Das Ersetzbarkeitsprinzip

> U ist Untertyp von T, wenn eine Instanz von U überall verwendbar ist, wo eine Instanz von T erwartet wird

Dieses Ersetzbarkeitsprinzip benötigt man für

- den Aufruf einer Routine mit einem Argument, dessen Typ Untertyp des formalen Parametertyps ist;
- die Zuweisung eines Objekts an eine Variable, wobei der Objekttyp Untertyp des deklarierten Variablentyps ist.

Untertypen und Schnittstellen

Objekttyp U ist Untertyp von Objekttyp T wenn

- für jede Konstante in T (vom Typ A) existiert Konstante in U (vom Typ B), wobei B Untertyp von A
- für jede Variable in T (vom Typ A) existiert eine Variable in U (vom Typ B), wobei A und B äquivalent
- für jede Methode in T existiert Methode in U, wobei
  - Parameteranzahlen und Parameterarten gleich
  - Parametertypen passen zueinander (je nach Art)
  - Ergebnistyp in U Untertyp von Ergebnistyp in T
  - Methode in U wirft nicht mehr Exceptions als die in T

Untertypen nach Parameterarten

Methodenparameter in Obertyp T vom deklarierten Typ A
Methodenparameter in Untertyp U vom deklarierten Typ B

Eingangsparameter:

- beim Aufruf von Aufrufer zu aufgerufener Methode
- A Untertyp von B

Ausgangsparameter:

- am Methodenende von aufgerufener Methode zu Aufrufer
- B Untertyp von A

Durchgangsparameter:

- gleichzeitig Ein- und Ausgangsparameter
- A und B äquivalent

Varianz von Typen

Kovarianz: Typ eines Elements im Untertyp ist Untertyp des Elementtyps im Obertyp

- Typ von Konstante, Ergebnis, Ausgangsparameter

Kontravarianz: Typ eines Elements im Untertyp ist Obertyp des Elementtyps im Obertyp

- Typ von Eingangsparameter

Invarianz: Typ eines Elements im Untertyp ist äquivalent zum Elementtyp im Obertyp

- Typ von Variable, Durchgangsparameter

Beispiel für Varianz

- Annahme: variante Parametertypen erlaubt (nicht in Java)

```
class T {
    public T meth(U p) { ... }
}
class U extends T {   // U ist Untertyp von T
    public U meth(T p) { ... }
}   // in Java ueberladen, nicht ueberschrieben
```

- entspricht Bedingungen für Untertypbeziehungen
- ACHTUNG: funktioniert in Java nicht so !!!
  (Überladen statt Überschreiben, Parametertypen invariant)

Wann und warum Kovarianz?

- Ersetzbarkeit nur bei *lesendem* Zugriff auf Konstante, Ergebnis oder Ausgangsparameter (bei Methodenaufruf)
- nur Elementtyp A im Obertyp T statisch bekannt
- Lesezugriff kann tatsächlich auf entsprechendes Element vom Typ B im Untertyp U erfolgen
- gelesener Wert soll trotzdem vom erwarteten Typ A sein

  $\rightarrow$ jede Instanz von B soll auch Instanz von A sein

  $\rightarrow$ B soll Untertyp von A sein
- Initialisierung Konstante, Ergebnis, Ausgangsparameter (in Methode): genauer Typ bekannt – keine Ersetzbarkeit

Wann und warum Kontravarianz?

- Ersetzbarkeit nur bei Schreibzugriff auf Eingangsparameter (bei Methodenaufruf)
- nur Parametertyp A im Obertyp T statisch bekannt
- Schreibzugriff kann tatsächlich auf entsprechenden Parameter vom Typ B im Untertyp U erfolgen
- tatsächlich geschriebener Wert soll vom Typ B sein, obwohl Werte vom Typ A geschrieben werden können

  $\rightarrow$ jede Instanz von A soll auch Instanz von B sein

  $\rightarrow$ A soll Untertyp von B sein
- Lesezugriff auf Eingangsparameter (in Methode): deklarierter Typ bekannt – keine Ersetzbarkeit

Wann und warum Invarianz?

- Ersetzbarkeit sowohl bei schreibendem als auch lesendem Zugriff benötigt (Variable, Durchgangsparameter)
- daher sowohl Kovarianz als auch Kontravarianz gefordert
- nur Invarianz erfüllt beide Forderungen

Theorie und Praxis

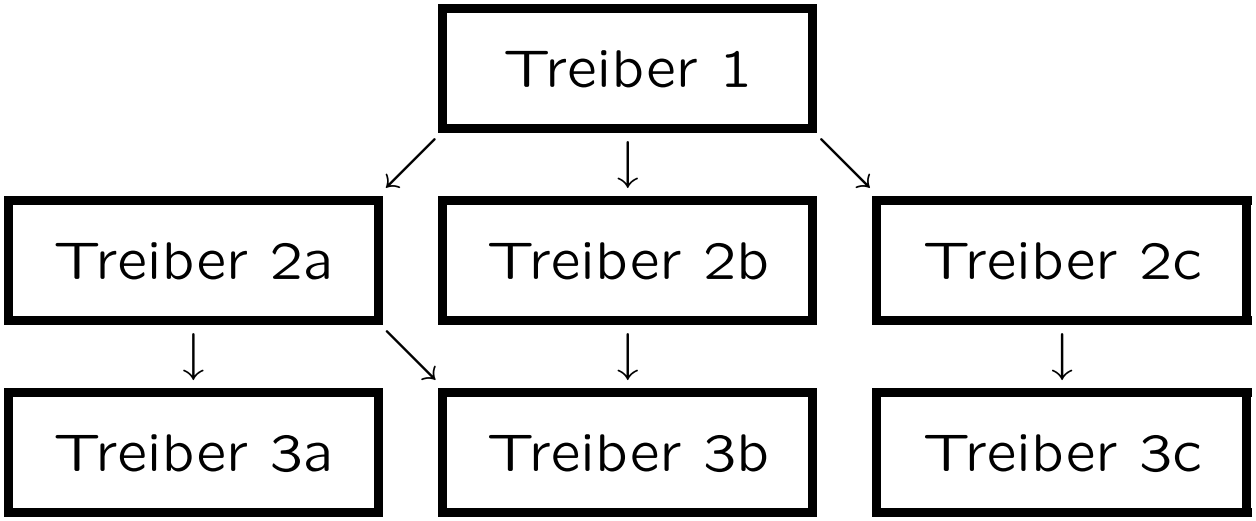
- Theorie vollständig und widerspruchsfrei auf Signaturen
  strukturelle Typen $\rightarrow$ keine Untertypdeklarationen nötig
- in der Praxis: nominale Typen
  - explizite Vererbungsbeziehung vorausgesetzt
  - Vererbung entsprechend eingeschränkt
  - Abstraktion $\rightarrow$ keine zufälligen Untertypbeziehungen
- weitere Einschränkung in Java (und anderen Sprachen):
  Ergebnistypen kovariant, alle anderen Typen invariant
  Grund: intuitiv, unterscheidbar von Überladen

Grenzen von Untertypbeziehungen

```
public class Point2D {
    protected int x, y;
    public boolean equal(Point2D p) {
        return x == p.x && y == p.y;
    }
}
public class Point3D extends Point2D {    // FALSCH
    protected int z;
    public boolean equal(Point3D p) {
        return x == p.x && y == p.y && z == p.z;
    }     // equal ueberladen, nicht ueberschrieben
}
```

Untertypen – Codewiederverwendung

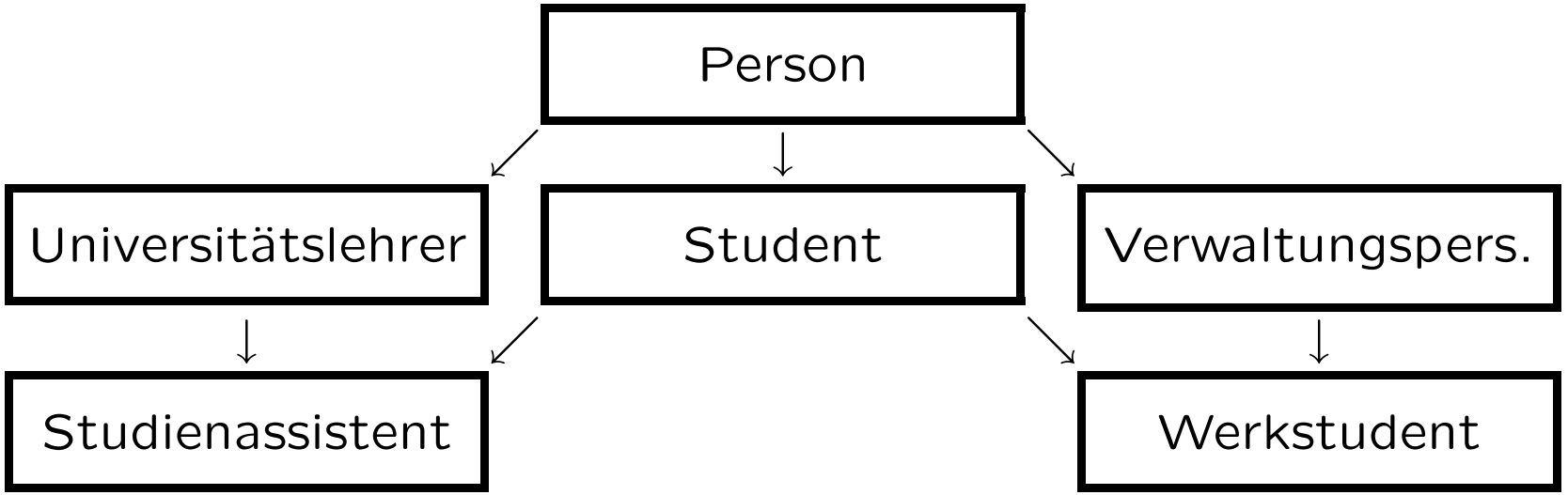
Software-Generationen und -Versionen



Typen sollen unverändert bleiben, Erweiterungen möglich

Untertypen – Codewiederverwendung

Wiederverwendung innerhalb eines Programms



Typen sollen stabil sein — vor allem weiter oben

Dynamisches Binden (1)

```
class A {
    public String foo1() { return "foo1A"; }
    public String foo2() { return fooX(); }
    protected String fooX() { return "foo2A"; } }
class B extends A {
    public String foo1() { return "foo1B"; }
    protected String fooX() { return "foo2B"; } }
class DynamicBindingTest {
    public static void test(A x) {
        System.out.println(x.foo1());
        System.out.println(x.foo2()); }
    public static void main(String[] args) {
        test(new A()); test(new B()); }
}
```

Dynamisches Binden (2)

Aufruf:

```
java DynamicBindingTest
```

Bildschirmausgabe:

```
foo1A
foo2A
foo1B
foo2B
```

Beispiel mit Switch

```
public void gibAnredeAus(int anredeArt, String name) {
    switch(anredeArt) {
        case 1:    // weiblich
            System.out.print ("S.g. Frau " + name);
            break;
        case 2:    // maennlich
            System.out.print ("S.g. Herr " + name);
            break;
        default:   // unbekannt
            System.out.print ("S.g. " + name);
    }
}
```

Beispiel ohne Switch

```
public class Adressat {
    protected String name;
    public void gibAnredeAus()
        { System.out.print("S.g. " + name); }
    ... // Konstruktoren und weitere Methoden
}
public class WeiblicherAdressat extends Adressat {
    public void gibAnredeAus()
        { System.out.print ("S.g. Frau " + name); }
}
public class MaennlicherAdressat extends Adressat {
    public void gibAnredeAus()
        { System.out.print ("S.g. Herr " + name); }
}
```