Praktische Informatik 3: Funktionale Programmierung
Vorlesung 1 vom 02.11.2020: Einführung

Christoph Lüth

Wintersemester 2020/21

Was ist Funktionale Programmierung?

- Programme als Funktionen — Funktionen als Programme
  - **Keine** veränderlichen Variablen
  - **Rekursion** statt while-Schleifen
- Funktionen als Daten — Daten als Funktionen
  - Erlaubt **Abstraktionsbildung**
- Denken in Algorithmen, nicht in Zustandsveränderung

Lernziele

- **Konzepte** und **typische Merkmale** des funktionalen Programmierens kennen, verstehen und anwenden können:
  - Modellierung mit **algebraischen Datentypen**
  - **Rekursion**
  - Starke **Typisierung**
  - **Funktionen höher Ordnung** (map, filter, fold)
- Datenstrukturen und Algorithmen in einer funktionalen Programmiersprache **umsetzen** und auf einfachere praktische Probleme **anwenden** können.

Modulhandbuch Informatik (Bachelor)

Die Vorlesung *Praktische Informatik 3* vermittelt essenzielles Grundwissen und Basisfähigkeiten, deren Beherrschung für nahezu jede vertiefte Beschäftigung mit Informatik Voraussetzung ist.

I. Organisatorisches

Personal

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

- **Tutoren**:

Thomas Barkoswky	<barkowsky@informatik.uni-bremen.de>
Tobias Brandt	<Tobias.Brandt@dfki.de>
Alexander Krug	<krug@uni-bremen.de>
Robert Sachtleben	<rob_sac@uni-bremen.de>
Muhammad Tarek Soliman	<soliman@uni-bremen.de>

- **Webseite**: www.informatik.uni-bremen.de/~cxl/lehre/pi3.ws20

Corona-Edition

- Vorlesungen sind **asynchron**
  - Videos werden Montags zur Verfügung gestellt
  - Vorlesungen in mehreren Teilen mit Kurzübungen
- Übungen: Präsenz/Online
  - Präsenzbetrieb für 56 Stud./Woche
  - 3 Tutorien mit Präsenzbetrieb
    - Präsenztutorium ist **optional!**
    - Präsenztermine gekoppelt an TI2 (gleiche Kohorte)
  - 3 Online-Tutorien

Termine

- **Vorlesung**: Online
- **Tutorien**:

Di	12– 14	MZH 1470	Robert	Online	Tobias
Do	10– 12	MZH 1470	Thomas	Online	Robert
	10– 12	MZH 1090	Tarek	Online	Alexander

- Alle Tutorien haben einen Zoom-Raum (für Präsenztutorien als Backup) — siehe Webseite
- Diese Woche **alle** Tutorien online — Präsenzbetrieb startet **nächste Woche**
- **Anmeldung** zu den Übungsgruppen über stud.ip (ab 18:00)
- **Sprechstunde**: Donnerstags 14-16 (via Zoom, bei Bedarf)

Scheinkriterien

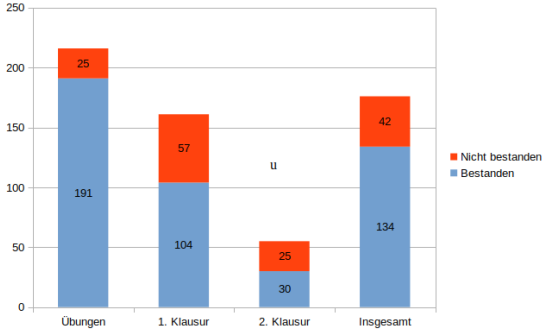
- Übungsblätter:
  - 6 Einzelübungsblätter (fünf beste werden gewertet)
  - 3 Gruppenübungsblätter (doppelt gewichtet)
- Übungsblätter der letzten Semester können **nicht** berücksichtigt werden
- Elektronische Klausur am Ende (Individualität der Leistung)
- Mind. 50% in den Einzelübungsblättern, in allen Übungsblättern und mind. 50% in der E-Klausur
- Note: 25% Übungsblätter und 75% E-Klausur
- **Notenspiegel** (in Prozent aller Punkte):

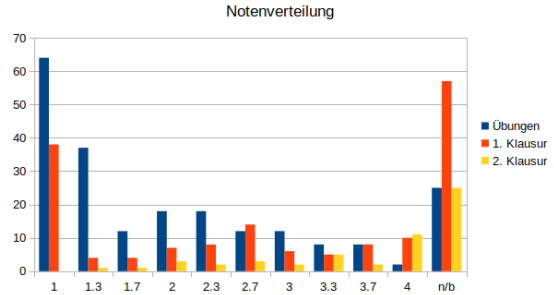
Pkt.%	Note	Pkt.%	Note	Pkt.%	Note	Pkt.%	Note
		89.5-85	1.7	74.5-70	2.7	59.5-55	3.7
≥ 95	1.0	84.5-80	2.0	69.5-65	3.0	54.5-50	4.0
94.5-90	1.3	79.5-75	2.3	64.5-60	3.3	49.5-0	**n/b**

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)
  - **Vorher** ankündigen, sonst **null** Punkte.

Statistik von PI3 im Wintersemester 19/20

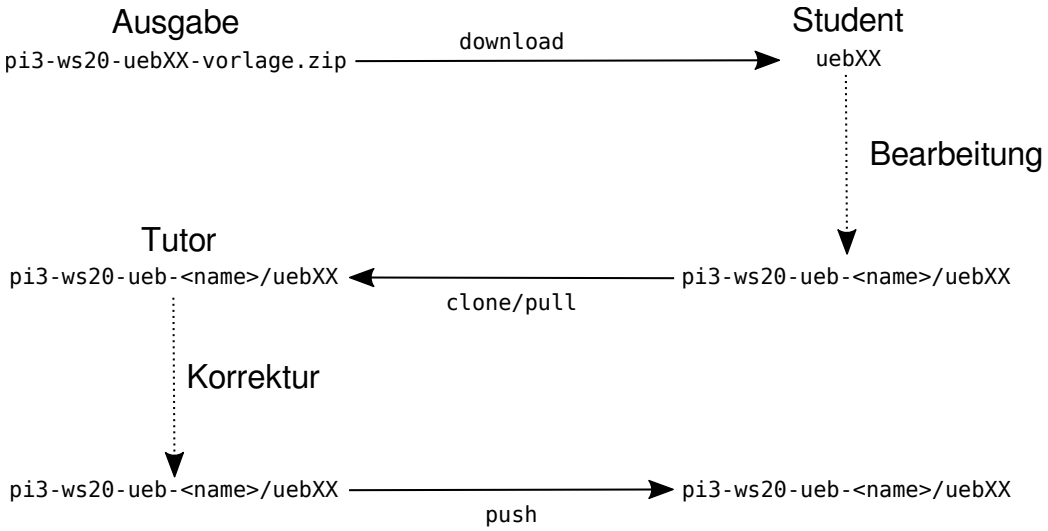




Übungsbetrieb

- Ausgabe der Übungsblätter über die Webseite **Montag mittag**
- Besprechung der Übungsblätter in den Tutorien
- 6 Einzelübungsblätter:
  - Bearbeitungszeit bis **Montag folgender Woche 12:00**
  - Die fünf besten werden gewertet
- 3 Gruppenübungsblätter (doppelt gewichtet):
  - Bearbeitungszeit bis **Montag übernächster Woche 12:00**
  - Übungsgruppen: max. **drei Teilnehmer**
- **Abgabe** elektronisch
- **Bewertung**: Korrektheit, Angemessenheit (“Stil”), Dokumentation

Ablauf des Übungsbetriebs



II. Einführung

Fahrplan

- **Teil I: Funktionale Programmierung im Kleinen**
  - Einführung
  - Funktionen
  - Algebraische Datentypen
  - Typvariablen und Polymorphie
  - Funktionen höherer Ordnung I
  - Rekursive und zyklische Datenstrukturen
  - 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:
  - 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

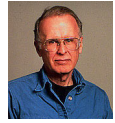
- **Grundlagen** 1920/30
  - Kombinatorlogik und λ-Kalkül (Schönfinkel, Curry, Church)
- Erste funktionale **Programmiersprachen** 1960
  - LISP (McCarthy), ISWIM (Landin)
- **Weitere** Programmiersprachen 1970– 80
  - FP (Backus); ML (Milner, Gordon); Hope (Burstall); Miranda (Turner)


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`
  - Build: `stack`
- **Rein** funktional
  - Essenz der funktionalen Programmierung

Programme als Funktionen

- Programme als Funktionen:

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

- 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
```

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)
```

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
```

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
```

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)
```

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 (1-1)
```

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 (1-1)
     → 2* 1* fac 0
```

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 (1-1)
     → 2* 1* fac 0
     → 2* 1* if 0 == 0 then 1 else 0* fac (0-1)
```

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 (1-1)
     → 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)
```

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 (1-1)
     → 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␣"`

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␣"
```

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␣"
→ if False then "" else "hallo␣" ++ repeat 1 "hallo␣"
```

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␣"
→ if False then "" else "hallo␣" ++ repeat 1 "hallo␣"
→ "hallo␣"++ repeat 1 "hallo␣"
```

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␣"
→ if False then "" else "hallo␣" ++ repeat 1 "hallo␣"
→ "hallo␣"++ repeat 1 "hallo␣"
→ "hallo␣"++ if 1 == 0 then "" else "hallo␣"++ repeat (1-1) "hallo␣"
```

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␣"
→ if False then "" else "hallo␣" ++ repeat 1 "hallo␣"
→ "hallo␣"++ repeat 1 "hallo␣"
→ "hallo␣"++ if 1 == 0 then "" else "hallo␣"++ repeat (1-1) "hallo␣"
→ "hallo␣"++ if False then "" else "hallo␣"++ repeat 1 "hallo␣"
```

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␣"
→ if False then "" else "hallo␣" ++ repeat 1 "hallo␣"
→ "hallo␣"++ repeat 1 "hallo␣"
→ "hallo␣"++ if 1 == 0 then "" else "hallo␣"++ repeat (1-1) "hallo␣"
→ "hallo␣"++ if False then "" else "hallo␣"++ repeat 1 "hallo␣"
→ "hallo␣"++ ("hallo␣"++ repeat 0 "hallo␣")
```

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␣"
→ if False then "" else "hallo␣" ++ repeat 1 "hallo␣"
→ "hallo␣"++ repeat 1 "hallo␣"
→ "hallo␣"++ if 1 == 0 then "" else "hallo␣"++ repeat (1-1) "hallo␣"
→ "hallo␣"++ if False then "" else "hallo␣"++ repeat 1 "hallo␣"
→ "hallo␣"++ ("hallo␣"++ repeat 0 "hallo␣")
→ "hallo␣"++ ("hallo␣"++ if 0 == 0 then "" else "hallo␣"++ repeat (0-1) "hallo␣
```

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 "
→ if False then "" else "hallo " ++ repeat 1 "hallo "
→ "hallo "++ repeat 1 "hallo "
→ "hallo "++ if 1 == 0 then "" else "hallo "++ repeat (1-1) "hallo "
→ "hallo "++ if False then "" else "hallo "++ repeat 1 "hallo "
→ "hallo "++ ("hallo "++ repeat 0 "hallo ")
→ "hallo "++ ("hallo "++ if 0 == 0 then "" else "hallo "++ repeat (0-1) "hallo
→ "hallo "++ ("hallo "++ if True then "" else "hallo "++ repeat (-1) "hallo ")
```

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␣"
→ if False then "" else "hallo␣" ++ repeat 1 "hallo␣"
→ "hallo␣"++ repeat 1 "hallo␣"
→ "hallo␣"++ if 1 == 0 then "" else "hallo␣"++ repeat (1-1) "hallo␣"
→ "hallo␣"++ if False then "" else "hallo␣"++ repeat 1 "hallo␣"
→ "hallo␣"++ ("hallo␣"++ repeat 0 "hallo␣")
→ "hallo␣"++ ("hallo␣"++ if 0 == 0 then "" else "hallo␣"++ repeat (0-1) "hallo␣
→ "hallo␣"++ ("hallo␣"++ if True then "" else "hallo␣"++ repeat (-1) "hallo␣")
→ "hallo␣"++ ("hallo␣" ++ "")
```

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 "
→ if False then "" else "hallo " ++ repeat 1 "hallo "
→ "hallo "++ repeat 1 "hallo "
→ "hallo "++ if 1 == 0 then "" else "hallo "++ repeat (1-1) "hallo "
→ "hallo "++ if False then "" else "hallo "++ repeat 1 "hallo "
→ "hallo "++ ("hallo "++ repeat 0 "hallo ")
→ "hallo "++ ("hallo "++ if 0 == 0 then "" else "hallo "++ repeat (0-1) "hallo
→ "hallo "++ ("hallo "++ if True then "" else "hallo "++ repeat (-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 $E\left[\begin{array}{c} t \\ x \end{array}\right]$ 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

Jetzt seit ihr dran!

Übung 1.1: Auswertung

Hier ist eine weitere Beispiel-Funktion:

```
stars n = if n > 1 then stars (div n 2) ++ "*" else ""
```

`div n m` ist die ganzzahlige Division: `div 7 2`$\rightarrow$`3`
Berechnet wie oben die Reduktion von `stars 5`

Jetzt seit ihr dran!

Übung 1.1: Auswertung

Hier ist eine weitere Beispiel-Funktion:

```
stars n = if n > 1 then stars (div n 2) ++ "*" else ""
```

`div n m` ist die ganzzahlige Division: `div 7 2`$\rightarrow$`3`
Berechnet wie oben die Reduktion von `stars 5`

Lösung:
`stars 5` $\rightarrow$

Jetzt seit ihr dran!

Übung 1.1: Auswertung

Hier ist eine weitere Beispiel-Funktion:

```
stars n = if n > 1 then stars (div n 2) ++ "*" else ""
```

`div n m` ist die ganzzahlige Division: `div 7 2`$\rightarrow$`3`
Berechnet wie oben die Reduktion von `stars 5`

Lösung:

```
stars 5  →if 5 > 1 then stars (div 5 2) ++ "*" else ""
         →
```

Jetzt seit ihr dran!

Übung 1.1: Auswertung

Hier ist eine weitere Beispiel-Funktion:

```
stars n = if n > 1 then stars (div n 2) ++ "*" else ""
```

`div n m` ist die ganzzahlige Division: `div 7 2`→`3`
Berechnet wie oben die Reduktion von `stars 5`

Lösung:

```
stars 5  →if 5 > 1 then stars (div 5 2) ++ "*" else ""
         →stars 2 ++ "*"
         →
```

Jetzt seit ihr dran!

Übung 1.1: Auswertung

Hier ist eine weitere Beispiel-Funktion:

```
stars n = if n > 1 then stars (div n 2) ++ "*" else ""
```

`div n m` ist die ganzzahlige Division: `div 7 2`→`3`
Berechnet wie oben die Reduktion von `stars 5`

Lösung:

```
stars 5  →if 5 > 1 then stars (div 5 2) ++ "*" else ""
         →stars 2 ++ "*"
         →(if 2 > 1 then stars (div 2 2) ++ "*" else "")++ "*"
         →
```

Jetzt seit ihr dran!

Übung 1.1: Auswertung

Hier ist eine weitere Beispiel-Funktion:

```
stars n = if n > 1 then stars (div n 2) ++ "*" else ""
```

`div n m` ist die ganzzahlige Division: `div 7 2`$\rightarrow$`3`
Berechnet wie oben die Reduktion von `stars 5`

Lösung:

```
stars 5  →if 5 > 1 then stars (div 5 2) ++ "*" else ""
         →stars 2 ++ "*"
         →(if 2 > 1 then stars (div 2 2) ++ "*" else "")++ "*"
         →(stars 1 ++ "*") ++ "*"
         →
```

Jetzt seit ihr dran!

Übung 1.1: Auswertung

Hier ist eine weitere Beispiel-Funktion:

```
stars n = if n > 1 then stars (div n 2) ++ "*" else ""
```

`div n m` ist die ganzzahlige Division: `div 7 2`→`3`
Berechnet wie oben die Reduktion von `stars 5`

Lösung:

```
stars 5  →if 5 > 1 then stars (div 5 2) ++ "*" else ""
         →stars 2 ++ "*"
         →(if 2 > 1 then stars (div 2 2) ++ "*" else "")++ "*"
         →(stars 1 ++ "*") ++ "*"
         →((if 1 > 1 then stars (div 1 2) ++ "*" else "") ++ "*")++ "*"
         →
```

Jetzt seit ihr dran!

Übung 1.1: Auswertung

Hier ist eine weitere Beispiel-Funktion:

```
stars n = if n > 1 then stars (div n 2) ++ "*" else ""
```

`div n m` ist die ganzzahlige Division: `div 7 2`→3
Berechnet wie oben die Reduktion von `stars 5`

Lösung:

```
stars 5  →if 5 > 1 then stars (div 5 2) ++ "*" else ""
         →stars 2 ++ "*"
         →(if 2 > 1 then stars (div 2 2) ++ "*" else "")++ "*"
         →(stars 1 ++ "*") ++ "*"
         →((if 1 > 1 then stars (div 1 2) ++ "*" else "") ++ "*")++ "*"
         →("" ++ "*") ++ "*" → "**"
```

III. Typen

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` $\rightarrow$ `b`			

- Später mehr. **Viel** mehr.

Das Rechnen mit Zahlen

Beschränkte Genauigkeit,
konstanter Aufwand

$\longleftrightarrow$

beliebige Genauigkeit,
wachsender Aufwand

Das Rechnen mit Zahlen

Beschränkte Genauigkeit, **konstanter** Aufwand $\longleftrightarrow$ **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: `(div x y)*y + mod x y == 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

Jetzt seit ihr noch mal dran.

- ZIP-Datei mit den Quellen auf der Webseite verlinkt (Rubrik *Vorlesung*)
- Für diese Vorlesung: eine Datei `Examples.hs` mit den Quellen der Funktionen `fac`, `repeat` und `start`.
- Unter der Rubrik *Übung*: Kurzanleitung PI3-Übungsbetrieb
- Durchlesen und Haskell Tool Stack installieren, Experimente ausprobieren, 0. übungsblatt angehen.

Übung 1.2: Mehr Sterne

Ändert die Funktion `stars` so ab, dass sie eine Zeichenkette aus `n` Sternchen zurückgibt.

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`