

## Vorlesung



# 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

## Disclaimer



### Zur rechtlichen Lage an Hochschulen:

Dieses Handout und seine Inhalte sind durch den Autor selbst erstellt. Aus Gründen der Praktikabilität für Studierende lehnen sich die Inhalte stellenweise im Rahmen des Zitatrechts an Lehrwerken an.

Diese Lehrwerke sind explizit angegeben.

Abbildungen sind selber erstellt, als Zitate kenntlich gemacht oder unterliegen einer Lizenz die nicht die explizite Nennung vorsieht. Sollten Abbildungen in Einzelfällen aus Gründen der Praktikabilität nicht explizit als Zitate kenntlichgemacht sein, so ergibt sich die Herkunft immer aus ihrem Kontext: „Zum Nachlesen ...“.

### Creative Commons:

Und damit andere mit diesen Inhalten vernünftig arbeiten können, wird dieses Handout unter einer Creative Commons Attribution-ShareAlike Lizenz (CC BY-SA 4.0) bereitgestellt.



<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>

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

2



## Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke

*Praktische Informatik und  
betriebliche Informationssysteme*

- Raum: 17-0.10
- Tel.: 0451 300 5549
- Email: [nane.kratzke@th-luebeck.de](mailto:nane.kratzke@th-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

3

## Units

**Unit 1**  
Einleitung und  
Grundbegriffe

**Unit 2**  
Grundelemente  
imperativer Programme

**Unit 3**  
Selbstdefinierbare  
Datentypen und  
Collections

**Unit 4**  
Einfache I/O  
Programmierung

**Unit 5**  
Rekursive  
Programmierung und  
rekursive  
Datenstrukturen

**Unit 6**  
Einführung in die  
objektorientierte  
Programmierung und  
UML

**Unit 7**  
Konzepte  
objektorientierter  
Programmiersprachen

**Unit 8**  
Testen  
(objektorientierter)  
Programme

**Unit 9**  
Generische Datentypen

**Unit 10**  
Objektorientierter  
Entwurf und  
objektorientierte  
Designprinzipien

**Unit 11**  
Graphical User  
Interfaces

**Unit 12**  
Multithread  
Programmierung

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

4

## Abgedeckte Ziele dieser UNIT



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

5

## Themen dieser Unit



### Polymorphie

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

### Verträge

- Vorbedingung
- Nachbedingung
- Klasseninvariante

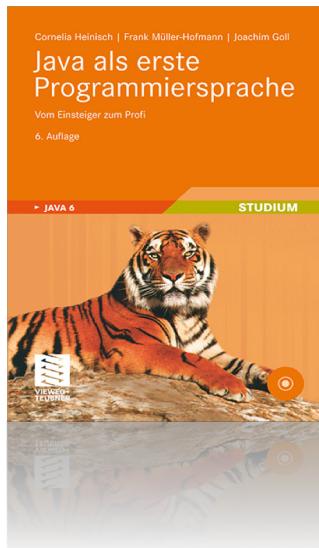
### Unit Testing und Code Coverage

- JUnit
- C0, C1, C2

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

6

## Zum Nachlesen ...



### Kapitel 11

#### Vererbung und Polymorphie

11.4 Polymorphie und das Liskovsche Substitutionsprinzip

11.5 Verträge

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

7

## Polymorphie



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.

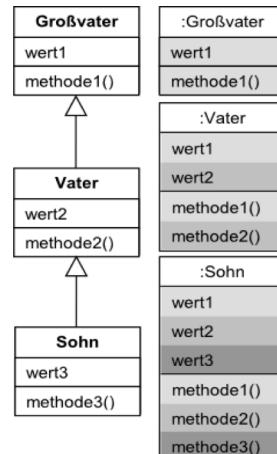
Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

8

## Polymorphes Verhalten bei der Erweiterung von Klassen



- 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.**



Quelle: Java als erste Programmiersprache

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

9

## Liskovsches Substitutionssprinzip



Prof. Barbara Liskov, Turing Award 2008, MIT



Quelle: Wikipedia

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

### LSP bei Erweiterung

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

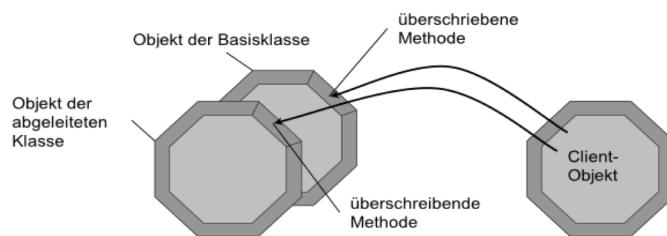
### LSP bei Überschreiben

- 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

10

## Liskovsches Substitutionssprinzip (II)



Quelle: Java als erste Programmiersprache

**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

11

## Der instanceof-Operator



- 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

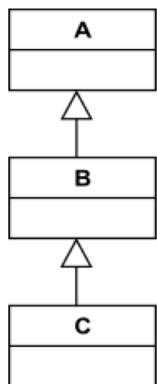
12

## Der instanceof-Operator

### Beispiele:



```
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

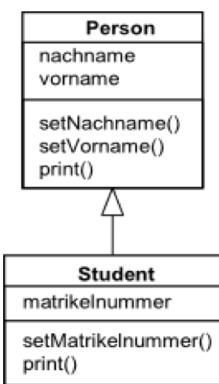
Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
 Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

13

## 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.

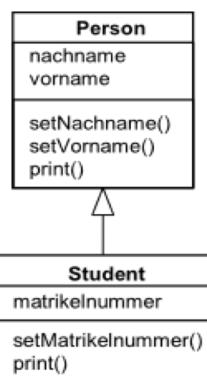


Quelle: Java als erste Programmiersprache

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

14

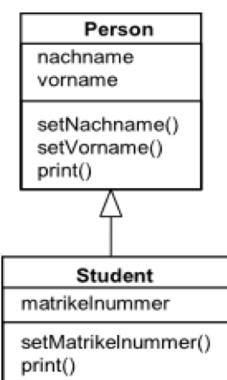
## RTTI am Beispiel (I)



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

15

## RTTI am Beispiel (II)

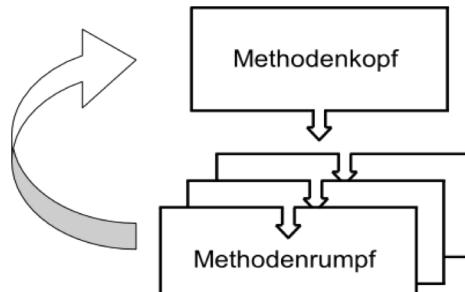


Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

16

## ■ Statische und dynamische Bindung von Methoden

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



Quelle: Java als erste Programmiersprache

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.

## ■ Dynamische Bindung von Methoden in JAVA

- 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:

## ■ Statische Bindung von Methoden in JAVA



### 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

19

## ■ Themen dieser Unit



### 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

20

## Verträge

- 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 , Wikipedia**

## Zusicherungen

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

**Eine Zusicherung ist ein boolescher Ausdruck, der niemals falsch werden darf.**

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



Quelle: Pixabay

## Zusicherungen

Prof. Hoare, Oxford University, Turing Award 1980, Wikipedia

E  
LE



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

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

### 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

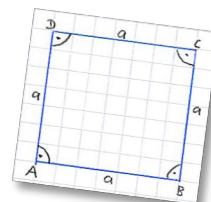
Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

23

## Invarianten



- 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

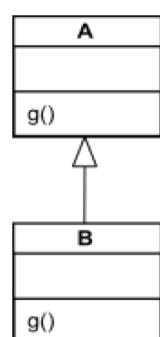
24

## Vertrag einer Klasse

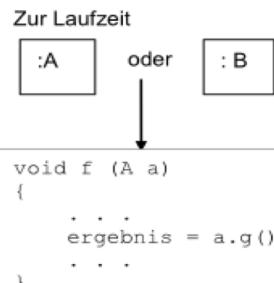


Solche Verträge dürfen durch abgeleitete Klassen nicht verletzt werden, daher müssen beim Überschreiben der Methoden bestimmte Regeln eingehalten werden!

## 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).

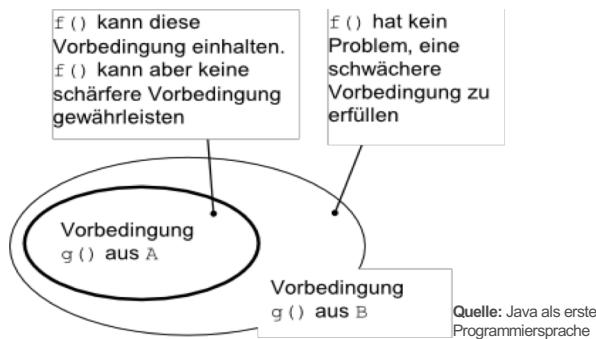


f() kann aber nur die für die Klasse A gemachten Verträge kennen und berücksichtigen. Diese müssen daher von allen von A abgeleiteten Klassen eingehalten werden!

## Aufweichen von Vorbedingungen



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



**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).

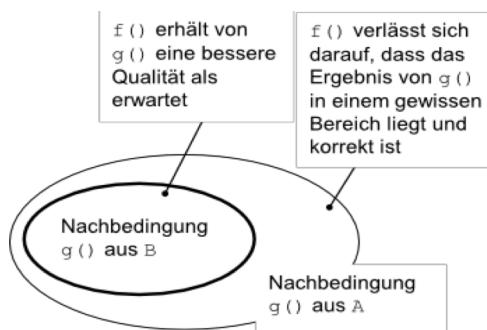
Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

27

## Verschärfen von Nachbedingungen



**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

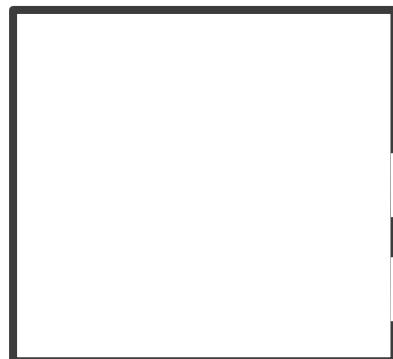
28

## Vor- und Nachbedingungen

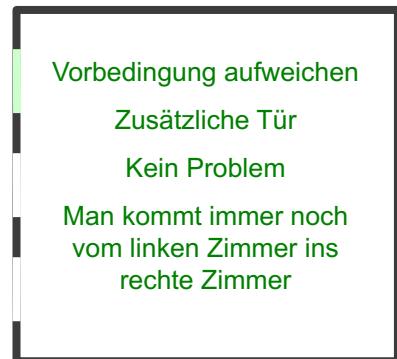
### Vorbedingungen aufweichen



Nachbedingung



Vorbedingung



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

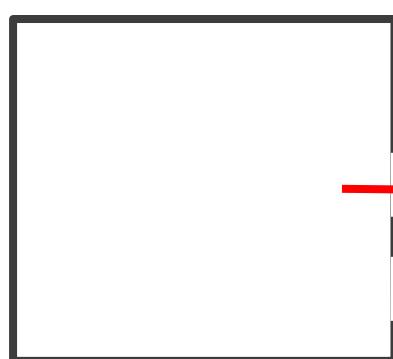
29

## Vor- und Nachbedingungen

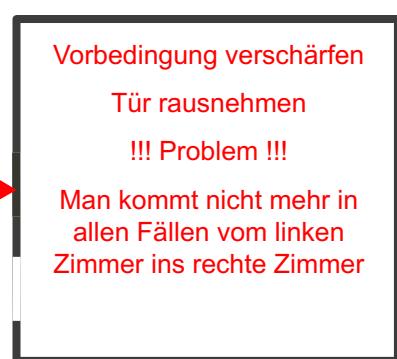
### Vorbedingungen verschärfen



Nachbedingung



Vorbedingung



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

30

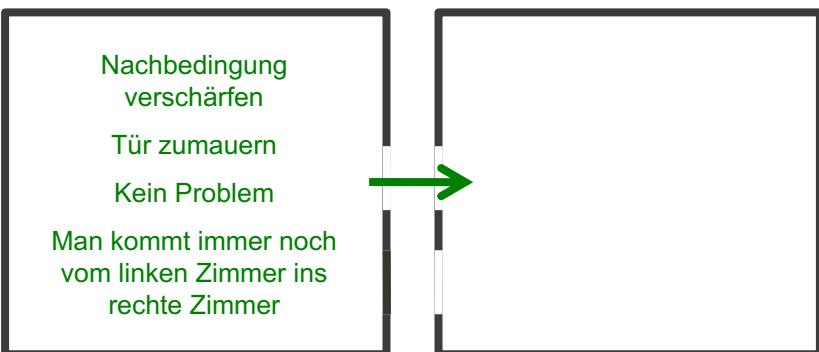
## Vor- und Nachbedingungen

### Nachbedingungen verschärfen



Nachbedingung

Vorbedingung



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

31

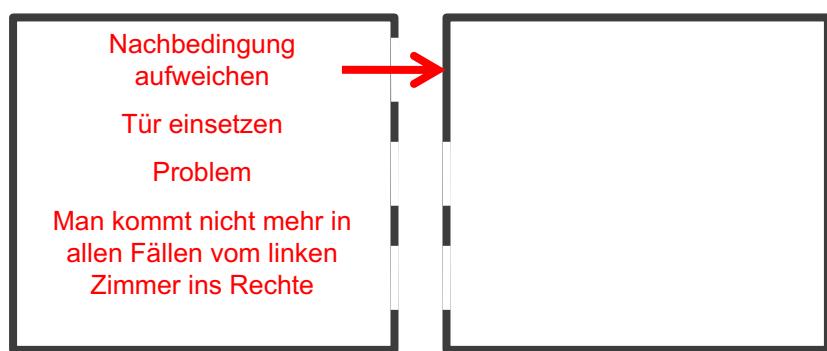
## Vor- und Nachbedingungen

### Nachbedingungen aufweichen



Nachbedingung

Vorbedingung



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

32

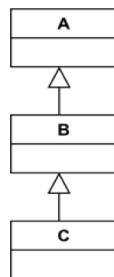
## Klassen als Übergabe- und Rückgabetypen

### Aufweichung der Vorbedingung entspricht:

- In überschriebenen Methoden
- ist bei Aufruf anderer Methoden
- bei Übergabeparametern nur eine **Generalisierung** erlaubt
- ? super Type (Lower Bound Wildcard)

### Verschärfung der Nachbedingung entspricht:

- In überschriebenen Methoden
- ist bei Rückgabetypen nur eine **Spezialisierung**
- bei return Statements erlaubt
- ? extends Type (Upper Bound Wildcard)



```

void func(B par);
A a = new A();
B b = new B();
C c = new C();

Dann geht:
func(a);
func(b);

Aber (eigentlich) nicht:
func(c);
// Da C spezieller als B
// JAVA führt in diesen
Fällen automatisch einen
impliziten Upcast durch
  
```

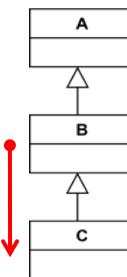
### B func();

```

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

Dann geht:
return b;
return c;

Aber nicht:
return a;
// Da A genereller als B
  
```



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

33

## Regeln für das Einhalten von Klasseninvarianten

- 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 logischen 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.

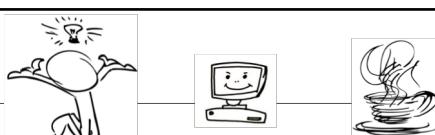
Alle Invarianten die durch Objekte der Klasse Rechteck einzuhalten wären, sind also:

- 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

34

**Miniübung:**



Gegeben ist die Klasse MyMath:

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

    protected int sqrt(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.log((double) v);
    }

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

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

    protected int sqrt(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.log((double) v);
    }

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

```
MyMath
# sqrt(int) : float
# sgr(int)
# log(int) : float
# inverse(int) : float
```

```
MyListedMath
- values : List<Integer>
+ MyListedMath(int... )
+ apply(Operation) : MyListedMath
```

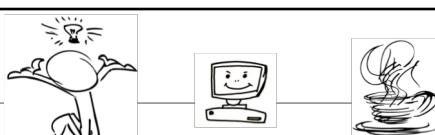
```
MyBetterListedMath
+ MyBetterListedMath(int...)
# sqrt(int) : float
# inverse(int) : float
```

```
<<enumeration>>
Operation
SORT
SQR
LOG
INVERSE
```

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke

35

**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) sgr(v)); break;
                    case SORT: 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();
    }
}
```

```
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) sgr(v)); break;
                    case SORT: 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();
    }
}
```

```
MyMath
# sqrt(int) : float
# sgr(int)
# log(int) : float
# inverse(int) : float
```

```
MyListedMath
- values : List<Integer>
+ MyListedMath(int... )
+ apply(Operation) : MyListedMath
```

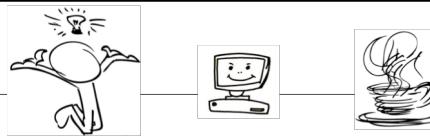
```
MyBetterListedMath
+ MyBetterListedMath(int...)
# sqrt(int) : float
# inverse(int) : float
```

```
<<enumeration>>
Operation
SQR
SQR
LOG
INVERSE
```

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke

36

## Miniübung:



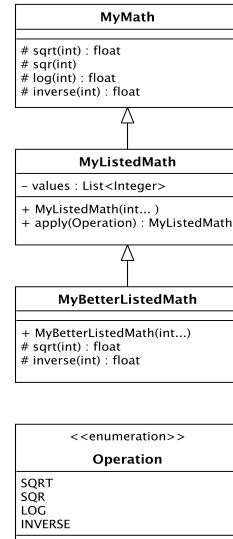
Gegeben ist die Klasse MyBetterListedMath:

```
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);
    }

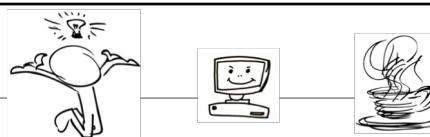
    protected float inverse(int v) {
        if (v == 0) throw new ArithmeticException("...");
        return (float) 1.0 / v;
    }
}
```



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

37

## Miniübung:

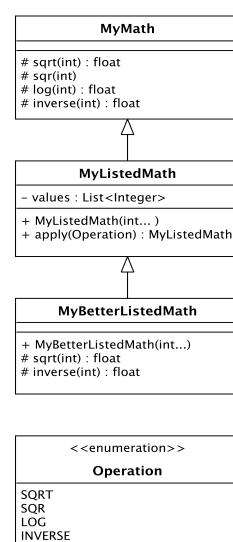


Der Aufruf von

```
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 (beabsichtigten) Ausgabe:

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



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

38

### 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.ArithmetcException: sqrt (-2147483648) not
defined.
at MyBetterListedMath.sqrt(MyBetterListedMath.java:9)
at MyListedMath.apply(MyListedMath.java:23)
at MyListedMath.main(MyListedMath.java:71)
```

**Warum?**

UML Class Diagram:

- MyMath** (Superclass):
  - # sqrt(int) : float
  - # sqr(int)
  - # log(int) : float
  - # inverse(int) : float
- MyListedMath** (Subclass):
  - values : List<Integer>
  - + MyListedMath(int... )
  - + apply(Operation) : MyListedMath
- MyBetterListedMath** (Subclass):
  - + MyBetterListedMath(int... )
  - # sqrt(int) : float
  - # inverse(int) : float
- Operation** (Enumeration):
  - <<enumeration>>
  - SORT
  - SQR
  - LOG
  - INVERSE

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

39

### 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;
    }
}
```

Verschärfung einer Vorbedingung!

```
class MyBetterListedMath extends MyListedMath {
    protected float sqrt(int v) {
        if (v < 0) throw new ArithmetcException("...");
        return (float) Math.sqrt(v);
    }

    protected float inverse(int v) {
        if (v == 0) throw new ArithmetcException("...");
        return (float) 1.0 / v;
    }
}
```

Verschärfung einer Vorbedingung!

UML Class Diagram:

- MyMath** (Superclass):
  - # sqrt(int) : float
  - # sqr(int)
  - # log(int) : float
  - # inverse(int) : float
- MyListedMath** (Subclass):
  - values : List<Integer>
  - + MyListedMath(int... )
  - + apply(Operation) : MyListedMath
- MyBetterListedMath** (Subclass):
  - + MyBetterListedMath(int... )
  - # sqrt(int) : float
  - # inverse(int) : float
- Operation** (Enumeration):
  - <<enumeration>>
  - SORT
  - SQR
  - LOG
  - INVERSE

Red callout bubbles:
 

- "Vergroßern des Wertebereichs (Nachbedingung)! (unerwartete Ex)" pointing to the `if (v < 0)` check in `sqrt`.
- "Vergroßern des Wertebereichs (Nachbedingung)! (unerwartete Ex)" pointing to the `if (v == 0)` check in `inverse`.

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

40

## I Fehler schleichen sich ein ...



Ich teste, weil ich keinem Programmierer traue.

Am wenigsten mir selber.

Quelle: Pixabay

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

41

## Sie überschreiben eine Methode, dann dürfen Sie ...

die Vorbedingung verschärfen

die Vorbedingung aufweichen

die Nachbedingung aufweichen

die Nachbedingung verschärfen



Bildquelle: ARD

42

**Verschärfen einer Bedingung  
bedeutet ...**

Mit generelleren Klassen zu arbeiten

Mit spezifischeren Klassen zu arbeiten

Abstrakte Methoden zu implementieren

Schnittstellen zu nutzen



Bildquelle: ARD

43

**Aufweichen einer Bedingung  
bedeutet u.a. ...**

Abstrakte Klassen zu nutzen

Schnittstellen zu nutzen

Upper Bound Wildcards zu nutzen

Lower Bound Wildcards zu nutzen



Bildquelle: ARD

44

## Themen dieser Unit



### 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

45

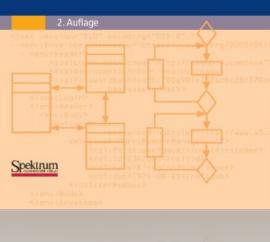
## Zum Nachlesen ...



Peter Liggesmeyer

### Software-Qualität

Testen, Analysieren und Verifizieren von Software



#### 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

46

## Worum geht es nun?



Was ist  
Testen?

Code  
Coverage

Unit  
Testing

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

47

## Warum Testen?



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 beschleunigte 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

48

## **Korrektheit**

**ist eine binäre Eigenschaft von Software**



- 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

49

## **Was Sie über das Testen wissen sollten!**



**"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

50

## Software-Qualitätssicherung



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

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

Korrektheit

Funktionale  
Vollständigkeit

Sicherheit

Zuverlässigkeit

Verfügbarkeit

Robustheit

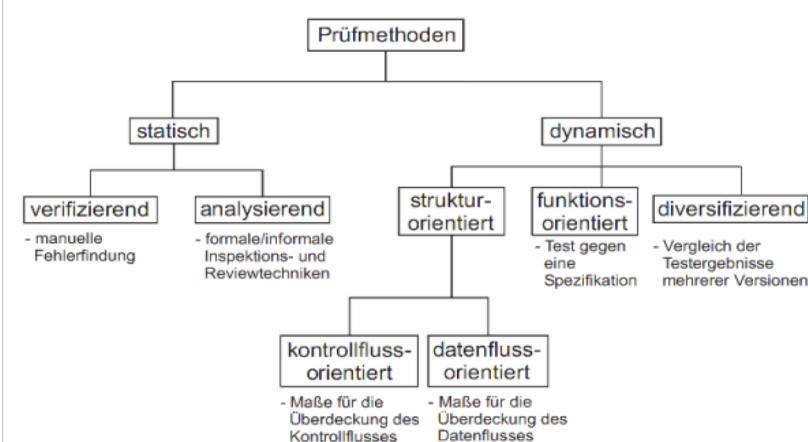
...

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

51

## Klassifikation von SW-Prüftechniken



In Anlehnung an Liggesmeyer (Softwarequalitätssicherung)

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

52

## 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.*

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

53

## Zwei Verfahren im Detail



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

### Prüfmethoden

#### statisch

##### verifizierend

- manuelle Fehlerfindung

##### analysierend

- formale/informale Inspektions- und Reviewtechniken

#### dynamisch

##### struktur-orientiert

##### kontrollfluss-orientiert

Maße für die Überdeckung des Kontrollflusses

##### funktions-orientiert

Test gegen eine Spezifikation

##### diversifizierend

- Vergleich der Testergebnisse mehrerer Versionen

**Code Coverage**

In Anlehnung an Liggesmeyer

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

54

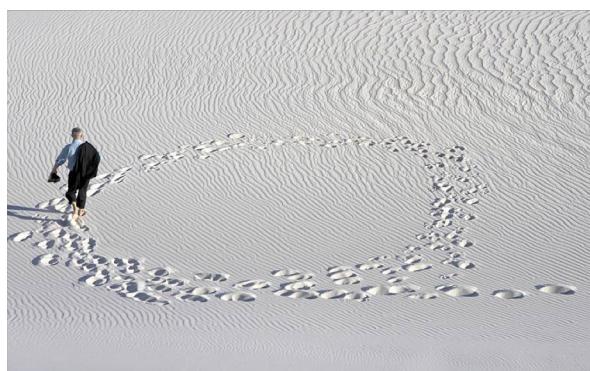
## Wann haben Sie genug getestet?



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?



Was ist  
Testen?

Code  
Coverage

Unit  
Testing

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

57

## Wie lässt sich eine Code Coverage messen?



### 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

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

58

## 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 Endknoten.

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 Endknoten  $n_{final}$  endet heißt **Pfad**.

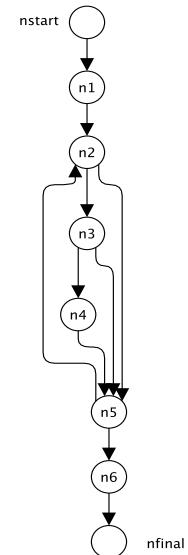
Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

59

## 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 zahleVokale(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
}
```



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

60

## Anweisungsabdeckungstest

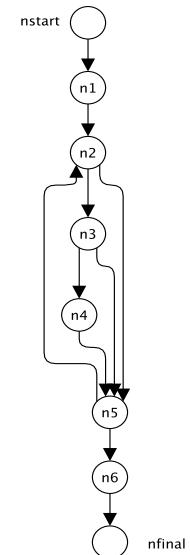


Der Anweisungsabdeckungstest ist die einfachste kontrollflussorientierte Testmethode. Das Ziel der Anweisungsüberdeckung ist die **mindestens einmalige Ausführung aller Anweisungen**,

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.

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



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

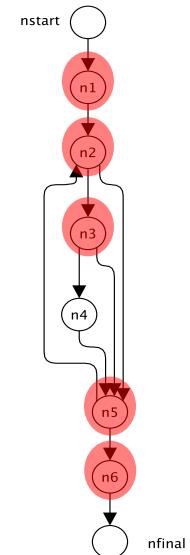
61

## Anweisungsabdeckungstest Beispiel



```

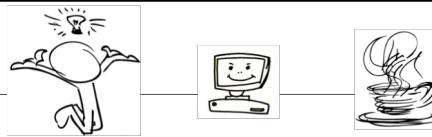
public static int zahleVokale(String s) {
    int vokale = 0; // n1
    for (char c : s.toCharArray()) { // n2
        if (c == 'a' || c == 'A' || // n3
            c == 'o' || c == 'O' ||
            c == 'u' || c == 'U' ||
            c == 'i' || c == 'I') {
            vokale++;
        } // n4
 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



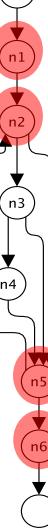
Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

62

### Miniübung:



nstart



nfinal

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' ||
            c == 'u' || c == 'U' ||
            c == 'i' || c == 'I') {
            vokale++;
        } // n4
    } // n5
    return vokale; // n6
}
```

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

63

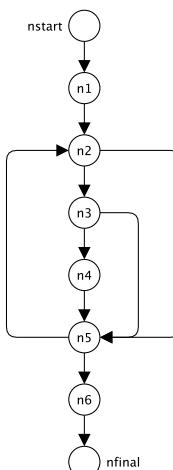
### Zweigüberdeckungstest



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.

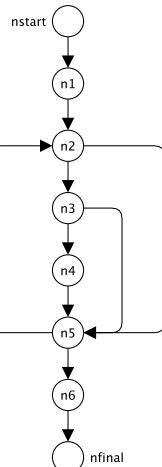
Als Testmaß wird das erreichte Zweigüberdeckungsmaß definiert. Er ist das Verhältnis der ausgeführten **primitiven Zweige** zu der Gesamtzahl aller vorhandenen primitiven Zweige.



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

64

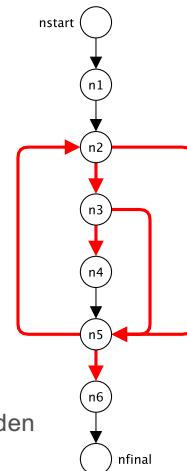
## Zweigabdeckung



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

Von Interesse sind also **Knoten** die auf mehr als einem Weg verlassen werden können (rot markierte Kanten).

Außerdem muss nur ein Teil der Zweige (rot markiert) für eine Code Coverage instrumentiert werden.

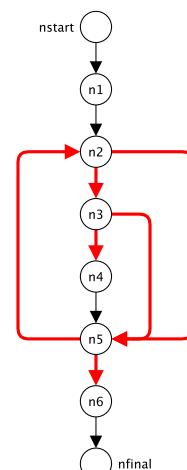


$$C_1 = \frac{\text{Zweige}_{\text{ausgeführt}}}{\text{Zweige}_{\text{vorhanden}}}$$

## Zweigabdeckungstest Beispiel



```
public static int zahleVokale(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
}
int vs = zahleVokale("Try");
```



$$C_1 = \frac{\text{Zweige}_{\text{ausgeführt}}}{\text{Zweige}_{\text{vorhanden}}}$$

## Zweigabdeckungstest Beispiel

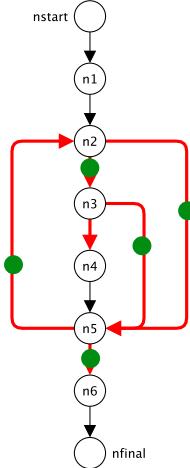


```

public static int zahleVokale(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
}

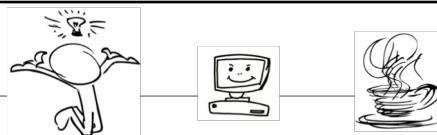
int vs = zahleVokale("Try");

```



$$C_1 = 5 / 6 = 83\%$$

## Miniübung:

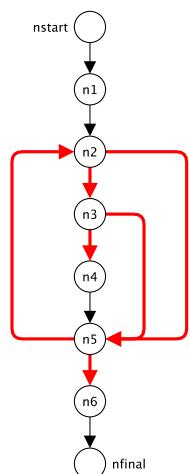


Bestimmen Sie die Zweigüberdeckung der Routine zahleVokale für den Eingabeparameter des leeren Strings "".

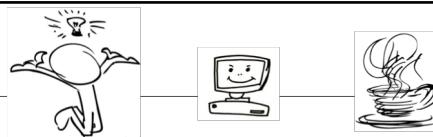
```

public static int zahleVokale(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
}

```

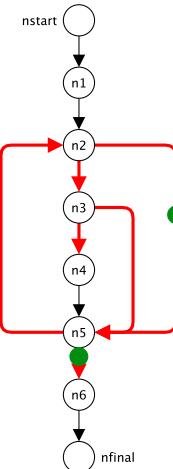


### Miniübung:



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
}
```



$$C_1 = 2 / 6 = 33\%$$

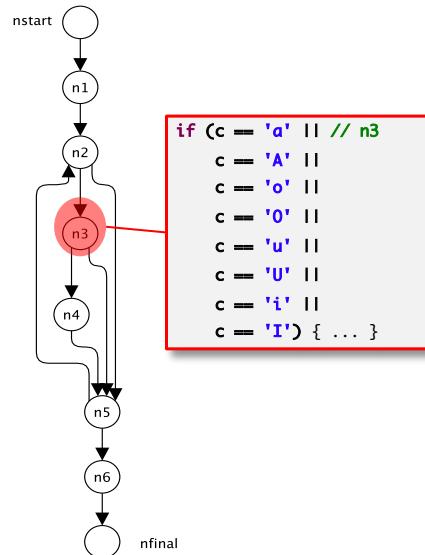
### Bedingungsüberdeckungstest



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.

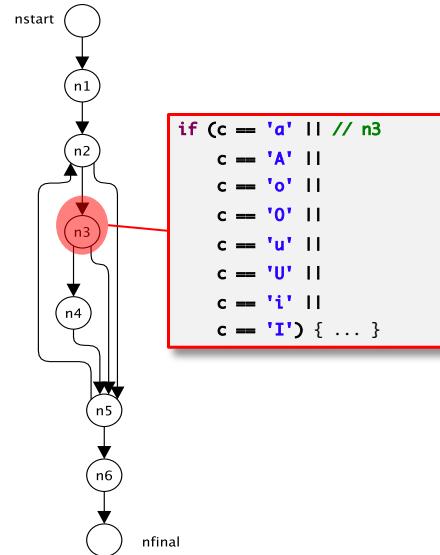
Es gibt eine Vielzahl an Tests in diesem Bereich. Wir befassen uns nur mit dem einfachsten Test (simple condition coverage test) um die Prinzipien der Bedingungsüberdeckung zu vermitteln.



## 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.



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

71

## 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:

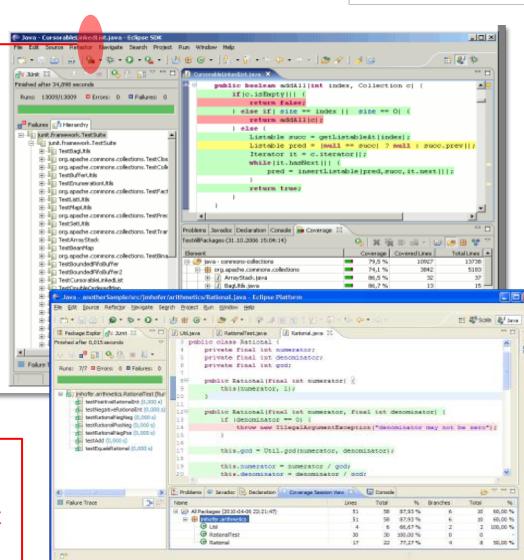
- **Fast develop/test cycle:** Launches from within the workbench like JUnit test runs can directly be analyzed for code coverage.
- **Rich coverage analysis:** Coverage results are immediately summarized and highlighted in the Java source code editors.
- **Non-invasive:** eclEmma does not require modifying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



Bildquelle: Eclipse

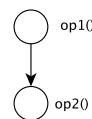
Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke  
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

72

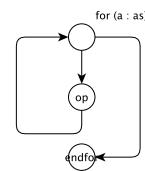
## Kontrollflussgraphen Cheat Sheet



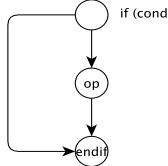
```
op1();
op2;
```



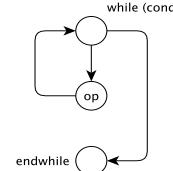
```
for (a : as) {
    op();
}
```



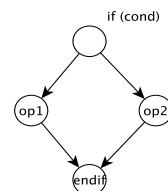
```
if (cond) {
    op();
}
```



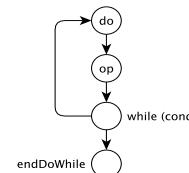
```
while (cond) {
    op();
}
```



```
if (cond) {
    op1();
} else {
    op2();
}
```

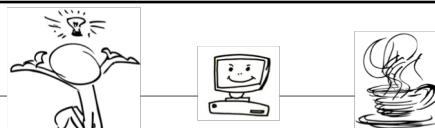


```
do {
    op();
} while (cond);
```



73

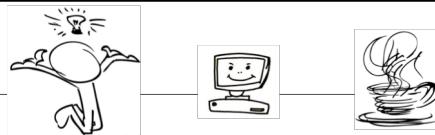
## Miniübung:



Geben Sie bitte den Kontrollflussgraphen für folgende Methode an:

```
public static int countChar(String s, char f) {
    int ret = 0;
    for (char c : s.toCharArray()) {
        ret += f == c ? 1 : 0;
    }
    return ret;
}
```

### ■ Miniübung:



Geben Sie bitte den Kontrollflussgraphen für folgende Methode an:

```
public static int countCharIf(String s, char f) {  
    int ret = 0;  
    for (char c : s.toCharArray()) {  
        if (f == c) {  
            ret++;  
        }  
    }  
    return ret;  
}
```

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

75

### ■ Worum geht es nun?



Was ist  
Testen?

Code  
Coverage

Unit  
Testing

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

76

## Modultests (Unit Testing)



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

77

## Eigenschaften von Unit Tests



### Isoliert

- 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 Fehlverhalten

- 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

- 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

- 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

78

## Unit Testing mit JUnit 4 und Eclipse (I)

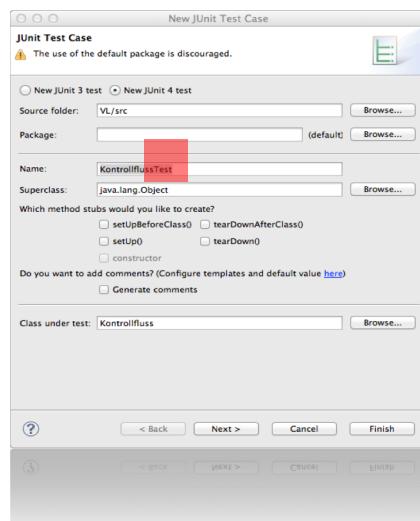


Selektieren Sie die zu testende Klasse und wählen Sie über die rechte Maustaste:

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

79

## Unit Testing mit JUnit 4 und Eclipse (II)



```
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

80

## Unit Testing mit JUnit 4 und Eclipse (III)



Ein Testfall für die Methode `zaehleVokale` könnte jetzt wie folgt aussehen:

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

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

81

## Annotationen von JUnit 4 im Überblick



Annotation	Description
<code>@Test public void method()</code>	The annotation <code>@Test</code> identifies that a method is a test method.
<code>@Before public void method()</code>	Will execute the method before each test. This method can prepare the test environment (e.g. read input data, initialize the class).
<code>@After public void method()</code>	Will execute the method after each test. This method can cleanup the test environment (e.g. delete temporary data, restore defaults).
<code>@BeforeClass public void method()</code>	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.
<code>@AfterClass public void method()</code>	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.
<code>@Ignore</code>	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.
<code>@Test (expected = Exception.class)</code>	Fails, if the method does not throw the named exception.
<code>@Test(timeout=100)</code>	Fails, if the method takes longer than 100 milliseconds.

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

82

## ■ Asserts von JUnit 4 im Überblick



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

83

## ■ 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.zahleVokale("a"));  
        assertEquals(1, Kontrollfluss.zahleVokale("0"));  
        assertEquals(3, Kontrollfluss.zahleVokale("Hallo World"));  
        assertEquals(0, Kontrollfluss.zahleVokale "");  
        assertEquals(8, Kontrollfluss.zahleVokale("aiouAIOU"));  
        assertEquals(0, Kontrollfluss.zahleVokale("123xyz"));  
    }  
}
```

Demzufolge ist  
zaehleVokale() korrekt  
– oder?

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

84

**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' und 'u'.
 * @param s Zeichenkette
 * @return Anzahl an Vokalen für s
 */
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.zaehleVokale("e"));*

Success or No Success?

!!! FEHLER !!!

Trotz 100% C0, C1 und C2 Abdeckung

**Jetzt korrekt?**

```
/*
 * 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;
    for (char c : s.toCharArray()) {
        if (c == 'a' || c == 'A' ||
            c == 'o' || c == 'O' ||
            c == 'u' || c == 'U' ||
            c == 'i' || c == 'I' ||
            c == 'e' || c == 'E') {
            vokale++;
        }
    }
    return vokale;
}
```

Was ist mit?  
*assertEquals(0, zaehleVokale(null));*

Success or No Success ?  
*// n5 // n6*

## Erst jetzt ist zaehelevokale() korrekt!



```

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


```

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

87

## Was ist schief gegangen?



Entwickle Testfälle aus der  
Spezifikation  
**NIEMALS** aus dem Code!

```

zaehelevokale() {
    Kontrollfluss.zaehelevokale("a"));
    Kontrollfluss.zaehelevokale("0"));
    assertEquals(3, Kontrollfluss.zaehelevokale("Hallo World"));
    assertEquals(0, Kontrollfluss.zaehelevokale(""));
    assertEquals(8, Kontrollfluss.zaehelevokale("aiouAI0U"));
    assertEquals(0, Kontrollfluss.zaehelevokale("123xyz"));
    assertEquals(4, Kontrollfluss.zaehelevokale("eEEe"));
    assertEquals(0, Kontrollfluss.zaehelevokale(null));
}


```

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

```

/*
 * 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
 */


```

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

88

## Code Coverage

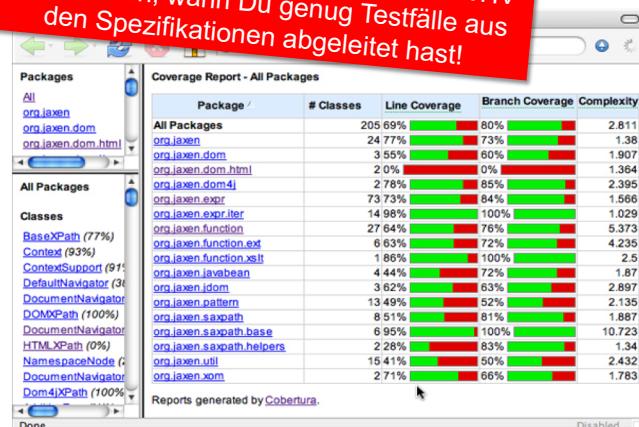


Tatsächlich existieren einige SW-Entwicklungsstandards, die vorschreiben wie hoch eine Code Coverage sein muss, damit eine SW abgenommen wird.

Bsp.: DO 178B Air  
(Luftfahrzeuge)

(So könnte z.B. eine Zweigüberdeckung > 85% C1, bei Medium Critical Components im QM-Plan vorgeschrieben sein).

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



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

89

## Tools zum Unit Testen und Code Coverage



**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/>)

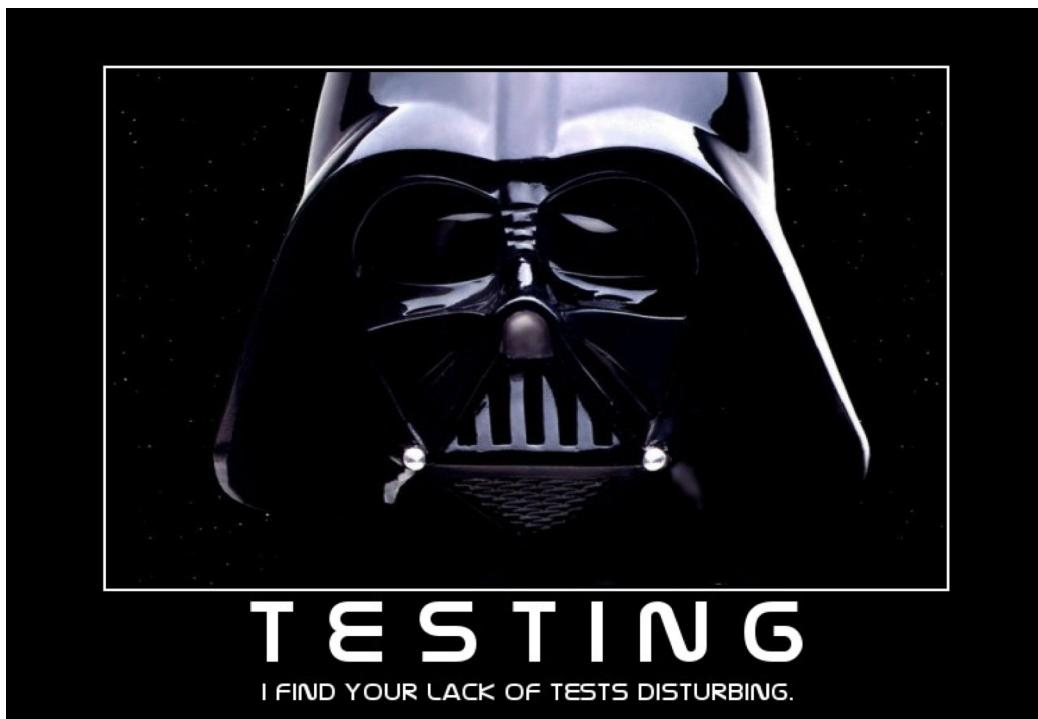


**eclEmma** ist ein gut visualisierendes Code Coverage Plugin (leider nur zum Messen der Anweisungs-/(Pfad-)überdeckung  
[\(http://www.eclemma.org/\)](http://www.eclemma.org/))

- **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

90



## Zusammenfassung



TECHNISCHE  
HOCHSCHULE  
LÜBECK

- **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

92