# Programmierparadigmen

## Kapitel 2
## Objektorientierung und weiterführende Konzepte



## Ausgangssituation & Lernziele

- Bekannt:
  - Grundlegendes Verständnis von Java
  - Kapselung durch Klassen und Vererbung
- Ziele:
  - Verständnis der Probleme bei Vererbung und Typersetzbarkeit in objektorientierten Programmiersprachen
  - Kennenlernen der Grundideen generischer und abstrahierender Konzepte in Objekt-orientierter Programmierung (OOP)
  - Praktische Erfahrungen anhand von Java & C++
- Ausdrucksstärke erhöhen, Komplexität verbergen



# Teilfragen

- Leitfrage: Wie kann die Komplexität von Software beherrscht werden?

- Gegliedert in Unterpunkte:
  - Wie können Änderungen an komplexen Code-Basen beherrscht werden?
  - Wie können Algorithmen generisch für verschiedene Datentypen implementiert werden und Code-Duplizierung vermieden werden?
  - Wie können Datentypen sicher generalisiert werden?



# Überblick

- **Unit-Testing**
- Reflections
- Assertions/Pre-/Postconditions/Invarianten
- Exceptions
- Generizät von Datentypen
  - Grenzen von Typsubstitution
  - Ko- und Kontravarianz
  - Liskovsches Substitutionsprinzip
  - Generics in Java



# Unit-Testing – Motivation

- Große Software-Systeme entwickeln sich über lange Zeiträume
- Wie können Änderungen an komplexen Code-Basen beherrscht werden?
- Veränderung über Zeit + Komplexität der Software
  → Änderungen führen mglw. zu Auswirkungen, die für Einzelne nicht immer überschaubar sind
  → Software muss von Grund auf durchgetestet werden

- Verbreitetes Vorgehen: zusätzlichen Code schreiben, der eigentlichen Code automatisch "überprüft"
  - Nicht vollständig möglich (siehe z.B. Halteproblem)
  - Eher Heuristik

- Test-Code wird bei Ereignissen oder periodisch ausgeführt
  - Vor Releases, nach Commit in Repository, während der Entwicklung …



# Eigenschaften von Unit-Tests

- Software schlecht als Ganzes testbar → Zergliederung von Software in sinnvolle Einheiten
- Individuelle Tests dieser Einheiten

- Dabei: reproduzierbar & vollautomatisierbar

→ Ziel: Wann immer Änderungen in komplexen Programmen vorgenommen werden, möglichst vollständiger Test, da Programmierer nicht mehr alles überblicken

- Messung der Vollständigkeit der Tests schwierig
- Gängig: Messung von Überdeckung (Coverage) in Bezug auf Anzahl Funktionen, Code-Zeilen oder Verzweigungen
- Gute Praxis: Wenn ein Bug beim Testen oder Live-Betrieb auftritt → Schreiben eines *zusätzlichen* Tests um Wiederauftreten zu erkennen



# Unit-Testing in Java

- De facto Standard: JUnit Framework
- „Best Practice” für einfachen Einsatz:
  - Java Code in ein oder mehrere Klassen im Ordner `src` speichern
  - Im Ordner `tests` jeweils eine Klasse anlegen, die Funktionen einer Implementierungsklasse prüft
  - Konvention Testklasse einer Klasse `Name` heißt `NameTest`
  - Eigentliche Tests werden in Methoden implementiert, die als Tests annotiert sind
  - Typischer Ansatz: für bekannte Werte ausführen und Ergebnis mit Grund-wahrheit vergleichen, bspw. mit `assertEquals`-Funktion

- Viele weitere Features, z.B. Deaktivieren von Tests, Timeouts, GUI Coverage, Mocks
  - Hier nicht weiter vertieft
  - Siehe https://junit.org/junit5/docs/current/user-guide/



# JUnit – Einfaches Beispiel

- Multiplikationsklasse

```
public class Multi {
    int mul(int a, int b) {
        return a * b;
    }
}
```

- Korrespondierende Testklasse

```
import static org.junit.jupiter.api.Assertions.*;

class MultiTest {
    @org.junit.jupiter.api.Test
    void mul() {
        Multi m = new Multi();
        assertEquals(m.mul(1,2), 2, "should work");
        assertEquals(m.mul(2,0), 1, "should explode");
    }
}
```



# Unit Testing – Richtiges Abstraktionsniveau

- Hauptschwierigkeiten von Unit-Tests:
  - Richtiges Abstraktionsniveau
  - „Herauslösen“ von zu testendem Code aus Umgebung

- Zwei wesentliche Möglichkeiten:

1. Individuelles Testen von Klassen:
   - Vernachlässigt Zusammenspiel zwischen Klassen
   - Oft sehr aufwändig, da andere Klassen für Unit-Tests nachgebildet werden müssen (Mocks)
   - Was bei zyklischen Abhängigkeiten?
2. Gemeinsames Testen von Klassen:
   - Erfordert Eingreifen in gekapselte Funktionalitäten
     - Private & protected Member-Variablen & Methoden!
     - Eigentlich nicht möglich?!



# Unit Testing – Erreichbarer Code

- Weiteres Problem: Testen von Fehlerbehandlung

```
class Bank {
    private void einzahlen(String p, double euro) {
        // Code der Kontostand auf der Festplatte speichert...
        // Schlägt alle 2 Jahre einmal fehl...
    }
    public void ueberweise(String p1, String p2, double euro) {
        einzahlen(p1, -euro);
        einzahlen(p2, euro);
    }
}
```

- Wie kann man testen, dass nie Geld verloren geht? 
- Man müsste gezielt Rückgabewerte von Framework-Methoden oder privaten Methoden austauschen – aber wie?



# Überblick

- Unit-Testing
- **Reflections**
- Assertions/Pre-/Postconditions/Invarianten
- Exceptions
- Generizät von Datentypen
  - Grenzen von Typsubstitution
  - Ko- und Kontravarianz
  - Liskovsches Substitutionsprinzip
  - Generics in Java



# Reflections

- Normaler Ablauf: Programm schreiben, compilieren, ausführen
- Aber was wenn ich ein Programm zur Laufzeit inspizieren oder verändern möchte?
- Unterschiedliche Gründe
  - Testen (um Fehler zu injizieren!)
  - Nachladen von Plugins zur Modularisierung von Programmen
  - Serialisierung/Deserialisierung von Code
  - Patchen zur Laufzeit
  - Debugging

- Benötigt die Fähigkeit im Programm Codestruktur zu analysieren und ggf. zu verändern
- Typisch: Abruf Klassenhierarchie, Auflisten von Methoden und Parametern, Austausch von Klassen und Methoden
- Teil von Java, Python, ...



# Reflections – in Java

- API verstreut über verschiedene Packages, z.B. java.lang.Class, java.lang.instrument, java.lang.reflect
- Einfache Beispiele:

```
Class cls = "test".getClass();
System.out.println("Die Klasse heisst " + cls.getName());
// Die Klasse heisst java.lang.String
```

```
// import java.lang.reflect.Method;
Method[] methods = cls.getMethods();
for (Method m : methods)
   System.out.println(m.getName());
```



# Reflections – in Java

- Ein komplexes Beispiel:

```
static class Foo {
    private String h = "Hallo";
    public void greet() { System.out.println(h); }
}

public static void main(String[] args) {
    Foo foo = new Foo();
    foo.greet();
    try {
        Field f = foo.getClass().getDeclaredField("h");
        f.setAccessible(true);
        f.set(foo, "Moin");
    } catch (Exception e) {
    }
    foo.greet();
}
```



# Reflections – Annotations

- Annotationen erlauben Anmerkungen an Klassen & Methoden
- Beginnen mit @
- Einige wenige vordefinierte z.B. @Override
- Aber auch eigene; u.A. durch Reflections abrufbar
- Häufig genutzt, wenn zusätzlicher Code geladen wird (Java EE!)

```
@WebServlet(urlPatterns = {"/account", "/password"})
public class MySlet extends
javax.servlet.http.HttpServlet { ...
```

- Oder um Unit-Tests zu markieren...

```
class MultiTest {
    @org.junit.jupiter.api.Test
    void mul() {
       ...
```



# Reflections – Zugriff auf Annotations

```
// verfügbar machen in VM (sonst nur Lesen der .class-
Datei) @Retention(RetentionPolicy.RUNTIME)
// neue Annotation definieren
@interface Author {
    String value();
}
```

```
@Author("mick")
class FooGreet {
    public void greet()
{ System.out.println("hello"); }
}
```

```
for(Annotation annotation :
               FooGreet.class.getDeclaredAnnotations())
{
    System.out.println(annotation.toString());
}
```



# Reflektionen über Reflections

- Reflections sind ein sehr mächtiges Werkzeug, aber Einsatz sollte wohldosiert erfolgen
- Nachteile:
  - Geringe Geschwindigkeit weil Zugriff über Programmcode erfolgt
  - Kapselung kann umgangen werden
    - `private`, `protected` und `final` können entfernt werden
    - Aufruf/Veränderung interner Methoden & Auslesen/Veränderung interner Variablen
    - Synchronisation zwischen externen und internen Komponenten bei Weiterentwicklung?
  - Debugging veränderter Programme?
  - Sicherheit?!
- Verwandte Techniken:
  - Monkey Patching (JavaScript-Umfeld)
  - Method Swizzling (Swift/Objective-C-Umfeld)



# Überblick

- Unit-Testing
- Reflections
- **Assertions/Pre-/Postconditions/Invarianten**
- Exceptions
- Generizät von Datentypen
  - Grenzen von Typsubstitution
  - Ko- und Kontravarianz
  - Liskovsches Substitutionsprinzip
  - Generics in Java



# Assertions

- Kann man interne Zustände testen, ohne invasive Techniken wie Reflections?
- Einfache Möglichkeit: An sinnvollen Stellen im Programmcode testen, ob Annahmen/Zusicherungen (Assertions) stimmen...
- Tests, die nie falsch sein sollten
  - Erlauben gezielten Programmabbruch, um Folgefehler zu vermeiden
  - Erlauben gezieltes Beheben von Fehlern
  - Gemeinsames Entwickeln von Annahmen und Code

```
class Stack {
    public void push(Object o) {
        ...
        if(empty() == true) // es sollte ein Objekt da sein
            System.exit(-1);
    }
    ...
}
```





# Assertions

- Aber: Ausführungsgeschwindigkeit niedriger
- Verluste stark abhängig von Programm/Programmiersprache
- Verbreitetes Vorgehen:
  - Aktivieren der Tests in UnitTests und Debug-Versionen
  - Deaktivieren in Releases

→ Benötigt spezielle „if“-Bedingung: `assert`

```
class Stack {
    public void push(Object o) {
        ...
        assert empty() == false
    }
    ...
}
```

- Aktivierung der Tests über Start mit `java -ea`



# Pre- & Postconditions

- An welchen Stellen ist es sinnvoll Annahmen zu prüfen?
- Einfache Antwort: an so vielen Stellen wie möglich
- Komplexere Antwort: Design by contract, ursprünglich Eiffel
- Methoden/Programmabschnitte testen Bedingung vor und nach Ausführung

```
class Stack {
    public void push(Object o) {
        assert o != null // precondition
        ...
        assert empty() == false // postcondition
    }
    ...
}
```

- Einige Sprachen bieten spezialisierte Befehle: `requires` und `ensures`

→ Ziel mancher Sprachen: Formale Aussagen über Korrektheit





# Klasseninvarianten

- Bei OO-Programmierung sind Vor- und Nachbedingungen nur eingeschränkt sinnvoll
- Bedingungen oft besser auf Objekt-Ebene → interner Zustand
- Invarianten spezifizieren Prüfbedingungen
- In Java nicht nativ unterstützt:
  - Erweiterungen, wie Java Modeling Language
  - Simulation:

```
class Stack {
    void isValid() {
        for(Object o : _objs)
            assert o != null
    }
    public void push(Object o) {
        isValid() // always call invariant
        ...
        isValid() // always call invariant
    }
```



# Überblick

- Unit-Testing
- Reflections
- Assertions/Pre-/Postconditions/Invarianten
- **Exceptions**
- Generizät von Datentypen
  - Grenzen von Typsubstitution
  - Ko- und Kontravarianz
  - Liskovsches Substitutionsprinzip
  - Generics in Java





# Exceptions

- Signifikantes Element vieler Sprachen: Wie wird mit Fehlern umgegangen?
- Fehler selbst unterschiedliche Gründe:
  - Fehler im Programm
  - Ungültige Eingabeparameter
  - Fehler im Programmablauf
    - Speicherallokation fehlgeschlagen
    - E/A-Fehler
    - Bit-Flips

- Erstere in komplexen Programmen nicht auszuschließen
- Letztere nie auszuschließen



# Exceptions

- Problem: Fehler können an verschiedenen Stellen im Code auftreten

→ Führt schnell zu Spaghetti-Code, vergessenen Rückgabe-Checks & Fehlernummern (String-Rückgabe ineffizient)

```
class DB { // this is pseudo code!
    byte [] array;
    private int readFile(String f) {
        int errorCode = 0;
        File f = File.open("/tmp/file");
        if(f.canRead() == true) {
            int len = f.length();
            if(len > 0) {
                array = new char[len];
                if(array != null) {
                    bool ok = f.readAllBytes(array);
                    if(ok == false)
                        errorCode = -1;
                } else {
                    errorCode = -2;
                }
            } else {
                errorCode = -3;
            }
            if(f.close() == false)
                errorCode = -4;
        } else {
            errorCode = -5;
        }
        return errorCode;
    }
}
```



# Exceptions

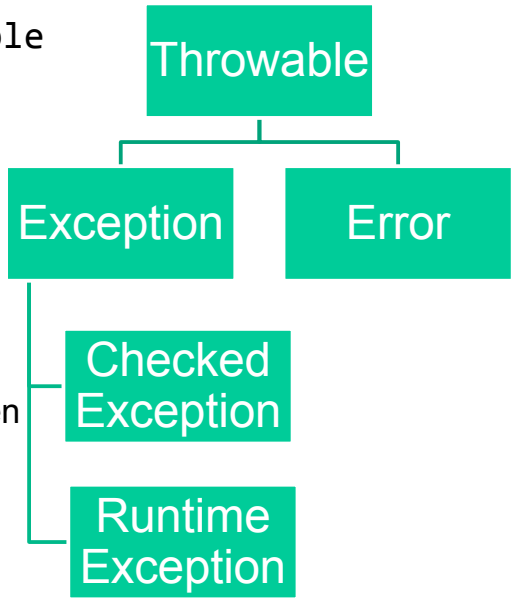
- Besser für Code-Komplexität: Fehlerprüfungen an zentralerer Stelle
  - Weiterlaufen lassen und später auf irgendeinen Fehler prüfen?
  - Besser: Abbrechen und Programm-Stack „abbauen“ bis (zentralere) Fehlerbehandlung greift
  - Dabei Fehler sinnvoll gruppieren
- Java (und viele mehr): try/catch/throw-Konstrukt

```
private void readFile(String f) {
    try {
        Path file = Paths.get("/tmp/file");
        if(Files.exists(file) == false)
            throw new IOException("No such dir");
        array = Files.readAllBytes(file);
    } catch(IOException e) {
        // do something about it
    }
}
```



# Exceptions – in Java

- throw übergibt ein Objekt vom Typ `Throwable` an Handler, dabei zwei Unterarten:
- Error:
  - Sollte nicht abgefangen werden
  - z.B. Fehler im Byte-Code, Fehlgeschlagene Assertions
- Exceptions:
  - Checked Exception: Programm muss Exception fangen oder in Methode vermerken
  - Runtime Exceptions: Müssen nicht (aber sollten) explizit behandelt werden, bspw. ArithmeticException oder IndexOutOfBoundsException






# Exceptions – Checked Exceptions

- Deklaration einer überprüften Exception:

```
void dangerousFunction() throws IOException {
    ...
    if(onFire)
        throw IOException("Already burns");
    ...
}
```

Aufrufe ohne try-catch-Block schlagen fehl!

- Sollte man checked oder unchecked Exceptions verwenden?
  - Checked sind potenziell sicherer
  - Unchecked machen Methoden lesbarer

→ Faustregel unchecked, wenn immer auftreten können (zu wenig Speicher, Division durch 0)

# Exceptions – Syntaktischer Zucker (I)

- Fangen mehrerer unterschiedlicher Exceptions:

```
try {
  dangerousFunction();
} catch(IOException i) {
  // handle that nasty error
} catch(Exception e) {
  // handle all other exceptions
}
```

Was passiert wenn beide catch-Blöcke vertauscht werden?





# Exceptions – Syntaktischer Zucker (II)

- Aufräumen nach einem try-catch-Block:

```
try {
  dangerousFunction();
} catch(Exception e) {
  // handle exceptions
  return;
} finally {
  // release locks etc..
}
```

Anweisungen im finally-Block werden immer ausgeführt, d.h. auch bei return in try- oder catch-Block (oder fehlerloser Ausführung)

- Trick: Man braucht keinen catch-Block!
  - Try-finally-Blöcke eignen sich Locks sicher freizugeben etc.
  - Mehr zu ähnlichen Konzepten später...



# Überblick

- Unit-Testing
- Reflections
- Assertions/Pre-/Postconditions/Invarianten
- Exceptions
- **Generizät von Datentypen**
  - Grenzen von Typsubstitution
  - Ko- und Kontravarianz
  - Liskovsches Substitutionsprinzip
  - Generics in Java





# Generizität – Motivation

- (Typ-)Generizität:
  - Anwendung einer Implementierung auf verschiedene Datentypen
  - Parametrisierung eines Software-Elementes (Methode, Datenstruktur, Klasse, ...) durch einen oder mehrere Typen
- Beispiel: Minimum zweier Werte

```
int min(int a, int b) {
    return a < b ? a : b;
}
```

```
float min(float a, float b) {
    return a < b ? a : b;
}
```

```
String min(String a, String b) { // lexikographisch
    return a.compareTo(b) < 0 ? a : b;
}
```

- Für jeden Typ? Wie kann `sort` implementiert werden?



# Möglicher Ausweg

- Klassenhierarchie mit zentraler Basisklasse
  - z.B. `java.lang.Object`

```
void sort(Object[] feld) { ... }
```

  - alternativ (nutzt intern `Object`)

```
void sort(java.util.Vector feld) { ... }
```

- Nutzung primitive Datentypen nicht direkt möglich
  - `Object[]` ≠ `int[]`
  - erfordert Wrapper-Klassen wie `java.lang.Integer`

```
Object[] feld = new Object[10];
feld[0] = new Integer(42);
int i = ((Integer) feld[0]).intValue();
```





# Weiteres Problem: Typsicherheit

- Typsicherheit „untergraben“

```
Vector obst = new Vector();
obst.add(new Apfel());
Object birne = obst.firstElement();
```

- Vektor könnte unterschiedlichstes Obst enthalten

```
Object einObst = obst.firstElement();
if (einObst instanceof Birne) {
    Birne birne = (Birne) einObst;
    ...
}
```

- Fallunterscheidung bei 40.000 Obstsorten weltweit?
- Dürfen wir Äpfel mit Birnen vergleichen?
- Wann dürfen wir Typen durch allgemeinere ersetzen?



# Typ-Substituierbarkeit

- Kann ein Objekt einer Oberklasse (eines Typs) durch ein Objekt seiner Unterklasse (Subtyps) ersetzt werden?

- Beispiele:
  - short —istSubtyp→ int —istSubtyp→ long
  - Kreis —istSubtyp→ Ellipse —istSubtyp→ Fläche

- Viele Programmiersprachen ersetzen Typen automatisch, d.h.

```
long min(long a, long b) {
    return a < b ? a : b;
}
```

  wird auch für `shorts` und `ints` verwendet

- Immer sinnvoll?





# Typ-Substituierbarkeit: Gegenbeispiel

- Nach Reussner: Component Based Software Engineering

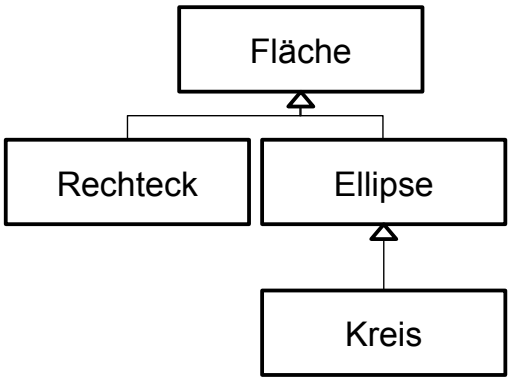
```
void successor([in] long a, [out] long b){
    if (a < MAX_LONG) b = a + 1; else ...
}
```

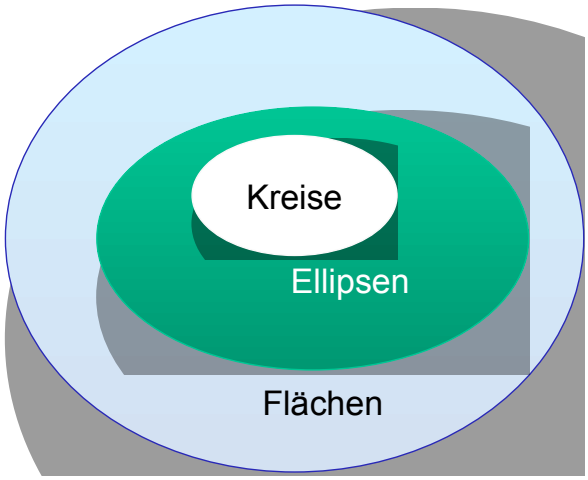
```
int aInt, bInt;
long aLong = MAX_LONG - 1, bLong;

successor(aLong, bLong); // prima (fehlerbehandlung)
successor(aInt, bLong); // prima (immer ok)
successor(aInt, bInt); // overflow oder rücktyp zu klein
successor(aLong, bInt); // rücktyp zu klein
```



# Kreis-Ellipse-Problem

- Modellierung von Vererbungsbeziehungen
  - „Ist ein Kreis eine Ellipse?“ „Oder eine Ellipse ein Kreis?“
  - Annahme: Kreis := Ellipse mit Höhe = Breite







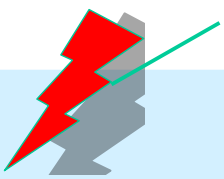

# Kreis-Ellipse-Problem /2

- Aber ...

```
class Ellipse {
    private int width, height;
    ...
    void skaliereX(int f) { width = width * f; }
    void skaliereY(int f) { height = height * f; }
}

class Circle extends Ellipse { ... }
```

- Nutzung:

```
Circle c = new Circle();
c.skaliereX(2.0);
c.skaliereY(.5);
```



Ist das noch ein Kreis???



# Kreis-Ellipse-Problem /3

- evtl. Reihenfolge in der Klassenhierarchie tauschen?

```
class Circle{
    private int radius;
    ...
}

class Ellipse extends Circle{ ... }
```

Was bedeutet das für Ellipse?

- Verwandte Probleme:
  - Rechteck-Quadrat
  - Set-Bag





# Kovarianz und Kontravarianz

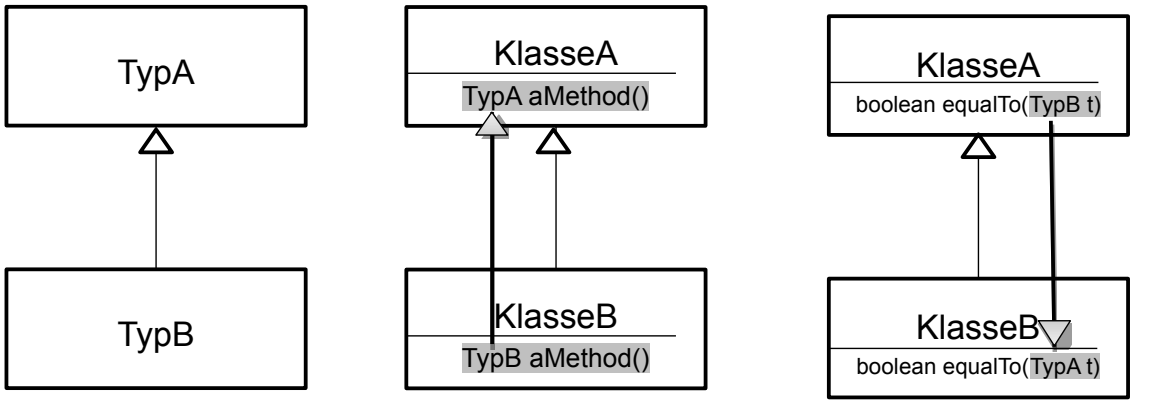
- Geg.: Ordnung von Datentypen von spezifisch → allgemeiner
- Gleichzeitige Betrachtung einer Klassenhierarchie, die Datentypen verwendet

- Kovarianz: Erhaltung der Ordnung der Typen
- Kontravarianz: Umkehrung der Ordnung
- Invarianz: keines von beiden

- Anwendung für
  - Parameter
  - Rückgabetypen
  - Ausnahmetypen
  - Generische Datenstrukturen



# Kovarianz und Kontravarianz in Vererbungshierarchien




Parametertyp mit der Vererbungshierarchie

Parametertyp entgegen der Vererbungshierarchie



# Beispiel

- Basierend auf Meyer‘s SKIER-Szenario

```
class Student {
    String name;
    Student mate;
    void setRoomMate(Student s) { ... }
}
```

- Wie überschreibt man in einer Unterklasse Girl oder Boy die Methode „setRoomMate“ in elternfreundlicher Weise?

- Von Eltern sicher gewollt - Kovarianz:

```
class Boy extends Student {
    void setRoomMate(Boy b) { ... }
}
class Girl extends Student {
    void setRoomMate(Girl g) { ... }
}
```



# Beispiel – Typsicherheit? (I)

- Was passiert mit folgendem Code?

```
Boy kevin = new Boy("Kevin");
Girl vivian = new Girl("Vivian");
kevin.setRoomMate(vivian);
```

- Gültig!
  - Verwendet `setRoomMate` der Basisklasse
  - `setRoomMate` Methoden der abgeleiteten Klassen überladen nur Spezialfälle

- In C++ und Java keine Einschränkung der Typen zur Compile-Zeit
- Kovarianz so nur in wenigen Sprachen implementiert (z.B. Eiffel über redefine); Überprüfung auch nicht immer statisch!
- Auch bekannt als catcall-Problem



# Beispiel – Typsicherheit? (II)

- Ausweg: Laufzeitüberprüfung

```
class Girl extends Student {
    ...
    public void setRoomMate(Student s) {
        if (s instanceof Girl)
            super.setRoomMate(s);
        else
            throw new ParentException("Oh Oh!");
    }
}
```

- Nachteile?



# Ko- und Kontravarianz für Rückgabewerte

- Kovarianz für Rückgabewerte

```
public class KlasseA {
    KlasseA ich() { return this; }
}

public class KlasseB extends KlasseA {
    KlasseB ich() { return this; }
}
```

- Kontravarianz?



# Ko- und Kontravarianz – Zusammenfassung

- In objektorientierten Programmiersprachen im Allgemeinen
  - Kontravarianz: für Eingabeparameter
  - Kovarianz: für Rückgabewerte und Ausnahmen
  - Invarianz: für Ein- und Ausgabeparameter



# Liskovsches Substitutionsprinzip (LSP)

- Barbara Liskov, 1988 bzw. 1993
  - definiert stärkere Form der Subtyp-Relation: berücksichtigt Verhalten

> Wenn es für jedes Objekt $o_1$ eines Typs S ein Objekt $o_2$ des Typs T gibt, so dass für alle Programme P, die mit Operationen von T definiert sind, das Verhalten von P **unverändert** bleibt, wenn $o_2$ durch $o_1$ **ersetzt** wird, dann ist S ein Subtyp von T.

- Subtyp darf Funktionalität eines Basistyps nur erweitern, aber nicht einschränken
- Beispiel: Kreis-Ellipse → Kreis als Unterklasse schränkt Funktionalität ein und verletzt damit LSP



# Typsicherheit – Generics in Java

- Motivation: Parametrisierung von Kollektionen mit Typen

```
LinkedList<String> liste = new LinkedList<String>();
liste.add("Generics");
liste.add("machen");
liste.add("Spass");

String s = liste.get(0);
```

- aber:

```
liste.add(new Integer(42));
```

- oder:

The method ... is not applicable for the arguments ...

```
Integer i = (Integer)liste.get(0);
```



# Typsicherheit – Generics in Java

- auch für Iteratoren nutzbar

```
Iterator<String> iter = liste.iterator();
while(iter.hasNext()) {
    String s = iter.next();
    ...
}
```

- oder mit erweiterter **for**-Schleife

```
for(String s : liste) {
    System.out.println(s);
}
```



TELEMATIK Rechnernetze

# Typsicherheit – Generics in Java

- Definition mit Typparameter

```
class GMethod {
    static <T> T thisOrThat(T first, T second) {
        return Math.random() > 0.5 ? first : second;
    }
}
```

  - T = Typparameter (oder auch Typvariable) wird wie Typ verwendet, stellt jedoch nur einen Platzhalter dar
  - wird bei Instanziierung (Parametrisierung) durch konkreten Typ „ersetzt“
  - nur Referenzdatentypen (Klassennamen), keine primitiven Datentypen



# Typsicherheit – Generics in Java

- explizite Angabe des Typparameters

```
String s = GMethod.<String>thisOrThat("Java", "C++");
Integer i = GMethod.<Integer>thisOrThat(new
Integer(42),
    new Integer(23));
```

- automatische Typinferenz durch Compiler

```
String s = GMethod.thisOrThat("Java", "C++");
Integer i = GMethod.thisOrThat(new Integer(42),
    new Integer(23));
```





# Eingrenzung von Typparametern

- Festlegung einer Mindestfunktionalität der einzusetzenden Klasse, z.B. durch Angabe einer Basisklasse

```
static<T extends Comparable<T>> T min(T first, T second)
{
    return first.compareTo(second) < 0 ? first : second;
}
```

  - Instanziierung von `T` muss von `Comparable` abgeleitet werden: Hier ein Interface, dass wiederum generisch ist, daher `Comparable<T>`
  - Verletzung wird vom Compiler erkannt



# Eingrenzung von Typparametern

- Angabe des Typparameters bei der Klassendefinition

```
class GArray<T> {
    T[] data;
    int size = 0;

    public GArray(int capacity) { ... }
    public T get(int idx) { return data[idx]; }
    public void add(T obj) { ... }
}
```

- Achtung: `new T[n]` ist unzulässig!
- Grund in der Implementierung von Generics





# Einschub: Implementierung von Generics

- Zwei Möglichkeiten der internen Umsetzung generischen Codes:
  - Code-Spezialisierung: jede neue Instanziierung generiert neuen Code
    - `Array<String>` → `ArrayString`, `Array<Integer>` → `ArrayInteger`
    - Problem: Codegröße
  - Code-Sharing: gemeinsamer Code für alle Instanziierungen
    - `Array<String>` → `Array<Object>`, `Array<Integer>` → `Array<Object>`
    - Probleme: keine Unterstützung primitiver Datentypen & keine Anpassung von Algorithmen an Typ
- Java: Code-Sharing durch Typlöschung (Type Erasure)
- Typen beim Übersetzen geprüft, aber keinen Einfluss auf Code
- sichert auch Kompatibilität zu nicht generischem Code (Java-Version < 1.5)
  - Bsp.: `ArrayList` vs. `ArrayList<E>`



# Eingrenzung von Typparametern

- Reflektion (Metaklassen) zur Erzeugung nutzen:

```
public GArray(Class<T> clazz, int capacity) {
    data = (T[]) Array.newInstance(clazz, capacity);
}
```

- Konstruktoraufruf:

```
GArray<String> array =
    new GArray<String>(String.class, 10);
```



# Kovarianz generischer Typen

- einfache Felder in Java sind kovariant

```
Object[] feld = new Object[10];
feld[0] = "String";
feld[1] = new Integer(42);
```

- Instanziierungen mit unterschiedliche Typen sind jedoch inkompatibel

```
GArray<String> anArray = new Garray<String>();
GArray<Object> anotherArray = (GArray<Object>) anArray;
```



# Wildcards

- Wildcard „?“ als Typparameter und abstrakter Supertyp für alle Instanziierungen

```
GArray<?> aRef;
aRef = new GArray<String>();
aRef = new GArray<Integer>();
```

- aber nicht:

```
GArray<?> aRef = new GArray<?>();
```





# Wildcards – Anwendung

- hilfreich insbesondere für generische Methoden

```
// dieser Methode ist der genaue Typ egal
static void pO(GArray<?> ia) {
    for(Object o : ia) {
        System.out.print(o);
    }
}

// floats wollen wir mit Genauigkeit 2 haben
static void pF(GArray<Float> ia) {
    for(Float f : ia) {
        System.out.printf("%5.2f\n", f);
    }
}
```



# Beschränkte Wildcards

- nach „unten“ in der Klassenhierarchie → Kovarianz

```
? extends Supertyp
```

- Anwendungsbeispiel: Sortieren eines generischen Feldes erfordert Unterstützung der `Comparable`-Schnittstelle

```
void sortArray(GArray<? extends Comparable> array) {
    ...
}
```



TELEMATIK Rechnernetze

# Beschränkte Wildcards

- nach „oben“ in der Klassenhierarchie → Kontravarianz

```
? super Subtyp
```

- Anwendungsbeispiel: Feld mit ganzen Zahlen und Objekten

```
GArray<? super Integer> array;
// Zuweisungskompatibel zu …
array = new GArray<Number>();
array = new GArray<Object>();
array = new GArray<Integer>();
// aber nur erlaubt:
Object obj = array.get(0);
```



# Zusammenfassung

- Ziel des Kapitels: Einführen von Mechanismen zur Handhabung von komplexeren Code
- Unterschiedliche Einzelfunktionen:
  - Systematisiertes & schnelles Testen
  - Inspektion/Veränderung von Code zur Laufzeit
  - Zusichern von Bedingungen
  - Fehlerbehandlung
  - Typsicherheit
  - Generische und wiederverwendbare Algorithmen