

Vorlesung



University of Applied Sciences

Programmieren I und II

Unit 8

Testen (objektorientierter) Software

vor dem Hintergrund von Konzepten wie Polymorphie und Verträgen

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

1



University of Applied Sciences



**Prof. Dr. rer. nat.
Nane Kratzke**

*Praktische Informatik und
betriebliche Informationssysteme*

- Raum: 17-0.10
- Tel.: 0451 300 5549
- Email: kratzke@fh-luebeck.de



@NaneKratzke

Updates der Handouts auch über Twitter #prog_inf
und #prog_itd

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

2

Handout zu den Vorlesungen Programmieren I und II sowie Grundlagen und Vertiefung der Programmierung (Unit 8)

Units



University of Applied Sciences



Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

3

Abgedeckte Ziele dieser UNIT



University of Applied Sciences

Kennen existierender Programmierparadigmen und Laufzeitmodelle	Sicheres Anwenden grundlegender programmiersprachlicher Konzepte (Datentypen, Variable, Operatoren, Ausdrücke, Kontrollstrukturen)	Fähigkeit zur problemorientierten Definition und Nutzung von Routinen und Referenztypen (insbesondere Liste, Stack, Mapping)	Verstehen des Unterschieds zwischen Werte- und Referenzsemantik
Kennen und Anwenden des Prinzips der rekursiven Programmierung und rekursiver Datenstrukturen	Kennen des Algorithmusbegriffs, Implementieren einfacher Algorithmen	Kennen objektorientierter Konzepte Datenkapselung, Polymorphie und Vererbung	Sicheres Anwenden programmiersprachlicher Konzepte der Objektorientierung (Klassen und Objekte, Schnittstellen und Generics, Streams, GUI und MVC)
Kennen von UML Klassendiagrammen, sicheres Übersetzen von UML Klassendiagrammen in Java (und von Java in UML)	Kennen der Grenzen des Testens von Software und erste Erfahrungen im Testen (objektorientierter) Software	Sammeln erster Erfahrungen in der Anwendung objektorientierter Entwurfsprinzipien	Sammeln von Erfahrungen mit weiteren Programmiermodellen und -paradigmen, insbesondere Multithread Programmierung sowie funktionale Programmierung

Am Beispiel der Sprache JAVA

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

4

Themen dieser Unit



University of Applied Sciences



Polymorphie

- Liskovsches Substitutionsprinzip (LSP)
- Run Time Type Identification (RTTI)

Verträge

- Vorbedingung
- Nachbedingung
- Klasseninvariante

Unit Testing und Code Coverage

- JUnit
- C0, C1, C2

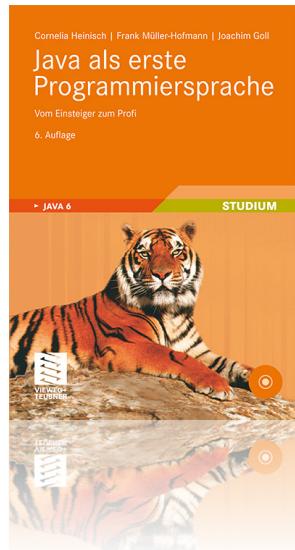
Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

5

Zum Nachlesen ...



University of Applied Sciences



Kapitel 11

Vererbung und Polymorphie

11.4 Polymorphie und das Liskovsche Subsitutionprinzip

11.5 Verträge

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

6

Polymorphie



University of Applied Sciences

Polymorphie ist neben Vererbung ein weiterer wichtiger Aspekt des objektorientierten Ansatzes. Polymorphie bedeutet Vielgestaltigkeit. Polymorphie gibt es bei Operationen (Methoden) und Objekten

Polymorphie von Operationen

- Eine Operation in verschiedenen Klassen wird durch jeweils eine eigene Methode mit demselben Namen implementiert.
- Hinter ein und demselben Namen einer Methode verbergen sich bei unterschiedlichen Klassen also unterschiedliche Methoden.
- Z.B. print() bei Personen und print() bei Studenten (zusätzliche Ausgabe der Matrikelnummer).

Polymorphie von Objekten

- Gibt es nur in Vererbungshierarchien
- An die Stelle eines Objektes einer Klasse in einem Programm kann auch ein anderes Objekt einer abgeleiteten Klasse treten, solange
 - die abgeleitete Klasse die Basisklasse nur erweitert,
 - die abgeleitete Klasse die Verträge überschriebener Methoden einhält und
 - die abgeleitete Klasse die Klasseninvarianten der Basisklasse erfüllt.

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

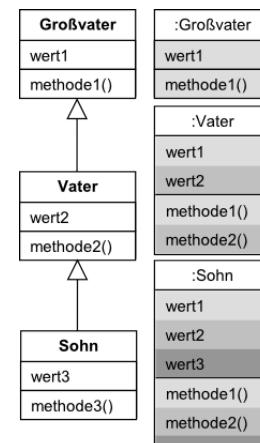
7

Polymorphes Verhalten bei der Erweiterung von Klassen



University of Applied Sciences

- Ein Objekt einer Unterklasse kann auch Methodenaufrufe einer Basisklasse beantworten
- Es verhält sich an dieser Stelle wie ein Objekt einer Basisklasse
- Es kann also in verschiedenen Gestalten auftreten
- Ein Sohn-Objekt, kann auch als Vater-Objekt, als Großvater-Objekt, als Urgroßvater-Objekt, etc. auftreten
- Es ist also vielgestaltig
- **Anders ausgedrückt: Objekte abgeleiteter Klassen können überall dort genutzt werden, wo auch Objekte der Basisklasse eingesetzt werden**
- **Dies ist der Grund, dass sich ganze Klassenbibliotheken problemlos wiederverwenden lassen**
- **Ein Sortieralgorithmus auf Personen funktioniert auch für von Personen abgeleitete Studenten.**



Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

8

Liskovsches Substitutionssprinzip



University of Applied Sciences



Prof. Barbara Liskov, Turing Award 2008, MIT

Dieser Sachverhalt der Objektorientierung ist auch als **Liskovsches Substitution Principle (LSP)** bekannt.

LSP bei Erweiterung

- Objekte nur erweiterter Klassen können an die Stelle eines Objekts der Basisklasse treten (Student statt Person)

LSP bei Überschreiben

- Die überschriebenen Methoden müssen die Verträge der Basisklasse einhalten.
- Darauf gehen wir im Anschluss noch ein.

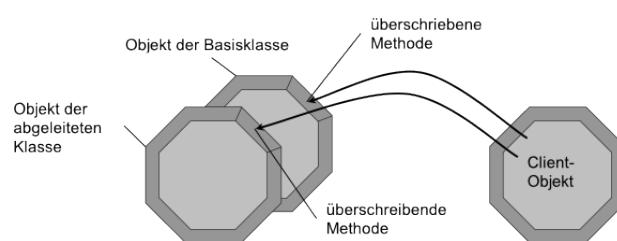
Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

9

Liskovsches Substitutionssprinzip (II)



University of Applied Sciences



Polymorphie erlaubt es so – dank LSP – große Mengen generalisierten Code in Basisklassen zu implementieren, der dann später von Objekten beliebiger abgeleiteter Klassen benutzt werden kann. Zum Zeitpunkt der Entwicklung der Basisklassen ist noch nicht bekannt, welche Klassen zu späteren Zeitpunkten abgeleitet werden.

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

10

Der instanceof-Operator



University of Applied Sciences

- Mit dem instanceof-Operator kann zur Laufzeit getestet werden, ob eine Referenz auf ein Objekt eines bestimmten Typs zeigt.

```
a instanceof Klassenname
```

- Gibt true zurück, wenn a den Typ Klassenname hat

```
null instanceof Klassenname
```

- zeigt auf kein Objekt und ist daher immer false.

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

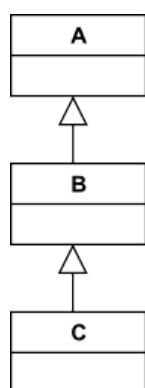
11

Der instanceof-Operator Beispiele:



University of Applied Sciences

```
Object a = new A();  
Object b = new B();  
Object c = new C();
```



```
a instanceof A  
b instanceof A  
c instanceof A
```

true
true
true

```
a instanceof B  
b instanceof B  
c instanceof B
```

false
true
true

```
a instanceof C  
b instanceof C  
c instanceof C
```

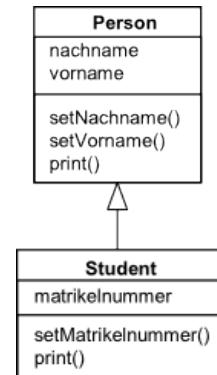
false
false
true

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

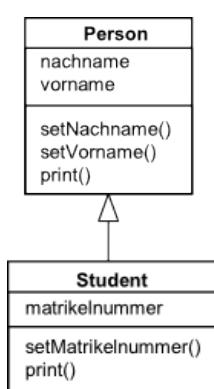
12

Run Time Type Identification (RTTI)

- RTTI ist die Erkennung eines Typs zur Laufzeit und wird für Polymorphie vom Laufzeitsystem benötigt.
- Dieses Prinzip soll am Bsp. Person und Student verdeutlicht werden.



RTTI am Beispiel (I)



```

class Person {
    private String vorname;
    private String nachname;

    public void setNachname(String nn) { nachname = nn; }

    public void setVorname(String vn) { vorname = vn; }

    public void print() {
        System.out.print("Name: ");
        System.out.println(vorname + " " + nachname);
    }
}

class Student extends Person {
    private int matrikelnummer;

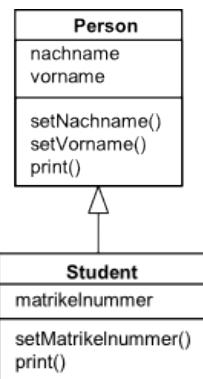
    public void setMatrikelnummer(int mn) {
        matrikelnummer = mn;
    }

    public void print() {
        super.print();
        System.out.print("Matrikelnummer: ");
        System.out.println(matrikelnummer);
    }
}
  
```

RTTI am Beispiel (II)



University of Applied Sciences



```

Person p = new Student();
p.setNachname("Mustermann");
p.setVorname("Max");
p.print();
  
```

Wie lautet also die Ausgabe?

~~Name: Max Mustermann
// Aufruf der Person.print() Methode~~

oder

```

Name: Max Mustermann
Matrikelnummer: 0
// Aufruf der Student.print() Methode
  
```

!!! Wichtig !!! RTTI stellt sicher, dass immer die Methode des Objekttyps nicht des Referenztyps aufgerufen wird. In diesem Fall also die Methode des Studenten und nicht der Person.

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

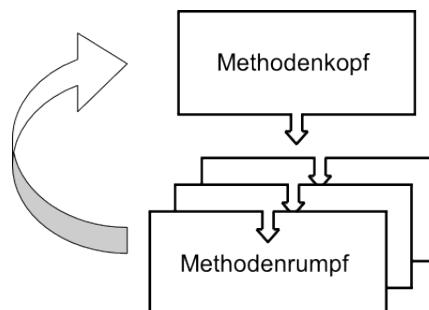
15

Statische und dynamische Bindung von Methoden



University of Applied Sciences

- Zuordnung eines Methodenrumpfs zu einem Methodenkopf (Signatur)
- Frühe Bindung erfolgt bereits zum Kompilierzeitpunkt
- Späte Bindung erfolgt zur Laufzeit



In JAVA hat man keinen direkten Einfluss darauf, ob spät oder früh gebunden wird. Aufgrund der Polymorphie kann erst zur Laufzeit entschieden werden, zu welcher Klasse ein Objekt gehört und welcher Methodenrumpf daher auszuführen ist. In Ausnahmefällen kann jedoch der Methodenrumpf bereits zur Kompilierzeit bestimmt werden – dies wird dann aus Performancegründen auch getan.

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

16

Dynamische Bindung von Methoden in JAVA



University of Applied Sciences

- An jeder Stelle an der ein Objekt einer Basisklasse verlangt wird, kann gem. LSP auch ein Objekt einer abgeleiteten Klasse eingesetzt werden.
- Daher wird grundsätzlich bei Aufruf von Instanzmethoden die SPÄTE BINDUNG durchgeführt.
- Zeigt so eine Referenz vom Typ einer Basisklasse auf ein Typ einer Subklasse, wird so immer die überschreibende Methode aufgerufen.
- Dies kann jedoch erst zur Laufzeit festgestellt werden, außer in den folgenden Ausnahmen:

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

17

Statische Bindung von Methoden in JAVA



University of Applied Sciences

private

- Methoden die als private gekennzeichnet sind, sind nur innerhalb der Klasse zugreifbar.
- Polymorphie kann bei diesen daher nicht erfolgen, sie werden daher statisch, d.h. bereits zur Kompilierzeit gebunden.

final

- Methoden die als final gekennzeichnet sind, können in abgeleiteten Klassen nicht verändert werden.
- Polymorphie kann bei diesen daher nicht erfolgen, sie werden daher statisch, d.h. bereits zur Kompilierzeit gebunden.

static

- Methoden die als static gekennzeichnet sind, sind Klassenmethoden und gehören zu einer Klasse.
- Polymorphie kann bei diesen daher nicht erfolgen, sie werden daher statisch, d.h. bereits zur Laufzeit gebunden.

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

18

Themen dieser Unit



University of Applied Sciences



Polymorphie

- Liskovsches Substitutionsprinzip (LSP)
- Run Time Type Identification (RTTI)

Verträge

- Vorbedingung
- Nachbedingung
- Klasseninvariante

Unit Testing und Code Coverage

- JUnit
- C0, C1, C2

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

19

Verträge



University of Applied Sciences

- Design by Contract wurde von Bertrand Meyer als Entwurfstechnik eingeführt
- Eine Klasse besteht nicht nur aus Methoden und Datenfeldern, eine Klasse wird auch benutzt
- Design by Contract sieht diese Beziehungen als eine formale Übereinkunft zwischen beliebigen Partnern
- Beim Aufruf einer Methode muss sich der Aufrufer einer Methode und die aufgerufene Methoden sich gegenseitig aufeinander verlassen können
 - Aufrufer muss Vorbedingungen einhalten
 - Die aufgerufene Methode muss daraufhin Nachbedingungen sicherstellen und den inneren Zustand eines Objekts gültig lassen



**Prof. Bertrand Meyer,
ETH Zürich, Erfinder
von Eiffel, System
Software Award 2007**

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

20

Zusicherungen



University of Applied Sciences

Verträge mittels sogenannter **Zusicherungen** spezifiziert (streng Formales Verfahren).

Eine Zusicherung ist ein boolescher Ausdruck, der niemals falsch werden darf (vgl. auch Assertions aus Unit 2).

- **Design by Contract** verwendet drei verschiedene Arten von Zusicherungen
 - Vorbedingungen
 - Nachbedingungen
 - Invarianten



Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

21

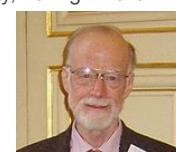
Zusicherungen



University of Applied Sciences

$\{P\} A \{Q\}$ (Hoare Triple)

Der Vertrag einer Methode A, umfasst die Vor- und Nachbedingungen.



Prof. Hoare, Oxford
University, Turing Award
1980

Vorbedingung P (Precondition)

- Einschränkungen unter denen eine Methode funktioniert
- Beispiel:
 - push() darf auf einem Stack nicht aufgerufen werden, wenn dieser voll ist
 - pop() darf auf einem Stack nicht aufgerufen, wenn dieser leer ist

Nachbedingung Q (Postcondition)

- Korrekter Zustand nachdem Aufruf einer Methode
- Bsp.:
 - Nach dem Aufruf von push() kann ein Stack nicht leer sein und muss ein Element mehr umfassen
 - Nach dem Aufruf von pop() kann ein Stack leer sein und muss ein Element weniger umfassen

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

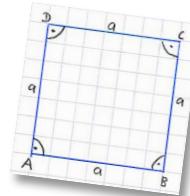
22

Invarianten



University of Applied Sciences

- Eine **Invariante** bezieht sich nicht auf eine Methode, sondern **Objekte einer Klasse**.
- Invarianten „sichern“ den korrekten Zustand eines Objekts.
- Da **Invarianten von allen Methoden** einer Klasse **eingehalten** werden müssen, spricht man auch von Klasseninvarianten.
- Eine **Klasseninvariante** muss **vor** und **nach** dem **Aufruf** einer nach **außen sichtbaren Methode** gültig sein.



- **Beispiel einer Invariante für eine Klasse Quadrat:**

- Alle Seiten des Quadrats sind gleich lang.
- Es gibt vier Winkel mit genau 90 Grad.
- Egal welche Methode aufgerufen wird, diese Bedingung muss immer gelten.

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

23

Vertrag einer Klasse



University of Applied Sciences

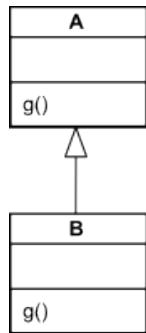


Solche Verträge, dürfen durch abgeleitete Klassen nicht verletzt werden, daher müssen beim Überschreiben der Methoden bestimmte Regeln eingehalten werden!

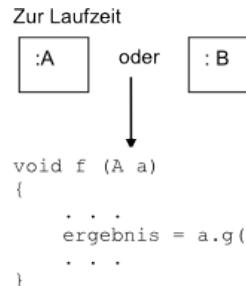
Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

24

Regeln für das Einhalten von Methodenverträgen



Die Methode f() akzeptiert Parameter des Typs A und damit implizit auch aller Subklassen von A (also auch B).

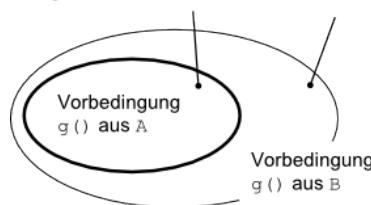


f() kann aber nur die für die Klasse A gemachten Verträge kennen und berücksichtigen. Diese müssen daher von allen von A abgeleiteten Klassen eingehalten werden!

Aufweichen von Vorbedingungen

Es gilt die Regel: Eine überschreibende Methode darf eine Vorbedingung aufweichen, aber niemals verschärfen!!!

- `f()` kann diese Vorbedingung einhalten.
- `f()` kann aber keine schärfere Vorbedingung gewährleisten
- `f()` hat kein Problem, eine schwächere Vorbedingung zu erfüllen



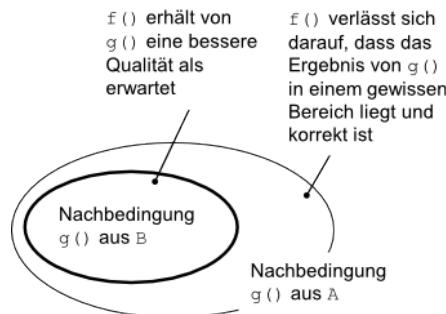
Beispiel: Wenn die ursprüngliche Methode einen Definitionsbereich von 1 bis 10 akzeptiert, dann darf die überschreibende Methode, den Definitionsbereich nicht reduzieren (z.B. 2 bis 9) wohl aber erweitern, z.B. (0 bis 100).

Verschärfen von Nachbedingungen



University of Applied Sciences

Es gilt die Regel: Eine überschreibende Methode darf eine Nachbedingung verschärfen, aber niemals aufweichen!!!



Beispiel: Wenn die ursprüngliche Methode einen Wertebereich von 1 bis 10 als Ergebnis liefert, dann darf die überschreibende Methode, den Wertebereich reduzieren (z.B. 2 bis 9) aber nicht erweitern, z.B. (0 bis 100).

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

27

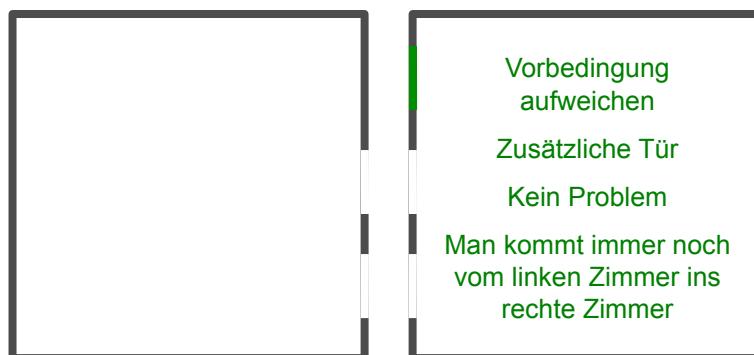
Vor- und Nachbedingungen Vorbedingungen aufweichen



University of Applied Sciences

Nachbedingung

Vorbedingung



Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

28

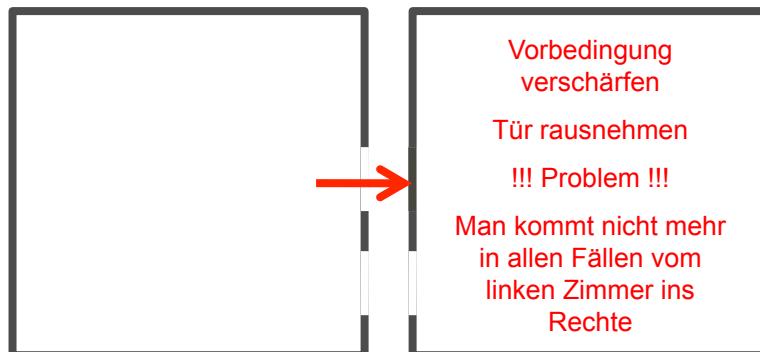
Vor- und Nachbedingungen

Vorbedingungen verschärfen



University of Applied Sciences

Nachbedingung Vorbedingung



Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

29

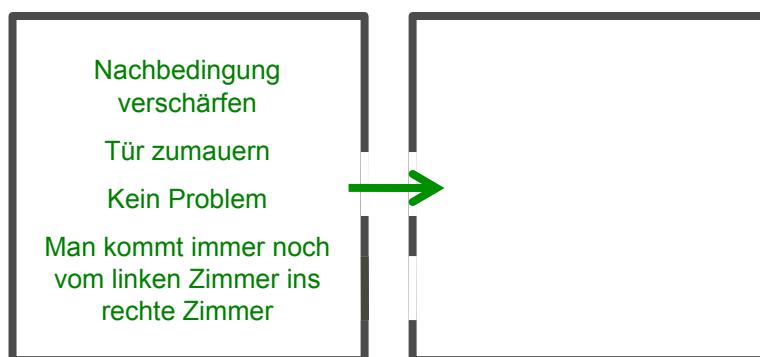
Vor- und Nachbedingungen

Nachbedingungen verschärfen



University of Applied Sciences

Nachbedingung Vorbedingung



Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

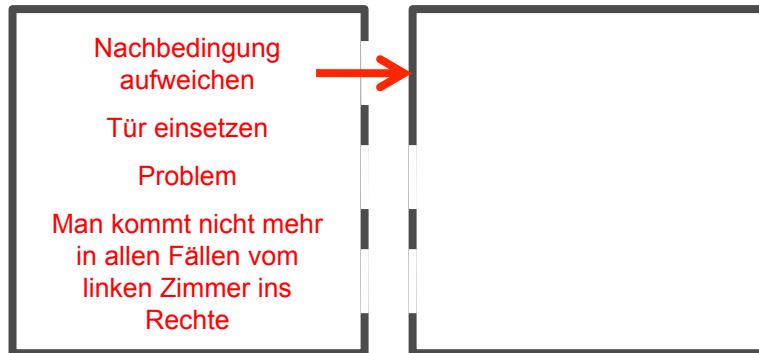
30

Vor- und Nachbedingungen

Nachbedingungen aufweichen

Nachbedingung

Vorbedingung



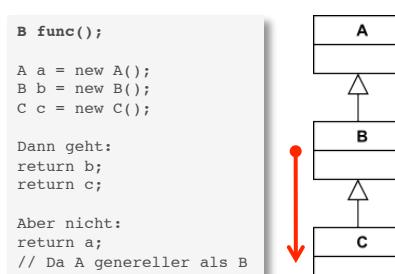
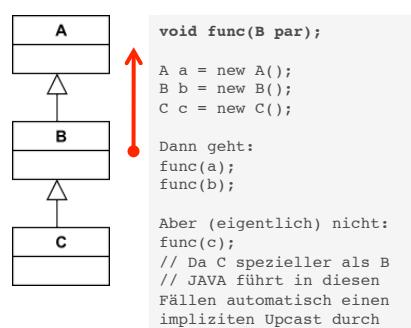
Klassen als Übergabe- und Rückgabetypen

Aufweichung der Vorbedingung entspricht:

- In überschriebenen Methoden
- ist bei Aufruf anderer Methoden
- bei Übergabeparametern nur eine **Generalisierung** erlaubt

Verschärfung der Nachbedingung entspricht:

- In überschriebenen Methoden
- ist bei Rückgabetypen nur eine **Spezialisierung**
- bei return Statements erlaubt



Regeln für das Einhalten von Klasseninvarianten



University of Applied Sciences

- Beim Erweitern muss darauf geachtet werden, dass die von ihr abgeleiteten Klassen, die Gültigkeit der Klasseninvarianten der Basisklasse nicht verletzen.

Die Invarianten einer Klasse ergeben sich aus der Booleschen UND Verknüpfung der in ihr definierten Invarianten und der Invarianten, die in der/den Vaterklasse(n) definiert sind.

Beispiel: In der Klasse Polygon gilt die Invariante: Ein Polygon hat mindestens drei Punkte. Aus Polygon ist die Klasse Rechteck abgeleitet worden mit der zusätzlichen Invarianten: Ein Rechteck hat genau vier Punkte und vier Winkel mit jeweils 90 Grad.

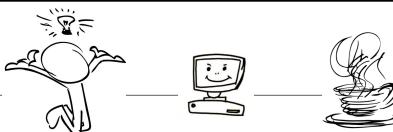
Alle Invarianten die durch Objekte der Klasse Rechteck einzuhalten wären, sind also:

- Ein Objekt der Klasse Rechteck hat mindestens drei Punkte. UND
- Ein Objekt der Klasse Rechteck hat genau vier Punkte. UND
- Ein Objekt der Klasse Rechteck hat vier Winkel mit jeweils 90 Grad.

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

33

Miniübung:



University of Applied Sciences

Gegeben ist die Klasse MyMath:

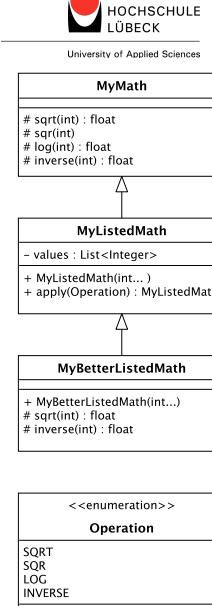
```
public class MyMath {
    protected float sqrt(int v) {
        return (float) Math.sqrt(v);
    }

    protected int sqr(int v) throws MyMathException {
        if (v > Math.sqrt(Integer.MAX_VALUE))
            throw new MyMathException("..."); 
        if (v < -Math.sqrt(Integer.MAX_VALUE))
            throw new MyMathException("...");

        return v * v;
    }

    protected float log(int v) {
        return (float) Math.log10((double) v);
    }

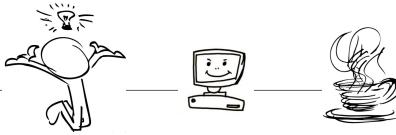
    protected float inverse(int v) {
        return (float) 1.0 / v;
    }
}
```



Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

34

Miniübung:

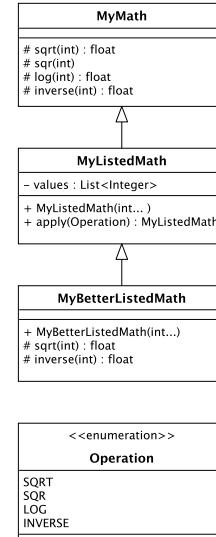


Gegeben ist die Klasse MyListedMath:

```
public class MyListedMath extends MyMath {
    private List<Integer> values = new LinkedList<Integer>();
    public MyListedMath(int... vs) {
        for (int v : vs) { this.values.add(v); }
    }
    public MyListedMath apply(Operation op) {
        List<Integer> ret = new LinkedList<Integer>();
        for (int v : this.values) {
            try {
                switch (op) {
                    case SQR: ret.add((int) sqa(v)); break;
                    case SQRT: ret.add((int) sqrt(v)); break;
                    case LOG: ret.add((int) log(v)); break;
                    case INVERSE: ret.add((int) inverse(v)); break;
                }
            } catch (MyMathException ex) { System.out.println(ex.getMessage()); }
        }
        this.values = ret;
        return this;
    }
    public String toString() {
        return this.values.toString();
    }
}
```



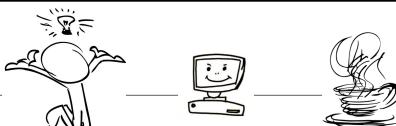
University of Applied Sciences



Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke

35

Miniübung:

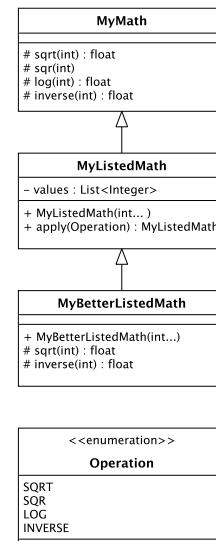


Gegeben ist die Klasse MyBetterListedMath:

```
public class MyBetterListedMath extends MyListedMath {
    public MyBetterListedMath(int... vs) {
        super(vs);
    }
    protected float sqrt(int v) {
        if (v < 0) throw new ArithmeticException("...");
        return (float) Math.sqrt(v);
    }
    protected float inverse(int v) {
        if (v == 0) throw new ArithmeticException("...");
        return (float) 1.0 / v;
    }
}
```



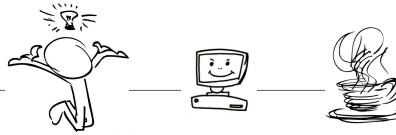
University of Applied Sciences



Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke

36

Miniübung:



Der Aufruf von

```
MyListedMath values = new MyListedMath{
    Integer.MAX_VALUE / 1000000, Integer.MAX_VALUE / 100000,
    Integer.MAX_VALUE / 10000, Integer.MAX_VALUE / 1000,
    Integer.MAX_VALUE / 100, Integer.MAX_VALUE / 10
};

System.out.println(values.apply(Operation.SQR).apply(Operation.INVERSE)
    .apply(Operation.LOG).apply(Operation.SQRT)
);
```

führt zu folgender (beabsichtigt) Ausgabe:

```
sqr(214748) is undefined.
sqr(2147483) is undefined.
sqr(21474836) is undefined.
sqr(214748364) is undefined.
[0, 0]
```



FACH
HOCHSCHULE
LÜBECK
University of Applied Sciences

```

class MyMath {
    # sqrt(int) : float
    # sqr(int)
    # log(int) : float
    # inverse(int) : float
}

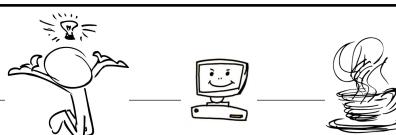
class MyListedMath {
    - values : List<Integer>
    + MyListedMath(int...)
    + apply(Operation) : MyListedMath
}

class MyBetterListedMath {
    + MyBetterListedMath(int...)
    # sqrt(int) : float
    # inverse(int) : float
}

<<enumeration>>
enum Operation {
    SQRT
    SQR
    LOG
    INVERSE
}
```

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme
37

Miniübung:



Der Aufruf von

```
MyListedMath better = new MyBetterListedMath{
    Integer.MAX_VALUE / 1000000, Integer.MAX_VALUE / 100000,
    Integer.MAX_VALUE / 10000, Integer.MAX_VALUE / 1000,
    Integer.MAX_VALUE / 100, Integer.MAX_VALUE / 10
};

System.out.println(better.apply(Operation.SQR).apply(Operation.INVERSE)
    .apply(Operation.LOG).apply(Operation.SQRT)
);
```

führt hingegen zu folgender (unbeabsichtigten) Ausgabe:

```
Exception in thread "main" java.lang.ArithmeticException: sqrt
(-2147483648) not defined.
at MyBetterListedMath.sqrt(MyBetterListedMath.java:9)
at MyListedMath.apply(MyListedMath.java:23)
at MyListedMath.main(MyListedMath.java:71)
```

Warum?



FACH
HOCHSCHULE
LÜBECK
University of Applied Sciences

```

class MyMath {
    # sqrt(int) : float
    # sqr(int)
    # log(int) : float
    # inverse(int) : float
}

class MyListedMath {
    - values : List<Integer>
    + MyListedMath(int...)
    + apply(Operation) : MyListedMath
}

class MyBetterListedMath {
    + MyBetterListedMath(int...)
    # sqrt(int) : float
    # inverse(int) : float
}

<<enumeration>>
enum Operation {
    SQRT
    SQR
    LOG
    INVERSE
}
```

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme
38

Miniübung:

Antwort: Weil Verträge nicht eingehalten worden sind!

```

public class MyMath {
    protected float sqrt(int v) {
        return (float) Math.sqrt(v);
    }

    protected float inverse(int v) {
        return (float) 1.0 / v;
    }
}

class MyBetterListedMath extends MyListedMath {
    protected float sqrt(int v) {
        if (v < 0) throw new ArithmeticException("..."); // Verschärfung einer Vorbedingung!
        return (float) Math.sqrt(v);
    }

    protected float inverse(int v) {
        if (v == 0) throw new ArithmeticException("..."); // Verschärfung einer Vorbedingung!
        return (float) 1.0 / v;
    }
}

```

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

MyMath

- # sqrt(int) : float
- # sqrt(int) : float
- # log(int) : float
- # inverse(int) : float

MyListedMath

- + MyListedMath<T>
- + MyListedMath<T> : MyListedMath

MyBetterListedMath

- + MyBetterListedMath<T>
- + MyBetterListedMath<T> : MyListedMath

Operation

- <<enumeration>>
- SQRT
- SQR
- LOG
- INVERSE

Vergroßern des Wertebereichs (Nachbedingung)! (unerwartete Ex)

Vergroßern des Wertebereichs (Nachbedingung)! (unerwartete Ex)

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme 39

Fehler schleichen sich ein ...

Ich teste, weil ich keinem Programmierer traue.
Am wenigsten mir selber.

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme 40

Themen dieser Unit



University of Applied Sciences

Polymorphie

- Liskovsches Substitutionsprinzip (LSP)
- Run Time Type Identification (RTTI)

Verträge

- Vorbedingung
- Nachbedingung
- Klasseninvariante

Unit Testing und Code Coverage

- JUnit
- C0, C1, C2



Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

41

Zum Nachlesen ...



University of Applied Sciences



Kapitel 1 Einführung

- 1.1 Motivation
- 1.3.2 SW-Qualitätssicherung
- 1.4 Einordnung und Klassifikation der Prüftechniken

Kapitel 3 Kontrollflussorientierter Test

- 3.1 Kontrollflussorientierter Test
- 3.2 Anweisungsüberdeckungstest
- 3.3 Zweigüberdeckungstest
- 3.4 Bedingungsüberdeckungstest

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

42

Worum geht es nun?



University of Applied Sciences

Was ist
Testen?

Code
Coverage

Unit
Testing

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

43

Warum Testen?



University of Applied Sciences



Die Ariane 5 startete am 4. Juni 1996 zu ihrem Erstflug. Nach genau 36,7 Sekunden sprengte sich die Rakete selbst mitsamt ihrer Nutzlast, nachdem sie durch die aerodynamischen Belastungen eines extremen Kurswechsels auseinanderzubrechen begann. Es stellte sich heraus, dass die in Teilen von der Ariane 4 übernommene Software nicht den nötigen Anforderungen entsprach. Die Ariane 5 beschleunigt schneller als die Ariane 4. Dies führte zu einem Überlauf einer Variable des Lenksystems.

Unglücklich daran war, dass der fehlerhafte Teil der Software für die Ariane 5 überhaupt nicht benötigt wurde und nur zur Beherrschung eines Startabbruchs in letzter Sekunde bei der Ariane 4 diente.

Der materielle Schaden belief sich auf etwa **370 Millionen US-Dollar**, womit der Fehlstart einen der teuersten Softwarefehler der Geschichte darstellt. Der erste erfolgreiche Start erfolgte am 30. Oktober 1997 (d.h. über ein Jahr später).

Quelle: Wikipedia (Ariane 5)

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

44

Korrektheit ist eine binäre Eigenschaft von Software



University of Applied Sciences

- Korrektheit besitzt keinen graduellen Charakter, d.h. eine Software ist entweder korrekt oder nicht.
 - Eine fehlerfreie Software ist korrekt.
 - Eine Software ist korrekt, wenn sie konsistent zu ihrer Spezifikation ist.
- **Existiert zu einer Software keine Spezifikation, so ist keine Überprüfung der Korrektheit möglich.**

Oder:

Ohne Spezifikation kann man keine Fehler programmieren.

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

45

Was Sie über das Testen wissen sollten!



University of Applied Sciences

"Durch Testen kann man stets nur die Anwesenheit, nie aber die Abwesenheit von Fehlern beweisen."

Dijkstra, *The Humble Programmer*, ACM Turing Lecture 1972

(Original engl.: "Program testing can be a very effective way to show the presence of bugs, but is hopelessly inadequate for showing their absence.")

"Wenn du effektivere Programmierer möchtest, wirst du bemerken, dass sie **keine Zeit mit debuggen verschwenden sollten, statt dessen sollten sie **keine Bugs einführen.**"**

Dijkstra, *The Humble Programmer*, 1972

(Original engl.: "If you want more effective programmers, you will discover that they should not waste their time debugging, they should not introduce the bugs to start with.")

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

46

Software-Qualitätssicherung



University of Applied Sciences

“Software-Qualitätssicherung stellt Techniken zur Erreichung der gewünschten Ausprägungsgrade der Qualitätsmerkmale von Software-Systemen zur Verfügung.“

Liggesmeyer, Software-Qualität, Spektrum Verlag, 2002, S. 27



Beispiele von Qualitätsmerkmalen von SW. Wir konzentrieren uns in dieser Unit mal auf Korrektheit.

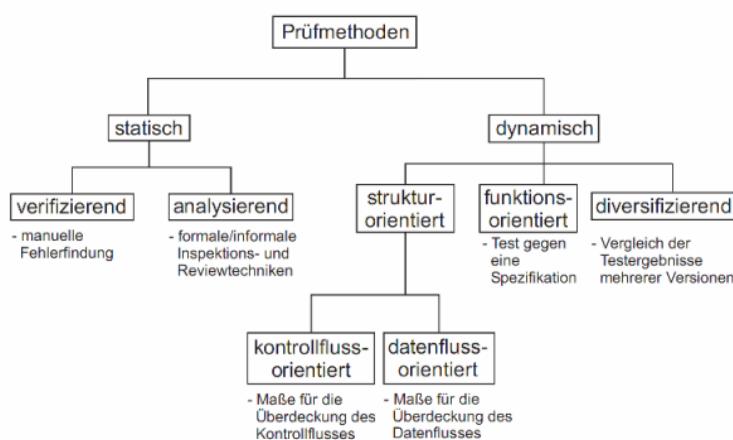
Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

47

Klassifikation von SW-Prüftechniken



University of Applied Sciences



In Anlehnung an Liggesmeyer

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

48

Dynamisches Testen vs. Statische Analyse

Dynamisches Testen

- SW wird mit konkreten Eingabewerten versehen und ausgeführt
- Es kann in der realen Umgebung getestet werden
- Dynamische Testtechniken sind Stichprobenverfahren (Testfälle)
- Durch dynamisches Testen wird nicht die Korrektheit bewiesen

Statische Analyse

- Es erfolgt keine Ausführung der zu prüfenden Software
- Alle statischen Analysen können ohne Computerunterstützung durchgeführt werden
- Es werden keine Testfälle gewählt
- Vollständige Aussagen über Korrekt oder Zuverlässigkeit können nicht erzeugt werden

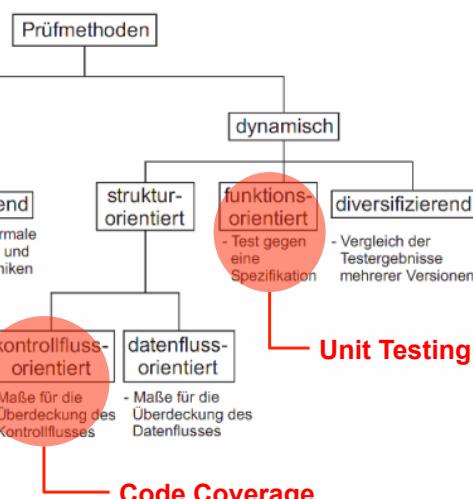
Bsp: Einfachste Form des dynamischen Testens, ist die Ausführung der zu testenden SW mit Eingaben einer Person. Sogenannte Ad-hoc Tests. Diese Tests machen Sie üblicherweise intuitiv und automatisch, wenn Sie programmieren. Ein ähnliches, (wenn auch weit systematischeres) Vorgehen ist das UNIT-Testing.

Bsp: Formale Beweisverfahren, versuchen einen Beweis der Konsistenz einer Software und ihrer Spezifikation mit formalen Mitteln zu erbringen. Eine formale Spezifikation ist daher zwingend erforderlich. Die Verfahren ähneln sehr stark mathematischen Beweisen.

Zwei Verfahren im Detail

Wir greifen uns zwei Verfahren heraus, die das ad-hoc Testen systematisieren und sich in Praxis sehr gut ergänzen.

In Anlehnung an Liggesmeyer



Unit Testing

Code Coverage

Wann haben Sie genug getestet?



Antwort: Wenn es extrem unwahrscheinlich wird, noch Fehler zu finden.

Wann haben Sie genug getestet?

Wann wird es zunehmend unwahrscheinlicher Fehler zu finden?



Antwort: Wenn Sie mit Ihren Testfällen schon überall im Code waren!

Worum geht es nun?



University of Applied Sciences

Was ist
Testen?

Code
Coverage

Unit
Testing

Wie lässt sich eine Code Coverage messen?



University of Applied Sciences

Anweisungs-überdeckung (C0)

- Einfachste Anweisungs-überdeckungs-methode
- Mindestens alle Anweisungen sollen einmal ausgeführt werden
- Das verlangt den Durchlauf durch alle Knoten des Kontrollflussgraphen

Zweigüberdeckung (C1)

- Ausführung aller möglichen Zweige des zu testenden Programms.
- Das verlangt den Durchlauf durch alle Kanten des Kontrollflussgraphen

Bedingungs-überdeckung (C2)

- Betrachtet wird die logische Struktur von Entscheidungen
- Gründliche Überprüfung zusammengesetzter Entscheidungen zu testender Software

Kontrollflussgraph

Der Kontrollflussgraph ist eine Methode zur Darstellung von Programmen. Ein Kontrollflussgraph ist ein gerichteter Graph

$$G = (N, E, n_{start}, n_{final})$$

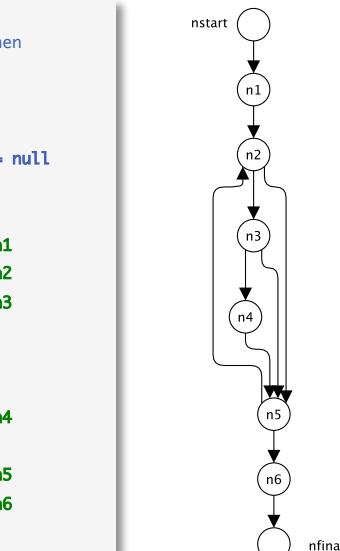
N ist die endliche Menge der Knoten. $E \subseteq N \times N$ ist die Menge der gerichteten Kanten. n_{start} ist der Startknoten. n_{final} ist der Endeknoten.

Knoten stellen Anweisungen dar. Eine gerichtete Kante von einem Knoten i zu einem Knoten j beschreibt einen möglichen Kontrollfluss von Knoten i zu Knoten j .

Die gerichteten Kanten werden als **Zweige** bezeichnet. Eine alternierende Sequenz aus Knoten und Anweisungen, die mit dem Startknoten n_{start} beginnt und mit dem Endeknoten n_{final} endet heißt **Pfad**.

Beispiel eines Kontrollflussgraphen

```
/*
 * Liefert die Anzahl aller groß- und kleingeschriebenen
 * Vokale in einem String.
 * Vokale sind 'a', 'e', 'i', 'o' und 'u'.
 * @param s Zeichenkette
 * @return Anzahl an Vokalen für s != null, 0 für s == null
 */
public static int zaeheleVokale(String s) {
    int vokale = 0;                                // n1
    for (char c : s.toCharArray()) {                // n2
        if (c == 'a' || c == 'A' ||                 // n3
            c == 'o' || c == 'O' ||                 // n4
            c == 'u' || c == 'U' ||                 // n5
            c == 'i' || c == 'I') {                  // n6
            vokale++;
        }
    }
    return vokale;
}
```



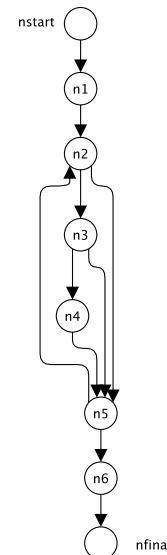
Anweisungsabdeckungstest

Der Anweisungsabdeckungstest ist die einfachste kontrollflussorientierte Testmethode. Das Ziel der Anweisungsüberdeckung ist die **mindestens einmalige Ausführung aller Anweisungen**,

also die **Abdeckung aller Knoten** in einem Kontrollflussgraphen.

Als Testmaß wird der erreichte Anweisungsüberdeckungsgrad definiert. Er ist das Verhältnis der ausgeführten Anweisungen zu der Gesamtzahl der im Prüfling vorhandenen Anweisungen.

$$C_0 = \frac{\text{Anweisungen}_{\text{ausgeführt}}}{\text{Anweisungen}}$$

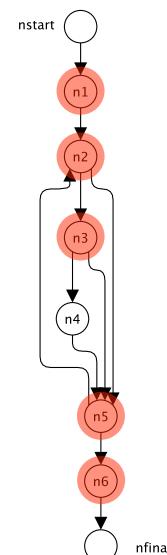


Anweisungsabdeckungstest Beispiel

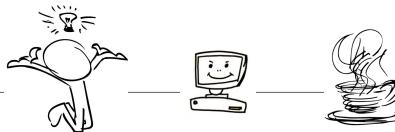
```

public static int zaeHleVokale(String s) {
    int vokale = 0;                                // n1
    for (char c : s.toCharArray()) {                // n2
        if (c == 'a' || c == 'A' ||                 // n3
            c == 'o' || c == 'O' ||                 // n4
            c == 'u' || c == 'U' ||                 // n5
            c == 'i' || c == 'I') {                  // n6
            vokale++;
        }
    }
    return vokale;
}

int vs = zaeHleVokale("Try");
  
```



Miniübung:



Bestimmen Sie die Anweisungsüberdeckung der Routine zaehleVokale für den Eingabeparameter des leeren Strings "":

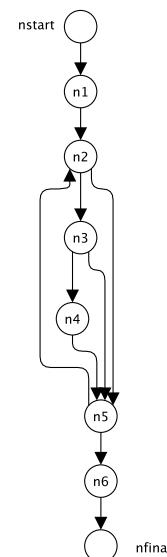
```
public static int zaehleVokale(String s) {
    int vokale = 0;                                // n1
    for (char c : s.toCharArray()) {                // n2
        if (c == 'a' || c == 'A' ||                 // n3
            c == 'o' || c == 'O' ||                 // n4
            c == 'u' || c == 'U' ||                 // n5
            c == 'i' || c == 'I') {                  // n6
            vokale++;
        }
    }
    return vokale;
}
```

$$C_0 = \frac{\text{Anweisungen}_{\text{ausgeführt}}}{\text{Anweisungen}} =$$

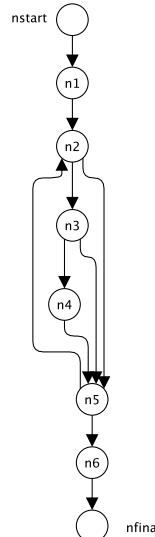
Zweigüberdeckungstest

Der Zweigüberdeckungstest ist eine strengere kontrollflussorientierte Testmethode. Der Anweisungsüberdeckungstest ist im Zweigüberdeckungstest vollständig enthalten. Das Ziel des Zweigüberdeckungstests ist die **Ausführung aller Zweige**, also die **Abdeckung aller Kanten** in einem Kontrollflussgraphen.

Als Testmaß wird das erreichte Zweigüberdeckungsmaß definiert. Er ist das Verhältnis der ausgeführten **primitiven Zweige** zu der Gesamtzahl aller vorhandenen primitiven Zweige.



Primitive Zweige



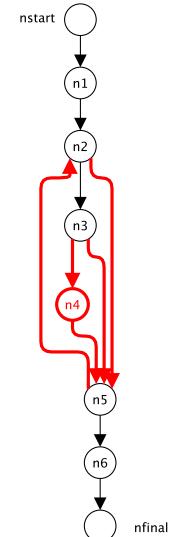
Bei der Zweigüberdeckung werden Zweige nicht berücksichtigt, die immer dann ausgeführt werden, wenn ein anderer Zweig ausgeführt wird.

Zweige die diese Eigenschaft nicht besitzen, werden **primitive Zweige** genannt (oder essentielle Zweige). Dies sind die **Pfade** in einem Kontrollflussgraphen **zwischen Knoten mit Verzweigungen** (rot markiert).

Die Ausführung der primitiven Zweige stellt somit die Ausführung der nicht primitiven Zweige sicher.

Außerdem muss nur ein Teil der Zweige (rot markiert) für eine Code Coverage instrumentiert werden (dies sind üblicherweise ca. 60%).

$$C_1 = \frac{\text{primZweige}_{\text{ausgeführt}}}{\text{primZweige}}$$

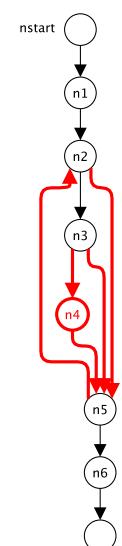


Zweigabdeckungstest Beispiel

```

public static int zaecheVokale(String s) {
    int vokale = 0; // n1
    for (char c : s.toCharArray()) { // n2
        if (c == 'a' || c == 'A' || // n3
            c == 'o' || c == 'O' || // n4
            c == 'u' || c == 'U' || // n5
            c == 'i' || c == 'I') { // n6
            vokale++;
        }
    }
    return vokale;
}

int vs = zaecheVokale("Try");
  
```



$$C_1 = \frac{\text{primZweige}_{\text{ausgeführt}}}{\text{primZweige}} = ?$$

Zweigabdeckungstest Beispiel

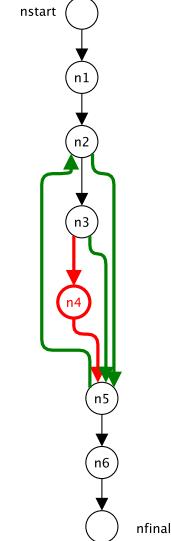
```
public static int zae hleVokale(String s) {
    int vokale = 0;                                // n1
    for (char c : s.toCharArray()) {                // n2
        if (c == 'a' || c == 'A' ||                 // n3
            c == 'o' || c == 'O' ||
            c == 'u' || c == 'U' ||
            c == 'i' || c == 'I') {
            vokale++;
        }
    }                                                 // n5
    return vokale;                                  // n6
}

int vs = zae hleVokale("Try");
```

$$C_1 = \frac{\text{primZweige}_{\text{ausgeführt}}}{\text{primZweige}} = \frac{3}{4} \approx 75\%$$



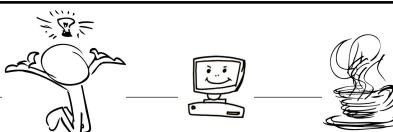
University of Applied Sciences



Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

63

Miniübung:

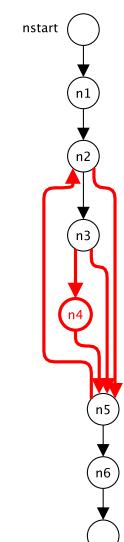


University of Applied Sciences

Bestimmen Sie die Zweigüberdeckung der Routine `zae hleVokale` für den Eingabeparameter des leeren Strings "":

```
public static int zae hleVokale(String s) {
    int vokale = 0;                                // n1
    for (char c : s.toCharArray()) {                // n2
        if (c == 'a' || c == 'A' ||                 // n3
            c == 'o' || c == 'O' ||
            c == 'u' || c == 'U' ||
            c == 'i' || c == 'I') {
            vokale++;
        }
    }                                                 // n5
    return vokale;                                  // n6
}
```

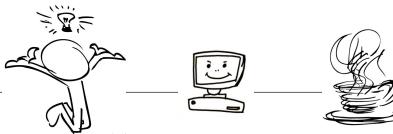
$$C_1 = \frac{\text{primZweige}_{\text{ausgeführt}}}{\text{primZweige}} = ?$$



Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

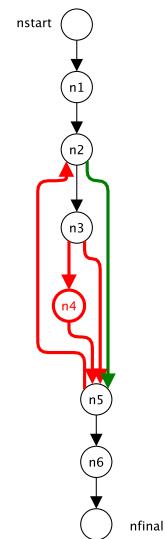
64

Miniübung:



Bestimmen Sie die Zweigüberdeckung der Routine zaehleVokale für den Eingabeparameter des leeren Strings "":

```
public static int zaehleVokale(String s) {
    int vokale = 0; // n1
    for (char c : s.toCharArray()) { // n2
        if (c == 'a' || c == 'A' || // n3
            c == 'o' || c == 'O' ||
            c == 'u' || c == 'U' ||
            c == 'i' || c == 'I') {
            vokale++; // n4
        }
    } // n5
    return vokale; // n6
}
```



$$C_1 = \frac{\text{primZweige}_{\text{ausgeführt}}}{\text{primZweige}} = \frac{1}{4} \approx 25\%$$

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

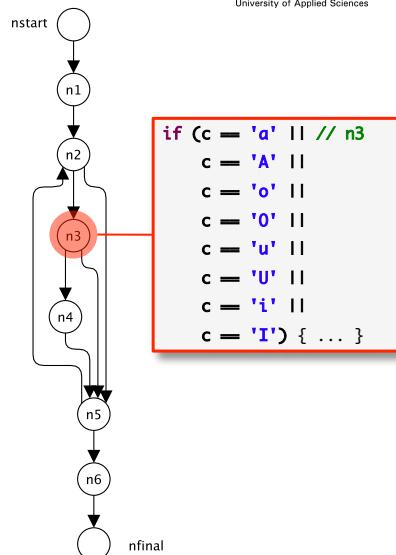
65

Bedingungsüberdeckungstest

Bei der Zweigabdeckung wird nicht betrachtet wie kompliziert eine logische Bedingung ist, die darüber entscheidet welcher Zweig durchlaufen wird.

Mittels Bedingungsüberdeckungstesten wird auch die logische Struktur von Entscheidungen zu testender Software berücksichtigt.

Es gibt eine Vielzahl an Tests in diesem Bereich. Wir befassen uns nur mit dem einfachsten Test (simple condition coverage test) um die Prinzipien der Bedingungsüberdeckung zu vermitteln.



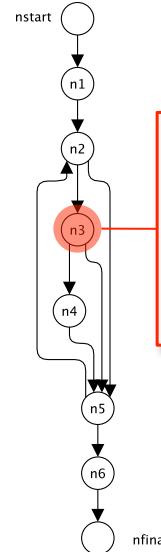
Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

66

Bedingungsüberdeckungstest (Simple Condition Coverage)

Das einfachste Verfahren des Bedingungsabdeckungstests fordert den Test aller atomaren Teilentscheidungen gegen `true` und `false`.

Im rechts stehenden Beispiel reicht also nicht das Testen mit einem beliebigen Vokal, sondern es müssen alle Vokale (in Groß- und Kleinschreibung) abgeprüft werden (inkl. Zeichenketten ohne Vokale), um eine 100% Simple Condition Coverage zu erzielen.



```

if (c == 'a' || // n3
    c == 'A' ||
    c == 'o' ||
    c == 'O' ||
    c == 'u' ||
    c == 'U' ||
    c == 'i' ||
    c == 'I') { ... }
  
```

Eclipse Tools für Code Coverages Frei verfügbar: eclEmma und eCobertura

EclEmma is a free Java code coverage tool for [Eclipse](#), available under the [Eclipse Public License](#). It brings code coverage analysis directly into the Eclipse workbench:

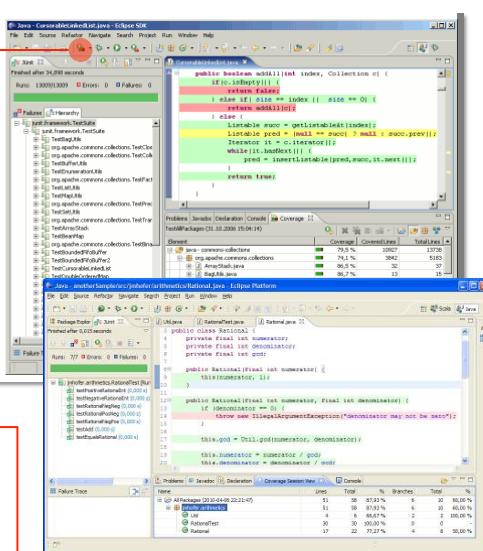
- Fast develop/test cycle:** Launches from within the workbench like JUnit test runs can directly be analyzed for code coverage.
- Rich coverage analysis:** Coverage results are immediately summarized and highlighted in the Java source code editors.
- Non-invasive:** EclEmma does not require modifying your project or performing any other setup.

Since version 2.0 EclEmma is based on the [JaCoCo](#) code coverage library. The Eclipse integration has its focus on supporting the individual developer in an highly interactive way. For automated builds please refer to [JaCoCo documentation](#) for integrations with other tools.

Originally EclEmma was inspired by and technically based on the great [EMMA](#) library developed by Vlad Roubtsov.

The [update site](#) for EclEmma is <http://update.eclEmma.org/>. For the latest Eclipse version EclEmma is also available via the [Marketplace Client](#), simply search for "EclEmma".

Mit Code Coverage Tools können Sie Programme wie gehabt starten, nur es wird die Code Coverage zur Laufzeit mit erhoben.



Worum geht es nun?



University of Applied Sciences

Was ist
Testen?

Code
Coverage

Unit
Testing



Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

69

Modultests (Unit Testing)



University of Applied Sciences

Ziel des Modultests (unit tests) ist es, frühzeitig Programmfehler in den Modulen einer Software (z. B. von einzelnen Klassen) zu finden. Die Funktionalität der Module kann so meist einfacher getestet werden, als wenn die Module bereits integriert sind, da in diesem Fall die Abhängigkeit der Einzelmodule mit in Betracht gezogen werden muss.

Modultests werden heutzutage üblicherweise automatisch ausgeführt.

Die automatisierten Modultests haben den Vorteil, dass sie rasch und von jedermann ausgeführt werden können. Somit besteht die Möglichkeit, nach jeder Programmänderung durch Ablauf aller Modultests nach Programmfehlern zu suchen. Dies wird üblicherweise empfohlen, da damit etwaige neu entstandene Fehler schnell entdeckt und somit kostengünstig behoben werden können.

Quelle: Wikipedia, Modultest

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

70

Eigenschaften von Unit Tests

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Isoliert <ul style="list-style-type: none"> Modultests testen die Module isoliert, d. h. ohne die Interaktion der Module mit anderen. Ist das nicht der Fall spricht man nicht von Modultests, sondern von Integrationstests. 	Test von Fehlerverhalten <ul style="list-style-type: none"> Modultests testen ausdrücklich nicht nur das Verhalten des Moduls im Gutfall, beispielsweise bei korrekten Eingabewerten, sondern auch im Fehlerfall, beispielsweise bei unkorrekten Eingabewerten. 	Laufende Ausführung <ul style="list-style-type: none"> Modultests sollten im Laufe der Entwicklung regelmäßig durchgeführt werden, um zu verifizieren, dass Änderungen keine unerwünschten Nebeneffekte haben. Modultests sollten daher von jedem Entwickler vor dem Einchecken durchgeführt werden. 	Test des Vertrag <ul style="list-style-type: none"> Modultests sollen gemäß dem Design-by-contract-Prinzip möglichst nicht die Interna einer Methode testen, sondern nur ihre externen Auswirkungen (Rückgabewerte, Ausgaben, Zustandsänderungen, Zusicherungen).
---	---	--	---

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme 71

Unit Testing mit JUnit 4 und Eclipse (I)

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Selektieren Sie die zu testende Klasse und wählen Sie über die rechte Maustaste:

New -> JUnit Test Case

UnitTests, die sich auf eine Klasse beziehen, erhalten per Konvention den Namen der Klasse mit der Suffix Test.

Bestätigen Sie ggf. dass die Junit Bibliothek, dem Klassenpfad hinzugefügt werden soll.

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme 72

Unit Testing mit JUnit 4 und Eclipse (II)



University of Applied Sciences

```
import static org.junit.Assert.*;  
  
import org.junit.Test;  
  
public class KontrollflussTest {  
  
    @Test  
    public void test() {  
        fail("Not yet implemented");  
    }  
  
}
```

Dadurch erzeugt das JUnit Plugin eine Testklasse mit einer Testmethode.

Die Methode hat die Annotation @Test (und kann übrigens einen beliebigen Bezeichner haben).

Dadurch erkennt Eclipse, dass es sich um einen Testfall handelt.

Innerhalb dieser Methode wird ein Testfall definiert, in dem die zu testende Funktionalität mit Testwerten aufgerufen wird und mittels Assert korrekte Rückgabewerte abgeprüft werden.

In Eclipse können so alle in einem Projekt befindlichen Testfälle aufgerufen werden, in dem das Projekt selektiert wird und anschließend mittels rechter Maustaste:



Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

73

Unit Testing mit JUnit 4 und Eclipse (III)



University of Applied Sciences

Ein Testfall für die Methode zaeheleVokale könnte jetzt wie folgt aussehen:

```
import static org.junit.Assert.*;  
  
import org.junit.Test;  
  
public class KontrollflussTest {  
  
    @Test  
    public void testZaeheleVokale() {  
        assertEquals(1, Kontrollfluss.zaeheleVokale("a"));  
        assertEquals(1, Kontrollfluss.zaeheleVokale("o"));  
        assertEquals(3, Kontrollfluss.zaeheleVokale("Hallo World"));  
        assertEquals(0, Kontrollfluss.zaeheleVokale(""));  
        assertEquals(8, Kontrollfluss.zaeheleVokale("aiouAIOU"));  
        assertEquals(0, Kontrollfluss.zaeheleVokale("123xyz"));  
    }  
}
```

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

74

Annotationen von JUnit 4 im Überblick



University of Applied Sciences

Annotation	Description
@Test public void method()	The annotation @Test identifies that a method is a test method.
@Before public void method()	Will execute the method before each test. This method can prepare the test environment (e.g. read input data, initialize the class).
@After public void method()	Will execute the method after each test. This method can cleanup the test environment (e.g. delete temporary data, restore defaults).
@BeforeClass public void method()	Will execute the method once, before the start of all tests. This can be used to perform time intensive activities, for example to connect to a database.
@AfterClass public void method()	Will execute the method once, after all tests have finished. This can be used to perform clean-up activities, for example to disconnect from a database.
@Ignore	Will ignore the test method. This is useful when the underlying code has been changed and the test case has not yet been adapted. Or if the execution time of this test is too long to be included.
@Test (expected = Exception.class)	Fails, if the method does not throw the named exception.
@Test(timeout=100)	Fails, if the method takes longer than 100 milliseconds.

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

75

Asserts von JUnit 4 im Überblick



University of Applied Sciences

Statement	Description
fail(String)	Let the method fail. Might be used to check that a certain part of the code is not reached. Or to have failing test before the test code is implemented.
assertTrue(true) / assertFalse(false)	Will always be true / false. Can be used to predefine a test result, if the test is not yet implemented.
assertTrue([message], boolean condition)	Checks that the boolean condition is true.
assertEquals([String message], expected, actual)	Tests that two values are the same. Note: for arrays the reference is checked not the content of the arrays.
assertEquals([String message], expected, actual, tolerance)	Test that float or double values match. The tolerance is the number of decimals which must be the same.
assertNull([message], object)	Checks that the object is null.
assertNotNull([message], object)	Checks that the object is not null.
assertSame([String], expected, actual)	Checks that both variables refer to the same object.
assertNotSame([String], expected, actual)	Checks that both variables refer to different objects.

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

76

Unit Testing mit JUnit 4 und Eclipse (IV)

Dieser Testfall hat für die `zaehleVokale()` Methode übrigens eine Code Coverage von 100% C0 und 100% C2 und 100% C3 (simple coverage).

```
import static org.junit.Assert.*;  
  
import org.junit.Test;  
  
public class KontrollflussTest {  
  
    @Test  
    public void testZaehleVokale() {  
        assertEquals(1, Kontrollfluss.zaecheVokale("a"));  
        assertEquals(1, Kontrollfluss.zaecheVokale("O"));  
        assertEquals(3, Kontrollfluss.zaecheVokale("Hello World"));  
        assertEquals(0, Kontrollfluss.zaecheVokale(""));  
        assertEquals(8, Kontrollfluss.zaecheVokale("aiouAIoU"));  
        assertEquals(0, Kontrollfluss.zaecheVokale("123xyz"));  
    }  
}
```

Demzufolge ist
zaehleVokale()
korrekt – oder?

Nein, denn wir haben bislang den Code getestet und nicht dessen Spezifikation abgeprüft!

```
/**  
 * Liefert die Anzahl aller groß- und kleingeschriebenen  
 * Vokale in einem String.  
 * Vokale sind 'a', 'e', 'i', 'o'  
 * @param s Zeichenkette  
 * @return Anzahl an Vokalen für  
 */  
  
public static int zaehleVokale(String s) {  
    int vokale = 0;  
    for (char c : s.toCharArray()) {  
        if (c == 'a' || c == 'A' ||  
            c == 'o' || c == 'O' ||  
            c == 'u' || c == 'U' ||  
            c == 'i' || c == 'I') {  
            vokale++;  
        }  
    }  
    return vokale;  
}
```

Was ist mit?
`assertEquals(1, Kontrollfluss.zaecheVokale("e"));`
Success or No Success?

!!! FEHLER !!!
Trotz 100% C0, C1 und C2 Abdeckung

Jetzt korrekt?



University of Applied Sciences

```
/*
 * Liefert die Anzahl aller groß- und kleingeschriebenen
 * Vokale in einem String.
 * Vokale sind 'a', 'e', 'i', 'o' und 'u'.
 * @param s Zeichenkette
 * @return Anzahl an Vokalen für s != null, 0 für s == null
 */
public static int zaehleVokale(String s) {
    int vokale = 0;                                // n1
    for (char c : s.toCharArray()) {                // n2
        if (c == 'a' || c == 'A' ||                 // n3
            c == 'o' || c == 'O' ||
            c == 'u' || c == 'U' ||
            c == 'i' || c == 'I' ||
            c == 'e' || c == 'E') {                  // n4
            vokale++;
        }
    }
    return vokale;                                  // n5
}
```

Was ist mit?
`assertEquals(0, null);`
 Success or No Success ?
 // n5
 // n6

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

79

Erst jetzt ist zaehleVokale() korrekt!



University of Applied Sciences

```
/*
 * Liefert die Anzahl aller groß- und kleingeschriebenen
 * Vokale in einem String.
 * Vokale sind 'a', 'e', 'i', 'o' und 'u'.
 * @param s Zeichenkette
 * @return Anzahl an Vokalen für s != null, 0 für s == null
 */
public static int zaehleVokale(String s) {
    if (s == null) { return 0; }
    int vokale = 0;                                // n1
    for (char c : s.toCharArray()) {                // n2
        if (c == 'a' || c == 'A' ||                 // n3
            c == 'o' || c == 'O' ||
            c == 'u' || c == 'U' ||
            c == 'i' || c == 'I' ||
            c == 'e' || c == 'E') {                  // n4
            vokale++;
        }
    }
    return vokale;                                  // n5
}
```

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

80

Was ist schief gegangen?

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Entwickle Testfälle aus der Spezifikation
NIEMALS aus dem Code!

```

        public void testZaeheVokale() {
            assertEquals(1, Kontrollfluss.zaeheVokale("a"));
            assertEquals(1, Kontrollfluss.zaeheVokale("o"));
            assertEquals(3, Kontrollfluss.zaeheVokale("Hello World"));
            assertEquals(0, Kontrollfluss.zaeheVokale(""));
            assertEquals(8, Kontrollfluss.zaeheVokale("aiouAIOU"));
            assertEquals(0, Kontrollfluss.zaeheVokale("123xyz"));
            assertEquals(4, Kontrollfluss.zaeheVokale("eEe"));
            assertEquals(0, Kontrollfluss.zaeheVokale(null));
        }
    
```

**Teste nicht nur die Normalfälle!
 Teste Sonder- und Spezialfälle.
 SEI FIEß!!!**

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke | 81

Code Coverage

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Nutze Code Coverage dazu, um
OBJEKTIV festzustellen, wann Du genug
 Testfälle aus den Spezifikationen
 abgeleitet hast!

Package	# Classes	Line Coverage	Branch Coverage	Complexity
All Packages	205 69%	80%	2.811	
org.jaxen	24 77%	73%	1.38	
org.jaxen.dom	3 55%	60%	1.907	
org.jaxen.dom.html	2 0%	0%	1.364	
org.jaxen.dom4j	2 78%	85%	2.395	
org.jaxen.expr	73 73%	84%	1.566	
org.jaxen.expr_iter	14 98%	100%	1.029	
org.jaxen.function	27 64%	76%	5.373	
org.jaxen.function_ext	6 63%	72%	4.235	
org.jaxen.function_xslt	1 86%	100%	2.5	
org.jaxen.javebean	4 44%	72%	1.87	
org.jaxen.idom	3 62%	63%	2.897	
org.jaxen.pattern	13 49%	52%	2.135	
org.jaxen.saxpath	8 51%	81%	1.887	
org.jaxen.saxpath.base	6 95%	100%	10.723	
org.jaxen.saxpath.helpers	2 28%	83%	1.34	
org.jaxen.util	15 41%	50%	2.432	
org.jaxen.xom	2 71%	66%	1.783	

Reports generated by Cobertura.

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke | 82

Tools zum Unit Testen und Code Coverage

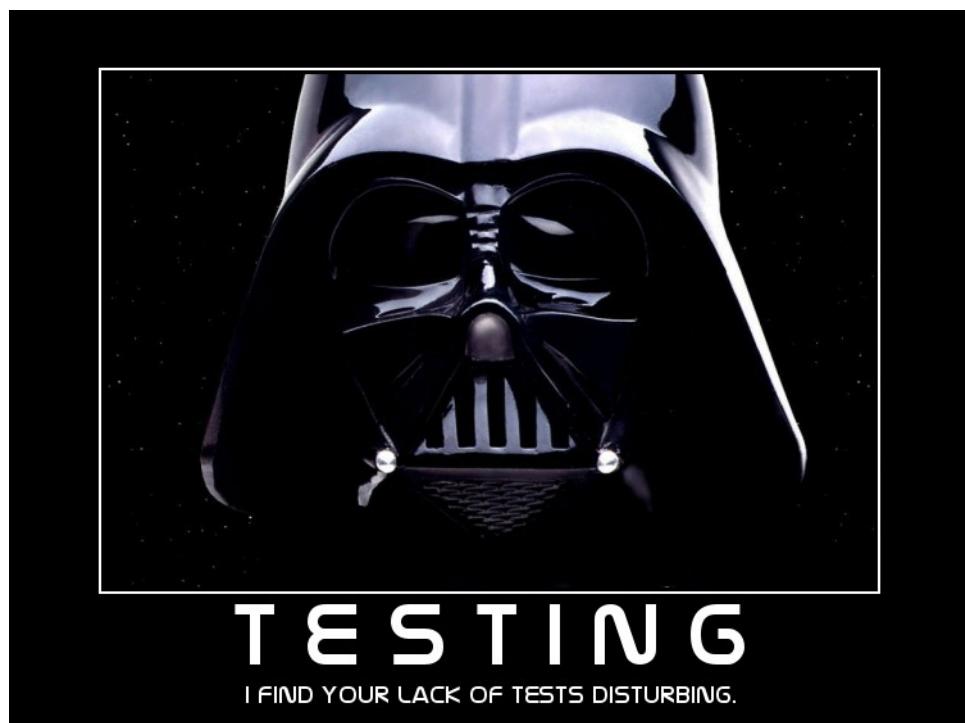


University of Applied Sciences

- **JUnit Plugin** ist das vermutlich verbreiteste ECLIPSE Plugin zum Unit Testen für Java (gutes Tutorial finden Sie hier: <http://www.vogella.com/articles/JUnit/article.html>)
- **eCobertura** ist ein Code Coverage Plugin zum Messen der Zweigüberdeckung (und anteiliger Bedingungsabdeckung, <http://ecobertura.johoop.de/>)
- **eclEmma** ist ein gut visualisierendes Code Coverage Plugin (leider nur) zum Messen der Anweisungs-/(Pfad-)überdeckung (<http://www.eclemma.org/>)
- **Clover** ist ein sehr mächtiges und komfortables Code Coverage Tool (leider kommerziell, <http://www.atlassian.com/software/clover>)

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

83



Zusammenfassung



University of Applied Sciences

- **Polymorphie**
 - Liskovsches Substitutionsprinzip
 - Run Time Type Identification
- **Verträge**
 - Einhalten von Verträgen bei abgeleiteten Klassen
 - Abschwächen von Vorbedingungen
 - Verschärfen von Nachbedingungen
 - Einhaltung der Klasseninvarianten der Basisklasse
- **Unit Testing**
 - JUnit
 - Teste Module isoliert, Teste Fehlverhalten, Teste laufend
 - Teste die Spezifikation nicht den Code
- **Code Coverage**
 - CO, C1, C2
 - Toolings



Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

85