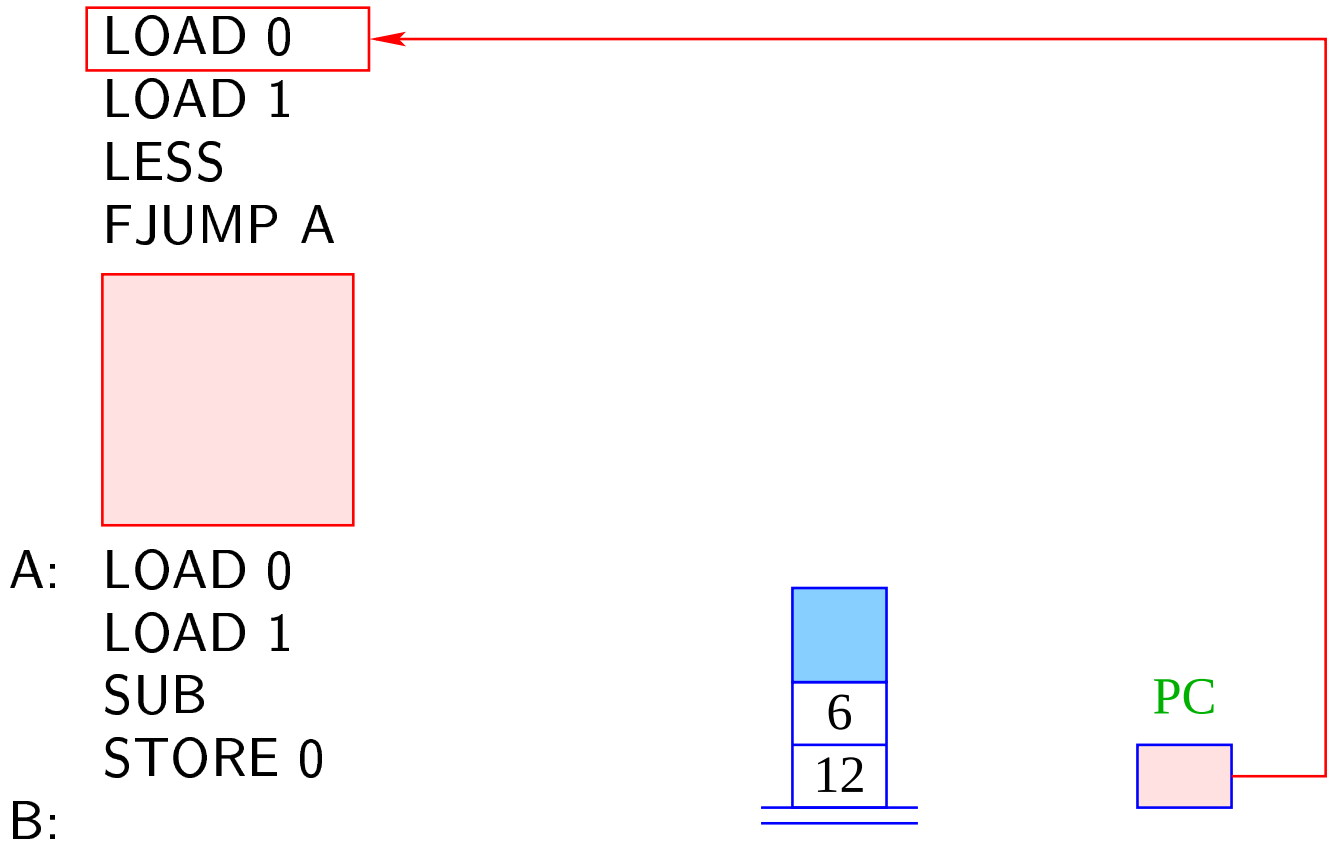
Beispiel:

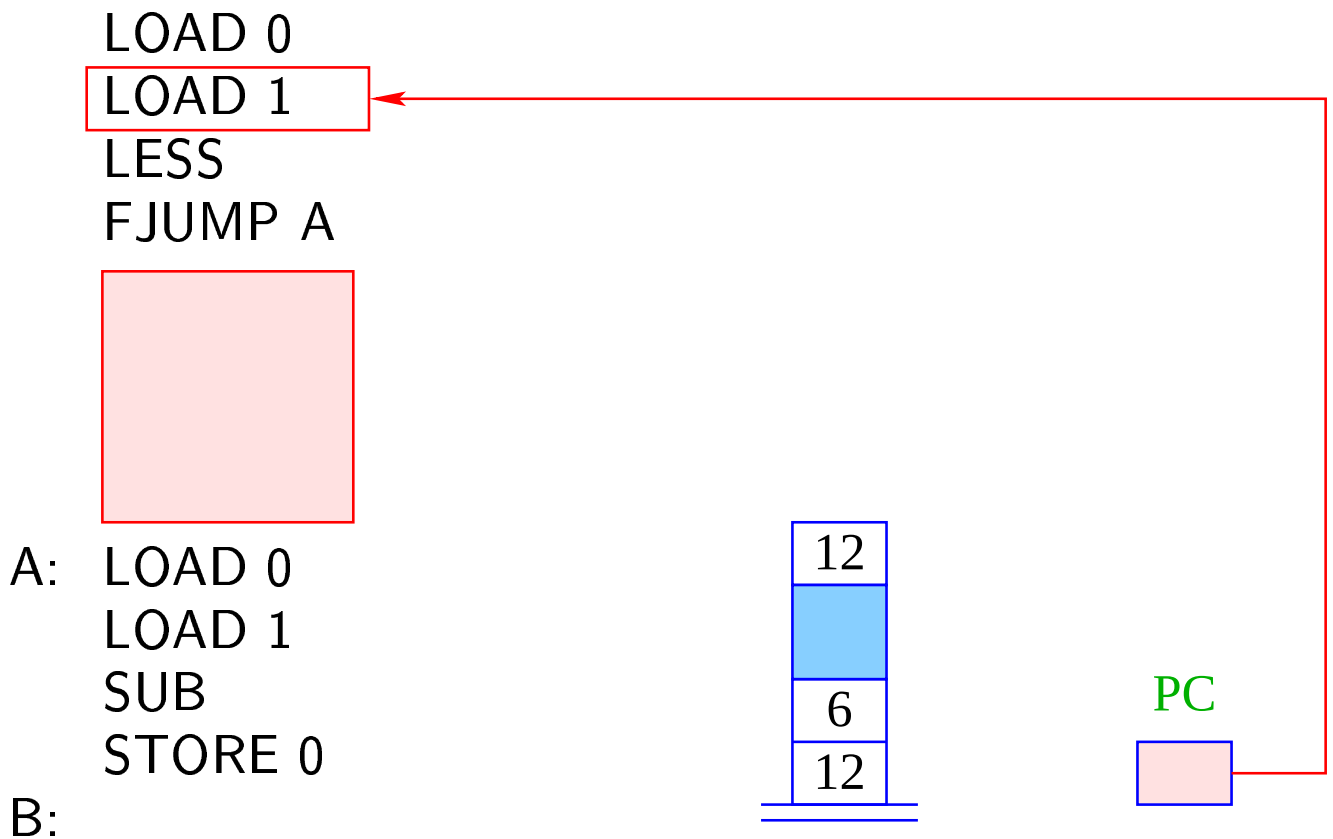
Für das Statement:

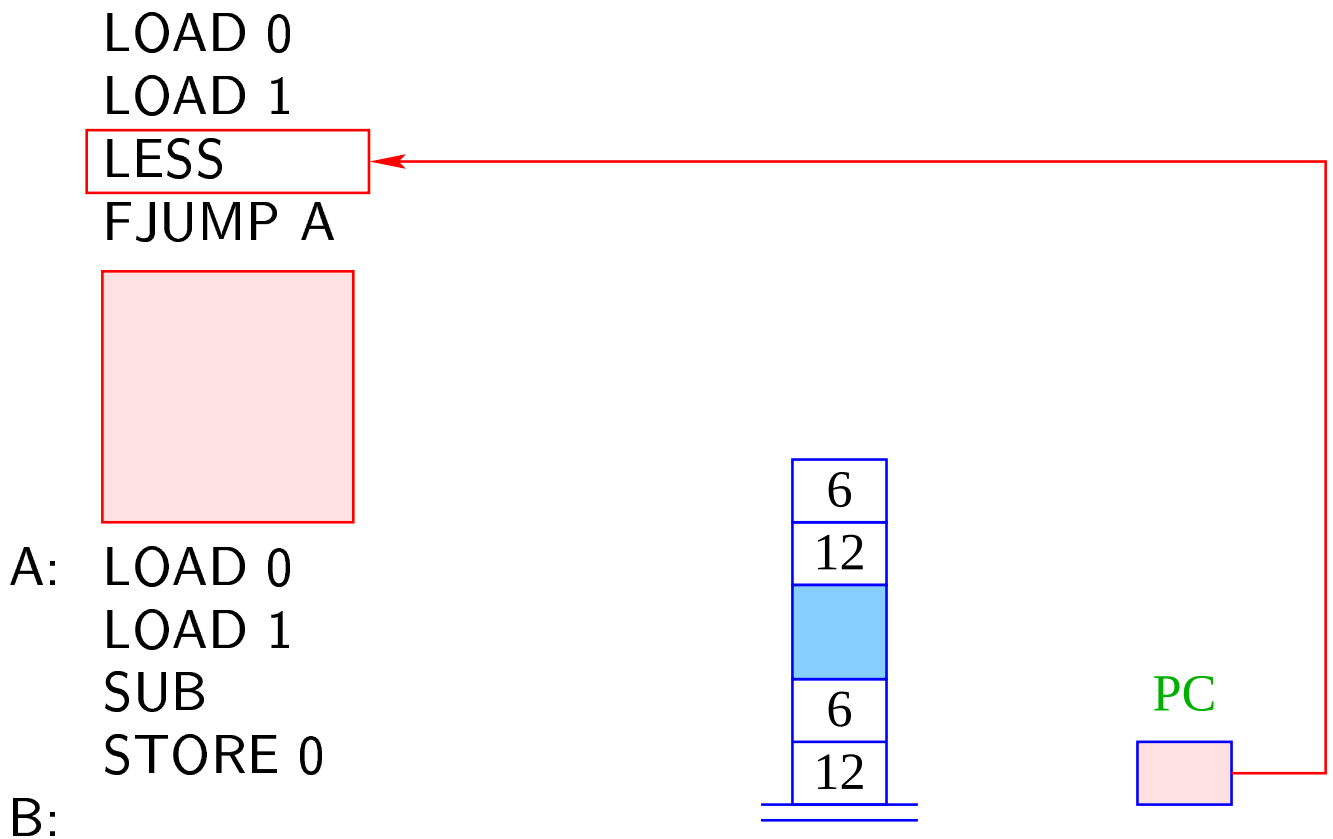
```
if (x < y) y = y - x;
else x = x - y;
```

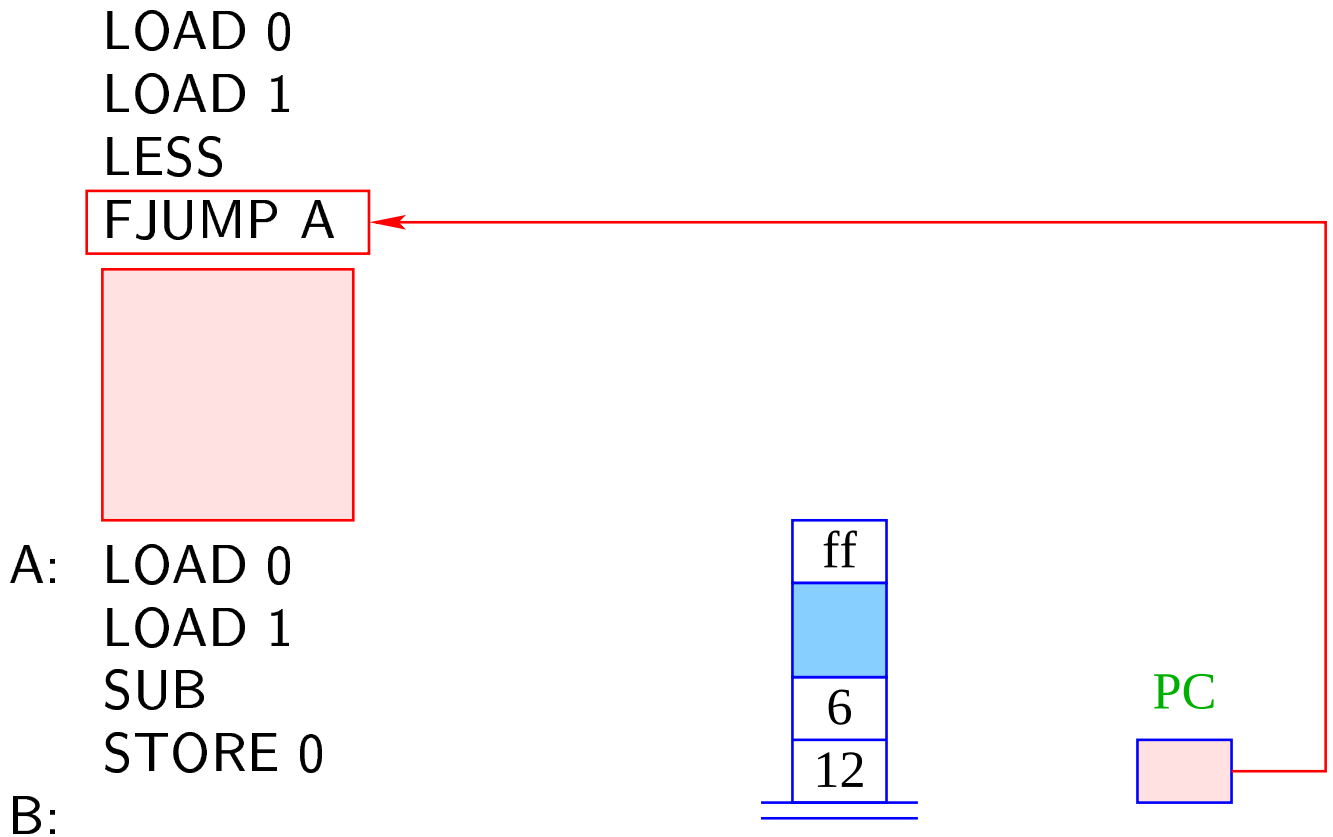
(`x` und `y` die 0. bzw. 1. Variable) ergibt das:

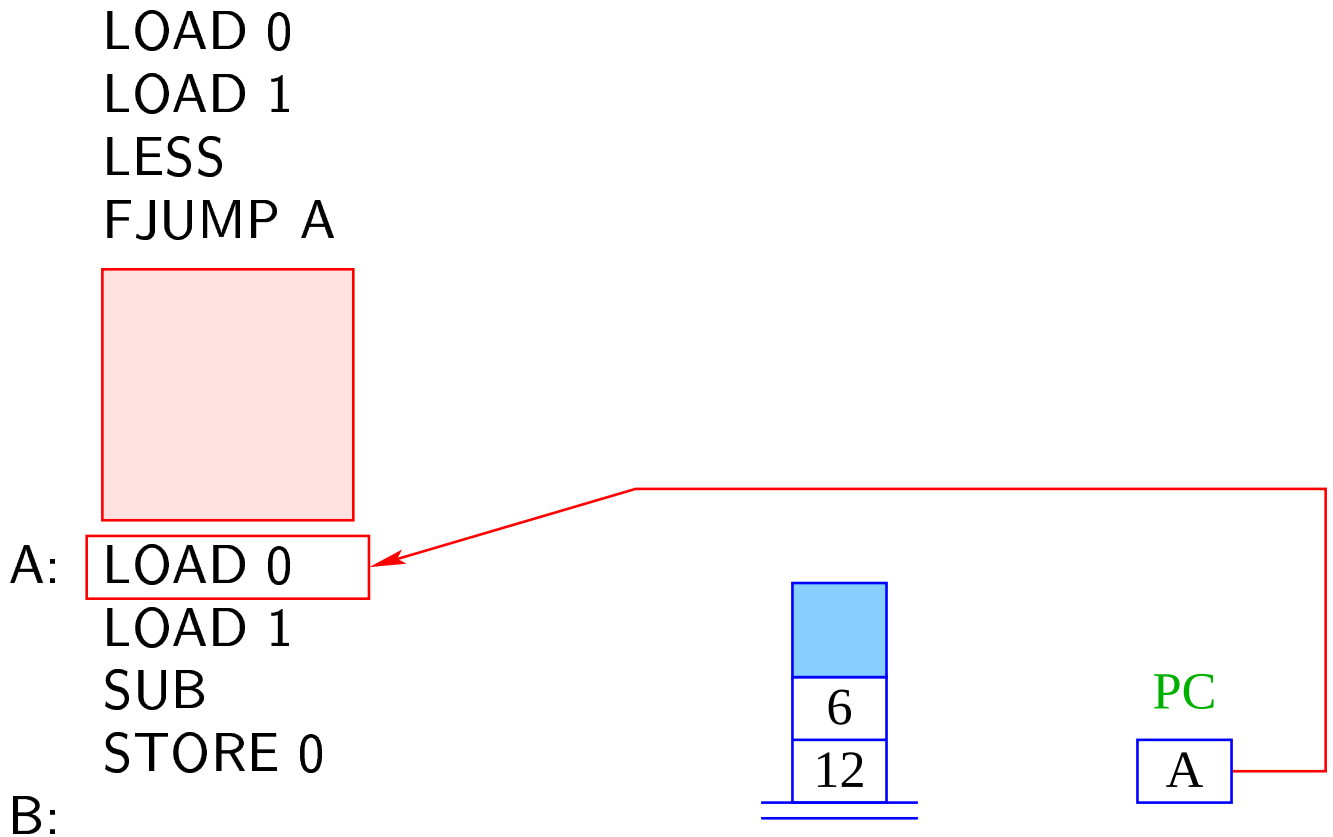
```
    LOAD 0          LOAD 1          A:  LOAD 0
    LOAD 1          LOAD 0              LOAD 1
    LESS            SUB                 SUB
    FJUMP A         STORE 1             STORE 0
                    JUMP B          B:  ...
```

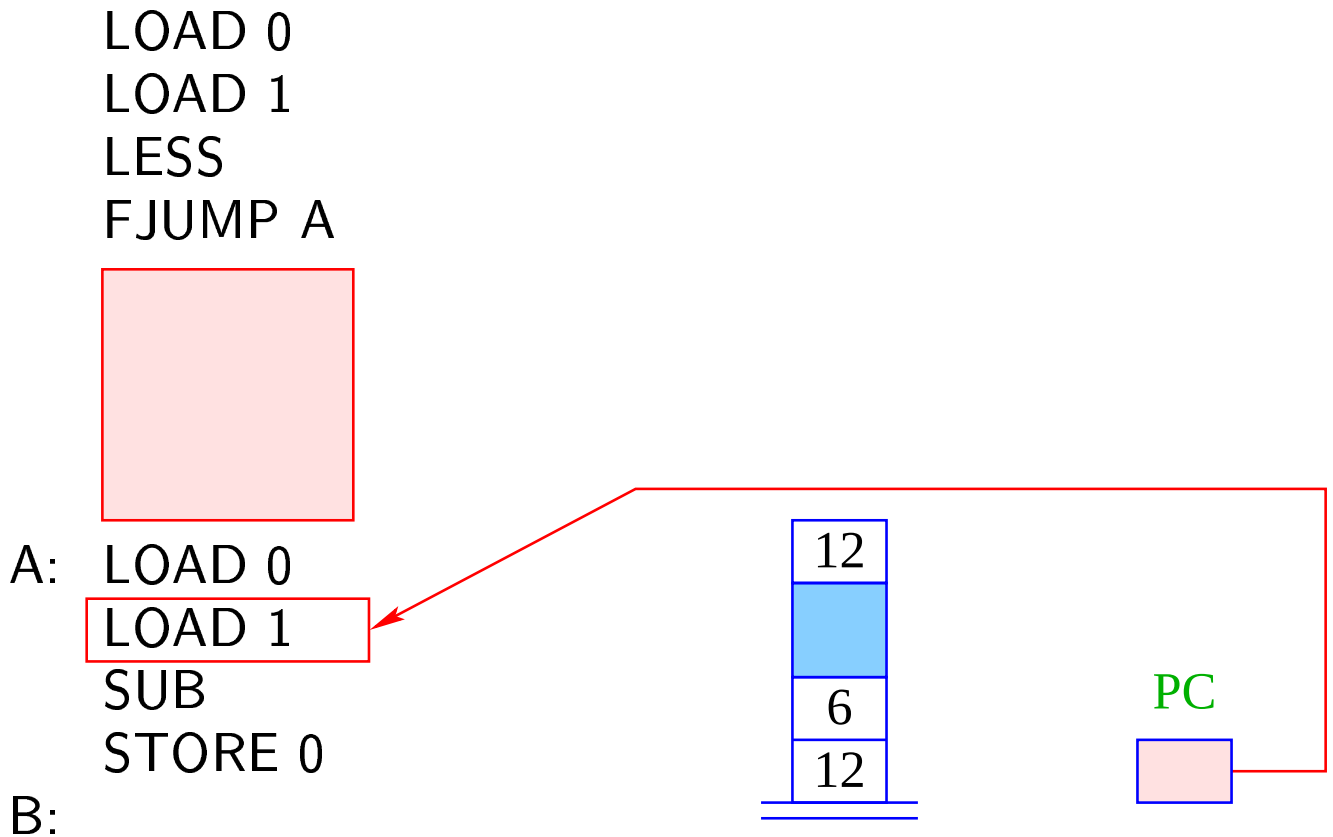

LOAD 0
LOAD 1
LESS
FJUMP A
A: LOAD 0
LOAD 1
SUB
STORE 0
B:
6
12
PC

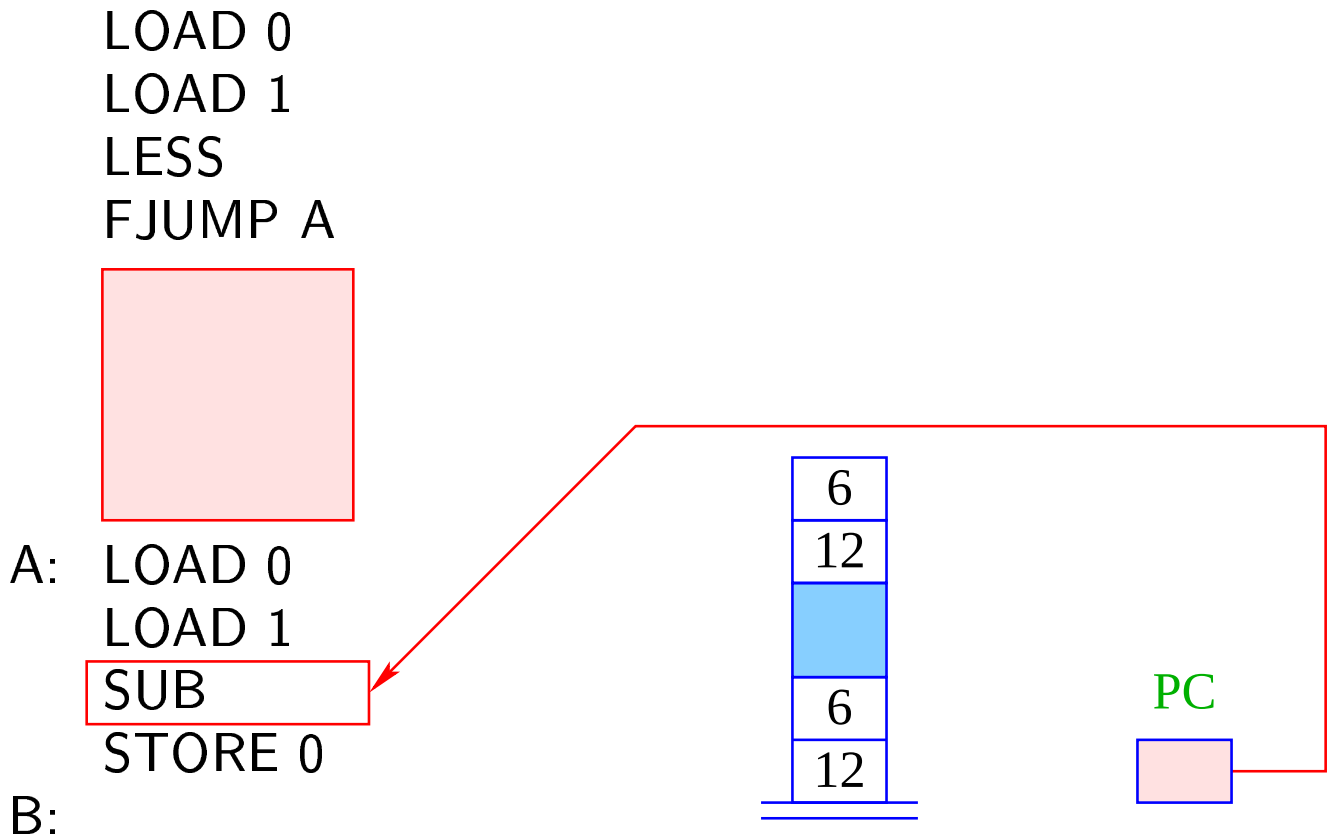

LOAD 0
LOAD 1
LESS
FJUMP A
A: LOAD 0
LOAD 1
SUB
STORE 0
B:
12
6
12
PC

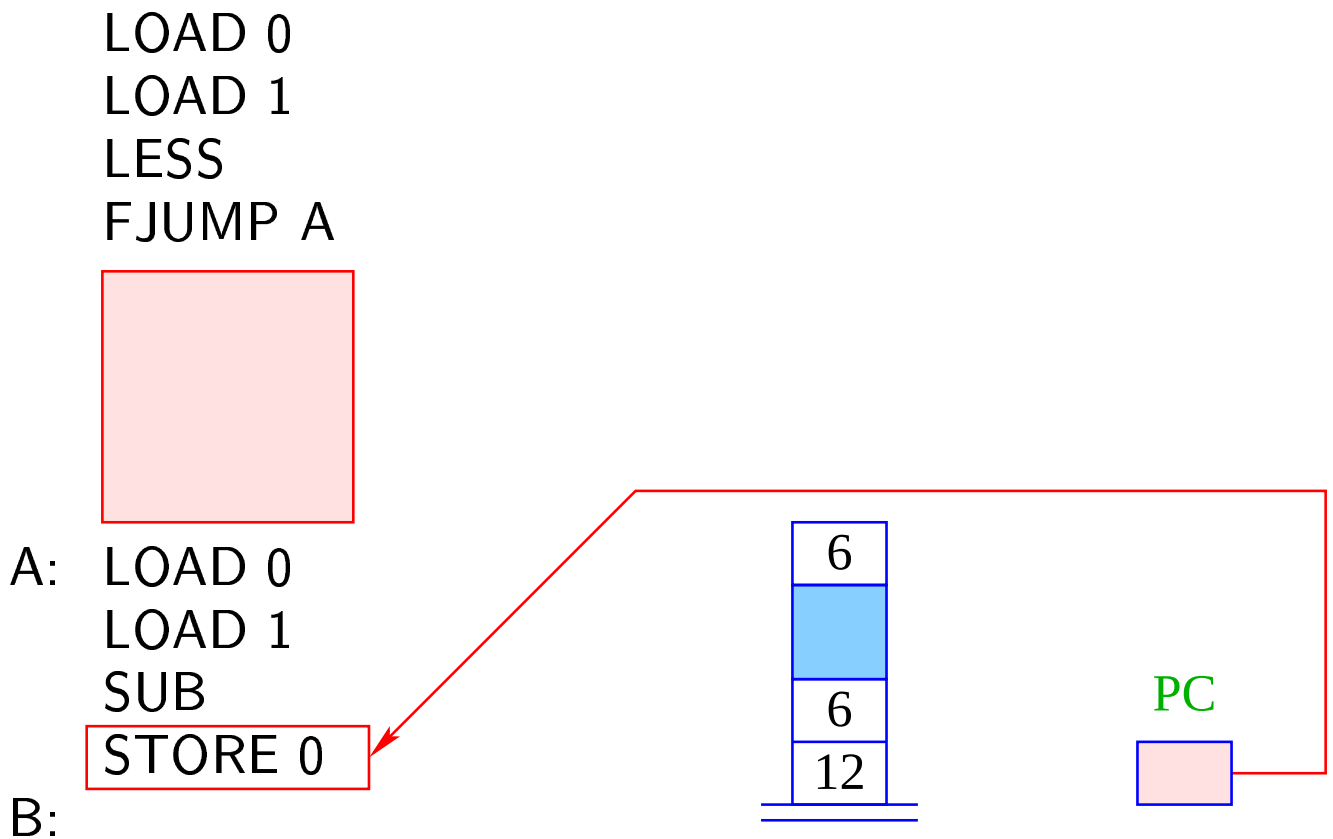

LOAD 0
LOAD 1
LESS
FJUMP A
A: LOAD 0
LOAD 1
SUB
STORE 0
B:
6
12
6
12
PC

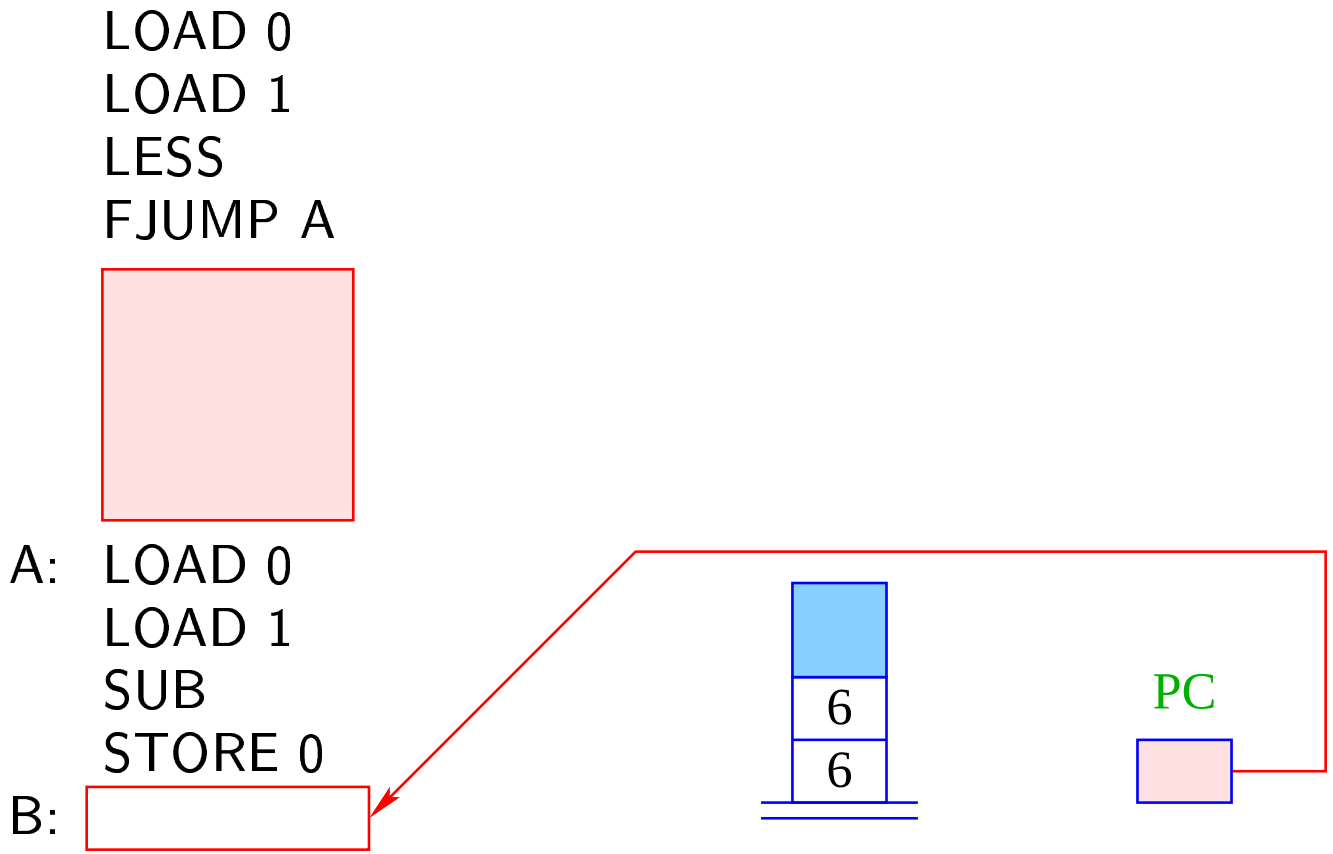

LOAD 0
LOAD 1
LESS
FJUMP A
A: LOAD 0
LOAD 1
SUB
STORE 0
B:
ff
6
12
PC


LOAD 0
LOAD 1
LESS
FJUMP A
A:
LOAD 0
LOAD 1
SUB
STORE 0
B:
6
12
PC
A


LOAD 0
LOAD 1
LESS
FJUMP A
A: LOAD 0
LOAD 1
SUB
STORE 0
B:
12
6
12
PC


LOAD 0
LOAD 1
LESS
FJUMP A
A:
LOAD 0
LOAD 1
SUB
STORE 0
B:
6
12
6
12
PC


LOAD 0
LOAD 1
LESS
FJUMP A
A:
LOAD 0
LOAD 1
SUB
STORE 0
B:
6
6
12
PC


LOAD 0
LOAD 1
LESS
FJUMP A
A:
LOAD 0
LOAD 1
SUB
STORE 0
B:
6
6
PC

9.6 Übersetzung von `while`-Statements

Bezeichne stmt das `while`-Statement

`while` (cond) stmt_1

Idee:

- Wir erzeugen erst einmal Befehlsfolgen für cond und stmt_1.
- Diese ordnen wir hinter einander an.
- Dann fügen wir Sprünge so ein, dass in Abhängigkeit des Ergebnisses der Auswertung der Bedingung entweder hinter das `while`-Statement gesprungen wird oder stmt_1 ausgeführt wird.
- Nach Ausführung von stmt_1 müssen wir allerdings wieder an den Anfang des Codes zurückspringen :-)

Folglich (mit A, B zwei neuen Marken):

Übersetzung von stmt = A: Übersetzung von cond
FJUMP B
Übersetzung von stmt_1
JUMP A
B: ...

- Marke A markiert den Beginn des while-Statements.
- Marke B markiert den ersten Befehl hinter dem `while`-Statement.
- Falls die Bedingung sich zu `false` evaluiert, wird die Schleife verlassen (mithilfe von FJUMP B).
- Nach Abarbeitung des Rumpfs muss das `while`-Statement erneut ausgeführt werden. Dazu dient JUMP A.

Beispiel:

Für das Statement:

```
while (1 < x) x = x - 1;
```

(`x` die 0. Variable) ergibt das:

```
A:  CONST 1
    LOAD 0
    LESS
    FJUMP B
    LOAD 0
    CONST 1
    SUB
    STORE 0
    JUMP A
B:  ...
```

9.7 Übersetzung von Statement-Folgen

Idee:

- Wir erzeugen zuerst Befehlsfolgen für die einzelnen Statements in der Folge.
- Dann konkatenieren wir diese.

9.8 Übersetzung von Statement-Folgen

Idee:

- Wir erzeugen zuerst Befehlsfolgen für die einzelnen Statements in der Folge.
- Dann konkatenieren wir diese.

Folglich:

Übersetzung von $\text{stmt}_1 \ldots \text{stmt}_k$ = Übersetzung von stmt_1
...
Übersetzung von stmt_k

Beispiel:

Für die Statement-Folge

```
y = y * x;
x = x - 1;
```

(x und y die 0. bzw. 1. Variable) ergibt das:

LOAD 1	LOAD 0
LOAD 0	CONST 1
MUL	SUB
STORE 1	STORE 0

9.9 Übersetzung ganzer Programme

Nehmen wir an, das Programm prog bestehe aus einer Deklaration von n Variablen, gefolgt von der Statement-Folge ss.

Idee:

- Zuerst allokieren wir Platz für die deklarierten Variablen.
- Dann kommt der Code für ss.
- Dann HALT.

9.9 Übersetzung ganzer Programme

Nehmen wir an, das Programm prog bestehe aus einer Deklaration von n Variablen, gefolgt von der Statement-Folge ss.

Idee:

- Zuerst allokieren wir Platz für die deklarierten Variablen.
- Dann kommt der Code für ss.
- Dann HALT.

Folglich:

Übersetzung von prog = ALLOC n
Übersetzung von ss
HALT

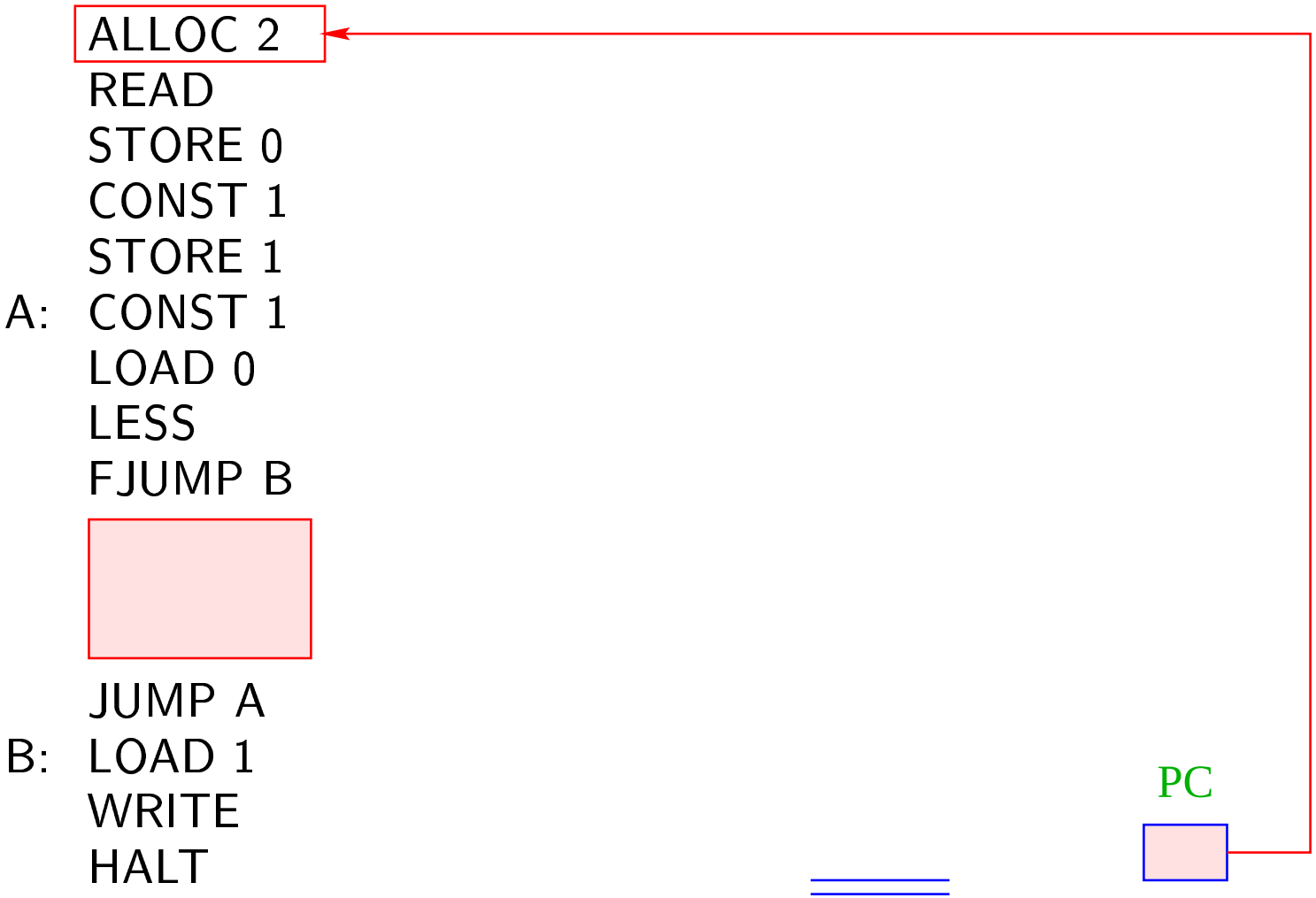
Beispiel:

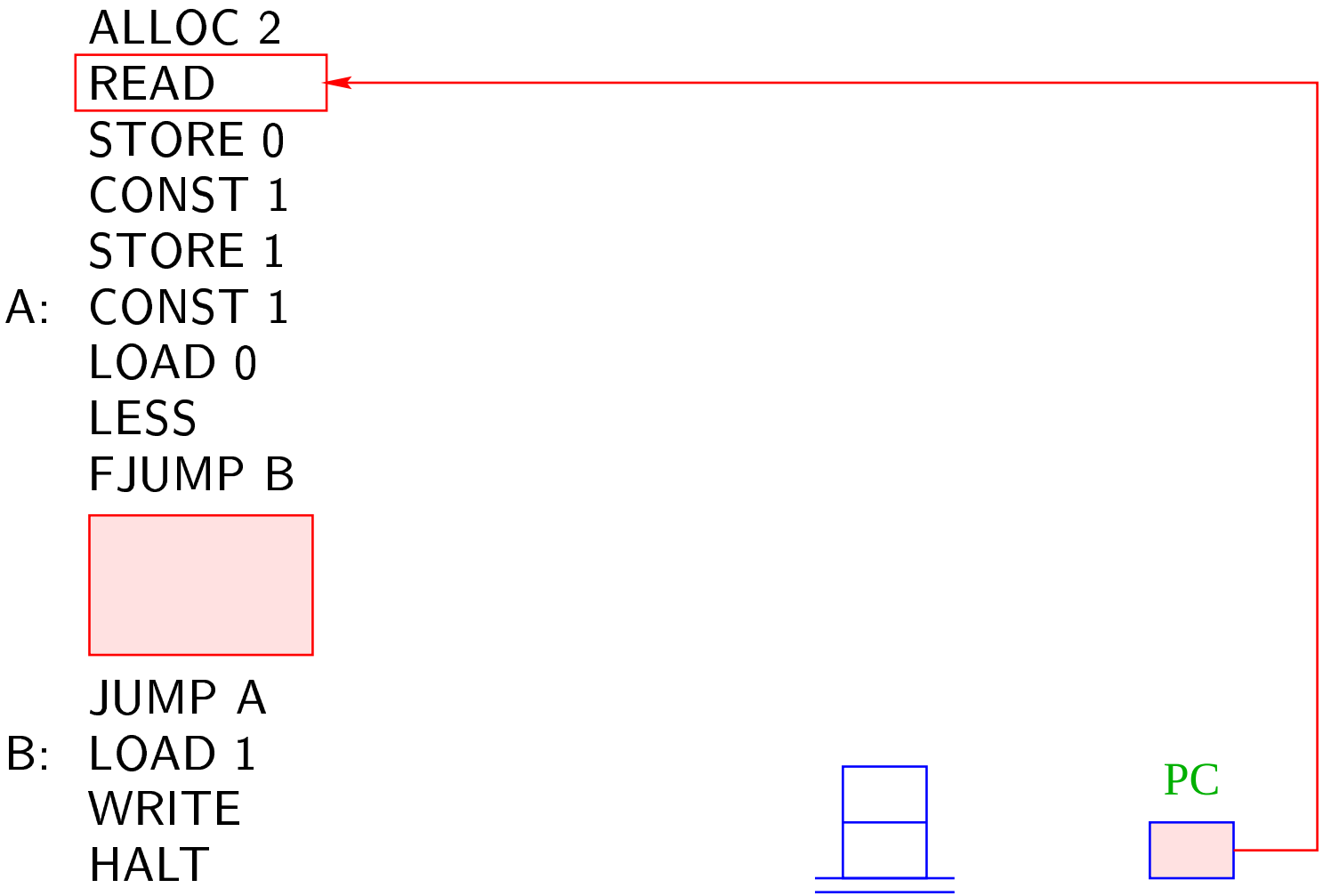
Für das Programm

```
int x, y;
x = read();
y = 1;
while (1 < x) {
    y = y * x;
    x = x - 1;
}
write(y);
```

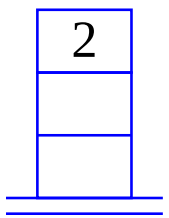
ergibt das (`x` und `y` die 0. bzw. 1. Variable) :

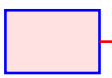
```
        ALLOC 2
        READ
        STORE 0
        CONST 1
        STORE 1
A:      CONST 1
        LOAD 0
        LESS
        FJUMP B

LOAD 1
LOAD 0
MUL
STORE 1

LOAD 0
CONST 1
SUB
STORE 0
JUMP A

B:      LOAD 1
        WRITE
        HALT
```


ALLOC 2
READ
STORE 0
CONST 1
STORE 1
A: CONST 1
LOAD 0
LESS
FJUMP B
JUMP A
B: LOAD 1
WRITE
HALT
PC


ALLOC 2
READ
STORE 0
CONST 1
STORE 1
A: CONST 1
LOAD 0
LESS
FJUMP B
JUMP A
B: LOAD 1
WRITE
HALT
PC

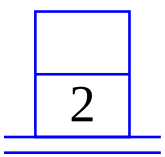
```
      ALLOC 2
      READ
      STORE 0
      CONST 1
      STORE 1
A:    CONST 1
      LOAD 0
      LESS
      FJUMP B

      JUMP A
B:    LOAD 1
      WRITE
      HALT
```

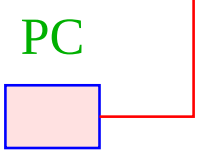


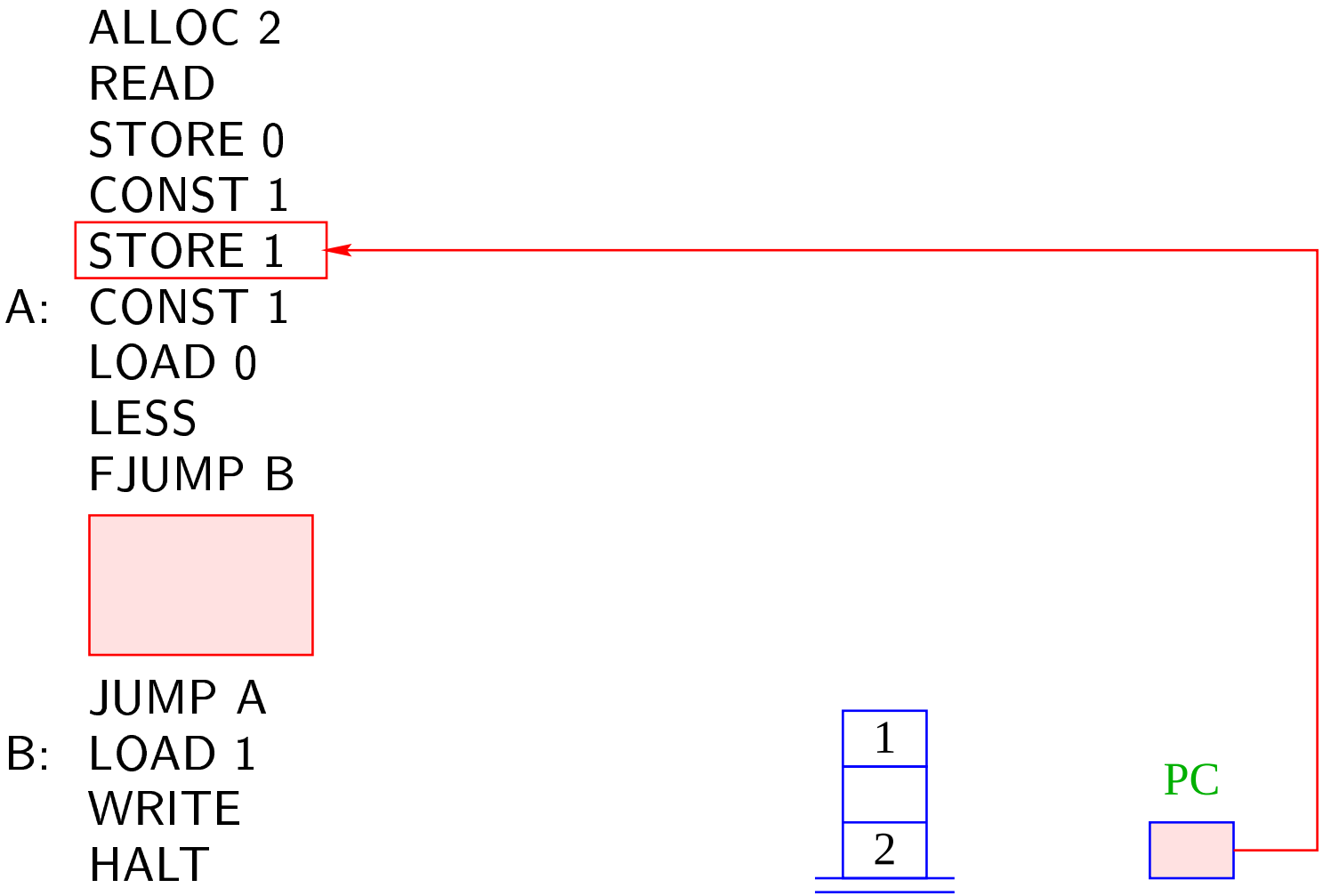


```
      ALLOC 2
      READ
      STORE 0
      CONST 1
      STORE 1
A:    CONST 1
      LOAD 0
      LESS
      FJUMP B
```

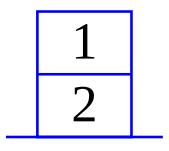
```
      JUMP A
B:    LOAD 1
      WRITE
      HALT
```

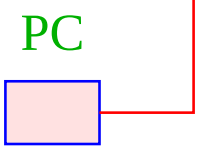




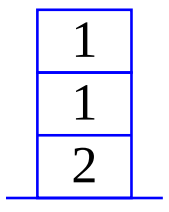

ALLOC 2
READ
STORE 0
CONST 1
STORE 1
A: CONST 1
LOAD 0
LESS
FJUMP B
JUMP A
B: LOAD 1
WRITE
HALT
1
2
PC

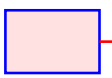
```
      ALLOC 2
      READ
      STORE 0
      CONST 1
      STORE 1
A:    CONST 1
      LOAD 0
      LESS
      FJUMP B
      
      JUMP A
B:    LOAD 1
      WRITE
      HALT
```



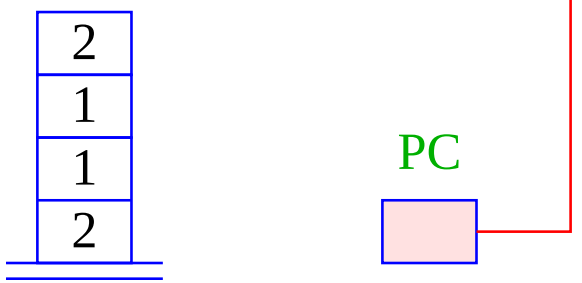


```
     ALLOC 2
     READ
     STORE 0
     CONST 1
     STORE 1
A:   CONST 1
     LOAD 0
     LESS
     FJUMP B

     JUMP A
B:   LOAD 1
     WRITE
     HALT
```

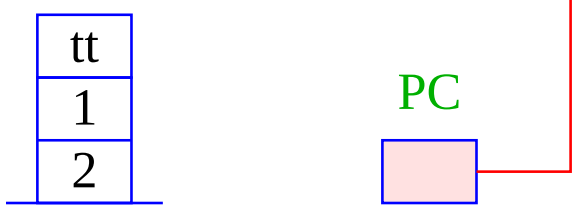




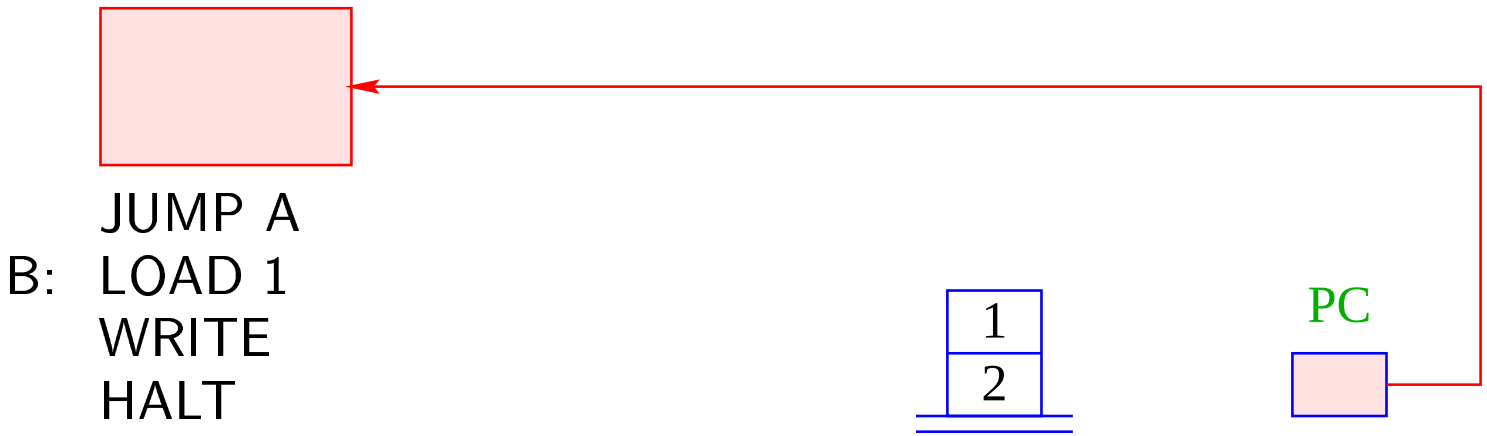
```
     ALLOC 2
     READ
     STORE 0
     CONST 1
     STORE 1
A:   CONST 1
     LOAD 0
     LESS
     FJUMP B

     JUMP A
B:   LOAD 1
     WRITE
     HALT
```



```
     ALLOC 2
     READ
     STORE 0
     CONST 1
     STORE 1
A:   CONST 1
     LOAD 0
     LESS
     FJUMP B
     JUMP A
B:   LOAD 1
     WRITE
     HALT
```



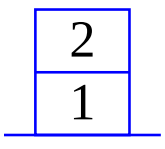
```
      ALLOC 2
      READ
      STORE 0
      CONST 1
      STORE 1
A:    CONST 1
      LOAD 0
      LESS
      FJUMP B
```

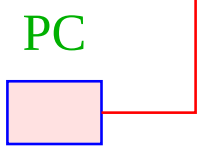



```
      JUMP A
B:    LOAD 1
      WRITE
      HALT
```

```
    ALLOC 2
    READ
    STORE 0
    CONST 1
    STORE 1
A:  CONST 1
    LOAD 0
    LESS
    FJUMP B
```

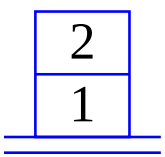
```
    JUMP A
B:  LOAD 1
    WRITE
    HALT
```

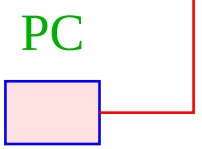




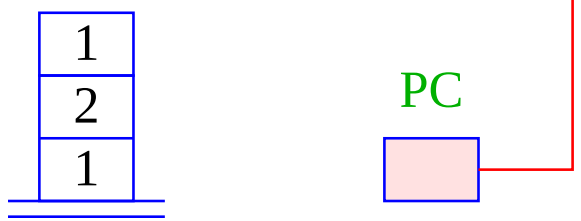
```
      ALLOC 2
      READ
      STORE 0
      CONST 1
      STORE 1
A:    CONST 1
      LOAD 0
      LESS
      FJUMP B
```

```
      JUMP A
B:    LOAD 1
      WRITE
      HALT
```



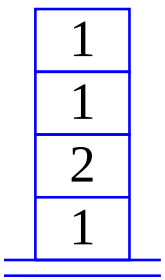


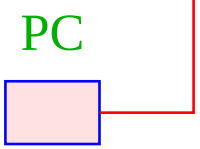
```
      ALLOC 2
      READ
      STORE 0
      CONST 1
      STORE 1
A:    CONST 1
      LOAD 0
      LESS
      FJUMP B

      JUMP A
B:    LOAD 1
      WRITE
      HALT
```



```
      ALLOC 2
      READ
      STORE 0
      CONST 1
      STORE 1
A:    CONST 1
      LOAD 0
      LESS
      FJUMP B
```

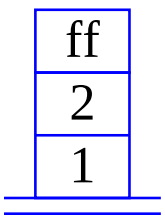
```
      JUMP A
B:    LOAD 1
      WRITE
      HALT
```

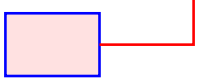




```
      ALLOC 2
      READ
      STORE 0
      CONST 1
      STORE 1
A:    CONST 1
      LOAD 0
      LESS
      FJUMP B
```

```
      JUMP A
B:    LOAD 1
      WRITE
      HALT
```

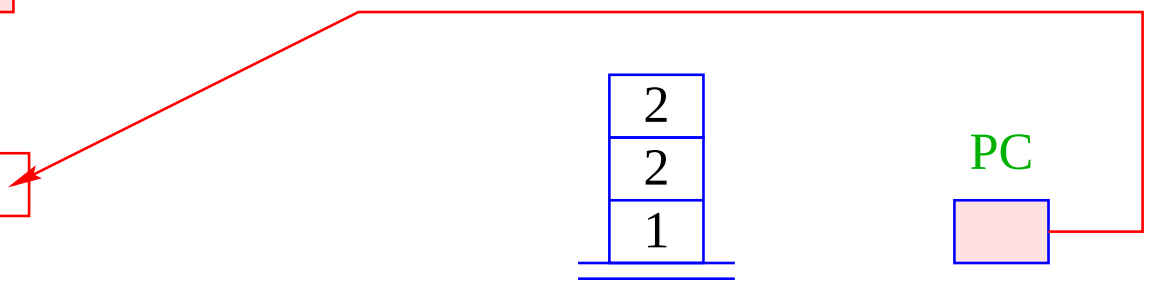




```
     ALLOC 2
     READ
     STORE 0
     CONST 1
     STORE 1
A:   CONST 1
     LOAD 0
     LESS
     FJUMP B
     
     JUMP A
B:   LOAD 1
     WRITE
     HALT
```

```
      ALLOC 2
      READ
      STORE 0
      CONST 1
      STORE 1
A:    CONST 1
      LOAD 0
      LESS
      FJUMP B
```

```
      JUMP A
B:    LOAD 1
      WRITE
      HALT
```



```
      ALLOC 2
      READ
      STORE 0
      CONST 1
      STORE 1
A:    CONST 1
      LOAD 0
      LESS
      FJUMP B
```

```
      JUMP A
B:    LOAD 1
      WRITE
      HALT
```

Bemerkungen:

- Die Übersetzungsfunktion, die für ein MiniJava-Programm JVM-Code erzeugt, arbeitet rekursiv auf der Struktur des Programms.
- Im Prinzip lässt sie sich zu einer Übersetzungsfunktion von ganz Java erweitern.
- Zu lösende Übersetzungs-Probleme:
  - mehr Datentypen;
  - Prozeduren;
  - Klassen und Objekte.

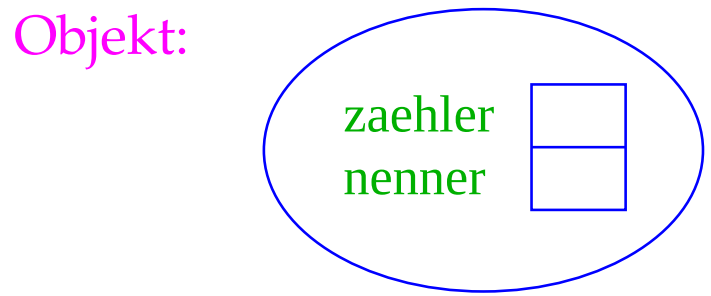
↑Compilerbau

10 Klassen und Objekte

Datentyp	=	Spezifikation von Datenstrukturen
Klasse	=	Datentyp + Operationen
Objekt	=	konkrete Datenstruktur

Beispiel: Rationale Zahlen

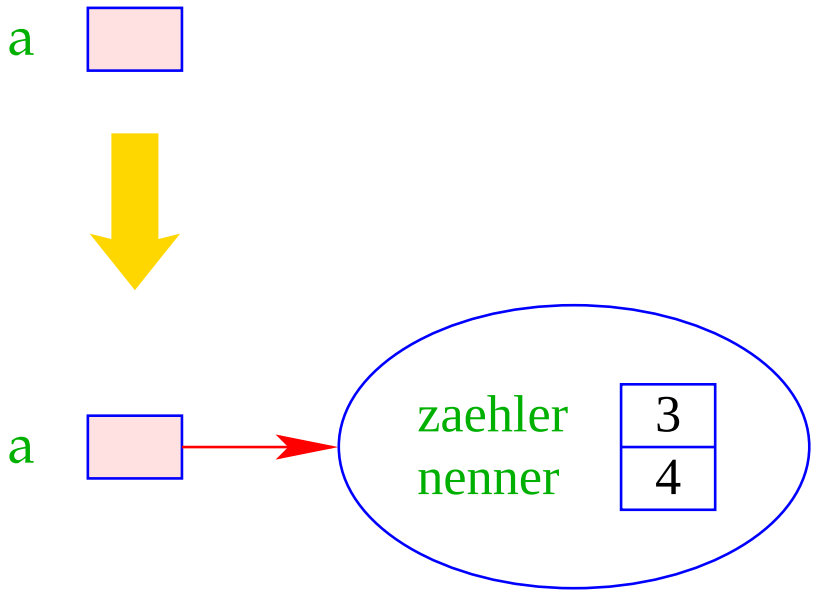
- Eine rationale Zahl $q \in \mathbb{Q}$ hat die Form $q = \frac{x}{y}$, wobei $x, y \in \mathbb{Z}$.
- x und y heißen Zähler und Nenner von q.
- Ein Objekt vom Typ `Rational` sollte deshalb als Komponenten `int`-Variablen `zaehler` und `nenner` enthalten:



- Die Daten-Komponenten eines Objekts heißen Instanz-Variablen oder Attribute.

- `Rational` name `;` deklariert eine Variable für Objekte der Klasse `Rational`.
- Das Kommando `new Rational(...)` legt das Objekt an, ruft einen Konstruktor für dieses Objekt auf und liefert das neue Objekt zurück:

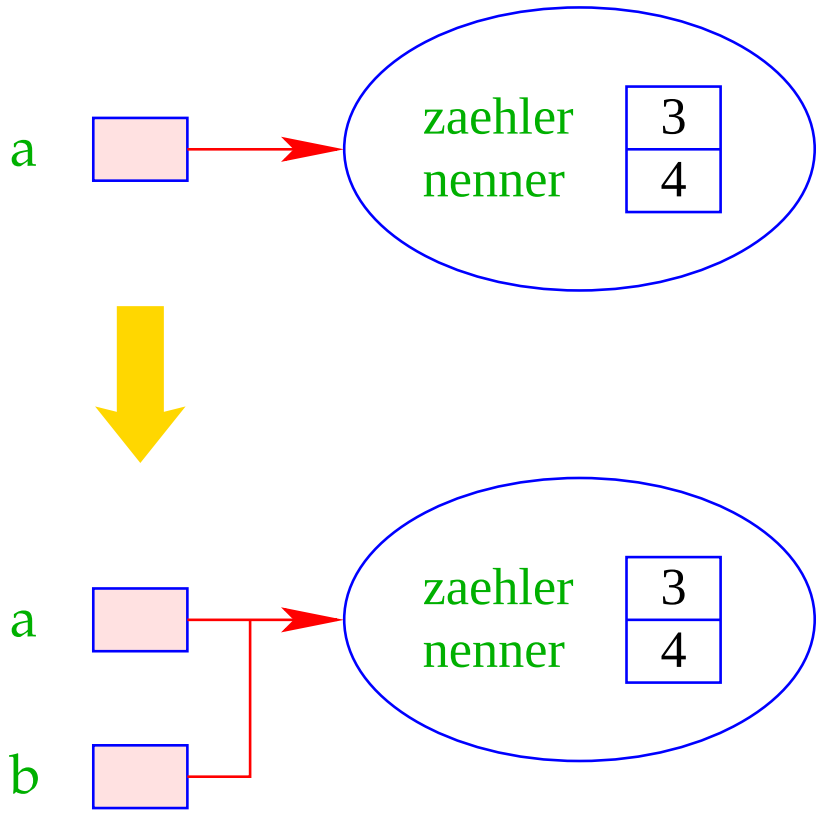
```
a = new Rational (3,4);
```



- Der Konstruktor ist eine Prozedur, die die Attribute des neuen Objekts initialisieren kann.

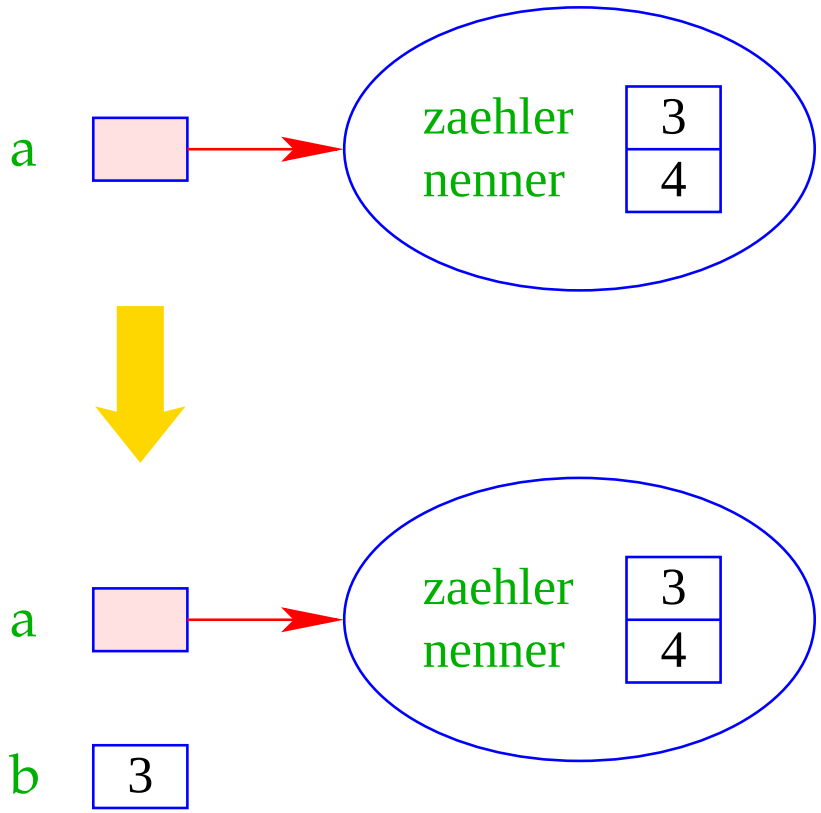
- Der Wert einer `Rational`-Variable ist ein Verweis auf einen Speicherbereich.
- `Rational b = a;` kopiert den Verweis aus `a` in die Variable `b`:

```
Rational b = a;
```

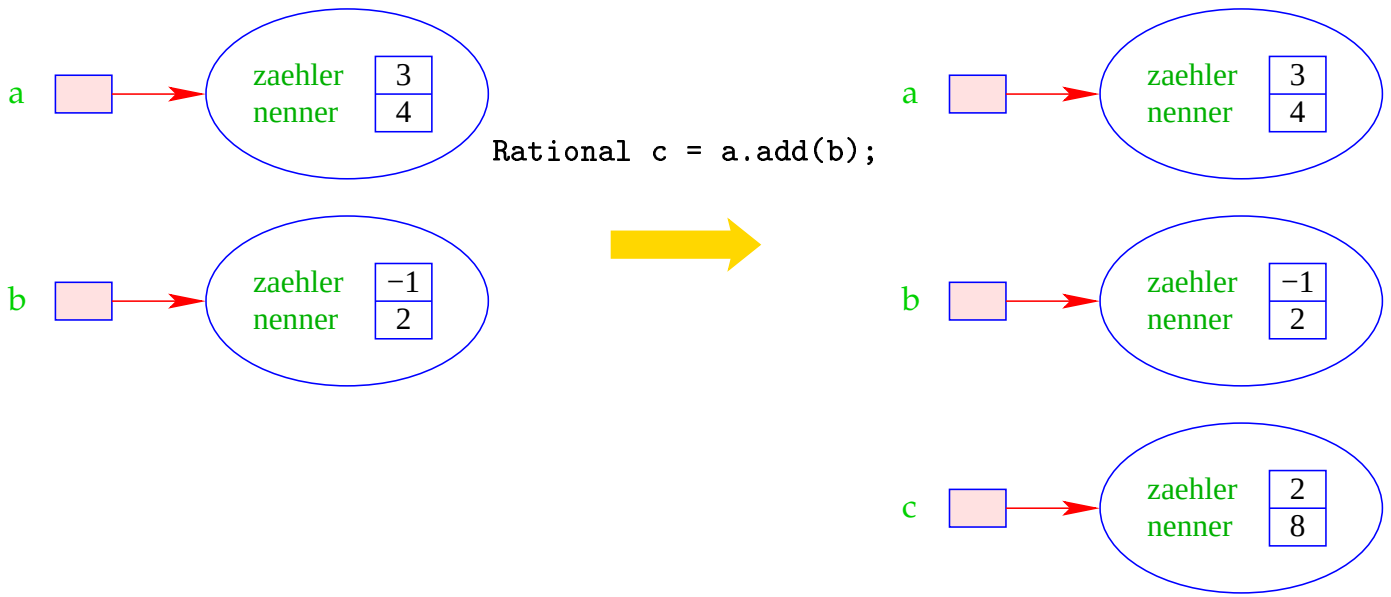


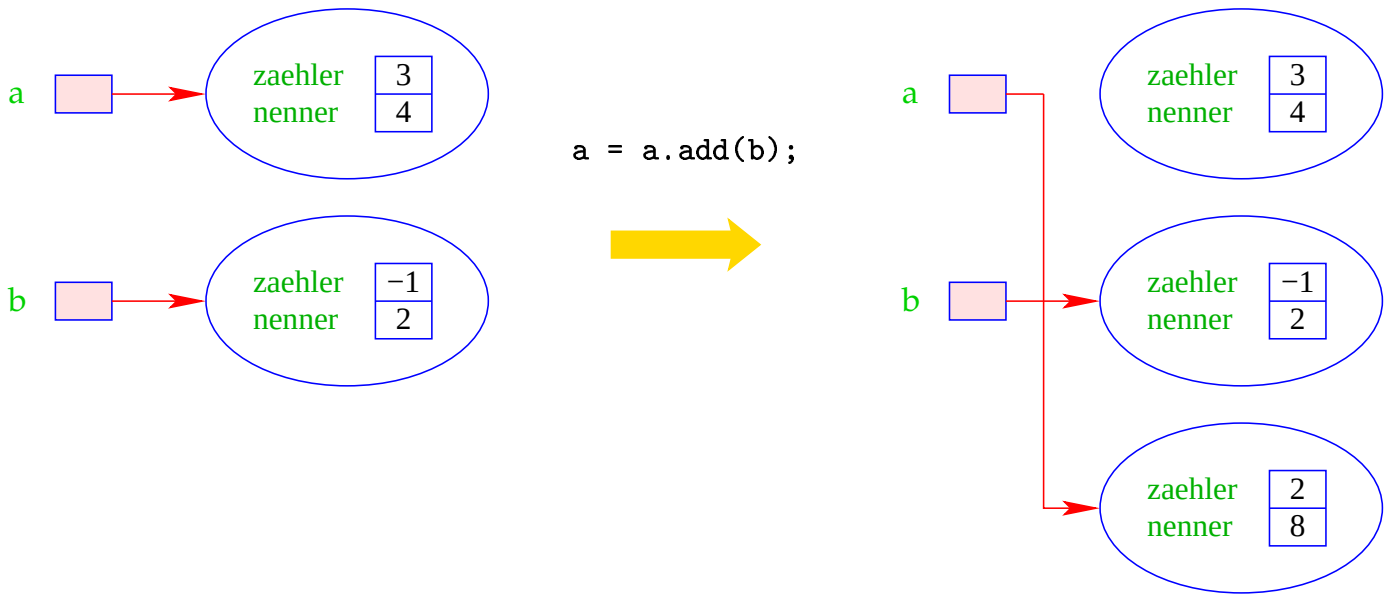
- `a.zaehler` liefert den Wert des Attributs `zaehler` des Objekts `a`:

```
int b = a.zaehler;
```



- `a.add(b)` ruft die Operation `add` für `a` mit dem zusätzlichen aktuellen Parameter `b` auf:





- Die Operationen auf Objekten einer Klasse heißen auch Methoden, genauer: Objekt-Methoden.

Zusammenfassung:

Eine Klassen-Deklaration besteht folglich aus Deklarationen von:

- Attributen für die verschiedenen Wert-Komponenten der Objekte;
- Konstruktoren zur Initialisierung der Objekte;
- Methoden, d.h. Operationen auf Objekten.

Diese Elemente heißen auch Members der Klasse.

```
public class Rational {
   // Attribute:
   private int zaehler, nenner;
   // Konstruktoren:
   public Rational (int x, int y) {
      zaehler = x;
      nenner = y;
      }
   public Rational (int x) {
      zaehler = x;
      nenner = 1;
      }
       ...
```