istLandgebunden Auto    = True
```

```
istLandgebunden _      = False
```

Produkttypen

(Alternativenlose) mehrstellige Konstruktoren führen auf *Produkttypen*...

Beispiel:

```
type Name      = String
type Alter     = Int
data Geschlecht = Maennlich | Weiblich

data Person = Pers Name Geschlecht Alter
```

Beispiele: ...für Werte des Typs Person.

```
Pers "Paul Pfiffig" Maennlich 23  :: Person
Pers "Paula Plietsch" Weiblich 22 :: Person
```

Beachte: Funktionalität der Konstruktorfunktion ist hier...

```
Pers :: Name -> Geschlecht -> Alter -> Person
```

Summentypen (1)

Mehrere (null- oder mehrstellige) Konstruktoren führen auf Summentypen...

Beispiel:

```
type Radius          = Float
type Breite          = Float
type Hoehe           = Float
type Seite1          = Float
type Seite2          = Float
type Seite3          = Float
type Rechtwinklig    = Bool

data XFigur = Kreis Radius |
             Rechteck Breite Hoehe |
             Quadrat Kantenlaenge |
             Dreieck Seite1 Seite2 Seite3 Rechtwinklig |
             Ebene
```

Die Varianten einer Summe werden durch “|” getrennt.

Summentypen (2)

Beispiele: ...für Werte des Typs erweiterte Figur XFigur

```
Kreis 3.14                :: XFigur
Rechteck 17.0 4.0         :: XFigur
Quadrat 47.11             :: XFigur
Dreieck 3.0 4.0 5.0 True :: XFigur
Ebene                    :: XFigur
```

Zwischenfazit

Somit ergibt sich die eingangs genannte Taxonomie algebraischer Datentypen...

Haskell offeriert...

- Summentypen

mit den beiden *Spezialfällen*

- Produkttypen
 - ↪ nur ein Konstruktor, mehrstellig
- Aufzählungstypen
 - ↪ ein oder mehrere Konstruktoren, alle nullstellig

Rekursive Typen (1)

...der Schlüssel zu (potentiell) unendlichen Datenstrukturen.

Technisch:

...zu definierende Typnamen können rechtsseitig in der Definition benutzt werden.

Beispiel: ...(arithmetische) Ausdrücke

```
data Expr = Opd Int |
           Add Expr Expr |
           Sub Expr Expr |
           Squ Expr
```

Rekursive Typen (2)

Beispiele ...für Ausdrücke (lies --> als “entspricht”).

```
Opd 42 :: Expr                --> 42
Add (Opd 17) (Opd 4) :: Expr  --> 17+4
Add (Squ (Sub (Opd 42) (Squ (2)))) (Opd 12) :: Expr
                                     --> square(42-square(2))+12
```

...rekursive Typen ermöglichen potentiell unendliche Datenstrukturen!

Rekursive Typen (3)

Weiteres Beispiel:

Binärbäume, hier zwei verschiedene Varianten:

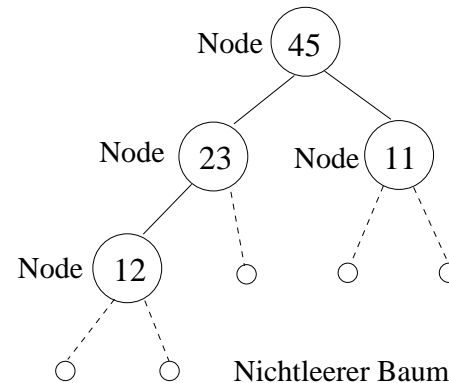
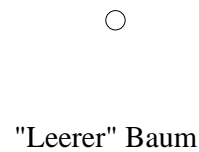
```
data BinTree1 = Nil | Node Int BinTree1 BinTree1
```

```
data BinTree2 = Leaf Int | Node Int BinTree2 BinTree2
```

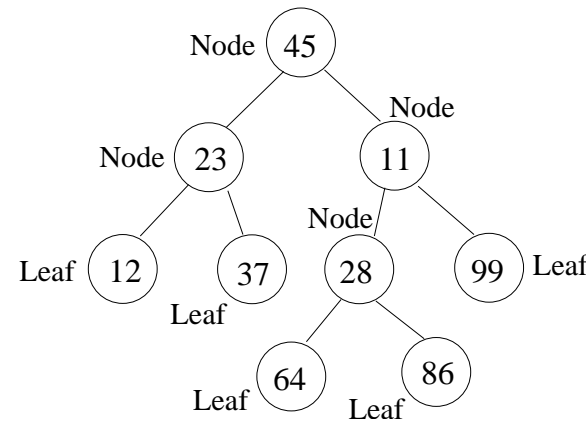
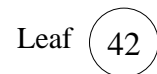
Rekursive Typen (4)

Veranschaulichung der Binärbaumvarianten 1&2 anhand eines Beispiels:

Variante 1



Variante 2



Rekursive Typen (5)

Beispiele ...für Funktionen über Binärbaumvariante 1.

```
valBinTree1 :: BinTree1 -> Int
valBinTree1 Nil = 0
valBinTree1 (Node n bt1 bt2) = n + valBinTree1 bt1 + valBinTree1 bt2
```

```
depthBinTree1 :: BinTree1 -> Int
depthBinTree1 Nil = 0
depthBinTree1 (Node _ bt1 bt2)
    = 1 + max (depthBinTree1 bt1) (depthBinTree1 bt2)
```

Mit diesen Definitionen...

```
valBinTree1 Nil == 0
valBinTree1 (Node 17 Nil (Node 4 Nil Nil)) == 21
depthBinTree1 (Node 17 Nil (Node 4 Nil Nil)) == 2
depthBinTree1 Nil == 0
```

Rekursive Typen (6)

Beispiele ...für Funktionen über Binärbaumvariante 2.

```
valBinTree2 :: BinTree2 -> Int
valBinTree2 (Leaf n)          = n
valBinTree2 (Node n bt1 bt2) = n + valBinTree2 bt1 + valBinTree2 bt2

depthBinTree2 :: BinTree2 -> Int
depthBinTree2 (Leaf _) = 1
depthBinTree2 (Node _ bt1 bt2)
              = 1 + max (depthBinTree2 bt1) (depthBinTree2 bt2)
```

Mit diesen Definitionen...

```
valBinTree2 (Leaf 3) == 3
valBinTree2 (Node 17 (Leaf 4) (Node 4 (Leaf 12) (Leaf 5))) == 42
depthBinTree2 (Node 17 (Leaf 4) (Node 4 (Leaf 12) (Leaf 5))) == 3
depthBinTree2 (Leaf 3) == 1
```

Wechselweise rekursive Typen

...ein Spezialfall rekursiver Typen.

Beispiel:

```
data Individual = Adult Name Address Biography |  
                Child Name
```

```
data Biography = Parent String [Individual] |  
                NonParent String
```

Typsynonyme (1)

...hatten wir bereits kennengelernt bei der Einführung von Tupeltypen:

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

...und auch in den Beispielen zu algebraischen Datentypen benutzt:

```
data Verkehrsmittel = Fahrrad Tandem |
                    Auto Hersteller Hubraum |
                    Schiff Name Tiefgang Heimathafen |
                    Flugzeug Spannweite Sitzplaetze
```

```
type Tandem          = Bool
type Hersteller      = String
type Hubraum         = Float
type Name            = String
type Tiefgang        = Float
type Heimathafen     = String
type Reichweite      = Float
type Sitzplaetze     = Int
```

Typsynonyme (2)

- Das Schlüsselwort `type` leitet die Deklaration von Typsynonymen ein
- Unbedingt zu beachten ist...
 - `type ...` führt neue Namen für bereits existierende Typen ein (Typsynonyme!), keine neuen Typen.

Somit gilt:

Durch `type`-Deklarationen eingeführte Typsynonyme...

- tragen zur Dokumentation bei und
- erleichtern (i.a.) das Programmverständnis

aber...

- führen nicht zu (zusätzlicher) Typsicherheit!
-

Ein (pathologisches) Beispiel

```
type Euro      = Float
type Yen       = Float
type Temperature = Float
```

```
myPi    :: Float
daumen  :: Float
maxTemp :: Temperature
myPi    = 3.14
daumen  = 5.55
maxTemp = 43.2
```

```
currencyConverter :: Euro -> Yen
currencyConverter x = x + myPi * daumen
```

Mit obigen Deklarationen...

```
currencyConverter maxTemp => 60.627
```

...werden 43.2 °C in 60.627 Yen umgerechnet. Typsicher?

Ein reales Beispiel

Anflugsteuerung einer Sonde zum Mars...

```
type Geschwindigkeit = Float
type Meilen           = Float
type Km               = Float
type Zeit             = Float
type Wegstrecke       = Meilen
type Distanz          = Km
```

```
geschwindigkeit :: Wegstrecke -> Zeit -> Geschwindigkeit
geschwindigkeit w z = (/) w z
```

```
verbleibendeFlugzeit :: Distanz -> Geschwindigkeit -> Zeit
verbleibendeFlugzeit d g = (/) d g
```

```
verbleibendeFlugzeit 18524.34 1523.79
```

...durch Typisierungsprobleme dieser Art ging vor einigen Jahren eine Marssonde im Wert von mehreren 100 Mill. USD verloren.

Produkttypen vs. Tupeltypen (1)

Der Typ Person als...

- *Produkttyp*

```
data Person = Pers Name Geschlecht Alter
```

- *Tupeltyp*

```
type Person = (Name, Geschlecht, Alter)
```

Vordergründiger Unterschied:

...in der Tupeltypvariante fehlt der Konstruktor
(in diesem Bsp.: Pers)

Produkttypen vs. Tupeltypen (2)

...eine Abwägung von Vor- und Nachteilen.

Produkttypen und ihre typischen...

- *Vorteile gegenüber Tupeltypen*
 - Objekte des Typs sind mit dem Konstruktor “markiert” (trägt zur Dokumentation bei)
 - Tupel mit zufällig passenden Komponenten nicht irrtümlich als Elemente des Produkttyps manipulierbar (Typsicherheit! Vgl. früheres Beispiel zur Umrechnung Euro in Yen!)
 - Aussagekräftigere (Typ-) Fehlermeldungen (Typsynonyme können wg. Expansion in Fehlermeldungen fehlen).
- *Nachteile gegenüber Tupeltypen*
 - Produkttypenelemente sind weniger kompakt, erfordern längere Definitionen (mehr Schreiarbeit)
 - Auf Tupeln vordefinierte polymorphe Funktionen (z.B. `fst`, `snd`, `zip`, `unzip`, ...) stehen nicht zur Verfügung.
 - Der Code ist weniger effizient.

Andererseits...

Mit Produkttypen statt Typsynonymen...

```
data Euro      = EUR Float
data Yen       = YEN Float
data Temperature = Temp Float
```

```
myPi    :: Float
daumen  :: Float
maxTemp :: Temperature
myPi    = 3.14
daumen  = 5.55
maxTemp = Temp 43.2
```

...wäre eine Funktionsdefinition im Stile von

```
currencyConverter :: Euro -> Yen
currencyConverter x = x + myPi * daumen
```

insbesondere auch ein Aufruf wie...

```
currencyConverter maxTemp
```

durch das Typsystem von Haskell verhindert!

Somit als kurzes Fazit... (1)

...unserer Überlegungen:

- *Typsynonyme* wie...

```
type Euro      = Float
type Yen       = Float
type Temperature = Float
```

...erben alle Operationen von `Float` und sind damit beliebig austauschbar – mit allen Annehmlichkeiten und Gefahren, sprich Fehlerquellen.

- *Produkttypen* wie...

```
data Euro      = EUR Float
data Yen       = YEN Float
data Temperature = Temp Float
```

...erben keinerlei Operationen von `Float`, bieten dafür aber um den Preis zusätzlicher Schreibarbeit und gewissen Performanzverlusts Typsicherheit!

Somit als kurzes Fazit... (2)

In ähnlicher Weise...

```
data Miles      = Mi Float
data Km         = Km Float
type Distance   = Miles
type Wegstrecke = Km
```

...

...wäre auch der Verlust der Marssonde vermutlich vermeidbar gewesen.

Spezialitäten

...die `newtype`-Deklaration:

```
newtype Miles = Mi Float
```

`newtype`-Deklarationen sind im Hinblick auf...

- Typsicherheit
...mit `data`-Deklarationen vergleichbar
- Effizienz
...mit `type`-Deklarationen vergleichbar

Beachte: `newtype`-Deklarationen sind auf Typen mit nur einem Konstruktor eingeschränkt.

Polymorphe Typen

...demnächst!

Vorschau auf die kommenden Aufgabenblätter...

Ausgabe des...

- vierten Aufgabenblatts: Mi, den 16.11.2005
...Abgabetermine: Mi, den 23.11.2005, und Mi, den 30.11.2005, jeweils 12:00 Uhr
- fünften Aufgabenblatts: Mi, den 23.11.2005
...Abgabetermine: Mi, den 30.11.2005, und Mi, den 07.12.2005, jeweils 12:00 Uhr
- sechsten Aufgabenblatts: Mi, den 30.11.2005
...Abgabetermine: Mi, den 07.12.2005, und Mi, den 14.12.2005, jeweils 12:00 Uhr

Vorschau auf die nächsten Vorlesungstermine...

- Do, 24.11.2005, Vorlesung von 16:30 Uhr bis 18:00 Uhr im Radinger-Hörsaal
- Do, 01.12.2005, Vorlesung von 16:30 Uhr bis 18:00 Uhr im Radinger-Hörsaal
- *Do, 08.12.2005: Keine Vorlesung: Feiertag!*
- Do, 15.12.2005, Vorlesung von 16:30 Uhr bis 18:00 Uhr im Radinger-Hörsaal