Informatik I: Einführung in die Programmierung

13. Objekt-orientierte Programmierung: Aggregierung, Invarianten, Datenkapselung, Properties, Operator-Überladung und magische Methoden
Dictionaries und Mengen

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Peter Thiemann

08.01.2019

1 Aggregierung

Zusammengesetzte Objekte

- Oft sind Objekte aus anderen Objekten zusammengesetzt.
- Methodenaufrufe an ein Objekt führen dann zu Methodenaufrufen auf eingebetteten Objekten.
- Beispiel: ein zusammengesetztes 2D-Objekt, das andere 2D-Objekte enthält, z.B. einen Kreis und ein Rechteck.

Die Klasse CompositeObject (1)

- Jede Instanz ist ein 2D-Objekt, aber eine Position macht keinen Sinn.
- Zusätzlich hat jede Instanz als Attribut eine Liste von 2D-Objekten.

newgeoclasses.py (1)

```
class CompositeObject(TwoDObject):
    def __init__(self, objs=(), **kwargs):
        self.objects = list(objs)
        super().__init__(None, None)

    def add(self, obj):
        self.objects.append(obj)

    def rem(self, obj):
        self.objects.remove(obj)
   ...
```

Die CompositeObject-Klasse (2)

- Die Methoden `size_change`, `move` und `position` werden überschrieben.
- Wir wälzen das Ändern und Verschieben des zusammengesetzten Objektes auf die Einzelobjekte ab: Delegieren.

`newgeoclasses.py (2)`

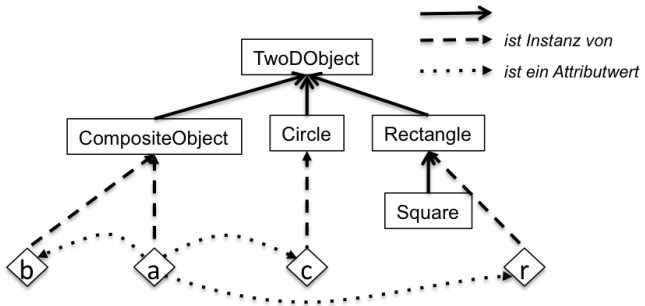
```
    def size_change(self, percent):
        for obj in self.objects:
            obj.size_change(percent)

    def move(self, xchange, ychange):
        for obj in self.objects:
            obj.move(xchange, ychange)

    def position(self):
        return self.objects[0].position() if self.objects else None
```

Die CompositeObject-Klasse (3)

Python-Interpreter

```
>>> c = Circle(x=1,y=2); r = Rectangle(10,10)
>>> a = CompositeObject((r,c))
>>> a.size_change(200)
>>> r.area()
400.0
>>> a.move(40,40)
>>> a.position()
(40, 40)
>>> c.position()
(41, 42)
>>> b = CompositeObject()
>>> a.add(b)
>>> a.move(-10, -10)
>>> b.position()
```

Vererbung und Komposition



2 Properties

Zugriff auf Attribute kontrollieren: Getter und Setter

- Gewünscht: Kontrolle über das Abfragen und Setzen von Attributwerten.
  - Invarianten zwischen Attributwerten sollen respektiert werden.
    Es soll nicht möglich sein, unsinnige Attributwerte zu setzen.
  - Der Zustand eines Objekts soll gekapselt werden.
- In anderen Sprachen können Attribute als privat deklariert werden.
  - Nur Methoden des zugehörigen Objekts können sie lesen bzw. ändern.
  - Sie sind unsichtbar für Objekte anderer Klassen.
  - Datenkapselung; Invarianten können garantiert werden.
- Für den Zugriff durch andere Objekte werden (häufig) Getter- und (seltener) Setter-Methoden bereitgestellt.
  - Eine Getter-Methode liest ein privates Attribut.
  - Eine Setter-Methode schreibt ein privates Attribut.
- In Python sind Attribute im wesentlichen *öffentlich*, aber sie können durch Getter und Setter als Properties geschützt werden.

Datenkapselung und Invarianten

Definition: Dateninvariante

Eine Dateninvariante ist eine logische Aussage über die Attribute eines Objekts, die während der gesamten Lebensdauer des Objekts erfüllt sein muss.

- Der Konstruktor muss die Dateninvariante sicherstellen.
- Die Methoden müssen die Dateninvariante erhalten.
- Unbewachtes Ändern eines Attributs kann die Dateninvariante zerstören.

Definition: Datenkapselung

Attribute (Objektzustand) können nicht direkt gelesen oder geändert werden.

- Die Interaktion mit einem Objekt geschieht nur durch Methoden.
- Die Implementierung (Struktur des Objektzustands) kann verändert werden, ohne dass andere Teile des Programms geändert werden müssen.

Beispiel Invariante: Radius eines Kreises

- **Invariante**
  Das Attribut `radius` der Klasse `Circle` soll immer größer als Null sein.
- **Regel 1:** Jede Invariante **muss** im docstring der Klasse dokumentiert sein!

```
class Circle(TwoDObject):
    '''Represents a circle in the plane.

    Attributes:
        radius: a number indicating the radius of the circle
        x, y: inherited from TwoDObject

    Invariants:
        radius > 0
    '''
    def __init__(self, radius=1, **kwargs):
        self.radius = radius
        super().__init__(**kwargs)
```

Beispiel Invariant: Radius eines Kreises

- Der docstring kann Verletzungen der Invariante nicht verhindern...
- **Regel 2**: Der Konstruktor muss die Einhaltung der Invariante prüfen!
- Die Prüfung geschieht durch eine Assertion. Verletzung führt zu einer Exception (Ausname).

```
class Circle(TwoDObject):
    ...
    def __init__(self, radius=1, **kwargs):
        assert radius > 0, "radius␣should␣be␣greater␣than␣0"
        self.radius = radius
        super().__init__(**kwargs)
```

Was passiert?

- Bei falschem Aufruf des Konstruktors wird eine Exception ausgelöst.

Python-Interpreter

```
>>> c = Circle (x=10,y=20, radius=-3)
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
  File ".../properties.py", line 46, in __init__
    assert radius > 0, "radius should be greater than 0"
AssertionError: radius should be greater than 0
```

Beispiel: Radius eines Kreises

- Ein böswilliger Mensch kann folgenden Code schreiben:

```
c = Circle(x=20, y=20, radius=5)
c.radius = -3  ## object invariant broken
```

- **Regel 3**: Das Attribut `radius` muss als Property ohne Setter definiert werden!

```
class Circle(TwoDObject):
    ...
    def __init__(self, radius=1, **kwargs):
        assert radius > 0, "radius␣should␣be␣greater␣than␣0"
        self.__radius = radius
        super().__init__(**kwargs)

    @property
    def radius (self):
        return self.__radius
```

Was passiert?

- Der Attributwert für den Radius wird im Feld `__radius` des Objekts gespeichert.
  Felder, deren Name mit `__` beginnt, sind von außen nicht ohne weiteres zugreifbar!
- `radius` ist nun eine völlig normale Methode, der Getter für `radius`.
- Die Dekoration mit `@property` bewirkt, dass `radius` wie ein Attribut verwendet werden kann.
- Ein Attributzugriff `c.radius` wird als Methodenaufruf `c.radius()` interpretiert.

Python-Interpreter

```
>>> c = Circle (x=10,y=20, radius=3)
>>> c.radius
3
>>> c.x = -3
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
AttributeError: can't set attribute
```

Zusammenfassung Invariante

Eine (Daten-) Invariante ist eine logische Aussage über die Attribute eines Objekts, die während der gesamten Lebensdauer des Objekts erfüllt sein muss.

Regeln zu Dateninvarianten

1. Jede Invariante muss im docstring der Klasse dokumentiert sein!
2. Der Konstruktor muss die Einhaltung der Invariante prüfen!
3. Die Attribute, die in der Invariante erwähnt werden, müssen als Properties ohne Setter definiert werden!

Beispiel: Datenkapselung

Aufgabe

Ein Zeichenprogramm verwendet Punkte in der Ebene. Die Hauptoperation auf Punkten ist die Drehung (um den Ursprung) um einen bestimmten Winkel.

Erster Versuch

```
class Point2D:
    def __init__(self, x, y):
        self.x = x
        self.y = y

    def turn(phi):
        self.x, self.y = (self.x * cos(phi) - self.y * sin(phi)
                          ,self.x * sin(phi) + self.y * cos(phi))
```

Was passiert?

Python-Interpreter

```
>>> pp = Point2D(1,0)
>>> pp.x, pp.y
(1, 0)
>>> pp.turn(pi/2)
>>> pp.x, pp.y
(6.123233995736766e-17, 1.0)
>>> pp.y = -1
>>> pp.turn (pi/2)
>>> pp.x, pp.y
(1.0, 0.0)
```

Beobachtungen

- Das Interface von `Point2D` Objekten besteht aus den Attributen `x`, `y` und der Methode `turn()`.
- Jeder Aufruf von `turn()` erfordert vier trigonometrische Operationen (naja, mindestens zwei), die vergleichsweise aufwändig sind.
- Möglichkeit zur Vermeidung dieser Operationen: Ändere die Datenrepräsentation von rechtwinkligen Koordinaten (x, y) in Polarkoordinaten (r, ϑ). In Polarkoordinaten entspricht eine Drehung um φ der Addition der Winkel $\vartheta + \varphi$.
- Aber: das Interface soll erhalten bleiben!
- Ein Fall für Datenkapselung mit Gettern **und** Settern!
- (keine Invariante: `x` und `y` sind beliebige Zahlen!)

Datenkapselung: Änderung der Repräsentation ohne Änderung des Interface

```
class PointPolar:
    def __init__ (self, x, y):
        self.set_xy (x, y)

    def set_xy (self, x, y):
        self.__r = sqrt (x*x + y*y)
        self.__theta = atan2 (y, x)

    def turn (self, phi):
        self.__theta += phi
    ...
```

- Repräsentation durch Polarkoordinaten
- Interne Attribute `__r` und `__theta` von außen nicht zugreifbar

Datenkapselung: Interface rechtwinklige Koordinaten

```
    @property
    def x (self):
        return self.__r * cos (self.__theta)
    @property
    def y (self):
        return self.__r * sin (self.__theta)
    @x.setter
    def x (self, x):
        self.set_xy (x, self.y)
    @y.setter
    def y (self, y):
        self.set_xy (self.x, y)
```

- Definition der Getter wie gehabt.
- Definition der Setter dekoriert mit `@x.setter`, wobei `x` der Propertyname ist.
- Methodendefinition für den Propertynamen mit einem Parameter (+ self).
- Eine Zuweisung `p.x = v` wird interpretiert als Methodenaufruf `p.x(v)`.

Was passiert? Exakt das Gleiche wie mit `Point2D`!

Python-Interpreter

```
>>> pp = PointPolar(1,0)
>>> pp.x, pp.y
(1, 0)
>>> pp.turn(pi/2)
>>> pp.x, pp.y
(6.123233995736766e-17, 1.0)
>>> pp.y = -1
>>> pp.turn (pi/2)
>>> pp.x, pp.y
(1.0, 0.0)
```

Weitere Möglichkeiten

- Intern könnte der Punkt **beide** Repräsentationen vorhalten.
- Nur die jeweils benötigte Repräsentation wird berechnet.
- Transformationen werden immer in der günstigsten Repräsentation ausgeführt:
  Rotation in Polarkoordinaten, Translation in rechtwinkligen Koordinaten

3 Operator-Überladung

Überladung von Operatoren

- Ein Operator ist überladen (operator overloading), wenn dieser Operator je nach Typ der Argumente (und ggf. dem Kontext) unterschiedlich definiert ist.
- Traditionell sind die arithmetischen Operatoren in vielen Programmiersprachen für alle numerischen Typen überladen.
- In Python sind außerdem die Operatoren „+“ und „*“ für Strings überladen.
- In Python können gewisse Operatoren überladen werden, wobei nur der Typ der Argumente berücksichtigt wird.
- Überladung ist immer mit Vorsicht zu geniessen:
  - Falls ein Operator wie „+“ überladen ist, ist es im Programmtext nicht offensichtlich, welcher Code ausgeführt wird.
  - Eine Überladung dart nicht “die Intuition” eines Operators verletzen.
  - Beispiel: „+“ (auf Zahlen) hat Eigenschaften wie Kommutativität, Assoziativität, 0 als neutrales Element, etc, die durch Überladung nicht gestört werden sollten.

Beispiel: Addition für 2D-Punkte

point2d.py (1)

```
class Point2D:
    ...
    def __add__ (self, other):
        return Point2D (self.x + other.x, self.y + other.y)
```

- Die “magische Methode” `__add__` definiert die Überladung des „+“-Operators.
- Wenn `pp = Point2D (...)`, dann wird eine “Addition” `pp + v` als Methodenaufruf `pp.__add__(v)` interpretiert.
- Was fehlt hier?
- Was passiert, wenn `other` keine Instanz von `Point2D` ist?

Beispiel: Addition für 2D-Punkte

point2d.py

```
class Point2D:
    ...
    def __add__ (self, other):
        if isinstance (other, Point2D):
            return Point2D (self.x + other.x, self.y + other.y)
        else:
            raise TypeError ("Cannot␣add␣Point2D␣and␣" + str (type (other)))
```

- Der Funktionsaufruf `isinstance (other, Point2D)` testet, ob `other` eine Instanz von `Point2D` ist.
- Hier wird eine Exception erzeugt, aber alles ist möglich (aber nicht unbedingt sinnvoll).

Beispiel: Multiplikation für 2D-Punkte

mit den magischen Methoden `__mul__` und `__rmul__`

UNI FREIBURG

point2d.py

```
class Point2D:
    ...
    def __mul__ (self, other):
        if isinstance (other, Point2D):     # scalar product
            return self.x * other.x + self.y * other.y
        elif isinstance (other, numbers.Number): # scalar multiplication
            return Point2D (other * self.x, other * self.y)
        else:
            raise TypeError ("Cannot multiply Point2D and " + str (type (other)))

    def __rmul__ (self, other):
        if isinstance (other, numbers.Number):
            return Point2D (other * self.x, other * self.y)
        else:
            raise TypeError ("Cannot multiply " + str (type (other)) + " and Point2D")
```

Was passiert?

Python-Interpreter

```
>>> p1 = Point2D (1,0)
>>> p1.x, p1.y
(1, 0)
>>> p2 = p1 * 42 # multiply p1 with a number
>>> p2.x, p2.y # yields a point
(42, 0)
>>> w = p1 * p2 # multiply two points
>>> w # yields a number
42
>>> p3 = 3 * p1 # multiply a number with a point
>>> p3.x, p3.y # yields a point
(3, 0)
```

Was passiert intern?

- `p1 * 42` entspricht `p1.__mul__(42)`; `other` ist eine Zahl
- `p1 * p2` entspricht `p1.__mul__(p2)`; `other` ist eine Instanz von `Point2D`
- `3 * p1` entspricht ...
- `3.__mul__(p1)` ...— im Prinzip; kann so nicht eingegeben werden
- aber der Type `int` kann nicht mit einem `Point2D` multiplizieren und liefert den Wert `NotImplemented`.
- Daraufhin versucht Python `p1.__rmul__(3)`
- was ein Ergebnis liefert.
- Die arithmetischen Operatoren +, *, −, / und % können nach dem gleichen Muster überladen werden.

4 Der Zoo der magischen Methoden

- Allgemeine magische Methoden
- Numerische magische Methoden
- Zusammenfassung

Magische Methoden

- Methoden wie `__init__`, deren Namen mit zwei Unterstrichen beginnen und enden, heißen *magisch*.
- Es gibt eine Vielzahl an magischen Methoden, die z.B. verwendet werden können, um Operatoren wie + und % für eigene Klassen zu definieren.
- Magische Methoden wie `__add__` sind nicht prinzipiell anders als andere Methoden, aber wenn sie vorhanden sind, werden sie bei geeigneter Gelegenheit von Python intern aufgerufen.

Magische Methoden: Übersicht

Es gibt drei Arten von magischen Methoden:

- Allgemeine Methoden: verantwortlich für Objekterzeugung, Ausgabe und ähnliche grundlegende Dinge.
- Numerische Methoden: verantwortlich für Addition, Bitshift und ähnliches
- Container Methoden: verantwortlich für Indexzugriff, Slicing und ähnliches

Allgemeine magische Methoden

Die allgemeinen magischen Methoden werden weiter unterteilt:

- Konstruktion und Destruktion: `__init__`, `__new__`, `__del__`
- Vergleich und Hashing: `__eq__`, `__ne__`, `__ge__`, `__gt__`, `__le__`, `__lt__`, `__hash__`, `__bool__`
- String-Konversion: `__str__`, `__repr__`, `__format__`
- Verwendung einer Instanz als Funktion: `__call__`
- Attributzugriff: `__getattribute__`, `__getattr__`, `__setattr__`, `__delattr__`
- Magische Attribute: `__dict__` (das dict der Attributnamen) und `__slots__` (um Attribute zu beschränken)

Vergleich: `__eq__`, `__ne__`

- `obj.__eq__(other)`:
  Wird zur Auswertung von `obj == other` aufgerufen.
  Wird zur Auswertung von `other == obj` aufgerufen, falls `other` keine `__eq__` Methode besitzt.
- `obj.__ne__(other)`:
  Wird zur Auswertung von `obj != other` (oder `other != obj`) aufgerufen.

- Sind diese Methoden nicht definiert, werden Objekte nur auf Identität verglichen, d.h. `x == y` gdw. `x is y`.
- Der Aufruf von `!=` gibt automatisch das Gegenteil vom Aufruf von == zurück, außer wenn == das Ergebnis `NotImplemented` liefert. Es reicht also, `obj.__eq__(other)` zu implementieren.

Gleichheit für 2D Punkte

Equality

```
class Point2D:
    ...
    def __eq__ (self, other):
        return ((type (other) is Point2D) and
                self.x == other.x and self.y == other.y)
```

Vergleich: `__ge__`, `__gt__`, `__le__`,`__lt__`

- `obj.__ge__(other)`:
  Wird zur Auswertung von `obj >= other` aufgerufen.

  Wird ebenfalls zur Auswertung von `other <= obj` aufgerufen, falls `other` über keine `__le__`-Methode verfügt.
- `obj.__gt__(other)`, `obj.__le__(other)`, `obj.__lt__(other)`:
  Werden analog für die Vergleiche `obj > other` bzw. `obj <= other` bzw. `obj < other` aufgerufen.

Numerische Methoden

- Bei Operatoren wie +, *, - oder / verhält sich Python wie folgt (am Beispiel +):
- Zunächst wird versucht, die Methode `__add__` des linken Operanden mit dem rechten Operanden als Argument aufzurufen.
- Wenn die Methode `__add__` mit dem Typ des rechten Operanden nichts anfangen kann, kann sie die spezielle Konstante `NotImplemented` zurückliefern. Dann wird versucht, die Methode `__radd__` des rechten Operanden mit dem linken Operanden als Argument aufzurufen.
- Wenn dies auch nicht funktioniert, schlägt die Operation fehl.

Zusammenfassung

- Aggregierung liegt vor, falls Attribute von Objekten selbst wieder Objekte sind.
- Properties erlauben die Realisierung von Invarianten und Datenkapselung. Attributzugriffe werden über Getter und Setter (Methoden) abgewickelt.
- Überladung liegt vor, wenn ein Operator die anzuwendende Operation anhand des Typs der Operanden bestimmt.
- Python verwendet magische Methoden zur Implementierung von Operator Überladung.

5 Dictionaries

- Beispiele
- Operationen
- Geschachtelte Dicts
- Views
- Dicts als Hashtabellen
- Veränderliche Dict-Keys?

Dictionaries

- Ein Dictionary (Wörterbuch), kurz *Dict*, ist eine Abbildung von *Schlüsseln* (*keys*) auf zugehörige *Werte* (*values*).
- Alternative Bezeichnung: *assoziatives Array*
- Grundoperationen auf Dictionaries:
  - Einfügen einer Assoziation (Schlüssel $\mapsto$ Wert), evtl. vorhandene Assoziation mit Schlüssel wird überschrieben
  - Entfernen einer Assoziation (Schlüssel),
  - Nachschlagen des Werts zu einem Schlüssel,
  - Anwesenheit eines Schlüssels
- Voraussetzungen
  - Schlüssel müssen auf Gleichheit getestet werden können!
  - Schlüssel müssen unveränderlich (immutable) sein!

Dictionaries (Fortsetzung)

- Dictionaries sind so implementiert, dass der Wert zu einem gegebenen Schlüssel sehr effizient unabhängig von der Anzahl der bestehenden Einträge bestimmt werden kann.
- Im Gegensatz zu Sequenzen (also Listen, Tupeln, etc) sind Dictionaries *ungeordnet*; d.h., es ist nicht sinnvoll, von einem ersten (zweiten, usw.) Element zu sprechen.
- (Ein heißes Thema zur Zeit sind key-value stores; das sind verteilte Dictionaries, die im Netz implementiert sind.)

Dictionaries: Ein Beispiel

Python-Interpreter

```
>>> description = {"walk": "silly", "parrot": "dead",
...                (1, 2, 3): "no witchcraft"}
>>> description["parrot"]
'dead'
>>> "walk" in description
True
>>> description["parrot"] = "pining for the fjords"
>>> description["slides"] = "unfinished"
>>> description
{'slides': 'unfinished', (1, 2, 3): 'no witchcraft',
 'parrot': 'pining for the fjords', 'walk': 'silly'}
```

Dictionaries erzeugen

Dictionaries können auf verschiedene Weisen erzeugt werden (Auswahl):

- `{key1: value1, key2: value2, ...}`:
  Hier sind `key1`, `key2`, ... unveränderliche Python-Objekte, d.h. Zahlen, Strings, Tupel, etc. Für `value1`, `value2`, ... dürfen beliebige Python-Objekte verwendet werden.
- `dict(key1=value1, key2=value2, ...)`:
  Hier sind die Schlüssel `key1`, `key2`, ... Variablennamen, die vom `dict`-Konstruktor in Strings konvertiert werden.
  Die Werte `value1` usw. sind beliebige Objekte.
- `dict(sequence_of_pairs)`:
  `dict([(key1, value1), (key2, value2), ...])` entspricht `{key1: value1, key2: value2, ...}`.

Dictionaries erzeugen: Beispiele

Python-Interpreter

```
>>> {"parrot": "dead", "spam": "tasty", 10: "zehn"}
{10: 'zehn', 'parrot': 'dead', 'spam': 'tasty'}
>>> dict(six=6, nine=9, six_times_nine=42)
{'six_times_nine': 42, 'nine': 9, 'six': 6}
>>> english = ["red", "blue", "green"]
>>> german = ["rot", "blau", "grün"]
>>> dict(zip(english, german))
{'red': 'rot', 'green': 'grün', 'blue': 'blau'}
```

Operationen auf Dictionaries: Grundlegendes

Sei `d` ein Dict:

- `key in d`:
  True, falls das Dictionary `d` den Schlüssel `key` enthält.
- `bool(d)`:
  True, falls das Dictionary nicht leer ist.
- `len(d)`:
  Liefert die Zahl der Elemente (Assoziationen) in `d`.

Operationen auf Dictionaries: Werte auslesen

- `d[key]`:
  Liefert den Wert zum Schlüssel `key`.
  Fehler bei nicht vorhandenen Schlüsseln.
- `d.get(key, default)` (oder `d.get(key)`):
  Wie `d[key]`, aber es ist kein Fehler, wenn `key` nicht vorhanden ist.
  Stattdessen wird in diesem Fall `default` zurückgeliefert (`None`, wenn kein Default angegeben wurde).

get: Beispiel

food_inventory.py

```
def get_food_amount(food):
  food_amounts = {"spam": 2, "egg": 1, "cheese": 4}
  return food_amounts.get(food, 0)

for food in ["egg", "vinegar", "cheese"]:
  amount = get_food_amount(food)
  print("We have enough", food, "for", amount ,"people.")

# Ausgabe:
# We have enough egg for 1 people.
# We have enough vinegar for 0 people.
# We have enough cheese for 4 people.
```

Operationen auf Dictionaries: Werte eintragen

- `d[key] = value`:
  Weist dem Schlüssel `key` einen Wert zu. Befindet sich bereits eine Assoziation mit Schlüssel `key` in `d`, wird es ersetzt.
- `d.setdefault(key, default)` (oder `d.setdefault(key)`):
  Vom Rückgabewert äquivalent zu `d.get(key, default)`.
  Falls das Dictionary den Schlüssel noch nicht enthält, wird zusätzlich `d[key] = default` ausgeführt.

Geschachtelte Dicts

- Auch Dicts können selbst Dicts enthalten.

Python-Interpreter

```
>>> en_de={'red': 'rot', 'green': 'grün', 'blue': 'blau'}
>>> de_fr ={'rot': 'rouge', 'grün': 'vert', 'blau': 'bleu'}
>>> dicts = {'en->de': en_de, 'de->fr': de_fr}
>>> dicts['de->fr']['blau']
'bleu'
>>> dicts['de->fr'][dicts['en->de']['blue']]
'bleu'
```

Operationen auf Dictionaries: Iteration

Die folgenden Methoden liefern iterierbare `views` zurück, die Änderungen an dem zugrundeliegenden `dict` reflektieren!

- `d.keys()`:
  Liefert alle Schlüssel in `d` zurück.
- `d.values()`:
  Liefert alle Werte in `d` zurück.
- `d.items()`:
  Liefert alle Einträge, d.h. `(key, value)`-Assoziationen in `d` zurück.

- Dictionaries können auch in `for`-Schleifen verwendet werden. Dabei wird die Methode `keys` benutzt. `for`-Schleifen über Dictionaries durchlaufen also die *Schlüssel*.

Wie funktionieren Dictionaries?

Dictionaries sind als Hashtabellen implementiert:

- Bei der Erzeugung eines Dictionaries wird eine große Tabelle (die Hashtabelle) eingerichtet.
- Jedem Schlüssel wird mit Hilfe einer Hashfunktion ein Tabellenindex (der Hashwert) zugeordnet.
- Der zum Schlüssel gehörige Wert wird an dieser Stelle in der Tabelle abgelegt, es sei denn…
- an diesem Index ist bereits ein Eintrag für einen anderen Schlüssel vorhanden: eine Hashfunktion kann unterschiedlichen Schlüsseln den gleichen Hashwert zuordnen.
- Bei gleichen Hashwerten für verschiedene Schlüssel gibt es eine Spezialbehandlung (z.B. Ablegen des Werts in der nächsten freien Zelle).
- Der Zugriff erfolgt trotzdem in (erwarteter) konstanter Zeit.

Eine Hashtabelle bei der Arbeit

Eingabe: `('parrot', 'dead')`
hash(`'parrot'`)=4
Ausgabe:`'dead'`

Hashtabelle

Index	Key	Value
0	`'spam'`	`'tasty'`
1		
2		
3		
4	`'parrot'`	`'dead'`
5	`'zehn'`	10
6		

Einige Konsequenzen …

- Schlüssel müssen hash-bar sein und auf Gleichheit getestet werden können
- Hashtabellen haben keine spezielle Ordnung für die Elemente.
- Daher liefert `keys` die Schlüssel nicht in der Einfügereihenfolge, sondern in einer unvorhersehbaren Abfolge.
- Objekte, die als Schlüssel in einem Dictionary verwendet werden, dürfen nicht verändert werden. Ansonsten könnte es zu Problemen kommen.

Veränderliche Dictionary-Keys (1)

potential_trouble.py

```
mydict = {}
mylist = [10, 20, 30]
mydict[mylist] = "spam"
del mylist[1]
print(mydict.get([10, 20, 30]))
print(mydict.get([10, 30]))

# Was kann passieren?
# Was sollte passieren?
```

Veränderliche Dictionary-Keys (2)

- Um solche Problem zu vermeiden, sind in Python nur *unveränderliche* Objekte wie Tupel, Strings und Zahlen als Dictionary-Schlüssel erlaubt.
  - Genauer: Selbst Tupel sind verboten, wenn sie direkt oder indirekt veränderliche Objekte beinhalten.
- Verboten sind also Listen und Dictionaries oder Objekte, die Listen oder Dictionaries beinhalten.
- Für die *Werte* sind beliebige Objekte zulässig; die Einschränkung gilt nur für Schlüssel!

Veränderliche Dictionary-Keys (3)

Python-Interpreter

```
>>> mydict = {("silly", "walk"): [1, 2, 3]}
>>> mydict[[10, 20]] = "spam"
Traceback (most recent call last): ...
TypeError: unhashable type: 'list'
>>> mydict[("silly", [], "walk")] = 1
Traceback (most recent call last): ...
TypeError: unhashable type: 'list'
```

Dictionaries für Keyword Parameter

- Eine Funktion kann Keyword Parameter der Form `par=wert` akzeptieren.
- Falls der letzte formale Parameter der Funktion die Form `**kwargs` hat, so akzeptiert die Funktion beliebige Keyword Parameter.
- In der Funktion kann die Variable `kwargs` wie ein Dictionary verwendet werden.

Python-Interpreter

```
>>> def echo(**kwargs):
...   for k,v in kwargs.items():
...     print(str(k) + " = " + str(v))
...
>>> echo(a=42, b='foo')
a = 42
b = foo
```

6 Mengen

- Set und Frozenset
- Operationen
- Konstruktion
- Grundlegende Operationen
- Einfügen und Entfernen
- Zusammenfassung

Mengen

- Mengen sind Zusammenfassungen von Elementen (hier immer endlich),
- Grundoperationen auf Mengen:
  - Einfügen eines Elements,
  - Entfernen eines Elements,
  - Test ob Element enthalten ist.
- Voraussetzungen
  - Elemente müssen auf Gleichheit getestet werden können!
  - Elemente müssen unveränderlich (immutable) sein!
- Mengenelemente sind einzigartig; eine Menge kann also nicht dasselbe Element ‚mehrmals' beinhalten ($\Rightarrow$ Multimenge).

Mengen (Fortsetzung)

- Mengen können duch Listen implementiert werden, aber dann ist die mittlere Zeit ein Element zu finden linear in der Größe der Menge.
- Mengen können duch Binärbäume implementiert werden, aber dann ist die mittlere Zeit ein Element zu finden logarithmisch in der Größe der Menge und wir brauchen eine Ordnung auf den Elementen.
- Mengen könnten durch Dicts implementiert werden, wobei die Elemente durch Schlüssel realisiert würden und der Wert immer `None` ist (konstante Zugriffszeit).
- Es gibt spezielle Datentypen für Mengen in Python, die alle Mengenoperationen unterstützen.
- Sie sind ebenfalls mit Hilfe von Hashtabellen realisiert.

Mengen: `set` und `frozenset`

- Mengenelemente müssen *hashbar* sein (wie bei Dictionaries).
- `set` vs. `frozenset`:
  - `frozensets` sind unveränderlich $\rightsquigarrow$ hashbar,
  - `sets` sind veränderlich
  - Insbesondere können `frozensets` also auch als Elemente von `sets` und `frozensets` verwendet werden.

Operationen auf Mengen

Wir teilen die Operationen auf Mengen in Gruppen ein:

- Konstruktion
- Grundlegende Operationen
- Einfügen und Entfernen von Elementen
- Mengenvergleiche
- Klassische Mengenoperationen

Konstruktion von Mengen

- `{elem1, ..., elemN}`: Erzeugt die veränderliche Menge {elem1,...,elemN}.
- `set()`: Erzeugt eine veränderliche leere Menge.
- `set(iterable)`: Erzeugt eine veränderliche Menge aus Elementen von `iterable`.
- `frozenset()`: Erzeugt eine unveränderliche leere Menge.
- `frozenset(iterable)`: Erzeugt eine unveränderliche Menge aus Elementen von `iterable`.
- `set` und `frozenset` können aus beliebigen iterierbaren Objekten `iterable` erstellt werden, also solchen, die `for` unterstützen (z.B. `str`, `list`, `dict`, `set`, `frozenset`.)
- Jedoch dürfen innerhalb von `iterable` nur *hashbare* Objekte (z.B. keine Listen!) enthalten sein (sonst `TypeError`).

Konstruktion von Mengen: Beispiele (1)

Python-Interpreter

```
>>> set("spamspam")
{'a', 'p', 's', 'm'}
>>> frozenset("spamspam")
frozenset({'a', 'p', 's', 'm'})
>>> set(["spam", 1, [2, 3]])
Traceback (most recent call last): ...
TypeError: unhashable type: 'list'
>>> set(("spam", 1, (2, 3)))
{1, (2, 3), 'spam'}
>>> set({"spam": 20, "jam": 30})
{'jam', 'spam'}
```

Konstruktion von Mengen: Beispiele (2)

Python-Interpreter

```
>>> s = set(["jam", "spam"])
>>> set([1, 2, 3, s])
Traceback (most recent call last): ...
TypeError: unhashable type: 'set'
>>> set([1, 2, 3, frozenset(s)])
{1, 2, 3, frozenset({'jam', 'spam'})}
```

Grundlegende Operationen auf Mengen

- `element in s`, `element not in s`:
  Test auf Mitgliedschaft bzw. Nicht-Mitgliedschaft (liefert `True` oder `False`).
- `bool(s)`:
  `True`, falls die Menge `s` nicht leer ist.
- `len(s)`:
  Liefert die Zahl der Elemente der Menge `s`.
- `for element in s`:
  Über Mengen kann natürlich iteriert werden.
- `s.copy()`:
  Liefert eine (flache) Kopie der Menge `s`.

Mengen: Einfügen und Entfernen von Elementen

- `s.add(element)`:
  Fügt das Objekt `element` zur Menge `s` hinzu, falls es noch nicht Element der Menge ist.
- `s.remove(element)`:
  Entfernt `element` aus der Menge `s`, falls es dort enthalten ist.
  Sonst: `KeyError`.
- `s.discard(element)`:
  Wie `remove`, aber kein Fehler, wenn `element` nicht in der Menge enthalten ist.
- `s.pop()`:
  Entfernt ein willkürliches Element aus `s` und liefert es zurück.
- `s.clear()`:
  Entfernt alle Elemente aus der Menge `s`.

Viele weitere Operationen

- `union`, `intersection`, `difference`, `symmetric_difference`
- <=, < (Test auf Teilmenge)
- ==, != (Test auf Mengengleichheit)

Zusammenfassung

- `dict`s sind Abbildungen von Schlüsseln auf Werte.
- Der Zugriff auf Elemente von `dict`s erfolgt (fast) in konstanter Zeit
- `dict`s sind veränderlich.
- Die Typen `set` und `frozenset` implementieren Mengen mit allen erwarteten Operationen.
- `set`s sind veränderliche Strukturen, `frozenset`s sind nicht veränderlich.