

# **Software- Qualitätsmanagement**

**Vorlesung im Modul 10-202-2319  
Software-Management**

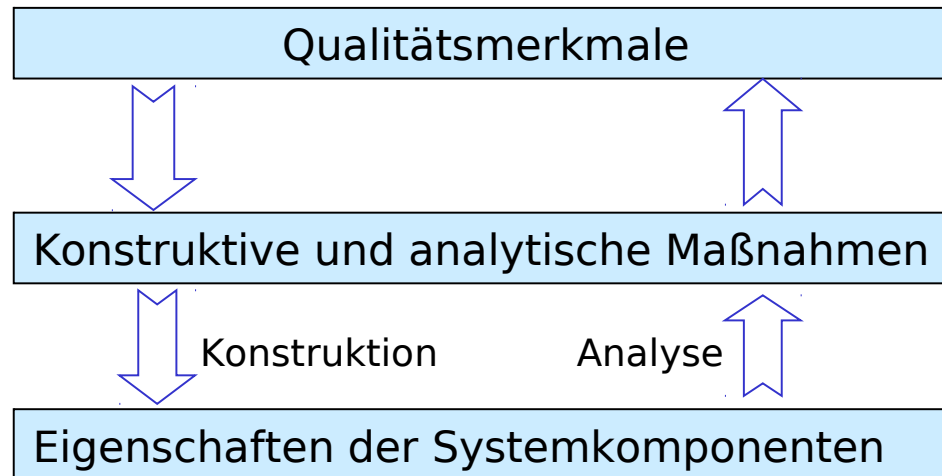
Sommersemester 2010

Prof. Dr. Hans-Gert Gräbe

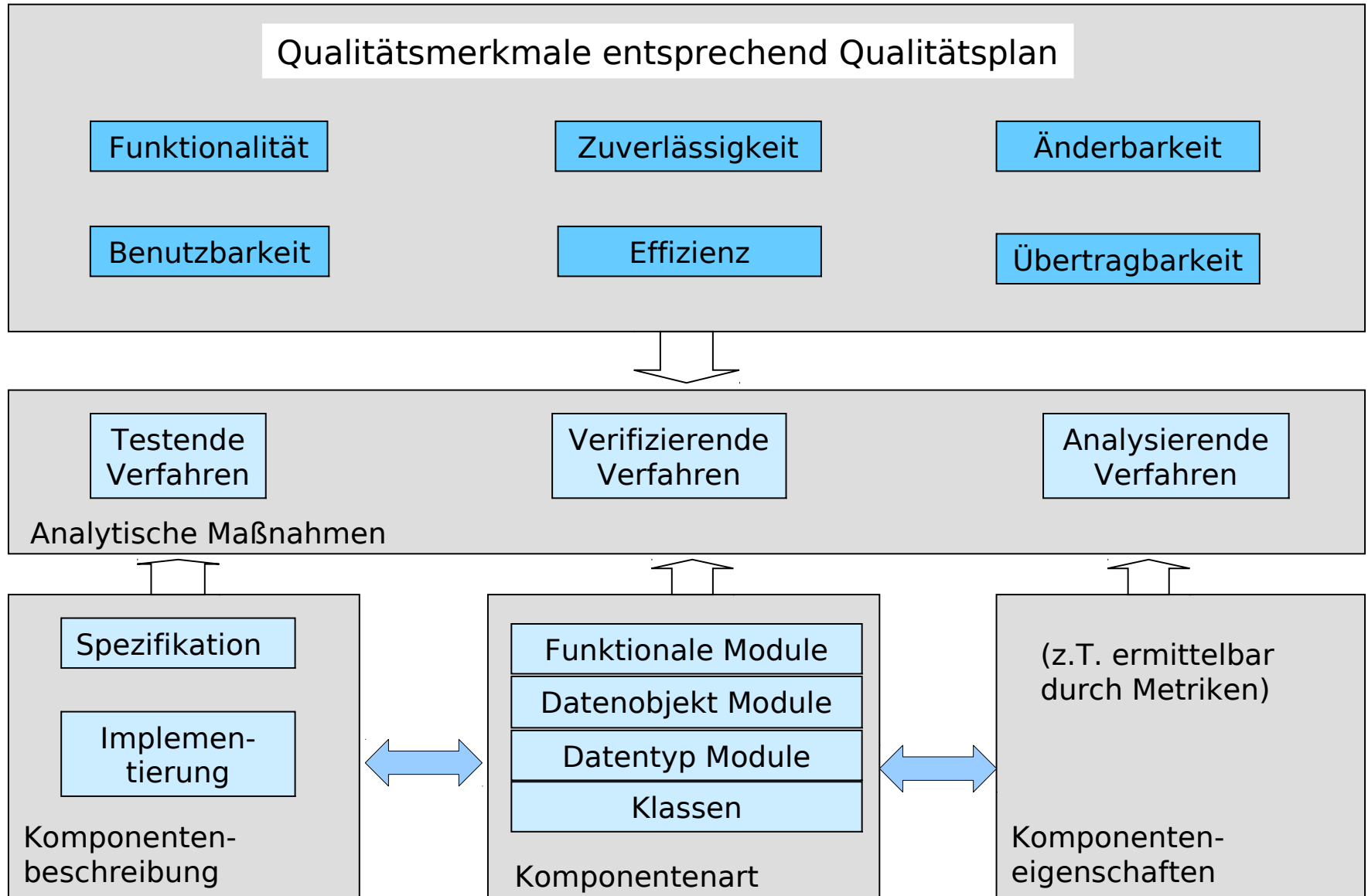
<http://bis.informatik.uni-leipzig.de/HansGertGraebe>

### Software-Produktqualität ist abhängig von:

- Qualität der Systemkomponenten
- Qualität der Beziehungen zwischen den Komponenten



- Konstruktive Maßnahmen siehe VL „Software-Technik“
- analytische Maßnahmen beziehen sich im Wesentlichen auf Funktionalität, Zuverlässigkeit und evtl. Änderbarkeit



### 2. Was sind Fehler?

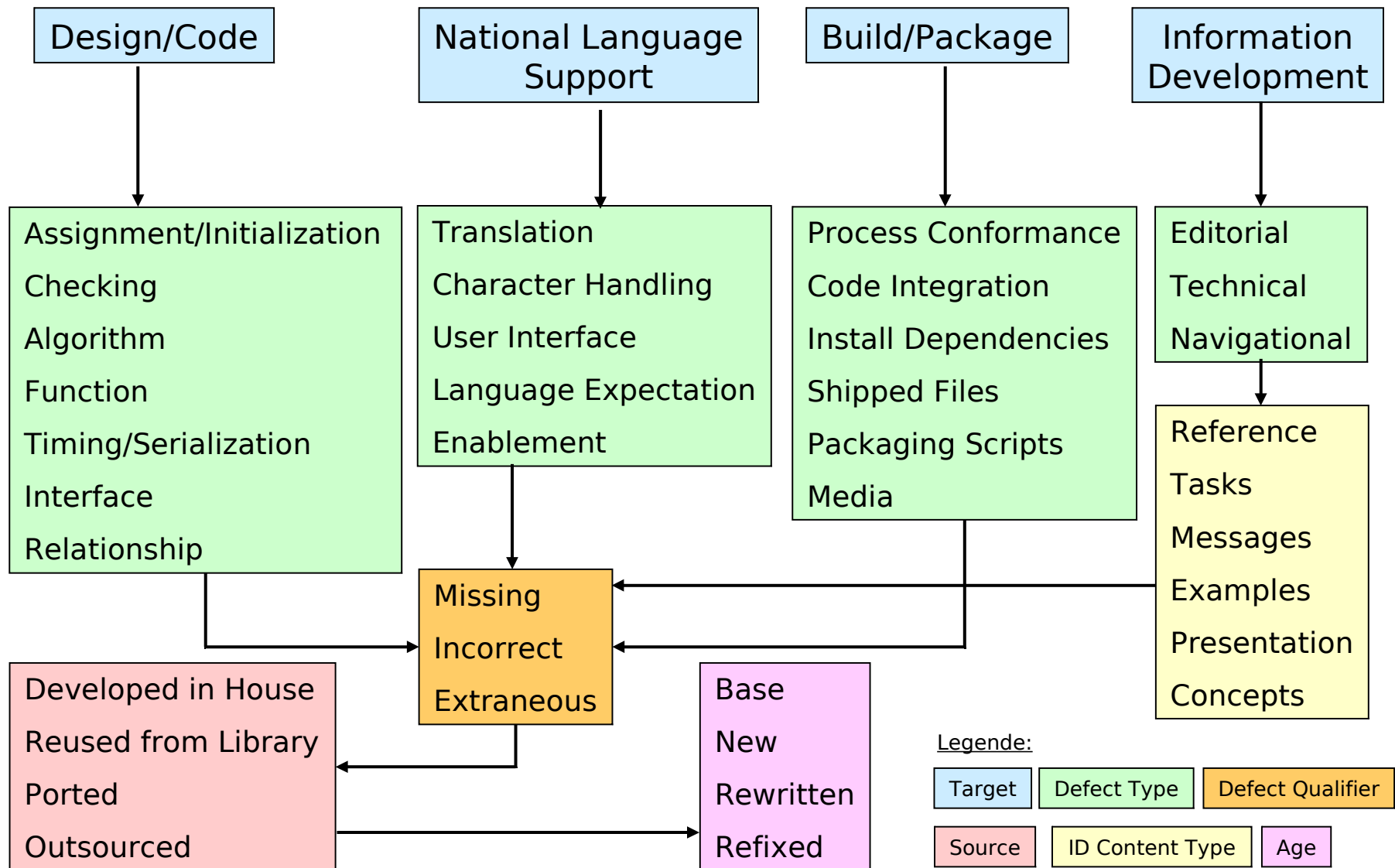
## Fehler als zentraler Begriff

**Konstruktives Ziel:** Entwicklung fehlerfreier Software-Komponenten

**Analytisches Ziel:** Nachweis der Fehlerfreiheit von Software-Komponenten

Als **Fehler** wird

- jede Abweichung der tatsächlichen Ausprägung eines Qualitätsmerkmals von der vorgesehenen Soll-Ausprägung,
- jede Inkonsistenz zwischen der Spezifikation und der Implementierung und
- jedes strukturelle Merkmal des Programmtexts, das ein fehlerhaftes Verhalten des Programms verursacht, bezeichnet.



## Analyseverfahren

Die Art und die Eigenschaften der Systemkomponenten bestimmen die Auswahl geeigneter analytischer Maßnahmen:

- Funktionale Module
- Datenobjekt-Module
- Datentyp-Module
- Klassen

Unterschied der eingesetzten analytischen Maßnahmen insbesondere zwischen Komponenten mit komplexen Kontrollstrukturen und Komponenten mit komplexen Datenstrukturen.

**Testende Verfahren** haben das Ziel, Fehler zu erkennen

- Dynamische Testverfahren
- Statische Verfahren

**Verifizierende Verfahren** sollen die Korrektheit einer Komponente beweisen

- Verifikation
- Symbolische Ausführung

**Analysierende Verfahren** sollen Eigenschaften von Komponenten darstellen oder vermessen

- Analyse der Bindungsart
- Metriken
- Grafiken und Tabellen
- Anomalienanalyse

## Testende Verfahren - Prinzipieller Zugang

- Das tatsächliche Verhalten wird **stichprobenartig** an Hand einer Menge von **Testfällen** untersucht und die Ergebnisse mit den erwarteten Ergebnissen (Spezifikation, Normen) verglichen und dokumentiert.
- Testfälle werden entsprechend den Testzielen speziell ausgewählt.
- Einsatz um
  - Programmfehler aufzufinden (Bugs)
  - Wiederauftreten von Fehlern zu vermeiden (Regressionstests)
- Fehlerfreiheit ist plausibel, aber nicht garantiert.
- Abzugrenzen von
  - **Verifikation** als strengem Korrektheitsbeweis
  - **Ausprobieren** als einer Entwicklungsmethode (trial and error)



## Begriff des Programms

- Programm = schrittweise Transformation einer Menge von Eingabedaten in eine Menge von Ausgabedaten nach einem vorgegebenen Algorithmus
- Black-Box-Betrachtung:  $f: X \rightarrow Y$ 
  - Spezifikation, funktionale Korrektheit
- Transformation = Abarbeiten einzelner Programmschritte, in denen die Daten entsprechend den angegebenen Instruktionen verändert werden.
  - zustandsorientierte Betrachtung: Datenfluss
  - übergangsorientierte Betrachtung: Kontrollfluss
- Programmstatus = Zustand der Gesamtheit der durch das Programm manipulierten Daten
  - Anweisungen und Deklarationen
  - Variablenbegriff als Wertcontainer
    - Sichtbarkeit und Lebensdauer
    - Compilezeit und Laufzeit

## Statische und dynamische Testverfahren

### Dynamische Testverfahren

- übersetztes und ausführbares Programm wird mit konkreten Eingabewerten ausgeführt
- evtl. Instrumentierung des Programms
- Test in realer Laufzeitumgebung
- Stichprobenverfahren (Testfälle)
- Ziele: Finden von Fehlern (debugging), Finden und Optimieren laufzeitkritischer Bereiche (profiling)
- Korrektheit kann so nicht bewiesen werden
- Klassifikation nach Herkunft der Testfälle

### Statische Testverfahren

- Analyse des Quellcodes, evtl. testfallorientiertes Durchgehen
- typische Verfahren: manuelle Prüfmethode

## Glossar

### **Prüfling, Testling** oder **Testobjekt**

- das zu testende Programm oder die Komponente (Prüfling als allgemeiner Begriff)

### **Testverfahren**

- grundlegendes Verfahren, mit dem einzelne Eigenschaften eines Testlings durch eine geeignete Anzahl von Testfällen untersucht werden

### **Testfall**

- Satz von Testdaten, der die vollständige Ausführung eines zu testenden Programms bewirkt

### **Testdatum**

- Eingabewert, der einen Eingabeparameter des Testobjekts instanziiert

#### **Testtreiber**

- Testrahmen, mit dem eine nicht extern zugängliche Funktion interaktiv aufgerufen werden kann.
- Können durch Testwerkzeuge automatisch generiert werden.

#### **Instrumentierung**

- Der Quellcode des Testlings wird für die Analyse der Testfälle mit zusätzlichem Protokollcode versehen oder dieser aktiviert.
- Instrumentierter Testling wird übersetzt. Protokoll enthält Informationen über das Laufzeitverhalten des Testlings während des Abarbeitens der einzelnen Testfälle.

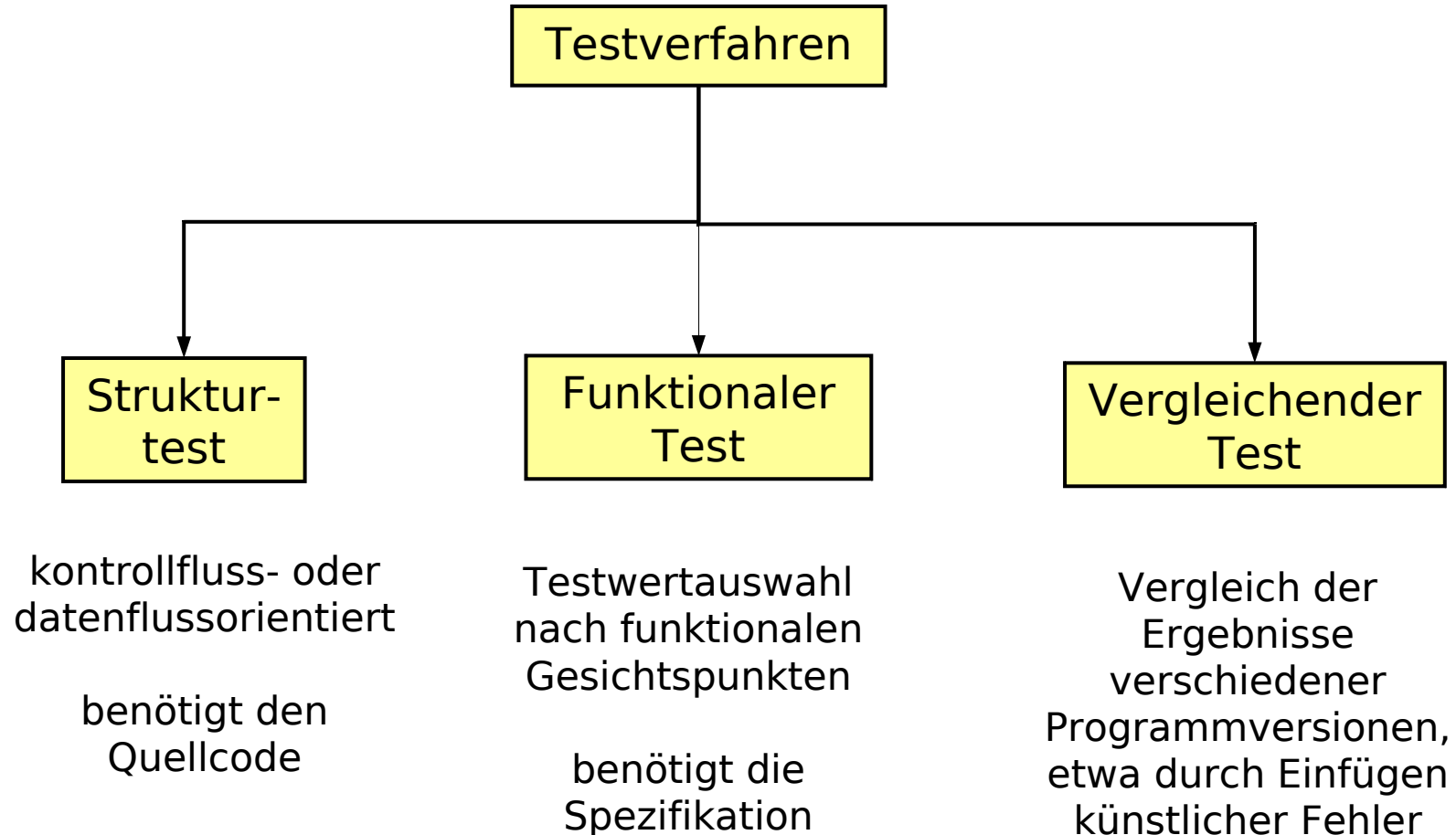
#### **Überdeckungsgrad**

- Maß für den Grad der Vollständigkeit eines Tests bezogen auf ein bestimmtes Testverfahren

#### **Regressionstest**

- automatische werkzeuggestützte Neuausführung bereits durchlaufener Tests nach Änderungen am Testling.

### Klassifikation testender Verfahren



- **Strukturtest**

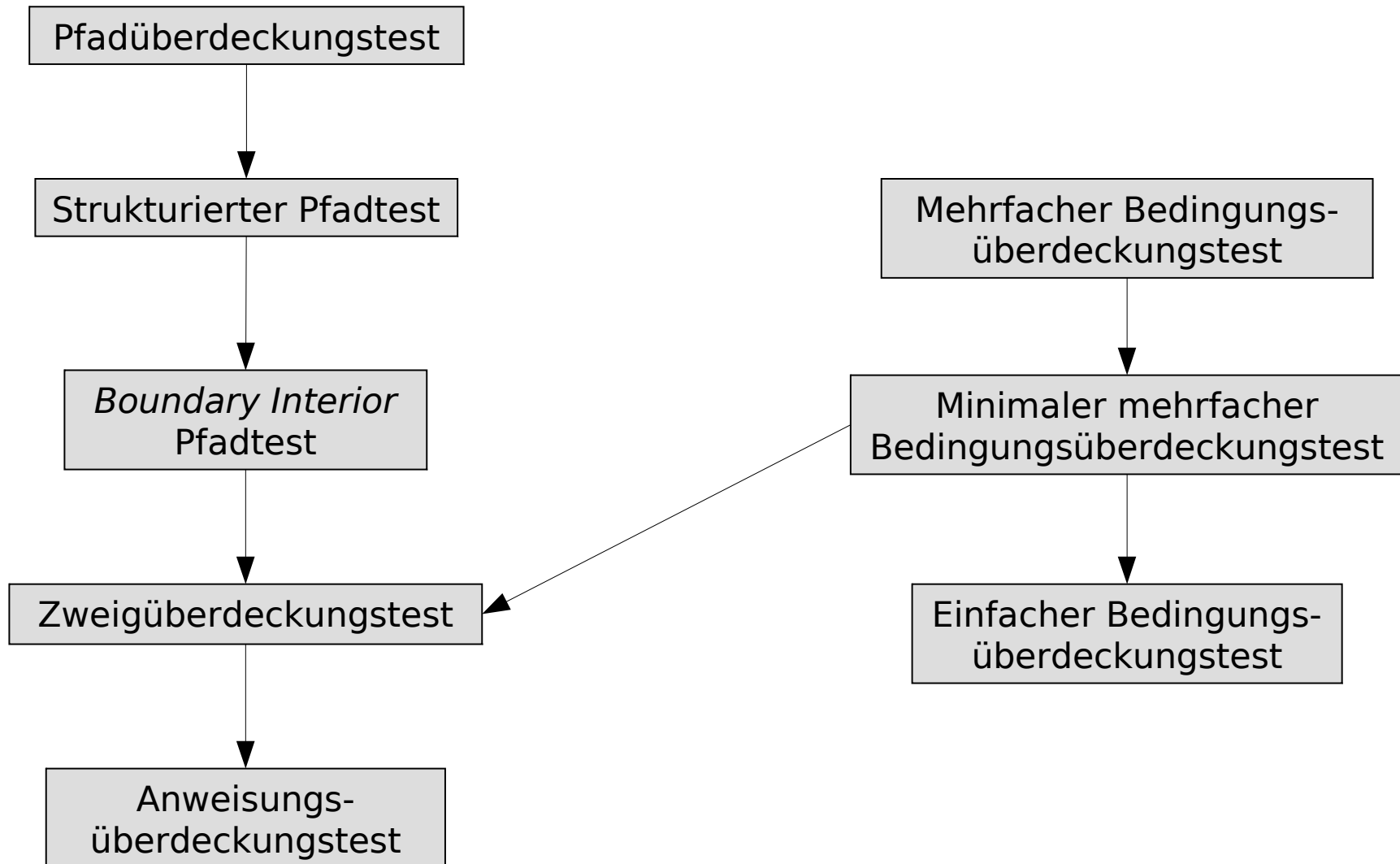
- kontrollflussorientiert (Monitoring des Programmflusses)
  - Anweisungsüberdeckung
  - Zweigüberdeckung
  - Pfadüberdeckung (volle Version kombinatorisch exponentiell!)
  - Bedingungsüberdeckung
- datenflussorientiert (Monitoring der Programmdaten)

- **Funktionaler Test**

- funktionale Äquivalenz
- Grenzwertanalyse
- Test spezieller Werte (Szenarios)
- Zufallstest
- zustandsübergangsgetriebene Tests

## Überblick

- Basieren auf der Kontrollstruktur des zu prüfenden Programms
- Gehören zu den **Strukturtest-**, **White Box-** oder **Glass Box-Verfahren**
- **Ziel** ist, mit möglichst wenigen Testfällen alle Anweisungen, Zweige oder Pfade zu durchlaufen
- Sorgfältige Auswahl der Testfälle, um mögliche strukturelle Probleme genau zu überdecken.





## Ein Beispiel

**/\* Funktion:** ZaehleZchn

**Aufgabe:** Die Prozedur ZaehleZchn zählt die Zeichen sowie Vokale in einem String. Dazu werden die Klassenvariablen *Gesamtzahl* und *VokalAnzahl* der Klasse *count* inkrementiert.

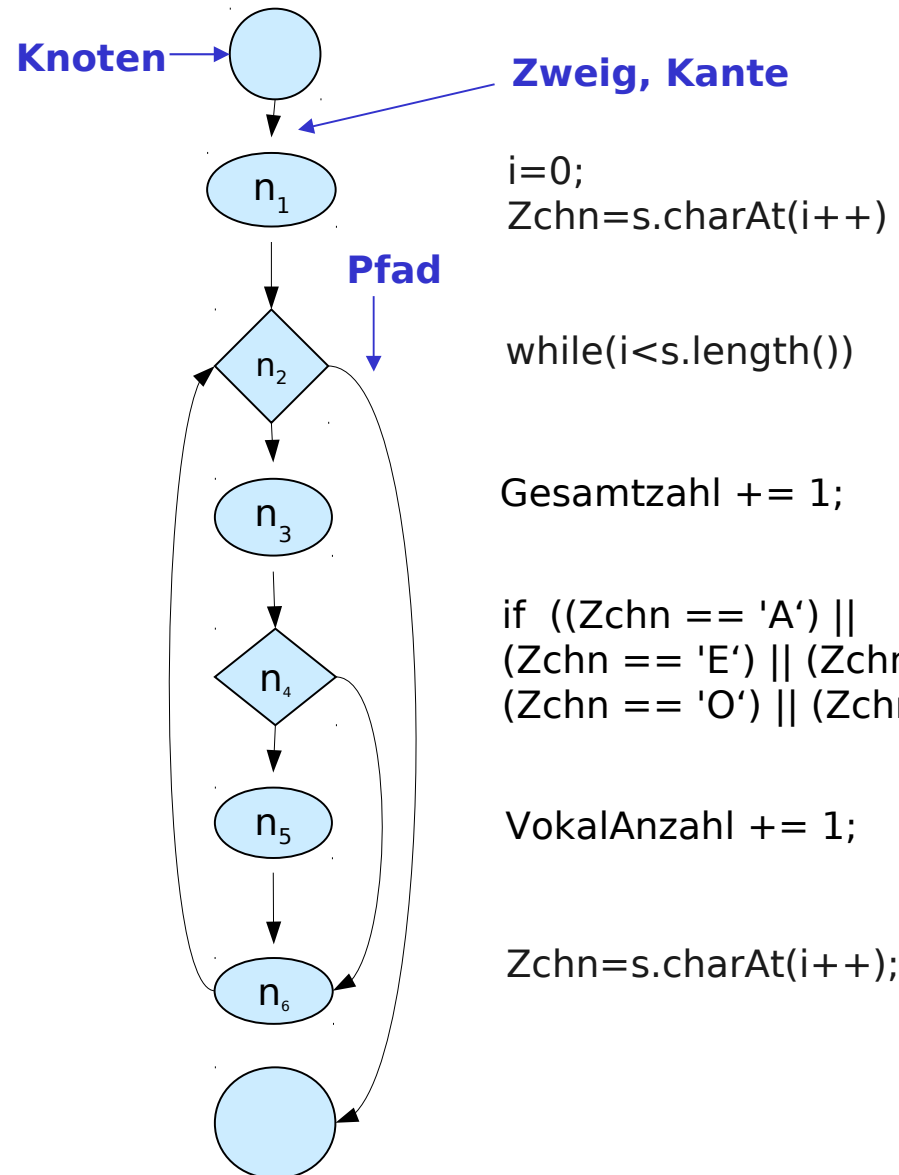
**Randbedingung:** Die Funktion stellt sicher, dass Gesamtzahl stets größer oder gleich VokalAnzahl ist. \*/

```
public static void main(String[] argv) {  
    Gesamtzahl=0;  
    VokalAnzahl=0;  
    for(int i=0; i<argv.length; i++)  
        zaehleZeichen(argv[i].toUpperCase());  
    System.out.println("Argumente enthalten "+Gesamtzahl+  
        " Zeichen, davon "+VokalAnzahl+" Vokale");  
}
```

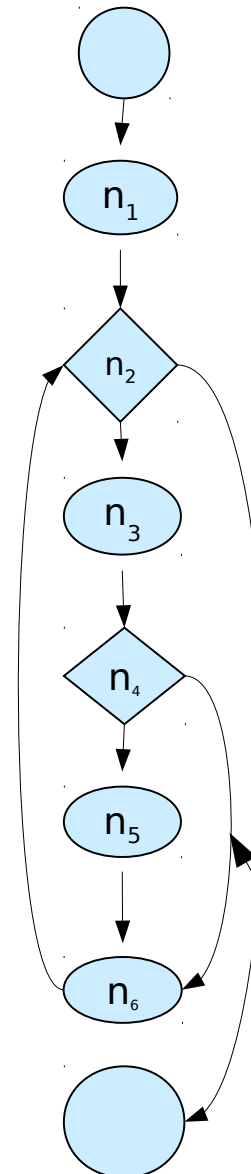
```
public class count {  
  
    static int Gesamtzahl;  
    static int VokalAnzahl;  
  
    static void zaehleZeichen(String s) {  
        int i=0;  
        char Zchn=s.charAt(i++);  
        while(i<s.length()) {  
            Gesamtzahl+=1;  
            if ((Zchn == 'A') || (Zchn == 'E') || (Zchn == 'I')  
                || (Zchn == 'O') || (Zchn == 'U'))  
                VokalAnzahl+=1;  
            Zchn=s.charAt(i++);  
        }  
    }  
}
```

## Kontrollflussgraph

- auch Programmablaufplan
- Gerichteter Graph, bestehend aus Knoten und Kanten
- Besitzt einen Start- und einen Endknoten
- Folge von Knoten und Kanten vom Start- zum Endknoten heißt Pfad



- Auch  $C_0$ -Test ( $C = \text{Coverage}$ ) genannt
- Verlangt Ausführung aller Anweisungen (**Knoten**)
- Testmenge: {„A“}
- Ein Test reicht aus. Testpfad enthält alle Knoten, aber nicht alle Kanten



```
i=0;  
Zchn=s.charAt(i++)
```

```
while(i<s.length())
```

```
Gesamtzahl += 1;
```

```
if ((Zchn == 'A') ||  
    (Zchn == 'E') || (Zchn == 'I') ||  
    (Zchn == 'O') || (Zchn == 'U'))
```

```
VokalAnzahl += 1;
```

```
Zchn=s.charAt(i++);
```

Zweig ( $n_4$ ,  $n_6$ ) wird nicht  
notwendig ausgeführt

### 2.1 Anweisungsüberdeckungstest

#### Eigenschaften:

- 100prozentige Überdeckung bedeutet: jede Anweisung wurde mindestens einmal ausgeführt
- Wesentliche Aspekte eines Programms werden nicht geprüft

**Metrik:** *Überdeckungsgrad* =

*Zahl der ausgeführten Anweisungen / Gesamtzahl aller Anweisungen*

#### Leistungsfähigkeit:

- Niedrigste Fehleridentifizierungsquote, 18 % der Fehler werden entdeckt

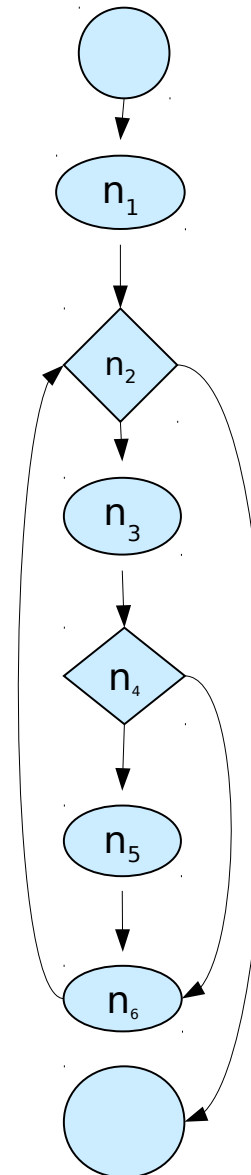
#### Bewertung:

- *Notwendiges*, aber nicht hinreichendes Testkriterium
- Nicht ausführbarer Code kann gefunden werden
- Eigenständig nicht geeignet, aber in Kombination mit anderen Verfahren

## 5. Testende Verfahren

### 2.2 Zweigüberdeckungstest

- Auch  $C_1$ -Test genannt
- Verlangt Ausführung aller Zweige (**Kanten**)
- Testmenge: {„AB“}
- Ein Test reicht aus. Testpfad enthält alle Kanten.  
Insbesondere sind die Kanten  $n_4 - n_5 - n_6$  (Durchlauf mit „A“) sowie  $n_4 - n_6$  (Durchlauf mit „B“) abgedeckt
- Zweigüberdeckung wird auch als Entscheidungsüberdeckung bezeichnet



```
i=0;  
Zchn=s.charAt(i++)
```

```
while(i<s.length())
```

```
Gesamtzahl += 1;
```

```
if ((Zchn == 'A') ||  
(Zchn == 'E') || (Zchn == 'I') ||  
(Zchn == 'O') || (Zchn == 'U'))
```

```
VokalAnzahl += 1;
```

```
Zchn=s.charAt(i++);
```

### 2.2 Zweigüberdeckungstest

#### Eigenschaften:

- 100prozentige Überdeckung bedeutet: jeder Zweig wurde mindestens einmal durchlaufen.
- Fehlende Zweige können nicht direkt entdeckt werden.

**Metrik:** *Überdeckungsgrad* =

*Zahl der erfassten Kanten / Gesamtzahl aller Kanten*

#### Leistungsfähigkeit:

- Höhere Fehleridentifizierungsquote als Anweisungsüberdeckung, ca. 34% der Fehler werden entdeckt, 79% der Kontrollflussfehler und 20% der Berechnungsfehler
- Leistungsfähigkeit schwankt in weitem Bereich zwischen 25% bis 75%

#### **Bewertung:**

- Gilt als *das* minimale Testkriterium
- Nicht ausführbare Zweige können gefunden werden
- Korrektheit des Kontrollflusses an Verzweigungen wird kontrolliert
- Gezielte Optimierung häufig durchlaufener Programmteile möglich

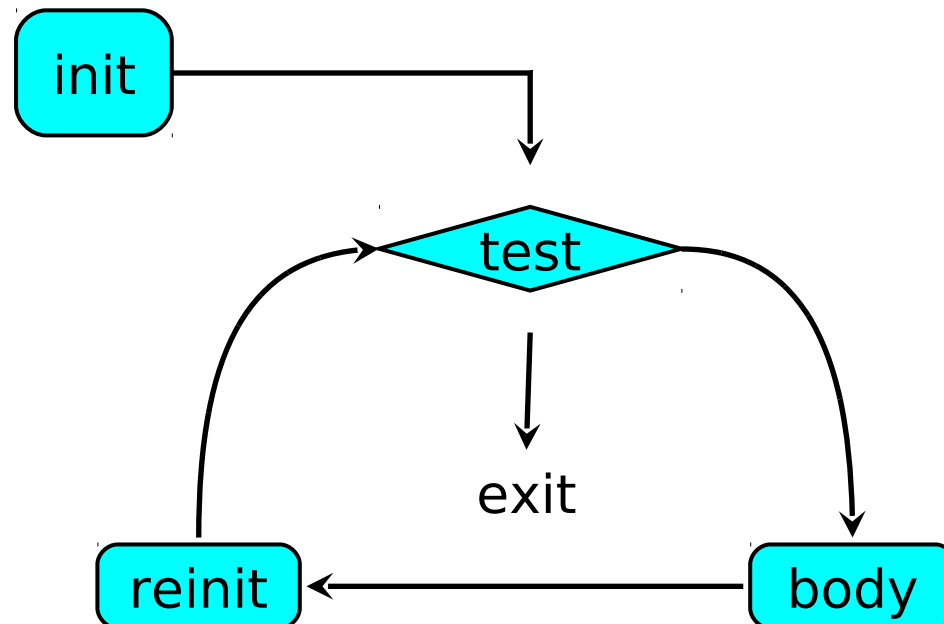
#### **Nachteile:**

- Unzureichend für den Test von Schleifen
- Keine Berücksichtigung von Abhängigkeiten zwischen Zweigen
- Nicht geeignet für den Test komplexer Bedingungen
- Lösung der beiden ersten Nachteile: Pfadüberdeckungstest
- Lösung des letzten Nachteils: Bedingungsüberdeckungstests



### Testen von Schleifen

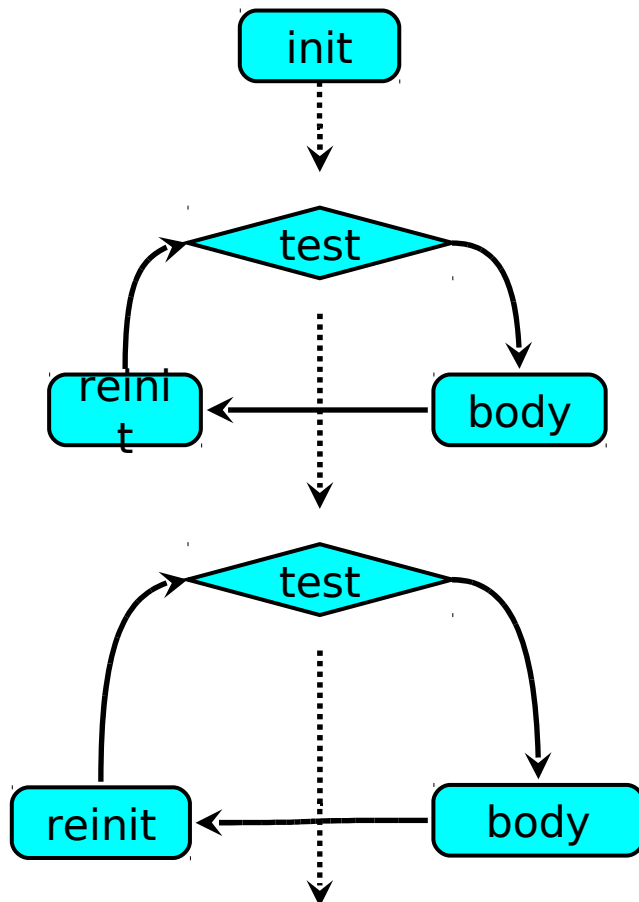
- Anweisungs- und Zweigüberdeckung haben Probleme mit dem Test von Schleifen
- Typische Schleifenstruktur:



## 5. Testende Verfahren

### 2.3. Pfadüberdeckungstests

#### Problem des Wachstums der Anzahl der Pfade



- Zahl der Testfälle von while-Schleifen ist nicht vorab bekannt oder nicht beschränkt
- Zahl der Testfälle konsekutiver Schleifen ist multiplikativ:  
 $N = N_1 * N_2$
- Schleife mit Verzweigung im Körper: Ist N Schranke für Zahl der Schleifendurchläufe, so sind im worst case  $2^N$  Testfälle erforderlich (exponentielles Wachstum) – siehe das Beispiel auf der nächsten Folie

## 5. Testende Verfahren

### 2.3 Pfadüberdeckungstest

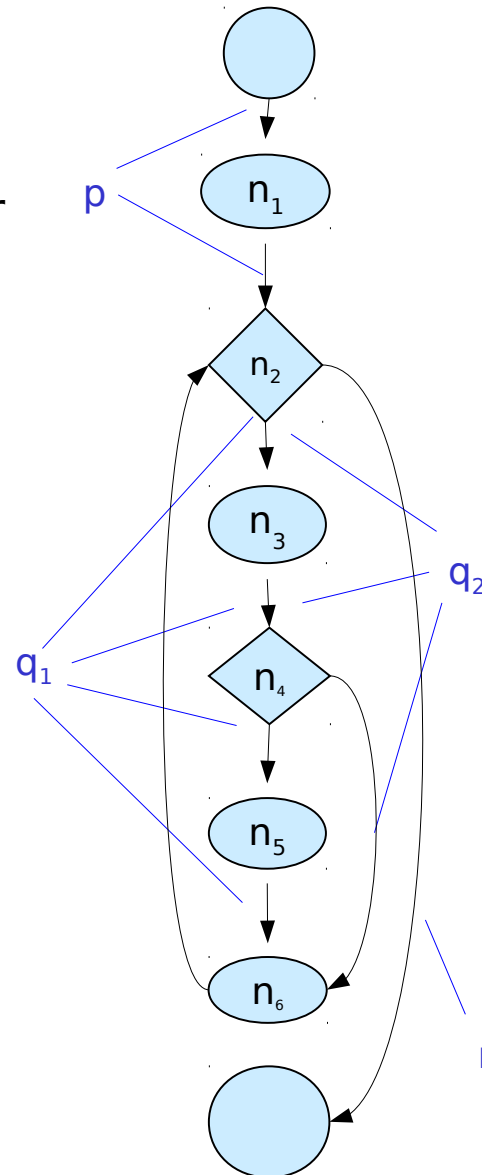
## Brute force: Testbeispiele zur Ausführung **aller** unterschiedlichen Pfade im Programm

## Beispiel:

Jeder Schleifendurchlauf trägt entweder zu Vokal oder zu Konsonant bei.

Pfade stehen in eindeutiger Korrespondenz zu den Worten über dem Alphabet  $\{V, C\}$ .

Anzahl der Testpfade bei  
Beschränkung auf N  
Schleifendurchläufe ist also  $2^N - 1$ .



```
i=0;
Zchn=s.charAt(i++)
```

```
while(i<s.length())
```

Gesamtzahl += 1;

```
if ((Zchn == 'A') ||
    (Zchn == 'E') || (Zchn == 'I') ||
    (Zchn == 'O') || (Zchn == 'U'))
```

```
VokalAnzahl += 1;
```

```
Zchn=s.charAt(i++);
```

## Allgemeiner Pfadüberdeckungstest

### Eigenschaften:

- Pfadanzahl bei unbestimmten Wiederholungen (while, ...) nicht beschränkt.
- Ein Teil der konstruierbaren Pfade ist nicht ausführbar, da sich Bedingungen gegenseitig ausschließen können.

### Leistungsfähigkeit:

- *Mächtigstes* kontrollflussorientiertes Testverfahren
- In einer vergleichenden Studie [Howden 78a, b, c] Erkennung von 18 von 28 Fehlern, um den Faktor 3 höhere Erkennung als Zweigüberdeckung
- Höhere Erfolgsquote nur durch Kombination mit anderen Verfahren

### Bewertung:

- Praktische Bedeutung höchstens für Programmteile ohne Schleifen

### Boundary Interior Test

- **Idee:** Unterscheide Durchlauf nur einmal, einmal, mehrmals
- Eingeschränkter Pfadüberdeckungstest, für Programme ohne Schleifen sogar identisch
- Schleifenabweisungstest sowie zwei Gruppen von Pfaden für jede Schleife im Programm:
  - Grenztest-Gruppe (*boundary tests*):  
Pfade, welche die Schleife nur einmal durchlaufen  
Testet Kombination `init -- body`
  - Gruppe zum Test der Reinitialisierung (*interior tests*):  
Pfade, welche die Schleife mindestens einmal wiederholen  
Testet Kombination `reinit -- body`
- Praktisch anwendbar (im Gegensatz zum allgemeinen Pfadüberdeckungstest)
- **Strukturierter Pfadüberdeckungstest** als Verallgemeinerung

### Bedingungsüberdeckungstest

- **Ziel:** Analysiert und überprüft die Testbedingungen in Schleifen und Verzweigungen aus struktureller Perspektive
- **Ansatz:** Bedingung ist logische Verknüpfung atomarer boolescher Funktionen. Testfälle sollen verschiedene Kombinationen dieser atomaren Werte überdecken. Analyse des Termbaums.

- 3 verschiedene Varianten:

Einfache Bedingungsüberdeckung:

Überdeckt alle atomaren Werte einzeln (im Extremfall  $2^b$  Testfälle,  $b$  = Anzahl der Blätter im Termbaum)

Mehrfach-Bedingungsüberdeckung:

Überdeckt alle möglichen Kombinationen atomarer Werte (im Extremfall  $2^b$  Testfälle)

Minimale Mehrfach-Bedingungsüberdeckung:

Jede Bedingung (ob atomar oder nicht) muss für sich überdeckt sein (im Extremfall  $2^k$  Testfälle,  $k$  = Anzahl der Knoten im Termbaum)

#### **Bewertung:**

- Einfache Bedingungsüberdeckung:
  - weder Zweig- noch Anweisungsüberdeckung enthalten
  - sehr schwaches Kriterium
- Mehrfach-Bedingungsüberdeckung:
  - Zweigüberdeckung ist enthalten, jedoch sehr aufwändig
- Minimale Mehrfach-Bedingungsüberdeckung:
  - Wie einfache BÜ, aber beachtet die hierarchische Struktur
  - Es müssen nicht nur die Blätter (Atome), sondern auch alle Teilbäume des Ausdrucksbaums überdeckt sein
  - Sinnvolle Weiterentwicklung des Zweigtests (entspricht Überdeckung des Wurzelknotens)

#### **Auswahl geeigneter kontrollflussorientierter Testverfahren**

- Liegt Programm im Quellcode vor?
  - Nein: Kein Strukturtestverfahren möglich
- Besteht Programm nur aus Anweisungen?
  - Anweisungsüberdeckung sinnvoll
- .. nur Anweisungen und Verzweigungen mit atomaren Testbedingungen
  - Zweigüberdeckung sinnvoll
- .. Anweisungen, Verzweigungen und Schleifen mit atomaren Testbedingungen
  - Pfadüberdeckung, je nach Komplexität der Schleifensemantik doppelte oder mehrfache Schleifenüberdeckung
- ... komplexe Testbedingungen
  - Kopplung geeigneter Verfahren mit Bedingungsüberdeckung