ETH Zürich
Chair of Software Engineering

Einführung in die Programierung

Prof. Dr. Bertrand Meyer

Lektion 8: Kontrollstrukturen

In dieser (Doppel-)Lektion

- Der Begriff des Algorithmus
- Grundlegende Kontrollstrukturen: Sequenz (*sequence*, *compound*), Konditional (*conditional*), Schleife (*loop*)
- Bedingungsinstruktionen: der Konditional und seine Variante
- Operationen wiederholen: die Schleife
- Schleifen als Annäherungsstrategie: die Schleifeninvariante
- Was braucht es, um sicherzustellen, dass eine Schleife terminiert?
- Kontrollstrukturen auf einer tieferen Ebene: "Goto" und Flussdiagramme (flowcharts); siehe Argument für die „Kontrollstrukturen der strukturierten Programmierung"
- Das **Entscheidungsproblem** und die Unentscheidbarkeit der Programm-Terminierung

Bitte lesen Sie Kapitel 8 von *Touch of Class*

Der Begriff des Algorithmus

Allgemeine Definition:

Ein **Algorithmus** ist die Spezifikation eines Prozesses, der von einem Computer ausgeführt wird

Nicht wirklich ein Algorithmus

PREPARAZIONE E TEMPI DI COTTURA
ZUBEREITUNG - PREPARATION

Versate le verdure ancora surgelate in 1 litro abbondante d'acqua fredda con 2 cucchiai d'olio, salate e cuocete secondo i tempi indicati.

Tiefgefrorene Gemüse in einen Liter kaltes Wasser geben, 2 Esslöffel Öl und Salz hinzufügen.

Verser les légumes surgelés dans 1 litre d'eau froide, ajouter deux cuillers à soupe d'huile et du sel.

5 Eigenschaften eines Algorithmus

- 1. Definiert die Daten, auf die der Prozess angewandt wird
- 2. Jeder elementare Schritt wird aus einer Menge von genau definierten Aktionen ausgewählt
- 3. Beschreibt die Reihenfolge der Ausführung dieser Schritte
- 4. Eigenschaften 2 und 3 basieren auf genau festgelegten, für ein automatisches Gerät geeignete Konventionen
- 5. Terminiert für alle Daten nach endlich vielen Schritten

Algorithmus vs. Programm

"Algorithmus" bezeichnet allgemein einen abstrakteren Begriff, unabhängig von der Plattform, der Programmiersprache, etc.

In der Praxis ist der Unterschied jedoch eher gering:

- Algorithmen brauchen eine präzise Notation
- Programmiersprachen werden immer abstrakter

Aber:

- In Programmen sind Daten (-objekte) genauso wichtig wie Algorithmen
- Ein Programm beinhaltet typischerweise viele Algorithmen und Objektstrukturen

Aus was ein Algorithmus besteht

Grundlegende Schritte:

- Featureaufruf $x.f(a)$
- Zuweisung
- ...

(Eigentlich nicht viel mehr)

Abfolge dieser grundlegenden Schritte:

KONTROLLSTRUKTUREN

Kontrollstrukturen

Definition: Ein Programmkonstrukt, welches den Ablauf von Programmschritten beschreibt

Drei fundamentale Kontrollstrukturen:

- Sequenz
- Schleife
- Konditional

Diese sind die

"Kontrollstrukturen des ***strukturierten Programmierens***"

Kontrollstrukturen als Techniken zur Problemlösung

Sequenz: „Um von *C* aus *A* zu erreichen, erreiche zuerst das Zwischenziel B von *A* aus, und dann *C* von B ausgehend"

Schleife: „Löse das Problem mithilfe von aufeinanderfolgenden Annäherungen der Input-Menge"

Konditional: „Löse das Problem separat für zwei oder mehrere Teilmengen der Input-Menge"

Die Sequenz (auch: Verbund (*Compound*))

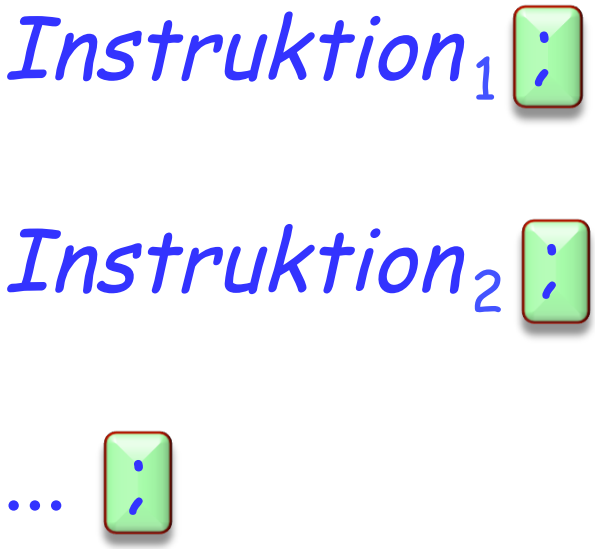
Instruktion$_1$

Instruktion$_2$

...

Instruktion$_n$

Eiffel: Das Semikolon als optionale Trennung

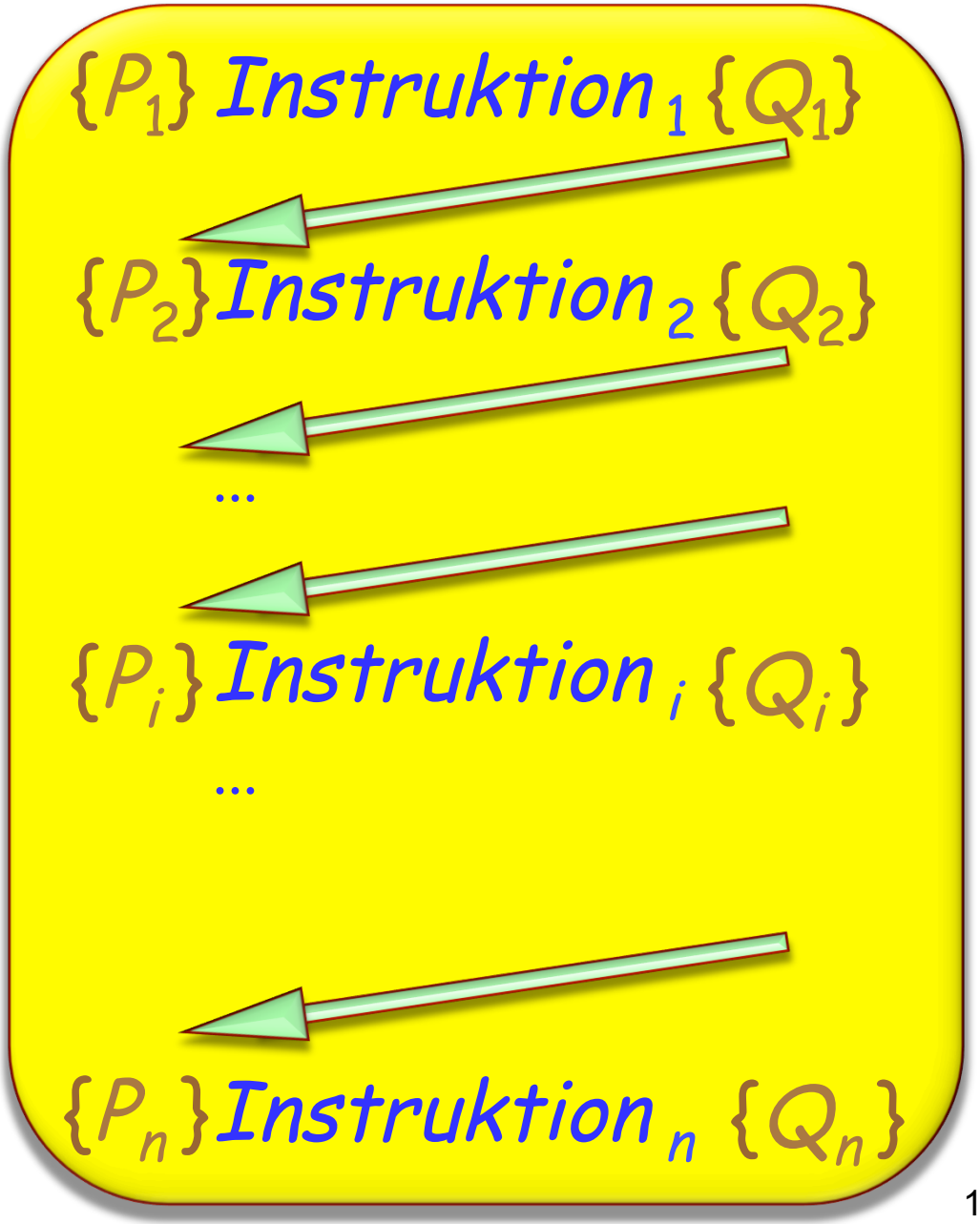


Korrektheit eines Verbunds

Die Vorbedingung von *Instruktion*$_1$ muss zu Beginn erfüllt sein

Die Nachbedingung von *Instruktion*$_i$ muss die Vorbedingung von *Instruktion*$_{i+1}$ implizieren

Das Schlussresultat ist die Nachbedingung von *Instruktion*$_n$



Konditional (Bedingte Instruktion)

```
if
        Bedingung                   -- Boole'scher Ausdruck
then
        Instruktionen               -- Verbund
else
        Andere_Instruktionen        -- Verbund
end
```

Das Maximum von zwei Zahlen ermitteln

```
if
        a > b
then
        max   := a
else
        max   := b
end
```

Als Feature (Abfrage)

In einer beliebigen Klasse:

```
greater (a, b : INTEGER): INTEGER
            -- Das Maximum von a und b.
    do
        if
            a > b
        then
            Result := a
        else
            Result := b
        end
    end
```

Typische Aufrufe

```
i, j, k, m, n: INTEGER

...

m := greater (25, 32)

n := greater (i + j, k)
```

Nicht im O-O Stil

In einer beliebigen Klasse:

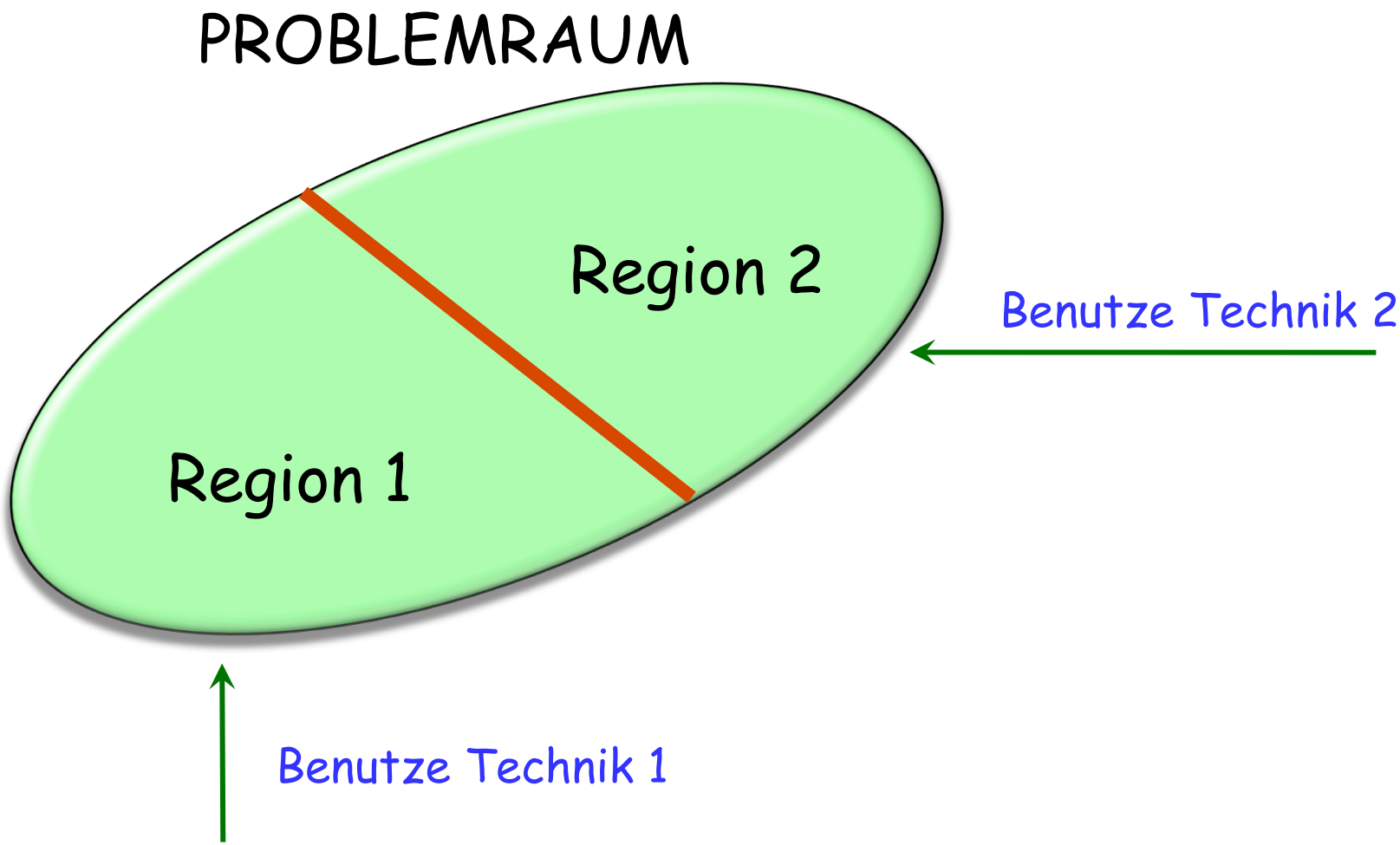
```
greater (a, b : INTEGER): INTEGER
            -- Das Maximum von a und b.
    do
        if
            a > b
        then
            Result := a
        else
            Result := b
        end
    end
```

Im O-O Stil

In einer Klasse *DATE*:

```
later (d: DATE): DATE
                -- Das Späteste von Current und d.
        do
                if
                        d > Current
                then
                        Result := d
                else
                        Result := Current
                end
        end
```

Der Konditional als Technik zur Problemlösung



Grundform

```
if Bedingung then
        Instruktionen
else
        andere_Instruktionen
end
```

Eine Variante des Konditionals

```
if Bedingung then
   Instruktionen
end
```

Ist semantisch äquivalent zu

```
if Bedingung then
   Instruktionen
else
end
```

Leere Klausel

Früheres Beispiel

```
later (d: DATE): DATE
            -- Das Späteste von Current und d.
        do
            if d > Current then
                Result := d
            else
                Result := Current
            end
        end
```

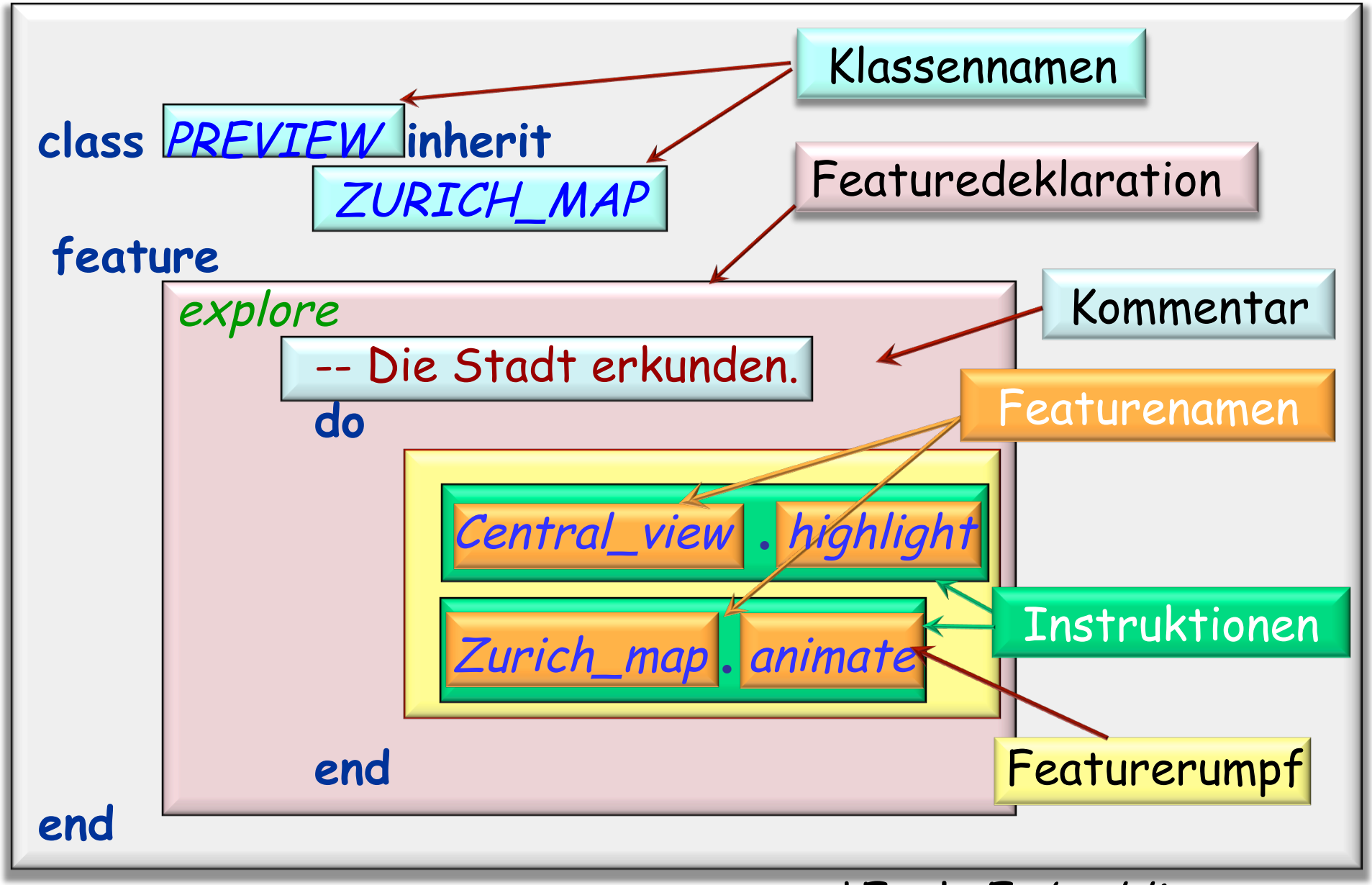
Eine mögliche Variante

```
later (d: DATE): DATE
            -- Das Späteste von Current und d.
        do
            Result := Current
            if d > Current then
                Result := d
            end
        end
```

Ein anderes Beispiel

```
is_greater (a, b : INTEGER): BOOLEAN
            -- Ist a grösser als b?
    do
        if
            a > b
        then
            Result := True
        end
    end
```

Erinnerung: Verschachtelung* (von Lektion 3)



*Engl: *Embedding*

Verschachtelung von bedingten Instruktionen

```
if Bedingung1 then
      Instruktionen1
else
      if Bedingung2 then
            Instruktionen2
      else
            if Bedingung3 then
                  Instruktionen3
            else
                  if Bedingung4 then
                        Instruktionen4
                  else
                        . . .
                  end
            end
      end
end
```

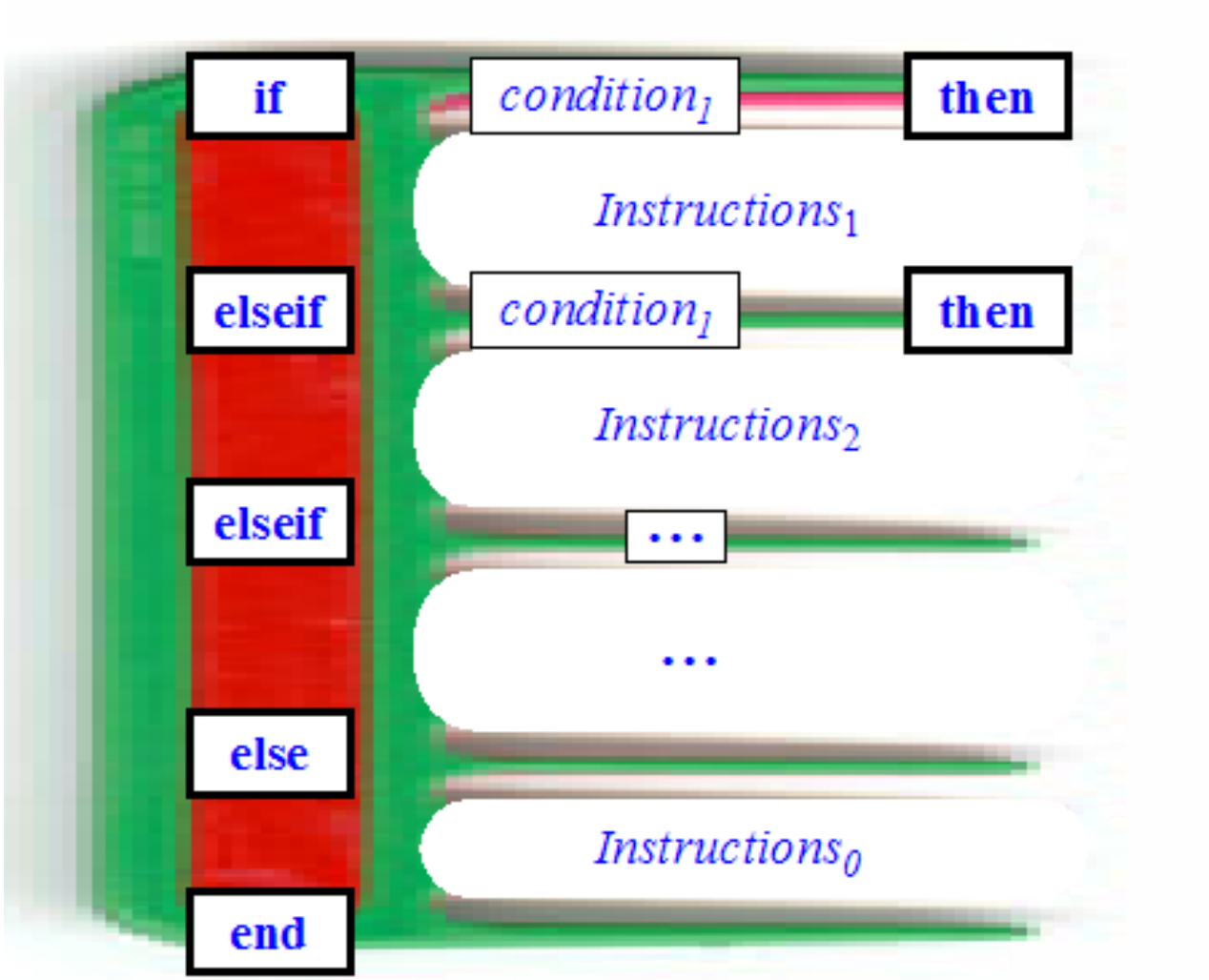
Eine verschachtelte Struktur

Eine Kamm-ähnliche Struktur

Kamm-ähnlicher Konditional

```
if Bedingung1 then
      Instruktionen1
elseif Bedingung2 then
      Instruktionen2
elseif Bedingung3 then
      Instruktionen3
elseif

      ...
else
      Instruktionen0
end
```

Eine Kamm-ähnliche Struktur



Auch in Eiffel: «Inspect» (Multi-branch)

```
inspect
        eingabe
when "E" then
        Instruktionen1
when "K" then
        Instruktionen2
...
else
        Instruktionen0
end
```

CHARACTER oder INTEGER

Falls **else**-Zweig fehlt oder kein anderer Zweig zutrifft: Ausnahme

Weitere Themen zu Kontrollstrukturen

- Schleifen und ihre Invarianten
- Was braucht es, um sicherzustellen, dass eine Schleife terminiert?
- Ein Blick auf das allgemeine Problem der Schleifen- und Programmterminierung
- Kontrollstrukturen auf einer tieferen Ebene: "Goto" und Flussdiagramme (flowcharts); siehe Argument für die „Kontrollstrukturen der strukturierten Programmierung"
- Die Unentscheidbarkeit des Entscheidungsproblems beweisen

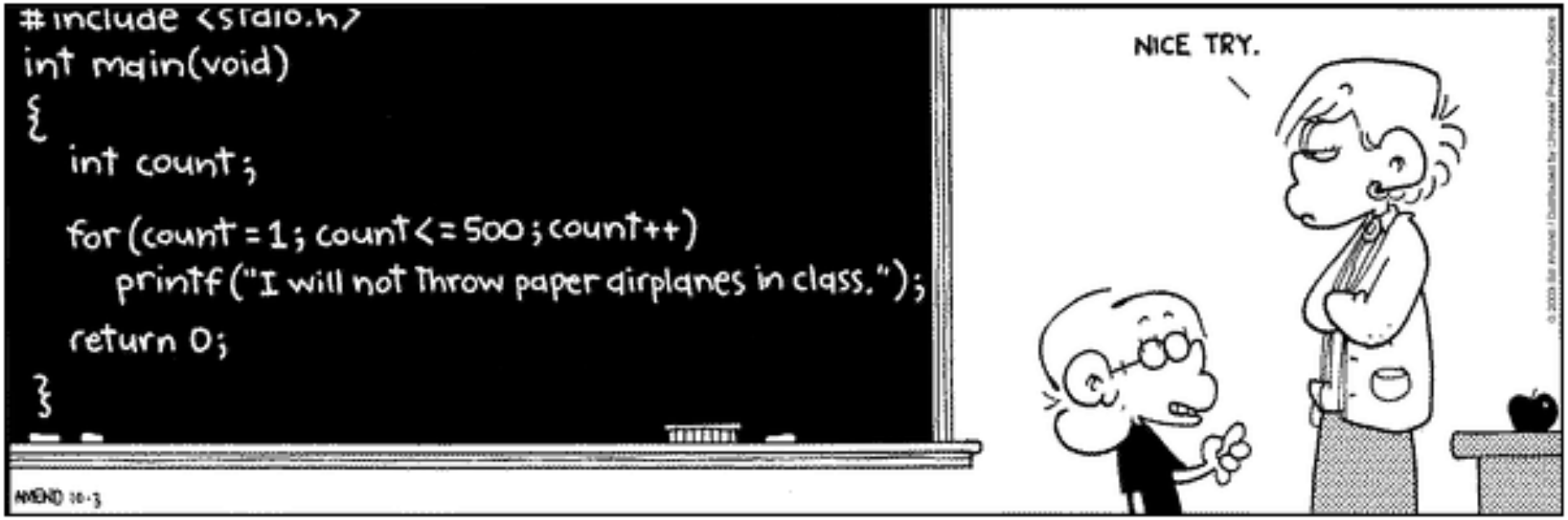
Die Schleife

```
from
        Initialisierung                 -- Verbund

until
        Abbruchbedingung -- Boole'scher Ausdruck
loop
        Rumpf                   -- Verbund
end
```

Die volle Form der Schleife

```
from
        Initialisierung                 -- Verbund
invariant
        invarianter Ausdruck            -- Boole'scher Ausdruck
variant
        varianter Ausdruck-- Integer-Ausdruck
until
        Abbruchbedingung -- Boole'scher Ausdruck
loop
        Rumpf                   -- Verbund (Schleifenrumpf)
end
```

Eine andere Schleifensyntax



Schleifenformen (in verschiedenen Sprachen)

```
from                    -- Eiffel
        Initialisierung
until
        Bedingung
loop
        Rumpf
end
```

```
while Bedingung do
        Instruktionen
end
```

```
repeat
        Instruktionen
until
        Bedingung
end
```

```
across                          -- Eiffel
        Struktur as var
loop
        Instruktionen -- Auf var
end
```

```
for i : a..b do
        Instruktionen
end
```

```
for (Instruktion; Bedingung; Instruktion) do
        Instruktionen
end
```

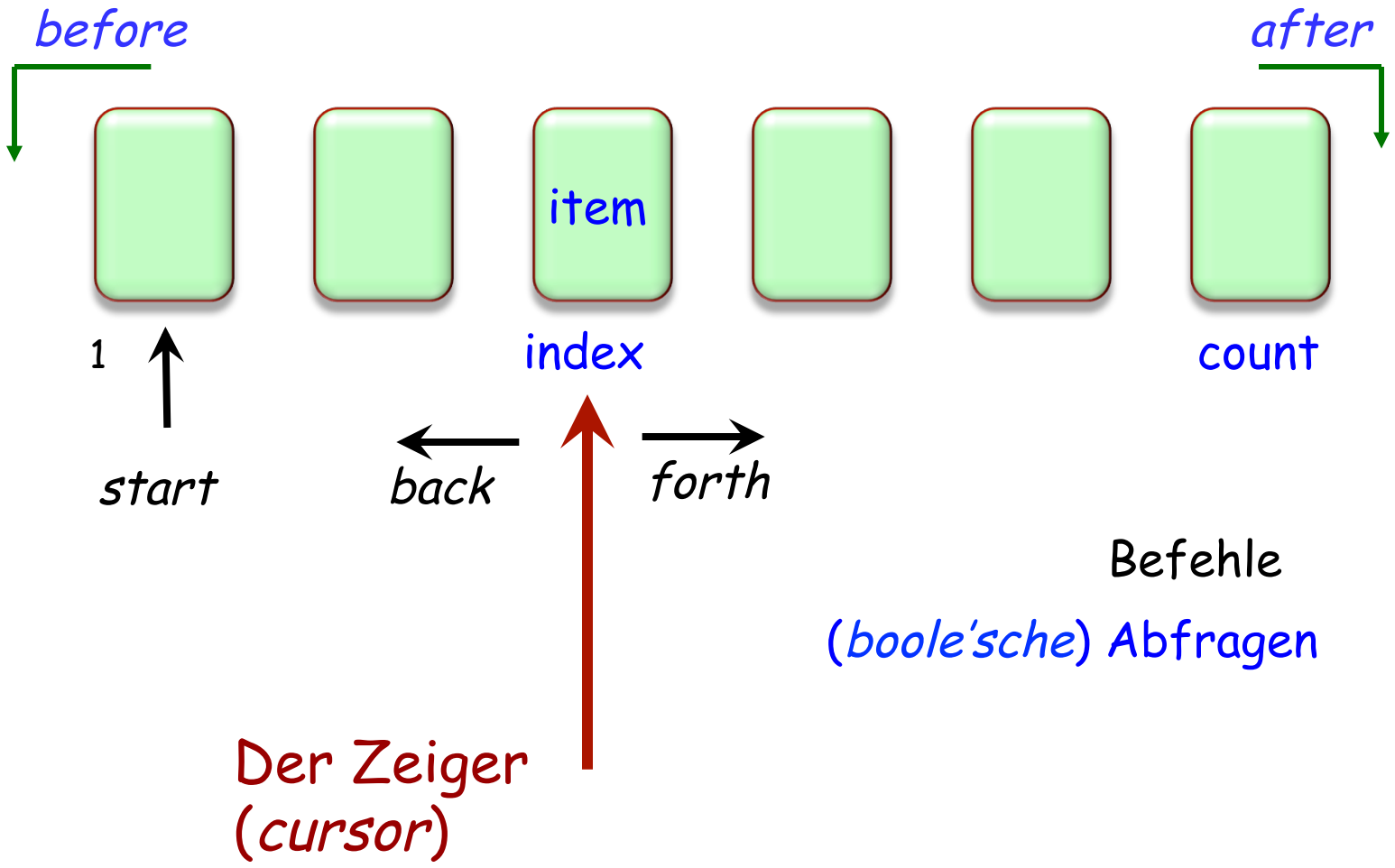
In Eiffel (volle Form)

```
from
        Initialisierung                 -- Verbund
invariant
        invarianter Ausdruck            -- Boole'scher Ausdruck
variant
        varianter Ausdruck-- Integer-Ausdruck
until
        Abbruchbedingung -- Boole'scher Ausdruck
loop
        Rumpf                   -- Verbund (Schleifenrumpf)
end
```

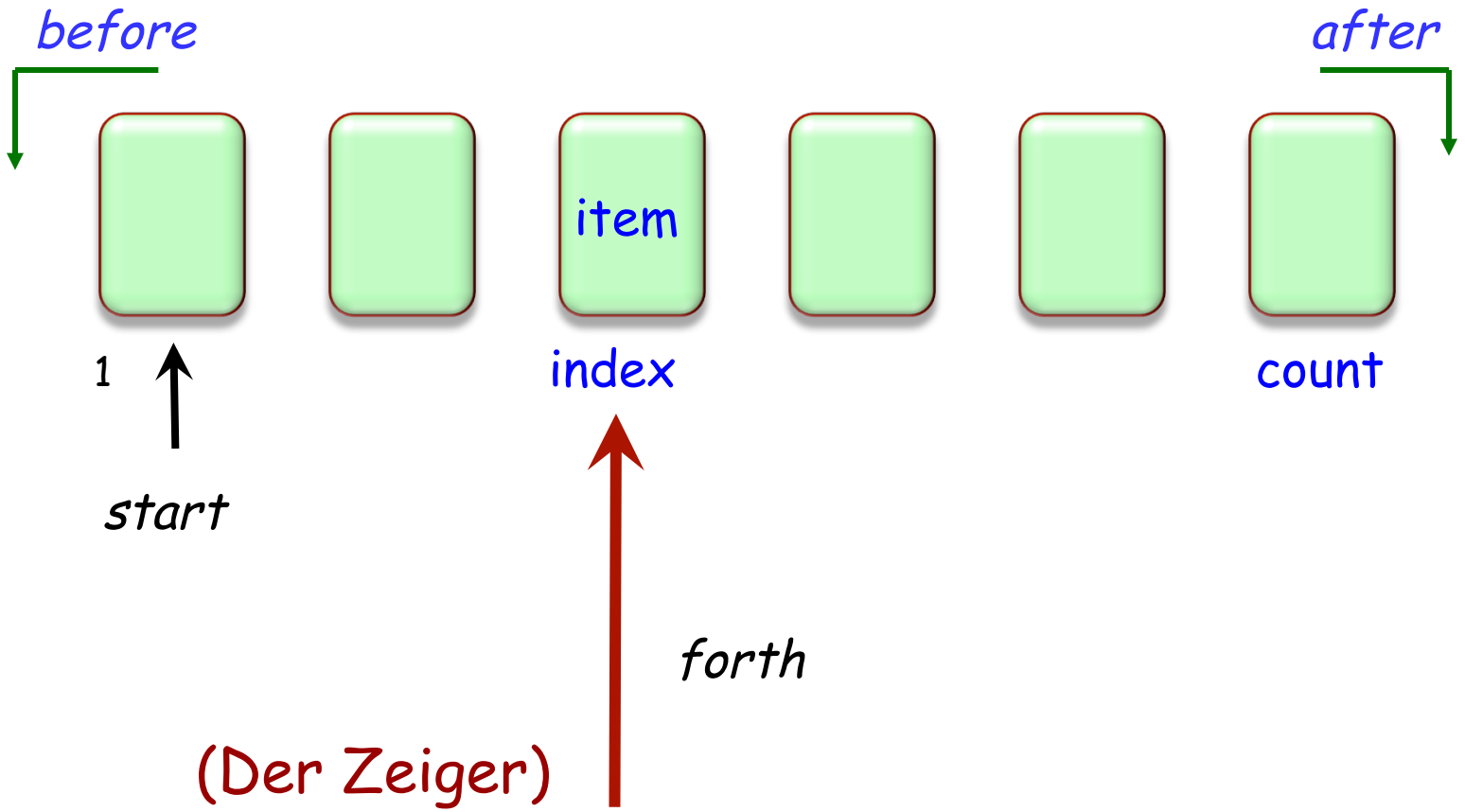
Über Stationen einer Linie iterieren („loopen“)

```
from
        Line8.start
until
        Line8.after
loop
        -- "Mach was mit Line8.item."
        Line8.forth
end
```

Auf eine Liste anwendbare Operationen



Auf eine Liste anwendbare Operationen



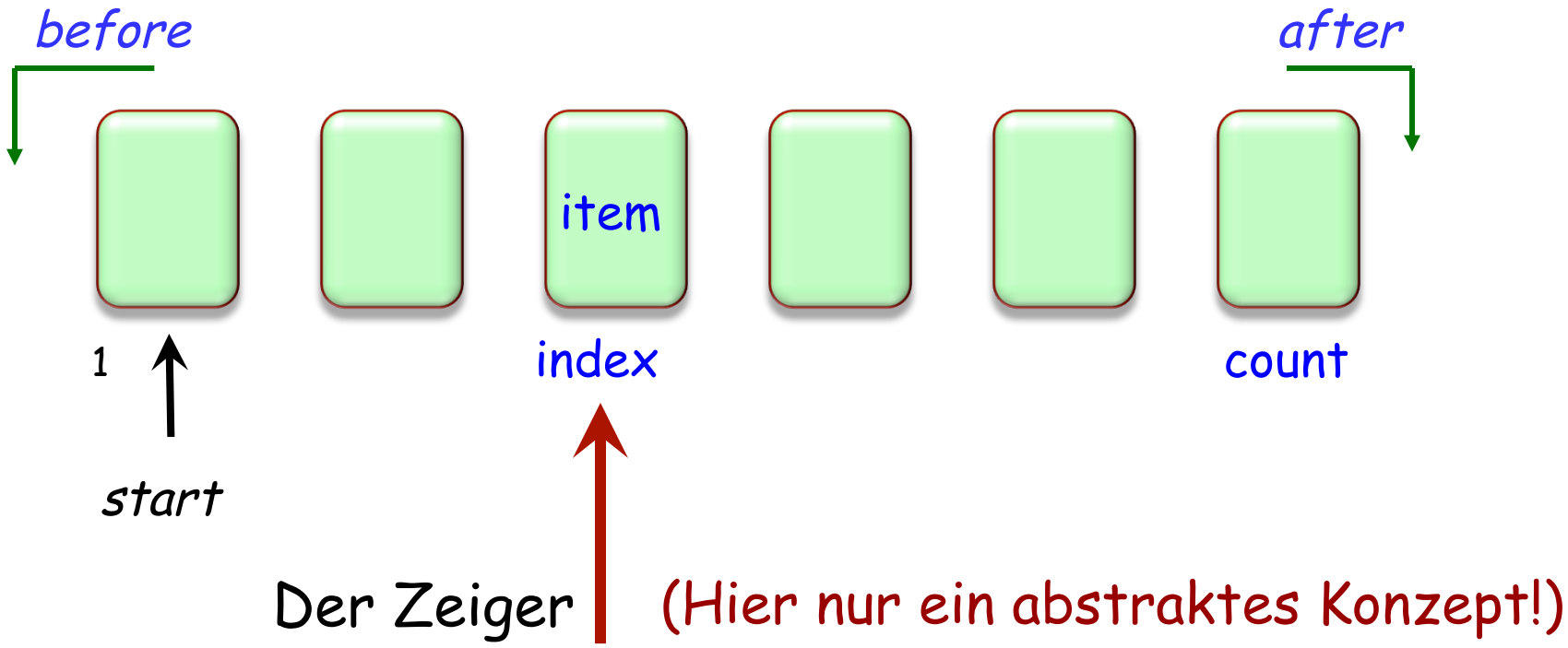
Das Problem mit internen Zeigern

```
has_duplicates: BOOLEAN
        -- Hat Linie 8 Duplikate?
    local
        s: STATION
    do
        from
            Line8.start
        until
            Line8.after or Result
        loop
            s := Line8.item
            Line8.forth
            -- Überprüfen, ob s nochmals in der Linie vorkommt:
            Line8.search (s)
            Result := not Line8.after
        end
    end
```

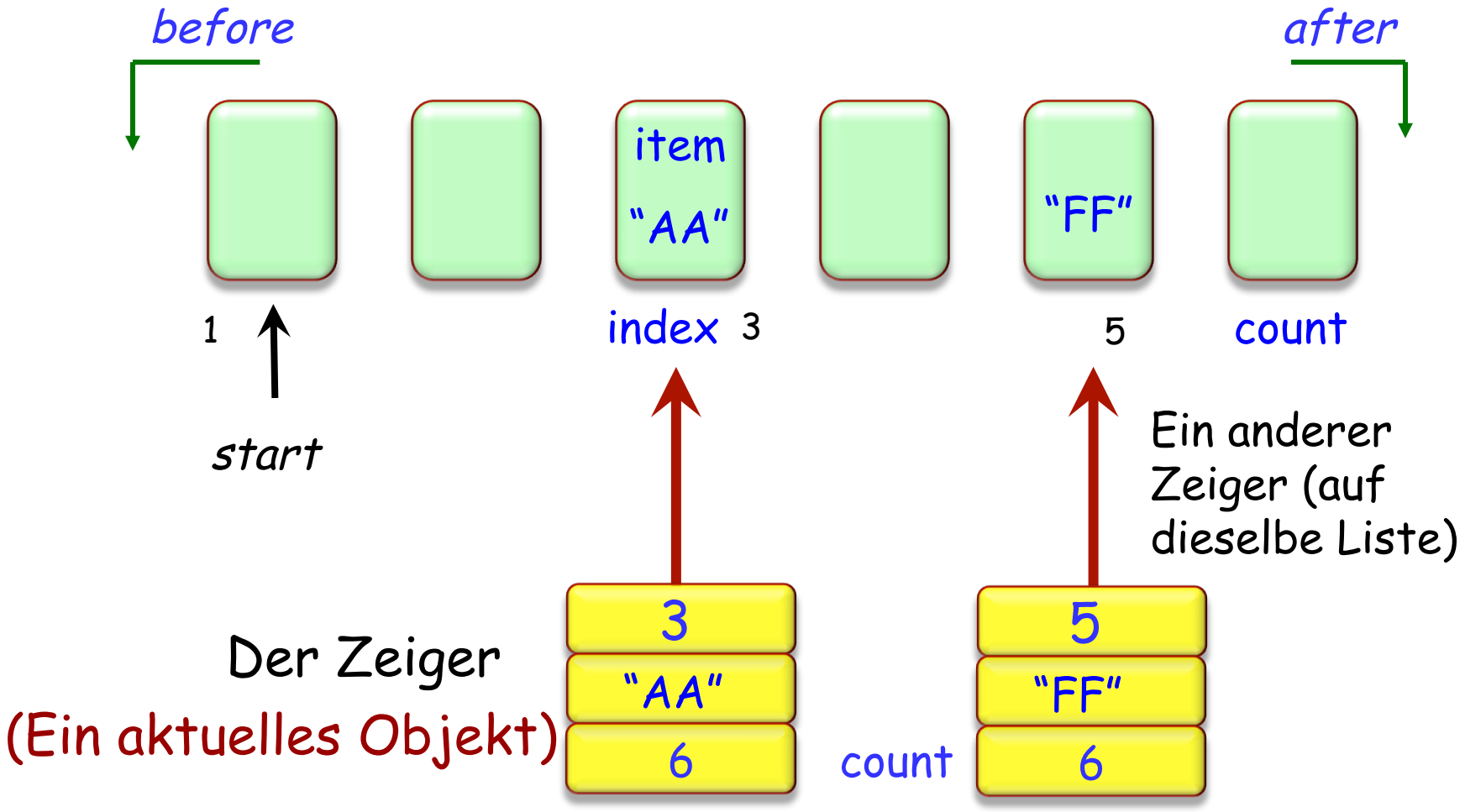
Die Zeigerposition muss immer gespeichert und wiederhergestellt werden

search verändert den Zeiger ebenfalls!

Listen mit internem Zeiger



Listen mit externem Zeiger



Über Stationen einer Linie iterieren (1)

Mit internem Zeiger (Erinnerung):

```
from
        Line8.start
until
        Line8.after
loop
        -- "Mach was mit Line8.item."
        Line8.forth
end
```

Über Stationen einer Linie iterieren (2)

Mit externem Zeiger:

Die Zeiger-Variable

```
local
        c : like Line8.new_cursor
do
        from
                c := Line8.new_cursor
        until
                c.after
        loop
                -- "Mach was mit c.item"
                c.forth
        end
end
```

Derselbe Typ wie *Line8.new_cursor*

Ein neu erzeugter Zeiger, der auf das erste Element zeigt

Über Stationen einer Linie iterieren (3)

```
across
        Line8 as c
loop
        -- "Mach was mit c.item"
end
```

Die gleiche Wirkung wie (2), aber kürzer!

Die Stationsnamen anzeigen

```
across
        Line8 as c
loop
        -- Den Namen der aktuellen Station anzeigen.
        console.output (c.item)
end
```

Ein anderes Beispiel

```
-- Alle Anschluss-Stationen der Linie 8 anzeigen:
across
    Line8 as c
loop
    if c.item.is_exchange then
        console.output (c.item)
        Zurich_map.station_view (c.item.name).highlight
    end
end
```

Das „Maximum“ der Stationsnamen berechnen

```
Result := ""
across
    Line8 as c
loop
    Result := greater (Result, c.item.name)
end
```

Das (alphabetische) Maximum zweier Zeichenketten berechnen, z.B.

greater ("ABC ", "AD ") = "AD"

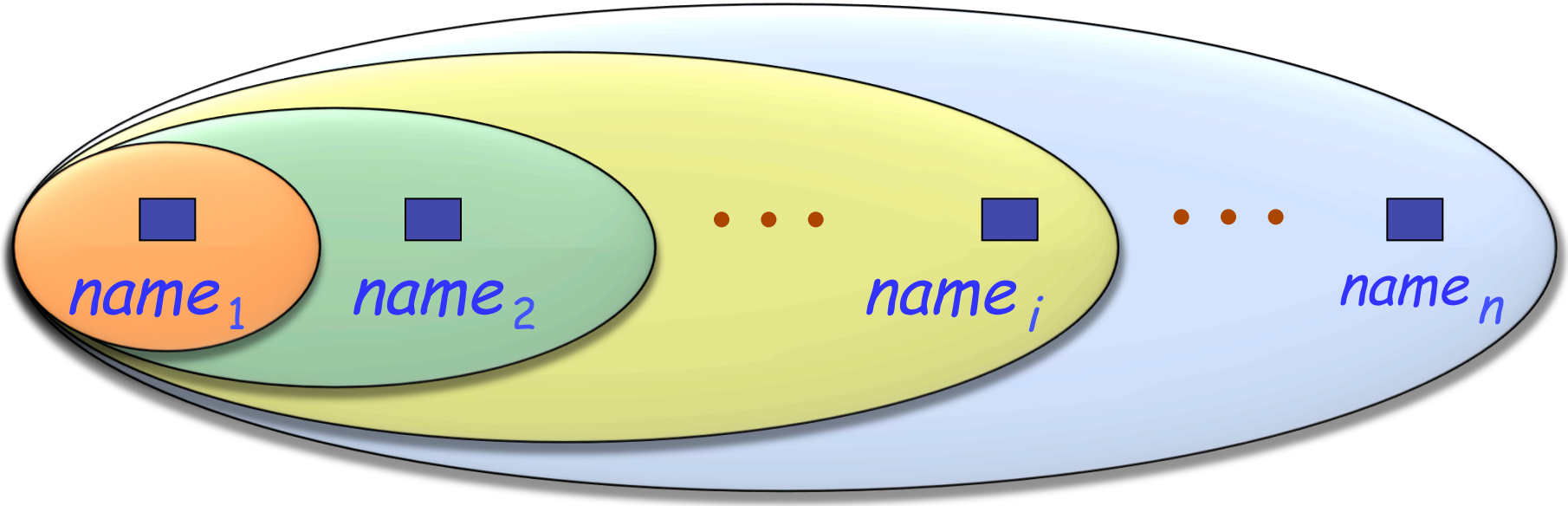
„Maximum“ zweier Zeichenketten

```
greater (a, b : STRING): STRING
            -- Das Maximum von a und b.
        do
            if
                a > b
            then
                Result := a
            else
                Result := b
            end
        end
```

In einem Feature

```
highest_name: STRING
        -- Alphabetisch grösster Stationsname der Linie.
    do
        Result := ""
        across
            Line8 as c
        loop
            Result := greater (Result, c.item.name)
        end
    end
```

Schleifen als Annäherungsstrategie



Result = *name* $_1$ = Max (*names* $_{1..1}$)

Result = Max (*names* $_{1..2}$)

Teil

Result = Max (*names* $_{1..i}$)

Result = Max (*names* $_{1..n}$)

Schleifenrumpf:

```
i := i + 1
Result := greater
          (Result , c.item.name)
```

Nachbedingung?

```
highest_name: STRING
        -- Alphabetisch grösster Stationsname der Linie.
    do
        Result := ""
        across
            Line8 as c
        loop
            Result := greater (Result, c.item.name)
        end
    ensure
        Result /= Void
        -- Result ist der alphabetisch grösste Stationsname
        -- der Linie
    end
```

Das „Maximum“ der Stationsnamen berechnen

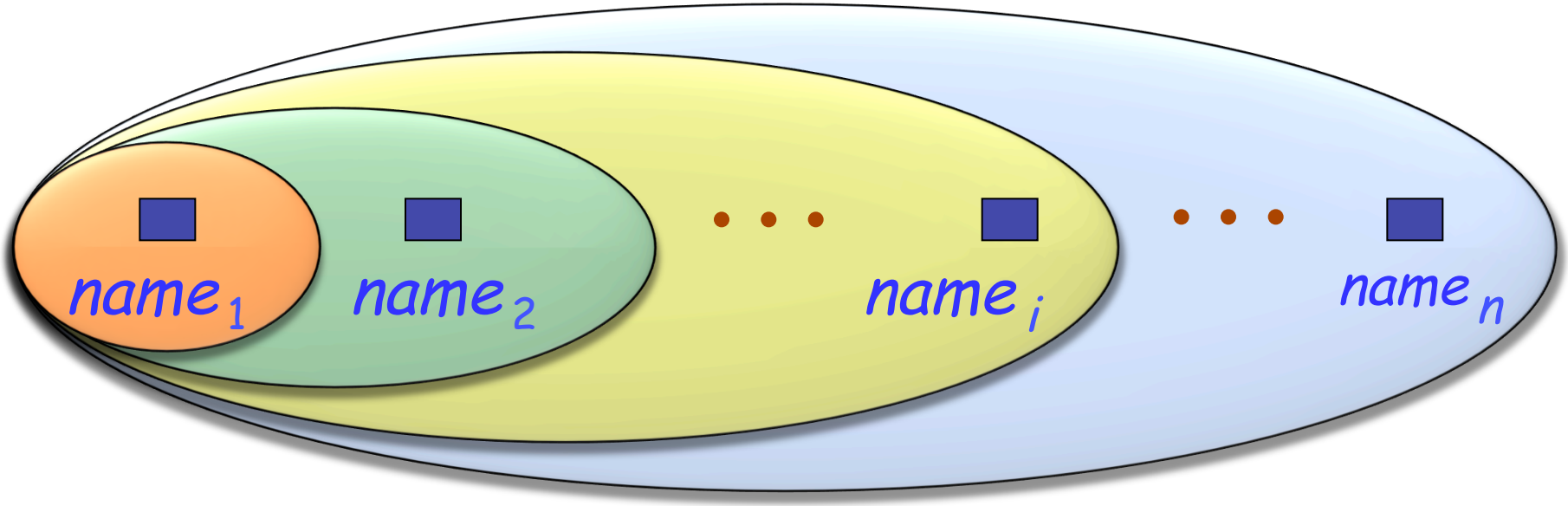
```
from
        c := Line8.new_cursor ; Result := ""
until
        c.after




loop
        Result := greater (Result, c.item.name)
        c.forth
ensure
        -- Result ist der alphabetisch grösste Stationsname der Linie.
end
```

Die Schleifeninvariante

```
from
        c := Line8.new_cursor ; Result := ""
until
        c.after
invariant
        c.index >= 1
        c.index <= Line8.count + 1
        -- Result ist der alphabetisch grösste Name aller
        -- bisherigen Stationen
loop
        Result := greater (Result, c.item.name)
        c.forth
ensure
        -- Result ist der alphabetisch grösste Stationsname der Linie

end
```

Fehlt etwas?

Schleifen als Annäherungsstrategie



Result = *name* $_1$ = Max (*names* $_{1..1}$)

Result = Max (*names* $_{1..2}$)

Schleifenrumpf:

```
i := i + 1
Result := greater
          (Result , c.item.name)
```

Result = Max (*names* $_{1..i}$)

Schleifeninvariante

Result = Max (*names* $_{1..n}$)

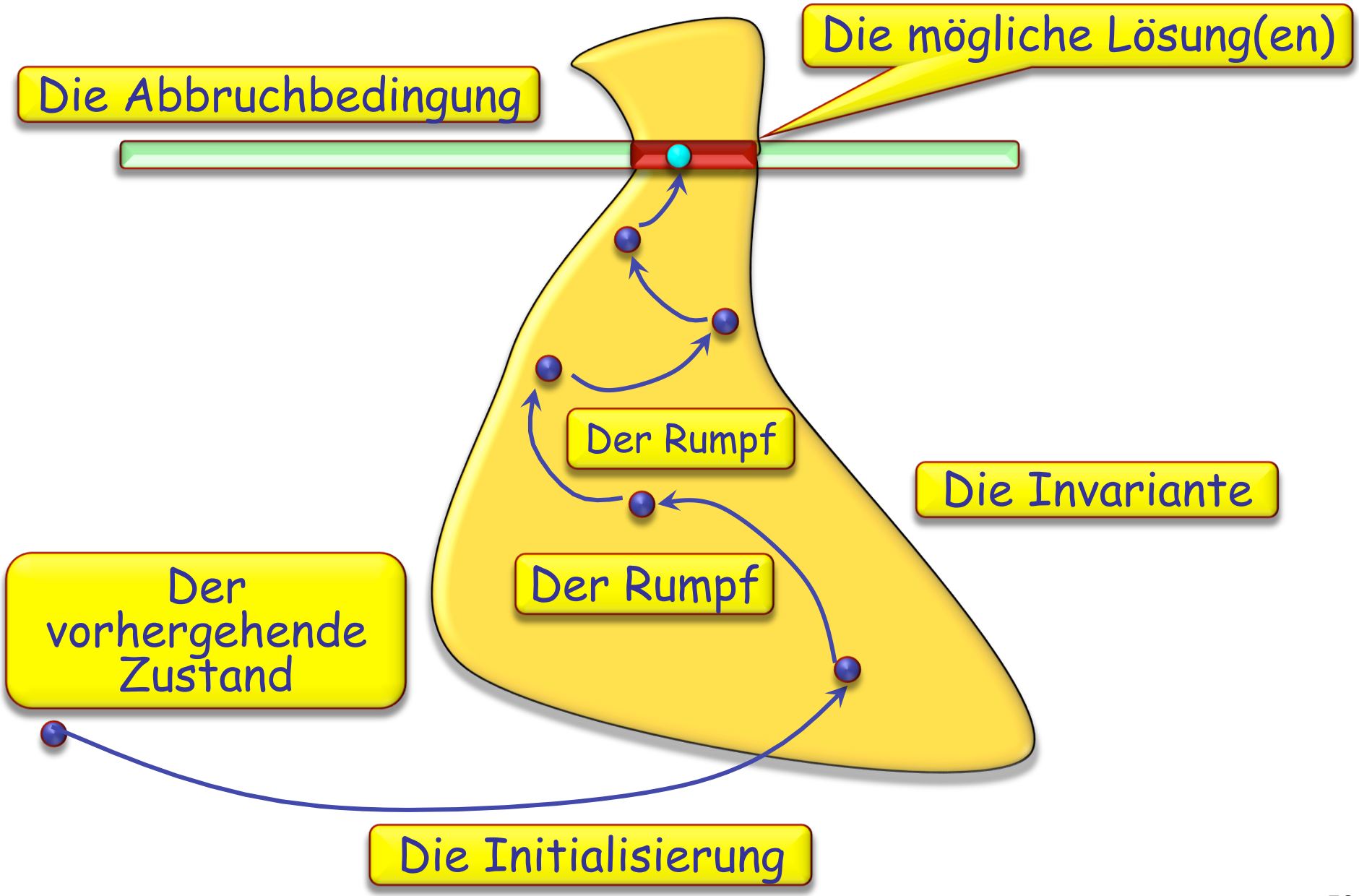
Die Schleifeninvariante

(Nicht zu verwechseln mit der Klasseninvariante)

Eine Eigenschaft, die:

- Nach der Initialisierung (**from**-Klausel) erfüllt ist
- Von jedem Schleifendurchlauf (**loop**-Klausel), bei der die Ausstiegsbedingung (**until**-Klausel) *nicht* erfüllt ist, eingehalten wird
- Wenn die Ausstiegsbedingung erfüllt ist, das gewünschte Ergebnis sicherstellt

Die Schleifeninvariante



Die Schleifeninvariante

```
from
        c := Line8.new_cursor ; Result := ""
until
        c.after
invariant
        c.index >= 1
        c.index <= Line8.count
        -- Result ist der alphabetisch grösste Name aller
        -- bisherigen Stationen
loop
        Result := greater (Result, c.item.name)
        c.forth
ensure
        -- Result ist der alphabetisch grösste Stationsname der Linie
end
```

Result = Max ($names_{1..i}$)

Die Schleifeninvariante

```
from
        c := Line8.new_cursor ; Result := ""
until
        c.after
invariant
        c.index >= 1
        c.index <= Line8.count
        -- Falls es bisherige Stationen gibt, ist
        -- Result der alphabetisch grösste ihrer Namen.
loop
        Result := greater (Result, c.item.name)
        c.forth
ensure
        -- Result ist der alphabetisch grösste Stationsname, falls es
        -- eine Station gibt.
end
```

Result = Max ($names_{1..i}$)

Der Effekt einer Schleife

```
from
        c := Line8.new_cursor ; Result := ""
invariant
        c.index >= 1
        c.index <= Line8.count + 1
        -- Result ist der grösste der bisherigen Namen.
until
        c.after
loop
        Result := greater (Result, c.item.name)

        c.forth
end
```

Invariante nach der Initialisierung erfüllt.

Ausstiegsbedingung am Ende erfüllt

Invariante nach jedem Durchlauf erfüllt.

Am Schluss: Invariante **and** Ausstiegsbedingung

- Alle Stationen besucht (*c.after*)
- **Result** ist der "grösste" Stationsname

Quiz: Finde die Invariante

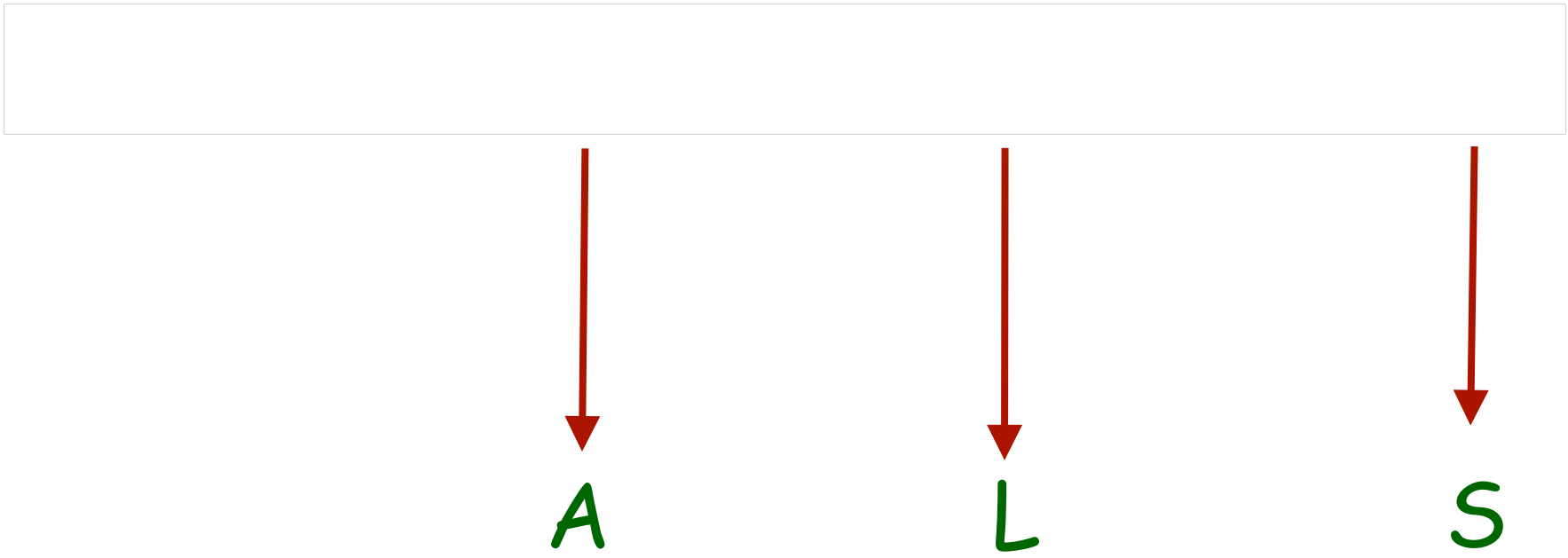
```
xxxx (a, b : INTEGER): INTEGER
        -- ????????????????????????????????
    require
        a > 0 ; b > 0
    local
        m, n : INTEGER
    do
         from
                m := a ; n := b
        invariant
                -- "????????"
        variant
                ????????
        until  m = n loop
                if  m > n  then
                        m := m - n
                else
                        n := n - m
                end
        end
        Result := m
    end
```

Quiz: Finde die Invariante

```
euclid (a, b : INTEGER): INTEGER
        -- Grösster gemeinsamer Teiler von a und b.
    require
        a > 0 ; b > 0
    local
        m, n : INTEGER
    do
         from
                m := a ; n := b
        invariant
                -- "????????"
        variant
                ????????
        until
                m = n
        loop
                if m > n then
                        m := m - n
                else
                        n := n - m
                end
        end
        Result := m
    end
```

Levenshtein-Distanz

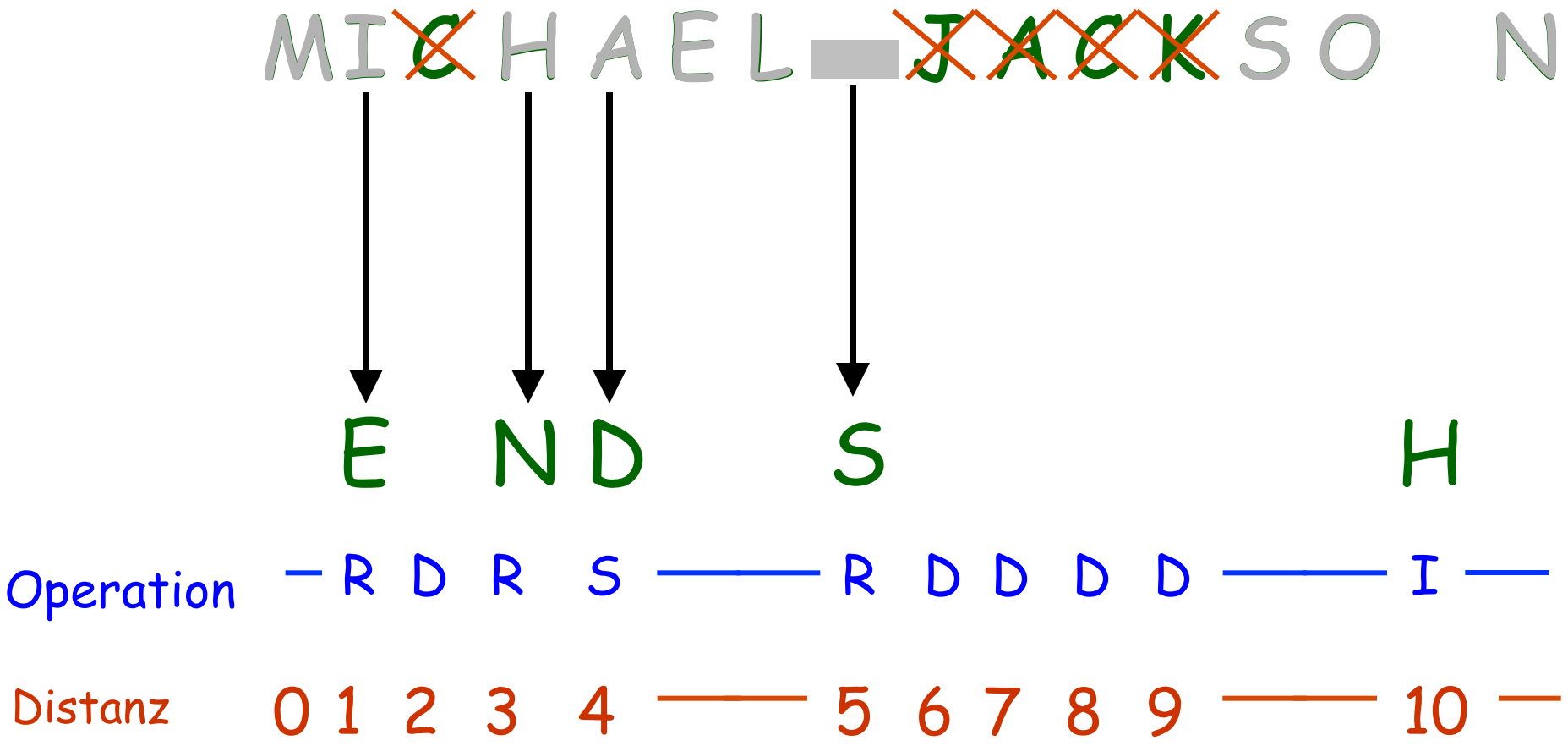
Von "Beethoven" nach "Beatles"?



Operation	–	–	R	–	D	R	D	–	R
Distanz	0	0	1	1	2	3	4	4	5

Ein weiteres Beispiel

Von "Michael Jackson" nach "Mendelssohn"



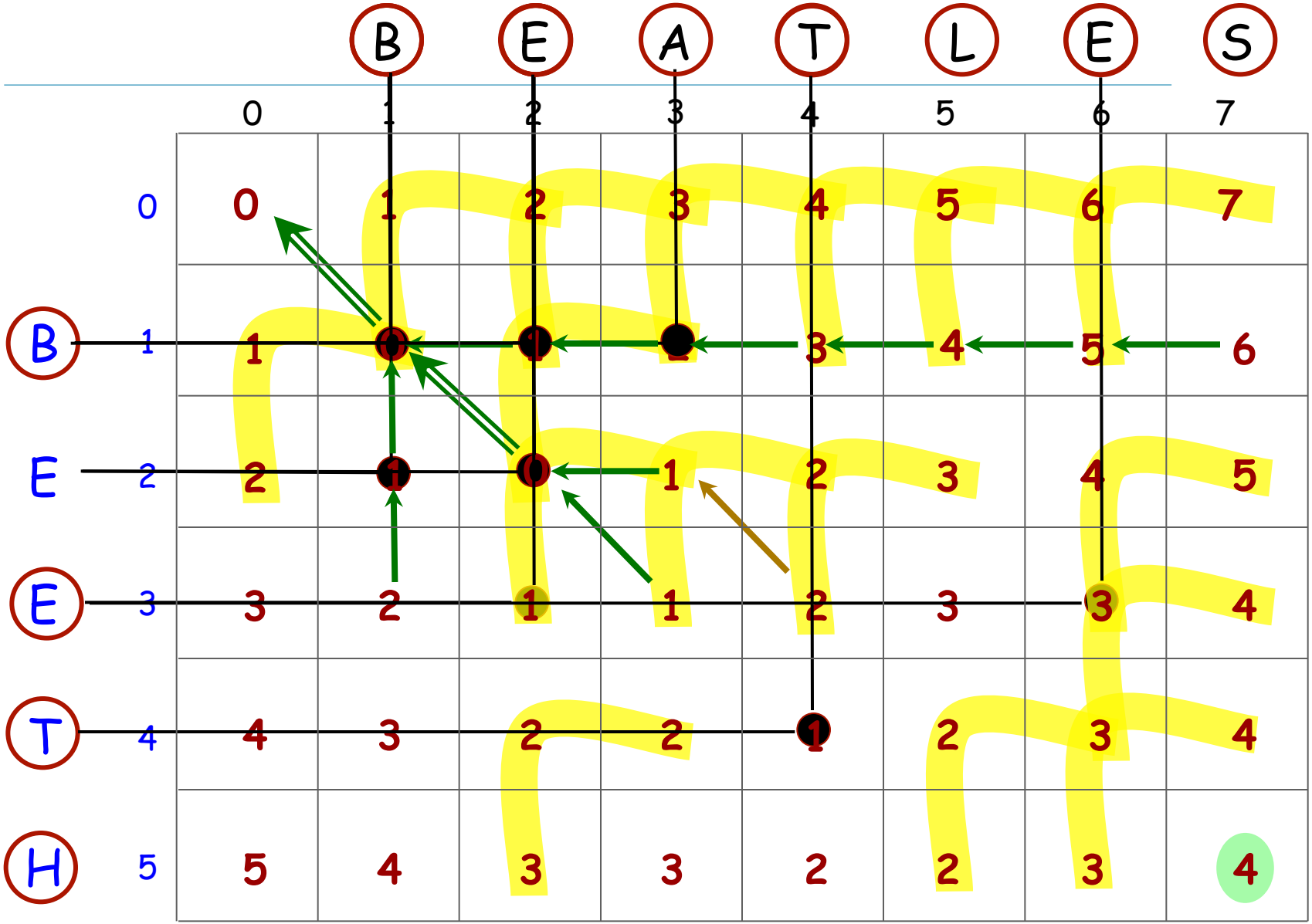
Levenshtein-Distanz

Auch als „Editierdistanz“ (*edit distance*) bekannt

Zweck: Die kleinste Menge von Grundoperationen

- Einfügung (**I** - insertion)
- Löschung (**D** - deletion)
- Ersetzung (**R** - replacement)

bestimmen, so dass aus einer Zeichenkette eine andere wird


B E A T L E S
0 1 2 3 4 5 6 7
0 0 1 2 3 4 5 6 7
B 1 1 0 1 2 3 4 5 6
E 2 2 1 0 1 2 3 4 5
E 3 3 2 1 1 2 3 3 4
T 4 4 3 2 2 1 2 3 4
H 5 5 4 3 3 2 2 3 4

Der Levenshtein-Distanz-Algorithmus (1)

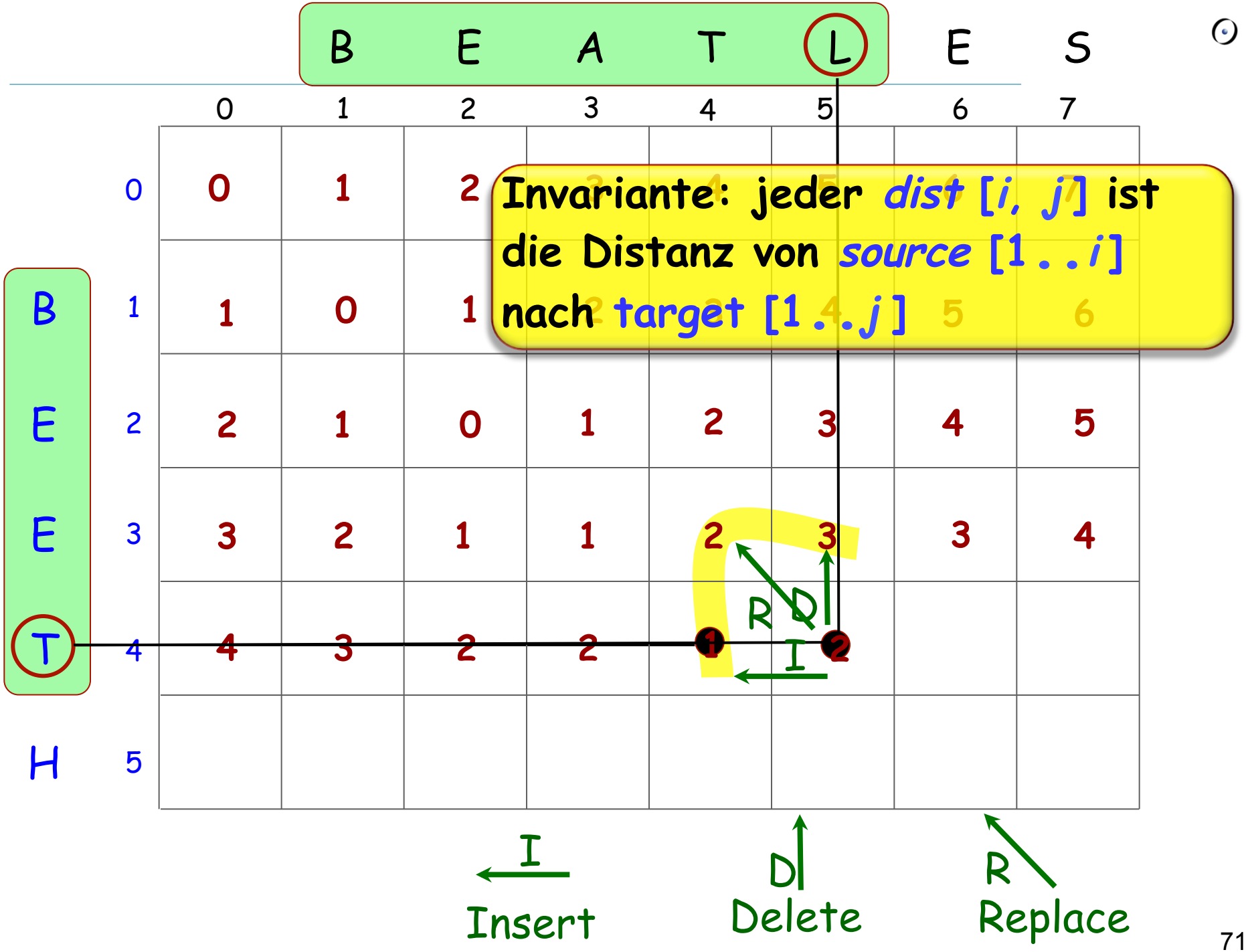
```
distance (source, target: STRING): INTEGER
        -- Minimale Anzahl Operationen, um  source in target
        -- umzuwandeln.
    local
        dist : ARRAY_2 [INTEGER]
        i, j, del, ins, subst : INTEGER
    do
        create dist.make (source.count, target.count)
        from i := 0 until i > source.count loop
            dist [i, 0] := i  ; i := i + 1
        end

            from j := 0 until j > target.count loop
                dist [0, j ] := j  ; j := j + 1
        end
        -- (Fortsetzung folgt)
```

Der Levenshtein-Distanz-Algorithmus (2)

```
from i := 1 until i > source.count loop
    from j := 1 until j > target.count invariant
    ???
    loop
        if source [i] = target [j] then
            dist [i, j] := dist [i -1, j -1]
        else
            deletion := dist [i -1, j]
            insertion := dist [i , j - 1]
            substitution := dist [i - 1, j - 1]
            dist [i, j] := minimum (deletion, insertion, substitution) + 1
        end
        j := j + 1
    end
    i := i + 1
end
Result := dist (source.count, target.count)
end
```

Levenshtein: Die Invariante

```
from i := 1 until i > source.count loop
    from j := 1 until j > target.count invariant
        -- Für alle p : 1 .. i, q : 1 .. j –1, können wir source [1 .. p ]
        -- in target [1 .. q ] umwandeln mit dist [p, q ] Operationen.
    loop
        if source [i ] = target [ j ] then
            new := dist [ i -1, j -1]
          else
            deletion := dist [i -1, j ]
            insertion := dist [i , j - 1]
            substitution := dist [i - 1, j - 1]
            new := deletion.min (insertion.min (substitution)) + 1
        end
        dist [i, j ] := new
        j := j + 1
    end
    i := i + 1
end
Result := dist (source.count, target.count)
```


B E A T L E S
0 1 2 3 4 5 6 7
B 0 1 2 3 4 5 6 7
E 1 0 1 2 3 4 5 6
E 2 1 0 1 2 3 4 5
T 3 2 1 1 2 3 3 4
H 4 3 2 2 1 2
5
Invariante: jeder dist [i, j] ist die Distanz von source [1 . . i] nach target [1 . . j]
R
D
I
I
Insert
D
Delete
R
Replace

Wie wissen wir, ob eine Schleife terminiert?

```
from
        c := Line8.new_cursor ; Result := ""
invariant
        c.index >= 1
        c.index <= Line8.count + 1
        -- Result ist der grösste der bisherigen Namen.
until
        c.after
loop
        Result := greater (Result, c.item.name)
        c.forth
end
```

Die Schleifenvariante

Ein Integer-Ausdruck, der

- Nach der Initialisierung (**from**) nicht-negativ ist
- Sich bei jeder Ausführung des Schleifenrumpfs (bei der die Ausstiegsbedingung *nicht* erfüllt ist) um mindestens eins verringert, aber nicht-negativ bleibt

Die Variante in unserem Beispiel

```
from
        c:= Line8.new_cursor ; Result := ""
invariant
        c.index >= 1
        c.index <= Line8.count + 1
        -- Result ist der grösste der bisherigen Namen.
until
        c.after
loop
        Result := greater (Result, c.item.name)
        c.forth
variant
        Line8.count - c.index + 1
end
```

Das allgemeine Entscheidungsproblem

Kann EiffelStudio herausfinden, ob Ihr Programm terminieren wird?

Leider nein ☹

Auch kein anderes Programm kann dies für irgendeine realistische Programmiersprache herausfinden! ☹ ☹ ☹

Das Entscheidungsproblem und Unentscheidbarkeit

("Halting Problem", Alan Turing, 1936)

Es ist nicht möglich, eine effektive Prozedur zu schreiben, die herausfindet, ob ein beliebiges Programm mit beliebigem Input terminieren wird

(Oder, im Speziellen, ob ein beliebiges Programm ohne Input terminiert)

Das Entscheidungsproblem in Eiffel

Nehmen Sie an, wir haben ein Feature

```
terminiert (datei: STRING): BOOLEAN
            -- Ist es der Fall, dass das in datei
            -- gespeicherte Programm terminiert ?
        require
            enthält_programm (datei)
        do
            ... Ihr Algorithmus ...
        end
```

Dann...

Wurzelprozedur des Systems:

```
terminiert_wenn_nicht
        -- Terminiert nur, falls nein.
  do
        from
        until
                not terminiert ("/usr/home/turing.e")
        loop
        end
  end
```

Dann: wir speichern diesen Programmtext in /usr/home/turing.e

Paradoxa in der Logik

Das Paradox von Russel:

- Manche Mengen sind Element von sich selber; die Menge aller unendlichen Mengen ist z.B. selbst unendlich
- Manche Mengen sind nicht Element von sich selbst; die Menge aller endlichen Mengen ist z.B. nicht endlich
- Betrachten sie die Menge aller Mengen, die sich nicht selbst enthalten

Das Barbier-Paradox (Russel, leicht abgeändert)

- In Zürich gibt es eine Friseurin, die alle Frauen schminkt, die sich nicht selbst schminken
- Wer schminkt diese Friseurin?

Das Paradox von Grelling

In der deutschen Sprache ist ein Adjektiv

- "autologisch", falls es sich selbst beschreibt (z.B. "deutsch" oder „mehrsilbig")
- "heterologisch" sonst

Was ist nun mit "heterologisch"?

Eine andere Form:

Die erste Aussage auf dieser Folie, die in rot erscheint, ist falsch

Das Lügner-Paradox

(Sehr alt!)

- Epaminondas sagt, dass alle Kreter Lügner sind
- Epaminondas ist ein Kreter

Das Entscheidungsproblem in der Praxis

Manche Programme terminieren in gewissen Fällen nicht

Das ist ein Bug!

- Ihre Programme sollten in jedem Fall terminieren!
- Benutzen Sie Varianten!

Das generelle Unentscheidbarkeit-Theorem verhindert nicht, die Terminierung eines **spezifischen** Programms zu beweisen

Kontrollstrukturen auf Maschinenebene

Nicht-konditionaler Zweig:

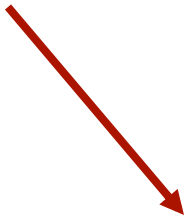
BR *label*

Konditionaler Zweig, z.B.:

BEQ *loc_a loc_b label*

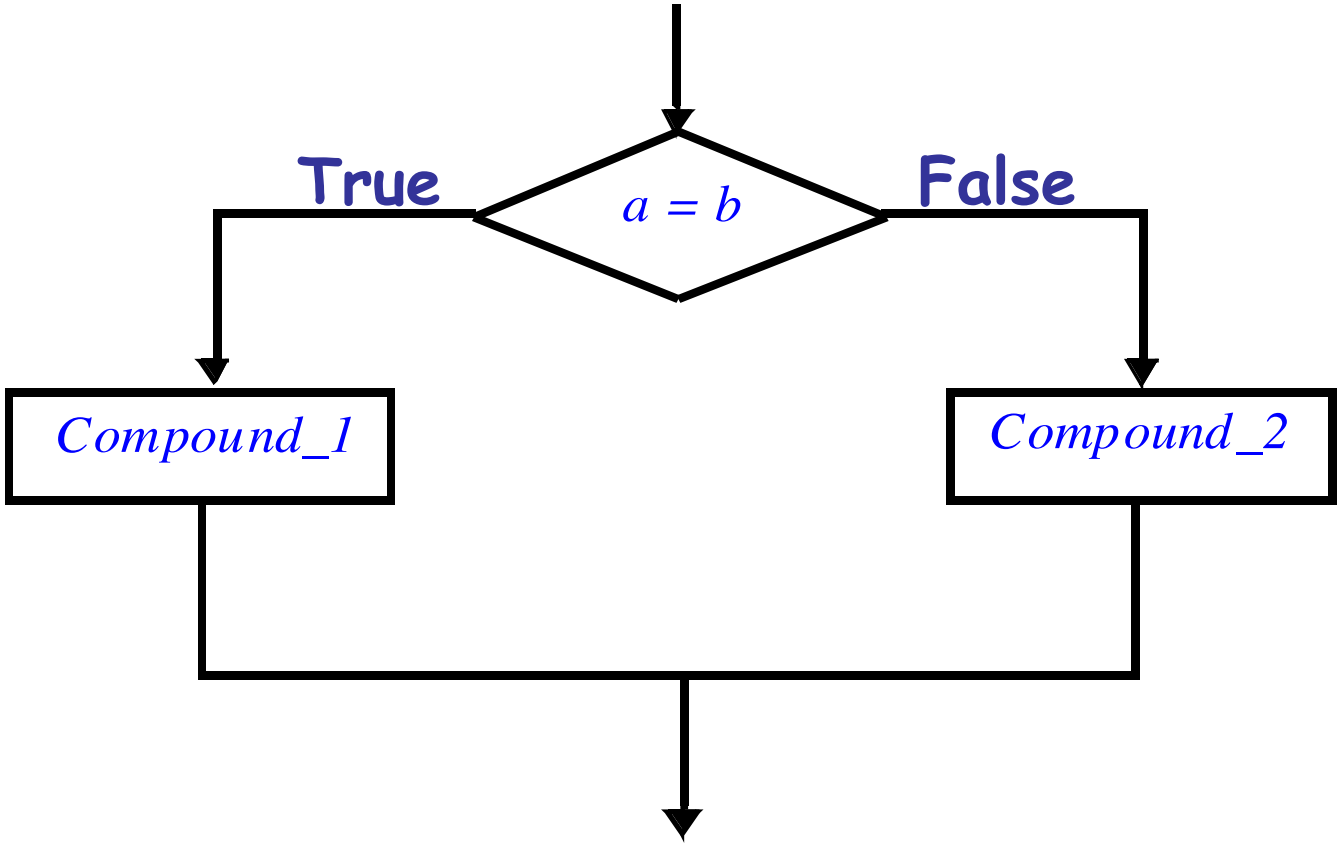
Das Äquivalent zu if-then-else

if *a = b* **then** *Verbund_1* **else** *Verbund_2* **end**



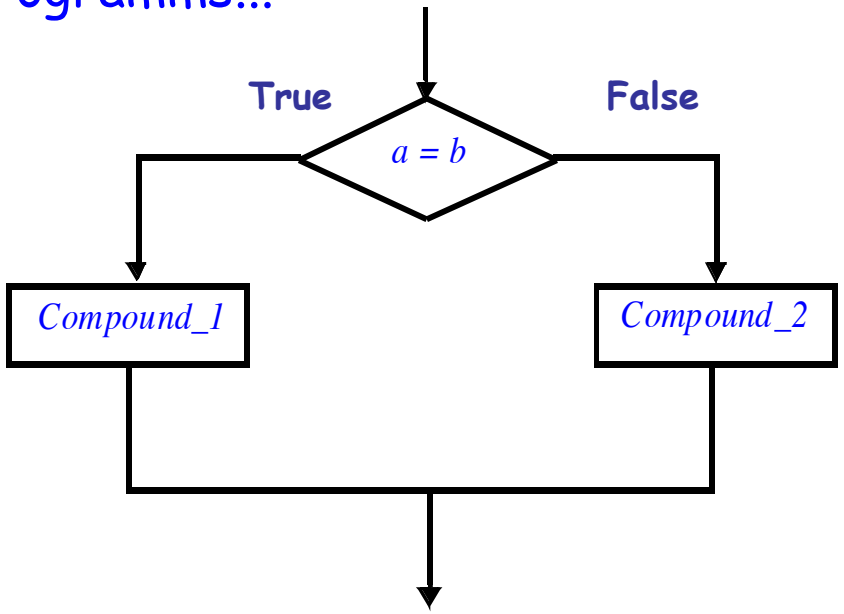
```
        BEQ loc_a loc_b 111

101     ... Code für Verbund_2 ...

        BR 125

111     ... Code für Verbund_1 ...

125     ... Code für Rest des Programms ...
```

Flussdiagramme (flowcharts)



In Programmiersprachen: Goto

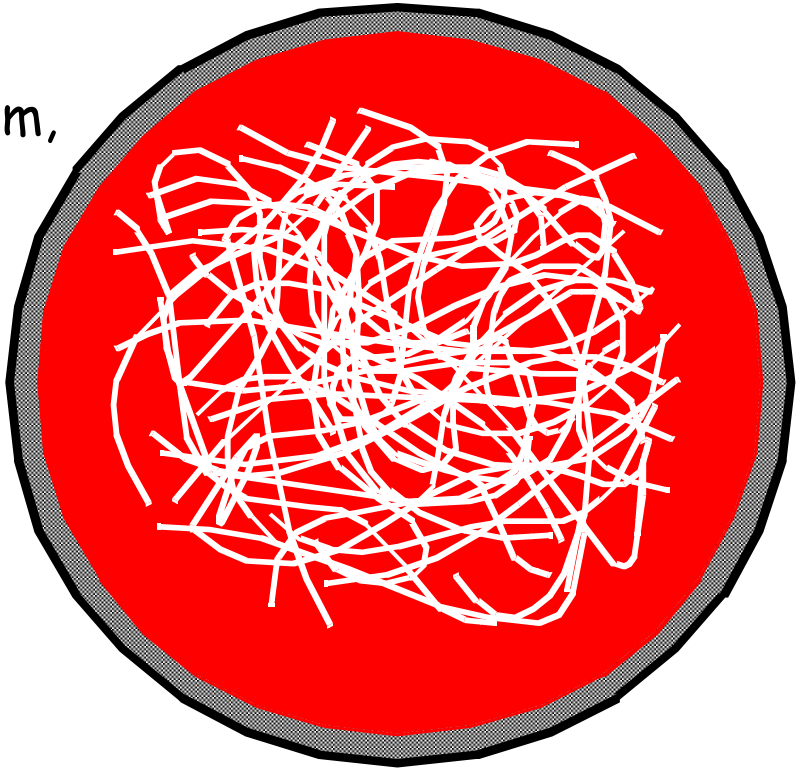
```
                test Bedingung goto else_part
                Verbund_1
                goto continue
else_part :     Verbund_2
continue :      ... Fortsetzung des Programms...
```



“Goto considered harmful”

Dijkstra, 1968
Willkürliche Goto-Instruktionen führen zu unübersichtlichen, schwer zu wartenden Programmen (“spaghetti code”)

Böhm-Jacopini-Theorem: Jedes Programm, das mit **goto**-Instruktionen und Konditionalen geschrieben werden kann, kann auch ohne **goto**‘s geschrieben werden, indem man Sequenzen und Schleifen benutzt.



Beispiel zur Transformation in *Touch of Class*

Goto heute

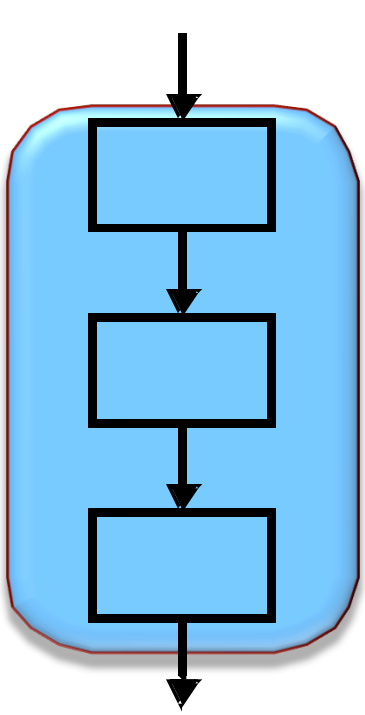
Fast allgemein verschrien

Immer noch in einigen Programmiersprachen vorhanden.

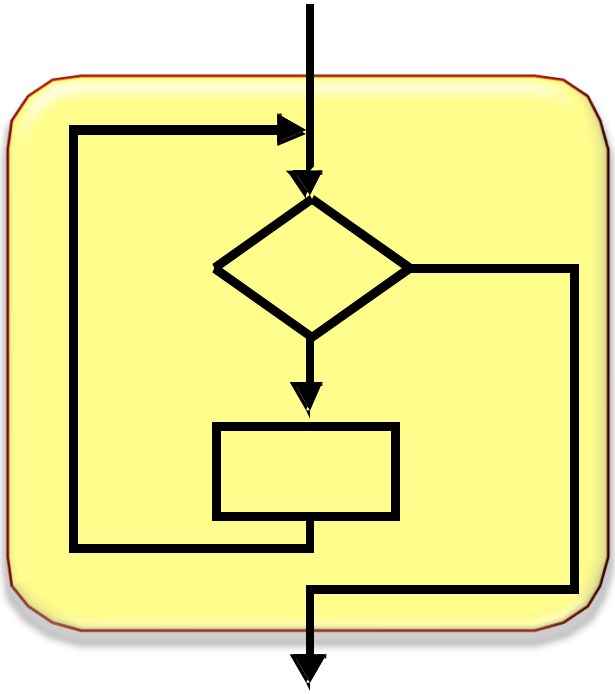
Es versteckt sich auch unter anderen Namen, z.B. **break**

```
loop
        ...
        if c then break end
        ...
end
```

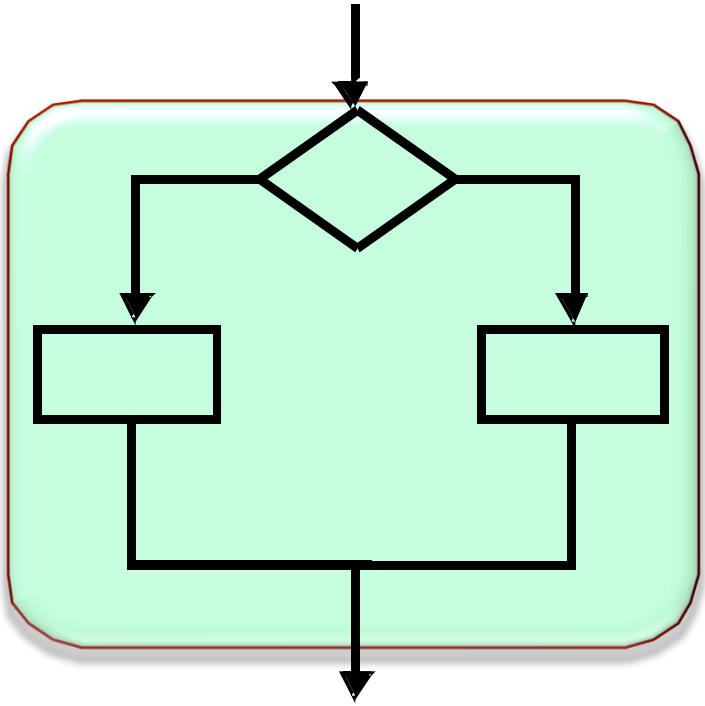
Ein Eingang, ein Ausgang



(Verbund)



(Schleife)



(Konditional)

Was wir in dieser Vorlesung gesehen haben

- Der Begriff des Algorithmus
  - Grundlegende Eigenschaften
  - Unterschied zu einem Programm
- Der Begriff der Kontrollstruktur
- Korrektheit einer Instruktion
- Kontrollstrukturen der Strukturierten Programmierung:
  - Sequenz
  - Konditional
  - Kontrollstruktur: Konditional
- Verschachtelung, und wie sich diese vermeiden lässt
- Korrektheit von Schleifen: Invariante & Variante
- Das Enstscheidungsproblem und Unentscheidbarkeit