Aufnahme der Hybrid-Vorlesung

- **Hybrid-Vorlesung mit Aufnahme**
  - Die Aufnahme ist anschließend in Stud.IP verfügbar
  - Nutzen Sie die Gelegenheit zur Live-Veranstaltung!
- Wir nehmen auf
  - Folien, Dozent, Live-Audio sowie BBB-Audio
  - Ihre Stimme beim Fragen und Sprechen
  - **Durch aktive Teilnahme erklären Sie sich einverstanden!**
- Fragen: Live, im Chat, Sprechen in der BBB-Sitzung

Technische Universität Braunschweig

Institute of Operating Systems and Computer Networks
Reliable System Software

Programmiersprachen und Übersetzer

12 - Das Funktionale Programmierparadigma

Christian Dietrich

Sommersemester 2024

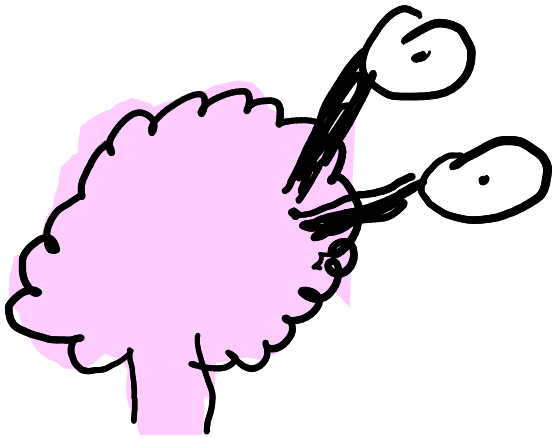
Probleme, Probleme, Probleme,…

Technische Universität Braunschweig

- Kleine Programme sind einfach, große Softwareprojekte sind schwierig.
  - Viele EntwicklerInnen, viele Standorte, viele Zeitzonen
  - Riesige Codebasis und interagierende Komponenten
  - Viele Prozeduren (Algorithmen) und viele Objekte (Daten)

Probleme, Probleme, Probleme,…

- Kleine Programme sind einfach, große Softwareprojekte sind schwierig.
  - Viele EntwicklerInnen, viele Standorte, viele Zeitzonen
  - Riesige Codebasis und interagierende Komponenten
  - Viele Prozeduren (Algorithmen) und viele Objekte (Daten)



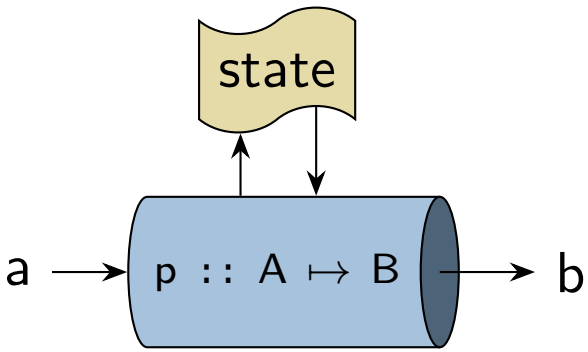
- Begrenzte geistige Kapazität: Veränderlichen Zustand sieht man nicht.

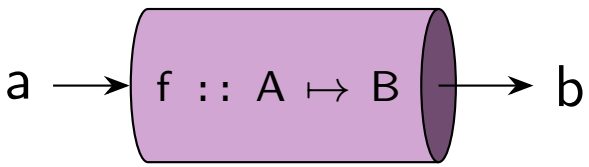
↔ Ausführung von Code ist meist sequentiell und lokal
  - Der aktuelle Zustand ist die **Akkumulation aller Änderungen**
  - Ohne Einhaltung von Invarianten leicht unübersichtlich

Funktionen: Prozeduren mit Scheuklappen

(Reine) funktionale Programmierung erhöht die Lokalität von Änderungen.

- Rein funktional: Prozeduren werden zu mathematischen Funktionen.
  - Das Ergebnis einer (echten) Funktion hängt nur von ihren Parametern ab.
  - Kein Seitenkanal über den globalen Zustand
  - Funktionsausführung hat **keine Seiteneffekte**!

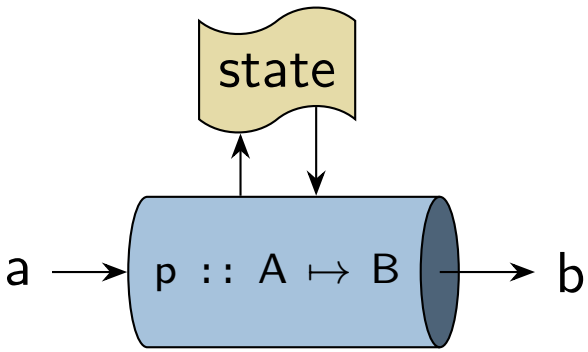


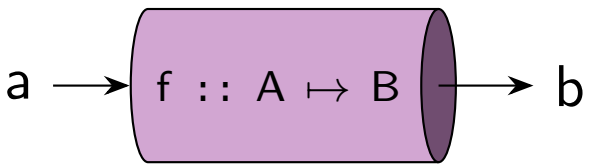


Funktionen: Prozeduren mit Scheuklappen

(Reine) funktionale Programmierung erhöht die Lokalität von Änderungen.

- Rein funktional: Prozeduren werden zu mathematischen Funktionen.
  - Das Ergebnis einer (echten) Funktion hängt nur von ihren Parametern ab.
  - Kein Seitenkanal über den globalen Zustand
  - Funktionsausführung hat **keine Seiteneffekte**!





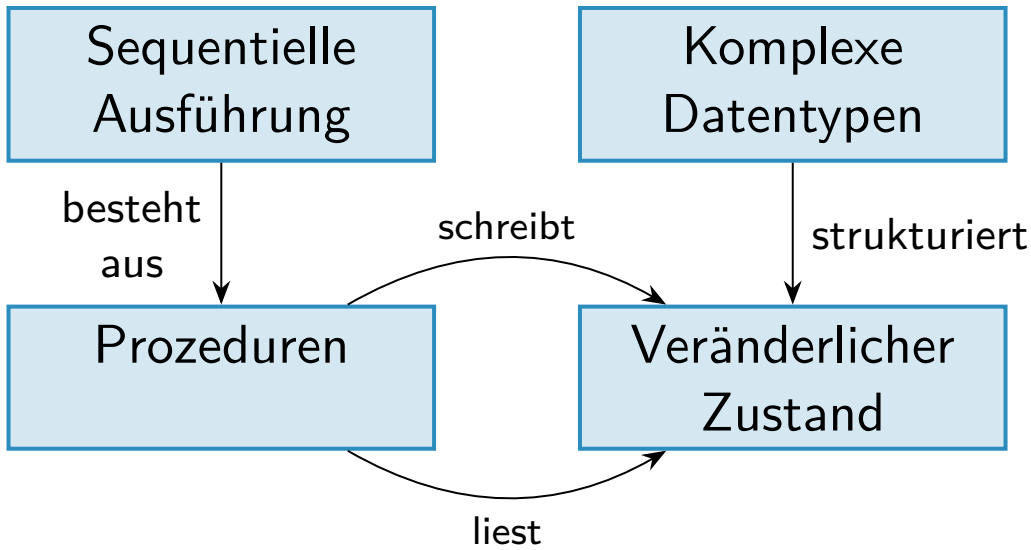
- Mischformen mit veränderlichem Zustand *functional style*
  - Rein funktionale Programmierung ist auch schwierig
  - Viele Programmiersprachen haben funktionale Elemente

Verhältnis zu anderen Programmierparadigmen

Paradigmen

Das imperative Paradigma

Konzepte



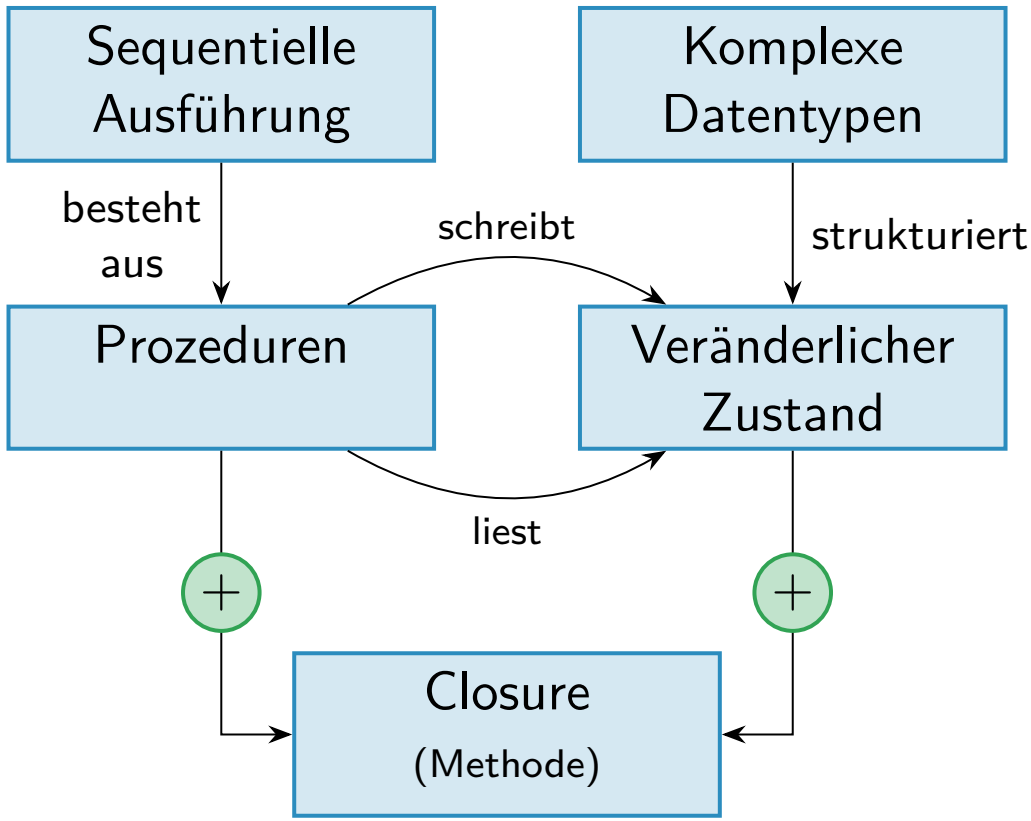
Verhältnis zu anderen Programmierparadigmen

Paradigmen

Das imperative Paradigma

Das objektorientierte Paradigma

Konzepte



Verhältnis zu anderen Programmierparadigmen

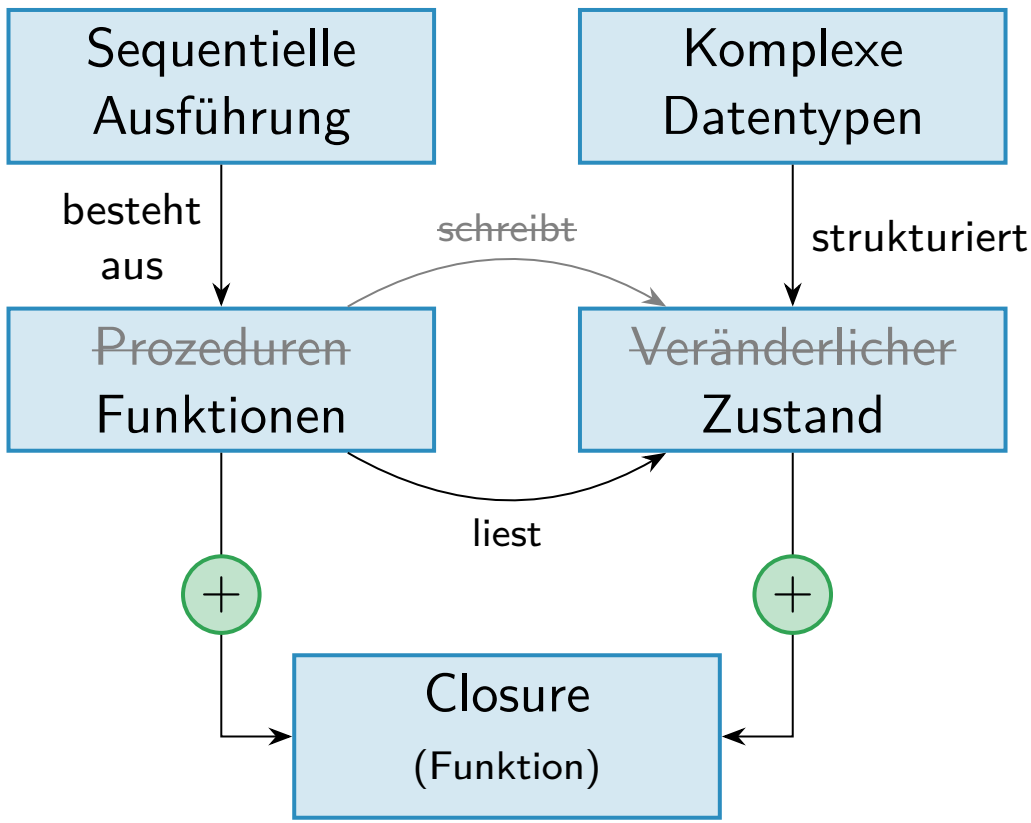
Paradigmen

Das imperative Paradigma

Das objektorientierte Paradigma

Das funktionale Paradigma

Konzepte



Direkte Folgen von Seiteneffektfreiheit

Technische Universität Braunschweig

- Einige Sprachkonzepte werden sinnlos…
  - Wiederbeschreibbare Variablen sind veränderlicher Zustand ⇒ **Verboten**
  - Veränderbare Objekte wären veränderlicher Zustand ⇒ **Verboten**
  - Schleifeniterationen kommunizieren über ihre Seiteneffekte ⇒ **Sinnlos**
  - Sequenzierte Statements haben keinen Rückgabewert ⇒ **Sinnlos**

Direkte Folgen von Seiteneffektfreiheit

- Einige Sprachkonzepte werden sinnlos…
  - Wiederbeschreibbare Variablen sind veränderlicher Zustand ⇒ **Verboten**
  - Veränderbare Objekte wären veränderlicher Zustand ⇒ **Verboten**
  - Schleifeniterationen kommunizieren über ihre Seiteneffekte ⇒ **Sinnlos**
  - Sequenzierte Statements haben keinen Rückgabewert ⇒ **Sinnlos**
- Andere Sprachkonzepte gewinnen an Wichtigkeit!
  - Immutable Objekte: Werte- und Referenzmodell fallen zusammen!
  - Ausdrücke: Jede Operation braucht einen Rückgabewert!
  - Rekursion: Wiederholte Ausführungen nur durch Rekursion!
  - Funktionen: Funktionsaufrufe modellieren abhängigkeiten Operationen!

Direkte Folgen von Seiteneffektfreiheit

- Einige Sprachkonzepte werden sinnlos…
  - Wiederbeschreibbare Variablen sind veränderlicher Zustand ⇒ **Verboten**
  - Veränderbare Objekte wären veränderlicher Zustand ⇒ **Verboten**
  - Schleifeniterationen kommunizieren über ihre Seiteneffekte ⇒ **Sinnlos**
  - Sequenzierte Statements haben keinen Rückgabewert ⇒ **Sinnlos**
- Andere Sprachkonzepte gewinnen an Wichtigkeit!
  - Immutable Objekte: Werte- und Referenzmodell fallen zusammen!
  - Ausdrücke: Jede Operation braucht einen Rückgabewert!
  - Rekursion: Wiederholte Ausführungen nur durch Rekursion!
  - Funktionen: Funktionsaufrufe modellieren abhängigkeiten Operationen!
- Weitere wichtige Fragen, die direkt aufkommen:
  - Wie soll man so bitte übersichtlich programmieren?!
  - Wie kann das bitte nicht ineffizient sein?!
  - Wie soll ich Ein- und Ausgabe machen?!

Unveränderliche Datentypen

Typen für funktionale Programmierung

Technische Universität Braunschweig

Viele Datentypen sind darauf ausgelegt, dass ihre Objekte während ihrer Lebenszeit verändert werden. Das haben wir leider **verboten**!

- Objekte werden nur initialisiert, aber nie verändert.
  - Jede Referenz erlaubt nur das Lesen des Objekts
  - ”Modifikation” nur über partielle Kopien und parametrisierte Konstruktoren
  - Effizienz: Übersetzer kann viele dieser Kopien durch Optimierungen entfernen

```
func add(a : Point, b : Point) : Point {
  return new Point(a.x+b.x, a.y+b.y);
}
```

Pseudocode

Typen für funktionale Programmierung

Technische Universität Braunschweig

Viele Datentypen sind darauf ausgelegt, dass ihre Objekte während ihrer Lebenszeit verändert werden. Das haben wir leider **verboten**!

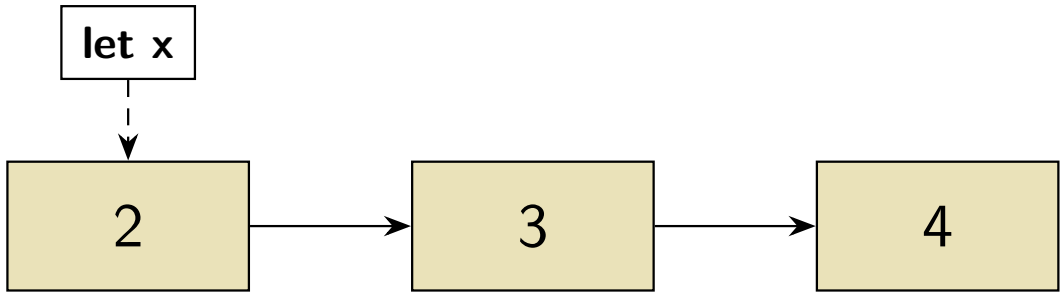
- Objekte werden nur initialisiert, aber nie verändert.
  - Jede Referenz erlaubt nur das Lesen des Objekts
  - ”Modifikation” nur über partielle Kopien und parametrisierte Konstruktoren
  - Effizienz: Übersetzer kann viele dieser Kopien durch Optimierungen entfernen

```
func add(a : Point, b : Point) : Point {
  return new Point(a.x+b.x, a.y+b.y);
}
```

Pseudocode

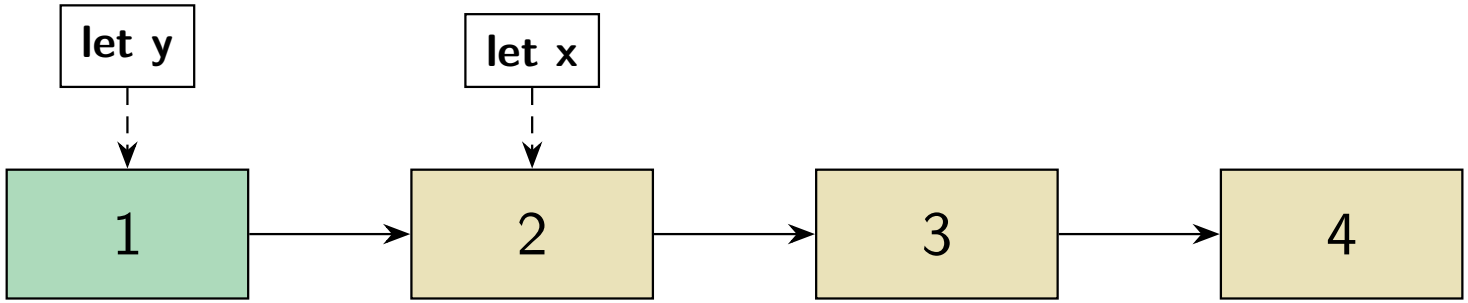
- Bei hierarchisch verzeigerten Datentypen funktioniert das besonders gut
  - Einfach verkettete Listen: Vorne anhängen ist einfach
  - Bäume: Unterbäume können bei einem Knotenupdate übernommen werden

Update und Modifikation von Listen



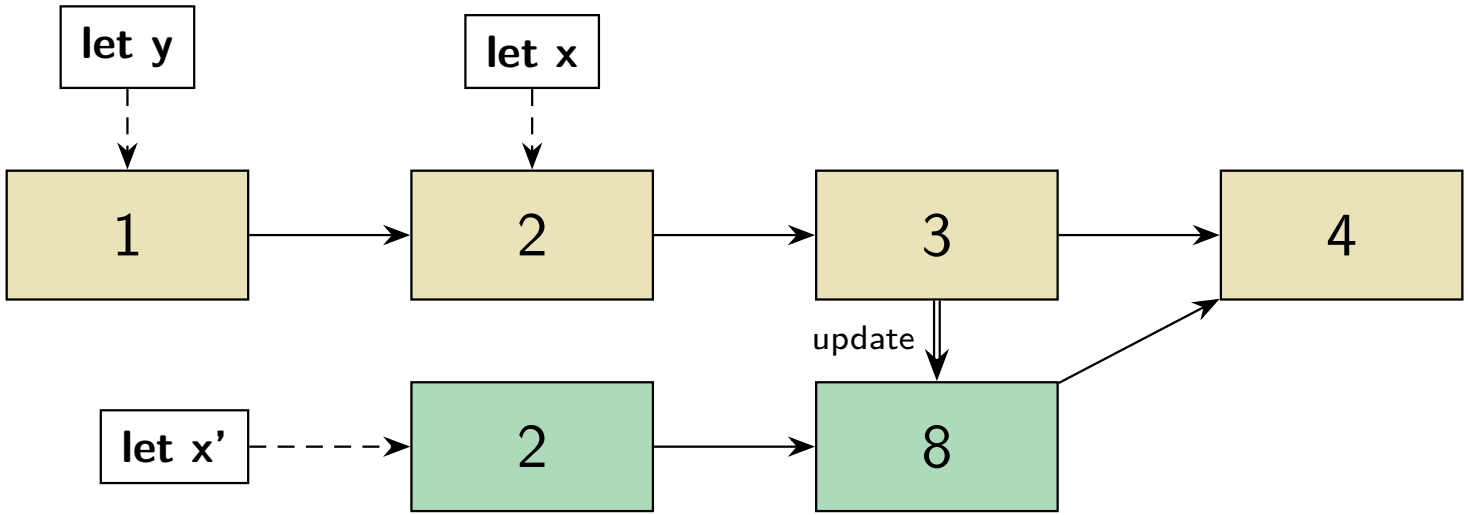
- Funktionale Programmierung arbeitet viel mit einfach verketteten Listen

Update und Modifikation von Listen



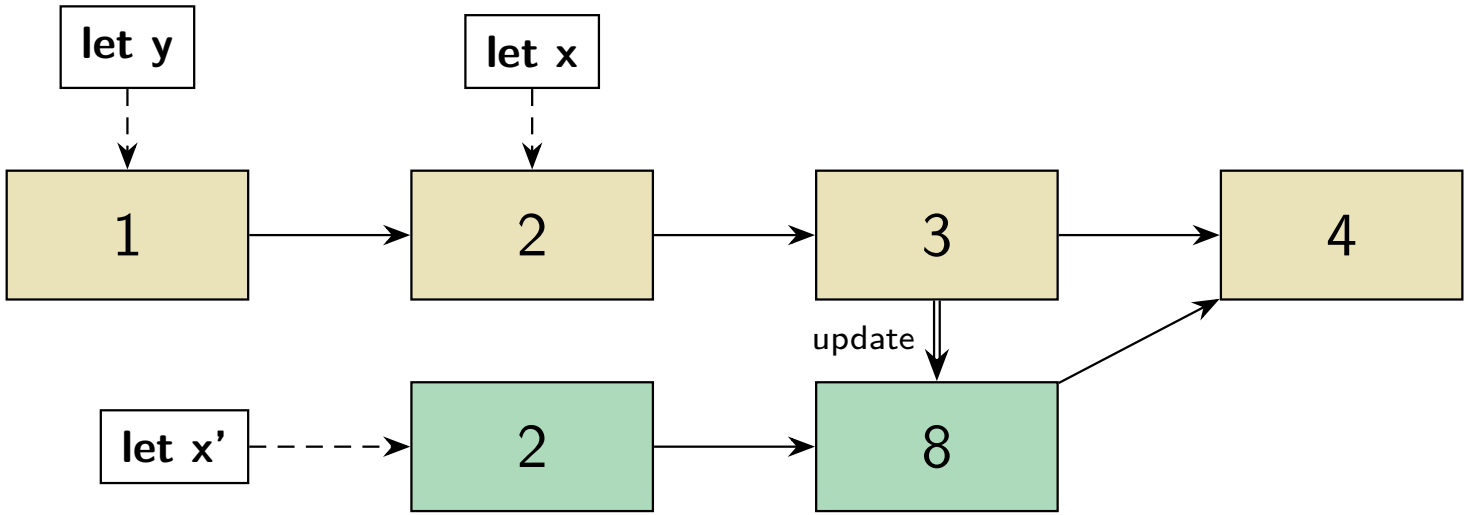
- Funktionale Programmierung arbeitet viel mit einfach verketteten Listen
  - Vorne anhängen erfordert keine Änderung der vorhandenen Listenelemente
  - Gebundene Namen bleiben valide und verändern ihren Wert nicht

Update und Modifikation von Listen



- Funktionale Programmierung arbeitet viel mit einfach verketteten Listen
  - Vorne anhängen erfordert keine Änderung der vorhandenen Listenelemente
  - Gebundene Namen bleiben valide und verändern ihren Wert nicht
  - Updates erfordern Elementkopien bis zur Änderungsstelle

Update und Modifikation von Listen



- Funktionale Programmierung arbeitet viel mit einfach verketteten Listen
  - Vorne anhängen erfordert keine Änderung der vorhandenen Listenelemente
  - Gebundene Namen bleiben valide und verändern ihren Wert nicht
  - Updates erfordern Elementkopien bis zur Änderungsstelle

- Einfach verkettete Listen sind eine **rekursive** Datenstruktur
  $\Rightarrow$ Passt hervorragend zur rekursiven Struktur funktionaler Programme

Aufzählungstypen mit Nutzlast

Problem: Wir wollen viele Objekte erzeugen und wieder zerlegen.

```rust
enum PointKind {
  XY,
  XYZ,
};
```

- Funktionale Sprachen bieten Aufzählungstypen (enum)
  - Endliche (aufzählbare) Anzahl an Varianten

Aufzählungstypen mit Nutzlast

Problem: Wir wollen viele Objekte erzeugen und wieder zerlegen.

```rust
enum Point {
  XY(i32, i32),
  XYZ(i32, i32, i32)
};
```

- Funktionale Sprachen bieten Aufzählungstypen (enum) mit Nutzlast
  - Endliche (aufzählbare) Anzahl an Varianten
  - Jede Variante kann unterschiedliche Felder mit sich führen

Aufzählungstypen mit Nutzlast

Problem: Wir wollen viele Objekte erzeugen und wieder zerlegen.

```rust
enum Point {
  XY(i32, i32),
  XYZ(i32, i32, i32)
};
```

Rust

```rust
fn handle(p : Point);
let p1 = Point::XY (0, 3);
let p2 = Point::XYZ(0, 3, 0)
handle(p1); handle(p2);
```

Rust

- Funktionale Sprachen bieten Aufzählungstypen (enum) mit Nutzlast
  - Endliche (aufzählbare) Anzahl an Varianten
  - Jede Variante kann unterschiedliche Felder mit sich führen
  - Aufzählungsname wird Konstruktor

Aufzählungstypen mit Nutzlast

Problem: Wir wollen viele Objekte erzeugen und wieder zerlegen.

```rust
enum Point {
  XY(i32, i32),
  XYZ(i32, i32, i32)
};
```

Rust

```rust
fn handle(p : Point);
let p1 = Point::XY (0, 3);
let p2 = Point::XYZ(0, 3, 0)
handle(p1); handle(p2);
```

Rust

- Funktionale Sprachen bieten Aufzählungstypen (enum) mit Nutzlast
  - Endliche (aufzählbare) Anzahl an Varianten
  - Jede Variante kann unterschiedliche Felder mit sich führen
  - Aufzählungsname wird Konstruktor
  - Tagged variante Records (union) sind typsicher und polymorph

Aufzählungstypen mit Nutzlast

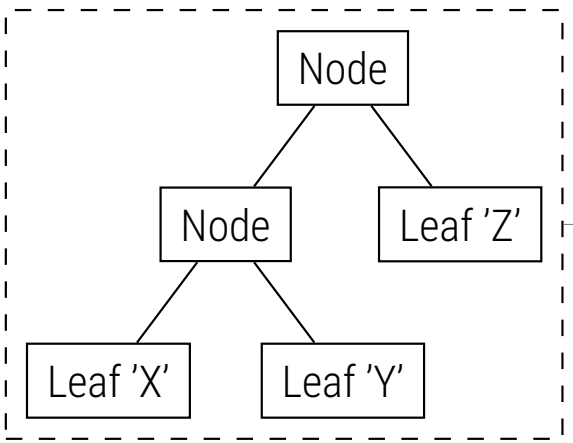
Problem: Wir wollen viele Objekte erzeugen und wieder zerlegen.

```rust
enum Point {
  XY(i32, i32),
  XYZ(i32, i32, i32)
};
```
Rust

```rust
fn handle(p : Point);
let p1 = Point::XY (0, 3);
let p2 = Point::XYZ(0, 3, 0)
handle(p1); handle(p2);
```
Rust

- Funktionale Sprachen bieten Aufzählungstypen (enum) mit Nutzlast
  - Endliche (aufzählbare) Anzahl an Varianten
  - Jede Variante kann unterschiedliche Felder mit sich führen
  - Aufzählungsname wird Konstruktor
  - Tagged variante Records (union) sind typsicher und polymorph
- Rekursive generisch-polymorphe typsichere Aufzählungstypen

```haskell
data Tree T = Leaf T
            | Node (Tree T) (Tree T)
freeTree :: Tree Char
freeTree = Node
             (Node
                (Leaf 'X')
                (Leaf 'Y'))
             (Leaf 'Z')
```
Haskell



Tree Char
==
Ein Baum
aus Char

Deklaration und Konstruktion von Aufzählungsobjekten ist sehr kompakt.

Destructuring Bind und Pattern Matching

Deklaration und Konstruktion von Aufzählungsobjekten ist sehr kompakt.

- Destructuring Bind: Zerlegen eines Objekts in seine Einzelteile
  - Muster mit der gleichen Struktur aber freien Namen
  - Objekt wird auf dieses Muster aufgeteilt
  - Freie Namen werden an die zerlegten Subobjekte gebunden

```
struct ObjT { a : i32, b : i32 }
let ObjT {a: y0, b: y1} = obj;

let (x0, x1) = (1, 2);
```
Rust

Destructuring Bind und Pattern Matching

Technische Universität Braunschweig

Deklaration und Konstruktion von Aufzählungsobjekten ist sehr kompakt.

- Destructuring Bind: Zerlegen eines Objekts in seine Einzelteile
  - Muster mit der gleichen Struktur aber freien Namen
  - Objekt wird auf dieses Muster aufgeteilt
  - Freie Namen werden an die zerlegten Subobjekte gebunden

```rust
struct ObjT { a : i32, b : i32 }
let ObjT {a: y0, b: y1} = obj;

let (x0, x1) = (1, 2);
```

Rust

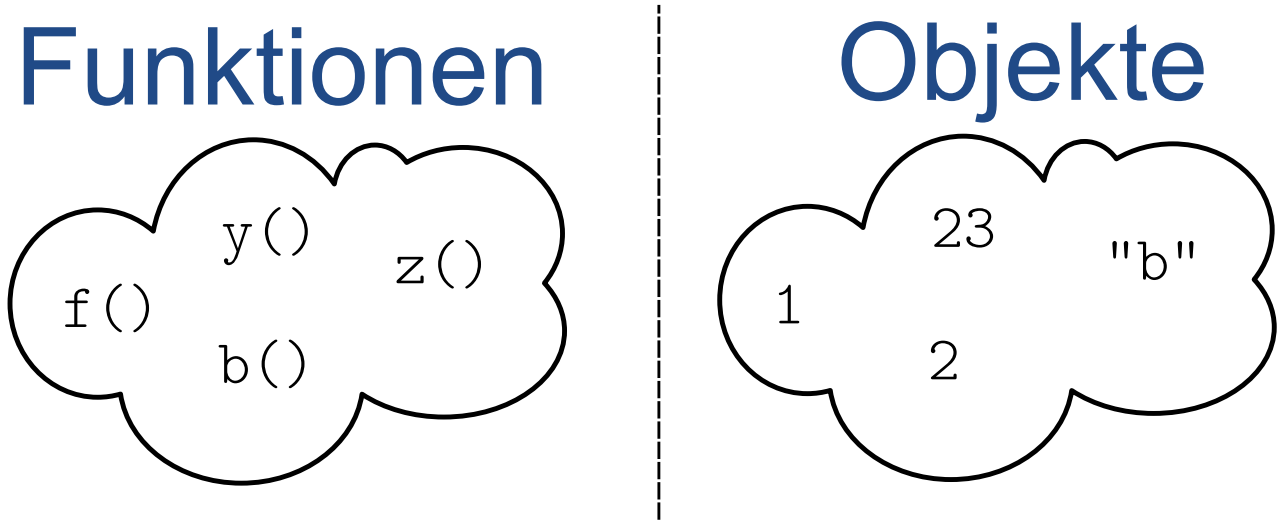
```rust
let norm = match p1 {
  Point::XYZ(x,y,z) => x+y+z,
  Point::XY (x,y)   => x+y,
}
```

Rust

- Pattern Matching: Selektionsoperation mittels Destructuring Bind
  - Ähnlich, aber mächtiger als ein switch-case in C
  - Vergleich eines Objekts gegen mehrere Muster und Destructuring Bind
  - Der entsprechende Arm wird mit den gebundenen Namen ausgeführt
  - Semantische Analyse kann prüfen, ob alle Fälle abgedeckt sind

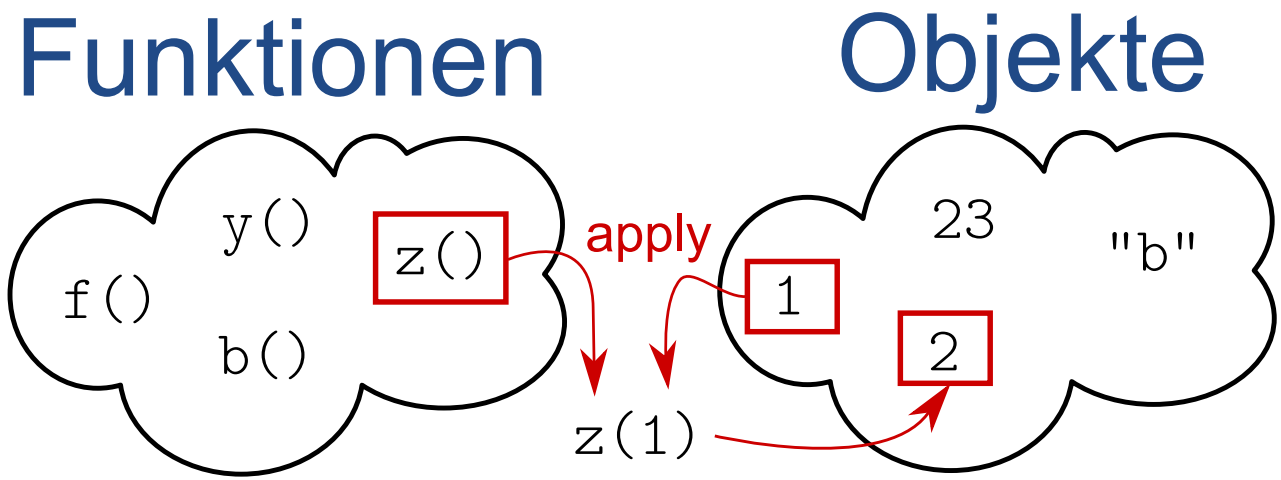
Funktionen als Bürger erster Klasse

Funktionen erster und höherer Ordnung



- **Bisher:** Wir hatten hauptsächlich Funktionen erster Ordnung
  - Funktionen und Objekte sind zwei getrennte Universen

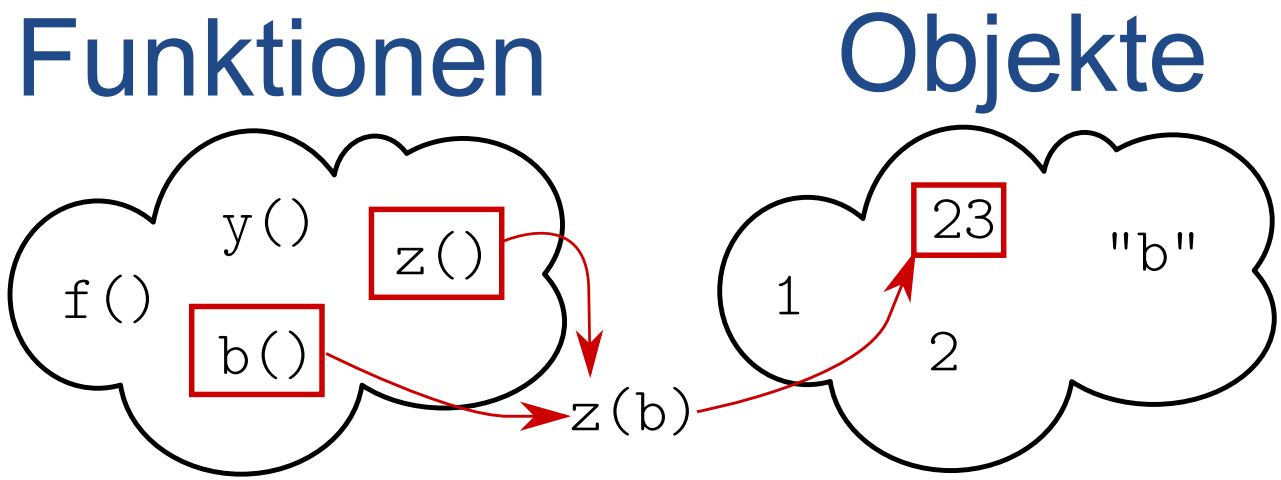
Funktionen erster und höherer Ordnung



- **Bisher:** Wir hatten hauptsächlich Funktionen erster Ordnung
  - Funktionen und Objekte sind zwei getrennte Universen
  - Funktionsanwendung kombiniert eine Funktion und mehrere Objekte

⇒ Definition: Eine Funktion erster Ordnung hat nur passive Objekte als Argument

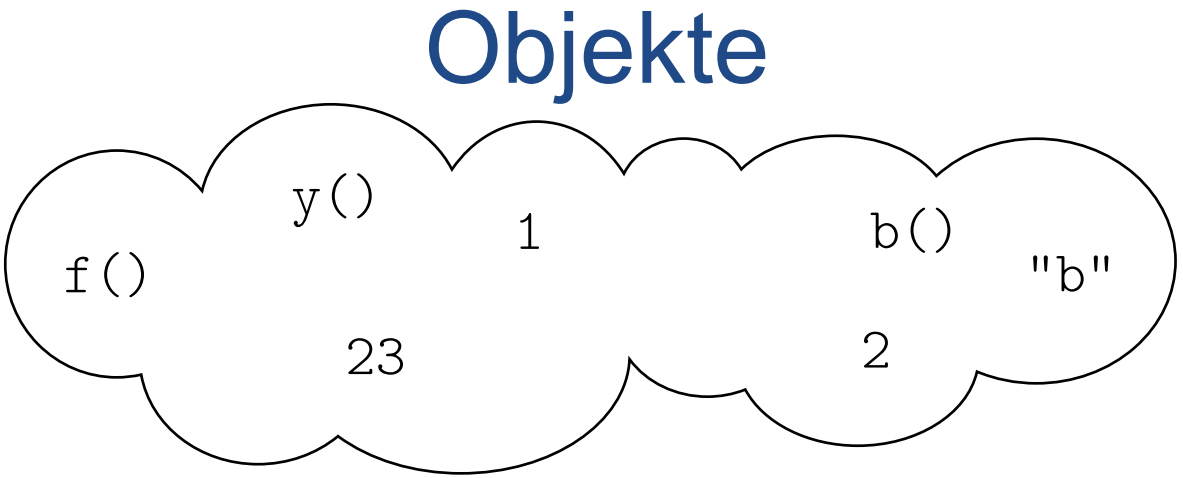
Funktionen erster und höherer Ordnung



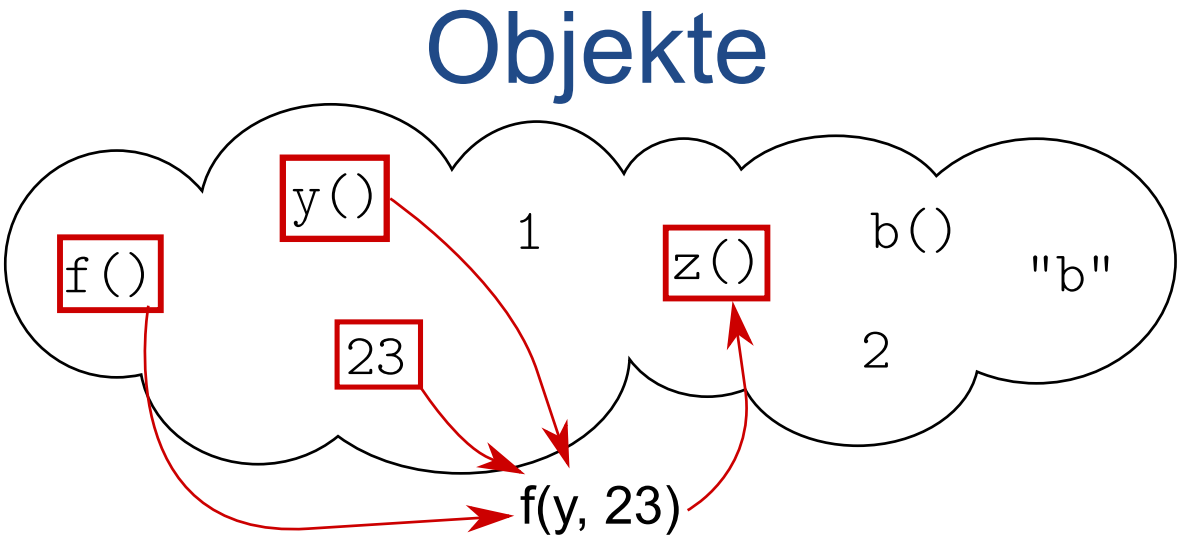
- **Bisher:** Wir hatten hauptsächlich Funktionen erster Ordnung
  - Funktionen und Objekte sind zwei getrennte Universen
  - Funktionsanwendung kombiniert eine Funktion und mehrere Objekte

  $\Rightarrow$ Definition: Eine Funktion erster Ordnung hat nur passive Objekte als Argument

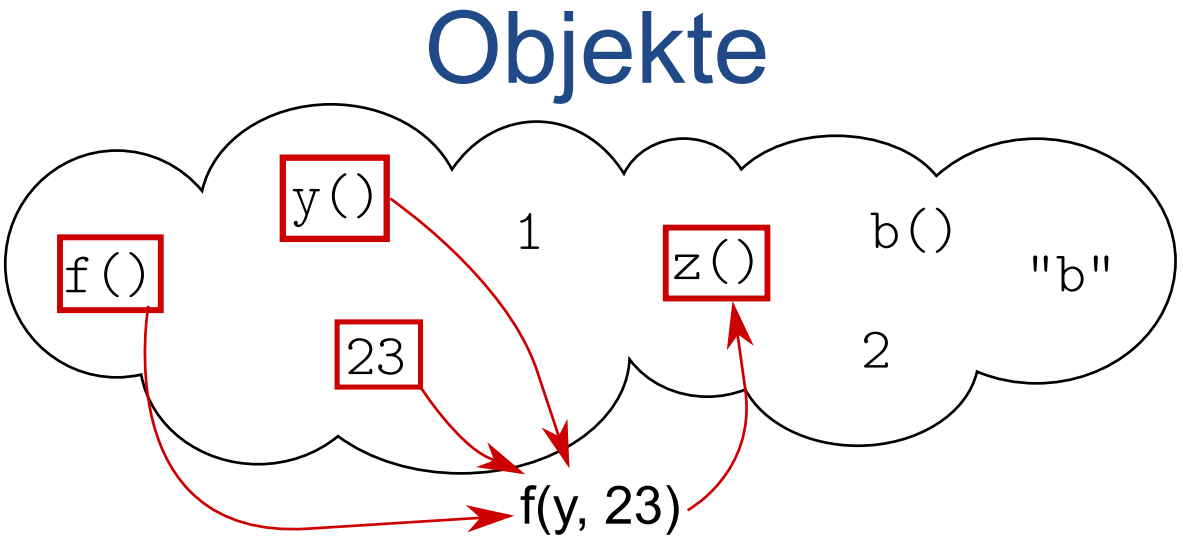
- Funktionen höherer Ordnung haben Funktionen als Parameter
  - Viele imperative Sprachen bieten bereits Funktionszeiger
  - **Aber:** Funktionen sind immer noch nicht wirklich gleichberechtigt!



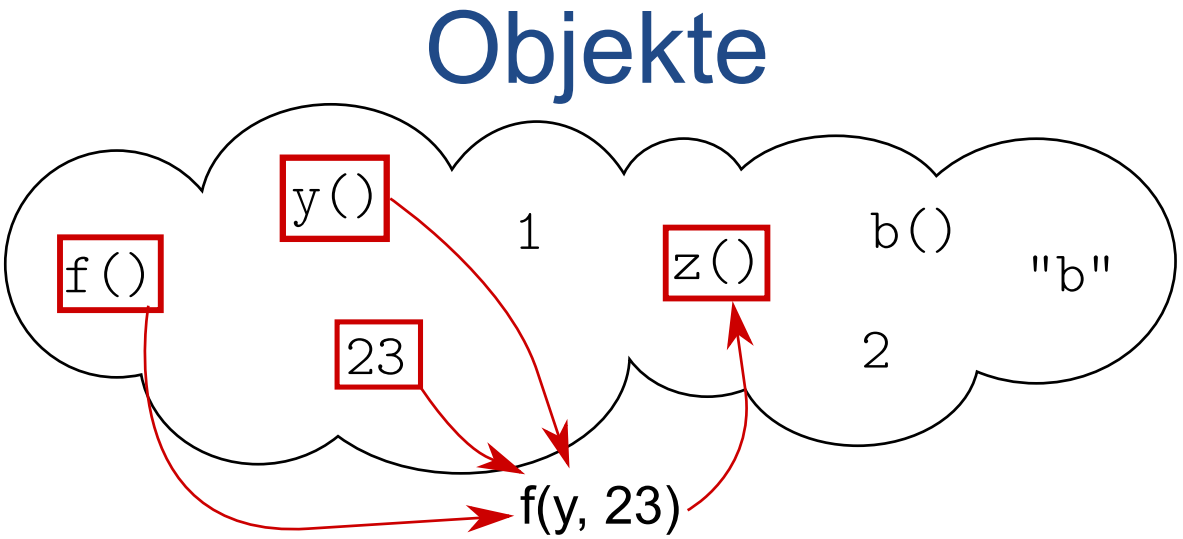
- Im funktionalen Paradigma sind Funktionen wirklich gleichberechtigt.
  - Kein kategorieller Unterschied zwischen Funktionen und Objekten



- Im funktionalen Paradigma sind Funktionen wirklich gleichberechtigt.
  - Kein kategorieller Unterschied zwischen Funktionen und Objekten
  - Funktionen können Argument **und** Rückgabewert sein!



- Im funktionalen Paradigma sind Funktionen wirklich gleichberechtigt.
  - Kein kategorieller Unterschied zwischen Funktionen und Objekten
  - Funktionen können Argument **und** Rückgabewert sein!
- Funktionen sind **WIRKLICH** gleichberechtigt!
  - Funktionen können während der Laufzeit neu erzeugt werden.
  - Funktionen können komponiert und partiell angewendet werden.



- Im funktionalen Paradigma sind Funktionen wirklich gleichberechtigt.
  - Kein kategorieller Unterschied zwischen Funktionen und Objekten
  - Funktionen können Argument **und** Rückgabewert sein!
- Funktionen sind **WIRKLICH** gleichberechtigt!
  - Funktionen können während der Laufzeit neu erzeugt werden.
  - Funktionen können komponiert und partiell angewendet werden.

$\Rightarrow$ Im funktionalen Paradigma werden die algorithmischen Aspekte einer Sprache gestärkt!

Funktionales Programmieren

Funktionen als Argumente

Technische Universität Braunschweig

Obwohl Python keine rein(!) funktionale Programmiersprache ist, werde ich die Beispiele, soweit es geht, als Python-Code zeigen.

- Funktionen höherer Ordnung können Auswertungsstrategien abstrahieren
  - „Äußere“ Funktion steuert die Auswertung, die übergebene macht die Arbeit.
  - Die übergebene Funktion kann mehrfach und mit unterschiedlichen Parametern aufgerufen werden. Die Ergebnisse können kombiniert werden.
  - Die Auswertungsstrategie ist parametrisierbar und wird so wiederverwendbar!

```
def outer(fn, arr):
    return fn(arr[0]) + fn(arr[1])

    outer(innerA, [23, 42]) # => 6500
    outer(innerB, [23, 42]) # => -65
```

```
def innerA(x):
    return x * 100

def innerB(x):
    return x * -1
```

  - Wir hatten dies bereits bei `traverse()` und `fixpoint()` benutzt.

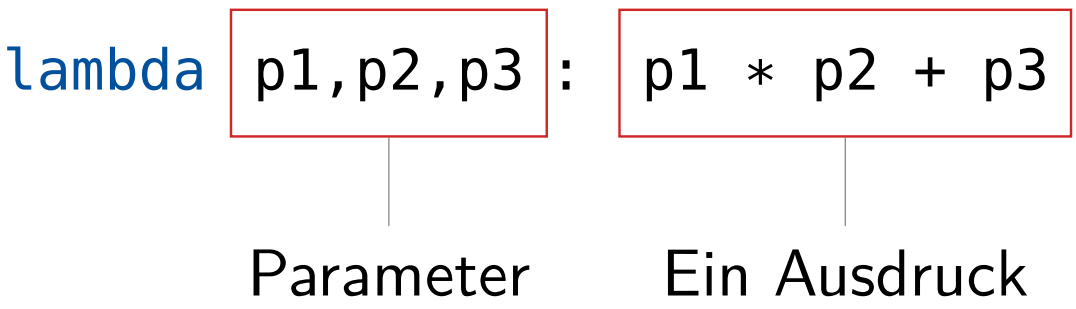
λ/Lambda: Anonyme Funktionen

Technische Universität Braunschweig

- Bei funktionaler Programmierung braucht man ständig kleine Funktionen
  - Entfernte Funktionsdefinition an anderer Stelle zerstört die Code-Lokalität
  - Außerdem ist es aufwendig, sich ständig neue Funktionsnamen auszudenken

λ/Lambda: Anonyme Funktionen

- Bei funktionaler Programmierung braucht man ständig kleine Funktionen
  - Entfernte Funktionsdefinition an anderer Stelle zerstört die Code-Lokalität
  - Außerdem ist es aufwendig, sich ständig neue Funktionsnamen auszudenken



- **Lösung**: Lambda-Ausdrücke erzeugen ein Funktionsobjekt ohne Namen
  - Inspiriert vom, aber nicht immer äquivalent zum, Lambda-Kalkül
  - Bestandteile: Parameterliste und **ein** Ausdruck
  - Funktionsobjekt kann später aufgerufen werden

```
outer(lambda x: x * 100, [23,42]) # => 6500
outer(lambda x: x * -1,  [23,42]) # => -65
```

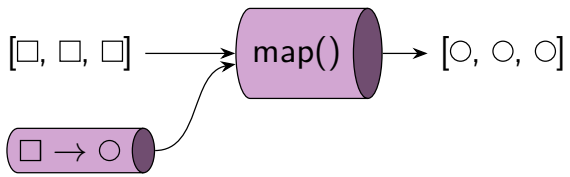
```
add = lambda x, y: x+y
add(1,2) # => 3
```

Beispiel: Listenmanipulationen

- Listen sind die funktionale „Brot-und-Butter“-Datenstruktur
  - Funktionen höherer Ordnung bieten standardisierte Auswertungsstrategien
  - Diese Funktionen ersetzen teilweise iterative Sprachelemente

Beispiel: Listenmanipulationen

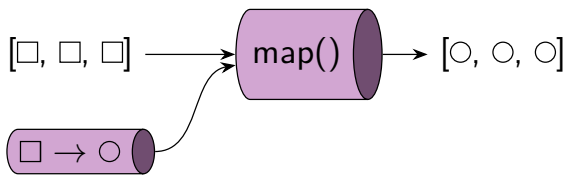
- Listen sind die funktionale „Brot-und-Butter“-Datenstruktur
  - Funktionen höherer Ordnung bieten standardisierte Auswertungsstrategien
  - Diese Funktionen ersetzen teilweise iterative Sprachelemente

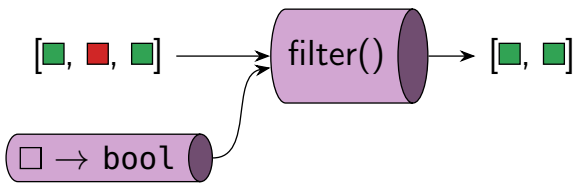


`map()` bildet jedes Element mithilfe der übergebenen Funktion ab und konstruiert daraus eine neue Ergebnisliste.

Beispiel: Listenmanipulationen

- Listen sind die funktionale „Brot-und-Butter“-Datenstruktur
  - Funktionen höherer Ordnung bieten standardisierte Auswertungsstrategien
  - Diese Funktionen ersetzen teilweise iterative Sprachelemente



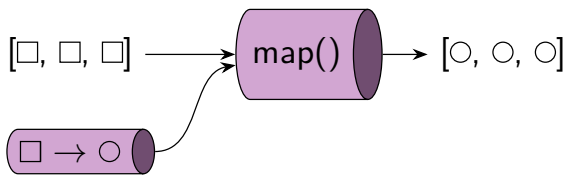


`map()` bildet jedes Element mithilfe der übergebenen Funktion ab und konstruiert daraus eine neue Ergebnisliste.

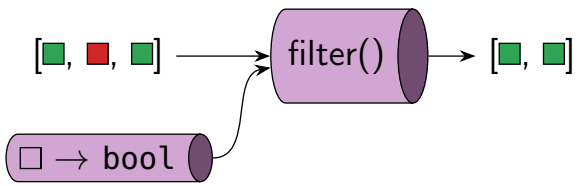
`filter()` prüft jedes Element mittels eines Prädikats und konstruiert eine Liste mit „erfolgreichen“ Elementen.

Beispiel: Listenmanipulationen

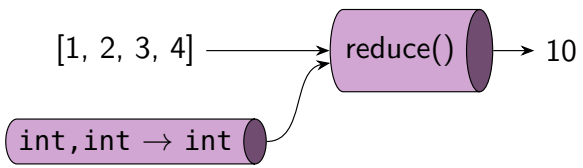
- Listen sind die funktionale „Brot-und-Butter“-Datenstruktur
  - Funktionen höherer Ordnung bieten standardisierte Auswertungsstrategien
  - Diese Funktionen ersetzen teilweise iterative Sprachelemente



`map()` bildet jedes Element mithilfe der übergebenen Funktion ab und konstruiert daraus eine neue Ergebnisliste.



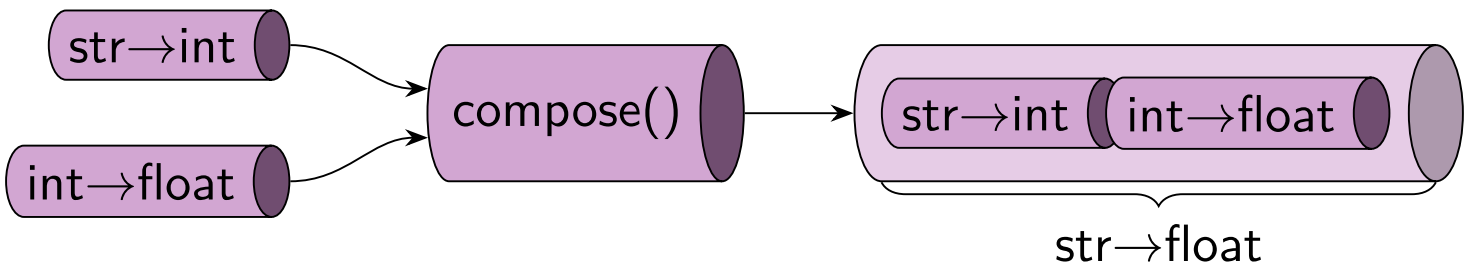
`filter()` prüft jedes Element mittels eines Prädikats und konstruiert eine Liste mit „erfolgreichen“ Elementen.



`reduce()` reduziert eine Liste zu einem Wert, indem die übergebene Funktion als Infixoperator angewendet wird.

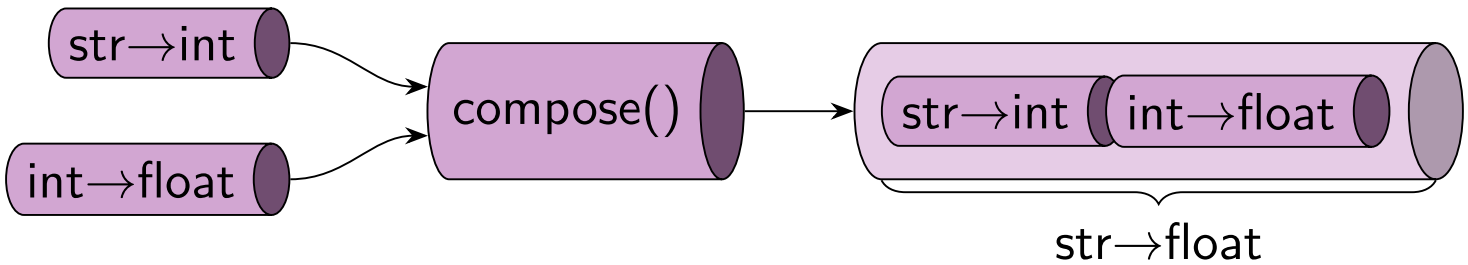
Komposition von Funktionen

- Funktionskomposition ist die Hintereinanderausführung von Funktionen
  - Aus zwei Funktionsobjekten kreieren wir ein neues Funktionsobjekt.
  - Die neue Funktion wendet beide Funktionen in Reihe an.
    Das Ergebnis der ersten wird zur Eingabe der zweiten.
  - Rückgabetypen und Parametertypen müssen zueinander passen.



Komposition von Funktionen

- Funktionskomposition ist die Hintereinanderausführung von Funktionen
  - Aus zwei Funktionsobjekten kreieren wir ein neues Funktionsobjekt.
  - Die neue Funktion wendet beide Funktionen in Reihe an.
    Das Ergebnis der ersten wird zur Eingabe der zweiten.
  - Rückgabetypen und Parametertypen müssen zueinander passen.




```python
def inc(x):
    return x + 1

def compose(f, g):
    return lambda x: f(g(x))

x = compose(inc, inc)
x(0) # => 2
```

Python

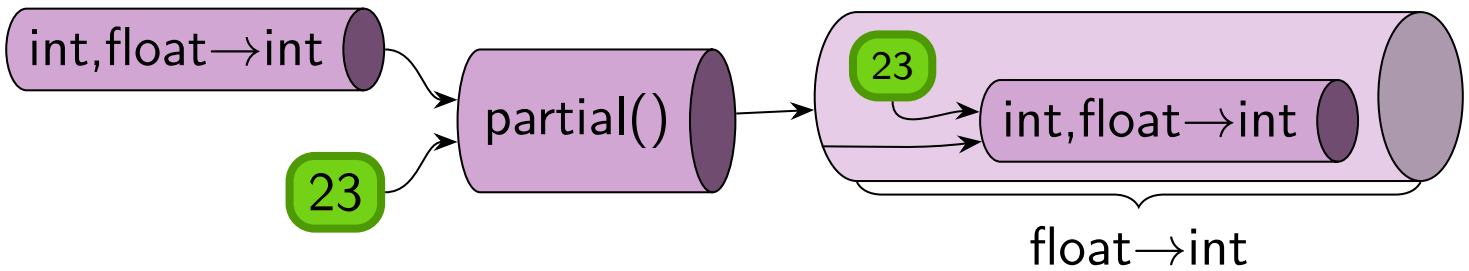
```haskell
inc = \x -> x +1
x   = inc . inc

x(0) # => 2
```

Haskell

Haskell bietet Komposition sogar als Infixoperator „.“, angelehnt an $f \circ g$:

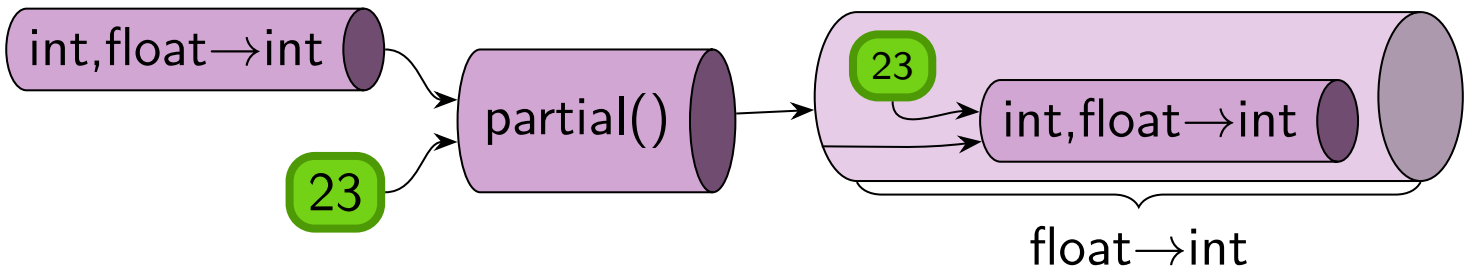
Partielle Anwendung von Funktionen

- Partielle Anwendung bindet einige Parameter einer Funktion
  - **Beobachtung**: Funktionen brauchen all ihre Parameter zur Ausführung
  - **Idee**: Wir könnten einige Parameter mit bekannten Argumenten vorbelegen
  - Erzeugen eines Funktionsobjekts mit geringerer Stelligkeit



Partielle Anwendung von Funktionen

- Partielle Anwendung bindet einige Parameter einer Funktion
  - **Beobachtung**: Funktionen brauchen all ihre Parameter zur Ausführung
  - **Idee**: Wir könnten einige Parameter mit bekannten Argumenten vorbelegen
  - Erzeugen eines Funktionsobjekts mit geringerer Stelligkeit




```python
def add(a,b):
    return a + b

def partial(f, *a0):
    return lambda *a1: f(*(a0+a1))

inc = partial(add, 1)
inc(0) # => 1
```

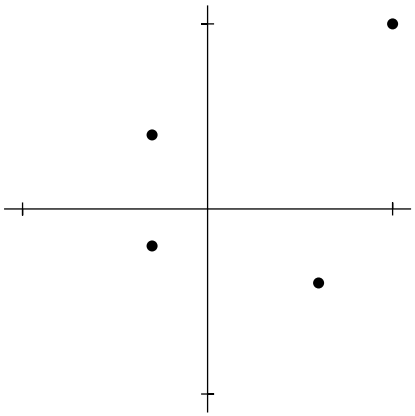
Python

```haskell
add :: Int -> (Int -> Int)
add a b = a + b

inc = (add 1)
inc(1) -- => 2
```

Haskell

Haskell bietet Currying, wo jede Funktion standardmäßig partiell anwendbar ist.

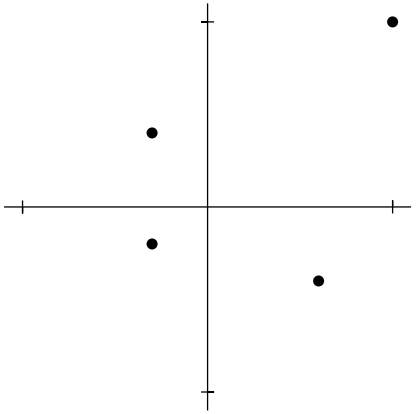
Beispiel: Eine Verarbeitungskette



Aufgabe: Gegeben sei eine 2-dimensionale Punktwolke. Finden Sie innerhalb des Einheitskreises die größte Distanz, die ein Punkt zum Ursprung hat.

```
points = [(-0.3,0.4),  (-0.3, -0.2),
          (0.6,-0.4),  (1, 1)]
```

Beispiel: Eine Verarbeitungskette

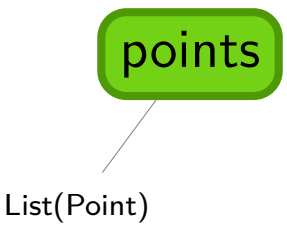


Aufgabe: Gegeben sei eine 2-dimensionale Punktwolke. Finden Sie innerhalb des Einheitskreises die größte Distanz, die ein Punkt zum Ursprung hat.

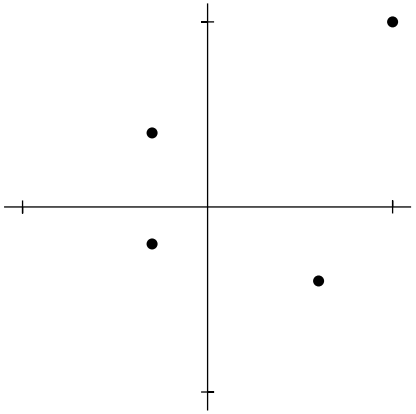
```
points = [(-0.3,0.4),  (-0.3, -0.2),
          (0.6,-0.4),  (1, 1)]
```

```
def norm(N, point): ...
```

- Generische Normierungsfunktion $\|\cdot\|_N$



Beispiel: Eine Verarbeitungskette

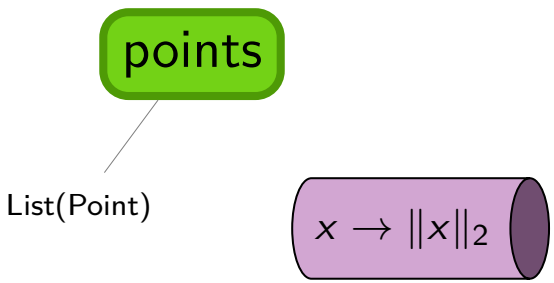


Aufgabe: Gegeben sei eine 2-dimensionale Punktwolke. Finden Sie innerhalb des Einheitskreises die größte Distanz, die ein Punkt zum Ursprung hat.

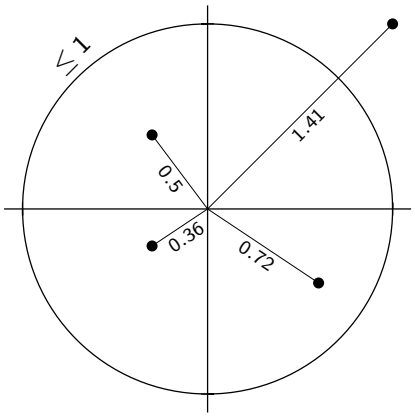
```
points = [(-0.3,0.4),  (-0.3, -0.2),
          (0.6,-0.4),  (1, 1)]
```

```
def norm(N, point): ...



        partial(norm, 2)
```

- Generische Normierungsfunktion $\|\cdot\|_N$
- Die Distanz zum Ursprung ist die 2-Norm



Beispiel: Eine Verarbeitungskette

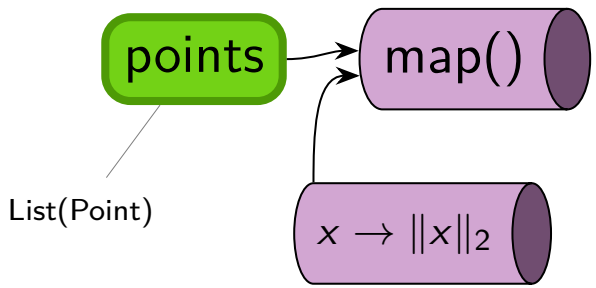


Aufgabe: Gegeben sei eine 2-dimensionale Punktwolke. Finden Sie innerhalb des Einheitskreises die größte Distanz, die ein Punkt zum Ursprung hat.

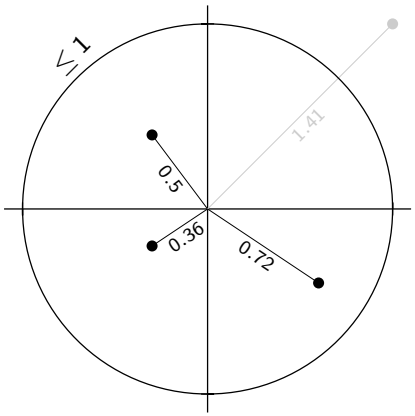
```
points = [(-0.3,0.4),  (-0.3, -0.2),
          (0.6,-0.4),  (1, 1)]
```

```
def norm(N, point): ...




    map(partial(norm, 2),
      points)
```

- Generische Normierungsfunktion $\|\cdot\|_N$
- Die Distanz zum Ursprung ist die 2-Norm
- Bilde jeden Punkt auf seine Distanz ab



Beispiel: Eine Verarbeitungskette

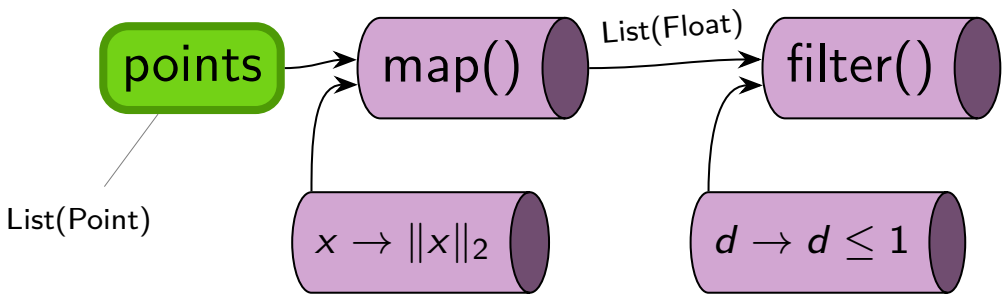


Aufgabe: Gegeben sei eine 2-dimensionale Punktwolke. Finden Sie innerhalb des Einheitskreises die größte Distanz, die ein Punkt zum Ursprung hat.

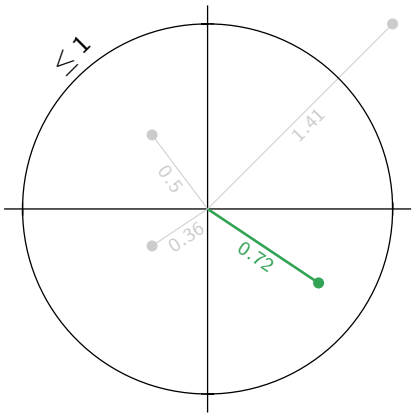
```
points = [(-0.3,0.4),  (-0.3, -0.2),
          (0.6,-0.4),  (1, 1)]
```

```
def norm(N, point): ...


    filter(lambda d: d <= 1.0,
      map(partial(norm, 2),
        points))
```

- Generische Normierungsfunktion $\|\cdot\|_N$
- Die Distanz zum Ursprung ist die 2-Norm
- Bilde jeden Punkt auf seine Distanz ab
- Filtere Distanzen, die ≤ 1 sind



Beispiel: Eine Verarbeitungskette

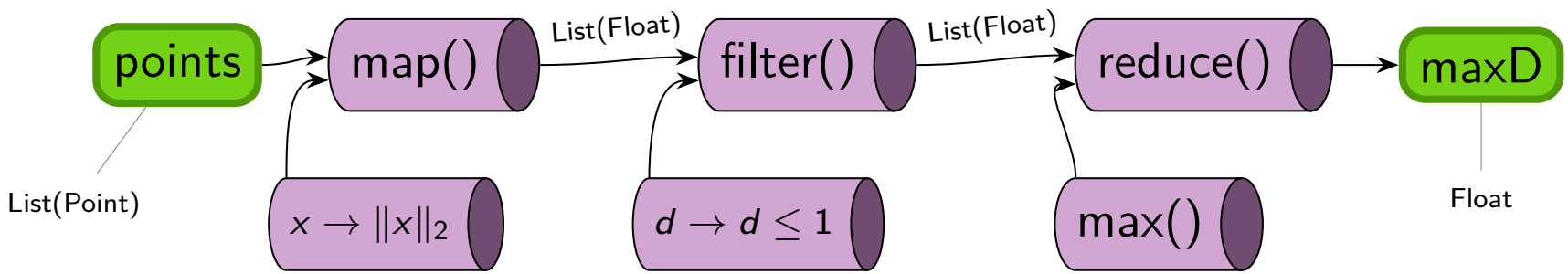


Aufgabe: Gegeben sei eine 2-dimensionale Punktwolke. Finden Sie innerhalb des Einheitskreises die größte Distanz, die ein Punkt zum Ursprung hat.

```
points = [(-0.3,0.4),  (-0.3, -0.2),
          (0.6,-0.4),  (1, 1)]
```

```
def norm(N, point): ...
maxD = \
  reduce(max,
    filter(lambda d: d <= 1.0,
      map(partial(norm, 2),
        points)))
```

- Generische Normierungsfunktion $\| \cdot \|_N$
- Die Distanz zum Ursprung ist die 2-Norm
- Bilde jeden Punkt auf seine Distanz ab
- Filtere Distanzen, die ≤ 1 sind
- Reduziere Distanzen zur maximalen Distanz



Funktionale Ein-/Ausgabe

Keine Seiteneffekte → Keine Schokolade

Technische Universität Braunschweig

- **Erinnerung**: Im rein-funktionalen Paradigma gibt es keine Seiteneffekte
  - Kein veränderlicher Zustand, keine Variablen, ausschließlich pure Funktionen

⇒ Jegliche Art der Ein- oder Ausgabe sind verbotene Seiteneffekte

⇒ Keine Terminalausgabe, kein Dateisystem, kein Netzwerk

Wie soll man damit nützliche Programme schreiben?

Keine Seiteneffekte → Keine Schokolade

- **Erinnerung**: Im rein-funktionalen Paradigma gibt es keine Seiteneffekte
  - Kein veränderlicher Zustand, keine Variablen, ausschließlich pure Funktionen

  ⇒ Jegliche Art der Ein- oder Ausgabe sind verbotene Seiteneffekte

  ⇒ Keine Terminalausgabe, kein Dateisystem, kein Netzwerk

Wie soll man damit nützliche Programme schreiben?

- Functional-Style Programming als funktionales Paradigma Light
  - Programmierstil, der funktionale Elemente in anderen Sprachen verwendet
  - Komposition, partielle Applikation, oder `map()` geht auch mit Seiteneffekten
  - Trennung des Programms in Funktionen mit und ohne Seiteneffekte

⇒ Ein effektiver Entwickler setzt Seiteneffekte gezielt ein

Keine Seiteneffekte → Keine Schokolade

- **Erinnerung**: Im rein-funktionalen Paradigma gibt es keine Seiteneffekte
  - Kein veränderlicher Zustand, keine Variablen, ausschließlich pure Funktionen

  ⇒ Jegliche Art der Ein- oder Ausgabe sind verbotene Seiteneffekte

  ⇒ Keine Terminalausgabe, kein Dateisystem, kein Netzwerk

Wie soll man damit nützliche Programme schreiben?

- Functional-Style Programming als funktionales Paradigma Light
  - Programmierstil, der funktionale Elemente in anderen Sprachen verwendet
  - Komposition, partielle Applikation, oder `map()` geht auch mit Seiteneffekten
  - Trennung des Programms in Funktionen mit und ohne Seiteneffekte

  ⇒ Ein effektiver Entwickler setzt Seiteneffekte gezielt ein

- Funktionale Elemente verbreiten sich unter den Sprachen
  - Skriptsprachen haben meist funktionale Aspekte (Python, Ruby, Lua,…)
  - Die Tendenz bei übersetzten Sprachen geht auch zu funktionalen Elementen.

Und bei rein funktionalen Sprachen?

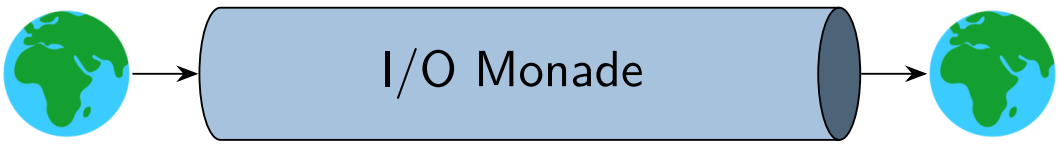
Technische Universität Braunschweig

- Nur wenige Sprachen verbieten Seiteneffekte völlig
  - Haskell ist das prominenteste Beispiel
  - Es gibt noch weitere Forschungssprachen: Clean, Mercury

Und bei rein funktionalen Sprachen?

- Nur wenige Sprachen verbieten Seiteneffekte völlig
  - Haskell ist das prominenteste Beispiel
  - Es gibt noch weitere Forschungssprachen: Clean, Mercury

- In Haskell wird I/O über die I/O-Monade gesteuert

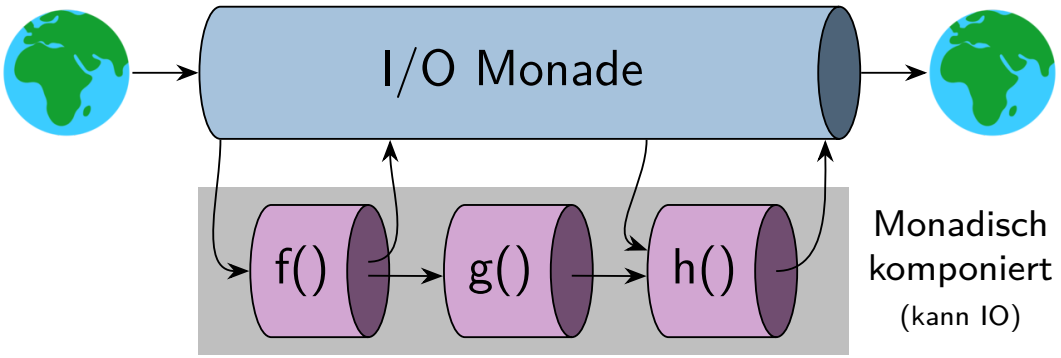


  - **Intuition**: Die I/O-Monade transformiert das Universum

Und bei rein funktionalen Sprachen?

- Nur wenige Sprachen verbieten Seiteneffekte völlig
  - Haskell ist das prominenteste Beispiel
  - Es gibt noch weitere Forschungssprachen: Clean, Mercury

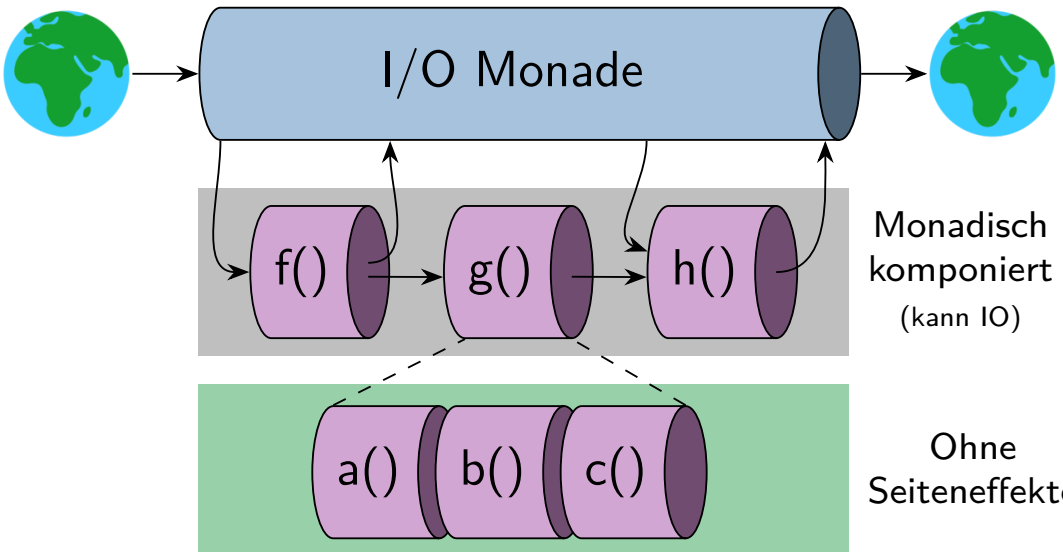
- In Haskell wird I/O über die I/O-Monade gesteuert



- **Intuition**: Die I/O-Monade transformiert das Universum
- Sie steuert die Ausführung monadisch komponierter Funktionen
- Ruft Funktionen mit Welt-Informationen auf und koppelt Ergebnisse zurück

Und bei rein funktionalen Sprachen?

- Nur wenige Sprachen verbieten Seiteneffekte völlig
  - Haskell ist das prominenteste Beispiel
  - Es gibt noch weitere Forschungssprachen: Clean, Mercury
- In Haskell wird I/O über die I/O-Monade gesteuert



- **Intuition**: Die I/O-Monade transformiert das Universum
- Sie steuert die Ausführung monadisch komponierter Funktionen
- Ruft Funktionen mit Welt-Informationen auf und koppelt Ergebnisse zurück
- Unten in der Aufrufhierarchie sind nur pure Funktionen

I/O-Monade in Haskell

```
printUpCase :: String -> IO ()
printUpCase l = putStrLn (upCase l)

main :: IO ()
main = (getLine >>= printUpCase)
       >> main
```

- Die I/O-Monade ist „magisch“ im Haskell Universum
  - Im Programm komponiert man nur Funktionen zusammen (`>>`, `>>=`)
  - Virtuelle Haskell-Maschine entnimmt das Monadenobjekt **`main`** und führt es aus.

I/O-Monade in Haskell

```haskell
printUpCase :: String -> IO ()
printUpCase l = putStrLn (upCase l)

main :: IO ()
main = (getLine >>= printUpCase)
       >> main
```

```haskell
main = do
    l <- getLine
    putStrLn (upCase l)
    main
```

- Die I/O-Monade ist „magisch“ im Haskell Universum
  - Im Programm komponiert man nur Funktionen zusammen (`>>`, `>>=`)
  - Virtuelle Haskell-Maschine entnimmt das Monadenobjekt **`main`** und führt es aus.
  - Syntaktischer Zucker erleichtert die Monadenkomposition

I/O-Monade in Haskell

```haskell
printUpCase :: String -> IO ()
printUpCase l = putStrLn (upCase l)

main :: IO ()
main = (getLine >>= printUpCase)
       >> main
```

```haskell
main = do
    l <- getLine
    putStrLn (upCase l)
    main
```

- Die I/O-Monade ist „magisch“ im Haskell Universum
  - Im Programm komponiert man nur Funktionen zusammen (`>>`, `>>=`)
  - Virtuelle Haskell-Maschine entnimmt das Monadenobjekt **`main`** und führt es aus.
  - Syntaktischer Zucker erleichtert die Monadenkomposition
- Monaden sind ein allgemeineres und mächtigeres Konzept
  - Monaden sind ein Konzept aus der Kategorientheorie
  - Monaden kapseln Strategien zur Auswertungsreihenfolge und zum Datenfluss
  - Es gibt viele spannende Monadentypen: Maybe, State, Writer
  - Wir können und werden keine davon hier besprechen…

Zusammenfassung

- Veränderlicher Zustand ist problematisch in großen Softwareprojekten
  - Viele Prozeduren interagieren mit und verändern eine Vielzahl an Objekten
  - Zustand ist im Quellcode nicht sichtbar und daher unübersichtlich
- Das (rein) funktionale Paradigma verzichtet auf veränderlichen Zustand
  - Variablen können nur einmal an ein Objekt gebunden werden
  - Listen und Aufzählungstypen mit Nutzlast sind nützliche Datentypen
- Seiteneffektfreie Funktionen werden Bürger erster Klasse
  - Funktionsobjekte sind als Argumente und Rückgabewerte gleichberechtigt
  - Komposition, partielle Applikation und Listenfunktionen
- Ein- und Ausgabe kann nicht Seiteneffektfrei sein
  - Der funktionale Programmierstil erlaubt veränderlichen Zustand
  - Rein funktionale Sprachen transformieren die Welt über Monaden