

Heutiges Thema

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

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007) 1

Teil 1: Programmieren im Großen

Das Modulkonzept von Haskell...

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007) 2

Modularisierung im allgemeinen (1)

Intuitiv:

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

Ziel:

- Sinnvolle, über- und durchschaubare Organisation des Gesamtsystems

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007) 3

Modularisierung im allgemeinen (2)

Vorteile:

- *Arbeitsphysiologisch* ... Unterstützung arbeitsteiliger Programmierung
 - *Softwaretechnisch* ... Unterstützung der Wiederverwendung von Programmen und Programmtteilen
 - *Implementierungstechnisch* ... Unterstützung von "separate compilation"
- Insgesamt:*
- Höhere Effizienz der Softwareerstellung bei gleichzeitiger Steigerung der Qualität (Verlässlichkeit) und reduzierten Kosten

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007) 4

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?*

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007) 5

Module in Haskell – Allgemeiner Aufbau

```
module MyModule where

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

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

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

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007) 6

Das Modulkonzept von Haskell

...unterstützt:

- Export
 - Selektiv/Nicht selektiv
 - Import
 - Selektiv/Nicht selektiv
 - Qualifiziert
 - Mit Umbenennung
- ...unterstützt nicht:
- automatischer Reexport!

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007) 7

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.
```

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007) 8

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.
```

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

9

Export: Nicht selektiv

```
module M1 where
    data D1 ... = ...
    ...
    type T1 = ...
    type Tn = ...

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

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

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

10

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 Modulan importiert
    -- werden.
    ...
    type Tn = ...
    -- Unterstuetzt Geheimnisprinzip!

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

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

11

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 M3 benutzt werden, nicht jedoch von
    -- M2 aus M1 importierte Namen. Mithin: Kein
    -- automatischer Reexport!
```

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

12

Kein automatischer Reexport (2)

Abhilfe: Expliziter Reexport!

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

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

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

13

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)
```

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

14

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")

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

15

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.

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

16

Das Hauptmodul

Module main...

- ...muss in jedem Modulsystem als "top-level" Modul vorkommen und eine Definition namens `main` festlegen.
- ~> ...ist der in einem übersetzten System bei Ausführung des übersetzten Codes zur Auswertung kommende Ausdruck.

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

17

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

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

18

Regeln "guter" Modularisierung (2)

Aus *Gesamtprogramm*sicht:

Aus Modulen aufgebauete 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

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

19

Regeln "guter" Modularisierung (3)

Aus *Intra- und Intermodularer Sicht*:

Zwei zentrale Konzepte in diesem Zusammenhang sind...

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

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

20

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, Listenverarbeitungs-funktionen, 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)

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

21

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))

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

22

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.

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

23

Abstrakte Datentypen, kurz: ADTs (1)

Ziel:...

- Kapselung von Daten, Realisierung des Geheimnisprinzips auf Datenebene (engl. *Information hiding*)
- *Implementierungstechnisch zentral*...
- Haskell's Modulkonzept, speziell "selektiver Export"

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

24

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.

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

25

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)
```

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

26

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

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

27

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

... -- Fortsetzung der vorherigen Folie

```
data Queue = Qu []

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!"
```

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

28

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

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

29

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

Programmiertechn. Vorteile aus der Benutzung von ADTs...

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

Beispiel: `emptyQ == Qu []`

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

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

30

Resümee algebraische vs. abstrakte Datentypen

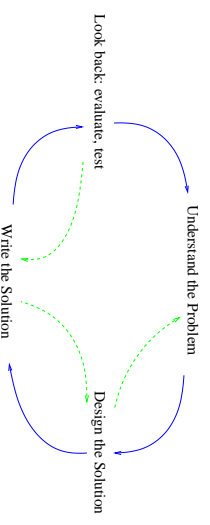
- Algebraische Datentypen
 - ...werden durch die Angabe ihrer Elemente spezifiziert, aus denen sie bestehen.
- Abstrakte Datentypen
 - ...werden durch ihr Verhalten spezifiziert, d.h. durch die Menge der Operationen, die darauf arbeiten.

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

31

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]!

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

32

Teil 2: Zusammenfassung und Ausblick

Abschluss und Rückblick...

- Blick über den Gartenzaun
... (ausgewählte) andere funktionale Programmiersprachen
- Rückblick auf die Vorlesung

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

33

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."

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

34

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 notationale Varianten

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

35

Überblick über die Vorlesungsinhalte... (2)

- 02 Funktionen und Funktionssignaturen
- 03 Funktionen und Funktionsterme, Rekursionstypen, Komplexitätsklassen und Aufrufgraphen, Funktionen und Curryfizierung
- 04 Datentypdeklarationen
 - Typsynonyme
 - Algebraische Datentypen
 - * Summentypen
 - * Spezialfälle: Aufzählungs- und Produkttypen
 - * Wichtige Varianten: Rekursive und polymorphe Typen, `newtype`-Deklarationen

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

36

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

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

37

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

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

38

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*

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

39

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.

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

41

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

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

42

Beispiel: Module/ADTs in ML

```
structure S = struct
  type t Stack
  val create
  fun push x (Stack xs) = Stack (x::xs);
  fun pop (Stack nil) = Stack nil;
  fun 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;
```

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

43

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

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

44

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

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

45

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

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

46

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: ⇒ 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)))))
```

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

47

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

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

48

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

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

49

Makros

- Code expandiert, nicht als Funktion aufgerufen (wie C)
 - Definition: erzeugt Code, der danach evaluiert wird
- Beispiel: `(defmacro get-name (x n)`
`(ifst 'cadr (list 'assoc x n)))`
- Expansion und Ausführung:
`(get-name 'a b) ⇒ (cadr (assoc 'a b))`
 - nur Expansion:
`(macroexpand '(get-name 'a b)) ⇒ '(cadr (assoc 'a b))`

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

50

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

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

51

Beispiel: Programmentwicklung in APL

Berechnung der Primzahlen von 1 bis N

- Schritt 1. $(\lambda N) \circ | (\lambda N)$
- Schritt 2. $0 = (\lambda N) \circ | (\lambda N)$
- Schritt 3. $+ / | 2] 0 = (\lambda N) \circ | (\lambda N)$
- Schritt 4. $2 = (+ / | 2] 0 = (\lambda N) \circ | (\lambda N)$
- Schritt 5. $(2 = (+ / | 2] 0 = (\lambda N) \circ | (\lambda N))) / \lambda N$

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

53

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.

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

55

APL: Ein Exot

- APL ist eine ältere applikative (funktionale) Sprache mit imperativen Zusätzen
- zahlreiche Funktionen (früherer 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

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

52

Erfolgreiche Einsatzfelder funktionaler Programmierung

- Compiler in kompilierter Sprache geschrieben
- Theorembeweiser HOL und Isabelle in ML
- Modelchecker (z.B. Edinburgh Concurrency Workbench)
- Mobility/Server von Ericson in Erlang
- Konsistenzprüfung mit Pdfff (Lucent SESS) in ML
- CPL/Kleisli (Komplexe Datenbankfragen) in ML
- Natural Expert (Datenbankabfragen Haskell-ähnlich)
- Ensemble zur Spezifikation effizienter Protokolle (ML)
- Expertensysteme (insbesondere Lisp-basiert)
- ...
- `http://homepages.inf.ed.ac.uk/wadler/realworld/`

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

54

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.

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

56

Organisatorisches zur schriftlichen LVA-Prüfung 1(3)

Hinweise zur schriftlichen LVA-Prüfung...

- Worüber...
 - Vorlesungsstoff, Übungsstoff, und folgender wissenschaftlicher (Übersichts-) Artikel:
Pauli Hudak: *Conception, Evolution, and Application of Functional Programming Languages*. ACM Computing Surveys, Vol. 21, No. 3, September 1989, 359 - 411.
- Wann, wo und wie lange...
 - Der Haupttermin ist am...
 - * Do, den 24.01.2008, von 16:00 Uhr s.t. bis 18:00 Uhr, im Radlinger-Hörsaal am Getreidemarkt 2; die Dauer beträgt 90 Minuten.
- Hilfsmittel...
 - Keine.

Organisatorisches zur schriftlichen LVA-Prüfung 3(3)

Neben dem Haupttermin wird es drei Nebentermine für die schriftliche LVA-Prüfung geben, und zwar...

- zu Anfang
 - in der Mitte
 - am Ende
- der Vorlesungszeit im SS 2008.
- Danach in jedem Fall Zeugnisausstellung.
- Die genauen Termine werden rechtzeitig auf der Webseite der LVA angekündigt!
- Auch zur Teilnahme an der schriftlichen LVA-Prüfung an einem der Nebentermine ist eine Anmeldung über TUWIS++ erforderlich.

Einladung zum Kolloquiumsvortrag

Die CompiLang-Gruppe lädt ein zu folgendem Vortrag...

Automatic Verification of Combined Specifications

Prof. Dr. Ernst-Rüdiger Olderog
Carl v. Ossietzky Universität Oldenburg, Deutschland

ZEIT: Freitag, 13. Dezember 2007, 14:00 Uhr c.t.

ORT: TU Wien, Elektrotechnik, EI 5 Hochenegg-Hörsaal, Gußhausstr. 25-29 (Altbau), 2. Stock

MEHR INFO: <http://www.compiLang.tuwien.ac.at/~ralks/Olderog2007-12-13>

Alle Interessenten sind herzlich willkommen!

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

61

Organisatorisches zur schriftlichen LVA-Prüfung 2(3)

Hinweise zur schriftlichen LVA-Prüfung...

- Mitzubringen sind...
 - Papier, Stifte, **Studierendenausweis**.
- Anmeldung: Ist erforderlich...
 - Wann: Zwischen dem 10.01.2008 und dem 20.01.2008
 - Wie: Elektronisch über TUWIS++
- Voraussetzung...
 - Mindestens 50% der Punkte aus der Laborübung, d.h. mindestens 450 Punkte.

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

58

Besprechungen weiterer Aufgabenblätter...

Im neuen Jahr, voraussichtlich an zwei Donnerstagssterminen! Beachten Sie bitte die entsprechenden Hinweise auf der Webseite der Lehrveranstaltung und in der newsgroup zur Vorlesung!

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

60

Das FP-Team wünscht Ihnen...

**Ein frohes Weihnachtsfest
und
einen guten Rutsch ins neue Jahr!**

Funktionale Programmierung (WS 2007/2008) / 9. Teil (11.12.2007)

62