Heutiges Thema...

Datenstrukturen in Haskell...

- Algebraische Datentypen (`data Tree = ...`)
- Typsynonyme (`type Student = ...`)
- Spezialitäten (`newtype State = ...`)

Datentypdeklarationen in Haskell

...selbstdefinierte (neue) Datentypen in Haskell!

$\leadsto$ Haskells Vehikel dafür: *Algebraische Typen*

Algebraische Typen erlauben uns zu definieren...

- Summentypen
  - *Spezialfälle*
    - Produkttypen
    - Aufzählungstypen

In der Praxis besonders wichtige Varianten...

- Rekursive Typen ($\leadsto$ "unendliche" Datenstrukturen)
- Polymorphe Typen ($\leadsto$ Wiederverwendung): *Später!*

Grundlegende Typmuster

Aufzählungs-, *Produkt-* und *Summentypen*:

- *Aufzählungstypen*
  $\leadsto$ Typen mit endlich vielen Werten

  ...typisches Beispiel: Typ `Jahreszeiten` mit Werten
  `Fruehling`, `Sommer`, `Herbst` und `Winter`.

- *Produkttypen* (synonym: *Verbundtypen)*
  $\leadsto$ Typen mit möglicherweise unendlich vielen Tupelwerten

  ...typisches Beispiel: Typ `Person` mit Werten
  `(Adam, maennlich, 27)`, `(Eva, weiblich, 25)`, etc.

- *Summentypen* (synonym: *Vereinigungstypen*)
  $\leadsto$ 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
  $\leadsto$ 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*
- $\texttt{Con}_i$, $i = 1..n$ ...*Konstruktor(en)/-identifikatoren*
- k_i, $i = 1..n$ ...*Stelligkeit* des Konstruktors $\texttt{Con}_i$, $\mathsf{k}_i \geq 0$, $i = 1, \ldots, n$

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

Konstruktoren...

...können als Funktionsdefinitionen gelesen werden:

$\texttt{Con}_i$ `::` $\texttt{t}_{i1}$ `->` `...` `->` $\texttt{t}_{ik_i}$ `->` `Typename`

Konstruktion von Werten eines algebraischen Datentyps durch...

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

$\texttt{Con}_i$ $\texttt{v}_{i1}$ `...` $\texttt{v}_{ik_i}$ :: `Typname`

wobei $\texttt{v}_{i1}$ `::` $\texttt{t}_{i1}$ `...` $\texttt{v}_{ik_i}$ `::` $\texttt{t}_{ik_i}$, $j = 1, \ldots, k_i$

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...

$\leadsto$ 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
  $\leadsto$ nur ein Konstruktor, mehrstellig

- Aufzählungstypen
  $\leadsto$ 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:

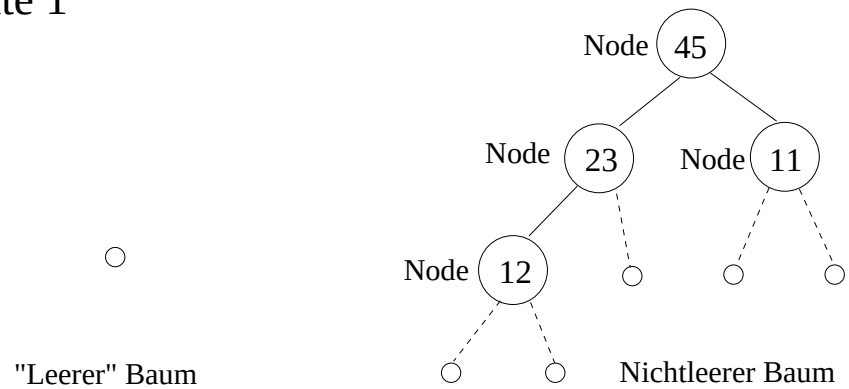
```
data BinTree1 = Nil | Node Int BinTree1 BinTree1
```

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

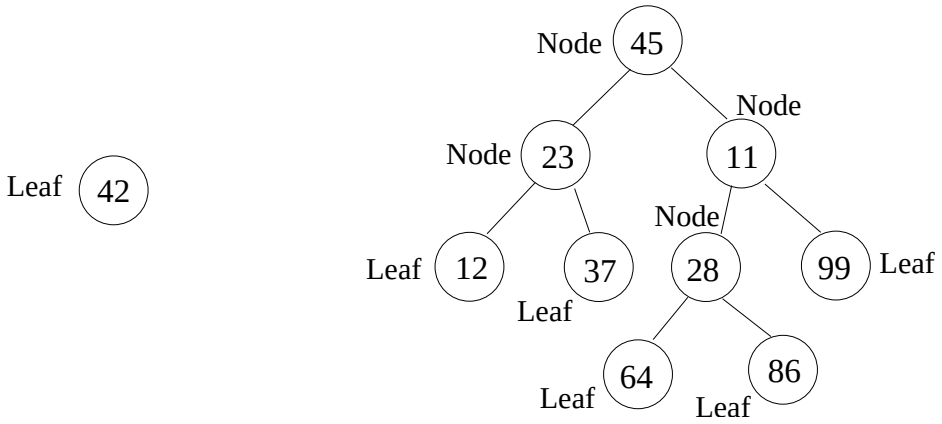
Rekursive Typen (4)

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 Typsyonyme...

- 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*
  - Produkttypelemente sind weniger kompakt, erfordern längere Definitionen (mehr Schreibarbeit)
  - Auf Tupeln vordefinierte polymorphe Funktionen (z.B. `fst`, `snd`, `zip`, `unzip`, `...`) stehen nicht zur Verfügung.
  - Der Code ist weniger effizient.

Andererseits...

Mit Produkttypen statt Typsynoymen...

```
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: Di, 30.10.2007
  ...Abgabetermine: Di, den 06.11.2007, und Di, den 13.11.2007, jeweils 15:00 Uhr

- fünften Aufgabenblatts: Di, den 06.11.2007
  ...Abgabetermine: Di, den 13.11.2007, und Di, den 20.11.2007, jeweils 15:00 Uhr

- sechsten Aufgabenblatts: Di, den 13.11.2007
  ...Abgabetermine: Di, den 20.11.2007, und Di, den 27.11.2007, jeweils 15:00 Uhr

Vorschau auf die nächsten Vorlesungstermine...

- *Do, 01.11.2006: Keine Vorlesung! (Allerheiligen)*
- Do, 08.11.2007, Vorlesung von 16:30 Uhr bis 18:00 Uhr im Radinger-Hörsaal
- *Do, 15.11.2007: Keine Vorlesung! (Tag des Landespatrons, TU-weit LVA-frei)*
- Di, 20.11.2007, Vorlesung von 13:00 Uhr bis 14:00 Uhr im Informatik-Hörsaal
- *Do, 22.11.2007: Keine Vorlesung! (epilog, Diplomarbeitspräsentation, FfI-weit LVA-frei ab 15:00 Uhr)*
- Di, 27.11.2007, Vorlesung von 13:00 Uhr bis 14:00 Uhr im Informatik-Hörsaal
- Do, 29.11.2007, Vorlesung von 16:30 Uhr bis 18:00 Uhr im Radinger-Hörsaal