

Informatik I: Einführung in die Programmierung

26. Funktionale Programmierung in Python

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg



Bernhard Nebel

26.01.2016

1 Was ist funktionale Programmierung?



Funktionale
Programmie-
rung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehen-
sion

Dekoratoren

Schachte-
lung und
Skopus

Closures

26.01.2016

B. Nebel – Info I

3 / 70

Programmierparadigmen



Funktionale
Programmie-
rung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehen-
sion

Dekoratoren

Schachte-
lung und
Skopus

Closures

- 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.

26.01.2016

B. Nebel – Info I

4 / 70

Imperative Programmierparadigmen



Funktionale
Programmie-
rung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehen-
sion

Dekoratoren

Schachte-
lung und
Skopus

Closures

- **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++.

26.01.2016

B. Nebel – Info I

5 / 70

■ 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

Funktionale
Programmierung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehen-
sion

Dekoratoren

Schachte-
lung und
Skopus

Closures

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.

Funktionale
Programmierung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehen-
sion

Dekoratoren

Schachte-
lung und
Skopus

Closures

Funktionale
Programmierung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehen-
sion

Dekoratoren

Schachte-
lung und
Skopus

Closures

- 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**.

Funktionale
Programmierung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehen-
sion

Dekoratoren

Schachte-
lung und
Skopus

Closures

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 durch 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*.

Funktionale Programmierung
FP in Python
Funktionen definieren und verwenden
Lambda-Notation
map, reduce und filter
Comprehension
Dekoratoren
Schachtelung und Skopus
Closures

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
```

Funktionale Programmierung
FP in Python
Funktionen definieren und verwenden
Lambda-Notation
map, reduce und filter
Comprehension
Dekoratoren
Schachtelung und Skopus
Closures

3 Funktionen definieren und verwenden

Funktionale Programmierung
FP in Python
Funktionen definieren und verwenden
Lambda-Notation
map, reduce und filter
Comprehension
Dekoratoren
Schachtelung und Skopus
Closures

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.

Funktionale Programmierung
FP in Python
Funktionen definieren und verwenden
Lambda-Notation
map, reduce und filter
Comprehension
Dekoratoren
Schachtelung und Skopus
Closures

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
```

Funktionale Programmierung
FP in Python
Funktionen definieren und verwenden
Lambda-Notation
map, reduce und filter
Comprehension
Dekoratoren
Schachtelung und Skopus
Closures

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

Python-Interpreter

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

Funktionale Programmierung
FP in Python
Funktionen definieren und verwenden
Lambda-Notation
map, reduce und filter
Comprehension
Dekoratoren
Schachtelung und Skopus
Closures

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

Funktionale Programmierung
FP in Python
Funktionen definieren und verwenden
Lambda-Notation
map, reduce und filter
Comprehension
Dekoratoren
Schachtelung und Skopus
Closures

Funktionale Programmierung
FP in Python
Funktionen definieren und verwenden
Lambda-Notation
map, reduce und filter
Comprehension
Dekoratoren
Schachtelung und Skopus
Closures

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!

Funktionale
Programmierung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehen-
sion

Dekoratoren

Schachte-
lung und
Skopus

Closures

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

Funktionale
Programmierung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehen-
sion

Dekoratoren

Schachte-
lung und
Skopus

Closures

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 Beispiel kommen noch ...
- **Übrigens:** Mit Lambda-Notation definierte Funktionen sind Seiteneffekt-frei (wenn die aufgerufenen Funktionen es sind)!

Funktionale
Programmierung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehen-
sion

Dekoratoren

Schachte-
lung und
Skopus

Closures

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
```

Funktionale
Programmierung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehen-
sion

Dekoratoren

Schachte-
lung und
Skopus

Closures

5 Funktionen höherer Ordnung: map, reduce und filter



UNI
FREIBURG

Funktionale
Programmie-
rung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehen-
sion

Dekoratoren

Schachte-
lung und
Skopus

Closures

26.01.2016

B. Nebel – Info I

26 / 70

map: Anwendung einer Funktion auf Listen und Iteratoren



UNI
FREIBURG

Funktionale
Programmie-
rung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehen-
sion

Dekoratoren

Schachte-
lung und
Skopus

Closures

- 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]
```

26.01.2016

B. Nebel – Info I

27 / 70

Anwendungsbeispiel für map



UNI
FREIBURG

Funktionale
Programmie-
rung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehen-
sion

Dekoratoren

Schachte-
lung und
Skopus

Closures

- 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))
```

26.01.2016

B. Nebel – Info I

28 / 70

reduce: Reduktion eines iterierbaren Objekts auf ein Element



UNI
FREIBURG

Funktionale
Programmie-
rung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehen-
sion

Dekoratoren

Schachte-
lung und
Skopus

Closures

- 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
```

26.01.2016

B. Nebel – Info I

29 / 70

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 Quadrate seiner Schlüssel enthält.

Funktionale Programmierung

FP in Python

Funktionen definieren und verwenden

Lambda-Notation

map, reduce und filter

Comprehension

Dekoratoren

Schachtelung und Skopus

Closures

26.01.2016

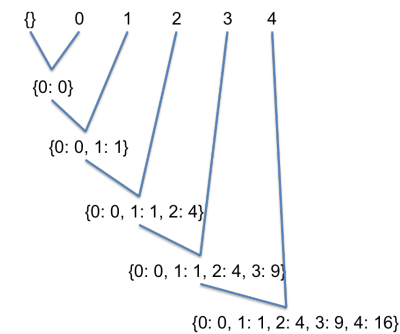
B. Nebel – Info I

30 / 70

Anwendung von reduce (2)



■ Was genau wird da schrittweise reduziert?



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

Funktionale Programmierung

FP in Python

Funktionen definieren und verwenden

Lambda-Notation

map, reduce und filter

Comprehension

Dekoratoren

Schachtelung und Skopus

Closures

26.01.2016

B. Nebel – Info I

31 / 70

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]
```

Funktionale Programmierung

FP in Python

Funktionen definieren und verwenden

Lambda-Notation

map, reduce und filter

Comprehension

Dekoratoren

Schachtelung und Skopus

Closures

26.01.2016

B. Nebel – Info I

32 / 70

6 Listen-, Generator-, dict- und Mengen-Comprehension



Funktionale Programmierung

FP in Python

Funktionen definieren und verwenden

Lambda-Notation

map, reduce und filter

Comprehension

Dekoratoren

Schachtelung und Skopus

Closures

26.01.2016

B. Nebel – Info I

34 / 70

Listen-Comprehension



Funktionale Programmierung
FP in Python
Funktionen definieren und verwenden
Lambda-Notation
map, reduce und filter
Comprehension
Dekoratoren
Schachtelung und Skopus
Closures

- 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 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 ϕ 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.

Generelle Syntax von Listen-Comprehensions



Funktionale Programmierung
FP in Python
Funktionen definieren und verwenden
Lambda-Notation
map, reduce und filter
Comprehension
Dekoratoren
Schachtelung und Skopus
Closures

```
[ 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']
```

Geschachtelte Listen-Comprehensions (1)



Funktionale Programmierung
FP in Python
Funktionen definieren und verwenden
Lambda-Notation
map, reduce und filter
Comprehension
Dekoratoren
Schachtelung und Skopus
Closures

- 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]]
```

Geschachtelte Listen-Comprehensions (2)



Funktionale Programmierung
FP in Python
Funktionen definieren und verwenden
Lambda-Notation
map, reduce und filter
Comprehension
Dekoratoren
Schachtelung und Skopus
Closures

- 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]]
```


Listen-Comprehensions: Kartesisches Produkt



UNI
FREIBURG

- 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')] 
```

Funktionale
Programmierung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehension

Dekoratoren

Schachtelung
und
Skopus

Closures

Generator-Comprehension



UNI
FREIBURG

- 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)])`.

Funktionale
Programmierung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehension

Dekoratoren

Schachtelung
und
Skopus

Closures

Comprehension für Dictionaries, Mengen, etc. (1)



UNI
FREIBURG

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} 
```

Funktionale
Programmierung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehension

Dekoratoren

Schachtelung
und
Skopus

Closures

Comprehension für Dictionaries, Mengen, etc. (2)



UNI
FREIBURG

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} 
```

Funktionale
Programmierung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehension

Dekoratoren

Schachtelung
und
Skopus

Closures

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(iterable)** 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
```

Funktionale Programmierung

FP in Python

Funktionen definieren und verwenden

Lambda-Notation

map, reduce und filter

Comprehension

Dekoratoren

Schachtelung und Skopus

Closures

7 Dekoratoren



Funktionale Programmierung

FP in Python

Funktionen definieren und verwenden

Lambda-Notation

map, reduce und filter

Comprehension

Dekoratoren

Schachtelung und Skopus

Closures

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.

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

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

können wir auch schreiben:

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

Funktionale Programmierung

FP in Python

Funktionen definieren und verwenden

Lambda-Notation

map, reduce und filter

Comprehension

Dekoratoren

Schachtelung und Skopus

Closures

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 ...

Funktionale Programmierung

FP in Python

Funktionen definieren und verwenden

Lambda-Notation

map, reduce und filter

Comprehension

Dekoratoren

Schachtelung und Skopus

Closures

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")
```

Funktionale
Programmierung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehen-
sion

Dekoratoren

Schachte-
lung und
Skopus

Closures

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 ...

Funktionale
Programmierung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehen-
sion

Dekoratoren

Schachte-
lung und
Skopus

Closures

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
```

Funktionale
Programmierung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehen-
sion

Dekoratoren

Schachte-
lung und
Skopus

Closures

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
```

Funktionale
Programmierung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehen-
sion

Dekoratoren

Schachte-
lung und
Skopus

Closures

Einen Dekorator selbst definieren (4)



Funktionale
Programmierung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehen-
sion

Dekoratoren

Schachte-
lung und
Skopus

Closures

Dekoratoren 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
```

26.01.2016

B. Nebel – Info I

52 / 70

Dekoratoren: docstring und __name__ (1)



Funktionale
Programmierung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehen-
sion

Dekoratoren

Schachte-
lung und
Skopus

Closures

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

`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
```

26.01.2016

B. Nebel – Info I

53 / 70

Dekoratoren: docstring und __name__ (2)



Funktionale
Programmierung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehen-
sion

Dekoratoren

Schachte-
lung und
Skopus

Closures

- 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
```

26.01.2016

B. Nebel – Info I

54 / 70

Parametrische Dekoratoren (1)



Funktionale
Programmierung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehen-
sion

Dekoratoren

Schachte-
lung und
Skopus

Closures

- Wir wollen einen Dekorator schreiben, 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'
```

26.01.2016

B. Nebel – Info I

55 / 70

Parametrische Dekoratoren (2)



UNI
FREIBURG

- Manchmal sollen es 3 Zeichen sein, manchmal 6!

`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'
```

Funktionale
Programmierung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehen-
sion

Dekoratoren

Schachte-
lung und
Skopus

Closures

26.01.2016

B. Nebel – Info I

56 / 70

Parametrische Dekoratoren (3)



UNI
FREIBURG

- 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?

Funktionale
Programmierung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehen-
sion

Dekoratoren

Schachte-
lung und
Skopus

Closures

26.01.2016

B. Nebel – Info I

57 / 70

8 Funktionsschachtelung, Namensräume und Skopus



UNI
FREIBURG

Funktionale
Programmierung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehen-
sion

Dekoratoren

Schachte-
lung und
Skopus

Closures

26.01.2016

B. Nebel – Info I

59 / 70

Geschachtelte Funktionsdefinitionen



UNI
FREIBURG

- 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.

Funktionale
Programmierung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehen-
sion

Dekoratoren

Schachte-
lung und
Skopus

Closures

26.01.2016

B. Nebel – Info I

60 / 70

- 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__`) mit allen vordefinierten Funktionen und Variablen;
 - 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.

Funktionale Programmierung
FP in Python
Funktionen definieren und verwenden
Lambda-Notation
map, reduce und filter
Comprehension
Dekoratoren
Schachtelung und Skopus
Closures

- 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 **Built-in**-Namensraum aufzulösen.

Funktionale Programmierung
FP in Python
Funktionen definieren und verwenden
Lambda-Notation
map, reduce und filter
Comprehension
Dekoratoren
Schachtelung und Skopus
Closures

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)
```

Funktionale Programmierung
FP in Python
Funktionen definieren und verwenden
Lambda-Notation
map, reduce und filter
Comprehension
Dekoratoren
Schachtelung und Skopus
Closures

Ein Beispiel für Namensräume und Gültigkeitsbereiche (2)



UNI
FREIBURG

Funktionale
Programmie-
rung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehen-
sion

Dekoratoren

Schachte-
lung und
Skopus

Closures

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

9 Closures



UNI
FREIBURG

Funktionale
Programmie-
rung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehen-
sion

Dekoratoren

Schachte-
lung und
Skopus

Closures

Closures



UNI
FREIBURG

Funktionale
Programmie-
rung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehen-
sion

Dekoratoren

Schachte-
lung und
Skopus

Closures

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



UNI
FREIBURG

Funktionale
Programmie-
rung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehen-
sion

Dekoratoren

Schachte-
lung und
Skopus

Closures

- 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
```

- *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.
- Innerhalb 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!

Funktionale
Programmierung

FP in Python

Funktionen
definieren
und
verwenden

Lambda-
Notation

map,
reduce und
filter

Comprehen-
sion

Dekoratoren

Schachte-
lung und
Skopus

Closures