Softwarequalität

Vorlesung 12 – Testen: White-box-Verfahren (Datenflussorientierte Verfahren)

Prof. Dr. Joel Greenyer

27. Juni 2016

Testüberdeckung (Coverage)

In der letzten Vorlesung…

- **Ziel**: Kenntnis der internen Struktur systematisch nutzen

- **Kontrollflussorientierte** Tests:
  - Wie viele **Anweisungen** des Programms wurden abgedeckt?
  - Wie viele **Zweige** des Programms wurden abgedeckt?
  - Wie viele **Pfade** des Programms wurden abgedeckt?
  - Wie viele **Bedingungen** des Programms wurden abgedeckt?
  - …

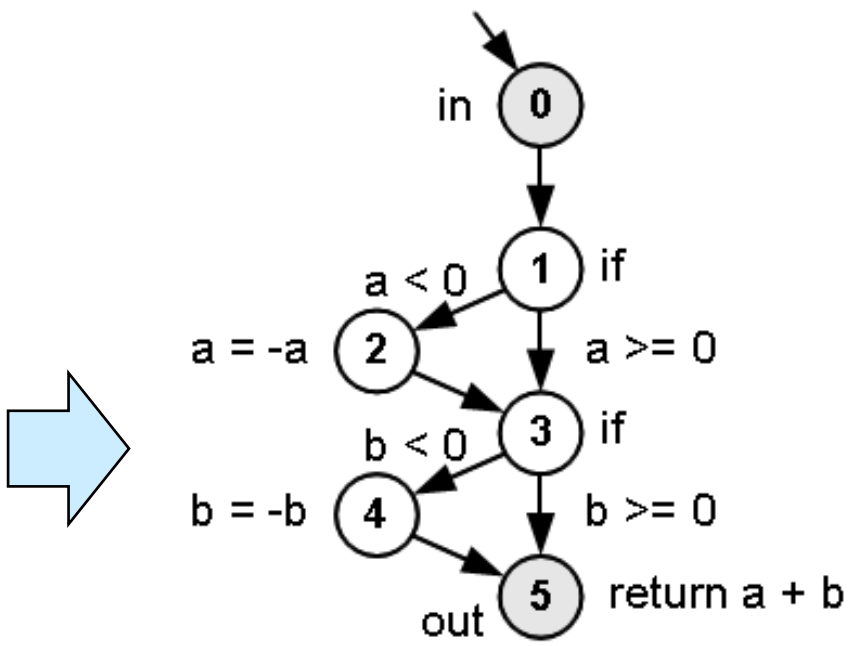
- **Datenflussorientierte** Tests
  - Idee: Testen verschiedener Kombinationen von Schreib- und Lesezugriffen auf Variablen

Kontrollflussgraphen

In der letzten Vorlesung…

- Kontrollflussgraphen beschreiben mögliche Positionsfolgen des Programmzeigers (program counters)
- Beispiel:

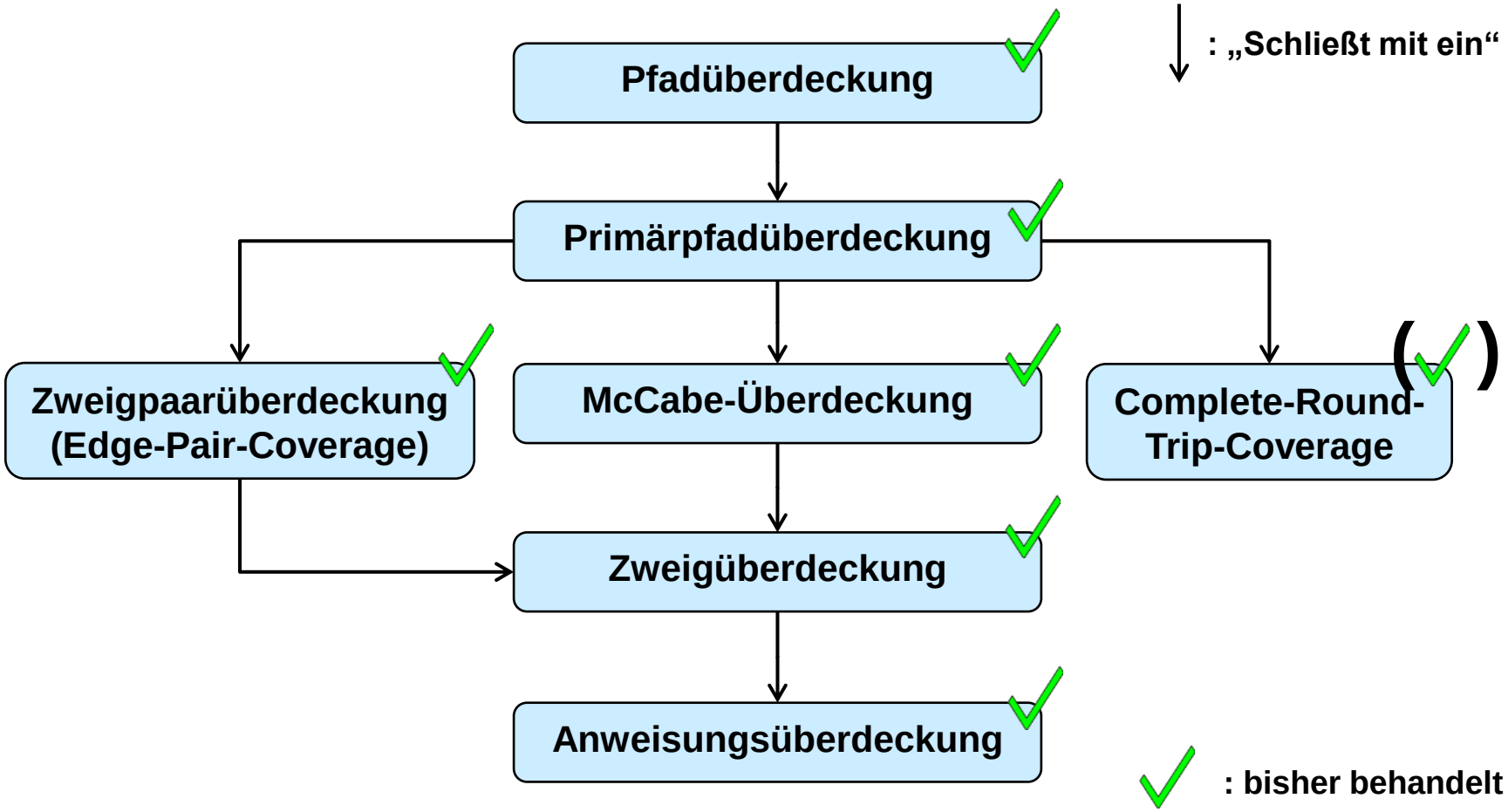
```
/**
 * calculate the Manhattan distance
 * of two points p1 = (x1, y1), p2 = (x2, y2)
 * by calling manhattan(x1-x2, y1-y2)
 * @param a
 * @param b
 * @return |a| + |b|
 */
public int manhattan(int a, int b){
        if (a < 0)
                a = -a;
        if (b < 0)
                b = -b;
        return a+b;
}
```



Überdeckungskriterien im Vergleich

In der letzten Vorlesung…

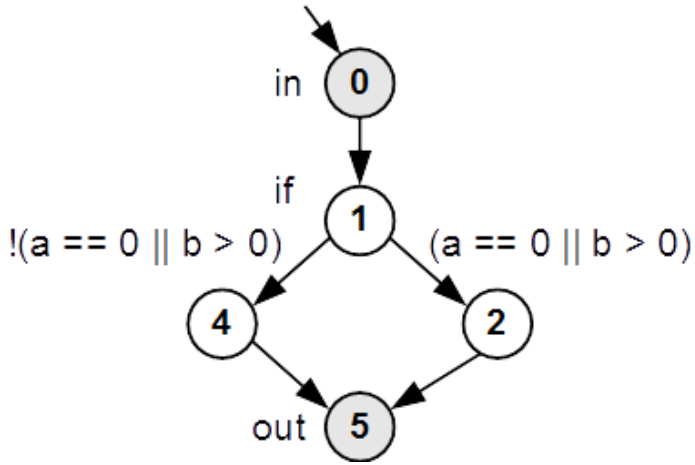
- Einige Überdeckungskriterien schließen andere mit ein:



Bedingungsüberdeckung

- Entwickler machen oft Fehler bei komplizierten Bedingungen
- Durch die kontrollflussorientierten Überdeckungskriterien wird nicht sichergestellt, dass alle diese Fehler gefunden werden
- **Beispiel**: Diese Tests der Methode `computeSth` führen zur **Pfadüberdeckung**: `computeSth(1,1), computeSth(1,-1)`
  - Gibt es **trotzdem** einen Fehler, den wir so übersehen?
  - Ja, z.B. `computeSth(1,0)` führt zu „division by zero“!

```
public int computeSth(
                float a, float b){
        if (a == 0 || b > 0)
                a = b/a;
        else
                a = b + 2;
        return a;
}
```



Bedingungsüberdeckung

- **Annahme**: Entwickler machen oft Fehler bei komplizierten Bedingungen

- **Idee**: Nicht nur beide Zweige von Bedingungen (z.B. Fallunterscheidungs- oder Schleifenbedingungen) testen, **sondern verschiedene Auswertungen** von **atomaren Prädikaten** und **zusammengesetzten Prädikaten** testen
  - **Automares Prädikat**:
    - Einzelne Wahrheitsvariable (Boolean),
    - Vergleiche, z.B. „≤, !=, ==, …“.
    - Aufrufe Boolescher Funktionen, z.B. „.isAvailable()“
  - **Zusammengesetztes Prädikat**:
    - Durch logische Junktoren zusammengesetzt, z.B. „(a && b)“, „!a“

Bedingungsüberdeckung

```
if ((a && !b) || (!a && b)) …
```

- **Einfache Bedingungsüberdeckung**: Alle atomaren Prädikate nehmen mindestens einmal beide Wahrheitswerte an

```
T1:  a = false, b = true
T2:  a = true,  b = false
```

- **Minimale Bedingungsüberdeckung**: Alle atomaren und zusammengesetzten Prädikate nehmen mindestens einmal beide Wahrheitswerte an

```
T1:  a = false, b = true
T2:  a = true,  b = false
T3:  a = false, b = false
```

(nur T3 führt dazu, dass die Disjunktion insgesamt `false` ergibt)

- **Mehrfache Bedingungsüberdeckung**: Alle Kombinationen von Auswertungen der atomaren Prädikate getestet

```
T1:  a = false, b = true
T2:  a = true,  b = false
T3:  a = false, b = false
T4:  a = true,  b = true
```

Datenflussorientierte Überdeckungskriterien – Defs-Uses-Überdeckungskriterien

- Bisherige Überdeckungskriterien basierten auf dem **Kontrollfluss bzw. den Bedingungen**

- Im Folgenden betrachten wir eine Reihe von Überdeckungskriterien, die sich auf den **Datenfluss** beziehen

- **Idee**: Bei der Ausführung eines Programms werden Variablen werden geschrieben und gelesen…
  - bei verschiedenen Folgen von Schreib- und Lesezugriffen verhält sich das Programm andersartig
  - **Hinter verschiedenen Folgen von Schreib- und Lesezugriffen können verschiedene Fehler verborgen sein**

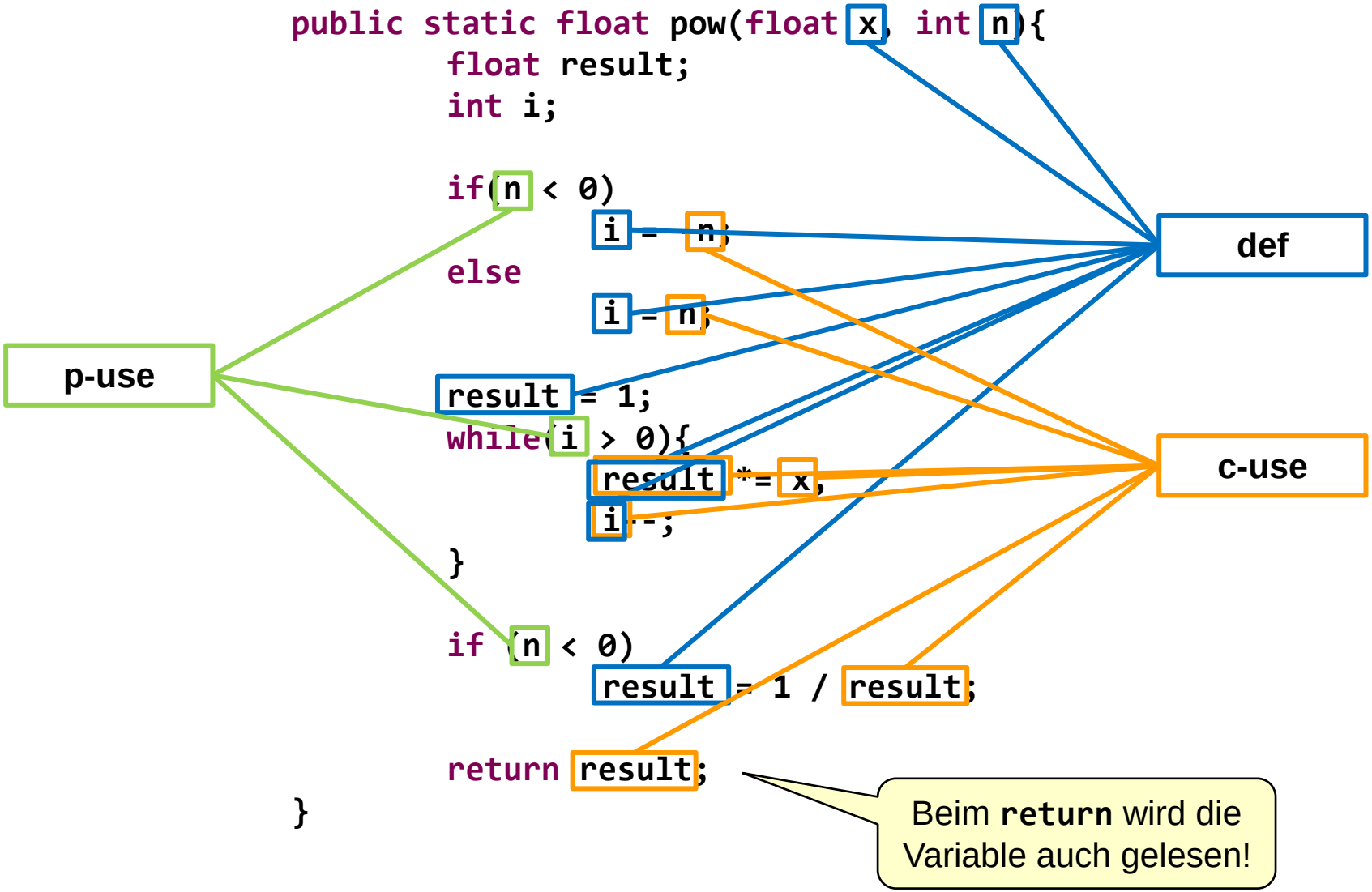
Defs-Uses-Überdeckungskriterien

- **Definition** einer Variable (**def**)
  - Variable wird Wert zugewiesen
- **Lesender Zugriff** auf eine Variable (**use**)
  - **Berechnende** Nutzung (**c-use**)
    - Variable wird in Berechnung oder Zuweisung gelesen
  - **Prädikative** Nutzung (**p-use**)
    - Variable wird in Bedingung gelesen

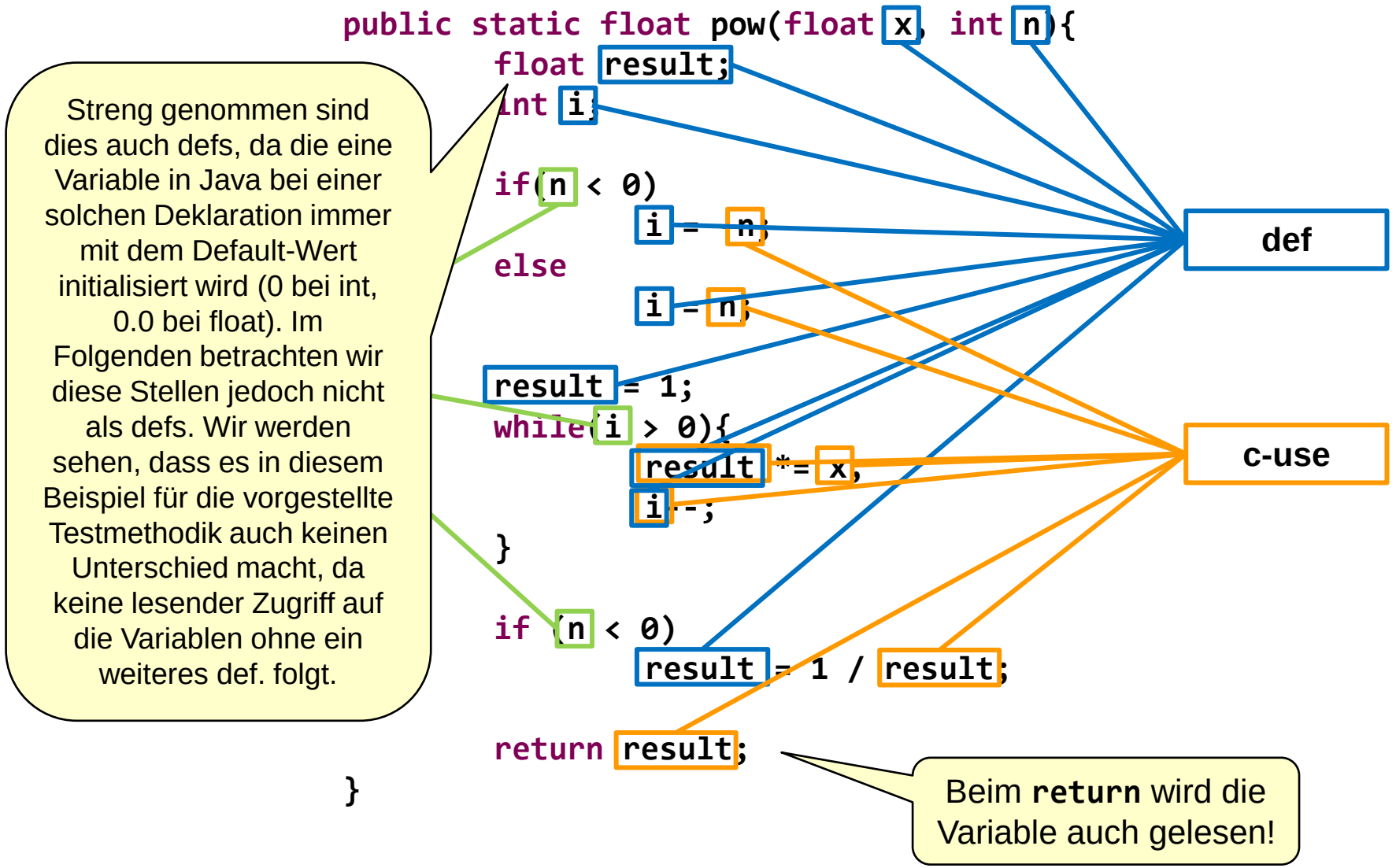
```
public static float pow(float x, int n){
        float result;
        int i;

        if(n < 0)
                i = -n;
        else
                i = n;

        result = 1;
        while(i > 0){
                result *= x;
                i--;
        }

        if (n < 0)
                result = 1 / result;

        return result;
}
```

Frage: wie viele defs, c-uses und p-uses?

Defs-Uses-Überdeckungskriterien

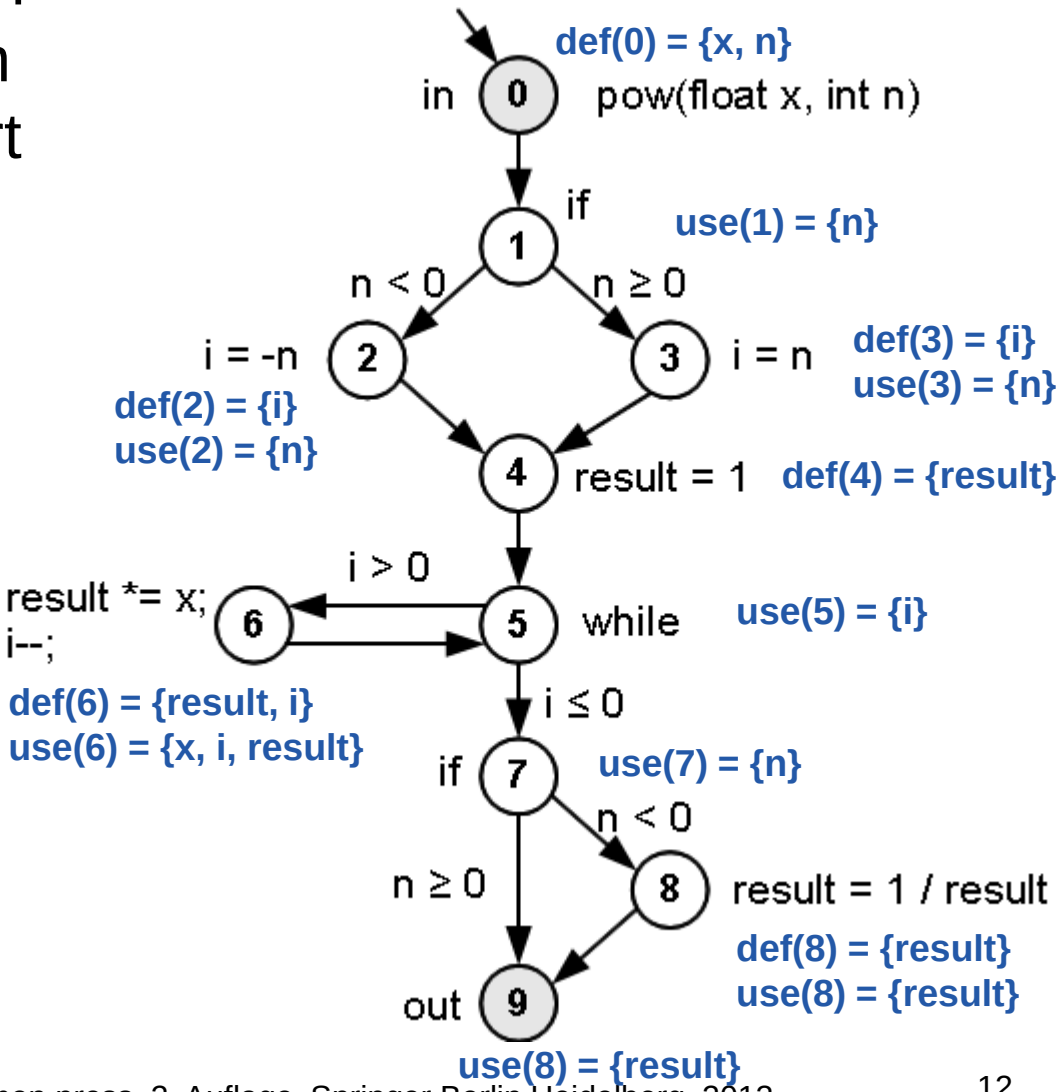


Defs-Uses-Überdeckungskriterien



Datenflussgraph

- Ein Datenflussgraph ist ein Kontrollflussgraph, der um folgende Mengen erweitert wird:
  - **def(n)**: Die in Knoten n definierten Variablen
  - **use(n)**: die in Knoten n gelesenen Variablen



Defs-Uses-Überdeckungskriterien

- Wir benötigen folgende Definitionen:
  - Wenn Variable v in Knoten i definiert wird und in Knoten j gelesen wird, dann ist der **Pfad** (i, n_1, n_2, …, n_k, j) **definitionsfrei** bezüglich v, wenn v in n_1, n_2, …, n_k nicht definiert wird
  - Ein **defs-use-Pfad** (**DU-Pfad)** für eine Variable v ist ein einfacher Pfad (ohne Zyklus, s. Def. V11) von einer Definition von v zu einer Nutzung von v, der bezüglich v definitionsfrei ist
  - Die **Pfadmenge du(n, n‘, v)** ist die Menge aller DU-Pfade von v, die in n beginnen und in n‘ enden
  - Die **Pfadmenge du(n, v)** ist die Menge aller DU-Pfade von v, die in n beginnen
    - du(n, v) ist gleich der Vereinigung der du(n, n', v) für alle n‘:

      also $du(n, v) = \bigcup_{n'} du(n, n', v)$

DU-Pfad, Pfadmengen du(n, n‘, v), du(n, v)

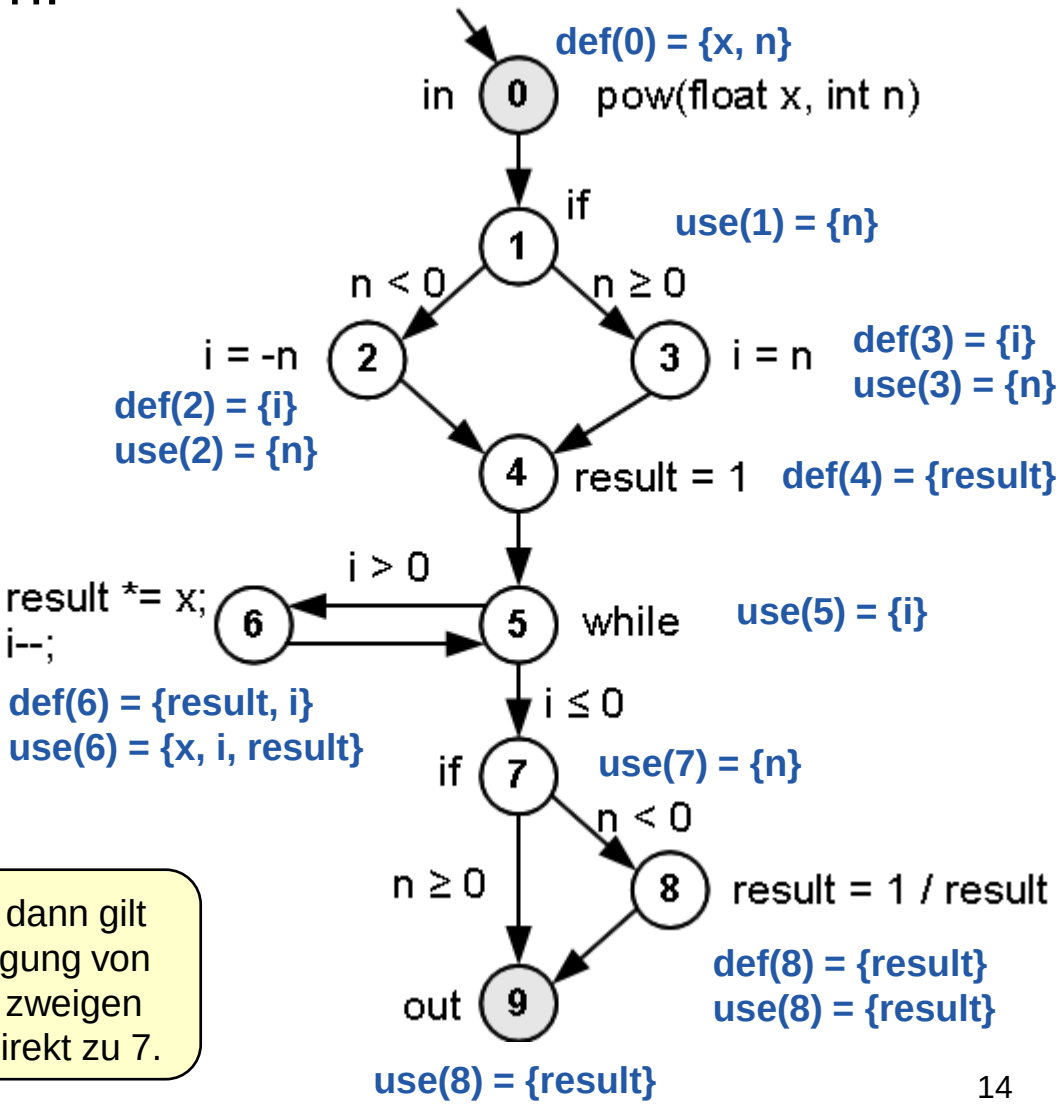
- Ein **DU-Pfad** der Variable n:
  - Z.B. (0, 1)
- **du(4, 9, result)**

  = {(4, 5, 7, 9)}
- **du(4, result)**

  = {(4, 5, 7, 9),
  (4, 5, 6)}

Frage: Wieso nicht (4, 5, 7, 8)?

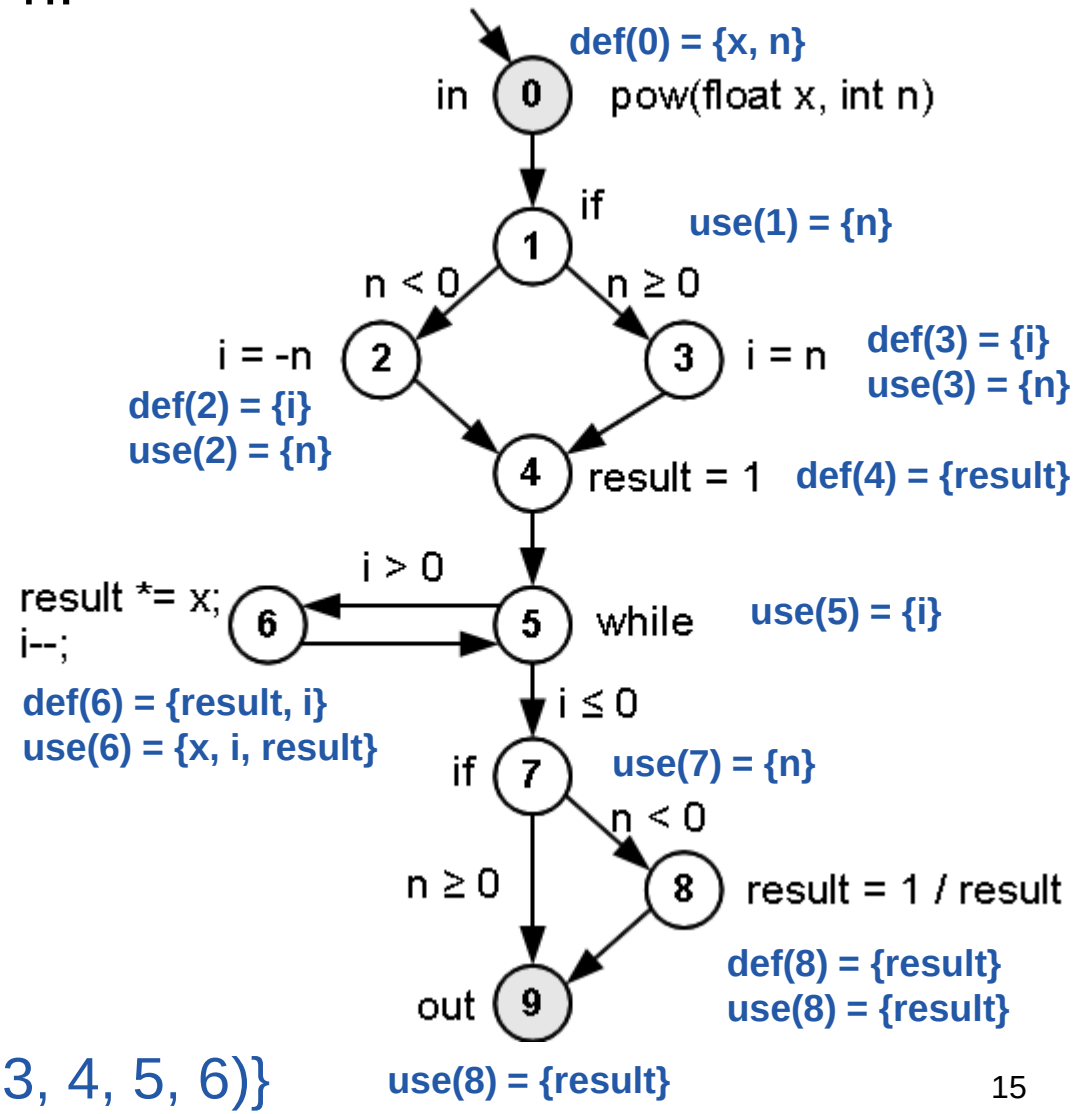
Antwort: Wenn wir von 7 nach 8 gehen, dann gilt n < 0. Dann gilt aber auch i = -n (if-Bedingung von Knoten 1) und auch i > 1. In diesem Fall zweigen wir von 5 also zu 6 ab und können nicht direkt zu 7.



DU-Pfad, Pfadmengen du(n, n‘, v), du(n, v)

- Ein **DU-Pfad** der Variable n:
  - Z.B. (0, 1)
- **du(4, 9, result)**
  = {(4, 5, 7, 9)}
- **du(4, result)**
  = {(4, 5, 7, 9),
  (4, 5, 6)}

- Gibt es im Bsp. eine Menge du(n, n‘, v) mit mehr als einem Element?
  - Ja, **du(0, 6, x)**
    = {(0, 1, 2, 4, 5, 6,), (0, 1, 3, 4, 5, 6)}



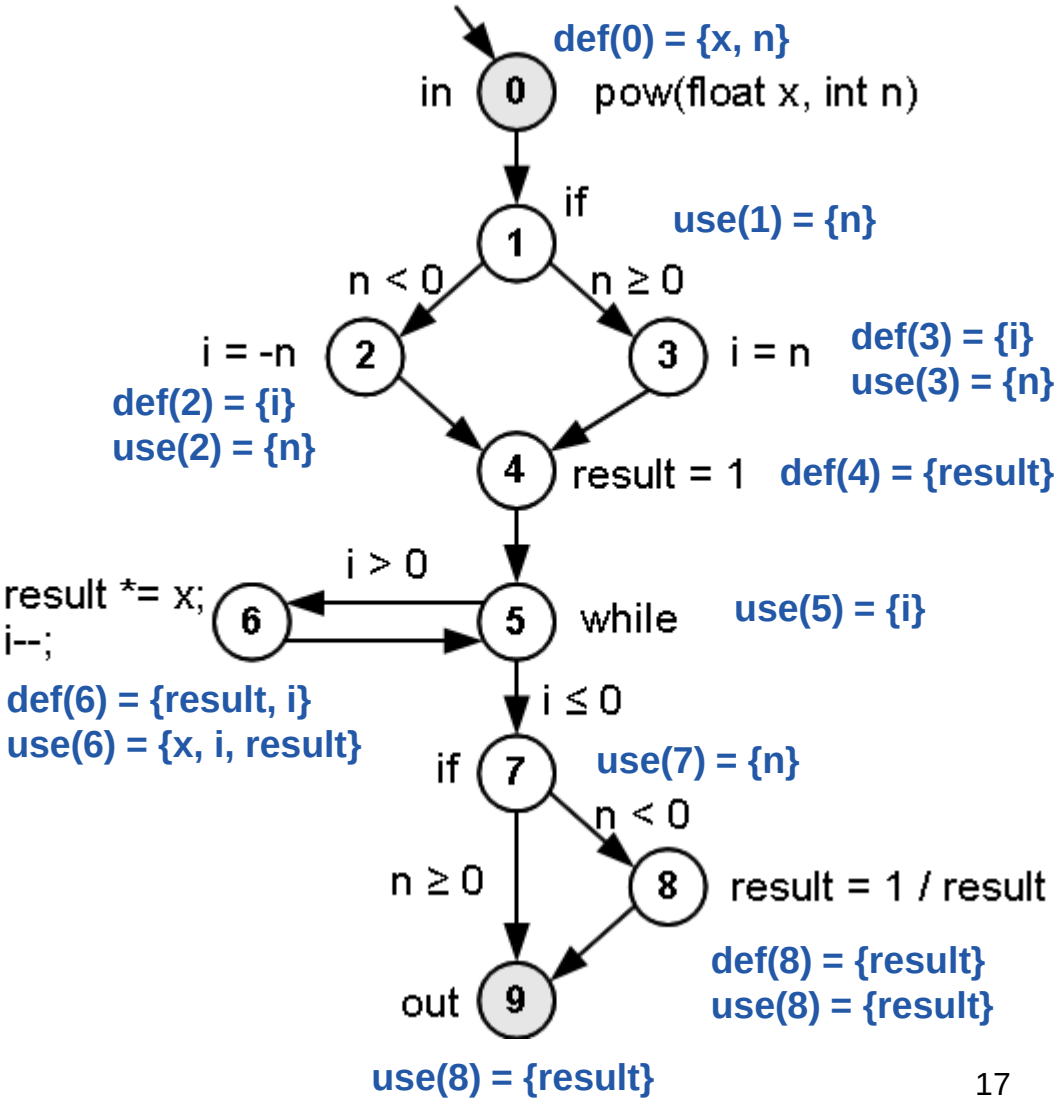
Defs-Uses-Überdeckungskriterien
All-Definitions

- Überdeckungskriterium: **All-Definitions**
  - **Für alle Definitionen einer Variable**, überdecke mindestens einen bezüglich dieser Variablen definitionsfreien Pfad zu **einem** lesenden Zugriff (c-use oder p-use) dieser Variablen
  - Etwas formaler: Für **jede Pfadmenge du(n, v)** muss **mindestens ein Pfad** aus dieser Menge überdeckt werden

Defs-Uses-Überdeckungskriterien
All-Definitions – Beispiel

- Alle **Pfadmenge du(n, v)**:

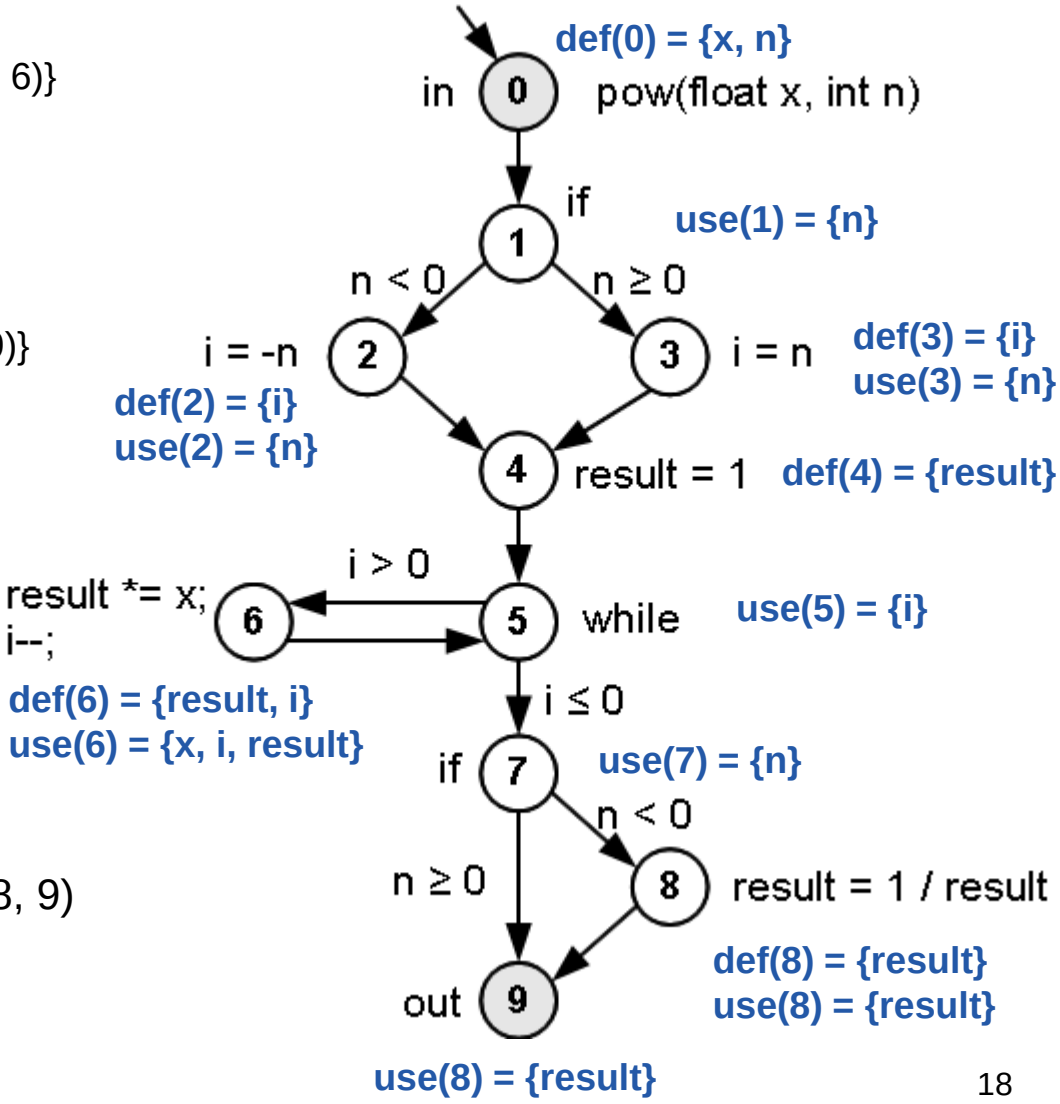
du(0, x)
= {(0, 1, 2, 4, 5, 6), (0, 1, 3, 4, 5, 6)}
du(0, n)
= {(0, 1), ~~(0,1,2,4,5,7)~~, (0,1,3,4,5,7)}
du(2, i)
= {(2, 4, 5)}
du(3, i)
= {(3, 4, 5)}
du(4, result)
= {(4, 5, 6), ~~(4, 5, 7, 8)~~, (4, 5, 7, 9)}
du(6, i)
= {(6, 5)}
du(6, result)
= {(6, 5, 6), (6, 5, 7, 8), (6, 5, 7, 9)}
du(8, result)
= {(8, 9)}



Defs-Uses-Überdeckungskriterien
All-Definitions – Beispiel

- Alle **Pfadmenge du(n, v)**:

du(0, x) = {~~(0, 1, 2, 4, 5, 6,)~~, (0, 1, 3, 4, 5, 6)}
du(0, n) = {~~(0, 1)~~, (0,1,3,4,5,7)}
du(2, i) = {~~(2, 4, 5)~~}
du(3, i) = {(3, 4, 5)}
du(4, result) = {~~(4, 5, 6)~~, (4, 5, 7, 9)}
du(6, i) = {~~(6, 5)~~}
du(6, result) = {(6, 5, 6), ~~(6, 5, 7, 8)~~, (6, 5, 7, 9)}
du(8, result) = {~~(8, 9)~~}



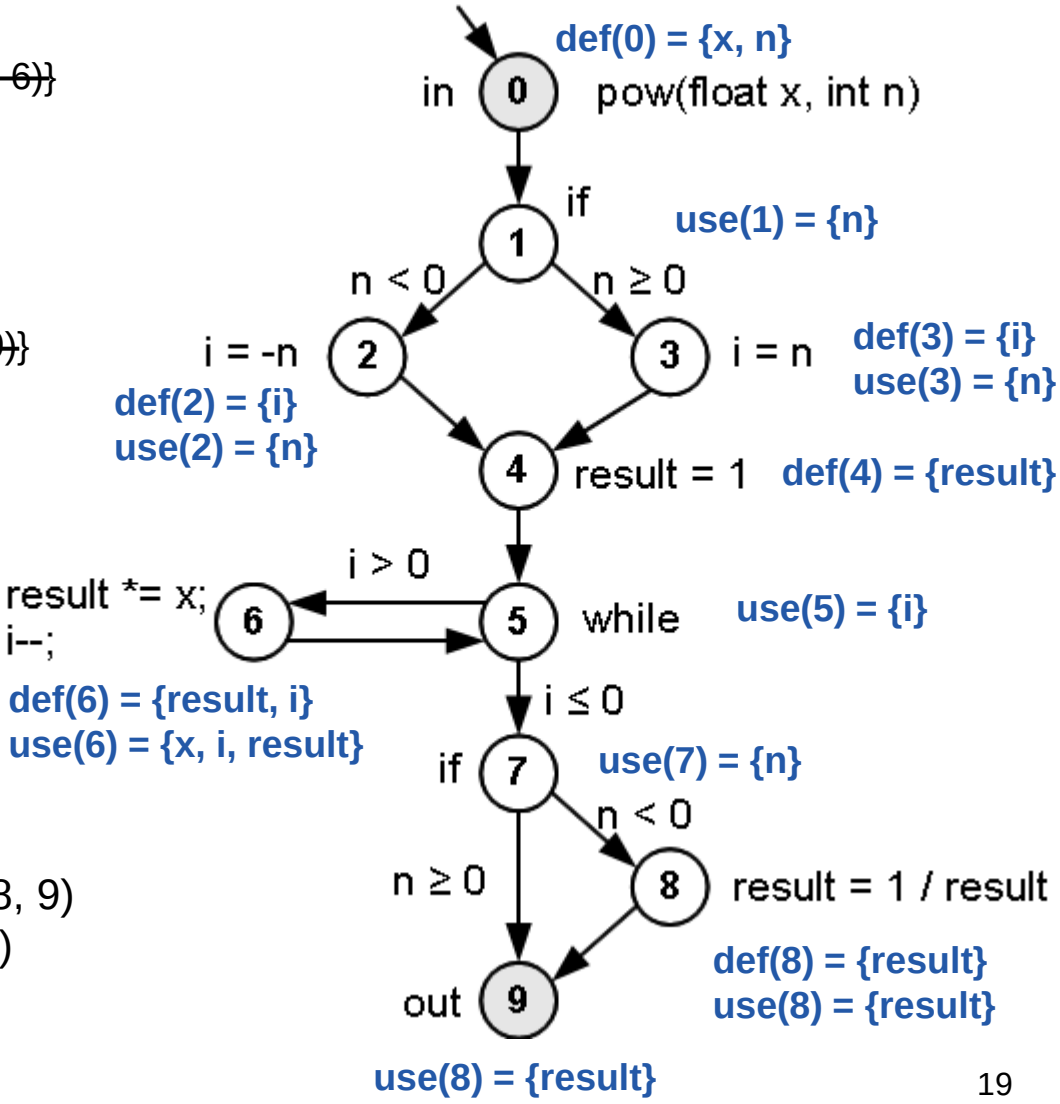
- **All-Definitions**:
  - Überdeckung durch folgende Tests

pow(x, -1) überdeckt (0, 1, 2, 4, 5, 6, 5, 7, 8, 9)

Defs-Uses-Überdeckungskriterien
All-Definitions – Beispiel

- Alle **Pfadmenge du(n, v)**:

du(0, x) = {~~(0, 1, 2, 4, 5, 6,)~~, ~~(0, 1, 3, 4, 5, 6)~~}
du(0, n) = {~~(0, 1)~~, (0,1,3,4,5,7)}
du(2, i) = {~~(2, 4, 5)~~}
du(3, i) = {~~(3, 4, 5)~~}
du(4, result) = {~~(4, 5, 6)~~, (4, 5, 7, 9)}
du(6, i) = {~~(6, 5)~~}
du(6, result) = {(6, 5, 6), ~~(6, 5, 7, 8)~~, ~~(6, 5, 7, 9)~~}
du(8, result) = {~~(8, 9)~~}



- **All-Definitions**:
  - Überdeckung durch folgende Tests

pow(x, -1) überdeckt (0, 1, 2, 4, 5, 6, 5, 7, 8, 9)
pow(x, 1) überdeckt (0, 1, 3, 4, 5, 6, 5, 7, 9)

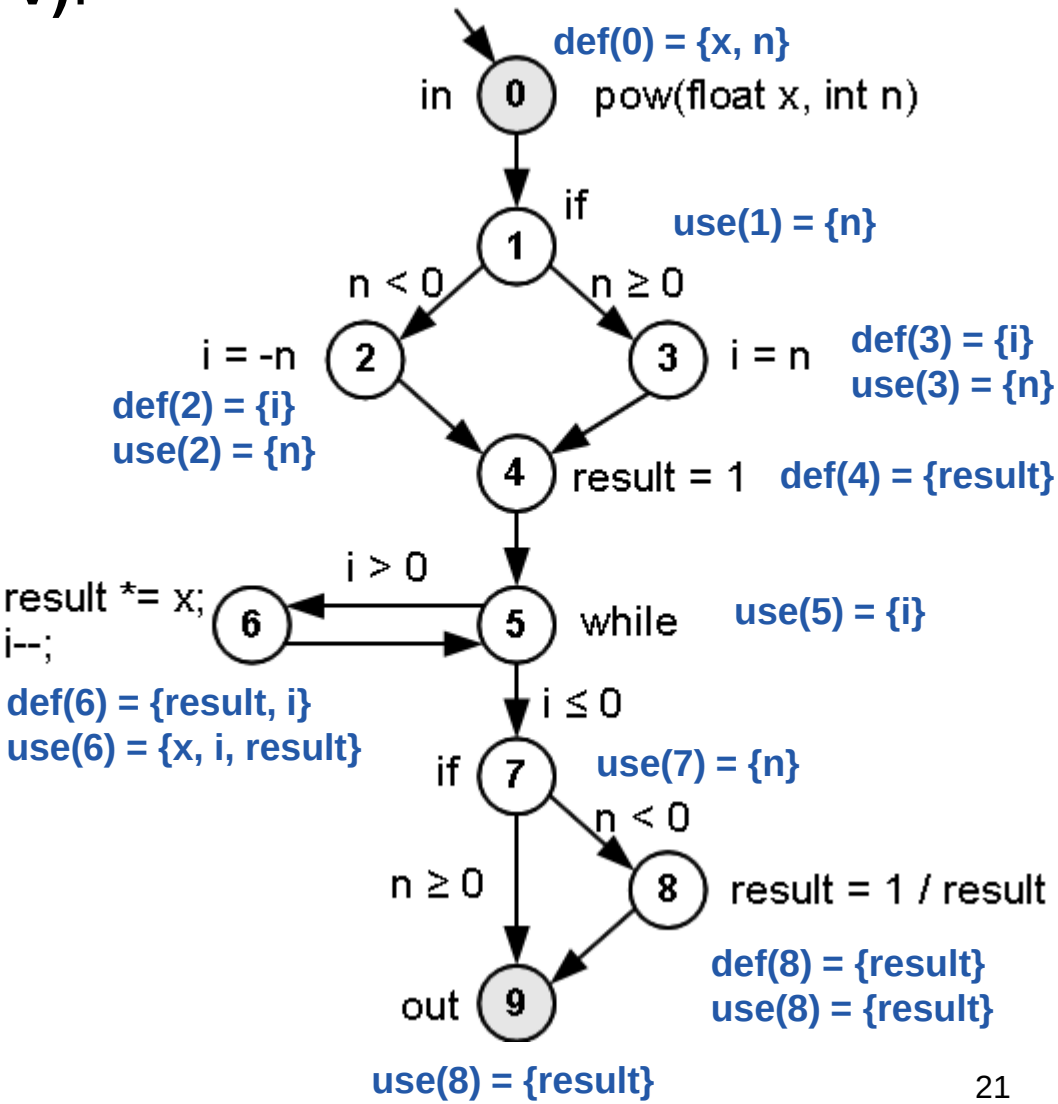
Defs-Uses-Überdeckungskriterien
All-Uses

- Überdeckungskriterium: **All-Uses**
  - **Für alle Definitionen einer Variable**, überdecke **mindestens einen** bezüglich dieser Variablen definitionsfreien Pfad zu **jedem** lesenden Zugriff (c-use oder p-use) dieser Variablen
  - Etwas formaler: **Für jede Pfadmenge du(n, n‘, v)** muss **mindestens ein Pfad** aus dieser Menge überdeckt werden

Defs-Uses-Überdeckungskriterien
All-Uses – Beispiel

- Alle **Pfadmenge du(n, n‘, v)**:

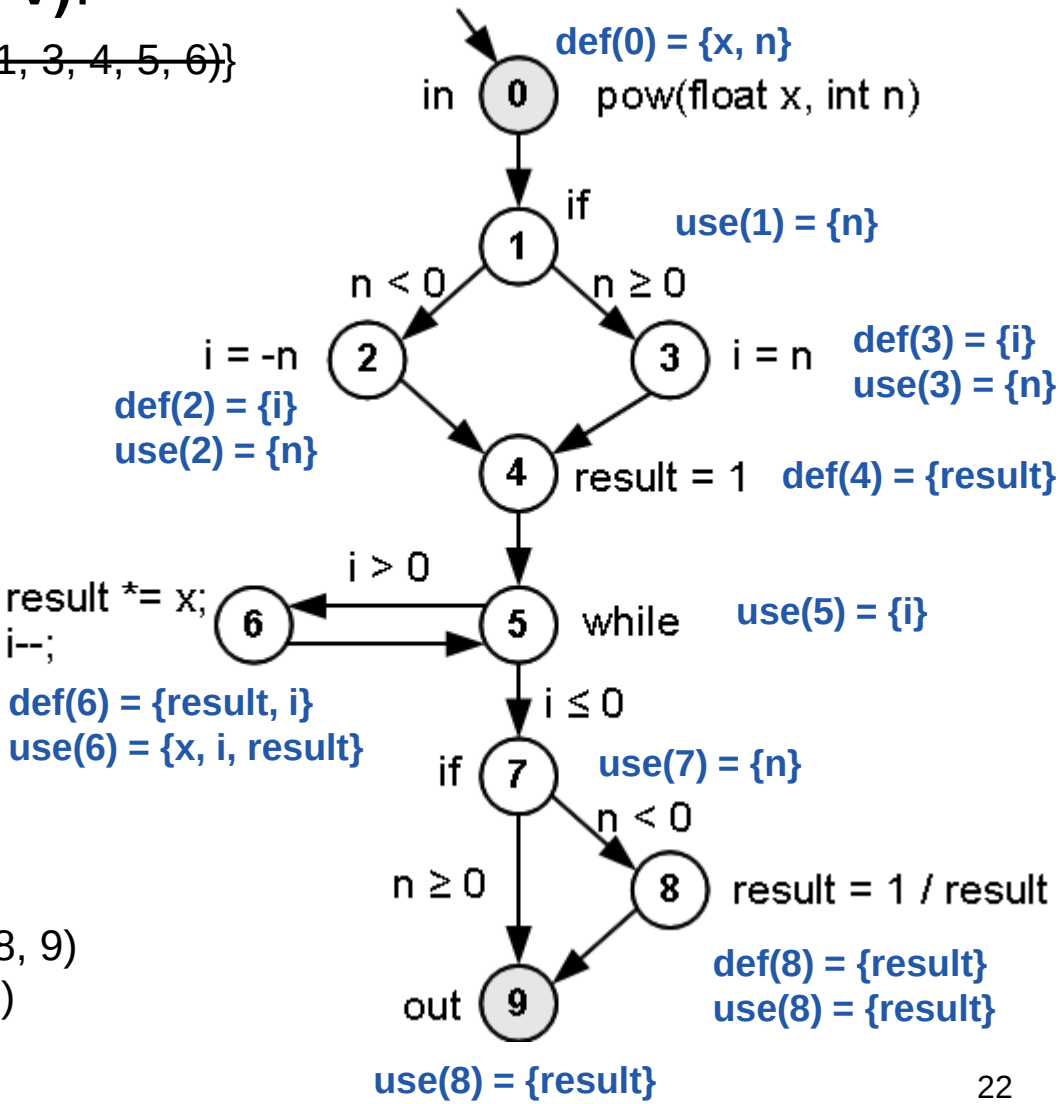
du(0, 6, x)
= {(0, 1, 2, 4, 5, 6,), (0, 1, 3, 4, 5, 6)}
du(0, 1, n)
= {(0, 1)}
du(0, 7, n) =
{(0,1,3,4,5,7)}
du(2, 5, i)
= {(2, 4, 5)}
du(3, 5, i)
= {(3, 4, 5)}
du(4, 6, result)
= {(4, 5, 6)}
du(4, 8, result)
= {(4, 5, 7, 8)}
du(4, 9, result)
= {(4, 5, 7, 9)}
du(6, 5, i)
= {(6, 5)}
du(6, 6, result)
= {(6, 5, 6)}
du(6, 8, result)
= {(6, 5, 7, 8)}
du(6, 9, result)
= {(6, 5, 7, 9)}
du(8, result)
= {(8, 9)}



Defs-Uses-Überdeckungskriterien
All-Uses – Beispiel

- Alle **Pfadmenge du(n, n‘, v)**:

du(0, 6, x) = {~~(0, 1, 2, 4, 5, 6,)~~, ~~(0, 1, 3, 4, 5, 6)~~}
du(0, 1, n) = {~~(0, 1)~~}
du(0, 7, n) = {(0,1,3,4,5,7)}
du(2, 5, i) = {~~(2, 4, 5)~~}
du(3, 5, i) = {~~(3, 4, 5)~~}
du(4, 6, result) = {~~(4, 5, 6)~~}
du(4, 9, result) = {(4, 5, 7, 9)}
du(6, 5, i) = {~~(6, 5)~~}
du(6, 6, result) = {(6, 5, 6)}
du(6, 8, result) = {~~(6, 5, 7, 8)~~}
du(6, 9, result) = {~~(6, 5, 7, 9)~~}
du(8, result) = {~~(8, 9)~~}



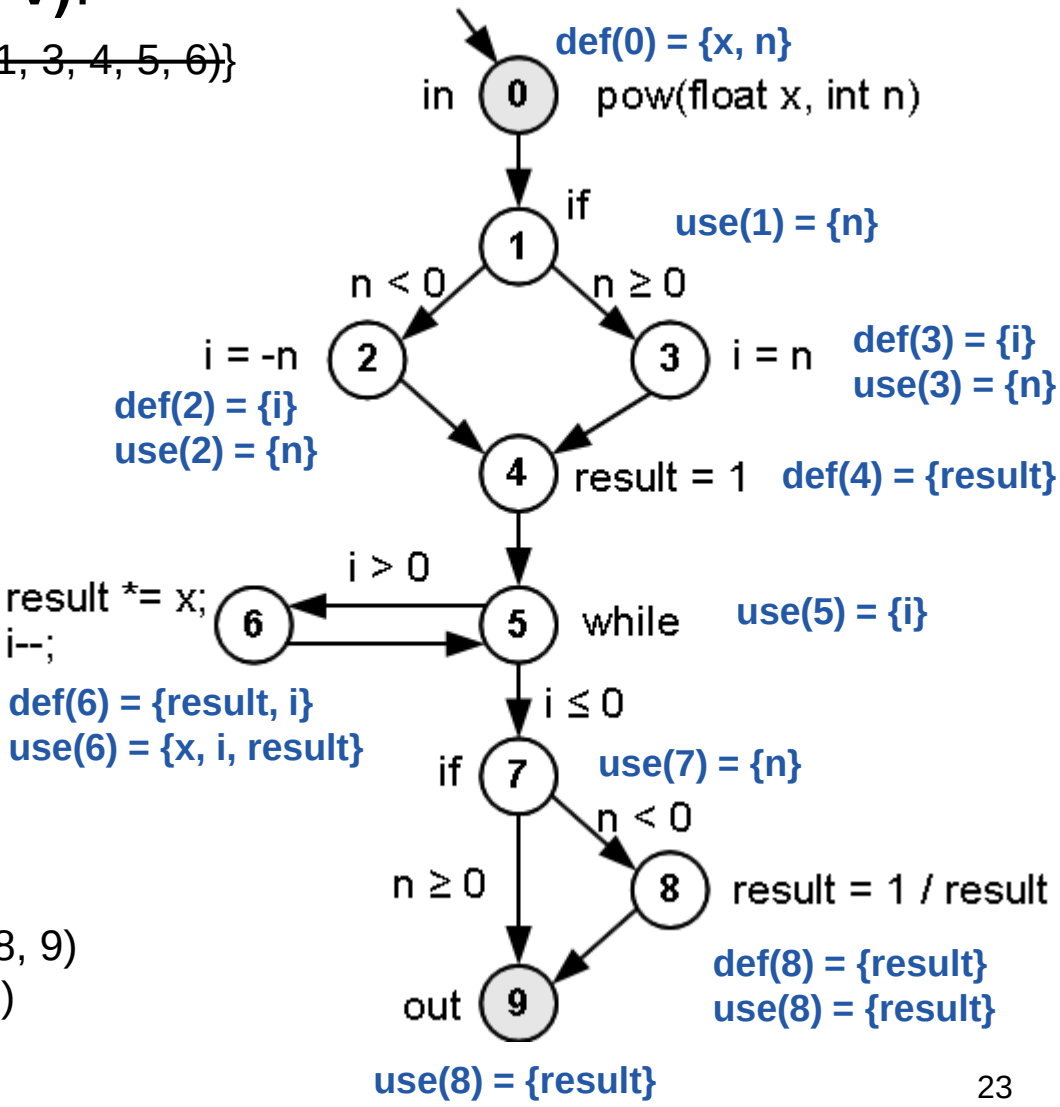
- **All-Uses**
  - Überdeckung durch folgende Tests:

pow(x, -1) überdeckt (0, 1, 2, 4, 5, 6, 5, 7, 8, 9)
pow(x, 1) überdeckt (0, 1, 3, 4, 5, 6, 5, 7, 9)

Defs-Uses-Überdeckungskriterien
All-Uses – Beispiel

- Alle **Pfadmenge du(n, n‘, v)**:

du(0, 6, x) = {~~(0, 1, 2, 4, 5, 6,)~~, ~~(0, 1, 3, 4, 5, 6)~~}
du(0, 1, n) = {~~(0, 1)~~}
du(0, 7, n) = {~~(0,1,3,4,5,7)~~}
du(2, 5, i) = {~~(2, 4, 5)~~}
du(3, 5, i) = {~~(3, 4, 5)~~}
du(4, 6, result) = {~~(4, 5, 6)~~}
du(4, 9, result) = {~~(4, 5, 7, 9)~~}
du(6, 5, i) = {~~(6, 5)~~}
du(6, 6, result) = {(6, 5, 6)}
du(6, 8, result) = {~~(6, 5, 7, 8)~~}
du(6, 9, result) = {~~(6, 5, 7, 9)~~}
du(8, result) = {~~(8, 9)~~}



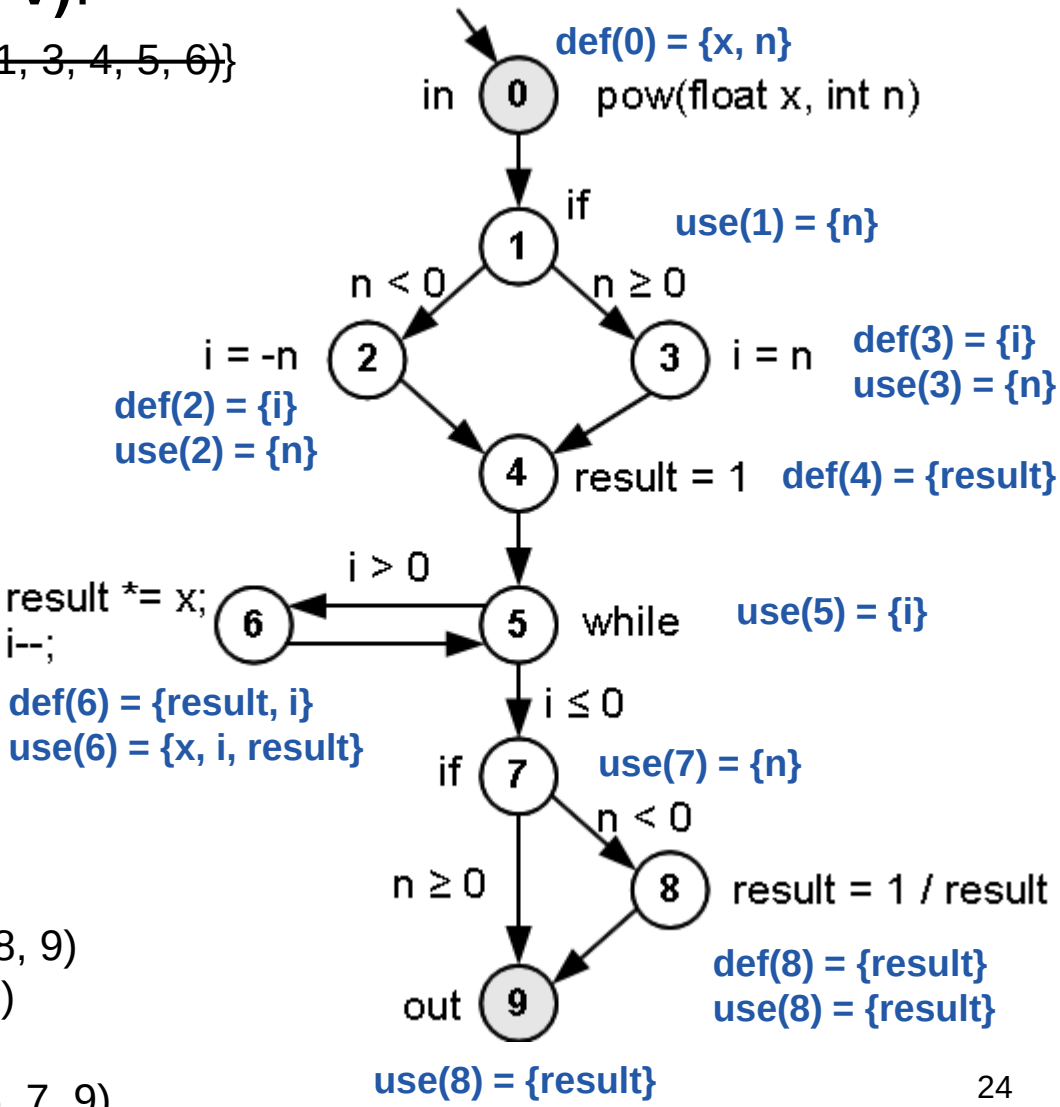
- **All-Uses**
  - Überdeckung durch folgende Tests:

pow(x, -1) überdeckt (0, 1, 2, 4, 5, 6, 5, 7, 8, 9)
pow(x, 1) überdeckt (0, 1, 3, 4, 5, 6, 5, 7, 9)
pow(x, 0) überdeckt (0, 1, 3, 4, 5, 7, 9)

Defs-Uses-Überdeckungskriterien
All-Uses – Beispiel

- Alle **Pfadmenge du(n, n‘, v)**:

du(0, 6, x) = {~~(0, 1, 2, 4, 5, 6,)~~, ~~(0, 1, 3, 4, 5, 6)~~}
du(0, 1, n) = {~~(0, 1)~~}
du(0, 7, n) = {~~(0,1,3,4,5,7)~~}
du(2, 5, i) = {~~(2, 4, 5)~~}
du(3, 5, i) = {~~(3, 4, 5)~~}
du(4, 6, result) = {~~(4, 5, 6)~~}
du(4, 9, result) = {~~(4, 5, 7, 9)~~}
du(6, 5, i) = {~~(6, 5)~~}
du(6, 6, result) = {~~(6, 5, 6)~~}
du(6, 8, result) = {~~(6, 5, 7, 8)~~}
du(6, 9, result) = {~~(6, 5, 7, 9)~~}
du(8, result) = {~~(8, 9)~~}



- **All-Uses**
  - Überdeckung durch folgende Tests:

pow(x, -1) überdeckt (0, 1, 2, 4, 5, 6, 5, 7, 8, 9)
pow(x, 1) überdeckt (0, 1, 3, 4, 5, 6, 5, 7, 9)
pow(x, 0) überdeckt (0, 1, 3, 4, 5, 7, 9)
pow(x, 2) überdeckt (0, 1, 3, 4, 5, 6, 5, 6, 5, 7, 9)

Defs-Uses-Überdeckungskriterien
Varianten von All-Uses

- Varianten von **All-Uses**:
  - **Für alle Definitionen einer Variable**, überdecke mindestens einen bezüglich dieser Variablen definitionsfreien Pfad…

- **All-c-Uses**:
  - … zu **jedem** c-use
- **All-p-Uses**:
  - … zu **jedem** p-use
- **All-c-some-p**:
  - … zu **jedem** c-use. Gibt es keinen def.freien Pfad zu einem c-use, überdecke mindestens def.freien Pfad zu **einem** p-use
- **All-p-some-c**:
  - … zu **jedem** p-use. Gibt es keinen def.freien Pfad zu einem p-use, überdecke mindestens def.freien Pfad zu **einem** c-use

Defs-Uses-Überdeckungskriterien
All-DU-Paths

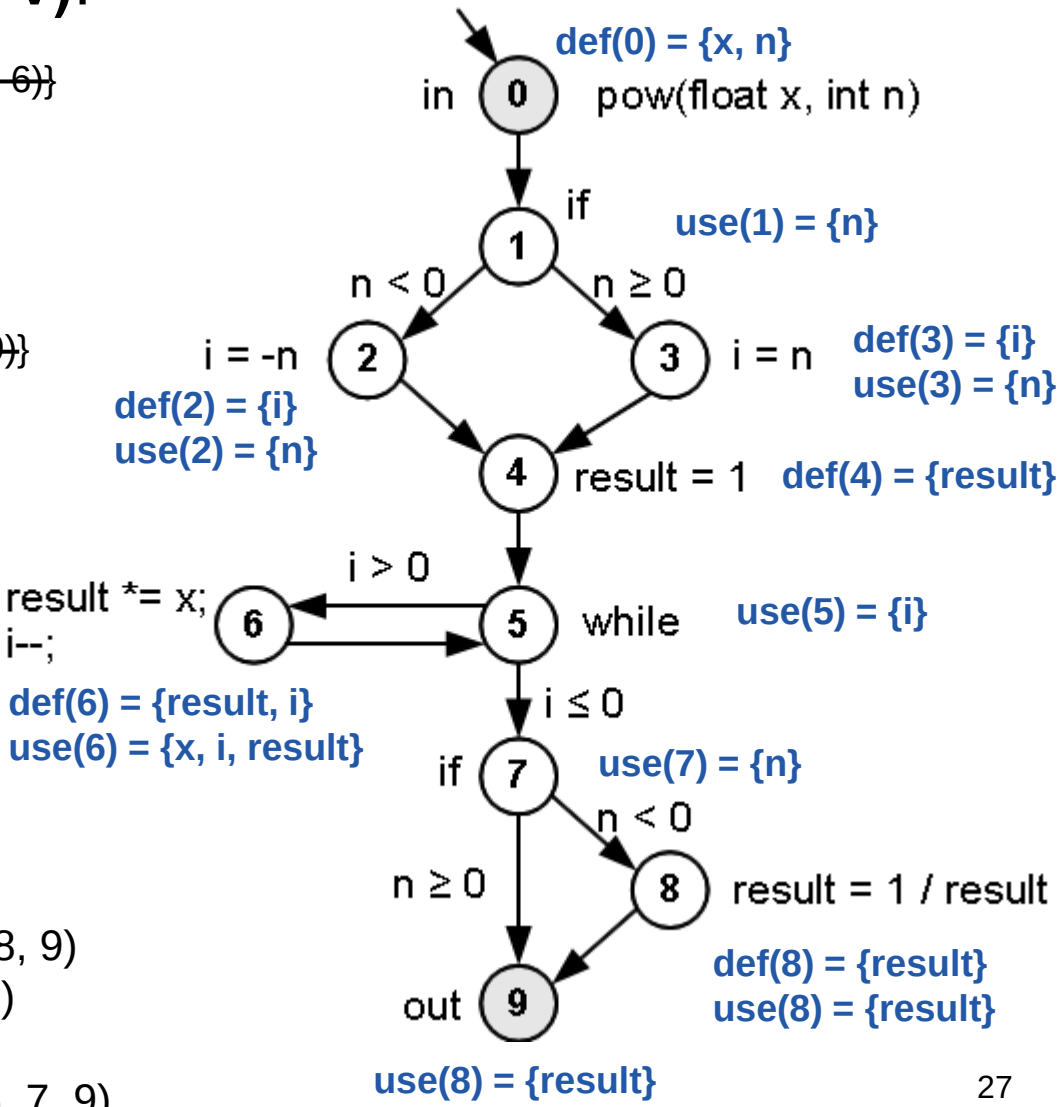
- Überdeckungskriterium: **All-DU-Paths**
  - Überdecke alle DU-Pfade
  - Etwas formaler: **Für jede Pfadmenge du(n, v)** müssen **alle Pfade** aus dieser Menge überdeckt werden

Defs-Uses-Überdeckungskriterien
All-DU-Paths – Beispiel

- Alle **Pfadmenge du(n, n‘, v)**:

du(0, x) = {~~(0, 1, 2, 4, 5, 6,)~~, ~~(0, 1, 3, 4, 5, 6)~~}
du(0, n) = {~~(0, 1)~~}
du(2, i) = {~~(2, 4, 5)~~}
du(3, i) = {~~(3, 4, 5)~~}
du(4, result) = {~~(4, 5, 6)~~, ~~(4, 5, 7, 9)~~}
du(6, i) = {~~(6, 5)~~}
du(6, result) = {~~(6, 5, 6)~~, ~~(6, 5, 7, 8)~~, ~~(6, 5, 7, 9)~~}
du(8, result) = {~~(8, 9)~~}

In diesem Fall schon alles erledigt

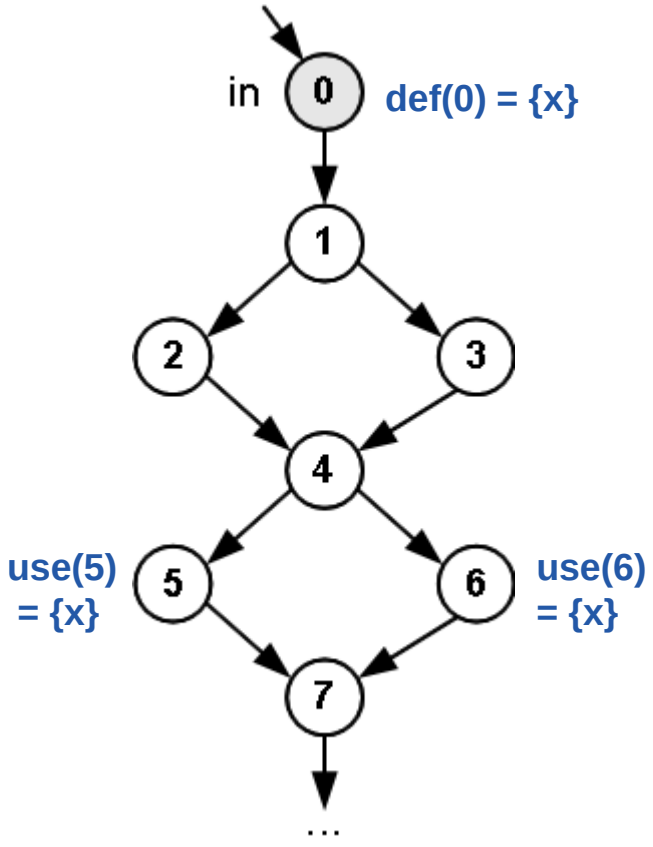


- **All-DU-Paths**
  - Überdeckung durch folgende Tests:

pow(x, -1) überdeckt (0, 1, 2, 4, 5, 6, 5, 7, 8, 9)
pow(x, 1) überdeckt (0, 1, 3, 4, 5, 6, 5, 7, 9)
pow(x, 0) überdeckt (0, 1, 3, 4, 5, 7, 9)
pow(x, 2) überdeckt (0, 1, 3, 4, 5, 6, 5, 6, 5, 7, 9)

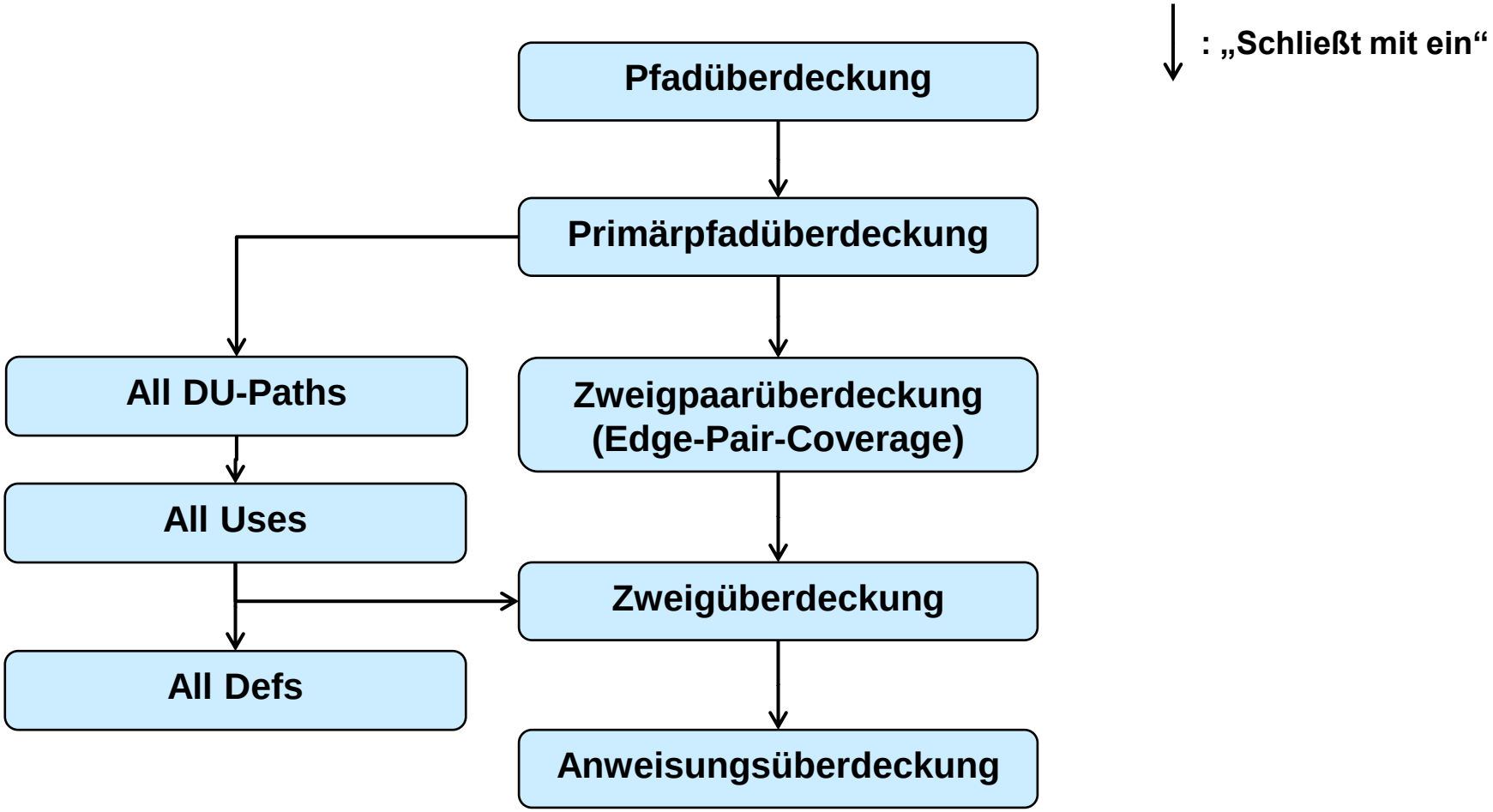
Defs-Uses-Überdeckungskriterien
All-DU-Paths – Beispiel

- Zu überdeckende Pfade für…
- **All-Defs**
  - Überdeckung von **einem** Pfad von 0 zu 5 **oder** 6:
    - Z.B. (0, 1, 2, 4, 5)
- **All-Uses**
  - Überdeckung von **einem** Pfad von 0 zu 5 **und einem** Pfad von 0 zu 6:
    - Z.B. (0, 1, 2, 4, 5), (0, 1, 2, 4, 6)
- **All-DU-Paths**
  - Überdeckung von **jedem** Pfad von 0 zu 5 **und jedem** Pfad von 0 zu 6:
    - (0, 1, 2, 4, 5), (0, 1, 3, 4, 5)
      (0, 1, 2, 4, 6), (0, 1, 3, 4, 6)



Datenflussorientierte Überdeckungskriterien im Vergleich

- Die Überdeckungskriterien subsumieren sich wie folgt:



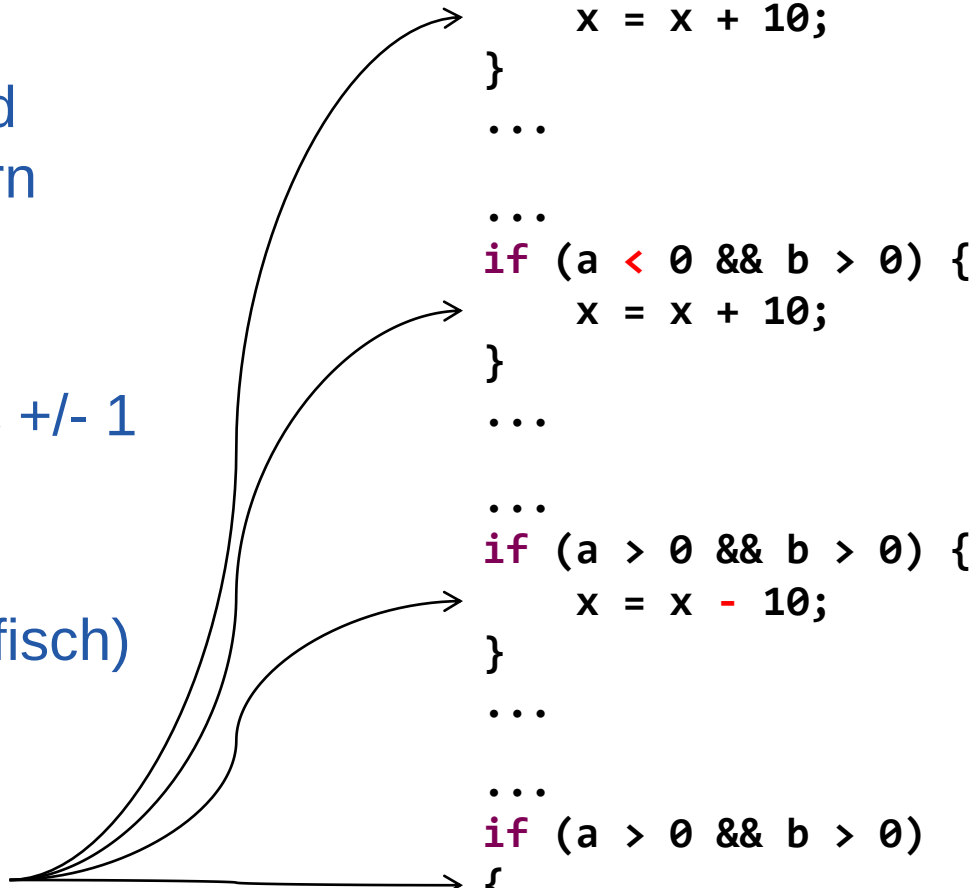
Mutationstests

- Gegeben sei eine Programm und eine Testmenge
  - Angenommen, alle Tests sind erfolgreich
- **Frage**: Wie sicher kann ich mir sein, dass keine Fehler mehr im Programm enthalten sind?
  - **Idee 1**: Ich bestimme zu welchem Grad ich ein bestimmtes Überdeckungskriterium erfüllt habe
- **Idee 2**: Erzeuge **Mutanten** des Programms: Versionen mit (zufällig oder systematisch) eingefügten Defekten
  - Identifizieren die Tests alle Mutanten, dann scheinen meine Tests effektiv zu sein
    - Erstmal Vermutung – aber in der Praxis bewahrheitet!
  - Falls Mutanten unentdeckt geblieben sind, erstelle ich neue Testfälle, die diese Mutanten erfolgreich identifizieren („töten“)
  - Somit steigere ich die Effektivität der Testmenge

Mutationstests

- Es gibt viele verschiedene Mutationsoperatoren, z.B.
  - Logische, Arithmetische und Vergleichsoperatoren ändern
  - Variablen vertauschen oder durch Konstanten ersetzen
  - Konstanten durch 0, 1, -1, c +/- 1 ersetzen
  - Viele mehr… (Manche programmiersprachenspezifisch)

```
...
if (a > 0 && b > 0) {
    x = x + 10;
}
...
```



```
...
if (a > 0 || b > 0) {
    x = x + 10;
}
...
```

```
...
if (a < 0 && b > 0) {
    x = x + 10;
}
...
```

```
...
if (a > 0 && b > 0) {
    x = x - 10;
}
...
```

```
...
if (a > 0 && b > 0)
{
    x = x + 11;
}
...
```

Mutationstests

- Manchmal ändern Mutationen nichts am Verhalten des Programms
  - Funktional gleich
  - Ggf. veränderte Laufzeit

- Beispiel: Funktional gleich:

Program p	Equivalent Mutant m

for $(int\ i = 0;\ i < 10;\ i++)$
{
$...(the\ value\ of\ i$
$is\ not\ changed)$
}
	for $(int\ i = 0;\ i\ != 10;\ i++)$
	{
	$...(the\ value\ of\ i$
	$is\ not\ changed)$
	}