Karlsruher Institut für Technologie

Vorlesung Programmieren

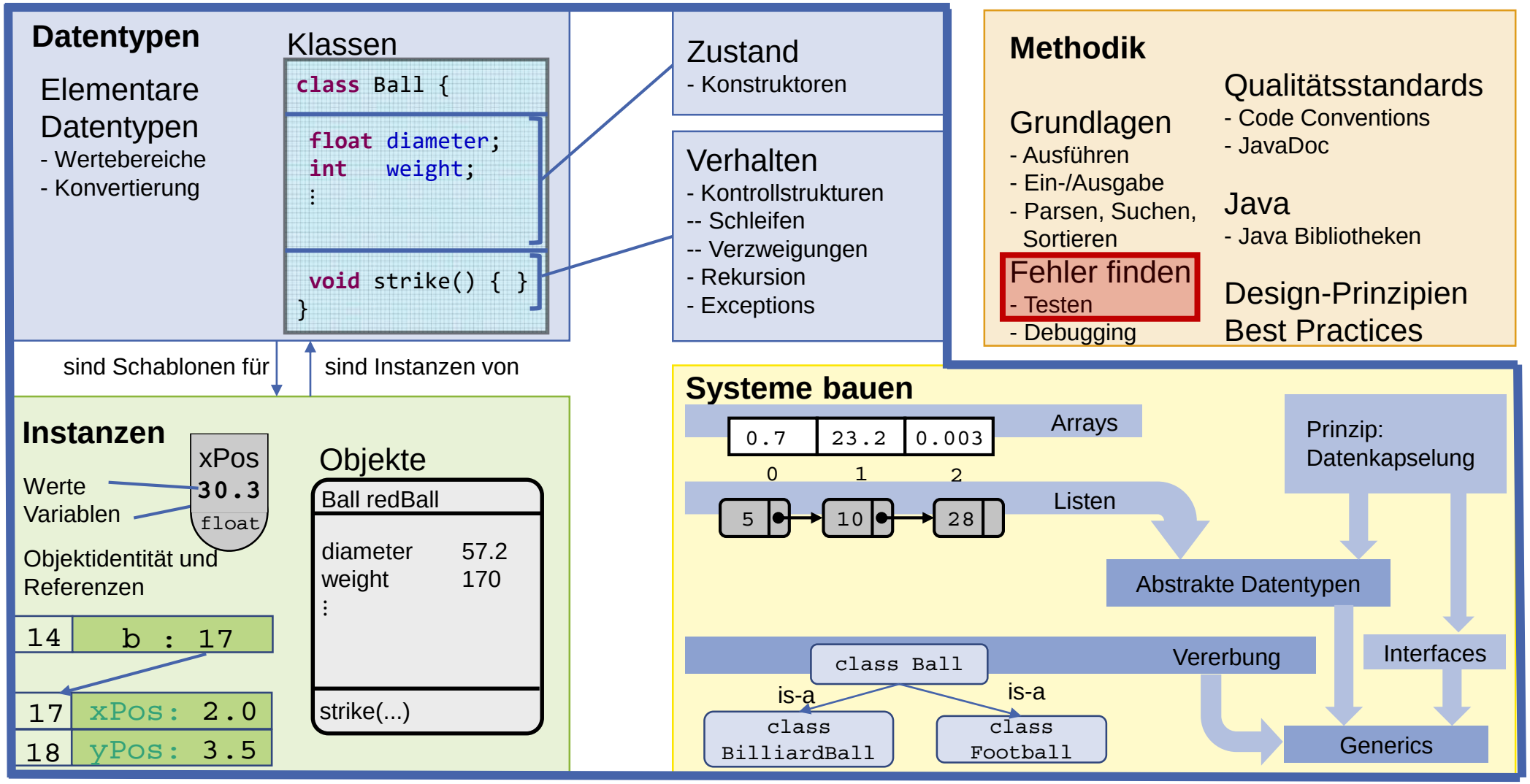
16. Testen und Assertions, JUnit

PD Dr. rer. nat. Robert Heinrich, Prof. Dr.-Ing. Anne Koziolek

Termine und Fristen im Wintersemester 2023/24

- Übungsschein wird voraussichtlich am 09.02.2024 vorläufig und am 13.02.2024 endgültig in das Campus-Management-Portal eingestellt
  - Übungsschein ist Voraussetzung für die Anmeldung der Abschlussaufgaben
  - Die aktuellen Punkte sind über Artemis oder der zugehörigen Newsliste einsehbar
- Anmeldung zu den Abschlussaufgaben im Campus-Management-Portal vom 14.02.2024 bis 26.02.2024, jeweils 12:00 Uhr
  - Nach Anmeldeschluss ist keine Nachmeldung mehr möglich
  - Abgabe der Abschlussaufgaben nur nach Anmeldung
- Weitere Termine und Fristen wie immer auf der Veranstaltungsseite
  - https://sdq.kastel.kit.edu/wiki/Vorlesung_Programmieren_WS_2023/24

Vorlesungsüberblick
Objektorientierte Programmierung in Java



Vorlesungsüberblick: Vorläufiger Semesterplan

23.10.2023	Erstsemesterbegrüßung: Einführung
25.10.2023	Organisatorisches; Ein Einfaches Programm, Objekte und Klassen
08.11.2023	Typen und Variablen
15.11.2023	Kontrollstrukturen (+Scanner)
22.11.2023	Konstruktoren und Methoden
29.11.2023	Arrays; Konvertierung, Datenkapselung, Sichtbarkeit
06.12.2023	Listen und Abstrakte Datentypen
13.12.2023	Vererbung
20.12.2023	Exceptions; Interfaces
10.01.2024	Generics; Rekursion
17.01.2024	Java-API; Objektorientierte Design-Prinzipien
24.01.2024	Best Practices
31.01.2024	Finden und Beheben von Fehlern; Testen und Assertions (Teil 1)
07.02.2024	Testen und Assertions (Teil 2); Junit; Parsen, Suchen, Sortieren
14.02.2024	Vom Programm zur Maschine; Ausblick auf zukünftige Lehrveranstaltungen

Lernziele

Testen und Assertions

- Sie kennen Kriterien für gute Testfälle und können anhand dieser Kriterien gute Testfälle erstellen
- Sie können Zusicherungen (Assertions) anwenden
- Sie können unterscheiden, welche Arten von Fehlern durch Testen entdeckt bzw. nicht entdeckt werden können
- Sie können begründen, warum Testen notwendig und sinnvoll ist
- Sie können das **JUnit**-Framework einsetzen
- Sie können parametrisierte Tests schreiben

Quelle: http://phdcomics.com

Murphy’s Law

If it can go wrong, it will go wrong!

Software-Katastrophen

Bestrahlungsgerät Therac-25
https://de.wikipedia.org/wiki/Therac-25

»Blackout« in Nordamerika (2003)
https://en.wikipedia.org/wiki/Northeast_blackout_of_2003

Heartbleed (2012–2014)
https://de.wikipedia.org/wiki/Heartbleed

Was lernen wir daraus?

Umfassende Fehlerbehandlung erforderlich

- Jede Benutzereingabe sollte überprüft werden
- Jeder mögliche Fehlerfall behandelt

Ausgiebiges Testen unerlässlich!

»Program testing can be a very effective way to show the presence of bugs, but is hopelessly inadequate for showing their absence.«

Edsger Dijkstra: *The Humble Programmer* ACM Turing Lecture 1972

Software-Fehler (Wdh.)

- **Fault:** Ein Fehler bei der Entwicklung
- **Defect:** Ein Fault, der durch Testen gefunden wurde.
- **Bug:** Ein Defect, der von den Entwicklern anerkannt wurde.
- **Error:** Software-Zustand, durch Fault, Bug oder Defect verursacht.
- **Failure:** Unterschied zum von der Software erwarteten Verhalten zur Laufzeit (z.B. Absturz, Ausfall)

Woher wissen wir, was das **erwartete Verhalten** von Software ist?

→ Spezifikation von Anforderungen

Anforderung (requirement):
Aussage über eine zu erfüllende Eigenschaft oder zu erbringende Leistung eines Programms/Systems.

Avizienis, A., Laprie, J. C., Randell, B., & Landwehr, C. (2004). Basic concepts and taxonomy of dependable and secure computing. *IEEE transactions on dependable and secure computing*, *1*(1), 11-33. DOI 10.1109/TDSC.2004.2

Definition »Requirement«

DEFINITION. Requirement –

1. A need perceived by a stakeholder.
2. A capability or property that a system shall have.
3. A documented representation of a need, capability or property.

DEFINITION. Requirements Specification – A systematically represented collection of requirements, typically for a system, that satisfies given criteria.

M. Glinz (2024). *Requirements Engineering Glossary*, Version 2.1.0. International Requirements Engineering Board (IREB). Originally published in 2011. Available at http://www.ireb.org (check-out CPRE Glossary)

Mögliche Gründe für fehlerhafte Software

- Fehler in der Entwicklung (fault/defect/bug/error)
- Anforderungen unvollständig/ widersprüchlich/unmöglich zu implementieren
- Falsche Interpretation der Anforderungen
- Dokumentation falsch (Verhalten des Programms falsch beschrieben)

→Testen hilft, Software-Fehler zu finden!

→Jedes Programm muss getestet werden!

Testen: Vorgehen

Typischerweise **zweistufiges** Vorgehen:

1. Auswahl der Testfälle
   - Klassifizierung der möglichen Eingabedaten
   - Standardsituationen und Randfälle betrachten
2. Auswahl der Testdaten
   - Repräsentative Daten zu jedem Testfall

Man muss versuchen, **alle** Situationen abzudecken, in denen das Programm potentiell vom erwarteten Verhalten abweichen kann

Beispiel: Klassifikation Dreiecke

Der Benutzer gibt drei ganze Zahlen ein. Diese repräsentieren Seitenlängen eines Dreiecks.

Das Programm soll das Dreieck klassifizieren als

- gleichseitig
- gleichschenklig
- Unregelmäßig

Was sind gute Testfälle?

- Klassifizierung der möglichen Eingabedaten
- Standardsituationen und Randfälle betrachten

Aufgabe: Was sind gute Testfälle?
Gültiges gleichseitiges Dreieck
Gültiges gleichschenkliges Dreieck
Gültiges unregelmäßiges Dreieck
Genau eine Seite Länge 0
Genau eine Seite negative Länge
Summe zweier Seiten > 0 ergibt dritte
Summe zweier Seiten < dritte Seite
…

Example from [Myers2012]

Klassifikation Dreiecke: Spezifikation

```
enum TriangleKind { Equilateral, Isosceles, Other };
class Triangle {
  public Triangle(int a, int b, int c) {…}
  // Specification: …
  public TriangleKind classify() {…}
}
```

Klassifikation Dreiecke: Spezifikation

```
enum TriangleKind { Equilateral, Isosceles, Other };
class Triangle {
  public Triangle(int a, int b, int c) {…}
  // Classify a triangle as equilateral, isosceles, other.
  // classifyTriangle returns
  // a) Equilateral: If all sides (a, b, c) are equal in length
  // b) Isosceles:   If two sides (e.g., a, b) are equal in length (and > 0),
  // c) Other:       If all sides have different lengths > 0
  public TriangleKind classify() {…}
}
```

Klassifikation Dreiecke: Spezifikation

```
enum TriangleKind { Equilateral, Isosceles, Other, Invalid };
class Triangle {
  public Triangle(int a, int b, int c) {…}
  // Classify a triangle as equilateral, isosceles, other, or invalid.
  // classifyTriangle returns
  // a) Equilateral: If all sides (a, b, c) are equal in length and
  //                 all of a, b, c are strictly positive.
  // b) Isosceles:   If two sides (e.g., a, b) are equal in length (and > 0),
  //                 and the triangle is neither Equilateral nor Invalid.
  // c) Other:       If all sides have different lengths > 0 and the triangle
  //                 is not Invalid.
  // d) Invalid:     If at least one side's length is <= 0, or if the largest
  //                 side's length is larger or equal to the sum of the
  //                 other sides.
  public TriangleKind classify() {…}
}
```

Klassifikation Dreiecke: Testfälle

```
class TriangleTest {
  static void test_1() {
    // Test case: equilateral
    Triangle t = new Triangle(5,5,5);
    TriangleKind tk = t.classify();
    assert tk == TriangleKind.Equilateral;
  }
  static void test_2() {
    // Test case: isosceles
    Triangle t = new Triangle(3,1,3);
    TriangleKind tk = t.classify();
    assert tk == TriangleKind.Isosceles;
  }
  …
  static void test_27() {
    // Test case: largest side greater equals sum of other sides
    Triangle t = new Triangle(4,4,8);
    TriangleKind tk = t.classify();
    assert tk == TriangleKind.Invalid;
  }
}
```

Kriterien für gute Testfälle

- Prüfen genau eine (möglichst spezifische) Eigenschaft ab
- Sind möglichst kurz und prägnant
- Können isoliert ausgeführt werden (d.h. keine Abhängigkeiten zwischen Tests)
- Sind gut dokumentiert
- Stellen Bezug zur Spezifikation klar dar
- Nutzen existierende Testing-Frameworks (z.B. **JUnit**)
- Sind möglichst vorausschauend (bzgl. Änderungen am Programm)

Folgen häufig dem Schema:

1. Initialisierung
2. Durchführung (z.B. Methodenaufruf)
3. Prüfung (z.B. mittels `assert`)
4. Finalisierung (»Aufräumen«; nicht immer notwendig)

Testen ist …

Dynamischer Vergleich von tatsächlichem und erwünschtem (= spezifiziertem) Verhalten

Ziele:

- Nachweis, dass Funktionalität erfüllt ist
- Fehlerdetektion

Unterschied psychologisch wesentlich!

- Sollten Programmierer ihre eigenen Programme testen?
- Im allgemeinen: nicht nur, aber manchmal ist es aus organisatorischen oder Kostengründen erforderlich

> More details in Chapter „The Psychology and Economics of Software Testing“, [Myers2012]

Testfall:

- Ein Testfall besteht immer aus Eingabe und erwarteter Ausgabe (plus ggf. Ausführungsbedingungen). Für jeden Testfall sollte auch eine Begründung existieren, warum er ausgewählt wurde.

Testen ist nicht …

- Fehlerlokalisierung *(fault localization)*
- Fehler beheben

Alternative Methoden

- Statische Codeanalyse, ob manuell oder automatisiert
  - Von Checkstyle …
  - … bis hin zu mathematischen Beweisen (formale Verifikation)
- Reviews
- Inspections
- Walkthroughs

Kategorien von Tests

Funktionale Tests
Korrektheit bzgl. Spezifikation
Nebenläufigkeit/Thread-Sicherheit

Wissen
Black-Box-Tests
White-Box-Tests

Nichtfunktionale Tests
Performance
Sicherheit
Benutzbarkeit
Interoperabilität
Zuverlässigkeit

Struktur
Unit
Integration
System

Warum Testen so schwierig ist

Was macht einen Testfall zu einem guten Testfall?

- Fähigkeit, Fehler zu finden (Fehler nur mit Spezifikation!)
  - Dann aber kein guter Testfall für ein fehlerfreies Programm
- Fähigkeit, wahrscheinliche Fehler mit angemessenem Aufwand zu finden
  - Kosten, Tests zu schreiben / auszuführen / auszuwerten
  - Kosten verbleibender Fehler, je nach Schwere
  - Testsuiten sollen aus Managementgründen so klein wie möglich (so groß wie nötig) sein und so kurze Testfälle wie möglich (so lang wie nötig) enthalten.
  - Leichte Fault-Lokalisierung

Erwartete Ausgabe ist essentiell. Also benötigen wir eine **Spezifikation**.

Testselektion

Approximation »guter« Testfälle

Zentrales Problem:

- Mögliche Eingabedaten in Blöcke gruppieren, so dass (möglichst) jedes Element eines Blocks denselben Fehler provoziert

Lösung:

- Auf der Basis von Anforderungen
- Auf der Basis von Wissen um typische Fehler
- Zufällig (gleichverteilt oder gemäß Nutzerprofilen)
- Strukturbasiert
  - »jede Zeile einmal ausführen«
  - »jede Bedingung einmal zu wahr und einmal zu falsch auswerten«
  - …

Teststrategien

Datenbasiert, auf Basis der Eingabeparameter

- **Gruppierung von Daten**, die zu vergleichbarem Verhalten führen (wie im Dreieck-Beispiel)
- **Grenzwerte**
  - Beispiel natürliche Zahlen: `-1`, `0`, `1`, `Integer.MAX_VALUE`, …
  - Beispiel Liste: leere Liste, `null`-Referenz, einelementige Liste
  - Beispiel Array: `null`-Referenz, Länge 0, Länge 1

Programmbasiert (z.B. *Coverage Criteria*)

- Jede Zeile (mind.) einmal ausgeführt
- Jede Bedingung (mind.) einmal zu wahr und zu falsch ausgewertet
- …

Wann sind wir fertig?

Wenn die Zeit um ist

- Nutzlos. (Beispiel: Einfach nichts tun)
- In der Praxis Kriterium Nr. 1

Wenn keine weiteren Fehler mit existierenden Tests gefunden werden

- Nutzlos. (Beispiel: Irrelevante Tests auswählen)

Wenn ein strukturelles Kriterium erfüllt ist

- Etwa: Jede Zeile einmal ausgeführt
- Nützlich, wenn es einen Zusammenhang zwischen diesen strukturellen Kriterien und Fehlerdetektion gibt.

Wenn eine vorher spezifizierte Anzahl Fehler gefunden wurde

- Großartig, erfordert aber gute Abschätzungen

Wenn die Rate der gefundenen Fehler ausreichend abgenommen hat

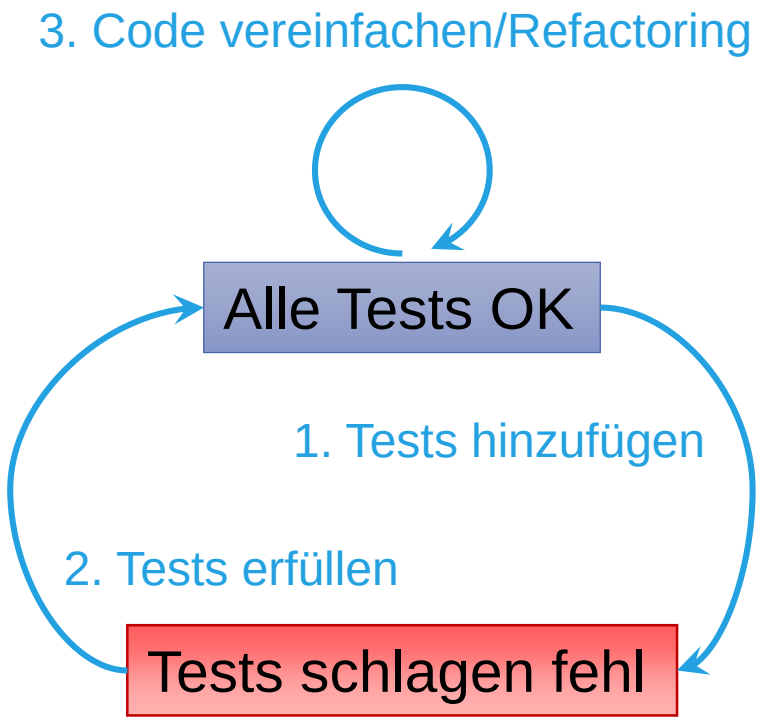
- Auch sehr gut, wenn ehrlich angewendet

Ideal:
Mix aus
nützlichen
Kriterien

More details in Chapter „Higher-Order Testing“, Section „Test Completion Criteria“ [Myers2012]

Testgetriebene Entwicklung

- Ausgiebiges Testen ist unerlässlich
- Trotzdem wird es oft unterlassen
  - Häufiger Grund: Zeitdruck
  - Teufelskreis:
    Wenig Tests → geringere Produktivität
    → instabiler Code → höherer Zeitdruck
    → weniger Tests
- Besser: Tests gleich zusammen mit dem Programmcode schreiben
- Noch besser: Tests **vor** dem Programmcode schreiben



Refactoring

Code so einfach wie möglich halten

- Vor dem Testen: Erfülle Tests mit einfachem Code
- Nach dem Testen: Code weiter vereinfachen

Refactorings:

- Änderungen der Struktur eines Programms, die das nach außen beobachtbare Verhalten nicht ändern.

Typische Refactoring-Operationen:

- Klassen aufteilen/kombinieren
- Methoden/Attribute in andere Klassen verschieben
- Umbenennen von Klassen, Methoden, Parametern, Variablen
- Methoden extrahieren/integrieren
- Vererbung durch Delegation ersetzen (und umgekehrt)
- Schnittstellen einführen

Martin Fowler, Kent Beck: *Refactoring: Improving the Design of Existing Code*. 2. Auflage, Addison-Wesley Professional, 2018

Statische Analyse

Wenn Auswahl der Testfälle so schwierig ist, warum nicht **alle Eingaben** testen?

- **Viel zu viele!**
- Management der Testfälle nicht mehr praktikabel
- Laufzeit der Testfälle zu groß

… oder geht es doch?

Idee: Transformiere Programm in logische Formel und versuche Einhaltung der Spezifikation zu beweisen

- **Verschiedene Logiken:** Dynamische Logik, Bit-Vektor-Logik, ...
- **Spezifikation:** muss in formaler Logik vorliegen
- **Beweisen:** manuell, Rechner-unterstützt, vollautomatisch

➜ Statische Programm-Analyse, formale Verifikation

ASSERTIONS

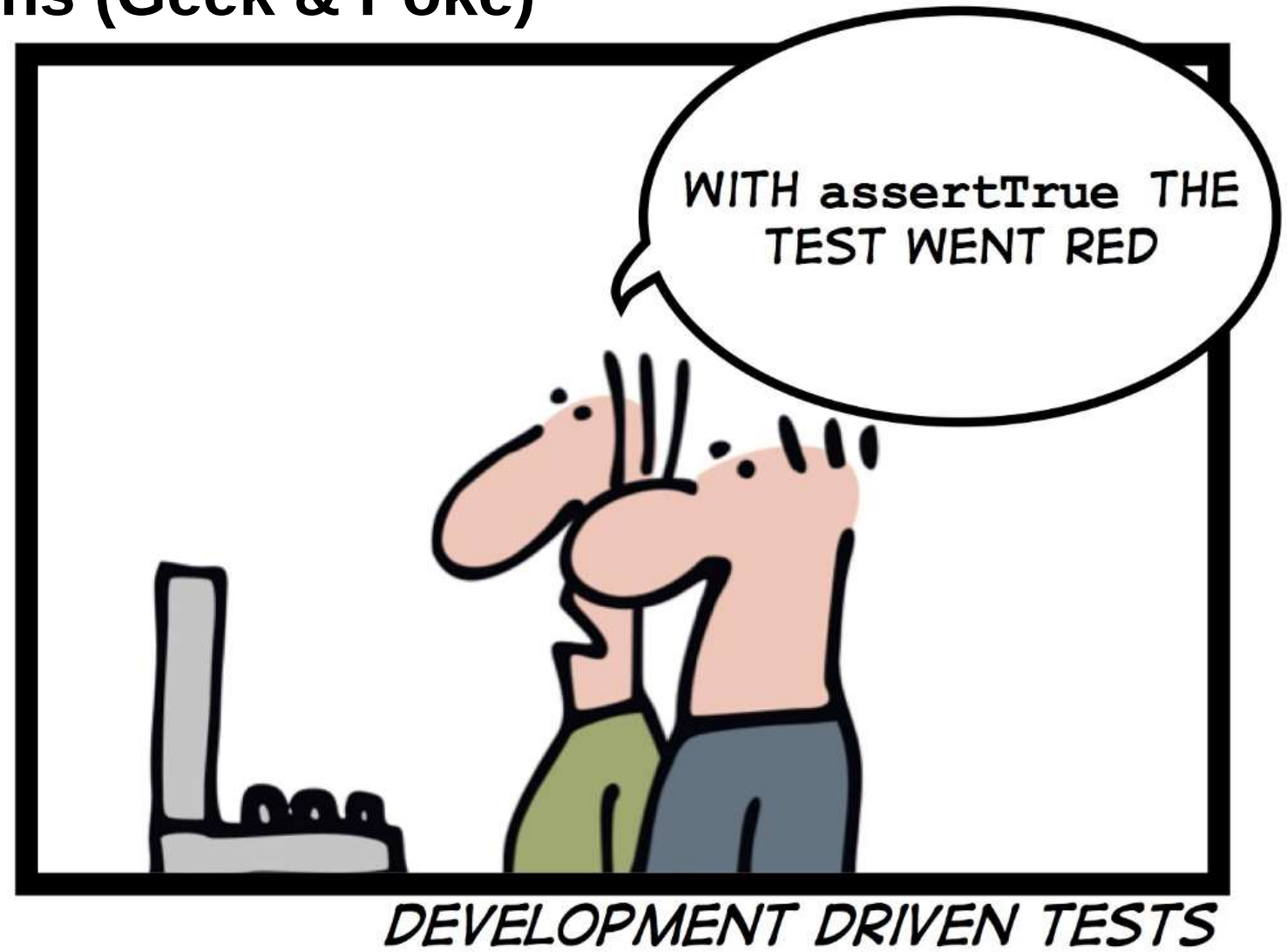
Assertions (Geek & Poke)

http://geekandpoke.typepad.com/geekandpoke/2011/10/ddt.html

Assertions (Geek & Poke)

http://geekandpoke.typepad.com/geekandpoke/2011/10/ddt.html

Assertions (Geek & Poke)



http://geekandpoke.typepad.com/geekandpoke/2011/10/ddt.html

Zusicherungen

Zusicherungen (assertions) sind ein weiteres wichtiges Hilfsmittel für die Entwicklung von Software und zur Vermeidung von Fehlern

Sie werden verwendet, um

- Restriktionen für Parameter und globale Variablen von Methoden anzugeben
  ➜ **Vorbedingungen (preconditions)**
- den Effekt von Methoden formal zu beschreiben
  ➜ **Nachbedingungen (postconditions)**
- an zentralen Programmpunkten wichtige Eigenschaften (z.B. mögliche Werte von Variablen) explizit festzuhalten

Mit Hilfe von Zusicherungen ist es möglich, Korrektheitsaussagen bzgl. eines gegebenen Programmes mathematisch zu beweisen

Zusicherungen

Beispiel:

Berechne das Skalarprodukt zweier Vektoren u und v.

```
double dotProduct(double[] u, double[] v) {
  // hier muss gelten: u.length = v.length
  double s = 0;
  for (int i = 0; i < u.length; i++) {

    // hier gilt immer: s = ∑_{j=0}^{i-1} u_j · u_v

    s += u[i] * v[i];
  }

  // hier gilt immer: s = ∑_{j=0}^{u.length-1} u_j · u_v

  return s;
}
```

Zusicherungen:

- **Vorbedingung:** muss vor Aufruf der Methode gelten
- **Schleifeninvariante:** muss bei jeder Schleifeniteration gelten
- **Nachbedingung:** muss nach Aufruf der Methode gelten

Assertions

Assertions ermöglichen es, angenommene erforderliche Bedingungen in Java zur Laufzeit zu prüfen.

Syntax

```
assert Bedingung;
assert Bedingung: "Detaillierte Fehlermeldung";
```

```
double dotProduct(double[] u, double[] v) {
  // hier muss gelten: u.length = v.length
  assert u.length == v.length;
  double s = 0;
  for (int i = 0; i < u.length; i++) {
  …
}
```

Zusicherungen in Java

Java bietet die Möglichkeit, Zusicherungen mittels `assert` direkt in den Programmtext zu schreiben.

- **Vorteil:** Kann zur Laufzeit von der JVM nachgeprüft werden
- **Nachteil:** Es kann nur Java-Syntax verwendet werden, um die Bedingung auszudrücken

Häufig ist es einfacher, Zusicherungen in Kommentare zu schreiben.

- **Vorteil:** Volle sprachliche Freiheit
- **Nachteil:** Kann nicht (oder nur eingeschränkt) automatisiert überprüft werden

In jedem Fall: Assertions sind gute Dokumentation der Verantwortlichkeiten zwischen Methodennutzer und Methodenimplementierer. *(Design by contract)*

Zusicherungen in Java

Assertions werden standardmäßig nicht ausgewertet und überprüft!

- Aktivieren beim Programmstart mit der »enable-assertions«-Option:
- `java -ea TriangleTest`

Vor- und Nachbedingungen, Invarianten

Eine Zusicherung gibt eine Eigenschaft an, die bei der Ausführung des Programms an der entsprechenden Stelle erfüllt sein muss

- Eine **Vorbedingung (precondition)** muss vor der Abarbeitung des entsprechenden Methodenrumpfs erfüllt sein
- Eine **Nachbedingung (postcondition)** muss erfüllt sein, nachdem die Methode abgearbeitet wurde
- Eine **Klassen-Invariante** beschreibt den gültigen Zustand eines Objekts. Sie muss sowohl vor als auch nach jedem Methodenaufruf (Ausnahme: private Hilfsmethoden) des zugehörigen Objekts gültig sein.
  - Beispiel: `int length;  /* ASSERT length >= 0 */`
  - Vor Ende jeder Public-Methode: `assert length >=0`
- Eine **Schleifen-Invariante** ist eine Zusicherung, die am Anfang und Ende eines jeden Durchlaufs der zugehörigen Schleife erfüllt sein muss

Beispiel Invariante: Klasse zum Verwalten von Uhrzeit

```java
public class Time {
  int hour, minute;

  // invariant: 0 <= hour && hour < 24
  // invariant: 0 <= minute && minute < 60

  public Time(int h, int m) {
    hour = h;
    minute = m;
    assert 0 <= hour && hour < 24;
    assert 0 <= minute && minute < 60;
  }

  public void addTime(Time t) {
    minute += t.minute;
    hour += t.hour;
    normalizeTime();
    assert 0 <= hour && hour < 24;
    assert 0 <= minute && minute < 60;
  }
```

```java
  private void normalizeTime() {
    if (minute >= 60) {
      minute -= 60;
      hour += 1;
    }
    if (hour >= 24) {
      hour -= 24;
    }
  }

  …
}
```

- Annahmen mit Assertions explizit machen
  - Wo?
  - Zusicherungen erfüllt?

Postcondition/Klasseninvariante kann verletzt sein!

Assertion oder If-Abfrage?

Assertion

- Annahme des Programmierers zur Korrektheit des Programms
- Auch zur Dokumentation
- Für nicht zur Laufzeit behandelbare Fehler
- Abschaltbar

Beispiel:

```
void setMinute(int m) {
  assert m >= 0;
  this.minute = m;
}
```

If-Abfrage und Exceptions

- Prüfung von Eingabedaten des Benutzers
- Für Sonderfälle
- Für von aufrufenden Funktionen behandelbare Fehler
- Nicht abschaltbar

Beispiel:

```
 void setMinute(int m) {
  if (m < 0) {
    throw new IllegalArgumentException();
  }
  this.minute = m;
}
```

Diese Folien enthalten Material aus:

JUnit-5-Tutorial von Lars Vogel: http://www.vogella.com/tutorials/JUnit/article.html

JUnit-Einführung von Alan Williams (inzwischen nicht mehr verfügbar)

JUnit – Übersicht

JUnit ist ein Open-Source-Framework zum Schreiben von Tests

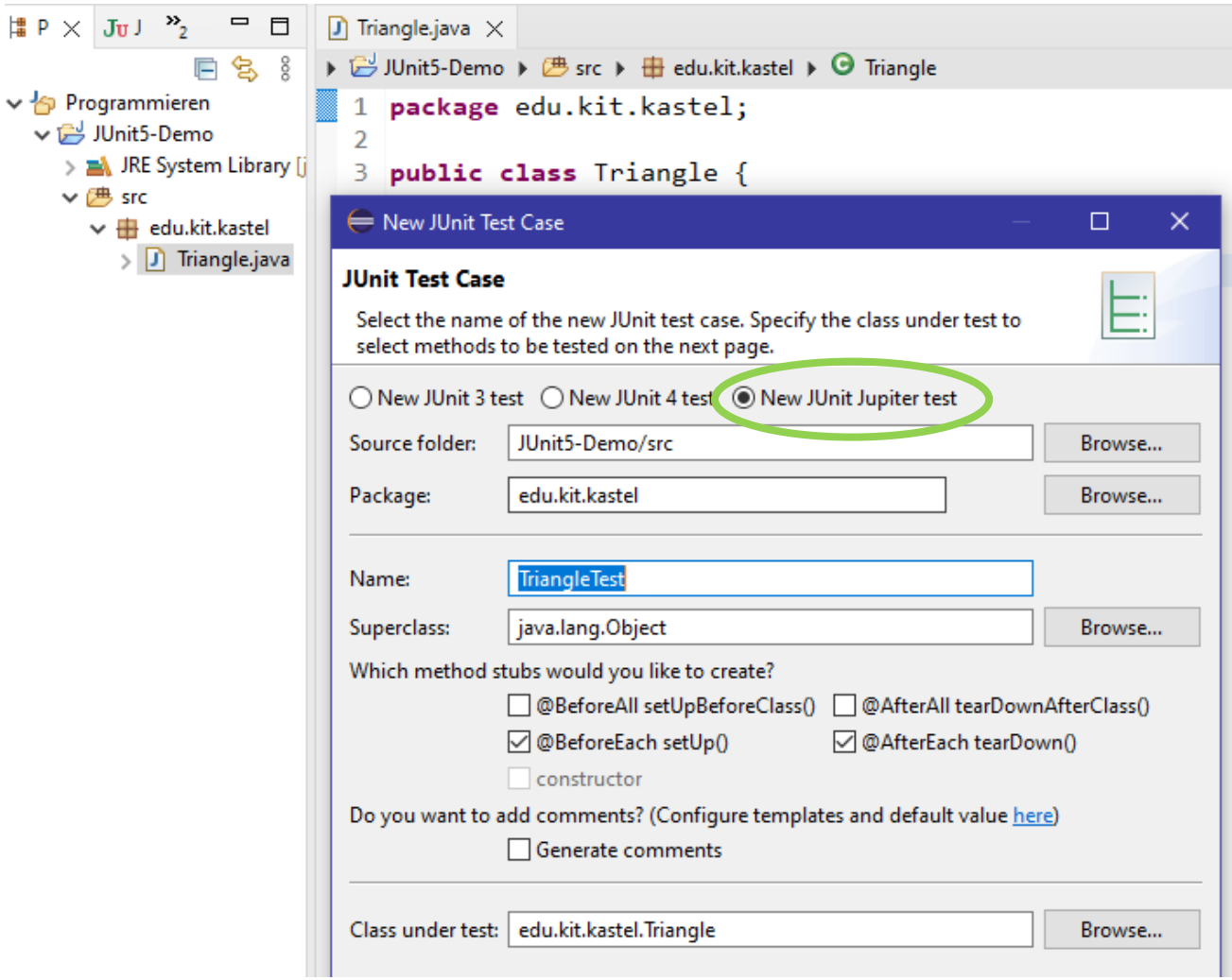
- JUnit verwendet die *Java Reflection API* (Programme können sich selbst untersuchen)
- JUnit hilft Entwickler/-innen
  - bei der Definition und Ausführung von Tests und Test-Suiten
  - beim Formalisieren von Anforderungen und der Architektur
  - beim Schreiben und Debuggen von Code
  - bei Code-Integration, sodass ständig eine lauffähige Version des Programms besteht
- JUnit ist nicht Teil des Oracle-SDKs, doch von fast allen IDEs (z.B. Eclipse)
- Die Autoren von JUnit sind Erich Gamma *(Design Patterns)* und Kent Beck *(XP)*
- JUnit hat weitere Frameworks inspiriert (NUnit, CppUnit, PHPUnit, ABAP Unit, …)
- JUnit ist der *De-Facto-Standard* für testgetriebene Entwicklung mit Java

Beispiel (JUnit 5)

```java
package edu.kit.kastel;

import static org.junit.jupiter.api.Assertions.assertEquals;
import org.junit.jupiter.api.Test;

class TriangleTest {

    @Test
    public void equilateralTriangle() {
        Triangle triangle = new Triangle(5, 5, 5); // class Triangle is tested
        // assert statement
        assertEquals(TriangleKind.EQUILATERAL, triangle.classify(), "Triangle is not equilateral");
    }

    @Test
    public void isoscelesTriangle() {
        Triangle tester = new Triangle(3, 1, 3);
        assertEquals(TriangleKind.ISOSCELES, triangle.classify(), "Triangle is not isosceles");
    }
}
```

JUnit 5 Testfälle in Eclipse anlegen

- **Eclipse**
  - File > New > JUnit Test Case
  - In Code on Class Name: CTRL + 1
- **IntelliJ**
  - In Code on Class Name: Alt + Enter

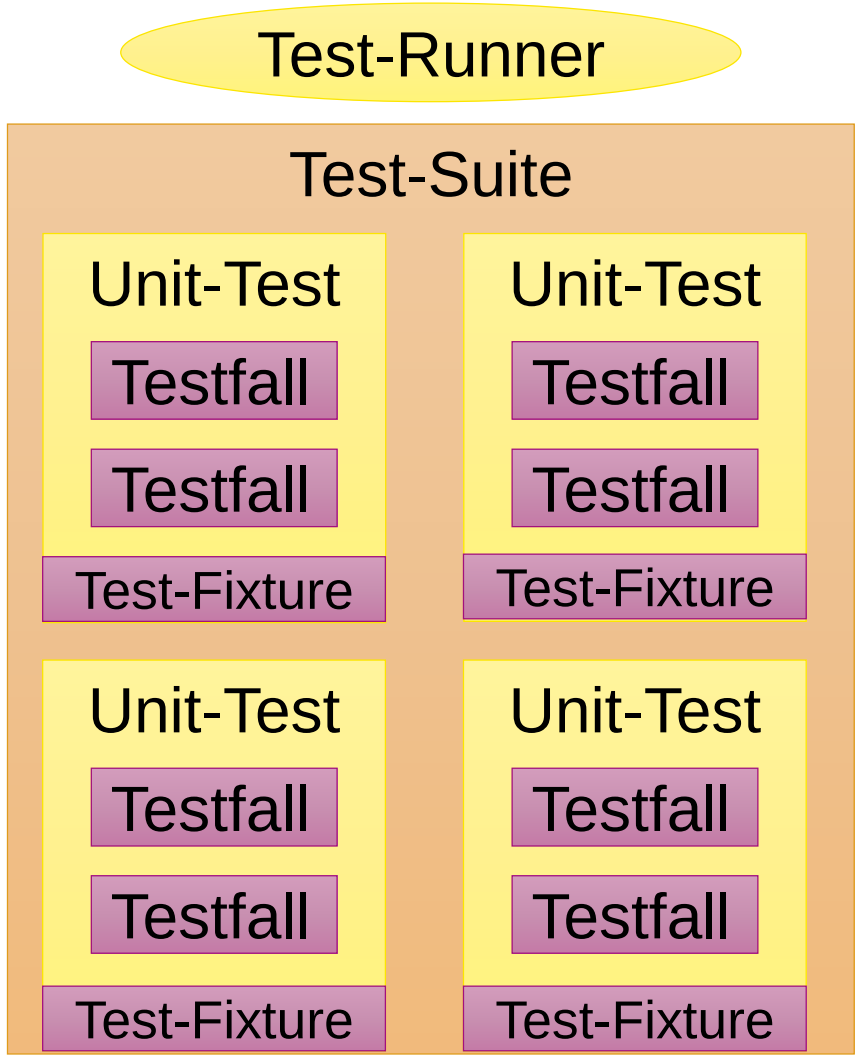


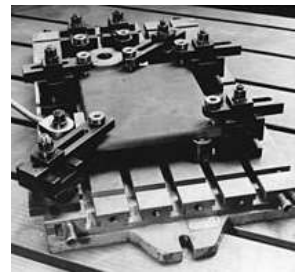
Struktur/Terminologie von JUnit

- Ein **Testfall** testet eine einzelne Methode (soweit möglich)
- Ein **Unit-Test** testet Methoden einer einzelnen Klasse
- Eine **Test-Suite** kombiniert Unit-Tests

- Die **Test-Fixture** *(»Vorrichtung«)* liefert die Daten (Objekte, Werte), die zur Ausführung der Testfälle benötigt werden

- Der **Test-Runner** führt die Tests oder eine Suite aus und stellt die Ergebnisse dar





Was ist ein JUnit-Testfall?

Ein Testfall besteht aus einer oder mehreren Java-Methoden.

Hinzugefügt werden:

- Annotationen (`@Test` usw.)
- Assertions:
  - JUnit beinhaltet ein Assertions-Paket zur Überprüfung von
    - Gleichheit von Objekten
    - identischen Objektreferenzen
    - Objektreferenzen, die `null`/nicht `null` sind
  - Assertions werden verwendet, um das Test-Urteil zu bestimmen.

Test-Urteile

Ein Urteil (verdict) ist das Ergebnis der Ausführung eines einzelnen Testfalls.

- **Pass:** Der Testfall erfüllte seinen Zweck, und die getestete Software verhielt sich wie erwartet.
- **Fail:** Der Testfall erfüllte seinen Zweck, doch die getestete Software verhielt sich **nicht** wie erwartet.
- **Error:** Der Testfall erfüllte seinen Zweck **nicht**.
  Mögliche Gründe:
  - Ein unerwartetes Ereignis trat während der Ausführung des Testfalls auf.
  - Der Test konnte nicht richtig aufgesetzt werden.
  - …

Achtung: Die Terminologie hier entspricht nicht der Definition von Laprie (fault/defect/bug/error/failure) auf Folie 7

Assertions

- In der JUnit-Klasse **`org.junit.jupiter.api.Assertions`** sind JUnit-spezifische Assertions definiert (≠ Java-Schlüsselwort **`assert`**)
- Wird irgendeine dieser Assertions während des Testens verletzt, wird die Methodenausführung an diesem Punkt gestoppt, und das Testurteil ist **Fail**.
- Wird eine Ausnahme *(Exception)* während der Methodenausführung geworfen, ist das Testurteil **Error**.
- Wird keine Assertion verletzt, ist das Testurteil **Pass**.

Alle Assertion-Methoden sind *statische Methoden* *(Tipp:* Statisch importieren*).*

Assertion-Methoden

Statement	Beschreibung
`fail([msg])`	Produziert immer **Fail**.
`fail([msg, ] throwable)`	Produziert immer **Fail**, mit `throwable`-Nachricht
`assertTrue(boolean condition[, msg])`	Prüft, ob boolsche Bedingung wahr.
`assertFalse(boolean condition[, msg])`	Prüft, ob boolsche Bedingung falsch.
`assertEquals(expected, actual[, msg])`	Prüft Gleichheit zweier Werte. (Bei Arrays: Referenz, nicht Inhalt).
`assertEquals(expected, actual, delta[, msg])`	Prüft Gleichheit zweier Fließkommazahlen. Toleranz=Anzahl identischer Dezimalstellen
`assertNull(object[, msg])`	Prüft, ob Objekt `null` ist
`assertNotNull(object[, msg])`	Prüft, ob Objekt nicht `null` ist
`assertSame(expected, actual[, msg])`	Prüft, ob beide Variablen auf dasselbe Objekt verweisen
`assertNotSame(expected, actual[, msg])`	Prüft, ob beide Variablen auf versch. Objekte verweisen
`assertThrows(expectedType, executable[, msg])`	Prüft, ob `Exception` eines bestimmten Typs geworfen wurde

Gleichheits-Assertions

Gleichheit von Objekten

`assertEquals(expected, actual)` ist gültig gdw. `expected.equals(actual)`

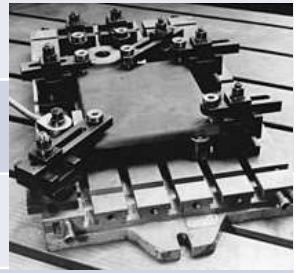
Gleichheit von Arrays

`assertArrayEquals(expected, actual)`

- Arrays müssen dieselbe Länge haben
- Ist gültig, wenn für jeden gültigen Wert von `i` gilt:
- `assertEquals(expected[i], actual[i])`

Testfälle und Test-Fixture in JUnit 5

Annotation	Beschreibung
`import org.junit.jupiter.api.*`	Import-Anweisung für folgende Annotationen
`@Test`	Identifiziert Methode als Test-Methode
`@BeforeEach`	Wird vor jedem Test ausgeführt
`@AfterEach`	Wird nach jedem Test ausgeführt
`@BeforeAll`	Wird einmal vor Beginn aller Tests ausgeführt
`@AfterAll`	Wird einmal nach Ende aller Tests ausgeführt
`@Disabled / @Disabled("Why disabled")`	Test ist deaktiviert
`@Timeout(value=100, unit=TimeUnit.SECONDS)`	Wenn Dauer der Ausführung > 100 *Sekunden*: Fehlschlag des Tests
`@DisplayName`	Individueller Name für den Test (statt Methodenname)



Hinweis: `@Test(expected=Exception.class)` wurde in Junit 5 abgelöst durch `assertThrows`

`@BeforeEach`/`@AfterEach` in JUnit 5

- Methoden mit der Annotation `@BeforeEach` werden vor jedem Test ausgeführt
- Man kann mehrere Methoden mit `@BeforeEach` annotieren. Sie werden alle vor jedem Test ausgeführt, jedoch ist die Reihenfolge beliebig.
- Methoden mit der Annotation `@AfterEach` werden nach jedem Test ausgeführt, auch wenn eine Exception geworfen wurde oder wenn der Test fehlschlägt.
- Methoden mit der Annotation `@BeforeEach`/`@AfterEach` dürfen beliebig benannt werden, müssen jedoch `void` als Rückgabetyp haben.

- Methoden mit der Annotation `@BeforeAll`/`@AfterAll` dürfen beliebig benannt werden, müssen jedoch `static` sein.

Test-Suiten in JUnit 5

- Tests können zu **Test-Suiten** kombiniert werden
- Suiten können andere Suiten enthalten
- Partitionierung der Testfälle möglich
- Werden gut durch die Test-Runner unterstützt

```
import org.junit.platform.suite.api.Suite;
import org.junit.runners.Suite.SuiteClasses;

@Suite
@SuiteClasses({ TriangleTest.class, CircleTest.class })
public class GeometryTests {

}
```

Parametrisierte Tests in JUnit 5

Um einen Test mit verschiedenen Parameter-Werten auszuführen, müsste man:

- über eine Menge von Werten iterieren

→bei Test-Fehlschlag während Iteration: möglicherweise Endlosschleife

- einzelne Testfälle für jede Kombination schreiben

→hoher manueller Aufwand

JUnit bietet Unterstützung für **parametrisierte Tests**.

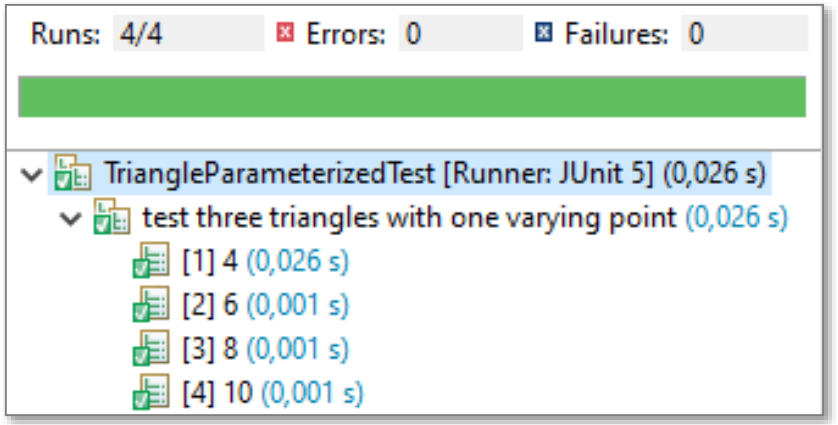
Erstellung eines einfachen parametrisierten Tests:

1. Test mit Annotation `@ParameterizedTest` schreiben
2. Parameter der Methode hinzufügen, z.B. `int index` oder `String name`
3. Testfall ergänzen mit der Annotation für die Parameter:
   `@ValueSource(ints = {0, 2, -1})` oder
   `@ValueSource(strings = {"A","B"})`

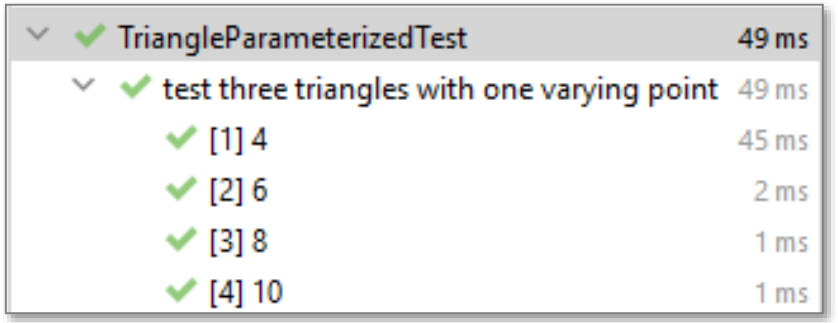
Parametrisierte Tests: Beispiel

```java
public class TriangleParameterizedTest {

  @ParameterizedTest
  @ValueSource(ints = {4, 6, 8, 10}) // Testdaten
  @DisplayName("test four triangles with one varying point")
  public void testIsoscelesTriangle(int variableParameter) {
    Triangle triangle = new Triangle(2, 2, variableParameter);
    assertEquals(TriangleKind.ISOSCELES, triangle.classify(),
            "Triangle is not isosceles");
  }
}
```

Eclipse:



IntelliJ:



- Parametrisierte Tests in JUnit 5 sind deutlich einfacher als in JUnit 4
- Annotationen für häufige Werte:

  `@NullSource`
  `@EmptySource`
  `@NullAndEmptySource`

Verschiedene Datenquellen

Direkte Werte als Datenquelle

1. Test mit Annotation `@ParameterizedTest` schreiben
2. Parameter der Methode hinzufügen, z.B. `int index` oder `String name`
3. Testfall ergänzen mit der Annotation für die Parameter:
   `@ValueSource(ints = {0, 2, -1})` oder
   `@ValueSource(strings = {"A","B"})`

Methoden als Datenquelle

1. Test mit Annotation `@ParameterizedTest` und Parameter schreiben
2. Statische Methode zur Datenlieferung schreiben, die eine Collection zurückgibt
3. Testfall ergänzen mit der Annotation:
   `@MethodSource("nameOfMethod")`

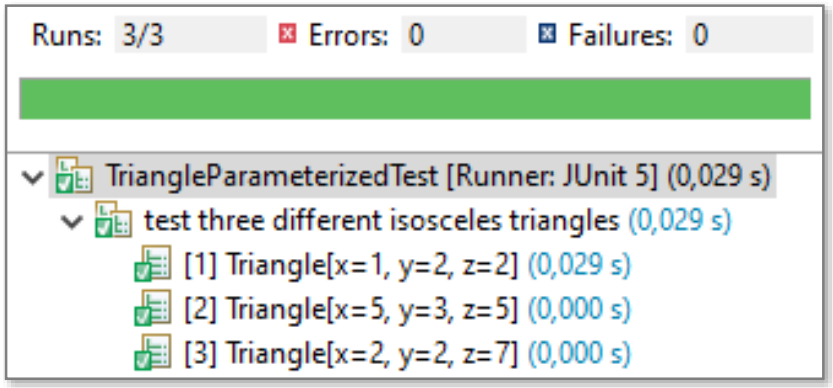
Weitere Datenquellen:

- Enums mit `@EnumSource`
- CSV-Dateien mit `@CsvSource` und `@CsvFileSource`
- `ArgumentsProvider` Implementierungen mit `@ArgumentsSource`

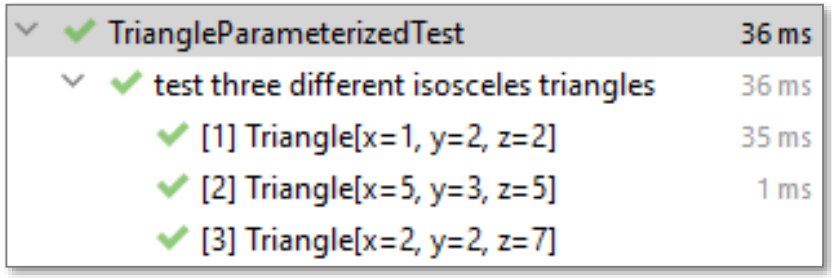
Parametrisierte Tests: Beispiel mit Methode

```java
public class TriangleParameterizedTest {
    // Testdaten
    private static Collection<Triangle> isoscelesTriangles() {
        return List.of(new Triangle(1, 2, 2),
                       new Triangle(5, 3, 5),
                       new Triangle(2, 2, 7));
    }

    @ParameterizedTest
    @MethodSource("isoscelesTriangles")
    @DisplayName("test three different isosceles triangles")
    void testIsoscelesTriangle(Triangle tester) {
        assertEquals(TriangleKind.ISOSCELES, tester.classify(),
                "Triangle is not isosceles");
    }
}
```

Eclipse:



IntelliJ:



- Komplexe Testfälle können auch in JUnit 5 Methoden als Datenquellen nutzen
- Mehrere Parameter via `Arguments.of`

Ausführen von Tests

Mit dem in JUnit enthaltenen Test-Runner:

- Alle Test-Methoden in der Klasse werden ausgeführt
- Die Reihenfolge des Methodenaufrufs (d.h. der Testfälle) ist nicht vorhersagbar

Andere Test-Runner

- Test-Runner in IDEs (z.B. Eclipse) *können* es dem/-r Benutzer/-in ermöglichen, eine Teilmenge der Testmethoden auszuwählen oder eine Reihenfolge zu bestimmen
- Gute Praxis: Tests so schreiben,
  - dass sie unabhängig von der Ausführungsreihenfolge sind
  - dass sie unabhängig vom Zustand von vorherigen Tests sind
- Stattdessen `@BeforeEach`/`@BeforeAll` usw. verwenden

Zusammenfassung

- Ausgiebiges Testen ist unerlässlich
- Ziele des Testens:
  - Nachweis, dass Funktionalität erfüllt ist
  - Entdecken von Fehlern
- Tests sollten so viele Situationen wie möglich abdecken
- Kriterien für gute Testfälle und Teststrategien verbessern die Qualität der Tests
- Zusicherungen (Assertions) in Java können erwartete Bedingungen zur Laufzeit prüfen

- JUnit ist ein mächtiges Framework zum Testen von Java-Code
- Parametrisierte Tests ermöglichen das automatische Testen großer Mengen an Testdaten

Literaturhinweis – Weiterlesen

Dietmar Ratz, Jens Scheffler, Detlef Seese und Jan Wiesenberger: *Grundkurs Programmieren in Java*, 7. Auflage, 2014 (mit Java 8), Hansa-Verlag

- Kapitel 10 »Exceptions and Errors«
  - Abschnitt 10.3 »Assertions«

Martin Fowler, Kent Beck: *Refactoring: Improving the Design of Existing Code*. 2. Auflage, Addison-Wesley Professional, 2018

[Myers2012] Myers, Glenford J., et al. *The art of software testing*. Vol. 2. Chichester: John Wiley & Sons, 2012. (available online via KIT library at https://ebookcentral.proquest.com/lib/karlsruhetech/detail.action?docID=697721)