LEHRSTUHL 14
SOFTWARE ENGINEERING

Vorlesung (WS 2014/15)

Softwarekonstruktion

Prof. Dr. Jan Jürjens

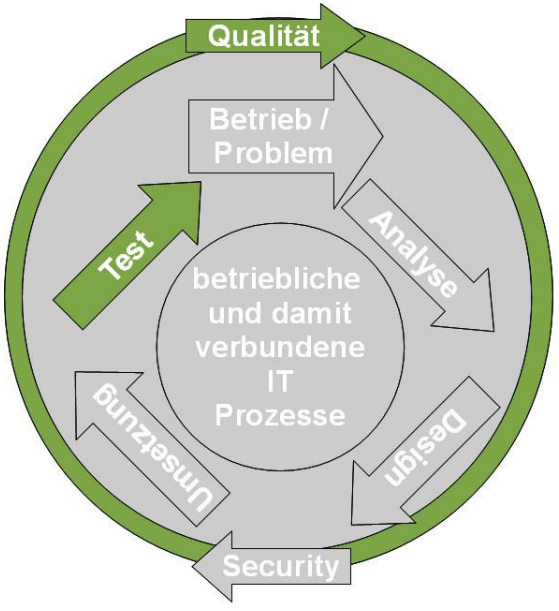
TU Dortmund, Fakultät Informatik, Lehrstuhl XIV

2.4: White-Box-Test

v. 20.02.2015

Einordnung
White-Box-Test

- Modellgetriebene SW-Entwicklung
- Qualitätsmanagement
- Testen
  - Grundlagen Softwareverifikation
  - Softwaremetriken
  - Black-Box-Test
  - White-Box-Test
  - Testen im Softwarelebenszyklus



[Basierend auf dem Foliensatz „Basiswissen Softwaretest - Certified Tester“ des „German Testing Board“, 2011]

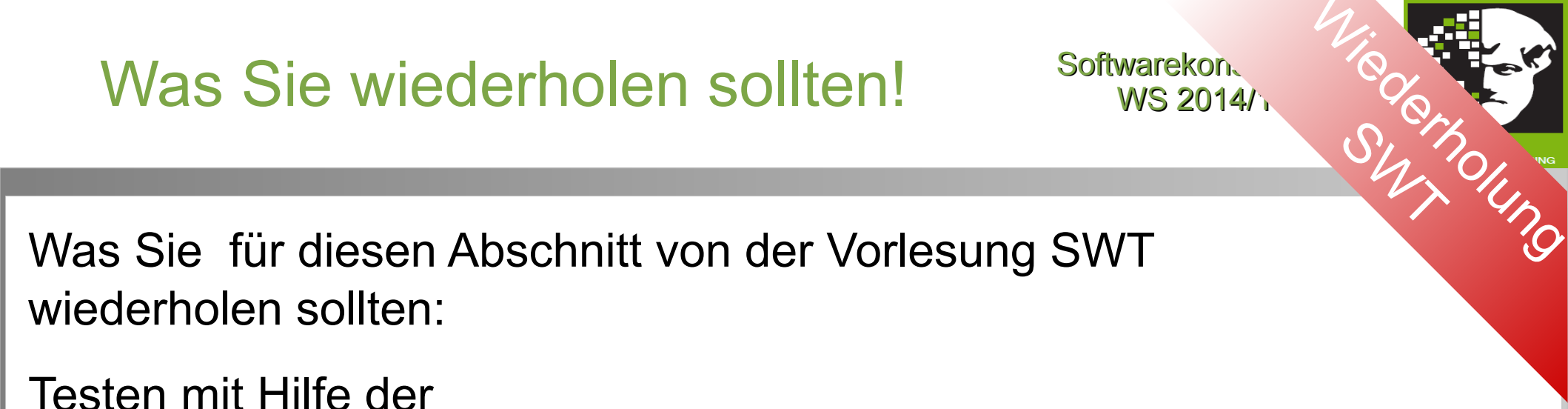
Literatur (s. Webseite):

- Andreas Spillner, Tilo Linz: Basiswissen Softwaretest. **Kapitel 5.**
- Eike Riedemann: Testmethoden für sequentielle und nebenläufige Software-Systeme. **Kapitel 7,8,9.**

Einleitung White Box Test

- **Voheriger Abschnitt:** Dynamischer Test ohne Kenntnis der Programmlogik
- **Dieser Abschnitt:** Analyse interner Struktur des Testobjekts mit Hilfe:
  - Kontrollflussbasierter Test
  - Datenflussbasierter Test

Was Sie wiederholen sollten!



Was Sie für diesen Abschnitt von der Vorlesung SWT wiederholen sollten:

Testen mit Hilfe der

- **Anweisungsüberdeckung**
- **Zweigüberdeckung**
- **Pfadüberdeckung**
- **Mehrfachbedingungsüberdeckung**

Diese Themen werden wir noch einmal kurz behandeln, es ist aber sinnvoll sich die Methoden vorher noch einmal ins Gedächtnis zu rufen.

2.4 White-Box-Test

2.4 White-Box-Test

- Idee der White-Box Testentwurfsverfahren
- Kontrollflussbasierter Test
- Test der Bedingungen
- Datenflussbasierter Test
- Statische Analyse

White-Box-Testen

White-Box-Test: Dynamisches Testverfahren, basiert auf Analyse interner Struktur der Testobjekts.

»Fehleraufdeckende« Stichproben möglicher Programmabläufe und Datenverwendungen suchen.

Zur

- Herleitung der Testfälle
- **Bestimmung der Vollständigkeit der Prüfung** (Überdeckungsgrad)

wird Information über innere Struktur des Testobjekts herangezogen.

→ Strukturorientierte (strukturelle) Testentwurfsverfahren.

Black-Box Test vs. White-Box Test

PoC = Point of Control
PoO = Point of Observation

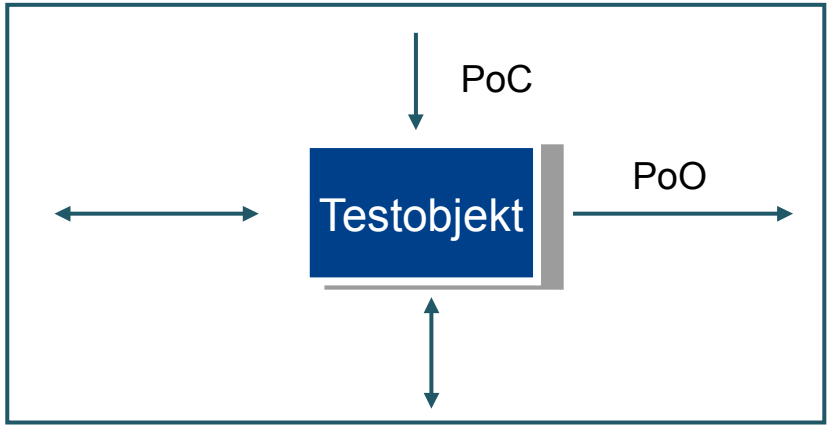
Black-Box Test

Eingabewerte

Ohne Kenntnis der Programmlogik abgeleitet

Testobjekt

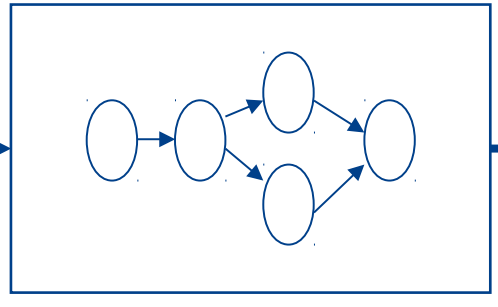
Istergebnis



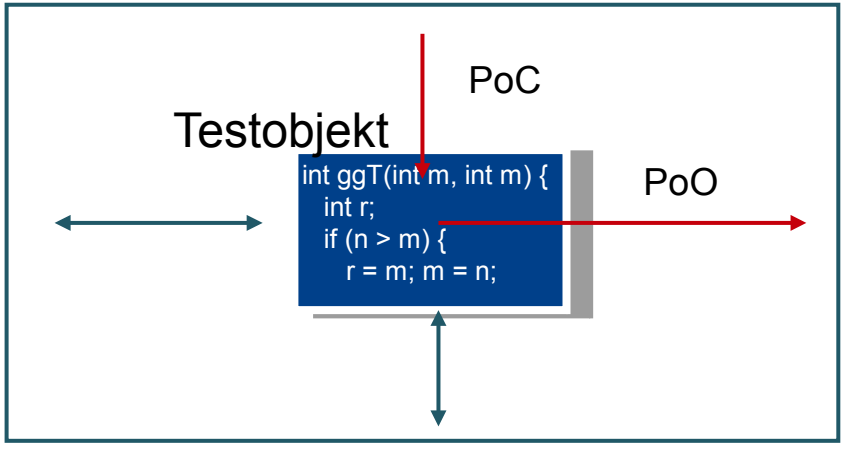
White-Box Test

Eingabewerte

Mit Kenntnis der Programmlogik abgeleitet



Istergebnis



2.4 White-Box-Test

2.4 White-Box-Test

- Idee der White-Box Testentwurfsverfahren
- **Kontrollflussbasierter Test**
- Test der Bedingungen
- Datenflussbasierter Test
- Statische Analyse

Kontrollflussbezogenes Testen:

- **Dynamisches** Verfahren: Basiert auf Ausführung des Programms.
- **White-Box-Verfahren:** Nutzt Kenntnis der Programmstruktur aus.

Analysemittel:

- **Kontrollflussgraph: Verdeutlicht Kontrollfluss im Programm.**

Idee:

- **Auswahl der Testdaten:** Viele Durchläufe durch Kontrollfluss des Programms testen; dafür wenig Testfälle gebrauchen.

Varianten, differenzieren nach:

- **Art** der verwendeten **Kontrollflusswege** oder **-wegstücke**.
- Art und Weise der Überdeckung.
- angestrebtem Überdeckungsgrad

Wiederholung: Kontrollflussgraph

Kontrollflussgraph eines Programms P: **Gerichteter Graph**

G= (N,E)

mit 2 ausgezeichneten Knoten *nstart, nfinal*

- Knoten stellt **Anweisungen /** sequenzielle Anweisungsfolgen dar.
- Kante aus Menge der Kanten E $\subseteq$ NxN beschreibt möglichen **Kontrollfluss zwischen zwei Anweisungen.**
- Kante aus E auch Zweig genannt.
- Beide ausgezeichneten Knoten stellen **Anfangs- und Endeanweisung** eines Programms dar.

Kontrollfluss-Testen
Begriffe (1)

Block: Nichtleere Folge von Knoten.

- Nur durch ersten Knoten betretbar,
- Vom ersten Knoten ausgehend in vorgegebener Reihenfolge genau einmal deterministisch durchlaufbar.
- Maximal bezüglich ersten beiden Eigenschaften.

Pfad / vollständiger Weg:

- Folge von Knoten und Kanten, die mit Startknoten beginnt und Endknoten endet.

Wege (T,P):

- Menge vollständiger, endlicher Wege w des Kontrollflussgraphen, für die Testdatum t aus Menge der Testdaten T existiert, das Weg w ausführt.

Kontrollfluss-Testen
Begriffe (2)

- **Entscheidungsknoten**: Knoten mit mindestens 2 Nachfolgeknoten.
- **Entscheidungskanten**: Kanten, die ihren Ursprung in einem Entscheidungsknoten haben.
- **Zyklus:** Weg im Kontrollflussgraphen mit mindestens zwei Knoten, der an demselben Knoten beginnt und endet.
- **Einfacher Zyklus:** Zyklus, bei dem alle Knoten (außer Anfangs- und Endknoten) verschieden sind.

Beispielprogramm: Funktion `ggT()`

Bestimmung des **größten gemeinsamen Teilers (ggT)** zweier ganzer Zahlen m, n > 0:

ggT(4,8)=4; ggT(5,8)=1; ggT(15,35)=5

Spezifikation in Java (JML):

```
public int ggt(int m, int n) {
// pre: m > 0 and n > 0
// post: return > 0 and
// m@pre.mod(return) = 0 and
// n@pre.mod(return) = 0 and
//   forall(i : int | i > return implies
//     (m@pre.mod(i) > 0 or n@pre.mod(i) > 0)
… )
```

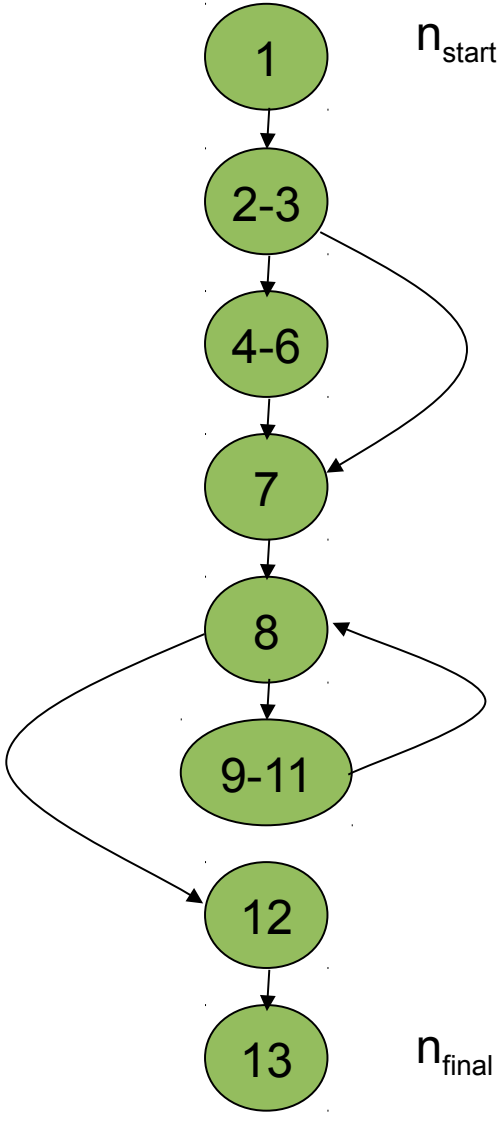
Beispielprogramm: Kontrollflussgraph von `ggT()`

```
1.public int ggt (int m, int n) {
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;
13. }
```

Block

Block

Block



Von Pfaden zu Testfällen

Zunächst: Bestimmung der Pfade durch Kontrollflussgraphen, die durch Testfälle »zur Ausführung gebracht werden sollen«.

Frage: Mit welchen Eingaben werden diese Pfade erzwungen ?

Idee:

- Bedingungen **kontrollflussbestimmender Anweisungen** betrachten.
- Damit **Aussagen über Programmvariablen** »berechnen«.

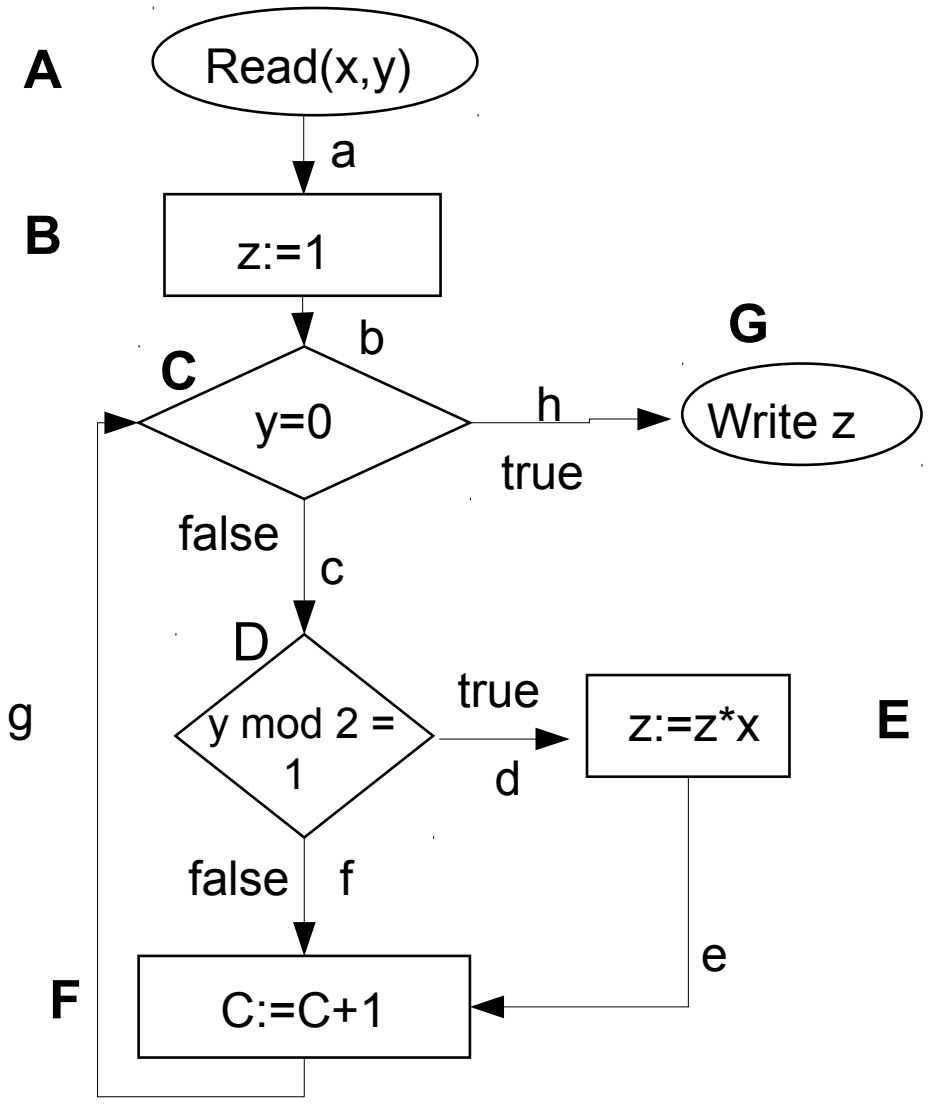
Achtung: Nicht alle im Graphen vorhandenen Pfade (Zweige, Wegstücke, …) können für das gegebene Programm tatsächlich ausgeführt werden (z.B. nicht erreichbare Programmstücke; nicht erreichbare Anzahl von Schleifendurchläufen), d.h. es kann Pfade ohne zugehörigen Testfall geben.

Entscheidungs-Entscheidungsweg

Entscheidungs-Entscheidungsweg:

- Wegstück, welches bei **Entscheidungsknoten** oder **Anfangsknoten** beginnt
- Und alle folgenden Knoten und Kanten bis zum nächsten **Entscheidungsknoten** bzw. bis zum **Endknoten** des Kontrollflussgraphen (einschließlich) enthält.

Was sind hier die Entscheidung-Entscheidungswege ?

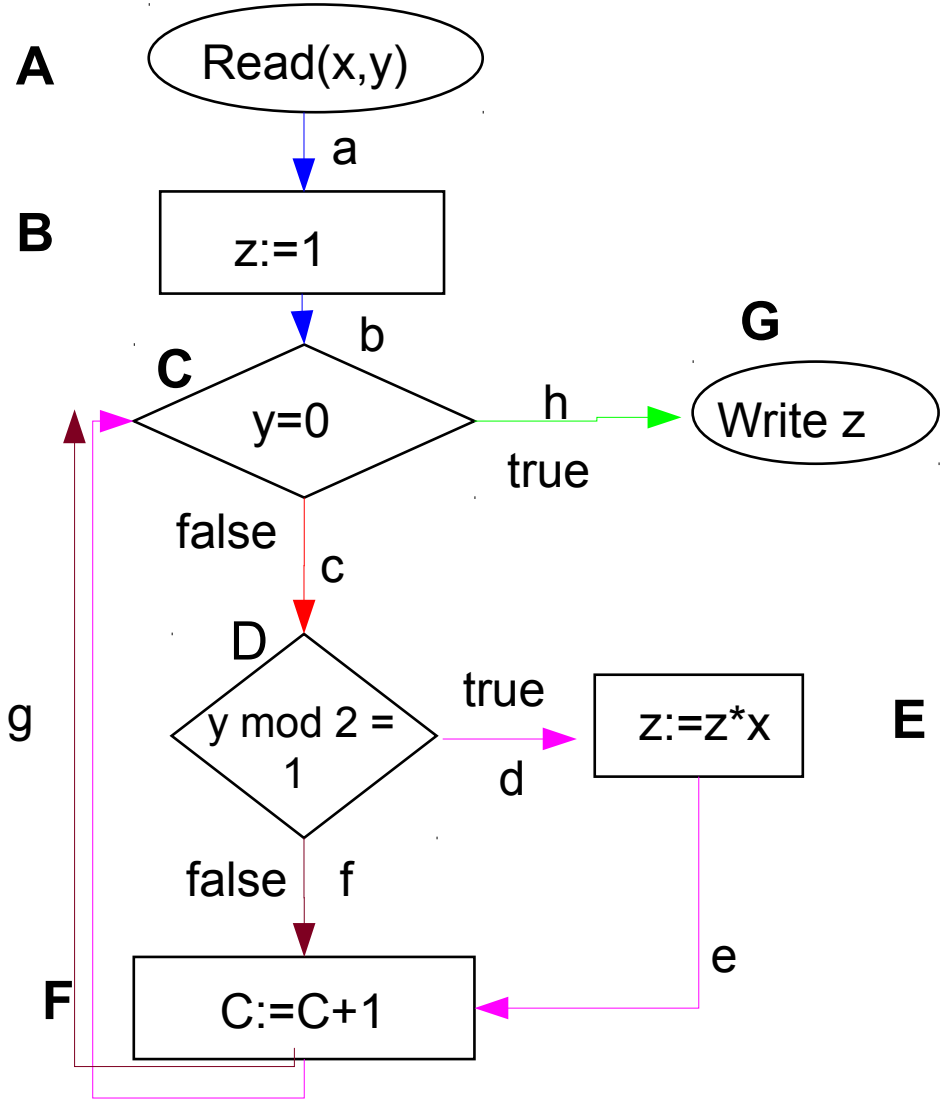


Entscheidungs-Entscheidungsweg

Entscheidungs-Entscheidungsweg:

- Wegstück, welches bei **Entscheidungsknoten** oder **Anfangsknoten** beginnt
- Und alle folgenden Knoten und Kanten bis zum nächsten **Entscheidungsknoten** bzw. bis zum **Endknoten** des Kontrollflussgraphen (einschließlich) enthält.

Hier: {A,B,C}; {C,G}; {C,D}; {D,E,F,C}; {D,F,C}

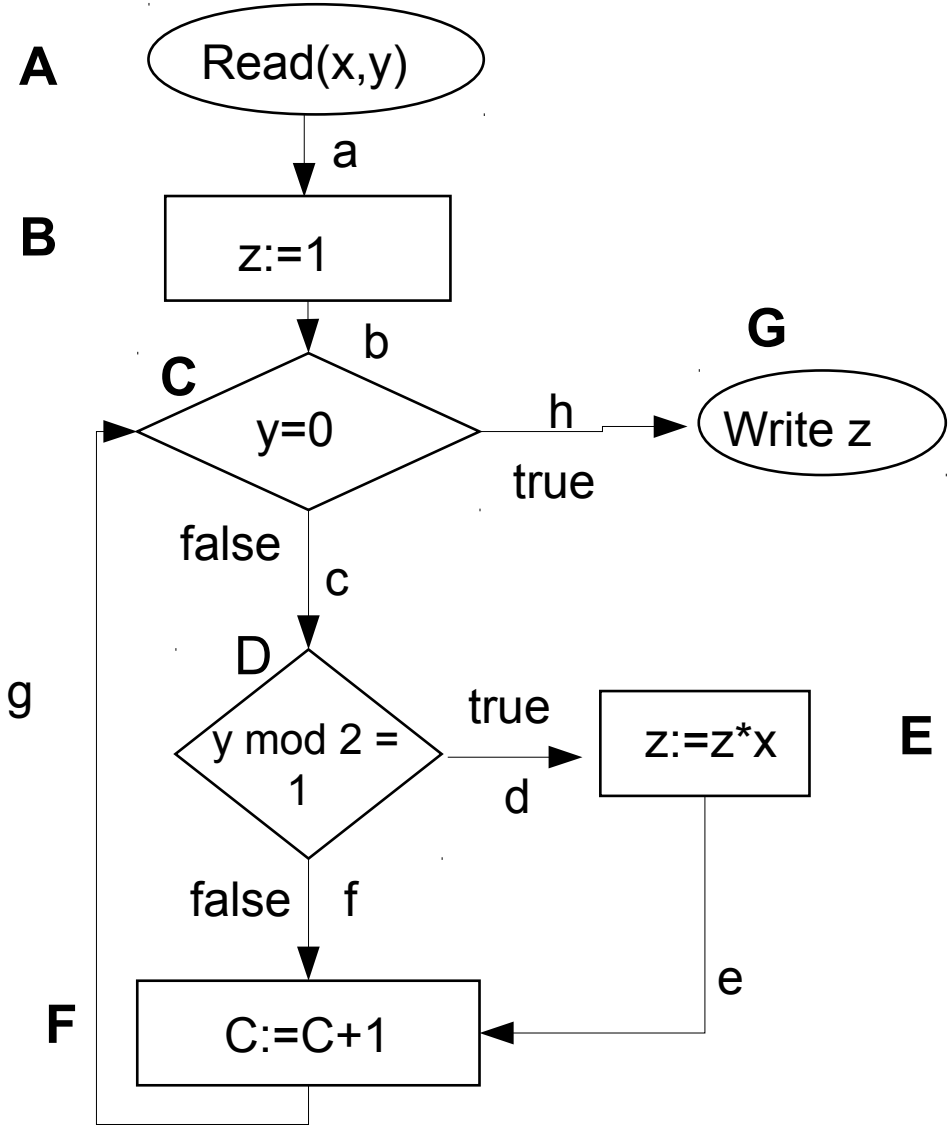


Segmente

Segment: Wegstück mit Eigenschaften:

- **Erster Knoten** des Wegstücks: Anfangsknoten des Kontrollflussgraphen oder Entscheidungsknoten oder Vereinigungsknoten (mehrere Inputs).
- **Letzter Knoten** des Wegstücks: Endknoten des Kontrollflussgraphen oder Entscheidungsknoten oder Vereinigungsknoten.
- Alle **andere Knoten** haben nur Eingangs- und Ausgangskante.

Was sind hier die Segmente ?

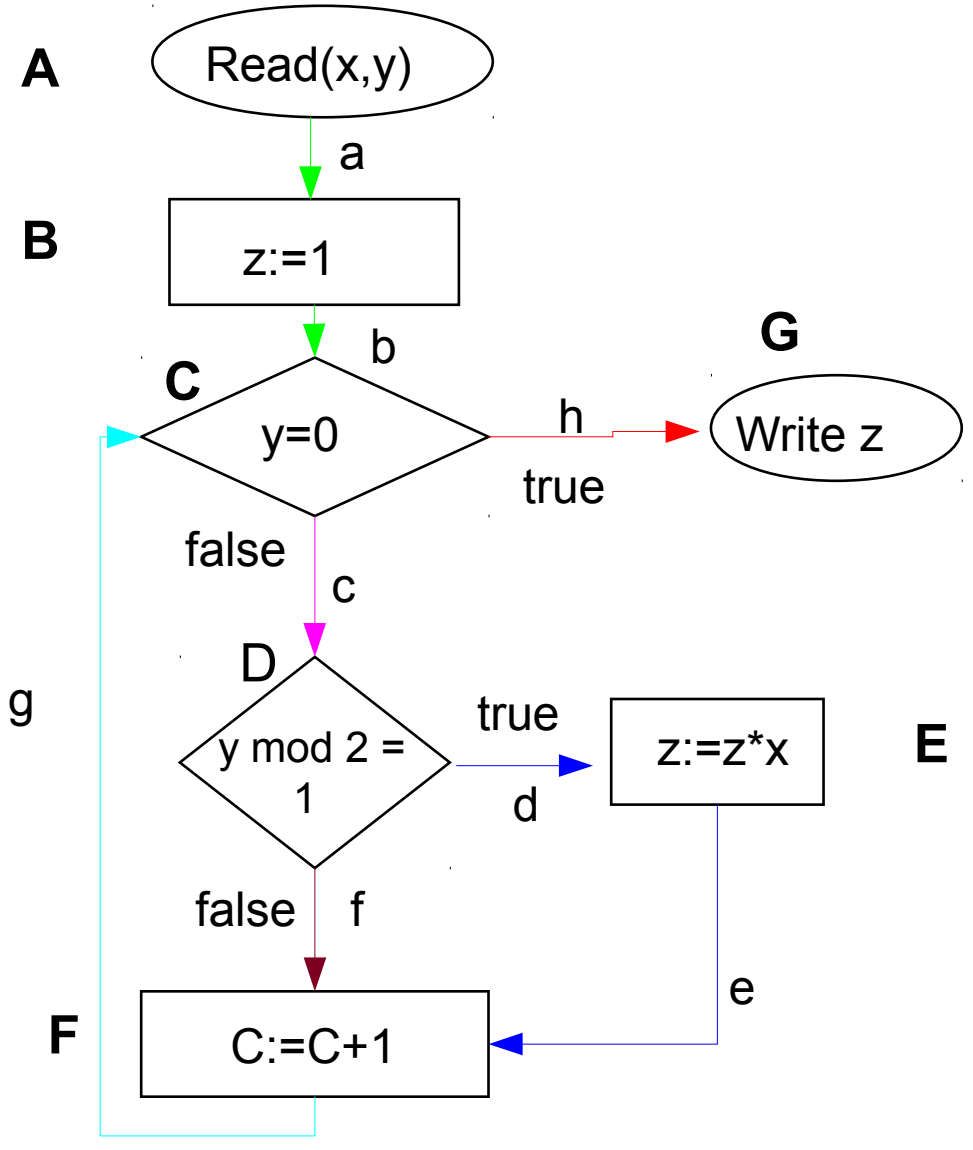


Segmente

Segment: Wegstück mit Eigenschaften:

- **Erster Knoten** des Wegstücks: Anfangsknoten des Kontrollflussgraphen oder Entscheidungsknoten oder Vereinigungsknoten (mehrere Inputs).
- **Letzter Knoten** des Wegstücks: Endknoten des Kontrollflussgraphen oder Entscheidungsknoten oder Vereinigungsknoten.
- Alle **andere Knoten** haben nur Eingangs- und Ausgangskante.

Hier: {A,B,C}; {C,G}; {C,D}; {D,E,F}; {D,F}; {F,C}



Relevante Fehlerarten

Durch kontrollflussbezogenes Verfahren aufdeckbare Fehler:

Berechnungsfehler:

- Richtiger Kontrollflussweg im Programm ausgeführt, aber min. **ein berechneter Variablenwert falsch**.

Bereichsfehler:

- **Falscher Kontrollflussweg** im Programm ausgeführt.
  (→ Eingabebereich des vorliegenden Kontrollflussweges stimmt nicht mit Eingabebereich im korrekten Programm überein.)

Unterbereichsfehler:

- Spezielle Bereichsfehler.
- **„Zuviel / zuwenig" Kontrollfluss:**
  → Abfrage fehlt oder es gibt zusätzliche, falsche Abfrage.

Kontrollflussbezogene Überdeckungskriterien

- **Anweisungsüberdeckung**
  (*statement coverage; C_0-Überdeckung; alle Knoten*).
- **Entscheidungs-/Zweigüberdeckung**
  (*decision coverage; C_1-Überdeckung, alle Zweige*).
- **Grenze-Inneres-Test**
  (*boundary interior coverage*).
- **Pfadüberdeckung**
  (*path coverage; C_∞-Überdeckung, alle Pfade*).

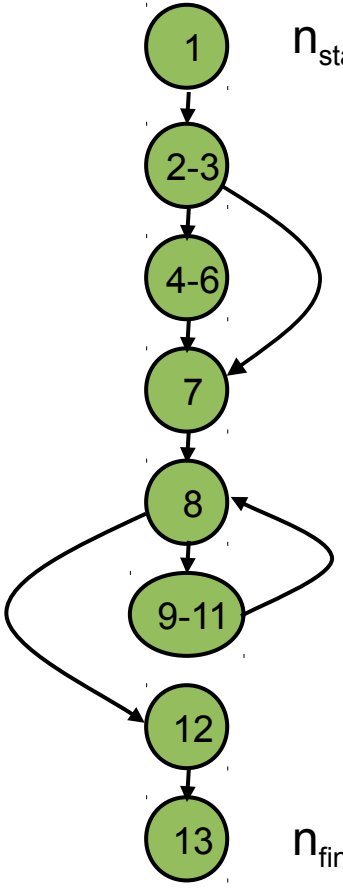
Anweisungsüberdeckung
Definition

Anweisungsüberdeckung (C_0-Test):

- Testdatenmenge *T* erfüllt C_0-Überdeckung für Programm *P* g.d.w. es für **jede Anweisung** *A* des Programms *P* mind. ein **Testdatum** *t* aus *T* gibt, das Anweisung *A* **ausführt.**
- Anweisung *A* unter *T* ausgeführt g.d.w. der zur **Anweisung** *A* gehörende **Knoten** *k* in mind. einem **Weg** in *Wege(T)* vorkommt.
- **Testwirksamkeitsmaß TWM_0**: Anweisungsüberdeckungsgrad (Verhältnis besuchter Knoten zur Gesamtzahl von Knoten):

$$TWM_0 =_{def} \frac{\text{Zahl der unter T überdeckten Anweisungen}}{\text{Zahl aller Anweisungen}}$$

Beispiel: Anweisungsüberdeckung für `ggt()`

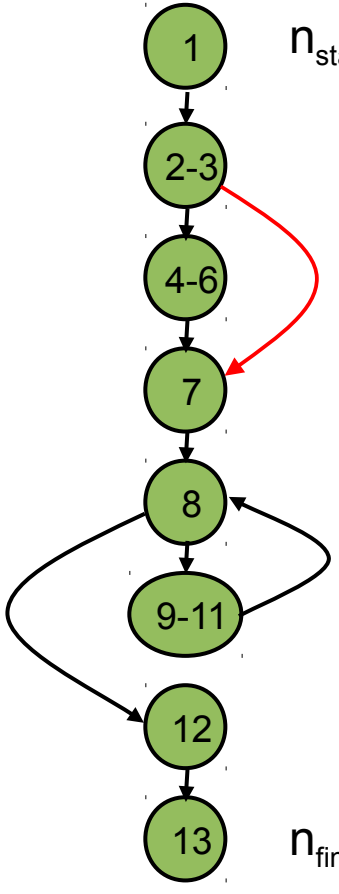


Pfad = ?

```
1.  public int ggt(int m, int n) {
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;
13. }
```

Beispiel für Pfad mit Anweisungsüberdeckung ? Zugehörige Testdaten ?

Beispiel: Anweisungsüberdeckung für `ggt()`: Pfad

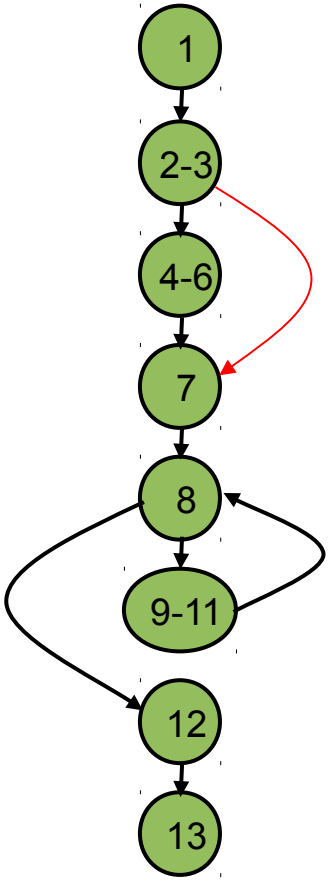



```
1.  public int ggt(int m, int n) {
2.      int r;
3.      if (n > m) {
4.          r = m;
5.          m = n;
6.          n = r;
        }
7.      r = m % n;
8.      while (r != 0) {
9.          m = n;
10.         n = r;
11.         r = m % n;
        }
12.     return n;
13. }
```

Pfad = (1, 2-3, 4-6, 7, 8, 9-11, 8, 12, 13)

(Roter Zweig wird nicht ausgeführt.)

Beispiel: Anweisungsüberdeckung für `ggt()`: Testdaten



Pfad: (1, 2-3, 4-6, 7, 8, 9-11, 8, 12, 13)

Logischer Testfall: { n > m ∧ n mod m ≠ 0 ∧
n mod (n mod m) = 0 ; ggt(m,n) }

Konkreter Beispiel-Testfall:
{ m = 1, n = 2; ggt(m,n)=2 }

Oder:

{ m = 4, n = 6; ggt(m,n)=2 }

m	n	r
4	6	2

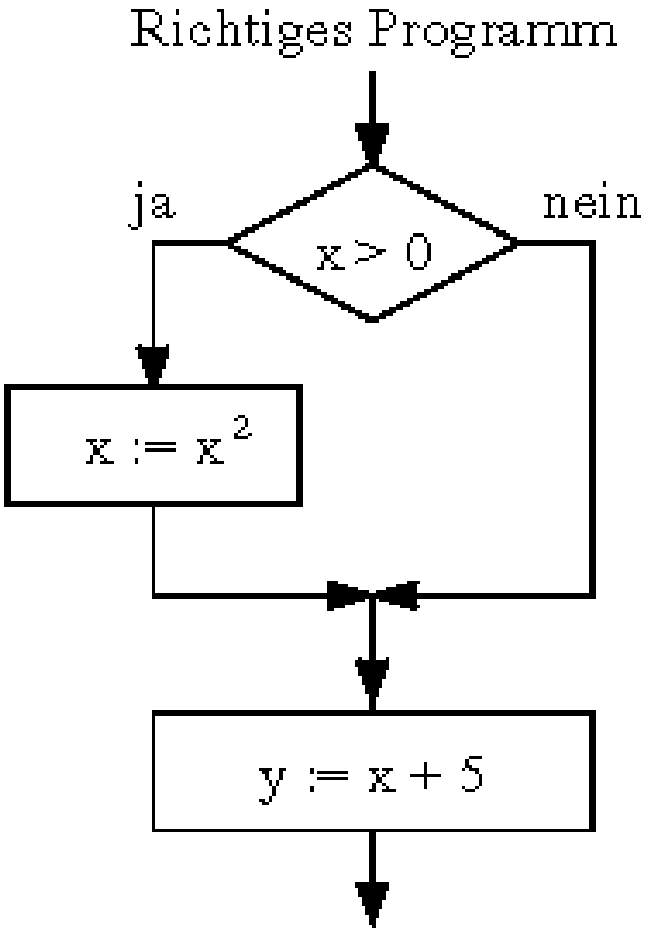
```
1.  public int ggt(int m, int n) {
2.      int r;
3.      if (n > m) {
4.          r = m;
5.          m = n;
6.          n = r;
        }
7.      r = m % n;
8.      while (r != 0) {
9.          m = n;
10.         n = r;
11.         r = m % n;
        }
12.     return n;
13. }
```

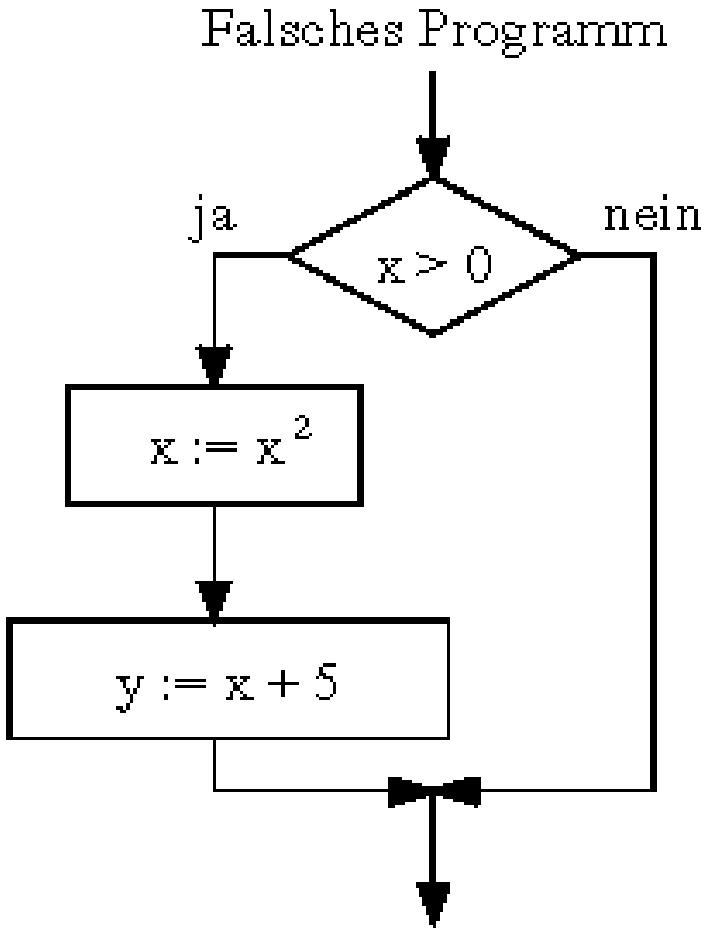
Anweisungsüberdeckung vs. Nicht-erreichbare Anweisungen

100%ige Anweisungsüberdeckung nicht immer erreichbar.

- Z.B.: Ausnahmebedingungen kommen im Programm vor, die während Testphase mit erheblichem Aufwand oder gar nicht herzustellen sind.
- Kann auf **nicht erreichbare Anweisungen** („dead code“) hindeuten (ggf. statische Analyse durchführen).

Anweisungsüberdeckung: Aussagekraft (Beispiel)



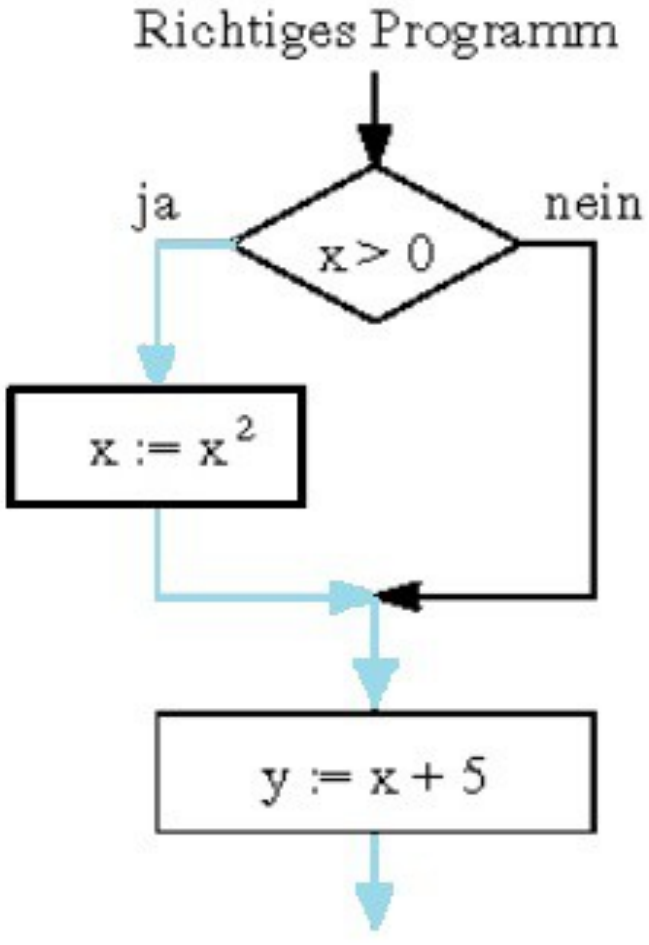


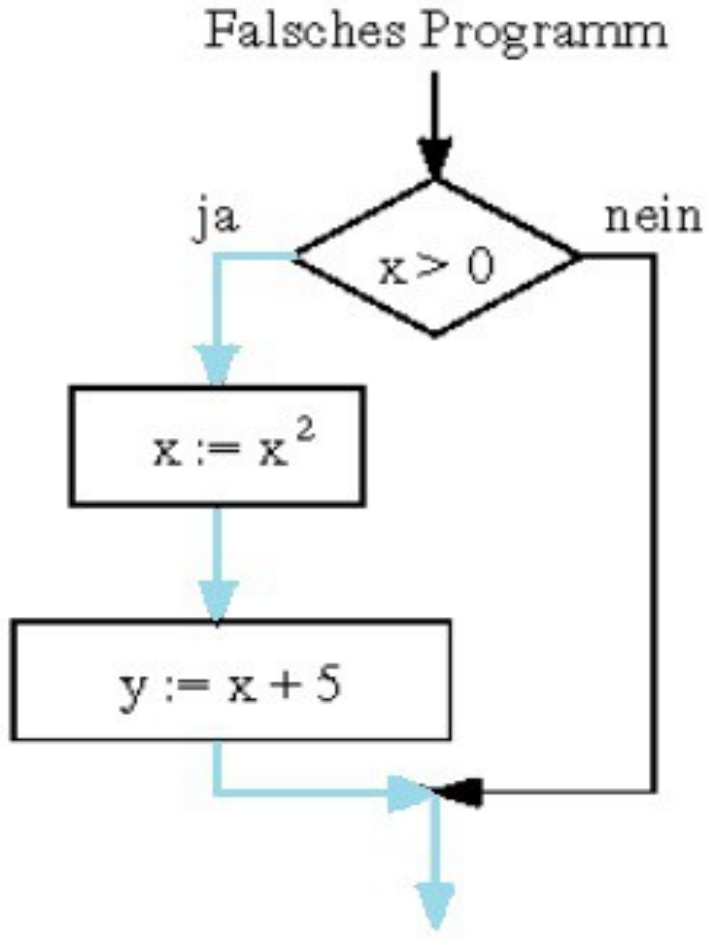
Testdatum:

Wie könnte ein einzelner **Testfall** aussehen, der **C_0-Über-deckung** erfüllt ?

Kann er das richtige vom falschen Programm unterscheiden ?

Anweisungsüberdeckung: Aussagekraft (Beispiel)





Testfall T1:

Eingabedaten: x=5,y=0
Solldaten: x=25, y=30

erfüllt zwar **C_0-Überdeckung**, deckt aber nicht Fehler im falschen Programm auf.

Anweisungsüberdeckung: Bewertung

Schwaches Kriterium, z.B. weil:

- **„Leere“ Kante** (Kante überbrückt Knoten) nicht berücksichtigt.
  - **Beispiele:**
    - ELSE-Kante (zwischen IF und ENDIF) mit leerem ELSE-Teil (siehe Beispiel oben)
    - Rücksprung zum Anfang einer Repeat-Schleife
    - BREAK.
  - **Fehlende** Anweisungen nicht erkannt !

Bewertung:

- Geringe Zahl von Eingabedaten.
- Notwendiges, aber **kein hinreichendes Testkriterium.**
- **Mangelhafte Aussagekraft:** Nicht-ausführbare Programmteile werden entdeckt, alle anderen Fehler nur zufällig entdeckt.

=> Stärkeres Kriterium notwendig: Zweigüberdeckung !

Zweigüberdeckung

Zweigüberdeckung (C_1-Test, auch genannt Entscheidungsüberdeckung):

- Testdatenmenge *T* erfüllt C_1-Überdeckung für Programm *P*, g.d.w. es **für jede Kante *k*** im Kontrollflussgraphen von *P* mind. einen **Weg** in *Wege(T,P)* gibt, zu dem *k* gehört.
- **Testwirksamkeitsmaß C_{Zweig} (Zweigüberdeckungsgrad,** Verhältnis der besuchten Zweige zur Gesamtzahl von Zweigen):

$$C_{Zweig} =_{def} \frac{\text{Anzahl der besuchten Zweige}}{\text{Gesamtanzahl der Zweige}}$$

Unterschiede von Testwirksamkeitsmaßen

- Ein anderes **Testwirksamkeitsmaß** für die **C_1-Überdeckung**

$$TWM_1 =_{def} \frac{\text{Anzahl der überdeckten Entscheidungskanten}}{\text{Zahl aller Entscheidungskanten}}$$

- Im Gegensatz zum Testwirksamkeitsmaß C_{Zweig} werden nicht die Zweige gezählt, sondern die **Entscheidungskanten** gezählt.

  → Werte der Maße können unterschiedlich sein

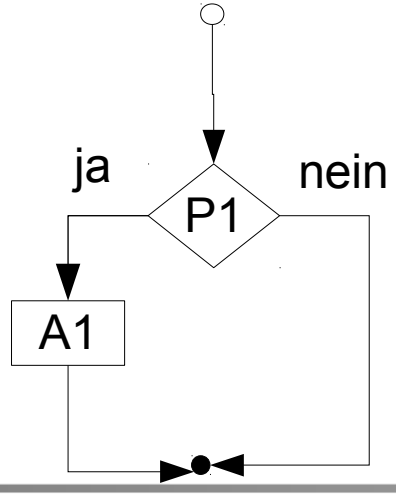
Unterschiede von Testwirksamkeitsmaßen

- Ein anderes **Testwirksamkeitsmaß** für die **C_1-Überdeckung**

$$TWM_1 =_{def} \frac{\text{Anzahl der überdeckten Entscheidungskanten}}{\text{Zahl aller Entscheidungskanten}}$$

- Im Gegensatz zum Testwirksamkeitsmaß C_{Zweig} werden nicht die Zweige gezählt, sondern die **Entscheidungskanten** gezählt.

  → Werte der Maße können unterschiedlich sein



Frage: Testwirksamkeitsmaß, wenn beim Test nur der „ja“-Zweig durchlaufen wird?

TWM_1 = ?

C_{Zweig} = ?

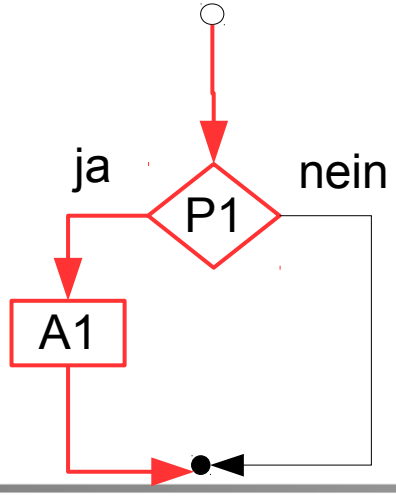
Unterschiede von Testwirksamkeitsmaßen

- Ein anderes **Testwirksamkeitsmaß** für die **C_1-Überdeckung**

$$TWM_1 =_{def} \frac{\text{Anzahl der überdeckten Entscheidungskanten}}{\text{Zahl aller Entscheidungskanten}}$$

- Im Gegensatz zum Testwirksamkeitsmaß C_{Zweig} werden nicht die Zweige gezählt, sondern die **Entscheidungskanten** gezählt.

  → Werte der Maße können unterschiedlich sein



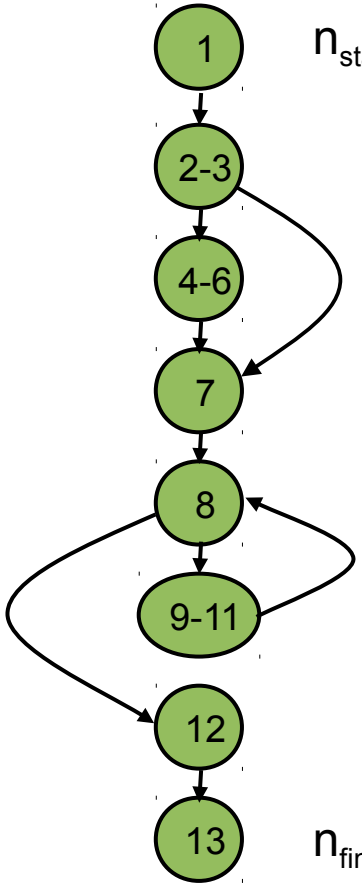
Frage: Testwirksamkeitsmaß, wenn beim Test nur der „ja“-Zweig durchlaufen wird?

$TWM_1 = 50\%$

$C_{Zweig} = 75\%$

→ **Aussagekraft** von Testwirksamkeitsmaßen?

Beispiel: Zweigüberdeckung für `ggt()`



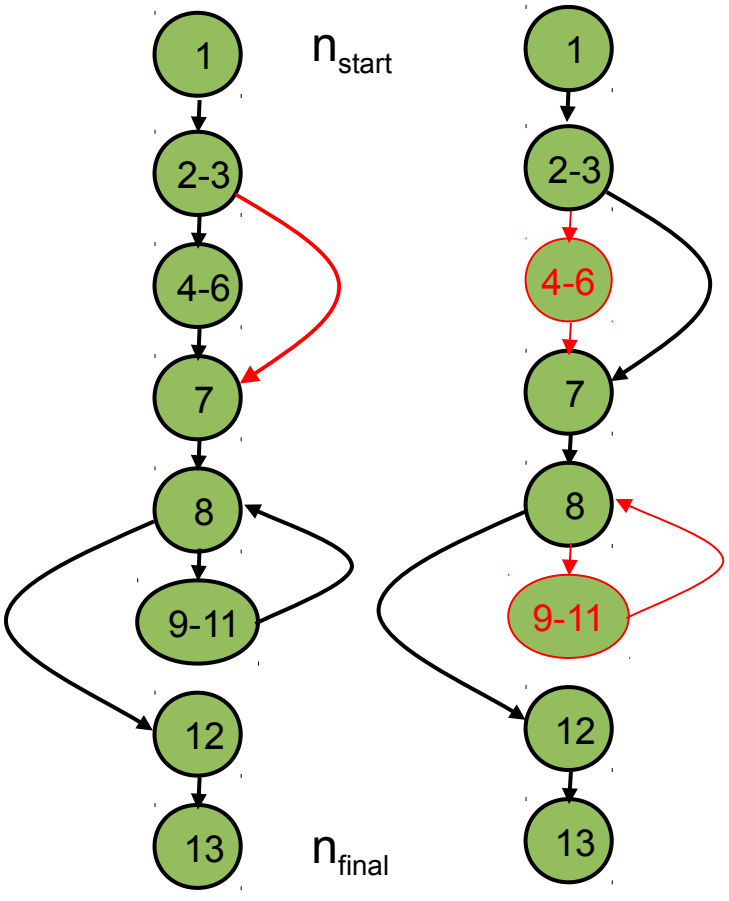

```
1.  public int ggt (int m, int n)
    {
2.      int r;
3.      if (n > m) {
4.          r = m;
5.          m = n;
6.          n = r;
        }
7.      r = m % n;
8.      while (r != 0) {
9.          m = n;
10.         n = r;
11.         r = m % n;
        }
12.     return n;
13. }
```

Entscheidung

Beispiel für Pfadmenge mit Zweigüberdeckung ? Testdaten ?

Beispiel: Zweigüberdeckung für `ggt()`: Pfadmenge

LEHRSTUHL 14
SOFTWARE ENGINEERING

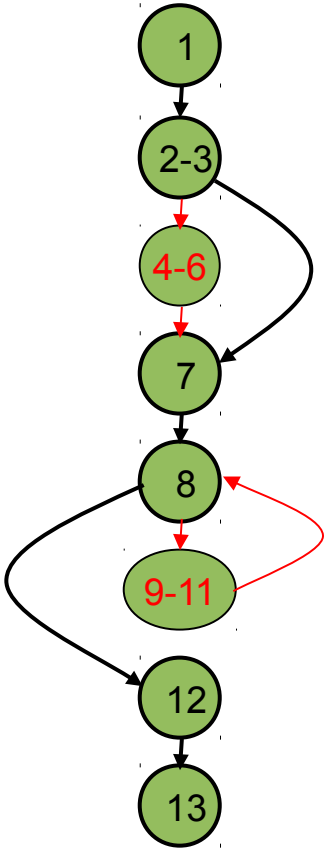


Pfad 1 = (1, 2-3, 4-6, 7, 8, 9-11, 8, 12, 13)
Pfad 2 = (1, 2-3, 7, 8, 12, 13)

```
1.  public int ggt (int m, int n)
    {
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;
13. }
```

Entscheidung

Beispiel: Zweigüberdeckung für `ggt()`: Testdaten



Pfad: (1, 2-3, 7, 8, 12, 13)

Logischer Testfall: {n ≤ m ∧ m mod n = 0 ; ggt(m, n) }

Konkreter Testfall: { m = 4, n = 4; 4 }

m	n	r
4	4	4

```
1.  public int ggt(int m, int n) {
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;
13. }
```

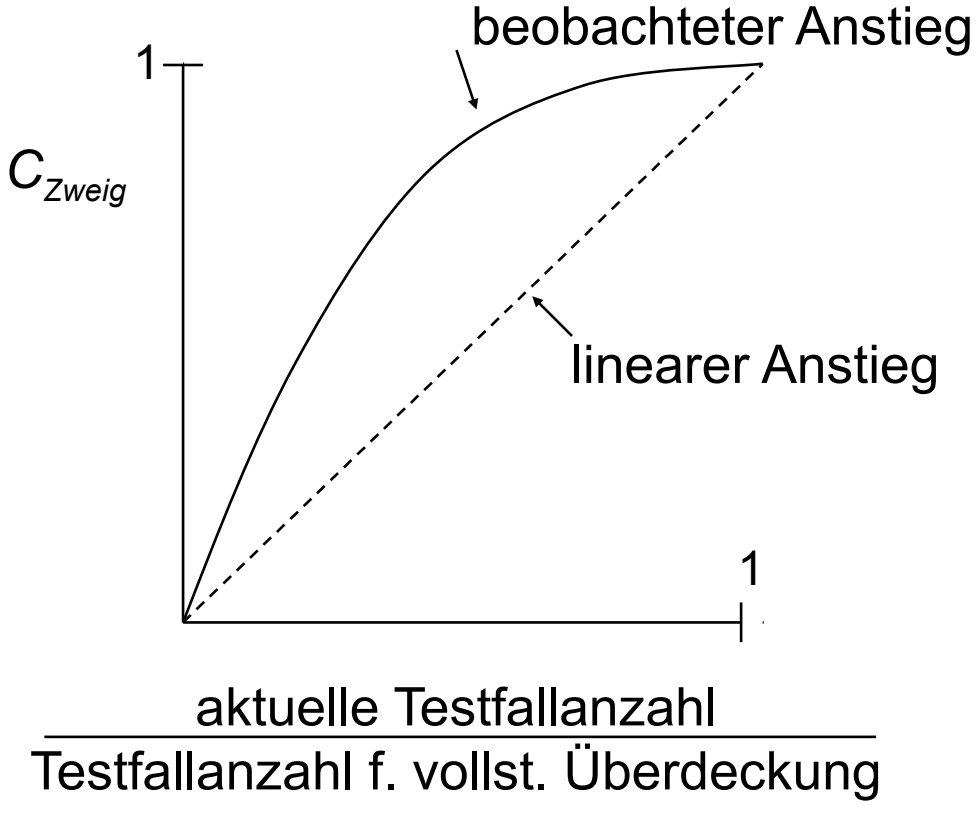
Zweigüberdeckung
Bewertung

Bewertung:

- Geringe Zahl von Eingabedaten.
- **Aussagekraft besser als C_0:** Nicht-ausführbare Knoten und Zweige sicher entdeckt, alle anderen Fehler nur zufällig.
- **Durchlaufene Programmteile erkennbar** und ggf. optimierbar.
- Wie üblich: toter Code → keine 100%ige Überdeckung.
- **Unzureichend für Test von Schleifen.** (→ Grenze-Inneres-Überdeckung.)
- Abhängigkeiten zwischen Zweigen nicht berücksichtigt.
  (→ Pfadüberdeckungstest.)
- Kein Test komplexer, zusammengesetzter Bedingungen.
  (→ Bedingungsüberdeckungstest.)
- **Empirische Untersuchungen:** Bei 100%iger Abdeckung nur 25% der Fehler erkennbar.
  → Aber immerhin noch besser als völlig unsystematisches Testen !

Zweigüberdeckungsrate vs. Anzahl Testfälle

Zweigüberdeckungsrate als Funktion der Testfallanzahl (gilt in ähnlicher Weise für andere Überdeckungsmaße) [Lig90]:

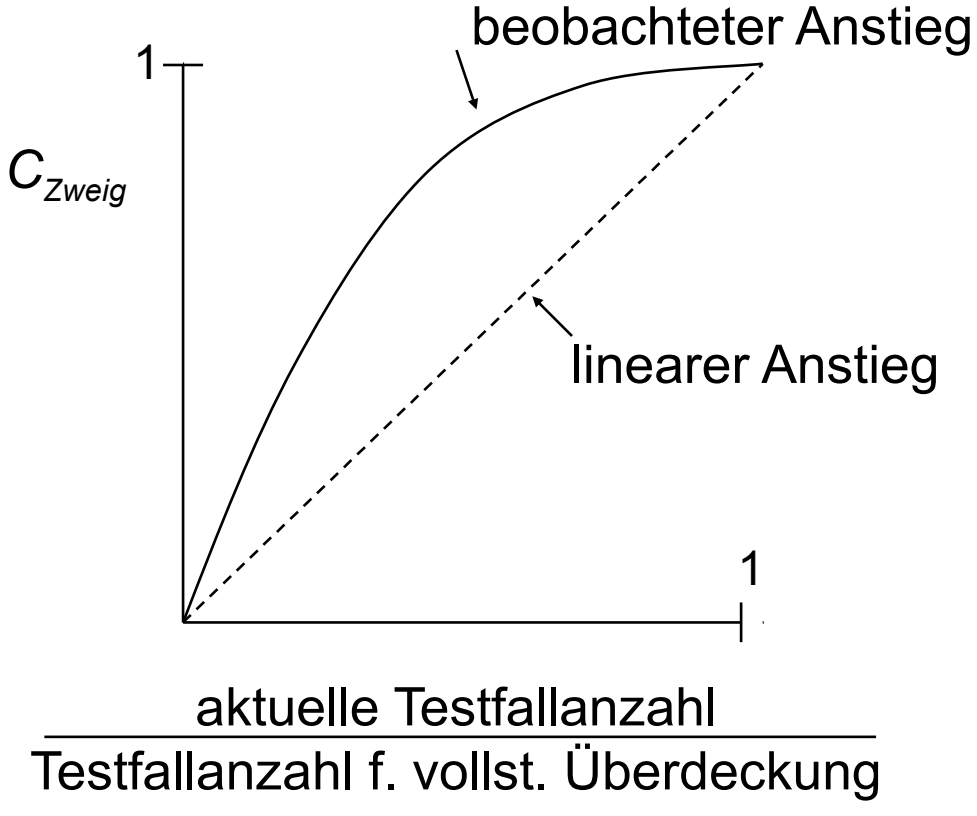


Empirisch beobachteter Zusammenhang (keine streng mathematische Notwendigkeit).

Zur Diskussion:
Was bedeutet das ?

Zweigüberdeckungsrate vs. Anzahl Testfälle

Zweigüberdeckungsrate als Funktion der Testfallanzahl (gilt in ähnlicher Weise für andere Überdeckungsmaße) [Lig90]:



Empirisch beobachteter Zusammenhang (keine streng mathematische Notwendigkeit).

Zur Diskussion:
Was bedeutet das ?

→ Anfangs erhöht sich C_{zweig} bei Erhöhung der Testanzahl schnell, später langsam.
(Vgl. „80-20-Regel“.)

Diskussionsfrage:
Anweisungsüberdeckung vs. Zweigüberdeckung

1) Kann man mit einer **100%iger Anweisungsüberdeckung** eine **100%ige Zweigüberdeckung garantieren?**

2) **Und umgekehrt ?**

Antwort:

1)

2)

Diskussionsfrage:
Anweisungsüberdeckung vs. Zweigüberdeckung

1) Kann man mit einer **100%iger Anweisungsüberdeckung** eine **100%ige Zweigüberdeckung garantieren?**

2) **Und umgekehrt ?**

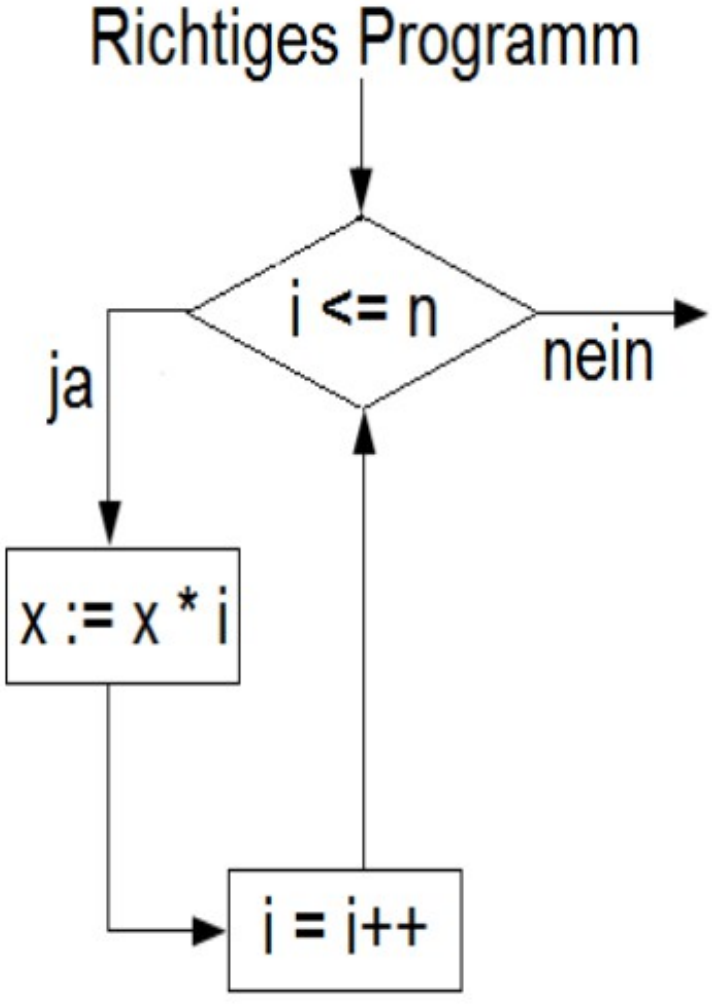
Antwort:

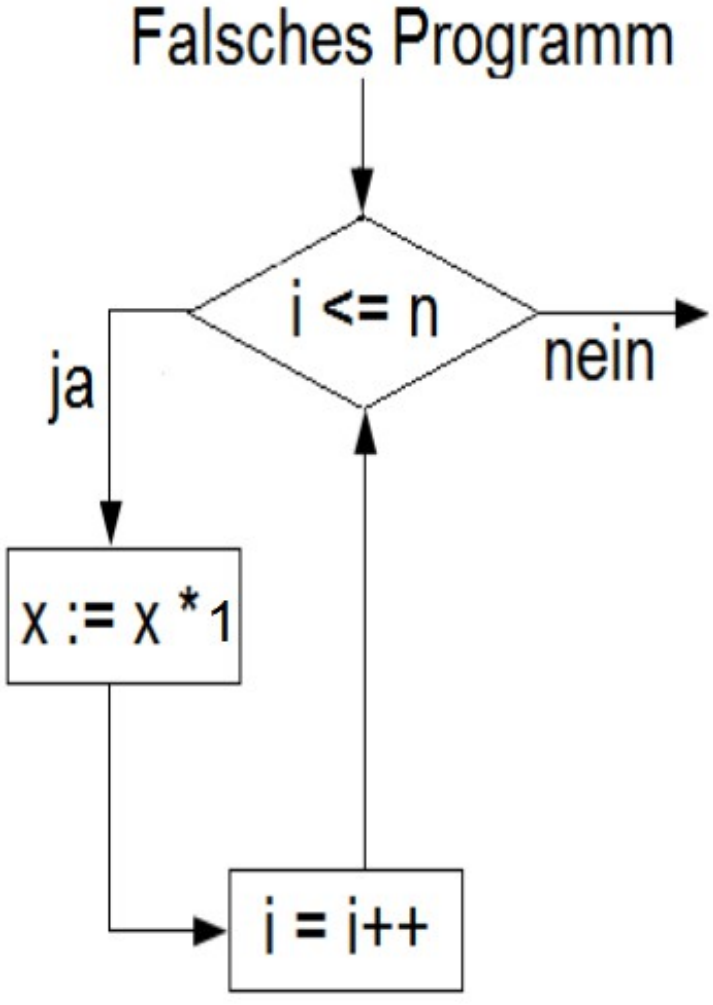
1) Nein. Vgl. Beispiel auf Folie 25/26.

2) Ja: Mit 100%iger Zweigüberdeckung kann man 100%ige Anweisungsüberdeckung garantieren.

- Beim Durchlauf aller Zweige werden alle Anweisungen überdeckt.

Zweigüberdeckung
Aussagekraft (Beispiel)



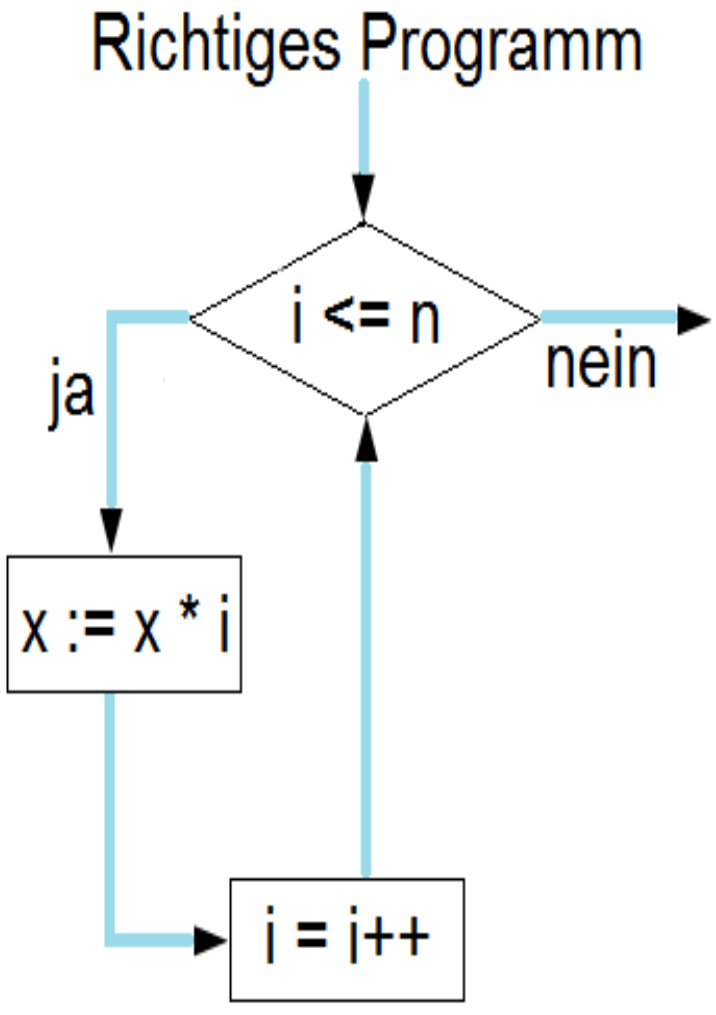


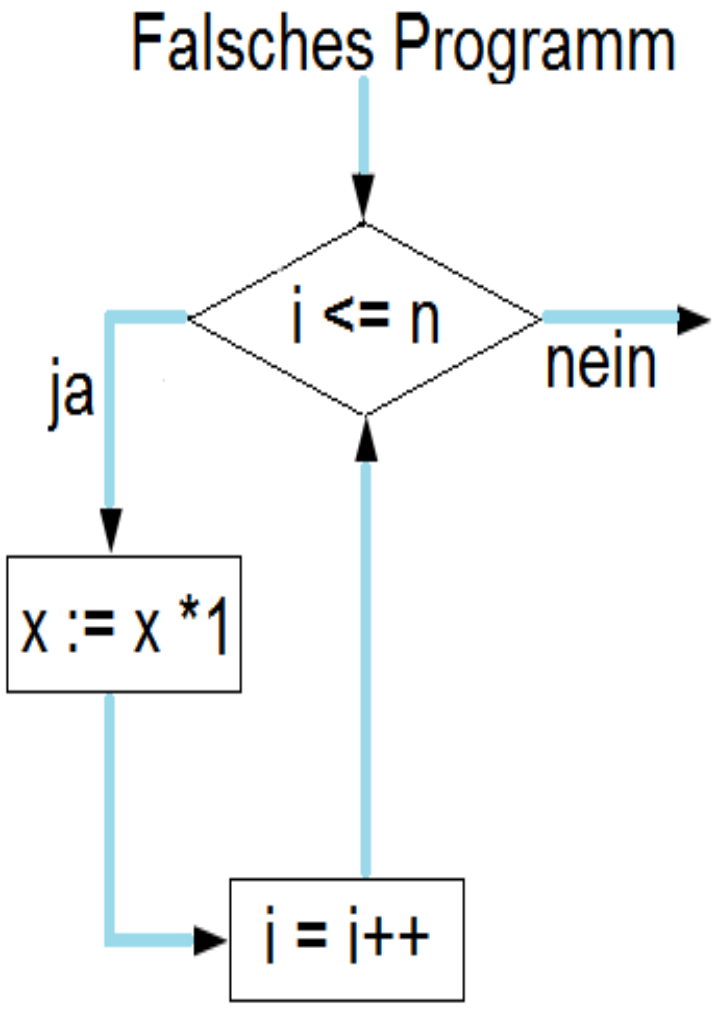
Testdatum:

Wie könnte ein einzelner **Testfall** aussehen, der **C_1-Überdeckung** erfüllt ?

Kann er das richtige vom falschen Programm unterscheiden ?

Zweigüberdeckung
Aussagekraft (Beispiel)





Testfall T1:

Eingabedaten:
i=1, x=1, n=1
Solldaten: i=2, x=1

erfüllt zwar **C_1-Überdeckung**, deckt aber nicht Fehler im falschen Programm auf, da die Schleife nur einmal durchlaufen wird.

→ Stärkeres Kriterium notwendig: **Grenze-Inneres-Überdeckung !**

Grenze-Inneres-Überdeckung

Grenze-Inneres-Überdeckung (gi): Dynamisches, kontrollfluss-basiertes Testentwurfsverfahren. Fordert, dass **jede Schleife:**

- **genau einmal** ausgeführt wird und
- **mehr als einmal** ausgeführt wird.

Außerdem soll **jede abweisende Schleife** in min. einem Testfall **gar nicht** ausgeführt werden. Dies sind:

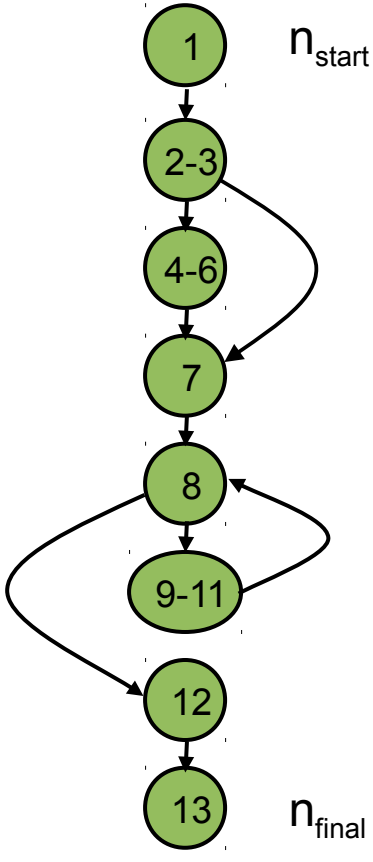
- `While, for`

(nur wenn Abbruchbedingung bei erstmaliger Auswertung wahr).

Zugehöriger Überdeckungsgrad:

$$\text{Grenze-Inneres-Überdeckungsgrad} = \frac{\text{Anzahl (gi)getestete Schleifen}}{\text{Gesamtzahl Schleifen}}$$

Grenze-Inneres-Überdeckung für `ggt()`

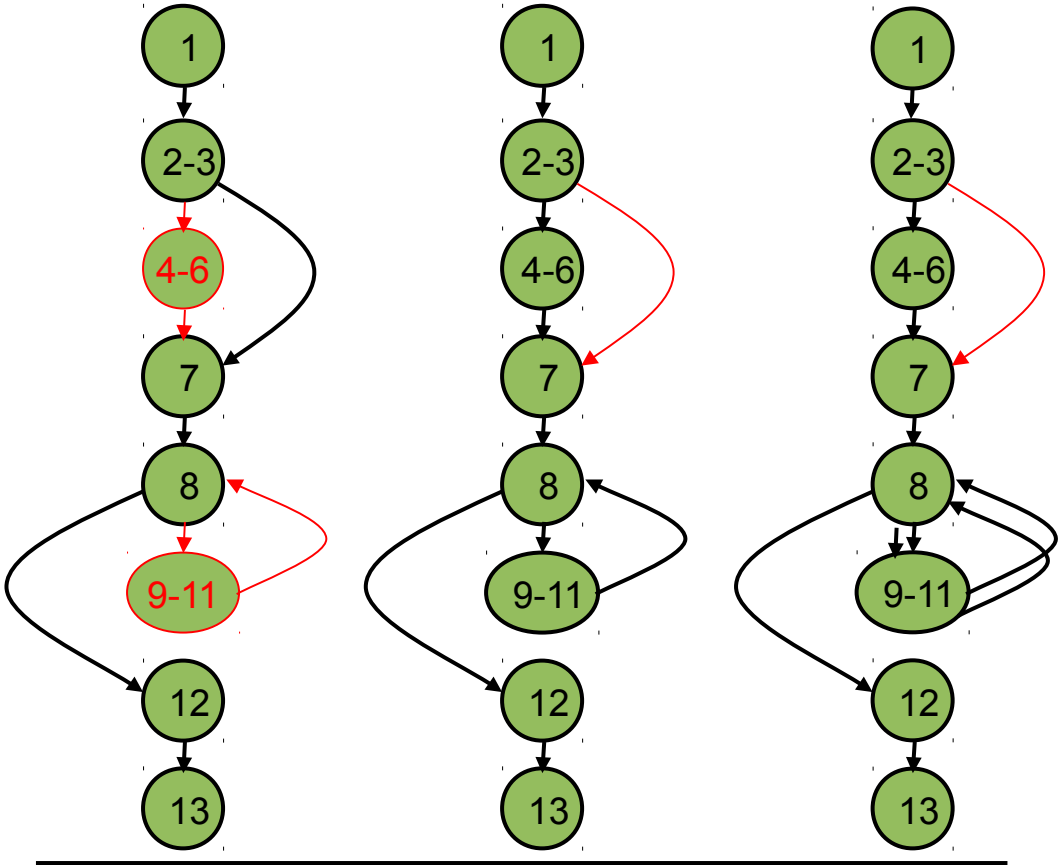


Pfad 1 = ?
Pfad 2 = ?
Pfad 3 = ?

```
1.  public int ggt (int m, int n)
    {
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;
13. }
```

Beispiel für Pfadmenge mit Grenze-Inneres-Überdeckung ?

Grenze-Inneres-Überdeckung für `ggt()`



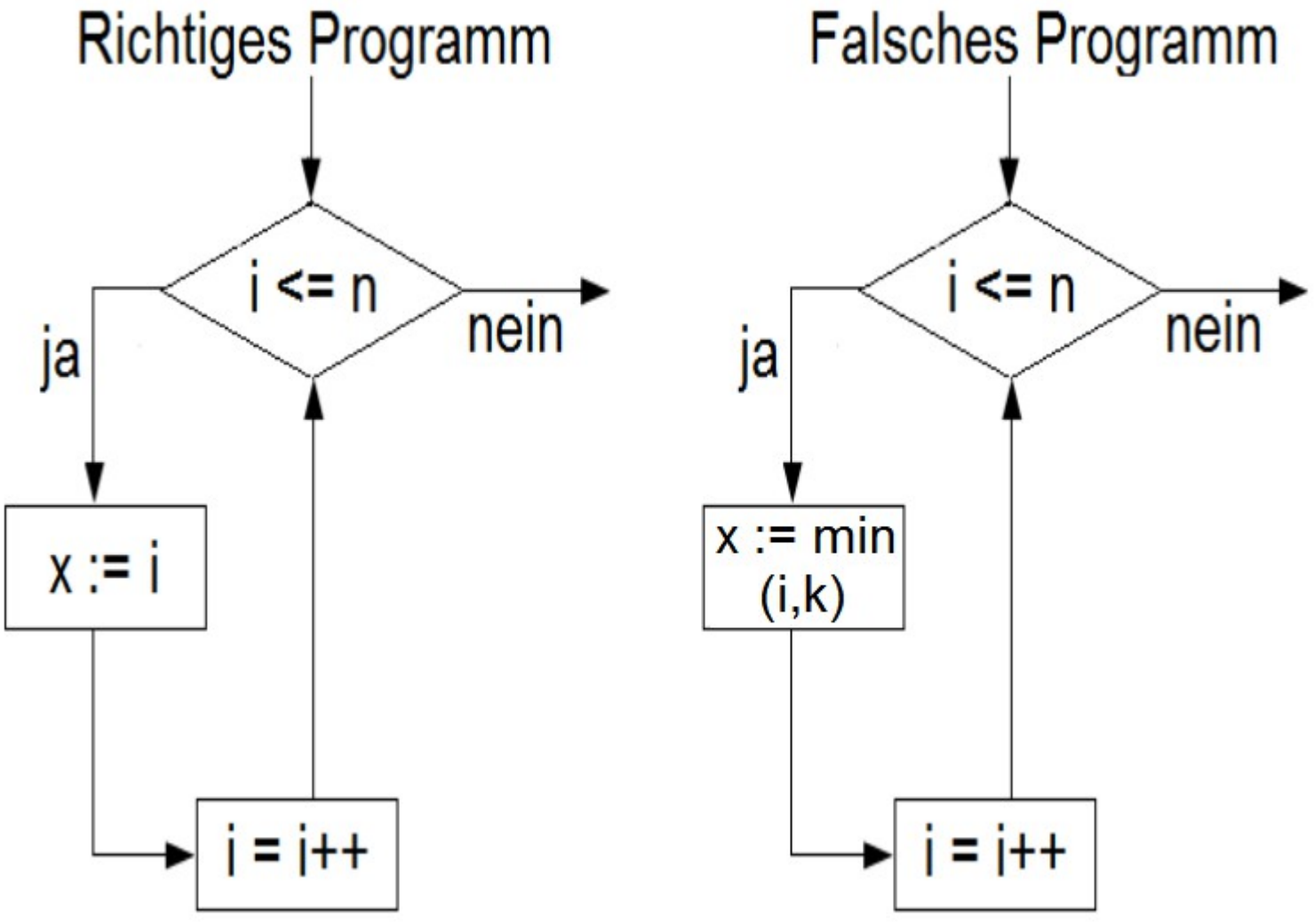
Pfad 1 = (1, 2-3, 7, 8, 12, 13)
Pfad 2 = (1, 2-3, 4-6, 7, 8, 9-11, 8, 12, 13)
Pfad 3 = (1, 2-3, 4-6, 7, 8, 9-11, 8, 9-11, 8, 12, 13)

```
1.  public int ggt (int m, int n)
    {
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;
13. }
```

Diskussion der Grenze-Inneres-Überdeckung

- In Aussage auf **Schleifen** beschränktes Kriterium**.**
  - Verlangt nur, Schleifen auf bestimmte Art zu testen.
  - Berücksichtigt keine Programmteile **außerhalb** von Schleifen.
  - Erkennt z.B. fehlende Anweisungen in **„leeren“ Zweigen** nicht !
  - „Mehr als einmal“ ausführen findet ggf. nicht Fehler, die erst ab bestimmter Durchlaufzahl manifest (s. nächste Folie).
- Daher in Praxis höchstens als **ergänzendes** Kriterium verwenden !
- Einzelne Schleifen **unabhängig voneinander** betrachtet (vgl. Zweige in Zweigüberdeckung)**.**
- Für **verschachtelte Schleifen** gibt es spezialisierte, in ihrer Stärke abgestufte Überdeckungsmaße.

Grenze-Inneres-Überdeckung
Aussagekraft (Beispiel)

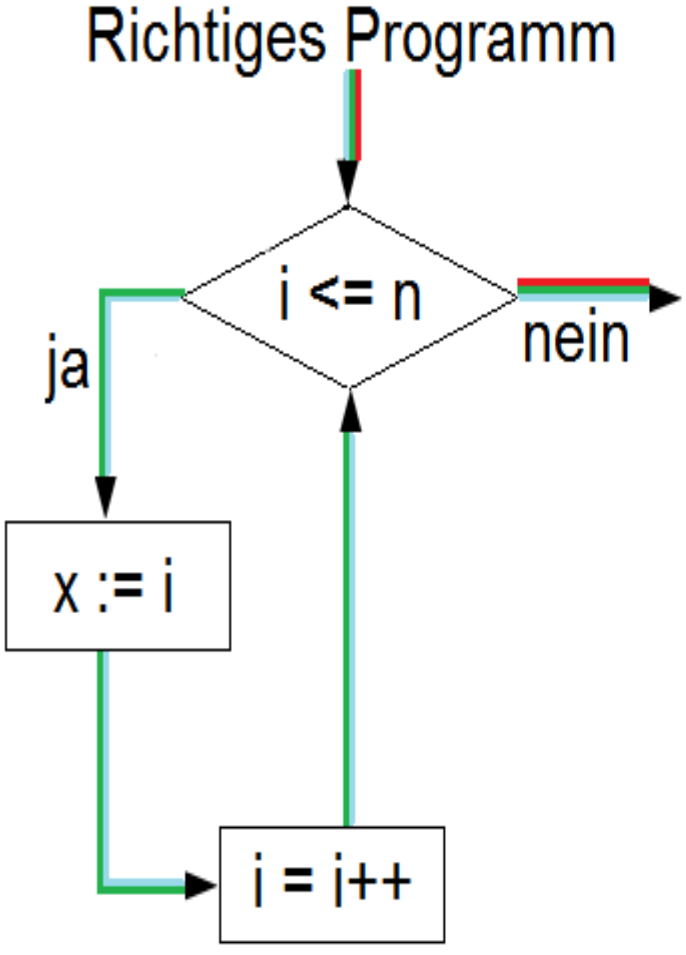


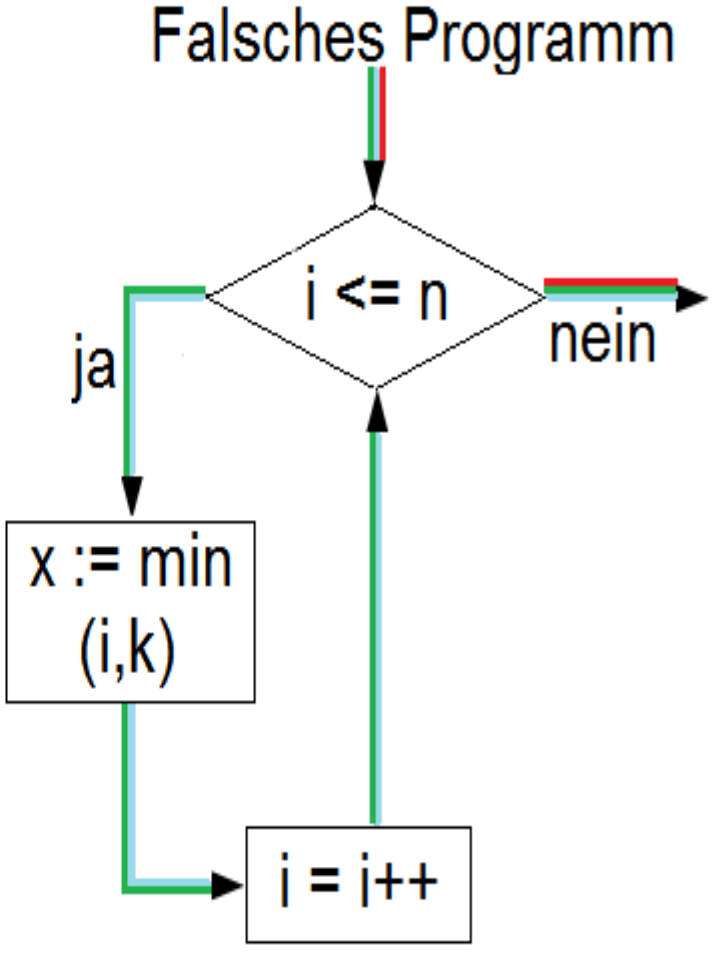
Testdatum:

Wie könnte eine **Testfallmenge** aussehen, die **C_1-Überdeckung und Grenze-Inneres-Überdeckung** erfüllt ?

Kann sie das richtige vom falschen Programm unterscheiden ?

Grenze-Inneres-Überdeckung
Aussagekraft (Beispiel)





Testfall T0:
Eingabe: i=x=1, n=k=0;
Soll: i=x=1, n=k=0

Testfall T1:
Eingabe: i=x=n=k=1;
Soll: i=2, x=n=k=1

Testfall T2:
Eingabe: i=x=1, n=k=3;
Soll: i=x=3

erfüllen zwar **C_1- und Grenze-Inneres-Überdeckung**, decken aber nicht Fehler im falschen Programm auf, da k<n nicht getestet wird.

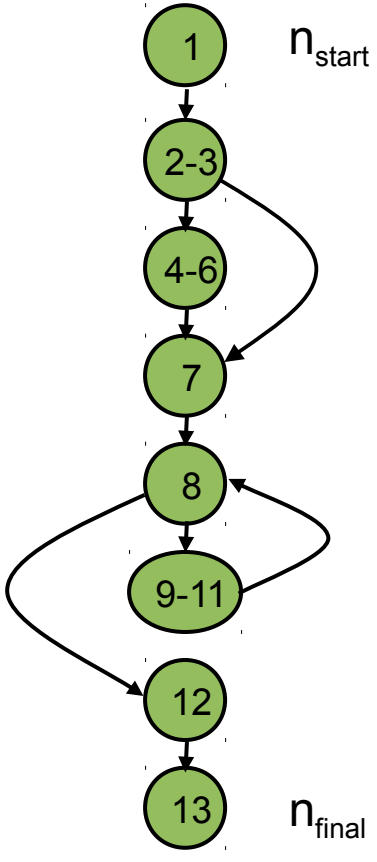
→ Stärkeres Kriterium notwendig: **Pfadüberdeckung !**

Pfadüberdeckung

- Dynamisches, kontrollflussbasiertes Testentwurfsverfahren.
- Fordert **min. einmalige Ausführung jedes Pfads** im Kontrollflussgraphen.
- Auch als **C_∞-Maß** bezeichnet.

$$\text{Pfadüberdeckungsgrad} = \frac{\text{Anzahl durchlaufene Pfade}}{\text{Gesamtzahl Pfade}}$$

Pfadüberdeckung für `ggt()`

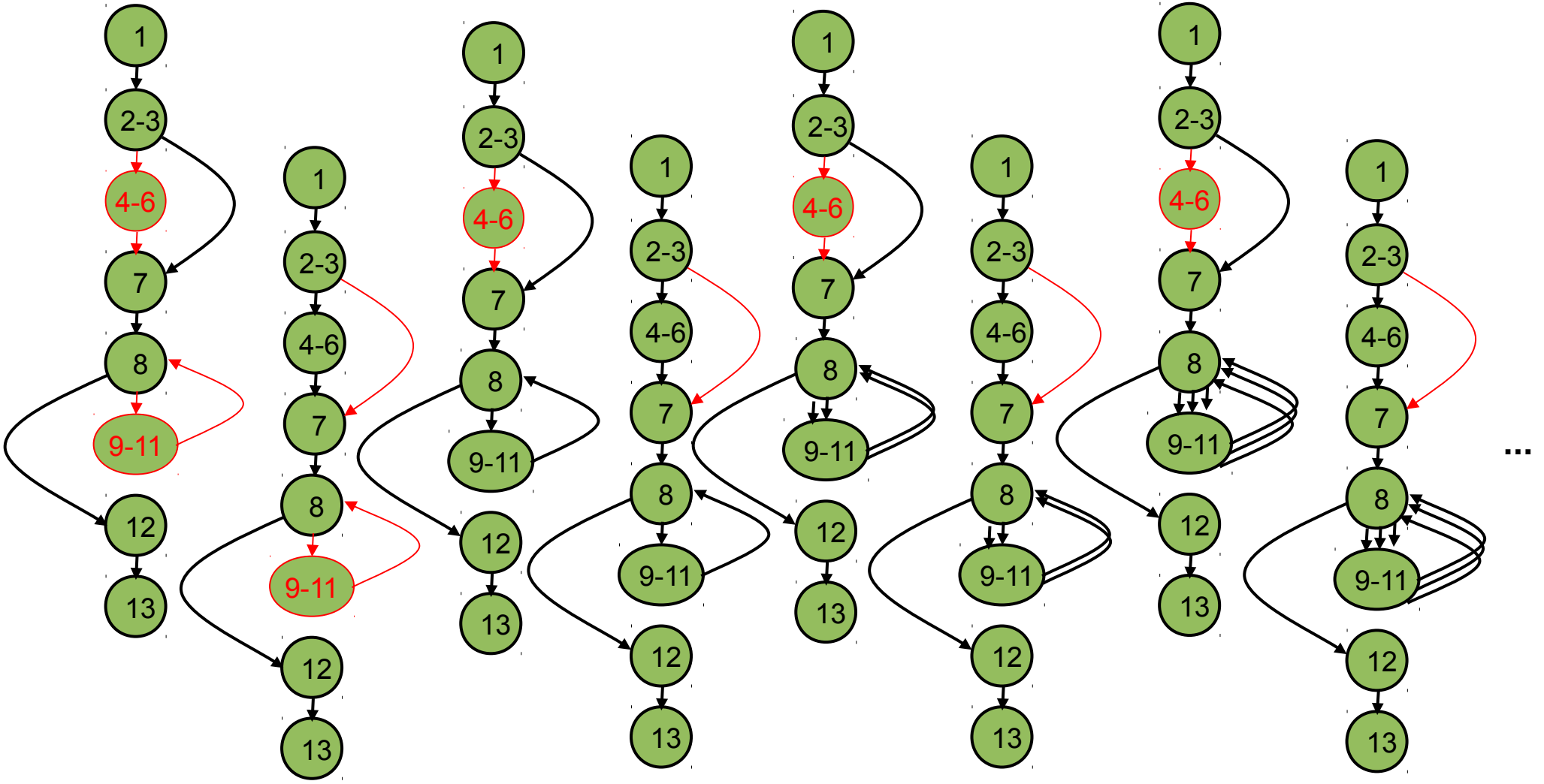


Pfad 1 = ?
Pfad 2 = ?
Pfad 3 = ?

```
1. public int ggt (int m, int n)
   {
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;
13. }
```

Beispiel für Pfadmenge mit Pfadüberdeckung ?

Beispiel: Pfadüberdeckung für `ggt()`



Frage: Welche obere Grenze lässt sich hier angeben ?

Pfadüberdeckung für `ggt()`: Obere Grenze

LEHRSTUHL 14
SOFTWARE ENGINEERING

Grobe obere Grenze für maximale Anzahl Schleifendurchläufe in Abhängigkeit von Eingaben n, m:

- **Zeile 3-6**: ggf. m, n vertauschen
→ betrachte max(n,m) als obere Grenze für m, n
- **Zeile 8-11**: Es gilt: mod(x,y)<min(x,y).
→ r in jedem Schleifendurchlauf strikt kleiner als im Durchlauf davor.
→ höchstens max(n,m) Durchläufe.
→ höchstens maxint Durchläufe.

```
1.  public int ggt (int m, int n)
    {
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;
13. }
```

Diskussionsfrage

Frage:

- Gibt es Programm, zu dem keine obere Grenze für Schleifenabbruch (und damit Pfadüberdeckung) angegeben werden kann ?

Diskussionsfrage

Frage: Programm ohne obere Grenze für Schleifenabbruch ?

Antwort:

Beispiel: Schleife, deren Abbruchwert von (echtem) Zufallszahlengenerator erzeugt wird (Benutzereingaben, radioaktiver Zerfall, ...):
Kann beliebig lange Wert false generieren, bevor true generiert wird.

→ **keine Grenze für Pfadüberdeckung**, wenn Schleifenabbruch abhängig von **externem** Nicht-Determinismus.

Diskussionsfrage

Warum werden durch **100%-ige Pfadüberdeckung**, die ja 100% der Pfade testet, **nicht 100% der Fehler gefunden ?**

Antwort:

-
-

Diskussionsfrage

Warum werden durch **100%-ige Pfadüberdeckung,** die ja 100% der Pfade testet, **nicht 100% der Fehler gefunden ?**

Antwort:

- Es werden zwar alle Pfade getestet, aber **nicht mit allen möglichen Variablenbelegungen.**
- Es wird nur **vorhandene Funktionalität getestet** und nicht, welche Funktionalität evtl. fehlt.

Pfadüberdeckung: Zusammenfassung der Bewertung

LEHRSTUHL 14
SOFTWARE ENGINEERING

Bei zyklischen Kontrollflussgraphen **potenziell unendlich viele (beliebig lange) Pfade.**

- Aber: **Obere Grenzen** für mögliche Länge (und damit Anzahl) ggf. aus Spezifikation oder aus technischen Einschränkungen ableitbar.

In Praxis 100%ige Pfadüberdeckung oft nicht erreichbar (vgl. Beispiel T2.0 F12-13).

→ **Als theoretisches Vergleichsmaß wichtig.**

Nichtsdestrotrotz: auch Pfadüberdeckung kann nicht alle Fehler finden (nicht alle Eingabewerte und Variablenbelegungen getestet).

→ Brauche alternatives Testparadigma als Ergänzung.

→ **Test der Bedingungen**, **Datenflussbasiertes Testen** (vgl. folgende Abschnitte)

2.4 White-Box-Test

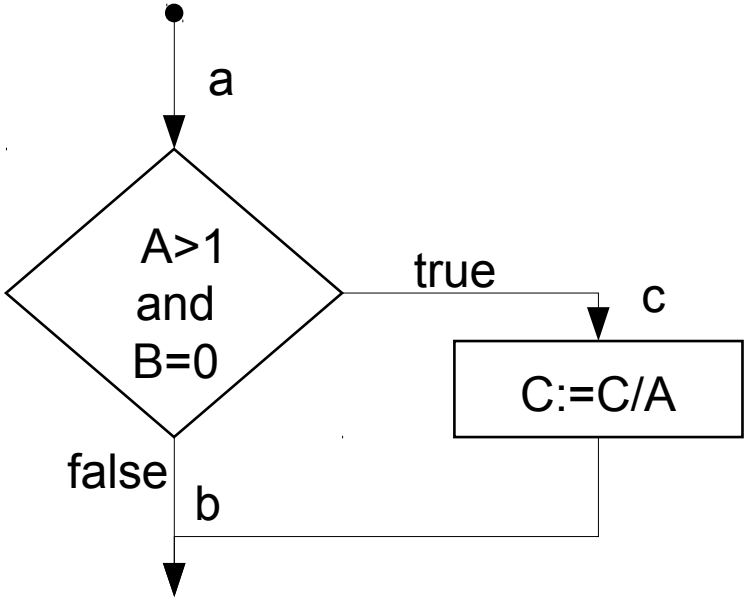
2.4 White-Box-Test

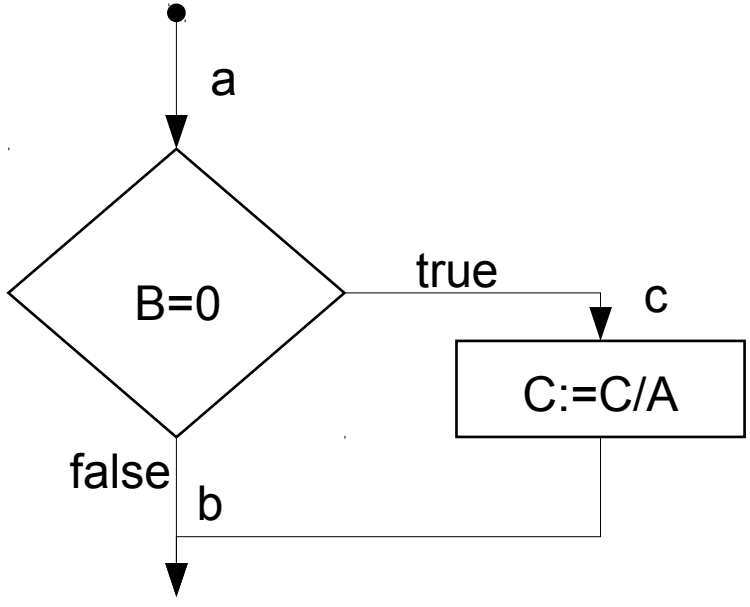
- Idee der White-Box Testentwurfsverfahren
- Kontrollflussbasierter Test
- **Test der Bedingungen**
- Datenflussbasierter Test
- Statische Analyse

Zweigüberdeckung: Ausdruckstärke

Kann es Testfälle mit Zweigüberdeckung geben, die richtiges und falsches Programm nicht unterscheiden ?

Antwort: ?

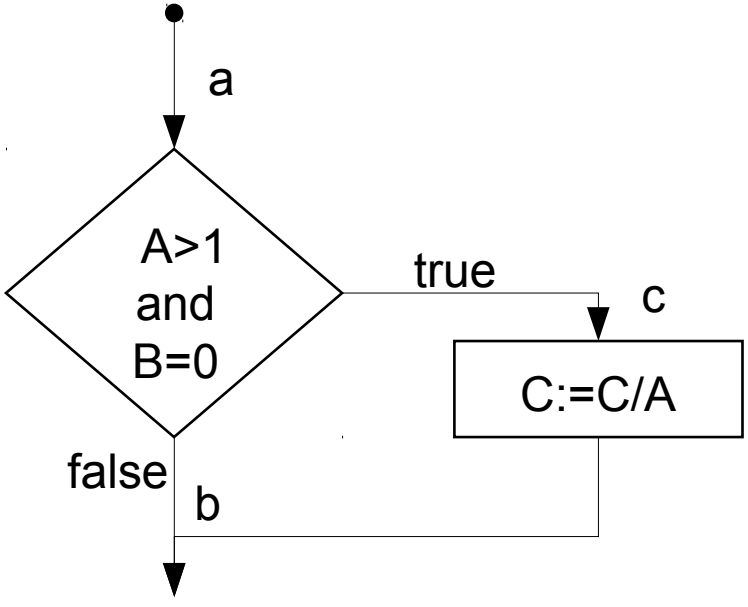


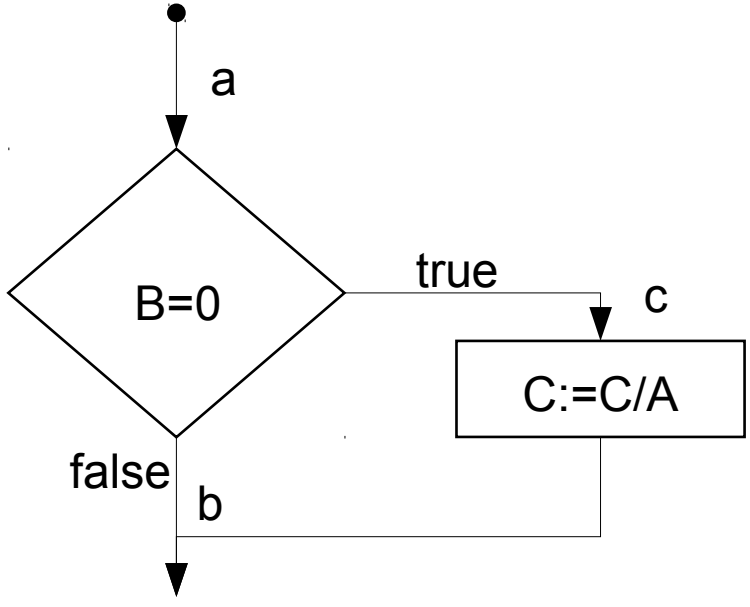


Zweigüberdeckung: Ausdruckstärke

Kann es Testfälle mit Zweigüberdeckung geben, die richtiges und falsches Programm nicht unterscheiden ?

Antwort: Testfallmenge {(A=2,B=C=0),(A=2,B=1,C=0)}.





→ Brauchen stärkeres Kriterium, das Teilbedingungen berücksichtigt

→ Bedingungsüberdeckung !

Bedingungen in Programmen (und Spezifikationen)

- **Wahrheitswerte:** `false`, `true` (oft auch `0`, `1` oder »falsch«, »wahr«).
- **Atomare (Teil-)Bedingung (*condition*):**
  - Variablen vom Typ **`boolean`**.
  - Operationen mit Rückgabewert vom Typ **`boolean`**.
  - Vergleichsoperationen.
  - Z.B. `flag; isEmpty(); size > 0`
- **Zusammengesetzte Bedingung (*compound condition*):**
  - Verknüpfung von (Teil-)Bedingungen mit booleschen Operatoren.
  - Basis-Operatoren sind **`und`** ($\wedge$, $\cap$), **`oder`** ($\vee$, $\cup$), **`nicht`** ($\neg$).
- **Entscheidung:** (zusammengesetzte) Bedingung, die Programmablauf steuert.
- **In Java:**
  - `&`, `|`, `^` Bitweise *und*, *oder* und *exklusiv-oder*-Verknüpfung.
  - `&&`, `||` Wie oben, aber lazy evaluation, z.B. `a && b` = `a ? b : false`.
  - **`if`** `((size > 0) && (inObject != null))` `{...}` **`else`** `{…}`.

Bedingungsüberdeckung

Bedingungsüberdeckungen:

- Berücksichtigen **Bedingungen in Schleifen und Auswahlkonstrukten** zur Definition von Tests.

Idee: Zusammengesetzte Bedingungen nur einmal zu True und False auswerten ist nicht ausreichend.

→ **Teilbedingungen** (atomare Prädikatterme) **variieren.**

Beispiel:

- if A>1 and (B=2 or C>1) and D then ... else …
- Entscheidungsprädikat: A>1 and (B=2 or C>1) and D
- Atomare Prädikatterme: A>1, B=2, C>1, D

Anderes Beispiel: Vergleich der Zweigüberdeckung von if (a AND b AND c) {...} einer äquivalenten Konstruktion if a {if b {if c {...}}}

Einfache Bedingungsüberdeckung

Einfache (oder auch atomare) Bedingungsüberdeckung (C_2-Test):

- Testdatenmenge *T* erfüllt C_2-Überdeckung g.d.w. es:
  - für jede Verzweigung im Programm mit zwei Ausgängen und
  - für jeden (atomaren) Prädikatterm *p* des zur Verzweigung gehörenden Booleschen Ausdrucks
  - zu jedem Wahrheitswert von *p* ein Testdatum *t* aus *T* gibt.

  bei dessen Ausführung *p* diesen Wahrheitswert annimmt.
- **Hinweis:** Verzweigungen mit mehr als zwei Ausgängen in äquivalentes Konstrukt mit zwei Ausgängen umformbar.
- Garantiert keine Zweigüberdeckung.
  → Testen beider Wahrheitswerte kompletter (zusammengesetzter) Boolescher Ausdrücke nicht garantiert.

Einfache Bedingungsüberdeckung: Testwirksamkeitsmaß C_2

$$C_2 =_{def} \frac{\text{Anzahl Prädikate}_{TRUE} + \text{Anzahl Prädikate}_{FALSE}}{2 * \text{Anzahl der Prädikate}}$$

Wie üblich: 100%ige Überdeckung nicht erreichbar, wenn Belegung von Teilbedingungen mit true und false nicht erreicht werden kann (weil durch Programmkontext ausgeschlossen).

Beispiele zur einfachen Bedingungsüberdeckung

A	B	A ∧ B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

A	B	A ∨ B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

A	B	C	A ∧ B ∧ 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

2 Ausdrücke, 2 Testfälle	2 Ausdrücke, 2 Testfälle	3 Ausdrücke, 2 Testfälle

Einfache Bedingungsüberdeckung: Anzahl Testfälle

Wieviele Testfälle benötigt für einfache Bedingungsüberdeckung für Bedingung aus **2 Ausdrücken** ?

-

A	B	A ∧ B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Wieviele bei **n>2 Ausdrücken** ?

-

A	B	C	A ∧ B ∧ 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

Einfache Bedingungsüberdeckung: Anzahl Testfälle

Wieviele Testfälle benötigt für einfache Bedingungsüberdeckung für Bedingung aus **2 Ausdrücken** ?

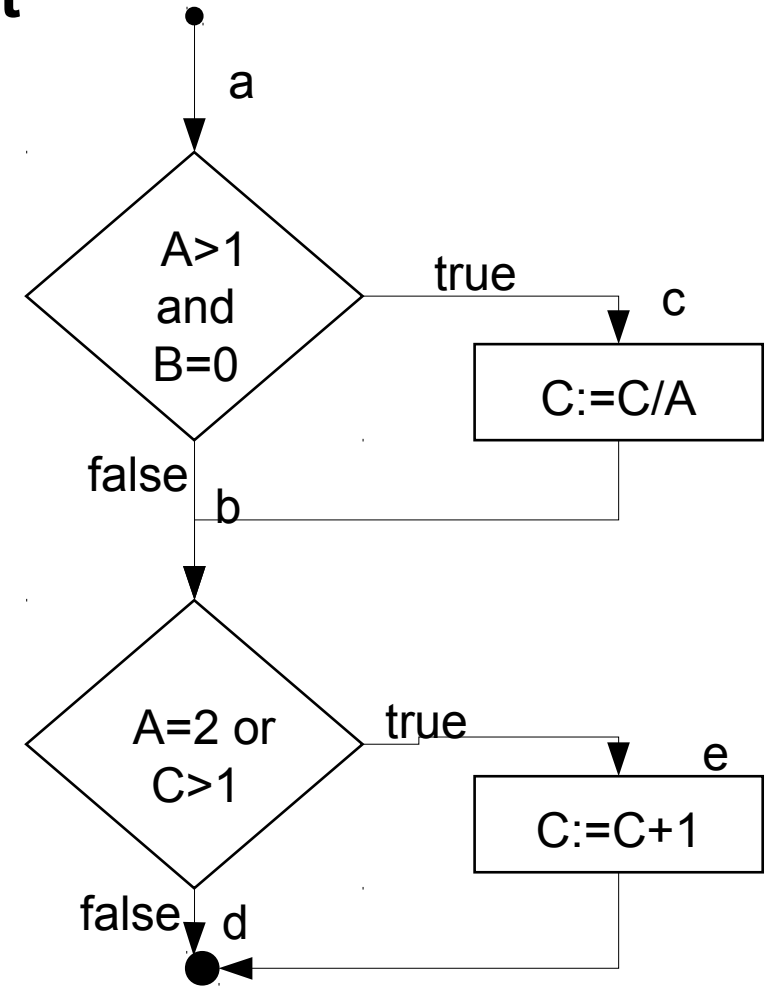
• Falls Überdeckung erreicht werden kann, reichen 2: Entweder T1=((0,0), (1,1)) oder T2=((0,1),(1,0)). Falls beide nicht erreicht werden können (weil je mind. eine Kombination nicht erreicht werden kann), bleiben ohnehin höchstens zwei Testfälle übrig.

Wieviele bei **n>2 Ausdrücken** ?

• Falls Überdeckung erreicht werden kann, reichen n.
Beweis per Induktion: Induktionsanfang s.o.
Induktionsschritt: Gilt für n+1 auf Basis von n: Die n Testfälle decken mind. einen Wert (true oder false) für den n+1sten Ausdruck ab; für den anderen reicht ein weiterer Testfall.

Einfache Bedingungsüberdeckung: Ausdrucksstärke

Kann es einen **C_2-Testfall** geben, der **nicht alle Zweige testet** ?

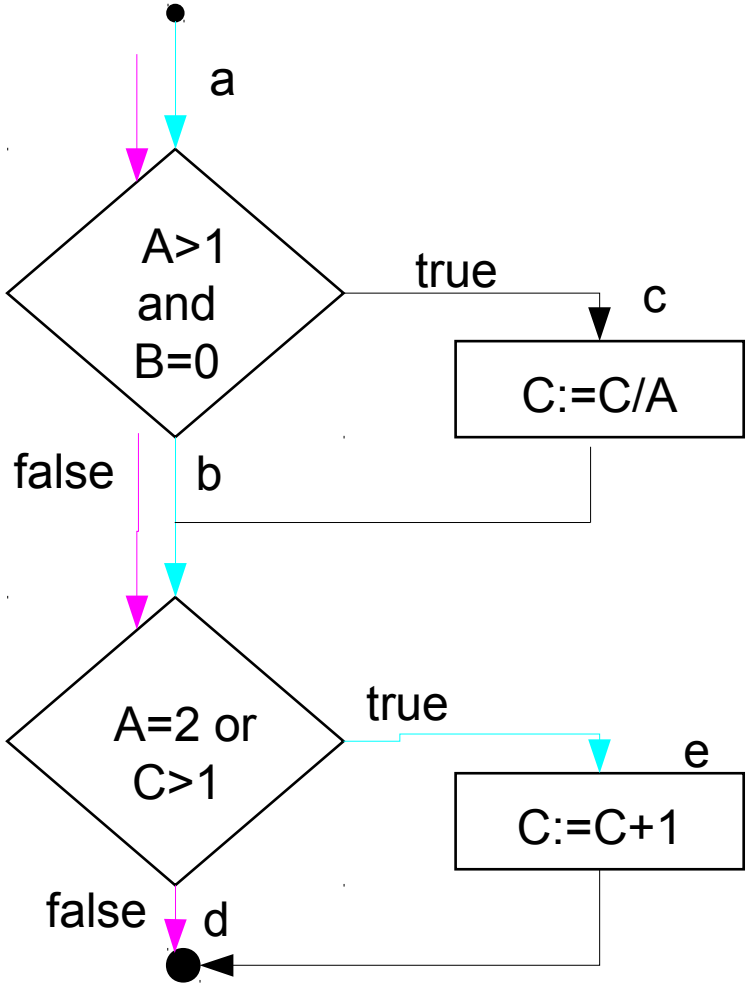


Einfache Bedingungsüberdeckung: Ausdrucksstärke

Beispiel

- Testdatum A=2,B=1,C=4
  - A>1 true
  - B=0 false
  - A=2 true
  - C>1 true
  - Weg: abe
- Testdatum A=1,B=0,C=1
  - A>1 false
  - B=0 true
  - A=2 false
  - C>1 false
  - Weg: abd

→ Zweig c wird nicht überdeckt!

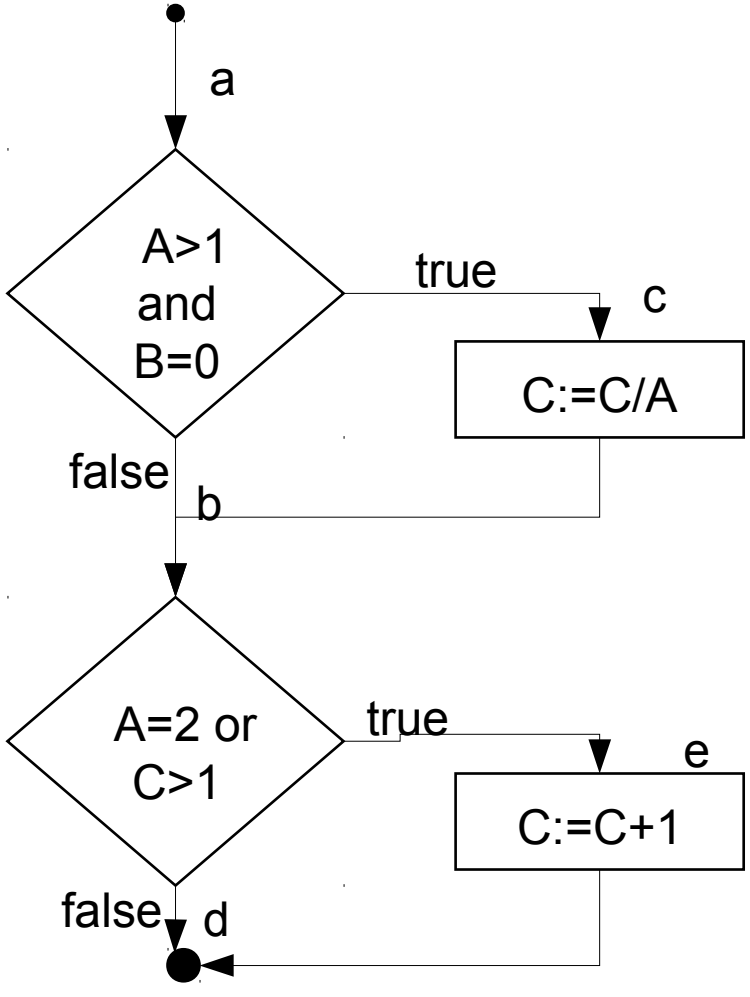


Zweig-/Bedingungsüberdeckung:

Testdatenmenge erfüllt Zweig-/ Bedingungsüberdeckung gdw. sie **C_2-Überdeckung** (atomare Bedingungsüberdeckung) **und C_1-Überdeckung** (Zweigüberdeckung) **erfüllt.**

Zweig-/Bedingungsüberdeckung: Ausdrucksstärke

Kann es einen **Zweig- / Bedingungs-überdeckungs-Testfall** geben, der **nicht alle Zweigkombinationen testet** ?

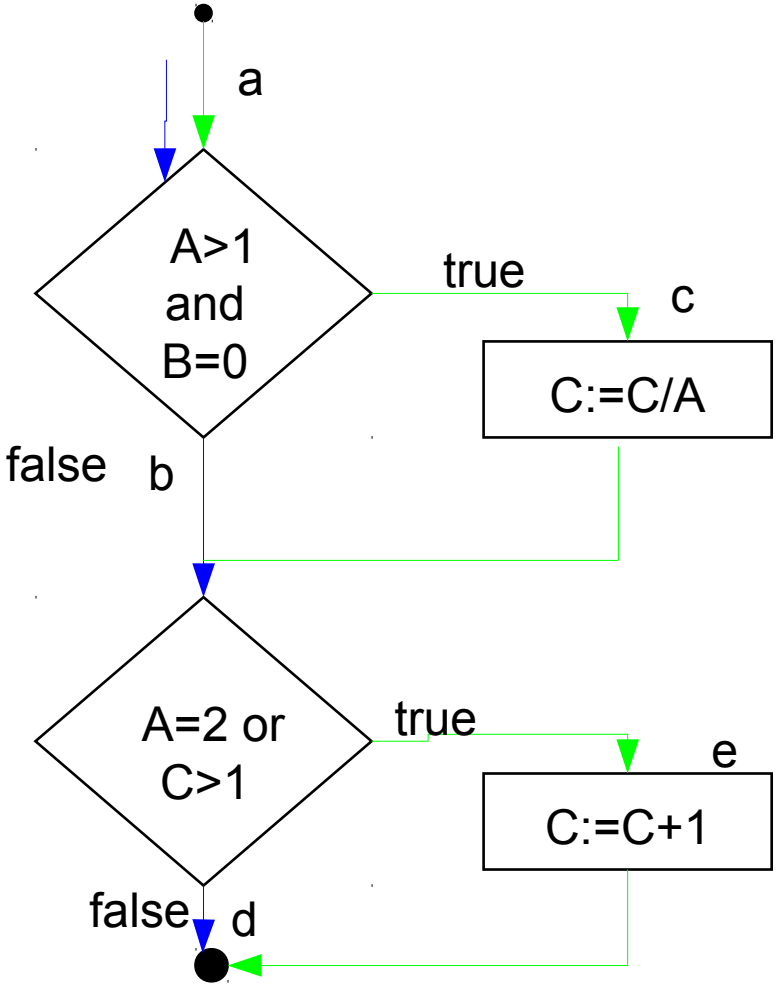


Zweig-/Bedingungsüberdeckung: Ausdrucksstärke

Beispiel:

- Testdatum A=2,B=0,C=4:
  - A>1 true
  - B=0 true
  - A=2 true
  - C>1 true
  - Weg: ace
- Testdatum A=1,B=1,C=1:
  - A>1 false
  - B=0 false
  - A=2 false
  - C>1 false
  - Weg: abd

→ Alle Zweige nun überdeckt, aber nicht alle **Zweigkombinationen!**

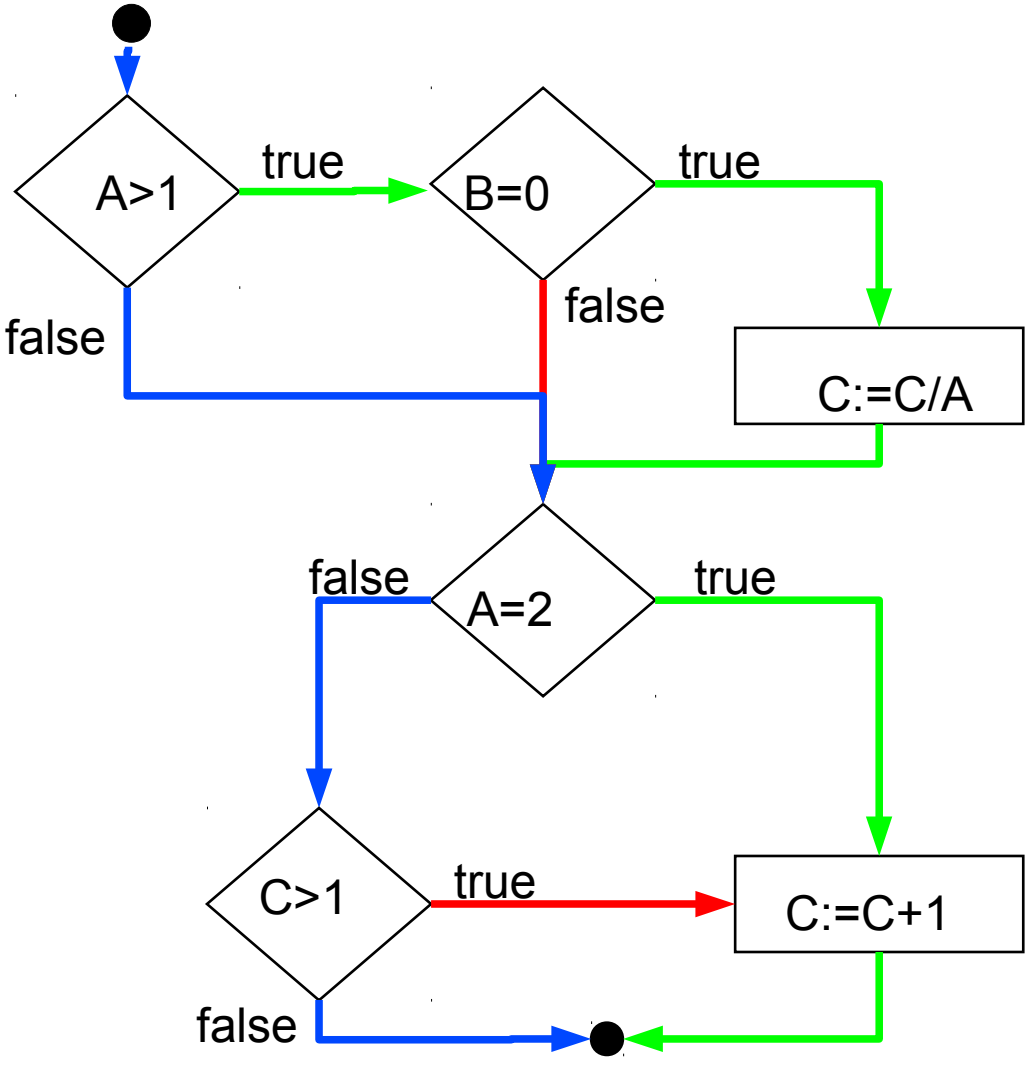


Zweig-/Bedingungsüberdeckung: Ausdrucksstärke

Zur Veranschaulichung: Umformung des Kontrollflussgraphen (normalerweise nicht vorgesehen, hier nur zu didaktischen Zwecken):

- Testdatum A=2,B=0,C=4
- Testdatum A=1,B=1,C=1
- 2 Zweige fehlen !

Lösung:
Mehrfachbedingungsüberdeckung !



Mehrfachbedingungsüberdeckung

Mehrfachbedingungsüberdeckung (C_3- oder C_2(M)-Überdeckung):

Testdatenmenge erfüllt Mehrfachbedingungsüberdeckung g.d.w.

- **für jede Verzweigung** im Programm mit zwei Ausgängen und
- für zur Verzweigung gehörenden **Booleschen Ausdruck**
- **jede mögliche Kombination** der Wahrheitswerte atomarer Prädikatterme ausgeführt wird.

Falls Programm keine Tautologien enthält: Ergibt true/false-Belegung der zusammengesetzten Booleschen Ausdrücke => Impliziert Zweigüberdeckung.

Wie üblich: 100%ige Überdeckung nicht erreichbar, wenn Kombination von Wahrheitswerten nicht erreicht werden kann.

- Z.B. bei `(x > 0) && (x < 5)` ist (falsch, falsch) nicht realisierbar

Beispiel: Mehrfachbedingungsüberdeckung

Teste jede Kombination der Wahrheitswerte aller atomarer Ausdrücke !

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

A	B	$A \vee B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
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

2 Ausdrücke, 4 Testfälle	2 Ausdrücke, 4 Testfälle	3 Ausdrücke, 8 Testfälle

Frage: Wieviele Testfälle werden benötigt (für n atomare Prädikatterme) ?

Mehrfachbedingungsüberdeckung Diskussion

Testfall-Anzahl bei *n* atomaren Ausdrücken: 2^n.

$$\text{Mehrfachbedingungsüberdeckungsgrad} = \frac{\text{Anzahl getesteter Kombinationen atomarer Ausdr.}}{2^{\text{Gesamtzahl atomarer Ausdrücke}}}$$

→ Aufwändig zu realisieren.

Alle Kombinationen durch Testdaten **nicht immer realisierbar.**

→ Weist nicht auf Fehler der Programmlogik hin!
→ Testbeurteilung wird erschwert!

Besser: Minimale Mehrfachbedingungsüberdeckung.

Minimale Mehrfachbedingungsüberdeckung

Testdatenmenge erfüllt **Minimale Mehrfachbedingungsüberdeckung** (C_2(mM)-Überdeckung, *minimal bestimmende Mehrfachbedingungsüberdeckung*) g.d.w.:

- für jede Verzweigung im Programm mit **zwei Ausgängen** und
- für zur Verzweigung gehörenden **Booleschen Ausdruck**
- folgende Kombinationen der Wahrheitswerte der enthaltenen atomaren Prädikatterme ausgeführt werden:
  - **Jede Kombination** von Wahrheitswerten, für die Änderung des Wahrheitswertes **eines Terms** den **gesamten** Wahrheitswert **ändert**.

[Bemerkung: Da diese Eigenschaft jede Kombination von Wahrheitswerten für sich betrachtet, gibt es immer eine **eindeutige** kleinste Kombinationsmenge, die mM erfüllt (im Gegensatz z.B. zur einfachen Bedingungsüberdeckung).]

Minimale Mehrfachbedingungsüberdeckung

LEHRSTUHL 14
SOFTWARE ENGINEERING

$$\text{Minimale Mehrfachbedingungsüberdeckungsgrad} = \frac{\text{Anzahl getesteter MM Kombinationen}}{\text{Gesamtzahl MM Kombinationen}}$$

100% **minimale Mehrfachbedingungsüberdeckung** impliziert 100% **Entscheidungsüberdeckung**.

Anzahl Testfälle **im Normalfall** geringer als bei Mehrfachbedingungsüberdeckung.

Gesamtzahl **Kombinationen** für C_2(mM)-Überdeckung **bei reinen AND bzw. OR-Bedingungen** mit n atomaren Prädikaten: n+1.

Algorithmus für **Überprüfung** eines Testfalls auf MM-Bedingung: Direkte Überprüfung der Eigenschaft „Änderung des Wahrheitswertes **eines Terms** ändert den **gesamten** Wahrheitswert“.

Algorithmus für die **Generierung** einer MM-Testfallmenge: Sukzessive Überprüfung der MM-Bedingung für jeden möglichen Testfall.

Frage: Minimale Mehrfachbedingungsüberdeckung

Seien A1, A2, A3 atomare Ausdrücke und B=NOT(A1) AND NOT(A2 AND NOT(A3)) der durch unten abgebildete Wahrheitswerttabelle definierte Gesamtausdruck.

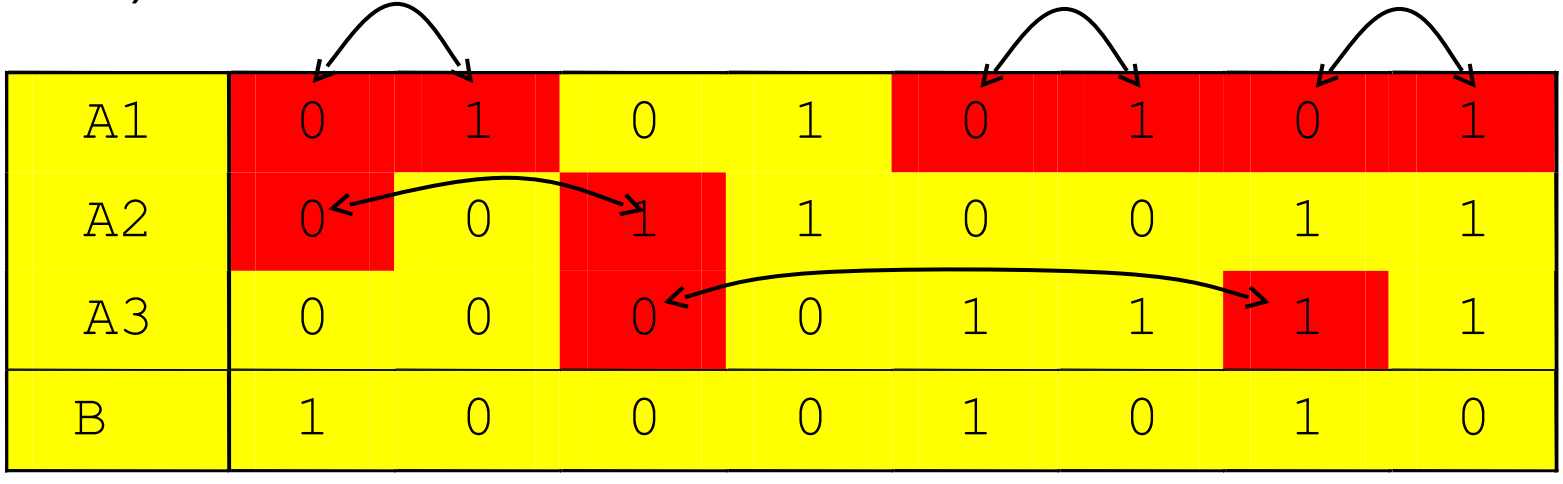
Frage: Welche Werte-Kombinationen von A1, A2 und A3 sind für **minimale Mehrfachbedingungsüberdeckung** mit Testfällen zu bewirken ?

A1	0	1	0	1	0	1	0	1
A2	0	0	1	1	0	0	1	1
A3	0	0	0	0	1	1	1	1
B	1	0	0	0	1	0	1	0

Lösung: Minimale Mehrfachbedingungsüberdeckung

Antwort: **Mit Testfällen alle Kombinationen (Spalten) bewirken**, in denen mindestens eine rote Markierung ist.

Da hier MM-Kombinationen existieren, ist sowohl **B=0** als auch **B=1 abgedeckt** und daher kein gesonderter Testfall notwendig, der (Gesamt-)Ausdruck **einmal zu wahr und einmal zu falsch** auswertet.



Bemerkung: Für minimale Mehrfachbedingungsüberdeckung reicht **nicht**, alle Belegungen der Teilbedingungen und der Gesamtbedingung mit 0 und 1 zu testen (sonst würden hier die Testfälle 1,2,3,7 reichen).

Beispiele: Minimale Mehrfachbedingungsüberdeckung

A	B	A ∧ B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

A	B	A ∨ B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

A	B	C	A ∧ B ∧ 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

2 Ausdrücke, 3 Testfälle	2 Ausdrücke, 3 Testfälle	3 Ausdrücke, 4 Testfälle

Minimale Mehrfachbedingungs-überdeckung: Vgl. früheres Beispiel

LEHRSTUHL 14
SOFTWARE ENGINEERING

Testdatum A=3,B=0,C=3:

- A>1 true
- B=0 true
- A=2 false
- C>1 false (da Auswertung C:=C/A)

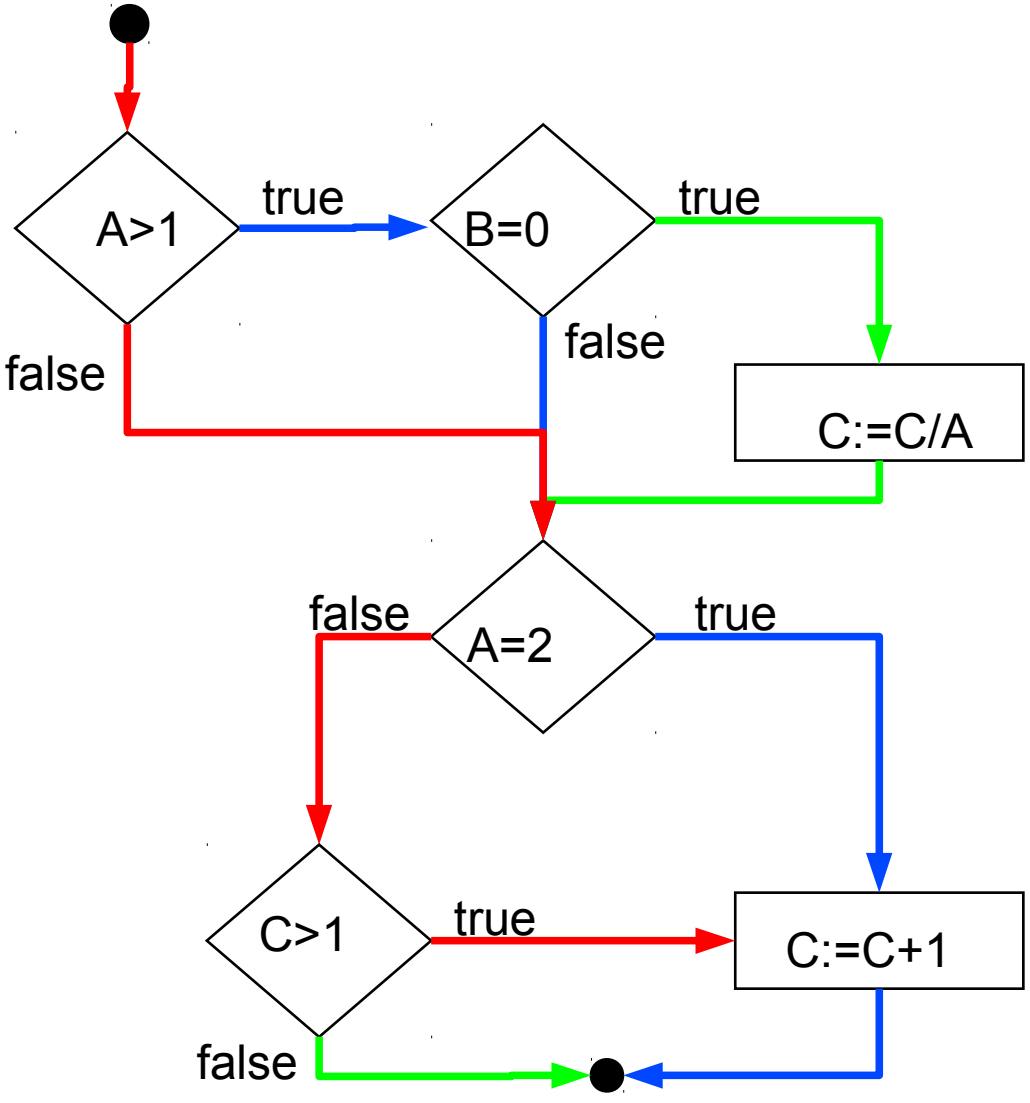
Testdatum A=2,B=1,C=0:

- A>1 true
- B=0 false
- A=2 true
- C>1 false

Testdatum A=1,B=0,C=2:

- A>1 false
- B=0 true
- A=2 false
- C>1 true

→ Alle Zweige geprüft.



Hinweis

In DO-178B (Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification) geforderte »*Modified Condition/Decision Coverage*« (MC/DC) ist ähnlich der **Minimalen Mehrfachbedingungsüberdeckung.**

- Fordert für jeden atomaren Ausdruck in min. einem Fall zu zeigen, dass er **alleine Gesamtentscheidung beeinflussen** kann.
- **Zwei MM-Kombinationen pro atomaren Ausdruck** notwendig.
- Bei *n* atomaren und/oder/nicht-verknüpften Ausdrücken: **Testfall-Anzahl** bei MC/DC mindestens *n*+1 und höchstens 2*n* (also nur linear wachsend !).

A1	0	1	0	1	0	1	0	1
A2	0	0	1	1	0	0	1	1
A3	0	0	0	0	1	1	1	1
B	1	0	0	0	1	0	1	0

Bewertung der Bedingungstestentwurfsverfahren (1)

Problem: Indirekte Verwendung von zusammengesetzen Booleschen Ausdrücken, z.B.:

- Beispiel: `flag = a || (b && c); if (flag) {...}`

Bewertung der Bedingungstestentwurfsverfahren (2)

Problem: Messung der Überdeckung der Teilbedingungen.

- Programmiersprachen und Compiler **verkürzen Auswertung von booleschen Ausdrücken**, sobald Ergebnis feststeht.
- **Beispiel:** AND-Verknüpfung: eine Teilbedingung »false«
  → Gesamtbedingung: »false« (egal welcher zweite Wert).
- Compiler **ändern Reihenfolge der Auswertung** in Abhängigkeit von booleschen Operatoren („lazy evaluation“, s. nächste Folie) aus Effizienzgründen.
- Wegen Verkürzung der Auswertung Überdeckung oft **nicht nachweisbar.**

Bedingungsüberdeckung und »lazy evaluation«

»lazy evaluation«: Bedingungen so lange prüfen, bis Wahrheitswert feststeht.

- Im Programm: `if (A && B) then op1(); op2() ...`
- Im Objectcode: `if (A) then if (B) then op1(); op2() ...`

→ Einfache Bedingungsüberdeckung: **drei Fälle**, sonst B=1 nicht Programm berücksichtigt (Abbruch, sobald A=0 erkannt ist).

- **Gesamtausdruck zu 0 und 1** ausgewertet.
- **Mehrfach-BÜ und MM-BÜ nicht erreichbar.**

Abbruch der Auswertung

A	B	A ∧ B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

A	B	A ∧ B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Bedingungsüberdeckung: Überblick

Einfache (oder atomare) Bedingungsüberdeckung (C_2-Test, *condition coverage*):

- Atomare Prädikate einmal True und einmal False auswerten.
- Garantiert keine Zweigüberdeckung.

Mehrfach-Bedingungsüberdeckung (C_3-Test, *multiple condition coverage*):

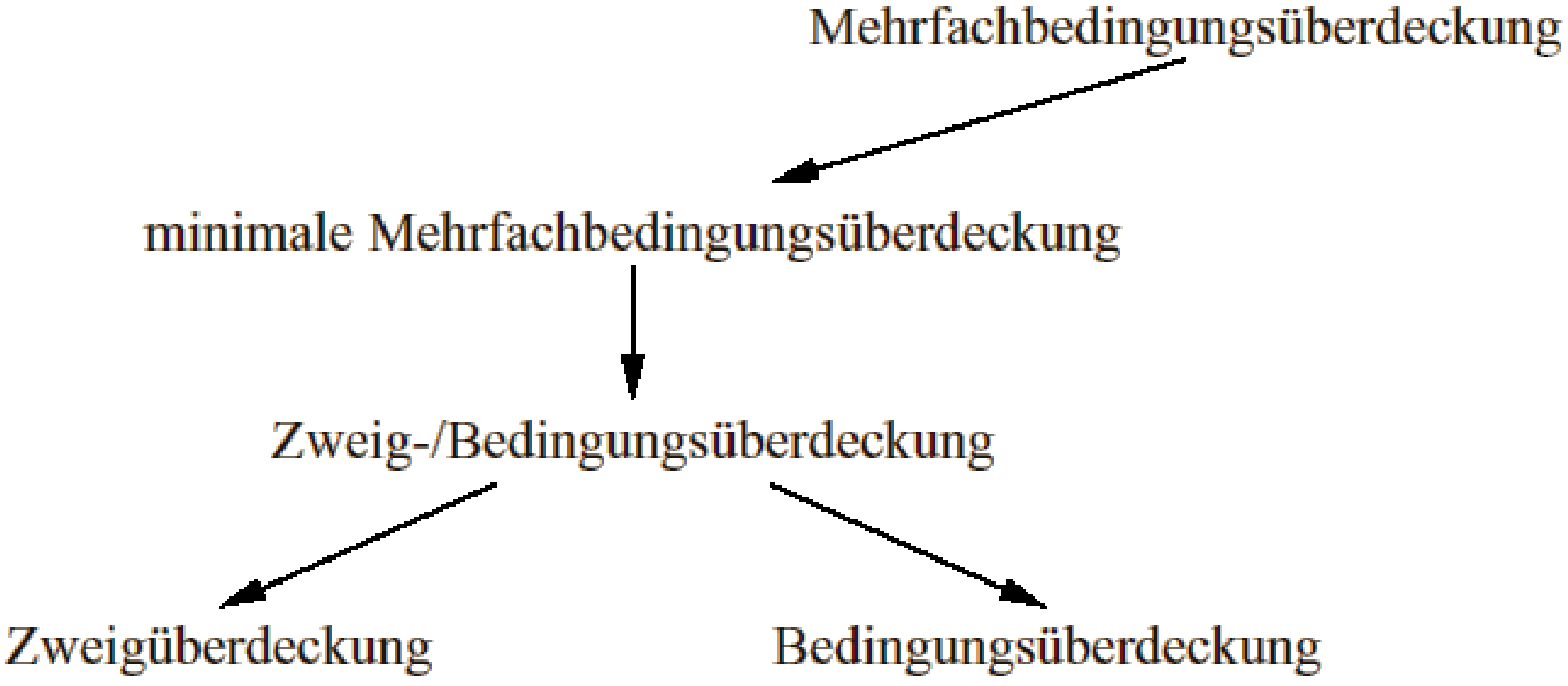
- Kombinationen atomarer Prädikate betrachten.
- Bei einigermaßen komplizierten Prädikaten nicht mehr handhabbar.

Minimale Mehrfach-Bedingungsüberdeckung ($C_{minMehrfach}$, *condition determination coverage*):

- Kompromiss zwischen C_2 und C_3,
- jedes Prädikat (egal ob atomar oder zusammengesetzt) zu True und False ausgewertet,
- weniger als kombinatorische Abdeckung,
- mehr als beidseitige Auswertung der zusammengesetzten Prädikate.
- impliziert Zweigüberdeckung

Zusammenhang Bedingungs-Testverfahren

K1 → K2: jede Testdatenmenge, die K1 erfüllt, erfüllt auch K2.



Bedingungs-Testverfahren: Anzahl Tests

Anzahl Tests pro Testkriterium (einzelne Entscheidung mit n Termen):

Kriterium	**Zahl der erforderlichen Tests pro Entscheidung mit n Termen**
Bedingungsüberdeckung	n
Minimale Mehrfachbedingungs-überdeckung (reine AND- bzw. OR-Bedingungen)	$\leq n+1$
Mehrfachbedingungs-überdeckung	2^n

Kontrollfluss-Testverfahren: Anzahl Tests

Falls **Anzahl ausgehender Kanten** pro Entscheidungsknoten und **Anzahl Variablen pro Segment** durch Konstante **begrenzt**, dann für Programm mit n Segmenten im schlechtesten Fall:

- **Pfadüberdeckung:** Keine a-priori-Grenze für Anzahl von Tests (nur vorhanden bei vorhandener Grenze an Anzahl Schleifendurchläufe).
- **Strukturierte Pfadüberdeckung:** $O(2^n)$ Tests.
- **Zweig- und Anweisungsüberdeckung:** O(n) Tests.

Kontrollfluss-Testen: Aufgedeckte Fehler

Aufgedeckte Fehler pro Testkriterium (vgl. [Rie97]):

Kriterium	**Gefundene Fehler**
Anweisungsüberdeckung	18% bis 41%
Zweigüberdeckung	16% bis 92%
Strukturierte Pfadüberdeckung	zweifache der Zweigüberdeckung (43% statt 21%*)
Pfadüberdeckung	dreifache der Zweigüberdeckung (62% bis 64% statt 21%*)
[minimale (Mehrfach-)] Bedingungsüberdeckung	keine Studien vorhanden

Unterschiedliche Quoten beruhen auf unterschiedlichen Untersuchungsansätzen.

* Angabe 21% beruht auf Messung nach [How78].

Kontrollfluss-Testen und objektorientierte Software

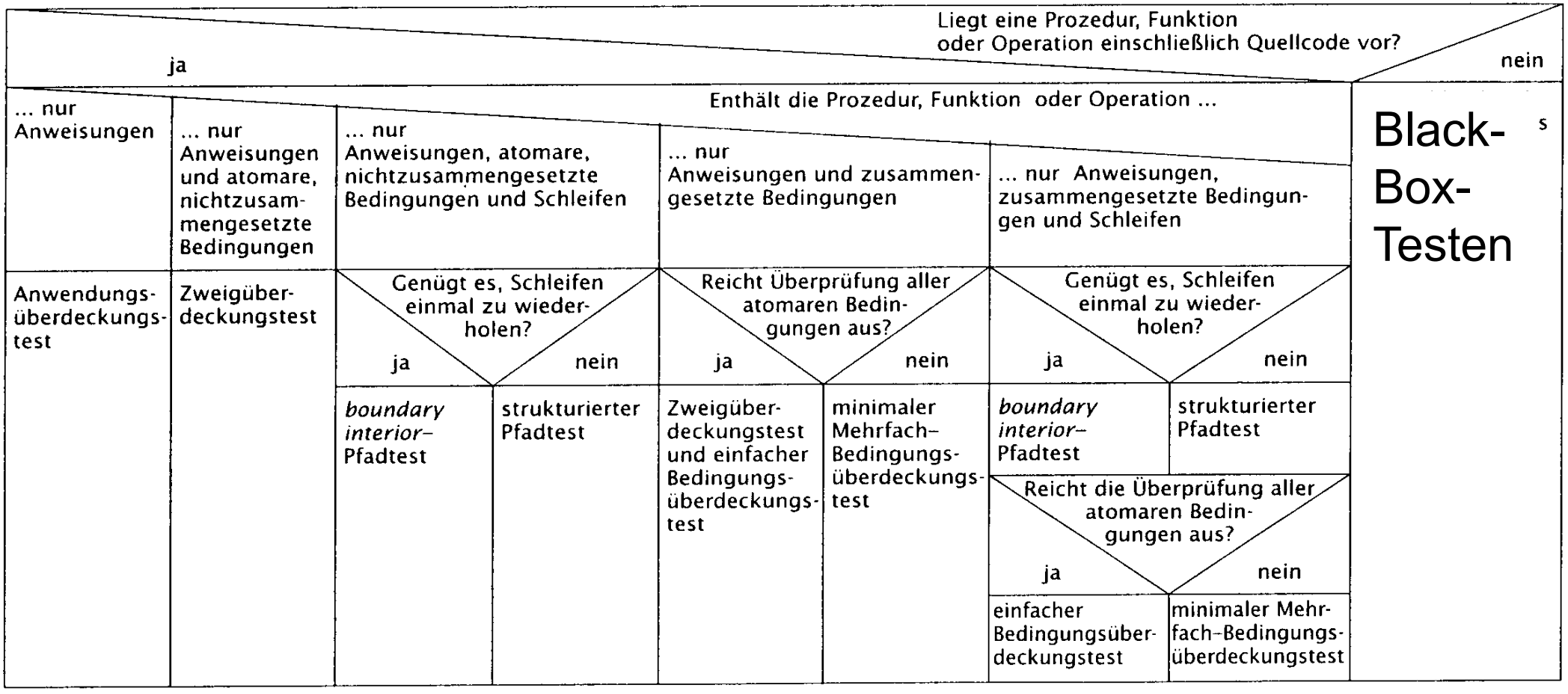
Anweisungs- und Entscheidungsüberdeckung für objektorientierte Software nicht ausreichend:

- Komplexität objektorientierter Systemen in **Beziehungen** zwischen **Klassen** bzw. Interaktionen zwischen Objekten verborgen.
- **Methoden** in Klassen oft von **geringer Komplexität**.

→ Anweisungs- und/oder Zweigüberdeckung leicht erreichbar, aber wenig aussagekräftig (trotzdem notwendig, aber nicht hinreichend).

→ Datenflussbasiertes Testen (nächster Abschnitt), insbesondere Interprocedural Data Flow Testing

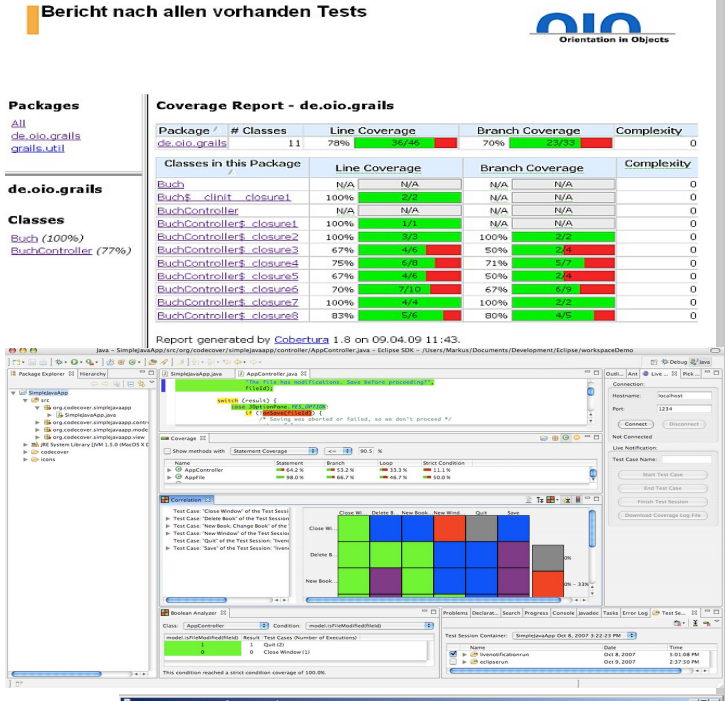
Auswahl eines Kontrollfluss-Testverfahrens



Werkzeugunterstützung für Kontrollflusstesten (weitere s. Anhang)

Cobertura (Freeware): http://cobertura.sourceforge.net

Features: **Prozentuale Überdeckung, zyklomatische Komplexität** (McCabe), **Zweigüberdeckung,** Zeilenüberdeckung.



CodeCover (Freeware): http://www.codecover.org

Features: **Entscheidungs-, Zweig-, Anweisungs-, Grenze-Inneres-Überdeckung.**

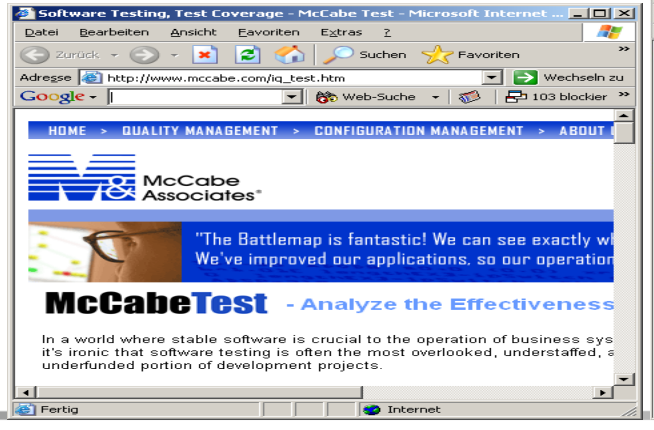
Jcoverage (Freeware): http://jcoverage.sourceforge.net/

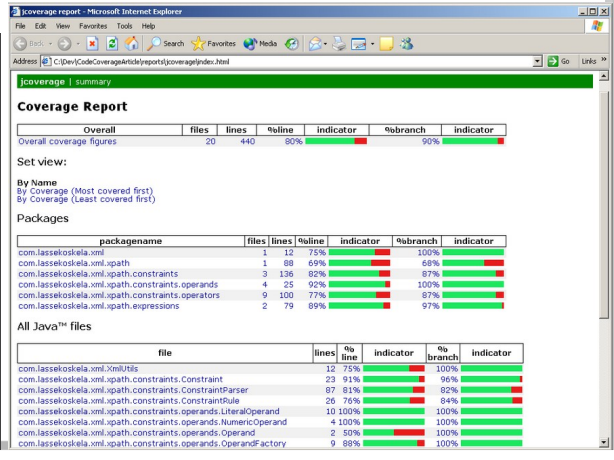
Features: Zeigt **wie oft jede Code-Zeile ausgeführt** wurde.

McCabe Test coverage:

http://www.maccabe.com/ip-test.htm

Features: **Prozentuale Überdeckung der Pfade.**





Beispiel-Programm: Ziffernstringauswertung (1)

Auswertung eines Ziffernstrings und Ermittlung des dargestellten Wertes:

```
PROCEDURE WerteZiffernfolgeAus (inZiffernString: Ttext) : REAL;
TYPE TWoBinIch = (VordemKomma, NachdemKomma);
    Tziffern = SET OF [`0`, ..., `9`]
CONST Cfehlercode = -1.0;
     Cziffern = Tziffern {`0`, ..., `9`}
VAR Zchn : CHAR
   Wert, Genauigkeit : REAL;
   Position: CARDINAL ;
   WoBinIch: TWoBinIch ;
   Fehlerfrei : Boolean;
BEGIN
     Wert:=0.0;
     Genauigkeit:=1.0;
     WoBinIch:= VorDemKomma;
     Fehlerfrei:=TRUE;
     Position:=1;
     ...
     WHILE (Position <=TextVw.Length(inZiffernString))
          AND Fehlerfrei DO
          Zchn:=TextVW.LiesZeichen (inZiffernString,Position);
          IF Zchn IN Cziffern THEN
                IF WoBinIch=NachDemKomma THEN
                     Genauigkeit:= Genauigkeit / 10.0;
                END; (* IF *)
                Wert:= 10.0 *Wert + Konvertiere (Zchn)
          ELSIF (Zchn=´.´) AND (WoBinIch=VorDemKomma) THEN
                WoBinIch:=NachDemKomma
          ELSE
                Fehlerfrei:=FALSE;
          END; (* IF *)
          INC (Position);
     END; (*WHILE*)
     ...
```

Beispiel-Programm: Ziffernstringauswertung (2)

LEHRSTUHL 14
SOFTWARE ENGINEERING

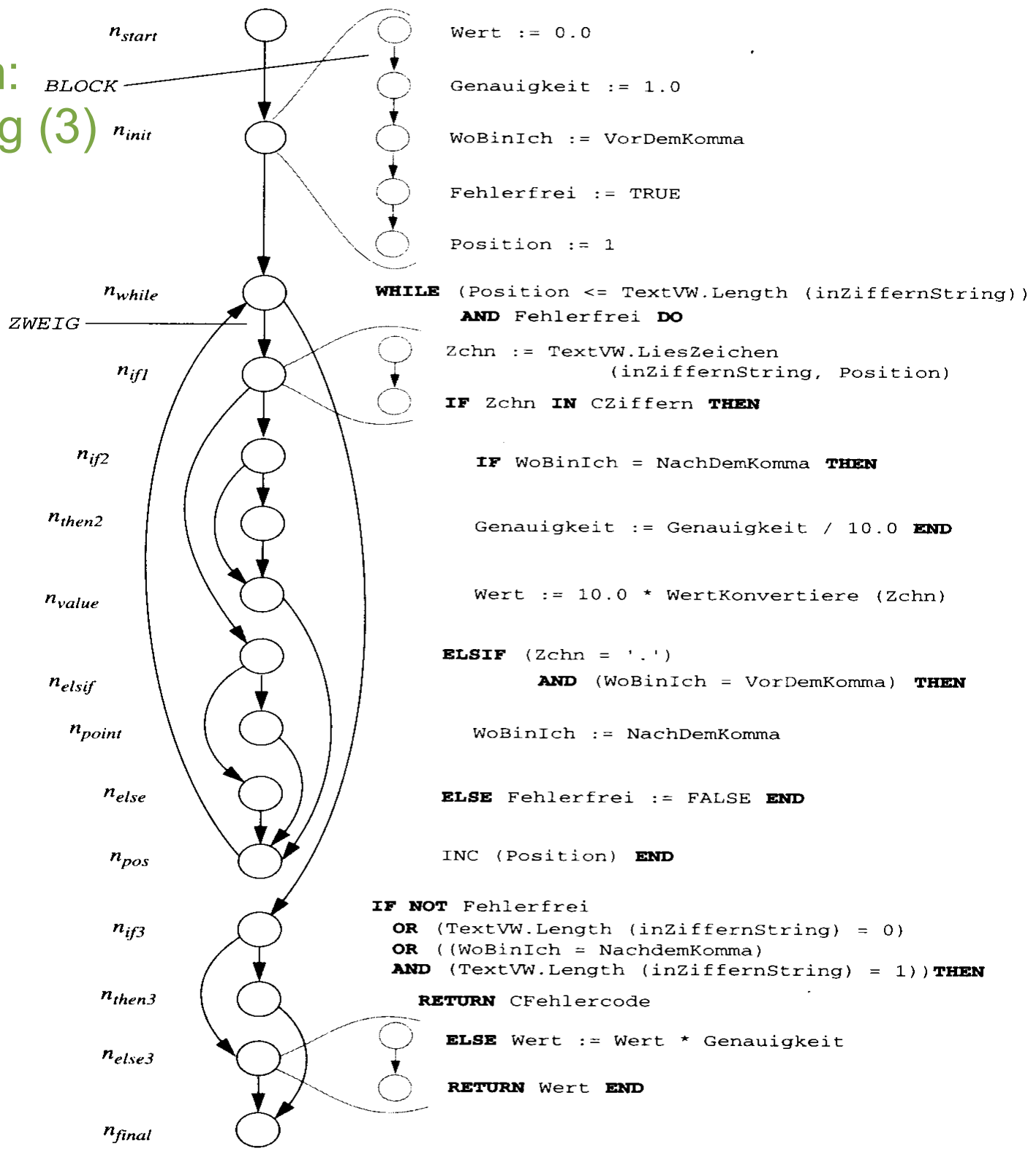
...

```
        IF NOT Fehlerfrei
        OR (TextVW.Length (inZiffernString) =0);
        OR (WoBinIch = NachDemKomma)
        AND (TextVwLenght (inZiffernString) = 1)) THEN
                RETURN Cfehlercode
                (* -- ILLEGALE ZEICHENFOLGE -- *)
        ELSE
                Wert:=Wert * Genauigkeit;
                RETURN Wert
        END (* IF *)
END WerteZiffernFolgeAus;
```

Beispiel-Programm: Ziffernstringauswertung (3)

Zugehöriger Kontrollfluss-graph

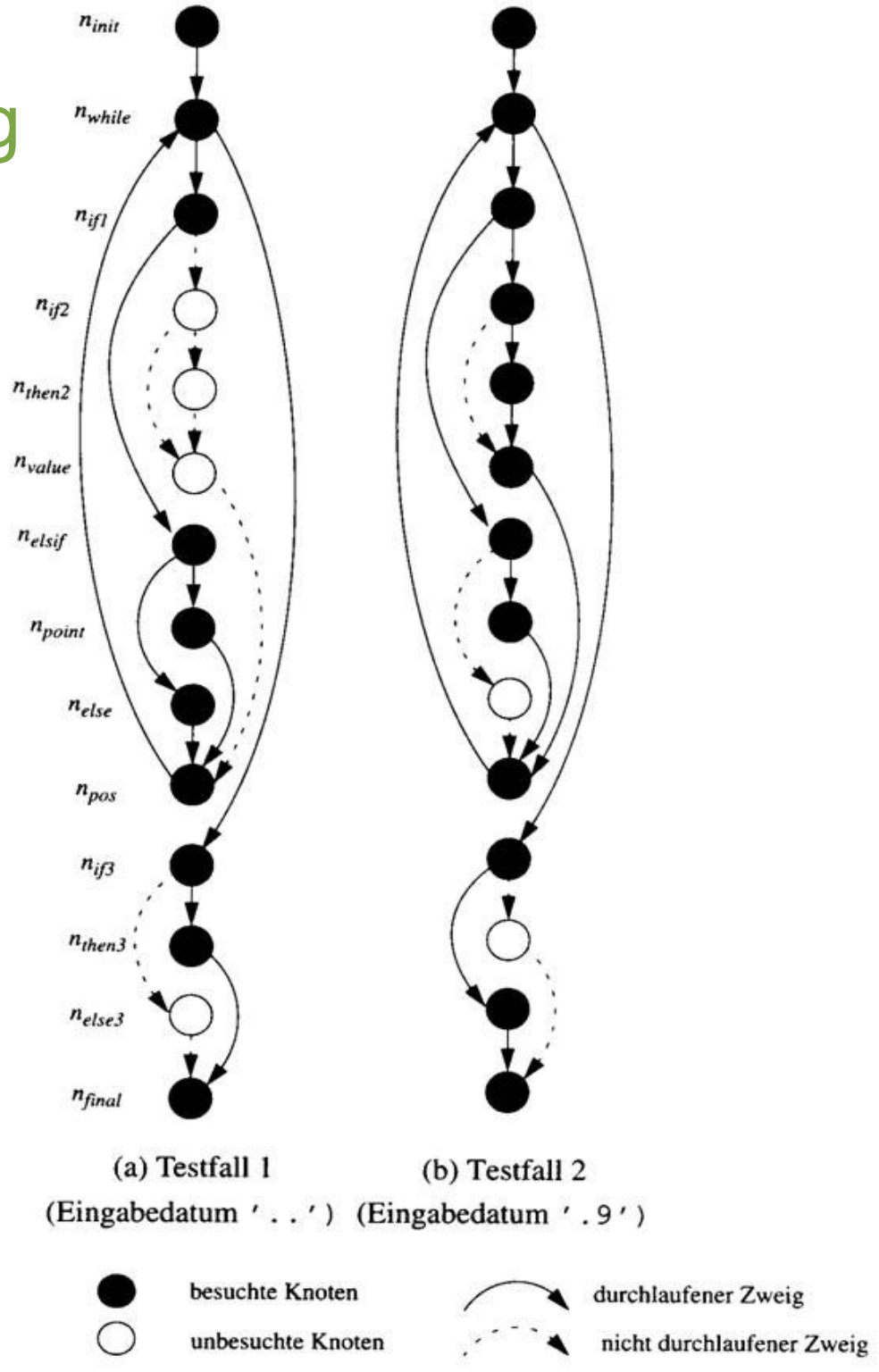
Testfälle für **Anweisungs-überdeckung** ?



Ziffernauswertung: Anweisungsüberdeckung

Testfälle für Anweisungs-überdeckung.

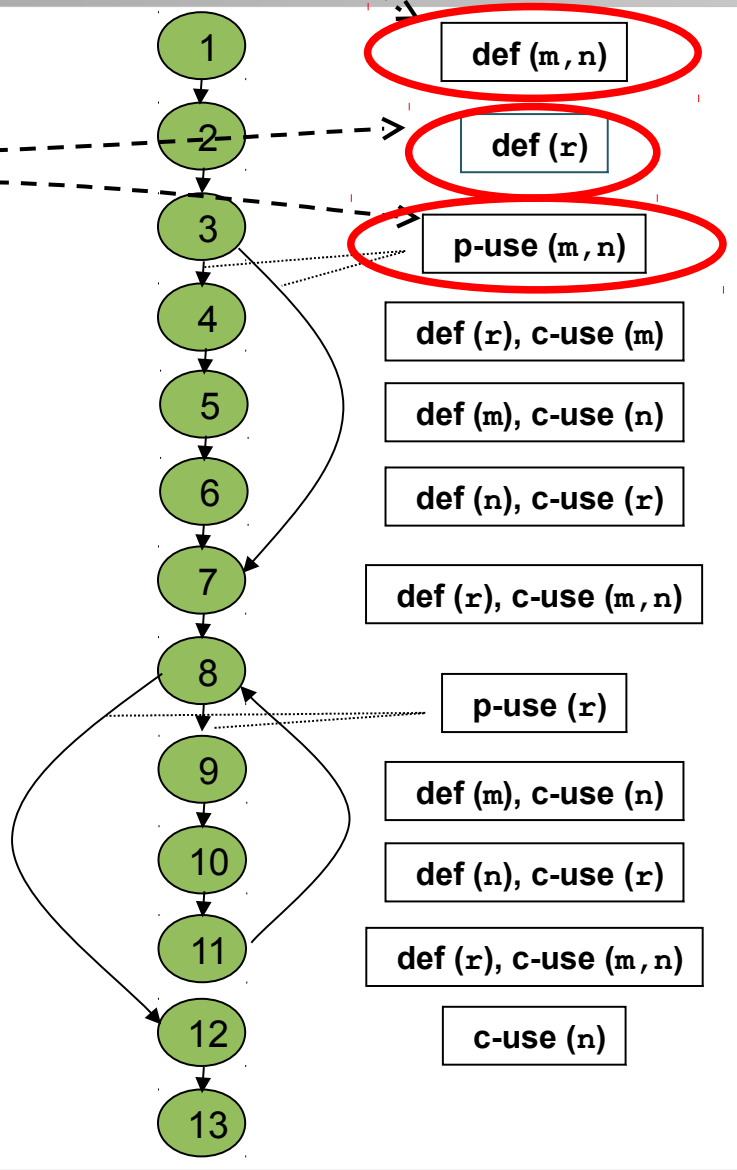
Erfüllt dies **Zweigüber-deckung** ?



LEHRSTUHL 14
SOFTWARE ENGINEERING

Beispiel ggt: Datenflussgraph

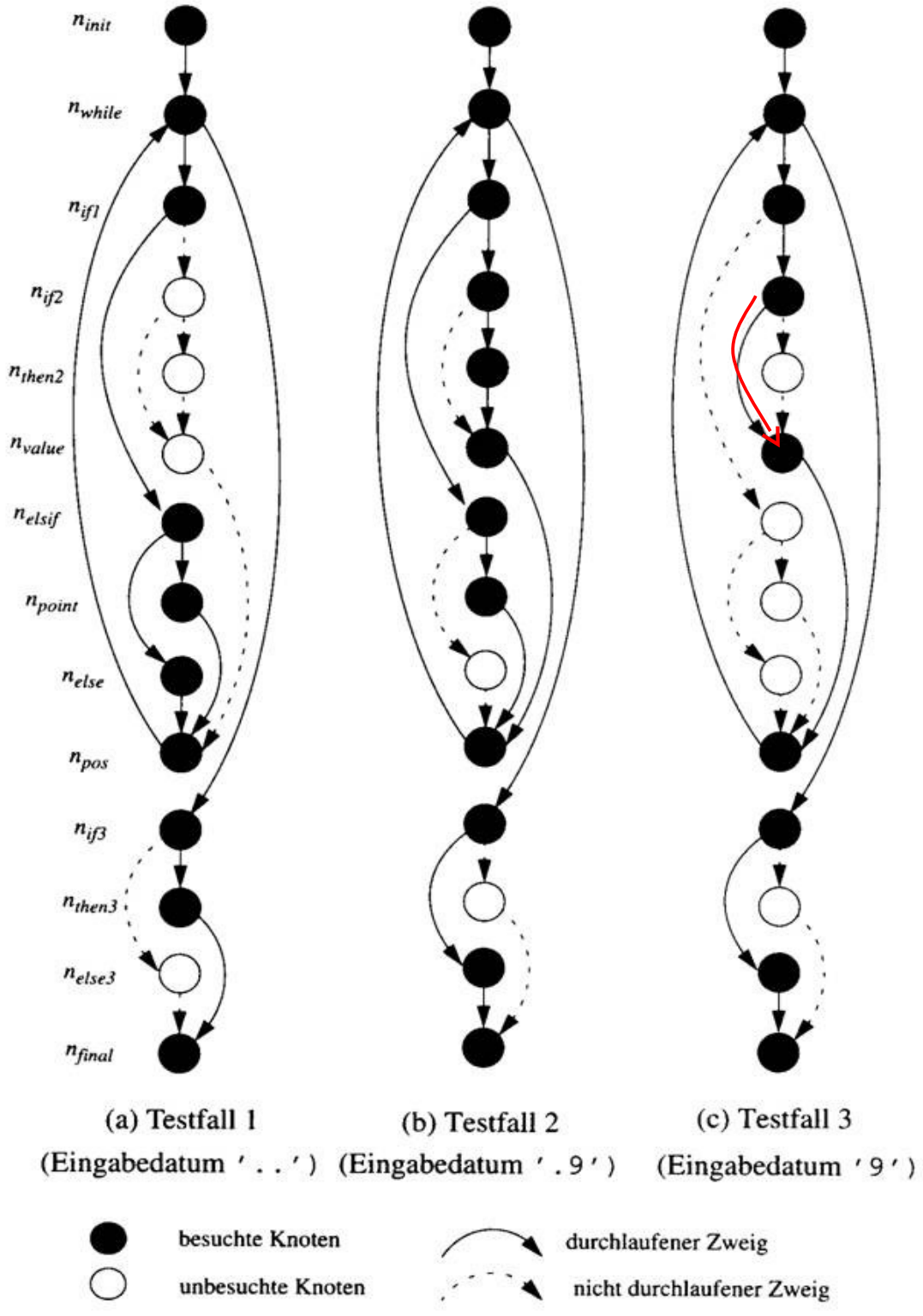
```
1. public int ggt (int m, int n) {
2.     int r;
3.     if (n > m) {
4.         r = m;
5.         m = n;
6.         n = r;
       }
7.     r = m % n;
8.     while (r != 0) {
9.         m = n;
10.        n = r;
11.        r = m % n;
       }
12.    return n;
13. }
```



Ziffernauswertung: Zweigüberdeckung

Betrachtung beider Testfälle aus **Anweisungs-überdeckung**:

- nur Kante (n_{if2},n_{value}) wurde nicht durchlaufen.
- Pfad (n_{start},n_{init},n_{while},n_{if1},n_{if2}, n_{value},n_{pos},n_{while},n_{if3},n_{else3},n_{final}) enthält diese Kante.
- verwendbares Eingabedatum: ‚9‘.

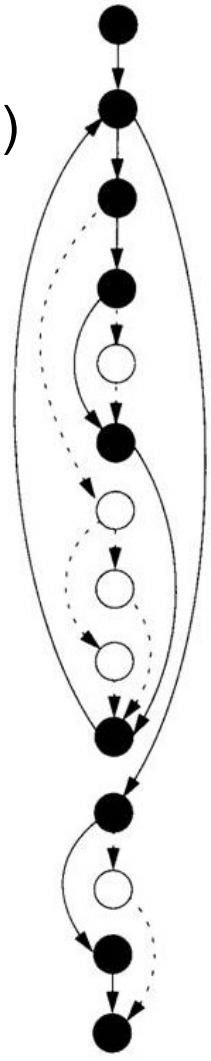


Ziffernauswertung: Einfache Bedingungsüberdeckung (1)

Testfall 3:

- Eingabe, die Prädikat (Teilbedingung) Position <= TextVW.Length(inZiffernstring) zu TRUE auswertet
  → z.B. Eingabedatum ´9´.
- Werte der Prädikate für Testfall protokollieren. → 1. und 3. Prädikat vollständig abgehandelt (jeweils TRUE und FALSE).
- Insgesamt für Testfall 3: 5 Prädikate mit T in erster Spalte der Tabelle, 8 mit F; 14 Prädikate insgesamt. Somit Überdeckung (für Testfall 3):

$$C_2 = \frac{5+8}{2*14} = \frac{13}{28} = 46\%$$



(c) Testfall 3 (Eingabedatum '9')

Prädikate	'9'
`Position <= TextVW.Length (inZiffernString)`	*T,F*
`Fehlerfrei`	*T*
`WHILE-Bedingung`	*T,F*
`Zchn IN CZiffern`	*T*
`WoBinIch = NachDemKomma`	*F*
`Zchn = '.'`	-
`WoBinIch = VorDemKomma`	-
`ELSIF-Bedingung`	-
`NOT Fehlerfrei`	*F*
`TextVW.Length (inZiffernString) = 0`	*F*
`WoBinIch = NachDemKomma`	*F*
`TextVW.Length (inZiffernString) = 1`	*T*
`IF3/AND-Prädikat`	*F*
`IF3-Bedingung`	*F*

Ziffernauswertung: Einfache Bedingungsüberdeckung (2)

Weiterer Testfall:

- Menge aller Eingaben, die fehlerfrei zu FALSE auswerten.
  → Eingabedatum ´z´.
- Protokollierung der Werte der Prädikate für diesen Testfall.
- Überdeckung für **beide** Testfälle somit:

$$C_2 = \frac{8+12}{2*14} = \frac{20}{28} = 71\%$$

Prädikate		
	'9'	'z'
`Position <= TextVW.Length (inZiffernString)`	*T,F*	
`Fehlerfrei`	*T*	*T,F*
`WHILE-Bedingung`	*T,F*	
`Zchn IN CZiffern`	*T*	*F*
`WoBinIch = NachDemKomma`	*F*	-
`Zchn = '.'`	-	*F*
`WoBinIch = VorDemKomma`	-	*T*
`ELSIF-Bedingung`	-	*F*
`NOT Fehlerfrei`	*F*	*T*
`TextVW.Length (inZiffernString) = 0`	*F*	*F*
`WoBinIch = NachDemKomma`	*F*	*F*
`TextVW.Length (inZiffernString) = 1`	*T*	*T*
`IF3/AND-Prädikat`	*F*	*F*
`IF3-Bedingung`	*F*	*T*

Ziffernauswertung:

Einfache Bedingungsüberdeckung (3)

Bemerkung: Die Zeilen „...- Bedingung“ bzw. „...-Prädikat“ für einfache Bedingungsüberdeckung nicht benötigt (hier nur zur Information); also einfache Bedingungsüberdeckung schon mit 5 Testfällen erreicht.

Prädikate	***Eingabedaten***					
	'9'	'z'	'.9'	'..'	''	'.'
`Position <= TextVW.Length (inZiffernString)`	*T,F*					
`Fehlerfrei`	*T*	*T,F*				
`WHILE-Bedingung`	*T,F*					
`Zchn IN CZiffern`	*T*	*F*				
`WoBinIch = NachDemKomma`	*F*	-	*T*			
`Zchn = '.'`	-	*F*	*T*			
`WoBinIch = VorDemKomma`	-	*T*	*T*	*T,F*		
`ELSIF-Bedingung`	-	*F*	*T*			
`NOT Fehlerfrei`	*F*	*T*				
`TextVW.Length (inZiffernString) = 0`	*F*	*F*	*F*	*F*	*T*	
`WoBinIch = NachDemKomma`	*F*	*F*	*T*			
`TextVW.Length (inZiffernString) = 1`	*T*	*T*	F			
`IF3/AND-Prädikat`	*F*	*F*	*F*	*F*	*F*	*T*
`IF3-Bedingung`	*F*	*T*				

2.4 White-Box-Test

2.4 White-Box-Test

- Idee der White-Box Testentwurfsverfahren
- Kontrollflussbasierter Test
- Test der Bedingungen
- **Datenflussbasierter Test**
- Statische Analyse

Diskussionsfrage

Welche **Ursachen** kann es haben, wenn **Anweisung falsches Ergebnis liefert?**

Antwort:

-
-

Diskussionsfrage

Welche **Ursachen** kann es haben, wenn **Anweisung falsches Ergebnis liefert?**

Antwort:

- Anweisung ist **falsch.**
- Anweisung ist **korrekt,** aber referenzierte Werte werden vorher falsch berechnet.

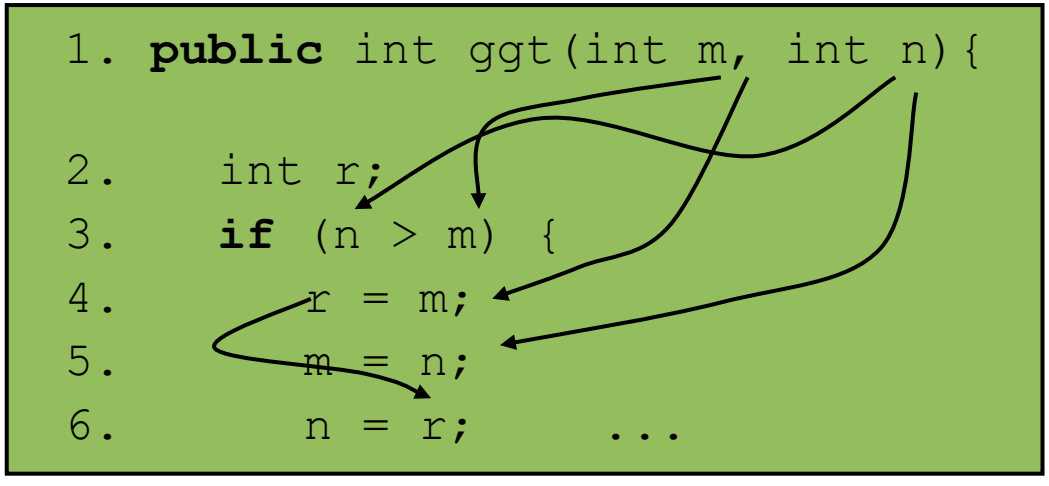
Beispiel:

Anweisung A=B+C*D liefert falsches Ergebnis, wobei Anweisung korrekt ist, aber berechnete Werte vorher falsch berechnet wurden.

Datenflussbasierte Testverfahren

Datenflussbasierter Test:

- **White-box-Verfahren.** → Nutzt **Programmstruktur** aus.
- **Dynamisches Verfahren:** Basiert auf Ausführung des Programms.
- **Hypothese**: **fehlerhafte Datenverwendung !**
- **Idee**: Testen der **Interaktion zwischen Anweisungen**, die Wert einer Variablen berechnen (**definieren**), und Anweisungen, die diesen Variablenwert benutzen (**referenzieren**).
- Testfälle unter Berücksichtigung der Datenverwendung **herleiten**.
- **Vollständigkeit** anhand Datenverwendung beurteilen.



Datenfluss-Testen: Überdeckungsmaße

Ziel (wie beim Kontrollflusstesten): **Möglichst viele Fehler** finden, ohne **vollständige Pfadüberdeckung** erreichen zu müssen (zu aufwendig).

- **Unterscheidung** datenflussorientierter Verfahren:
  Alle Interaktionen oder nur Teil davon testen.
  (→ Datenflussbasierte Überdeckungsmaße).
- **Definition der Überdeckungsmaße** orientiert sich am Kontrollflussgraphen, erweitert um zusätzliche Informationen.

  → **Datenflussgraph.**

Datenflussgraph

Kontrollflussgraph, bei dem zusätzlich zu jedem Knoten *k* Mengen *DEF(k)*, *UNDEF(k)*, und *REF(k)* gehören.

- ***DEF(k)*:** Menge der Variablen *x*, für welche Anweisungsfolge *f*, die zum Knoten *k* gehört, der Variablen *x* Wert zuweist, der nicht anschließend in *f* undefiniert wird.
- ***UNDEF(k)*:** Menge der Variablen *x*, für welche Anweisungsfolge *f*, die zum Knoten *k* gehört, die Variablen *x* in undefinierten Zustand überführt, ohne *x* anschließend in *f* neu zu definieren.
  - Beispiele: lokale Iterationsvariablen in Schleifen, free (C), undef (Perl)
- ***REF(k)*:** Menge der Variablen *x*, für welche Anweisungsfolge *f*, die zum Knoten *k* gehört, die Variable *x* referenziert, ohne dass *x* vorher in *f* undefiniert wird.

Datenflussgraph-Annotationen: Beispiele

- **X:=X+1** sei Anweisung des Knotens k
  - DEF(k) = {?}; REF(k) = {?}.
  - UNDEF(k) = {?}.
- **Buffer(bufpos):=c** sei Anweisung des Knotens k
  - DEF(k) = {?}.
  - REF(k) = {?}.
  - UNDEF(k) = {?}.
- **X:=A+B; Y:=C*D; B:=Z; FREE(A); Y:=A+Z** sei Anweisungsfolge des Knotens k
  - DEF(k) = {?}.
  - REF(k) = {?}.
  - UNDEF(k) = {?}.

Datenflussgraph-Annotationen: Beispiele

- **X:=X+1** sei Anweisung des Knotens k
  - DEF(k) = REF(k) = {X}.
  - UNDEF(k) = {}.
- **Buffer(bufpos):=c** sei Anweisung des Knotens k
  - DEF(k) = {Buffer}.
  - REF(k) = {bufpos,c}.
  - UNDEF(k) = {}.
- **X:=A+B; Y:=C*D; B:=Z; FREE(A); Y:=A+Z** sei Anweisungsfolge des Knotens k
  - DEF(k) = {X,Y,B}.
  - REF(k) = {A,B,C,D,Z}.
  - UNDEF(k) = {A}.

Lokaler Datenfluss

Berücksichtigen:

- Rein **lokale Datenflüsse** vermeiden (wenn intern Referenz auf Definition folgt).
  → Keine Berücksichtigung bei datenflussbezogenen Testkriterien.

Zwei Arten von lokalem Datenfluss:

- Innerhalb eines Blocks von sequentiell aufeinanderfolgenden Anweisungen.
- Bei Zuweisung innerhalb einer Bedingung (z.B. in C).

Lokaler Datenfluss in Block: Beispiel

X:=A+B; Y:=C*D; B:=Y, FREE(A); Y:=A+Z sei Anweisungsfolge des Knotens

Enthält **rein lokalen Datenfluss** von Y:=C*D nach B:=Y, also auf zwei Knoten aufteilen:

- **X:=A+B; Y:=C*D;** sei Anweisungsfolge des Knotens k
  - DEF(k) = {X,Y}.
  - REF(k) = {A,B,C,D}.
  - UNDEF(k) = {}.
- **B:=Y, FREE(A); Y:=A+Z** sei Anweisungsfolge des Knotens l
  - DEF(l) = {Y,B}.
  - REF(l) = {Y,Z}.
  - UNDEF(l) = {A}.

Lokaler Datenfluss in Entscheidung: Beispiel

Zuordnung von bedingten Anweisungen zu Knoten so wählen, dass diese Knoten („Entscheidungsknoten“) nur Referenzen von Variablen enthalten (d.h. DEF(K)=UNDEF(K)={}).

- Beispiel: *If ((B=C+D))* aufsplitten in *B=C+D* und *if B*.

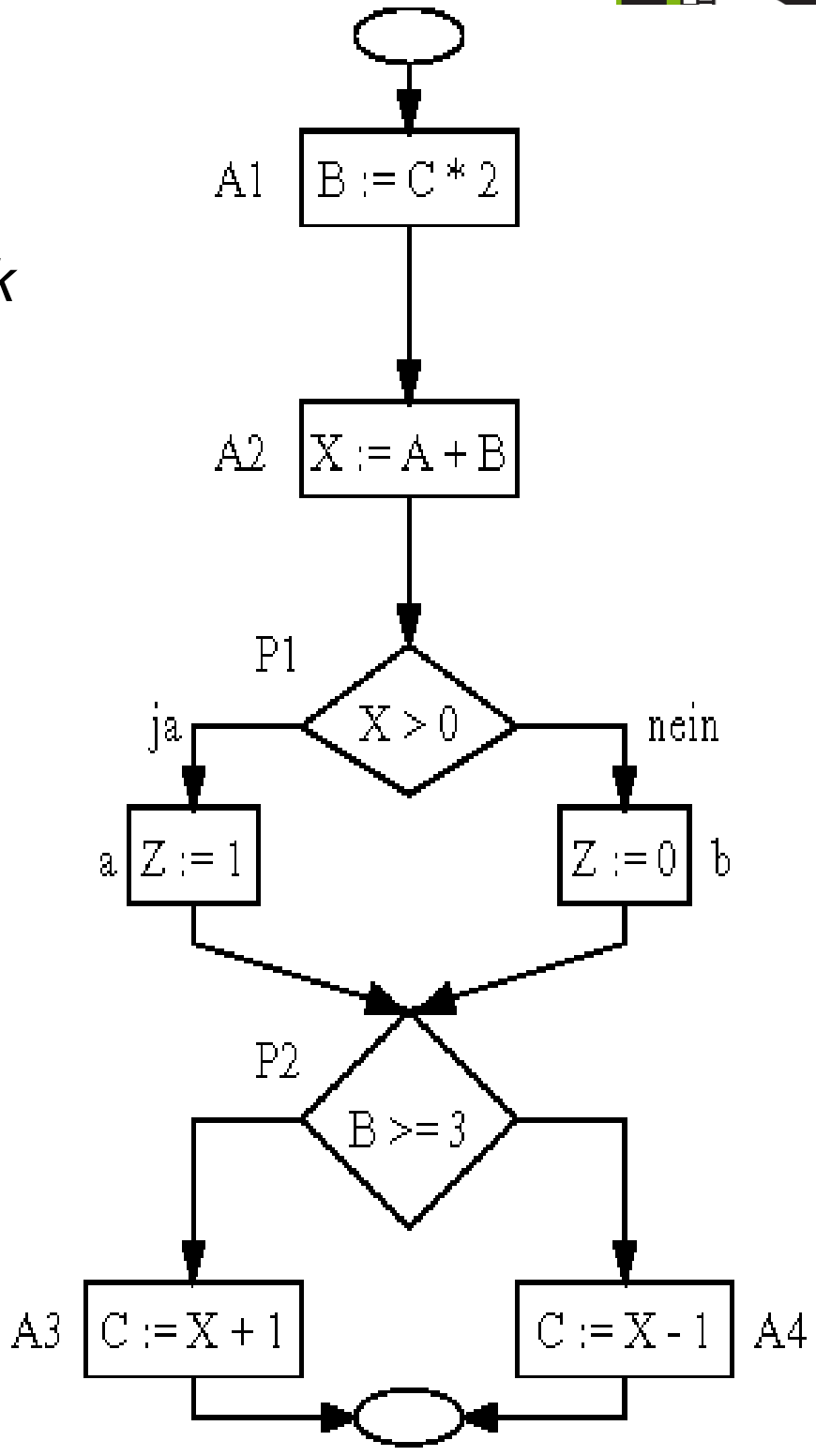
DR-Weg

DR-Weg: „Die Definition von *x* in Knoten *k* erreicht eine Referenz von *x* im Knoten *l* über Weg *w*“:

- Gdw. Weg *w* im Kontrollflussgraph von *k* nach *l* führt und Variable *x* auf Weg **nicht neu definiert** oder **undefiniert** wird.

$$w \mid \begin{matrix} k & x \in Def(k) \\ & \\ l & x \in Ref(l) \end{matrix}$$

Beispiel für einen solchen Weg im nebenstehenden DFG ?



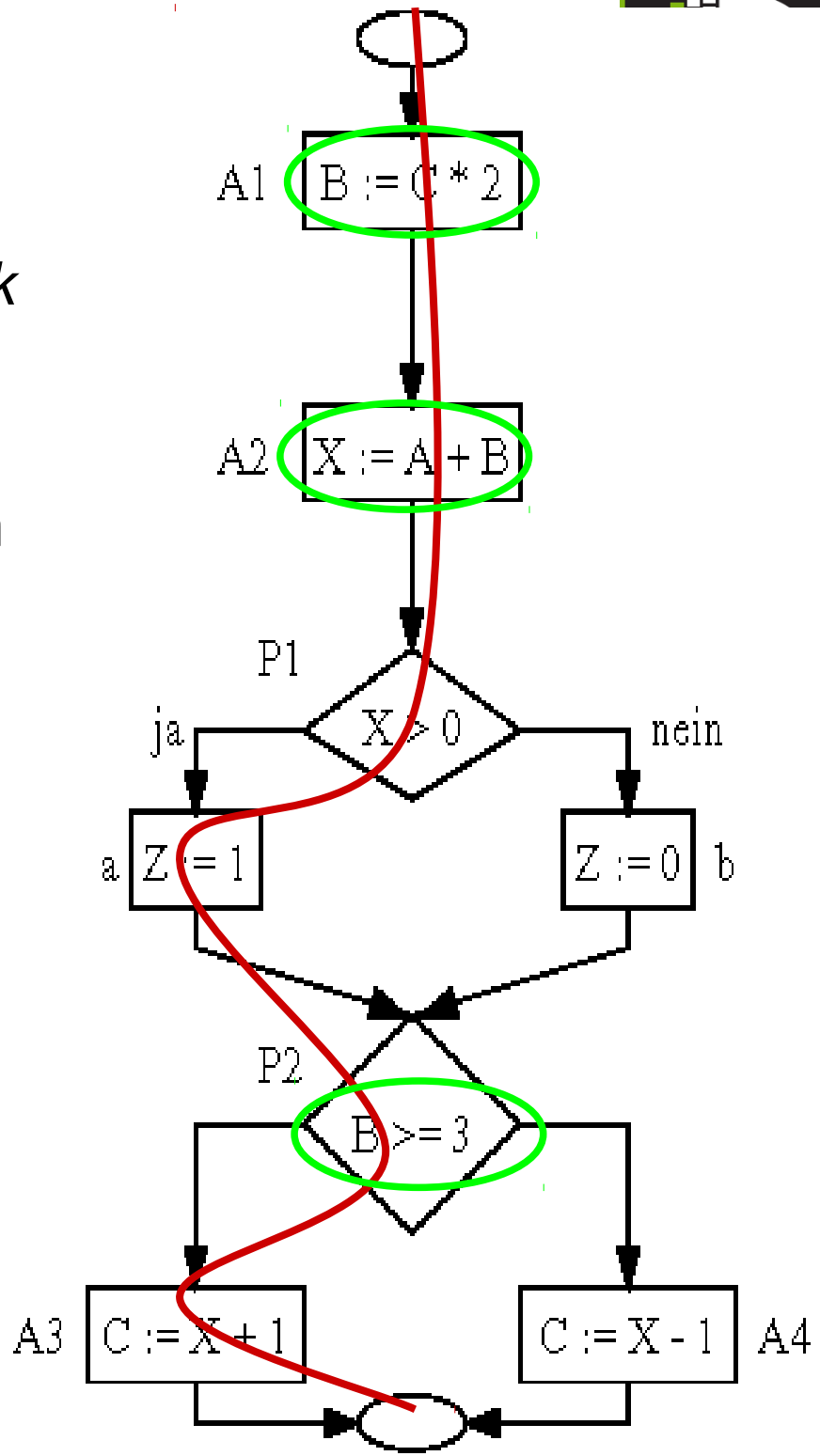
DR-Weg

DR-Weg: „Die Definition von *x* in Knoten *k* erreicht eine Referenz von *x* im Knoten *l* über Weg *w*“:

- Gdw. Weg *w* im Kontrollflussgraph von *k* nach *l* führt und Variable *x* auf Weg **nicht neu definiert** oder **undefiniert** wird.

$$w \mid \begin{matrix} k & x \in Def(k) \\ & \\ l & x \in Ref(l) \end{matrix}$$

Beispiel für einen solchen Weg im nebenstehenden DFG: z.B. Definition von B in A1, Referenz in P2.



Datenfluss-Kriterien: Alle Definitionen (all-Defs)

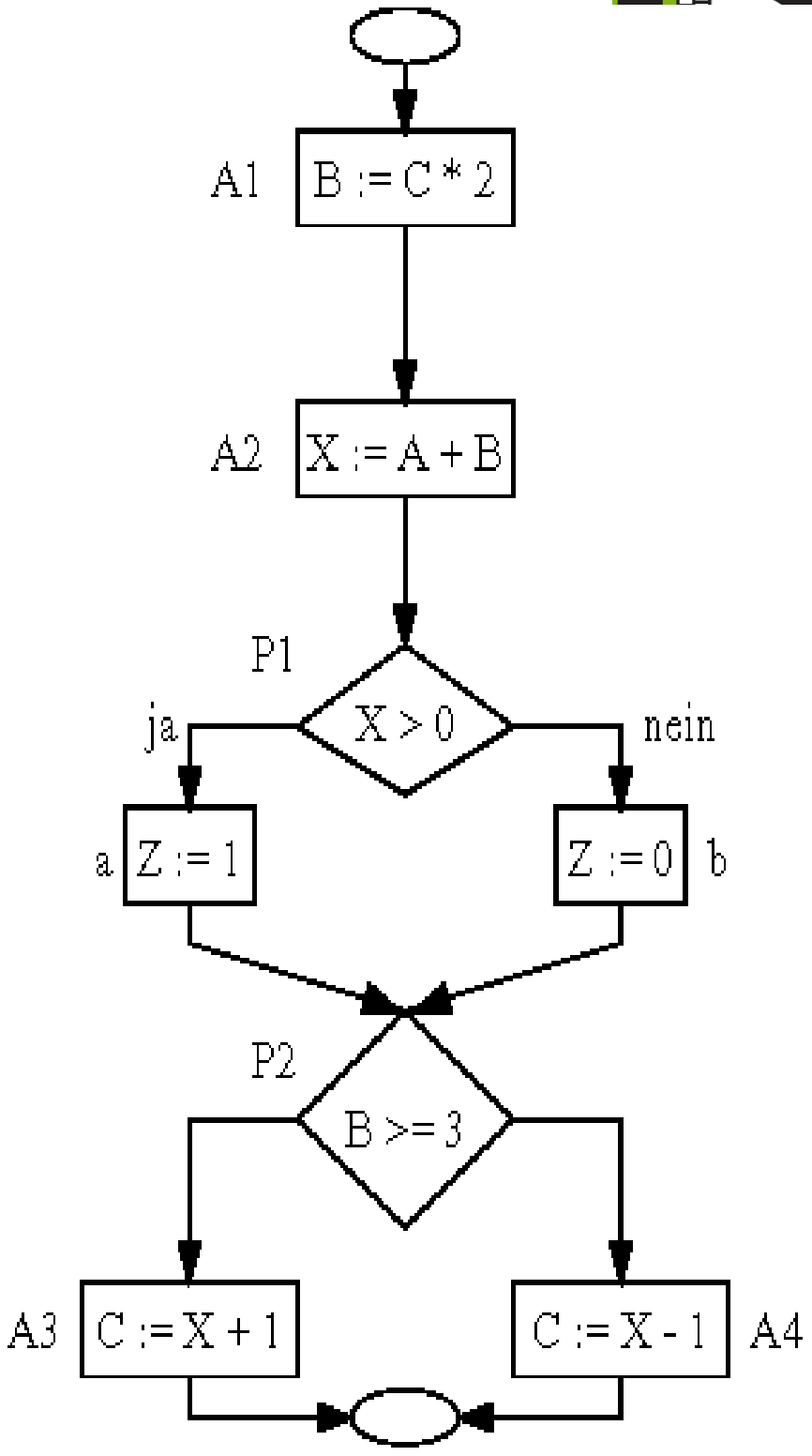
Analog zu den kontrollflussbasierten Kriterien: Kriterien an die Menge der Testpfade definieren.

Kriterium „alle Definitionen“ (all-Defs):

- Resultat jeder Zuweisung (**Definition**) wenigstens einmal **benutzen („referenzieren“)**.
- Testfallmenge T erfüllt Kriterium „**alle Definitionen**“ g.d.w.
  - Für jede Variable *x* und jede Definition von *x* existiert mindestens ein Weg in *Wege(T)*, auf dem die Definition eine Referenz von x erreicht.

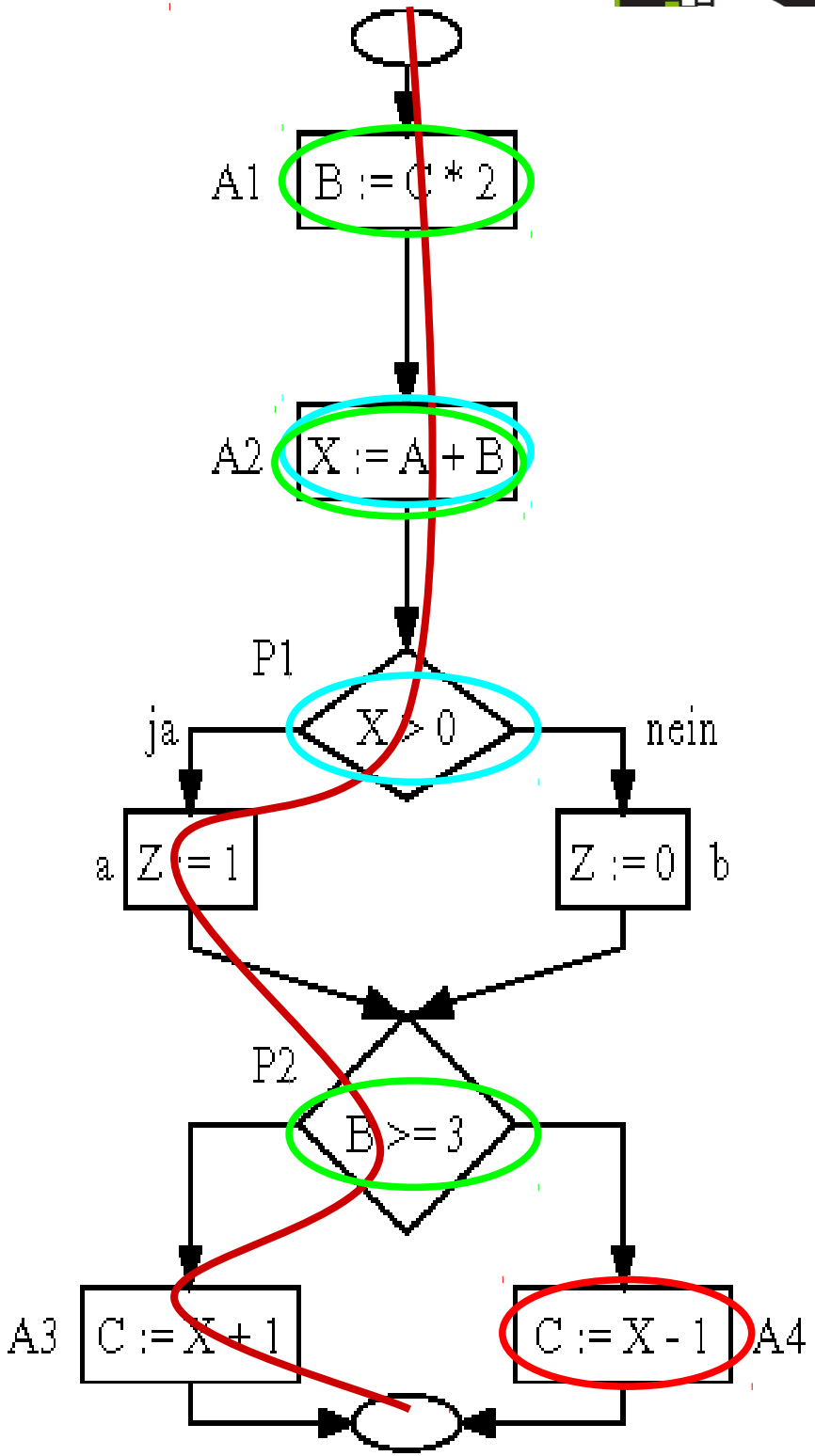
Alle Definitionen: Beispiel

- Welcher Testpfad erfüllt Kriterium „**alle Definitionen**“ (Resultat jeder **Definition** wenigstens einmal **benutzen**) z.B. für Variablen X und B ?
- Werden dabei **alle** (Definition, Referenz)-Paare dieser Variablen getestet ?



Alle Definitionen: Beispiel

- Testpfad **T=**(A1, A2, P1, a, P2, A3) erfüllt Kriterium „**alle Definitionen**“ für Variablen X und B.
- Aber: nicht **alle** (Definition, Referenz)-Paare einer Variablen werden getestet (z.B. Definition von X in A2, Referenz von X in A4).



Alle DR-Interaktionen

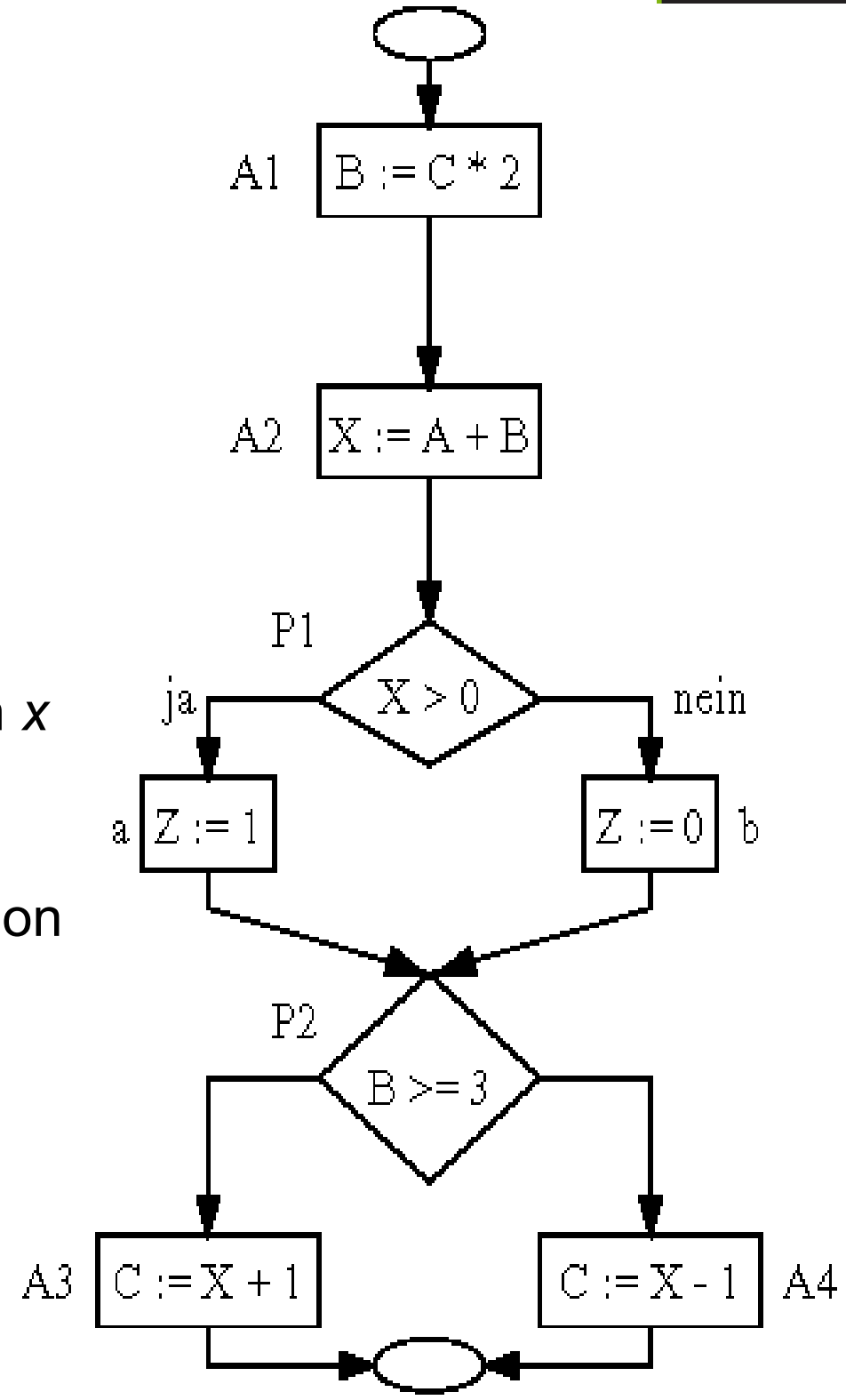
Kriterium „alle DR-Interaktionen“:

Ziel: Alle Paare von Definitionen / Referenzen einer Variablen testen

Testdatenmenge T erfüllt Kriterium „**alle DR-Interaktionen**“ g.d.w.

- für jede Variable *x*, jede Definition von *x* und jede Referenz von *x*, die davon erreicht wird, **mindestens ein** Weg in *Wege(T)* existiert, auf dem die Definition eine Referenz von *x* erreicht.

Beispiel: Welche Testpfadmenge erfüllt dies für *X* und *B* ? Testet sie die Konsequenzen der Referenzen ?

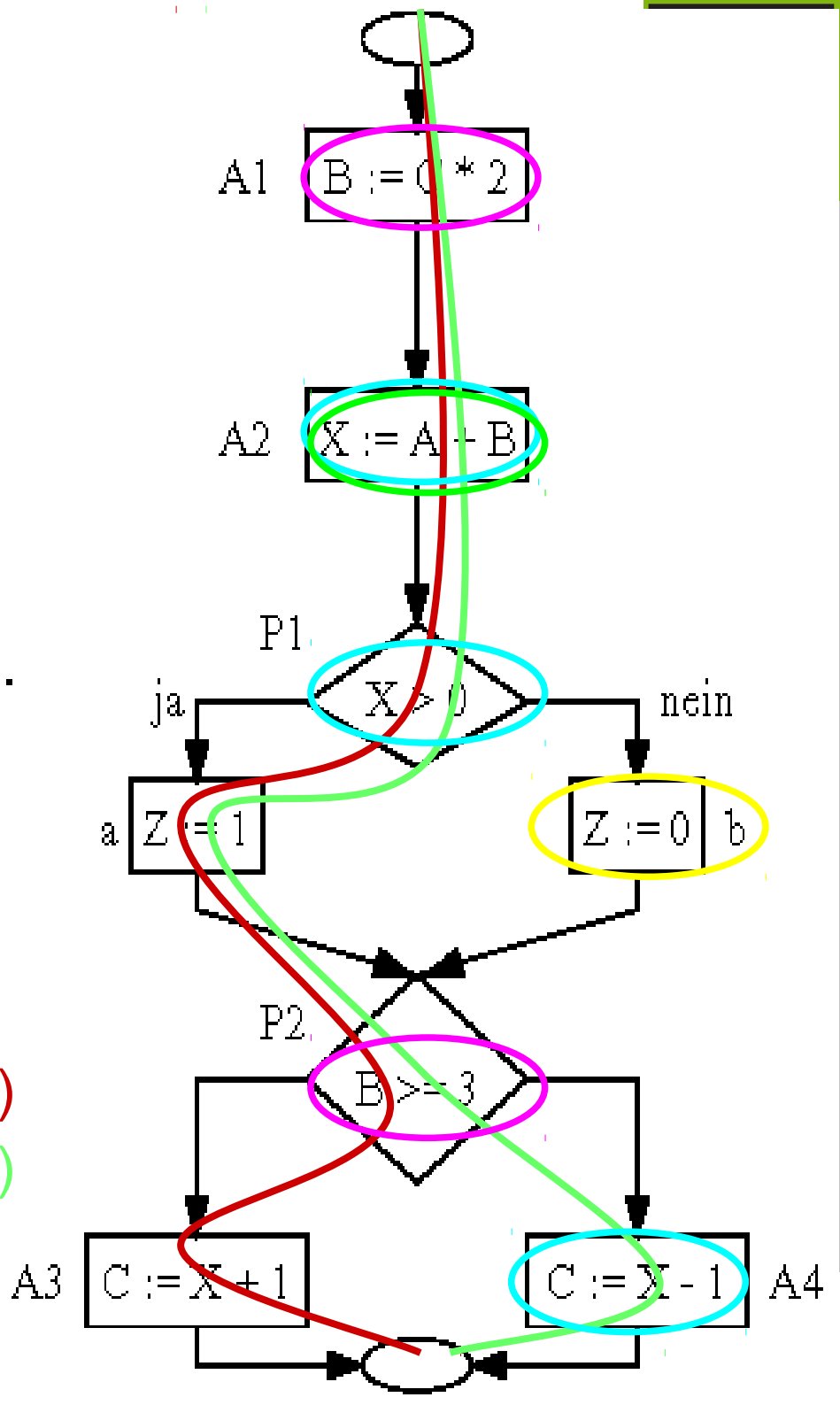


Alle DR-Interaktionen

- T sei Testdatenmenge, die Wege (A1, A2, P1, a, P2, A3) und (A1, A2, P1, a, P2, A4) ausführt.
- T erfüllt Kriterium „**alle DR-Interaktionen**“ für Variablen X und B.
- Aber: Entscheidungskante *b* (= Konsequenz aus Referenz von *X*) nicht ausgeführt.

Weg (A1, A2, P1, a, P2, A3)

Weg (A1, A2, P1, a, P2, A4)



Alle Referenzen

Motivation: Für Referenz einer Variablen im Entscheidungsknoten: Ausgang der Entscheidung wichtig.

Kriterium „alle Referenzen“:

- Ziel: **Alle ausgehenden Kanten** eines **Entscheidungsknotens** berücksichtigen.

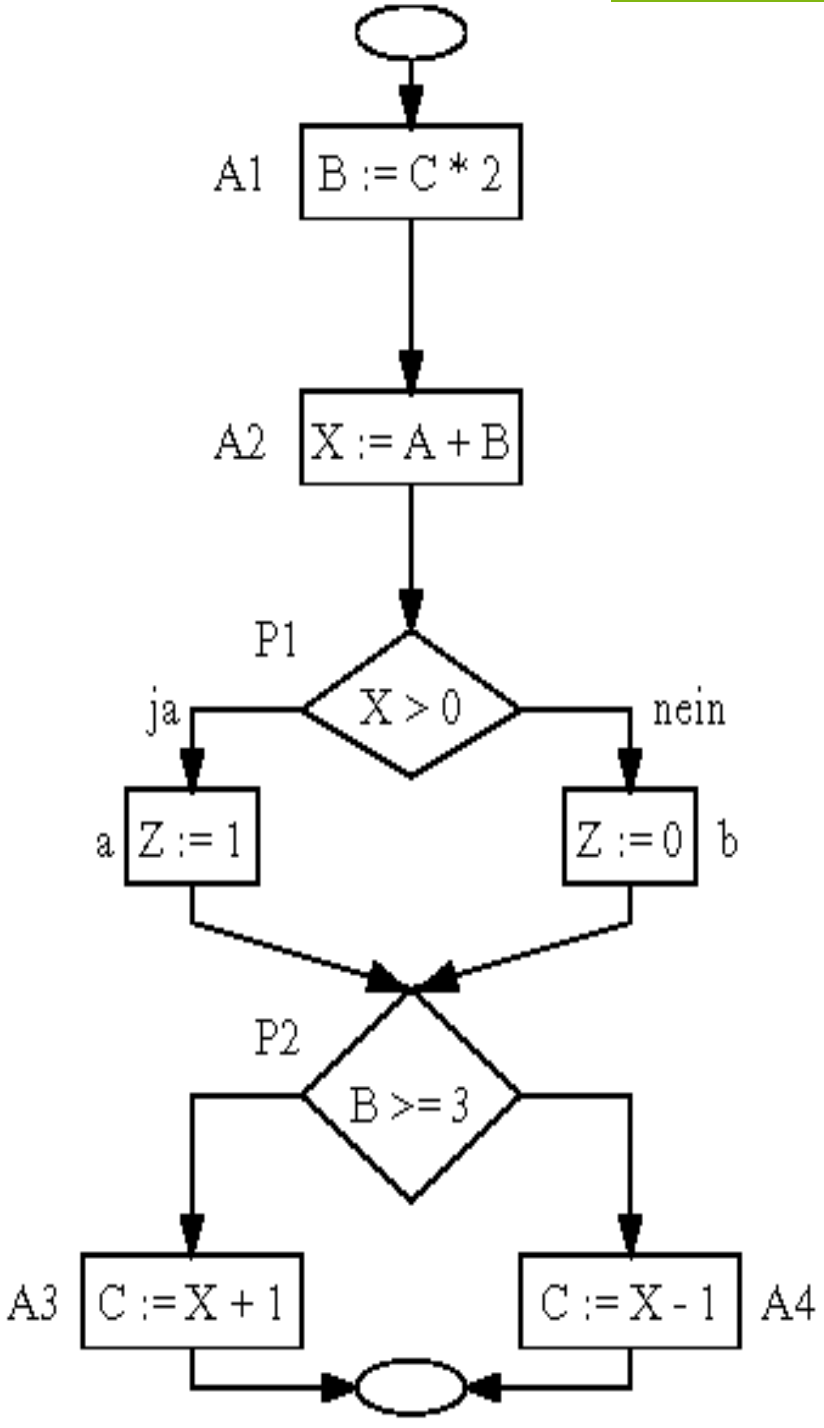
Testdatenmenge T erfüllt Kriterium „**alle Referenzen**“ g.d.w.:

- Für jede Variable *x*, jede Definition von *x* im Knoten *k*, jede Referenz von *x* im Knoten *l*, die von Definition in *k* erreicht wird, und für jeden Nachfolgerknoten *m* von *l* die Wegemenge *Wege(T)* **mindestens ein** Wegstück *u*m={k,..,l,m}* enthält, wobei die Definition von *x* in *k* die Referenz von *x* in *l* über Weg *u* erreicht.

Hierbei: *u*m={k,..,l,m}* ist die Knotenfolge mit *u={k,..,l}* gefolgt von Knoten *m*.

Alle Referenzen: Beispiel

- **Beispiel**: Was sind Nachfolgerknoten von Referenzen von X und B ? Welche Testpfadmenge erfüllt „**alle Referenzen**“ (alle ausgehenden Kanten eines Entscheidungsknotens berücksichtigen) für X und B ?
- Testet sie alle Wege ?



Alle Referenzen: Beispiel

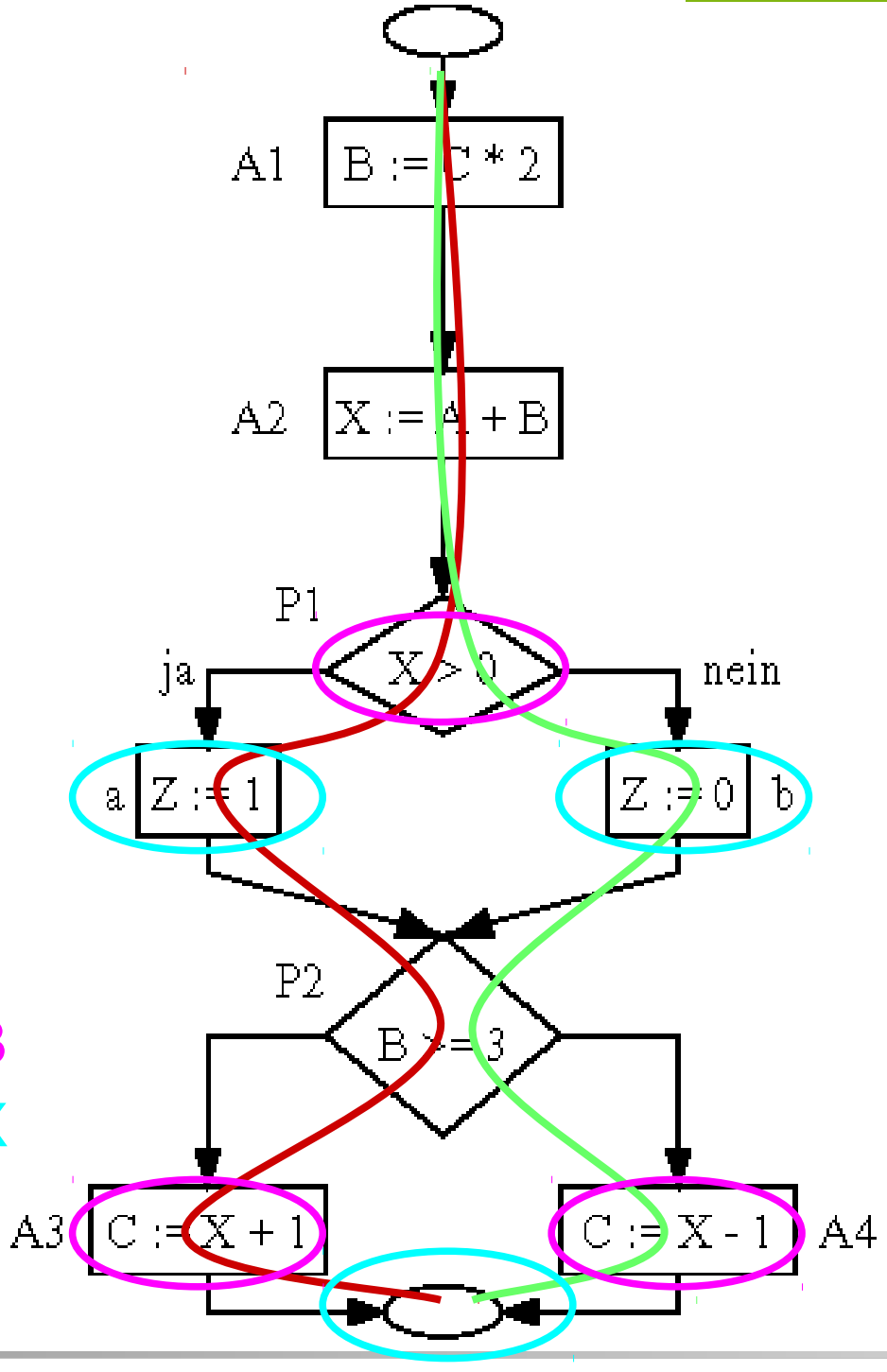
- T sei Testdatenmenge, die Wege (A1, A2, P1, a, P2, A3) und (A1, A2, P1, b, P2, A4) ausführt.
- T erfüllt Kriterium „**alle Referenzen**“ für Variablen X und B.
- **Aber:** Wege (A1, A2, P1, a, P2, A4) und (A1, A2, P1, b, P2, A3) nicht ausgeführt.

Nachfolgeknoten von Referenzen von B

Nachfolgeknoten von Referenzen von X

Weg (A1, A2, P1, a, P2, A3)

Weg (A1, A2, P1, b, P2, A4)



Einfache Datenflusskriterien: Diskussion

- **Einfache Datenflusskriterien wie „Alle DR-Interaktionen“ und „alle Referenzen“: Kriterien zum Testen** aller Paare von Definitionen und Referenzen.

  → Jeweils **auf einem Weg** von Definition zur Referenz.

- Ausreichend unter Gesichtspunkt des Datenflusses.
  → Zwischen Definition und Referenz **keine Änderung der Variablen.**

- Etwas feinkörniger: zwischen **Entscheidungs-** und **Berechnungs-Referenzen** unterscheiden (nächste Folie).

Variablen- / Objektverwendung: Computational vs. Predicative use

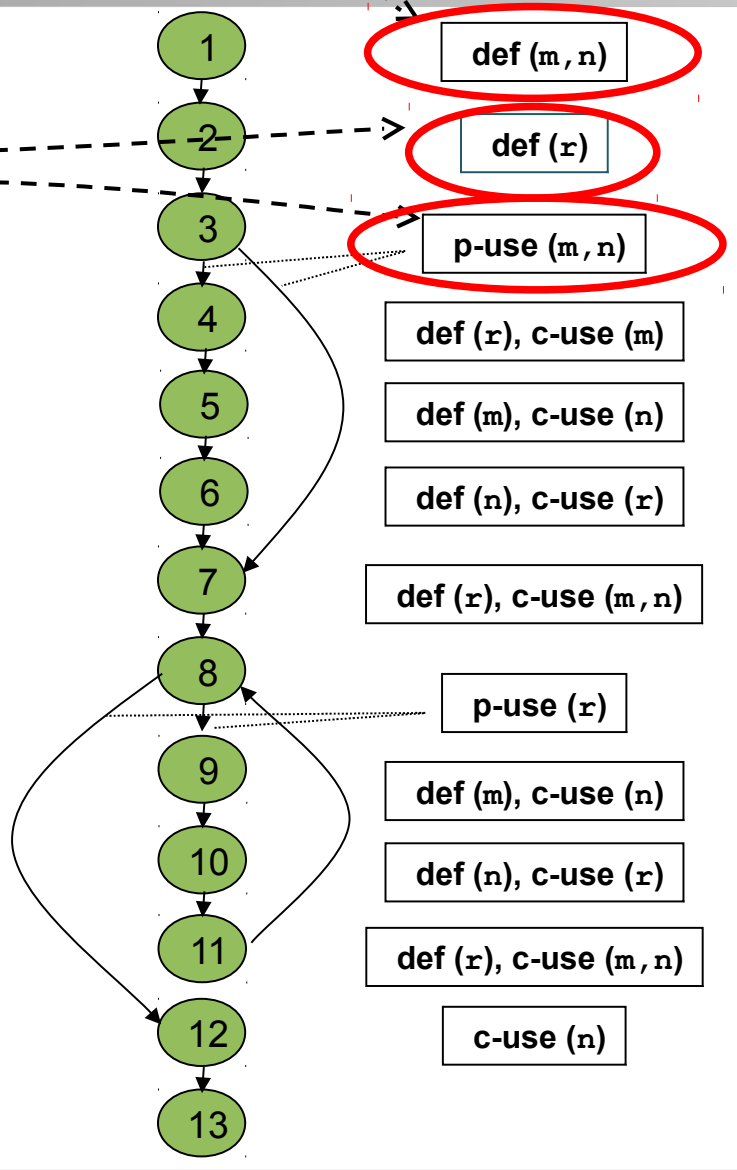
Mögliche Variablen- / Objektverwendung:

- Wertzuweisung, zustandsverändernd **(Definition / Definitional use):**
  - z.B. `r = m` oder `r = 5` : def(r)
- Benutzung in Ausdrücken, zustandserhaltend: (**B**erechnungs-**Referenz / Computational use**):
  - z.B. `r = m mod n` oder `r = op1(m,n)`: c-use (`m,n`) und def (`r`).
- Benutzung in Bedingungen, zustandserhaltend (**E**ntscheidungs-**Referenz / Predicative use**):
  - z.B. `while (r != 0)` oder `if (r != 0)`: p-use (`r`).

LEHRSTUHL 14
SOFTWARE ENGINEERING

Beispiel ggt: Datenflussgraph

```
1. public int ggt (int m, int n) {
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;
13. }
```



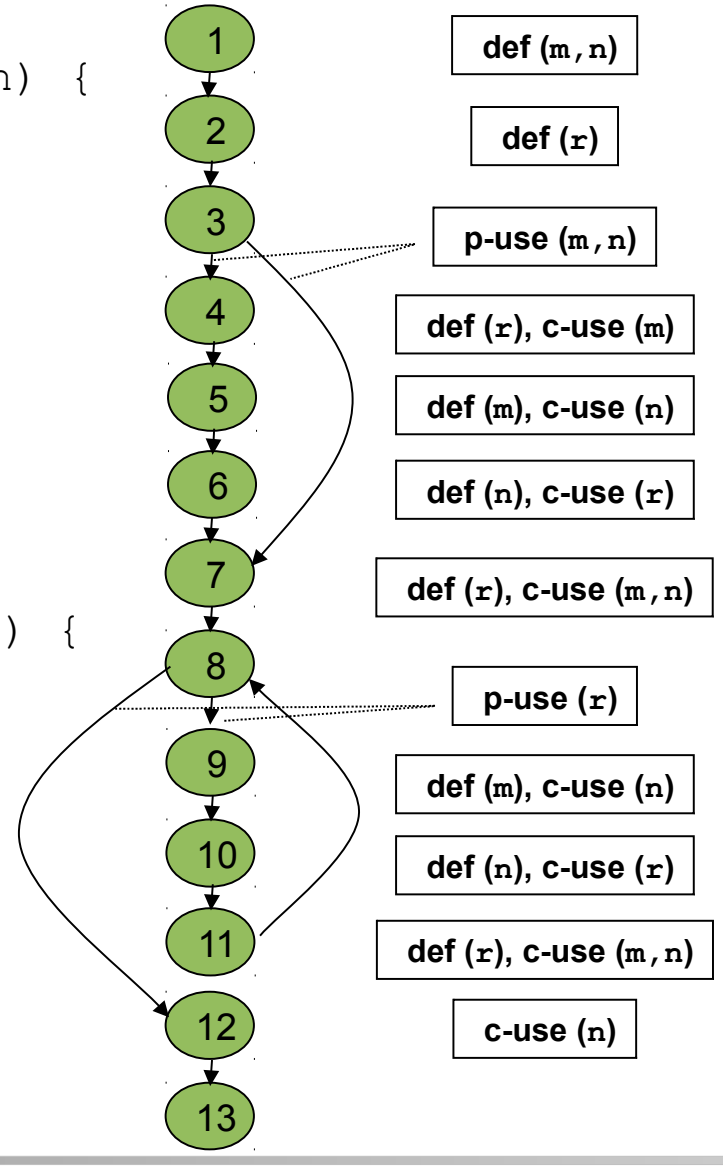
Beispiel ggt: Alle Definitionen

All-defs: Jede Definition min. einmal ohne dazwischen liegendes erneutes def in Referenz (c-use oder p-use) verwenden.

[Bem.: Egal ob c-use oder p-use, also konsistent mit Def. auf F. 114.]

Gibt es eine Testmenge, die All-defs erfüllt ?

```
1.public int ggt
       (int m, int n) {
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;
13. }
```



Beispiel ggt: Alle Definitionen

Pfad (1, 2-3, 4-6, 7, 8, 9-11, 8, 12, 13) erfüllt **All-defs** mit Ausnahme von „2: def(r)“ (nicht ohne dazwischen liegendes erneutes def verwendet):

1, def m: p-use 3-4

1, def n: p-use 3-4

4, def r: c-use 6

5, def m: c-use 7

6, def n: c-use 7

7, def r: p-use 8-9

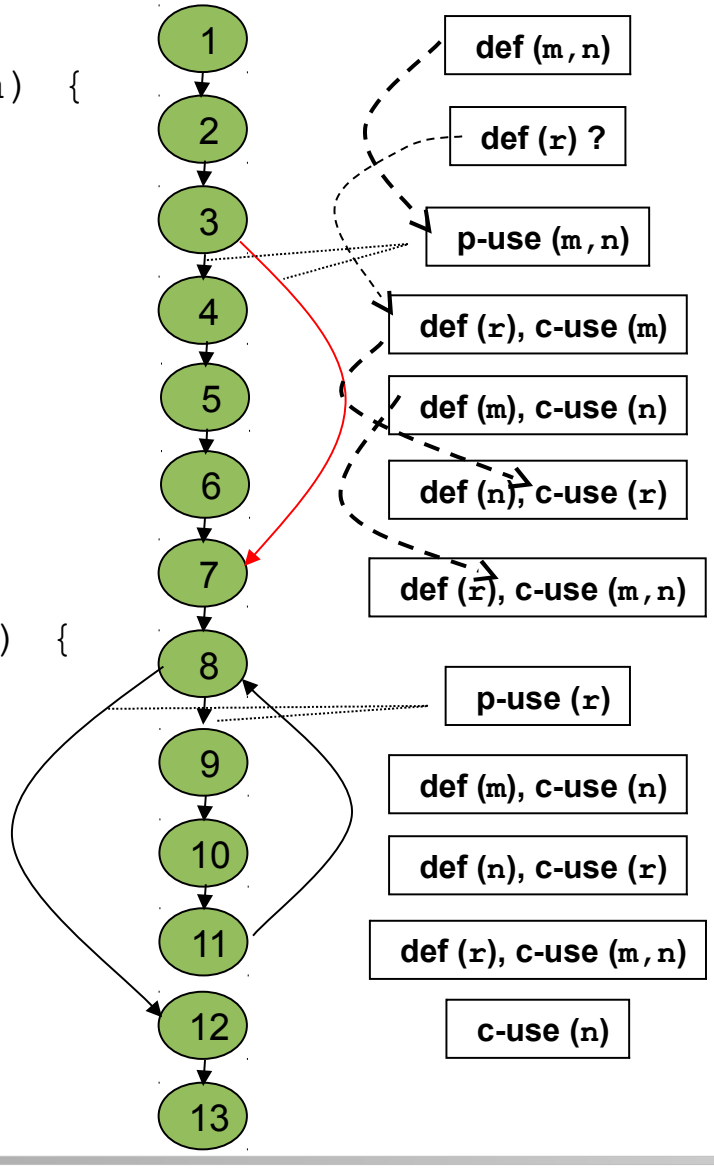
9, def m: c-use 11

10, def n: c-use 11

11, def r: p-use 8-9

NB: „3-4“ zeigt an, welcher Zweig ausgehen von 3 in diesem Pfad genommen wurde (für All-defs aber nicht relevant.)

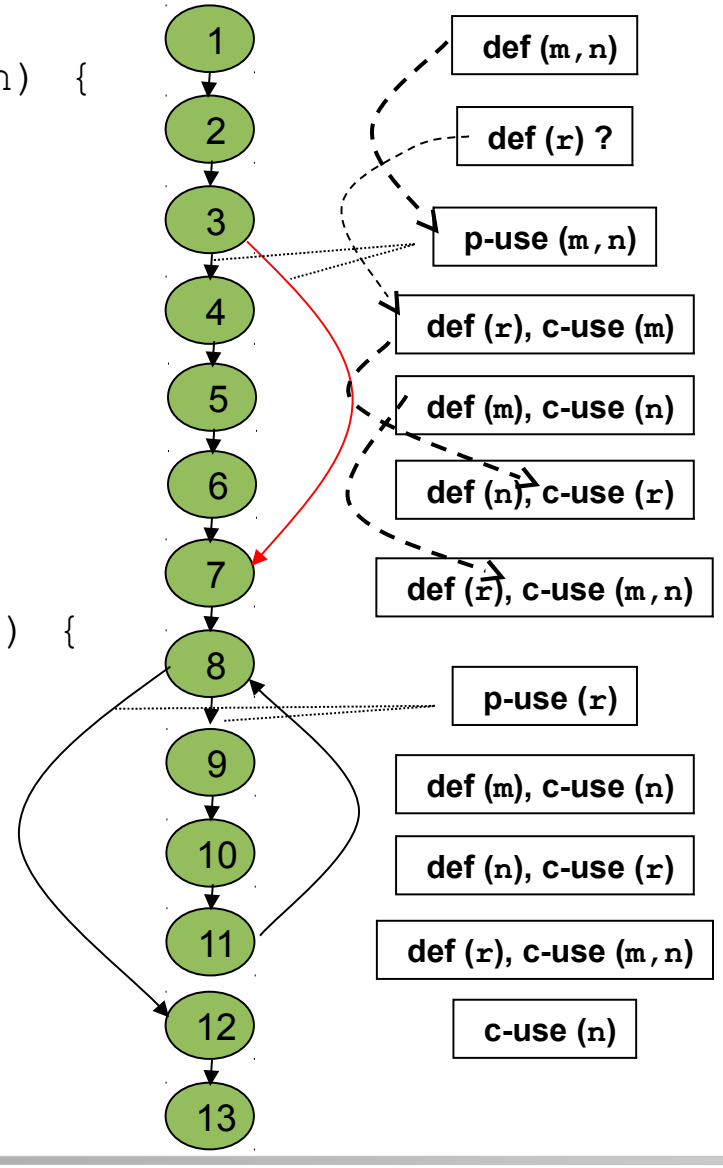
```
1. public int ggt
       (int m, int n) {
2.     int r;
3.     if (n > m) {
4.         r = m;
5.         m = n;
6.         n = r;
       }
7.     r = m % n;
8.     while (r != 0) {
9.         m = n;
10.        n = r;
11.        r = m % n;
       }
12.    return n;
13. }
```



Beispiel ggt: Alle Definitionen

Erfüllt Pfad (1, 2-3, 4-6, 7, 8, 9-11, 8, 12, 13) auch **Alle DR-Interaktionen** [= jedes Paar def/ref (ohne dazwischen liegendes erneutes def) ausführen] ?

```
1. public int ggt
       (int m, int n) {
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;
13. }
```



Beispiel ggt: alle DR-Interaktionen

Alle DR-Interaktionen: jedes Paar def/ref (ohne dazwischenliegendes erneutes def) ausführen:

1, def m: p-use 3-4

1, def m: c-use 4

1, def m: c-use 7

→ brauche else-Zweig 3-7 !

1, def n: p-use 3-4

1, def n: c-use 5

1, def n: c-use 7 (braucht 3-7 !)

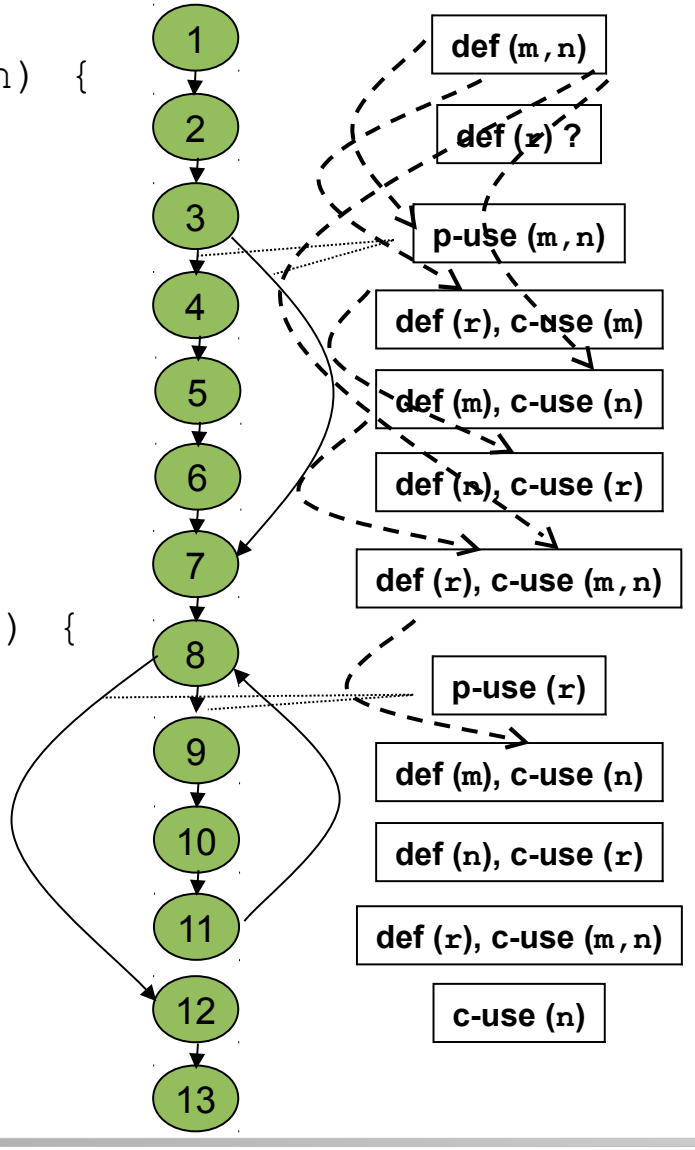
4, def r: c-use 6

…….

→ Pfad reicht nicht, brauche weiteren Pfad für else-Zweig 3-7.

NB: Brauche keinen Pfad, der die Schleife 8-11 null mal ausführt, weil für „12: c-use(n)“ das vorhergehende „1/6: def(n)“ dann bereits durch „7: c-use(n)“ abgedeckt wird

```
1.public int ggt
        (int m, int n) {
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;
13. }
```



LEHRSTUHL 14
SOFTWARE ENGINEERING

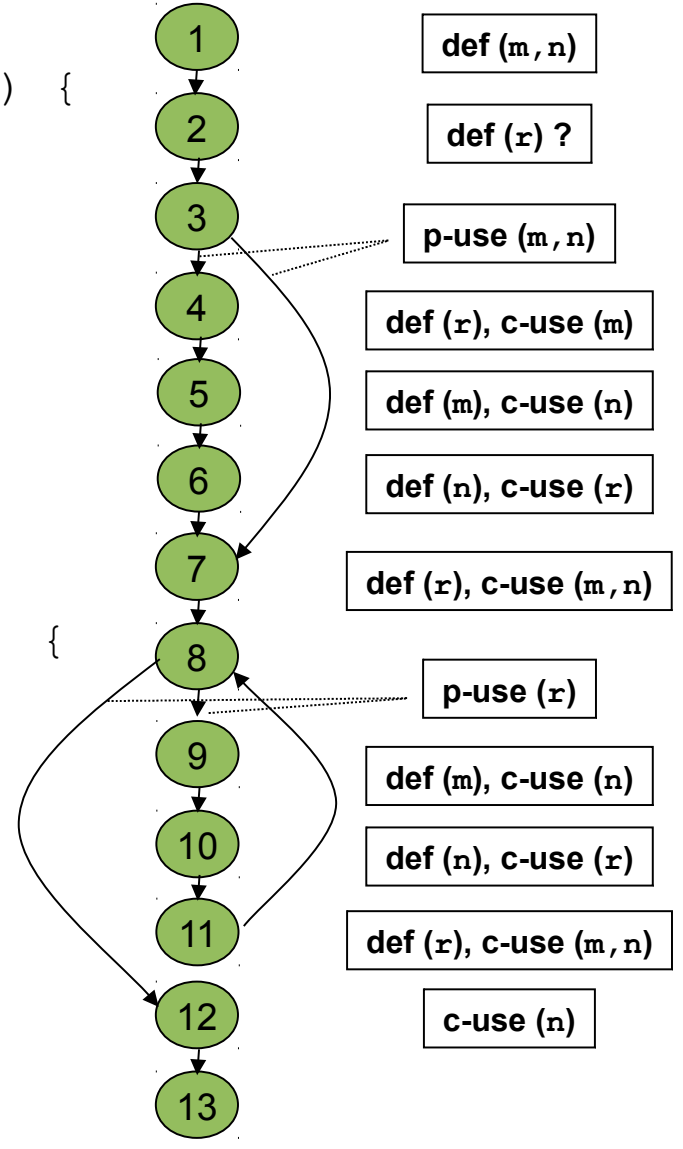
Beispiel ggt: Alle Referenzen

Erfüllt die Pfadmenge von der vorherigen Folie **Alle-Referenzen** ?

Reicht schon der einzelne Testfall von davor ?

Was sind jeweils die Nachfolgerknoten ?

```
1.public int ggt
       (int m, int n) {
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;
13. }
```



Beispiel ggt: Alle Referenzen

Alle B-Referenzen (c-uses):

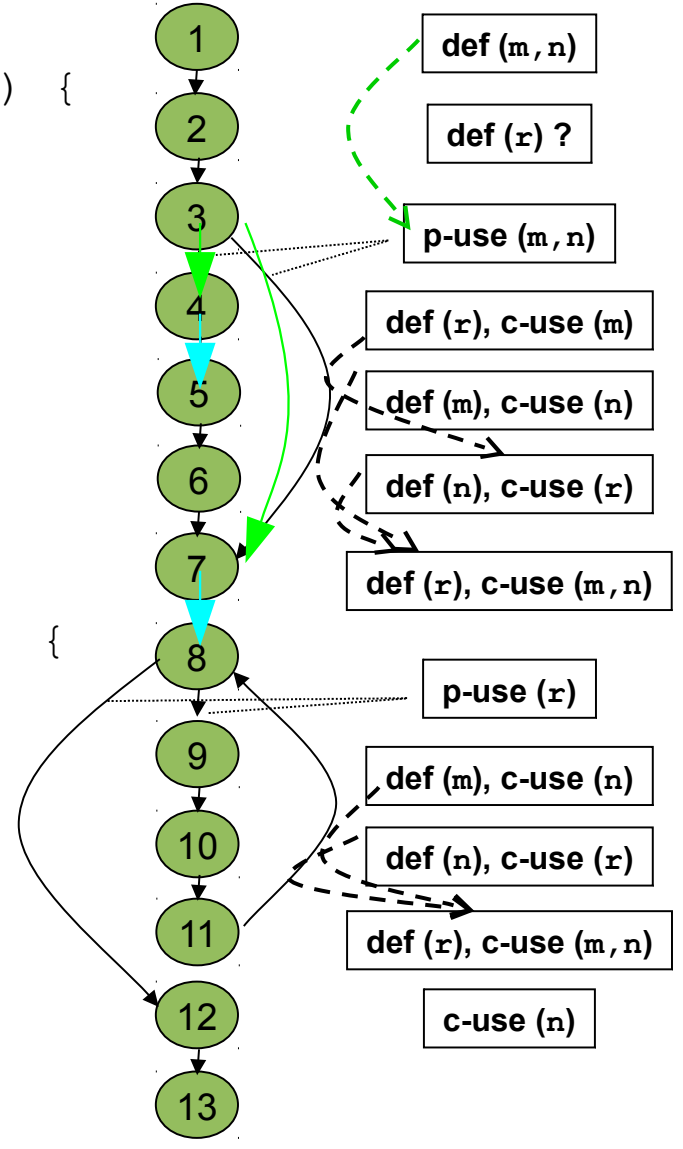
1, def m: c-use 4-5
1, def m: c-use 7-8
→ brauche else-Zweig 3-7 !
1, def n: c-use 5-6
1, def n: c-use 7-8 (else!)
4, def r: c-use 6-7
.....

Alle E-Referenzen (p-uses):

1, def m p-use 3-4
1, def m p-use 3-7
→ brauche else-Zweig 3-7 !
.....
→ Brauche beide Testfälle.

Nachfolgeknoten von p-uses von m.
Nachfolgeknoten von c-uses von m.

```
1.public int ggt
       (int m, int n) {
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;
13. }
```



Beispiel ggt: Alle k-DR-Interaktionen

Alle k-DR-Interaktionen: Verkettung von DR-Paaren.
Beispiel für k=3:

(1, m, 4, r, 6):

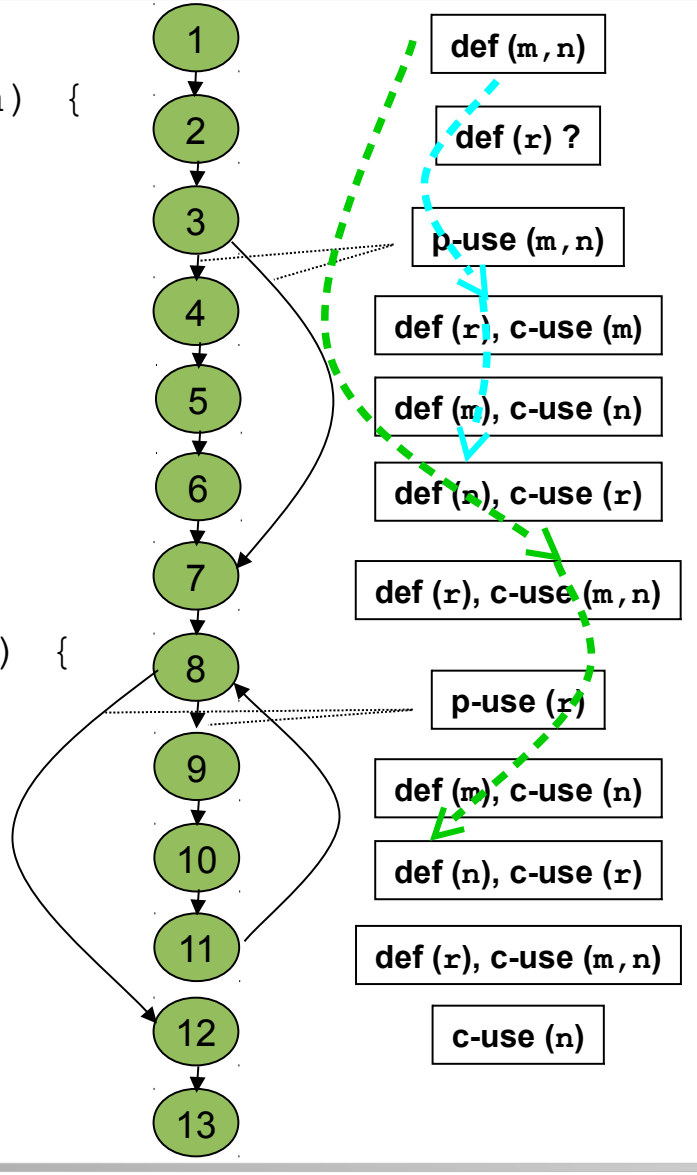
- m wird in 1 definiert, in 4 referenziert,
- r wird in 4 definiert, in 6 referenziert

→ damit hängt 6 von 1 ab!

Analog für **(1, m, 7, r, 10)**.

→ Teste Wegstücke (1,2,3,4,5,6) und (1,2,3,7,8,9, 10).

```
1.public int ggt
       (int m, int n) {
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;
13. }
```



Beispiel ggt: Kontextüberdeckung

Beispiel für **Kontextüberdeckung:**

In 7 wird r definiert durch referenzierte Variablen m und n.

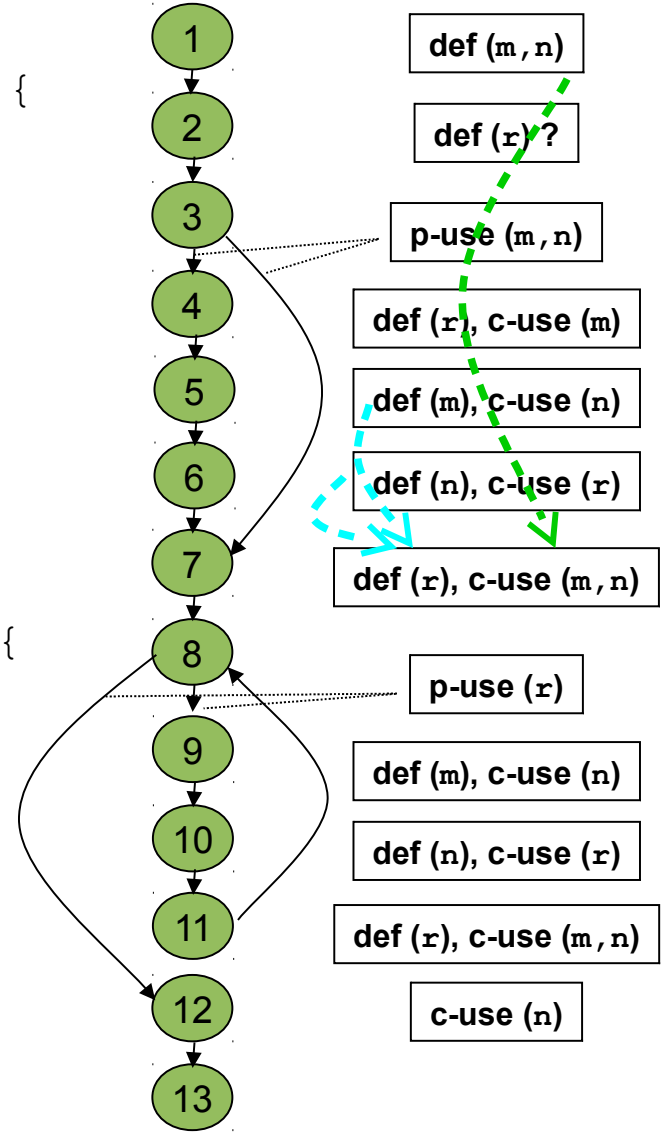
„**Definitionskontext**“: Knoten, in denen m und n vorher definiert. Hier zwei Fälle:

DK1= {(1,m),(1,n)}

DK2= {(5,m),(6,n)}

→ teste Wegstücke (1,2,7) und (5,6,7).

```
1.public int ggt
       (int m, int n) {
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;
13. }
```



Überblick Datenfluss-Kriterien (1)

- „**alle Definitionen“ (all-defs)**:
  - Jede Definition min. einmal (ohne dazwischenliegendes erneutes def) im c-use oder p-use verwenden.
- „**alle DR-Interaktionen**“:
  - Jedes Paar def/ref (ohne dazwischenliegendes erneutes def) auf irgendeinem Weg ausführen.
- Variation: **k-DR-Interaktionen**
- **Kontextüberdeckung**

Überblick Datenfluss-Kriterien (2)

- **Alle Referenzen:**
  - Alle ausgehenden Kanten eines Entscheidungsknotens berücksichtigen.
- **Alle Entscheidungs-/einige Berechnungs-Referenzen:**
  - Schwächere Überdeckung des Datenflusses, trotzdem Zweigüberdeckung und Testen „aller Definitionen“.
- **Alle Berechnungs-/einige Entscheidungs-Referenzen:**
  - Keine Zweigüberdeckung, aber Testen „aller Definitionen“ und „aller Referenzen“ in Berechnungsknoten.
- **Alle DR-Wege:**
  - Stärkere Überdeckung unter Kontrollflussaspekten durch Annäherung an Pfadtesten, allerdings ohne Schleifeniterationen.

Datenfluss-Testen: Anzahl Testdaten

Anzahl **Testdaten pro Testkriterium:**

Falls **Anzahl ausgehender Kanten pro Entscheidungsknoten** und Anzahl Variablen pro Segment durch Konstante **begrenzt**, dann für Programm mit n Segmenten **im schlechtesten Fall:**

- **„alle Definitionen“: O(n) Testdaten.**
- **„alle E- / einige B-Referenzen“,** „alle B- / einige E-Referenzen“, „alle Referenzen“, Kontextüberdeckung: $O(n^2)$ Testdaten.
- **„alle DR-Wege“:** $O(2^n)$ Testdaten.

Datenfluss-Testen: Aufgedeckte Fehler

Aufgedeckte Fehler pro Testkriterium (vgl. [Rie97]):

Kriterium	Fehler erkannt
Alle Definitionen	24%
Alle E- / einige B-Referenzen	34%
Alle B- / einige E-Referenzen	48%
Alle DR-Interaktionen	51%

„**Alle B-Referenzen**“: z.B. bis zu 88% aller Berechnungsfehler.
„**Alle E-Referenzen**“: z.B. 100% aller Bereichsfehler.

Für restliche Kriterien keine Studien vorhanden.

Bewertung des datenflussbasierten Testens

Folgende **Fehler schlecht aufdeckbar:**

- Fehlende Pfade.
- Bereichsfehler durch falsch platzierte Anweisungen und falsche arithmetische Operatoren.
- Berechnungsfehler bei speziellen Werten.

Aber: ca. **9% aller Fehler** nur **mit datenflussbezogenen Methoden findbar.**

[Quelle: Riedemann: Spezialvorlesung „Software-Testmethoden“]

Überblick strukturelles Testen: Ansätze und Überdeckungskriterien

Kontrollflussbasiert:

- **Anweisungsüberdeckung** (C_0-Überdeckung)
- **Zweigüberdeckung** (C_1-Überdeckung).
- **Grenze-Inneres-Überdeckung** (C_{gi}).
- **Pfadüberdeckung** (C_∞-Überdeckung).

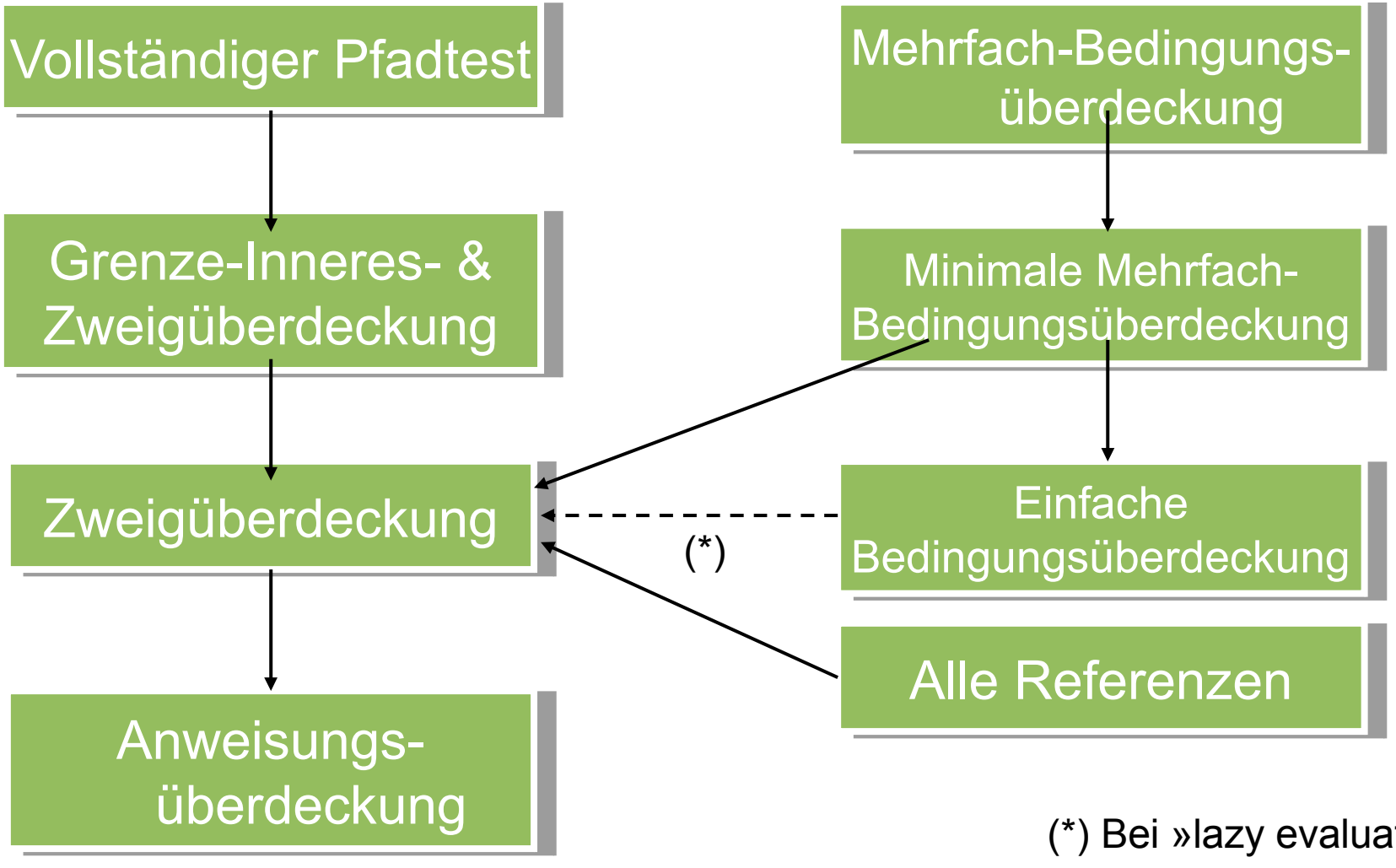
Bedingungsbasiert:

- **Einfache Bedingungsüberdeckung.**
- **Mehrfachbedingungsüberdeckung.**
- **Minimal bestimmende Mehrfachbedingungsüberdeckung.**

Datenflussbasiert:

- **Alle Definitionen** (all defs).
- **Alle Definition-Benutzung-Paare** (all def-uses).
- **...**

Mächtigkeit der White-Box-Techniken



(*) Bei »lazy evaluation«

Bewertung der White-Box-Techniken

Überdeckungsmaß	Leistungsfähigkeit	Bewertung
Anweisungs-überdeckung (C_0)	Niedrig Entdeckt knapp ein Fünftel der Fehler	Notwendig, aber nicht hinreichend Entdeckt »dead-code«
Zweigüberdeckung (Entscheidungs-überdeckung, C_1)	Mittel, schwankt aber stark Entdeckt ca. 30% aller Fehler und ca. 80% der Kontrollfluss-Fehler	Entdeckt nicht ausführbare Zweige Zielt auf Verzweigungen
Bedingungsüber-deckung (C_2)	Niedrig	Umfasst i.Allg. nicht die Anweisungs- und Entscheidungsüberdeckung
Grenze-Inneres Test (C_{GI})	Mittel	Ergänzendes Kriterium nur für Schleifen
Mehrfach-Bedin-gungsüberdeckung	Hoch	Zielt auf komplexe Bedingungen Umfasst Entscheidungsüberdeckung Aufwand wächst stark
Datenflusstest	Mittel bis hoch, All c-uses ca. 50%, All p-uses ca. 34%, all defs ca. 25% (keine Berechnungsfehler!)	Zielt auf Variablen-Verwendung c-uses findet viele Berechnungsfehler
Pfadüber-deckung (C_∞)	Sehr hoch Entdeckt über 70% der Fehler	In den meisten Fällen nicht praktikabel

Einige Warnungen zum Thema Testüberdeckungen (1)

http://www.elektronikpraxis.vogel.de/themen/embeddedsoftwareengineering/testinstallation/articles/247210

„Acht Irrtümer über Code Coverage“:

- Irrtum 1: Man kann immer 100% Abdeckung erreichen.
  - z.B. nicht-erreichbarer Code
- Irrtum 2: Ein Coverage-Maß hat nur einen Namen.
  - z.B. minimale Mehrfachüberdeckung
- Irrtum 3: Ein Name bezeichnet immer dasselbe Coverage-Maß.
  - z.B. C0, C1, C2 unterschiedlich verwendet
- Irrtum 4: Es ist klar, wie Coverage gemessen wird.
  - Werkzeuge können Definitionen verschieden interpretieren

Einige Warnungen zum Thema Testüberdeckungen (2)

LEHRSTUHL 14
SOFTWARE ENGINEERING

- Irrtum 5: Für die Coverage ist es egal, wie der Code formuliert ist.
  - z.B. zusammengesetzte Bedingungen vs. kaskadierende IF-Ausdrücke
- Irrtum 6: Durch geschickte Programmierung kann man sich das Leben erleichtern.
  - Ziel ist nicht Kennzahlen-Optimierung sondern Fehler-Findung
- Irrtum 7: Reicht, Testfälle zur vollständigen Code-Abdeckung aus Code abzuleiten.
  - z.B. fehlende Code-Abschnitte
- Irrtum 8: Code-Coverage misst die Qualität des Codes.
  - 100% Überdeckung heisst nicht 100% fehlerfrei.

Zusammenfassung: Dynamischer Test

- **Ziel:** Mit wenig Aufwand ausreichend unterschiedliche Testfälle erzeugen.
  → Mit gewisser Wahrscheinlichkeit vorhandene Fehlerzustände zur Wirkung bringen.
- **Ausführung der Testfälle:** Codebasierte Überdeckung messen.
- **Obere Teststufen: Black-Box** Testentwurfsverfahren.
- **Untere Teststufen: White-Box** Testentwurfsverfahren.

Weil vollständiges Testen nicht möglich: Testpriorisierung notwendig.

Ein Ansatz: Statische Analyse → vgl. nächster Unterabschnitt !

2.4 White-Box-Test

2.4 White-Box-Test

- Idee der White-Box Testentwurfsverfahren
- Kontrollflussbasierter Test
- Test der Bedingungen
- Datenflussbasierter Test
- **Statische Analyse**

Grenzen des Testens

Was haben wir bislang über das Testen gelernt ?

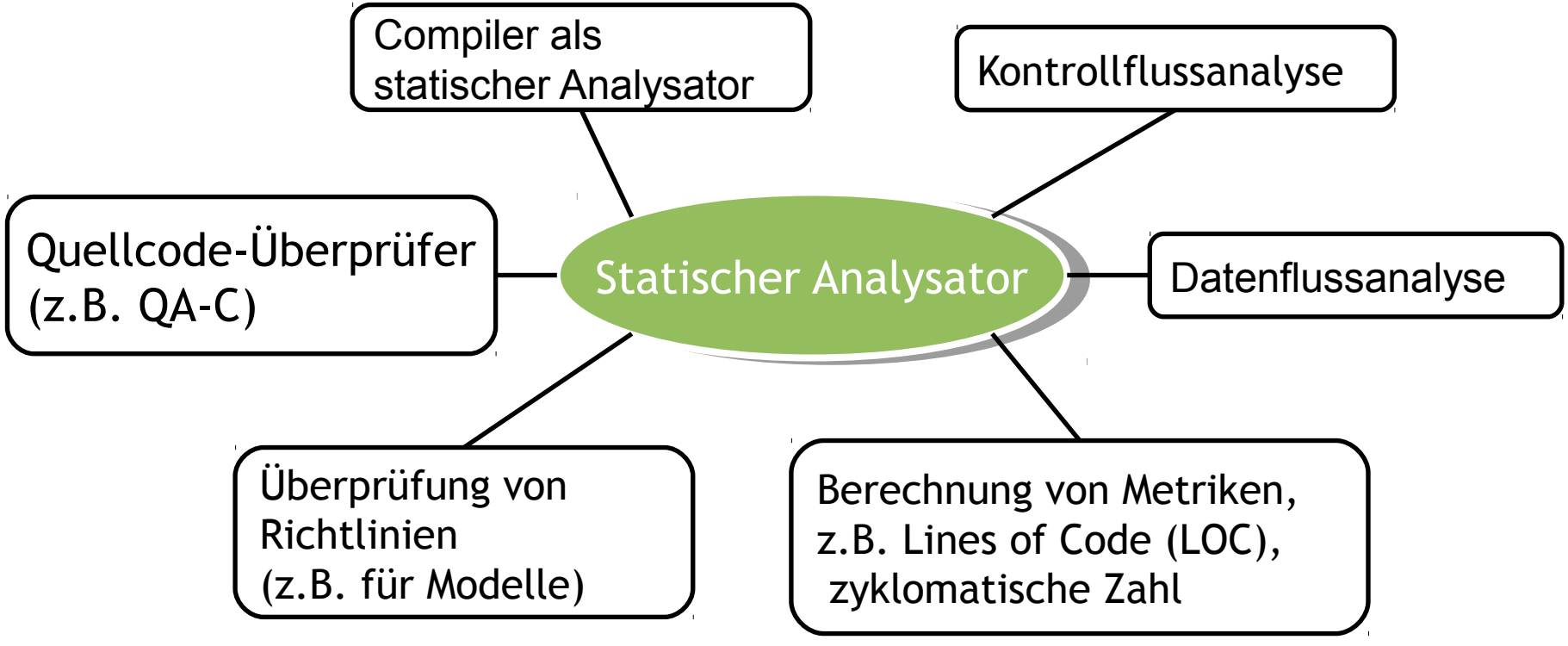
- Völliges Austesten nicht möglich (vgl. Kap. 2.0).
- Trade-off zwischen Testaufwand und Anteil gefundener Fehler (niemals 100%).
- Kontrollfluss- und Datenflussbasierte Überdeckungskriterien helfen bei Trade-off, aber garantieren keine 100%-ige Fehlerfreiheit.

Was tun ?

Lösung: Verifikationsansätze, die nicht (nur) auf Ausführung des Programmes (= dynamisches Testen) beruhen:

- **Statische Analyse**: vollautomatisch, aber nur bestimmte Fehlerklassen
  - z.B. Analyse des Kontrollflussgraphen auf Anomalien
- **Symbolische Ausführung**
- **formale Verifikation**:
  - vollautomatisch (z.B. **Modell-Checking**): leichtere Bedienung, eingeschränkte Mächtigkeit
  - oder teilautomatisiert (z.B. **interaktives Theorembeweisen**): anspruchsvolle Bedienung, prinzipiell (beinahe) uneingeschränkte Mächtigkeit

Statische Analyse: Beispiele



Kontroll- und Datenflussanalyse

- Suche nach Anomalien im Programmtext.
- **Anomalie:** Unstimmigkeit, die zur Fehlerwirkung führen kann.
  - Anomal: unregelmäßig, regelwidrig.
  - Kann Fehlerzustand sein, muss aber nicht.
- **Statische Analyse:** Nicht alle Fehlerzustände einfach nachweisbar (**Fehlerzustände** als Fehlerwirkung bei Ausführung).
  - Z.B.: bei Division Wert des Divisors in Variable halten
    → Variable kann **zur Laufzeit** Wert Null annehmen.
    → Fehlerwirkung, statisch nicht einfach erkennbar.

Manuelle Kontrollflussgraphenanalyse

Einfach aber effektiv: **Manuelle** Analyse des **Kontrollflussgraphen** auf **Anschaulichkeit.**

- **Ziel:** Abläufe durch Programmstück leicht manuell erfassen.
- Teile des Graphen unübersichtlich
  → Zusammenhänge und Ablauf kaum nachvollziehbar.
  → Fehlerträchtig (und schlecht wartbar).
  → Überarbeitung des Programmtextes.

Kontrollflussanomalie

- **Kontrollflussanomalie:** Statisch feststellbare Unstimmigkeit beim Ablauf des Testobjekts:
  - Sprünge aus Schleifen heraus
  - Sprünge in Schleifen hinein
  - Programmstücke mit mehreren Ausgängen
- Müssen **keine Fehlerzustände** sein, **widersprechen aber Grundsätzen** strukturierter Programmierung und können fehlerträchtig sein.
- Kontrollflussgraph von Werkzeug generieren (gewährleistet **eins-zu-eins–Abbildung** zwischen Programmtext und Graph).

Kontrollflussanalyse: Vorgänger-Nachfolger-Tabellen

Vorgänger-Nachfolger-Tabellen: Beziehung der Anweisungen (Ausführungsabfolge).

Kein Vorgänger einer Anweisung. → Anweisung nicht erreichbar.

- **Fehlerzustand** ist erkannt.

Keine Vorgänger- bzw. **Nachfolge-Anweisung** für:

- Erste und letzte Anweisung eines Programm(teil)s.
- Programm(teil)e mit mehreren Eintritts- bzw. Austrittspunkten.

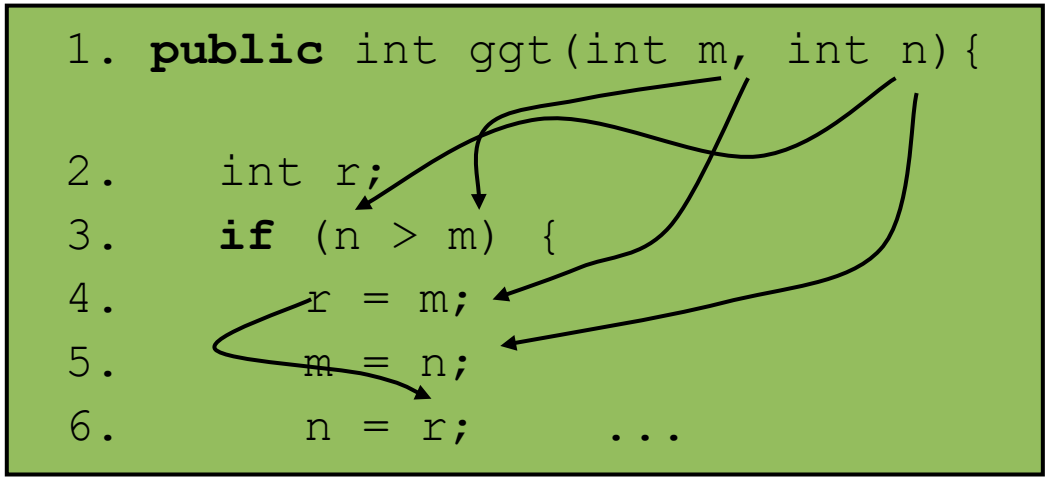
Vorgänger-Nachfolger-Tabelle: Beispiel ggt


```
1.  public int ggt(int m, int n) {
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;
13.  }
```

Anweisung	Nachfolger	Vorgänger
1	2	-
2	3	1
3	4, 7	2
4	5	3
5	6	4
6	7	5
7	8	3, 6
8	9, 12	7, 11
9	10	8
10	11	9
11	8	10
12	13	8
13	-	12

Datenflussanalyse

- Verwendung von Daten auf **»Pfaden«** durch Programm (vgl. datenflussbasiertes Testen)



- Aufdeckung von Datenflussanomalien:
  - **Referenzierende Verwendung (Lesen) einer Variablen** ohne vorherige Initialisierung
  - **Nicht-Verwendung** eines zugewiesenen Wertes einer Variablen

Datenfluss-Anomalien

Datenfluss-Zustände von Variablen:

- Undefiniert (**u**): Variable hat keinen definierten Wert.
- Definiert (**d**): Variablen wird Wert zugewiesen.
- Referenziert (**r**): Wert der Variablen wird verwendet.

Damit Definition der **Datenflussanomalien**:

- **ur**-Anomalie: Undefinierter Wert (u) einer Variablen wird gelesen (r).
- **du**-Anomalie: Variable erhält Wert (d) und wird ohne Verwendung ungültig (u).
- **dd**-Anomalie: Variable erhält Wert (d) und ohne Verwendung einen zweiten Wert (d).

Datenfluss-Anomalien: Beispiel

```
1. void Tausch (int min, int max) {// d(min, max)
2.   int hilf;                     // u(hilf) (Java: hilf=0)
3.   if (min > max) {              // r(min, max)
4.       max  = hilf;              // d(max), r(hilf)
5.       max  = min;               // d(max), r(min)
6.       hilf = min;               // d(hilf), r(min)
7.    }
8. }                                // u(hilf)
```

Welche Anomalien sehen Sie ?

Datenfluss-Anomalien: Beispiel **ur**

```
1.  void Tausch (int min, int max) {// d(min, max)
2.    int hilf;                     // u(hilf) (Java: hilf=0)
3.    if (min > max) {              // r(min, max)
4.        max  = hilf;              // d(max), r(hilf)
5.        max  = min;               // d(max), r(min)
6.        hilf = min;               // d(hilf), r(min)
7.    }
8.  }                               // u(hilf)
```

ur (hilf)

ur-Anomalie der Variablen `hilf`:

- **Gültigkeitsbereich** der Variablen auf Funktion beschränkt.
- Erste Verwendung der Variablen auf der rechten Seite einer Zuweisung.
- Variable hat hier **undefinierten Wert**, der referenziert wird.
- **Initialisierung** bei Deklaration der Variablen nicht vorgenommen.

Datenfluss-Anomalien: Beispiel **dd**

```
1. void Tausch (int min, int max) {// d(min, max)
2.   int hilf;                     // u(hilf) (Java: hilf=0)
3.   if (min > max) {              // r(min, max)
4.       max  = hilf;              // d(max), r(hilf)
5.       max  = min;               // d(max), r(min)
6.       hilf = min;               // d(hilf), r(min)
7.   }
8. }                                // u(hilf)
```

dd (max)

dd-Anomalie der Variablen `max`:

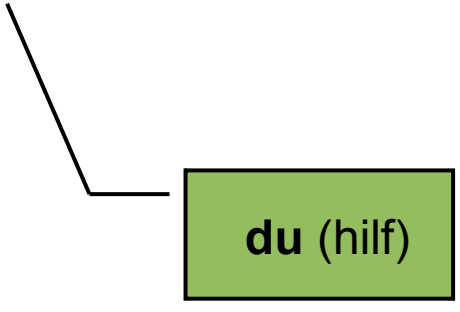
- **Zwei Zuweisungen** ohne zwischenzeitige Verwendung.

Mögliche Ursachen bzw. Korrektur:

- Entweder: erste Zuweisung kann entfallen.
- Oder: Verwendung des ersten Wertes vergessen worden.
- Oder: Variablennamen / Reihenfolgen vertauscht.

Datenfluss-Anomalien: Beispiel **du**

```
1. void Tausch (int min, int max) {// d(min, max)
2.   int hilf;                     // u(hilf) (Java: hilf=0)
3.   if (min > max) {              // r(min, max)
4.       max  = hilf;              // d(max), r(hilf)
5.       max  = min;               // d(max), r(min)
6.       hilf = min;               // d(hilf), r(min)
7.   }
8. }                                // u(hilf)
```



du-Anomalie der Variablen `hilf`

- Variable `hilf` bekommt Wert zugewiesen, wird nirgends verwendet.
- Variable nur **innerhalb der Funktion** gültig.

Anomalie vs. Fehl-Verhalten

Nicht jede Anomalie führt direkt zu **fehlerhaftem Verhalten**:

- du-Anomalie: keine direkte Auswirkungen, Programm kann korrekt laufen.

→ Genauere Untersuchung der anomalen Programmstellen, weitere Unstimmigkeiten ausfindig machen.

Bewertung der Datenfluss-Analyse

Im Beispiel: Anomalien **offensichtlich**.

Aber: Zwischen Anweisungen, die Anomalie führen, können beliebig viele andere Anweisungen stehen.

- Anomalien nicht mehr offensichtlich.
- Bei manueller Prüfung übersehbar.
- Werkzeug zur Datenflussanalyse deckt Anomalien auf.

Symbolische Ausführung

„Ausführung“ eines Programms mit symbolischen Werten:

- Verwendung **symbolischer** statt konkreter Werte für Eingabevariablen.
- Mit diesen wird entsprechend ‚gerechnet' (z.B. unter Verwendung mit Logik-formalisierter Annahmen an die Werte, algebraische Eigenschaften der verwendeten Operatoren etc.).

Beispiel

Anweisung: C := A + 2 B.
Schreibe symbolische Werte als w().
Symbolische Ausführung der obigen Zuweisung ergibt:
w(C) = w(A) + 2 w(B).

Symbolische Ausführung: Vorteile

- **Symbolischer "Test"** deckt Vielzahl normaler Testdaten ab.
  - Vollständiges Testen wird prinzipiell möglich.
- Insbesondere werden **Fehler entdeckt**, bei denen für Teilmenge der Eingaben Ergebnisse falsch berechnet werden.
- Im Gegensatz zu formaler Programmverifikation keine **formale Programmspezifikation** erforderlich.

Symbolische Ausführung: Nachteile

- Benötige **formale Definition** der Programmiersprache.
- Bislang kein vollständiger Ersatz, sondern Ergänzung für funktionsorientierte Tests (insbesondere für sicherheitskritische Systeme).
- Theorembeweiser nötig für logische Berechnungen während „Ausführung“.
- Kein **vollständiger** automatischer Theorembeweiser für mächtige Programmiersprachen vorhanden.

  → Teilweise nur Approximation des Programmergebnisses möglich (aber immer noch umfassender als bei Testen).

Zusammenfassung: Mit statischer Analyse findbare Fehlerzustände

LEHRSTUHL 14
SOFTWARE ENGINEERING

- **Referenzierung** einer Variablen mit nicht definiertem Wert.
- **Inkonsistente Schnittstellen** zwischen Modulen und Komponenten.
- Variablen, die nie verwendet werden.
- Unerreichbarer Code (**»dead code«)**.
- Verletzung von Programmierkonventionen.
- **Sicherheitsschwachstellen.**
- **Syntax-Verletzungen** von Code und Softwaremodellen.
- ...

Diskussion: Nutzen statischer Analysen

- **Frühe Erkennung** von Fehlerzuständen vor Testdurchführung.
- Frühe Warnung vor verdächtigen Aspekten in Code / Design.
  → Berechnung von Metriken.
- **Identifizierung** von Fehlerzuständen.
  → Durch dynamischen Test nicht effektiv aufzudecken.
- **Aufdecken von Abhängigkeiten** und Inkonsistenzen in Softwaremodellen.
- **Verbesserte Lesbarkeit,** Änderbarkeit und Wartbarkeit von Code und Design.
- **Vorbeugung** von Fehlerzuständen.

Zusammenfassung

In **diesem** Abschnitt:

- White-Box-Testentwurfsverfahren
- Kontrollflussbasierter Test
- Datenflussbasierter Test
- Statische Analyse

Im **nächsten** Abschnitt:

- **Testen im Softwarelebenszyklus:** Teststufen und -arten.

Zusammenfassung: White-Box Testentwurfsverfahren

Grundlage aller White-Box Testentwurfsverfahren: **Vorliegender Programmtext.**

Abhängig von Komplexität der Programmstruktur adäquate Testentwurfsverfahren auswählbar.

- Anhand Programmtextes und ausgewählten Testentwurfsverfahren Intensität der Tests festlegen(Ausgangskriterium/Testendekriterium).

Problem: »Nicht vorhandener Programmcode« bleibt unberücksichtigt.

- **Übersehene Anforderungen** durch White-Box Testentwurfsverfahren **nicht aufdeckbar.**
- Nur im Programm umgesetzte Anforderungen beim White-Box Testentwurfsverfahren überprüfbar.

Zur **Instrumentierung Werkzeug** verwenden.

Worin unterscheiden sich Testentwurfsverfahren?

TESTART	Welche Art von Tests werden durchgeführt?	Funktionale Anforderungen, Nicht-funktionale Anforderungen
TESTSTUFE	Für welche Testobjekte wird der Test spezifiziert?	Komponententest, Integrationstest, Systemtest, Abnahmetest
TESTER	WER testet?	Entwickler, (erfahrene) Tester, Benutzer, …
TESTABDECKUNG	WAS wird abgedeckt?	Anforderungen, Anweisung, Entscheidung, …
POTENZIELLE FEHLER	Welche potenziellen Fehler sollen identifiziert werden?	Behandlung von Grenzwerten Behandlung von Ausnahmen …
ARTEFAKT	Was ist Grundlage für Auswahl und Herleitung der Testfälle?	Anforderungen -> Black-Box Code -> White-Box …
DOMÄNE / PARADIGMA	Für welche spezielle Domäne bzw. Entwicklungsparadigma ist die Technik zugeschnitten?	OOP, Web-basiert, DB-basiert, Automotive, Sicherheitskritische SW, …

Übersicht Prüfverfahren:

- **verifizierend**
  - Programmverifikation
  - symbolische Programmausführung
- **analysierend**
  - Metriken
  - Graphen, Tabellen
  - Anomalienanalyse
- **testend**
  - statisch
    - statische Programm-Analysatoren
    - Reviews
    - Audits
  - dynamisch
    - strukturorientiert
      - kontrollflußbezogen
        - Anweisungsüberdeckung
        - Zweigüberdeckung
        - Bedingungsüberdeckung
          - einfache
          - minimale mehrfache
          - mehrfache
        - Boundary-interior Pfadtest
        - Pfadüberdeckung
      - datenflußbezogen
        - Defs/Uses-Kriterien
          - all defs-Kriterien
          - all uses-Kriterien
          - all du-paths-Kriterien
        - Datenkontext-Überdeckung
    - funktional
      - funktionale Äquivalenzklassenbildung
      - Ursache-Wirkungs-Analyse
    - diversifizierend
      - Mutationen-Test
      - Perturbationen-Test
      - Back-to-Back-Test
    - Zufallstest
    - Test spezieller Werte
    - Grenzwertanalyse

Anhang
(weitere Einzelheiten und Beispiele)

White-Box-Testentwurfsverfahren: Begriffe

White-Box-Test: Test, der auf Analyse interner Struktur einer Komponente oder eines Systems basiert.

»Fehleraufdeckende« Stichproben möglicher Programmabläufe und Datenverwendungen suchen.

White-Box-Testentwurfsverfahren: Dokumentiertes Verfahren zur Herleitung und Auswahl von Testfällen, basierend auf interner Struktur einer Komponente oder eines Systems.

Alle **Testentwurfsverfahren,** die zur

- Herleitung der Testfälle
- **Bestimmung der Vollständigkeit der Prüfung** (Überdeckungsgrad)

Information über innere Struktur des Testobjekts (z.B. Zweige) heranziehen.

→ Strukturorientierte, strukturbezogene oder strukturelle Testentwurfsverfahren.

Kontrollfluss

- **Kontrollfluss:** Abstrakte Repräsentation von Reihenfolgen von Ereignissen während Programmausführung.
  - Abfolge ausgeführter Anweisungen.
  - Muss nicht Reihenfolge der Anweisungen im Programmtext sein.
- **Determinierung** durch »steuernde« Anweisungen:
  - Unbedingte Sprünge
  - Bedingte Verzweigungen
  - Schleifen
- **Steuerung** durch Wahrheitswerte von Bedingungen:
  - Ermittelter Wahrheitswert:
    - »wahr«: → Ausführung des Programms mit THEN-Teil der IF-Anweisung
    - »unwahr«: → Durchlaufung des ELSE-Teil.
- **Schleifen** führen zu vorherigen Anweisungen zurück.

→ Bewirkt **mehrfache Ausführung** oder Schleifenkörper wird umgangen.

Kontrollflussgraph

- Gerichteter Graph.
- **Knoten:** Anweisungen des Programms

  Sequenzen von Anweisungen: Darstellung als einziger Knoten (Block), falls
  - Sequenz nur durch ihren ersten Knoten betretbar.
  - Keine Änderung des Programmablaufes innerhalb Sequenz.

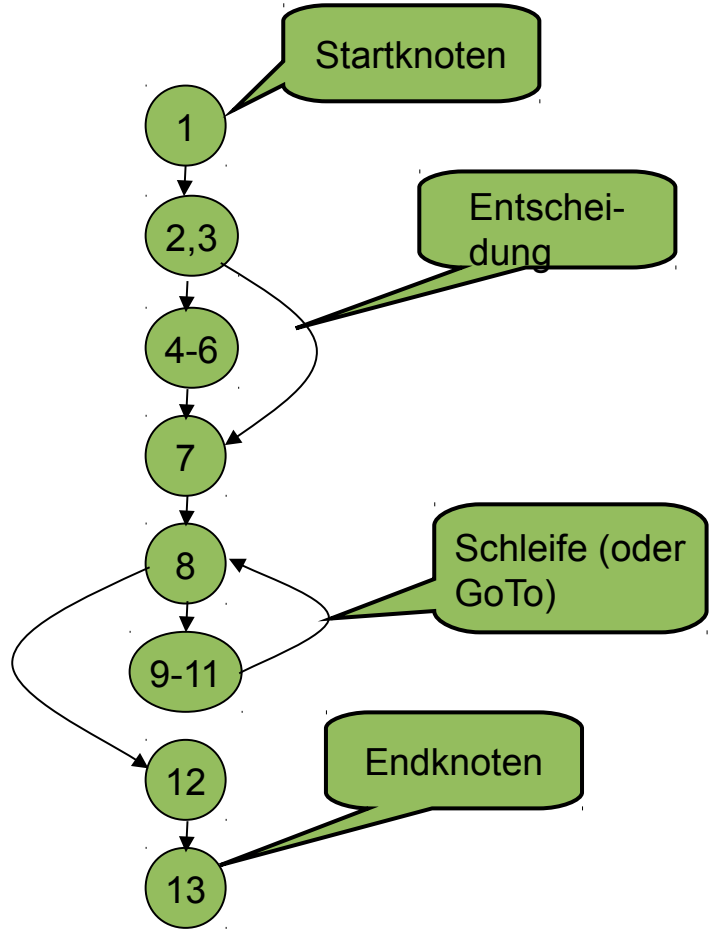
  → Genau dann, wenn erste Anweisung der Sequenz ausgeführt wird, werden alle weiteren Anweisungen der Sequenz ausgeführt
- **Kanten:** Ausführungsreihenfolgen die durch Knoten repräsentierten Anweisungen:
  - Knoten mit mehreren ausgehenden Kanten repräsentieren Kontrollfluss steuernde Anweisungen.
  - IF-Anweisung und Schleifensteuerung: Zwei abgehende Kanten.
  - CASE-Anweisung: Mehrere abgehende Kanten.
- Genau ein **Startknoten.**
- Genau ein **Endknoten.**

Beispiel eines Kontrollflussgraphen

Bestimmung des größten gemeinsamen Teilers (ggT) zweier ganzer Zahlen m und n:

```
1.  public int ggt(int m, int n) {

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;
13. }
```



Minimale Mehrfachbedingungsüberdeckung (C_2(mM)-Überdeckung):

X (A>1)	Y (B=0)	X and Y
false	false	false
false	true	false
true	false	false
true	true	true

X (A=2)	Y (C>1)	X or Y
false	false	false
false	true	true
true	false	true
true	true	true

Welche **Testkombination** muss jeweils **nicht getestet werden** ?

Minimale Mehrfachbedingungsüberdeckung (C_2(mM)-Überdeckung):

X (A>1)	Y (B=0)	X and Y
false	false	false
false	true	false
true	false	false
true	true	true

Alle Kombinationen bis auf erste testen, da bei dieser Änderung des Wahrheitswertes eines Terms **keine Änderung des Wahrheitswertes** der Kombination **bewirkt.**

X (A=2)	Y (C>1)	X or Y
false	false	false
false	true	true
true	false	true
true	true	true

Alle Kombinationen bis auf letzte testen, da bei dieser Änderung des Wahrheitswertes eines Terms **keine Änderung des Wahrheitswertes** der Kombination **bewirkt**.

Minimale Mehrfachbedingungsüberdeckung (C_2(mM)-Überdeckung):

X (A>1)	Y (B=0)	X and Y
false	false	false
false	true	false
true	false	false
true	true	true

X (A=2)	Y (C>1)	X or Y
false	false	false
false	true	true
true	false	true
true	true	true

Testdatum
A=3,B=0,C=3

Testdatum
A=2,B=1,C=0

Testdatum
A=1,B=0,C=2

Werkzeugunterstützung für Kontrollflusstesten (1)

Bullseye Coverage (Freeware):
http://bullseyecoverage.software.informer.com

Features: Funktionsüberdeckung, **Zweigüberdeckung**

Quilt (Freeware): **http://quilt.sourceforge.net**

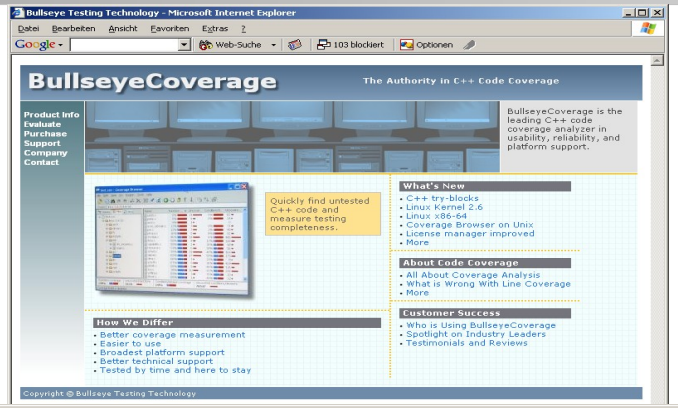
Features: Wieviel **% des Codes überdeckt**.

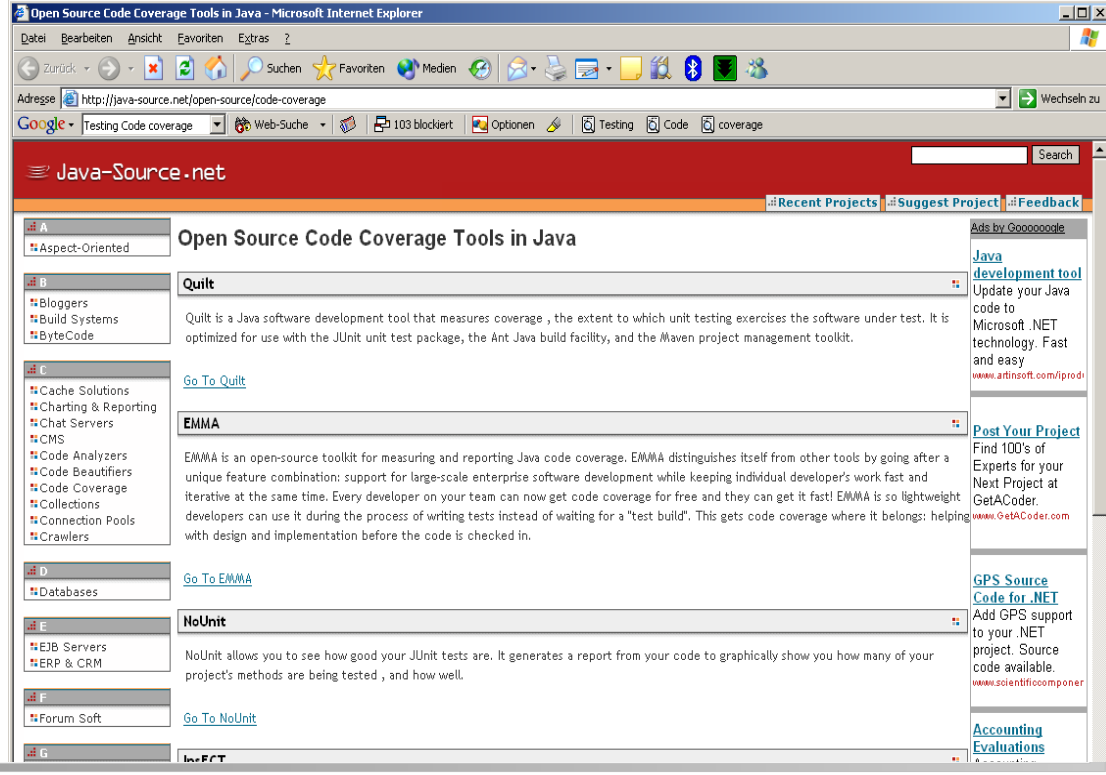
Emma (Freeware):
http://emma.sourceforge.net

Features: Testabdeckung; Erkennung von **toten Programmteilen.**

NoUnit (Freeware):
http://nounit.sourceforge.net

Features: Zeigt wie gut **Junit Tests** sind.





Werkzeugunterstützung für Kontrollflusstesten (2)

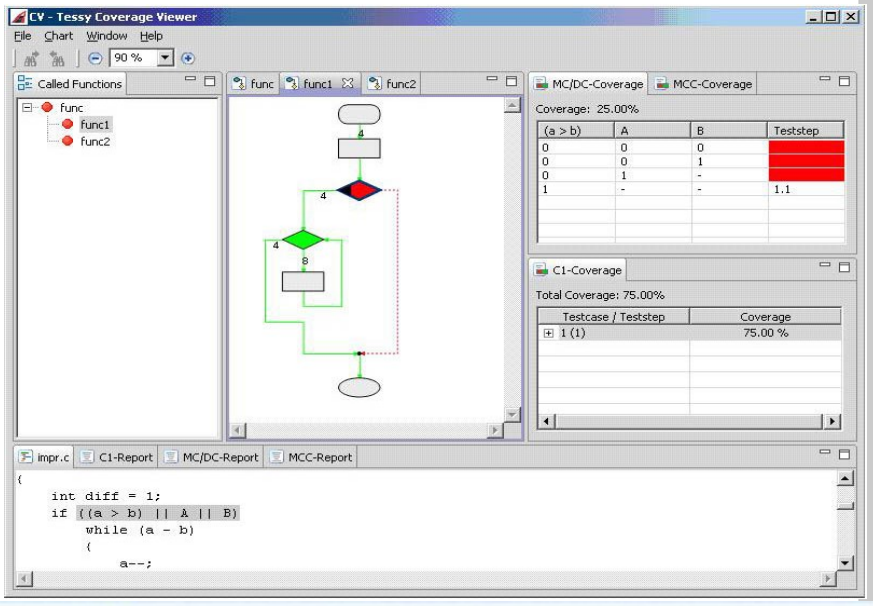
Tessy (Freeware):

http://www.hitex.com/index.php?id=code-coverage-in-tessy

Features: Analysiert **C_1- und C_2-Überdeckung.**

Hansel (Freeware): http://hansel.sourceforge.net

Features: Gibt an wie viel **Prozent des angenommenen Tests** wirklich getestet wurde.



Testwell CTC++:

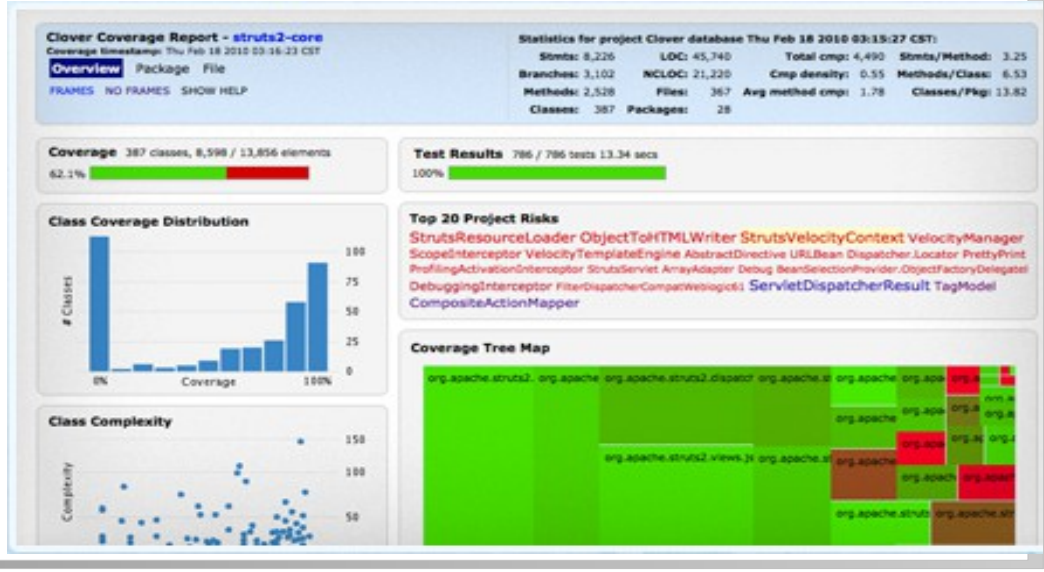
http://www.verifysoft.com/de_ctcpp.html

Features: Analysiert **alle Testabdeckungs-stufen**.

Clover:

http://www.atlassian.com/software/clover/overview

Features: Analysiert **Anweisungs-, Zweig-, Entscheidungs- & Pfadüberdeckung.**



Statische Analysen

Ziel: Aufdeckung vorhandener Fehlerzustände im Dokument.

- **»Statische Analyse«:** Beinhaltet keine Ausführung der Prüfobjekte.

Beispiele:

- Rechtschreibprüfprogramme als Art statische Analysatoren, die Fehler in Texten nachweisen. → Trägt zur **Qualitätsverbesserung** bei.
- Compiler führen statische Analyse des Programmtextes durch: Prüfen Einhaltung der Syntax der Programmiersprache.
- Spezielle Werkzeuge prüfen Einhaltung von **Programmierkonventionen.**

Weiteres Ziel: Ermittlung von Messgrößen oder Metriken, um Qualitäts-bewertung durchzuführen. → Qualität messen.

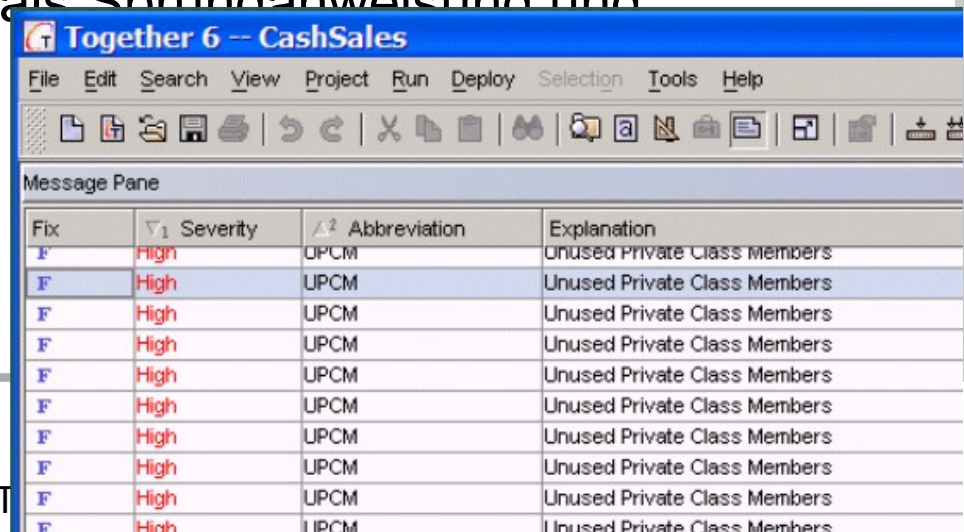
Statische Analyse und Werkzeugunterstützung

- Statische Analyse: Mit **Werkzeugunterstützung** sinnvoll !
- Zu analysierendes Dokument: Muss formaler Struktur unterliegen, um durch Werkzeug überprüft werden zu können.
- Dokumente, die Formalismus unterliegen können, z. B.:
  - Technische Anforderungen
  - Softwarearchitektur
  - Softwareentwurf
- Informeller Text unterhalb Rechtschreibung und elementarer Grammatik nur mit KI analysierbar.
  - **Linguistische semantische Analyse:** aktueller Forschungsgegenstand.
  - **Aber:** Einführung von **»Normsprache«** ermöglicht einfachere Analysen.

- **Compiler:**
  - Führt statische Analyse des Programmtextes durch.
  - Prüft Einhaltung der Syntax der jeweiligen Programmiersprache.
  - Bietet zusätzliche Informationen.
- **Analysatoren:**
  - Einsatz zur gezielten Durchführung der Gruppen von Analysen
- **Fehler(zustände)**:
  - Verletzung der Syntax.
  - Abweichungen von Konventionen und Standards.
  - Sicherheitslücken.
  - Kontrollflussanomalien.
  - Datenflussanomalien.

Syntaxprüfung

- **Fehler:** Verletzung der Syntax der Programmiersprache.
- Weitere Überprüfungen:
  - Verwendung einzelner Programmelemente.
  - Prüfung **typgerechter Verwendung** der Daten und Variablen bei streng typisierten Programmiersprachen.
  - Ermittlung von nicht deklarierten Variablen.
  - **Unerreichbarer Code.**
  - Fehler bei Über- oder Unterschreitung von Feldgrenzen.
  - Prüfung der **Konsistenz von Schnittstellen.**
  - Prüfung der Verwendung aller Marken als Sprunganweisung und Sprungziel.
- **Ergebnisse** in Form von Listen.
- Fehlerzustand nicht immer auffindbar.
  → **Weitere Untersuchungen**.



Aufdecken von Sicherheitslücken

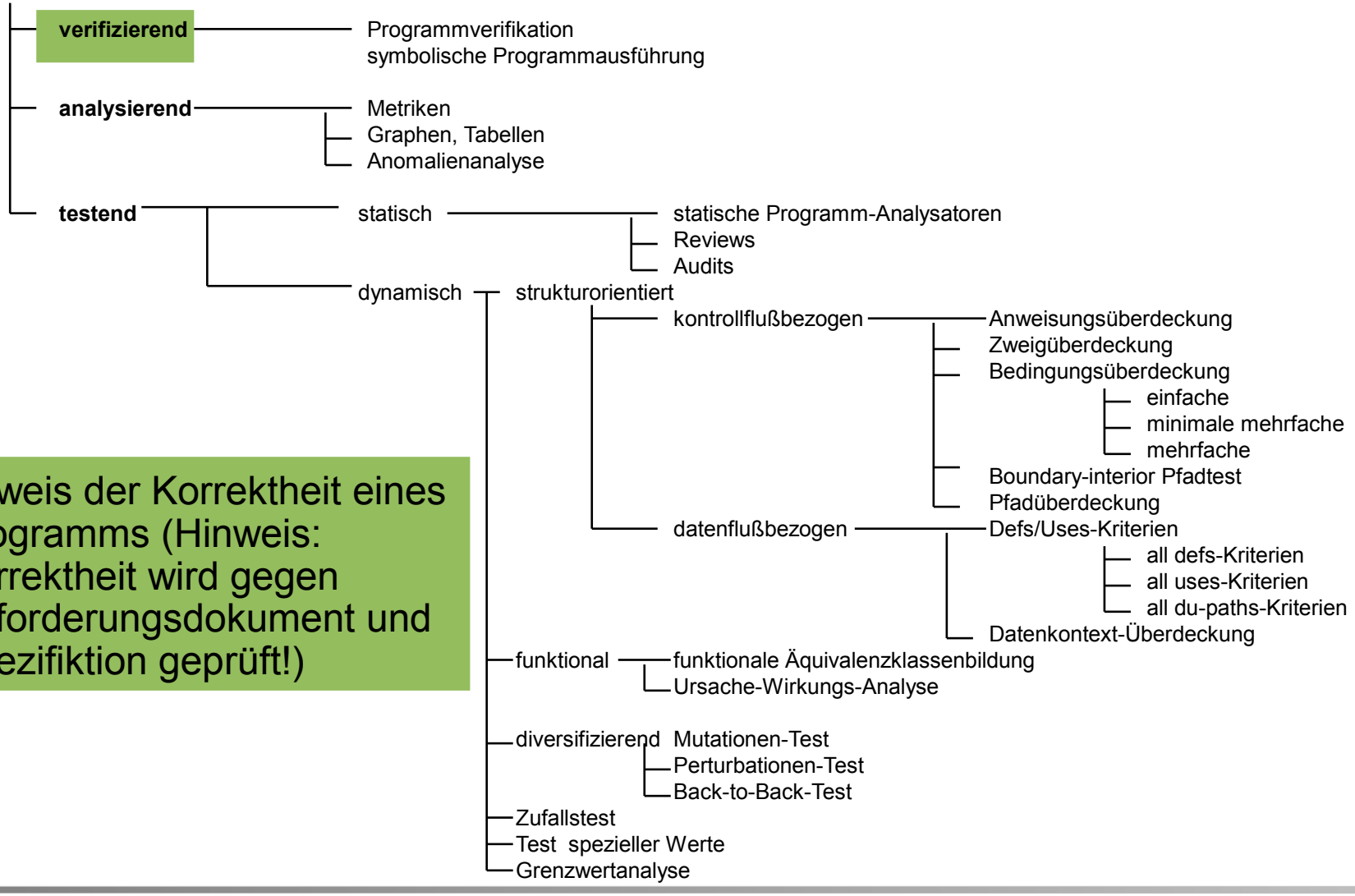
- **Sicherheitsprobleme** durch:
  - Verwendung bestimmter fehleranfälliger Programmkonstrukte.
  - Fehlende notwendige Überprüfungen.
- Beispiele:
  - **Fehlendes Abfangen** von Speicherüberläufen.
  - **Keine Überprüfung des Einhaltens** von Datenbeschränkungen bei Eingabe.
- **Analysewerkzeuge** können diese Mängel aufdecken.

  → Unterliegen einem bestimmten „Muster“.

  → Werden von Werkzeugen gesucht und analysiert.

Qualitätsprüfung: Prüfung der Produkte
Verifizierend

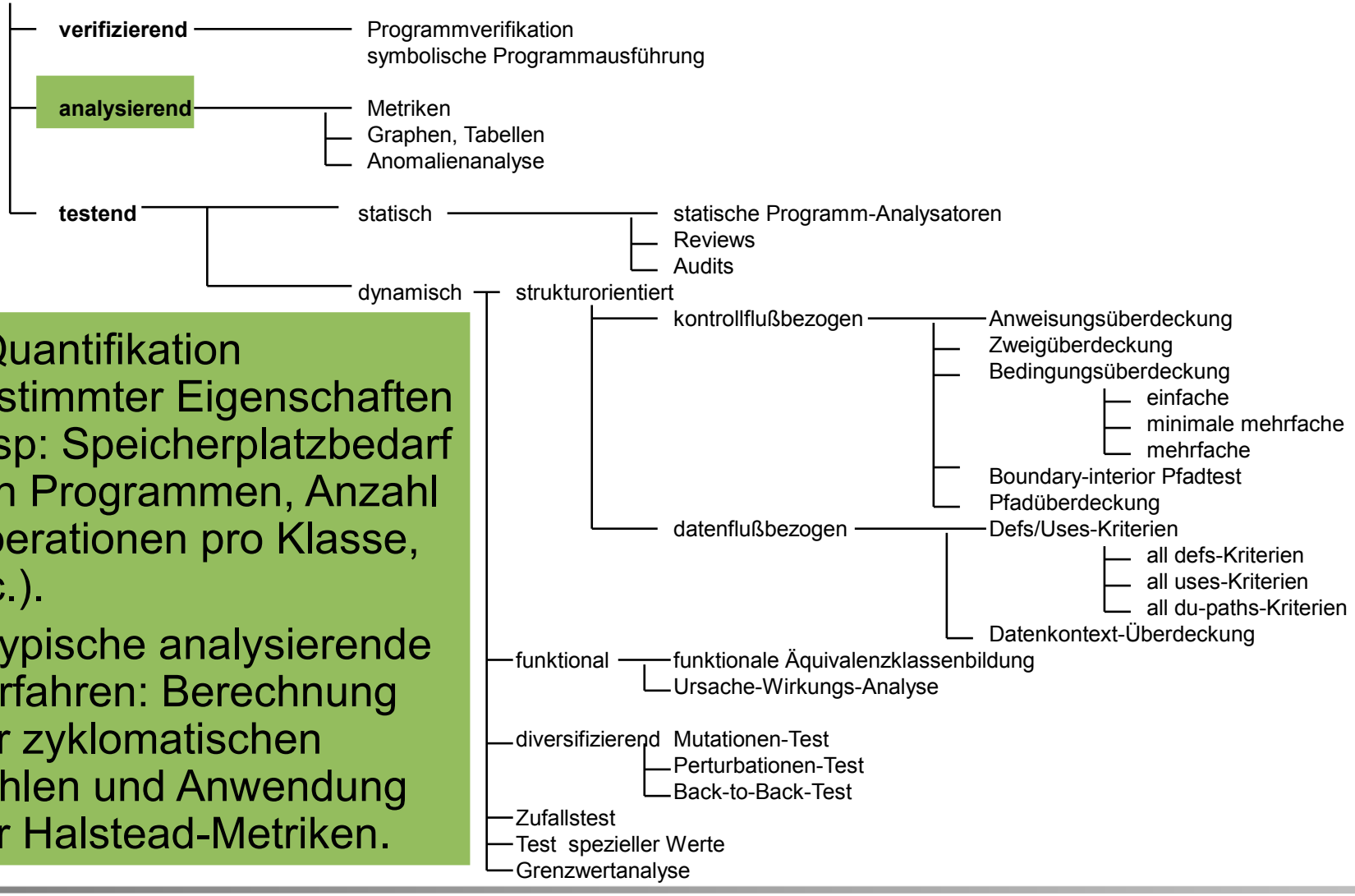
Übersicht Prüfverfahren:



Beweis der Korrektheit eines Programms (Hinweis: Korrektheit wird gegen Anforderungsdokument und Spezifiktion geprüft!)

Qualitätsprüfung: Prüfung der Produkte
Analysierend

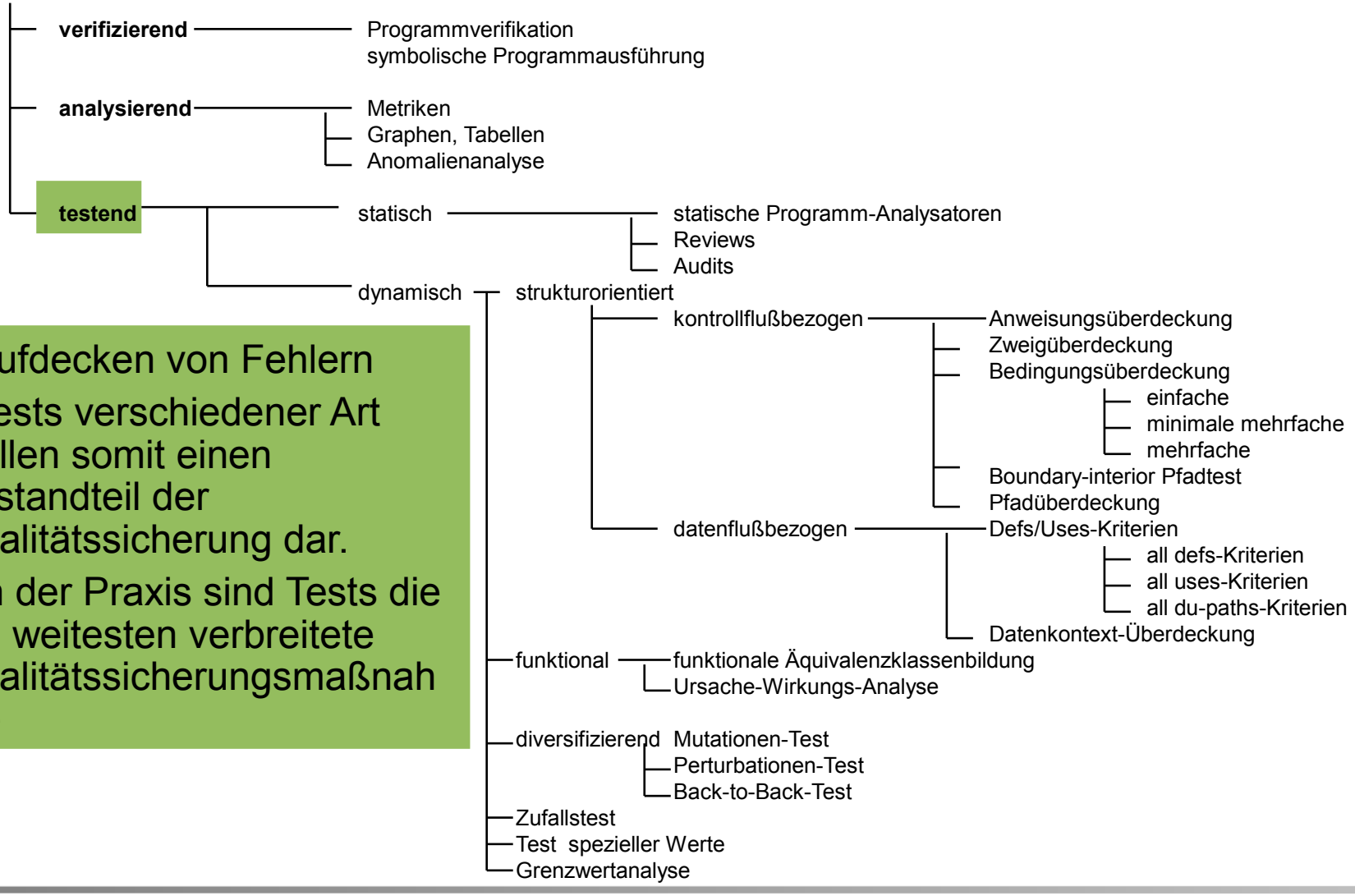
Übersicht Prüfverfahren



- Quantifikation bestimmter Eigenschaften (Bsp: Speicherplatzbedarf von Programmen, Anzahl Operationen pro Klasse, etc.).
- Typische analysierende Verfahren: Berechnung der zyklomatischen Zahlen und Anwendung der Halstead-Metriken.

Qualitätsprüfung: Prüfung der Produkte
Testend

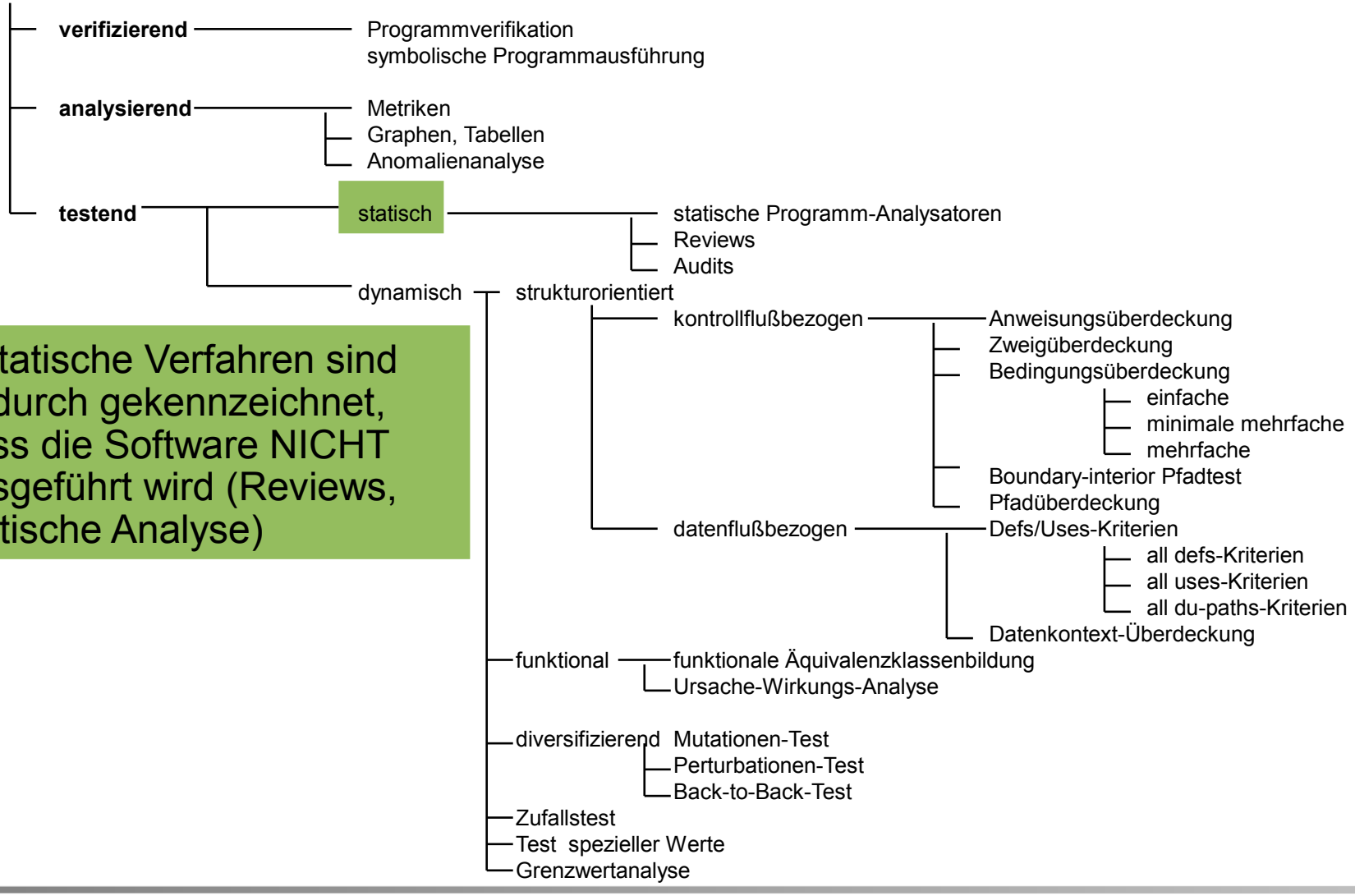
Übersicht Prüfverfahren:



- Aufdecken von Fehlern
- Tests verschiedener Art stellen somit einen Bestandteil der Qualitätssicherung dar.
- In der Praxis sind Tests die am weitesten verbreitete Qualitätssicherungsmaßnahme

Qualitätsprüfung: Prüfung der Produkte
Testend - statisch

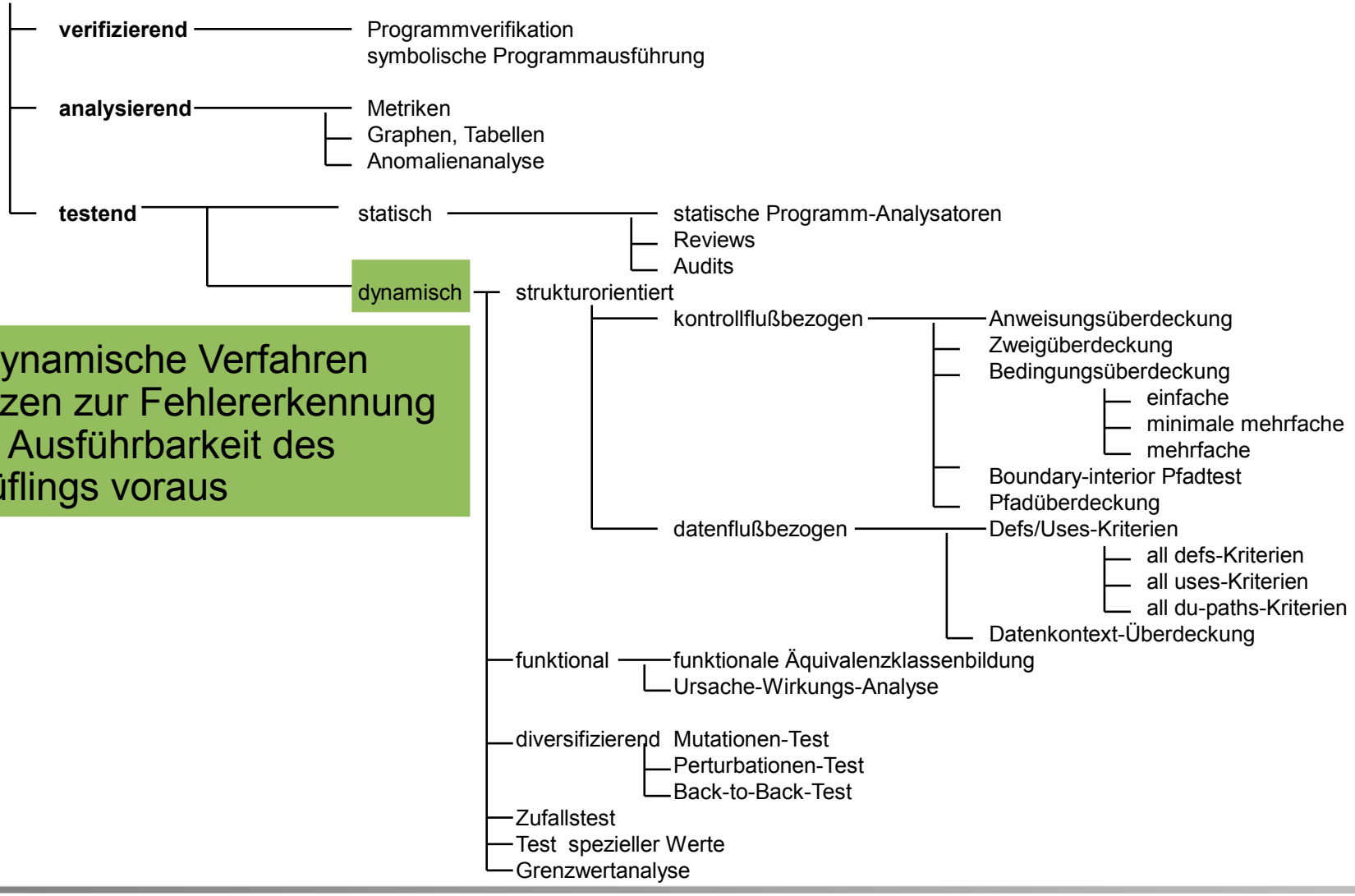
Übersicht Prüfverfahren:



- Statische Verfahren sind dadurch gekennzeichnet, dass die Software NICHT ausgeführt wird (Reviews, statische Analyse)

Qualitätsprüfung: Prüfung der Produkte
Testend - dynamisch

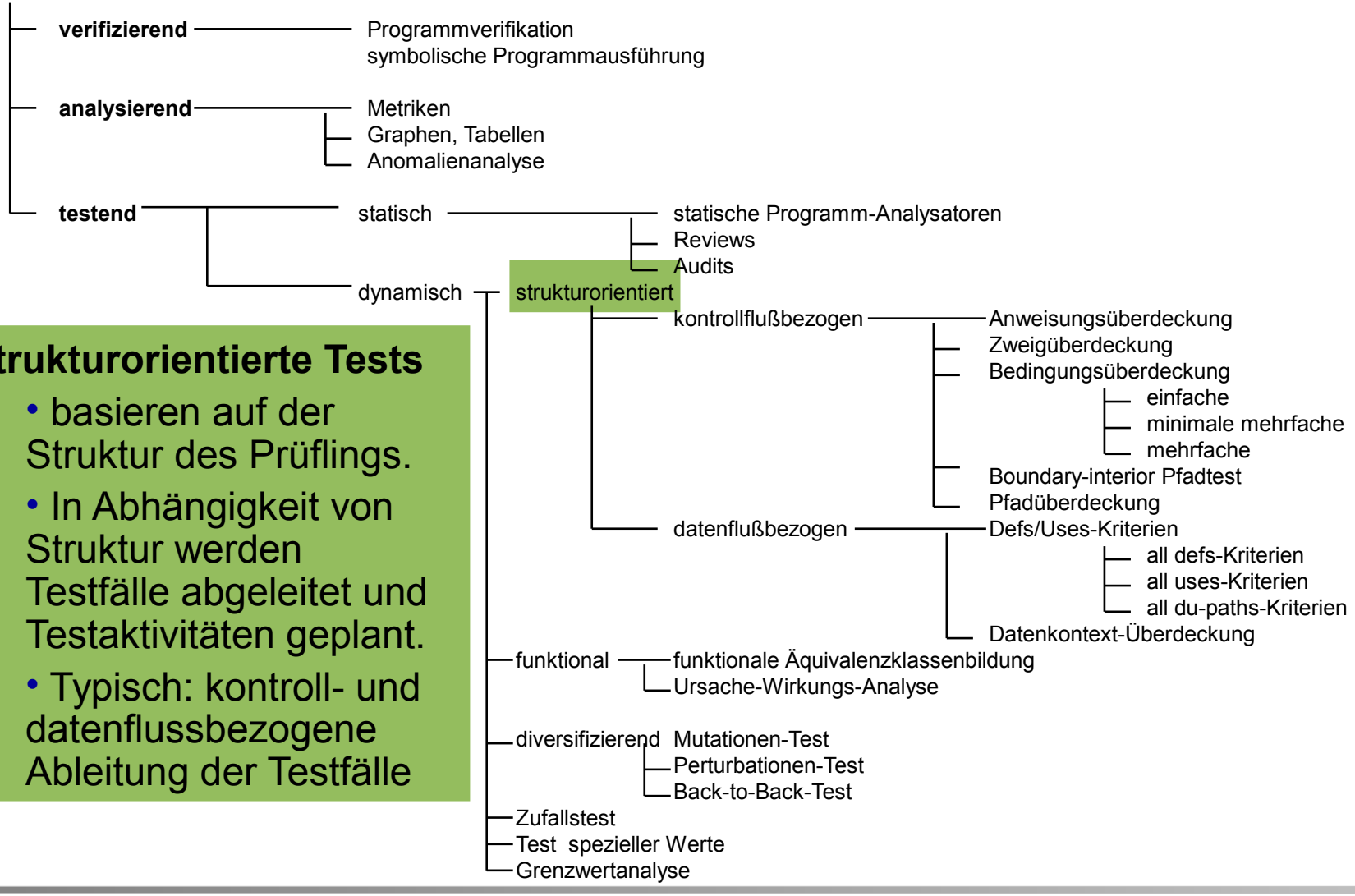
Übersicht Prüfverfahren:



- Dynamische Verfahren setzen zur Fehlererkennung die Ausführbarkeit des Prüflings voraus

Qualitätsprüfung: Prüfung der Produkte
Strukturorientiert

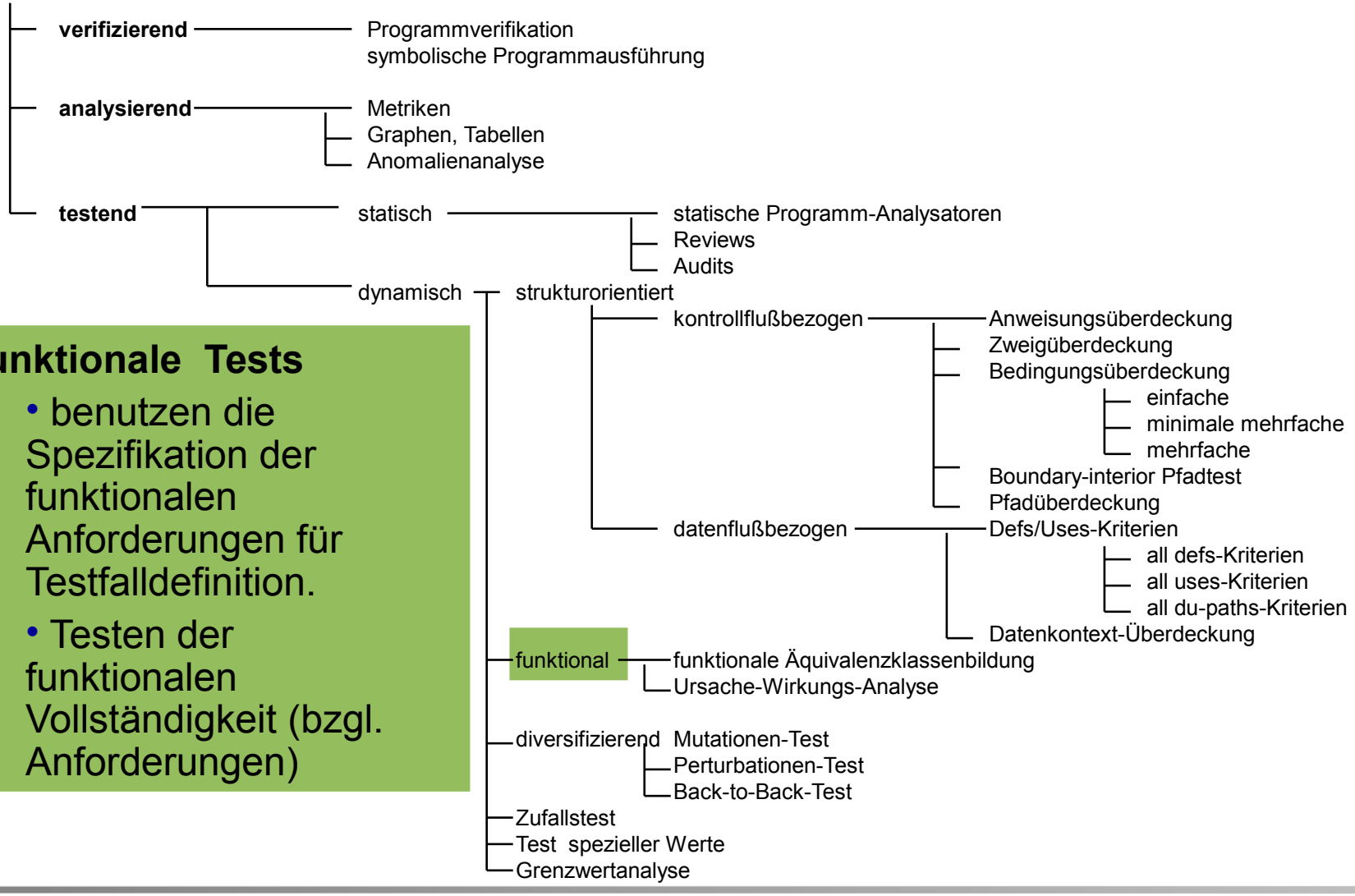
Übersicht Prüfverfahren:



- **strukturorientierte Tests**
  - basieren auf der Struktur des Prüflings.
  - In Abhängigkeit von Struktur werden Testfälle abgeleitet und Testaktivitäten geplant.
  - Typisch: kontroll- und datenflussbezogene Ableitung der Testfälle

Qualitätsprüfung: Prüfung der Produkte
Funktional

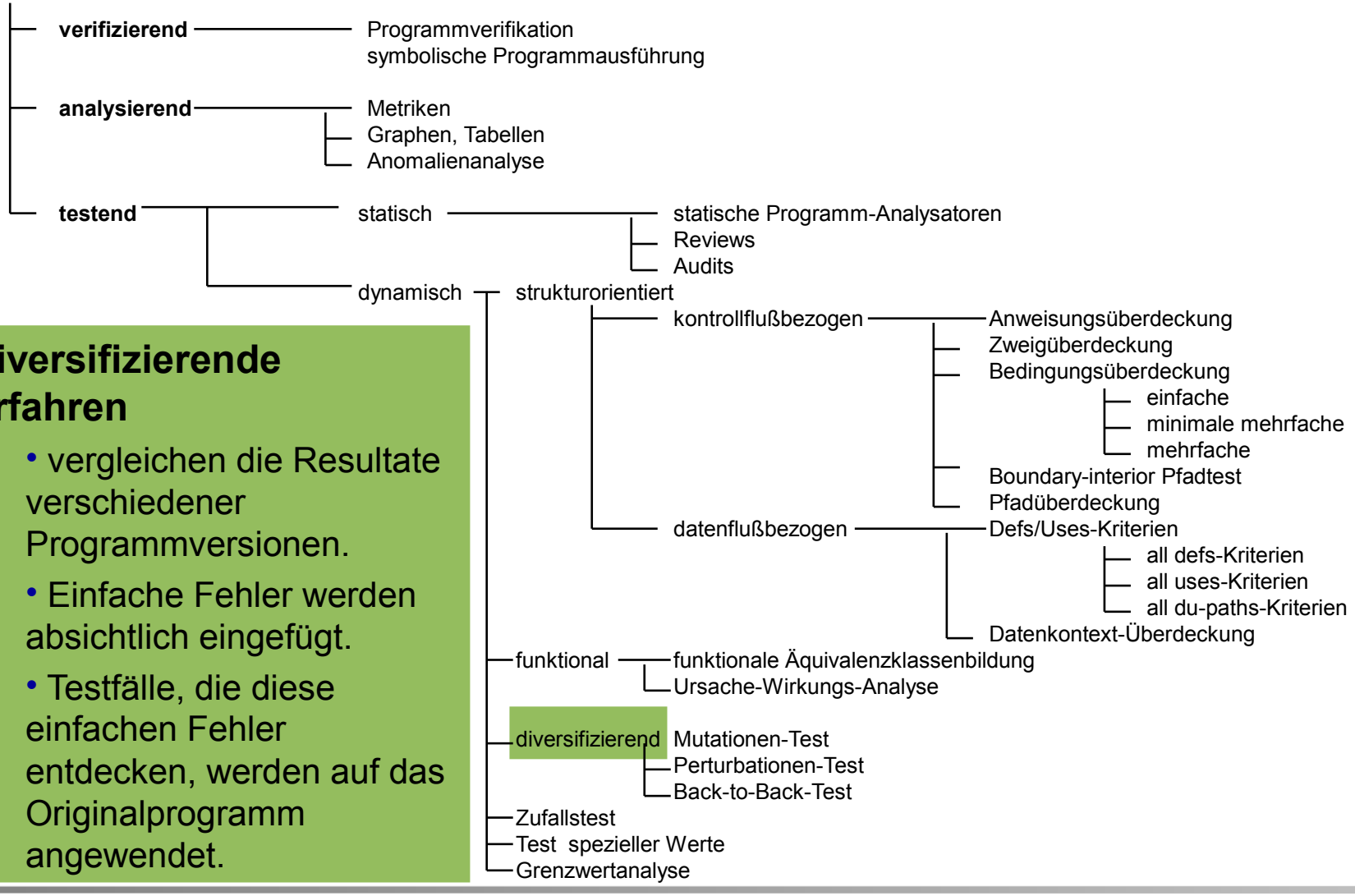
Übersicht Prüfverfahren:



- **funktionale Tests**
  - benutzen die Spezifikation der funktionalen Anforderungen für Testfalldefinition.
  - Testen der funktionalen Vollständigkeit (bzgl. Anforderungen)

Qualitätsprüfung: Prüfung der Produkte
Diversifizierend

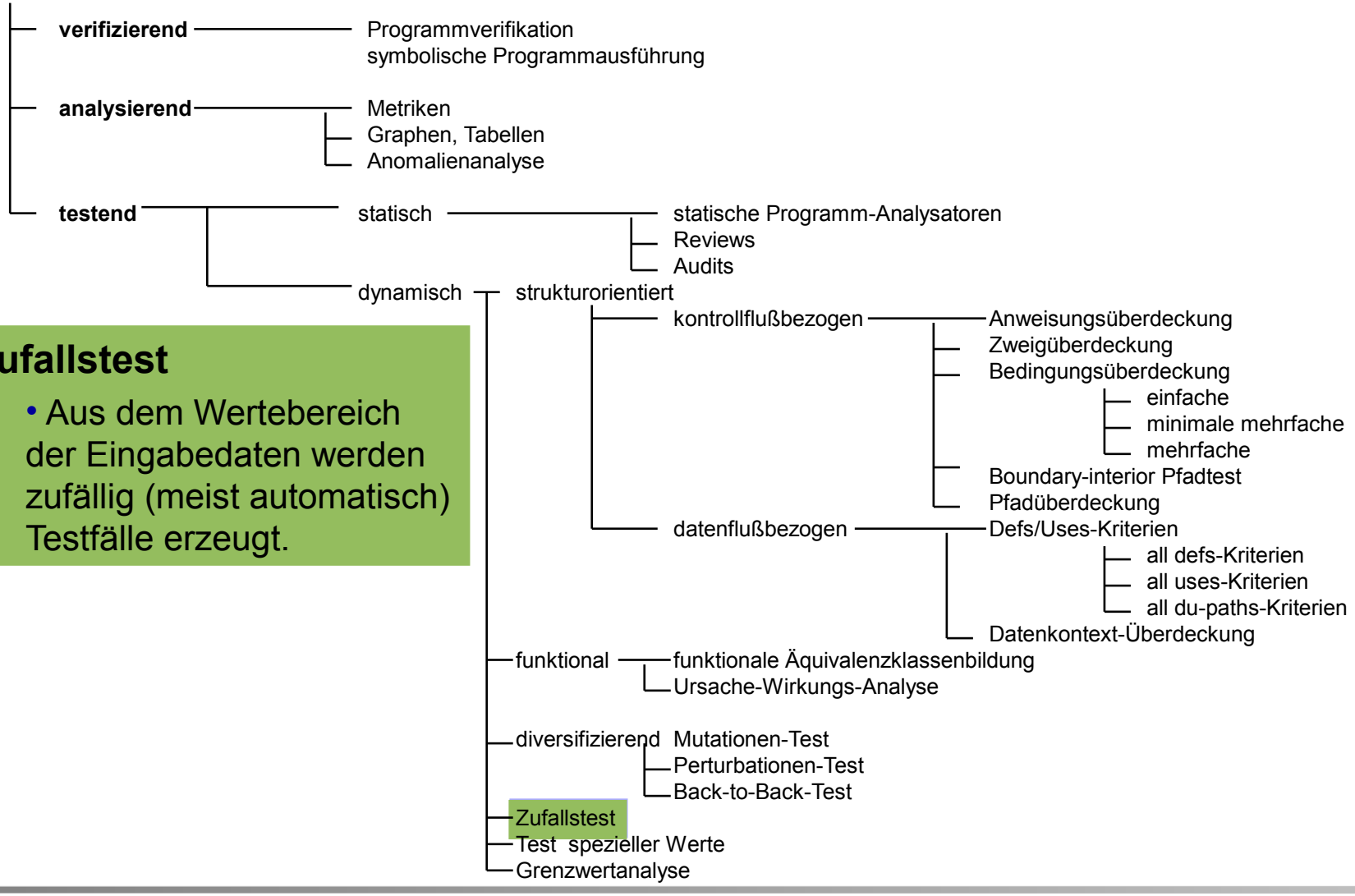
Übersicht Prüfverfahren:



- **diversifizierende Verfahren**
  - vergleichen die Resultate verschiedener Programmversionen.
  - Einfache Fehler werden absichtlich eingefügt.
  - Testfälle, die diese einfachen Fehler entdecken, werden auf das Originalprogramm angewendet.

Qualitätsprüfung: Prüfung der Produkte
Zufallstest

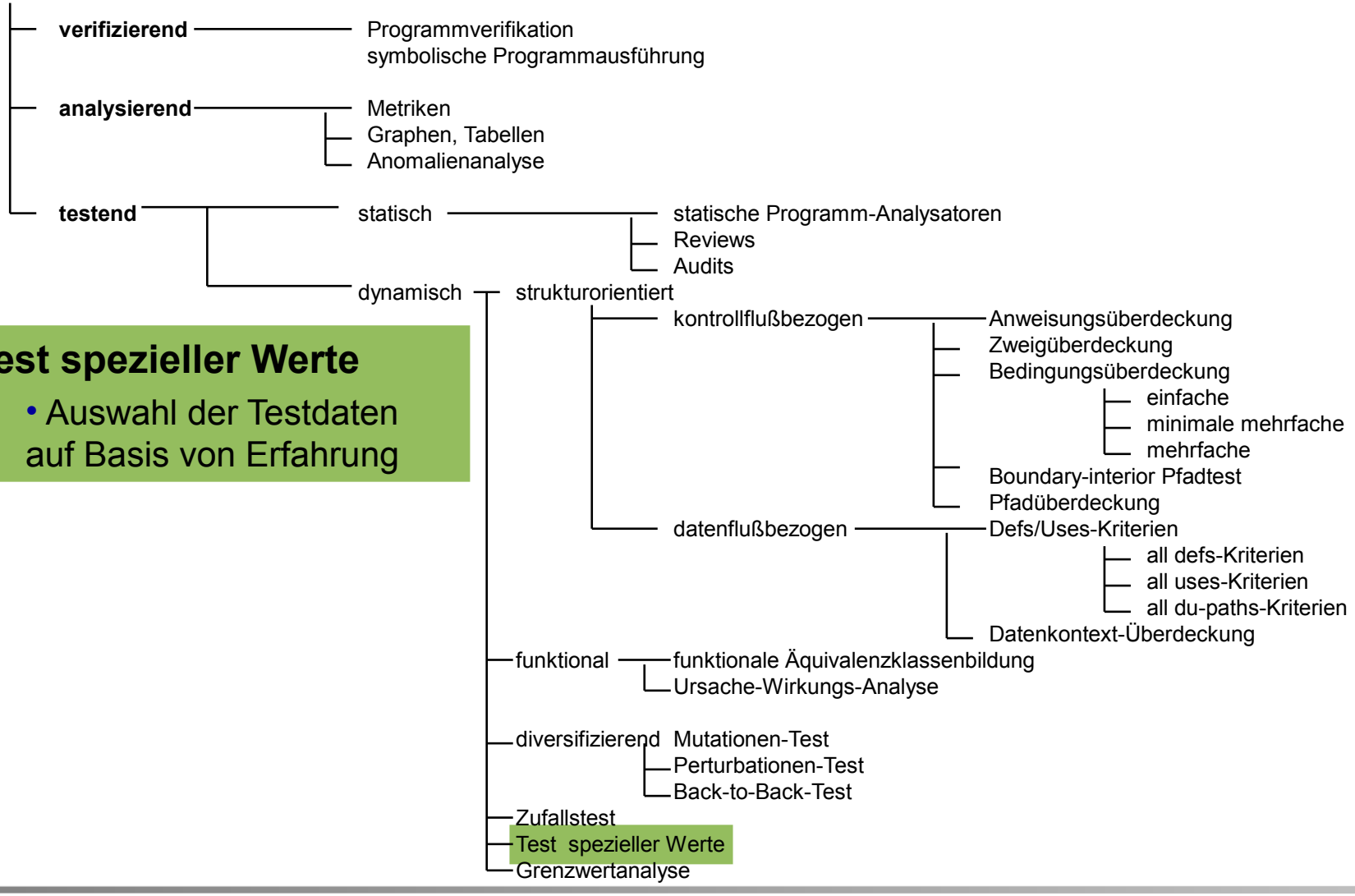
Übersicht Prüfverfahren:



- **Zufallstest**
  - Aus dem Wertebereich der Eingabedaten werden zufällig (meist automatisch) Testfälle erzeugt.

Qualitätsprüfung: Prüfung der Produkte
Test spezieller Werte

Übersicht Prüfverfahren:



- **Test spezieller Werte**
  - Auswahl der Testdaten auf Basis von Erfahrung

Qualitätsprüfung: Prüfung der Produkte
Grenzwertanalyse

Übersicht Prüfverfahren:

- **verifizierend**
  - Programmverifikation
  - symbolische Programmausführung
- **analysierend**
  - Metriken
  - Graphen, Tabellen
  - Anomalienanalyse
- **testend**
  - statisch
    - statische Programm-Analysatoren
    - Reviews
    - Audits
  - dynamisch
    - strukturorientiert
      - kontrollflußbezogen
        - Anweisungsüberdeckung
        - Zweigüberdeckung
        - Bedingungsüberdeckung
          - einfache
          - minimale mehrfache
          - mehrfache
        - Boundary-interior Pfadtest
        - Pfadüberdeckung
      - datenflußbezogen
        - Defs/Uses-Kriterien
          - all defs-Kriterien
          - all uses-Kriterien
          - all du-paths-Kriterien
        - Datenkontext-Überdeckung
    - funktional
      - funktionale Äquivalenzklassenbildung
      - Ursache-Wirkungs-Analyse
    - diversifizierend
      - Mutationen-Test
      - Perturbationen-Test
      - Back-to-Back-Test
    - Zufallstest
    - Test spezieller Werte
    - Grenzwertanalyse

- **Grenzwertanalyse**
  - Basiert auf der funktionalen Äquivalenzklassenbildung
  - Verwendung von Testfällen, die die Ränder der Äquivalenzklassen abdecken