UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

Software-Qualitätsmanagement

Kernfach Angewandte Informatik

Sommersemester 2005

Prof. Dr. Hans-Gert Gräbe

UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

Beispiel gcd-Berechnung mit Euklidschem Algorithmus

```
int gcd(int a, int b) {
    /* Ass: a = A and b = B */ // Anfangsbedingung
    while (b != 0) {
        /* Ass: gcd(a,b) = gcd(A,B) and b ≠ 0 */
        int r = a mod b; a :=b, b:=r;
    }
    /* Ass: b = 0 and a [=gcd(a,b)] = gcd(A,B) */
        return a;
} /* Ass: Return-Wert = gcd(A,B) */ // Endebedingung
```

UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

Beispiel Erweiterter Euklidscher Algorithmus

```
(int g, int u, int v) ExtendedEuklid(int a, int b) {
    /* Ass: a = A and b = B */
    int ua:=1; int va:=0; int ub:=0; int vb:=1;
    /* Ass: gcd(a,b) = gcd(A,B) and a = ua*A+va*B and b = ub*A+vb*B */
    while (b != 0) {
        /* Ass: gcd(a,b) = gcd(A,B) and b ≠ 0 and
                    a = ua*A+va*B and b = ub*A+vb*B */
        int q = a div b;
        int r=a-q*b; int uc:=ua-q*ub; int vc:=va-q*vb;
        a :=b, b:=r; ua:=ub; ub:=uc; va:=vb; vb:=vc;
    }
    /* Ass: b = 0 and a [=gcd(a,b)] =gcd(A,B) and a = ua*A+va*B */
        return (a,ua,va);
} /* Ass: g = gcd(A,B) and g = u*A+v*B */
```

UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

Verifikationsregeln

- **Voraussetzung**: Programm ist aus konditionierten Bausteinen modular zusammengesetzt
  - Korrektheit des gesamten Programms ergibt sich aus der korrekten Zusammensetzung korrekter Teilstrukturen
- **Vorgehen**: Komplexes Programm wird verifiziert durch schrittweises Zusammensetzen aus **verifizierten einfacheren Strukturen** nach wenigen einfachen **Verifikationsregeln**.
- Folgende Verifikationsregeln existieren:
  - Konsequenz-Regel,
  - Zuweisungs-Regel,
  - Sequenz-Regel,
  - **if**-Regel und
  - **while**-Regel

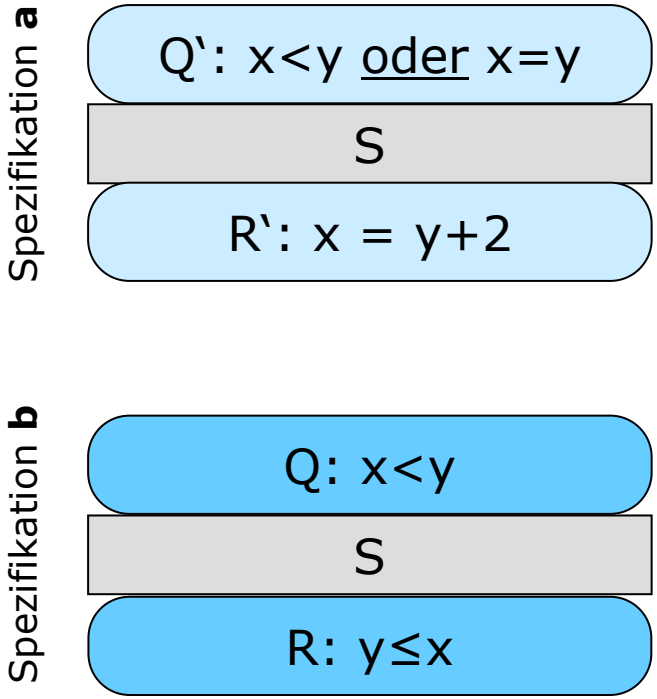
UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

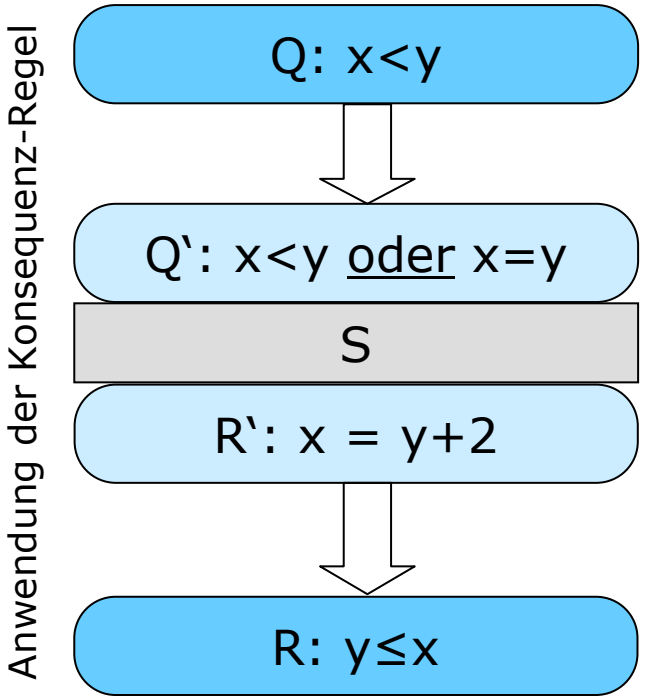
Konsequenz-Regel

Gilt **{Q`} S {R`}** und

- Q` wird durch Q ersetzt, wobei Q schärfer ist als Q`.
- R` wird durch R ersetzt, wobei R schwächer ist als R`.

so gilt auch **{Q} S {R}.**





UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

- Geht man vorwärts durch ein Programm, so kann man Bedingungen abschwächen:
  - Hinzufügen eines Terms mit **oder**-Verknüpfung
  - Weglassen eines **und**-verknüpften Terms
  - ➔ Schwächere Bedingung
- Bei rückwärtiger Abarbeitung eines Programms, dürfen Bedingungen verschärft werden:
  - Hinzufügen eines Terms mit **und**-Verknüpfung
  - Weglassen eines **oder**-verknüpften Terms
  - ➔ Schärfere Bedingung

- Notation von Verifikationsregeln als Schlussregel:

$$\frac{\text{Voraussetzungen}}{\text{Schlussfolgerung}}$$

$$\frac{Q \Rightarrow Q', \{Q'\}\, S\, \{R'\}, R' \Rightarrow R}{\{Q\}\, S\, \{R\}}$$

UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

Zuweisungs-Regel

- Die Zuweisung x:=A verändert den Wert von x
  - Beispiel: { y+z = 25 } x:=y+z { x = 25 }
- Allgemeine Struktur: **{ R(A) } x:=A { R(x) }**
  - so zu verstehen: Hat man einen logischen Ausdruck R=R(x) mit der freien Variablen x und bildet Q::=R(A) durch Ersetzen dieser Variablen mit dem Ausdruck A, so ist die Aussage

    { Q } x:=A { R }

    wahr.
- Regel wird eingesetzt beim Rückwärtsarbeiten, um aus einer Nach- eine Vorbedingung abzuleiten:

  Bsp.: { Q? } x := x+25 { x = 2y }

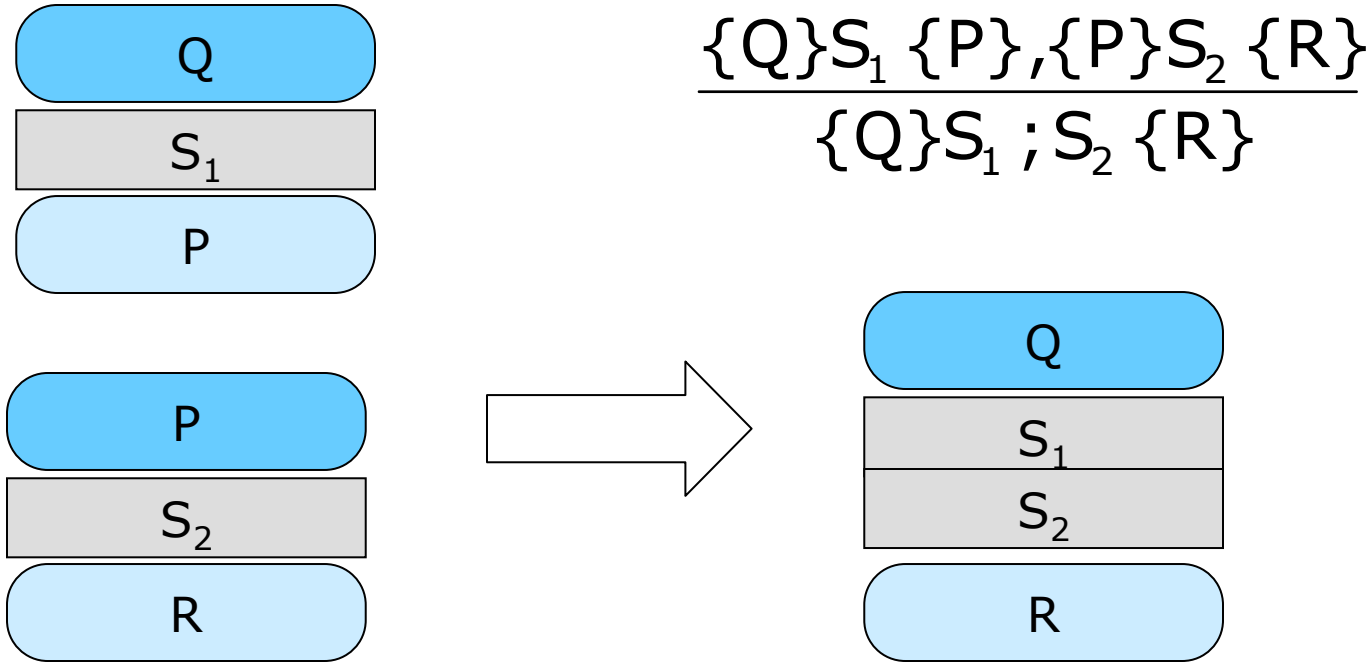
  { R(A) } x‘ = x+25 { R(x‘) ::= x‘ = 2y}

  ➔ Vorbedingung { Q ::= 2y = x + 25 }

UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

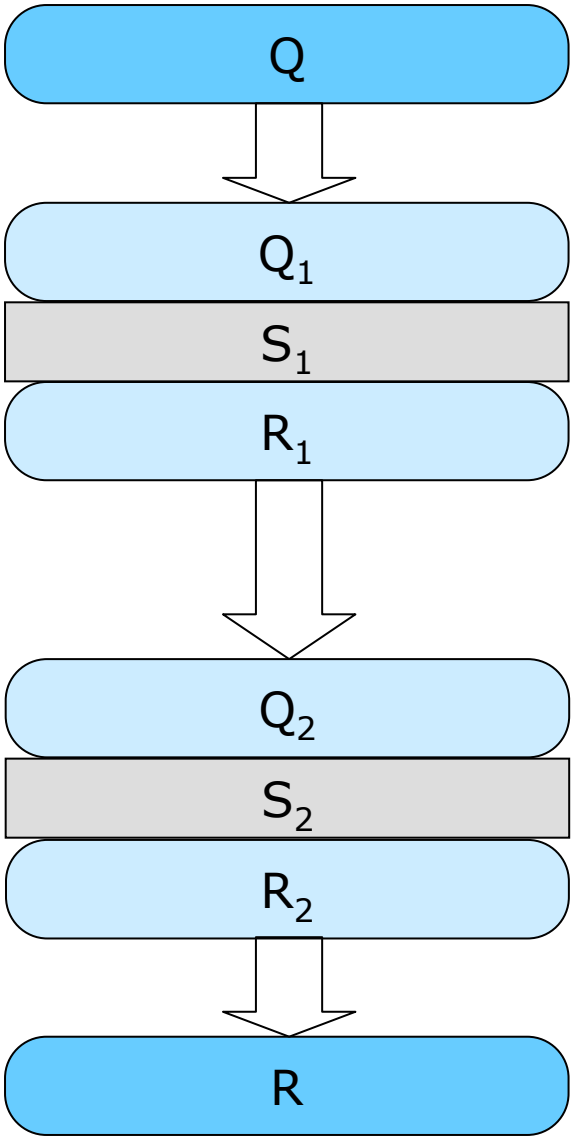
Sequenz-Regel

- Zwei Programmteile S_1 und S_2 können zusammengesetzt werden, wenn die Nachbedingung von S_1 gleich der Vorbedingung von S_2 ist.



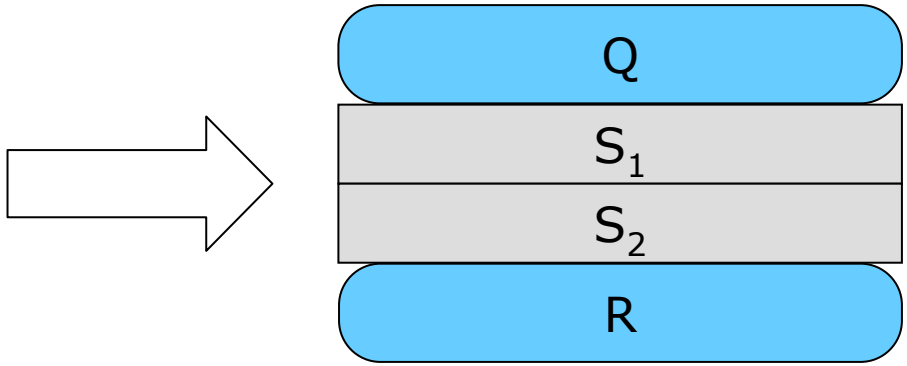
$$\frac{\{Q\}S_1\{P\},\{P\}S_2\{R\}}{\{Q\}S_1;S_2\{R\}}$$

UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme



Die Sequenz-Regel kann mit Hilfe der Konsequenz-Regel noch verallgemeinert werden:
Es genügt, wenn die Nachbedingung von S_1 „schärfer" ist als die Vorbedingung von S_2, um S_1 und S_2 zu einem Programmstück zusammenzusetzen.

$$\frac{Q \Rightarrow Q_1, \{Q_1\}\, S_1\, \{R_1\}, R_1 \Rightarrow Q_2, \{Q_2\}\, S_2\, \{R_2\}, R_2 \Rightarrow R}{\{Q\}\, S_1\, ;\, S_2\, \{R\}}$$

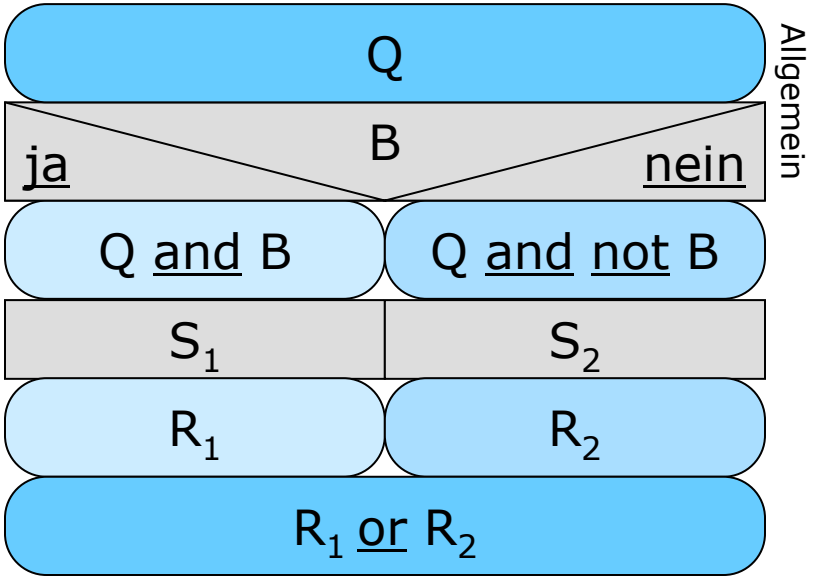


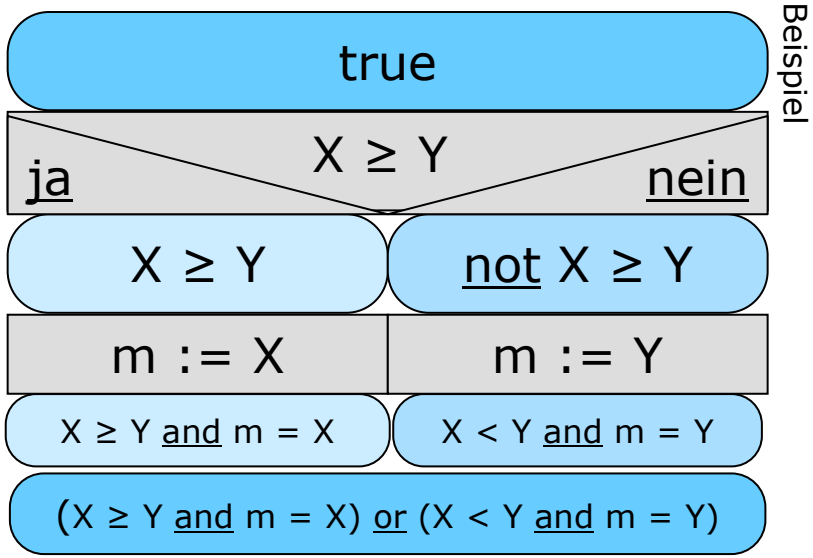
UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

if-Regel

- Gibt an, unter welchen Voraussetzungen zwei Programmstücke S_1 und S_2 und eine Bedingung B zu einer zweiseitigen Auswahl mit der Vorbedingung Q und der Nachbedingung R zusammengesetzt werden können.

$$\frac{\{Q \text{ and } B\}\ S_1\ \{R\},\ \{Q \text{ and not } B\}\ S_2\ \{R\}}{\{Q\} \text{ if } B \text{ then } S_1 \text{ else } S_2\ \{R\}}$$

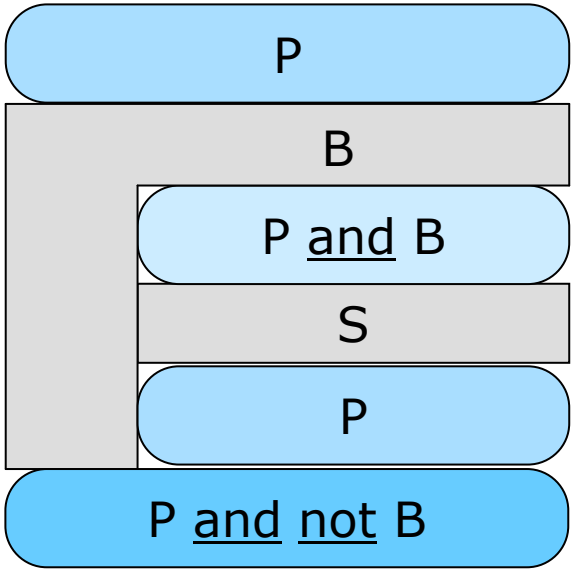




UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

while-Regel

- Bei der Verifikation von Schleifen spielt eine invariante Zusicherung **P**, die **Schleifeninvariante** eine entscheidende Rolle.
- Die Invariante gilt vor der Schleife und nach dem Schleifenrumpf.



$$\frac{\{P \text{ and } B\}\ S\ \{P\}}{\{P\}\ \text{while } B \text{ do } S\ \{P \text{ and not } B\}}$$

Diese Regel beweist nur **partiell** die Korrektheit der Schleife, denn die **Termination** wird durch P nicht garantiert.

UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

Zum Beweis der Termination einer Schleife

- Wiederholungsbedingung B muss irgendwann falsch sein.
- Prüfung der Termination mit Hilfe einer **Terminationsfunktion t**.
  - **Idee**: Die Terminationsfunktion

    t : Programmzustände -> **Z**

    ist nach unten beschränkt **und** wird in jedem Schleifendurchlauf kleiner.

Formale Formulierung der Bedingungen für t:

1. { P and B and t = T } S { P and t<T } (T ist freie Variable)
2. P and B ➔ t ≥ 0

- **Variation**: Kettenbedingung auf Halbordnungen
  - Beispiel: Termordnungen auf dem Term-Monoid $T=T(x_1,...x_n)$
  - es reicht die Kettenbedingung statt Beschränktheit

UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

Konditionierungsregel für Schleifen

Bei gegebener Invariante **P** und Terminationsfunktion **t** muss eine **while**-Schleife folgende Punkte erfüllen:

1. Die Invariante P muss während der Initialisierung der Schleife gesichert werden:
   - {Q} init {P}
2. P bleibt im Schleifenrumpf S invariant, t wird bei jedem Ausführen des Schleifenrumpfes verringert.
   {P and B and t = T} S {P and t < T}
3. t ist vor jedem Ausführen des Schleifenrumpfes nicht negativ.
   P and B ➔ t ≥ 0
4. Die Nachbedingung R ist eine Folge der Schleifeninvariante.
   P and not B ➔ R

UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

Vorgehensweise, falls P und t bekannt

1. {Q} init {P} für die Schleifeninitialisierung verifizieren.
2. Suchen einer geeigneten Wiederholungsbedingung B, so dass nach Ende der Schleife die Nachbedingung R gilt

   $$P \text{ and not } B \Rightarrow R$$

3. Suche einer Terminationsfunktion t, für welche

   $$P \text{ and } B \Rightarrow t \geq 0$$

   und

   $$\{P \text{ and } B \text{ and } t = T\}\ S\ \{P \text{ and } t < T\}$$

   gilt.

UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

Entwickeln einer Schleife durch Weglassen einer Bedingung

Gegeben sei eine Spezifikation {Q} . {R: U and V}

1. R wird aufgeteilt in {R = P and not B}: P = U, B = not V
   - Die Invariante P ergibt sich durch Weglassen einer Bedingung.
   - Die weggelassene Bedingung {not V} wird zur Abbruchbedingung.
2. Initialisierung der Invarianten P durch ein Programmstück

   {Q} init {P}
3. Entwicklung eines Schleifenrumpfes mit der Spezifikation

   {P and B} S {P}
4. Hinzufügen der Terminationsbedingung **t**
   - **t** ergibt sich häufig aus dem Vergleich der Initialisierung mit der Abbruchbedingung {not B}.

UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

Beispiel: *int y = isqrt(int x) mit y= ⌊sqrt(x)⌋*

$\{Q: x \geq 0\}$ und $\{R: y \geq 0 \text{ and } y^2 \leq x \text{ and } x < (y+1)^2\}$

Aufteilen von R: $\{P: y \geq 0 \text{ and } x \geq y^2\}$ und $\{B: x \geq (y+1)^2\}$

Initialisierung: $\{Q: x \geq 0\}\ y:=0\ \{P\}$

Schleife: $\{P \text{ and } B\}\ y:=y+1\ \{P\}$

$\{y \geq 0 \text{ and } x \geq (y+1)^2\}\ y`=y+1\ \{y` \geq 0 \text{ and } x \geq y`^2\}$

Terminationsfunktion: **t** := x − y

$\{P \text{ and } B \text{ and } t=T\}\ y:=y+1\ \{P \text{ and } t<T\}$

UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

Java-Implementierung:

```
int isqrt(int x) {
    int y=0;
    while ((y+1)*(y+1) <= x)
        y=y+1;
    return y;
}
```

oder nach leichter Optimierung

```
int isqrt(int x) {
    int y=1;
    while (y*y <= x)
        y=y+1;
    return (y-1);
}
```

UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

Symbolisches Testen: Überblick

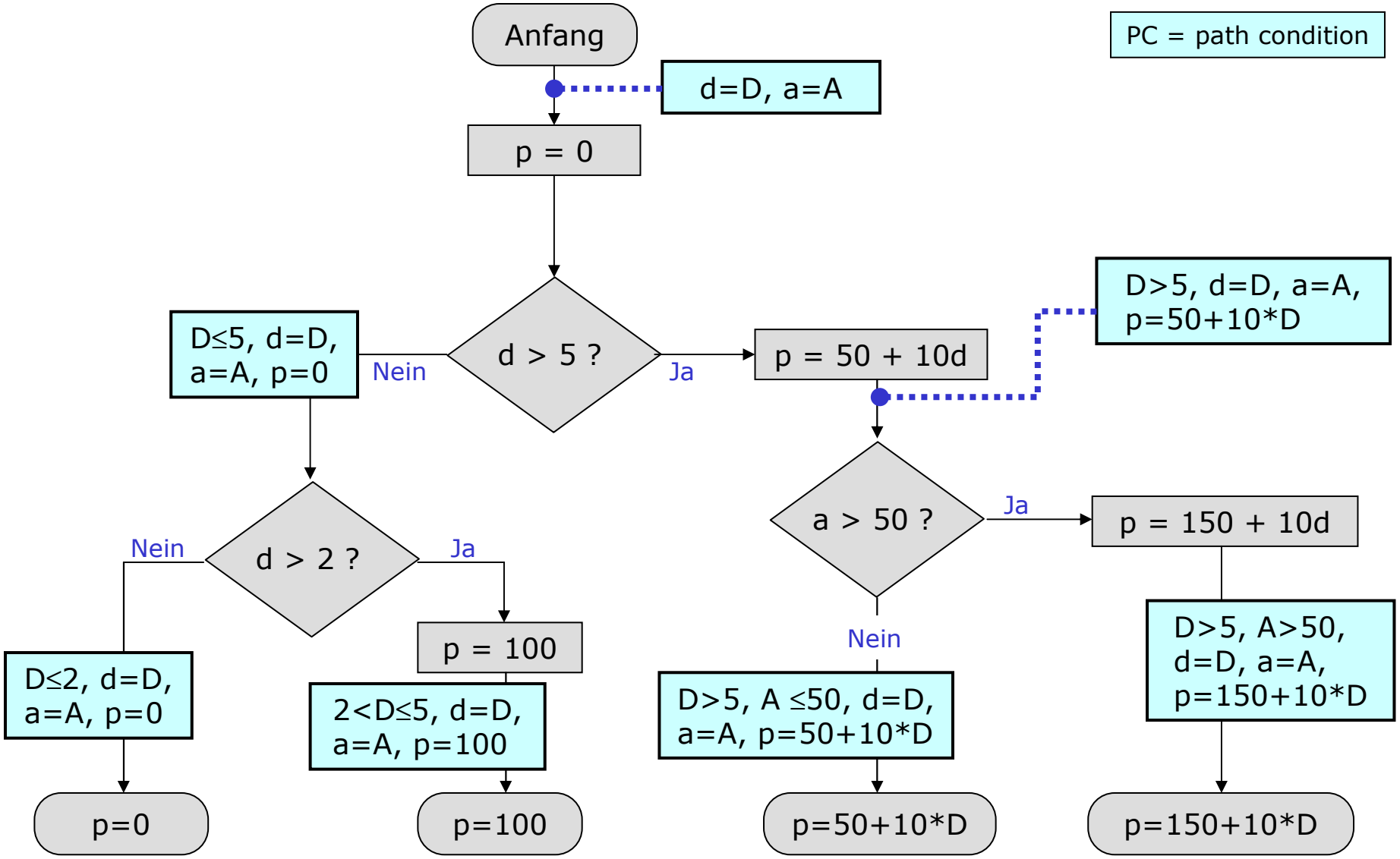
- **Idee**: Die Eingabeparameter des Programms werden mit symbolischen Variablen belegt und längs aller möglicher Kontrollflüsse alle möglichen **Zwischenergebnisse** und **Konditionen** in symbolischer Form bestimmt.
  - Methode ist besonders gut geeignet, wenn sich die an Verzweigungspunkten gültigen Kombinationen boolescher Bedingungen vereinfachen lassen und Zwischenergebnisse arithmetischer Natur sind.
- **Methode hat Beweiskraft** im mathematischen Sinn, wenn die symbolischen Parameter durch alle denkbaren konkreten Parameterwerte ersetzt werden können.
  - etwa darf das Zwischenergebnis y/x nicht ohne die Kondition x!=0 auftreten.
- **Schleifen** lassen sich in diesem Ansatz nur bedingt abbilden.

UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

Beispiel

```
int berechnePraemie(int Dienstjahre, int Alter) {
    Praemie = 0;
    if (Dienstjahre > 5) {
        Praemie = 50 + 10 * Dienstjahre;
        if (Alter > 50) Praemie = Praemie + 100;
    }
    else if (Dienstjahre > 2) Praemie = 100;
    return Praemie;
}
```

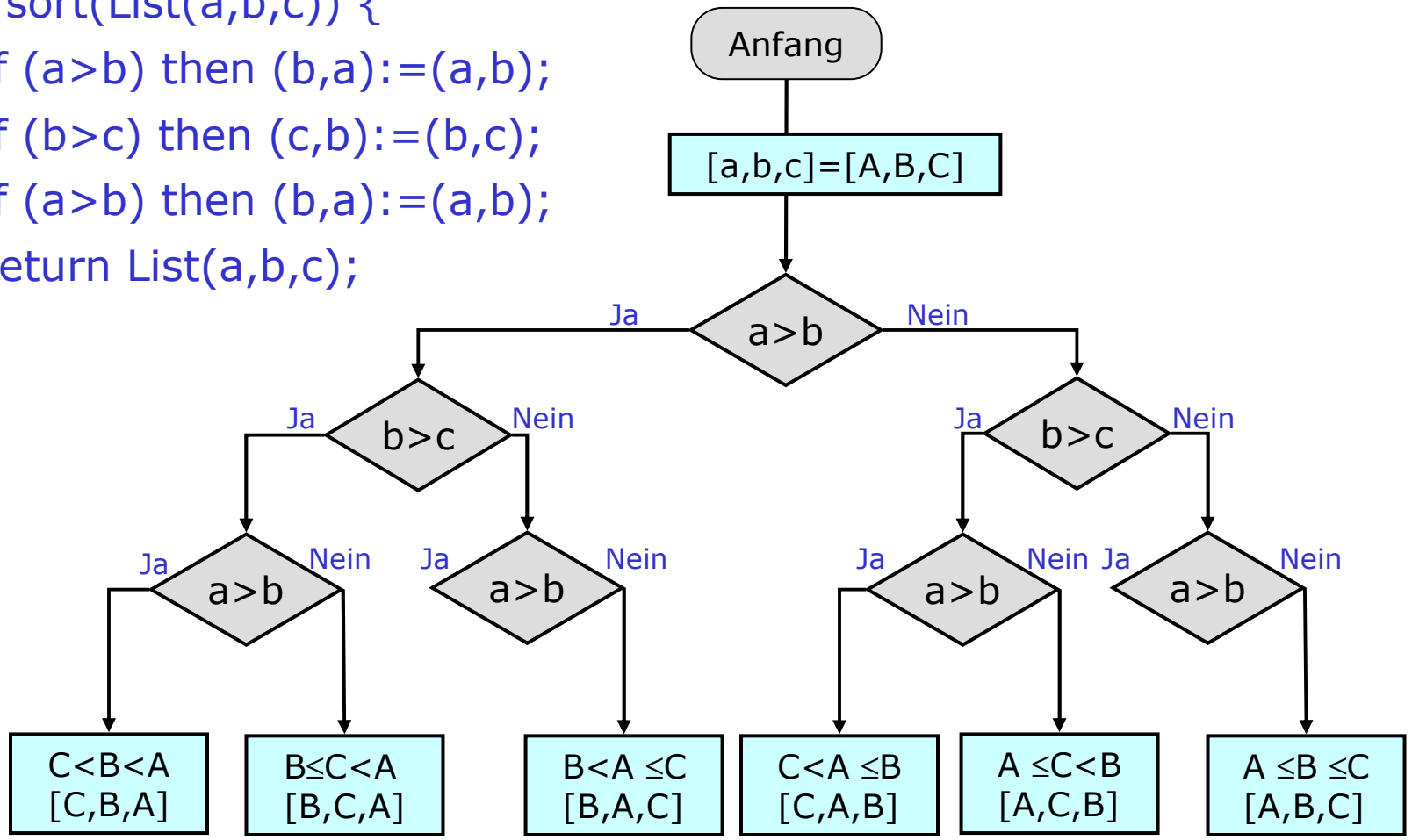
UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme



UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

Beispiel

```
List sort(List(a,b,c)) {
    if (a>b) then (b,a):=(a,b);
    if (b>c) then (c,b):=(b,c);
    if (a>b) then (b,a):=(a,b);
    return List(a,b,c);
}
```



UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

Ansatz: Qualität von Systemkomponenten besteht nicht nur in deren **funktioneller Qualität** (Q.-Z. Funktionalität und Effizienz; Fokus der bisher besprochenen Qualitätssicherungs-Methoden Test und Verifikation), sondern auch in der **Qualität des Quellcodes** selbst (Q.-Z. Änderbarkeit, Übertragbarkeit sowie teilweise Benutzbarkeit).

Relevante Parameter:

- sinnvolle **Granularität** der Komponenten längs **funktioneller Grenzen**.
- sinnvolle **Schnittstellengestaltung** für die Zusammenarbeit der Komponenten untereinander.

Kann in quantitativen Parametern der **Bindung** (innerhalb einer Komponente) und **Kopplung** (zwischen Komponenten) erfasst werden.

UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

Bindung und Kopplung

Die Bindung innerhalb einer Systemkomponente und die Kopplung der Systemkomponenten untereinander bestimmen die Struktur eines Software-Systems.

Bindung (*cohesion*) ist ein qualitatives Maß für die Kompaktheit einer Systemkomponente. Es werden dazu die Beziehungen zwischen den Elementen einer Systemkomponente betrachtet.

Kopplung (*coupling*) ist ein qualitatives Maß für die Schnittstellen zwischen den Systemkomponenten. Es werden der Kopplungs-mechanismus, die Schnittstellenbreite und die Art der Kommunikation betrachtet.

UNIVERSITÄT LEIPZIG
Institut für Informatik
Betriebliche Informationssysteme

- Je stärker die Bindungen der Systemkomponenten im Vergleich zu den Kopplungen, desto ausgeprägter ist die Struktur und Modularität eines Systems.
  - Bindung der Funktionen: Wie weit ist abgrenzbare Funktionalität an einer Stelle zusammengefasst?
  - Bindung der Daten: Wie weit ist datenmäßig zusammengehörige Funktionalität zusammengefasst?
  - Informale Bindung: Wie sind Datenabstraktionskonzepte an Datenstrukturen gebunden?
- Die Forderung nach guter Modularität wird erfüllt, wenn die Kopplungen minimiert und die Bindungen maximiert werden.
- Für **Komponenten** spielt der Bindungsgrad eine qualitätsrelevante Rolle, für **Systeme** die Ausgestaltung der Kopplung zwischen den Komponenten.