Praktische Informatik 3: Funktionale Programmierung
Vorlesung 1 vom 16.10.2018: Einführung

Christoph Lüth

Universität Bremen

Wintersemester 2018/19

Personal

- **Vorlesung**:
  Christoph Lüth <cxl@informatik.uni-bremen.de>
  www.informatik.uni-bremen.de/~cxl/ (MZH 4186, Tel. 59830)
- **Tutoren**:

Thomas Barkoswky	<barkowsky@informatik.uni-bremen.de>
Andreas Kästner	<andreask@informatik.uni-bremen.de>
Gerrit Marquard	<terrig@math.uni-bremen.de>
Tobias Haslop	<haslop@uni-bremen.de>
Matz Habermann	<matz@uni-bremen.de>
Berthold Hoffmann	<hof@informatik.uni-bremen.de>

- **Webseite**:
  www.informatik.uni-bremen.de/~cxl/lehre/pi3.ws18

Termine

- **Vorlesung**: Di 16 – 18 NW1 H 1 – H0020
- **Tutorien**:

Mi	08–10	MZH 1470	Thomas Barkowsky
	10–12	MZH 1090	Tobias Haslop
	12–14	MZH 1470	Matz Habermann
	16–18	MZH 1090	Andreas Kästner
Do	12–14	MZH 1090	Gerrit Marquardt

- **"Fragestunde"**: Berthold Hoffmann
- **Anmeldung** zu den Übungsgruppen über stud.ip (ab 18:00)
- Evtl. Zusatztutorium Do 16– 18.

Übungsbetrieb

- Ausgabe der Übungsblätter über die Webseite **Dienstag abend**
- 6+1 Einzelübungsblätter:
  - Besprechung und Bearbeitung der Übungsblätter in den Tutorien
  - Bearbeitungszeit bis Freitag **Freitag 12:00**
- 3 Gruppenübungsblätter (doppelt gewichtet)
  - Bearbeitungszeit bis **Freitag folgender Woche 12:00**
  - Übungsgruppen: max. **drei Teilnehmer**
- **Abgabe** elektronisch (eventuell zusätzlich in Papier)
- **Bewertung**: Quellcode, Tests, Dokumentation

Scheinkriterien

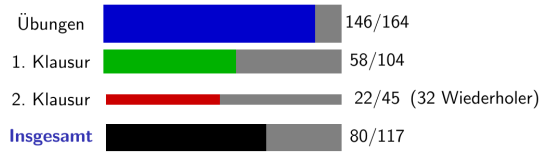
- Elektronische Klausur am Ende (Individualität der Leistung)
- Mind. 50% in allen Übungsblättern und mind. 50% in der E-Klausur
- Note = 50% Übungsblätter und 50% E-Klausur
- **Notenspiegel** (in Prozent aller Punkte):

Pkt.%	Note	Pkt.%	Note	Pkt.%	Note	Pkt.%	Note
		89.5-85	1.7	74.5-70	2.7	59.5-55	3.7
≥ 95	1.0	84.5-80	2.0	69.5-65	3.0	54.5-50	4.0
94.5-90	1.3	79.5-75	2.3	64.5-60	3.3	49.5-0	**n/b**

Spielregeln

- **Quellen angeben** bei
  - Gruppenübergreifender Zusammenarbeit
  - Internetrecherche, Literatur, etc.
- **Täuschungsversuch**:
  - Null Punkte, **kein** Schein, **Meldung** an das **Prüfungsamt**
- **Deadline verpaßt?**
  - Triftiger Grund (z.B. Krankheit mehrerer Gruppenmitglieder)
  - **Vorher** ankündigen, sonst **null** Punkte.

Statistik von PI3 im Wintersemester 17/18



Notenverteilung

Sprechstunde ("Frequently Asked Questions")

- Ein **freiwilliges** Angebot

  Wer? Berthold Hoffmann
  <hof@informatik.uni-bremen.de>

  Wo? MZH 3250 (Büro)

  Wann? Nach Vereinbarung (per Email) oder Do 14–16

  Wozu? Überwindung von Anfangsschwierigkeiten
  - Funktionales Programmieren
  - Haskell
- **Besonders sinnvoll** in den ersten sechs Wochen

Fahrplan

- **Teil I: Funktionale Programmierung im Kleinen**
  - Einführung
  - Funktionen
  - Algebraische Datentypen
  - Typvariablen und Polymorphie
  - Zyklische Datenstrukturen
  - Funktionen höherer Ordnung I
  - Funktionen höherer Ordnung II
- Teil II: Funktionale Programmierung im Großen
- Teil III: Funktionale Programmierung im richtigen Leben

Warum funktionale Programmierung lernen?

- Funktionale Programmierung macht aus Programmierern Informatiker
- Blick über den Tellerrand — was kommt in 10 Jahren?
- **Herausforderungen** der Zukunft
- Enthält die **wesentlichen** Elemente moderner Programmierung

Zunkunft eingebaut

Funktionale Programmierung addressiert die **Herausforderungen** der Zukunft:

- Nebenläufige und **reaktive** Systeme (Mehrkernarchitekturen, serverless computing)
- Massiv verteilte Systeme („Internet der Dinge“)
- Große Datenmengen („Big Data“)

The Future is Bright — The Future is Functional

- Funktionale Programmierung enthält die **wesentlichen** Elemente moderner Programmierung:
  - Datenabstraktion und Funktionale Abstraktion
  - Modularisierung
  - Typisierung und Spezifikation
- Funktionale Ideen jetzt im Mainstream:
  - Reflektion — LISP
  - Generics in Java — Polymorphie
  - Lambda-Fkt. in Java, C++ — Funktionen höherer Ordnung

Geschichtliches: Die Anfänge

- **Grundlagen** 1920/30
  - Kombinatorlogik und λ-Kalkül (Schönfinkel, Curry, Church)
- Erste funktionale **Programmiersprachen** 1960
  - LISP (McCarthy), ISWIM (Landin)
- **Weitere** Programmiersprachen 1970– 80
  - FP (Backus); ML (Milner, Gordon); Hope (Burstall); Miranda (Turner)


Moses Schönfinkel

Haskell B. Curry

Alonzo Church

John McCarthy

John Backus

Robin Milner

Mike Gordon

Geschichtliches: Die Gegenwart

- **Konsolidierung** 1990
  - CAML, Formale Semantik für Standard ML
  - Haskell als Standardsprache
- **Kommerzialisierung** 2010
  - OCaml
  - Scala, Clojure (JVM)
  - F# (.NET)

Warum Haskell?

- **Moderne** Sprache
- Standardisiert, mehrere **Implementationen**
  - Interpreter: `ghci`, `hugs`
  - Compiler: `ghc`, `nhc98`
- **Rein** funktional
  - Essenz der funktionalen Programmierung

Programme als Funktionen

- Programme als Funktionen:

$$P : \mathit{Eingabe} \to \mathit{Ausgabe}$$

- Keine veränderlichen Variablen — kein versteckter Zustand
- Rückgabewert hängt ausschließlich von Werten der Argumente ab, nicht vom Aufrufkontext (**referentielle Transparenz**)
- Alle **Abhängigkeiten explizit**

Beispiel: Programmieren mit Funktionen

- **Programme** werden durch **Gleichungen** definiert:

```
fac n = if n == 0 then 1
        else n* fac(n−1)
```

- Auswertung durch **Reduktion** von **Ausdrücken**:

```
fac 2  → if 2 == 0 then 1 else 2* fac (2−1)
       → if False then 1 else 2* fac 1
       → 2* fac 1
       → 2* if 1 == 0 then 1 else 1* fac (1−1)
       → 2* if False then 1 else 1* fac 0
       → 2* 1* fac 0
       → 2* 1* if 0 == 0 then 1 else 0* fac (0−1)
       → 2* 1* if True then 1 else 0* fac (0−1)
       → 2* 1* 1 → 2
```


Beispiel: Nichtnumerische Werte

- Rechnen mit Zeichenketten

```
repeat n s = if n == 0 then ""
             else s ++ repeat (n−1) s
```

- Auswertung:

```
repeat 2 "hallo␣"
→ if 2 == 0 then "" else "hallo␣" ++ repeat (2−1) "hallo␣"
→ "hallo␣"++ repeat 1 "hallo␣"
→ "hallo␣"++ if 1 == 0 then ""
             else "hallo␣"++ repeat (1−1) "hallo␣"
→ "hallo␣"++ ("hallo␣"++ repeat 0 "hallo␣")
→ "hallo␣"++ ("hallo␣"++ if 0 == 0 then ""
                         else repeat (0−1) "hallo␣")
→ "hallo␣"++ ("hallo␣" ++ "")
→ "hallo␣hallo␣"
```


Auswertung als Ausführungsbegriff

- **Programme** werden durch **Gleichungen** definiert:

$$f(x) = E$$

- **Auswertung** durch **Anwenden** der Gleichungen:
  - Suchen nach Vorkommen von f, e.g. $f(t)$
  - $f(t)$ wird durch $E\left[\begin{smallmatrix} t \\ x \end{smallmatrix}\right]$ ersetzt
- Auswertung kann **divergieren**!

Ausdrücke und Werte

- Nichtreduzierbare Ausdrücke sind **Werte**
- Vorgebenene Basiswerte: Zahlen, Zeichen
  - Durch Implementation gegeben
- Definierte Datentypen: Wahrheitswerte, Listen, ...
  - Modellierung von Daten

Typisierung

- **Typen** unterscheiden Arten von Ausdrücken und Werten:

```
repeat n s = ...      n  Zahl
                      s  Zeichenkette
```

- **Wozu** Typen?
  - Frühzeitiges Aufdecken "offensichtlicher" Fehler
  - Erhöhte Programmsicherheit
  - Hilfestellung bei Änderungen

Slogan

"Well-typed programs can't go wrong."

— Robin Milner

Signaturen

- Jede Funktion hat eine **Signatur**

```
fac    :: Int→ Int
```

```
repeat :: Int→ String→ String
```

- **Typüberprüfung**
  - fac nur auf Int anwendbar, Resultat ist Int
  - repeat nur auf Int und String anwendbar, Resultat ist String

Übersicht: Typen in Haskell

Typ	Bezeichner	Beispiel		
Ganze Zahlen	Int	0	94	−45
Fließkomma	Double	3.0	3.141592	
Zeichen	Char	'a' 'x'	'\034'	'\n'
Zeichenketten	String	"yuck"	"hi\nho\"\n"	
Wahrheitswerte	Bool	True	False	
Funktionen	a → b			

- Später mehr. **Viel** mehr.

Das Rechnen mit Zahlen

Beschränkte Genauigkeit, **konstanter** Aufwand ⟷ **beliebige** Genauigkeit, **wachsender** Aufwand

Haskell bietet die Auswahl:

- Int - ganze Zahlen als Maschinenworte ($\geq$ 31 Bit)
- Integer - beliebig große ganze Zahlen
- Rational - beliebig genaue rationale Zahlen
- Float, Double - Fließkommazahlen (reelle Zahlen)

Ganze Zahlen: Int und Integer

- Nützliche Funktionen (**überladen**, auch für `Integer`):

```
+, *, ^, - :: Int → Int → Int
abs        :: Int → Int — Betrag
div, quot  :: Int → Int → Int
mod, rem   :: Int → Int → Int
```

  Es gilt: $(\texttt{div x y}) * \texttt{y} + \texttt{mod x y} == \texttt{x}$

- Vergleich durch $==, \neq, \leq, <, \ldots$
- **Achtung:** Unäres Minus
  - Unterschied zum Infix-Operator $-$
  - Im Zweifelsfall klammern: `abs (-34)`

Fließkommazahlen: Double

- Doppeltgenaue Fließkommazahlen (IEEE 754 und 854)
  - Logarithmen, Wurzel, Exponentation, π und e, trigonometrische Funktionen
- Konversion in ganze Zahlen:
  - `fromIntegral :: Int, Integer → Double`
  - `fromInteger :: Integer → Double`
  - `round, truncate :: Double → Int, Integer`
  - Überladungen mit Typannotation auflösen:

```
round (fromInt 10) :: Int
```

- **Rundungsfehler!**

Alphanumerische Basisdatentypen: Char

- Notation für einzelne **Zeichen**: 'a',...
- Nützliche **Funktionen**:

```
ord :: Char → Int
chr :: Int → Char

toLower :: Char → Char
toUpper :: Char → Char
isDigit :: Char → Bool
isAlpha :: Char → Bool
```

- Zeichenketten: String

Zusammenfassung

- **Programme** sind **Funktionen**, definiert durch **Gleichungen**
  - Referentielle Transparenz
  - kein impliziter Zustand, keine veränderlichen Variablen
- **Ausführung** durch **Reduktion** von Ausdrücken
- Typisierung:
  - Basistypen: Zahlen, Zeichen(ketten), Wahrheitswerte
  - Jede Funktion `f` hat eine Signatur `f :: a → b`