Software-Qualitätsmanagement

Kernfach Angewandte Informatik

Sommersemester 2005

Prof. Dr. Hans-Gert Gräbe

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) vergleichen und dokumentiert.
- Testfälle werden entsprechend den Testzielen speziell ausgewählt.
- Einsatz um
  - Programmfehler aufzufinden (Bugs)
  - Wiederauftreten von Fehlern zu vermeiden (Regressionstests)
- Abzugrenzen von
  - **Verifikation** als strengem Korrektheitsbeweis
  - **Ausprobieren** als einer Entwicklungsmethode (trial and error)

Begriff des Programms

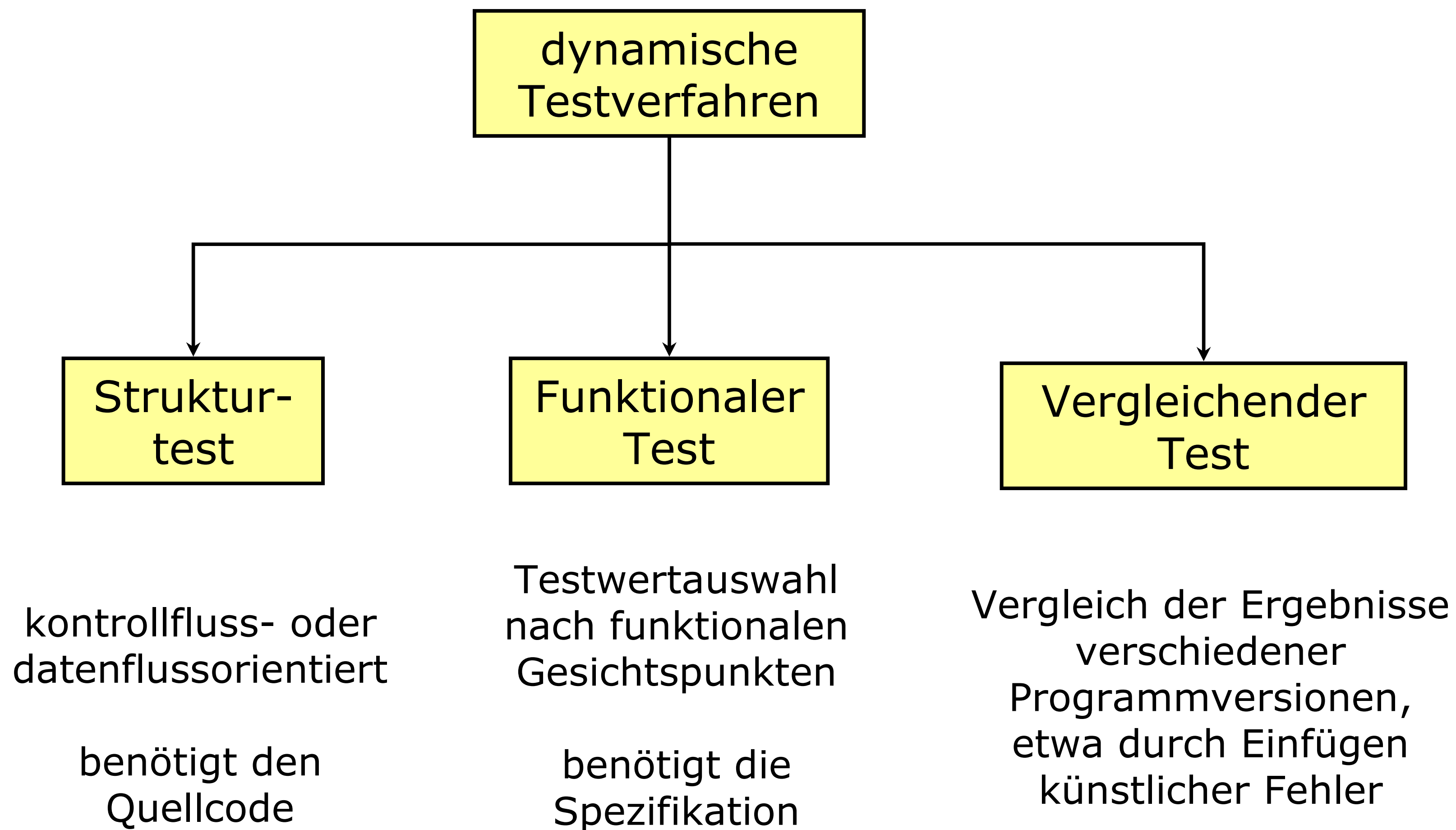
- Programm = schrittweise Transformation einer Menge von Eingabedaten in eine Menge von Ausgabedaten nach einem vorgegebenen Algorithmus
- Black-Box-Betrachtung: f: X -> Y
  - Spezifikation, funktionale Korrektheit
- Transformation = Abarbeiten einzelner Programmschritte, in denen die Daten entsprechend 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

Klassifikation testender Verfahren

- 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 Prüfmethoden

UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

Klassifikation dynamischer Verfahren



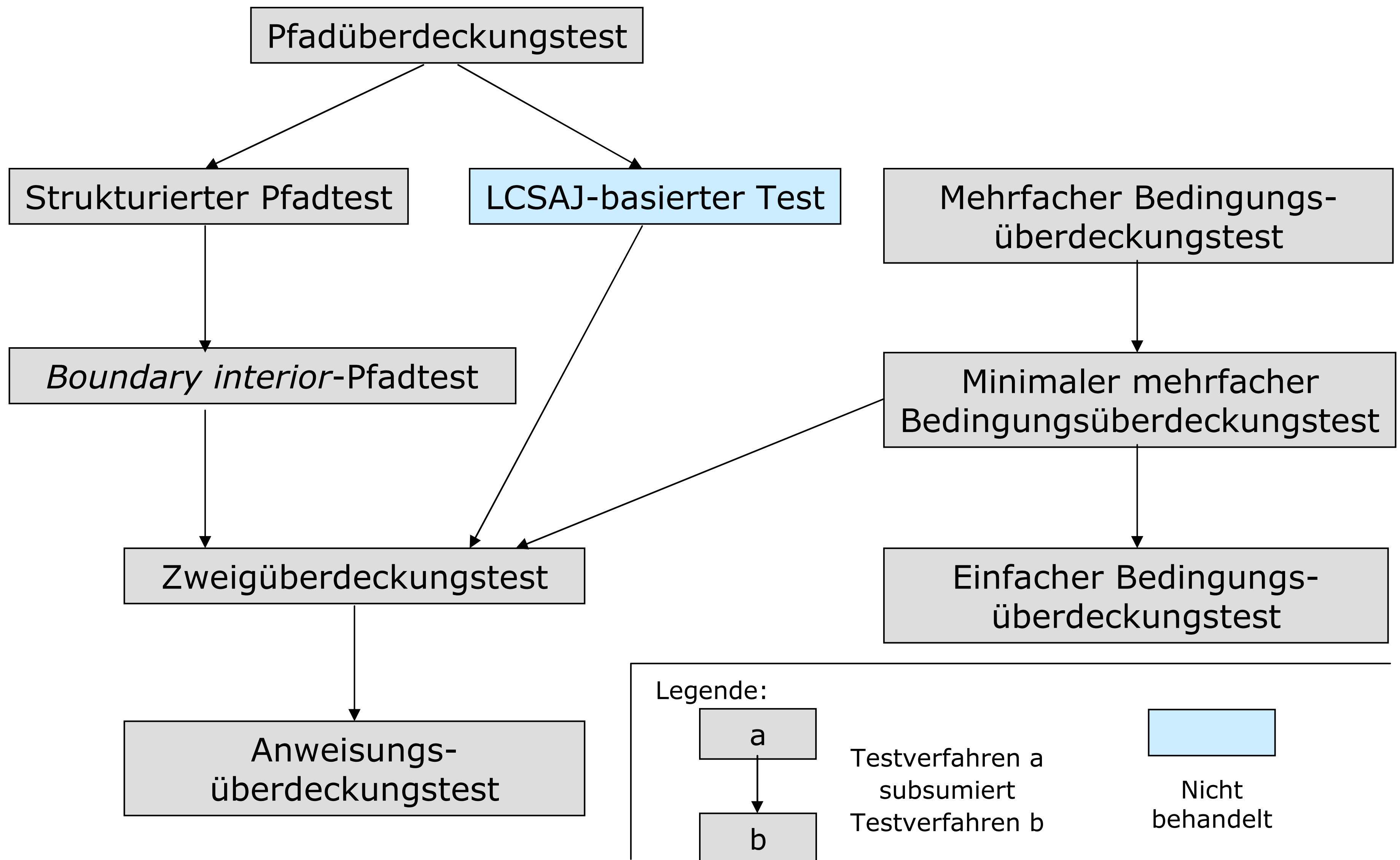
UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

- **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
- Sind dynamische Testverfahren, d.h. das Programm wird ausgeführt
- **Ziel** ➔ mit wenigen Testfällen alle Anweisungen, Zweige oder Pfade zu durchlaufen
- Sorgfältige Auswahl der Testfälle, um mögliche strukturelle Probleme genau zu überdecken.



Pfadüberdeckungstest
Strukturierter Pfadtest
LCSAJ-basierter Test
Mehrfacher Bedingungs-überdeckungstest
Boundary interior-Pfadtest
Minimaler mehrfacher Bedingungsüberdeckungstest
Zweigüberdeckungstest
Einfacher Bedingungs-überdeckungstest
Anweisungs-überdeckungstest
Legende:
a
b
Testverfahren a subsumiert Testverfahren b
Nicht behandelt

UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

Ein Beispiel

/* **Programmname**: ZaehleZchn

Aufgabe: Die Prozedur ZaehleZchn liest solange Zeichen von der Tastatur, bis ein Zeichen erkannt wird, das kein Großbuchstabe ist, oder Gesamtzahl den größten durch den Datentyp int darstellbaren Wert INT_MAX erreicht.

Ist ein gelesenes ein Großbuchstabe zwischen A und Z, dann wird Gesamtzahl um eins erhöht. Ist der Großbuchstabe ein Vokal, dann wird auch VokalAnzahl um eins erhöht.

Ein-/Ausgabeparameter sind Gesamtzahl und VokalAnzahl.

Randbedingung: Das aufrufende Programm stellt sicher, dass Gesamtzahl stets größer oder gleich VokalAnzahl ist.

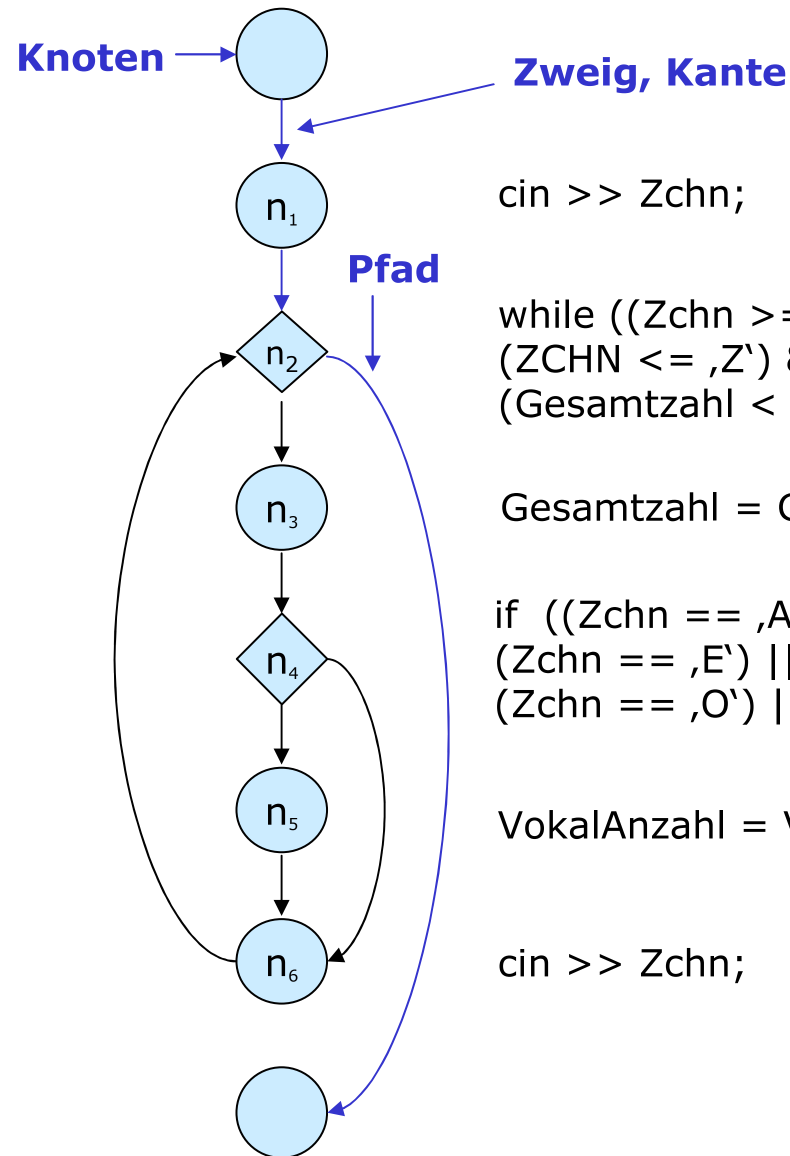
*/

```
void ZaehleZchn(int &VokalAnzahl, int &Gesamtzahl);

#include „ZaehleZchn.h“
#include <LIMITS.H>
#include <iostream.h>

void ZaehleZchn(int &VokalAnzahl, int &Gesamtzahl) {
    char Zchn;
    cin >> Zchn;
    while ((Zchn >= ‚A‘) && (ZCHN <= ‚Z‘) && (Gesamtzahl < INT_MAX)) {
        Gesamtzahl = Gesamtzahl + 1;
        if  ((Zchn == ‚A‘) || (Zchn == ‚E‘) || (Zchn == ‚I‘) ||
        (Zchn == ‚O‘) || (Zchn == ‚U‘)) {
                VokalAnzahl = VokalAnzahl + 1;
        }
        cin >> Zchn;
    }
}
```

```
void main()
{
    int AnzahlVokale = 0;
    int AnzahlZchn = 0;
    cout << „Programm ZaehleZchn“ << endl;
    cout << „Zeichen bitte eingeben:“ << endl;
    ZaehleZchn(AnzahlVokale, AnzahlZchn);
    cout << „Anzahl Vokale: “ << AnzahlVokale << endl;
    cout << „Anzahl Zeichen: “ << AnzahlZchn << endl;
}
```

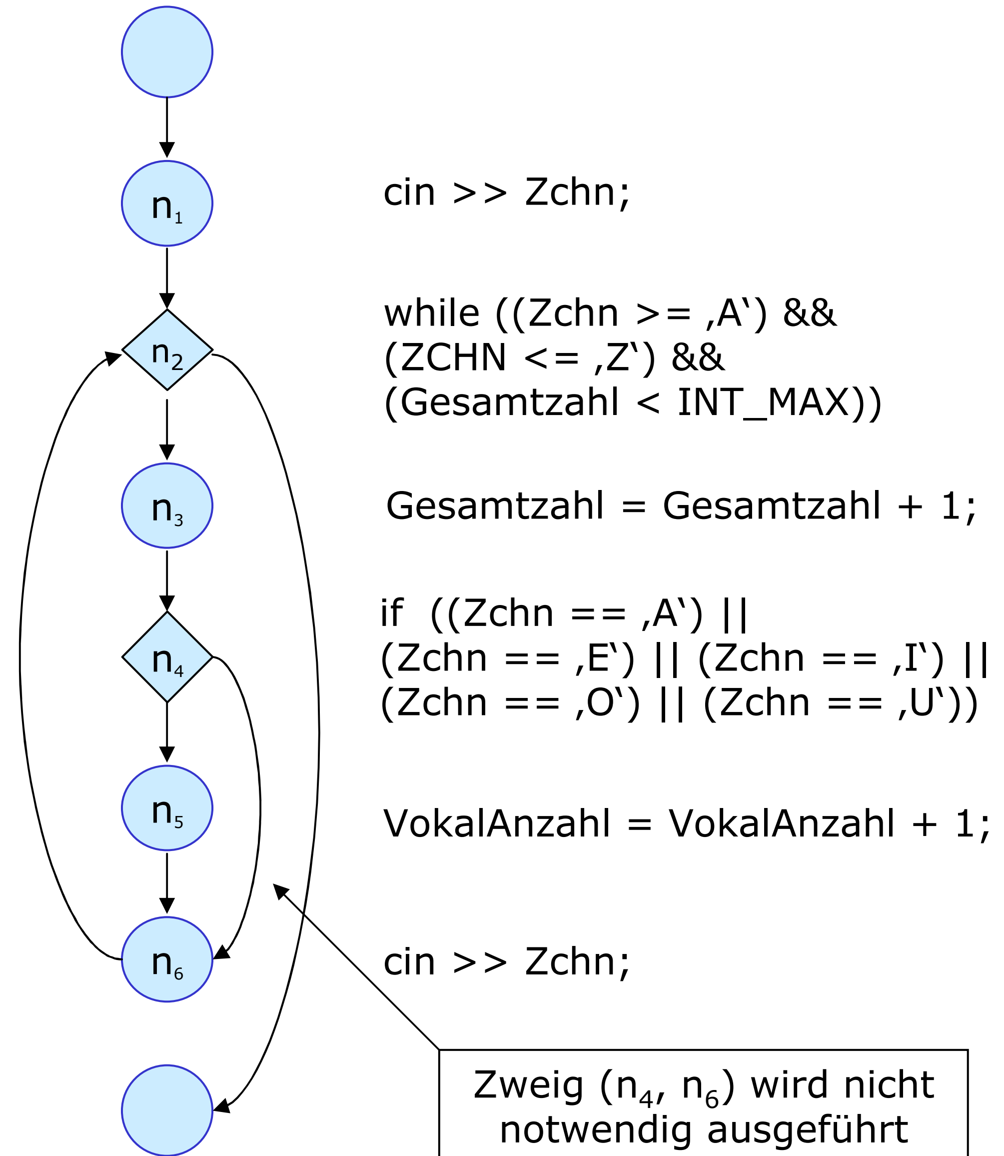
Kontrollflussgraph

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




```
cin >> Zchn;

while ((Zchn >= ‚A‘) &&
(ZCHN <= ‚Z‘) &&
(Gesamtzahl < INT_MAX))

Gesamtzahl = Gesamtzahl + 1;

if  ((Zchn == ‚A‘) ||
(Zchn == ‚E‘) || (Zchn == ‚I‘) ||
(Zchn == ‚O‘) || (Zchn == ‚U‘))

VokalAnzahl = VokalAnzahl + 1;

cin >> Zchn;
```

- Auch C_0 – Test (C = *Coverage*) genannt
- Verlangt Ausführung aller Anweisungen (**Knoten**)
- Testmenge: {[„A“, „1“]}
- Ein Test reicht aus. Testpfad enthält alle Knoten, aber nicht alle Kanten



Eigenschaften:

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

Metrik: *Überdeckungsgrad =*
Zahl der ausgeführten Anweisungen / Gesamtzahl aller Anweisungen

Leistungsfähigkeit:

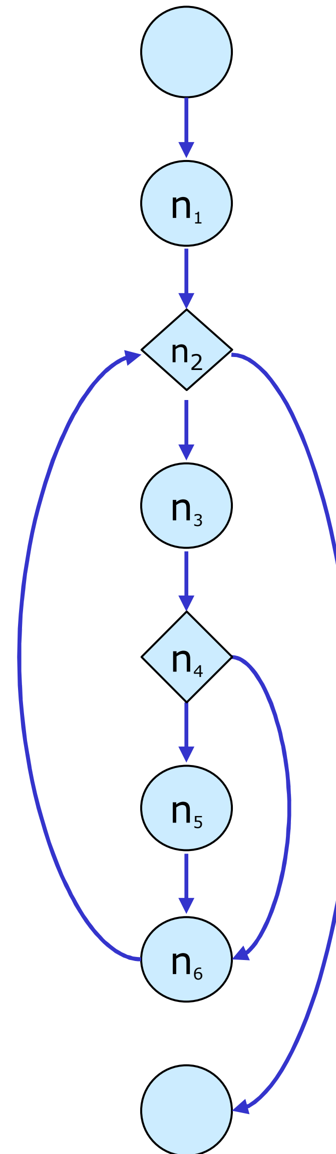
- Niedrigste Fehleridentifizierungsquote, 18 % der Fehler werden entdeckt

Bewertung:

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

- Auch C_1 – Test genannt
- Verlangt Ausführung aller Zweige (**Kanten**)
- Testmenge: {[„A", „B", „1"]}
- 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 Entscheidungs-überdeckung bezeichnet




```
cin >> Zchn;

while ((Zchn >= ‚A') &&
(ZCHN <= ‚Z') &&
(Gesamtzahl < INT_MAX))

Gesamtzahl = Gesamtzahl + 1;

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

VokalAnzahl = VokalAnzahl + 1;

cin >> Zchn;
```

UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

Eigenschaften:

- 100prozentige Überdeckung ➔ 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%

UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

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

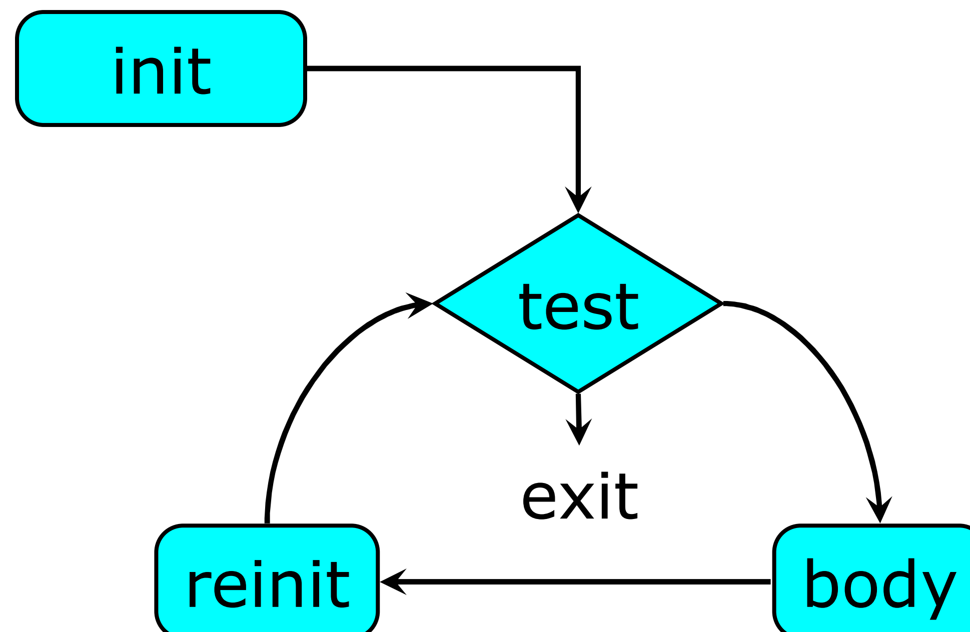
Nachteile

- Unzureichend für den Test von Schleifen
- Keine Berücksichtigung von Abhängigkeiten zwischen Zweigen
- Nicht geeignet für den Test komplexer Bedingungen

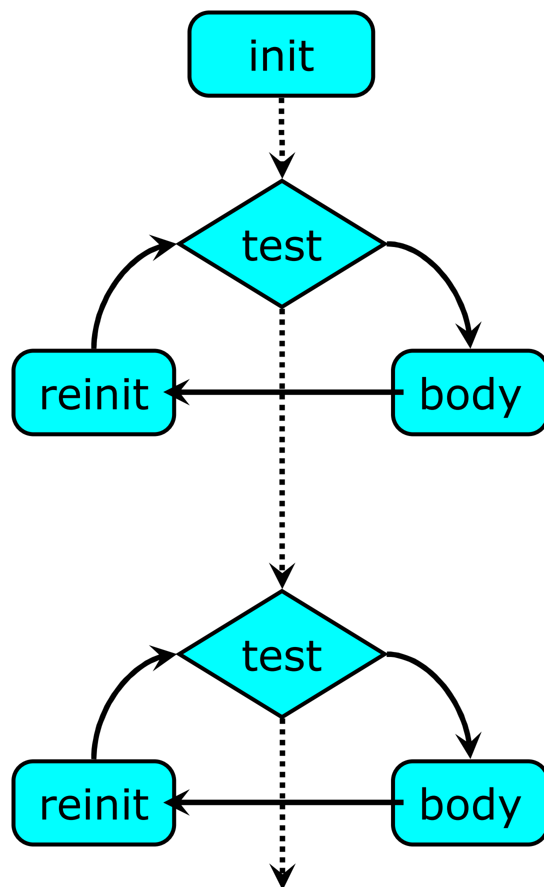
- Lösung der beiden ersten Nachteile ➔ Pfadüberdeckungstest
- Lösung des letzten Nachteils ➔ Bedingungsüberdeckungstests

Testen von Schleifen

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



Problem des Wachstums der Anzahl der Pfade



(1) Zahl der Testfälle von while-Schleifen ist nicht vorab bekannt oder nicht beschränkt

(2) Zahl der Testfälle konsekutiver Schleifen ist multiplikativ

(3) Schleife mit Verzweigung im Körper: Ist N Schranke für Zahl der Schleifendurchläufe, so sind im worst case 2^N Testfälle erforderlich (exponentielles Wachstum)

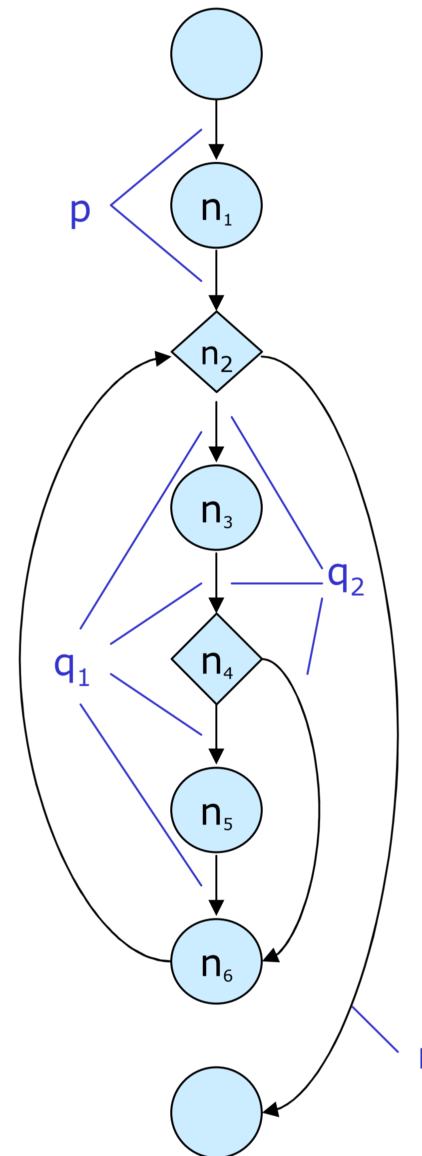
<u>Brute force</u>: Testbeispiele zur Ausführung **aller** unterschiedlichen Pfade im Programm

Beispiel:

Jeder Schleifendurchlauf trägt entweder zu Vokal oder zu Konsonant bei.

Pfade stehen in eineindeutiger Korrespondenz zu den Worten über dem Alphabet $\{q_1, q_2\}$.

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




```
cin >> Zchn;

while ((Zchn >= ‚A‘) &&
(ZCHN <= ‚Z‘) &&
(Gesamtzahl < INT_MAX))

Gesamtzahl = Gesamtzahl + 1;

if  ((Zchn == ‚A‘) ||
(Zchn == ‚E‘) || (Zchn == ‚I‘) ||
(Zchn == ‚O‘) || (Zchn == ‚U‘))

VokalAnzahl = VokalAnzahl + 1;

cin >> Zchn;
```

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

UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

Boundary Interior – Test

- **Idee**: Unterscheide Durchlauf nur keinmal, einmal, mehrmals
- Eingeschränkter Pfadüberdeckungstest, für Programme ohne Schleifen sogar identisch
- Zwei Gruppen von Pfaden für jede Schleife im Programm:
  1. Grenztest-Gruppe (*boundary tests*):
     Pfade, welche die Schleife nur einmal durchlaufen
     Testet Kombination init -- body
  2. 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 Pfadtest**

  ➔ Verallgemeinerung des *Boundary Interior* Tests

UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

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.
- 3 verschiedene Varianten:

  Einfache Bedingungsüberdeckung:

  Überdeckt alle atomaren Werte einzeln (im Extremfall 2 Testfälle)

  Mehrfach-Bedingungsüberdeckung:

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

  Minimale Mehrfach-Bedingungsüberdeckung:

  Jede Bedingung (ob atomar oder nicht) muss für sich überdeckt sein

UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

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)

UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

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

UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

Datenflussorientierte Strukturtestverfahren

- Ebenfalls dynamisches Strukturtestverfahren
- Im Gegensatz zu kontrollflussorientierten Verfahren werden Datenbenutzungen und damit eher globale Aspekte getestet.
- Analyse der Programmdynamik an Hand der Dynamik der in Variablenwerten gespeicherten Programmzustände
  - Aufstellen des Datenflussdiagramms
    - Sichtbarkeit und Lebensdauer von Bezeichnern
    - Variablenidentitäten: Gültigkeitskontext und Kontrollfluss
    - lesende und schreibende Zugriffe auf Variablen
    - Unterscheidung lesender Zugriffe in Anweisungen und Bedingungen
- Eignen sich besonders für den Test von Datenobjekt- und Datentypmodulen sowie Klassen.
- Nur wenige Testwerkzeuge vorhanden.

UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

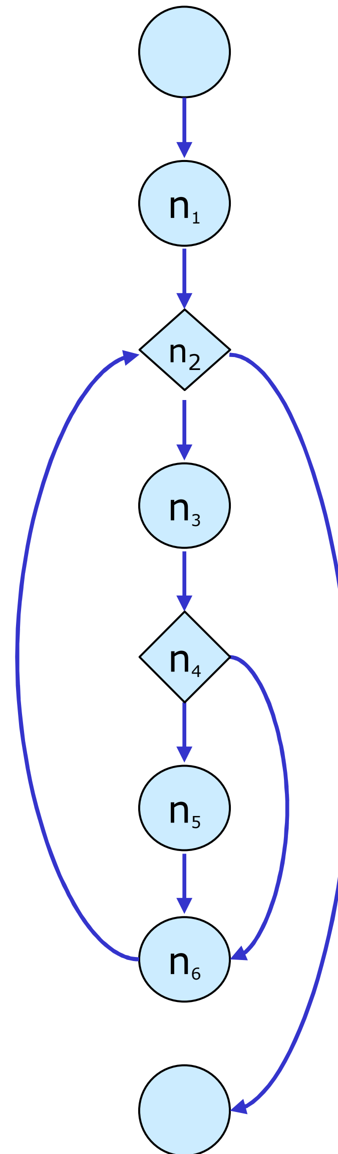
Datenflussdiagramm:

Petrinetz mit Variablen-identitäten als Stellen und Programmanweisungen als Transitionen

Lesender Zugriff: Pfeil von Stelle zu Transition

Schreibender Zugriff: Pfeil von Transition zu Stelle

Datenflussgraph zu einem Kontrollflusspfad




```
ZaehleZchn(&VokalAnzahl ⇐,
    &Gesamtzahl ⇐)

cin >> Zchn ⇐;

while ((⇐ Zchn >= ‚A‘) &&
(⇐ Zchn <= ‚Z‘) &&
(⇐ Gesamtzahl < INT_MAX))

Gesamtzahl ⇐
    = ⇐ Gesamtzahl + 1;

if  ((⇐ Zchn == ‚A‘)
    || (⇐ Zchn == ‚E‘)
    || (⇐ Zchn == ‚I‘)
    || (⇐ Zchn == ‚O‘)
    || (⇐ Zchn == ‚U‘))

VokalAnzahl ⇐
    = ⇐ VokalAnzahl + 1;

cin >> Zchn ⇐;
```

UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

Defs/Uses-Verfahren

- Klassifikation der Variablenzugriffe nach
  - Zuweisung (set-Methode, Definition, *def*)
    - Variablenwert wird an einer solchen Stelle geändert
  - Zugriff zur Berechnung von anderen Werten (*computational-use, c-use*)
    - Auswirkung auf Wert anderer Variablen (Programmzustand)
  - Zugriff zur Berechnung von Wahrheitswerten in Bedingungen (*predicate-use, p-use*)
    - Auswirkung auf Wert der Testbedingung (Kontrollfluss)

- Zur Datenflussanalyse muss Zusammenhang zwischen Wertzuweisung und -benutzung analysiert werden
  - Ein Pfad heißt **definitionsfrei** für eine Variable x, wenn in dem Pfad keine Wertzuweisung an x erfolgt.
  - Variablenstelle ohne hinführende Pfeile im Datenflussgraphen

UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

Datenflussorientierte Test-Verfahren

- ***all defs* Kriterium**
  - Testfälle sind so zu wählen, dass jeder Wertzuweisung an eine Variable auch eine Wertbenutzung folgt.
  - Zu jeder Variablen gibt es einen Testfall, in welchem die Variable wenigstens einmal geschrieben und gelesen wird.
  - **Idee**: Jede Variable hat einen „Zweck", eine Semantik, die wenigstens einmal exemplarisch geprüft wird.
- Spezialfall: Kontrolle, ob alle definierten Variablen auch verwendet werden
  - Charakterisiert durch fehlende abgehende Pfeile im DFD.
  - Variablen, die nicht benutzt werden, weisen auf Programmfehler hin.

UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

- ***all p-uses* Kriterium**
  - Testfälle sind so zu wählen, dass jede Kombination einer Wertzuweisung mit jeder prädikativen Nutzung dieses Variablenwerts überdeckt wird
  - Zu jedem Kontrollfluss, in dem eine Variable geschrieben und später in einer Bedingung gelesen wird, gibt es einen Testfall, welcher diesen Kontrollfluss abdeckt.
  - **Idee**: Prüfen der Auswirkung einer Wertzuweisung an eine Variable auf alle relevanten Bedingungsknoten
    - Fokus auf die bedingungsrelevanten Variablen
  - beinhaltet Zweigüberdeckung

UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

- ***all c-uses*** **Kriterium**
  - Testfälle sind so zu wählen, dass jede Kombination einer Wertzuweisung mit jeder berechnenden Nutzung dieses Variablenwerts überdeckt wird
  - Zu jedem Kontrollfluss, in dem eine Variable geschrieben und später in einer Berechnung gelesen wird, gibt es einen Testfall, welcher diesen Kontrollfluss abdeckt.
  - **Idee**: Prüfen der Auswirkung einer Wertzuweisung an eine Variable auf alle kausal davon abhängenden Ausdrücke.
    - Fokus auf die berechnungsrelevanten Variablen

UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

- ***all c-uses / some p-uses*** **Kriterium**
  - Testfälle sind so zu wählen, dass jede Kombination einer Wertzuweisung mit jeder berechnenden Nutzung dieses Variablenwerts überdeckt wird.
  - Falls kein berechnender Zugriff existiert, so muss der Wert in mindestens einem Prädikat benutzt werden.
  - **Idee**: Prüfen der Auswirkung einer Wertzuweisung an eine Variable auf alle kausal davon abhängenden Ausdrücke und exemplarischer Test von nur bedingungsrelevanten Variablen

UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

- ***all p-uses / some c-uses* Kriterium**
  - Testfälle sind so zu wählen, dass jede Kombination einer Wertzuweisung mit jeder prädikativen Nutzung dieses Variablenwerts überdeckt wird.
  - Falls kein prädikativer Zugriff existiert, so muss der Wert in mindestens einer Berechnung benutzt werden.
  - **Idee**: Prüfen der Auswirkung einer Wertzuweisung an eine Variable auf alle davon abhängenden Bedingungen und exemplarischer Test von nur berechnungsrelevanten Variablen

- ***all uses* Kriterium**
  - Testfälle sind so zu wählen, dass jede Kombination einer Wertzuweisung mit jeder Nutzung dieses Variablenwerts überdeckt wird.
  - komplettester und damit aufwändigster datenflussorientierter Test

Leistungsfähigkeit nach Studie [Girgis, Woodward 86]

Vergleich *all defs, all p-/c-uses:*

- *all c-uses:* 48% der Fehler, insbesondere Berechnungsfehler,
- *all p-uses:* 34% und entdeckt Kontrollflussfehler,
- *all defs:* 24% der Fehler, aber keine Kontrollflussfehler

UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

Weitere Verfahren

- **Idee**: Überdeckung längerer Sequenzen aus Zuweisung und Nutzung
  - *Required k-Tuples Test*
- **Idee**: Orientierung nicht an abgehenden, sondern an ankommenden Pfeilen im DFG
  - *Datenkontextüberdeckung*: jede mögliche Herkunft eines Werts wird überdeckt.
  - *geordnete Datenkontextüberdeckung*: zusätzliche Beachtung der Zuweisungsreihenfolge