GOETHE UNIVERSITÄT FRANKFURT AM MAIN

www.uni-frankfurt.de

Vorsemesterkurs Informatik

Sommersemester 2011

Imperatives Programmieren

SoSe 2011

Stand der Folien: 31. März 2011

Übersicht

Ziel dieses Abschnitts

- Allgemeine Einführung wie man imperativ programmiert.
- Unabhängig von einer konkreten Programmiersprache
- Wir verwenden Pseudo-Code
- Grund: Vorbereitung auf Teil 2

Beachte: **Haskell ist keine imperative Programmiersprache!**

Imperatives Programmieren

Wesentliche Konzepte:

- Programm = Folge von Befehlen
- Ausführung eines Befehls ändert den Zustand (Speicher) des Rechners

Wir verwenden:

- Semikolon ; um Befehle voneinander zu trennen
- Klammern {, } um Codeblöcke zu kennzeichnen

Speicherplätze: Lesen und Schreiben

- Speicher wird durch Programmvariablen modelliert
- Programmvariable = Name für einen Speicherplatz, z.B. X
- Lesen durch verwenden des Namens: z.B. $X + 5$
- Schreiben: durch Zuweisung, z.B. $X := 5$

Beispiel: Ausführung von

$$
\begin{aligned}
&X := 123;\\
&Y := 321;\\
&Z := X + Y;\\
&Z := Z + 1
\end{aligned}
$$

Speicherplätze: Lesen und Schreiben

- Speicher wird durch Programmvariablen modelliert
- Programmvariable = Name für einen Speicherplatz, z.B. X
- Lesen durch verwenden des Namens: z.B. $X + 5$
- Schreiben: durch Zuweisung, z.B. $X := 5$

Beispiel: Ausführung von

$$
\begin{aligned}
&Y := 321;\\
&Z := X + Y;\\
&Z := Z + 1
\end{aligned}
$$

Speicherplätze: Lesen und Schreiben

- Speicher wird durch Programmvariablen modelliert
- Programmvariable = Name für einen Speicherplatz, z.B. X
- Lesen durch verwenden des Namens: z.B. $X + 5$
- Schreiben: durch Zuweisung, z.B. $X := 5$

Beispiel: Ausführung von

$$Z := X + Y;$$
$$Z := Z + 1$$

Speicherplätze: Lesen und Schreiben

- Speicher wird durch Programmvariablen modelliert
- Programmvariable = Name für einen Speicherplatz, z.B. X
- Lesen durch verwenden des Namens: z.B. $X + 5$
- Schreiben: durch Zuweisung, z.B. $X := 5$

Beispiel: Ausführung von

$$Z := 123 + Y;$$
$$Z := Z + 1$$

Speicherplätze: Lesen und Schreiben

- Speicher wird durch Programmvariablen modelliert
- Programmvariable = Name für einen Speicherplatz, z.B. X
- Lesen durch verwenden des Namens: z.B. $X + 5$
- Schreiben: durch Zuweisung, z.B. $X := 5$

Beispiel: Ausführung von

$$Z := 123 + 321;$$
$$Z := Z + 1$$

Speicherplätze: Lesen und Schreiben

- Speicher wird durch Programmvariablen modelliert
- Programmvariable = Name für einen Speicherplatz, z.B. X
- Lesen durch verwenden des Namens: z.B. $X + 5$
- Schreiben: durch Zuweisung, z.B. $X := 5$

Beispiel: Ausführung von

$$Z := 444;$$
$$Z := Z + 1$$

Speicherplätze: Lesen und Schreiben

- Speicher wird durch Programmvariablen modelliert
- Programmvariable = Name für einen Speicherplatz, z.B. X
- Lesen durch verwenden des Namens: z.B. $X + 5$
- Schreiben: durch Zuweisung, z.B. $X := 5$

Beispiel: Ausführung von

$$Z := Z + 1$$

Speicherplätze: Lesen und Schreiben

- Speicher wird durch Programmvariablen modelliert
- Programmvariable = Name für einen Speicherplatz, z.B. X
- Lesen durch verwenden des Namens: z.B. $X + 5$
- Schreiben: durch Zuweisung, z.B. $X := 5$

Beispiel: Ausführung von

$$Z := 444 + 1$$

Speicherplätze: Lesen und Schreiben

- Speicher wird durch Programmvariablen modelliert
- Programmvariable = Name für einen Speicherplatz, z.B. X
- Lesen durch verwenden des Namens: z.B. $X + 5$
- Schreiben: durch Zuweisung, z.B. $X := 5$

Beispiel: Ausführung von

$$Z := 445$$

Speicherplätze: Lesen und Schreiben

- Speicher wird durch Programmvariablen modelliert
- Programmvariable = Name für einen Speicherplatz, z.B. X
- Lesen durch verwenden des Namens: z.B. $X + 5$
- Schreiben: durch Zuweisung, z.B. $X := 5$

Beispiel: Ausführung von

Speicherplätze (2)

$$X := Y + 1;$$
$$Y := X - 2;$$

Speicherplätze (2)

$$X := Y + 1;$$
$$Y := X - 2;$$

Laufzeitfehler, da Y noch keinen Wert hat!

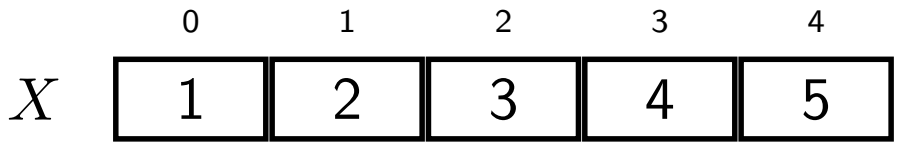
Arrays: Indizierte Speicherbereiche

- Oft braucht man n viele Variablen: $X_1, X_2, \ldots, X_n$.
- Aber auch n soll variabel sein: erst bei der Ausführung festgelegt werden!
- Passende Datenstruktur: Arrays (Felder)
- Wir betrachten nur eindimensionale Arrays

Arrays

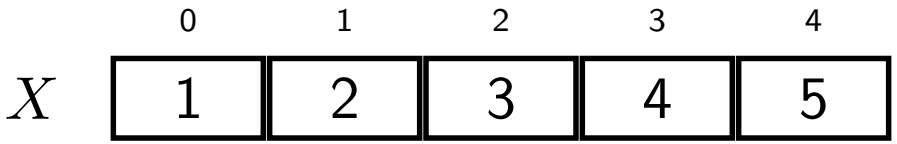
- Eindimensionales Array der Länge $n =$ n nebeneinander liegende Speicherplätze
- Wenn X das Array ist, so kann man über $X[0], \ldots, X[n-1]$ auf die einzelnen Plätze zugreifen.
- In $X[i]$ bezeichnet man i als Index.
- $X[i]$ kann man wie eine Programmvariable verwenden.
- `new` $X[N]$ legt ein Felde Namens X der Größe N an.

$$
\begin{aligned}
&\texttt{new } X[5];\\
&X[0] := 1;\\
&X[1] := 2;\\
&X[2] := 3;\\
&X[3] := 4;\\
&X[4] := 5;
\end{aligned}
$$



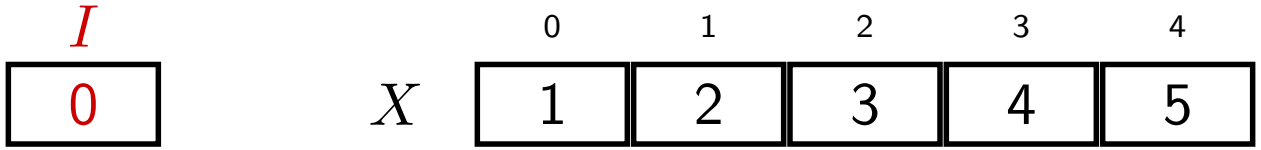
Beispiel

$$
\begin{aligned}
&I := 0;\\
&X[I] := X[I+1];\\
&I := I+1;\\
&X[I] := X[I+1];\\
&I := I+1;\\
&X[I] := X[I+1];
\end{aligned}
$$



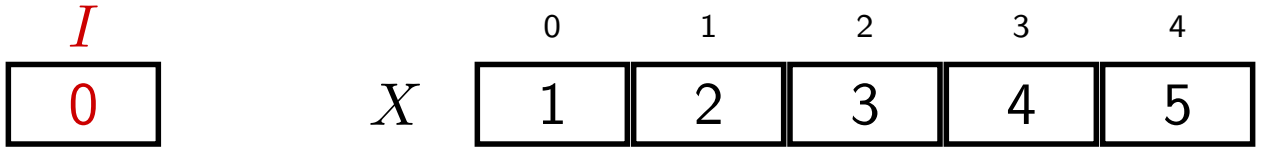
Beispiel

$$
\begin{aligned}
&I := 0;\\
&X[I] := X[I+1];\\
&I := I+1;\\
&X[I] := X[I+1];\\
&I := I+1;\\
&X[I] := X[I+1];
\end{aligned}
$$



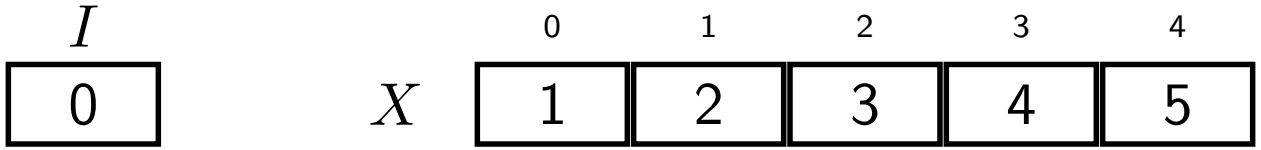
Beispiel

$$
\begin{aligned}
&X[I] := X[0+1];\\
&I := I+1;\\
&X[I] := X[I+1];\\
&I := I+1;\\
&X[I] := X[I+1];
\end{aligned}
$$



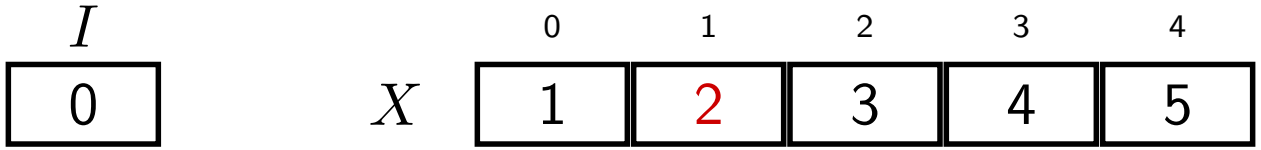
Beispiel

$$
\begin{aligned}
&X[I] := X[1];\\
&I := I + 1;\\
&X[I] := X[I + 1];\\
&I := I + 1;\\
&X[I] := X[I + 1];
\end{aligned}
$$



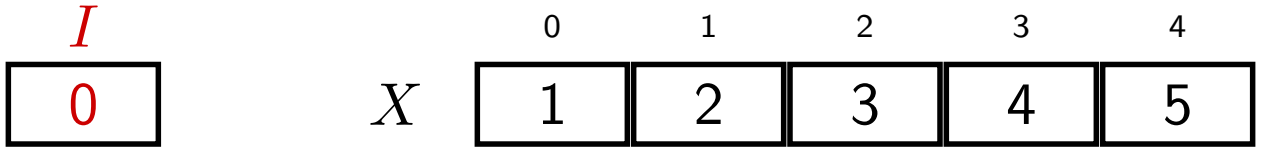
Beispiel

$$
\begin{aligned}
&X[I] := 2;\\
&I := I + 1;\\
&X[I] := X[I + 1];\\
&I := I + 1;\\
&X[I] := X[I + 1];
\end{aligned}
$$



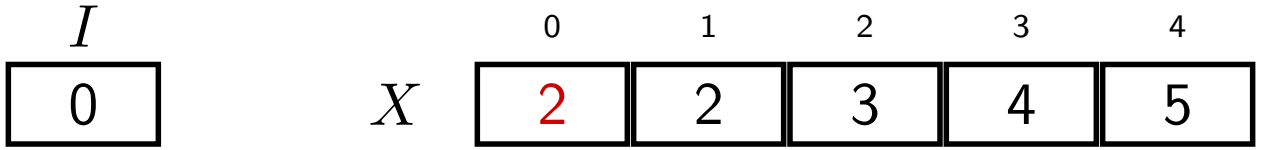
Beispiel

$$
\begin{aligned}
&X[0] := 2;\\
&I := I + 1;\\
&X[I] := X[I + 1];\\
&I := I + 1;\\
&X[I] := X[I + 1];
\end{aligned}
$$



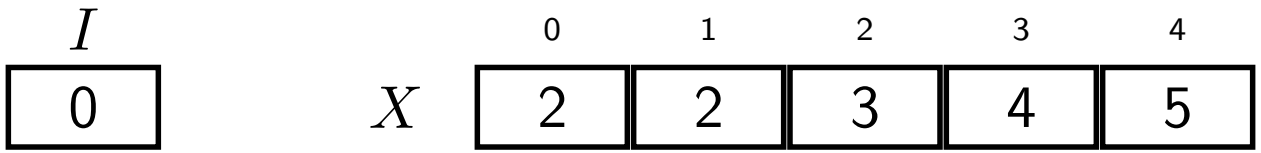
Beispiel

$$
\begin{aligned}
&X[0] := 2;\\
&I := I + 1;\\
&X[I] := X[I + 1];\\
&I := I + 1;\\
&X[I] := X[I + 1];
\end{aligned}
$$



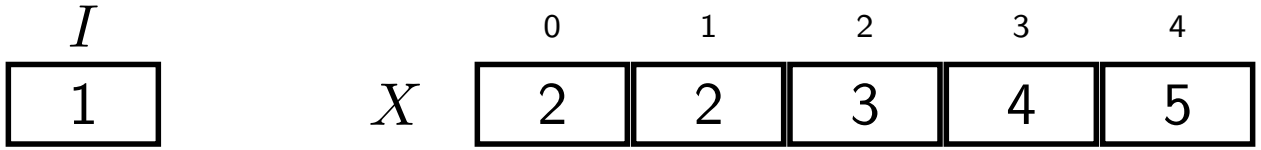
Beispiel

$$
\begin{aligned}
&I := 0 + 1;\\
&X[I] := X[I + 1];\\
&I := I + 1;\\
&X[I] := X[I + 1];
\end{aligned}
$$



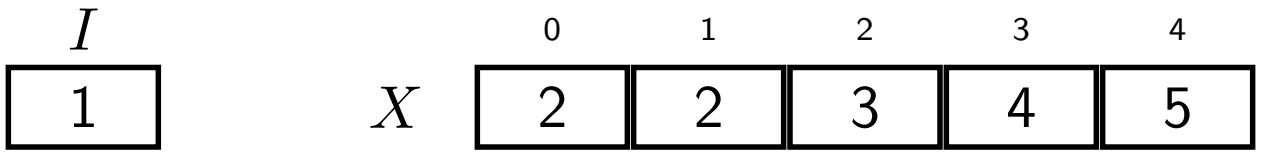
Beispiel

$$
\begin{aligned}
&I := 1;\\
&X[I] := X[I+1];\\
&I := I+1;\\
&X[I] := X[I+1];
\end{aligned}
$$



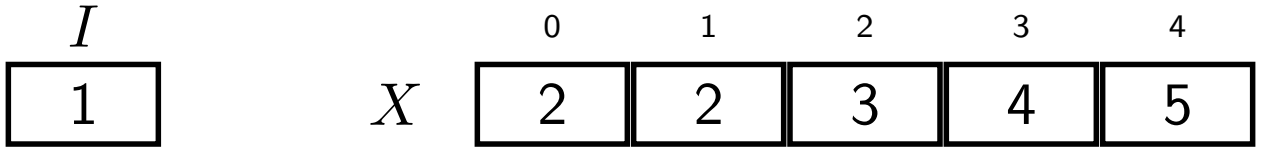
Beispiel

$$X[I] := X[1+1];$$
$$I := I+1;$$
$$X[I] := X[I+1];$$



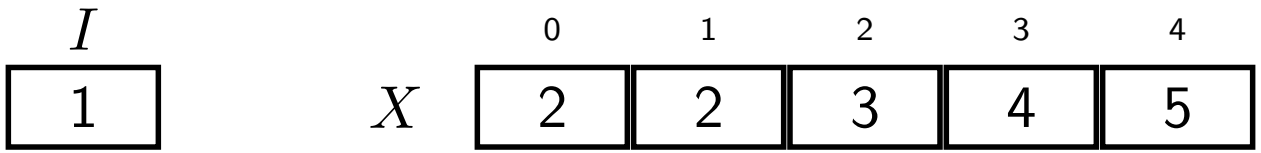
Beispiel

$$X[I] := X[2];$$
$$I := I + 1;$$
$$X[I] := X[I + 1];$$



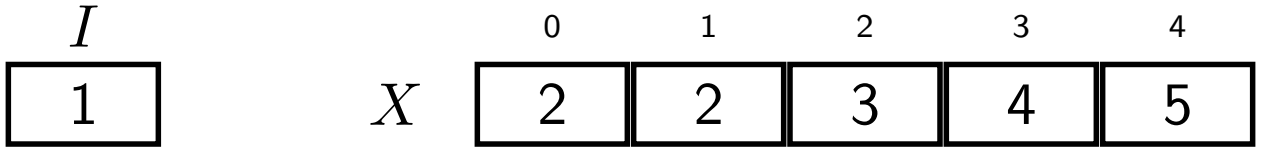
Beispiel

$$X[I] := 3;$$
$$I := I + 1;$$
$$X[I] := X[I + 1];$$



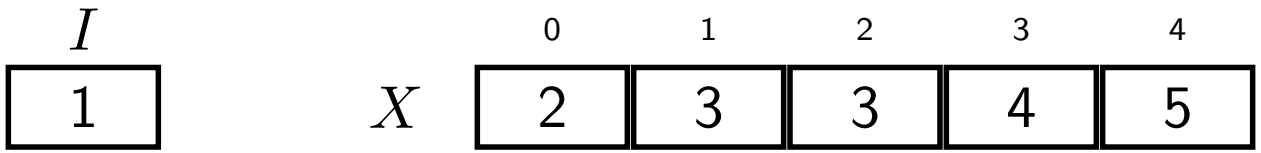
Beispiel

$$X[1] := 3;$$
$$I := I + 1;$$
$$X[I] := X[I + 1];$$



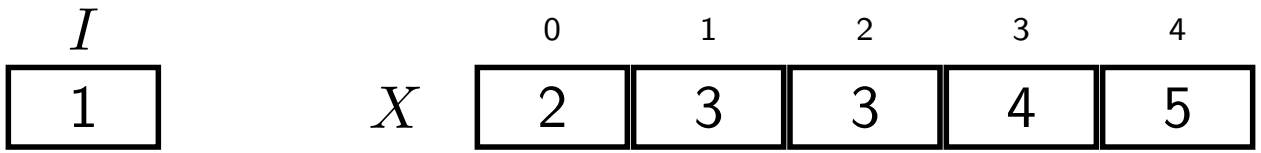
Beispiel

$$X[1] := 3;$$
$$I := I + 1;$$
$$X[I] := X[I + 1];$$



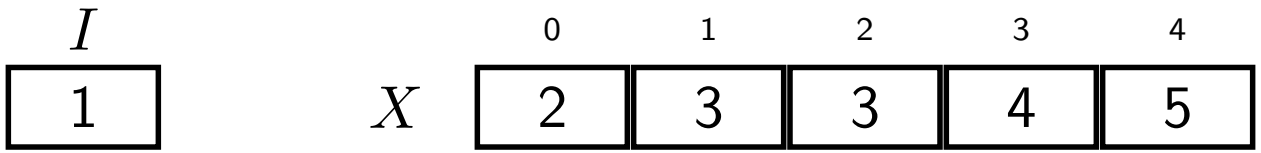
Beispiel

$$I := 1 + 1;$$
$$X[I] := X[I + 1];$$



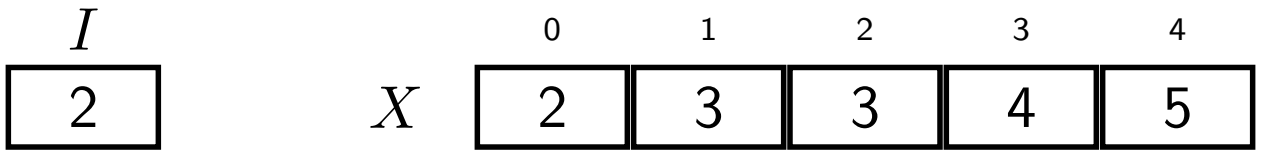
Beispiel

$$I := 2;$$
$$X[I] := X[I + 1];$$



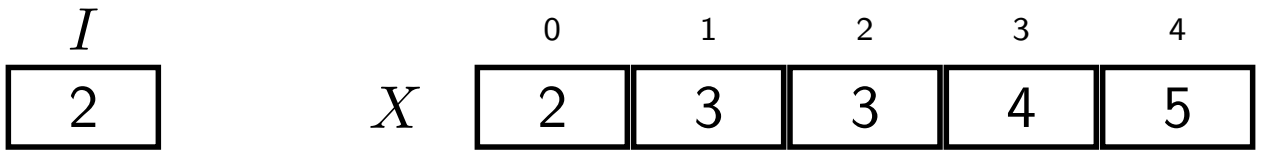
Beispiel

$$I := 2;$$
$$X[I] := X[I + 1];$$



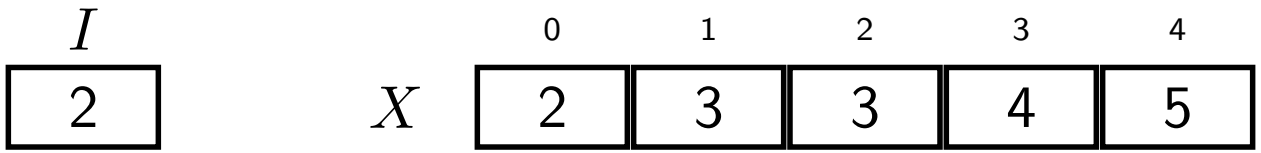
Beispiel

$$X[I] := X[2+1];$$



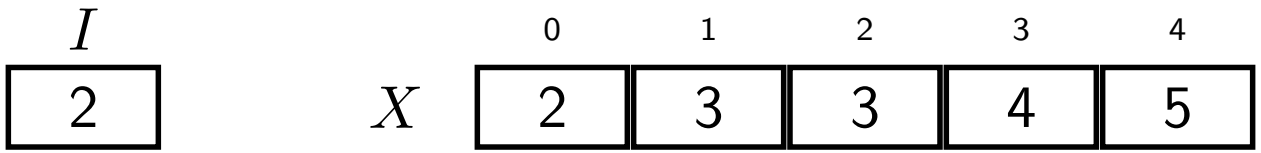
Beispiel

$$X[I] := X[3];$$



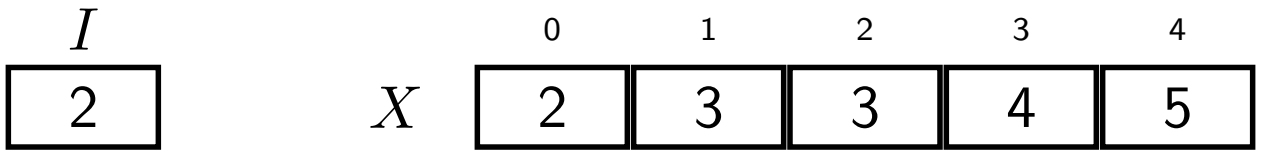
Beispiel

$$X[I] := 4;$$

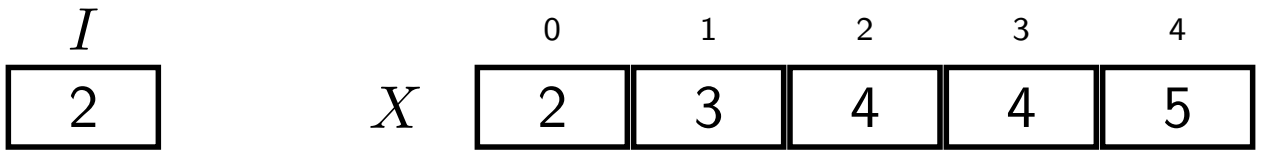


Beispiel

$$X[2] := 4;$$

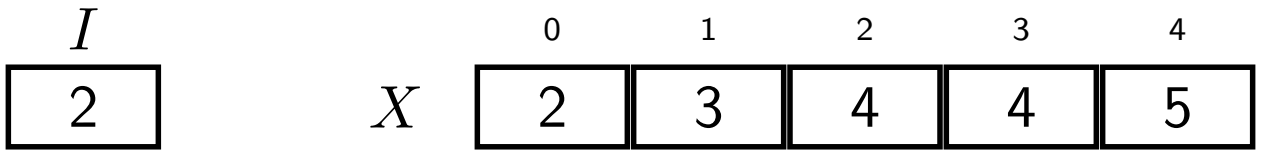


Beispiel



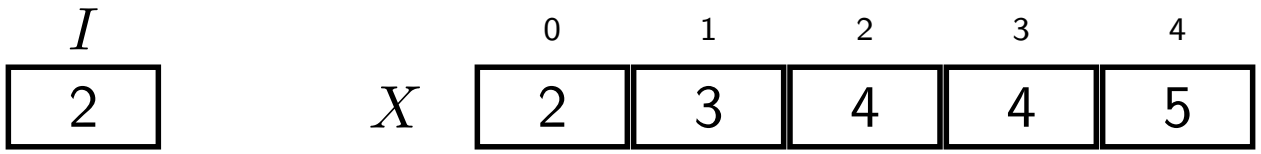
Beispiel

$$X[X[2]] := X[X[0]];$$



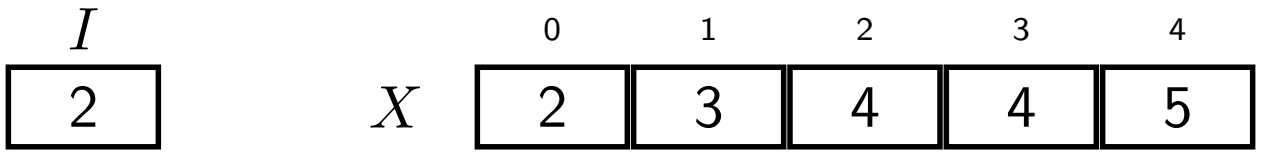
Beispiel

$$X[X[2]] := X[2];$$



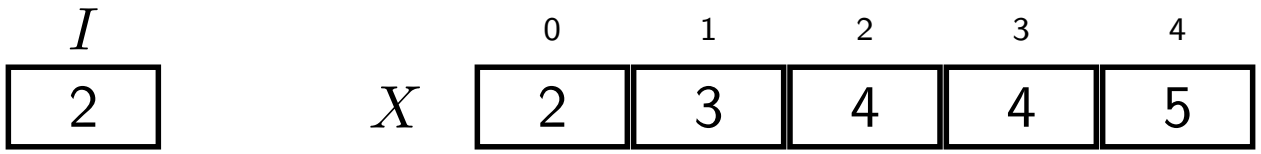
Beispiel

$$X[X[2]] := 4;$$

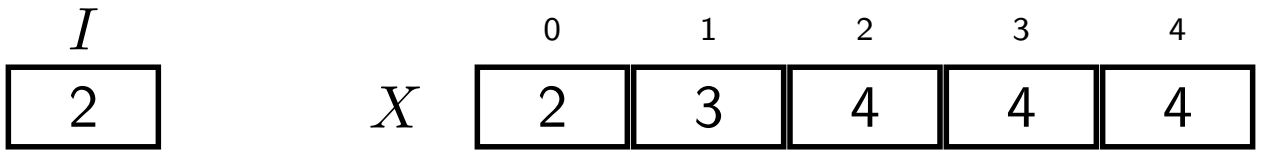


Beispiel

$$X[4] := 4;$$



Beispiel



Kontrollstrukturen: Verzweigungen

- Verzweigungen: Wenn-Dann-Befehle
- Steuern den Programmablauf:
- Je nachdem, ob eine Bedingung erfüllt ist oder nicht, wird das eine oder das andere Programm ausgeführt.

$$\texttt{IF Bedingung THEN } \{\text{Programm}_1\} \texttt{ ELSE } \{\text{Programm}_2\}$$

- Unterschied zu Haskell: kein Ausdruck, sondern ein Befehl
- Insbesondere hat der Befehl keinen Wert

Beispiel

$X := 10;$
IF $X > 5$
THEN {
$X := X + 1;$
$Y := X;$}
ELSE{
$X := X - 1;$}
$Z := X + 1;$

Beispiel

$X := 10;$
IF $X > 5$
THEN {
$X := X + 1;$
$Y := X;$}
ELSE{
$X := X - 1;$}
$Z := X + 1;$

$X \mapsto 10$

Beispiel

```
IF 10 > 5
 THEN {
      X := X + 1;
      Y := X;}
 ELSE{
      X := X - 1;}
Z := X + 1;
```

$X \mapsto 10$

Beispiel

```
IF True
 THEN {
      X := X + 1;
      Y := X;}
 ELSE{
      X := X - 1;}
Z := X + 1;
```

$X \mapsto 10$

Beispiel

$$X := X + 1;$$
$$Y := X;$$
$$Z := X + 1;$$

$$X \mapsto 10$$

Beispiel

$$X := 10 + 1;$$
$$Y := X;$$
$$Z := X + 1;$$

$$X \mapsto 10$$

Beispiel

$$X := 11;$$
$$Y := X;$$
$$Z := X + 1;$$

$$X \mapsto 10$$

Beispiel

$$Y := 11;$$
$$Z := X + 1;$$

$$X \mapsto 11$$

Beispiel

$$Z := X + 1;$$

$$X \mapsto 11 \qquad Y \mapsto 11$$

Beispiel

$$Z := 11 + 1;$$

$$X \mapsto 11 \qquad Y \mapsto 11$$

Beispiel

$$Z := 12;$$

$$X \mapsto 11 \qquad Y \mapsto 11$$

Beispiel

$$X \mapsto 11 \qquad Y \mapsto 11 \qquad Z \mapsto 12$$

IF-THEN

- Verzweigung ohne ELSE Zweig:

  IF Bedingung THEN $\{\text{Programm}_1\}$

$$
\begin{aligned}
&X := 10;\\
&Y := 20;\\
&\texttt{IF } X > Y \texttt{ THEN}\{\\
&\qquad Y := Y - X;\}\\
&R := Y;
\end{aligned}
$$

IF-THEN

- Verzweigung ohne ELSE Zweig:

$$\texttt{IF Bedingung THEN } \{\text{Programm}_1\}$$

$$X := 10;$$
$$Y := 20;$$
$$\texttt{IF } X > Y \texttt{ THEN}\{$$
$$\quad Y := Y - X;\}$$
$$R := Y;$$

$$X \mapsto 10$$

IF-THEN

- Verzweigung ohne ELSE Zweig:

  IF Bedingung THEN {Programm$_1$}

$$
\begin{aligned}
&Y := 20;\\
&\texttt{IF } X > Y \texttt{ THEN}\{\\
&\qquad Y := Y - X;\}\\
&R := Y;
\end{aligned}
$$

$$X \mapsto 10 \qquad Y \mapsto 20$$

IF-THEN

- Verzweigung ohne ELSE Zweig:

  IF Bedingung THEN $\{\text{Programm}_1\}$

$$\begin{aligned}&\texttt{IF } 10 > Y \texttt{ THEN}\{\\ &\qquad Y := Y - X;\}\\ &R := Y;\end{aligned}$$

$$X \mapsto 10 \qquad Y \mapsto 20$$

IF-THEN

- Verzweigung ohne ELSE Zweig:

  IF Bedingung THEN $\{\text{Programm}_1\}$

$$\begin{aligned}&\texttt{IF } 10 > 20 \texttt{ THEN}\{\\ &\qquad Y := Y - X;\}\\ &R := Y;\end{aligned}$$

$$X \mapsto 10 \qquad Y \mapsto 20$$

IF-THEN

- Verzweigung ohne ELSE Zweig:

  `IF` Bedingung `THEN` {Programm$_1$}

```
IF False THEN{
      Y := Y - X;}
R := Y;
```

$X \mapsto 10 \qquad Y \mapsto 20$

IF-THEN

- Verzweigung ohne ELSE Zweig:

  `IF` Bedingung `THEN` {Programm$_1$}

$$R := Y;$$

$$X \mapsto 10 \qquad Y \mapsto 20$$

IF-THEN

- Verzweigung ohne ELSE Zweig:

  `IF` Bedingung `THEN` {Programm$_1$}

$$R := 20;$$

$$X \mapsto 10 \qquad Y \mapsto 20$$

IF-THEN

- Verzweigung ohne ELSE Zweig:

  `IF` Bedingung `THEN` {Programm$_1$}

$$X \mapsto 10 \qquad Y \mapsto 20 \qquad R \mapsto 20$$

Kontrollstrukturen: Schleifen

- Schleifen dienen dazu ein Programmstück wiederholt auszuführen
- Da Speicherplätze verändert werden können, sind die Wiederholungen nicht notwendigerweise identisch!
- Dieses Programmstück wird solange wiederholt bis eine Abbruchbedingung erfüllt ist
- Wir betrachten im Folgenden die `FOR`- und die `WHILE`-Schleife

Die FOR-Schleife

GOETHE UNIVERSITÄT FRANKFURT AM MAIN

`FOR` (*Variable* = *Startwert*; *Bedingung*; *Anweisung*)
{*Schleifenkörper*}

- *Variable* wird zum Zählen verwendet (auch *Zählvariable* oder *Zähler* genannt).
- *Startwert* wird der Variablen zu Beginn zugewiesen.
- Wenn *Bedingung* erfüllt ist, wird der Schleifenkörper durchlaufen, anderenfalls ist die Schleife beendet
- *Anweisung* wird nach jedem Durchlauf ausgeführt.

Beispiel

$$
\begin{aligned}
&Y := 0;\\
&\texttt{FOR}\ (X := 1; X \leq 3; X := X + 1)\{\\
&\quad Y := Y + X;\}\\
&Z := Y;
\end{aligned}
$$

Beispiel

$Y := 0;$
FOR $(X := 1; X \leq 3; X := X + 1)\{$
$\quad Y := Y + X;\}$
$Z := Y;$

$Y \mapsto 0$

Beispiel

$$
\begin{aligned}
&Y := 0;\\
&\texttt{FOR}\ (X := 1; X \leq 3; X := X + 1)\{\\
&\quad Y := Y + X;\}\\
&Z := Y;
\end{aligned}
$$

$$Y \mapsto 0 \qquad X \mapsto 1$$

Beispiel

$$Y := 0;$$

$$\texttt{FOR}\ (X := 1; \overbrace{X \leq 3}^{=\texttt{True}}; X := X + 1)\{$$
$$\quad Y := Y + X;\}$$
$$Z := Y;$$

$$Y \mapsto 0 \qquad X \mapsto 1$$

Beispiel

$$
\begin{aligned}
&Y := 0;\\
&\texttt{FOR}\ (X := 1; X \leq 3; X := X + 1)\{\\
&\quad Y := Y + X;\}\\
&Z := Y;
\end{aligned}
$$

$$Y \mapsto 0 \qquad X \mapsto 1$$

Beispiel

$Y := 0;$
$\texttt{FOR}\ (X := 1; X \leq 3; X := X + 1)\{$
$\quad Y := Y + X;\}$
$Z := Y;$

$Y \mapsto 1 \qquad X \mapsto 1$

Beispiel

$Y := 0;$
FOR $(X := 1; X \leq 3; X := X + 1)\{$
$\quad Y := Y + X;\}$
$Z := Y;$

$Y \mapsto 1 \qquad X \mapsto 1$

Beispiel

$$
\begin{aligned}
&Y := 0;\\
&\texttt{FOR}\ (X := 1; X \leq 3; X := X + 1)\{\\
&\quad Y := Y + X;\}\\
&Z := Y;
\end{aligned}
$$

$$Y \mapsto 1 \qquad X \mapsto 2$$

Beispiel

$$Y := 0;$$

$$\texttt{FOR}\ (X := 1; \overbrace{X \leq 3}^{=\texttt{True}}; X := X + 1)\{$$
$$\quad Y := Y + X;\}$$
$$Z := Y;$$

$$Y \mapsto 1 \qquad X \mapsto 2$$

Beispiel

$$
\begin{aligned}
&Y := 0;\\
&\texttt{FOR}\ (X := 1; X \leq 3; X := X + 1)\{\\
&\quad Y := Y + X;\}\\
&Z := Y;
\end{aligned}
$$

$$Y \mapsto 1 \qquad X \mapsto 2$$

Beispiel

$Y := 0;$
$\texttt{FOR}\ (X := 1; X \leq 3; X := X + 1)\{$
$\quad Y := Y + X;\}$
$Z := Y;$

$Y \mapsto 3 \qquad X \mapsto 2$

Beispiel

$$
\begin{aligned}
&Y := 0;\\
&\texttt{FOR}\ (X := 1; X \leq 3; X := X + 1)\{\\
&\quad Y := Y + X;\}\\
&Z := Y;
\end{aligned}
$$

$$Y \mapsto 3 \qquad X \mapsto 2$$

Beispiel

$$
\begin{aligned}
&Y := 0;\\
&\texttt{FOR}\ (X := 1; X \leq 3; X := X + 1)\{\\
&\quad Y := Y + X;\}\\
&Z := Y;
\end{aligned}
$$

$$Y \mapsto 3 \qquad X \mapsto 3$$

Beispiel

$$Y := 0;$$

$$\texttt{FOR}\ (X := 1; \overbrace{X \leq 3}^{=\texttt{True}}; X := X + 1)\{$$
$$\quad Y := Y + X;\}$$
$$Z := Y;$$

$$Y \mapsto 3 \qquad X \mapsto 3$$

Beispiel

$$
\begin{aligned}
&Y := 0;\\
&\texttt{FOR}\ (X := 1; X \leq 3; X := X + 1)\{\\
&\quad Y := Y + X;\}\\
&Z := Y;
\end{aligned}
$$

$$Y \mapsto 3 \qquad X \mapsto 3$$

Beispiel

$$
\begin{aligned}
&Y := 0;\\
&\texttt{FOR}\ (X := 1; X \leq 3; X := X + 1)\{\\
&\quad Y := Y + X;\}\\
&Z := Y;
\end{aligned}
$$

$$Y \mapsto 6 \qquad X \mapsto 3$$

Beispiel

$Y := 0;$
FOR $(X := 1; X \leq 3; X := X + 1)\{$
$\quad Y := Y + X;\}$
$Z := Y;$

$Y \mapsto 6 \qquad X \mapsto 3$

Beispiel

$Y := 0;$
FOR $(X := 1; X \leq 3; X := X + 1)\{$
$\quad Y := Y + X;\}$
$Z := Y;$

$Y \mapsto 6 \qquad X \mapsto 4$

Beispiel

$$Y := 0;$$

$$\texttt{FOR}\ (X := 1; \overbrace{X \leq 3}^{=\texttt{False}}; X := X + 1)\{$$
$$\quad Y := Y + X;\}$$
$$Z := Y;$$

$$Y \mapsto 6 \qquad X \mapsto 4$$

Beispiel

$$
\begin{aligned}
&Y := 0;\\
&\texttt{FOR}\ (X := 1; X \leq 3; X := X + 1)\{\\
&\quad Y := Y + X;\}\\
&Z := Y;
\end{aligned}
$$

$$Y \mapsto 6 \qquad X \mapsto 4 \qquad Z \mapsto 6$$

Endlosschleifen

So besser nicht:

$$
\begin{aligned}
&Y := 0;\\
&\texttt{FOR}\ (X := 1; X \leq 3; X := X)\{\\
&\quad Y := Y + X;\}\\
&Z := Y;
\end{aligned}
$$

Die WHILE-Schleife

`WHILE` *Bedingung*
Schleifenkörper

- Wenn *Bedingung* wahr ist wird der *Schleifenkörper* ausgeführt und danach zum Anfang gesprungen
- Ist Bedingung nicht erfüllt, ist die Schleife beendet.

Beispiel

$$
\begin{aligned}
&X := 1;\\
&Y := 0;\\
&\texttt{WHILE } (X \leq 3)\ \{\\
&\qquad Y := Y + X;\\
&\qquad X := X + 1;\}\\
&Z := Y;
\end{aligned}
$$

Beispiel

$$
\begin{array}{l}
X := 1; \\
Y := 0; \\
\texttt{WHILE}\ (X \leq 3)\ \{ \\
\qquad Y := Y + X; \\
\qquad X := X + 1; \} \\
Z := Y;
\end{array}
$$

$$X \mapsto 1$$

Beispiel

$$
\begin{aligned}
&X := 1;\\
&Y := 0;\\
&\texttt{WHILE } (X \leq 3)\ \{\\
&\qquad Y := Y + X;\\
&\qquad X := X + 1;\}\\
&Z := Y;
\end{aligned}
$$

$X \mapsto 1 \qquad Y \mapsto 0$

Beispiel

$$
\begin{aligned}
&X := 1;\\
&Y := 0;\\
&\texttt{WHILE } \overbrace{(X \leq 3)}^{\texttt{True}} \{\\
&\qquad Y := Y + X;\\
&\qquad X := X + 1;\}\\
&Z := Y;
\end{aligned}
$$

$$X \mapsto 1 \qquad Y \mapsto 0$$

Beispiel

$$
\begin{aligned}
&X := 1;\\
&Y := 0;\\
&\texttt{WHILE}\ (X \leq 3)\ \{\\
&\qquad Y := Y + X;\\
&\qquad X := X + 1;\}\\
&Z := Y;
\end{aligned}
$$

$X \mapsto 1 \qquad Y \mapsto 0$

Beispiel

$$
\begin{aligned}
&X := 1;\\
&Y := 0;\\
&\texttt{WHILE } (X \leq 3)\ \{\\
&\qquad Y := Y + X;\\
&\qquad X := X + 1;\}\\
&Z := Y;
\end{aligned}
$$

$X \mapsto 1 \qquad Y \mapsto 1$

Beispiel

$$
\begin{aligned}
&X := 1;\\
&Y := 0;\\
&\texttt{WHILE } (X \leq 3)\ \{\\
&\qquad Y := Y + X;\\
&\qquad X := X + 1;\}\\
&Z := Y;
\end{aligned}
$$

$X \mapsto 1 \qquad Y \mapsto 1$

Beispiel

$$
\begin{aligned}
&X := 1;\\
&Y := 0;\\
&\texttt{WHILE } (X \leq 3)\ \{\\
&\qquad Y := Y + X;\\
&\qquad X := X + 1;\}\\
&Z := Y;
\end{aligned}
$$

$X \mapsto 2 \qquad Y \mapsto 1$

Beispiel

$$
\begin{aligned}
&X := 1;\\
&Y := 0;\\
&\texttt{WHILE } \overbrace{(X \leq 3)}^{\texttt{True}} \texttt{ } \{\\
&\qquad Y := Y + X;\\
&\qquad X := X + 1;\}\\
&Z := Y;
\end{aligned}
$$

$$X \mapsto 2 \qquad Y \mapsto 1$$

Beispiel

$$
\begin{aligned}
&X := 1;\\
&Y := 0;\\
&\texttt{WHILE}\ (X \leq 3)\ \{\\
&\qquad Y := Y + X;\\
&\qquad X := X + 1;\}\\
&Z := Y;
\end{aligned}
$$

$X \mapsto 2 \qquad Y \mapsto 1$

Beispiel

$$
\begin{aligned}
&X := 1;\\
&Y := 0;\\
&\texttt{WHILE } (X \leq 3)\ \{\\
&\qquad Y := Y + X;\\
&\qquad X := X + 1;\}\\
&Z := Y;
\end{aligned}
$$

$X \mapsto 2 \qquad Y \mapsto 3$

Beispiel

$$
\begin{aligned}
&X := 1;\\
&Y := 0;\\
&\texttt{WHILE } (X \leq 3)\ \{\\
&\qquad Y := Y + X;\\
&\qquad X := X + 1;\}\\
&Z := Y;
\end{aligned}
$$

$X \mapsto 2 \qquad Y \mapsto 3$

Beispiel

$$
\begin{aligned}
&X := 1;\\
&Y := 0;\\
&\texttt{WHILE } (X \leq 3)\ \{\\
&\qquad Y := Y + X;\\
&\qquad X := X + 1;\}\\
&Z := Y;
\end{aligned}
$$

$X \mapsto 3 \qquad Y \mapsto 3$

Beispiel

$$
\begin{aligned}
&X := 1;\\
&Y := 0;\\
&\texttt{WHILE } \overbrace{(X \leq 3)}^{\texttt{True}} \{\\
&\qquad Y := Y + X;\\
&\qquad X := X + 1;\}\\
&Z := Y;
\end{aligned}
$$

$X \mapsto 3 \qquad Y \mapsto 3$

Beispiel

$$
\begin{aligned}
&X := 1;\\
&Y := 0;\\
&\texttt{WHILE}\ (X \leq 3)\ \{\\
&\qquad Y := Y + X;\\
&\qquad X := X + 1;\}\\
&Z := Y;
\end{aligned}
$$

$X \mapsto 3 \qquad Y \mapsto 3$

Beispiel

$$
\begin{aligned}
&X := 1;\\
&Y := 0;\\
&\texttt{WHILE } (X \leq 3)\ \{\\
&\qquad Y := Y + X;\\
&\qquad X := X + 1;\}\\
&Z := Y;
\end{aligned}
$$

$X \mapsto 3 \qquad Y \mapsto 6$

Beispiel

$$
\begin{aligned}
&X := 1;\\
&Y := 0;\\
&\texttt{WHILE } (X \leq 3)\ \{\\
&\qquad Y := Y + X;\\
&\qquad X := X + 1;\}\\
&Z := Y;
\end{aligned}
$$

$X \mapsto 3 \qquad Y \mapsto 6$

Beispiel

$$
\begin{aligned}
&X := 1;\\
&Y := 0;\\
&\texttt{WHILE } (X \leq 3)\ \{\\
&\qquad Y := Y + X;\\
&\qquad X := X + 1;\}\\
&Z := Y;
\end{aligned}
$$

$X \mapsto 4 \qquad Y \mapsto 6$

Beispiel

$$
\begin{aligned}
&X := 1;\\
&Y := 0;\\
&\texttt{WHILE } \overbrace{(X \leq 3)}^{\texttt{False}} \{\\
&\qquad Y := Y + X;\\
&\qquad X := X + 1;\}\\
&Z := Y;
\end{aligned}
$$

$$X \mapsto 4 \qquad Y \mapsto 6$$

Beispiel

$$
\begin{aligned}
&X := 1;\\
&Y := 0;\\
&\texttt{WHILE } (X \leq 3)\ \{\\
&\qquad Y := Y + X;\\
&\qquad X := X + 1;\}\\
&Z := Y;
\end{aligned}
$$

$$X \mapsto 4 \qquad Y \mapsto 6 \qquad Z \mapsto 6$$

Array mit Schleife durchlaufen

Suche nach S im Array X

$$
\begin{aligned}
&R := -1;\\
&Z := 0;\\
&\texttt{WHILE } R = -1 \text{ und } Z < n \ \{\\
&\qquad \texttt{IF } X[Z] = S \texttt{ THEN}\\
&\qquad\qquad \{R := Z;\}\\
&\qquad Z := Z + 1;\}
\end{aligned}
$$