# Software-Test: Funktionstest

**Andreas Zeller**
Lehrstuhl für Softwaretechnik
Universität des Saarlandes, Saarbrücken

2006-02-06

## Funktionale Testverfahren

*Funktionale Testverfahren* testen gegen die *Spezifikation* und lassen die interne Programmstruktur unberücksichtigt.

- Komplementär zu *white-box*-Verfahren
- Benötigen vollständige und widerspruchsfreie Spezifikation
- Problem: Testvollständigkeit schwierig zu messen

## Funktionale Äquivalenzklassenbildung

Wertebereiche von Ein- und Ausgaben werden in Äquivalenzklassen eingeteilt

Bildung der Äquivalenzklassen *nur an der Spezifikation* orientiert („black box“)

Äquivalenzklassen für gültige und ungültige Werte

Getestet wird nur noch für jeweils einen Repräsentanten der Klasse

## Regeln zur Äquivalenzklassenbildung

- Jeder spezifizierte Eingabebereich induziert mindestens eine gültige und mindestens eine ungültige Klasse

  Beispiel: „`i` muss kleiner oder gleich 10 sein."

  Gültige Klasse: `i <= 10`
  Ungültige Klasse: `i > 10`.

- Jede Eingabebedingung der Spezifikation induziert eine gültige Klasse (= Bedingung erfüllt) und eine ungültige Klasse (= Bedingung nicht erfüllt)

  Beispiel: „Das erste Zeichen muss ein Buchstabe sein."

  Gültige Klasse: Das erste Zeichen ist ein Buchstabe
  ungültige Klasse: Das erste Zeichen ist kein Buchstabe

## Regeln zur Äquivalenzklassenbildung (2)

- Bildet eine Eingabebedingung eine Menge von Werten, die unterschiedlich behandelt werden, ist für jeden Fall eine eigene gültige Äquivalenzklasse zu bilden – und eine ungültige.
- Für Ausgaben werden analog Äquivalenzklassen gebildet
- Zum Testen wird *irgendein* Element der Äquivalenzklasse gewählt (am besten zufällig)

## Beispiel: ZaehleZchn

Wir betrachten die Spezifikation von `ZaehleZchn`:

```
void ZaehleZchn(int& VokalAnzahl, int& Gesamtzahl);
// Lese Zeichen von der Tastatur, bis ein Zeichen
// gelesen wird, das kein Großbuchstabe ist, oder
// Gesamtzahl INT_MAX erreicht.
// Ist das eingelesene Zeichen ein Großbuchstabe,
// wird Gesamtzahl um 1 erhöht;
// ist der Großbuchstabe ein Vokal,
// wird auch VokalAnzahl um 1 erhöht.
```

## Beispiel: ZaehleZchn (2)

ZaehleZchn verhält sich in den folgenden Äquivalenzklassen unterschiedlich:

**Klasse 1** $0 \leq$ Gesamtzahl $<$ INT_MAX

**Klasse 2** Gesamtzahl $=$ INT_MAX

**Klasse 3** $0 \leq$ VokalAnzahl $\leq$ Gesamtzahl

Für das eingelesene Zeichen Zchn gilt außerdem:

**Klasse 4** Zchn ist kein Großbuchstabe (Zchn < 'A' oder Zchn > 'Z')

**Klasse 5** Zchn ist ein Großbuchstabe

**Klasse 6** Zchn ist ein großer Vokal ('A', 'E', ..., 'U')

## Beispiel: ZaehleZchn (3)

Die Äquivalenzklassen können noch weiter verfeinert werden:

| Eingaben | Gültige Äquivalenzklassen | |
|---|---|---|
| Gesamtzahl | **1** | $0 \leq$ Gesamtzahl $<$ INT_MAX |
| | **2** | Gesamtzahl $=$ INT_MAX |
| VokalAnzahl | **3** | $0 \leq$ VokalAnzahl $\leq$ Gesamtzahl |
| Zchn | **4a** | Zchn < 'A' |
| | **4b** | Zchn > 'Z' |
| | **5** | 'A' ≤ Zchn ≤ 'Z' |
| | **6a** | Zchn = 'A' |
| | **6b** | Zchn = 'E' |
| | **6c** | Zchn = 'I' |
| | **6d** | Zchn = 'O' |
| | **6e** | Zchn = 'U' |

## Beispiel: ZaehleZchn (4)

Mit drei Repräsentanten decken wir alle Äquivalenzklassen ab:

| Testfall | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| Getestete Äquivalenzklasse | 1, 3, 4a, 5, 6a–6e | 1, 3, 4b | 2, 3 |
| Gesamtzahl<br>VokalAnzahl<br>Zchn | 100<br>50<br>'X', 'A', 'E', 'I', 'O', 'U', '5' | 1<br>1<br>'a' | INT_MAX<br>50<br>– |
| Soll-Ergebnisse:<br>Gesamtzahl<br>VokalAnzahl | <br>106<br>5 | <br>1<br>1 | <br>INT_MAX<br>50 |

## Grenzwertanalyse

Grundidee: Repräsentanten sollen *am Rand* der Äquivalenzklasse gewählt werden

Beispiel: Gegeben seien drei Äquivalenzklassen

- `1 <= aktuellerMonat <= 12` (gültig),
- `aktuellerMonat < 1` (ungültig),
- `13 <= aktuellerMonat` (ungültig).

Dann sind 0, 1, 12 und 13 geeignete Repräsentanten.

Hintergrund: Grenzbereiche werden besonders häufig fehlerhaft verarbeitet

## Beispiel: ZaehleZchn

Mit vier Repräsentanten decken wir alle Grenzwerte ab
(U = untere Grenze, O = obere Grenze)

| Testfall | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| Getestete Äquivalenzklasse | 1U, 3U, 4aO, 5U, 5O, 6a–6e | 2, 3O | 1, 3, 4bU |
| `Gesamtzahl`<br>`VokalAnzahl`<br>`Zchn` | 0<br>0<br>’A’, ’E’, ’I’, ’O’, ’U’, ’Z’, ’@’ | INT_MAX<br>INT_MAX<br>– | 100<br>50<br>’[’ |
| Soll-Ergebnisse:<br>`Gesamtzahl`<br>`VokalAnzahl` | <br>6<br>5 | <br>INT_MAX<br>INT_MAX | <br>100<br>50 |

## Zufallstest

Füttern des Programms mit *zufälligen Werten*

Einfachstes funktionales Testverfahren

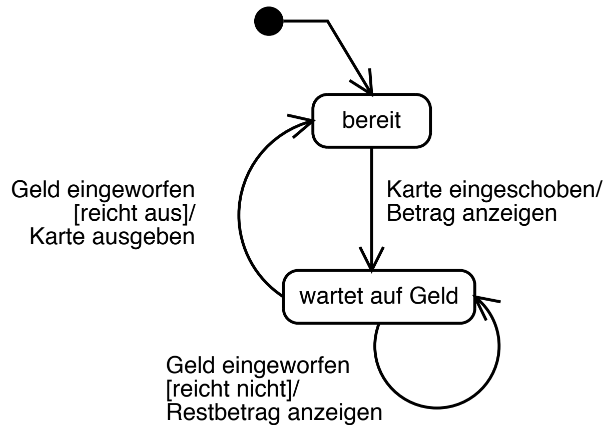
Erreicht Gleichbehandlung aller Eingabedaten ohne Beachtung menschlicher Präferenzen

Bietet sich an in Ergänzung zu anderen Verfahren (z.B. zur Auswahl von zufälligen Repräsentanten aus einer Äquivalenzklasse)

## Test von Zustandsautomaten

Ist das Verhalten durch einen *Zustandsautomaten* spezifiziert, können daraus Testfälle abgeleitet werden

Ziel: *Abdeckung aller Zustandsübergänge* (z.B. mindestens $1\times$)




**Beispiel: Parkhaus**

Der Testfall
– Karte eingeschoben
– Geld eingeworfen
  [reicht nicht]
– Geld eingeworfen
  [reicht aus]

deckt alle Zustände und Übergänge $1\times$ ab

## Der Testprozess

Nur *ein* Testverfahren alleine reicht nicht aus:

- Strukturtests können keine fehlende Funktionalität entdecken
- Funktionstests berücksichtigen die vorliegende Implementierung nur unzureichend (z.B. Zweigabdeckung $< 70\%$)

Daher *kombiniertes Vorgehen:*

1. Funktionstest (mit Grenzwertanalyse + Zufallstests)
2. Strukturtest (der Abschnitte, die noch nicht im Funktionstest abgedeckt wurden)
3. Regressionstest (nach Fehlerkorrektur)

## Mutationstesten[1]

*Mutationstesten* ist ein weiteres Verfahren, die Güte von Testdatensätzen zu bestimmen:

- Annahme: Programme sind „fast richtig“ (*competent programmer hypothesis*)
- Kleine Änderungen am Programm sollten bei hinreichend umfassenden Testdatensätzen zu beobachtbaren Verhaltensänderungen führen
- Die möglichen kleinen Änderungen (*Mutationen*) kann man systematisch erzeugen und die Mutanten mit den Testdatensätzen füttern

## Mutationstesten (2)

- Anteil aufgedeckter Mutanten kann als Testgütemaß verwendet werden:

  > „Der Testdatensatz hat nur 60% aller Mutanten gekillt.
  > Wir brauchen also noch mehr Testfälle“

- Ein perfekter Testdatensatz sollte alle Mutanten erkennen

## Mutationsoperatoren[2]

beschreiben Erzeugung semantisch veränderter, aber syntaktisch korrekter Programmversionen

Für jede Fehlerklasse gibt es spezielle Operatoren

Jeder Mutant enthält nur eine Abweichung

[1] R. A. DeMillo, J. L. Lipton, F. G. Sayward: ’Program mutation: A new approach to program testing’, in: Software Testing, Infotech State of the Art Report Vol. 2, S.107-128, Maidenhead 1979

[2] nach: K. N. King, A. J. Offutt: „A FORTRAN Language System for Mutation-based Software Testing“, *Software—Practice & Experience* **21**(7), S.685-718, 1991.

## Mutationsoperatoren (2)

**Berechnungsfehler**

- Ändern von arithmetischen Operatoren (+ statt −)
- Löschen von arithmetischen (Teil-) Ausdrücken
- Ändern von Konstanten

**Schnittstellenfehler**

- Vertauschen / Ändern von Parametern
- Aufruf anderer Prozeduren eines Moduls

**Kontrollflussfehler**

- Ersetzen von logischen (Teil-) Ausdrücken durch *T* und *F*
- Ändern von logischen und relationalen Operatoren (AND statt OR, $\leq$ statt $<$)
- Aufruf anderer Prozeduren
- Löschen von Anweisungen

## Mutationsoperatoren (3)

**Initialisierungsfehler**

- Ändern von Konstanten
- Löschen von Zuweisungen / Initialisierungsanweisungen

**Datenflussfehler**

- Durchtauschen von Variablen in einem Sichtbarkeitsbereich
- Änderungen in der Indexberechnung

## Validierung des Testdatensatzes

Bestimmung der Mutantenkillquote zu vorgegebener Mutantenzahl

Schon bei kleiner Mutantenzahl muss ein hoher Prozentsatz Mutanten ($>$90%) entdeckt werden, ansonsten ist die Testsuite zu klein (= zu wenig Testfälle)

## Schätzung der Restfehlerzahl

Gesucht: Restfehlerzahl $E$

Es werden $N$ Mutationen eingeführt und $M$ Fehler entdeckt

Davon seien $X$ Mutanten. Mithin gilt ungefähr

$$\frac{X}{M} = \frac{N}{E + N}$$

also

$$E = (M - X) \cdot \frac{N}{X}$$

Analogie: Ich setze in einem Teich $N = 100$ markierte Forellen aus. Später fische ich $M = 10$ Forellen; davon sind $X = 2$ markiert. Also schätze ich die Zahl der nicht-markierten Forellen auf $E = (10 - 2) \cdot 100/2 = 400$.

Aber: mit Vorsicht zu genießen, da die Werte stark von $N$ abhängen.

## Fazit: Mutationstesten

- ✔ Verfahren zur Beurteilung von Testdatensätzen
- ✔ weitgehend automatisierbar
- ✔ explizite Fehlerorientierung
- ✔ Modellierung anderer Verfahren möglich (z.B. Anweisungsüberdeckung, special value testing)

- ✘ es werden nur „einfache“ Fehler erzeugt
- ✘ es wird angenommen, dass komplexe Fehler Kombinationen einfacher Fehler sind
- ✘ diese Hypothese ist nicht bewiesen

## Zusammenfassung

- Die wichtigsten funktionalen Testverfahren sind
  - Funktionale Äquivalenzklassenbildung
  - Grenzwertanalyse
  - Zufallstest
  - Test von Zustandsautomaten
- Da sowohl Funktionstest als auch Strukturtest Nachteile haben, empfiehlt sich ein kombiniertes Vorgehen.
- Mutationstesten hilft, die Güte von Testdatensätzen zu bestimmen

## Literatur


- **Lehrbuch der Softwaretechnik, Band 2** (Balzert)
- **Wissensbasierte Qualitätsassistenz zur Konstruktion von Prüfstrategien für Software-Komponenten** (P. Liggesmeyer, 1993)