

# **Funktionale Programmierung**

**Prof. Dr. Uwe Kastens**

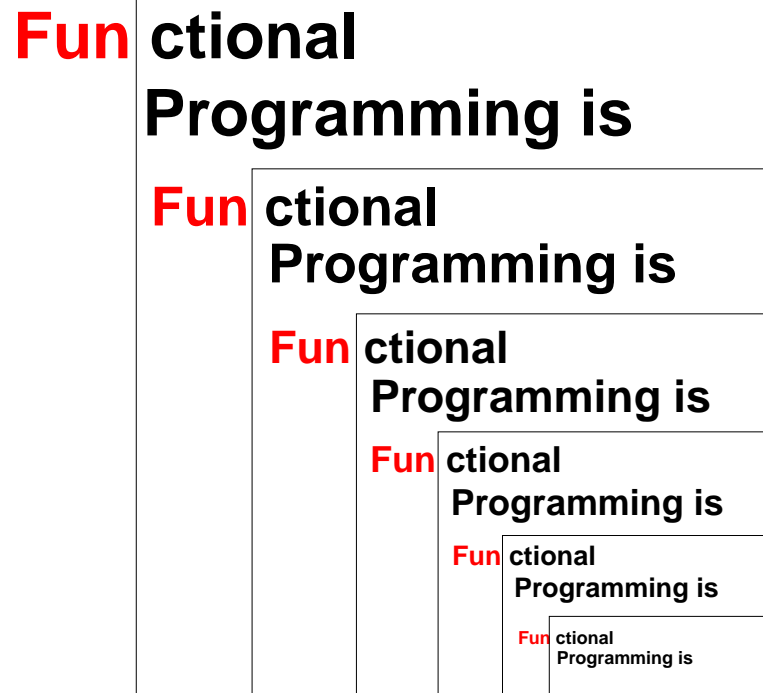
**SS 2013**

## **Vorlesung Funktionale Programmierung SS 2013 / Folie 100**

**Ziele:**

Begrüßung

# Functional Programming is Fun



## Vorlesung Funktionale Programmierung SS 2013 / Folie 101

### Ziele:

Motivation

## Ziele, Material

Die Teilnehmer sollen

- die **Klarheit und Mächtigkeit** der funktionalen Programmierung erkennen,
- **Paradigmen** der funktionalen Programmierung erlernen,
- **Techniken** der funktionalen Programmierung an praktischen Beispielen erproben und einüben

### Literatur:

- **Vorlesungsmaterial:**

<http://ag-kastens.upb.de/lehre/material/fp>

- **Textbuch:**

**L. C. Paulson: ML for the Working Programmer**, 2nd Edition, Cambridge University Press, 1996

Schwerpunkt stärker auf Paradigmen und Techniken als auf der Sprache SML, enthält viele Beispiele bis hin zu nützlichen Modulen.

- Weiteres Buch zu SML:

C. Myers, C. Clack, E.Poon: *Programming with Standard ML*, Prentice Hall, 1993

- siehe auch Internet-Links im Vorlesungsmaterial

<http://ag-kastens.upb.de/lehre/material/fp/wwwrefs.html>

## Vorlesung Funktionale Programmierung SS 2013 / Folie 102

### Ziele:

Ziele und Durchführung klären

### in der Vorlesung:

- Ziele, Material erläutern,
- Übungen planen

### Verständnisfragen:

Was sind Ihre Ziele?

# Inhalt

	Kapitel im Textbuch
1. Einführung	
2. LISP: FP Grundlagen	
3. Grundlagen von SML	2
4. Programmierparadigmen zu Listen	3
5. Typkonstruktoren, Module	2, 4, 7
6. Funktionen als Daten	5
7. Datenströme	5
8. Lazy Evaluation	
9. Funktionale Sprachen: Haskell, Scala	
10. Zusammenfassung	

## Vorlesung Funktionale Programmierung SS 2013 / Folie 103

**Ziele:**

Übersich über den Inhalt bekommen

**in der Vorlesung:**

Themen und Zusammenhang zum Textbuch erläutern

## Vorkenntnisse in FP aus Modellierung, GPS und PLaC

### Modellierung:

- Modellierung mit Wertebereichen

### GPS:

- Datentypen, parametrisierte Typen (Polytypen)

### • Funktionale Programmierung:

#### SML-Eigenschaften:

- Notation
- Deklarationen, Muster
- Funktionen, Aufrufe
- Listen
- Datentypen, Polymorphie

#### Programmiertechniken:

- Rekursion zur Induktion
- Rekursion über Listen
- akkumulierender Parameter
- Berechnungsschemata (HOF)
- Currying (HOF)

### PLaC:

- Spracheigenschaften und ihre Implementierung
- Typsysteme, Typanalyse für funktionale Sprachen

## Vorlesung Funktionale Programmierung SS 2013 / Folie 104

### Ziele:

Voraussetzungen für die Vorlesung FP klären

### in der Vorlesung:

- Bezug der genannten Themen zu Abschnitten dieser Vorlesung herstellen,
- Vereinbaren, welche Themen selbständig wiederholt werden und welche in der Vorlesung wiederholt und dann vertieft werden.

### Verständnisfragen:

Beherrschen Sie die hier genannten Themen?

## Gedankenexperiment

Wähle eine **imperative Sprache**, z. B. Pascal, C.

Erlaube Eingabe nur als Parameter und Ausgabe nur als Ergebnis des Programmaufrufes.

**Eliminiere Variablen mit Zuweisungen.**

**Eliminiere** schrittweise alle **Sprachkonstrukte**, die **nicht mehr sinnvoll anwendbar** sind.

eliminiertes Sprachkonstrukt	Begründung
------------------------------	------------

...

...

...

...

Betrachte die **restliche Programmiersprache**.

Ist sie **sinnvoll anwendbar**?

**Erweitere sie um nützliche Konstrukte** (nicht Variablen mit Zuweisungen)

ergänztetes Sprachkonstrukt	Begründung
-----------------------------	------------

...

...

...

...

## Vorlesung Funktionale Programmierung SS 2013 / Folie 105

### Ziele:

Imperative und funktionale Sprachkonstrukte klassifizieren

### in der Vorlesung:

Die Gedankenexperimente werden gemeinsam diskutiert.

## 2. LISP: FP Grundlagen

**Älteste** funktionale Programmiersprache (McCarthy, 1960).

Viele weit verbreitete **Weiterentwicklungen** (Common LISP, Scheme).

Ursprünglich wichtigste Sprache für Anwendungen im Bereich **Künstlicher Intelligenz**.

Hier nur **Pure LISP**:

### Notation:

geklammerte Folge von Symbolen  
gleiche Notation für Programm und Daten

### Datenobjekte:

Listen: (1 2 3 4) (ggT 24 36)  
atomare Werte: T, F, NIL, Zahlen, Bezeichner

**Beispiel:** Fakultätsfunktion mit akkumulierendem Parameter (**defun** nicht in Pure Lisp)

```
(defun AFac (n a)
  (cond ((eq n 0) a)
        (T (AFac (- n 1) (* a n)))))
(defun Fac (n) (AFac n 1))
```

**Aufruf:** (Fac 4)

## Vorlesung Funktionale Programmierung SS 2013 / Folie 201

### Ziele:

Zurück zu den Wurzeln der Funktionalen Programmierung

### in der Vorlesung:

An Beispielen wird ein erster Eindruck von LISP gegeben

### Übungsaufgaben:

Vergleichen Sie die Funktion mit der Notation in SML

## Grundfunktionen

**Aufruf:**  $(e_0 e_1 \dots e_n)$ .

Ausdruck  $e_0$  liefert die aufzurufende Funktion, die übrigen liefern Werte der aktuellen Parameter.

### Grundfunktionen:

`(cons e l)`

Listenkonstruktor

`(car l)`

Listenkopf

`(cdr l)`

Listenrest

`(null l)`

leere Liste?

`(eq a b)`

Vergleich atomarer Werte

`(equal l1 l2)`

tiefer Vergleich von Listen

`(atom e)`

atomar?

`(cond (p1 e1) ... (pn en))`

**Fallunterscheidung; nicht-strikte Auswertung:**

$(p_i e_i)$  von links nach rechts auswerten bis ein  $p_j \top$  liefert; Ergebnis ist dann  $e_j$ .

`(quote e)`

$e$  wird nicht ausgewertet,

sondern ist selbst das Ergebnis

`(lambda (x1 ... xn) e)`

Funktionskonstruktor mit formalen Parametern  $x_1 \dots x_n$  und Funktionsrumpf  $e$

nicht in Pure Lisp:

`(setq x e)`

Wert von  $e$  wird an  $x$  gebunden (top level)

`(defun f (x1 ... xn) e)`

Funktion wird an  $f$  gebunden (top level)

## Vorlesung Funktionale Programmierung SS 2013 / Folie 202

### Ziele:

Grundfunktionen von LISP verstehen

### in der Vorlesung:

An Beispielen wird erläutert:

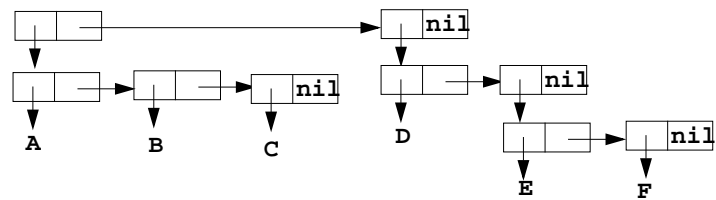
- Notation,
- Vergleiche,
- Bedingungskonstrukt,
- Striktheit,
- Lambda-Ausdruck
- Bindungen mit `setq` und `defun`
- top-level des Interpretierers



## Listen als Programm und Daten

Eine **Liste** ist eine evtl. leere Folge von Ausdrücken;  
Jeder Ausdruck ist ein Atom oder eine Liste:

```
'()
'((A B C) (D (E F)))
```



```
(cdr (cdr '(1 2 3 4)))
```

Ein **Aufruf** ist eine Liste; beim Auswerten liefert ihr erstes Element eine **Funktion**;  
die weiteren Elemente liefern die **aktuellen Parameterwerte** des Aufrufes.

Ein **Programm** ist eine Liste von geschachtelten Aufrufen.

Das Programm operiert auf Daten; sie sind Atome oder Listen.

Die Funktion `quote` **unterdrückt die Auswertung** eines Ausdruckes; der Ausdruck selbst ist das Ergebnis der Auswertung:

Die Auswertung von `(quote (1 2 3 4))` liefert `(1 2 3 4)`

Kurznotation für `(quote (1 2 3 4))` ist `'(1 2 3 4)`

**Listen, die Daten in Programmen** angeben, müssen durch `quote` gegen Auswerten geschützt werden: `(length (quote 1 2 3))` oder `(length '(1 2 3))`

## Vorlesung Funktionale Programmierung SS 2013 / Folie 203

### Ziele:

Listennotation und -darstellung verstehen

### in der Vorlesung:

An Beispielen wird erläutert:

- Listennotation: verkettete Paare,
- Programme und Daten bestehen aus Listen und Atomen,
- Unterdrückung der Auswertung verstehen (`quote`)

## Einige Funktionen über Listen

Länge einer Liste:

```
(defun Length (l) (cond ((null l) 0) (T (+ 1 (Length (cdr l))))))
```

Aufruf `(Length '(A B C))` liefert 3

Map-Funktion (`map` ist vordefiniert):

```
(defun Map (f l)
  (cond ((null l) nil)
        (T (cons (funcall f (car l))
                  (Map f (cdr l))))))
```

Aufruf `(Map (lambda (n) (cons n (cons n nil))) '(1 2 3))`

liefert `'((1 1) (2 2) (3 3))`

```
(funcall f p)
```

wertet `f` zu einer Funktion aus und ruft diese mit dem Parameter `p` auf

## Vorlesung Funktionale Programmierung SS 2013 / Folie 204

### Ziele:

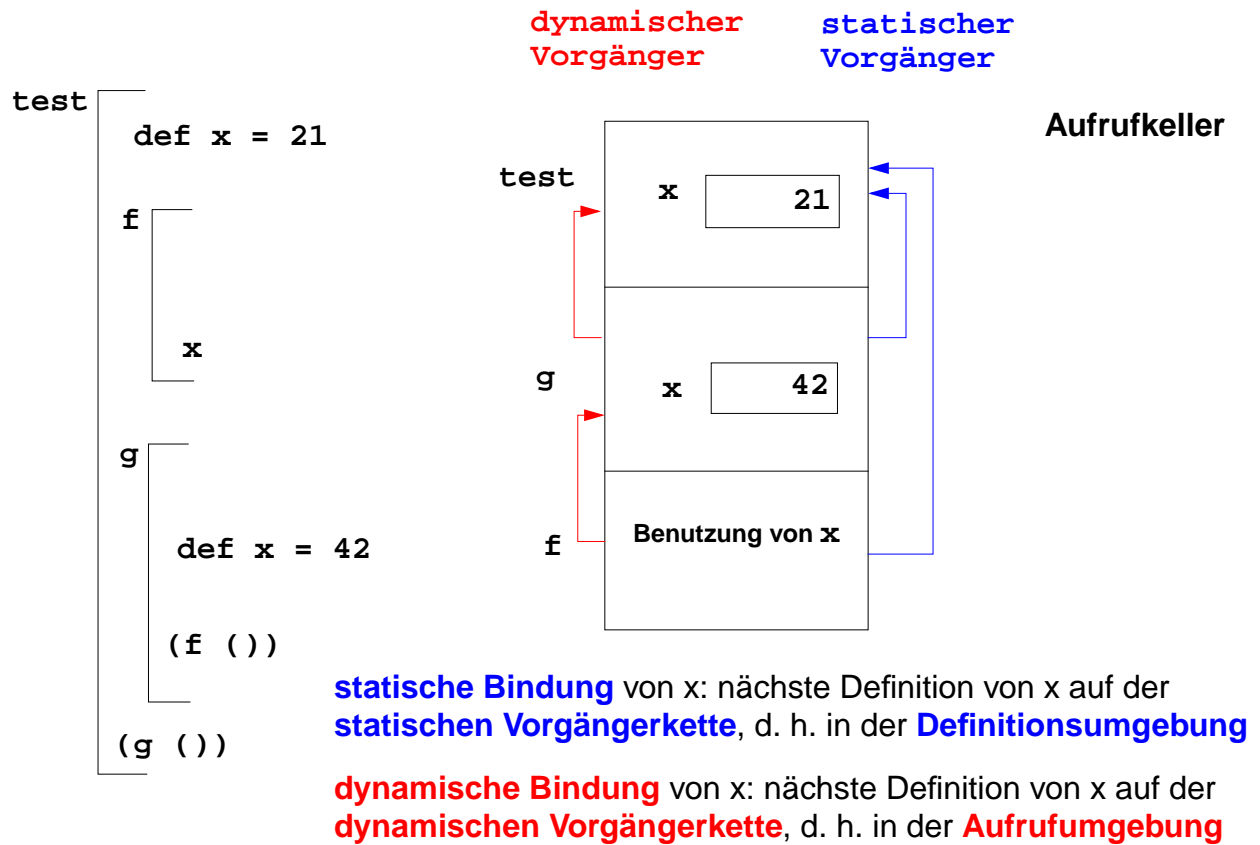
Notation und Struktur von Funktionen verstehen

### in der Vorlesung:

An Beispielen wird erläutert:

- Funktionen lesen,
- aufrufen,
- umformulieren in SML

# Statische oder dynamische Bindung von Namen



## Vorlesung Funktionale Programmierung SS 2013 / Folie 205

### Ziele:

Dynamische Bindung verstehen

### in der Vorlesung:

Am Beispiel wird erläutert:

- statische Bindung bei geschachtelten Funktionen,
- Laufzeitkeller mit statischen und dynamischen Vorgängerverweisen,
- dynamische Bindung
- Regelung in LISP: ursprünglich dynamische Bindung

### Übungsaufgaben:

Explorieren Sie, welche Bindung in Common LISP gilt.

## Statische oder dynamische Bindung in Common Lisp?

Bindungen in geschachtelten Lambda-Ausdrücken:

```
(print
  ((lambda (x)                ; Umgebung test1 bindet x
    ((lambda (f)              ; Umgebung test2 bindet f
      ((lambda (x)            ; Umgebung g bindet x
        (funcall f 1)        ; Aufruf von f benutzt ein x
      )
      42                      ; gebunden an g.x
    )
  )
  (lambda (n) x)             ; gebunden an test2.f, benutzt x
)
21                           ; gebunden an test1.x
)
)
```

Ergebnis bei statischer oder bei dynamischer Bindung?

### Vorlesung Funktionale Programmierung SS 2013 / Folie 205a

#### Ziele:

Bindung von Namen in LISP

#### in der Vorlesung:

Es wird erläutert:

- Struktur des Programms entspricht der auf der vorigen Folie.
- Das Programm enthält keine Variablen - nur Parameter.
- Am Ergebnis der Ausführung kann statische von dynamischer Bindung unterschieden werden.

## Bindungen und Closures

**Definition (freie Variable):** Wenn ein **Name x innerhalb einer Funktion f nicht** durch eine Parameterdefinition oder eine lokale Definition **gebunden** ist, dann bezeichnet x eine **freie Variable bezüglich der Funktion f**.

Beispiele:

```
fun f (a, b) = a*x+b
fn (a, b) => a*x+b

(defun f (a b) (+ (* a x) b))
(lambda (a b) (+ (* a x) b))
```

Beim **Aufruf** einer Funktion f werden ihre freien Variablen je nach statischer oder dynamischer Bindung in der Definitions- oder Aufrufumgebung gebunden.

**Funktionen können als Daten** verwendet werden: Funktionen als Parameter, Ergebnis, Komponente von zusammengesetzten Werten, Wert von Variablen (imperativ). Für den Aufruf benötigen sie eine Closure:

Die **Closure** einer Funktion f ist eine **Menge von Bindungen**, in der beim Aufruf von f die **freien Variablen von f gebunden** werden.

**Dynamische Bindung:** Closure liegt im Aufrufkeller.

**Statische Bindung:** Closure ist in der Kette der **statischen Vorgänger** enthalten; diese müssen ggf. auf der Halde statt im Laufzeitkeller gespeichert werden, da Schachteln (und deren Variablen) noch benötigt werden, wenn ihr Aufruf beendet ist

## Vorlesung Funktionale Programmierung SS 2013 / Folie 206

### Ziele:

Closures verstehen

### in der Vorlesung:

An Beispielen wird erläutert:

- Aufruf von Funktionen als Daten,
- Bindung freier Variable in der Closure des Aufrufes.