

Programmieren in Python

9. Klassen

Malte Helmert

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

KI-Praktikum, Sommersemester 2009

Überblick über diese Lektion:

- ▶ Grundlagen von Klassen
- ▶ Magische Methoden
- ▶ Allgemeine magische Methoden
- ▶ Numerische magische Methoden
- ▶ Magische Container-Methoden

Überblick über diese Lektion:

- ▶ Grundlagen von Klassen
- ▶ Magische Methoden
- ▶ Allgemeine magische Methoden
- ▶ Numerische magische Methoden
- ▶ Magische Container-Methoden

- ▶ In dieser Lektion befassen wir uns mit der Erstellung eigener Klassen.
- ▶ Als Illustration dient dabei eine einfache (Stamm-) Baumklasse, anhand derer wir das Phänomen der Veronkelung untersuchen.
- ▶ Klassen werden mit dem Schlüsselwort `class` definiert, das einen eingerückten Block eröffnet. Innerhalb dieses Blocks werden die Methoden der Klasse (und evtl. weitere Attribute) definiert.
- ▶ Methoden notiert man nicht anders als Funktionen. Tatsächlich ist der Unterschied zwischen Funktionen und Methoden in Python relativ gering und es ist möglich, zur Laufzeit das eine in das andere zu konvertieren.

Klassen: Beispiel

Eine einfache Klassendefinition sieht etwa so aus:

```
tree.py
```

```
class Tree(object):
    def __init__(self, data, children=()):
        self.data = data
        self.children = children
    def prettyprint(self, indent=""):
        print indent + self.data
        for child in self.children:
            child.prettyprint(indent + "  ")
```

Wir entnehmen der Definition der Klasse Tree,

- ▶ dass diese von der Klasse `object` abgeleitet ist,
- ▶ dass sie einen Konstruktor aufweist, der zwei Parameter `data` und `children` hat, von denen der letzte optional ist, sowie
- ▶ dass sie über eine Methode `prettyprint` verfügt.

- ▶ Basisklassen werden im Kopf der Klassendefinition in Klammern hinter dem Namen der Klasse angegeben:
 - ▶ `class MyClass(BaseClass)`
- ▶ Mehrfachvererbung ist möglich:
 - ▶ `class MyClass(OneBase, AnotherBase)`
- ▶ Es ist auch möglich, von keiner Klasse abzuleiten:
 - ▶ `class MyClass`

Old style vs. new style

- ▶ Python hat sein bevorzugtes Objektmodell beim Übergang von Version 2.1 zu Version 2.2 (im Jahr 2001) etwas verändert; aus Kompatibilitätsgründen gibt es einen Unterschied zwischen „old style“- und „new style“-Klassen.
- ▶ Für unsere Zwecke ist diese Unterscheidung vollkommen belanglos. Für Neueinsteiger ist es sinnvoll, wo möglich immer „new style“-Klassen zu verwenden.
- ▶ Die Sorte der Klasse wird durch ihre Basisklassen festgelegt. Alle eingebauten Python-Klassen sind mittlerweile „new style“.
- ▶ Eine Klasse ohne Superklassen ist aus Kompatibilitätsgründen „old style“; daher geben wir immer eine Basisklasse an.
- ▶ New-Style-Klassen leiten meistens von der New-Style-Klasse `object` ab, die keine erwähnenswerte eigene Funktionalität mitbringt und als Basisklasse gedacht ist.

```
tree.py
```

```
class Tree(object):
    def __init__(self, data, children=()):
        self.data = data
        self.children = children
    def prettyprint(self, indent=""):
        print indent + self.data
        for child in self.children:
            child.prettyprint(indent + "  ")
```

- ▶ `__init__` und `prettyprint` sind Methoden von `Tree`. Methoden von Klassen in Python haben keinen *impliziten* `this`-Parameter wie in C oder Java, sondern erhalten das betroffene Objekt *explizit* als erstes Argument übergeben.
- ▶ Damit entspricht `t.prettyprint()` dem Aufruf der Funktion `prettyprint` mit `self = t` und `indent = ""`.

Veronkelungs-Beispiel

family.py

```
nephews = Tree("Tick"), Tree("Trick"), Tree("Track")
donald = Tree("Donald", nephews)
daisy, gustav = Tree("Daisy"), Tree("Gustav")
dagobert = Tree("Dagobert", (donald, daisy, gustav))
```

Python-Interpreter

```
>>> import family
>>> family.dagobert.prettyprint()
```

```
Dagobert
  Donald
    Tick
    Trick
    Track
  Daisy
  Gustav
```

- ▶ Das erste Argument einer Methode bezeichnet das Objekt, für das die Methode aufgerufen wird. Es wird üblicherweise `self` genannt.
- ▶ Dies ist nicht vorgeschrieben: Jeder andere Variablenname könnte ebenso verwendet werden (was aber niemand macht).
- ▶ Tatsächlich sind Methoden von Klassen mit Funktionen in Modulen fast identisch: Statt `t.prettyprint()` könnten wir auch mit der normalen Funktionssyntax `Tree.prettyprint(t)` schreiben.
- ▶ `Tree.prettyprint` unterscheidet sich von einer normalen Funktion nur dadurch, dass geprüft wird, ob `t` tatsächlich eine Instanz der Klasse `Tree` oder einer abgeleiteten Klasse ist; andernfalls wird eine Ausnahme erzeugt.

- ▶ Während man in C++ oder Java `attribute` statt `this->attribute` bzw. `this.attribute` schreiben kann, ist in Python immer der Zugriff über `self.attribute` vonnöten.
- ▶ Da Variablen nicht deklariert werden müssen, wäre sonst auch völlig unklar, ob `attribute` eine Instanzvariable des Objekts oder eine lokale Variable der Methode sein sollte.

Betrachten wir die Methode `Tree.__init__`:

```
def __init__(self, data, children=()):  
    self.data = data  
    self.children = children
```

- ▶ Die meisten Klassen definieren eine Methode `__init__`, die den *Konstruktor* der Klasse bildet.
- ▶ Bei Aufruf von `MyClass(args)` wird intern zunächst ein „leeres“ Objekt `obj` der Klasse `MyClass` vorbereitet und anschließend der Konstruktor `MyClass.__init__(obj, args)` aufgerufen, um `obj` zu initialisieren. Das Ergebnis der Operation ist das Objekt `obj`.
- ▶ Beispielsweise erzeugt `Tree("Tick")` ein Baum-Objekt `obj` mit `obj.data == "Tick"` und `obj.children == ()`.
- ▶ Konstruktoren müssen oft die Konstruktoren ihrer Basisklassen aufrufen. Notation: `BaseClass.__init__(self, args)`.

- ▶ Nicht nur Instanzen von Klassen, auch Klassen selbst sind Objekte mit eigenen Attributen und allem, was dazu gehört:

Python-Interpreter

```
>>> from tree import Tree
>>> print Tree
<class 'tree.Tree'>
>>> print id(Tree)
135936652
```

- ▶ Mit `obj.__class__` erhält man das Klassenobjekt der Klasse, deren Instanz `obj` ist.
- ▶ Klassen sind meistens Instanzen der Klasse `type`. Klassen wie `type`, deren Instanzen Klassen sind, nennt man Metaklassen.
- ▶ Mit Metaklassen kann man viele lustige Dinge anstellen, aber das ist ein deutlich fortgeschrittenes Thema.

Wie kommen die Attribute in die Objekte? (1)

- ▶ Hier stellt sich die Frage, was es eigentlich genau bedeutet, wenn wir `self.data` oder `self.children` schreiben. Kann man jedem Objekt beliebige Attribute zuweisen?
- ▶ Die Antwort darauf lautet in der Regel: ja.
- ▶ Es sind zwar auch Objekte möglich, die nur bestimmte Attribute haben können oder deren Attribute nicht neu gebunden werden können (wie z.B. die `real` und `imag` bei `complex`-Objekten), aber dies ist üblicherweise nur für Python-Klassen der Fall, die in C implementiert und auf absolute Effizienz getrimmt sind.
- ▶ „Normale“ Instanzen können beliebige Attribute haben und dynamisch während ihrer Lebenszeit neue Attribute erhalten oder alte verlieren. Es ist also nicht nötig, alle Attribute im Konstruktor zu initialisieren; oft ist es aber dennoch sinnvoll.

Wie kommen die Attribute in die Objekte? (2)

- ▶ Intern werden die Attribute von Objekten mit einem bekannten Mechanismus verwaltet:

Python-Interpreter

```
>>> from tree import Tree
>>> track = Tree("Track")
>>> print track.__dict__
{'data': 'Track', 'children': ()}
```

- ▶ Jedes Objekt hat ein internes Dictionary, das alle seine Attribute enthält und auf das mit `obj.__dict__` zugegriffen werden kann.
- ▶ Ebenso wie `globals()` kann man den Inhalt dieses Dictionaries nach Belieben verändern, um die Attribute des Objekts zu modifizieren.

Intern werden Attribut-Zugriffe bei Objekten also auf Dictionary-Operationen umgesetzt. Dabei gelten folgende Beziehungen:

- ▶ `print obj.attr` \Rightarrow `print obj.__dict__["attr"]`
- ▶ `obj.attr = expr` \Rightarrow `obj.__dict__["attr"] = expr`
- ▶ `del obj.attr` \Rightarrow `del obj.__dict__["attr"]`

- ▶ Zuweisungen an Objektattribute und Entfernen von Objektattributen sind damit schon (naja, fast) vollständig erklärt.
- ▶ Das Auslesen von Objektattributen (`print obj.attr`) muss aber noch etwas geheimnisvoller sein. Sonst könnte `t.prettyprint()` nicht funktionieren, denn schließlich gilt `"prettyprint" not in t.__dict__`.

Wie ein Objekt sein Attribut findet (1)

- ▶ Objekte sind mehr als nur komisch notierte Dictionaries, weil sie neben ihren „eigenen“ Attributen in `obj.__dict__` auch auf die Attribute ihrer Klasse zugreifen können.
- ▶ Auch Klassen haben ein entsprechendes Dictionary, wie wir unschwer erkennen können:

Python-Interpreter

```
>>> from tree import Tree
>>> print Tree.__dict__
{'prettyprint': <function prettyprint at 0x402f0b8c>,
 '__init__': <function __init__ at 0x402f0b54>,
 ...}
```

- ▶ Die Auslassungspunkte stehen für interne Attribute der Klasse.

Wie ein Objekt sein Attribut findet (2)

Der Mechanismus für einen lesenden Zugriff auf `obj.attr` im Einzelnen:

- ▶ Zunächst wird überprüft, ob `obj.__dict__` den Schlüssel "attr" enthält. Falls ja, ist die Suche beendet.
- ▶ Ansonsten wird als nächstes in `obj.__class__.__dict__` nach "attr" gesucht.
- ▶ Wird auch dort nichts gefunden, wird rekursiv in den Basisklassen von `obj.__class__` weitergesucht, bis das Attribut gefunden wird oder alle Klassen erfolglos durchprobiert wurden.
- ▶ Es stellt sich die Frage, in welcher Reihenfolge die Basisklassen bei Mehrfachvererbung besucht werden; dieses Thema wie auch andere für die Mehrfachvererbung spezifische Aspekte lassen wir aus.
- ▶ Die Basisklassen einer Klasse `Class` lassen sich zur Laufzeit mithilfe von `Class.__bases__` ermitteln.

Das ist alles, was ich zur grundlegenden Funktionsweise von Klassen und Objekten sagen möchte.

Einige weiterführende Themen, für die leider keine Zeit ist, damit man weiß, dass es diese Dinge gibt:

- ▶ Metaklassen
- ▶ In C implementierte Klassen
- ▶ Gebundene Methoden (*bound methods*)
- ▶ Mehrfachvererbung: Kooperativer Basisklassenaufruf (`--mro--`, `super`).
- ▶ statische Methoden und Klassenmethoden
- ▶ berechnete Attribute (*properties*)

Überblick über diese Lektion:

- ▶ Grundlagen von Klassen
- ▶ **Magische Methoden**
- ▶ Allgemeine magische Methoden
- ▶ Numerische magische Methoden
- ▶ Magische Container-Methoden

- ▶ Methoden wie `__init__`, deren Namen mit zwei Unterstrichen beginnen und enden, bezeichnet man als *magisch*.
- ▶ Daneben gibt es noch eine Vielzahl an weiteren magischen Methoden, die z.B. verwendet werden, um Operatoren wie `+` und `%` für eigene Klassen zu definieren.
- ▶ Magische Methoden wie `__add__` sind nicht prinzipiell anders als andere Methoden; der Grund dafür, warum man beispielsweise mit `__add__` das Verhalten der Addition beeinflussen kann, liegt einfach darin, dass Python intern versucht, beim Addieren die Methode `__add__` aufzurufen.

Magische Methoden: Beispiel Mitgliedschaftstest

- ▶ Wir wollen testen können, ob unser Baum einen bestimmten Namen enthält, und wir wollen diesen Test als "name" in mytree schreiben können.
- ▶ Dazu definieren wir eine neue Methode innerhalb der Tree-Klasse:

tree.py [Forts.]

```
def __contains__(self, data):
    if self.data == data:
        return True
    for child in self.children:
        if data in child:
            return True
    return False
```

Python-Interpreter

```
>>> import family
>>> print "Track" in family.dagobert
True
>>> print "Goofy" in family.donald
False
```

Wir können leider nicht alle magischen Methoden im Detail behandeln, aber zumindest sollten wir einen guten Überblick bekommen können.

Wir unterscheiden zwischen 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

Überblick über diese Lektion:

- ▶ Grundlagen von Klassen
- ▶ Magische Methoden
- ▶ **Allgemeine magische Methoden**
- ▶ Numerische magische Methoden
- ▶ Magische Container-Methoden

Die allgemeinen magischen Methoden werden weiter unterteilt:

- ▶ Konstruktion und Destruktion: `__init__`, `__new__`, `__del__`
- ▶ Vergleich und Hashing: `__eq__`, `__ne__`, `__ge__`, `__gt__`, `__le__`, `__lt__`, `__cmp__`, `__hash__`, `__nonzero__`
- ▶ String-Konversion: `__str__`, `__repr__`, `__unicode__`
- ▶ Verwendung als Funktion: `__call__`
- ▶ Attributzugriff: `__getattr__`, `__getattribute__`, `__setattr__`, `__delattr__`

- ▶ `__init__` haben wir bereits behandelt.
- ▶ `__new__` ist im Wesentlichen für fortgeschrittene Anwendungen mit Nicht-Python-Klassen interessant und wird von uns übergangen.
- ▶ `__del__` wird aufgerufen, wenn das Objekt aus dem Speicher gelöscht wird, weil es über keinen Namen mehr erreichbar ist, also Python's Variante von Destruktoren. Die Methode erhält keine Argumente und ihr Rückgabewert wird ignoriert.

- ▶ `obj.__eq__(other)`:
Wird bei Tests `obj == other` aufgerufen.
Der Rückgabewert der Methode ist das Ergebnis des Vergleichs.
- ▶ `obj.__ne__(other)`:
Wird bei Tests `obj != other` aufgerufen,
Der Rückgabewert der Methode ist das Ergebnis des Vergleichs.
- ▶ Definiert man diese Methoden nicht, werden eigene Objekte per `id()` verglichen, d.h. `x == y` gdw. `x is y`.
- ▶ **Achtung:** Definiert man `__eq__`, dann sollte man auch `__ne__` definieren (üblicherweise mit `return not (self == other)`). Ansonsten vergleicht `__ne__` nach `id()`, so dass für gleiche, aber nicht identische Objekte `x, y` sowohl `x == y` als auch `x != y` gilt.

- ▶ `obj.__ge__(other)`:
Wird bei Tests `obj >= other` aufgerufen.
Der Rückgabewert der Methode ist das Ergebnis des Vergleichs.
Bei Tests `other <= obj` wird die Methode ebenfalls verwendet, falls `other` über keine `__le__`-Methode verfügt.
- ▶ `obj.__gt__(other)`, `obj.__le__(other)`,
`obj.__lt__(other)`:
Wird analog für die Vergleiche `obj > other` bzw. `obj <= other` bzw. `obj < other` aufgerufen.

- ▶ `obj.__cmp__(other)`:

Wird für Vergleiche der Art `x <= y`, `x > y` etc. aufgerufen, falls die eben genannten Methoden nicht verfügbar sind.

Der Rückgabewert sollte wie folgt sein:

- ▶ `-1`, falls `obj < other`
- ▶ `0`, falls `obj == other`
- ▶ `+1`, falls `obj > other`

- ▶ `obj.__hash__()`:
Liefert einen Hashwert für `obj` bei Verwendung in einem Dictionary. Wird von der Builtin-Funktion `hash` verwendet.
- ▶ Damit Hashing funktioniert, muss immer gelten:

$$x == y \implies \text{hash}(x) == \text{hash}(y).$$

Daher muss man in der Regel auch `__eq__` und `__ne__` implementieren, wenn man `__hash__` implementiert.

- ▶ Eigene Klassen, die `__hash__` nicht implementieren, werden nach `id(obj)` gehasht (d.h. nur identische Objekte gelten bzgl. Hashing als gleich).

- ▶ `obj.__nonzero__()`:
Wird von `bool(obj)` und damit auch bei `if obj:` und `while obj:` aufgerufen. Sollte `True` zurückliefern, wenn das Objekt als „wahr“ einzustufen ist, sonst `False`.
- ▶ Ist diese Methode nicht implementiert, dafür aber das später diskutierte `__len__`, dann wird genau dann `True` geliefert, wenn `__len__` einen von 0 verschiedenen Wert liefert.
- ▶ Ist weder diese Methode noch `__len__` implementiert, gilt das Objekt immer als wahr.

String-Konversion: `__str__`, `__repr__`, `__unicode__`

- ▶ `obj.__str__()`:
Wird aufgerufen, um eine String-Darstellung von `obj` zu bekommen, z.B. bei `print obj`, `str(obj)` und `"%s" % obj`.
`__str__` sollte eine menschenlesbare Darstellung erzeugen.
- ▶ `obj.__repr__()`:
Wird aufgerufen, um eine String-Darstellung von `obj` zu bekommen, z.B. bei Angabe von `obj` im interaktiven Interpreter sowie bei `repr(obj)` und `"%r" % obj`.
`__repr__` sollte eine möglichst exakte (für Computer geeignete) Darstellung erzeugen, idealerweise eine, die korrekte Python-Syntax wäre, um dieses Objekt zu erzeugen.
- ▶ `obj.__unicode__()`:
Variante von `__str__` für die Unicode-Darstellung von Strings, etwa bei `unicode(obj)` und `u"%s" % obj`.
Existiert `__unicode__` nicht, wird auf `__str__` zurückgegriffen.

- ▶ `obj.__call__(*args, **kwargs)`:
Wird aufgerufen, wenn das Objekt wie eine Funktion verwendet wird, z.B. als `obj("spam", "spam", "spam")`.
Die Signatur von `__call__` kann beliebig sein.
Beispiel:

`unfit_adder.py`

```
class UnfitAdder(object):
    def __init__(self):
        self.fitness = 10
    def __call__(self, x, y):
        if not self.fitness:
            return "Sorry, I'm too exhausted."
        if x + y >= 1000:
            self.fitness -= 1
        return x + y
```

Mit den Attributzugriffsmethoden kann man verschiedene Aspekte der Notation `obj.attr` beeinflussen.

- ▶ `obj.__getattr__(attrname)`:
Bei (lesendem) Zugriff `obj.attr` wird `obj.__getattr__("attr")` aufgerufen und das Ergebnis des Methodenaufrufs als Wert verwendet.
- ▶ Durch Implementation von `__getattr__` kann man beispielsweise Attributzugriffe zum Debugging protokollieren.
- ▶ In vielen Fällen wird man die eigentliche Arbeit (Suche im Dictionary des Objekts und seiner Klasse usw.) der Standardimplementation überlassen, indem man `object.__getattr__(attr)` aufruft.
- ▶ Da Attributzugriffe sehr häufig erfolgen und standardmäßig sehr effizient implementiert sind, können komplizierte Attributzugriffsmethoden starken Einfluss auf die Laufzeit haben.

- ▶ `obj.__getattr__(attrname)`:
Wird von der Standardimplementation von `__getattribute__` verwendet, wenn der normale Zugriff erfolglos ist. Die object-Implementation erzeugt immer einen `AttributeError`.
- ▶ Kann z.B. verwendet werden, um noch nicht verwendete Attribute automatisch mit einem Default-Wert zu initialisieren:

`getattr_example.py`

```
class ZeroingClass(object):  
    def __getattr__(self, attr):  
        self.__dict__[attr] = 0  
        return 0
```

Python-Interpreter

```
>>> from getattr_example import ZeroingClass
>>> spam = ZeroingClass()
>>> print spam.egg
0
>>> spam.sausage += 2
>>> print spam.sausage
2
>>> spam.baked_beans = 10
>>> print spam.baked_beans
10
>>> print spam.__dict__
{'sausage': 2, 'egg': 0, 'baked_beans': 10}
```

- ▶ `obj.__setattr__(attrname, value)`:
Zum Binden von Attributen `obj.attr = value` wird `obj.__setattr__("attr", value)` aufgerufen.
- ▶ Innerhalb von `__setattr__` sollte man nicht `self.var = x` schreiben, sonst erhält man eine Endlosschleife!
Stattdessen modifiziert man `self.__dict__` direkt.
- ▶ Die Verwendung von `self.__dict__` führt *nicht* zur Rekursion, da `__dict__` kein „richtiges“ Attribut ist, sondern nur zufällig eine ähnliche Notation verwendet.
Dass `__dict__` (ebenso wie im Übrigen `__class__`) kein Attribut ist, erkennt man auch daran, dass diese nicht in `__dict__` enthalten sind.

- ▶ `obj.__delattr__(attrname):`
Zum Entfernen von Attributen mit `del obj.attr` wird `obj.__delattr__("attr")` aufgerufen.
- ▶ Beispiel:

```
delattr_example.py
```

```
class DeletionForbidden(object):  
    def __delattr__(self, attr):  
        print "Don't you dare!"
```

Python-Interpreter

```
>>> from delattr_example import DeletionForbidden
>>> myobj = DeletionForbidden()
>>> myobj.spam = 10
>>> print myobj.spam
10
>>> del myobj.spam
Don't you dare!
>>> print myobj.__dict__
{'spam': 10}
>>> print myobj.spam
10
```

Überblick über diese Lektion:

- ▶ Grundlagen von Klassen
- ▶ Magische Methoden
- ▶ Allgemeine magische Methoden
- ▶ **Numerische magische Methoden**
- ▶ Magische Container-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 `__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.

In Code funktioniert der Mechanismus etwa so:

```
def plus(x, y):
    result = NotImplemented
    try:
        result = x.__add__(y)
    except AttributeError:
        pass
    if result is NotImplemented:
        try:
            result = y.__radd__(x)
        except AttributeError:
            pass
    if result is NotImplemented:
        raise TypeError("some diagnostic text")
    return result
```

Beispiel: Subtraktion

Wir definieren (etwas willkürlich) die Subtraktion von Bäumen als “Abziehen” von Teilbäumen mit einem bestimmten Namen:

tree.py [Forts.]

```
def __sub__(self, key):
    if key not in self:
        raise ValueError("Cannot subtract %r" % key)
    new_children = []
    for child in self.children:
        if child.data == key:
            continue
        elif key in child:
            new_children.append(child - key)
        else:
            new_children.append(child)
    return Tree(self.data, tuple(new_children))
```

Beispiel: Subtraktion (2)

Python-Interpreter

```
>>> from family import dagobert
>>> (dagobert - "Trick").prettyprint()
Dagobert
  Donald
    Tick
    Track
  Daisy
  Gustav
>>> (dagobert - "Donald").prettyprint()
Dagobert
  Daisy
  Gustav
```

Beispiel: Subtraktion (3)

Python-Interpreter

```
>>> from family import dagobert
>>> (dagobert - "Goofy").prettyprint()
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in ?
  File "tree.py", line 18, in __sub__
    raise ValueError("Cannot subtract %r" % key)
ValueError: Cannot subtract 'Goofy'
```

Hier sehen wir die Zuordnung zwischen den Grundrechenarten und den Namen der zugehörigen magischen Methoden:

- ▶ `+`: `__add__` und `__radd__`
- ▶ `-`: `__sub__` und `__rsub__`
- ▶ `*`: `__mul__` und `__rmul__`
- ▶ `/`: `__div__` und `__rdiv__` bzw. `__truediv__` und `__rtruediv__`
- ▶ `//`: `__floordiv__` und `__rfloordiv__`
- ▶ `%`: `__mod__` und `__rmod__`
- ▶ unäres `-`: `__neg__` (`-obj` entspricht `obj.__neg__()`).

- ▶ `__[r]truediv__` wird statt `__[r]div__` benutzt, falls die Division aus der Zukunft benutzt wird und eine Methode dieses Namens existiert (ansonsten wird `__[r]div__` verwendet).

Hier das gleiche für die Boole'schen Operatoren:

- ▶ `&`: `__and__` und `__rand__`
- ▶ `|`: `__or__` und `__ror__`
- ▶ `^`: `__xor__` und `__rxor__`
- ▶ `<<`: `__lshift__` und `__rlshift__`
- ▶ `>>`: `__rshift__` und `__rrshift__`
- ▶ `~` (unär): `__invert__`

- ▶ Bei Klassen, deren Instanzen veränderlich sein sollen, wird man in der Regel zusätzlich zu Operatoren wie `+` auch Operatoren wie `+=` unterstützen wollen.
- ▶ Dazu gibt es zu jeder magischen Methode für binäre Operatoren wie `__add__` auch eine magische Methode wie `__iadd__`, die das Objekt selbst modifizieren und `self` zurückliefern sollte. (Der Rückgabewert ist wichtig; die Gründe dafür sind etwas technisch.)
- ▶ Implementiert man `__add__`, aber nicht `__iadd__`, dann ist `x += y` äquivalent zu `x = x + y`.

Wir können hier nicht alle numerischen magische Methoden besprechen, daher ein paar kurze Anmerkungen:

- ▶ Bei der Potenzierung ist die Signatur der magischen Methode `__pow__` geringfügig anders, weil auch die dreistellige Potenz $(x ** y) \% z$ unterstützt werden kann.
- ▶ Auch das Verhalten einiger Builtins wie `abs` oder `divmod` für eigene Klassen kann mit magischen Methoden beeinflusst werden.

Überblick über diese Lektion:

- ▶ Grundlagen von Klassen
- ▶ Magische Methoden
- ▶ Allgemeine magische Methoden
- ▶ Numerische magische Methoden
- ▶ **Magische Container-Methoden**

Mit den Container-Methoden kann man Klassen implementieren, die sich wie `list` oder `dict` verhalten.

Die Container-Methoden im Einzelnen:

- ▶ `obj.__len__()`:
wird von `len(obj)` aufgerufen.
- ▶ `obj.__contains__(item)`:
wird von `item in obj` aufgerufen.
- ▶ `obj.__iter__()`:
Wird von `for x in obj` aufgerufen; mehr dazu folgt in der nächsten Lektion.

Die Container-Methoden im Einzelnen:

- ▶ `obj.__getitem__(key)`:
wird bei lesendem Zugriff auf `obj[key]` und `obj[start:stop]` (sowie anderen Slicing-Varianten) aufgerufen.
Bei Slice-Notation ist `key` eine Instanz der Klasse `slice`.
- ▶ `obj.__setitem__(key, value)`:
Wird analog zu `__getitem__` bei `obj[key] = value` oder `obj[start:stop] = value` aufgerufen.
- ▶ `obj.__delitem__(key)`:
Wird analog zu `__getitem__` bei `del obj[key]` oder `del obj[start:stop]` aufgerufen.

Slice-Objekte

- ▶ Slice-Objekte kann man „von Hand“ mit `slice(stop)` oder `slice(start, stop[, step])` erzeugen.
- ▶ Normalerweise werden sie aber von Python selbst bei Verwendung der Slice-Notation erzeugt.
- ▶ Slice-Objekte haben Attribute `start`, `stop` und `step` entsprechend den Konstruktor-Argumenten. Im Konstruktor nicht angegebene Argumente haben den Wert `None`.
- ▶ Slice-Objekte sind unveränderlich.

Python-Interpreter

```
>>> x = slice(10)
>>> print x
slice(None, 10, None)
>>> print x.start, x.step
10 None
```