# Heutiges Thema

- **Teil 1:** Programmieren im Großen, Module, abstrakte Datentypen, reflektive Programmierung
- **Teil 2:** Zusammenfassung und Ausblick

# Teil 1: Programmieren im Großen

Das Modulkonzept von Haskell...

# Modularisierung im allgemeinen (1)

*Intuitiv*:

- Zerlegung großer Programm(systeme) in kleinere Einheiten, genannt *Module*

*Ziel*:

- Sinnvolle, über- und durchschaubare Organisation des Gesamtsystems

# Modularisierung im allgemeinen (2)

*Vorteile*:

- *Arbeitsphysiologisch* ...Unterstützung arbeitsteiliger Programmierung
- *Softwaretechnisch* ...Unterstützung der Wiederbenutzung von Programmen und Programmteilen
- *Implementierungstechnisch* ...Unterstützung von "separate compilation"

*Insgesamt*:

- Höhere Effizienz der Softwareerstellung bei gleichzeitiger Steigerung der Qualität (Verlässlichkeit) und reduzierten Kosten

# Modularisierung im allgemeinen (3)

*Anforderungen* an das Modulkonzept zur Erreichung vorgenannter Ziele:

- Unterstützung des Geheimnisprinzips
  ...durch Trennung von
  - Schnittstelle (Import/Export)
    ...*wie interagiert das Modul mit seiner Umgebung? Welche Funktionalität stellt es zur Verfügung* (*Export*), *welche Funktionalität erwartet es* (*Import*)*?*
  - Implementierung (Daten/Funktionen)
    ...*wie ist die Funktionalität des Moduls realisiert?*

  in einem Modul.

# Module in Haskell – Allgemeiner Aufbau

```
module MyModule where

-- Daten- und Typdefinitionen
data D1 ... = ...
...
data Dn ... = ...

type T1 = ...
...
type Tn = ...

-- Funktionsdefinitionen
f1 :: ...
f1 ... = ...
...
fn :: ...
fn ... = ...
```

# Das Modulkonzept von Haskell

...unterstützt:

- Export
  - Selektiv/Nicht selektiv
- Import
  - Selektiv/Nicht selektiv
  - Qualifiziert
  - Mit Umbenennung

...unterstützt nicht:

- automatischer Reexport!

# Import: Nicht selektiv

```
module M1 where
...

module M2 where
import M1  -- Nicht selektiver Import:
           -- Alle im Modul M1 (sichtbaren) Bezeichner/
           -- Definitionen werden importiert und koennen
           -- in M2 benutzt werden.
```

# Import: Selektiv

```
module M1 where
...                                -- wie auf voriger Folie

module M2 where
import M1 (D1, D2 (..), T1, f5)  -- Selektiver Import:
                                   -- Lediglich D1 (ohne Konstruktoren),
                                   -- D2 (einschliesslich Konstruktoren,
                                   -- T1 und f5 werden importiert und
                                   -- koennen in M2 benutzt werden.

module M3 where
import M1 hiding (D1, T2, f1)    -- Selektiver Import:
                                   -- Alle (sichtbaren) Bezeichner/
                                   -- Definitionen mit Ausnahme der
                                   -- explizit genannten werden importiert
                                   -- und koennen in M3 benutzt werden.
```

# Export: Nicht selektiv

```
module M1 where      -- Nicht selektiver Export:
data D1 ... = ...    -- Alle im Modul M1 (sichtbaren)
...                  -- Bezeichner/Definitionen werden
data Dn ... = ...    -- exportiert und koennen von anderen
                     -- Modulen importiert werden.
type T1 = ...
...
type Tn = ...

f1 :: ...
f1 ... = ...
...
fn :: ...
fn ... = ......
```

# Export: Selektiv

```
module M1 (D1, D2 (..), T1, f2, f5) where
data D1 ... = ...
...                     -- Selektiver Export:
data Dn ... = ...       -- Nur die explizit genannten Bezeichner/
                        -- Definitionen werden exportiert und
type T1 = ...           -- koennen von anderen Modulen importiert
...                     -- werden.
type Tn = ...           -- Unterstuetzt Geheimnisprinzip!


f1 :: ...
f1 ... = ...
...
fn :: ...
fn ... = ......
```

# Kein automatischer Reexport (1)

```
module M1 where ...

module M2 where
import M1     -- Nicht selektiver Import:
              -- Alle im Modul M1 (sichtbaren) Bezeichner/
fM2...        -- Definitionen werden importiert und koennen
              -- in M2 benutzt werden.

module M3 where
import M2     -- Alle im Modul M2 (sichtbaren) Bezeichner/
              -- Definitionen werden importiert und koennen
              -- in M2  benutzt werden, nicht jedoch von
              -- M2 aus M1 importierte Namen. Mithin: Kein
              -- automatischer Reexport!
```

# Kein automatischer Reexport (2)

Abhilfe: Expliziter Reexport!

```
module M4 (D1 (..), f1, f2) where   -- Selektiver
import M1                           -- Reexport

module M2 (M1,fM2) where    -- Nicht selektiver
import M1                   -- Reexport
```

# Sonderfälle: Namenskollisionen, Lokale Namen

- Namenskollisionen
  - Abhilfe/Auflösen: Qualifizierter Import

    ```
    import qualified M1
    ```

- Umbenennen importierter Module
  - Lokale Namen importierter
    - Module

      ```
      import MyM1 as M1
      ```

    - Bezeichner

      ```
      import M1 (f1,f2) renaming (f1 to g1, f2 to g2)
      ```

# Konventionen und gute Praxis

- Konventionen
  - Pro Datei ein Modul
  - Modul- und Dateiname stimmen überein (abgesehen von der Endung `.hs` bzw. `.lhs` im Dateinamen).
  - Alle Deklarationen beginnen in derselben Spalte wie `module`.
- Gute Praxis
  - Module unterstützen *eine* (*!*) klar abgegrenzte Aufgabenstellung (vollständig) und sind in diesem Sinne in sich abgeschlossen; ansonsten Teilen (Teilungskriterium)
  - Module sind "kurz" (ideal: 2 bis 3 Druckseiten; prinzipiell: "so lang wie nötig, so kurz wie möglich")

# Wiederholung (vgl. Folie 27, Vorlesungsteil 1)

"Verstecken" von in `Prelude.hs` vordefinierten Funktionen...

Ergänze...

```
import Prelude hiding (reverse,tail,zip)
```

...am Anfang des Haskell-Skripts im Anschluss an die Modul-Anweisung (so vorhanden), um `reverse`, `tail` und `zip` zu verbergen.

# Das Hauptmodul

Module `main`...

- ...muss in jedem Modulsystem als "top-level" Modul vorkommen und eine Definition namens `main` festlegen.

  $\leadsto$ ...ist der in einem übersetzten System bei Ausführung des übersetzten Codes zur Auswertung kommende Ausdruck.

# Regeln "guter" Modularisierung (1)

(siehe dazu auch M. Chakravarty, G. Keller. *Einführung in die Programmierung mit Haskell*. Kapitel 10, Pearson Studium, 2004.)

*Aus Modulsicht*:

Module sollen...

- einen klar definierten, auch unabhängig von anderen Modulen verständlichen Zweck besitzen
- nur einer Abstraktion entsprechen
- einfach zu testen sein

# Regeln "guter" Modularisierung (2)

*Aus Gesamtprogrammsicht*:

Aus Modulen aufgebaute Programme sollen so entworfen sein, dass...

- Auswirkungen von Designentscheidungen (z.B. Einfachheit vs. Effizienz einer Implementierung) auf wenige Module beschränkt sind
- Abhängigkeiten von Hardware oder anderen Programmen auf wenige Module beschränkt sind

# Regeln "guter" Modularisierung (3)

*Aus intra- und intermodularer Sicht*:

Zwei zentrale Konzepte in diesem Zusammenhang sind...

- Intramodular: *Kohäsion*
- Intermodular: *Kopplung*

# Regeln "guter" Modularisierung (4)

*Aus intramodularer Sicht*:

*Kohäsion*

- Anzustreben sind...
  - *Funktionale Kohäsion* (d.h. Funktionen ähnlicher Funktionalität sollten in einem Modul zusammengefasst sein, z.B. Ein-/Ausgabefunktionen, trigonometrische Funktionen, etc.)
  - *Datenkohäsion* (d.h. Funktionen, die auf den gleichen Datenstrukturen arbeiten, sollten in einem Modul zusammengefasst sein, z.B. Baummanipulationsfunktionen, Listenverarbeitungsfunktionen, etc.)
- Zu vermeiden sind...
  - *Logische Kohäsion* (d.h. unterschiedliche Implementierungen der gleichen Funktionalität sollten in verschiedenen Modulen untergebracht sein, z.B. verschiedene Benutzerschnittstellen eines Systems)
  - *Zufällige Kohäsion* (d.h. Funktionen sind ohne sachlichen Grund, zufällig eben, in einem Modul zusammengefasst)

# Regeln "guter" Modularisierung (5)

*Aus intermodularer Sicht*:

*Kopplung*

- beschäftigt sich mit dem Import-/Exportverhalten von Modulen
  - Anzustreben ist...
    - *Datenkopplung* (d.h. Funktionen unterschiedlicher Module kommunizieren nur durch Datenaustausch (in funktionalen Sprachen per se gegeben))

# Regeln "guter" Modularisierung (6)

*Kennzeichen "guter" Modularisierung*:

- *Starke Kohäsion*
  d.h. enger Zusammenhang der Definitionen eines Moduls

- *Lockere Kopplung*
  d.h. wenige Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Modulen, insbesondere weder direkte noch indirekte zirkuläre Abhängigkeiten.

# Abstrakte Datentypen, kurz: ADTs (1)

*Ziel...*

- Kapselung von Daten, Realisierung des Geheimnisprinzips auf Datenebene (engl. *information hiding*)

*Implementierungstechnisch zentral...*

- Haskells Modulkonzept, speziell "selektiver Export"

# Abstrakte Datentypen, kurz: ADTs (2)

Hinweise auf drei klassische Literaturstellen:

- John V. Guttag. *Abstract Data Types and the Development of Data Structures*. Communications of the ACM, Vol. 20, No. 6, 396-404, 1977.

- John V. Guttag, J. J. Horning. *The Algebra Specification of Abstract Data Types*. Acta Informatica, Vol. 10, No. 1, 27-52, 1978.

- John V. Guttag, Ellis Horowitz, David R. Musser. *Abstract Data Types and Software Validation*. Communications of the ACM, Vol. 21, No. 12, 1048-1064, 1978.

# Abstrakte Datentypen, kurz: ADTs (3)

Die grundlegende Idee am Beispiel des Typs *Schlange*:

```
Schnittstellen/Signatur:
NEW:              -> Queue
ADD:       Queue x Item -> Queue
FRONT:     Queue -> Item
REMOVE:    Queue -> Queue
IS_EMPTY:  Queue -> Boolean

Axiome/Gesetze:
(1) IS_EMPTY(NEW) = true
(2) IS_EMPTY(ADD(q,i)) = false
(3) FRONT(NEW) = error
(4) FRONT(ADD(q,i)) = if IS_EMPTY(q) then i else FRONT(q)
(5) REMOVE(NEW) = error
(6) REMOVE(ADD(q,i)) = if IS_EMPTY(q) then NEW
                                      else ADD(REMOVE(q),i)
```

# Bsp.: (Warte-) Schlangen als ADT (1)

Warteschlange...

...eine FIFO (first-in/first-out) Datenstruktur

```
module Queue ( Queue,       --  Kein Konstruktorexport!!!
               emptyQ,      --  Queue a
               isEmptyQ,    --  Queue a -> Bool
               joinQ,       --  a -> Queue a -> Queue a
               leaveQ,      --  Queue a -> (a, Queue a)
             ) where

...  -- Fortsetzung siehe naechste Folie
```

# Bsp.: (Warte-) Schlangen als ADT (2)

```
... -- Fortsetzung der vorherigen Folie

data Queue = Qu [a]

emptyQ = Qu []

isEmptyQ (Qu []) = True
isEmptyQ _       = False

joinQ x (Qu xs) = Qu (xs++[x])

leaveQ q@(Qu xs)
  | not (isEmptyQ q)  =  (head xs, Qu (tail xs))
  | otherwise         =  error "Niemand wartet!"
```

# Bsp.: (Warte-) Schlangen als ADT (3)

Notationelle Spielart des Mustervergleichs...

```
leaveQ q@(Qu xs)   --  argument as "q or as (Qu xs)"
```

Mittels...

- `q` Zugriff auf das Argument als Ganzes
- `(Qu xs)` Zugriff auf/über die Struktur des Arguments

# Bsp.: (Warte-) Schlangen als ADT (2)

Programmiertechn. Vorteile aus der Benutzung von ADTs...

- *Geheimnisprinzip*: Nur die Schnittstelle ist bekannt, die Implementierung bleibt verborgen
  - Schutz der Datenstruktur vor unkontrolliertem oder nicht beabsichtigtem/zugelassenem Zugriff
  - Einfache Austauschbarkeit der zugrundeliegenden Implementierung
  - Arbeitsteilige Programmierung

*Beispiel*: `emptyQ == Qu []`

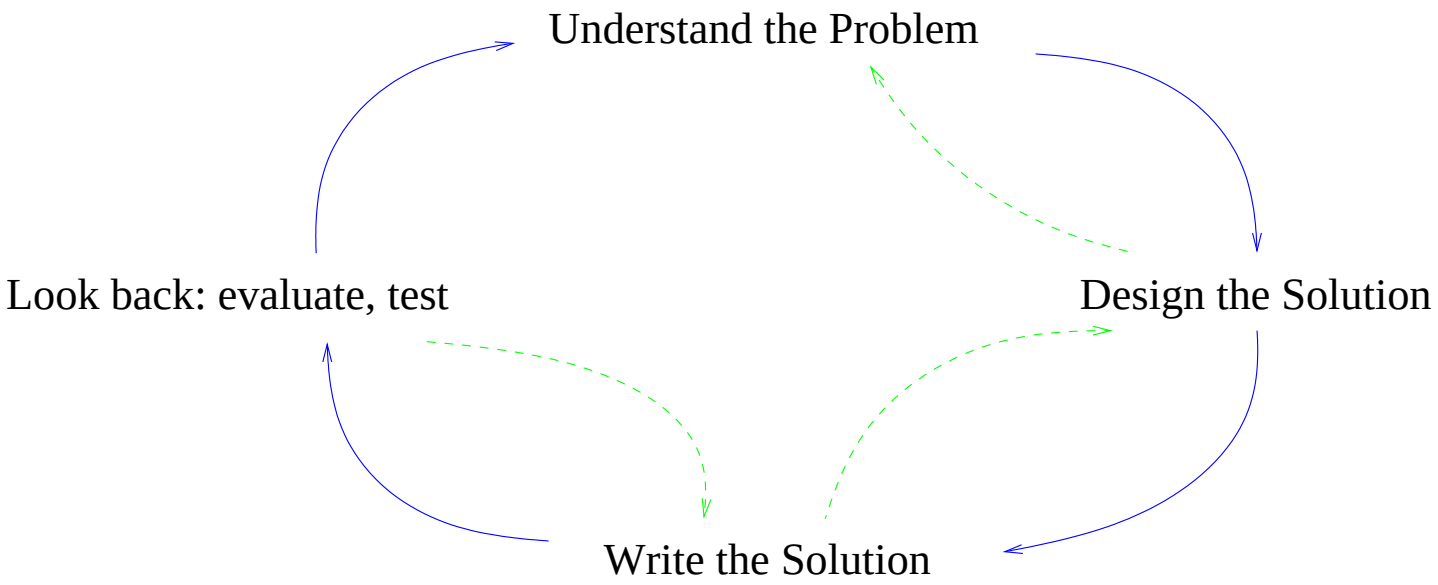
...führt in `Queue` importierenden Modulen zu einem Laufzeitfehler! (Die Implementierung und somit der Konstruktor `Qu` sind dort nicht sichtbar.)

# Resümee algebraische vs. abstrakte Datentypen

- Algebraische Datentypen
  - ...werden durch die Angabe ihrer Elemente spezifiziert, aus denen sie bestehen.
- Abstrakte Datentypen
  - ...werden durch ihr Verhalten spezifiziert, d.h. durch die Menge der Operationen, die darauf arbeiten.

# Reflektives Programmieren

Der Entwicklungszyklus nach S. Thompson, Kap. 11 [3] ...




In jeder dieser Phasen ist es hilfreich, (sich) Fragen zu stellen!

Für eine beispielhafte Auswahl siehe z.B. S. Thompson, Kap. 11 [3]!

# Teil 2: Zusammenfassung und Ausblick

Abschluss und Rückblick...

- Blick über den Gartenzaun
  ...(ausgewählte) andere funktionale Programmiersprachen

- Rückblick auf die Vorlesung

# Im Rückblick auf die Vorlesung...

- Welche Aspekte funktionaler Programmierung haben wir betrachtet?
  - ...paradigmentypische, sprachunabhängige Aspekte
- Welche nicht oder nur gestreift?
  - ...sprachabhängige, speziell Haskell-spezifische Aspekte

Frei nach (und im Sinne von) Dietrich Schwanitz...

"*Alles, was man wissen muss...*

*...um selber weiter zu lernen.*"

# Überblick über die Vorlesungsinhalte... (1)

00 Vorbesprechung

01 Einführung und Motivation

- Warum funktionale Programmierung
- Warum Haskell
- Einstieg in Haskell und Hugs

Grundlagen

- Elementare Datentypen: Wahrheitswerte, ganze Zahlen,...
- Tupel, Listen und Funktionen, insbesondere notationelle Varianten

# Überblick über die Vorlesungsinhalte... (2)

02 Funktionen und Funktionssignaturen

03 Funktionen und Funktionsterme, Rekursionstypen, Komplexitätsklassen und Aufrufgraphen

04 Funktionen und Curryfizierung, Datentypdeklarationen

- Typsynonyme
- Algebraische Datentypen
  - Summentypen
  - Spezialfälle: Aufzählungs- und Produkttypen
  - Wichtige Varianten: Rekursive und polymorphe Typen, `newtype`-Deklarationen

# Überblick über die Vorlesungsinhalte... (3)

05 Polymorphie auf Funktionen und Typen, Typklassen

- Parametrische und ad-hoc Polymorphie

06 Ergänzungen zu Polymorphie und Typklassen, Vererbung, Listen und Listenkomprehension, Muster

07 Funktionen höherer Ordnung, Ein- und Ausgabe, Fehlerbehandlung

08 Programmierung mit Monaden, Auswertungsstrategien für Funktionen: lazy vs. eager, Hintergrund und Grundlagen: der Lambda-Kalkül

# Überblick über die Vorlesungsinhalte... (4)

09 Programmieren im Großen

- Das Modulkonzept von Haskell
- Abstrakte Datentypen
- Reflektives Programmieren

Abschluss und Rückblick

- Blick über den Gartenzaun und Resümee

# Resümee (1)

Charakteristika fkt. und imp. Sprachen (P. Pepper [4])...

- Funktional...
  - Programm ist *Ein-/Ausgaberelation*
  - Programme sind *“zeit”-los*
  - Programmformulierung auf *abstraktem*, *mathematisch geprägten Niveau*
- Imperativ...
  - Programm ist *Arbeitsanweisung* für eine Maschine
  - Programme sind *zustands-* und *“zeit”-behaftet*
  - Programmformulierung konkret *mit Blick auf eine Maschine*

# Resümee (2)

*Die Fülle an Möglichkeiten (in funktionalen Programmiersprachen) erwächst aus einer kleinen Zahl von elementaren Konstruktionsprinzipien.*

P. Pepper [4]

Im Falle von...

- Funktionen
  - (Fkt.-) Applikation, Fallunterscheidung und Rekursion
- Datenstrukturen
  - Produkt- und Summenbildung, Rekursion

Tragen bei zu Mächtigkeit und Eleganz und damit auch zu...

*Functional programming is fun!*

Rückschauend... war es das?

# Blick über den Gartenzaun

...auf ausgewählte andere funktionale Programmiersprachen:

- ML: Ein “eager” Wettbewerber
- Lisp: Der Oldtimer
- APL: Ein Exot

...und einige ihrer Charakteristika.

# ML: Ein “eager” Wettbewerber von Haskell

- ML ist eine strikte funktionale Sprache
- Lexical scoping, Curryfizieren (wie Haskell)
- stark typisiert mit Typinferenz, keine Typklassen
- umfangreiches Typkonzept für Module und ADT
- zahlreiche Erweiterungen (beispielsweise in OCAML) auch für imperative und objektorientierte Programmierung
- sehr gute theoretische Fundierung

# Beispiel: Module/ADTs in ML

```
structure S = struct
    type 't Stack              = 't list;
    val  create                = Stack nil;
    fun  push x (Stack xs)     = Stack (x::xs);
    fun  pop (Stack nil)       = Stack nil;
    |    pop (Stack (x::xs))   = Stack xs;
    fun  top (Stack nil)       = nil;
    |    top (Stack (x:xs))    = x;
end;

signature st = sig type q; val push: 't -> q -> q; end;

structure S1:st = S;
```

# Lisp: Der Oldtimer funktionaler Programmiersprachen

- Lisp ist eine noch immer häufig verwendete strikte funktionale Sprache mit imperativen Zusätzen
- umfangreiche Bibliotheken, leicht erweiterbar
- einfache, interpretierte Sprache, dynamisch typisiert
- Listen sind gleichzeitig Daten und Funktionsanwendungen
- nur lesbar, wenn Programme gut strukturiert
- in vielen Bereichen (insbesondere KI, Expertensysteme) erfolgreich eingesetzt
- sehr gut zur Metaprogrammierung geeignet

# Ausdrücke in Lisp

| | | |
|---|---|---|
| Beispiele für Symbole: | A | (Atom) |
| | austria | (Atom) |
| | 68000 | (Zahl) |

Beispiele für Listen:
(plus a b)
((meat chicken) water)
(unc trw synapse ridge hp)
nil bzw. () entsprechen leerer Liste

Eine Zahl repräsentiert ihren Wert direkt —
ein Atom ist der Name eines assoziierten Wertes

(setq x (a b c)) bindet x global an (a b c)

(let ((x a) (y b)) e) bindet x lokal in e an a und y an b

# Funktionen in Lisp

Erstes Element einer Liste wird normalerweise als Funktion interpretiert, angewandt auf restliche Listenelemente.

(quote a) bzw. 'a liefert Argument a selbst als Ergebnis.

Beispiele für primitive Funktionen:

| | | | |
|---|---|---|---|
| (car '(a b c)) | ⇒ a | (atom 'a) | ⇒ t |
| (car 'a) | ⇒ error | (atom '(a)) | ⇒ nil |
| (cdr '(a b c)) | ⇒ (b c) | (eq 'a 'a) | ⇒ t |
| (cdr '(a)) | ⇒ nil | (eq 'a 'b) | ⇒ nil |
| (cons 'a '(b c)) | ⇒ (a b c) | (cond ((eq 'x 'y) 'b) | |
| (cons '(a) '(b)) | ⇒ ((a) b) | (t 'c)) | ⇒ c |

# Definition von Funktionen in Lisp

(lambda (x y) (plus x y)) ist Funktion mit zwei Parametern

((lambda (x y) (plus x y)) 2 3) wendet die Funktion an: $\Rightarrow$ 5

(define (add (lambda (x y) (plus x y)))) definiert einen globalen Namen „add“ für die Funktion

(defun add (x y) (plus x y)) ist abgekürzte Schreibweise dafür

Beispiel:

```
(defun reverse (l) (rev nil l))
(defun rev (out in)
     (cond ((null in) out)
           (t (rev (cons (car in) out) (cdr in)))))
```

# Closures

- kein Curryfizieren in Lisp, Closures als Ersatz
- Closures: lokale Bindungen behalten Wert auch nach Verlassen der Funktion

  Beispiel:
  ```
  (let ((x 5))
     (setf (symbol-function 'test)
        #'(lambda () x)))
  ```
- praktisch: Funktion gibt Closure zurück

  Beispiel:
  ```
  (defun create-function (x)
     (function (lambda (y) (add x y))))
  ```
- Closures sind flexibel, aber Curryfizieren ist viel einfacher

# Dynamic Scoping — Static Scoping

- lexikalisch: Bindung ortsabhängig (Source-Code)
- dynamisch: Bindung vom Zeitpunkt abhängig
- normales Lisp: lexikalisches Binden

  Beispiel:
  ```
  (setq a 100)
  (defun test () a)
  (let ((a 4)) (test))    ⇒ 100
  ```

- dynamisches Binden durch (defvar a) möglich

  obiges Beispiel liefert damit 4

# Makros

- Code expandiert, nicht als Funktion aufgerufen (wie C)
- Definition: erzeugt Code, der danach evaluiert wird

  Beispiel:
  ```
  (defmacro get-name (x n)
      (list 'cadr (list 'assoc x n)))
  ```
- Expansion und Ausführung:

  (get-name 'a b) $\Leftrightarrow$ (cadr (assoc 'a b))
- nur Expansion:

  (macroexpand '(get-name 'a b)) $\Rightarrow$ '(cadr (assoc 'a b))

# Lisp vs. Haskell: Ein Vergleich

| Kriterium | Lisp | Haskell |
|---|---|---|
| Basis | einfacher Interpreter | formale Grundlage |
| Zielsetzung | viele Bereiche | referentiell transparent |
| Verwendung | noch häufig | zunehmend |
| Sprachumfang | riesig (kleiner Kern) | moderat, wachsend |
| Syntax | einfach, verwirrend | modern, Eigenheiten |
| Interaktivität | hervorragend | nur eingeschränkt |
| Typisierung | dynamisch, einfach | statisch, modern |
| Effizienz | relativ gut | relativ gut |
| Zukunft | noch lange genutzt | einflussreich |

# APL: Ein Exot

- APL ist eine ältere applikative (funktionale) Sprache mit imperativen Zusätzen
- zahlreiche Funktionen (höherer Ordnung) sind vordefiniert, Sprache aber nicht einfach erweiterbar
- dynamisch typisiert
- verwendet speziellen Zeichensatz
- Programme sehr kurz und kompakt, aber kaum lesbar
- vor allem für Berechnungen mit Feldern gut geeignet

# Beispiel: Programmentwicklung in APL

Berechnung der Primzahlen von 1 bis N

Schritt 1. $(\iota \mathrm{N}) \circ.| (\iota \mathrm{N})$

Schritt 2. $0 = (\iota \mathrm{N}) \circ.| (\iota \mathrm{N})$

Schritt 3. $+/[2]\ 0 = (\iota \mathrm{N}) \circ.| (\iota \mathrm{N})$

Schritt 4. $2 = (+/[2]\ 0 = (\iota \mathrm{N}) \circ.| (\iota \mathrm{N}))$

Schritt 5. $(2 = (+/[2]\ 0 = (\iota \mathrm{N}) \circ.| (\iota \mathrm{N}))) / \iota \mathrm{N}$

# Erfolgreiche Einsatzfelder funktionaler Programmierung

- Compiler in compilierter Sprache geschrieben
- Theorembeweiser HOL und Isabelle in ML
- Modelchecker (z.B. Edinburgh Concurrency Workbench)
- Mobility Server von Ericson in Erlang
- Konsistenzprüfung mit Pdiff (Lucent 5ESS) in ML
- CPL/Kleisli (komplexe Datenbankabfragen) in ML
- Natural Expert (Datenbankabfragen Haskell-ähnlich)
- Ensemble zur Spezifikation effizienter Protokolle (ML)
- Expertensysteme (insbesondere Lisp-basiert)
- ...
- http://www.cs.bell-labs.com/~wadler/realworld/

# Zum Schluss: Eine hoffnungsvolle Prognose...

*The clarity and economy of expression that the language of functional programming permits is often very impressive, and, but for human inertia, functional programming can be expected to have a brilliant future.*[(*)]

Edsger W. Dijkstra (11.5.1930-6.8.2002)

*1972 Recipient of the ACM Turing Award*

[(*)] Zitat aus: Introducing a course on calculi. Ankündigung einer Lehrveranstaltung an der University of Texas at Austin, 1995.

# Lohnenswerte Literaturhinweise...

Bereits in der Vorbesprechung angegeben:

- Wadler, P. An angry half-dozen. ACM SIGPLAN Notices 33(2), 25-30, 1998
- Wadler, P. Why no one uses functional languages. ACM SIGPLAN Notices 33(8), 23-27, 1998

Aber man sollte stets beide Seiten der Medaille kennen...

- Hughes, J. Why Functional Programming Matters. Computer Journal 32(2), 98-107, 1989
- Philip Wadler. *The Essence of Functional Programming*. In Conference Record of the 19th Annual Symposium on Principles of Programming Languages (POPL'92), eingeladener Vortrag, 1992.
- Simon Peyton-Jones. *Wearing the Hair Shirt: A Retrospective on Haskell*, eingeladener Vortrag, 30th Annual Symposium on Principles of Programming Languages (POPL'03), 2003.

# Organisatorisches

Abgabe- und Prüfungsgespräche...

- Anmeldung: Wann und wie...
  - *Wann*: Von Mo, 23.01.06 - Fr, 03.02.06 als **Standardtermin**; Nachtragstermine dann zu Beginn, in der Mitte und zu Ende der Vorlesungszeit im Sommersemester 2006. Danach in jedem Fall Zeugnisausstellung.
  - *Wie*: Elektronisch über das Prüfungsanmeldesystem auf
    `https://www.complang.tuwien.ac.at/anmeldung/`
- Inhalt
  - Fragen zu Aufgaben und Vorlesung
  - **Wichtig**: Bringen Sie Ausdrucke Ihrer Programmierlösungen mit!

**$\rightsquigarrow$Anmeldungen sind seit heute, Do, 19.01.2006, möglich!**

Das FP-Team wünscht Ihnen eine...

**erlebnis- und erfolgreiche vorlesungsfreie Zeit**

und

**einen guten Start ins Sommersemester 2006!**