

# Informatik I

## 24. Funktionale Programmierung in Python

Bernhard Nebel

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

21.01.2014

# Was ist funktionale Programmierung?

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
2 / 61

- Man unterscheidet bei der Programmierung und bei Programmiersprachen verschiedene **Programmierparadigmen** oder **Programmierstile**.

- Man unterscheidet bei der Programmierung und bei Programmiersprachen verschiedene **Programmierparadigmen** oder **Programmierstile**.
- Zuerst einmal gibt es eine generelle Unterscheidung in:

- Man unterscheidet bei der Programmierung und bei Programmiersprachen verschiedene **Programmierparadigmen** oder **Programmierstile**.
- Zuerst einmal gibt es eine generelle Unterscheidung in:
  - imperative Programmierung: Man beschreibt, **wie** etwas erreicht werden soll;

- Man unterscheidet bei der Programmierung und bei Programmiersprachen verschiedene **Programmierparadigmen** oder **Programmierstile**.
- Zuerst einmal gibt es eine generelle Unterscheidung in:
  - imperative Programmierung: Man beschreibt, **wie** etwas erreicht werden soll;
  - deklarative Programmierung: Man beschreibt, **was** erreicht werden soll.

# Imperative Programmierparadigmen

- **Imperative** Programmierparadigmen:

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
4 / 61

# Imperative Programmierparadigmen

- **Imperative** Programmierparadigmen:
  - Allen imperativen Programmierstilen ist gemeinsam, dass der **Zustand** der Berechnung explizit repräsentiert und modifiziert wird (Variablen und Zuweisungen).

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
4 / 61



# Imperative Programmierparadigmen

- **Imperative** Programmierparadigmen:
  - Allen imperativen Programmierstilen ist gemeinsam, dass der **Zustand** der Berechnung explizit repräsentiert und modifiziert wird (Variablen und Zuweisungen).
  - **Prozedurale** Programmierung, wie wir sie im ersten Teil der Vorlesung kennen gelernt haben: Die Aufgabe wird in kleinere Teile – Unterprogramme – zerlegt, die auf den Daten arbeiten. Beispielsprachen: PASCAL, C

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
4 / 61

# Imperative Programmierparadigmen

- **Imperative** Programmierparadigmen:
  - Allen imperativen Programmierstilen ist gemeinsam, dass der **Zustand** der Berechnung explizit repräsentiert und modifiziert wird (Variablen und Zuweisungen).
  - **Prozedurale** Programmierung, wie wir sie im ersten Teil der Vorlesung kennen gelernt haben: Die Aufgabe wird in kleinere Teile – Unterprogramme – zerlegt, die auf den Daten arbeiten. Beispielsprachen: PASCAL, C
  - **Objekt-orientierte** Programmierung: Im Gegensatz zur prozeduralen Programmierung bilden Daten und die darauf arbeitenden Unterprogramme eine Einheit. Ihre Struktur wird durch Klassen beschrieben, die die Wiederverwendbarkeit unterstützen. Beispielsprachen: JAVA, C++.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
4 / 61

- Deklarative Programmierparadigmen:

- Deklarative Programmierparadigmen:
  - Allen deklarativen Programmierstilen ist gemeinsam, dass kein Berechnungs-Zustand explizit repräsentiert wird.

# Deklarative Programmierparadigmen

- **Deklarative Programmierparadigmen:**
  - Allen deklarativen Programmierstilen ist gemeinsam, dass kein Berechnungs-**Zustand** explizit repräsentiert wird.
  - **Logische** Programmierung: Man beschreibt das Ziel mit Hilfe einer logischen Formel, z.B. in PROLOG.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
5 / 61

# Deklarative Programmierparadigmen

- **Deklarative Programmierparadigmen:**
  - Allen deklarativen Programmierstilen ist gemeinsam, dass kein Berechnungs-**Zustand** explizit repräsentiert wird.
  - **Logische** Programmierung: Man beschreibt das Ziel mit Hilfe einer logischen Formel, z.B. in PROLOG.
  - **Funktionale** Programmierung: Man beschreibt das Ziel durch Angabe von (mathematischen) Funktionen, wie z.B. in Haskell, ML, LISP

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
5 / 61

- **Deklarative Programmierparadigmen:**
  - Allen deklarativen Programmierstilen ist gemeinsam, dass kein Berechnungs-**Zustand** explizit repräsentiert wird.
  - **Logische** Programmierung: Man beschreibt das Ziel mit Hilfe einer logischen Formel, z.B. in PROLOG.
  - **Funktionale** Programmierung: Man beschreibt das Ziel durch Angabe von (mathematischen) Funktionen, wie z.B. in Haskell, ML, LISP
  - Abfragesprachen wie SQL oder XQuery sind auch deklarative Programmiersprachen, allerdings nur für Spezialzwecke einsetzbar.

- **Deklarative Programmierparadigmen:**
  - Allen deklarativen Programmierstilen ist gemeinsam, dass kein Berechnungs-**Zustand** explizit repräsentiert wird.
  - **Logische** Programmierung: Man beschreibt das Ziel mit Hilfe einer logischen Formel, z.B. in PROLOG.
  - **Funktionale** Programmierung: Man beschreibt das Ziel durch Angabe von (mathematischen) Funktionen, wie z.B. in Haskell, ML, LISP
  - Abfragesprachen wie SQL oder XQuery sind auch deklarative Programmiersprachen, allerdings nur für Spezialzwecke einsetzbar.
  - Gleiches gilt für viele Auszeichnungssprachen-Sprachen (*Markup*-Sprachen) wie HTML



# Was ist funktionale Programmierung?

Wichtige Eigenschaften von funktionaler Programmierung (FP) sind:

- Funktionen sind **Bürger erster Klasse** (*first-class citizens*). Alles was man mit Daten machen kann, kann man mit Funktionen machen.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
6 / 61

# Was ist funktionale Programmierung?

Wichtige Eigenschaften von funktionaler Programmierung (FP) sind:

- Funktionen sind **Bürger erster Klasse** (*first-class citizens*). Alles was man mit Daten machen kann, kann man mit Funktionen machen.
- Es gibt **Funktionen höherer Ordnung** – Funktionen, die auf Funktionen operieren, die womöglich auf Funktionen operieren.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
6 / 61

# Was ist funktionale Programmierung?

Wichtige Eigenschaften von funktionaler Programmierung (FP) sind:

- Funktionen sind **Bürger erster Klasse** (*first-class citizens*). Alles was man mit Daten machen kann, kann man mit Funktionen machen.
- Es gibt **Funktionen höherer Ordnung** – Funktionen, die auf Funktionen operieren, die womöglich auf Funktionen operieren.
- **Rekursion** ist die wesentliche Art, den Kontrollfluss zu organisieren.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
6 / 61

# Was ist funktionale Programmierung?

Wichtige Eigenschaften von funktionaler Programmierung (FP) sind:

- Funktionen sind **Bürger erster Klasse** (*first-class citizens*). Alles was man mit Daten machen kann, kann man mit Funktionen machen.
- Es gibt **Funktionen höherer Ordnung** – Funktionen, die auf Funktionen operieren, die womöglich auf Funktionen operieren.
- **Rekursion** ist die wesentliche Art, den Kontrollfluss zu organisieren.
- In funktionalen Programmiersprachen gibt es oft **keine Anweisungen**, sondern nur auswertbare Ausdrücke.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehension

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
6 / 61

# Was ist funktionale Programmierung?

Wichtige Eigenschaften von funktionaler Programmierung (FP) sind:

- Funktionen sind **Bürger erster Klasse** (*first-class citizens*). Alles was man mit Daten machen kann, kann man mit Funktionen machen.
- Es gibt **Funktionen höherer Ordnung** – Funktionen, die auf Funktionen operieren, die womöglich auf Funktionen operieren.
- **Rekursion** ist die wesentliche Art, den Kontrollfluss zu organisieren.
- In funktionalen Programmiersprachen gibt es oft **keine Anweisungen**, sondern nur auswertbare Ausdrücke.
- In reinen funktionalen Sprachen gibt es **keine Zuweisungen** (und damit auch keine Seiteneffekte) → **referentielle Transparenz**: Eine Funktion gibt immer das gleiche Ergebnis bei gleichen Argumenten.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehension

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
6 / 61

# FP in Python

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
7/61

- Funktionen sind „Bürger erster Klasse“.

- Funktionen sind „**Bürger erster Klasse**“.
- **Funktionen höherer Ordnung** werden voll unterstützt.



- Funktionen sind „**Bürger erster Klasse**“.
- **Funktionen höherer Ordnung** werden voll unterstützt.
- Viele andere Konzepte aus funktionalen Programmiersprachen werden unterstützt, wie die **Listen-Comprehension**.

- Funktionen sind „**Bürger erster Klasse**“.
- **Funktionen höherer Ordnung** werden voll unterstützt.
- Viele andere Konzepte aus funktionalen Programmiersprachen werden unterstützt, wie die **Listen-Comprehension**.
- In vielen funktionalen Programmiersprachen ist **Lazy Evaluation** ein wichtiger Punkt:

- Funktionen sind „**Bürger erster Klasse**“.
- **Funktionen höherer Ordnung** werden voll unterstützt.
- Viele andere Konzepte aus funktionalen Programmiersprachen werden unterstützt, wie die **Listen-Comprehension**.
- In vielen funktionalen Programmiersprachen ist **Lazy Evaluation** ein wichtiger Punkt:
  - Die Auswertung von Ausdrücken wird solange verzögert, bis das Ergebnis benötigt wird.

- Funktionen sind „**Bürger erster Klasse**“.
- **Funktionen höherer Ordnung** werden voll unterstützt.
- Viele andere Konzepte aus funktionalen Programmiersprachen werden unterstützt, wie die **Listen-Comprehension**.
- In vielen funktionalen Programmiersprachen ist **Lazy Evaluation** ein wichtiger Punkt:
  - Die Auswertung von Ausdrücken wird solange verzögert, bis das Ergebnis benötigt wird.
  - Damit lassen sich **unendliche Sequenzen** repräsentieren.

- Funktionen sind „**Bürger erster Klasse**“.
- **Funktionen höherer Ordnung** werden voll unterstützt.
- Viele andere Konzepte aus funktionalen Programmiersprachen werden unterstützt, wie die **Listen-Comprehension**.
- In vielen funktionalen Programmiersprachen ist **Lazy Evaluation** ein wichtiger Punkt:
  - Die Auswertung von Ausdrücken wird solange verzögert, bis das Ergebnis benötigt wird.
  - Damit lassen sich **unendliche Sequenzen** repräsentieren.
- Das Letztere unterstützt Python (und andere Sprachen) durch **Iteratoren** und **Generatoren**.

# FP in Python: Defizite

Einige der Anforderungen an FP sind in Python nicht erfüllt:

- **Referentielle Transparenz** – kann man natürlich selbst erzwingen: Keine globalen Variablen nutzen, keine Mutuables ändern.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
9 / 61

Einige der Anforderungen an FP sind in Python nicht erfüllt:

- **Referentielle Transparenz** – kann man natürlich selbst erzwingen: Keine globalen Variablen nutzen, keine Mutuables ändern.
- **Rekursion** als wesentliche Steuerung des Kontrollflusses wird in Python nur eingeschränkt unterstützt: Keine Optimierung bei Endrekursion!

Einige der Anforderungen an FP sind in Python nicht erfüllt:

- **Referentielle Transparenz** – kann man natürlich selbst erzwingen: Keine globalen Variablen nutzen, keine Mutuables ändern.
- **Rekursion** als wesentliche Steuerung des Kontrollflusses wird in Python nur eingeschränkt unterstützt: Keine Optimierung bei Endrekursion!
  - Beachte: **Maximale Rekursionstiefe** kann mit `sys.setrecursionlimit(n)` geändert werden.



Einige der Anforderungen an FP sind in Python nicht erfüllt:

- **Referentielle Transparenz** – kann man natürlich selbst erzwingen: Keine globalen Variablen nutzen, keine Mutuables ändern.
- **Rekursion** als wesentliche Steuerung des Kontrollflusses wird in Python nur eingeschränkt unterstützt: Keine Optimierung bei Endrekursion!
  - Beachte: **Maximale Rekursionstiefe** kann mit `sys.setrecursionlimit(n)` geändert werden.
  - Mit `sys.getrecursionlimit()` kann man sie abfragen.

Einige der Anforderungen an FP sind in Python nicht erfüllt:

- **Referentielle Transparenz** – kann man natürlich selbst erzwingen: Keine globalen Variablen nutzen, keine Mutuables ändern.
- **Rekursion** als wesentliche Steuerung des Kontrollflusses wird in Python nur eingeschränkt unterstützt: Keine Optimierung bei Endrekursion!
  - Beachte: **Maximale Rekursionstiefe** kann mit `sys.setrecursionlimit(n)` geändert werden.
  - Mit `sys.getrecursionlimit()` kann man sie abfragen.
- **Ausdrücke** statt Anweisungen: Wird in Python nicht unterstützt. Allerdings gibt es **konditionale Ausdrücke!**

Einige der Anforderungen an FP sind in Python nicht erfüllt:

- **Referentielle Transparenz** – kann man natürlich selbst erzwingen: Keine globalen Variablen nutzen, keine Mutuables ändern.
- **Rekursion** als wesentliche Steuerung des Kontrollflusses wird in Python nur eingeschränkt unterstützt: Keine Optimierung bei Endrekursion!
  - Beachte: **Maximale Rekursionstiefe** kann mit `sys.setrecursionlimit(n)` geändert werden.
  - Mit `sys.getrecursionlimit()` kann man sie abfragen.
- **Ausdrücke** statt Anweisungen: Wird in Python nicht unterstützt. Allerdings gibt es **konditionale Ausdrücke!**
  - *true-value if cond else false-value* hat den Wert *true-value*, falls *cond* wahr ist. Ansonsten hat der Ausdruck den Wert *false-value*.

# Exkurs: Konditionale Ausdrücke

## Konditionale Ausdrücke

```
>>> "a" if True else "b"
'a'
>>> "a" if False else "b"
'b'
>>> cond = True
>>> 2 * 3 if cond else 2 ** 3
6
>>> cond = False
>>> 2 * 3 if cond else 2 ** 3
8
>>> res = 2 * 3 if cond else 2 ** 3

>>> def mult_or_exp(cond):
...     return 2 * 3 if cond else 2 ** 3

>>> mult_or_exp(False)
8
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
10 / 61

# Funktionen definieren und verwenden

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

**Funktionen  
definieren  
und  
verwenden**

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
11 / 61

# Funktionsdefinition und -verwendung

- Funktionen existieren in dem Namensraum, in dem sie definiert wurden.

## Python-Interpreter

```
>>> def simple():  
...     print('invoked')  
...  
...
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
12/61

# Funktionsdefinition und -verwendung

- Funktionen existieren in dem Namensraum, in dem sie definiert wurden.

## Python-Interpreter

```
>>> def simple():  
...     print('invoked')  
...  
>>> simple # beachte: keine Klammern!
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
12/61

# Funktionsdefinition und -verwendung

- Funktionen existieren in dem Namensraum, in dem sie definiert wurden.

## Python-Interpreter

```
>>> def simple():  
...     print('invoked')  
...  
>>> simple # beachte: keine Klammern!  
<function simple at 0x10ccbdcb0>
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
12 / 61



# Funktionsdefinition und -verwendung

- Funktionen existieren in dem Namensraum, in dem sie definiert wurden.

## Python-Interpreter

```
>>> def simple():  
...     print('invoked')  
...  
>>> simple # beachte: keine Klammern!  
<function simple at 0x10ccbdcb0>  
>>> simple() # Aufruf!
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
12/61

# Funktionsdefinition und -verwendung

- Funktionen existieren in dem Namensraum, in dem sie definiert wurden.

## Python-Interpreter

```
>>> def simple():  
...     print('invoked')  
...  
>>> simple # beachte: keine Klammern!  
<function simple at 0x10ccbdcb0>  
>>> simple() # Aufruf!  
invoked
```

- Eine Funktion ist ein **normales Objekt** (wie andere Python-Objekte).
- Es kann **zugewiesen** werden, als **Argument** übergeben werden und als **Funktionsresultat** zurück gegeben werden.
- Und es ist **aufrufbar** ...

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehension

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
12/61

# Funktionsverwendung

## Python-Interpreter

```
>>> spam = simple; print(spam)
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

**Funktionen  
definieren  
und  
verwenden**

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
13 / 61

# Funktionsverwendung

## Python-Interpreter

```
>>> spam = simple; print(spam)
<function simple at 0x10ccbdcb0>
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

**Funktionen  
definieren  
und  
verwenden**

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
13 / 61

# Funktionsverwendung

## Python-Interpreter

```
>>> spam = simple; print(spam)
<function simple at 0x10ccbdcb0>
>>> def call_twice(fun):
...     fun(); fun()
... 
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

**Funktionen  
definieren  
und  
verwenden**

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
13 / 61

# Funktionsverwendung

## Python-Interpreter

```
>>> spam = simple; print(spam)
<function simple at 0x10ccbdcb0>
>>> def call_twice(fun):
...     fun(); fun()
...
>>> call_twice(spam) # Keine Klammern hinter spam
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
13 / 61

# Funktionsverwendung

## Python-Interpreter

```
>>> spam = simple; print(spam)
<function simple at 0x10ccbdcb0>
>>> def call_twice(fun):
...     fun(); fun()
...
>>> call_twice(spam) # Keine Klammern hinter spam
invoked
invoked
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
13 / 61

# Funktionsverwendung

## Python-Interpreter

```
>>> spam = simple; print(spam)
<function simple at 0x10ccbdcb0>
>>> def call_twice(fun):
...     fun(); fun()
...
>>> call_twice(spam) # Keine Klammern hinter spam
invoked
invoked
>>> def gen_fun()
...     return spam
...
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
13 / 61



# Funktionsverwendung

## Python-Interpreter

```
>>> spam = simple; print(spam)
<function simple at 0x10ccbdcb0>
>>> def call_twice(fun):
...     fun(); fun()
...
>>> call_twice(spam) # Keine Klammern hinter spam
invoked
invoked
>>> def gen_fun()
...     return spam
...
>>> gen_fun()
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
13 / 61

# Funktionsverwendung

## Python-Interpreter

```
>>> spam = simple; print(spam)
<function simple at 0x10ccbdcb0>
>>> def call_twice(fun):
...     fun(); fun()
...
>>> call_twice(spam) # Keine Klammern hinter spam
invoked
invoked
>>> def gen_fun()
...     return spam
...
>>> gen_fun()
<function simple at 0x10ccbdcb0>
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
13 / 61

# Funktionsverwendung

## Python-Interpreter

```
>>> spam = simple; print(spam)
<function simple at 0x10ccbdcb0>
>>> def call_twice(fun):
...     fun(); fun()
...
>>> call_twice(spam) # Keine Klammern hinter spam
invoked
invoked
>>> def gen_fun()
...     return spam
...
>>> gen_fun()
<function simple at 0x10ccbdcb0>
>>> gen_fun()()
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
13 / 61

# Funktionsverwendung

## Python-Interpreter

```
>>> spam = simple; print(spam)
<function simple at 0x10ccbdcb0>
>>> def call_twice(fun):
...     fun(); fun()
...
>>> call_twice(spam) # Keine Klammern hinter spam
invoked
invoked
>>> def gen_fun()
...     return spam
...
>>> gen_fun()
<function simple at 0x10ccbdcb0>
>>> gen_fun()()
invoked
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
13 / 61

# Wie stellt man fest, ob ein Objekt *aufrufbar* ist?

- Funktionsobjekte haben wie alle Instanzen eine Menge von Attributen, z.B. die **magische Methode** `__call__`.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
14 / 61

# Wie stellt man fest, ob ein Objekt *aufrufbar* ist?

- Funktionsobjekte haben wie alle Instanzen eine Menge von Attributen, z.B. die **magische Methode** `__call__`.
- Teste, ob das Objekt das Attribut `__call__` besitzt!

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
14 / 61

# Wie stellt man fest, ob ein Objekt *aufrufbar* ist?

- Funktionsobjekte haben wie alle Instanzen eine Menge von Attributen, z.B. die **magische Methode** `__call__`.
- Teste, ob das Objekt das Attribut `__call__` besitzt!
- Funktion objekte sind Instanzen einer bestimmten Klasse, nämlich `collections.Callable`.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
14 / 61

# Wie stellt man fest, ob ein Objekt *aufrufbar* ist?

- Funktionsobjekte haben wie alle Instanzen eine Menge von Attributen, z.B. die **magische Methode** `__call__`.
- Teste, ob das Objekt das Attribut `__call__` besitzt!
- Funktion objekte sind Instanzen einer bestimmten Klasse, nämlich `collections.Callable`.

## Python-Interpreter

```
>>> hasattr(spam, '__call__')
True
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
14 / 61



# Wie stellt man fest, ob ein Objekt *aufrufbar* ist?

- Funktionsobjekte haben wie alle Instanzen eine Menge von Attributen, z.B. die **magische Methode** `__call__`.
- Teste, ob das Objekt das Attribut `__call__` besitzt!
- Funktion objekte sind Instanzen einer bestimmten Klasse, nämlich `collections.Callable`.

## Python-Interpreter

```
>>> hasattr(spam, '__call__')  
True
```

# Wie stellt man fest, ob ein Objekt *aufrufbar* ist?

- Funktionsobjekte haben wie alle Instanzen eine Menge von Attributen, z.B. die **magische Methode** `__call__`.
- Teste, ob das Objekt das Attribut `__call__` besitzt!
- Funktion objekte sind Instanzen einer bestimmten Klasse, nämlich `collections.Callable`.

## Python-Interpreter

```
>>> hasattr(spam, '__call__')
True
>>> import collections
>>> isinstance(spam, collections.Callable)
True
```

# Wie stellt man fest, ob ein Objekt *aufrufbar* ist?

- Funktionsobjekte haben wie alle Instanzen eine Menge von Attributen, z.B. die **magische Methode** `__call__`.
- Teste, ob das Objekt das Attribut `__call__` besitzt!
- Funktion objekte sind Instanzen einer bestimmten Klasse, nämlich `collections.Callable`.

## Python-Interpreter

```
>>> hasattr(spam, '__call__')
True
>>> import collections
>>> isinstance(spam, collections.Callable)
True
```

# Klasseninstanzen aufrufbar machen

- Wir hatten gesehen, dass Funktionen einfach Objekte sind, die eine `__call__`-Methode besitzen.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

**Funktionen  
definieren  
und  
verwenden**

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
15 / 61

# Klasseninstanzen aufrufbar machen

- Wir hatten gesehen, dass Funktionen einfach Objekte sind, die eine `__call__`-Methode besitzen.
- Was passiert, wenn wir eine Klasse mit dieser magischen Methode definieren?

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
15 / 61

# Klasseninstanzen aufrufbar machen

- Wir hatten gesehen, dass Funktionen einfach Objekte sind, die eine `__call__`-Methode besitzen.
  - Was passiert, wenn wir eine Klasse mit dieser magischen Methode definieren?
- In stanzen dieser Klasse werden aufrufbar!

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
15 / 61

# Klasseninstanzen aufrufbar machen

- Wir hatten gesehen, dass Funktionen einfach Objekte sind, die eine `__call__`-Methode besitzen.
- Was passiert, wenn wir eine Klasse mit dieser magischen Methode definieren?

→ In Instanzen dieser Klasse werden aufrufbar!

## Python-Interpreter

```
>>> class CallMe:
...     def __call__(self, msg=None):
...         if msg: print("called:", msg)
...         else: print("called")
...
>>> c = CallMe()
>>> c()
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Compre-  
hension

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
15 / 61

# Klasseninstanzen aufrufbar machen

- Wir hatten gesehen, dass Funktionen einfach Objekte sind, die eine `__call__`-Methode besitzen.
- Was passiert, wenn wir eine Klasse mit dieser magischen Methode definieren?

→ In Instanzen dieser Klasse werden aufrufbar!

## Python-Interpreter

```
>>> class CallMe:
...     def __call__(self, msg=None):
...         if msg: print("called:", msg)
...         else: print("called")
...
>>> c = CallMe()
>>> c()
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Compre-  
hension

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
15 / 61



# Klasseninstanzen aufrufbar machen

- Wir hatten gesehen, dass Funktionen einfach Objekte sind, die eine `__call__`-Methode besitzen.
- Was passiert, wenn wir eine Klasse mit dieser magischen Methode definieren?  
→ In Instanzen dieser Klasse werden aufrufbar!

## Python-Interpreter

```
>>> class CallMe:
...     def __call__(self, msg=None):
...         if msg: print("called:", msg)
...         else: print("called")
...
>>> c = CallMe()
>>> c()
called
>>> c('hi')
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
15 / 61

# Klasseninstanzen aufrufbar machen

- Wir hatten gesehen, dass Funktionen einfach Objekte sind, die eine `__call__`-Methode besitzen.
- Was passiert, wenn wir eine Klasse mit dieser magischen Methode definieren?  
→ In Instanzen dieser Klasse werden aufrufbar!

## Python-Interpreter

```
>>> class CallMe:
...     def __call__(self, msg=None):
...         if msg: print("called:", msg)
...         else: print("called")
...
>>> c = CallMe()
>>> c()
called
>>> c('hi')
called: hi
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
15 / 61

# Lambda-Notation

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

**Lambda-  
Notation**

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
16 / 61

# Funktionen mit Lambda-Notation definieren

- Statt mit Hilfe der `def`-Anweisung eine benannte Funktion zu definieren, kann man mit dem `lambda`-Operator eine **kurze, namenlose** Funktionen definieren:

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

**Lambda-  
Notation**

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
17/61

# Funktionen mit Lambda-Notation definieren

- Statt mit Hilfe der `def`-Anweisung eine benannte Funktion zu definieren, kann man mit dem `lambda`-Operator eine **kurze, namenlose** Funktionen definieren:

## Python-Interpreter

```
>>> lambda x, y: x * y # multipliziere 2 Zahlen
<function <lambda> at 0x107cf4950>
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
17/61

# Funktionen mit Lambda-Notation definieren

- Statt mit Hilfe der `def`-Anweisung eine benannte Funktion zu definieren, kann man mit dem `lambda`-Operator eine **kurze, namenlose** Funktionen definieren:

## Python-Interpreter

```
>>> lambda x, y: x * y # multipliziere 2 Zahlen
<function <lambda> at 0x107cf4950>
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
17/61

# Funktionen mit Lambda-Notation definieren

- Statt mit Hilfe der `def`-Anweisung eine benannte Funktion zu definieren, kann man mit dem `lambda`-Operator eine **kurze, namenlose** Funktionen definieren:

## Python-Interpreter

```
>>> lambda x, y: x * y # multipliziere 2 Zahlen
<function <lambda> at 0x107cf4950>
>>> (lambda x, y: x * y)(3, 8)
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
17/61

# Funktionen mit Lambda-Notation definieren

- Statt mit Hilfe der `def`-Anweisung eine benannte Funktion zu definieren, kann man mit dem `lambda`-Operator eine **kurze, namenlose** Funktionen definieren:

## Python-Interpreter

```
>>> lambda x, y: x * y # multipliziere 2 Zahlen
<function <lambda> at 0x107cf4950>
>>> (lambda x, y: x * y)(3, 8)
24
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
17/61



# Funktionen mit Lambda-Notation definieren

- Statt mit Hilfe der `def`-Anweisung eine benannte Funktion zu definieren, kann man mit dem `lambda`-Operator eine **kurze, namenlose** Funktionen definieren:

## Python-Interpreter

```
>>> lambda x, y: x * y # multipliziere 2 Zahlen
<function <lambda> at 0x107cf4950>
>>> (lambda x, y: x * y)(3, 8)
24
>>> mul = lambda x, y: x * y
```

- Etwas andere Syntax

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
17/61

# Funktionen mit Lambda-Notation definieren

- Statt mit Hilfe der `def`-Anweisung eine benannte Funktion zu definieren, kann man mit dem `lambda`-Operator eine **kurze, namenlose** Funktionen definieren:

## Python-Interpreter

```
>>> lambda x, y: x * y # multipliziere 2 Zahlen
<function <lambda> at 0x107cf4950>
>>> (lambda x, y: x * y)(3, 8)
24
>>> mul = lambda x, y: x * y
```

- Etwas andere Syntax
- Als Funktionskörper ist nur ein einziger Ausdruck (arithmetisch, Boolesch, ...) zulässig!

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehension

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
17/61

# Verwendung von Lambda-Funktionen (1)

## Python-Interpreter

```
>>> def mul2(x, y):  
...     return x * y  
...  
>>> mul(4, 5) == mul2(4, 5)  
True
```

- mul2 ist äquivalent zu mul!

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

**Lambda-  
Notation**

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
18 / 61

# Verwendung von Lambda-Funktionen (1)

## Python-Interpreter

```
>>> def mul2(x, y):  
...     return x * y  
...  
>>> mul(4, 5) == mul2(4, 5)  
True
```

- mul2 ist äquivalent zu mul!
- Lambda-Funktionen benutzt man gerne für

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
18 / 61

# Verwendung von Lambda-Funktionen (1)

## Python-Interpreter

```
>>> def mul2(x, y):  
...     return x * y  
...  
>>> mul(4, 5) == mul2(4, 5)  
True
```

- mul2 ist äquivalent zu mul!
- Lambda-Funktionen benutzt man gerne für
  - einfache **Prädikatsfunktionen** (Boolesche Tests)

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
18 / 61

# Verwendung von Lambda-Funktionen (1)

## Python-Interpreter

```
>>> def mul2(x, y):  
...     return x * y  
...  
>>> mul(4, 5) == mul2(4, 5)  
True
```

- mul2 ist äquivalent zu mul!
- Lambda-Funktionen benutzt man gerne für
  - einfache **Prädikatsfunktionen** (Boolesche Tests)
  - einfache **Konverter**

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

**Lambda-  
Notation**

map, reduce  
und filter

*Comprehension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
18 / 61

# Verwendung von Lambda-Funktionen (1)

## Python-Interpreter

```
>>> def mul2(x, y):  
...     return x * y  
...  
>>> mul(4, 5) == mul2(4, 5)  
True
```

- mul2 ist äquivalent zu mul!
- Lambda-Funktionen benutzt man gerne für
  - einfache **Prädikatsfunktionen** (Boolesche Tests)
  - einfache **Konverter**
  - **Objektdestruktoren**

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

**Lambda-  
Notation**

map, reduce  
und filter

*Comprehension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
18 / 61

# Verwendung von Lambda-Funktionen (1)

## Python-Interpreter

```
>>> def mul2(x, y):  
...     return x * y  
...  
>>> mul(4, 5) == mul2(4, 5)  
True
```

- mul2 ist äquivalent zu mul!
- Lambda-Funktionen benutzt man gerne für
  - einfache **Prädikatsfunktionen** (Boolesche Tests)
  - einfache **Konverter**
  - **Objektdestruktoren**
  - **Lazy Evaluation** ermöglichen

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
18 / 61



# Verwendung von Lambda-Funktionen (1)

## Python-Interpreter

```
>>> def mul2(x, y):  
...     return x * y  
...  
>>> mul(4, 5) == mul2(4, 5)  
True
```

- mul2 ist äquivalent zu mul!
- Lambda-Funktionen benutzt man gerne für
  - einfache **Prädikatsfunktionen** (Boolesche Tests)
  - einfache **Konverter**
  - **Objektdestruktoren**
  - **Lazy Evaluation** ermöglichen
  - **Sortierordnung** bestimmen

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
18 / 61

# Verwendung von Lambda-Funktionen (2)

```
cookie_lib.py
```

```
# add cookies in order of most specific  
# (ie. longest) path first  
cookies.sort(key=lambda arg: len(arg.path),  
             reverse=True)
```

- Ohne Lambda-Notation hätte man hier erst eine Funktion definieren müssen und dann benutzen können.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
19/61

# Verwendung von Lambda-Funktionen (2)

cookie\_lib.py

```
# add cookies in order of most specific
# (ie. longest) path first
cookies.sort(key=lambda arg: len(arg.path),
             reverse=True)
```

- Ohne Lambda-Notation hätte man hier erst eine Funktion definieren müssen und dann benutzen können.
- Da die Funktion nur einmal benutzt wird und sehr klein ist, wäre das ziemlich umständlich.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
19 / 61

# Verwendung von Lambda-Funktionen (2)

## cookie\_lib.py

```
# add cookies in order of most specific
# (ie. longest) path first
cookies.sort(key=lambda arg: len(arg.path),
             reverse=True)
```

- Ohne Lambda-Notation hätte man hier erst eine Funktion definieren müssen und dann benutzen können.
- Da die Funktion nur einmal benutzt wird und sehr klein ist, wäre das ziemlich umständlich.
- Weitere Beispiele kommen noch ...

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehension

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
19 / 61

## Verwendung von Lambda-Funktionen (2)

### cookie\_lib.py

```
# add cookies in order of most specific
# (ie. longest) path first
cookies.sort(key=lambda arg: len(arg.path),
             reverse=True)
```

- Ohne Lambda-Notation hätte man hier erst eine Funktion definieren müssen und dann benutzen können.
- Da die Funktion nur einmal benutzt wird und sehr klein ist, wäre das ziemlich umständlich.
- Weitere Beispiele kommen noch ...
- **Übrigens:** Mit Lambda-Notation definierte Funktionen sind Seiteneffekt-frei (wenn die aufgerufenen Funktionen es sind)!

# Verwendung von Lambda-Funktionen (3): Funktions-Fabriken

- Funktionen können ja Funktionen zurück geben. Zur Erzeugung der Funktion kann man natürlich Lambda-Ausdrücke benutzen.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

**Lambda-  
Notation**

map, reduce  
und filter

*Comprehension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
20 / 61

# Verwendung von Lambda-Funktionen (3): Funktions-Fabriken

- Funktionen können ja Funktionen zurück geben. Zur Erzeugung der Funktion kann man natürlich Lambda-Ausdrücke benutzen.
- Beispiel: Ein Funktion, die einen Addierer erzeugt, der immer eine vorgegebene Konstante addiert:

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

**Lambda-  
Notation**

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
20 / 61

# Verwendung von Lambda-Funktionen (3): Funktions-Fabriken

- Funktionen können ja Funktionen zurück geben. Zur Erzeugung der Funktion kann man natürlich Lambda-Ausdrücke benutzen.
- Beispiel: Ein Funktion, die einen Addierer erzeugt, der immer eine vorgegebene Konstante addiert:

## Python-Interpreter

```
>>> def gen_adder(c):  
...     return lambda x: x + c  
...  
>>> add5 = gen_adder(5)  
>>> add5(15)
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
20 / 61



# Verwendung von Lambda-Funktionen (3): Funktions-Fabriken

- Funktionen können ja Funktionen zurück geben. Zur Erzeugung der Funktion kann man natürlich Lambda-Ausdrücke benutzen.
- Beispiel: Ein Funktion, die einen Addierer erzeugt, der immer eine vorgegebene Konstante addiert:

## Python-Interpreter

```
>>> def gen_adder(c):  
...     return lambda x: x + c  
...  
>>> add5 = gen_adder(5)  
>>> add5(15)
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
20 / 61

# Verwendung von Lambda-Funktionen (3): Funktions-Fabriken

- Funktionen können ja Funktionen zurück geben. Zur Erzeugung der Funktion kann man natürlich Lambda-Ausdrücke benutzen.
- Beispiel: Ein Funktion, die einen Addierer erzeugt, der immer eine vorgegebene Konstante addiert:

## Python-Interpreter

```
>>> def gen_adder(c):  
...     return lambda x: x + c  
...  
>>> add5 = gen_adder(5)  
>>> add5(15)  
20
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
20 / 61

# Funktionen höherer Ordnung: map, reduce und filter

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

**map, reduce  
und filter**

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
21 / 61

# map: Anwendung einer Funktion auf Listen und Iteratoren

- `map` hat mindestens zwei Argumente: eine Funktion und ein iterierbares Objekt.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
22 / 61

# map: Anwendung einer Funktion auf Listen und Iteratoren

- `map` hat mindestens zwei Argumente: eine Funktion und ein iterierbares Objekt.
- Es liefert einen Iterator zurück, der über die Anwendungen der Funktion auf jedes Objekt des übergebenen Arguments iteriert.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
22 / 61

# map: Anwendung einer Funktion auf Listen und Iteratoren

- `map` hat mindestens zwei Argumente: eine Funktion und ein iterierbares Objekt.
- Es liefert einen Iterator zurück, der über die Anwendungen der Funktion auf jedes Objekt des übergebenen Arguments iteriert.

## Python-Interpreter

```
>>> list(map(lambda x: x**2, range(10)))  
[0, 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64, 81]
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
22 / 61

# map: Anwendung einer Funktion auf Listen und Iteratoren

- map hat mindestens zwei Argumente: eine Funktion und ein iterierbares Objekt.
- Es liefert einen Iterator zurück, der über die Anwendungen der Funktion auf jedes Objekt des übergebenen Arguments iteriert.

## Python-Interpreter

```
>>> list(map(lambda x: x**2, range(10)))  
[0, 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64, 81]
```

- Wird mehr als ein iterierbares Objekt angegeben, dann muss die Funktion entsprechend viele Argumente besitzen.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
22 / 61

# map: Anwendung einer Funktion auf Listen und Iteratoren

- map hat mindestens zwei Argumente: eine Funktion und ein iterierbares Objekt.
- Es liefert einen Iterator zurück, der über die Anwendungen der Funktion auf jedes Objekt des übergebenen Arguments iteriert.

## Python-Interpreter

```
>>> list(map(lambda x: x**2, range(10)))  
[0, 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64, 81]
```

- Wird mehr als ein iterierbares Objekt angegeben, dann muss die Funktion entsprechend viele Argumente besitzen.

## Python-Interpreter

```
>>> list(map(lambda x, y, z: x + y + z,  
...         range(5), range(0, 40, 10), range(0, 400,  
100)))  
[0, 111, 222, 333]
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehension

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
22 / 61



# Anwendungsbeispiel für `map`

- Wir wollen eine Liste `c_list` von Temperaturen von Celsius nach Fahrenheit konvertieren. Konventionell:

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
23 / 61

# Anwendungsbeispiel für map

- Wir wollen eine Liste `c_list` von Temperaturen von Celsius nach Fahrenheit konvertieren. Konventionell:

`ctof.py`

```
def ctof(temp):  
    return ((9.0 / 5) * temp + 32)  
def list_ctof(cl):  
    result = []  
    for c in cl:  
        result.append(ctof(c))  
    return result  
f_list = list_ctof(c_list)
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
23 / 61

# Anwendungsbeispiel für map

- Wir wollen eine Liste `c_list` von Temperaturen von Celsius nach Fahrenheit konvertieren. Konventionell:

`ctof.py`

```
def ctof(temp):  
    return ((9.0 / 5) * temp + 32)  
def list_ctof(cl):  
    result = []  
    for c in cl:  
        result.append(ctof(c))  
    return result  
f_list = list_ctof(c_list)
```

- Mit `map`:

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
23 / 61

# Anwendungsbeispiel für map

- Wir wollen eine Liste `c_list` von Temperaturen von Celsius nach Fahrenheit konvertieren. Konventionell:

`ctof.py`

```
def ctof(temp):  
    return ((9.0 / 5) * temp + 32)  
def list_ctof(cl):  
    result = []  
    for c in cl:  
        result.append(ctof(c))  
    return result  
f_list = list_ctof(c_list)
```

- Mit `map`:

`ctof.py`

```
list(map(lambda c: ((9.0 / 5) * c + 32), c_list))
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
23 / 61

# reduce: Reduktion eines iterierbaren Objekts auf ein Element

- `reduce` ist eine weitere Funktion höherer Ordnung, die man oft in funktionalen Sprachen findet.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
24 / 61

# reduce: Reduktion eines iterierbaren Objekts auf ein Element

- reduce ist eine weitere Funktion höherer Ordnung, die man oft in funktionalen Sprachen findet.
- Sie wendet eine Funktion mit zwei Argumenten auf ein iterierbares Objekt an.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
24 / 61

# reduce: Reduktion eines iterierbaren Objekts auf ein Element

- reduce ist eine weitere Funktion höherer Ordnung, die man oft in funktionalen Sprachen findet.
- Sie wendet eine Funktion mit zwei Argumenten auf ein iterierbares Objekt an.
- Es werden jeweils die ersten beiden Objekte genommen und zu einem Objekt reduziert, das dann das neue Anfangsobjekt ist.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehension

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
24 / 61

# reduce: Reduktion eines iterierbaren Objekts auf ein Element

- reduce ist eine weitere Funktion höherer Ordnung, die man oft in funktionalen Sprachen findet.
- Sie wendet eine Funktion mit zwei Argumenten auf ein iterierbares Objekt an.
- Es werden jeweils die ersten beiden Objekte genommen und zu einem Objekt reduziert, das dann das neue Anfangsobjekt ist.
- reduce wurde allerdings aus dem Sprachkern von Python 3 entfernt und findet sich nun im Modul `functools`.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehension

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
24 / 61



# reduce: Reduktion eines iterierbaren Objekts auf ein Element

- reduce ist eine weitere Funktion höherer Ordnung, die man oft in funktionalen Sprachen findet.
- Sie wendet eine Funktion mit zwei Argumenten auf ein iterierbares Objekt an.
- Es werden jeweils die ersten beiden Objekte genommen und zu einem Objekt reduziert, das dann das neue Anfangsobjekt ist.
- reduce wurde allerdings aus dem Sprachkern von Python 3 entfernt und findet sich nun im Modul `functools`.

## Python-Interpreter

```
>>> from functools import reduce
>>> reduce(lambda x, y: x * y, range(1, 5))
24 # ((1 * 2) * 3) * 4
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehension

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
24 / 61

# Anwendung von reduce (1)

- Guido von Rossum schrieb zu reduce:

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
25 / 61

# Anwendung von reduce (1)

- Guido von Rossum schrieb zu reduce:

*This is actually the one I've always hated most, because, apart from a few examples involving + and \*, almost every time I see a reduce() call with a non-trivial function argument, I need to grab pen and paper to diagram what's actually being fed into that function before I understand what reduce() is supposed to do.*

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
25 / 61

# Anwendung von reduce (1)

- Guido von Rossum schrieb zu reduce:

*This is actually the one I've always hated most, because, apart from a few examples involving + and \*, almost every time I see a reduce() call with a non-trivial function argument, I need to grab pen and paper to diagram what's actually being fed into that function before I understand what reduce() is supposed to do.*

- Hier ein nicht-triviales Beispiel:

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
25 / 61

# Anwendung von reduce (1)

- Guido von Rossum schrieb zu reduce:

*This is actually the one I've always hated most, because, apart from a few examples involving + and \*, almost every time I see a reduce() call with a non-trivial function argument, I need to grab pen and paper to diagram what's actually being fed into that function before I understand what reduce() is supposed to do.*

- Hier ein nicht-triviales Beispiel:

## Python-Interpreter

```
>>> def to_dict(d, key):  
...     d[key] = key**2  
...     return d  
...  
>>> reduce(to_dict, [{}], list(range(5)))
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
25 / 61

# Anwendung von reduce (1)

- Guido von Rossum schrieb zu reduce:

*This is actually the one I've always hated most, because, apart from a few examples involving + and \*, almost every time I see a reduce() call with a non-trivial function argument, I need to grab pen and paper to diagram what's actually being fed into that function before I understand what reduce() is supposed to do.*

- Hier ein nicht-triviales Beispiel:

## Python-Interpreter

```
>>> def to_dict(d, key):  
...     d[key] = key**2  
...     return d  
...  
>>> reduce(to_dict, [{}], list(range(5)))
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
25 / 61

# Anwendung von reduce (1)

- Guido von Rossum schrieb zu reduce:

*This is actually the one I've always hated most, because, apart from a few examples involving + and \*, almost every time I see a reduce() call with a non-trivial function argument, I need to grab pen and paper to diagram what's actually being fed into that function before I understand what reduce() is supposed to do.*

- Hier ein nicht-triviales Beispiel:

## Python-Interpreter

```
>>> def to_dict(d, key):  
...     d[key] = key**2  
...     return d  
...  
>>> reduce(to_dict, [{}], list(range(5)))  
{0: 0, 1: 1, 2: 4, 3: 9, 4: 16}
```

- Es wird also ein dict aufgebaut, das als Werte die

# Anwendung von reduce (2)

- Was genau wird da schrittweise **reduziert**?

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
26 / 61



# Anwendung von reduce (2)

- Was genau wird da schrittweise **reduziert**?

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehension*

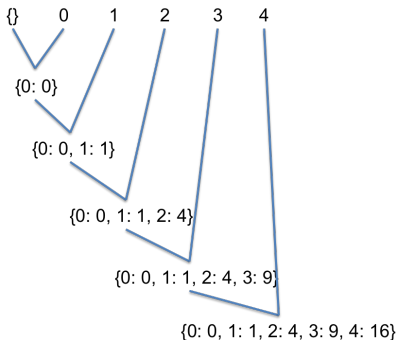
Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
26 / 61

# Anwendung von reduce (2)

- Was genau wird da schrittweise **reduziert**?



- Eleganter Aufbau des dicts.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehension*

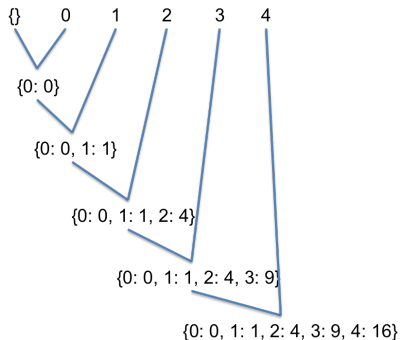
Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
26 / 61

# Anwendung von reduce (2)

- Was genau wird da schrittweise **reduziert**?



- Eleganter Aufbau des dicts.
- Allerdings ist **dict-Comprehension** (kommt noch) eleganter und lesbarer!

# `filter`: Filtert nicht passende Objekte aus

- `filter` erwartet als Argumente eine Funktion mit einem Parameter und ein iterierbares Objekt.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
27 / 61

# `filter`: Filtert nicht passende Objekte aus

- `filter` erwartet als Argumente eine Funktion mit einem Parameter und ein iterierbares Objekt.
- Es liefert einen Iterator zurück, der die Objekte aufzählt, bei denen die Funktion nicht `False` (oder äquivalente Werte) zurück gibt.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
27 / 61

# filter: Filtert nicht passende Objekte aus

- `filter` erwartet als Argumente eine Funktion mit einem Parameter und ein iterierbares Objekt.
- Es liefert einen Iterator zurück, der die Objekte aufzählt, bei denen die Funktion nicht `False` (oder äquivalente Werte) zurück gibt.

## Python-Interpreter

```
>>> list(filter(lambda x: x > 0, [0, 3, -7, 9, 2]))  
[3, 9, 2]
```

# Listen-, Generator-, dict- und Mengen-*Comprehension*

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

***Comprehen-  
sion***

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
28 / 61

# Listen-*Comprehension*

- In Python 2.7 wurden die sogenannten *Comprehensions* (im Deutschen auch Abstraktionen) eingeführt (aus der funktionalen Programmiersprache Haskell entlehnt).

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
29 / 61



# Listen-*Comprehension*

- In Python 2.7 wurden die sogenannten *Comprehensions* (im Deutschen auch Abstraktionen) eingeführt (aus der funktionalen Programmiersprache Haskell entlehnt).
- Mit diesen kann man ähnlich wie mit `lambda`, `map` und `filter`, Listen u.a. **deklarativ** und sehr kompakt beschreiben.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
29 / 61

# Listen-*Comprehension*

- In Python 2.7 wurden die sogenannten *Comprehensions* (im Deutschen auch Abstraktionen) eingeführt (aus der funktionalen Programmiersprache Haskell entlehnt).
- Mit diesen kann man ähnlich wie mit `lambda`, `map` und `filter`, Listen u.a. **deklarativ** und sehr kompakt beschreiben.
- Der Stil ist ähnlich dem, den man in der mathematischen Mengenschreibweise findet:  $\{x \in U : \phi(x)\}$  (alle  $x$  aus  $U$ , die die Bedingung  $\phi$  erfüllen). Beispiel:

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
29 / 61

# Listen-Comprehension

- In Python 2.7 wurden die sogenannten *Comprehensions* (im Deutschen auch Abstraktionen) eingeführt (aus der funktionalen Programmiersprache Haskell entlehnt).
- Mit diesen kann man ähnlich wie mit `lambda`, `map` und `filter`, Listen u.a. **deklarativ** und sehr kompakt beschreiben.
- Der Stil ist ähnlich dem, den man in der mathematischen Mengenschreibweise findet:  $\{x \in U : \phi(x)\}$  (alle  $x$  aus  $U$ , die die Bedingung  $\phi$  erfüllen). Beispiel:

## Python-Interpreter

```
>>> [str(x) for x in range(10) if x % 2 == 0]
['0', '2', '4', '6', '8']
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Compre-  
hension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
29 / 61

# Listen-Comprehension

- In Python 2.7 wurden die sogenannten *Comprehensions* (im Deutschen auch Abstraktionen) eingeführt (aus der funktionalen Programmiersprache Haskell entlehnt).
- Mit diesen kann man ähnlich wie mit `lambda`, `map` und `filter`, Listen u.a. **deklarativ** und sehr kompakt beschreiben.
- Der Stil ist ähnlich dem, den man in der mathematischen Mengenschreibweise findet:  $\{x \in U : \phi(x)\}$  (alle  $x$  aus  $U$ , die die Bedingung  $\phi$  erfüllen). Beispiel:

## Python-Interpreter

```
>>> [str(x) for x in range(10) if x % 2 == 0]
['0', '2', '4', '6', '8']
```

- **Bedeutung:** Erstelle aus allen `str(x)` eine Liste, wobei `x` über das iterierbare Objekt `range(10)` läuft und nur die geraden Zahlen berücksichtigt werden.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
29 / 61

# Generelle Syntax von Listen-*Comprehensions*

```
[ expression for expr1 in seq1 if cond1
    for expr2 in seq2 if cond2
    ...
    for exprn in seqn if condn ]
```

- Die if-Klauseln sind dabei optional.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Compre-  
hension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
30 / 61

# Generelle Syntax von Listen-*Comprehensions*

```
[ expression for expr1 in seq1 if cond1
      for expr2 in seq2 if cond2
      ...
      for exprn in seqn if condn ]
```

- Die if-Klauseln sind dabei optional.
- Ist `expression` ein Tupel, muss es in Klammern stehen!

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
30 / 61

# Generelle Syntax von Listen-*Comprehensions*

```
[ expression for expr1 in seq1 if cond1
      for expr2 in seq2 if cond2
      ...
      for exprn in seqn if condn ]
```

- Die *if*-Klauseln sind dabei optional.
- Ist *expression* ein Tupel, muss es in Klammern stehen!
- Damit kann man ganz ähnliche Dinge wie mit *lambda*, *map*, *filter* erreichen.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

*map*, *reduce*  
und *filter*

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
30 / 61

# Generelle Syntax von Listen-Comprehensions

```
[ expression for expr1 in seq1 if cond1
    for expr2 in seq2 if cond2
    ...
    for exprn in seqn if condn ]
```

- Die if-Klauseln sind dabei optional.
- Ist expression ein Tupel, muss es in Klammern stehen!
- Damit kann man ganz ähnliche Dinge wie mit lambda, map, filter erreichen.

## Python-Interpreter

```
>>> [str(x) for x in range(10) if x % 2 == 0]
['0', '2', '4', '6', '8']
>>> list(map(lambda y: str(y), filter(lambda x: x%2
== 0, range(10))))
['0', '2', '4', '6', '8']
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
30 / 61



# Geschachtelte Listen-*Comprehensions* (1)

- Wir wollen eine zweidimensionale Matrix der Art  $[[0, 1, 2, 3], [0, 1, 2, 3], [0, 1, 2, 3]]$  konstruieren.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

***Compre-  
hension***

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
31 / 61

# Geschachtelte Listen-*Comprehensions* (1)

- Wir wollen eine zweidimensionale Matrix der Art  $[[0,1,2,3], [0,1,2,3], [0,1,2,3]]$  konstruieren.
- Imperative Lösung:

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
31 / 61

# Geschachtelte Listen-Comprehensions (1)

- Wir wollen eine zweidimensionale Matrix der Art `[[0,1,2,3], [0,1,2,3], [0,1,2,3]]` konstruieren.
- Imperative Lösung:

## Python-Interpreter

```
>>> matrix = []
>>> for y in range(3):
...     matrix.append(list(range(4)))
...
>>> matrix
[[0, 1, 2, 3], [0, 1, 2, 3], [0, 1, 2, 3]]
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Compre-  
hension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
31/61

# Geschachtelte Listen-Comprehensions (1)

- Wir wollen eine zweidimensionale Matrix der Art `[[0,1,2,3], [0,1,2,3], [0,1,2,3]]` konstruieren.
- Imperative Lösung:

## Python-Interpreter

```
>>> matrix = []
>>> for y in range(3):
...     matrix.append(list(range(4)))
...
>>> matrix
[[0, 1, 2, 3], [0, 1, 2, 3], [0, 1, 2, 3]]
```

- Lösung mit Listen-Comprehensions:

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Compre-  
hension

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
31/61

# Geschachtelte Listen-Comprehensions (1)

- Wir wollen eine zweidimensionale Matrix der Art `[[0,1,2,3], [0,1,2,3], [0,1,2,3]]` konstruieren.
- Imperative Lösung:

## Python-Interpreter

```
>>> matrix = []
>>> for y in range(3):
...     matrix.append(list(range(4)))
...
>>> matrix
[[0, 1, 2, 3], [0, 1, 2, 3], [0, 1, 2, 3]]
```

- Lösung mit Listen-Comprehensions:

## Python-Interpreter

```
>>> [[x for x in range(4)] for y in range(3)]
[[0, 1, 2, 3], [0, 1, 2, 3], [0, 1, 2, 3]]
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Compre-  
hension

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
31/61

# Geschachtelte Listen-*Comprehensions* (2)

- Wir wollen `[[1,2,3], [4,5,6], [7,8,9]]` konstruieren.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

***Compre-  
hension***

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
32 / 61

# Geschachtelte Listen-*Comprehensions* (2)

- Wir wollen `[[1,2,3], [4,5,6], [7,8,9]]` konstruieren.
- Imperativ:

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Compre-  
hension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
32 / 61

## Geschachtelte Listen-Comprehensions (2)

- Wir wollen `[[1,2,3], [4,5,6], [7,8,9]]` konstruieren.
- Imperativ:

### Python-Interpreter

```
>>> matrix = []  
>>> for rownum in range(3):  
...     row = []  
...     for x in range(rownum*3, rownum*3 + 3):  
...         row.append(x+1)  
...     matrix.append(row)  
...  
...
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
32 / 61





## Geschachtelte Listen-Comprehensions (2)

- Wir wollen `[[1,2,3], [4,5,6], [7,8,9]]` konstruieren.
- Imperativ:

### Python-Interpreter

```
>>> matrix = []
>>> for rownum in range(3):
...     row = []
...     for x in range(rownum*3, rownum*3 + 3):
...         row.append(x+1)
...     matrix.append(row)
...
...
```

- Lösung mit Listen-Comprehensions:

### Python-Interpreter

```
>>> [[x+1 for x in range(y*3, y*3 + 3)] for y in
range(3)]
[[1, 2, 3], [4, 5, 6], [7, 8, 9]]
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
32/61

# Listen-*Comprehensions*: Kartesisches Produkt

- Wir wollen das kartesische Produkt aus  $[0, 1, 2]$  und  $['a', 'b', 'c']$  erzeugen.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

***Comprehen-  
sion***

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
33 / 61

# Listen-*Comprehensions*: Kartesisches Produkt

- Wir wollen das kartesische Produkt aus  $[0, 1, 2]$  und  $['a', 'b', 'c']$  erzeugen.
- Imperativ:

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
33 / 61

# Listen-Comprehensions: Kartesisches Produkt

- Wir wollen das kartesische Produkt aus  $[0, 1, 2]$  und  $['a', 'b', 'c']$  erzeugen.
- Imperativ:

## Python-Interpreter

```
>>> prod = []
>>> for x in range(3):
...     for y in ['a', 'b', 'c']:
...         prod.append((x, y))
... 
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Compre-  
hension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
33 / 61

# Listen-*Comprehensions*: Kartesisches Produkt

- Wir wollen das kartesische Produkt aus  $[0, 1, 2]$  und  $['a', 'b', 'c']$  erzeugen.
- Imperativ:

## Python-Interpreter

```
>>> prod = []
>>> for x in range(3):
...     for y in ['a', 'b', 'c']:
...         prod.append((x, y))
... 
```

- Lösung mit Listen-*Comprehensions*:

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
33 / 61

# Listen-Comprehensions: Kartesisches Produkt

- Wir wollen das kartesische Produkt aus  $[0, 1, 2]$  und  $['a', 'b', 'c']$  erzeugen.
- Imperativ:

## Python-Interpreter

```
>>> prod = []
>>> for x in range(3):
...     for y in ['a', 'b', 'c']:
...         prod.append((x, y))
... 
```

- Lösung mit Listen-Comprehensions:

## Python-Interpreter

```
>>> [(x, y) for x in range(3) for y in
['a', 'b', 'c']]
[(0, 'a'), (0, 'b'), (0, 'c'), (1, 'a'), (1, 'b'),
(1, 'c'), (2, 'a'), (2, 'b'), (2, 'c')]
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
33 / 61

# Generator-Comprehension

- Es gibt auch eine Variante der Listen-Comprehension, die die Liste nicht explizit aufbaut, sondern einen **Iterator** erzeugt, der alle Objekte nacheinander generiert.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

**Compre-  
hension**

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
34 / 61



# Generator-*Comprehension*

- Es gibt auch eine Variante der Listen-*Comprehension*, die die Liste nicht explizit aufbaut, sondern einen **Iterator** erzeugt, der alle Objekte nacheinander generiert.
- Einziger Unterschied zur Listen-*Comprehension*: Runde statt eckige Klammern: ***Generator-Comprehension***.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

***Compre-  
hension***

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
34 / 61

# Generator-*Comprehension*

- Es gibt auch eine Variante der Listen-*Comprehension*, die die Liste nicht explizit aufbaut, sondern einen **Iterator** erzeugt, der alle Objekte nacheinander generiert.
- Einziger Unterschied zur Listen-*Comprehension*: Runde statt eckige Klammern: **Generator-*Comprehension***.
- Diese können weggelassen werden, wenn der Ausdruck in einer Funktion mit nur einem Argument angegeben wird.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

**Compre-  
hension**

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
34 / 61

# Generator-Comprehension

- Es gibt auch eine Variante der Listen-Comprehension, die die Liste nicht explizit aufbaut, sondern einen **Iterator** erzeugt, der alle Objekte nacheinander generiert.
- Einziger Unterschied zur Listen-Comprehension: Runde statt eckige Klammern: **Generator-Comprehension**.
- Diese können weggelassen werden, wenn der Ausdruck in einer Funktion mit nur einem Argument angegeben wird.

## Python-Interpreter

```
>>> sum(x**2 for x in range(11))  
385
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

**Comprehen-  
sion**

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
34 / 61

# Generator-Comprehension

- Es gibt auch eine Variante der Listen-Comprehension, die die Liste nicht explizit aufbaut, sondern einen **Iterator** erzeugt, der alle Objekte nacheinander generiert.
- Einziger Unterschied zur Listen-Comprehension: Runde statt eckige Klammern: **Generator-Comprehension**.
- Diese können weggelassen werden, wenn der Ausdruck in einer Funktion mit nur einem Argument angegeben wird.

## Python-Interpreter

```
>>> sum(x**2 for x in range(11))  
385
```

- Ist Speicherplatz-schonender als `sum([x**2 for x in range(11)])`.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

**Comprehen-  
sion**

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
34 / 61

# Comprehension für Dictionaries, Mengen, etc. (1)

Comprehension-Ausdrücke lassen sich auch für Dictionaries, Mengen, etc. verwenden. Nachfolgend ein paar Beispiele:

## Python-Interpreter

```
>>> evens = set(x for x in range(0, 20, 2))
>>> evenmultsofthree = set(x for x in evens if x %
3 == 0)
>>> evenmultsofthree
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
35 / 61

# Comprehension für Dictionaries, Mengen, etc. (1)

Comprehension-Ausdrücke lassen sich auch für Dictionaries, Mengen, etc. verwenden. Nachfolgend ein paar Beispiele:

## Python-Interpreter

```
>>> evens = set(x for x in range(0, 20, 2))
>>> evenmultsofthree = set(x for x in evens if x %
3 == 0)
>>> evenmultsofthree
{0, 18, 12, 6}
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Compre-  
hension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
35 / 61

# Comprehension für Dictionaries, Mengen, etc. (1)

Comprehension-Ausdrücke lassen sich auch für Dictionaries, Mengen, etc. verwenden. Nachfolgend ein paar Beispiele:

## Python-Interpreter

```
>>> evens = set(x for x in range(0, 20, 2))
>>> evenmultsofthree = set(x for x in evens if x %
3 == 0)
>>> evenmultsofthree
{0, 18, 12, 6}
>>> text = 'Lorem ipsum'
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Compre-  
hension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
35 / 61

# Comprehension für Dictionaries, Mengen, etc. (1)

Comprehension-Ausdrücke lassen sich auch für Dictionaries, Mengen, etc. verwenden. Nachfolgend ein paar Beispiele:

## Python-Interpreter

```
>>> evens = set(x for x in range(0, 20, 2))
>>> evenmultsofthree = set(x for x in evens if x %
3 == 0)
>>> evenmultsofthree
{0, 18, 12, 6}
>>> text = 'Lorem ipsum'
>>> res = set(x for x in text if x >= 'a')
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Compre-  
hension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
35 / 61



# Comprehension für Dictionaries, Mengen, etc. (1)

Comprehension-Ausdrücke lassen sich auch für Dictionaries, Mengen, etc. verwenden. Nachfolgend ein paar Beispiele:

## Python-Interpreter

```
>>> evens = set(x for x in range(0, 20, 2))
>>> evenmultsofthree = set(x for x in evens if x %
3 == 0)
>>> evenmultsofthree
{0, 18, 12, 6}
>>> text = 'Lorem ipsum'
>>> res = set(x for x in text if x >= 'a')
>>> print(res)
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Compre-  
hension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
35 / 61

# Comprehension für Dictionaries, Mengen, etc. (1)

Comprehension-Ausdrücke lassen sich auch für Dictionaries, Mengen, etc. verwenden. Nachfolgend ein paar Beispiele:

## Python-Interpreter

```
>>> evens = set(x for x in range(0, 20, 2))
>>> evenmultsofthree = set(x for x in evens if x %
3 == 0)
>>> evenmultsofthree
{0, 18, 12, 6}
>>> text = 'Lorem ipsum'
>>> res = set(x for x in text if x >= 'a')
>>> print(res)
{'e', 'i', 'm', 'o', 'p', 'r', 's', 'u'}
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
35 / 61

# Comprehension für Dictionaries, Mengen, etc. (1)

Comprehension-Ausdrücke lassen sich auch für Dictionaries, Mengen, etc. verwenden. Nachfolgend ein paar Beispiele:

## Python-Interpreter

```
>>> evens = set(x for x in range(0, 20, 2))
>>> evenmultsofthree = set(x for x in evens if x %
3 == 0)
>>> evenmultsofthree
{0, 18, 12, 6}
>>> text = 'Lorem ipsum'
>>> res = set(x for x in text if x >= 'a')
>>> print(res)
{'e', 'i', 'm', 'o', 'p', 'r', 's', 'u'}
>>> d = dict((x, x**2) for x in range(1, 10))
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
35 / 61

# Comprehension für Dictionaries, Mengen, etc. (1)

Comprehension-Ausdrücke lassen sich auch für Dictionaries, Mengen, etc. verwenden. Nachfolgend ein paar Beispiele:

## Python-Interpreter

```
>>> evens = set(x for x in range(0, 20, 2))
>>> evenmultsofthree = set(x for x in evens if x %
3 == 0)
>>> evenmultsofthree
{0, 18, 12, 6}
>>> text = 'Lorem ipsum'
>>> res = set(x for x in text if x >= 'a')
>>> print(res)
{'e', 'i', 'm', 'o', 'p', 'r', 's', 'u'}
>>> d = dict((x, x**2) for x in range(1, 10))
>>> print(d)
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
35 / 61

# Comprehension für Dictionaries, Mengen, etc. (1)

Comprehension-Ausdrücke lassen sich auch für Dictionaries, Mengen, etc. verwenden. Nachfolgend ein paar Beispiele:

## Python-Interpreter

```
>>> evens = set(x for x in range(0, 20, 2))
>>> evenmultsofthree = set(x for x in evens if x %
3 == 0)
>>> evenmultsofthree
{0, 18, 12, 6}
>>> text = 'Lorem ipsum'
>>> res = set(x for x in text if x >= 'a')
>>> print(res)
{'e', 'i', 'm', 'o', 'p', 'r', 's', 'u'}
>>> d = dict((x, x**2) for x in range(1, 10))
>>> print(d)
{1: 1, 2: 4, 3: 9, 4: 16, 5: 25, 6: 36, 7: 49, 8:
64, 9: 81}
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
35 / 61

# Comprehension für Dictionaries, Mengen, etc. (2)

## Python-Interpreter

```
>>> sqnums = set(x for (_, x) in d.items())  
>>> print(sqnums)
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Compre-  
hension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
36 / 61

# Comprehension für Dictionaries, Mengen, etc. (2)

## Python-Interpreter

```
>>> sqnums = set(x for (_, x) in d.items())
>>> print(sqnums)
{64, 1, 36, 81, 9, 16, 49, 25, 4}
>>> dict((x, (x**2, x**3)) for x in range(1, 10))
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Compre-  
hension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
36 / 61

## Comprehension für Dictionaries, Mengen, etc. (2)

### Python-Interpreter

```
>>> sqnums = set(x for (_, x) in d.items())
>>> print(sqnums)
{64, 1, 36, 81, 9, 16, 49, 25, 4}
>>> dict((x, (x**2, x**3)) for x in range(1, 10))
{1: (1, 1), 2: (4, 8), 3: (9, 27), 4: (16, 64), 5:
(25, 125), 6: (36, 216), 7: (49, 343), 8: (64,
512), 9: (81, 729)}
>>> dict((x, x**2) for x in range(10)
...      if not x**2 < 0.2 * x**3)
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
36 / 61



## Comprehension für Dictionaries, Mengen, etc. (2)

### Python-Interpreter

```
>>> sqnums = set(x for (_, x) in d.items())
>>> print(sqnums)
{64, 1, 36, 81, 9, 16, 49, 25, 4}
>>> dict((x, (x**2, x**3)) for x in range(1, 10))
{1: (1, 1), 2: (4, 8), 3: (9, 27), 4: (16, 64), 5:
(25, 125), 6: (36, 216), 7: (49, 343), 8: (64,
512), 9: (81, 729)}
>>> dict((x, x**2) for x in range(10)
...      if not x**2 < 0.2 * x**3)
0: 0, 1: 1, 2: 4, 3: 9, 4: 16, 5: 25
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
36 / 61

## Comprehension für Dictionaries, Mengen, etc. (3)

Mit `all` und `any` kann man über die Elemente eines iterierbaren Objekts oder eines Iterators quantifizieren:

- `all(iterable)` evaluiert zu `True` gdw. alle Elemente äquivalent zu `True` sind (oder das `iterable` leer ist).

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
37 / 61

## Comprehension für Dictionaries, Mengen, etc. (3)

Mit `all` und `any` kann man über die Elemente eines iterierbaren Objekts oder eines Iterators quantifizieren:

- `all(iterable)` evaluiert zu `True` gdw. alle Elemente äquivalent zu `True` sind (oder das `iterable` leer ist).
- `any(iterbale)` ist `True` wenn ein Element äquivalent zu `True` ist.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
37 / 61

## Comprehension für Dictionaries, Mengen, etc. (3)

Mit `all` und `any` kann man über die Elemente eines iterierbaren Objekts oder eines Iterators quantifizieren:

- `all(iterable)` evaluiert zu `True` gdw. alle Elemente äquivalent zu `True` sind (oder das `iterable` leer ist).
- `any(iterbale)` ist `True` wenn ein Element äquivalent zu `True` ist.

### Python-Interpreter

```
>>> text = 'Lorem ipsum'  
>>> all(x.strip() for x in text if x < "b")
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
37 / 61

## Comprehension für Dictionaries, Mengen, etc. (3)

Mit `all` und `any` kann man über die Elemente eines iterierbaren Objekts oder eines Iterators quantifizieren:

- `all(iterable)` evaluiert zu `True` gdw. alle Elemente äquivalent zu `True` sind (oder das `iterable` leer ist).
- `any(iterbale)` ist `True` wenn ein Element äquivalent zu `True` ist.

### Python-Interpreter

```
>>> text = 'Lorem ipsum'  
>>> all(x.strip() for x in text if x < "b")
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
37 / 61

## Comprehension für Dictionaries, Mengen, etc. (3)

Mit `all` und `any` kann man über die Elemente eines iterierbaren Objekts oder eines Iterators quantifizieren:

- `all(iterable)` evaluiert zu `True` gdw. alle Elemente äquivalent zu `True` sind (oder das `iterable` leer ist).
- `any(iterbale)` ist `True` wenn ein Element äquivalent zu `True` ist.

### Python-Interpreter

```
>>> text = 'Lorem ipsum'
>>> all(x.strip() for x in text if x < "b")
False
>>> any(x.strip() for x in text if x < "b")
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Compre-  
hension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
37 / 61

## Comprehension für Dictionaries, Mengen, etc. (3)

Mit `all` und `any` kann man über die Elemente eines iterierbaren Objekts oder eines Iterators quantifizieren:

- `all(iterable)` evaluiert zu `True` gdw. alle Elemente äquivalent zu `True` sind (oder das `iterable` leer ist).
- `any(iterbale)` ist `True` wenn ein Element äquivalent zu `True` ist.

### Python-Interpreter

```
>>> text = 'Lorem ipsum'
>>> all(x.strip() for x in text if x < "b")
False
>>> any(x.strip() for x in text if x < "b")
True
>>> all(x for x in text if x > "z")
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
37 / 61

## Comprehension für Dictionaries, Mengen, etc. (3)

Mit `all` und `any` kann man über die Elemente eines iterierbaren Objekts oder eines Iterators quantifizieren:

- `all(iterable)` evaluiert zu `True` gdw. alle Elemente äquivalent zu `True` sind (oder das `iterable` leer ist).
- `any(iterbale)` ist `True` wenn ein Element äquivalent zu `True` ist.

### Python-Interpreter

```
>>> text = 'Lorem ipsum'
>>> all(x.strip() for x in text if x < "b")
False
>>> any(x.strip() for x in text if x < "b")
True
>>> all(x for x in text if x > "z")
True
>>> any(x for x in text if x > "z")
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
37 / 61



## Comprehension für Dictionaries, Mengen, etc. (3)

Mit `all` und `any` kann man über die Elemente eines iterierbaren Objekts oder eines Iterators quantifizieren:

- `all(iterable)` evaluiert zu `True` gdw. alle Elemente äquivalent zu `True` sind (oder das `iterable` leer ist).
- `any(iterbale)` ist `True` wenn ein Element äquivalent zu `True` ist.

### Python-Interpreter

```
>>> text = 'Lorem ipsum'
>>> all(x.strip() for x in text if x < "b")
False
>>> any(x.strip() for x in text if x < "b")
True
>>> all(x for x in text if x > "z")
True
>>> any(x for x in text if x > "z")
False
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
37 / 61

# Dekoratoren

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

**Dekoratoren**

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
38 / 61

# Dekoratoren

**Dekoratoren** sind Funktionen (*Callables*), die Funktionen (*Callables*) als Parameter nehmen und zurückgeben. Sie werden verwendet, um andere Funktionen oder Methoden zu „umhüllen“.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

**Dekoratoren**

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
39 / 61

# Dekoratoren

**Dekoratoren** sind Funktionen (*Callables*), die Funktionen (*Callables*) als Parameter nehmen und zurückgeben. Sie werden verwendet, um andere Funktionen oder Methoden zu „umhüllen“.

Dekoratoren, die uns schon früher begegnet sind:  
`staticmethod`, `classmethod`, `property`, etc.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehension*

**Dekoratoren**

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
39 / 61

**Dekoratoren** sind Funktionen (*Callables*), die Funktionen (*Callables*) als Parameter nehmen und zurückgeben. Sie werden verwendet, um andere Funktionen oder Methoden zu „umhüllen“.

Dekoratoren, die uns schon früher begegnet sind: `staticmethod`, `classmethod`, `property`, etc.

Es gibt eine spezielle **Syntax**, um solche Dekoratoren anzuwenden. Falls der Dekorator `wrapper` definiert wurde:

```
def fct(*args):  
    # do some stuff  
fct = wrapper(fct)
```

können wir auch schreiben:

```
@wrapper  
def fct(*args):  
    # do some stuff
```

# Dekoratoren: property, staticmethod (1)

decorators.py

```
class C:
    def __init__(self, name):
        self._name = name

    def getname(self):
        return self._name

    # def setname(self, x):
    #     self._name = 2 * x
    name = property(getname)

    def hello():
        print("Hello world")
    hello = staticmethod(hello)
```

lässt sich also mittels der @wrapper-Syntax schreiben ...

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

**Dekoratoren**

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
40 / 61

# Dekoratoren: property, staticmethod (2)

decorators.py

```
class C:
    def __init__(self, name):
        self._name = name

    @property
    def name(self):
        return self._name

    # @name.setter
    # def name(self, x):
    #     self._name = 2 * x

    @staticmethod
    def hello():
        print("Hello world")
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
41 / 61

# Einen Dekorator selbst definieren (1)

Wie definiert man selbst einen solchen Dekorator?

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

**Dekoratoren**

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
42 / 61



# Einen Dekorator selbst definieren (1)

Wie definiert man selbst einen solchen Dekorator?

Angenommen, wir wollen den Aufruf einer Funktion (mit seinen Argumenten) auf der Konsole ausgeben.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

**Dekoratoren**

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
42 / 61

# Einen Dekorator selbst definieren (1)

Wie definiert man selbst einen solchen Dekorator?

Angenommen, wir wollen den Aufruf einer Funktion (mit seinen Argumenten) auf der Konsole ausgeben. Eine Lösung, bei der wie die Funktion direkt mit ein paar Zeilen Code erweitern

```
decorators.py
```

```
verbose = True

def mult(x, y):
    if verbose:
        print("--- a nice header -----")
        print("--> call mult with args: %s, %s" % x, y)
    res = x * y
    if verbose:
        print("--- a nice footer -----")
    return res
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
42 / 61

# Einen Dekorator selbst definieren (1)

Wie definiert man selbst einen solchen Dekorator?

Angenommen, wir wollen den Aufruf einer Funktion (mit seinen Argumenten) auf der Konsole ausgeben. Eine Lösung, bei der wie die Funktion direkt mit ein paar Zeilen Code erweitern

```
decorators.py
```

```
verbose = True

def mult(x, y):
    if verbose:
        print("--- a nice header -----")
        print("--> call mult with args: %s, %s" % x, y)
    res = x * y
    if verbose:
        print("--- a nice footer -----")
    return res
```

Das ist hässlich! Wir wollen eine generische Lösung ...

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
42 / 61

## Einen Dekorator selbst definieren (2)

Eleganter ist die folgende Lösung:

### decorators.py

```
def decorator(f):
    def wrapper(*args, **kwargs):
        print("--- a nice header -----")
        print("--> call %s with args: %s" %
              (f.__name__, ",".join(map(str, args))))
        res = f(*args, **kwargs)
        print("--- a nice footer -----")
        return res
    # print("--> wrapper now defined")
    return wrapper

@decorator
def mult(x, y):
    return x * y
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
43 / 61

# Einen Dekorator selbst definieren (3)

Angenommen, wir wollen (ferner) messen, wie lange die Ausführung einer Funktion dauert.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

**Dekoratoren**

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
44 / 61

## Einen Dekorator selbst definieren (3)

Angenommen, wir wollen (ferner) messen, wie lange die Ausführung einer Funktion dauert.

Auch dies kann man mit einem Dekorator einfach implementieren:

```
decorators.py
```

```
import time

def timeit(f):
    def wrapper(*args, **kwargs):
        print("--> Start timer")
        t0 = time.time()
        res = f(*args, **kwargs)
        delta = time.time() - t0
        print("--> End timer:  %s sec." % delta)
        return res
    return wrapper
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
44 / 61

## Einen Dekorator selbst definieren (4)

Wir können nun nicht nur einmalig Funktionen „transformieren“, sondern solche Transformationen auch hintereinander schalten:

```
decorators.py
```

```
@decorator
@timeit
def sub(x, y):
    return x - y

print(sub(3, 5))
```

liefert z.B.:

```
decorators.py
```

```
--- a nice header -----
--> call wrapper with args: 3,5
--> Start timer
--> End timer: 2.1457672119140625e-06 sec.
--- a nice footer -----
-2
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
45 / 61

# Dekoratoren: docstring und `__name__` (1)

- Beim Dekorieren ändert sich ja der interne Name und der docstring.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

**Dekoratoren**

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
46 / 61



# Dekoratoren: docstring und `__name__` (1)

- Beim Dekorieren ändert sich ja der interne Name und der docstring.
- Allerdings könnte man ja ...

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

**Dekoratoren**

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
46 / 61

# Dekoratoren: docstring und `__name__` (1)

- Beim Dekorieren ändert sich ja der interne Name und der docstring.
- Allerdings könnte man ja ...

## decorators.py

```
def decorator(f):
    def wrapper(*args, **kwargs):
        print("--- a nice header -----")
        print("--> call %s with args: %s" %
              (f.__name__, ",".join(map(str, args))))
        res = f(*args, **kwargs)
        print("--- a nice footer -----")
        return res
    wrapper.__name__ = f.__name__
    wrapper.__doc__ = f.__doc__
    return wrapper
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
46 / 61

# Dekoratoren: docstring und `__name__` (1)

- Beim Dekorieren ändert sich ja der interne Name und der docstring.
- Allerdings könnte man ja ...

## decorators.py

```
def decorator(f):
    def wrapper(*args, **kwargs):
        print("--- a nice header -----")
        print("--> call %s with args: %s" %
              (f.__name__, ",".join(map(str, args))))
        res = f(*args, **kwargs)
        print("--- a nice footer -----")
        return res
    wrapper.__name__ = f.__name__
    wrapper.__doc__ = f.__doc__
    return wrapper
```

- ...die Funktionsattribute übernehmen.

# Dekoratoren: docstring und `__name__` (2)

- Zur Übernahme der Attribute gibt es natürlich schon einen Python-Dekorator

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehension*

**Dekoratoren**

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
47 / 61

## Dekoratoren: docstring und `__name__` (2)

- Zur Übernahme der Attribute gibt es natürlich schon einen Python-Dekorator

### decorators.py

```
import functools
def decorator(f):
    @functools.wraps(f)
    def wrapper(*args, **kwargs):
        print("--- a nice header -----")
        print("--> call %s with args: %s" %
              (f.__name__, ",".join(map(str, args))))
        res = f(*args, **kwargs)
        print("--- a nice footer -----")
        return res
    return wrapper
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
47 / 61

# Parametrische Dekoratoren (1)

- Wir wollen annehmen, dass wir einen Dekorator benötigen, der alle Stringausgaben auf 5 Zeichen beschränkt:

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

**Dekoratoren**

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
48 / 61

# Parametrische Dekoratoren (1)

- Wir wollen annehmen, dass wir einen Dekorator benötigen, der alle Stringausgaben auf 5 Zeichen beschränkt:

```
decorators.py
```

```
def trunc(f):  
    def wrapper(*args, **kwargs):  
        res = f(*args, **kwargs)  
        return res[:5]  
    return wrapper  
  
@trunc  
def data():  
    return 'foobar'
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
48 / 61

# Parametrische Dekoratoren (1)

- Wir wollen annehmen, dass wir einen Dekorator benötigen, der alle Stringausgaben auf 5 Zeichen beschränkt:

```
decorators.py
```

```
def trunc(f):  
    def wrapper(*args, **kwargs):  
        res = f(*args, **kwargs)  
        return res[:5]  
    return wrapper  
  
@trunc  
def data():  
    return 'foobar'
```

- Ein aktueller Aufruf:

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
48 / 61



# Parametrische Dekoratoren (1)

- Wir wollen annehmen, dass wir einen Dekorator benötigen, der alle Stringausgaben auf 5 Zeichen beschränkt:

```
decorators.py
```

```
def trunc(f):  
    def wrapper(*args, **kwargs):  
        res = f(*args, **kwargs)  
        return res[:5]  
    return wrapper  
  
@trunc  
def data():  
    return 'foobar'
```

- Ein aktueller Aufruf:

```
Python-Interpreter
```

```
>>> data()
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
48 / 61

# Parametrische Dekoratoren (1)

- Wir wollen annehmen, dass wir einen Dekorator benötigen, der alle Stringausgaben auf 5 Zeichen beschränkt:

```
decorators.py
```

```
def trunc(f):  
    def wrapper(*args, **kwargs):  
        res = f(*args, **kwargs)  
        return res[:5]  
    return wrapper  
  
@trunc  
def data():  
    return 'foobar'
```

- Ein aktueller Aufruf:

```
Python-Interpreter
```

```
>>> data()
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
48 / 61

# Parametrische Dekoratoren (1)

- Wir wollen annehmen, dass wir einen Dekorator benötigen, der alle Stringausgaben auf 5 Zeichen beschränkt:

## decorators.py

```
def trunc(f):
    def wrapper(*args, **kwargs):
        res = f(*args, **kwargs)
        return res[:5]
    return wrapper

@trunc
def data():
    return 'foobar'
```

- Ein aktueller Aufruf:

## Python-Interpreter

```
>>> data()
'fooba'
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
48 / 61

# Parametrische Dekoratoren (2)

- Manchmal sollen es 3 Zeichen sein, manchmal 6!

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

**Dekoratoren**

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
49 / 61

# Parametrische Dekoratoren (2)

- Manchmal sollen es 3 Zeichen sein, manchmal 6!
- Eine **Dekorations-erzeugende** Funktion:

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

**Dekoratoren**

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
49 / 61

# Parametrische Dekoratoren (2)

- Manchmal sollen es 3 Zeichen sein, manchmal 6!
- Eine **Dekorations-erzeugende** Funktion:

```
decorators.py
```

```
def limit(length):  
    def decorator(f):  
        def wrapper(*args, **kwargs):  
            res = f(*args, **kwargs)  
            return res[:length]  
        return wrapper  
    return decorator
```

```
@limit(3)  
def data_a():  
    return 'limit to 3'
```

```
@limit(6)  
def data_b():  
    return 'limit to 6'
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
49 / 61

# Parametrische Dekoratoren (3)

- Was **passiert** hier?
- Der Aufruf von `limit(3)` erzeugt einen Dekorator, der auf `data_a` angewandt wird; `limit(6)` wenden wir auf `data_b` an:

## Python-Interpreter

```
>>> data_a()
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
50 / 61

# Parametrische Dekoratoren (3)

- Was **passiert** hier?
- Der Aufruf von `limit(3)` erzeugt einen Dekorator, der auf `data_a` angewandt wird; `limit(6)` wenden wir auf `data_b` an:

## Python-Interpreter

```
>>> data_a()  
'lim'
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
50 / 61



# Parametrische Dekoratoren (3)

- Was **passiert** hier?
- Der Aufruf von `limit(3)` erzeugt einen Dekorator, der auf `data_a` angewandt wird; `limit(6)` wenden wir auf `data_b` an:

## Python-Interpreter

```
>>> data_a()  
'lim'  
>>> data_b()
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
50 / 61

# Parametrische Dekoratoren (3)

- Was **passiert** hier?
- Der Aufruf von `limit(3)` erzeugt einen Dekorator, der auf `data_a` angewandt wird; `limit(6)` wenden wir auf `data_b` an:

## Python-Interpreter

```
>>> data_a()
'lim'
>>> data_b()
'limit '
```

- Aber was passiert hier eigentlich bei der **geschachtelten** Definition von Funktionen?

# Funktionsschachtelung, Namensräume und Skopus

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

**Schachtelung  
und Skopus**

Closures  
51 / 61

# Geschachtelte Funktionsdefinitionen

- Im letzten Abschnitt sind uns **geschachtelte** Funktionsdefinitionen begegnet.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

**Schachtelung  
und Skopus**

Closures  
52 / 61

# Geschachtelte Funktionsdefinitionen

- Im letzten Abschnitt sind uns **geschachtelte** Funktionsdefinitionen begegnet.
- Es ist dabei nicht immer klar, auf was sich ein bestimmter **Variablenname** bezieht.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

**Schachtelung  
und Skopus**

Closures  
52 / 61

# Geschachtelte Funktionsdefinitionen

- Im letzten Abschnitt sind uns **geschachtelte** Funktionsdefinitionen begegnet.
- Es ist dabei nicht immer klar, auf was sich ein bestimmter **Variablenname** bezieht.
- Um das zu verstehen, müssen wir die Begriffe **Namensraum** (*name space*) und **Skopus** oder **Gültigkeitsbereich** (*scope*) verstehen.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
52 / 61

# Geschachtelte Funktionsdefinitionen

- Im letzten Abschnitt sind uns **geschachtelte** Funktionsdefinitionen begegnet.
- Es ist dabei nicht immer klar, auf was sich ein bestimmter **Variablenname** bezieht.
- Um das zu verstehen, müssen wir die Begriffe **Namensraum** (*name space*) und **Skopus** oder **Gültigkeitsbereich** (*scope*) verstehen.
- Dabei ergeben sich zum Teil interessante Konsequenzen für die **Lebensdauer** einer Variablen.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehension

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
52 / 61

# Namensräume

- Ein Namensraum ist eine **Abbildung** von Namen auf Werte (innerhalb von Python oft durch ein `dict` realisiert).

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

**Schachtelung  
und Skopus**

Closures  
53 / 61



# Namensräume

- Ein Namensraum ist eine **Abbildung** von Namen auf Werte (innerhalb von Python oft durch ein `dict` realisiert).
- Innerhalb von Python gibt es:

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
53 / 61

# Namensräume

- Ein Namensraum ist eine **Abbildung** von Namen auf Werte (innerhalb von Python oft durch ein `dict` realisiert).
- Innerhalb von Python gibt es:
  - den **Built-in**-Namensraum (`__builtins__`), in dem alle vordefinierten Funktionen und Variablen eingeführt werden.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
53 / 61

# Namensräume

- Ein Namensraum ist eine **Abbildung** von Namen auf Werte (innerhalb von Python oft durch ein `dict` realisiert).
- Innerhalb von Python gibt es:
  - den **Built-in**-Namensraum (`__builtins__`), in dem alle vordefinierten Funktionen und Variablen eingeführt werden.
  - den Namensräumen von **Modulen**, die importiert werden;

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
53 / 61

# Namensräume

- Ein Namensraum ist eine **Abbildung** von Namen auf Werte (innerhalb von Python oft durch ein `dict` realisiert).
- Innerhalb von Python gibt es:
  - den **Built-in**-Namensraum (`__builtins__`), in dem alle vordefinierten Funktionen und Variablen eingeführt werden.
  - den Namensräumen von **Modulen**, die importiert werden;
  - den **globalen** Namensraum (des Moduls `__main__`);

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
53 / 61

# Namensräume

- Ein Namensraum ist eine **Abbildung** von Namen auf Werte (innerhalb von Python oft durch ein `dict` realisiert).
- Innerhalb von Python gibt es:
  - den **Built-in**-Namensraum (`__builtins__`), in dem alle vordefinierten Funktionen und Variablen eingeführt werden.
  - den Namensraum von **Modulen**, die importiert werden;
  - den **globalen** Namensraum (des Moduls `__main__`);
  - den **lokalen** Namensraum innerhalb einer Funktion;

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
53 / 61

# Namensräume

- Ein Namensraum ist eine **Abbildung** von Namen auf Werte (innerhalb von Python oft durch ein `dict` realisiert).
- Innerhalb von Python gibt es:
  - den **Built-in**-Namensraum (`__builtins__`), in dem alle vordefinierten Funktionen und Variablen eingeführt werden.
  - den Namensraum von **Modulen**, die importiert werden;
  - den **globalen** Namensraum (des Moduls `__main__`);
  - den **lokalen** Namensraum innerhalb einer Funktion;
  - Namensräume haben verschiedene **Lebensdauern**; der **lokale Namensraum** einer Funktion existiert z.B. normalerweise nur während ihres Aufrufs.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
53 / 61

# Namensräume

- Ein Namensraum ist eine **Abbildung** von Namen auf Werte (innerhalb von Python oft durch ein `dict` realisiert).
  - Innerhalb von Python gibt es:
    - den **Built-in**-Namensraum (`__builtins__`), in dem alle vordefinierten Funktionen und Variablen eingeführt werden.
    - den Namensraum von **Modulen**, die importiert werden;
    - den **globalen** Namensraum (des Moduls `__main__`);
    - den **lokalen** Namensraum innerhalb einer Funktion;
    - Namensräume haben verschiedene **Lebensdauern**; der **lokale Namensraum** einer Funktion existiert z.B. normalerweise nur während ihres Aufrufs.
- Namensräume sind wie **Telefonvorwahlbereiche**. Sie sorgen dafür, dass gleiche Namen in verschiedenen Bereichen **nicht verwechselt** werden.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
53 / 61

# Namensräume

- Ein Namensraum ist eine **Abbildung** von Namen auf Werte (innerhalb von Python oft durch ein `dict` realisiert).
  - Innerhalb von Python gibt es:
    - den **Built-in**-Namensraum (`__builtins__`), in dem alle vordefinierten Funktionen und Variablen eingeführt werden.
    - den Namensraum von **Modulen**, die importiert werden;
    - den **globalen** Namensraum (des Moduls `__main__`);
    - den **lokalen** Namensraum innerhalb einer Funktion;
    - Namensräume haben verschiedene **Lebensdauern**; der **lokale Namensraum** einer Funktion existiert z.B. normalerweise nur während ihres Aufrufs.
- Namensräume sind wie **Telefonvorwahlbereiche**. Sie sorgen dafür, dass gleiche Namen in verschiedenen Bereichen **nicht verwechselt** werden.
- Auf gleiche Variablennamen in verschiedenen Namensräumen kann meist mit der Punkt-Notation zugegriffen werden.

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

`map`, `reduce`  
und `filter`

*Comprehension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
53 / 61



- Der Skopus (oder Gültigkeitsbereich) einer Variablen ist der **textuelle Bereich** in einem Programm, in dem die Variable ohne die Punkt-Notation zugegriffen werden kann – d.h. wo sie **sichtbar** ist.

- Der Skopus (oder Gültigkeitsbereich) einer Variablen ist der **textuelle Bereich** in einem Programm, in dem die Variable ohne die Punkt-Notation zugegriffen werden kann – d.h. wo sie **sichtbar** ist.
- Es gibt eine Hierarchie von Gültigkeitsbereichen, wobei der innere den äußeren normalerweise überschreibt!

- Der Skopus (oder Gültigkeitsbereich) einer Variablen ist der **textuelle Bereich** in einem Programm, in dem die Variable ohne die Punkt-Notation zugegriffen werden kann – d.h. wo sie **sichtbar** ist.
- Es gibt eine Hierarchie von Gültigkeitsbereichen, wobei der innere den äußeren normalerweise überschreibt!
- Wird ein Variablennamen gefunden, so wird **nacheinander versucht**:

- Der Skopus (oder Gültigkeitsbereich) einer Variablen ist der **textuelle Bereich** in einem Programm, in dem die Variable ohne die Punkt-Notation zugegriffen werden kann – d.h. wo sie **sichtbar** ist.
- Es gibt eine Hierarchie von Gültigkeitsbereichen, wobei der innere den äußeren normalerweise überschreibt!
- Wird ein Variablenname gefunden, so wird **nacheinander versucht**:
  - ihn im **lokalen** Bereich aufzulösen;

- Der Skopus (oder Gültigkeitsbereich) einer Variablen ist der **textuelle Bereich** in einem Programm, in dem die Variable ohne die Punkt-Notation zugegriffen werden kann – d.h. wo sie **sichtbar** ist.
- Es gibt eine Hierarchie von Gültigkeitsbereichen, wobei der innere den äußeren normalerweise überschreibt!
- Wird ein Variablenname gefunden, so wird **nacheinander versucht**:
  - ihn im **lokalen** Bereich aufzulösen;
  - ihn im **nicht-lokalen** Bereich aufzulösen;

- Der Skopus (oder Gültigkeitsbereich) einer Variablen ist der **textuelle Bereich** in einem Programm, in dem die Variable ohne die Punkt-Notation zugegriffen werden kann – d.h. wo sie **sichtbar** ist.
- Es gibt eine Hierarchie von Gültigkeitsbereichen, wobei der innere den äußeren normalerweise überschreibt!
- Wird ein Variablenname gefunden, so wird **nacheinander versucht**:
  - ihn im **lokalen** Bereich aufzulösen;
  - ihn im **nicht-lokalen** Bereich aufzulösen;
  - ihn im **globalen** Bereich aufzulösen;

- Der Skopus (oder Gültigkeitsbereich) einer Variablen ist der **textuelle Bereich** in einem Programm, in dem die Variable ohne die Punkt-Notation zugegriffen werden kann – d.h. wo sie **sichtbar** ist.
- Es gibt eine Hierarchie von Gültigkeitsbereichen, wobei der innere den äußeren normalerweise überschreibt!
- Wird ein Variablennamen gefunden, so wird **nacheinander versucht**:
  - ihn im **lokalen** Bereich aufzulösen;
  - ihn im **nicht-lokalen** Bereich aufzulösen;
  - ihn im **globalen** Bereich aufzulösen;
  - ihn im **Builtin**-Namensraum aufzulösen.

- Gibt es eine **Zuweisung** im aktuellen Skopus, so wird von einem lokalen Namen ausgegangen (außer es gibt andere Deklarationen):



- Gibt es eine **Zuweisung** im aktuellen Skopus, so wird von einem lokalen Namen ausgegangen (außer es gibt andere Deklarationen):
  - „global *varname*“ bedeutet, dass *varname* in der **globalen** Umgebung gesucht werden soll.

- Gibt es eine **Zuweisung** im aktuellen Skopus, so wird von einem lokalen Namen ausgegangen (außer es gibt andere Deklarationen):
  - „global *varname*“ bedeutet, dass *varname* in der **globalen** Umgebung gesucht werden soll.
  - „nonlocal *varname*“ bedeutet, dass *varname* in der **nicht-lokalen** Umgebung gesucht werden soll, d.h. in den umgebenden Funktionsdefinitionen.

- Gibt es eine **Zuweisung** im aktuellen Skopus, so wird von einem lokalen Namen ausgegangen (außer es gibt andere Deklarationen):
  - „global *varname*“ bedeutet, dass *varname* in der **globalen** Umgebung gesucht werden soll.
  - „nonlocal *varname*“ bedeutet, dass *varname* in der **nicht-lokalen** Umgebung gesucht werden soll, d.h. in den umgebenden Funktionsdefinitionen.
- Gibt es keine Zuweisungen, wird in den umgebenden Namensräumen gesucht.

- Gibt es eine **Zuweisung** im aktuellen Skopus, so wird von einem lokalen Namen ausgegangen (außer es gibt andere Deklarationen):
  - „global *varname*“ bedeutet, dass *varname* in der **globalen** Umgebung gesucht werden soll.
  - „nonlocal *varname*“ bedeutet, dass *varname* in der **nicht-lokalen** Umgebung gesucht werden soll, d.h. in den umgebenden Funktionsdefinitionen.
- Gibt es keine Zuweisungen, wird in den umgebenden Namensräumen gesucht.
- Kann ein Namen nicht aufgelöst werden, dann gibt es eine Fehlermeldung.

# Ein Beispiel für Namensräume und Gültigkeitsbereiche (1)

scope.py

```
def scope_test():
    def do_local():
        spam = "local spam"
    def do_nonlocal():
        nonlocal spam
        spam = "nonlocal spam"
    def do_global():
        global spam
        spam = "global spam"
    spam = "test spam"
    do_local()
    print("After local assignment:", spam)
    do_nonlocal()
    print("After nonlocal assignment:", spam)
    do_global()
    print("After global assignment:", spam)
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
56 / 61

# Ein Beispiel für Namensräume und Gültigkeitsbereiche (2)

Python-Interpreter

```
>>> scope_test()
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

**Schachtelung  
und Skopus**

Closures  
57 / 61

# Ein Beispiel für Namensräume und Gültigkeitsbereiche (2)

## Python-Interpreter

```
>>> scope_test()
```

```
After local assignment: test spam
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
57 / 61

# Ein Beispiel für Namensräume und Gültigkeitsbereiche (2)

## Python-Interpreter

```
>>> scope_test()
```

```
After local assignment: test spam
```

```
After nonlocal assignment: nonlocal spam
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
57 / 61



# Ein Beispiel für Namensräume und Gültigkeitsbereiche (2)

## Python-Interpreter

```
>>> scope_test()
```

```
After local assignment: test spam
```

```
After nonlocal assignment: nonlocal spam
```

```
After global assignment: nonlocal spam
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
57 / 61

# Ein Beispiel für Namensräume und Gültigkeitsbereiche (2)

## Python-Interpreter

```
>>> scope_test()  
After local assignment: test spam  
After nonlocal assignment: nonlocal spam  
After global assignment: nonlocal spam  
>>> print(In global scope:", spam)
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
57 / 61

# Ein Beispiel für Namensräume und Gültigkeitsbereiche (2)

## Python-Interpreter

```
>>> scope_test()
After local assignment: test spam
After nonlocal assignment: nonlocal spam
After global assignment: nonlocal spam
>>> print(In global scope:", spam)
In global scope: global spam
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
57 / 61

# Closures

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
58 / 61

Ein *Closure* (oder Funktionsabschluss) ist eine Funktion, bzw. eine Referenz auf eine Funktion, die Zugriff auf einen eigenen Erstellungskontext enthält. Beim Aufruf greift die Funktion dann auf diesen Erstellungskontext zu. Dieser Kontext (Speicherbereich, Zustand) ist außerhalb der Funktion nicht referenzierbar, d.h. nicht sichtbar. Closure beinhaltet zugleich Referenz auf die Funktion und den Erstellungskontext - die Funktion und die zugehörige Speicherstruktur sind in einer Referenz untrennbar abgeschlossen (closed term).

Wikipedia

# Closures in Python

- In Python ist eine Closure einfach eine von einer anderen Funktion zurückgegebene Funktion (die nicht-lokale Referenzen enthält):

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehension*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures

60 / 61

# Closures in Python

- In Python ist eine Closure einfach eine von einer anderen Funktion zurückgegebene Funktion (die nicht-lokale Referenzen enthält):

## Python-Interpreter

```
>>> def add_x(x):
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures

60 / 61

# Closures in Python

- In Python ist eine Closure einfach eine von einer anderen Funktion zurückgegebene Funktion (die nicht-lokale Referenzen enthält):

## Python-Interpreter

```
>>> def add_x(x):  
...     def adder(num):
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
60 / 61



# Closures in Python

- In Python ist eine Closure einfach eine von einer anderen Funktion zurückgegebene Funktion (die nicht-lokale Referenzen enthält):

## Python-Interpreter

```
>>> def add_x(x):  
...     def adder(num):  
...         # adder is a closure  
...         # x is a free variable
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures

60 / 61

# Closures in Python

- In Python ist eine Closure einfach eine von einer anderen Funktion zurückgegebene Funktion (die nicht-lokale Referenzen enthält):

## Python-Interpreter

```
>>> def add_x(x):  
...     def adder(num):  
...         # adder is a closure  
...         # x is a free variable  
...         return x + num
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
60 / 61

# Closures in Python

- In Python ist eine Closure einfach eine von einer anderen Funktion zurückgegebene Funktion (die nicht-lokale Referenzen enthält):

## Python-Interpreter

```
>>> def add_x(x):
...     def adder(num):
...         # adder is a closure
...         # x is a free variable
...         return x + num
...     return adder
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
60 / 61

# Closures in Python

- In Python ist eine Closure einfach eine von einer anderen Funktion zurückgegebene Funktion (die nicht-lokale Referenzen enthält):

## Python-Interpreter

```
>>> def add_x(x):  
...     def adder(num):  
...         # adder is a closure  
...         # x is a free variable  
...         return x + num  
...     return adder  
...  
...
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
60 / 61

# Closures in Python

- In Python ist eine Closure einfach eine von einer anderen Funktion zurückgegebene Funktion (die nicht-lokale Referenzen enthält):

## Python-Interpreter

```
>>> def add_x(x):
...     def adder(num):
...         # adder is a closure
...         # x is a free variable
...         return x + num
...     return adder
...
>>> add_5 = add_x(5); add_5
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

*Comprehen-  
sion*

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures

60 / 61

# Closures in Python

- In Python ist eine Closure einfach eine von einer anderen Funktion zurückgegebene Funktion (die nicht-lokale Referenzen enthält):

## Python-Interpreter

```
>>> def add_x(x):
...     def adder(num):
...         # adder is a closure
...         # x is a free variable
...         return x + num
...     return adder
...
>>> add_5 = add_x(5); add_5
<function adder at ...>
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures

60 / 61

# Closures in Python

- In Python ist eine Closure einfach eine von einer anderen Funktion zurückgegebene Funktion (die nicht-lokale Referenzen enthält):

## Python-Interpreter

```
>>> def add_x(x):
...     def adder(num):
...         # adder is a closure
...         # x is a free variable
...         return x + num
...     return adder
...
>>> add_5 = add_x(5); add_5
<function adder at ...>
>>> add_5(10)
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures

60 / 61

# Closures in Python

- In Python ist eine Closure einfach eine von einer anderen Funktion zurückgegebene Funktion (die nicht-lokale Referenzen enthält):

## Python-Interpreter

```
>>> def add_x(x):
...     def adder(num):
...         # adder is a closure
...         # x is a free variable
...         return x + num
...     return adder
...
>>> add_5 = add_x(5); add_5
<function adder at ...>
>>> add_5(10)
15
```

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures

60 / 61



# Closures in der Praxis

- *Closures* treten immer aus, wenn Funktionen von anderen Funktionen erzeugt werden.
- Manchmal gibt es keine Umgebung, die für die erzeugte Funktion wichtig ist.
- Oft wird eine erzeugte Funktion aber **parametrisiert**, wie in unserem Beispiel oder bei den parametrisierten Dekoratoren.
- Innehalb von Closures kann auch zusätzlich der **Zustand** gekapselt werden, wenn auf **nonlocal** Variablen schreibend zugegriffen wird.
- In den beiden letzteren Fällen wird die **Lebenszeit** eines Namensraum nicht notwendig bei Verlassen einer Funktion beendet!

Informatik I

Bernhard  
Nebel

Funktionale  
Programmierung

FP in Python

Funktionen  
definieren  
und  
verwenden

Lambda-  
Notation

map, reduce  
und filter

Comprehen-  
sion

Dekoratoren

Schachtelung  
und Skopus

Closures  
61 / 61