

Informatik I: Einführung in die Programmierung

13. Objekt-orientierte Programmierung: Aggregierung, Properties, Invarianten, Datenkapselung, Operator-Überladung

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg



UNI
FREIBURG

Prof. Dr. Peter Thiemann
10. Dezember 2025

1 Aggregierung



Zusammengesetzte Objekte



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

Die Klasse Composite (1)

- Jede Instanz ist ein **2D-Objekt**.
- Zusätzlich hat jede Instanz als Attribut eine **Liste** von 2D-Objekten.
- Sie wird durch `default_factory= list` mit der leeren Liste initialisiert.

`newgeoclasses.py (1)`

```
@dataclass
class Composite(TwoDObject):
    contents : list[TwoDObject] = field(init= False, default_factory= list)

    def add(self, obj : TwoDObject):
        self.contents.append(obj)

    def rem(self, obj : TwoDObject):
        self.contents.remove(obj)

    ...
```

Aggregie-
rung

Properties

Operator-
Überladung

Zusammen-
fassung

Die Klasse Composite (2)

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

`newgeoclasses.py (2)`

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

def move(self, xchange: float, ychange: float):
    for obj in self.contents:
        obj.move(xchange, ychange)
```

Die Klasse Composite (3)

Python-Interpreter

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

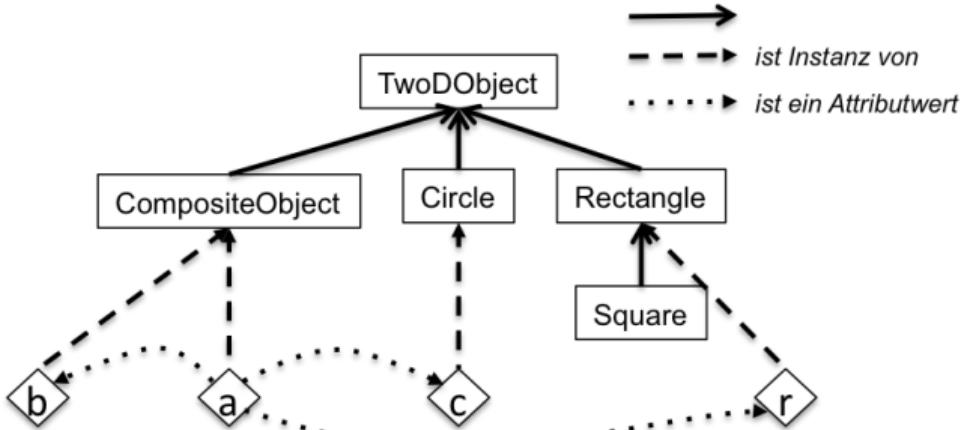
Aggregie-
rung

Properties

Operator-
Überladung

Zusammen-
fassung

Vererbung und Komposition



2 Properties



UNI
FREIBURG

Aggregie-
rung

Properties

Operator-
Überladung

Zusammen-
fassung

Zugriff auf Attribute kontrollieren: Getter und Setter



- Ziel ist die **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 **Getter**- und **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 geschützt werden.

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.

Aggregie-
rung

Properties

Operator-
Überladung

Zusammen-
fassung

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!

```
@dataclass
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
    '''
    radius : float
```

Aggregie-
rung

Properties

Operator-
Überladung

Zusammen-
fassung

Beispiel Invariante: Radius eines Kreises

- **Regel 2:** Das Attribut muss mit **Getter** und **Setter** definiert werden.

```
@dataclass
class Circle(TwoDObject):
    __radius : InitVar[float]

    def __post_init__(self, radius : float):
        self.set_radius(radius)

    def get_radius(self) -> float:
        return self.__radius

    def set_radius(self, radius: float):
        assert radius > 0, "Radius should be greater than zero"
        self.__radius = radius
```

Aggregierung

Properties

Operator-Überladung

Zusammenfassung



Beispiel Invariante: Radius eines Kreises

```
__radius : InitVar[float]
```

Definiert das (versteckte) Feld, in dem der Wert gespeichert wird.

Felder, deren Name mit `__` beginnt, sind von außen nicht ohne weiteres zugreifbar!

```
def __post_init__(self, radius : float):
    self.set_radius(radius)
```

Attribute vom Typ `InitVar` werden an die `__post_init__` Methode übergeben.

```
def get_radius(self) -> float:
    return self.__radius
```

Definiert den Getter für die Property `radius`, eine normale Methode.

Aggregie-
rung

Properties

Operator-
Überladung

Zusammen-
fassung

Beispiel Invariante: Radius eines Kreises

```
def set_radius(self, radius: float):
    assert radius > 0, "Radius should be greater than zero"
    self.__radius = radius
```

Definiert den Setter der Property `radius`.

- **Regel 3:** Der Setter muss die Einhaltung der Invariante prüfen!
- Die Prüfung geschieht durch eine Assertion im Setter. Verletzung führt zu einer **Exception** (Ausnahme).

Aggregierung

Properties

Operator-Überladung

Zusammenfassung

Was passiert?

- Bei falschem Aufruf des Konstruktors wird eine **Exception** ausgelöst.

```
>>> c = Circle (x=10,y=20, radius=-3)
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
NameError: name 'Circle' is not defined
```

Beispiel: Radius eines Kreises



- Ein böswilliger Mensch kann immer noch folgenden Code schreiben:

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

Stattdessen schreiben wir

```
c.set_radius(-3)
```

Invariante für unveränderliche Objekte



```
@dataclass(frozen=True)
class Vehicle:
    wheels : int

    def __post_init__(self):
        assert self.wheels > 0, "nr of wheels should be greater than zero"
```

Aggregie-
rung

Properties

Operator-
Überladung

Zugewiesen-
fassung

- **Regel 4:** Bei unveränderlichen Objekten muss der Konstruktor die Einhaltung der Invariante prüfen!
- Die Prüfung geschieht durch eine Assertion in einer speziellen Methode `__post_init__`. Verletzung führt zu einer **Exception** (Ausnahme).
- `__post_init__` wird automatisch nach Setzung der Attribute bei der Konstruktion einer Instanz einer Datenklasse aufgerufen.

Zusammenfassung Invariante



UNI
FREIBURG

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 Bei veränderlichen Objekten muss (nur) der Setter die Einhaltung der Invariante prüfen!
- 3 Bei unveränderlichen Objekten muss der Konstruktor die Einhaltung der Invariante prüfen!

Aggregie-
rung

Properties

Operator-
Überladung

Zusammen-
fassung

Beispiel: Datenkapselung

Aufgabe

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

Erster Versuch

```
@dataclass
class Point2D:
    x : float
    y : float

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

Aggregierung

Properties

Operator-Überladung

Zusammenfassung

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)
```

Aggregie-
rung

Properties

Operator-
Überladung

Zusammen-
fassung

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 aufwändig zu berechnen sind.
- Möglichkeit zur Vermeidung der trigonometrischen 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 float Zahlen!)

Datenkapselung: Änderung der Repräsentation ohne Änderung des Interface



```
@dataclass
class PointPolar:
    x : InitVar[float]
    y : InitVar[float]

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

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

Aggregie-
rung
Properties

Operator-
Überladung

Zusammen-
fassung

- x und y definieren nur die Parameter für den Konstruktor (Effekt von `InitVar`)
- Interne Repräsentation durch Polarkoordinaten
- Interne Attribute `__r` und `__theta` von außen nicht ohne Weiteres zugreifbar

Datenkapselung: Interface rechtwinklige Koordinaten



UNI
FREIBURG

```
def get_x (self) -> float:  
    return self.__r * cos (self.__theta)  
def get_y (self) -> float:  
    return self.__r * sin (self.__theta)  
def set_x (self, x : float):  
    self.__post_init__ (x, self.get_y())  
def set_y (self, y : float):  
    self.__post_init__ (self.get_x(), y)
```

Aggregie-
rung

Properties

Operator-
Überladung

Zusammen-
fassung

Was passiert? Exakt das Gleiche wie mit Point2D!

Python-Interpreter

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

Aggregie-
rung

Properties

Operator-
Überladung

Zusammen-
fassung

Weitere Möglichkeiten

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

3 Operator-Überladung



- Arithmetische Operatoren
- Vergleichsoperatoren

Aggregie-
rung

Properties

Operator-
Überladung

Arithmetische
Operatoren

Vergleichsoperato-
ren

Zusammen-
fassung

Überladung von Operatoren

- Ein **Operator** ist **überladen** (operator overloading), wenn dieser Operator je nach Typ der Argumente (und ggf. dem Kontext) unterschiedlich definiert ist.
- In vielen Programmiersprachen sind die arithmetischen Operatoren für numerische Typen überladen.
- In Python sind außerdem die Operatoren „+“ und „*“ für Strings überladen.
- Für gewisse Operatoren können wir Überladung selbst definieren!
- **Überladung ist immer mit Vorsicht zu genießen:**
 - Im Programmtext ist es nicht mehr offensichtlich, welcher Code ausgeführt wird, wenn überladene Operatoren vorkommen.
 - Eine Überladung darf 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.

Aggregation

Properties

Operator-
Überladung

Arithmetische
Operatoren

Vergleichsoperato-
ren

Zusammen-
fassung

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 dunder¹ 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?

¹dunder = double underline

Beispiel: Addition für 2D-Punkte



point2d.py

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

Aggregie-
rung

Properties

Operator-
Überladung

Arithmetische
Operatoren

Vergleichsoperato-
ren

Zusammen-
fassung

- Der Funktionsaufruf `isinstance (other, Point2D)` testet, ob `other` eine Instanz von `Point2D` ist.
- Falls nicht, wird hier eine Exception erzeugt.

Beispiel: Multiplikation für 2D-Punkte

mit den dunder Methoden `__mul__` und `__rmul__`

point2d.py

```
class Point2D:  
    ...  
    def __mul__(self, other : Union[Point2D, numbers.Number]):  
        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 : numbers.Number):  
        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)
```

- `p1 * 42` entspricht `p1.__mul__(42)`; `other` ist eine Zahl

Aggregie-
rung

Properties

Operator-
Überladung

Arithmetische
Operatoren

Vergleichsoperato-
ren

Zusammen-
fassung

Multiplikation (2)

Python-Interpreter

```
>>> w = p1 * p2 # multiply two points
>>> w # yields a number
```

42

- `p1 * p2` entspricht `p1.__mul__(p2)`; `other` ist eine Instanz von `Point2D`

Aggregie-
rung

Properties

Operator-
Überladung

Arithmetische
Operatoren

Vergleichsoperato-
ren

Zusammen-
fassung

Multiplikation (3)

Python-Interpreter

```
>>> p3 = 3 * p1 # multiply a number with a point
>>> p3.x, p3.y # yields a point
(3, 0)
```

- $3 * p1$ entspricht ...
- $3 .__m u l __(p1)$... — Leerzeichen beachten
- aber der Typ `int` kann nicht mit einem `Point2D` multiplizieren. Daher liefert dieser Versuch den Wert `NotImplemented`.
- Daraufhin versucht es Python mit vertauschten Operanden ...
- $p1.__r m u l __(3)$... was ein Ergebnis liefert.
- Die arithmetischen Operatoren `+`, `*`, `-`, `/` und `%` können nach dem gleichen Muster überladen werden.

Aggregierung

Properties

Operator-Überladung

Arithmetische Operatoren

Vergleichsoperatoren

Zusammenfassung

Vergleichsoperatoren

- Die Vergleichsoperatoren `==` und `!=` können mit den dunder Methoden `__eq__` und `__ne__` definiert werden.
- Sinnvolle Anwendung von Überladung, da für jeden Typ eine andere Implementierung der Gleichheit erforderlich ist!

Vergleich von Objekten: `__eq__`, `__ne__`

■ `obj.__eq__(other)`

- Auswertung von `obj == other`.
- Auswertung von `other == obj`, falls `other` keine `__eq__` Methode besitzt.

■ `obj.__ne__(other)`

Auswertung von `obj != other` (oder `other != obj`).

- 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.

- Ohne diese Methoden werden Objekte nur auf Identität verglichen, d.h. `x == y` gdw. `x is y`.

Gleichheit für 2D Punkte



Equality

```
@dataclass
class Point2D:
    ...
    def __eq__(self, other):
        return (isinstance(other, Point2D) and
                self.x == other.x and self.y == other.y)
```

Aggregie-
rung

Properties

Operator-
Überladung

Arithmetische
Operatoren

Vergleichsoperato-
ren

Zusammen-
fassung

- Datenklassen haben automatisch eine Methode `__eq__`, falls nicht explizit eine definiert wird.
- Das Beispiel zeigt die Methode `__eq__`, wie sie für die Datenklasse `Point2D` automatisch erzeugt wird.

Vergleich: __ge__, __gt__, __le__, __lt__

- **obj.__ge__(other)**
 - Zur Auswertung von `obj >= other`.
 - Zur Auswertung von `other <= obj`, falls `other` über keine `__le__`-Methode verfügt.
- **obj.__gt__(other), obj.__le__(other), obj.__lt__(other):**
Analog für `obj > other` bzw. `obj <= other` bzw. `obj < other`.
- Auch die Vergleichsmethoden können automatisch durch die Datenklasse erzeugt werden, wenn `order=True` angegeben wird:

```
@dataclass(order=True)
class Point2D:
    x : float
    y : float
```

Aggregierung

Properties

Operator-Überladung

Arithmetische Operatoren

Vergleichsoperatoren

Zusammenfassung

4 Zusammenfassung



UNI
FREIBURG

Aggregie-
rung

Properties

Operator-
Überladung

Zusammen-
fassung

Zusammenfassung

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

Aggregierung

Properties

Operator-Überladung

Zusammenfassung