

Vorsemesterkurs Informatik

Goethe-Universität Frankfurt am Main

Sommersemester 2018

Shells & Verzeichnisse insbesondere in Linux

Rechner-Accounts

RBI-Accounts (wer noch keinen hat)

- **Achtung:** RBI-Account \neq HRZ-Account
RBI: Rechnerbetriebsgruppe Informatik
HRZ: Hochschulrechenzentrum
- Werden **zu Beginn der Übung vom Tutor** verteilt!
- **Antrag schonmal ausfüllen und unterschreiben!**

Betriebssysteme

Bekannte Betriebssysteme

- Microsoft Windows
- Apple OS X
- Linux
- Android, iOS, ...


Viele Betriebssysteme basieren auf Unix:

- Mehrbenutzer-Betriebssystem
- ursprünglich 1969 in den Bell Labs entwickelt
- Viele moderne Betriebssysteme basieren auf Unix
- Bekanntes Beispiel: GNU Linux

Terminals / Shells

- Terminal = Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine
- Textbasierte Terminals: Kommandos über die Tastatur
- Graphische Terminals (GUIs): Fenster, Tastatur, Maus, ...
- Auf den Rechnern der RBI u.a.:
Linux Benutzeroberflächen: Gnome und KDE

Login

- Login = Anmelden des Benutzers am System
- Benutzername + Passwort
- danach hat man die Kontrolle in einer **Shell**
- oder kann eine solche starten
- Am sog. **prompt** kann man Kommandos eingeben
- Kommando eingeben, danach  („return“) betätigen

```
dallmeyer@kitana ~
```

Shell-Kommandos

Kommandozeilenparameter

Beispiel:

```
ls -a dinge
```

Kommando
Option
Argument

- **Kommando**: der eigentliche Befehl (ein Programm), im Bsp. `ls` für (list)
- **Optionen**: werden meist durch `-` oder `--` eingeleitet, verändern die Ausführung des Befehls
- **Argumente**: Dateien, Verzeichnisse, Texte auf die das Kommando angewendet wird.

Einige Kommandos

Aufruf	Erläuterung
<code>echo Text</code>	gibt <i>Text</i> aus
<code>whoami</code>	gibt Benutzername aus
<code>hostname</code>	gibt Rechnername aus
<code>pwd</code>	(print working directory) gibt das aktuelle Arbeitsverzeichnis aus
<code>mkdir Verzeichnis</code>	(make directory) erzeugt <i>Verzeichnis</i>
<code>cd Verzeichnis</code>	(change directory) wechselt in <i>Verzeichnis</i>
<code>cd ..</code>	wechselt ein Verzeichnis nach oben
<code>ls</code>	(list) Anzeigen des Verzeichnisinhalts
<code>man Kommando</code>	(manual) Man page zum <i>Kommando</i> anzeigen

Beispiele

```

> echo "Hallo Welt!"
Hallo Welt!
> mkdir dinge
> ls
dinge
> cd dinge
> ls
> ls -a
. . .
> cd ..
> mkdir .versteckt
> ls
dinge
> ls -a
. .. dinge .versteckt







```

Dateien und Verzeichnisse

- Jedes Unix-System verwaltet einen **Dateibaum**: virtuelles Gebilde zur Datenverwaltung
- Bausteine sind dabei **Dateien** (*files*): enthält Daten: Text, Bilder, Maschinenprogramme,...
- Spezielle Dateien: **Verzeichnisse** (*directories*), enthalten selbst wieder Dateien.
- Jede Datei hat einen **Namen**
- Jede Datei befindet sich in einem Verzeichnis, dem **übergeordneten** Verzeichnis
- **Wurzelverzeichnis** / (root directory) ist in sich selbst enthalten.

Kniffe

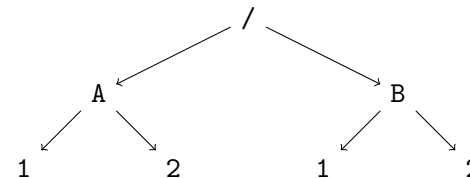
In vielen Shells verfügbar:

- Blättern in der **History** (zuletzt eingegebene Befehle) mit  und 
- Auto-Completion mit der  Taste, z.B. `ls`  listet alle Befehle auf die mit `ls` beginnen
- Auto-Completion mit  und  : versucht die aktuelle Eingabe anhand der History zu vervollständigen.

Ein Verzeichnisbaum

Beispiel:

- Wurzelverzeichnis / enthält zwei Verzeichnisse A und B.
- A und B enthalten je ein Verzeichnis mit dem Namen 1 und 2.



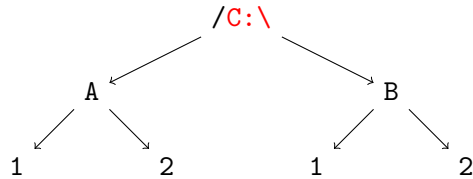
```

> tree
/
+-- A
|   +-- 1
|   +-- 2
+-- B
     +-- 1
     +-- 2

```

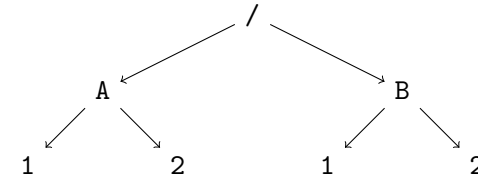
Relative und absolute Pfade (1)

- **Absoluter Pfad** einer Datei oder eines Verzeichnisses: Pfad von der Wurzel beginnend, Verzeichnisse getrennt mit / (slash)
- z.B. /A/1 und /B/1.
- Unter **Windows**: Wurzelverzeichnis ist Laufwerk und Backslash \ statt / z.B. C:\A\1.



Relative und absolute Pfade (2)

- **Relative Pfad**: Pfad vom aktuellen Verzeichnis aus, beginnen **nicht** mit /.
- z.B. man ist in /B: Dann bezeichnet 1 das Verzeichnis /B/1.
- **..** ist das **übergeordnete** Verzeichnis
- z.B. man ist in /B: Dann bezeichnet **..** das Wurzelverzeichnis und **../A/1** bezeichnet /A/1
- **.** bezeichnet das **aktuelle** Verzeichnis, z.B. **../.. /B** gleich zu **../B**



Dateien editieren

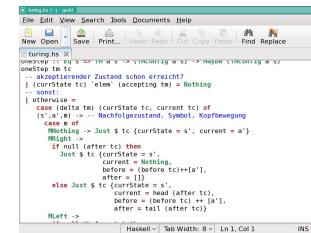
Texteditor: Programm zum Erstellen und Verändern von Textdateien (insbesondere Programmen)

Graphische Editoren, z.B.

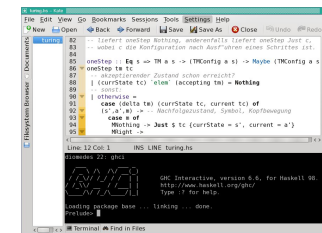
- **kate** (kate-editor.org/) KDE
- **gedit** (projects.gnome.org/gedit/) Gnome
- **Notepad++** (notepad-plus-plus.org/) für Windows
- **TextWrangler** (barebones.com/products/textwrangler/) für Mac OS X
- **Emacs** (www.gnu.org/software/emacs/)
- **XEmacs** (<http://www.xemacs.org/>)

Textmodus z.B. **vi**

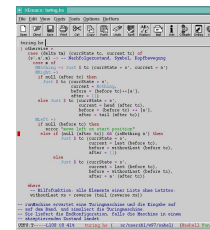
Einige Texteditoren



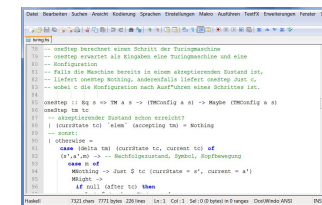
gedit (Linux, Gnome)



kate (Linux, KDE)




xemacs (Linux)



Notepad++ (MS Windows)

Tabulatoren

- Drücken von  erzeugt einen Tabulator
- Zur Einrückung von Text
- Haskell „rechnet intern“ mit 8 Leerzeichen pro Tabulator

Zur Programmierung in Haskell **dringend empfohlen**:

Editor so **einstellen**, dass Tabulatoren automatisch durch Leerzeichen ersetzt werden!

Programmieren, Erste Schritte mit Haskell

Programmiersprachen

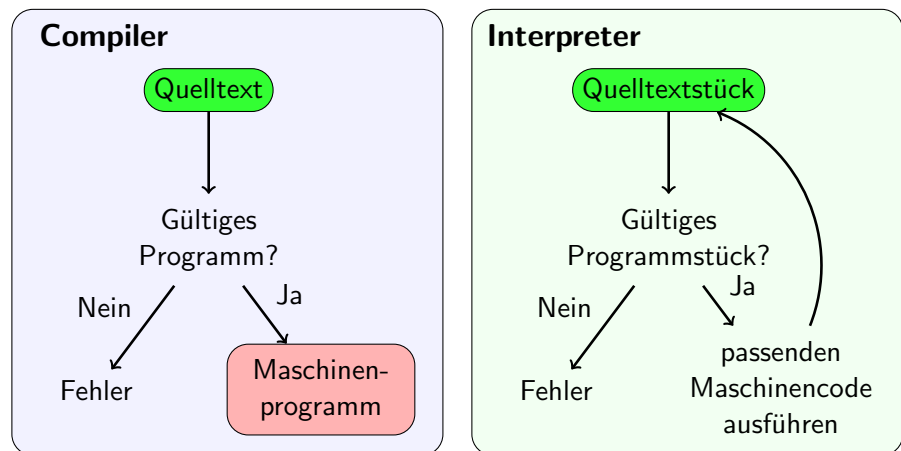
Maschinenprogramme

- bestehen aus Bit-Folgen (0en und 1en),
- Für den Mensch nahezu **unverständlich**
- Verständlicher, aber immer noch zu kleinschrittig: Assemblercode

Höhere Programmiersprachen

- Für den Mensch (meist) verständliche Sprache
- Abstraktere Konzepte, nicht genau am Rechner orientiert
- Der Rechner versteht diese Sprachen **nicht**
- **Quelltext** = Programm in höherer Programmiersprache

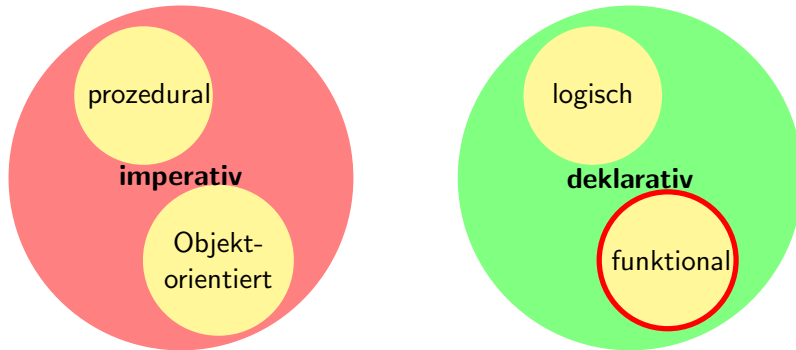
Compiler / Interpreter



- Langsame Übersetzung auf einmal
- Ausführung schnell
- Schnelle Übersetzung e. kleinen Stücks
- Ausführung eher langsam

Programmierparadigmen

Es gibt viele verschiedene höhere Programmiersprachen!



Funktionale Programmiersprachen

- Programm = Menge von Funktionsdefinitionen
- Ausführung = Auswerten eines Ausdrucks
- Resultat = ein einziger Wert
- **keine Seiteneffekte** (sichtbare Speicheränderungen!) (insbes.: keine Programmvariablen, Zuweisung, ...)

Haskell



- die pure funktionale Programmiersprache
- relativ neu: erster Standard 1990
- Benannt nach dem amerik. Mathematiker *Haskell B. Curry* (1900 - 1982)
- Haskell 98 veröffentlicht 1999, Revision 2003
- Haskell 2010, veröffentlicht Juli 2010

Die Informationsquelle: <http://haskell.org>

The screenshot shows the Haskell website homepage in a Mozilla Firefox browser. The page features the Haskell logo and the tagline 'Declarative, statically typed code. An advanced, purely functional programming language.' Below this, there is a 'Try it!' section with a text input field and a 'Got 5 minutes?' section with a 'Type Haskell expressions in here.' field. At the bottom, there is a 'Videos' section with several video thumbnails.

GHC und GHCi

- Wir verwenden den **G**lasgow **H**askell **C**ompiler, bzw. den **I**nterprete**r** dazu: **GHCi**
- Auf den RBI-Rechnern: Kommando `ghci` bzw. `/opt/rbi/bin/ghci`
- Selbst-Installieren: Am besten die **Haskell Platform**: <https://www.haskell.org/downloads>

Downloads

There are three widely used ways to install the Haskell toolcha

- Minimal installers: Just GHC (the compiler), and build to
- Stack: Installs the `stack` command globally; a project-c
- **Haskell Platform**: Installs GHC, Cabal, and some other

These options make different choices as to what is installed g more sharing across users and projects, but at the cost of pot that creates largely self-contained, per-project environm. compiler, tools and libraries, so avoids nearly all kinds of conf platform libraries.

What you get

- The Glasgow Haskell Compiler
- The Cabal build system, which can install new packages, and by default fetches from Hackage, the central Haske
- the Stack tool for developing projects
- Support for profiling and code coverage analysis
- 35 core & widely-used packages

How to get it

The Platform is provided as a single installer, and can be downloaded at the links below.

- Linux
- OS X
- Windows

Where to get help

- You can find a comprehensive list of what the Platform offers.
- See the general help mentioned above, which covers the usage of GHC, as well as the Cabal and Stack tools.

Bedienung des GHCi

```
> ghci
GHCi, version 8.0.1: http://www.haskell.org/ghc/  :? for help
Prelude> 1+1
2
Prelude> 3*4
12
Prelude> 15-6*3
-3
Prelude> -3*4
-12
Prelude> 1+2+3+4+
<interactive>:1:8: parse error (possibly incorrect indentation)
Prelude> :quit
Leaving GHCi.
>
```

Einige Interpreterkommandos

- `:quit` Verlassen des Interpreters
- `:help` Der Interpreter zeigt einen Hilfetext an, Übersicht über die verfügbaren Kommandos
- `:load Dateiname` Lädt Haskell-Quellcode der entsprechenden Datei, die Dateiendung von *Dateiname* muss `.hs` oder `.lhs` lauten.
- `:reload` Lädt die aktuelle geladene Datei erneut (hilfreich, wenn man die aktuell geladene Datei im Editor geändert hat).

Kniffe im GHCi

- Mit `it` (für "es") erhält man das letzte Ergebnis:

```
Prelude> 1+1
2
Prelude> it
2
Prelude> it+it
4
Prelude> it+it
8
```

- History des GHCi mit Pfeiltasten und
- Auto-Completion mit

Haskell-Quellcode

Textdatei

- im Editor erstellen
- Endung: `.hs`

Zur Erinnerung:

- einen Editor verwenden, **kein** Textverarbeitungsprogramm!
- Editor so einstellen, dass **Tabulatoren durch Leerzeichen** ersetzt werden
- Auf die **Dateiendung** achten

Beispiel

Datei `hallowelt.hs`

```
1 wert = "Hallo Welt!"
```

hallowelt.hs

```
> /opt/rbi/bin/ghci ↵
GHCi, version 8.0.1: http://www.haskell.org/ghc/  :? for help
Prelude> :load hallowelt.hs ↵
[1 of 1] Compiling Main ( hallowelt.hs, interpreted )
Ok, modules loaded: Main.
*Main>
```

funktioniert nur, wenn `hallowelt.hs` im aktuellen Verzeichnis ist

Beispiel (2)

Datei `hallowelt.hs` liegt in `programme/`

```
1 wert = "Hallo Welt!"
```

hallowelt.hs

```
> /opt/rbi/bin/ghci ↵
GHCi, version 8.0.1: http://www.haskell.org/ghc/  :? for help
Prelude> :load hallowelt.hs ↵

<no location info>: can't find file: hallowelt.hs
Failed, modules loaded: none.
Prelude> :load programme/hallowelt.hs ↵
[1 of 1] Compiling Main ( programme/hallowelt.hs, interpreted )
Ok, modules loaded: Main.
*Main> wert ↵
"Hallo Welt!"
```

Kniff

statt erst den `ghci` zu laden und `:load` zu verwenden, geht auch

```
> ghci programme/hallowelt.hs ↵
GHCi, version 8.0.1: http://www.haskell.org/ghc/  :? for help
Loading package ghc-prim ... linking ... done.
Loading package integer-gmp ... linking ... done.
Loading package base ... linking ... done.
[1 of 1] Compiling Main ( programme/hallowelt.hs, interpreted )
Ok, modules loaded: Main.
*Main>
```


Nächstes Beispiel

```

1 zwei_mal_Zwei = 2 * 2
2
3 oft_fuenf_addieren = 5 + 5 + 5 + 5 +5 + 5 + 5 + 5 + 5 + 5
4
5 beides_zusammenzaehlen = zwei_mal_Zwei + oft_fuenf_addieren

```

einfacheAusdruecke.hs

```

Prelude> :load einfacheAusdruecke.hs ↵
*Main> zwei_mal_Zwei ↵
4
*Main> oft_fuenf_addieren ↵
55
*Main> beides_zusammenzaehlen ↵
59
*Main> 3*beides_zusammenzaehlen ↵
177

```

Funktionsnamen

müssen mit einem Kleinbuchstaben oder dem Unterstrich `_` beginnen, sonst

```

1
2
3 Zwei_mal_Zwei = 2 * 2

```

grossKleinschreibungFalsch.hs

```

Prelude> :load grossKleinschreibungFalsch.hs
[1 of 1] Compiling Main ( grossKleinschreibungFalsch.hs )

```

```

grossKleinschreibungFalsch.hs:3:1:
    Not in scope: data constructor 'Zwei_mal_Zwei'
Failed, modules loaded: none.

```

Kommentare

Eine Quelltext-Datei enthält neben dem Programm:

- Erklärungen und Erläuterungen
- Was macht jede der definierten Funktionen?
- Wie funktioniert die Implementierung?
- Was ist die Idee dahinter? Man sagt auch:

→ Der Quelltext soll **dokumentiert** sein!

Wie kennzeichnet man etwas als Kommentar in Haskell?

- **Zeilenkommentare:** `--` Kommentar...
- **Kommentarblöcke:** Durch `{-` Kommentar `-}`

Kommentare: Beispiele

```

wert = "Hallo Welt" -- ab hier ist ein Kommentar bis zum Zeileende
wert2 = "Nochmal Hallo Welt"

-- Diese ganze Zeile ist auch ein Kommentar!

```

```

{- Hier steht noch gar keine Funktion,
da auch die naechste Zeile noch im
Kommentar ist

wert = "Hallo Welt"

gleich endet der Kommentar -}

wert2 = "Hallo Welt"

```

Fehler

Beim Programmieren passieren **Fehler**:

- **Syntaxfehler**: Der Quellcode entspricht nicht der Syntax der Programmiersprache. Z.B. falsches Zeichen, fehlende Klammern, falsche Einrückung, ...
- **Logische / Semantische Fehler**: Das Programm implementiert die **falsche** Funktionalität
- **Typfehler**: Der Code ist syntaktisch korrekt, aber die Typen passen nicht, z.B. `1 + 'A'`, etc. (später dazu mehr)

Fehler (2)

Unterscheiden nach Zeitpunkt des Auftretens

- **Compilezeitfehler**: Fehler, die bereits vom Compiler / Interpreter entdeckt werden und daher in einer Fehlermeldung enden.
- **Laufzeitfehler**: Fehler, die erst zur Laufzeit auftreten und daher nicht vom Compiler/Interpreter schon erkannt werden. Z.B. Division durch 0, Datei lesen, die nicht existiert, etc.

Haskell und Fehler

- In Haskell werden **viele** Fehler **schon beim Kompilieren** entdeckt
- Z.B.: Keine Typfehler zur Laufzeit
- Der GHCi liefert **Fehlermeldungen** ⇒ **genau lesen!**

```
1 -- 1 und 2 addieren
3 eineAddition = (1+2)
3
4 -- 2 und 3 multiplizieren
5 eineMultiplikation = (2*3))
```

fehler.hs

```
Prelude> :load fehler.hs
[1 of 1] Compiling Main           ( fehler.hs, interpreted )

fehler.hs:5:27: parse error on input ')
Failed, modules loaded: none.
```

Programmieren mit Haskell Ausdrücke und Typen

Programmieren in Haskell

Haskell-Programmieren:

- Im Wesentlichen formt man **Ausdrücke**
- z.B. arithmetische Ausdrücke $17*2+5*3$
- Ausführung: Berechnet den Wert eines Ausdrucks

```
*> 17*2+5*3
49
```

- Ausdrücke **zusammensetzen** durch:

Anwendung von Funktionen auf Argumente,
dabei sind **Werte** die kleinsten „Bauteile“

Typen

In Haskell hat jeder Ausdruck (und Unterausdruck) einen

Typ

- Typ = Art des Ausdrucks
z.B. Buchstabe, Zahl, Liste von Zahlen, Funktion, ...
- Die Typen müssen **zueinander passen**:
Z.B. **verboten**

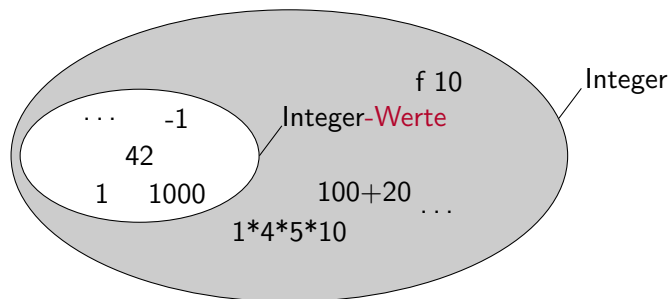
`1 + "Hallo"`

Die Typen passen nicht zusammen (Zahl und Zeichenkette)

Typen (2)

Andere Sichtweise:

Typ = Menge von Werten



Typen (3)

Im GHCi Typen anzeigen lassen:

```
Prelude> :type 'C'
'C' :: Char
```

Sprechweisen:

- „'C' hat den Typ Char“
- „'C' ist vom Typ Char“
- „'C' gehört zum Typ Char“
- Char ist der Typ in Haskell für Zeichen (engl. Character)
- Typnamen beginnen immer mit einem Großbuchstaben

Typen (4)

- Im GHCi: `:set +t` führt dazu, dass mit jedem Ergebnis auch dessen Typ gedruckt wird.

```
*Main> :set +t
*Main> zwei_mal_Zwei
4
it :: Integer
*Main> oft_fuenf_addieren
55
it :: Integer
```

Typen (5)

- Der Typ `Integer` stellt beliebig große ganze Zahlen dar
- Man kann Typen auch selbst angeben:

Schreibweise `Ausdruck :: Typ`

```
*Main> 'C'::Char
'C'
it :: Char
*Main> 'C'::Integer
<interactive>:1:0:
  Couldn't match expected type 'Integer'
  against inferred type 'Char'
  In the expression: 'C' :: Integer
  In the definition of 'it': it = 'C' :: Integer
```

Wahrheitswerte: Der Datentyp Bool

Werte (Datenkonstruktoren) vom Typ `Bool`:

- `True` steht für „wahr“
- `False` steht für „falsch“

Basisoperationen (Funktionen):

- Logische Negation: `not`: liefert `True` für `False` und `False` für `True`
- Logisches Und: `a && b`: nur `True`, wenn `a` und `b` zu `True` auswerten
- Logisches Oder: `a || b`: `True`, sobald `a` oder `b` zu `True` ausgewertet.

Wahrheitswerte: Operationen im GHCi ausprobieren

```
*Main> not True
False
it :: Bool
*Main> not False
True
it :: Bool
*Main> True && True
True
it :: Bool
```

```
*Main> False && True
False
it :: Bool
*Main> False || False
False
it :: Bool
*Main> True || False
True
it :: Bool
```

Beispiel zur Booleschen Logik

Anna sagt: „Bettina lügt.“ Bettina sagt: „Anna oder Claudia lügen.“ Claudia sagt: „Anna und Bettina lügen.“ Wer lügt denn nun?

```
-- Boolesche Variablen: X_luegt fuer X=anna,bettina,claudia
anna_luegt = undefined -- True oder False
bettina_luegt = undefined -- True oder False
claudia_luegt = undefined -- True oder False

aussage1 = (not anna_luegt && bettina_luegt)
           || (anna_luegt && not bettina_luegt)

aussage2 = (not bettina_luegt && (anna_luegt || claudia_luegt))
           || (bettina_luegt && not (anna_luegt || claudia_luegt))

aussage3 = (not claudia_luegt && anna_luegt && bettina_luegt)
           || (claudia_luegt && not (anna_luegt && bettina_luegt))

alleAussagen = aussage1 && aussage2 && aussage3
```

luegelei.hs

Testen im GHCi ergibt: Nur bei einer Belegung liefert alleAussagen den Wert True: anna_luegt = True, bettina_luegt = False, claudia_luegt = True

Ganze Zahlen: Int und Integer

- Der Typ `Int` umfasst ganze Zahlen **beschränkter** Größe
- Der Typ `Integer` umfasst ganze Zahlen **beliebiger** Größe
- Darstellung der Zahlen ist identisch z.B. 1000
- Defaulting: Integer, wenn es nötig ist, sonst offenlassen:

```
Prelude> :type 1000
1000 :: (Num t) => t
Prelude> 1000::Integer
1000
Prelude> 1000::Int
1000
Prelude> (1000::Integer) + (1000::Int)
...Couldn't match expected type 'Integer' with actual type 'Int'...
```

- In etwa 1000 ist vom Typ `t`, wenn `t` ein **numerischer** Typ ist.
- Genauer: `(Num t) =>` ist eine sog. **Typklassenbeschränkung**
- `Int` und `Integer` sind numerische Typen (haben Instanzen für `Num`)

Gleitkommazahlen

- Typen `Float` und `Double` (mit doppelter Genauigkeit)
- Kommastelle wird mit `.` (Punkt) dargestellt
- Typklasse dazu: `Fractional`

```
Prelude> :type 10.5
10.5 :: (Fractional t) => t
Prelude> 10.5::Double
10.5
Prelude> 10.5::Float
10.5
Prelude> 10.5::Integer
...No instance for (Fractional Integer)
```

- Beachte: Das Rechnen mit solchen Kommazahlen ist **ungenau!**

Zeichen und Zeichenketten

- Der Typ `Char` repräsentiert Zeichen
Darstellung: Zeichen in einfache Anführungszeichen, z.B. `'A'`
- Spezielle Zeichen (Auswahl):

Darstellung in Haskell	Zeichen, das sich dahinter verbirgt
<code>'\\'</code>	Backslash <code>\</code>
<code>'\''</code>	einfaches Anführungszeichen <code>'</code>
<code>'\"'</code>	doppeltes Anführungszeichen <code>"</code>
<code>'\n'</code>	Zeilenumbruch
<code>'\t'</code>	Tabulator

- Zeichenketten: Typ `String`
Darstellung in doppelten Anführungszeichen, z.B. `"Hallo"`.
- Genauer ist der Typ `String` gleich zu `[Char]`
d.h. eine Liste von Zeichen (Listen behandeln wir später)

Beispiel Zeichenketten

```
> :set +t
> "Ein \n\'mehrzeiliger\' \nText mit \'Anfuhrungszeichen\'"
"Ein \n\'mehrzeiliger\' \nText mit \'Anfuhrungszeichen\'"
it :: [Char]
> putStrLn "Ein \n\'mehrzeiliger\' \nText mit \'Anfuhrungszeichen\'"
Ein
\'mehrzeiliger\'
Text mit "Anfuhrungszeichen"
it :: ()
```

Vergleichsoperationen

Gleichheitstest == und
Ungleichheitstest /=

größer: >, größer oder gleich: >=
kleiner: <, kleiner oder gleich: <=

```
Prelude> 1 == 3
False
Prelude> 3*10 == 6*5
True
Prelude> True == False
False
Prelude> False == False
True
Prelude> 2*8 /= 64
True
Prelude> 2+8 /= 10
False
Prelude> True /= False
True
```

```
Prelude> 5 >= 5
True
Prelude> 5 > 5
False
Prelude> 6 > 5
True
Prelude> 4 < 5
True
Prelude> 4 < 4
False
Prelude> 4 <= 4
True
```

Operatoren auf Zahlen

- Operatoren auf Zahlen in Haskell:
Addition +, Subtraktion -, Multiplikation * und Division /
- Beispiele: $3 * 6$, $10.0 / 2.5$, $4 + 5 * 4$
- Beim - muss man aufpassen, da es auch für negative Zahlen benutzt wird

```
Prelude> 2 * -2
```

```
<interactive>:1:0:
```

```
Precedence parsing error
```

```
cannot mix '*' [infixl 7] and prefix '-' [infixl 6]
in the same infix expression
```

```
Prelude> 2 * (-2)
```

```
-4
```

Programmieren mit Haskell Funktionen

Was ist eine Funktion?

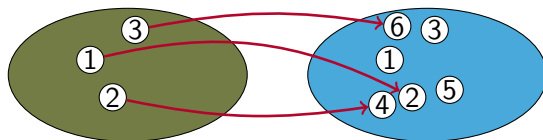
Definition (mathematisch):

Seien D und Z Mengen. Eine **Funktion**

$$f : D \rightarrow Z$$

ordnet jedem Element $x \in D$ ein Element $y \in Z$ zu.

D nennt man den **Definitionsbereich** und Z den **Zielbereich**.



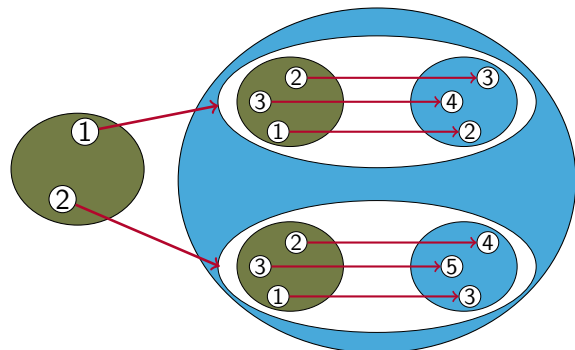
$\underbrace{\hspace{10em}}_{\text{Definitionsbereich}} \quad \underbrace{\hspace{10em}}_{\text{Zielbereich}}$
 $verdopple(x) = x + x$

Mehrstellige Funktionen(2)

Möglichkeit 2: (Currying) Statt Funktion mit n -Argumenten, Funktion mit einem Argument, Rückgabe: ist Funktion!

$$summiere : \underbrace{\mathbb{Z}}_{\text{Definitionsbereich}} \rightarrow \underbrace{(\mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{Z})}_{\text{Zielbereich}}$$

$$summiere \ x \ y = x + y$$

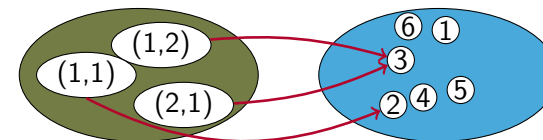


Mehrstellige Funktionen

Möglichkeit 1: Definitionsbereich ist eine Menge von **Tupeln**

$$summiere : \underbrace{(\mathbb{Z} \times \mathbb{Z})}_{\text{Definitionsbereich}} \rightarrow \underbrace{\mathbb{Z}}_{\text{Zielbereich}}$$

$$summiere(x, y) = x + y$$



Verwendung: $summiere(1, 2)$



Mehrstellige Funktionen (3)

Möglichkeit 2: (Currying) Statt Funktion mit n -Argumenten, Funktion mit einem Argument, Rückgabe: ist Funktion!

$$summiere : \underbrace{\mathbb{Z}}_{\text{Definitionsbereich}} \rightarrow \underbrace{(\mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{Z})}_{\text{Zielbereich}}$$

$$summiere \ x \ y = x + y$$

- Vorteil ggü. Variante 1: Man kann **partiell anwenden**, z.B. $summiere \ 2$
- Variante 2 wird in Haskell fast immer verwendet!

```
summiere :: Integer -> (Integer -> Integer)
summiere :: Integer -> Integer -> Integer
summiere x y = x + y
```

-> in Haskell ist rechts-assoziativ: $a \rightarrow b \rightarrow c = a \rightarrow (b \rightarrow c)$
 Daher kann man Klammern weglassen.





Funktionstypen

Einfacher: f erwartet n Eingaben, dann ist der Typ von f :

$$f :: \underbrace{\text{Typ}_1}_{\substack{\text{Typ des} \\ \text{1. Arguments}}} \rightarrow \underbrace{\text{Typ}_2}_{\substack{\text{Typ des} \\ \text{2. Arguments}}} \rightarrow \dots \rightarrow \underbrace{\text{Typ}_n}_{\substack{\text{Typ des} \\ \text{n. Arguments}}} \rightarrow \underbrace{\text{Typ}_{n+1}}_{\substack{\text{Typ des} \\ \text{Ergebnisses}}}$$

- \rightarrow in Funktionstypen ist **rechts-geklammert**
- $(\&\&) :: \text{Bool} \rightarrow \text{Bool} \rightarrow \text{Bool}$
entspricht $(\&\&) :: \text{Bool} \rightarrow (\text{Bool} \rightarrow \text{Bool})$
und **nicht** $(\&\&) :: (\text{Bool} \rightarrow \text{Bool}) \rightarrow \text{Bool}$






Präfix und Infix

- $+$, $*$, ... werden **infix** verwendet:
zwischen den Argumenten, z.B. $5+6$
- mod , div werden **präfix** verwendet:
vor den Argumenten, z.B. $\text{mod } 10 \ 3$
- Präfix-Operatoren infix verwenden:
In Hochkommata setzen ( + )
z.B. $10 \text{ 'mod' } 3$
- Infix-Operatoren präfix verwenden:
In runde Klammern setzen
z.B. $(+) \ 5 \ 6$




Funktionen: Beispiele

Beispiel: mod und div

- **mod**: Rest einer Division mit Rest
- **div**: Ganzzahliger Anteil der Division mit Rest

```
Prelude> mod 10 3 
1
Prelude> div 10 3 
3
Prelude> mod 15 5 
0
Prelude> div 15 5 
3
Prelude> (div 15 5) + (mod 8 6) 
5
```

Boolesche Funktionen: Beispiele

```
Prelude> :type not 
not :: Bool -> Bool
Prelude> :type (&&) 
(&&) :: Bool -> Bool -> Bool
Prelude> :type (||) 
(||) :: Bool -> Bool -> Bool
```

- **not**: Eine Eingabe vom Typ `Bool` und Ausgabe vom Typ `Bool`
- **(&&)**: Zwei Eingaben vom Typ `Bool` und Ausgabe vom Typ `Bool`
- **(||)**: Zwei Eingaben vom Typ `Bool` und Ausgabe vom Typ `Bool`

Funktionstypen mit Typklassen

Typen von mod und div:

```
mod :: Integer -> Integer -> Integer
div :: Integer -> Integer -> Integer
```

In Wirklichkeit:

```
Prelude> :type mod
mod :: (Integral a) => a -> a -> a
Prelude> :type div
div :: (Integral a) => a -> a -> a
```

In etwa: Für alle Typen a die Integral-Typen sind,
hat mod den Typ $a \rightarrow a \rightarrow a$

Weitere Funktionen

```
Prelude> :type (==)
(==) :: (Eq a) => a -> a -> Bool
Prelude> :type (<)
(<) :: (Ord a) => a -> a -> Bool
Prelude> :type (<=)
(<=) :: (Ord a) => a -> a -> Bool
Prelude> :type (+)
(+) :: (Num a) => a -> a -> a
Prelude> :type (-)
(-) :: (Num a) => a -> a -> a
```

Typgerecht programmieren

Die Typen müssen stets passen, sonst gibt's einen **Typfehler**:

```
Prelude> :type not
not :: Bool -> Bool
Prelude> not 'C'
<interactive>:1:4:
  Couldn't match expected type 'Bool' against inferred type 'Char'
  In the first argument of 'not', namely 'C'
  In the expression: not 'C'
  In the definition of 'it': it = not 'C'
```

Manchmal merkwürdige Fehlermeldungen:

```
Prelude> not 5
<interactive>:1:4:
  No instance for (Num Bool)
    arising from the literal '5' at <interactive>:1:4
  Possible fix: add an instance declaration for (Num Bool)
  In the first argument of 'not', namely '5'
  In the expression: not 5
  In the definition of 'it': it = not 5
```

Funktionen selbst definieren

```
verdopple :: Integer -> Integer
verdopple x = x + x
```

Allgemein:

funktion_Name $par_1 \dots par_n = Haskell_Ausdruck$

wobei

- par_i : Formale Parameter, z.B. Variablen x, y, \dots
- Die par_i dürfen rechts im *Haskell_Ausdruck* verwendet werden
- *funktion_Name* muss mit Kleinbuchstaben oder einem Unterstrich beginnen

Man darf auch den Typ angeben!

Formale Parameter

Gesucht:

Funktion erhält zwei Eingaben und liefert
"Die Eingaben sind gleich",
wenn die beiden Eingaben gleich sind.

Falscher Versuch:

```
sonicht x x = "Die Eingaben sind gleich!"
```

```
Conflicting definitions for 'x'
In the definition of 'sonicht'
Failed, modules loaded: none.
```

Die formalen Parameter müssen **unterschiedliche** Namen haben.

```
vergleiche x y =
  if x == y then "Die Eingaben sind gleich!" else "Ungleich!"
```

Funktion testen

```
Prelude> :load programme/einfacheFunktionen.hs
[1 of 1] Compiling Main ( programme/einfacheFunktionen.hs )
Ok, modules loaded: Main.
*Main> verdopple 5
10
*Main> verdopple 100
200
*Main> verdopple (verdopple (2*3) + verdopple (6+9))
84
```

Fallunterscheidung: if-then-else

Syntax: `if b then e1 else e2`

Bedeutung:

$$\text{if } b \text{ then } e_1 \text{ else } e_2 = \begin{cases} e_1 & \text{wenn } b \text{ zu True auswertet} \\ e_2 & \text{wenn } b \text{ zu False auswertet} \end{cases}$$

Beispiel

```
verdoppleGerade :: Integer -> Integer
verdoppleGerade x = if even x then verdopple x else x
```

even testet, ob eine Zahl gerade ist:

```
even x = x `mod` 2 == 0
```

```
*Main> :reload
[1 of 1] Compiling Main ( programme/einfacheFunktionen.hs )
Ok, modules loaded: Main.
*Main> verdoppleGerade 50
100
*Main> verdoppleGerade 17
17
```

Weitere Beispiele zu if-then-else

Verschachteln von if-then-else:

```
jenachdem :: Integer -> Integer
jenachdem x = if x < 100 then 2*x else
              if x <= 1000 then 3*x else x
```

Falsche Einrückung:

```
jenachdem x =
if x < 100 then 2*x else
  if x <= 1000 then 3*x else x
```

```
Prelude> :reload
[1 of 1] Compiling Main ( programme/einfacheFunktionen.hs )
programme/einfacheFunktionen.hs:9:0:
  parse error (possibly incorrect indentation)
Failed, modules loaded: none.
Prelude>
```

Noch ein Beispiel

```
verdoppeln_oder_verdreifachen :: Bool -> Integer -> Integer
verdoppeln_oder_verdreifachen b x =
  if b then 2*x else 3*x
```

```
*Main> verdoppeln_oder_verdreifachen True 10
20
*Main> verdoppeln_oder_verdreifachen False 10
30
```

verdoppeln mithilfe von verdoppeln_oder_verdreifachen:

```
verdoppeln2 :: Integer -> Integer
verdoppeln2 x = verdoppeln_oder_verdreifachen True x
-- oder auch:
verdoppeln3 :: Integer -> Integer
verdoppeln3 = verdoppeln_oder_verdreifachen True
```

verdoppeln3: **keine** Eingabe, **Ausgabe ist eine Funktion**

Aufgabe

Ordnung BSc Informatik §26 Abs.7

„Die Gesamtnote einer bestandenen Bachelorprüfung lautet:

Bei einem Durchschnitt bis einschließlich 1,5:	sehr gut
bei einem Durchschnitt von 1,6 bis einschließlich 2,5:	gut
bei einem Durchschnitt von 2,6 bis einschließlich 3,5:	befriedigend
bei einem Durchschnitt von 3,6 bis einschließlich 4,0:	ausreichend“

Implementiere eine Haskellfunktion

```
gesamtnote :: Double -> String
```

die bei Eingabe eines Durchschnitts die Gesamtnote als String ausgibt.

Higher-Order Funktionen

- D.h.: **Rückgabewerte** dürfen in Haskell auch **Funktionen** sein
- Auch **Argumente** (Eingaben) dürfen **Funktionen** sein:

```
wende_an_und_addiere f x y = (f x) + (f y)
```

```
*Main> wende_an_und_addiere verdopple 10 20
60
*Main> wende_an_und_addiere jenachdem 150 3000
3450
```

Daher spricht man auch von **Funktionen höherer Ordnung!**

Nochmal Typen

Typ von wende_an_und_addiere

```
wende_an_und_addiere :: (Integer -> Integer) -> Integer -> Integer -> Integer
```

```
wende_an_und_addiere :: (Integer -> Integer) -> Integer -> Integer -> Integer
                        Typ von f      Typ von x      Typ von y      Typ des Ergebnisses
```

```
wende_an_und_addiere f x y = (f x) + (f y)
```

Achtung: Im Typ

```
(Integer -> Integer) -> Integer -> Integer -> Integer
```

darf man die Klammern **nicht** weglassen:

```
Integer -> Integer -> Integer -> Integer -> Integer
```

denn das entspricht

```
Integer -> (Integer -> (Integer -> (Integer -> Integer))).
```

Programmieren mit Haskell

Rekursion

Polymorphe Typen

```
zweimal_anwenden :: (a -> a) -> a -> a
zweimal_anwenden f x = f (f x)
```

Da **Typvariablen** in Haskell erlaubt sind, spricht man von **polymorphen Typen**

Für Typvariablen kann man Typen einsetzen!

z.B. a = Int

```
zweimal_anwenden :: (Int -> Int) -> Int -> Int
```

z.B. a = Bool

```
zweimal_anwenden :: (Bool -> Bool) -> Bool -> Bool
```

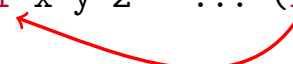
z.B. a = Char -> Char

```
zweimal_anwenden :: ((Char->Char)->(Char->Char))->(Char->Char)->(Char->Char)
```

Rekursion

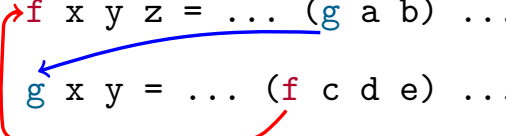
Eine Funktion ist **rekursiv**, wenn sie sich **selbst aufrufen** kann.

```
f x y z = ... (f a b c) ...
```



oder z.B. auch

```
f x y z = ... (g a b) ...
g x y = ... (f c d e) ...
```



Rekursion (2)

Bei Rekursion muss man aufpassen:

```
endlos_eins_addieren x = endlos_eins_addieren (x+1)
```

```
endlos_eins_addieren 0
--> endlos_eins_addieren 1
--> endlos_eins_addieren 2
--> endlos_eins_addieren 3
--> endlos_eins_addieren 4
--> ...
```

endlos_eins_addieren 0 **terminiert nicht!**

Rekursion (3)

So macht man es richtig:

- **Rekursionsanfang:** Der Fall, für den sich die Funktion **nicht** mehr selbst aufruft, sondern **abbricht**
- **Rekursionsschritt:** Der rekursive Aufruf

Darauf achten, dass der Rekursionsanfang stets **erreicht** wird.

Beispiel:

```
erste_rekursive_Funktion x =
  if x <= 0 then 0                -- Rekursionsanfang
  else x+(erste_rekursive_Funktion (x-1)) -- Rekursionsschritt
```

Rekursion (4)

```
erste_rekursive_Funktion x =
  if x <= 0 then 0                -- Rekursionsanfang
  else x+(erste_rekursive_Funktion (x-1)) -- Rekursionsschritt
```

Was berechnet erste_rekursive_Funktion?

- erste_rekursive_Funktion n ergibt 0 für $n \leq 0$
- $n > 0$?

Testen:

```
*Main> erste_rekursive_Funktion 5
15
*Main> erste_rekursive_Funktion 10
55
*Main> erste_rekursive_Funktion 11
66
*Main> erste_rekursive_Funktion 12
78
*Main> erste_rekursive_Funktion 1
1
```

Rekursion (5)

```
erste_rekursive_Funktion x =
  if x <= 0 then 0                -- Rekursionsanfang
  else x+(erste_rekursive_Funktion (x-1)) -- Rekursionsschritt
```

Ein Beispiel nachvollziehen:

```
erste_rekursive_Funktion 5
= 5 + erste_rekursive_Funktion 4
= 5 + (4 + erste_rekursive_Funktion 3)
= 5 + (4 + (3 + erste_rekursive_Funktion 2))
= 5 + (4 + (3 + (2 + erste_rekursive_Funktion 1)))
= 5 + (4 + (3 + (2 + (1 + erste_rekursive_Funktion 0))))
= 5 + (4 + (3 + (2 + (1 + 0))))
= 15
```

Rekursion (6)

```
erste_rekursive_Funktion x =
  if x <= 0 then 0           -- Rekursionsanfang
  else x+(erste_rekursive_Funktion (x-1)) -- Rekursionsschritt
```

Allgemein:

```
erste_rekursive_Funktion x
= x + erste_rekursive_Funktion (x-1)
= x + (x-1) + erste_rekursive_Funktion (x-2))
= x + (x-1) + (x-2) + erste_rekursive_Funktion (x-3)))
= ...
```

Das ergibt $x + (x - 1) + (x - 2) + \dots + 0 = \sum_{i=0}^x i$

Rekursion (7)

Warum ist Rekursion nützlich?

- Man kann damit **schwierige Probleme** einfach lösen

Wie geht man vor? (z.B. implementiere $f(n) = \sum_{i=0}^n i$)

- Rekursionsanfang:

Der **einfache Fall**, für den man die Lösung direkt kennt

$$f(0) = \sum_{i=0}^0 i = 0$$

- Rekursionsschritt:

Man löst **ganz wenig selbst**, bis das Problem etwas kleiner ist.

Das (immer noch große) **Restproblem** erledigt die **Rekursion**,

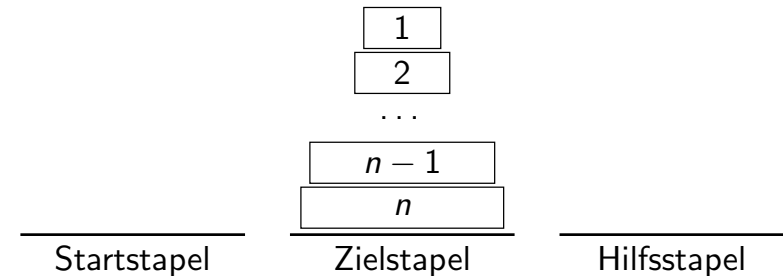
$$f(n) = \sum_{i=0}^n i = n + \sum_{i=0}^{n-1} i = n + f(n-1) \quad (\text{für } n > 0)$$

Rekursion: Türme von Hanoi



Startsituation

Rekursion: Türme von Hanoi



Zielsituation

Beispiel $n = 3$



Lösen durch Rekursion: Rekursionanfang



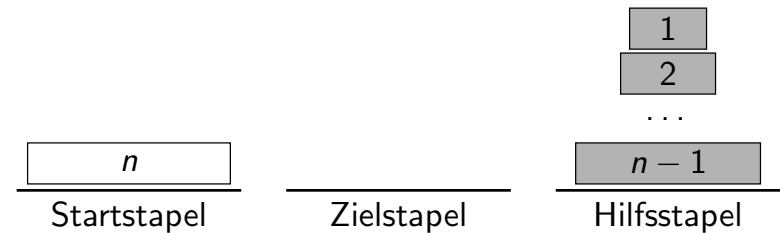
$n = 1$: Verschiebe Scheibe von Startstapel auf Zielstapel

Lösen durch Rekursion: Rekursionanfang



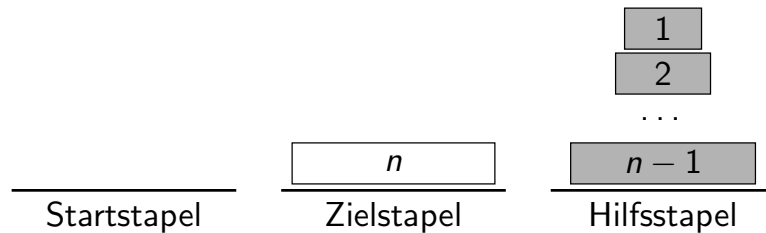
$n = 1$: Verschiebe Scheibe von Startstapel auf Zielstapel

Lösen durch Rekursion: Rekursionsschritt



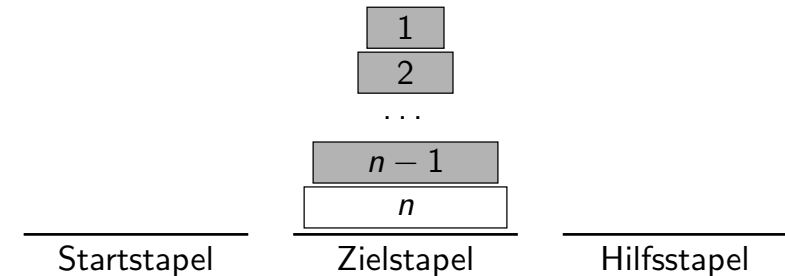
1. Verschiebe den Turm der Höhe $n - 1$ **rekursiv** auf den Hilfsstapel

Lösen durch Rekursion: Rekursionsschritt



2. Verschiebe Scheibe n auf den Zielstapel

Lösen durch Rekursion: Rekursionsschritt



3. Verschiebe den Turm der Höhe $n - 1$ **rekursiv** auf den Zielstapel

Pseudo-Algorithmus

`verschiebe(n,start,ziel,hilf)`

1. Wenn $n > 1$, dann `verschiebe(n-1,start,hilf,ziel)`
2. Schiebe Scheibe n von start auf ziel
3. Wenn $n > 1$, dann `verschiebe(n-1,hilf,ziel,start)`

- Rekursionanfang ist bei $n = 1$: keine rekursiven Aufrufe
- Beachte: Zwei rekursive Aufrufe pro Rekursionsschritt
- Haskell-Implementierung: Später

Rekursion, weitere Beispiele

Beispiel: n -mal Verdoppeln

- Rekursionsanfang: $n = 0$: Gar nicht verdoppeln
- Rekursionsschritt: $n > 0$: Einmal selbst verdoppeln, die restlichen $n - 1$ Verdopplungen der Rekursion überlassen

```
n_mal_verdoppeln :: Integer -> Integer -> Integer
n_mal_verdoppeln x n =
  if n == 0 then x
  else n_mal_verdoppeln (verdopple x) (n-1)
```


Pattern matching (auf Zahlen)

```
n_mal_verdoppeln :: Integer -> Integer -> Integer
n_mal_verdoppeln x n =
  if n == 0 then x
  else n_mal_verdoppeln (verdopple x) (n-1)
```

Man darf statt Variablen auch **Pattern** in der Funktionsdefinition verwenden und **mehrere Definitionsgleichungen** angeben.

```
n_mal_verdoppeln2 :: Integer -> Integer -> Integer
n_mal_verdoppeln2 x 0 = x
n_mal_verdoppeln2 x n = n_mal_verdoppeln2 (verdopple x) (n-1)
```

Falsch:

```
n_mal_verdoppeln2 :: Integer -> Integer -> Integer
n_mal_verdoppeln2 x n = n_mal_verdoppeln2 (verdopple x) (n-1)
n_mal_verdoppeln2 x 0 = x
```

Guards

Guards (Wächter): Boolesche Ausdrücke, die die Definition der Funktion festlegen

```
f x1 ... xm
| 1. Guard = e1
...
| n. Guard = en
```

- Abarbeitung von oben nach unten
- Erster Guard, der zu True auswertet, bestimmt die Definition.

```
n_mal_verdoppeln3 :: Integer -> Integer -> Integer
n_mal_verdoppeln3 x n
| n == 0 = x
| otherwise = n_mal_verdoppeln3 (verdopple x) (n-1)
```

Vordefiniert: otherwise = True

Die Error-Funktion

```
n_mal_verdoppeln3 :: Integer -> Integer -> Integer
n_mal_verdoppeln3 x n
| n == 0 = x
| otherwise = n_mal_verdoppeln3 (verdopple x) (n-1)
```

Was passiert bei negativem n?

- error :: String -> a

```
n_mal_verdoppeln4 :: Integer -> Integer -> Integer
n_mal_verdoppeln4 x n
| n < 0 = error "Negatives Verdoppeln verboten!"
| n == 0 = x
| otherwise = n_mal_verdoppeln4 (verdopple x) (n-1)
```

```
*Main> n_mal_verdoppeln4 10 (-10)
*** Exception:
in n_mal_verdoppeln4: negatives Verdoppeln ist verboten
```

Beispiel

In einem Wald werden **am 1.1. des ersten Jahres 10 Rehe gezählt**. Der erfahrene Förster weiß, dass sich im Laufe eines Jahres, die Anzahl an Rehen durch Paarung **verdreifacht**. In jedem Jahr schießt der Förster **17 Rehe**. In jedem **2. Jahr** gibt der Förster **die Hälfte** der verbleibenden Rehe am 31.12. an einen anderen Wald ab. **Wieviel Rehe gibt es im Wald am 1.1. des Jahres n?**

Rekursionsanfang: Jahr 1, 10 Rehe

Rekursionsschritt: Sei k = Anzahl Rehe am 1.1. des Jahres $n - 1$

$$\text{Jahr } n: \begin{cases} 3 * k - 17, & \text{falls } n - 1 \text{ kein zweites Jahr} \\ (3 * k - 17) / 2, & \text{falls } n - 1 \text{ ein zweites Jahr} \end{cases}$$

```
anzahlRehe 1 = 10
anzahlRehe n = if even (n-1)
  then (3*(anzahlRehe (n-1))-17) `div` 2
  else 3*(anzahlRehe (n-1))-17
```

Beispiel (2)

```
*Main> anzahlRehe 1
10
*Main> anzahlRehe 2
13
*Main> anzahlRehe 3
11
*Main> anzahlRehe 4
16
*Main> anzahlRehe 5
15
*Main> anzahlRehe 6
28
*Main> anzahlRehe 7
33
*Main> anzahlRehe 8
82
*Main> anzahlRehe 9
114
*Main> anzahlRehe 10
325
*Main> anzahlRehe 50
3626347914090925
```

Let-Ausdrücke: Lokale Definitionen

```
anzahlRehe 1 = 10
anzahlRehe n = if even (n-1)
               then (3*(anzahlRehe (n-1))-17) `div` 2
               else 3*(anzahlRehe (n-1))-17
```

Mit let:

```
anzahlRehe2 1 = 10
anzahlRehe2 n = let k = (3*anzahlRehe2 (n-1))-17
                 in if even (n-1) then k `div` 2
                 else k
```

Let-Ausdrücke: Lokale Definitionen (2)

Allgemeiner:

```
let Variable1 = Ausdruck1
    Variable2 = Ausdruck2
    ...
    VariableN = AusdruckN
in Ausdruck
```

Programmieren mit Haskell
Programmieren mit Listen

Listen

- Liste = Folge von Elementen
- z.B. [True,False,False,True,True] und [1,2,3,4,5,6]
- In Haskell sind nur **homogene** Listen erlaubt:
Alle Elemente haben den **gleichen Typ**
- z.B. **verboten**: [True, 'a', False, 2]

```
Prelude> [True, 'a', False, 2]

<interactive>:1:6:
  Couldn't match expected type 'Bool' against inferred type 'Char'
  In the expression: 'a'
  In the expression: [True, 'a', False, 2]
  In the definition of 'it': it = [True, 'a', False, ....]
```

Listen: Typ

- Allgemeiner Typ: [a]
- Das a bezeichnet den Typ der Elemente
- z.B. Liste von Zeichen: Typ [Char] usw.

```
Prelude> :type [True,False]
[True,False] :: [Bool]

Prelude> :type ['A','B']
['A','B'] :: [Char]

Prelude> :type [1,2,3]
[1,2,3] :: (Num t) => [t]
```

Auch möglich:

```
*Main> :type [verdopple, verdoppleGerade, jenachdem]
[verdopple, verdoppleGerade, jenachdem] :: [Integer -> Integer]

*Main> :type [[True,False], [False,True,True], [True,True]]
[[True,False], [False,True,True], [True,True]] :: [[Bool]]
```

Listen erstellen

- Eckige Klammern und Kommata z.B. [1,2,3]
- Das ist jedoch nur **Syntaktischer Zucker**

Listen sind **rekursiv** definiert:

- „Rekursionsanfang“ ist die **leere Liste []** („Nil“)
- „Rekursionsschritt“ mit **:** („Cons“)
 - x ein **Listenelement**
 - xs eine **Liste** (mit $n - 1$ Elementen)

Dann ist **x:xs** Liste mit n Elementen beginnend mit x und anschließend folgen die Elemente aus xs

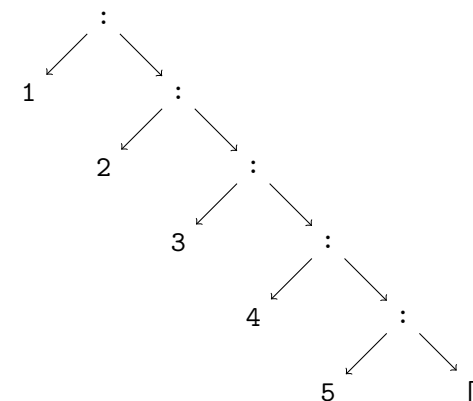
[1,2,3] ist in Wahrheit **1:(2:(3:[]))**

Typen:

```
[] :: [a]
(:) :: a -> [a] -> [a]
```

Interne Darstellung der Listen

[1,2,3,4,5] = **1:(2:(3:(4:(5:[])))**)



Beispiel

Konstruiere die Listen der Zahlen $n, n - 1 \dots, 1$:

```
nbis1 :: Integer -> [Integer]
nbis1 0 = []
nbis1 n = n:(nbis1 (n-1))
```

```
*Main> nbis1 0
[]
*Main> nbis1 1
[1]
*Main> nbis1 10
[10,9,8,7,6,5,4,3,2,1]
*Main> nbis1 100
[100,99,98,97,96,95,94,93,92,91,90,89,88,87,86,85,84,83,82,81,80,79,
78,77,76,75,74,73,72,71,70,69,68,67,66,65,64,63,62,61,60,59,58,57,
56,55,54,53,52,51,50,49,48,47,46,45,44,43,42,41,40,39,38,37,36,35,
34,33,32, 31,30,29,28,27,26,25,24,23,22,21,20,19,18,17,16,15,14,13,
12,11,10,9,8,7,6,5,4,3,2,1]
```

Listen zerlegen

Vordefiniert:

- `head :: [a] -> a` liefert das erste Element einer nicht-leeren Liste.
- `tail :: [a] -> [a]` liefert die nicht-leere Eingabeliste ohne das erste Element.
- `null :: [a] -> Bool` testet, ob eine Liste leer ist.

```
*> head [1,2]
1
*> tail [1,2,3]
[2,3]
*> head []
*** Exception: Prelude.head: empty list
*> null []
True
*> null [4]
False
```

Beispiel

Funktion, die das letzte Element einer Liste liefert.

```
letztesElement :: [a] -> a
letztesElement xs = if null xs then
    error "Liste ist leer"
    else
        if null (tail xs) then head xs
        else letztesElement (tail xs)
```

```
Main> letztesElement [True,False,True]
True
*Main> letztesElement [1,2,3]
3
*Main> letztesElement (nbis1 1000)
1
*Main> letztesElement [[1,2,3], [4,5,6], [7,8,9]]
[7,8,9]
```

Listen zerlegen mit Pattern

In

$$f \text{ par}_1 \dots \text{ par}_n = \text{rumpf}$$

dürfen par_i auch sog. **Pattern** sein.

Z.B.

```
eigenesHead [] = error "empty list"
eigenesHead (x:xs) = x
```

Auswertung von `eigenesHead (1:(2:[]))`

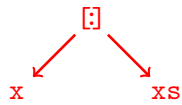
- Das erste Pattern das zu `(1:(2:[]))` passt („**matcht**“) wird genommen
- Dies ist `(x:xs)`. Nun wird anhand des Patterns zerlegt:

$$x = 1$$

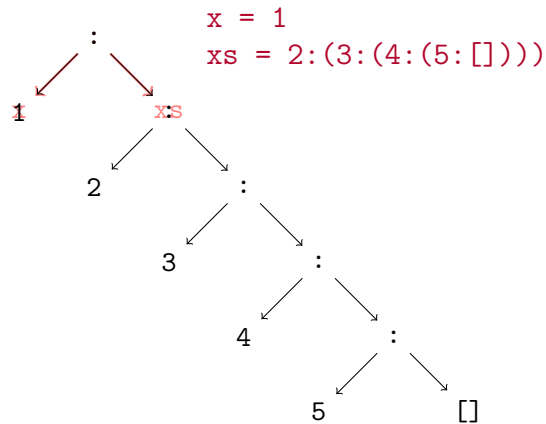
$$xs = (2:[])$$

Pattern-Matching

Pattern $x:xs$



Liste



Letztes Element mit Pattern:

```
letztesElement2 []      = error "leere Liste"
letztesElement2 (x:[]) = x
letztesElement2 (x:xs) = letztesElement2 xs
```

$(x:[])$ passt nur für einelementige Listen!

Beispiele: Pattern-Match

```
eigenesNull []      = True
eigenesNull (x:xs) = False

-- alternativ:
eigenesNull2 []     = True
eigenesNull2 xs    = False -- matcht immer!

-- falsch!:
falschesNull xs    = False
falschesNull []    = True
```

```
Warning: Pattern match(es) are overlapped
       In the definition of ‘falschesNull’: falschesNull [] = ...
*Main> falschesNull [1]
False
*Main> falschesNull []
False
*Main> eigenesNull []
True
```

Vordefinierte Listenfunktionen (Auswahl)

- `length :: [a] -> Int` berechnet die Länge einer Liste.
- `take :: Int -> [a] -> [a]` erwartet eine Zahl k und eine Liste xs und liefert die Liste der ersten k Elemente von xs .
- `drop :: Int -> [a] -> [a]` erwartet eine Zahl k und eine Liste xs und liefert xs ohne die der ersten k Elemente.
- `(++) :: [a] -> [a] -> [a]` „append“: hängt zwei Listen aneinander, kann infix in der Form $xs ++ ys$ verwendet werden.
- `concat :: [[a]] -> [a]` glättet eine Liste von Listen. Z.B. `concat [xs,ys]` ist gleich zu `xs ++ ys`.
- `reverse :: [a] -> [a]` dreht die Reihenfolge der Elemente einer Liste um.

Nochmal Strings

"Hallo Welt" ist nur syntaktischer Zucker für

```
['H','a','l','l','o',' ','W','e','l','t']
```

bzw.

```
'H':('a':('l':('l':('o':(' ':(:'W':('e':('l':('t':[]))))))))))
```

```
*Main> head "Hallo Welt"
'H'
*Main> tail "Hallo Welt"
"allo Welt"
*Main> null "Hallo Welt"
False
*Main> null ""
True
*Main> letztesElement "Hallo Welt"
't'
```

Funktionen auf Strings

- `words :: String -> [String]`: Zerlegt eine Zeichenkette in eine *Liste von Worten*
- `unwords :: [String] -> String`: Macht aus einer Liste von Worten einen einzelnen String.
- `lines :: String -> [String]`: Zerlegt eine Zeichenkette in eine *Liste von Zeilen*

Z.B.

```
anzahlWorte :: String -> Int
anzahlWorte text = length (words text)
```

Paare und Tupel

- Paare in Haskell: (e_1, e_2) z.B. $(1, 'A')$
- Die Typen der Komponenten dürfen **verschieden** sein.

```
Main> :type ("Hallo",True)
("Hallo",True) :: ([Char], Bool)
Main> :type ([1,2,3],'A')
([1,2,3],False) :: (Num t) => ([t], Char)
*Main> :type (letztesElement, "Hallo" ++ "Welt")
(letztesElement, "Hallo" ++ "Welt") :: ([a] -> a, [Char])
```

Paare und Tupel (2)

Zugriffsfunktionen:

- `fst :: (a,b) -> a` liefert das linke Element eines Paares.
- `snd :: (a,b) -> b` liefert das rechte Element eines Paares.

```
*Main> fst (1,'A')
1
*Main> snd (1,'A')
'A'
*Main>
```

Pattern-Matching auf Paaren

```
eigenesFst (x,y) = x
eigenesSnd (x,y) = y
paarSumme  (x,y) = x+y
```

Tupel

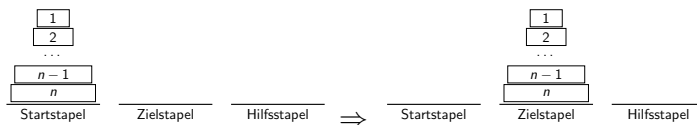
Wie Paare, aber mit mehr Komponenten.

```
*Main> :set +t
*Main> ('A',True,'B')
('A',True,'B')
it :: (Char, Bool, Char)
*Main> ([1,2,3],(True,'A',False,'B'),'B')
([1,2,3],(True,'A',False,'B'),'B')
it :: ([Integer], (Bool, Char, Bool, Char), Char)
```

Auch hier kann man Pattern verwenden:

```
erstes_aus_vier_tupel (w,x,y,z) = w
-- usw.
viertes_aus_vier_tupel (w,x,y,z) = z
```

Türme von Hanoi in Haskell



Pseudo-Algorithmus:

verschiebe(n,start,ziel,hilf)

1. Wenn $n > 1$, dann **verschiebe**(n-1,start,hilf,ziel)
2. Schiebe Scheibe n von start auf ziel
3. Wenn $n > 1$, dann **verschiebe**(n-1,hilf,ziel,start)

Modellierung in Haskell

- Stapel sind durchnummeriert
(am Anfang start = 1, ziel = 2, hilf = 3)
- Funktion hanoi erhält
 - Zahl n = Höhe des Stapels der verschoben werden soll
 - die drei Stapel
- Ausgabe: Liste von Zügen.
Ein Zug ist ein Paar (x, y)
= Schiebe oberste Scheibe vom Stapel x auf Stapel y

Die Funktion hanoi

```
-- Basisfall: 1 Scheibe verschieben
hanoi 1 start ziel hilf = [(start,ziel)]
```

```
-- Allgemeiner Fall:
```

```
hanoi n start ziel hilf =
  -- Schiebe den Turm der Hoehe n-1 von start zu hilf:
  (hanoi (n-1) start hilf ziel) ++
  -- Schiebe n. Scheibe von start auf ziel:
  [(start,ziel)] ++
  -- Schiebe Turm der Hoehe n-1 von hilf auf ziel:
  (hanoi (n-1) hilf ziel start)
```

Starten mit

```
start_hanoi n = hanoi n 1 2 3
```

Ein Beispiel

```
*Main> start_hanoi 4
[(1,3),(1,2),(3,2),(1,3),(2,1),(2,3),(1,3),(1,2),
 (3,2),(3,1),(2,1),(3,2),(1,3),(1,2),(3,2)]
```