LEHRSTUHL 14
SOFTWARE ENGINEERING

Willkommen zur Vorlesung
Methodische Grundlagen des Software-Engineering
im Sommersemester 2011

Prof. Dr. Jan Jürjens

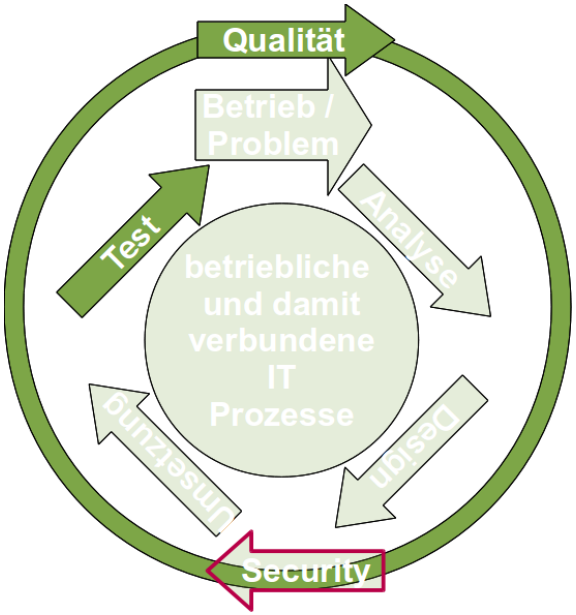
TU Dortmund, Fakultät Informatik, Lehrstuhl XIV

13. Black- und White-box Testen

[inkl. Beiträge von Stefan Berlik, Universität Siegen]

Einordnung
Blackbox / Whitebox Testing

- Spezifikationstesten vs. Strukturtesten
- Blackbox
- Whitebox



Einordnung
Grundlagen Testen

- Business Prozesse
- Qualitätsmanagement
- Testen
  - Grundlagen
  - Blackbox / Whitebox Testing
  - Beispiele: Junit, Fuzzing(Spike)
- Sicherheit
- Sicheres Software Design

Gliederung

- Spezifikationsorientierter Test - Black-box Test
  - Dynamischer Test - Grundlagen
  - Black-box Test
  - Äquivalenzklassenbildung
  - Grenzwertanalyse
- Strukturorientierter Test - White-box Test
  - Strukturorientierter Test
  - Kontrollflussbasierter Test
  - Datenflussbasierter Test
  - Bedingungsüberdeckungstest

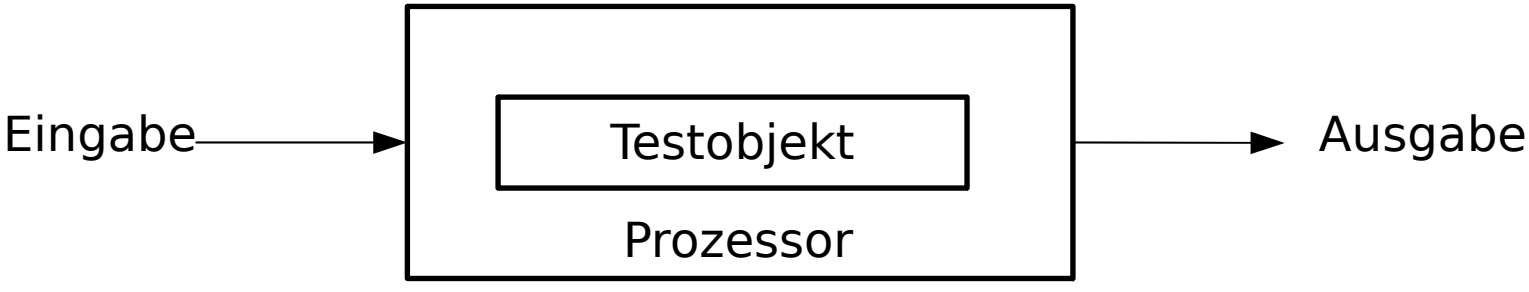
Statischer Test vs. Dynamischer Test

- Programme sind statische Beschreibungen dynamischer Prozesse
- Der statische Test prüft das Testobjekt an sich d.h. dessen Beschreibung
  - Artefakte des Entwicklungsprozesses

    (informelle Texte, Modelle, formale Texte, Programmcode,...)
- Der dynamische Test prüft den aus der Beschreibung des Testobjekts resultierenden Prozess, d.h. dessen „Interpretation“
  - Das Testobjekt wird auf einem Prozessor ausgeführt

    => Bereitstellen von Eingangsdaten

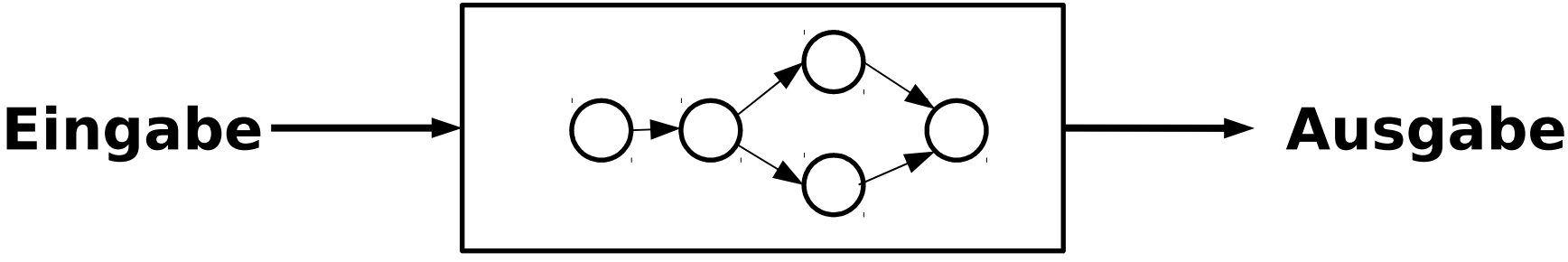
    => Beobachten der Ausgangsdaten



Black-box vs. White-box Test (1)

- Black-box Test
  - Arbeiten ohne Kenntnis der Programmlogik

- White-box Test
  - Arbeiten unter Kenntnis der Programmlogik



Black-box vs. White-box Test (2)

- **Black-box Test**
  - Testobjekt ist „**undurchsichtig**“ d.h.es liegen keine Informationen über den Programmtext und den inneren Aufbau vor
  - Verhalten des Testobjekts wird **von außen beobachtet**

    (Point of Observation (PoO) liegt außerhalb des Testobjekts)
  - Ablauf des Testobjekts wird nur durch die Wahl der Eingaben gesteuert

    (Point of Controll (PoC) liegt außerhalb des Testobjekts)
  - Testfälle basieren auf der Spezifikation bzw. den Anforderungen an das Testobjekt → „**funktionales“ Testverfahren**

Black-box vs. White-box Test (3)

- **White-box Test**
  - Testobjekt ist „**durchsichtig**“, d.h. es wird auf den Programmtext und den inneren Aufbau zurückgegriffen
  - Bei Ausführung der Testfälle wird der innere **Ablauf im Testobjekt** analysiert
    (Point of Observation (PoO) liegt innerhalb des Objekts)
  - **Eingriff in den Ablauf** im Testobjekt ist möglich, z.B wenn durch Negatives die zu provozierende Fehlbedienung über die Komponentenschnittstelle nicht auslösbar ist
    (Point of Controll (PoC) kann innerhalb des Testobjektes liegen)
  - Ergänzende Testfälle können auf Grund der Programmstruktur des Testobjektes gewonnen werden →“**strukturelles“ Testverfahren**

Begriffe

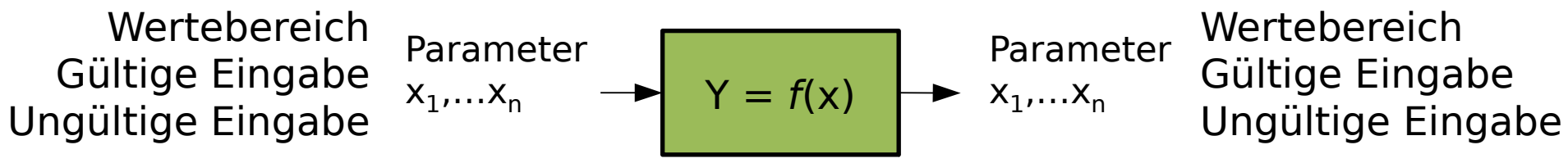
- Black-box Test
  - Arbeitet **ohne** die Kenntnisse der Interna des Testobjekts
- Black-box Verfahren
  - Testverfahren, die zur Herleitung oder Auswahl der Testfälle keine n Information über die innere Struktur des Testobjekts benötigen

- Woher stammen die Eingaben?
- Wie können die Ausgaben überprüft werden?

Funktionale Testverfahren

- **Funktionaler Test**
  - Dynamischer Test bei dem die Testfälle auf Basis der funktionalen Spezifikation des Testobjekts hergeleitet werden
  - Vollständigkeit der Prüfung (**Überdeckungsgrad**) wird ebenfalls anhand der funktionalen Spezifikation bewertet
- **Funktionalität**
  - Spezifiziert das Verhalten, das das System erbringen muss, d.h. beschreibt ‚was' das System leisten soll
  - Umsetzung ist Voraussetzung dafür, dass das System überhaupt einsetzbar ist
  - Merkmale der Funktionalität nach ISO 9126: **Angemessenheit, Richtigkeit, Interoperabilität, Ordnungsmäßigkeit, Sicherheit**

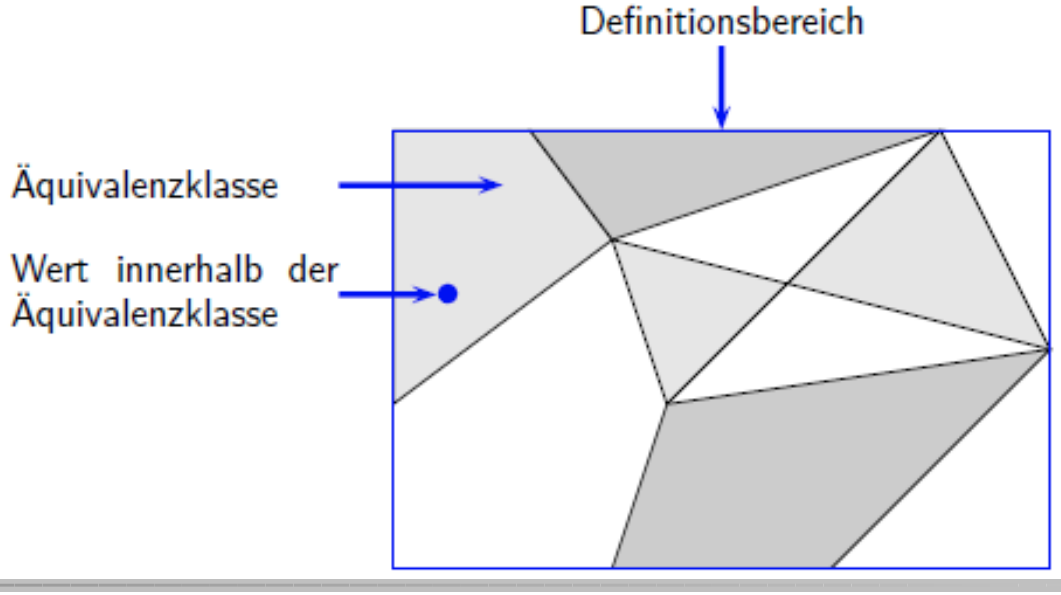
Funktionale Testfall- und Testdatenermittlung



- **Äquivalenzklassenbildung**
  - Repräsentative Eingaben
  - Gültige Eingaben
  - Ungültige Eingaben
- **Grenzwertanalyse**
  - Wertebereich
  - Wertebereichsgrenzen
- **Zustandstest**
  - Komplexe (innere) Zustände
  - Zustandsübergänge

Idee der Äquivalenzklassenbildung

- **Partitioniere den Definitionsbereich der Ein- und Ausgaben in Teilbereiche**, so dass alle Werte eines Teilbereichs äquivalentes Verhalten des Prüflings ergeben
  - Die Teilbereiche werden als **Äquivalenzklassen** (ÄK) bezeichnet
  - Deckt ein Wert der ÄK einen Fehler auf, wird erwartet dass jeder andere Wert der ÄK diesen Fehler aufdeckt → 100% Fehlerrate
  - Deckt ein Wert der ÄK **keinen Fehler** auf, wird erwartet dass auch kein anderer Wert der ÄK einen Fehler aufdeckt → 0% Fehlerrate



Vorgehensweise

- Aufstellen der **Definitionsbereiche** der Ein- und Ausgaben aus der Spezifikation
- **Äquivalenzklassenbildung** für jede **Beschränkung**
  - Beschränkung die einen **Wertebereich** spezifiziert
    → eine gültige und zwei ungültige ÄK
  - Beschränkung die eine **Anzahl von Werten** spezifiziert
    → eine gültige und zwei ungültige ÄK
  - Beschränkung die eine **Menge von Werten** spezifiziert, die ggf. **unterschiedlich behandelt** werden
    → für jeden Wert dieser Menge eine eigene gültige ÄK und zusätzlich insgesamt eine ungültige ÄK
  - Beschränkung die eine **zwingend zu erfüllende Situation** spezifiziert
    → eine gültige und eine ungültige ÄK
- Werden **Werte** einer ÄK vermutlich **nicht gleichwertig** behandelt, wird die **ÄK in kleinere ÄKs aufgespalten**

Beispiele (1)

- Beschränkung die einen Wertebereich spezifiziert

  → Eine gültige und zwei ungültige ÄK

Beispiel

In der **Spezifikation** des Testobjekts ist festgelegt, dass ganzzahlige Eingabewerte zwischen 1 und 100 möglich sind.

Wertebereich der Eingabe	$1 \leq x \leq 100$
Gültige Äquivalenzklasse	$1 \leq x \leq 100$
Ungültige Äquivalenzklasse	$x < 1$, $x > 100$
und NaN	(not a Number)

Beispiele (2)

- Beschränkung die einen Anzahl von Werten spezifiziert

  → Eine gültige und zwei ungültige ÄK

Beispiel

Laut **Spezifikation** muss sich ein Mitglied eines Sportvereins mindestens einer Sportart zuordnen. Jedes Mitglied kann an maximal drei Sportarten aktiv Teilnehmen.

Gültige Äquivalenzklasse $1 \leq x \leq 3$ (1 bis 3 Sportarten)

Ungültige Äquivalenzklasse $x=0$ und $x > 3$
(keine bzw. mehr als 3 Sportarten zugeordnet)

Beispiele (3)

- Beschränkung die eine Menge von Werten spezifiziert, die ggf. unterschiedlich behandelt werden

  → Für jeden Wert dieser Menge eine eigene gültige ÄK und zusätzlich eine ungültige ÄK

Beispiel

Laut **Spezifikation** gibt es im Sportverein folgende Sportarten: Fußball, Hockey, Handball, Basketball und Volleyball

Gültige Äquivalenzklasse: Fußball, Hockey, Handball, Basketball und Volleyball

Ungültige Äquivalenzklasse: alles andere z.B Badminton

Beispiele (4)

- Beschränkung, die eine **zwingend zu erfüllende Situation** spezifiziert

→ Eine gültige ÄK und eine ungültige ÄK

Beispiel

Laut **Spezifikation** erhält jedes Mitglied im Sportverein eine eindeutige Mitgliedsnummer. Diese beginnt mit dem ersten Buchstaben des Familiennamens des Mitglieds.

Gültige Äquivalenzklasse: erstes Zeichen ein Buchstabe

Ungültige Äquivalenzklasse: erstes Zeichen kein Buchstabe (z.B. eine Ziffer oder ein Sonderzeichen)

Frage

- Gegeben ist eine Funktion zur Bestimmung der Anzahl der Tage eines Monats mit den Übergaben Monat und Jahr.
  - ZahlTageMonat(int Monat, int Jahr)
- Wie sehen die Äquivalenzklassen dazu aus?

Testfälle für jeden Parameter tabellarisch notieren

- Eindeutige Kennzeichnung jeder Äquivalenzklasse ($gÄK_n$, $uÄK_n$)

	TF_1	TF_2	....	TF_n
$gÄK_1$	X			
$gÄK_2$		X		
...				
$uÄK_1$				
$uÄK_2$				x

- **Pro Parameter** mindestens **zwei Äquivalenzklassen**
  - Eine mit **gültigen** Werten
  - Eine mit **ungültigen** Werten

- Bei *n* Parametern mit m_i Äquivalenzklassen (i=1,….,n) gibt es

$$\prod_{i=1,\ldots,n} m_i$$

unterschiedliche Kombinationen (Testfälle)

Anzahl der Testfälle per Heuristiken minimieren

- Testfälle aus allen **Repräsentanten kombinieren** und anschließend nach ‚Häufigkeit' sortieren (‚**Benutzungsprofile**')
  - Testfälle dann in dieser Reihenfolge priorisieren
  - Nur mit ‚benutzungsrelevanten' Testfällen testen
  - Testfälle bevorzugen, die Grenzwert oder Grenzwert-Kombinationen enthalten
- Sicher stellen, dass **jeder Repräsentant** einer Äquivalenzklasse **mit jedem Repräsentanten** jeder anderen Äquivalenzklasse in einem Testfall zur Ausführung kommt
  - D.h **paarweise Kombination** statt vollständige Kombination
- **Minimalkriterium**: Mindestens ein Repräsentant jeder Äquivalenzklasse in mindestens einem Testfall
- Repräsentanten **ungültiger Äquivalenzklassen** nicht mit Repräsentanten anderer ungültiger Äquivalenzklassen kombinieren (→ Fehlermaskierung)

Vor- und Nachteile der Äquivalenzklassenbildung

- Vorteile
  - Anzahl der Testfälle **kleiner** als bei unsystematischer Fehlersuche
  - Geeignet für Programme mit **vielen verschiedenen Ein- und Ausgabebedingungen**
- Nachteile
  - Betrachtet Bedingungen für einzelne Ein- oder Ausgabeparameter
  - Beobachtung von **Wechselwirkungen** und **Abhängigkeiten** von Bedingungen **sehr aufwendig**
- Empfehlung
  - Zur Auswahl wirkungsvoller Testdaten: **Kombination** der ÄK-Bildung **mit fehlerorientierten Verfahren**, z.B. Grenzwertanalyse

Idee der Grenzwertanalyse

- **Wertet die Grenzbereiche von Verzweigungs- und Schleifenbedingungen aus**, für welche eine Bedingung **gerade noch** oder **gerade nicht mehr zutrifft.**
  - Diese **Fallunterscheidungen** sind fehlerträchtig (‚off by one').
  - Testdaten, die solche **Grenzwerte prüfen**, decken Fehlerwirkungen mit höherer Wahrscheinlichkeit auf, als Testdaten, die dies nicht tun.
- Grenzen der ÄK testen
- Jeder ‚Rand' einer ÄK muss in einer Testdatenkombination vorkommen.

Grenzwertanalyse (1)

- In der Regel werden der **Grenzwert** selbst, sowie die Werte **unmittelbar über bzw**. **unter** dem Grenzwert getestet.
- **Atomare** (**geordnete**) **Bereiche** (integer, real, char)
  - Werte auf den Grenzen
  - Werte ‚rechts bzw. links' neben den Grenzwerten (ungültige Werte, kleiner bzw. größer als die Grenze)
- **Mengenwertige Bereiche** (z.B. bei Datenstrukturen, Beziehungen)
  - Kleinste und größte gültige Anzahl
  - Zweitkleinste und zweitgrößte gültige Anzahl
  - Kleinste und größte ungültige Anzahl
- Fallen bei Äquivalenzklassen für geordnete Bereiche obere und untere Grenze zweier ÄK zusammen, dann auch die entsprechenden Testfälle.

Grenzwertanalyse: Vorgehen

- Grenzen des **Eingabebereichs**
  - Abgeschlossener Bereich: [-1.0; +1.0]; Testdaten: -1.001; -1.0; +1.0; +1.001
  - Offener Bereich:]-1.0; +1.0[; Testdaten: -1.0; -0.999; + 0.999; +1.0
- Grenzen der **erlaubten Anzahl von Eingabewerten**
  - Eingabedaten mit 1 bis 365 Sätzen; Testfälle 0, 1, 365, 366 Sätze
- Grenzen des **Ausgabebereichs**
  - Programm errechnet Beitrag, der zwischen € 0,00 und € 600 liegt; Testfälle: € 0,00; € 600 und möglichst auch die Beiträge < € 0 und > € 600
- Grenzen der erlaubten Anzahl von **Ausgabewerten**
  - Ausgabe von 1 bis 4 Daten; Testfälle: Für 0, 1, 4 und 5 Ausgabewerte
- **Erstes** und **letztes Element** bei geordneten Mengen beachten
  - Z.B. sequentielle Datei, lineare Liste, Tabelle
- Bei komplexen Datenstrukturen **leere Mengen** testen
  - Z.B leere Liste, Null-Matrix
- Bei nummerischen Berechnungen
  - **Eng zusammen** und **weit auseinander liegende Werte** wählen

Grenzwertanalyse: Vor- und Nachteile

- Vorteile
  - An den Grenzen von Äquivalenzklassen sind **häufiger Fehler** zu finden als innerhalb dieser Klassen.
  - Effizient in **Kombination** mit anderen Verfahren, die Freiheitsgrade in der Wahl der Testdaten lassen.
  - „Die Grenzwertanalyse ist bei richtiger Anwendung eine der nützlichsten Methoden für den Testfallentwurf.“
    [Meyers, Glenford J.: Methodisches Testen von Programmen Oldenbourg, 7. Auflage, 2001]
- Nachteile
  - Rezepte für die **Auswahl** von Testdaten schwierig anzugeben
  - Bestimmung aller **relevanten** Grenzwerte schwierig
  - **Kreativität** zur Findung erfolgreicher Testdaten gefordert
  - Oft nicht effizient genug angewendet, da sie **zu simpel erscheint**

Black-box Tests: Bewertung

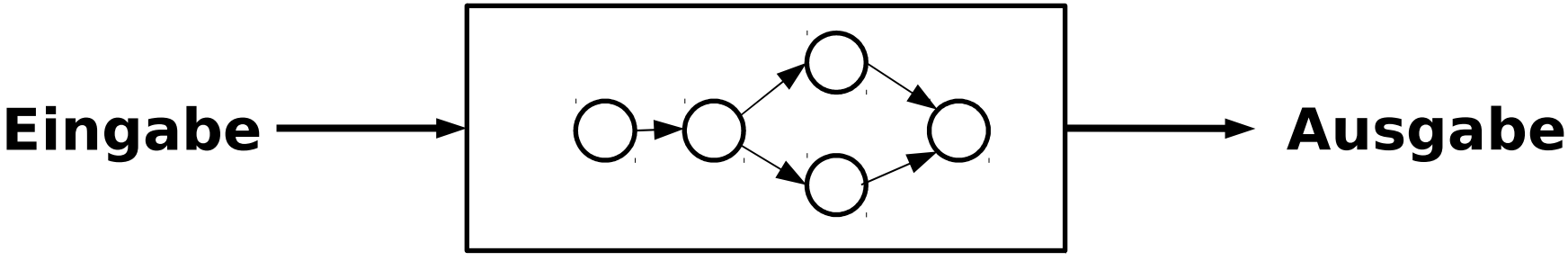
- Grundlage aller Black-box Verfahren sind die Anforderungen sowie die Spezifikation des Systems bzw. der einzelnen Komponenten und ihres Zusammenwirkens.
  - **Fehlerhafte Anforderungen** oder Spezifikationen werden nicht erkannt.
  - Testobjekt verhält sich so, wie die Spezifikation (bzw. die Anforderungen) es fordert, auch wenn diese fehlerhaft ist.
- **Nicht geforderte** Funktionalität wird nicht erkannt.
  - Zusätzliche Funktionen sind weder spezifiziert noch vom Kunden gefordert.
  - Testfälle, die diese zusätzlichen Funktionen zur Ausführung bringen, werden - wenn überhaupt – nur zufällig durchgeführt.
  - **Überdeckungskriterien** ausschließlich auf der Grundlage der Anforderungen bzw. der Spezifikation und nicht auf der Grundlage von nicht beschriebenen und nur vermuteten Funktionen.

Black-box Tests: Bewertung (2)

- Im Mittelpunkt aller Black-box Verfahren steht die Prüfung der **Funktionalitäten** des Testobjekts.
  - Das korrekte **Funktionieren** eines Softwaresystems hat **höchste Priorität** und somit sind auch Black-box Testverfahren stets einzusetzen.

White-box Tests

- White-box Test
  - Test unter Nutzung von Informationen über Interna des Testobjekts
- White-box Verfahren
  - Alle Verfahren, die zur Herleitung oder Auswahl der Testfälle Informationen über die innere Struktur des Testobjekts benötigen (auch struktureller Test)



- Woher stammen die Eingaben?
- Wie können die Ausgaben überprüft werden?

Prinzip des strukturellen Tests

- **Dynamischer** Test, bei dem die Testfälle unter Berücksichtigung der **Struktur** des Testobjekts hergeleitet werden und die Vollständigkeit der Prüfung (**Überdeckungsgrad**) anhand von **Strukturelementen** (z.B. Zweige, Daten, Pfade) bewertet wird.
- Gesucht werden ‚**fehleraufdeckende' Stichproben** der möglichen **Programmabläufe** und **Datenverwendungen.**

Strukturelles Testen von Programmen

- **Kontrollflussbasiert**
  - Anweisungsüberdeckung (C0-Überdeckung, alle Knoten)
  - …
  - Pfadüberdeckung (C∞-Überdeckung, alle Pfade)
- **Datenflussbasiert**
  - Alle Definitionen
  - ….
  - Kontextüberdeckung
- **Bedingungsbasiert**
  - Einfache Bedingungsüberdeckung
  - Mehrfachbedingungsüberdeckung

Kontrollflussbezogene Überdeckungskriterien

- **Anweisungsüberdeckung** (statement coverage)
- **Zweigüberdeckung** (branch coverage)
- **Grenze-Inneres-Test** (boundary interior coverage)
- **Pfadüberdeckung** (path coverage)

Anweisungsüberdeckung (1)

- Dynamisches, kontrollflussbasiertes Testverfahren, das die mindestens einmalige **Ausführung aller Anweisungen** des Testobjekts fordert.
- Auch als C0-Maß bezeichnet (C für engl. coverage=Überdeckung).

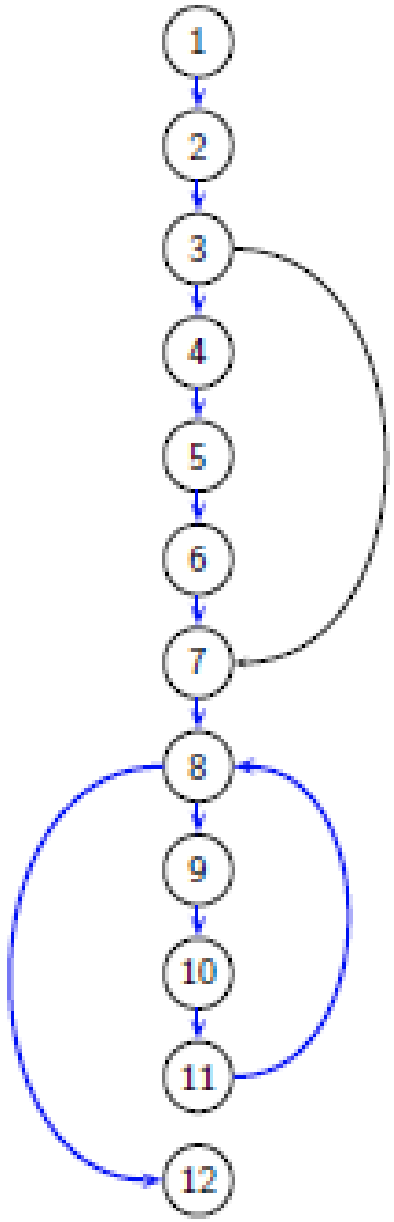
Definition

$$\text{C0-Überdeckung} = \frac{\text{Anzahl durchlaufene Anweisungen}}{\text{Gesamtzahl Anweisungen}}$$

Anweisungsüberdeckung (2)

- Jeder **Testfall** wird anhand eines **Pfads** durch den Kontrollflussgraphen bestimmt.
  - Bei dem Testfall müssen die auf dem Pfad liegenden Kanten des Graphen durchlaufen werden, d.h. die **Anweisungen (Knoten)** in der entsprechenden Reihenfolge zur Ausführung kommen.
  - Bei der Berechnung wird nur gezählt, ob eine **Anweisung** bei der Ausführung **überhaupt durchlaufen** wurde, die Häufigkeit der Ausführung spielt keine Rolle.
  - Für die einzelnen **Testfälle** sind, neben den **Vor- und Nachbedingungen**, auch die **erwarteten Ergebnisse** und das erwartete Verhalten des Testobjekts vorab zu bestimmen und danach mit dem **tatsächlichen Ergebnis** bzw. Verhalten zu vergleichen.
- Wenn der zuvor festgelegte **Überdeckungsgrad erreicht** ist, wird der **Test** als **ausreichend** angesehen und beendet.

Beispiel: Anweisungsüberdeckung für ggt()




```
1.  public int ggt(int m, int n) {
    // pre: m > 0 and n > 0
    // post: return> 0 and
    // m@pre.mod(return) = 0 and
    //..
2.    int r;
3.    if (n > m) {
4.      r = m;
5.      m = n;
6.      n = r;
      }
7.    r = m % n;
8.    while(r != 0) {
9.      m = n;
10.     n = r;
11.     r = m % n;
      }
12.   return n;
    }
```

$\rightarrow \text{Pfad}_1 = (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 8, 12)$

Diskussion der Anweisungsüberdeckung

- Die **C0-Überdeckung** ist ein in der Aussage **schwaches** Kriterium
  - Für die Anweisungsüberdeckung ist eine leere (`else`-) **Kante** (zwischen `if` und `endif`) ohne Bedeutung.
  - Möglicherweise **fehlende Anweisungen** in dem enthaltenden Programmteil werden **nicht erkannt**!
- Eine **100%ige Überdeckung** der Anweisungen ist in der Praxis (und auch Theorie) **nicht immer erreichbar.**
  - Z.B. können **Ausnahmebedingungen** im Programm vorkommen, die während der Testphase nur mit erheblichem Aufwand oder gar nicht herzustellen sind.
  - Möglicherweise auch Hinweis auf nicht erreichbare Anweisungen (‚**deadcode**‘) (ggf. statische Analyse durchführen).

Zweigüberdeckung (1)

- Dynamisches, kontrollflussbasiertes Testverfahren, das die **Überdeckung aller Zweige** des Kontrollflussgraphen einer Komponente fordert.
- Auch als **C1-Maß** bezeichnet.

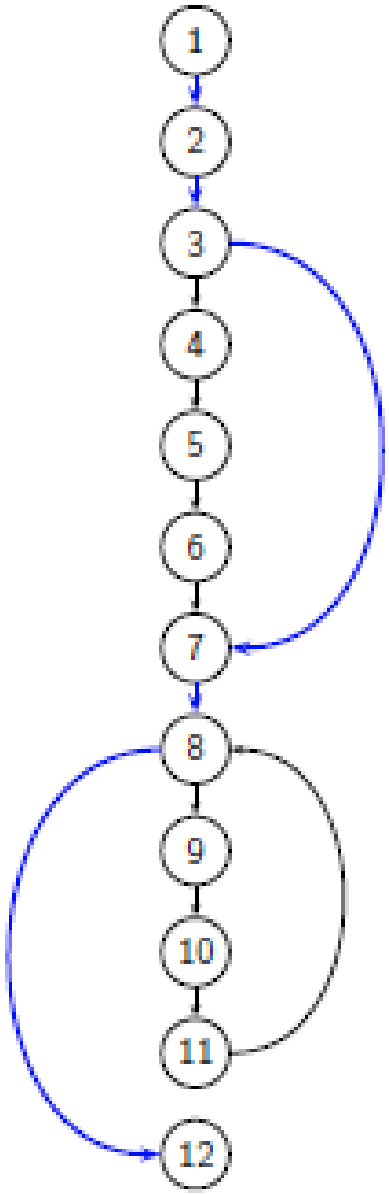
Definition

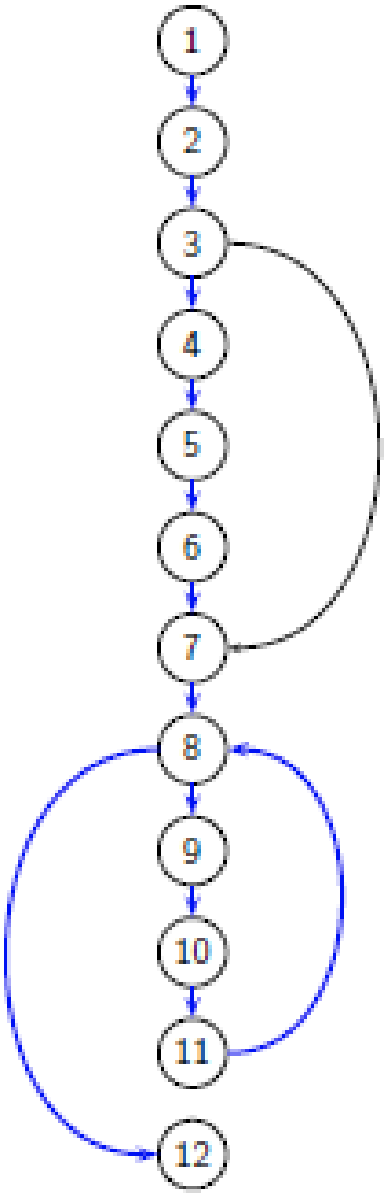
$$\text{C1-Überdeckung} = \frac{\text{Anzahl durchlaufene Zweige}}{\text{Gesamtzahl Zweige}}$$

Zweigüberdeckung (2)

- Jeder **Testfall** wird wieder anhand eines Pfads durch den Kontrollflussgraphen bestimmt.
  - Bei dem **Testfall** müssen die auf dem Pfad liegenden Kanten des Graphen durchlaufen werden.
  - Die **Häufigkeit** der Ausführung eines Zweiges spielt auch hier bei der Berechnung **keine Rolle.**
  - Für die einzelnen **Testfälle** sind auch hier neben den **Vor-** und **Nachbedingungen** wieder die **erwarteten Ergebnisse** und das erwartete Verhalten des Testobjekts vorab zu bestimmen und danach mit dem **tatsächlichen Ergebnis** bzw. Verhalten zu **vergleichen.**

Beispiel: Zweigüberdeckung für ggt()






```
1.  public int ggt(int m, int n) {
    // pre: m > 0 and n > 0
    // post: return> 0 and
    // m@pre.mod(return) = 0 and
    //..
2.    int r;
3.    if (n > m) {
4.      r = m;
5.      m = n;
6.      n = r;
      }
7.    r = m % n;
8.    while(r != 0) {
9.      m = n;
10.     n = r;
11.     r = m % n;
      }
12.   return n;
    }
```

$\rightarrow$ $\text{Pfad}_1 = (1, 2, 3, 7, 8, 12)$ (neu)

$\rightarrow$ $\text{Pfad}_2 = (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 8, 12)$

Frage

- Wie sieht ein minimales Programm aus, für das mindestens zwei Eingabewerte notwendig sind, um eine Anweisungsüberdeckung zu erreichen.

Diskussion der Zweigüberdeckung (1)

- Die **C1-Überdeckung** ist ein in der Aussage **stärkeres** Kriterium
  - Die Zweigüberdeckung verlangt, dass bei einer Verzweigung des Kontrollflusses (bei einer Bedingung) beide bzw. bei einer case-Anwendung alle Möglichkeiten und bei **Schleifen** der **Rücksprung** zum Schleifanfang zu berücksichtigen sind.
  - Mit der Zweigüberdeckung können fehlende Anweisungen in leeren Zweigen im Gegensatz zur Anweisungsüberdeckung erkannt werden!
- Die Zweigüberdeckung wird oft als **minimales** Kriterium in der Praxis angewendet.

Diskussion der Zweigüberdeckung (2)

- Die einzelnen **Zweige** werden **unabhängig** voneinander betrachtet und es werden **keine** bestimmten **Kombinationen** der einzelnen Zweige gefordert.
- Die Abfolge der Zweige erfolgt relativ willkürlich.
- Ergo:
  - Eine **100%ige Zweigüberdeckung** ist **anzustreben**, ist aber – wie bei der Anweisungsüberdeckung – in der Praxis (und auch Theorie) **nicht immer erreichbar.**
  - Nur wenn neben allen Anweisungen auch **jede** mögliche **Verzweigung** des Kontrollflusses in der Testphase berücksichtigt wird, kann der **Test** als **ausreichend** eingestuft werden.

Pfadüberdeckung (1)

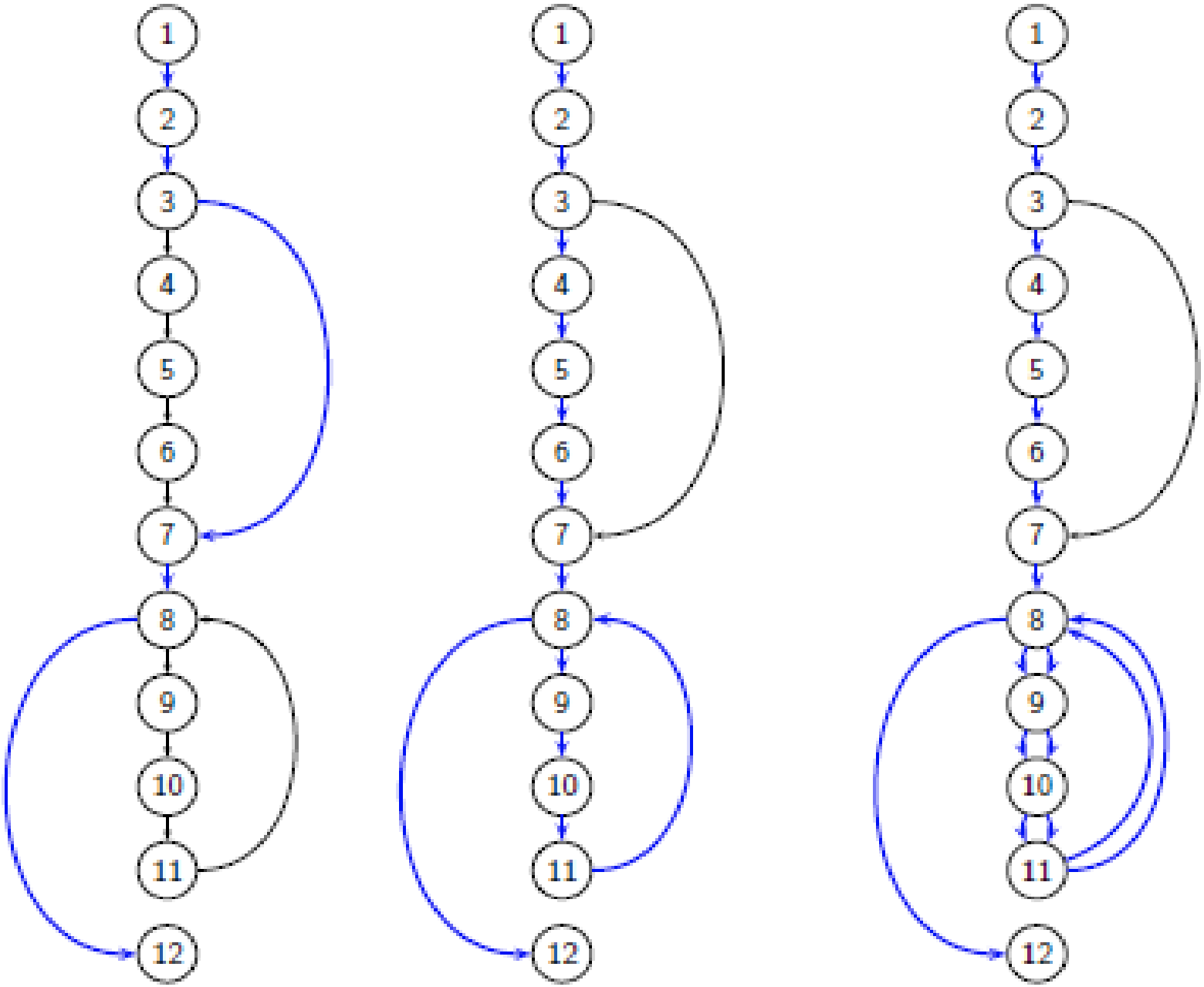
- Dynamisches, kontrollflussbasiertes Testverfahren, das die mindestens einmalige **Ausführung aller Pfade** des Kontrollflussgraphen einer Komponente fordert.
- Auch als C∞-Maß bezeichnet.

Definition

$$C\infty\text{-Überdeckung} = \frac{\text{Anzahl durchlaufene Pfade}}{\text{Gesamtzahl Pfade}}$$

- Bei **zyklischen** Kontrollflussgraphen potenziell **unendlich** viele Pfade. [Frage: Beispiel ?]
  - **Obere Grenzen** für die Anzahl ggf. aus Spezifikation oder aus technischen Einschränkungen.
- In der Praxis nicht erreichbar, eher als **theoretisches Vergleichsmaß** wichtig.

Beispiel: Pfadüberdeckung für ggt()



...

Kontrollflussbasierter Test und objektorientierte Software

- Sowohl die **Anweisungs-** als auch die **Zweigüberdeckung** ist für objektorientierte Systeme nur **unzureichend** geeignet.
  - **Methoden** in den Klassen sind normalerweise wenig umfangreich und **von geringer Komplexität.**
  - Die geforderten C0- und C1-Überdeckungen lassen sich dann mit **wenig Aufwand** erreichen.
- Die **Komplexität** bei objektorientierten Systemen ist meist in den **Beziehungen** zwischen den Klassen verborgen.
- Wenn eine **Werkzeugunterstützung** zur Ermittlung der **Überdeckungswerte** vorhanden ist, kann diese allerdings genutzt werden, um **nicht aufgerufene Methoden** oder Programmteile zu erkennen.

Datenflussbasierter Test

- Dynamischer Test, bei dem die Testfälle unter Berücksichtigung der **Datenverwendungen** im Testobjekt hergeleitet werden und die Vollständigkeit der Prüfung (**Überdeckungsgrad**) anhand der Datenverwendung bewertet wird.
- Test bezüglich der **Variablen/ Objektverwendung**
- **Wertzuweisung**, **zustandsverändernd**
  - Z.B.: r = m oder r = 5
  - Definition [definitional use, def(r)]
- **Benutzung in Ausdrücken**, **zustandserhaltend**
  - Z.B.: r = m % n oder r = op(m,n)
  - Berechnungsreferenz [computational use, **c-use(m,n)**]
- **Benutzung in Bedingungen**, **zustandserhaltend**
  - Z.B while(r != 0) oder if (r == 0)
  - Entscheidungsreferenz [Predicative use, **p-use(r)**]

Datenflussbezogene Überdeckungskriterien

- Kriterium „**alle Definitionen“ (all-defs)**: Jede Definition mindestens einmal (ohne dazwischenliegendes erneutes def) in einem c-use oder p-use verwenden.
- Kriterium „**alle DR-Interaktionen“**: jedes Paar def/ref (ohne dazwischenliegendes erneutes def) auf irgendeinem Weg ausführen.
- Weitere Kriterien
  - **„Alle B-Referenzen“ (all-c-uses)**
  - **„Alle E-Referenzen“ (all-p-uses)**
  - **3-DR-Interaktionen**
  - **Kontextüberdeckung**

Bewertung des datenflussbasierten Tests

- Testverfahren unterscheiden nach dem Aufwand:
  - „Alle Definitionen“ ist am einfachsten (O(n) Testdaten)
  - „Alle E-Referenzen“, „alle B-Referenzen“ und Kontextüberdeckung sind am aufwendigsten (O(n^2) Testdaten bei n Segmenten im Programmteil)
- Testverfahren unterscheiden sich nach der Fehleraufdeckungsfähigkeit:
  - „Alle B-Referenzen“ fand bspw. bis zu 88% aller Berechnungsfehler.
  - „Alle E-Referenzen“ fand bspw. 100% aller Bereichsfehler.
  - Folgende Fehler werden dagegen schlecht aufgedeckt:
    - Fehlende Pfade
    - Bereichsfehler durch falsch platzierte Anweisungen und falsche arithmetische Operatoren
    - Berechnungsfehler
- Ca. 9% aller Fehler wurden nur mit datenflussbezogenen Methoden gefunden.

Bedingungen in Programmen (und Spezifikationen)

- **Wahrheitswerte**: `true`, `false` (oft auch 1 oder 0)
- **Atomare Teilbedingungen**
  - Variablen vom Typ `boolean`
  - Operationen mit Rückgabewert vom typ boolean
  - Vergleichsoperationen (z.B. flag; isEmpty(); size > 0)
- **Zusammengesetzte Bedingungen**
  - Verknüpfen atomare Teilbedingungen mit booleschen Operatioren
  - Basis-Operatoren sind und ($\wedge$), oder ($\vee$), nicht ($\neg$)
- **Entscheidungen** sind zusammengesetzte Bedingungen, die den Programmablauf steuern.

Test der Bedingungen

- Bei der **Zweigüberdeckung** wird **ausschließlich** der ermittelte **Ergebnis-Wahrheitswert** einer Bedingung berücksichtigt.
  - Anhand dieses Wertes wird entschieden, welche Verzweigung im Kontrollflussgraphen verfolgt wird bzw. welche Anweisung als nächstes im Programm zur Ausführung kommt.
- **Problem**: Setzt sich eine Bedingung aus **mehreren Teilbedingungen** zusammen, die über logische Operatoren miteinander verknüpft sind, so muss im Test die strukturelle **Komplexität der Bedingungen** berücksichtigt werden.
- Hierbei werden **unterschiedliche Anforderungen** und damit auch Abstufungen der Testintensität mit Berücksichtigung der **zusammengesetzten** Bedingungen unterschieden.

Bedingungsüberdeckungstests

- Als **Überdeckungskriterien** werden Verhältnisse zwischen den bereits erreichten und allen geforderten Wahrheitswerten der (Teil-)Bedingungen gebildet.
- Bei den Verfahren, welche die Komplexität der Bedingungen im Programmtext des Testobjekts in den Mittelpunkt der Prüfung stellen, ist es sinnvoll, eine **vollständige Prüfung** (**100% Überdeckung**) anzustreben.

Im Folgenden

- **Einfache** Bedingungsüberdeckung
  (*branch condition testing*)
- **Mehrfach**bedingungsüberdeckung
  (*branch condition combination testing*)
- **Minimale Mehrfach**bedingungsüberdeckung
  (*modified branch condition decision testing*)

Einfache Bedingungsüberdeckung

- Engl. branch condition testing
- Kontrollflussbasiertes, dynamisches Testverfahren, das die **Überdeckung** der **atomaren Teilbedingungen** / **Ausdrücke** (**a.A**.) einer Entscheidung mit ‚wahr' und ‚falsch' fordert.
  - *Teste jeden atomaren Ausdruck einmal zu wahr und einmal zu falsch.*
- Bei *n* atomaren Ausdrücken **mindestens 2**, **höchstens 2n** Testfälle

Definition

$$\text{EB-Überdeckung} = \frac{\text{Anzahl zu wahr und falsch getesteter a.A.}}{\text{Gesamtzahl a.A.}}$$

- Achtung: Die einfache Bedingungsüberdeckung ist ein **schwächeres Kriterium als die Anweisungs- oder** auch **Zweigüberdeckung**, da nicht verlangt wird, dass unterschiedliche Wahrheitswerte bei der Auswertung der **gesamten** Bedingungen im Test zu berücksichtigen sind.

Beispiel zur einfachen Bedingungsüberdeckung

- Teste jeden atomaren Ausdruck einmal zu wahr und einmal zu falsch

- 2 Ausdrücke
- 2 Testfälle

A	B	$A \wedge B$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

- 3 Ausdrücke
- 2 Testfälle

A	B	C	$A \wedge B \wedge C$
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

Mehrfachbedingungsüberdeckung

- Engl. branch condition combination testing
- Teste **jede Kombination** der Wahrheitswerte aller atomaren Ausdrücke
- Bei *n* atomaren Ausdrücken (a.A.) ist die Testfall-Anzahl = 2^n
  - Wächst exponentiell mit der Anzahl atomarer Ausdrücke

Definition

$$\text{MB-Überdeckung} = \frac{\text{Anzahl der getesteten Kombinationen a.A}}{2^{\text{Gesamtzahl a.A}}}$$

- Bei der Auswertung der Gesamtbedingung ergeben sich auch beide Wahrheitswerte.
  - Die **Mehrfachbedingungsüberdeckung erfüllt** somit auch die Kriterien der Anweisungs- und **Zweigüberdeckung.**
  - Sie ist ein **umfassendes Kriterium**, da sie auch die Komplexität bei zusammengesetzten Bedingungen berücksichtigt.
- **Problem**: Manche Kombinationen sind nicht durch konkrete Testfälle realisierbar, z.B. wenn Teilbedingungen voneinander abhängig sind.

Beispiel zur Mehrfachbedingungsüberdeckung

- Teste jeden atomaren Ausdruck einmal zu wahr und einmal zu falsch
  - 3 Ausdrücke
  - 8 Testfälle
- 2 Ausdrücke
- 4 Testfälle

A	B	$A \wedge B$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

A	B	C	$A \wedge B \wedge C$
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

Minimale Mehrfachbedingungsüberdeckung

- Engl. modified branch condition combination testing
- Teste **jede Kombination** von Wahrheitswerten, bei denen die **Änderung** des Wahrheitswertes eines **atomaren Ausdrucks** den Wahrheitswert des **zusammen gesetzten Ausdruck** ändern kann (**MM-Kombination**).

Definition

$$\text{MMB-Überdeckung} = \frac{\text{Anzahl getesteter MM-Kombinationen}}{\text{Gesamtzahl MM-Kombinationen}}$$

- **Gesamtzahl der MM-Kombinationen ist bei reinen and- bzw. or-Bedingungen** mit n atomaren Ausdrücken nur n+1.

Beispiel zur minimalen Mehrfachbedingungsüberdeckung

- Teste jede Kombination von Wahrheitswerten, bei denen die Änderung des Wahrheitswertes eines atomaren Ausdrucks den Wahrheitswert des zusammengesetzten Ausdruck ändern kann.

- 2 Ausdrücke
- 3 Testfälle

A	B	$A \wedge B$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

- 3 Ausdrücke
- 4 Testfälle

A	B	C	$A \wedge B \wedge C$
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

Bewertung der Bedingungstestverfahren (1)

- Auf die intensive **Prüfung** oder Aufteilung von komplexen Bedingungen kann möglicherweise ganz **verzichtet** werden, **wenn** diese vor dem dynamischen Test einem **Code-Review** unterzogen werden und deren Korrektheit dort nachgewiesen wird.

- Es kann sinnvoll sein, **komplexe** zusammengesetzte **Bedingungen in** verschachtelte, **einfache Abfragen aufzuteilen** und für diese Abfolge von Abfragen dann einen **Zweigüberdeckungstest** durchzuführen.

Bewertung der Bedingungstestverfahren (2)

- Ein **Nachteil** der Bedingungsüberdeckung ist, dass sie boolesche Ausdrücke beispielsweise **nur innerhalb einer `if`-Anweisung** prüft.
  - Manchmal wird z.B. nicht erkannt, dass die if-Bedingung eine aus mehreren Teilbedingungen zusammengesetzte ist und die minimale Mehrfachbedingungsüberdeckung angewendet werden sollte
  - **Beispiel**: `flag = a || (b && c); if(flag){…}`
  - → **Alle booleschen Ausdrücke** für die Erstellung der Testfälle **heranziehen**

Bewertung der Bedingungstestverfahren (3)

- **Problem**: **Messung der Überdeckung** der Teilbedingungen
  - Einige Programmiersprachen und **Compiler verkürzen die Auswertung** von booleschen Ausdrücken, sobald das Ergebnis feststeht.
  - **Beispiel**: Ist bei einer `and`**-Verknüpfung** von zwei Teilbedingungen für eine Teilbedingung der Wert `false` ermittelt, dann ist die Gesamtbedingung ebenfalls `false`, egal welchen Wert die zweite Teilbedingung liefert.
  - Einige **Compiler ändern auch die Reihenfolge** der Auswertung in Abhängigkeit von den booleschen Operatoren, um möglichst schnell ein Endergebnis zu erhalten und die weiteren Teilbedingungen nicht auswerten zu müssen.

Zusammenfassung

- Lesson Learned
  - Dynamischer Test - Grundlagen
  - Black-box Test
  - Äquivalenzklassenbildung
  - Grenzwertanalyse
  - Strukturorientierter Test
  - Kontrollflussbasierter Test
  - Datenflussbasierter Test
  - Bedingungsüberdeckungstest