

# Property-Based Testing mit Java

W-Jax 2017

**@johanneslink**

johanneslink.net

# Softwaretherapeut

"In Deutschland ist die Bezeichnung Therapeut allein oder ergänzt mit bestimmten Begriffen gesetzlich nicht geschützt und daher **kein Hinweis auf** ein erfolgreich abgeschlossenes Studium oder auch nur **fachliche Kompetenz.**" Quelle: Wikipedia

# Examples vs Properties

Ein *Beispiel* zeigt, dass unser Code bei ganz konkreten Eingaben ein ganz konkretes Ergebnis liefert.

```
@Example
void reverseList() {
    List<Integer> aList = Arrays.asList(1, 2, 3);
    Collections.reverse(aList);
    assertThat(aList).containsExactly(3, 2, 1);
}
```

Funktioniert *reverse()* nur für die getesteten Beispiele?

Wie **repräsentativ** sind unsere Tests?

# Examples vs Properties

Eine *Property* zeigt, dass unser Code **für eine Klasse** von Eingaben (Vorbedingung) bestimmte **allgemeine Eigenschaften** (Invariante) erfüllt.

```
@Property
void reverseList() {
    // Vorbedingung?
    // Invariante?
}
```

# Haskell: Quick Check

```
prop_reversed :: [Int] -> Bool
prop_reversed xs =
    reverse (reverse xs) == xs
```

# Java: Jqwik

```
@Property
```

```
boolean reverseTwiceIsOriginal(@ForAll List<Integer> aList) {  
    List<Integer> copy = new ArrayList<>(aList);  
    Collections.reverse(copy);  
    Collections.reverse(copy);  
    return copy.equals(aList);  
}
```

# Demo 1

- Reverse
- Length of String
- Absolute value of Integer
- Sum of two integers
- Einbindung in Gradle und IntelliJ

# Was ist jqwik?

<http://jqwik.net>

- Eine **Test-Engine** für die JUnit5–Plattform
- Ein Generator für Testfälle mit
  - ▶ **zufälligen und typischen** Eingabewerten
  - ▶ und **Kombinationen von Eingabewerten**

# Was ist jqwik **nicht**?

- Es ist **kein vollständig randomisiertes** Testwerkzeug, das man ohne Nachdenken auf sein Programm loslässt.
- Ein ist kein Silver Bullet für alle
- Properties werden nicht bewiesen, sondern widerlegt (aka **falsifiziert**)

```
@Property
```

```
void squareOfRootIsOriginalValue(@ForAll double aNumber) {  
    double sqrt = Math.sqrt(aNumber);  
    Assertions.assertThat(sqrt * sqrt).isCloseTo(aNumber, withPercentage(1));  
}
```

```
java.lang.AssertionError:
```

```
Expecting:
```

```
<NaN>
```

```
to be close to:
```

```
<-1.0>
```

```
by less than 1% but difference was NaN%.
```

```
(a difference of exactly 1% being considered valid)
```

# Beschränkung generierter Werte

- Häufig kann / möchte man eine Property nur für einen Teil aller denkbaren Ausprägungen eines Typs formulieren

```
@Property
void squareOfRootIsOriginalValue(
    @ForAll @DoubleRange(min=0, max=Double.MAX_VALUE) double aNumber
) {
    double sqrt = Math.sqrt(aNumber);
    Assertions.assertThat(sqrt * sqrt).isCloseTo(aNumber, withPercentage(1));
}
```

```
timestamp = 2017-10-20T17:23:53.351,
tries = 1000,
checks = 1000,
seed = 7890962728489990406
```

```
@Property
void squareOfRootIsOriginalValue(
    @ForAll @Positive double aNumber
) {
    double sqrt = Math.sqrt(aNumber);
    Assertions.assertThat(sqrt * sqrt).isCloseTo(aNumber, withPercentage(1));
}
```

```
timestamp = 2017-10-20T17:23:53.351,
tries = 1000,
checks = 1000,
seed = 7890962728489990406
```

```
@Property
void squareOfRootIsOriginalValue(
    @ForAll("positiveDoubles") double aNumber
) {
    double sqrt = Math.sqrt(aNumber);
    Assertions.assertThat(sqrt * sqrt).isCloseTo(aNumber, withPercentage(1));
}
```

```
@Provide
Arbitrary<Double> positiveDoubles() {
    return Arbitraries.doubles().filter(aDouble -> aDouble >= 0);
}
```

```
timestamp = 2017-10-20T17:23:53.351,
tries = 1000,
checks = 1000,
seed = 7890962728489990406
```

```
public interface Arbitrary<T> {  
    RandomGenerator<T> generator(int tries);  
  
    default Arbitrary<T> filter(Predicate<T> filterPredicate) {  
        ...  
    }  
  
    // And other default methods...  
}
```

```
@Property
```

```
void squareOfRootIsOriginalValue(@ForAll double aNumber) {  
    Assume.that(aNumber > 0);  
  
    double sqrt = Math.sqrt(aNumber);  
    Assertions.assertThat(sqrt * sqrt).isCloseTo(aNumber, withPercentage(1));  
}
```

```
timestamp = 2017-10-20T17:34:27.857,
```

```
tries = 1000,
```

```
checks = 489,
```

```
seed = -1808546598028468149
```

```
static <E> List<E> brokenReverse(List<E> aList) {  
    if (aList.size() < 4) {  
        aList = new ArrayList<>(aList);  
        reverse(aList);  
    }  
    return aList;  
}
```

```
@Property(shrinking = ShrinkingMode.OFF)  
boolean reverseShouldSwapFirstAndLast(@ForAll List<Integer> aList) {  
    Assume.that(!aList.isEmpty());  
    List<Integer> reversed = brokenReverse(aList);  
    return aList.get(0) == reversed.get(aList.size() - 1);  
}
```

**org.opentest4j.AssertionFailedError:**

**Property [reverseShouldSwapFirstAndLast] falsified with sample**

**[[0, -2147483648, 2147483647, -7997, 7997, -3223, -6474, 1915, -7151,  
3102, 4362, 714, 3053, 1919, -445, 7498, -2424, 3016, -5127, -7401, -7946,  
-3801, -305]]**

```
static <E> List<E> brokenReverse(List<E> aList) {  
    if (aList.size() < 4) {  
        aList = new ArrayList<>(aList);  
        reverse(aList);  
    }  
    return aList;  
}
```

@Property

```
boolean reverseShouldSwapFirstAndLast(@ForAll List<Integer> aList) {  
    Assume.that(!aList.isEmpty());  
    List<Integer> reversed = brokenReverse(aList);  
    return aList.get(0) == reversed.get(aList.size() - 1);  
}
```

**org.opentest4j.AssertionFailedError:**

**Property [reverseShouldSwapFirstAndLast] falsified with sample  
[[0, 0, 0, -1]]**

```
static <E> List<E> brokenReverse(List<E> aList) {  
    if (aList.size() < 4) {  
        aList = new ArrayList<>(aList);  
        reverse(aList);  
    }  
    return aList;  
}
```

@Property

```
boolean reverseShouldSwapFirstAndLast(@ForAll List<Integer> aList) {  
    Assume.that(!aList.isEmpty());  
    List<Integer> reversed = brokenReverse(aList);  
    return aList.get(0) == reversed.get(aList.size() - 1);  
}
```

**org.opentest4j.AssertionFailedError:**

**Property [reverseShouldSwapFirstAndLast] falsified with sample  
[[0, 0, 0, -1]]**

# The Importance of Being Shrunken

- "Schrumpfen" einer falsifizierten Property: Finde **das einfachste** Eingabe-Beispiel, das immer noch fehlschlägt.
- Manchmal gibt es das einfachste Beispiel nicht, oder die Suche danach würde sehr lange dauern.
- Benutze **Heuristiken** um Werte zu schrumpfen, z.B.
  - ▶ Versuche Zahlen-Werte näher bei Null
  - ▶ Verkleinere Listen, Mengen, Arrays

# Type-based vs Integrated Shrinking

- Type-Based Shrinking: Nur der Typ von Werten dient als Constraint für die Schrumpfungversuche
  - ▶ Problem: Schrumpfen kann zu Ergebnissen führen, die eigentlich bei der Generierung ausgeschlossen wurden
- Integrated Shrinking: Alle Schritte und Bedingungen der Generierung werden beim Schrumpfen berücksichtigt
- jqwik implementiert integriertes Schrumpfen

```
@Property
boolean shrinkingCanBeComplicated(
    @ForAll("first") String first,
    @ForAll("second") String second
) {
    String aString = first + second;
    return aString.length() > 5 || aString.length() < 4;
}
```

```
@Provide
Arbitrary<String> first() {
    return Arbitraries.strings('a', 'z', 1, 10)
        .filter(string -> string.endsWith("h"));
}
```

```
@Provide
Arbitrary<String> second() {
    return Arbitraries.strings('0', '9', 0, 10)
        .filter(string -> string.length() >= 1);
}
```

```
public interface RandomGenerator<T> {  
    Shrinkable<T> next(Random random);  
}
```

```
public interface Shrinkable<T> {  
    Set<ShrinkResult<Shrinkable<T>>> shrinkNext(Predicate<T> falsifier);  
  
    T value();  
  
    int distance();  
}
```

# Werte generieren

- Manchmal möchte man die Werte selbst generieren
- Manchmal möchte man Werte abbilden
- Manchmal möchte man generierte Werte miteinander kombinieren

# Vorberechnete Werte zufällig auswählen

```
@Property
boolean primesCannotBeFactored(@ForAll("primes") int aPrime) {
    return factor(aPrime).equals(Collections.singletonList(aPrime));
}

@Provide
Arbitrary<Integer> primes() {
    return Arbitraries.of(2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19);
}
```

# Zufällige Werte generieren

```
@Property
boolean primesCannotBeFactored(@ForAll("primes") int aPrime) {
    return factor(aPrime).equals(Collections.singletonList(aPrime));
}

@Provide
Arbitrary<Integer> primes() {
    return Arbitraries.randomValue(random -> generatePrime(random));
}

private Integer generatePrime(Random random) {
    int candidate;
    do {
        candidate = random.nextInt(10000) + 2;
    } while (!isPrime(candidate));
    return candidate;
}
```

# Werte filtern

```
@Property
boolean evenNumbersAreEven(@ForAll("evenUpTo10000") int anInt) {
    return anInt % 2 == 0;
}

@Provide
Arbitrary<Integer> evenUpTo10000() {
    return Arbitraries.integers(0, 10000).filter(i -> i % 2 == 0);
}
```

# Werte filtern

```
@Property
boolean evenNumbersAreEven(@ForAll("evenUpTo10000") int anInt) {
    return anInt % 2 == 0;
}
```

```
@Provide
Arbitrary<Integer> evenUpTo10000() {
    return Arbitraries.integers(0, 5000).map(i -> i * 2);
}
```

# Werte kombinieren

```
@Property
boolean anyValidPersonHasAFullName(@ForAll Person aPerson) {
    return aPerson.fullName().length() > 0;
}

@Provide
Arbitrary<Person> validPerson() {
    Arbitrary<String> firstName = Generator.strings('a', 'z', 10);
    Arbitrary<String> lastName = Generator.strings('a', 'z', 20);
    return Combinators.combine(firstName, lastName)
        .as((first, last) -> new Person(first, last));
}

public class Person {
    public Person(String firstName, String lastName) {...}
    public String fullName() {
        return firstName + " " + lastName;
    }
}
```

# Patterns of PBT

- Obvious Property
- Fuzzying
- Inverse functions
- Idempotent functions
- Commutativity
- Black-box testing
- Induction
- Test oracle
- Invariant properties
- Stateful Testing

# Obvious Property

- Manchmal besteht die Spezifikation (zumindest teilweise) aus Properties
- Beispiel: Fizz Buzz

@Property

```
boolean divisibleBy3ContainsFizz(@ForAll("divisibleBy3") int anInt) {  
    return fizzBuzz(anInt).contains("Fizz");  
}
```

@Provide

```
Arbitrary<Integer> divisibleBy3() {  
    return Arbitraries.integers(1, 33).map(i -> i * 3);  
}
```

@Property

```
boolean divisibleBy5ContainsBuzz(...) { ... }
```

@Property

```
boolean divisibleBy3and5ReturnFizzBuzz(...) { ... }
```

@Property

```
boolean indivisiblesReturnThemselves(...) { ... }
```

# Fuzzying:

The code should not explode

- Generiere alle denkbaren Arten von Inputs und teste, dass der Basis-Kontrakt einer Funktion immer erfüllt wird, z.B.:
  - ▶ keine Exceptions,
  - ▶ keine Nulls als Rückgabe
  - ▶ Rückgabe im erlaubten Wertebereich
  - ▶ Laufzeit unter einer bestimmten Grenze

# Inverse Functions

- Funktion + inverse Funktion  
ergibt die ursprüngliche Eingabe
  - ▶ Encode / Decode

# Idempotent Functions

- Mehrfache Anwendung einer Funktion verändert nichts
  - ▶ Mehrfache Sortierung einer Liste
  - ▶ Duplikate aus Liste entfernen

# Invariant Properties

Manche Dinge ändern sich nie...

- ▶ Die Größe einer Liste nach dem Mapping
- ▶ Der Inhalt einer Liste nach dem Sortieren

# Commutativity:

## Different paths, same destination

- Erst Sortieren, dann Filtern  
== Erst Filtern, dann Sortieren

## Test Oracle:

Mit alternativer Implementierung verifizieren

- Einfach, aber nicht-performant
- Parallel versus Single-Threaded
- Selbst-gemacht versus kommerziell
- Alt (vor dem Refactoring) versus Neu

# Black-box Testing

Hard to compute, easy to verify

- ▶ Primzahlermittlung
- ▶ Pfad durch ein Labyrinth

# Induction:

## Solving a smaller problem first

- Eine Liste ist sortiert, wenn
  - ▶ Das erste Element kleiner als das zweite ist
  - ▶ Alles nach dem ersten Element auch sortiert ist

```
@Property(reporting = ReportingMode.GENERATED)
boolean sortingAListWorks(@ForAll List<Integer> unsorted) {
    return isSorted(sort(unsorted));
}

private boolean isSorted(List<Integer> sorted) {
    if (sorted.size() <= 1) return true;
    return sorted.get(0) <= sorted.get(1)
        && isSorted(sorted.subList(1, sorted.size()));
}
```

---

# Stateful testing

---

- 1) Describe the possible states
- 2) Describe what actions can take place in each state
- 3) Describe how to tell if the state is correct
- 4) Have the computer try lots of random actions – look for a breaking combination

<https://www.infoq.com/presentations/hypothesis-afl-property-testing>

# Benötigen wir Example-Based-Testing noch?

"[...] TDD helps design code to have it  
*conform to expectations and demands,*  
[...] *property-based testing forces the*  
*exploration of the program's behaviour*  
*to see what it can or cannot do."*

aus <http://propertesting.com/>

# Probleme beim PBT

- Manchmal sind konkrete **Beispiele hilfreicher** beim Code-Verstehen
- Interaktionen mit der Außenwelt machen PBT **langsam**
- Randomisierte Tests können **nicht-deterministisch** sein

# Die Zukunft von jqwik

- Mehr Default-Providers und Kombinatoren
- Unterstützung für *Stateful Testing*
- Groovy-DSL
- Vollständige statt zufällige Generierung

# Vollständige Generierung

```
@Property(generation = GenerationMode.EXHAUSTIVE)
boolean allCallsToMethodWork(
    @ForAll boolean aBool,
    @ForAll MyEnum anEnum,
    @ForAll @IntRange(min = 0, min = 100) int anInt)
{
    return ...
}
```

# Alternative PBT-Tools für Java

- **JUnit-Quickcheck**: Enge Integration mit JUnit 4
- **QuickTheories**: Arbeitet mit beliebigen Test-Libraries zusammen
- **Vavr**: Die funktionale Java-Bibliothek hat auch ein eigenes PBT-Modul

# Sources & Links

- <https://www.youtube.com/watch?v=fltD7yrHbUA>
- <http://hypothesis.works/articles/integrated-shrinking/>
- <https://www.infoq.com/presentations/hypothesis-afl-property-testing>
- <http://blog.ssanj.net/posts/2016-06-26-property-based-testing-patterns.html>
- <http://fsharpforfunandprofit.com/posts/property-based-testing-2/>
- <http://propertesting.com/>
- <https://www.infoq.com/presentations/hypothesis-afl-property-testing>

Code:

<http://github.com/jlink/property-based-testing>

Slides:

[http://johanneslink.net/downloads/  
PropertyTesting-Wjax2017.pdf](http://johanneslink.net/downloads/PropertyTesting-Wjax2017.pdf)