

## 5.3 Auswertung von Ausdrücken

**Funktionen** in **Java** bekommen **Parameter**/Argumente als Input, und liefern als Output den Wert eines vorbestimmten Typs. Zum Beispiel könnte man eine Funktion

```
int min(int a, int b)
```

implementieren, die das Minimum ihrer Argumente zurückliefert.

**Operatoren** sind spezielle vordefinierte Funktionen, die in **Infix**-Notation geschrieben werden (wenn sie binär sind):

$a + b = +(a,b)$

## 5.3 Auswertung von Ausdrücken

Ein **Ausdruck** ist eine Kombination von Literalen, Operatoren, Funktionen, Variablen und Klammern, die verwendet wird, um einen Wert zu berechnen.

**Beispiele:** (x z.B. vom Typ `int`)

- ▶ `7 + 4`
- ▶ `3 / 5 + 3`
- ▶ `min(3,x) + 20`
- ▶ `x = 7`
- ▶ `x *= 2`

# Operatoren

## Unäre Operatoren:

<i>symbol</i>	<i>name</i>	<i>types</i>	<i>L/R</i>	<i>level</i>
++	Post-increment	(var) zahl, char	links	2
--	Post-decrement	(var) zahl, char	links	2
++	Pre-increment	(var) zahl, char	rechts	3
--	Pre-decrement	(var) zahl, char	rechts	3
+	unäres Plus	zahl, char	rechts	3
-	unäres Minus	zahl, char	rechts	3
!	Negation	boolean	rechts	3

# Achtung

# Prefix- und Postfixoperator

- ▶ Die Operatoranwendungen  $++x$  und  $x++$  inkrementieren beide den Wert der Variablen  $x$  (als **Seiteneffekt**).
- ▶  $++x$  tut das, **bevor** der Wert des Ausdrucks ermittelt wird (**Pre-Increment**).
- ▶  $x++$  tut das, **nachdem** der Wert ermittelt wurde (**Post-Increment**).
- ▶  $b = x++$ ; entspricht:  
$$b = x;$$
$$x = x + 1;$$
- ▶  $b = ++x$ ; entspricht:  
$$x = x + 1;$$
$$b = x;$$

# Operatoren

## Binäre arithmetische Operatoren:

byte, short, char werden nach int konvertiert

<i>symbol</i>	<i>name</i>	<i>types</i>	<i>L/R</i>	<i>level</i>
*	Multiplikation	zahl, char	links	4
/	Division	zahl, char	links	4
%	Modulo	zahl, char	links	4
+	Addition	zahl, char	links	5
-	Subtraktion	zahl, char	links	5

## Konkatenation

<i>symbol</i>	<i>name</i>	<i>types</i>	<i>L/R</i>	<i>level</i>
+	Konkatenation	string	links	5

## Vergleichsoperatoren:

<i>symbol</i>	<i>name</i>	<i>types</i>	<i>L/R</i>	<i>level</i>
>	größer	zahl, char	links?	7
>=	größergleich	zahl, char	links?	7
<	kleiner	zahl, char	links?	7
<=	kleinergleich	zahl, char	links?	7
==	gleich	primitiv	links	8
!=	ungleich	primitiv	links	8

## Boolsche Operatoren:

<i>symbol</i>	<i>name</i>	<i>types</i>	<i>L/R</i>	<i>level</i>
&&	Und-Bedingung	boolean	links	12
	Oder-Bedingung	boolean	links	13

## Zuweisungsoperatoren:

<i>symbol</i>	<i>name</i>	<i>types</i>	<i>L/R</i>	<i>level</i>
=	Zuweisung	var, wert	rechts	15
*=, /=, %= +=, -=	Zuweisung	var, wert	rechts	15

Für die letzte Form gilt:

$$v \Leftarrow a \iff v = (\text{type}(v)) (v \circ a)$$

## Warnung:

- ▶ Eine Zuweisung `x = y;` ist in Wahrheit ein **Ausdruck**.
- ▶ Der Wert ist der Wert der rechten Seite.
- ▶ Die Modifizierung der Variablen `x` erfolgt als **Seiteneffekt**.
- ▶ Das Semikolon `;` hinter einem Ausdruck wirft nur den Wert weg.

## Fatal für Fehler in Bedingungen:

```
boolean x = false;  
if (x = true)  
    write("Sorry! This must be an error ...");
```

## 5.3 Auswertung von Ausdrücken

### Assoziativität

- ▶ Die Assoziativität entscheidet über die Reihenfolge bei Operatoren gleicher Priorität. (links = der linkeste Operator wird zuerst ausgeführt)
- ▶ Alle Operatoren einer Prioritätsgruppe haben dieselbe Assoziativität.
- ▶ Bis auf Zuweisungsoperatoren (=, +=, etc.) sind alle binären Operatoren linksassoziativ.
- ▶ unäre Operatoren, die ihr Argument rechts erwarten sind rechtsassoziativ
- ▶ unäre Operatoren, die ihr Argument links erwarten (postfix-Operatoren ++, --) sind linksassoziativ
- ▶ Der ternäre Bedingungsoperator (später) ist rechtsassoziativ

## 5.3 Auswertung von Ausdrücken

### Assoziativität

- ▶ Die Assoziativität entscheidet über die Reihenfolge bei Operatoren gleicher Priorität. (links = der linkeste Operator wird zuerst ausgeführt)
- ▶ Alle Operatoren einer Prioritätsgruppe haben dieselbe Assoziativität.
- ▶ Bis auf Zuweisungsoperatoren (=, +=, etc.) sind alle binären Operatoren linksassoziativ.
- ▶ unäre Operatoren, die ihr Argument rechts erwarten sind rechtsassoziativ
- ▶ unäre Operatoren, die ihr Argument links erwarten (postfix-Operatoren ++, --) sind linksassoziativ
- ▶ Der ternäre Bedingungsoperator (später) ist rechtsassoziativ

## 5.3 Auswertung von Ausdrücken

### Assoziativität

- ▶ Die Assoziativität entscheidet über die Reihenfolge bei Operatoren gleicher Priorität. (links = der linkeste Operator wird zuerst ausgeführt)
- ▶ Alle Operatoren einer Prioritätsgruppe haben dieselbe Assoziativität.
- ▶ Bis auf Zuweisungsoperatoren (=, +=, etc.) sind alle binären Operatoren linksassoziativ.
- ▶ unäre Operatoren, die ihr Argument rechts erwarten sind rechtsassoziativ
- ▶ unäre Operatoren, die ihr Argument links erwarten (postfix-Operatoren ++, --) sind linksassoziativ
- ▶ Der ternäre Bedingungsoperator (später) ist rechtsassoziativ

## 5.3 Auswertung von Ausdrücken

### Assoziativität

- ▶ Die Assoziativität entscheidet über die Reihenfolge bei Operatoren gleicher Priorität. (links = der linkeste Operator wird zuerst ausgeführt)
- ▶ Alle Operatoren einer Prioritätsgruppe haben dieselbe Assoziativität.
- ▶ Bis auf Zuweisungsoperatoren (=, +=, etc.) sind alle binären Operatoren linksassoziativ.
- ▶ unäre Operatoren, die ihr Argument rechts erwarten sind rechtsassoziativ
- ▶ unäre Operatoren, die ihr Argument links erwarten (postfix-Operatoren ++, --) sind linksassoziativ
- ▶ Der ternäre Bedingungsoperator (später) ist rechtsassoziativ

## 5.3 Auswertung von Ausdrücken

### Assoziativität

- ▶ Die Assoziativität entscheidet über die Reihenfolge bei Operatoren gleicher Priorität. (links = der linkeste Operator wird zuerst ausgeführt)
- ▶ Alle Operatoren einer Prioritätsgruppe haben dieselbe Assoziativität.
- ▶ Bis auf Zuweisungsoperatoren (=, +=, etc.) sind alle binären Operatoren linksassoziativ.
- ▶ unäre Operatoren, die ihr Argument rechts erwarten sind rechtsassoziativ
- ▶ unäre Operatoren, die ihr Argument links erwarten (postfix-Operatoren ++, --) sind linksassoziativ
- ▶ Der ternäre Bedingungsoperator (später) ist rechtsassoziativ

## 5.3 Auswertung von Ausdrücken

### Assoziativität

- ▶ Die Assoziativität entscheidet über die Reihenfolge bei Operatoren gleicher Priorität. (links = der linkeste Operator wird zuerst ausgeführt)
- ▶ Alle Operatoren einer Prioritätsgruppe haben dieselbe Assoziativität.
- ▶ Bis auf Zuweisungsoperatoren (=, +=, etc.) sind alle binären Operatoren linksassoziativ.
- ▶ unäre Operatoren, die ihr Argument rechts erwarten sind rechtsassoziativ
- ▶ unäre Operatoren, die ihr Argument links erwarten (postfix-Operatoren ++, --) sind linksassoziativ
- ▶ Der ternäre Bedingungsoperator (später) ist rechtsassoziativ

## 5.3 Auswertung von Ausdrücken

Die Auswertung eines Ausdrucks liefert

- ▶ eine Variable (**var**),
- ▶ einen reinen Wert (**val**) oder
- ▶ void (**void**)

In den ersten beiden Fällen hat der Ausdruck dann einen

- ▶ Typ, z.B.: **int**, und einen
- ▶ Wert, z.B.: **42**

Für z.B. Zuweisungen muss die Auswertung des Ausdrucks auf der linken Seite eine Variable ergeben!!!

## 5.3 Auswertung von Ausdrücken

In **Java** werden Unterausdrücke von links nach rechts ausgewertet. D.h. um den Wert einer Operation zu berechnen:

- ▶ werte (rekursiv) alle Operanden von links nach rechts aus
- ▶ führe die Operation auf den Resultaten aus

**Ausnahmen:** `||`, `&&`, und der ternäre Bedingungsoperator `?:`, werten nicht alle Operanden aus (**Kurzschlussauswertung**).

Man sollte nie Ausdrücke formulieren, deren Ergebnis von der Auswertungsreihenfolge abhängt!!!

## 5.3 Auswertung von Ausdrücken

In **Java** werden Unterausdrücke von links nach rechts ausgewertet. D.h. um den Wert einer Operation zu berechnen:

- ▶ werte (rekursiv) alle Operanden von links nach rechts aus
- ▶ führe die Operation auf den Resultaten aus

**Ausnahmen:** `||`, `&&`, und der ternäre Bedingungsoperator `?:`, werten nicht all Operanden aus (**Kurzschlussauswertung**).

**Man sollte nie Ausdrücke formulieren, deren Ergebnis von der Auswertungsreihenfolge abhängt!!!**

## 5.3 Auswertung von Ausdrücken

Im folgenden betrachten wir Klammern als einen Operator der nichts tut:

<i>symbol</i>	<i>name</i>	<i>types</i>	<i>L/R</i>	<i>level</i>
( )	Klammerung	*	links	0

Beispiel:  $2 + x * (z - d)$

2 + x \* ( z - d )

Beispiel:  $2 + x * (z - d)$



Beispiel:  $2 + x * (z - d)$



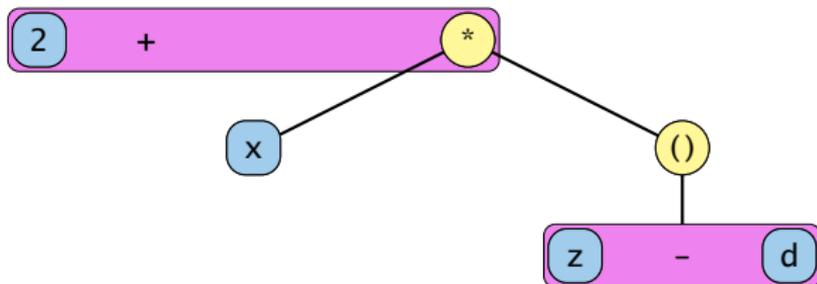
Beispiel:  $2 + x * (z - d)$



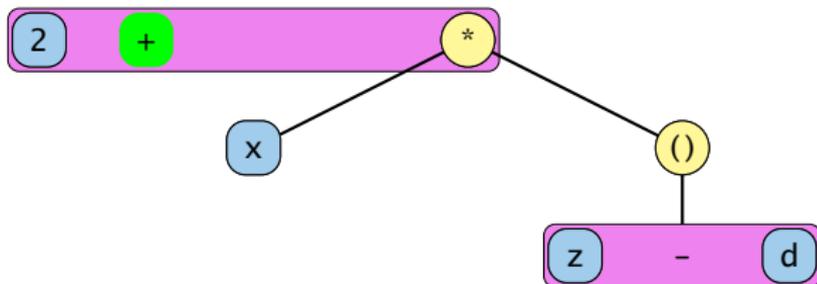
Beispiel:  $2 + x * (z - d)$



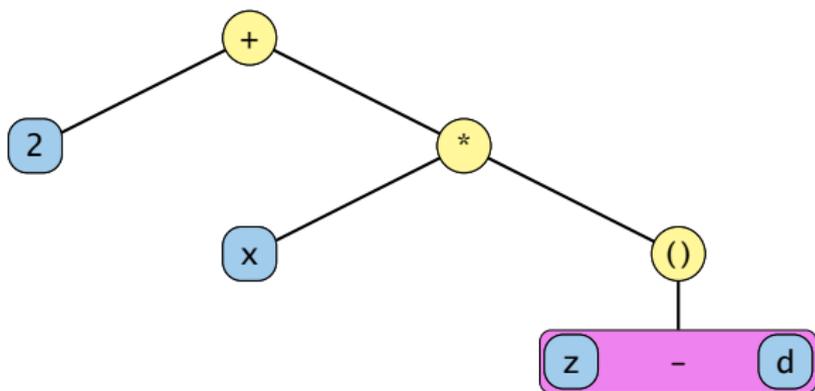
Beispiel:  $2 + x * (z - d)$



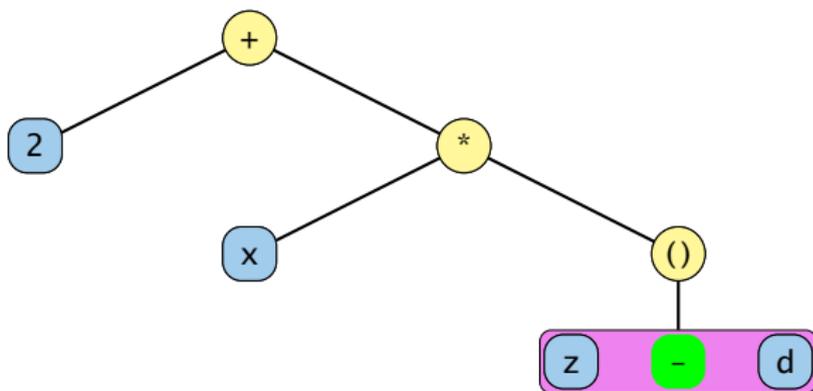
Beispiel:  $2 + x * (z - d)$



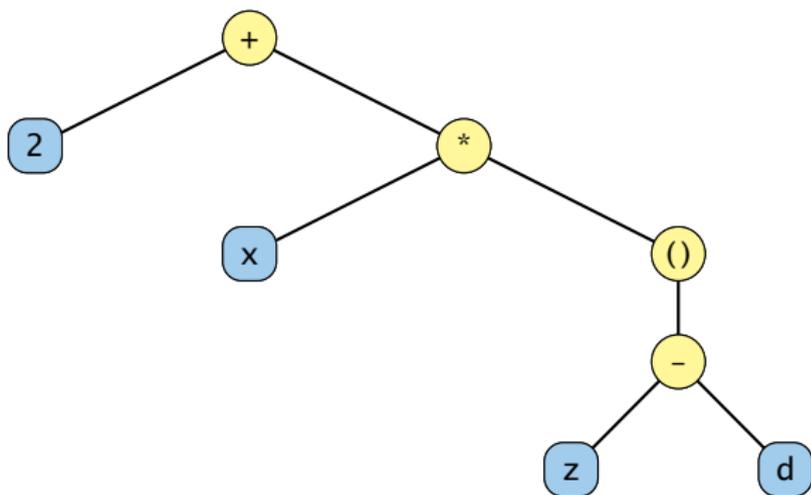
Beispiel:  $2 + x * (z - d)$



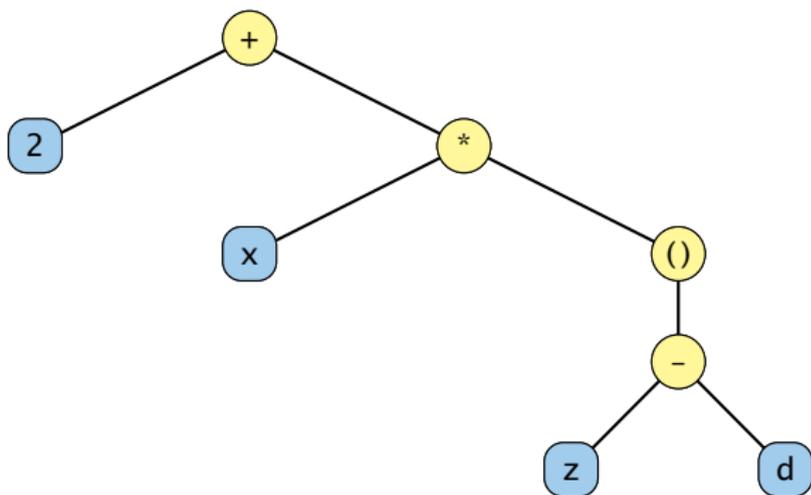
Beispiel:  $2 + x * (z - d)$



Beispiel:  $2 + x * (z - d)$



Beispiel:  $2 + x * (z - d)$

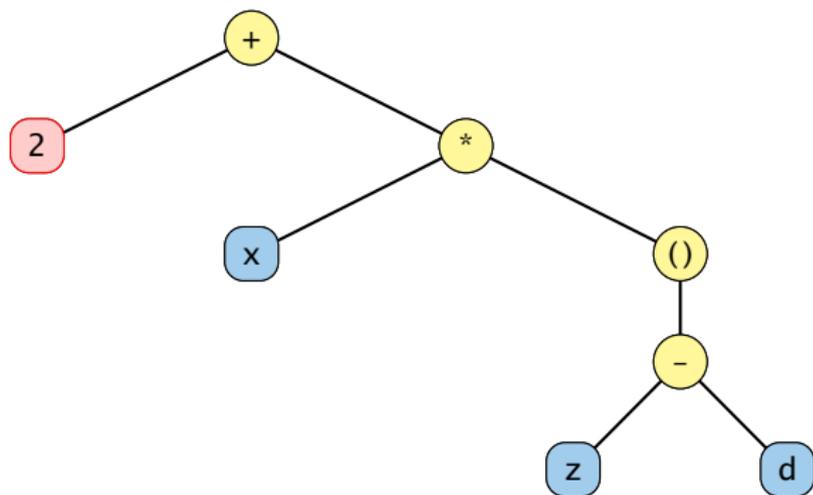


x

d

z

Beispiel:  $2 + x * (z - d)$

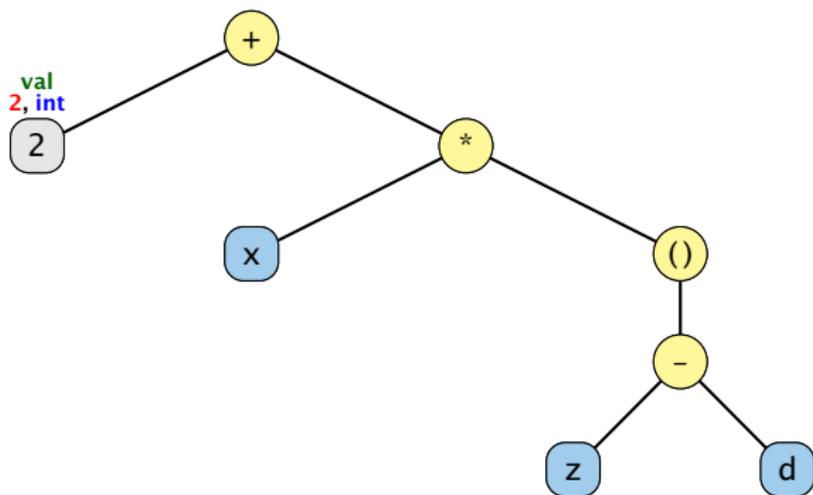


x

d

z

## Beispiel: $2 + x * (z - d)$

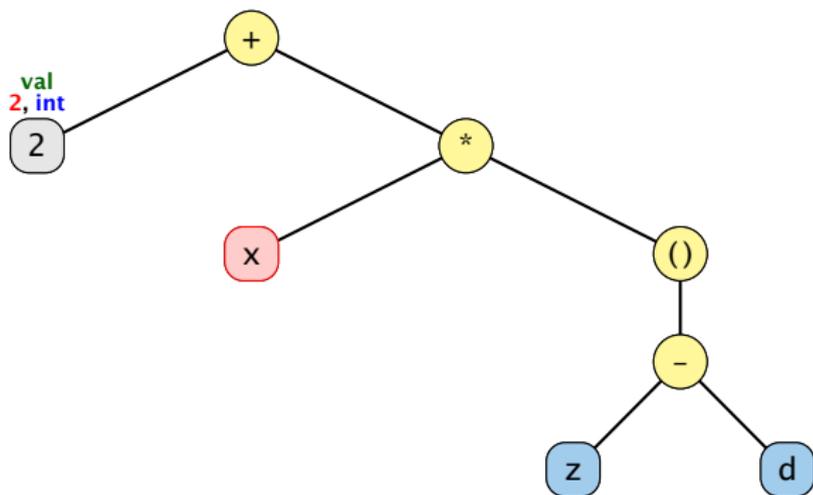


x

d

z

## Beispiel: $2 + x * (z - d)$

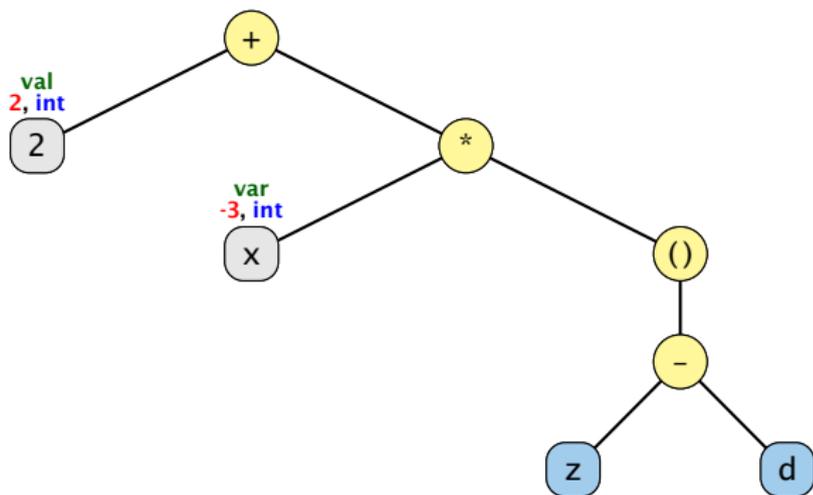


x

d

z

## Beispiel: $2 + x * (z - d)$

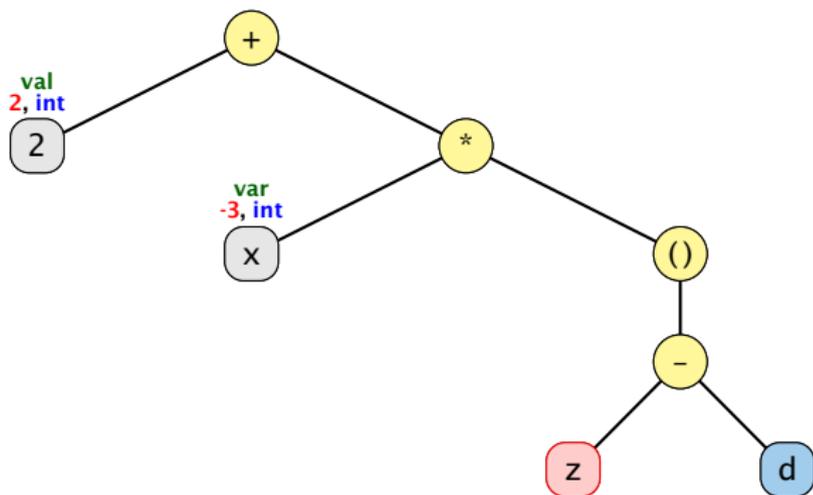


x

d

z

## Beispiel: $2 + x * (z - d)$

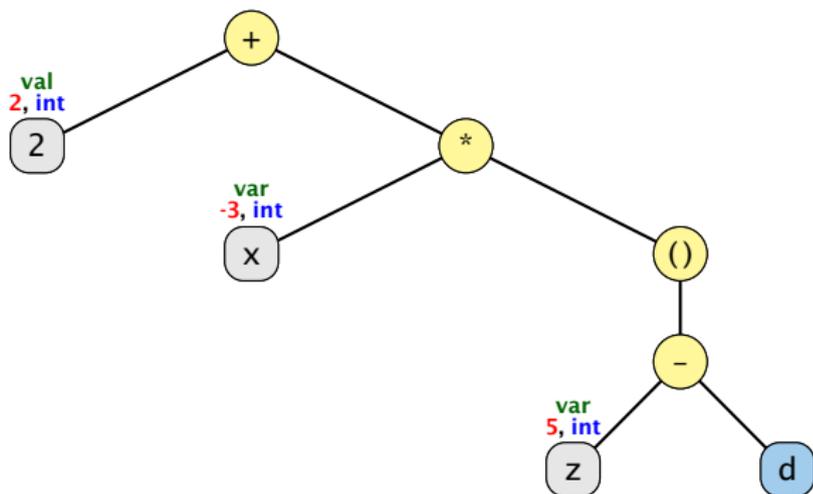


x

d

z

## Beispiel: $2 + x * (z - d)$

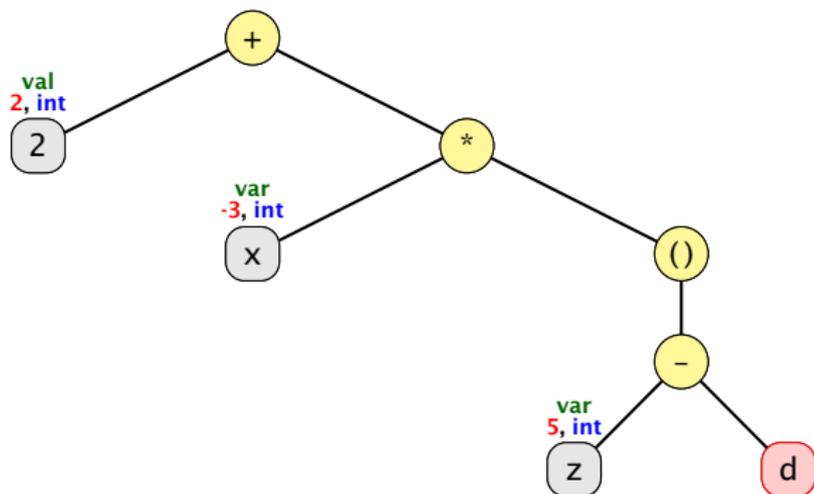


x

d

z

## Beispiel: $2 + x * (z - d)$

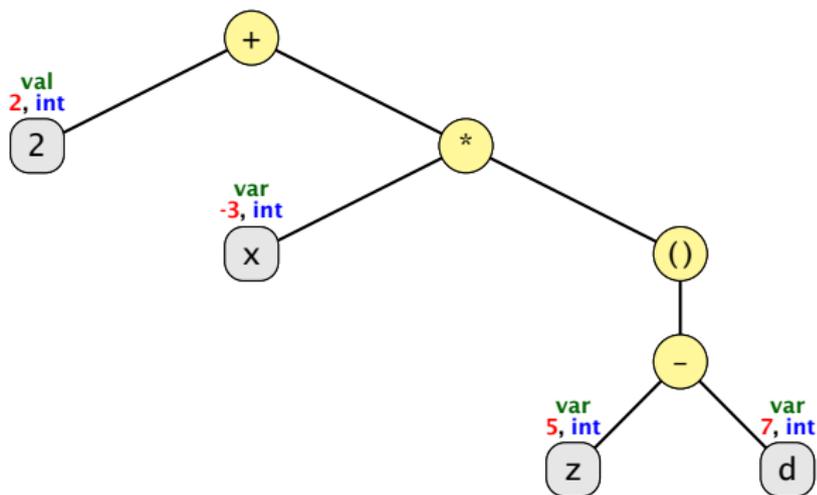


x

d

z

# Beispiel: $2 + x * (z - d)$

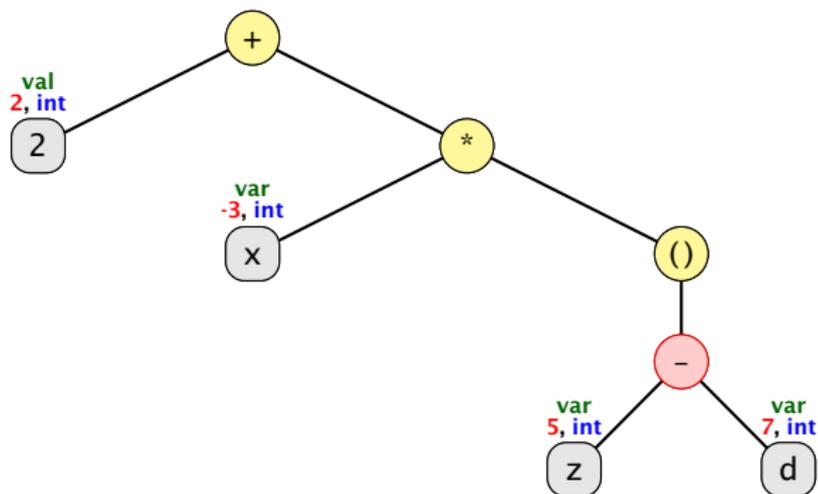


x

d

z

## Beispiel: $2 + x * (z - d)$

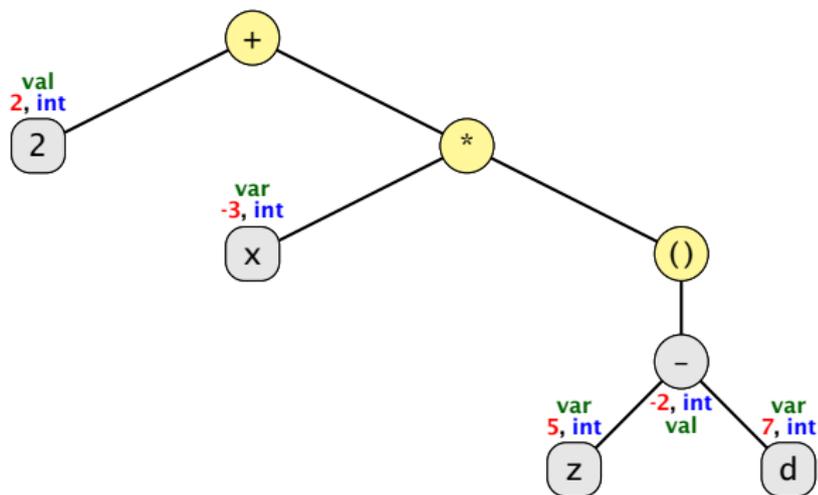


x

d

z

# Beispiel: $2 + x * (z - d)$

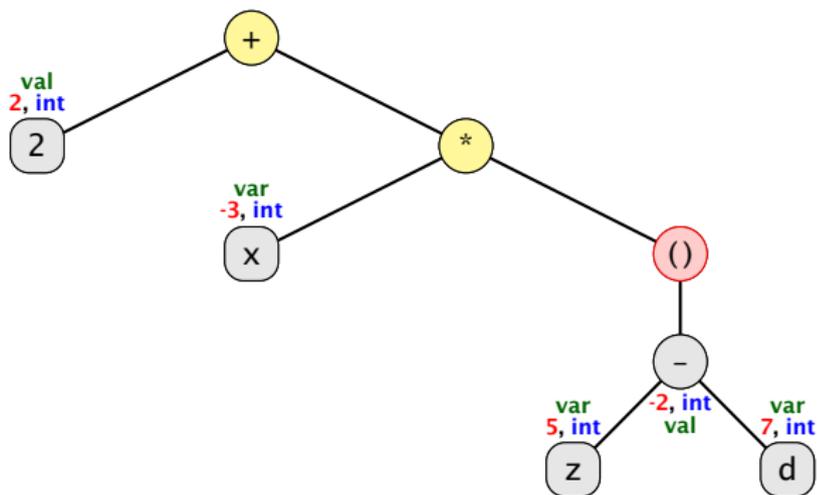


x

d

z

## Beispiel: $2 + x * (z - d)$

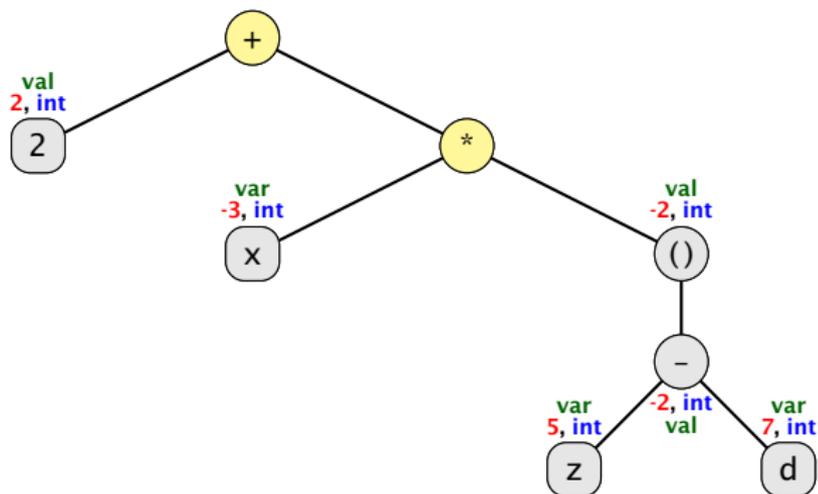


x

d

z

# Beispiel: $2 + x * (z - d)$

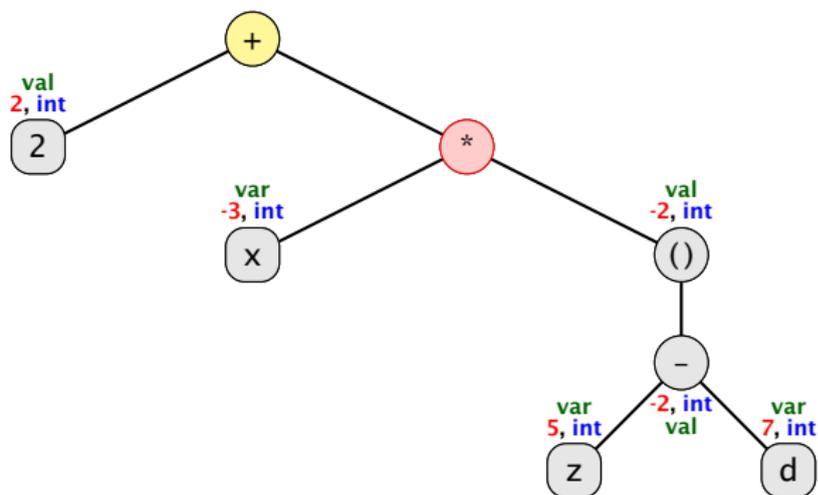


x

d

z

# Beispiel: $2 + x * (z - d)$

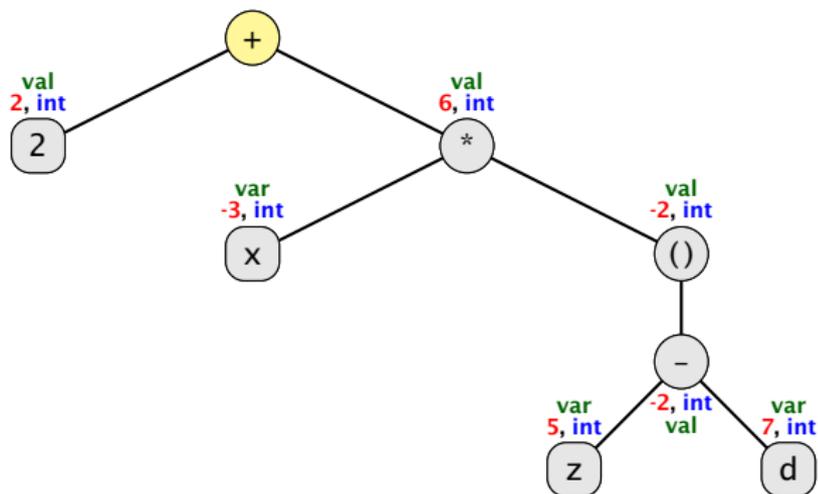


x

d

z

# Beispiel: $2 + x * (z - d)$

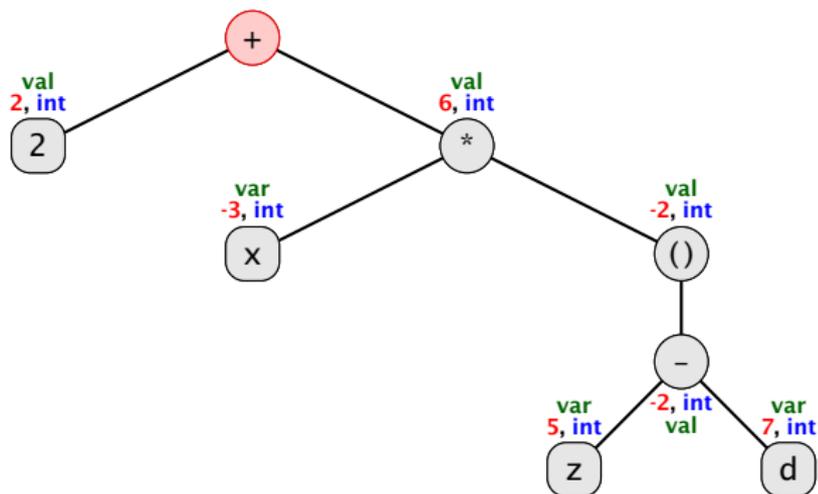


x

d

z

# Beispiel: $2 + x * (z - d)$

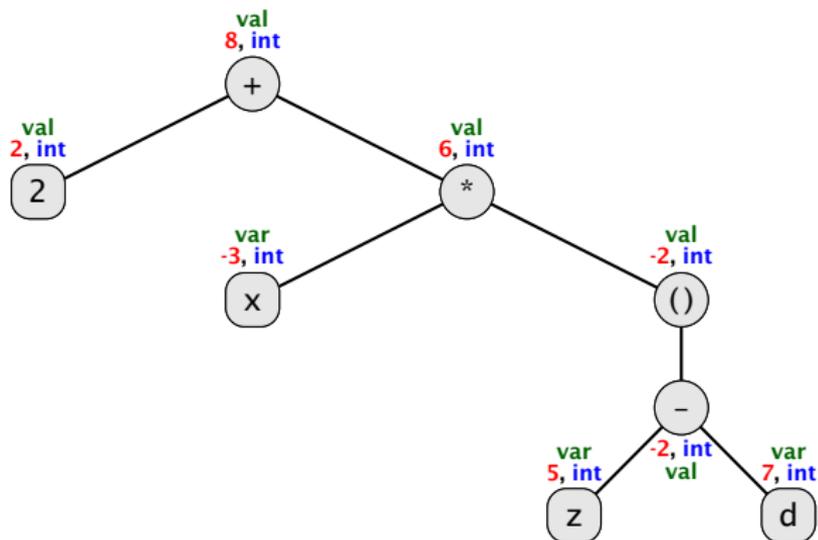


x

d

z

# Beispiel: $2 + x * (z - d)$



x

d

z

**Beispiel:  $a = b = c = d = 0$**

**a = b = c = d = 0**

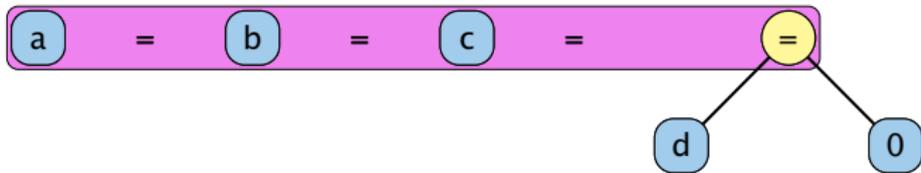
Beispiel:  $a = b = c = d = 0$

$$a = b = c = d = 0$$

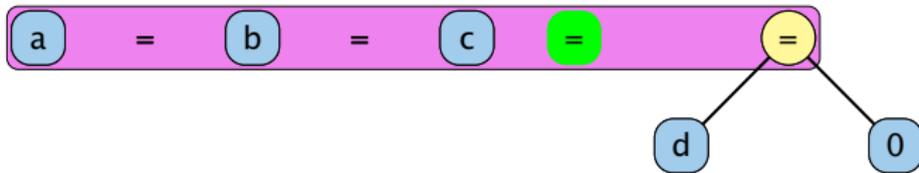
Beispiel:  $a = b = c = d = 0$

$a = b = c = d = 0$

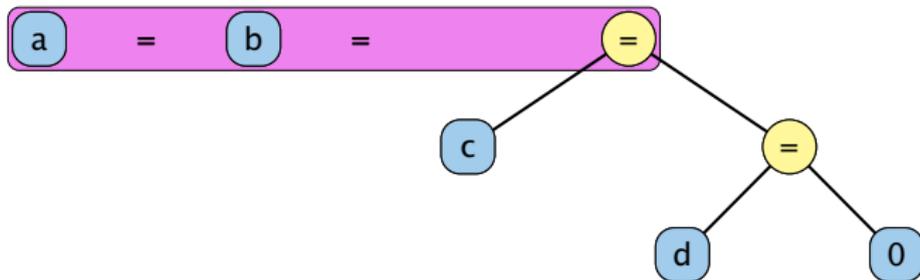
Beispiel:  $a = b = c = d = 0$



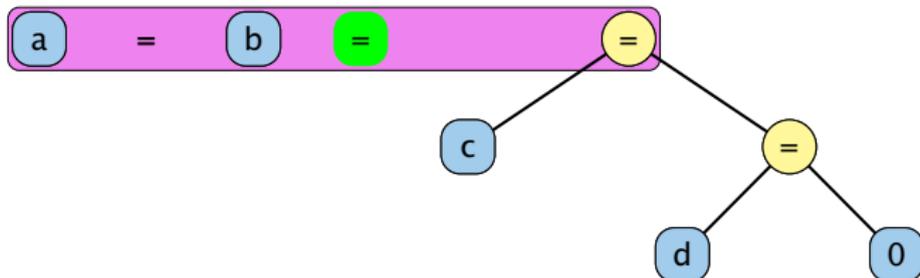
Beispiel:  $a = b = c = d = 0$



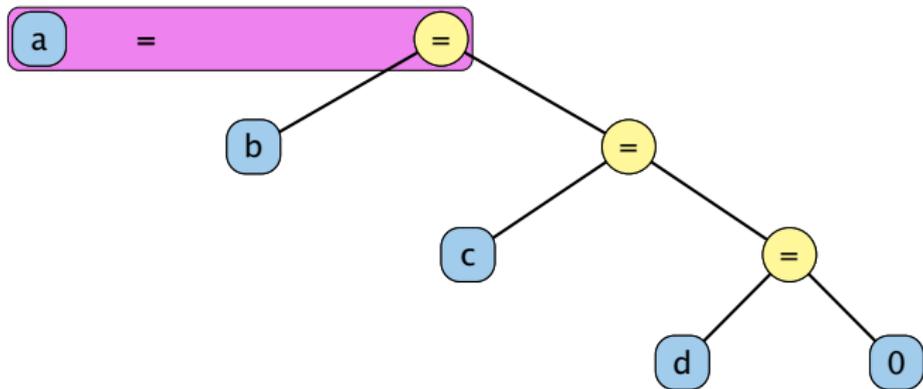
Beispiel:  $a = b = c = d = 0$



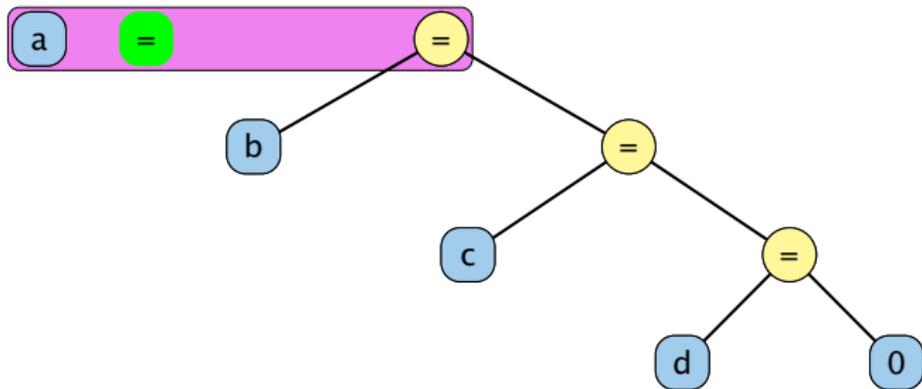
Beispiel:  $a = b = c = d = 0$



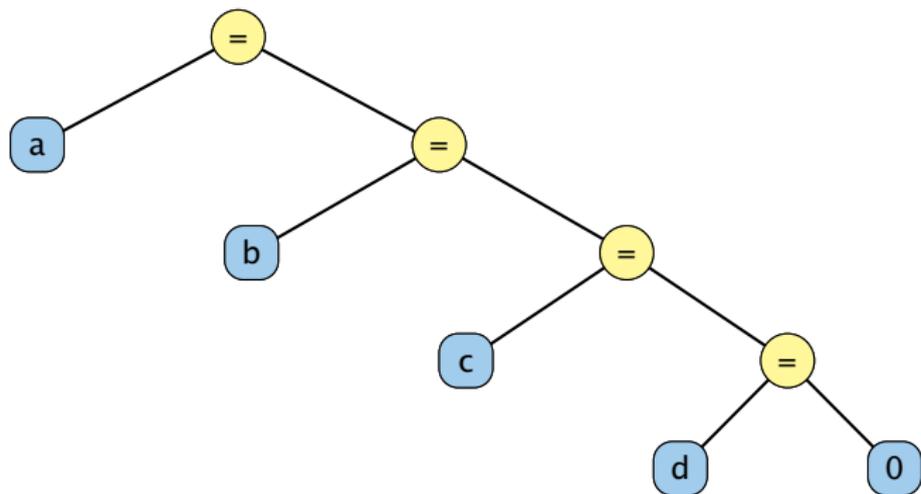
Beispiel:  $a = b = c = d = 0$



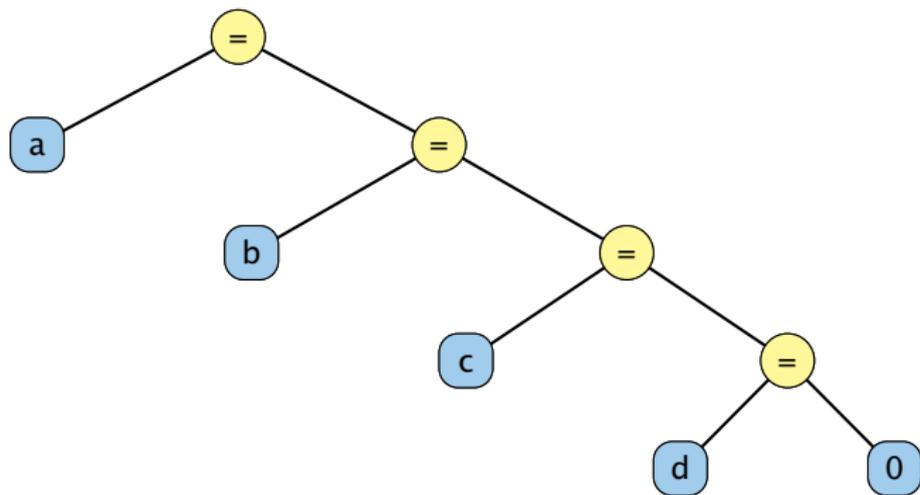
Beispiel:  $a = b = c = d = 0$



Beispiel:  $a = b = c = d = 0$



Beispiel:  $a = b = c = d = 0$



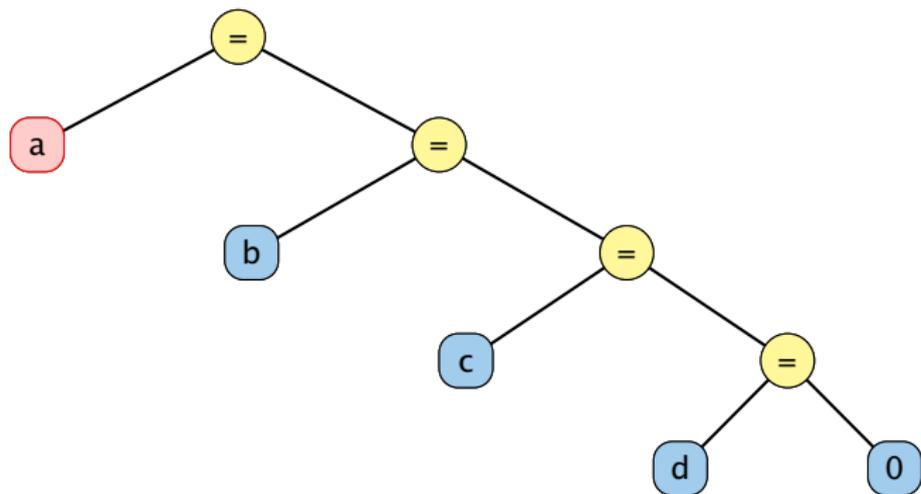
a

b

c

d

Beispiel:  $a = b = c = d = 0$



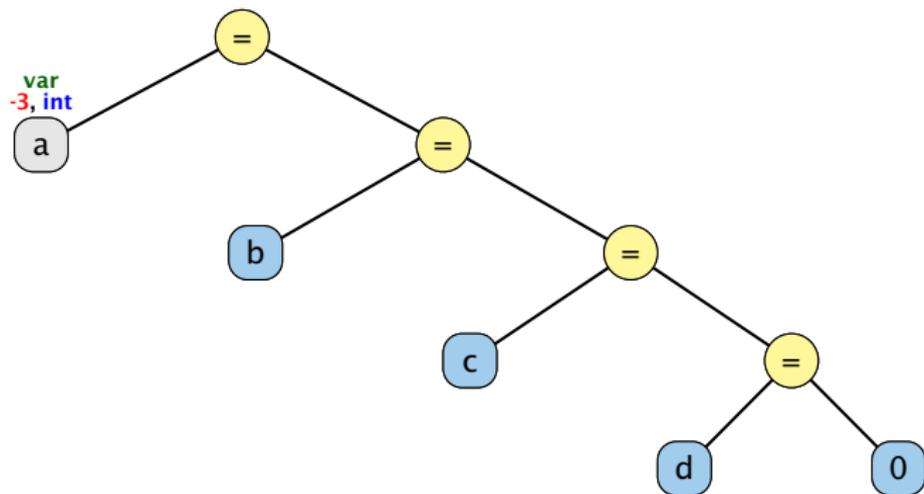
a

b

c

d

Beispiel:  $a = b = c = d = 0$



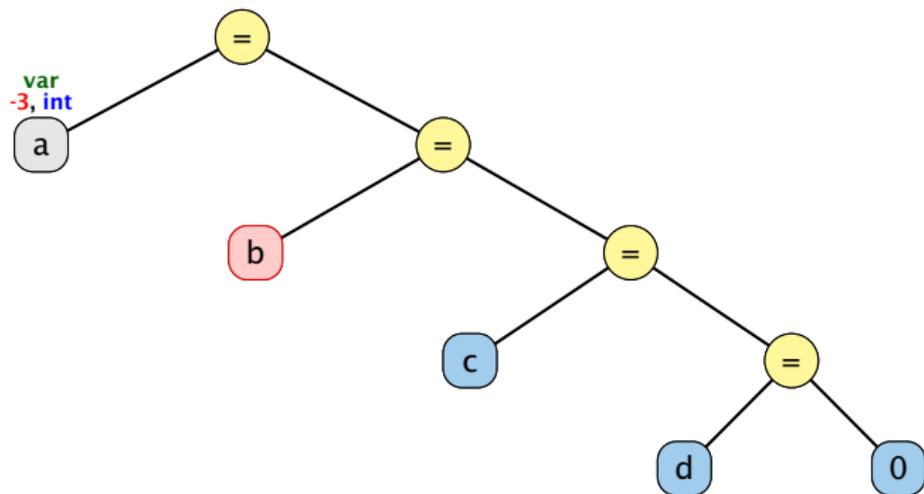
a [-3]

b [7]

c [5]

d [2]

Beispiel:  $a = b = c = d = 0$



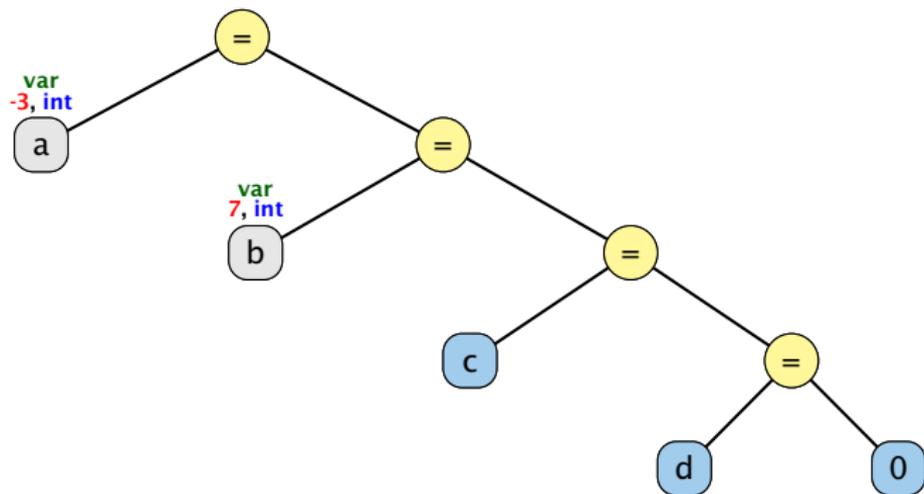
a [-3]

b [7]

c [5]

d [2]

Beispiel:  $a = b = c = d = 0$



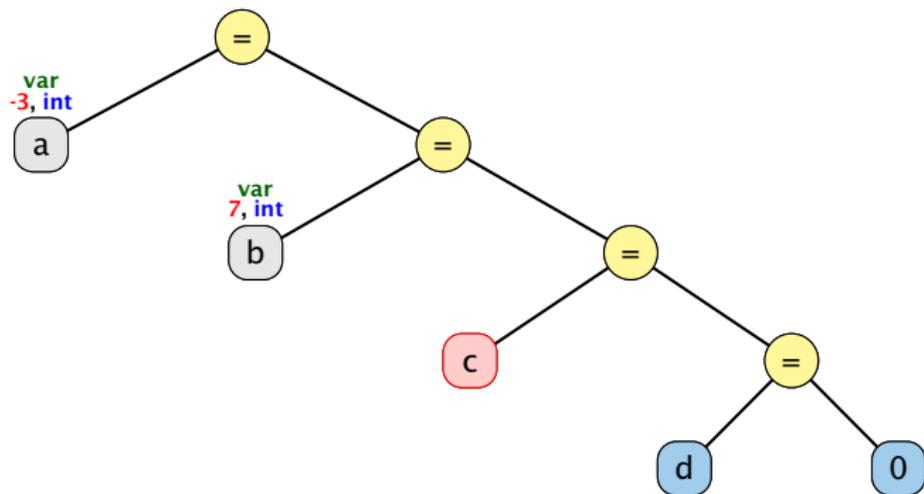
a [-3]

b [7]

c [5]

d [2]

Beispiel:  $a = b = c = d = 0$



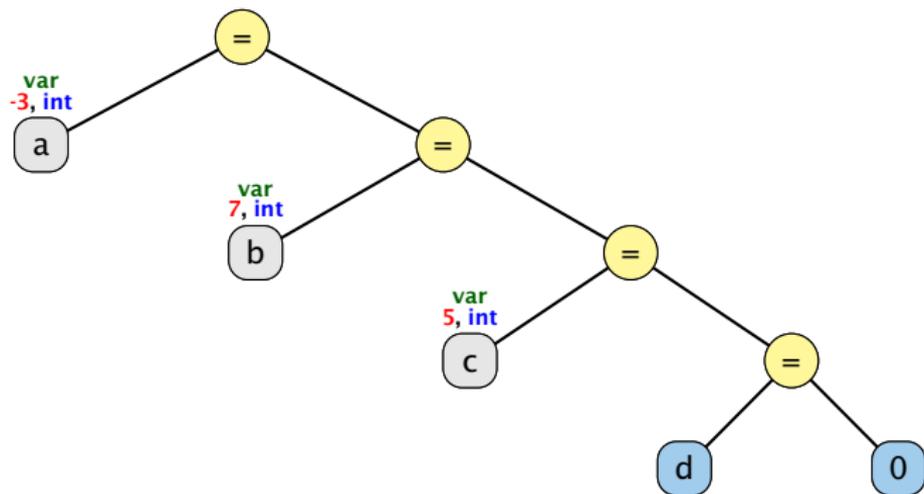
a [-3]

b [7]

c [5]

d [2]

Beispiel:  $a = b = c = d = 0$



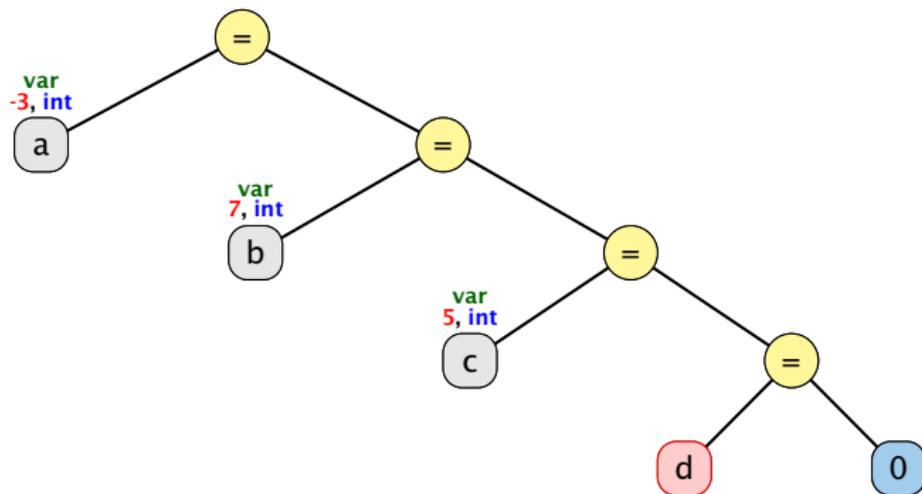
a [-3]

b [7]

c [5]

d [2]

Beispiel:  $a = b = c = d = 0$



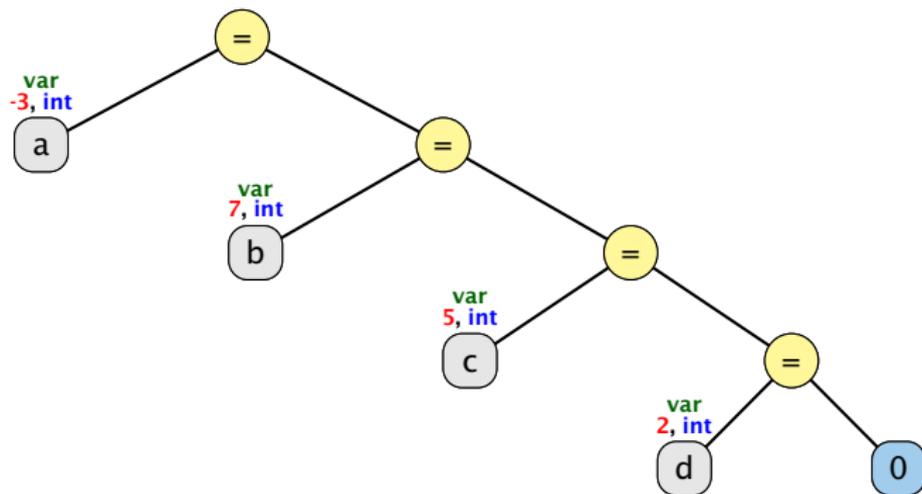
a [-3]

b [7]

c [5]

d [2]

Beispiel:  $a = b = c = d = 0$



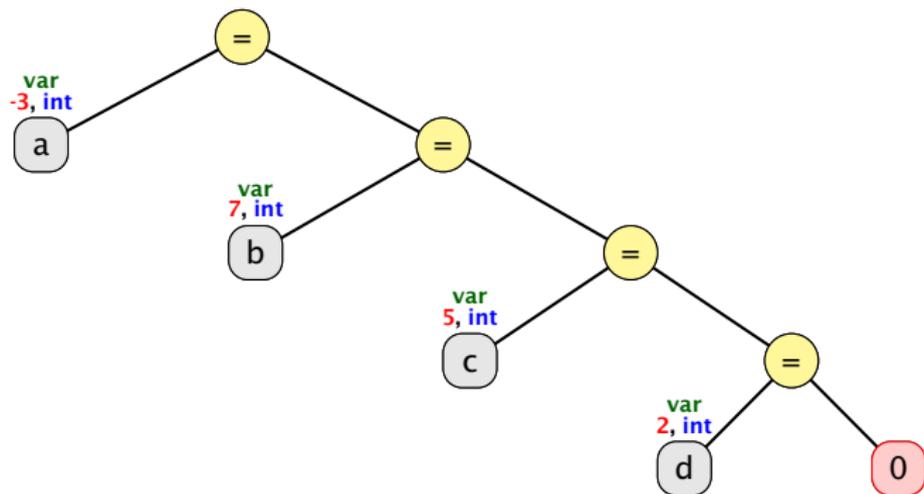
a [-3]

b [7]

c [5]

d [2]

Beispiel:  $a = b = c = d = 0$



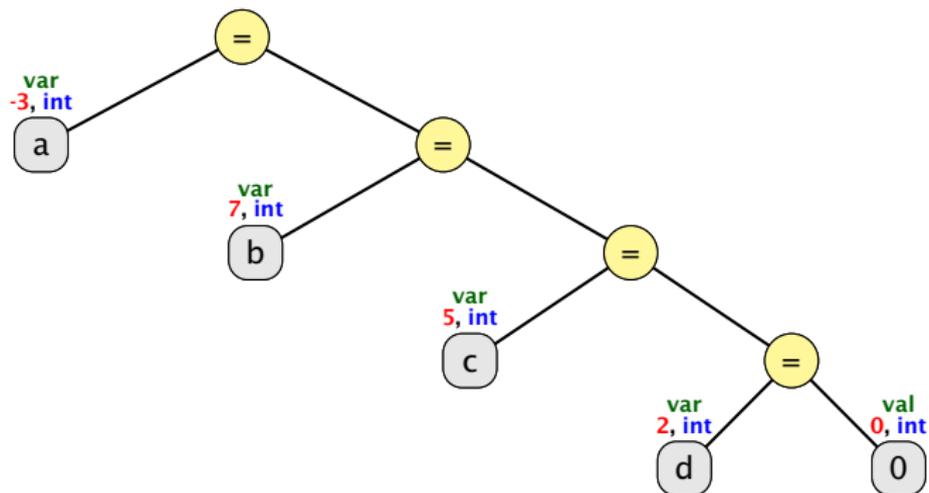
a [-3]

b [7]

c [5]

d [2]

Beispiel:  $a = b = c = d = 0$



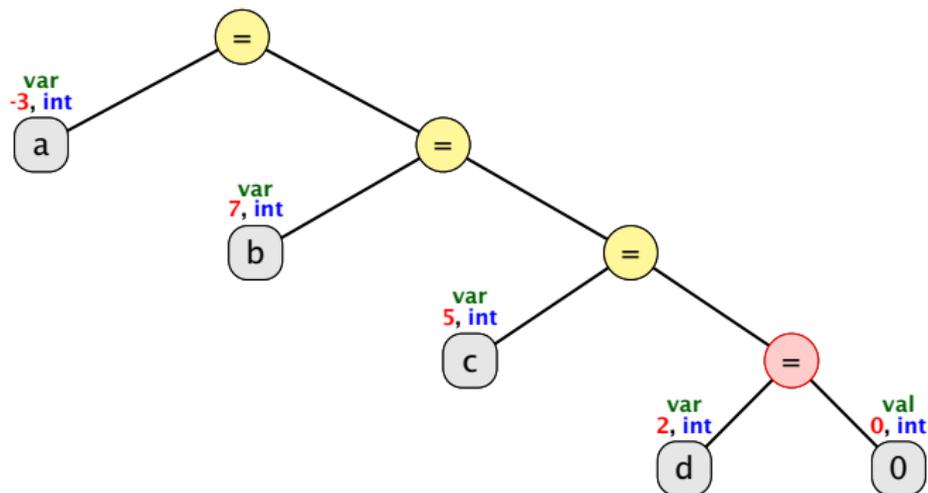
a [-3]

b [7]

c [5]

d [2]

Beispiel:  $a = b = c = d = 0$



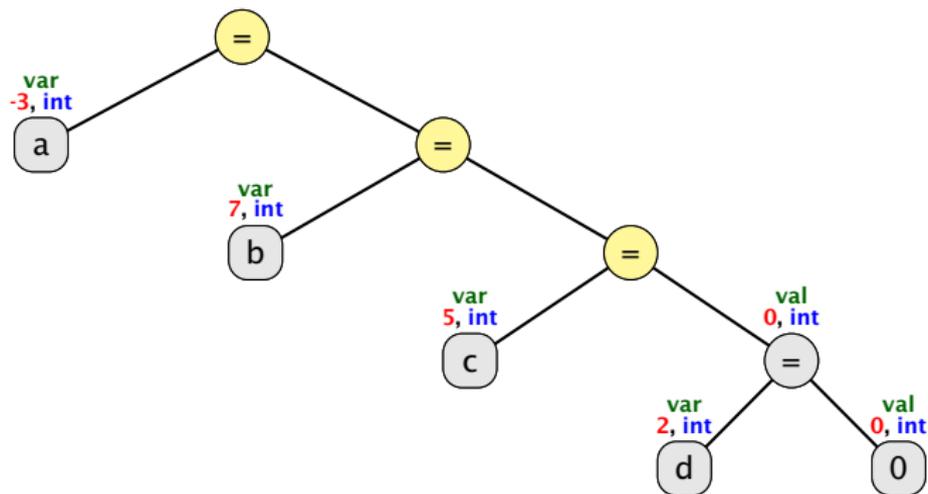
a [-3]

b [7]

c [5]

d [2]

Beispiel:  $a = b = c = d = 0$



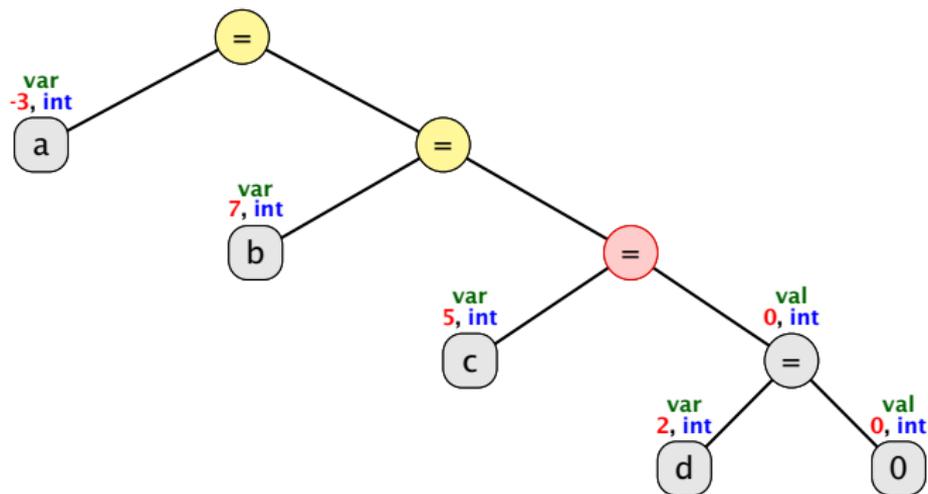
a [-3]

b [7]

c [5]

d [0]

Beispiel:  $a = b = c = d = 0$



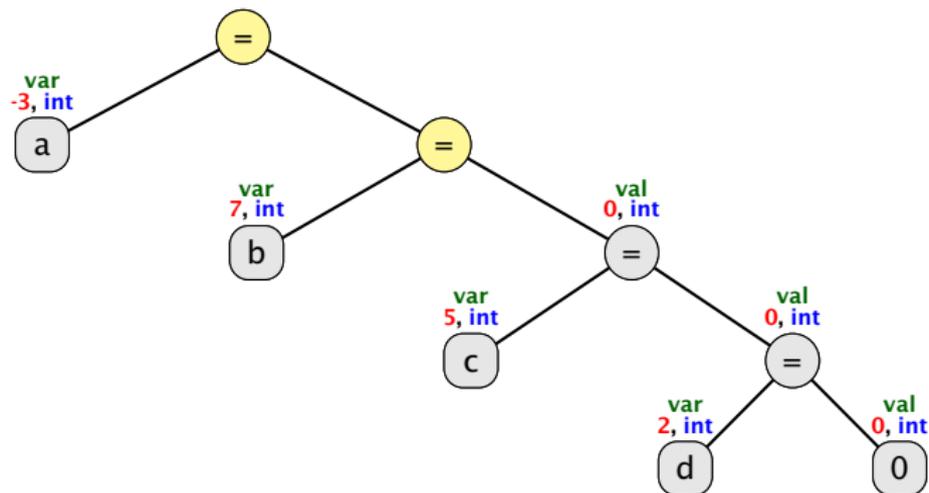
a [-3]

b [7]

c [5]

d [0]

Beispiel:  $a = b = c = d = 0$



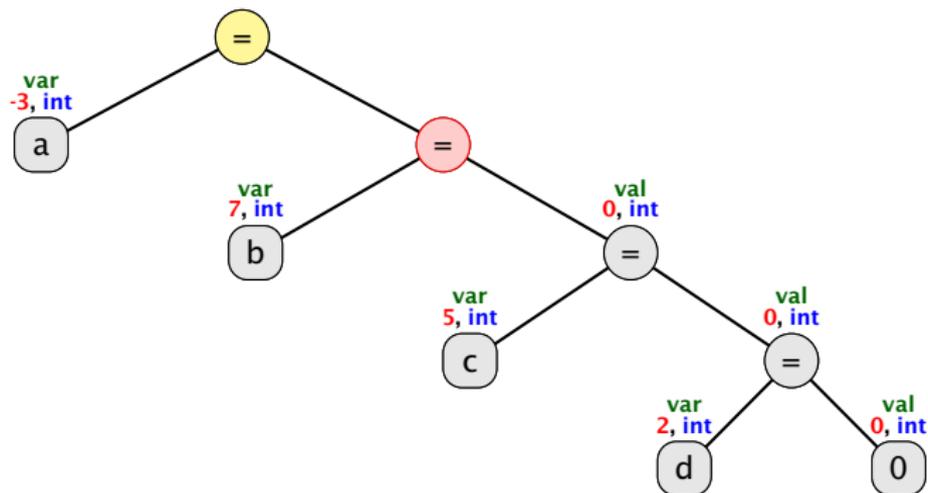
a [-3]

b [7]

c [0]

d [0]

Beispiel:  $a = b = c = d = 0$



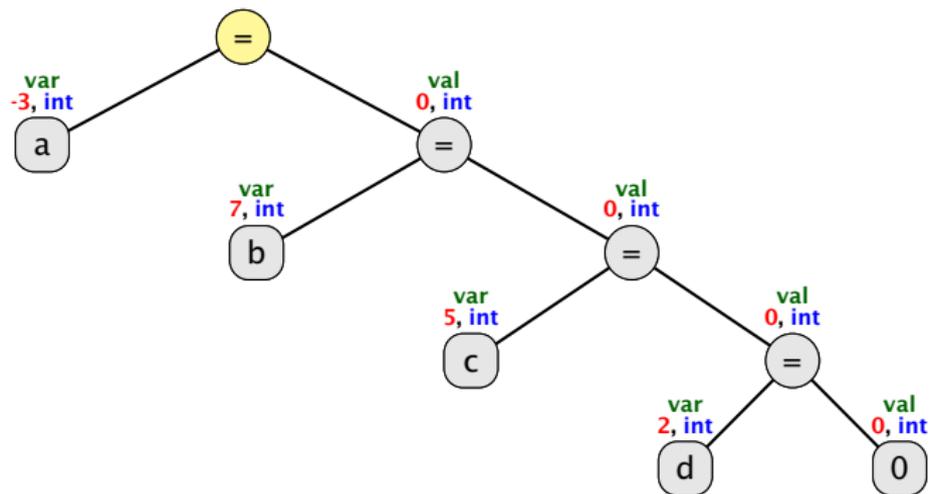
a [-3]

b [7]

c [0]

d [0]

Beispiel:  $a = b = c = d = 0$



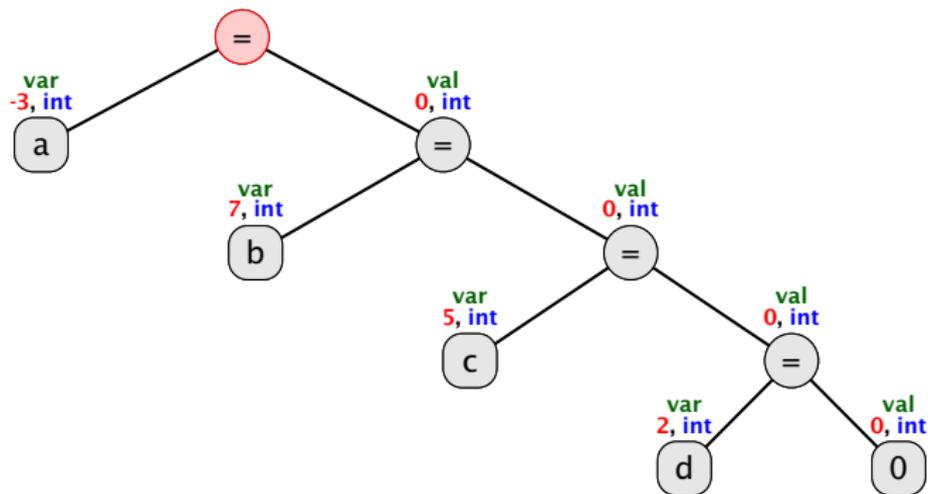
a

b

c

d

Beispiel:  $a = b = c = d = 0$



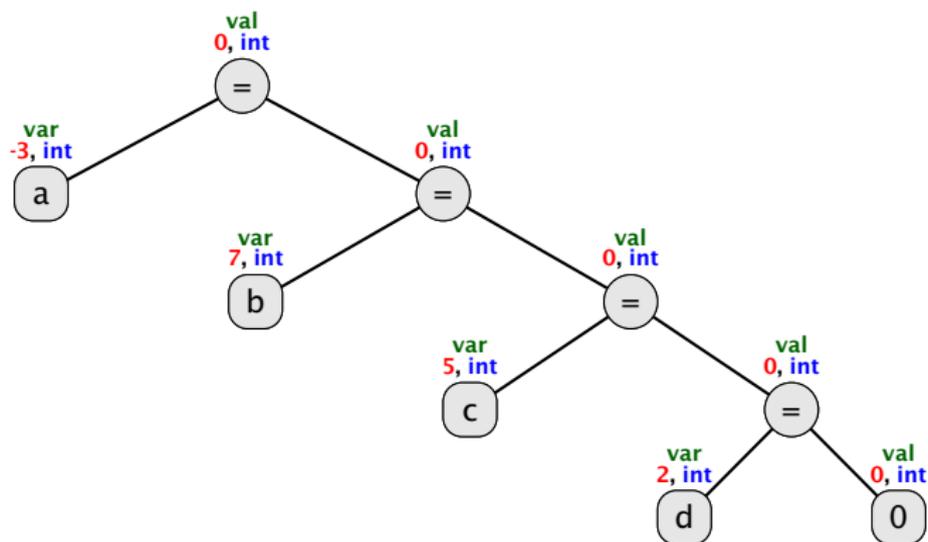
a [-3]

b [0]

c [0]

d [0]

Beispiel:  $a = b = c = d = 0$

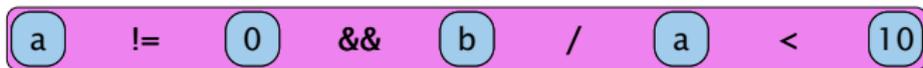


a     b     c     d

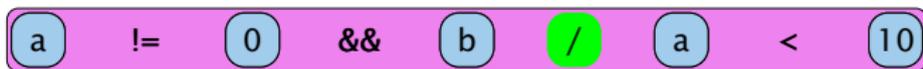
Beispiel:  $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$

a != 0 && b / a < 10

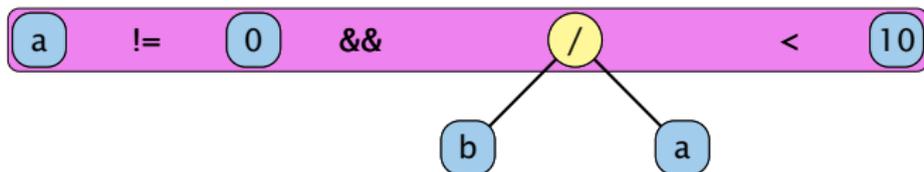
Beispiel:  $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$



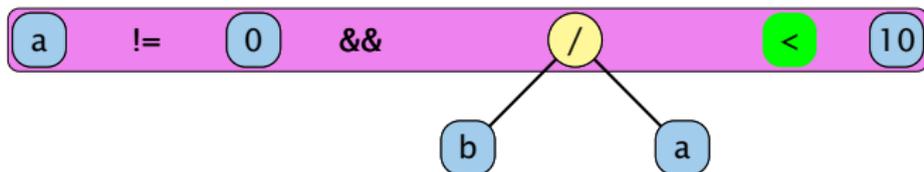
Beispiel:  $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$



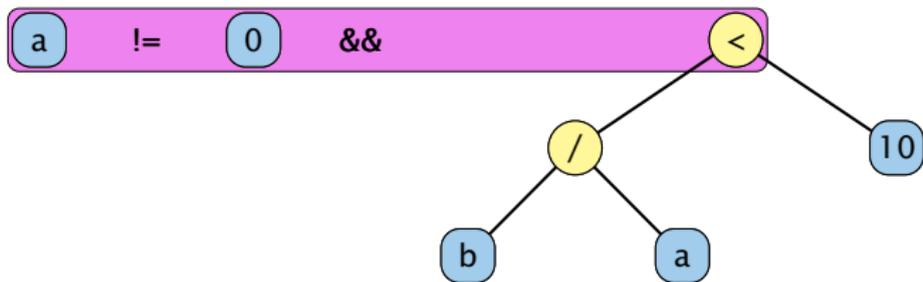
Beispiel:  $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$



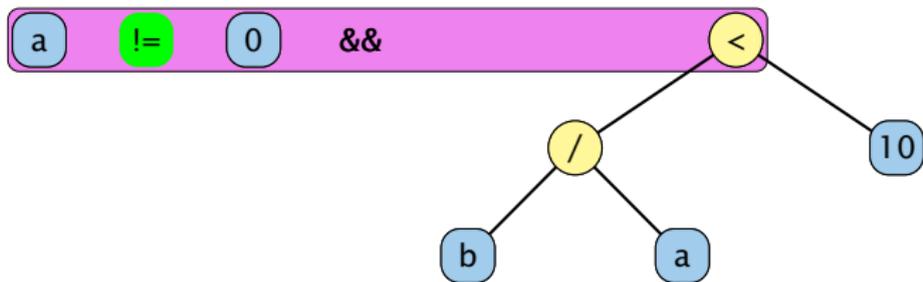
Beispiel:  $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$



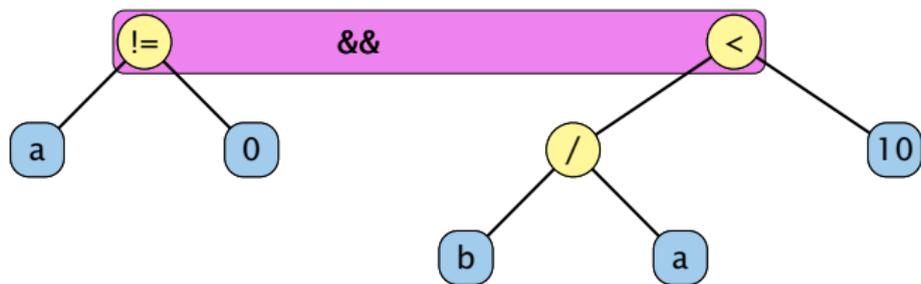
Beispiel:  $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$



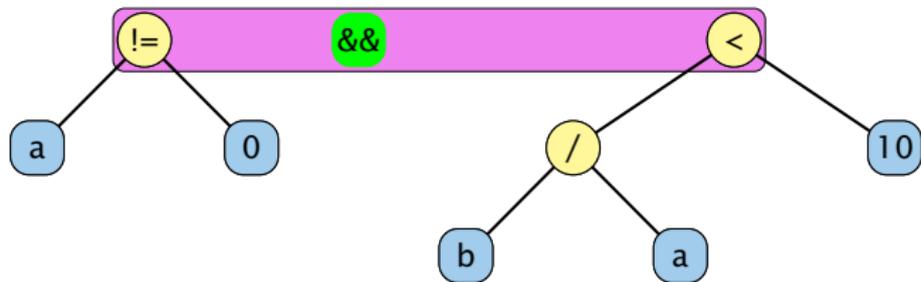
Beispiel:  $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$



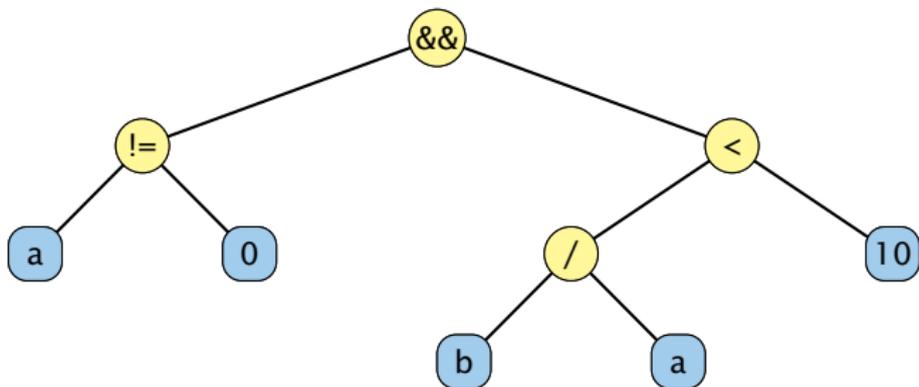
Beispiel:  $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$



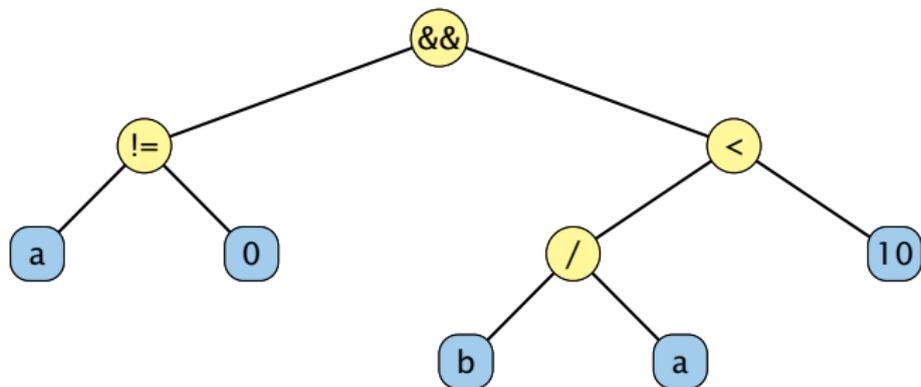
Beispiel:  $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$



Beispiel:  $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$



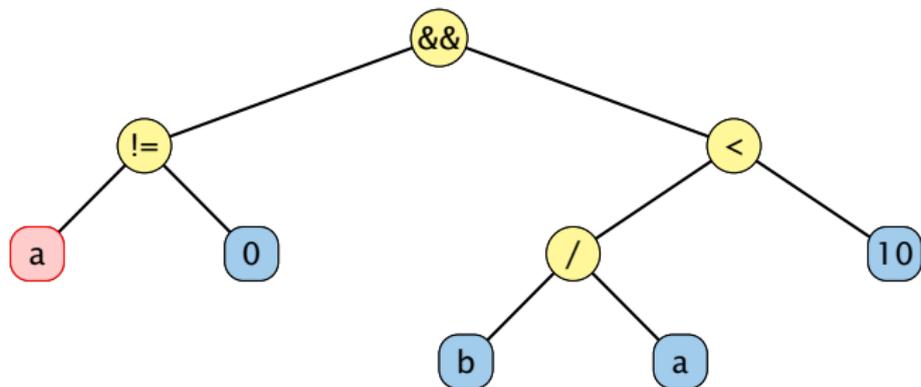
Beispiel:  $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$



a 0

b 4

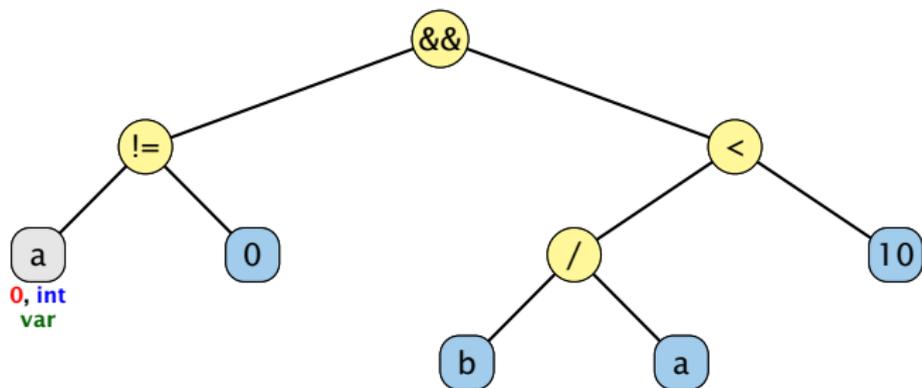
Beispiel:  $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$



a 0

b 4

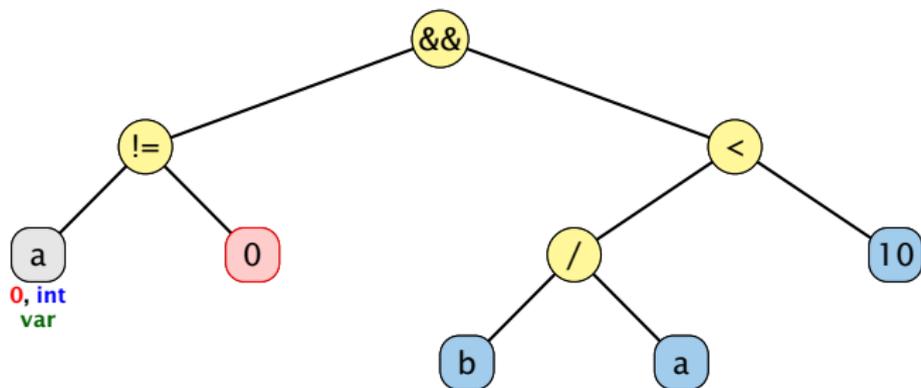
Beispiel:  $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$



$a$

$b$

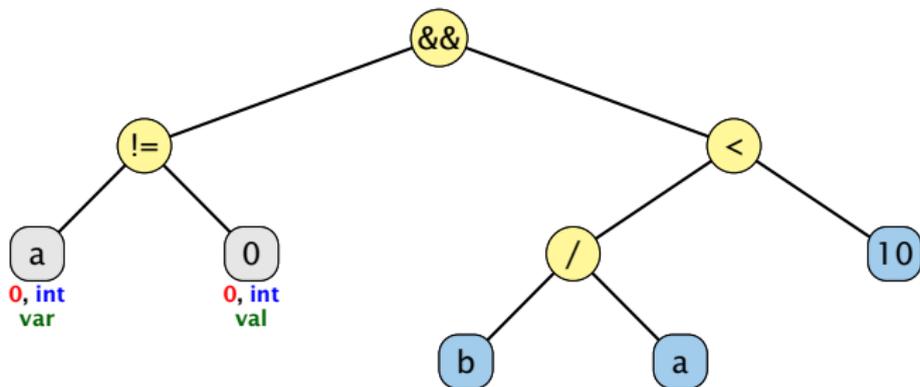
Beispiel:  $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$



$a$

$b$

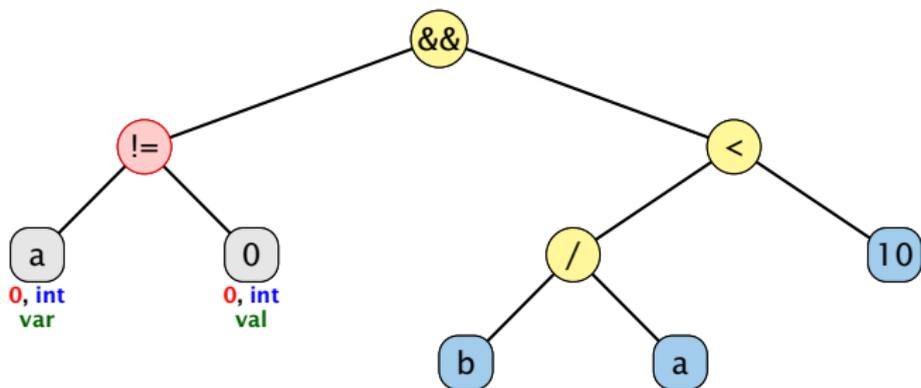
Beispiel:  $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$



$a$

$b$

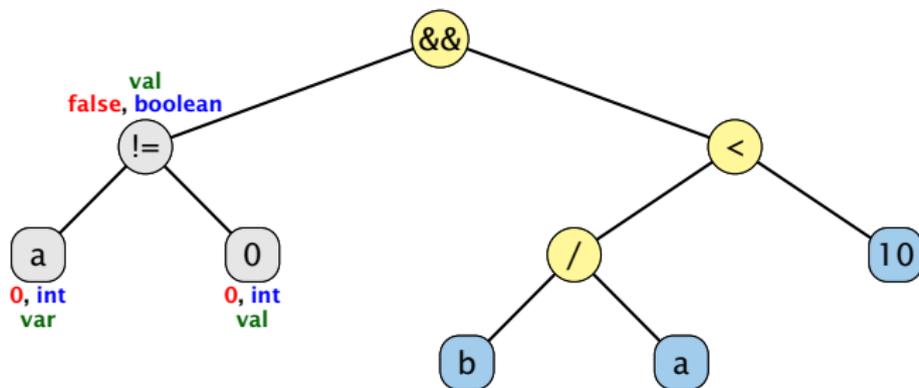
Beispiel:  $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$



$a$

$b$

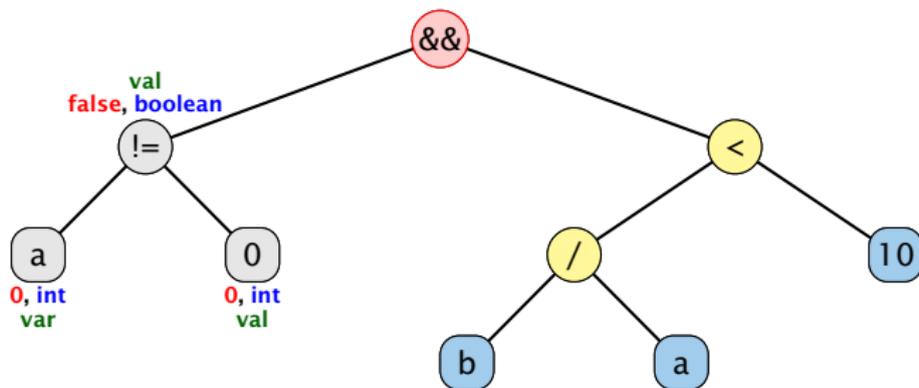
Beispiel:  $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$



$a$

$b$

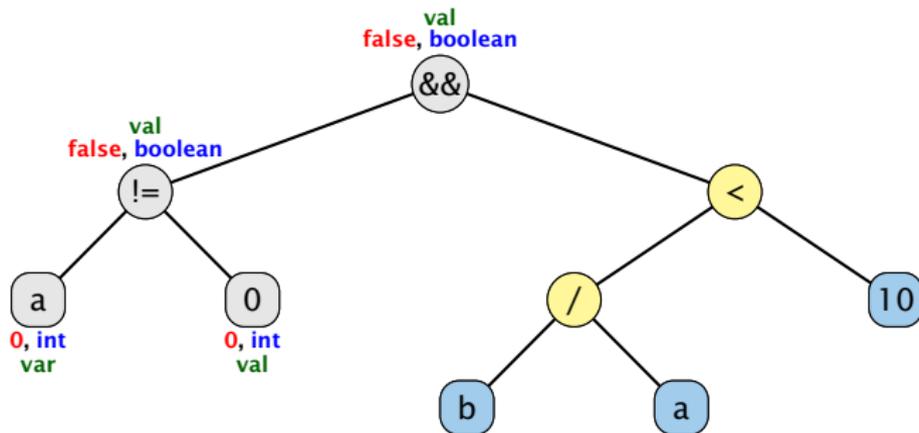
Beispiel:  $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$



$a$

$b$

# Beispiel: $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$



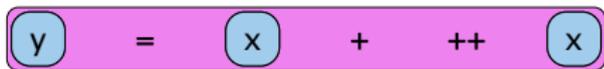
a 0

b 4

Beispiel:  $y = x + ++x$

y = x + ++ x

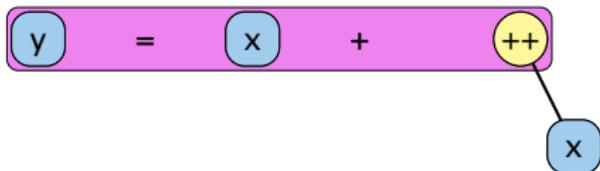
Beispiel:  $y = x + ++x$



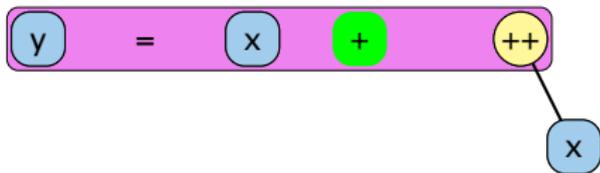
Beispiel:  $y = x + ++x$



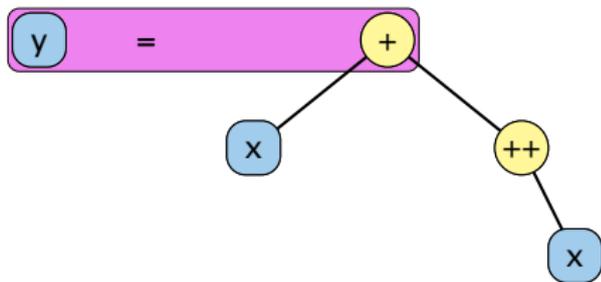
Beispiel:  $y = x + ++x$



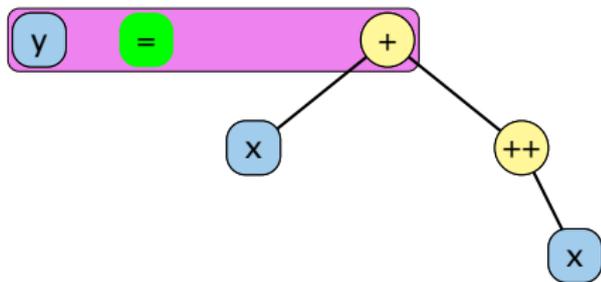
Beispiel:  $y = x + ++x$



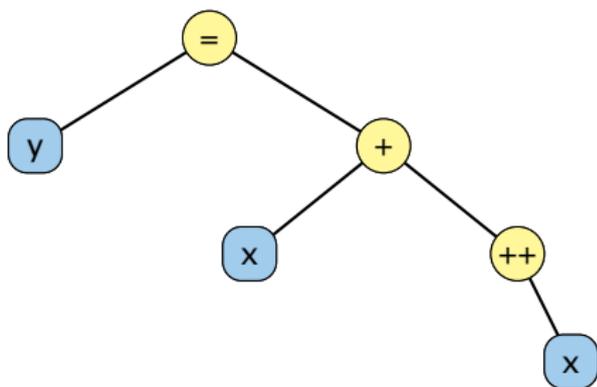
Beispiel:  $y = x + ++x$



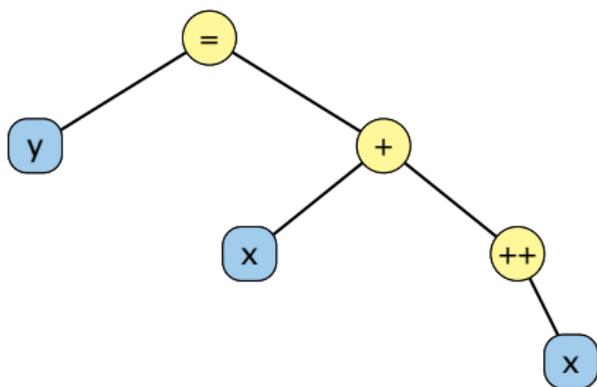
Beispiel:  $y = x + ++x$



Beispiel:  $y = x + ++x$



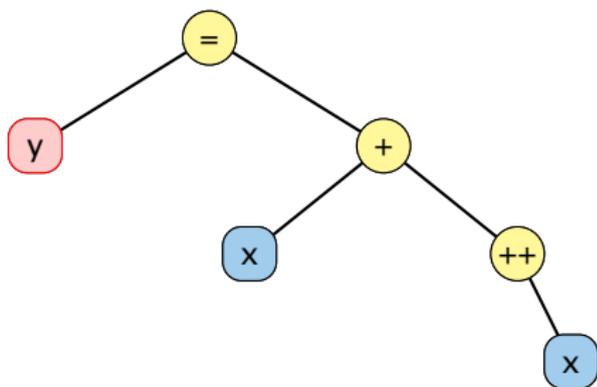
Beispiel:  $y = x + ++x$



x 4

y 0

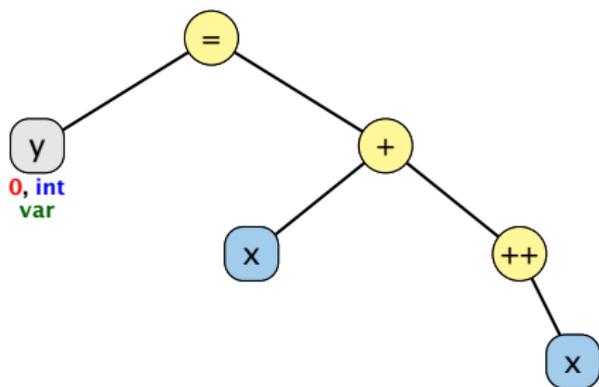
Beispiel:  $y = x + ++x$



x 4

y 0

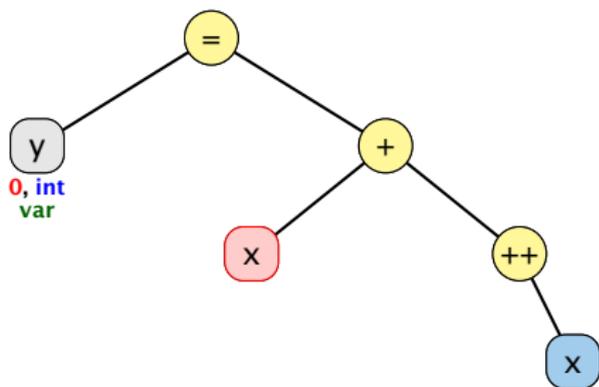
Beispiel:  $y = x + ++x$



x 4

y 0

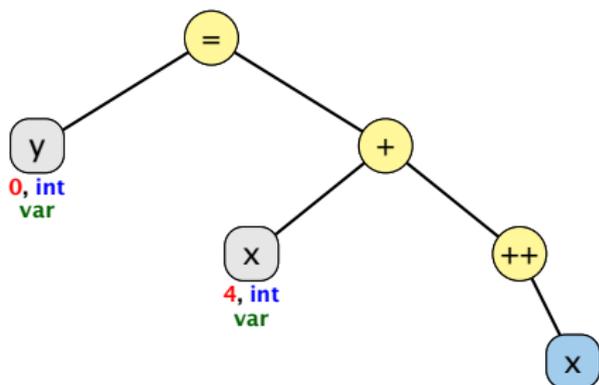
Beispiel:  $y = x + ++x$



x 4

y 0

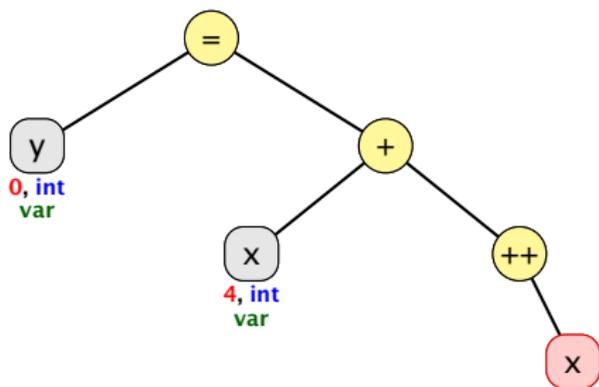
## Beispiel: $y = x + ++x$



x 4

y 0

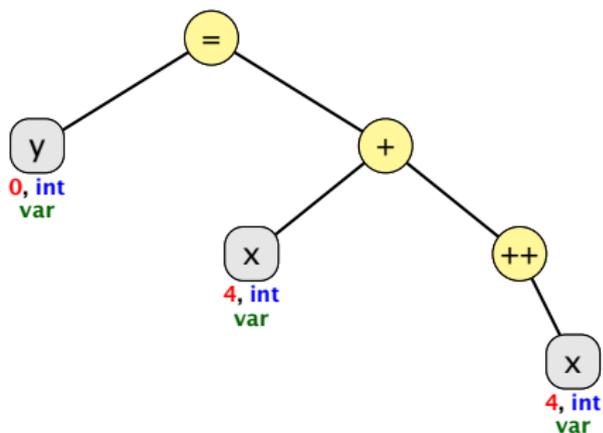
Beispiel:  $y = x + ++x$



x 4

y 0

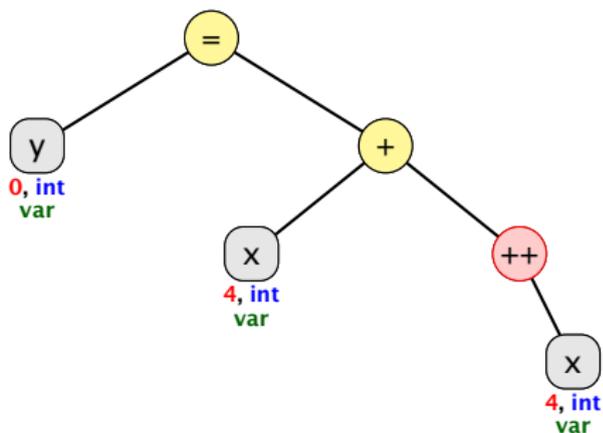
## Beispiel: $y = x + ++x$



x 4

y 0

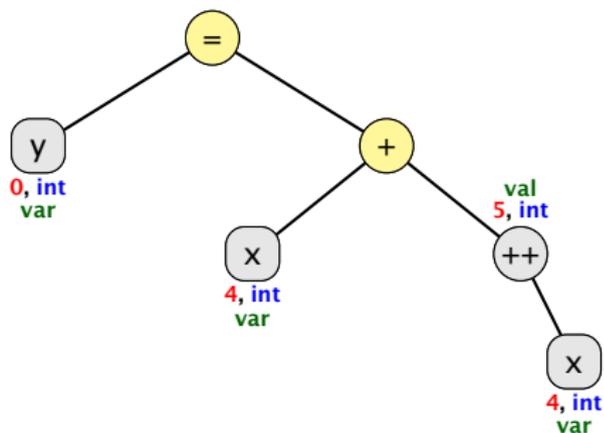
## Beispiel: $y = x + ++x$



x

y

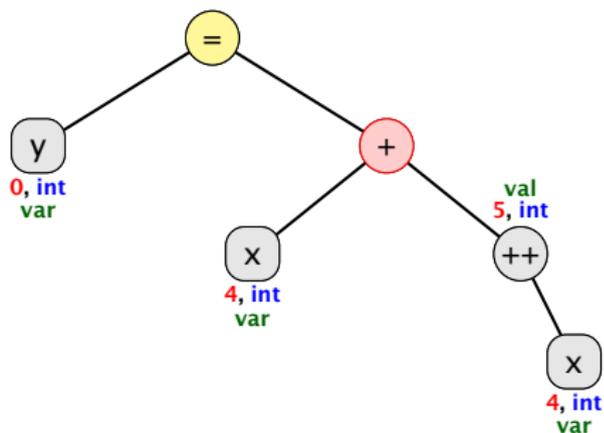
Beispiel:  $y = x + ++x$



x 5

y 0

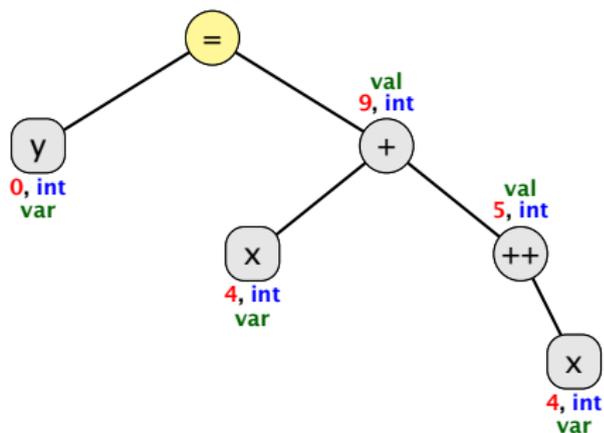
Beispiel:  $y = x + ++x$



x 5

y 0

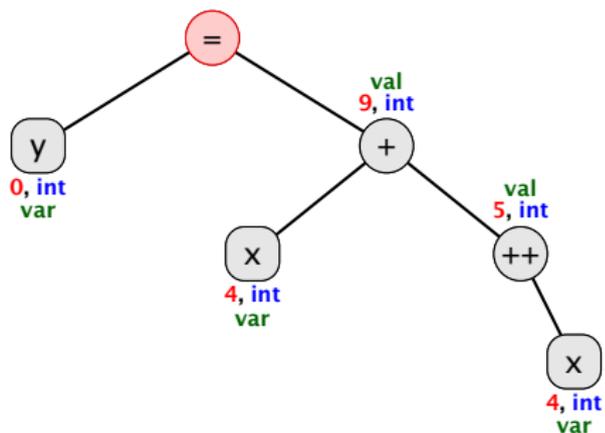
Beispiel:  $y = x + ++x$



x

y

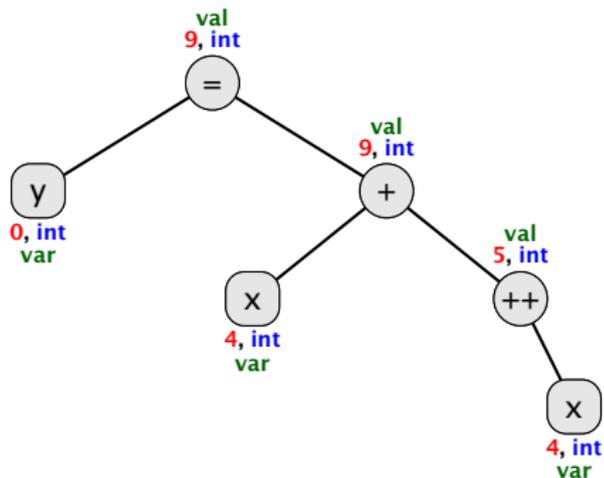
Beispiel:  $y = x + ++x$



x 5

y 0

Beispiel:  $y = x + ++x$



x 5

y 9

Beispiel:  $y = x++ + x$

y = x ++ + x

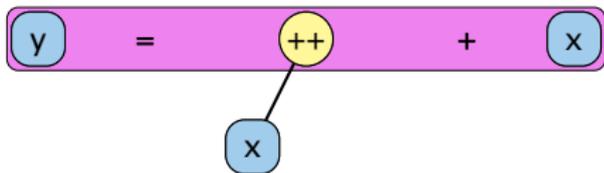
Beispiel:  $y = x++ + x$



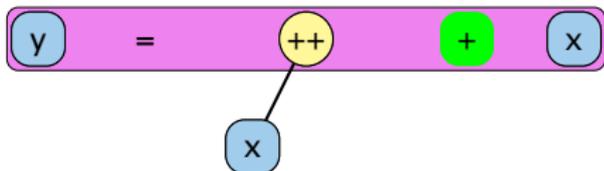
Beispiel:  $y = x++ + x$



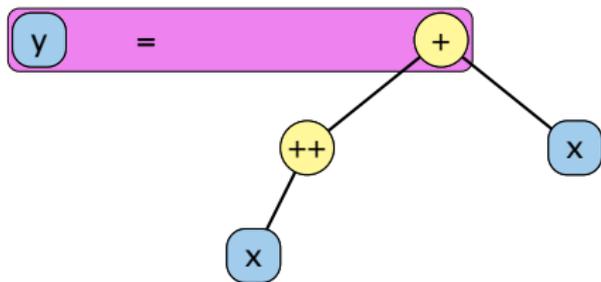
Beispiel:  $y = x++ + x$



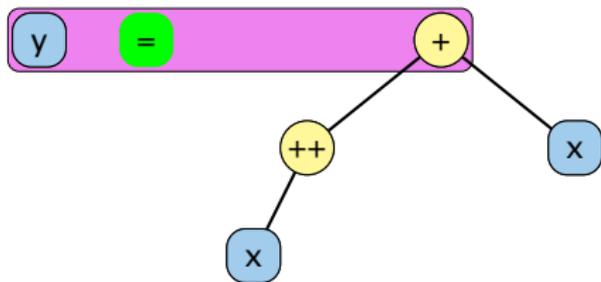
Beispiel:  $y = x++ + x$



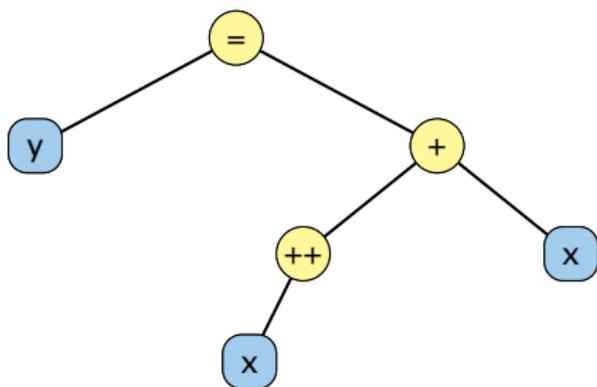
Beispiel:  $y = x++ + x$



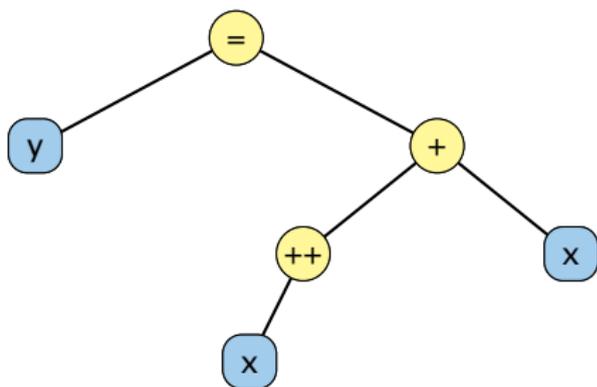
Beispiel:  $y = x++ + x$



Beispiel:  $y = x++ + x$



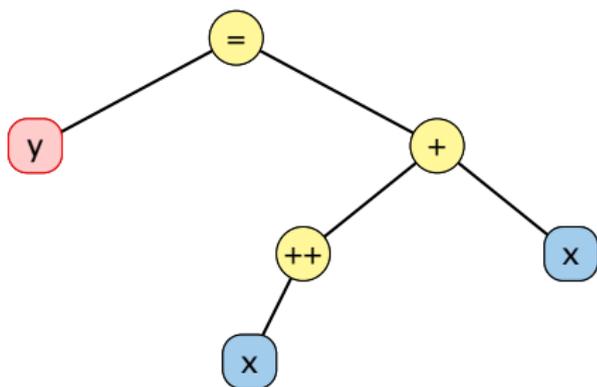
Beispiel:  $y = x++ + x$



x 4

y 0

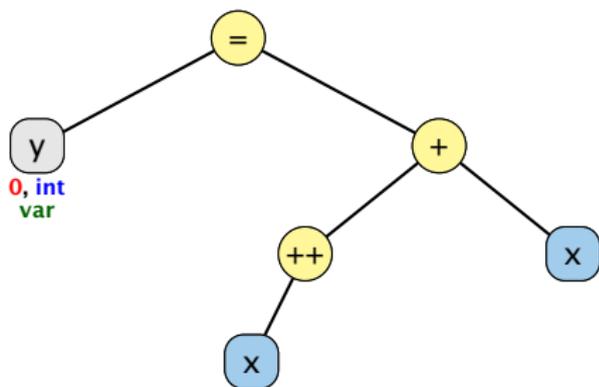
Beispiel:  $y = x++ + x$



$x$

$y$

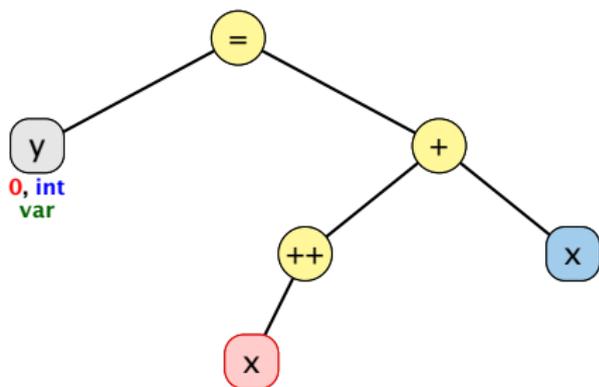
Beispiel:  $y = x++ + x$



x 4

y 0

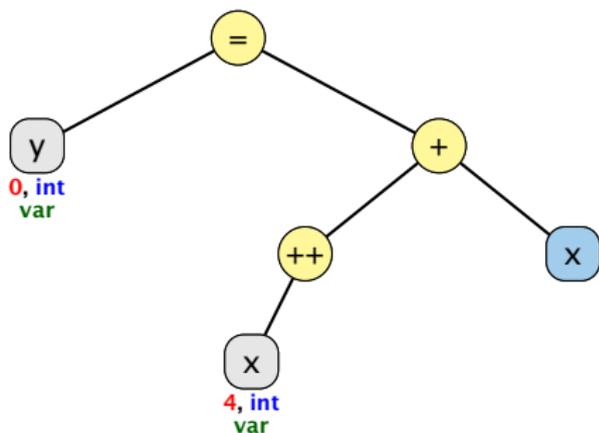
Beispiel:  $y = x++ + x$



x 4

y 0

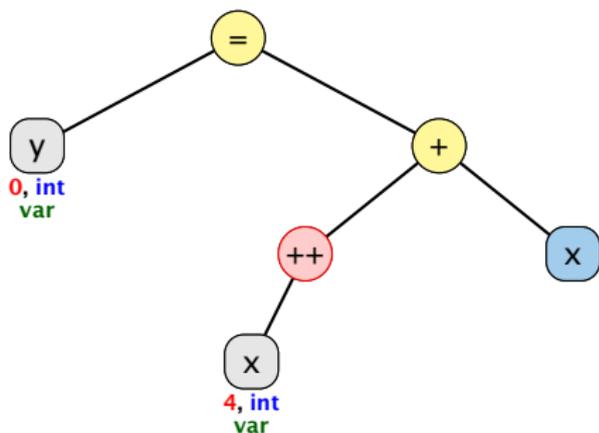
Beispiel:  $y = x++ + x$



$x$

$y$

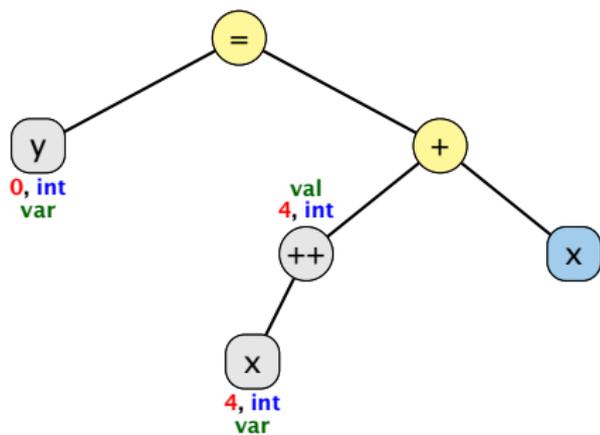
Beispiel:  $y = x++ + x$



x 4

y 0

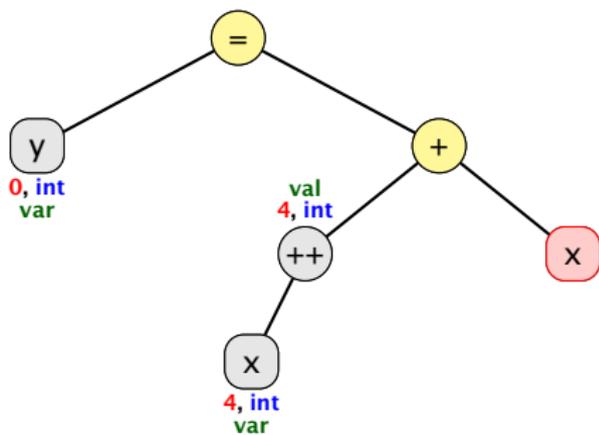
Beispiel:  $y = x++ + x$



x 5

y 0

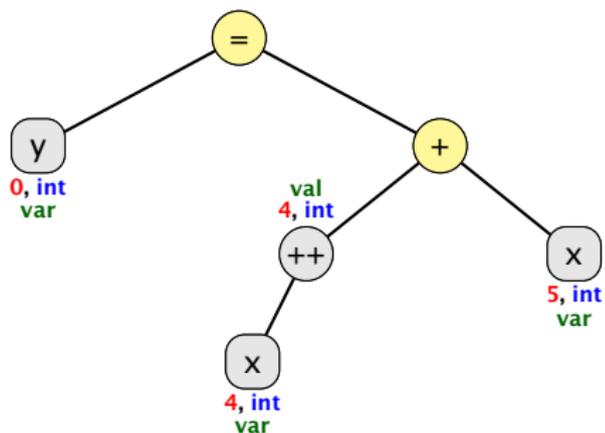
Beispiel:  $y = x++ + x$



x 5

y 0

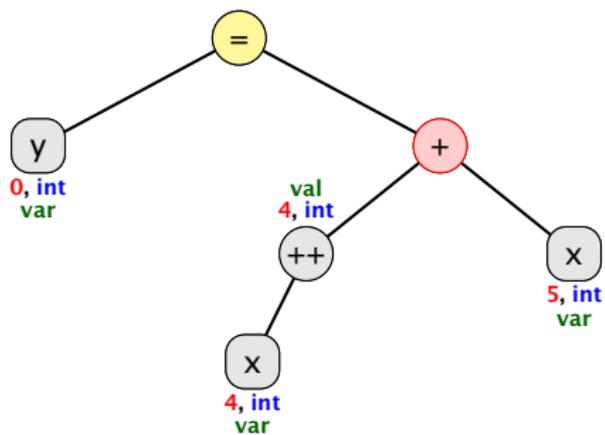
Beispiel:  $y = x++ + x$



x 5

y 0

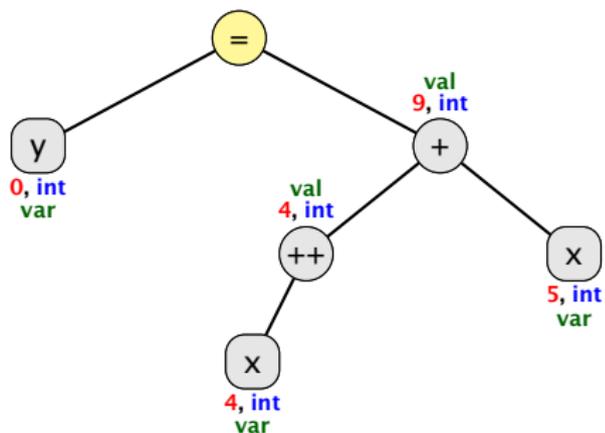
Beispiel:  $y = x++ + x$



x

y

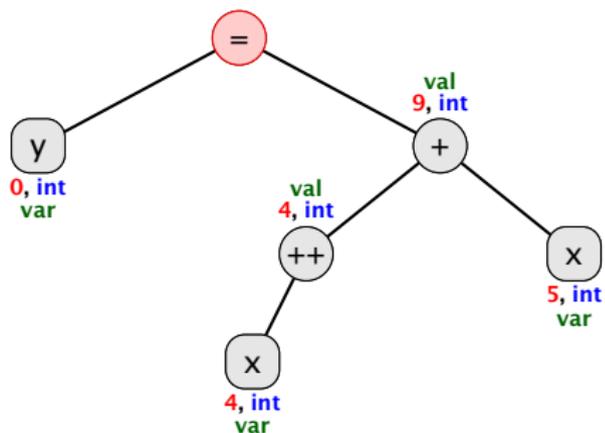
Beispiel:  $y = x++ + x$



x 5

y 0

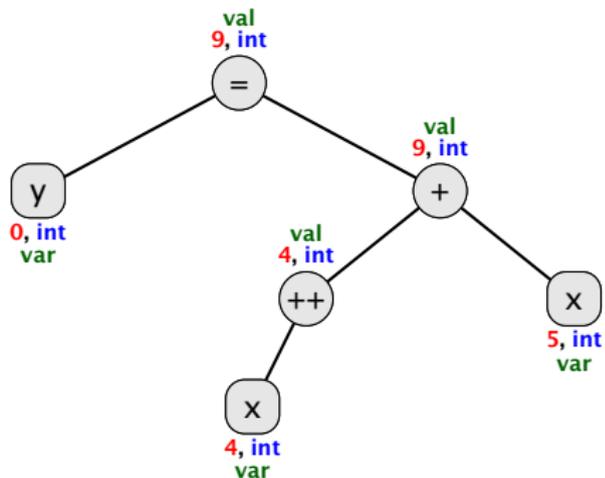
Beispiel:  $y = x++ + x$



x 5

y 0

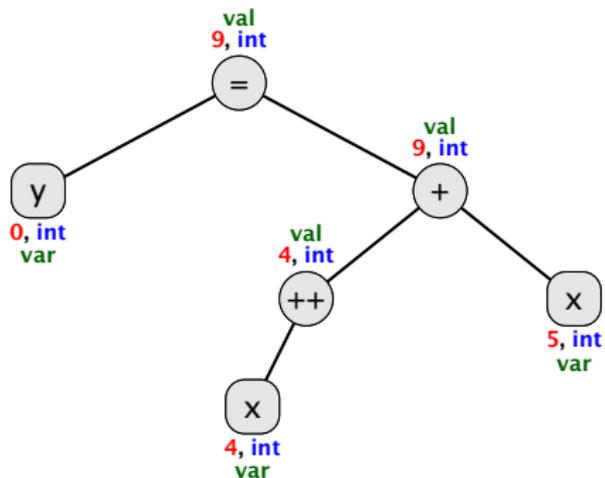
# Beispiel: $y = x++ + x$



x 5

y 9

Beispiel:  $y = x++ + x$



x 5

y 9

# Impliziter Typecast

Wenn ein Ausdruck vom **TypA** an einer Stelle verwendet wird, wo ein Ausdruck vom **TypB** erforderlich ist, wird

- ▶ entweder der Ausdruck vom **TypA** in einen Ausdruck vom **TypB** **gecastet** (**impliziter Typecast**),
- ▶ oder ein Compilerfehler erzeugt, falls dieser Cast nicht (automatisch) erlaubt ist.

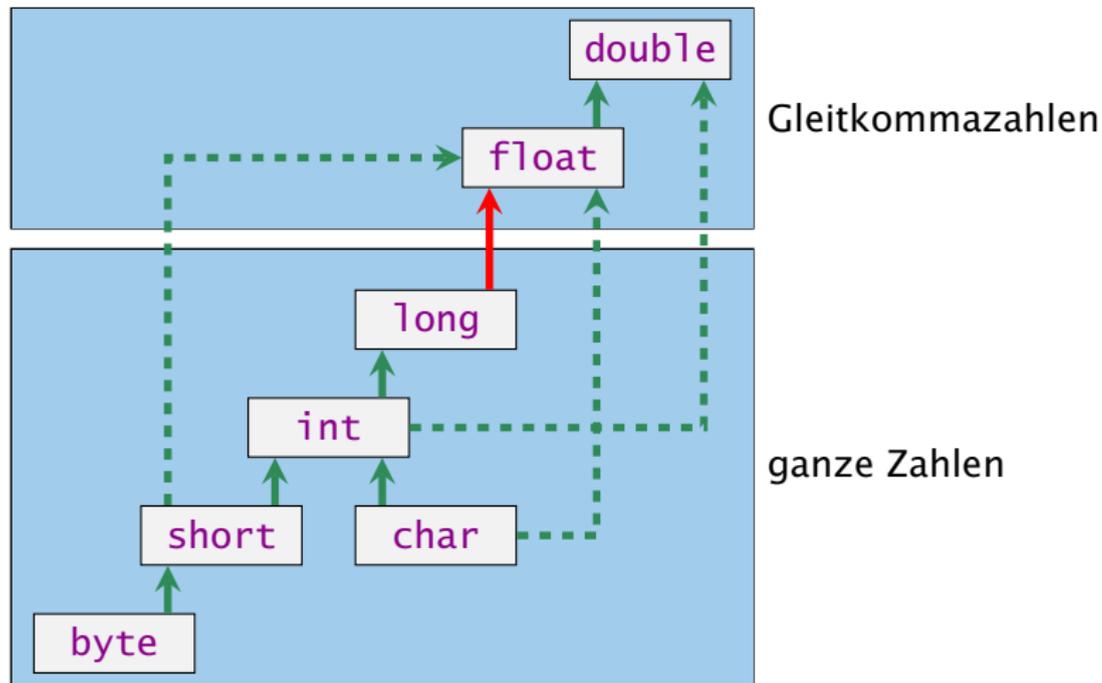
**Beispiel:** Zuweisung

```
long x = 5;
```

```
int y = 3;
```

```
x = y; // impliziter Cast von int nach long
```

## Erlaubte Implizite Typecasts - Numerische Typen



Konvertierung von `long` nach `double` oder von `int` nach `float` kann Information verlieren wird aber **automatisch** durchgeführt.

## Welcher Typ wird benötigt?

Operatoren sind üblicherweise **überladen**, d.h. ein Symbol (+, -, ...) steht in Abhängigkeit der Parameter (Argumente) für unterschiedliche Funktionen.

+ : int  $\rightarrow$  int

+ : long  $\rightarrow$  long

+ : float  $\rightarrow$  float

+ : double  $\rightarrow$  double

+ : int  $\times$  int  $\rightarrow$  int

+ : long  $\times$  long  $\rightarrow$  long

+ : float  $\times$  float  $\rightarrow$  float

+ : double  $\times$  double  $\rightarrow$  double

+ : String  $\times$  String  $\rightarrow$  String

Der Compiler muss in der Lage sein **während der Compilierung** die richtige Funktion zu bestimmen.

# Impliziter Typecast

Der Compiler wertet nur die Typen des Ausdrucksbaums aus.

- ▶ Für jeden inneren Knoten wählt er dann die geeignete Funktion (z.B.  $+ : \text{long} \times \text{long} \rightarrow \text{long}$ ) falls ein  $+$ -Knoten zwei  $\text{long}$ -Argumente erhält.
- ▶ Falls keine passende Funktion gefunden wird, versucht der Compiler durch **implizite Typecasts** die Operanden an eine Funktion anzupassen.
- ▶ Dies geschieht auch für selbstgeschriebene Funktionen (z.B.  $\text{min}(\text{int } a, \text{int } b)$  und  $\text{min}(\text{long } a, \text{long } b)$ ).
- ▶ Der Compiler nimmt die Funktion mit der speziellsten **Signatur**.

# Speziellste Signatur

# Ordnungsrelationen

Relation  $\preceq$ :  $\text{TypA} \preceq \text{TypB}$  falls  $\text{TypA}$  nach  $\text{TypB}$  (implizit) gecasted werden kann:

- ▶ **reflexiv:**  $T \preceq T$
- ▶ **transitiv:**  $T_1 \preceq T_2 \wedge T_2 \preceq T_3 \Rightarrow T_1 \preceq T_3$
- ▶ **antisymmetrisch:**  $T_1 \preceq T_2 \wedge T_2 \preceq T_1 \Rightarrow T_1 = T_2$

d.h.,  $\preceq$  definiert **Halbordnung auf der Menge der Typen**.

Relation  $\preceq_k$ :  $(T_1, \dots, T_k) \preceq_k (T'_1, \dots, T'_k)$  falls  $T_i \preceq T'_i$  für alle  $i \in \{1, \dots, k\}$ .

- ▶ **reflexiv:**  $\mathcal{T} \preceq_k \mathcal{T}$
- ▶ **transitiv:**  $\mathcal{T}_1 \preceq_k \mathcal{T}_2 \wedge \mathcal{T}_2 \preceq_k \mathcal{T}_3 \Rightarrow \mathcal{T}_1 \preceq_k \mathcal{T}_3$
- ▶ **antisymmetrisch:**  $\mathcal{T}_1 \preceq_k \mathcal{T}_2 \wedge \mathcal{T}_2 \preceq_k \mathcal{T}_1 \Rightarrow \mathcal{T}_1 = \mathcal{T}_2$

d.h.,  $\preceq_k$  definiert **Halbordnung auf der Menge der  $k$ -Tupel von Typen**.

# Ordnungsrelationen

Relation  $\preceq$ :  $\text{TypA} \preceq \text{TypB}$  falls  $\text{TypA}$  nach  $\text{TypB}$  (implizit) gecasted werden kann:

- ▶ **reflexiv:**  $T \preceq T$
- ▶ **transitiv:**  $T_1 \preceq T_2 \wedge T_2 \preceq T_3 \Rightarrow T_1 \preceq T_3$
- ▶ **antisymmetrisch:**  $T_1 \preceq T_2 \wedge T_2 \preceq T_1 \Rightarrow T_1 = T_2$

d.h.,  $\preceq$  definiert **Halbordnung auf der Menge der Typen**.

Relation  $\preceq_k$ :  $(T_1, \dots, T_k) \preceq_k (T'_1, \dots, T'_k)$  falls  $T_i \preceq T'_i$  für alle  $i \in \{1, \dots, k\}$ .

- ▶ **reflexiv:**  $\mathcal{T} \preceq_k \mathcal{T}$
- ▶ **transitiv:**  $\mathcal{T}_1 \preceq_k \mathcal{T}_2 \wedge \mathcal{T}_2 \preceq_k \mathcal{T}_3 \Rightarrow \mathcal{T}_1 \preceq_k \mathcal{T}_3$
- ▶ **antisymmetrisch:**  $\mathcal{T}_1 \preceq_k \mathcal{T}_2 \wedge \mathcal{T}_2 \preceq_k \mathcal{T}_1 \Rightarrow \mathcal{T}_1 = \mathcal{T}_2$

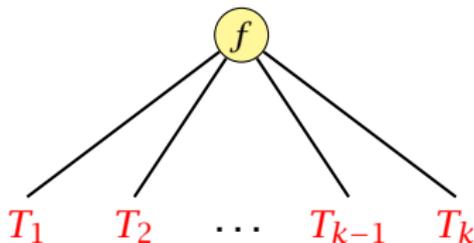
d.h.,  $\preceq_k$  definiert **Halbordnung auf der Menge der  $k$ -Tupel von Typen**.

$R_1 \ f(\mathcal{T}_1)$

$R_2 \ f(\mathcal{T}_2)$

$\vdots$

$R_\ell \ f(\mathcal{T}_\ell)$



$\mathcal{T}_1, \dots, \mathcal{T}_\ell$  sind  $k$ -Tupel von Typen für die eine Definition von  $f$  existiert.

$\mathcal{T} = (\mathcal{T}_1, \dots, \mathcal{T}_k)$  ist das  $k$ -tupel von Typen mit dem  $f$  aufgerufen wird.

Menge aller möglichen Funktionen/Tupel:

$$M := \{\mathcal{T}_i \mid \mathcal{T} \preceq_k \mathcal{T}_i\} .$$

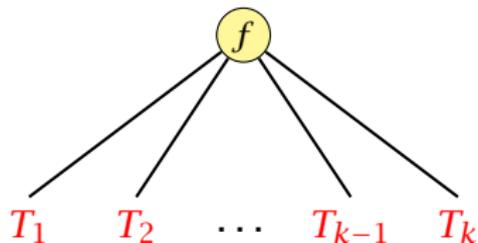
Wähle **kleinstes** Element aus  $M$  falls  $M$  ein eindeutig kleinstes Element besitzt (sonst Compilerfehler).

$R_1 \quad f(\mathcal{T}_1)$

$R_2 \quad f(\mathcal{T}_2)$

$\vdots$

$R_\ell \quad f(\mathcal{T}_\ell)$



$\mathcal{T}_1, \dots, \mathcal{T}_\ell$  sind  $k$ -Tupel von Typen für die eine Definition von  $f$  existiert.

$\mathcal{T} = (\mathcal{T}_1, \dots, \mathcal{T}_k)$  ist das  $k$ -tupel von Typen mit dem  $f$  aufgerufen wird.

Menge aller möglichen Funktionen/Tupel:

$$M := \{\mathcal{T}_i \mid \mathcal{T} \preceq_k \mathcal{T}_i\} .$$

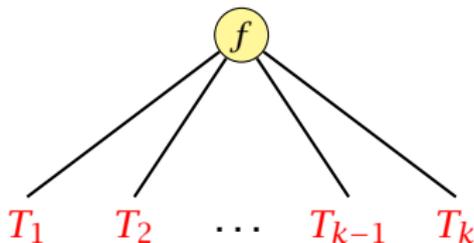
Wähle **kleinstes** Element aus  $M$  falls  $M$  ein eindeutig kleinstes Element besitzt (sonst Compilerfehler).

$R_1 \ f(\mathcal{T}_1)$

$R_2 \ f(\mathcal{T}_2)$

$\vdots$

$R_\ell \ f(\mathcal{T}_\ell)$



$\mathcal{T}_1, \dots, \mathcal{T}_\ell$  sind  $k$ -Tupel von Typen für die eine Definition von  $f$  existiert.

$\mathcal{T} = (T_1, \dots, T_k)$  ist das  $k$ -tupel von Typen mit dem  $f$  aufgerufen wird.

Menge aller möglichen Funktionen/Tupel:

$$M := \{\mathcal{T}_i \mid \mathcal{T} \preceq_k \mathcal{T}_i\} .$$

Wähle **kleinstes** Element aus  $M$  falls  $M$  ein eindeutig kleinstes Element besitzt (sonst Compilerfehler).

# Impliziter Typecast – Numerische Typen

Angenommen wir haben Funktionen

```
int min(int a, int b)
```

```
float min(float a, float b)
```

```
double min(double a, double b)
```

definiert.

```
1 long a = 7, b = 3;  
2 double d = min(a, b);
```

würde die Funktion `float min(float a, float b)` aufrufen.

# Impliziter Typecast

Bei Ausdrücken mit Seiteneffekten (Zuweisungen, ++ , --) gelten andere Regeln:

## Beispiel: Zuweisungen

= :  $\text{byte}^* \times \text{byte} \rightarrow \text{byte}$   
= :  $\text{char}^* \times \text{char} \rightarrow \text{char}$   
= :  $\text{short}^* \times \text{short} \rightarrow \text{short}$   
= :  $\text{int}^* \times \text{int} \rightarrow \text{int}$   
= :  $\text{long}^* \times \text{long} \rightarrow \text{long}$   
= :  $\text{float}^* \times \text{float} \rightarrow \text{float}$   
= :  $\text{double}^* \times \text{double} \rightarrow \text{double}$

Es wird nur der Parameter konvertiert, der nicht dem Seiteneffekt unterliegt.

## 5.3 Auswertung von Ausdrücken

### Der Funktionsaufrufoperator:

<i>symbol</i>	<i>name</i>	<i>types</i>	<i>L/R</i>	<i>level</i>
()	Funktionsaufruf	Funktionsname, *	links	1

Beispiel:  $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$

$$x = \min ( a , \min ( a , b ) + 4L )$$

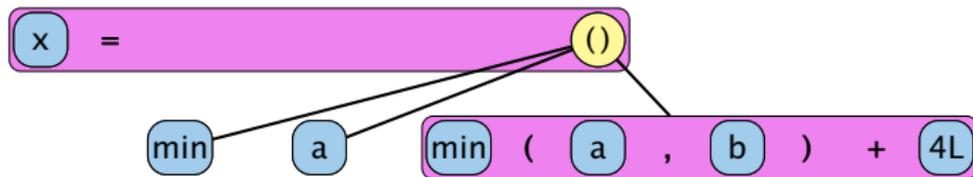
Beispiel:  $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$

$$x = \min(a, \min(a, b) + 4L)$$

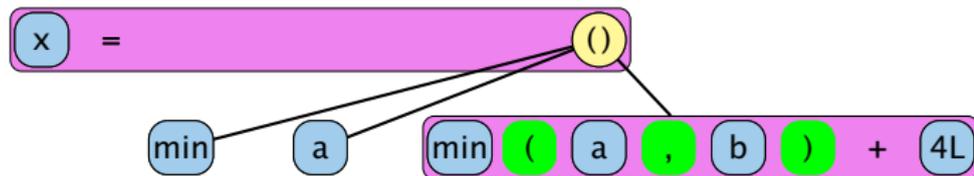
Beispiel:  $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$

$$x = \min(a, \min(a, b) + 4L)$$

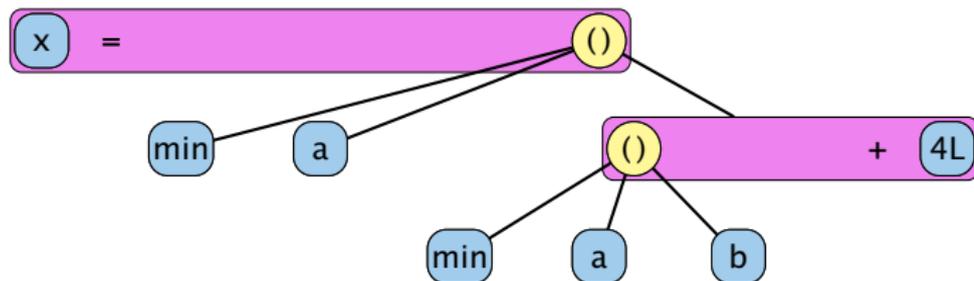
Beispiel:  $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



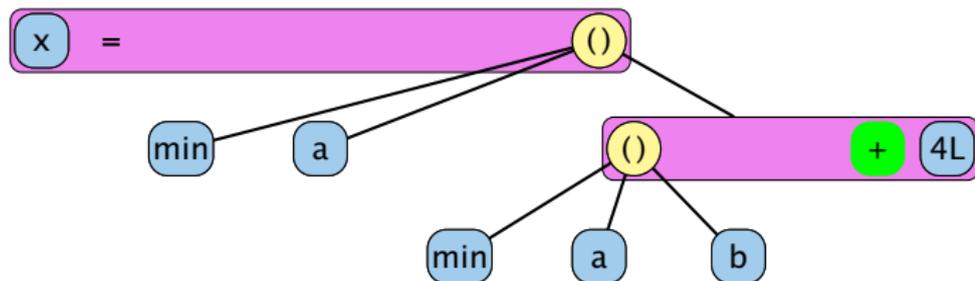
Beispiel:  $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



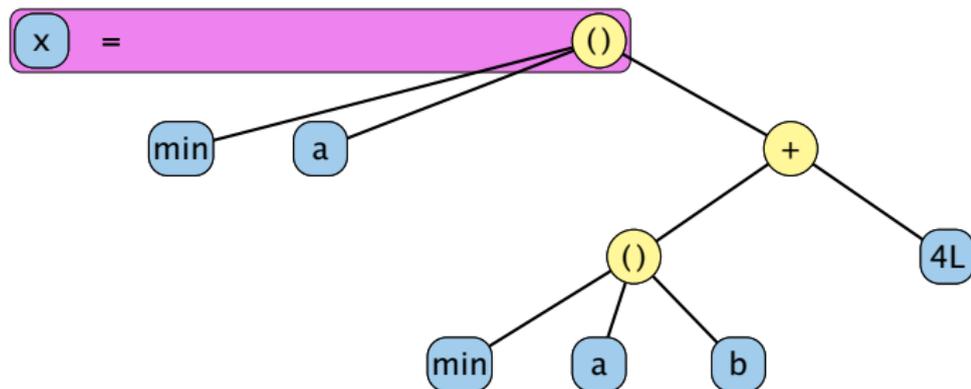
Beispiel:  $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



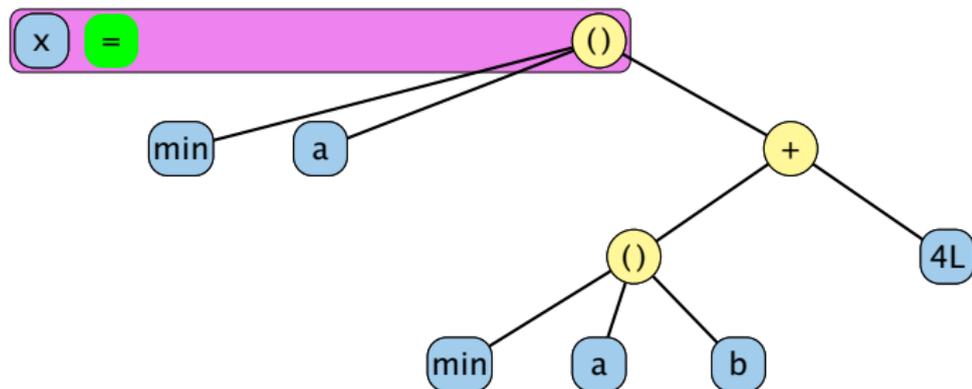
Beispiel:  $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



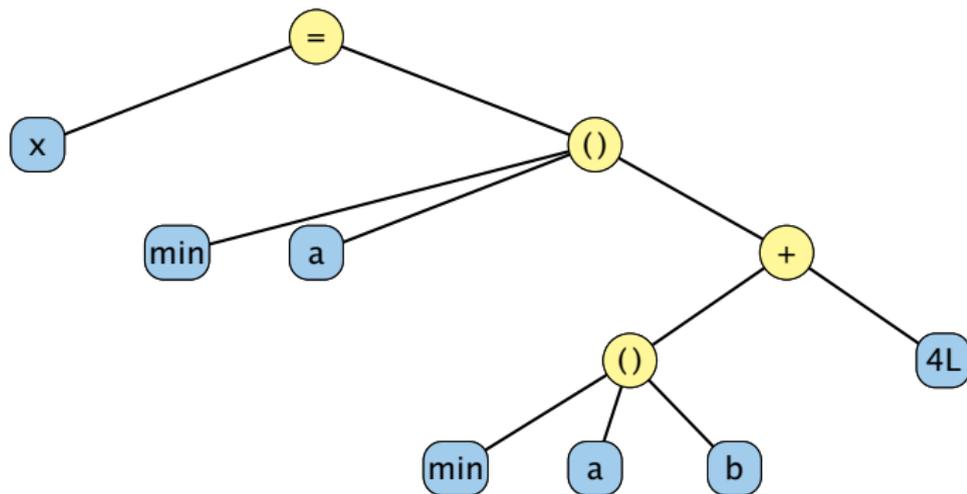
Beispiel:  $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



Beispiel:  $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



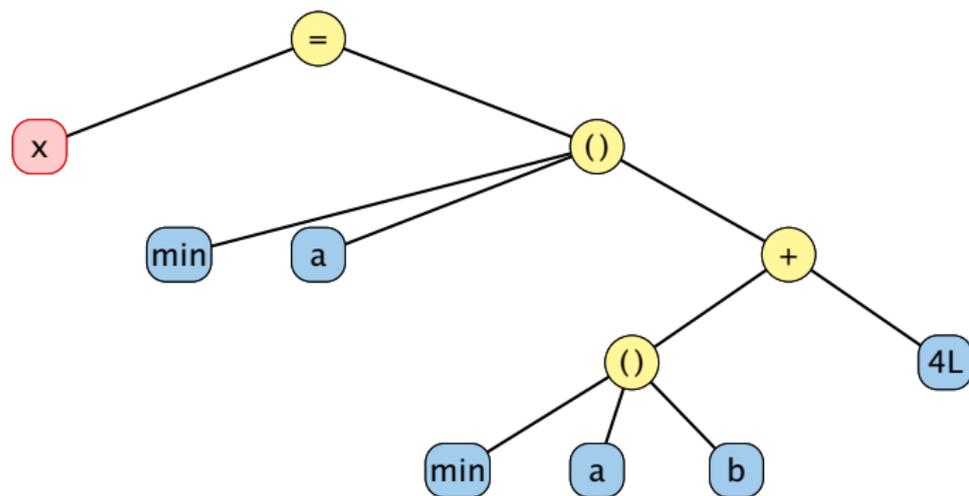
Beispiel:  $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



```
int min(int,int)
float min(float,float)
double min(double,double)
```

long x  int a  int b

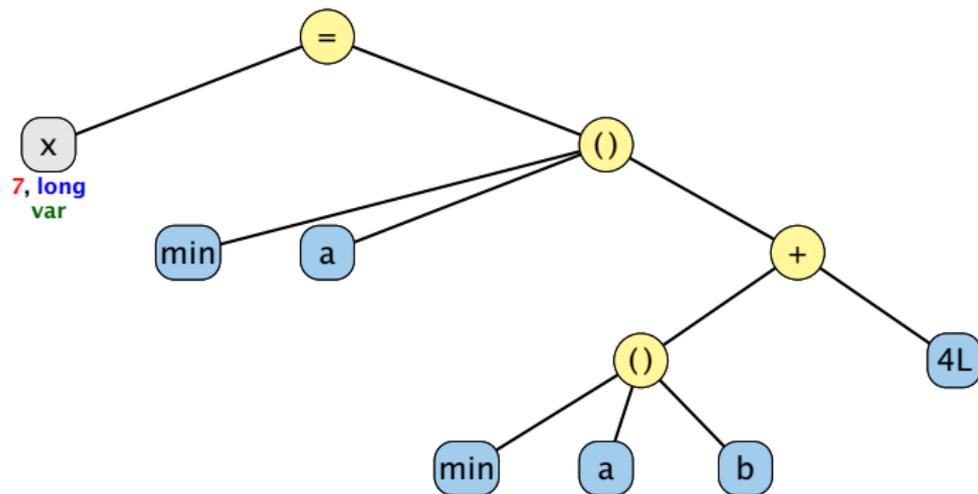
Beispiel:  $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



```
int min(int,int)
float min(float,float)
double min(double,double)
```

long x  int a  int b

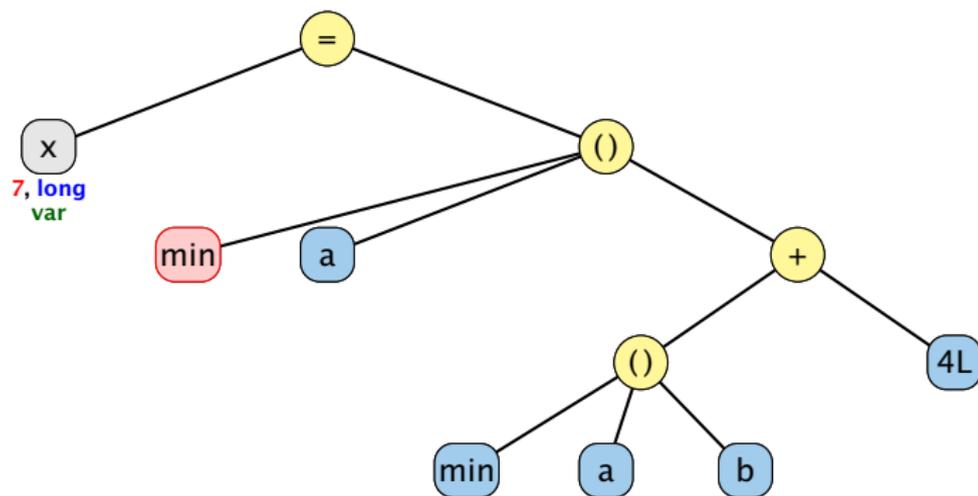
Beispiel:  $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



```
int min(int,int)
float min(float,float)
double min(double,double)
```

long x  int a  int b

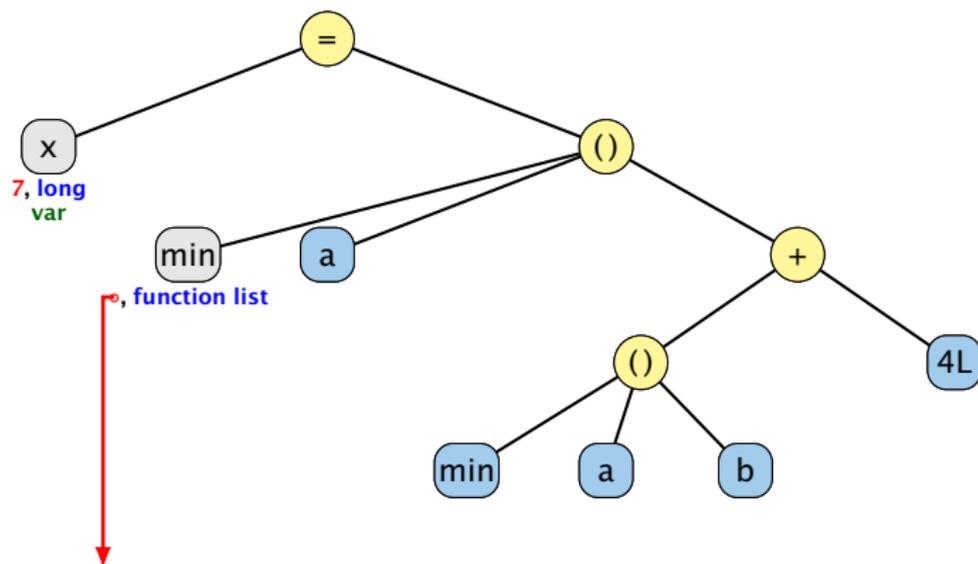
Beispiel:  $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



```
int min(int,int)
float min(float,float)
double min(double,double)
```

long x  int a  int b

Beispiel:  $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



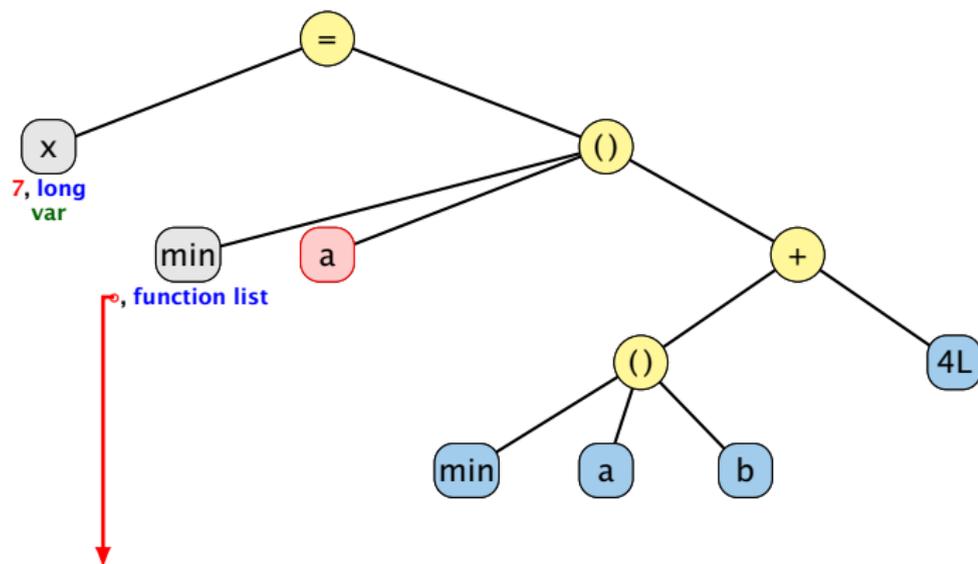
7, long  
var

, function list

int min(int,int)  
float min(float,float)  
double min(double,double)

long x  int a  int b

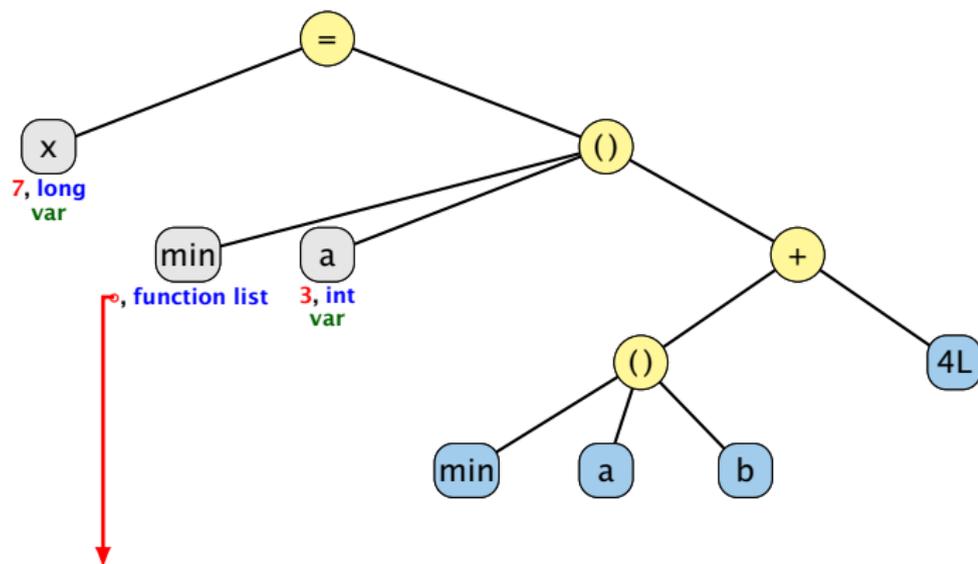
Beispiel:  $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



`int min(int,int)`  
`float min(float,float)`  
`double min(double,double)`

`long x`  `int a`  `int b`

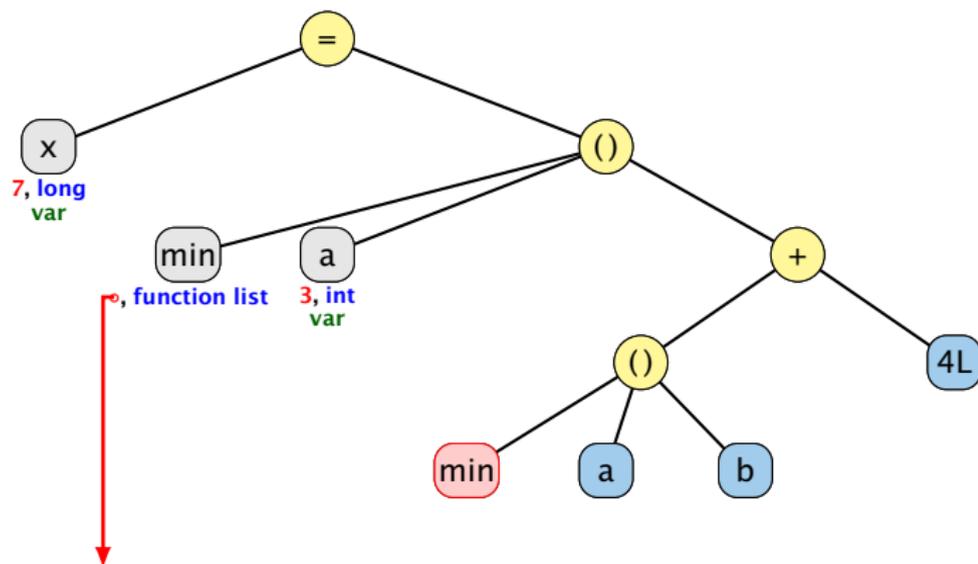
Beispiel:  $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



`int min(int,int)`  
`float min(float,float)`  
`double min(double,double)`

`long x`  `int a`  `int b`

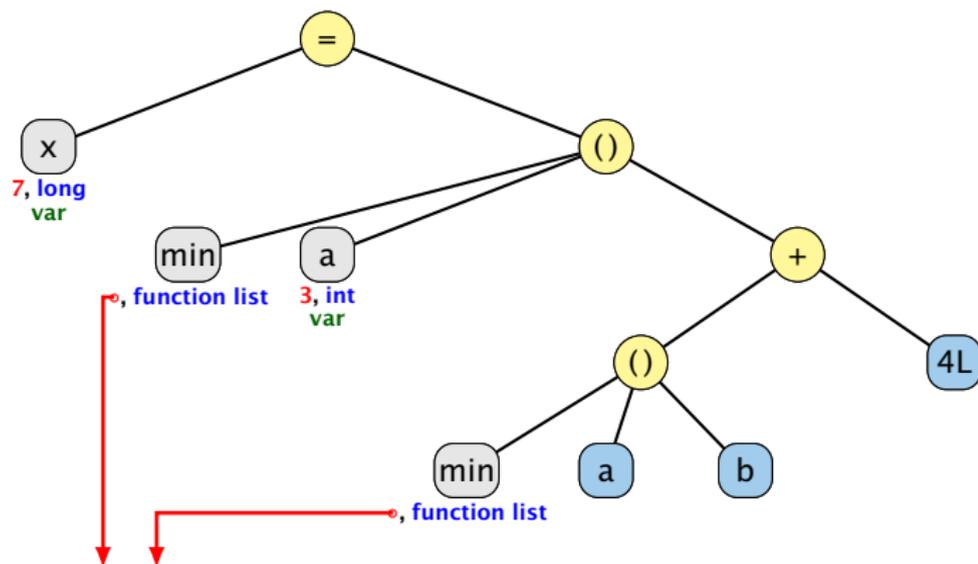
Beispiel:  $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



int min(int,int)  
float min(float,float)  
double min(double,double)

long x  int a  int b

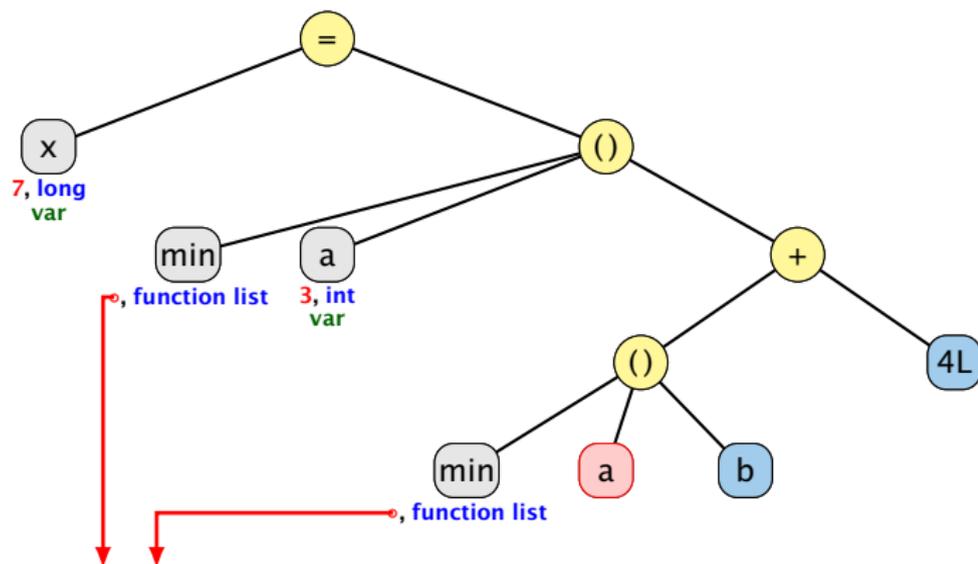
Beispiel:  $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



int min(int,int)  
float min(float,float)  
double min(double,double)

long x  int a  int b

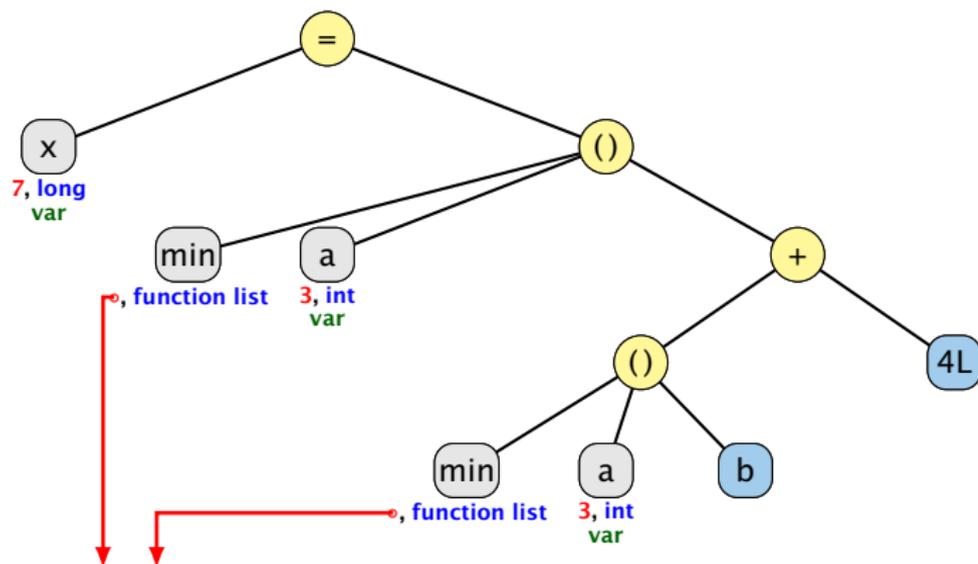
Beispiel:  $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



int min(int,int)  
float min(float,float)  
double min(double,double)

long x [ 7 ]   int a [ 3 ]   int b [ 5 ]

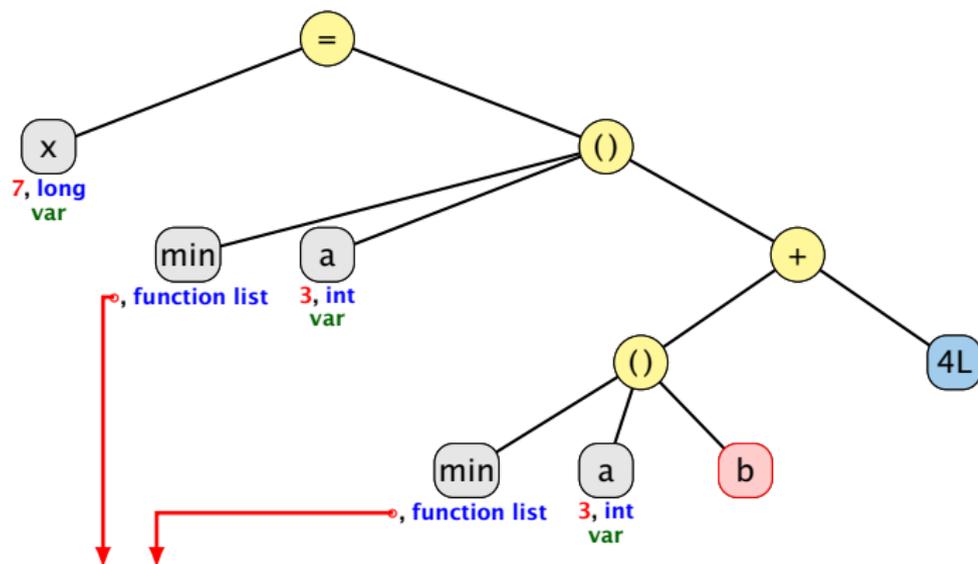
Beispiel:  $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



`int min(int,int)`  
`float min(float,float)`  
`double min(double,double)`

`long x` `7` `int a` `3` `int b` `5`

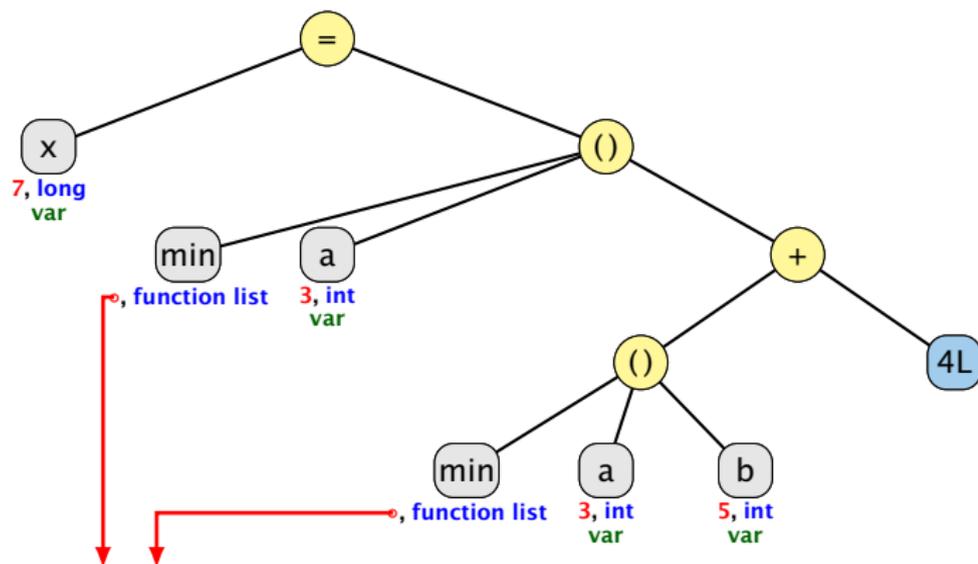
Beispiel:  $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



int min(int,int)  
float min(float,float)  
double min(double,double)

long x [ 7 ]   int a [ 3 ]   int b [ 5 ]

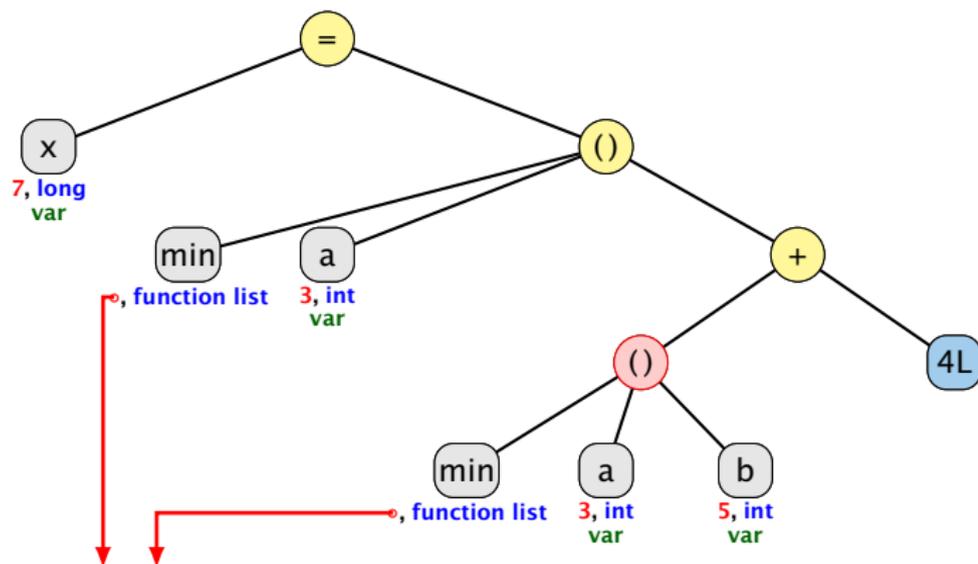
Beispiel:  $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



int min(int,int)  
float min(float,float)  
double min(double,double)

long x  int a  int b

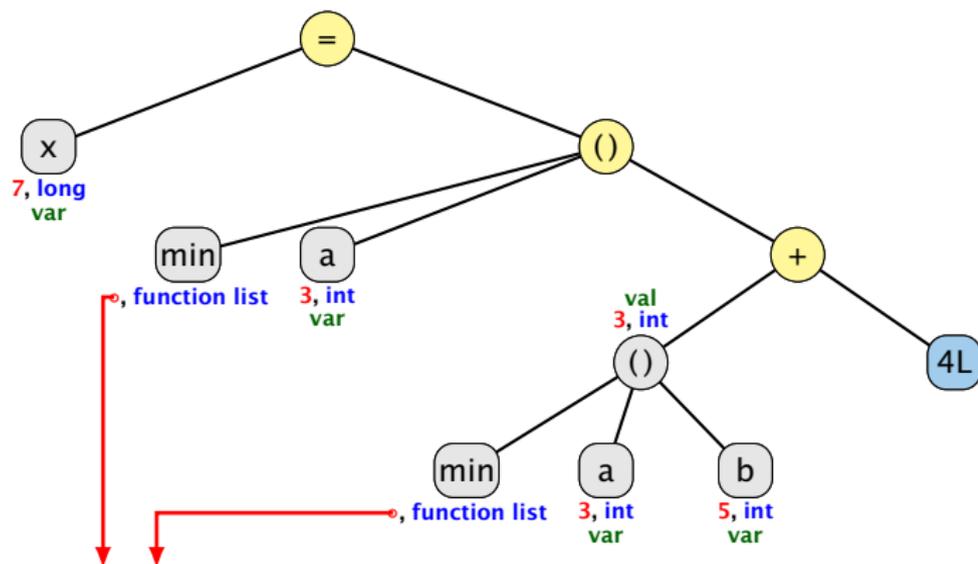
Beispiel:  $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



int min(int,int)  
float min(float,float)  
double min(double,double)

long x  int a  int b

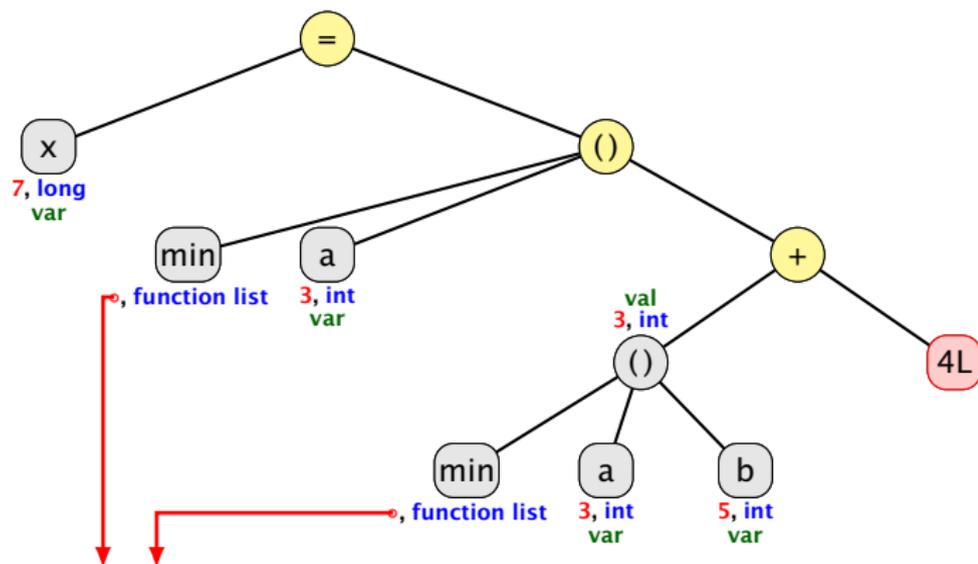
Beispiel:  $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



int min(int,int)  
float min(float,float)  
double min(double,double)

long x  int a  int b

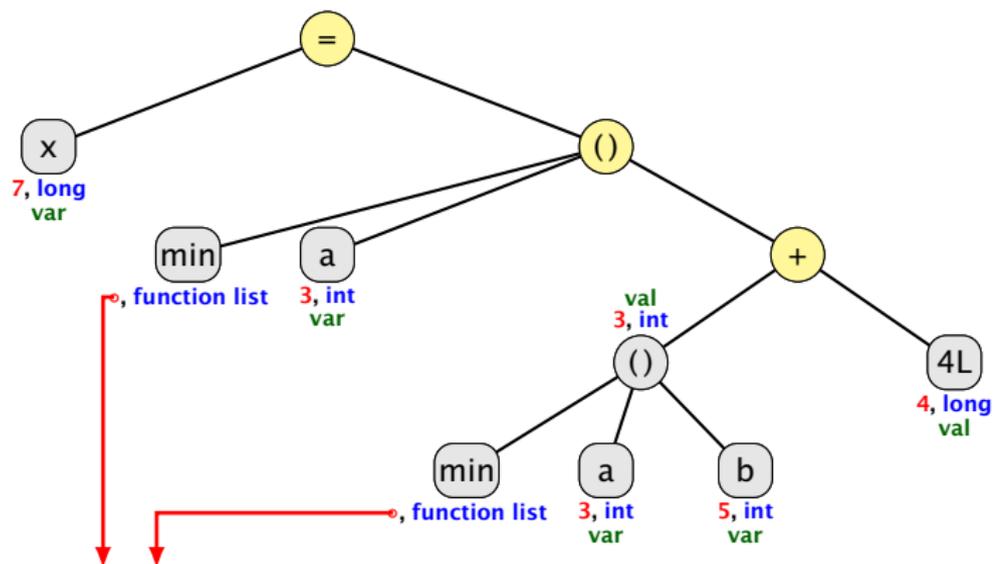
Beispiel:  $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



`int min(int,int)`  
`float min(float,float)`  
`double min(double,double)`

`long x`  `int a`  `int b`

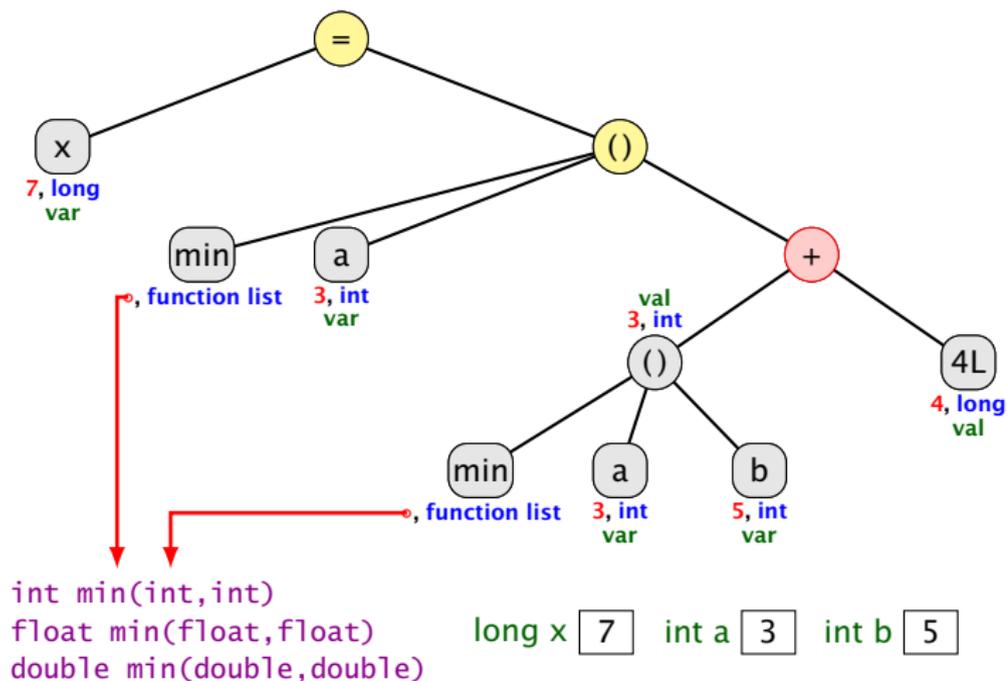
Beispiel:  $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



int min(int,int)  
float min(float,float)  
double min(double,double)

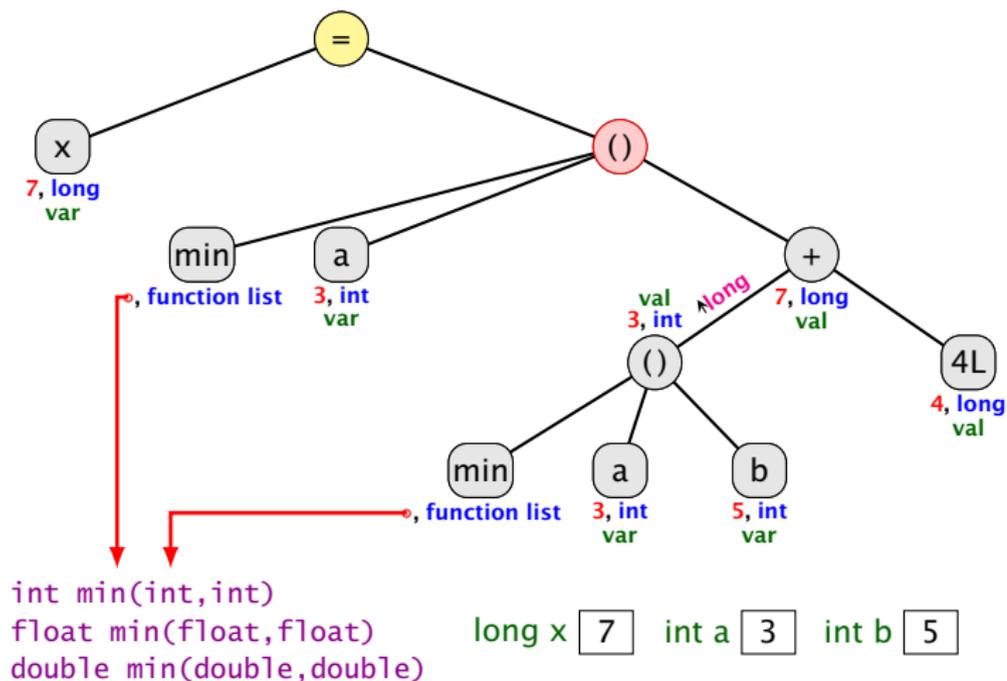
long x  int a  int b

Beispiel:  $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$

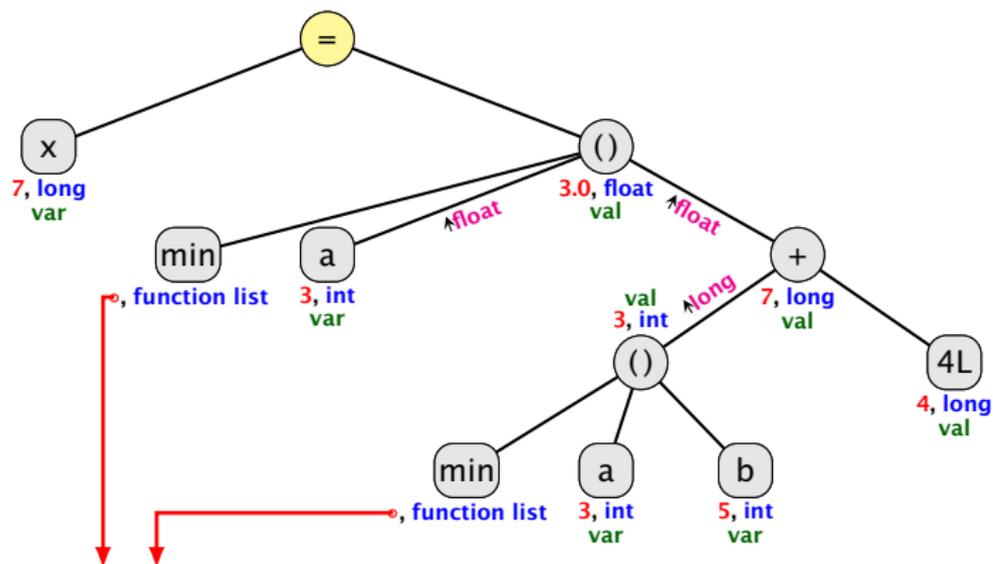




Beispiel:  $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



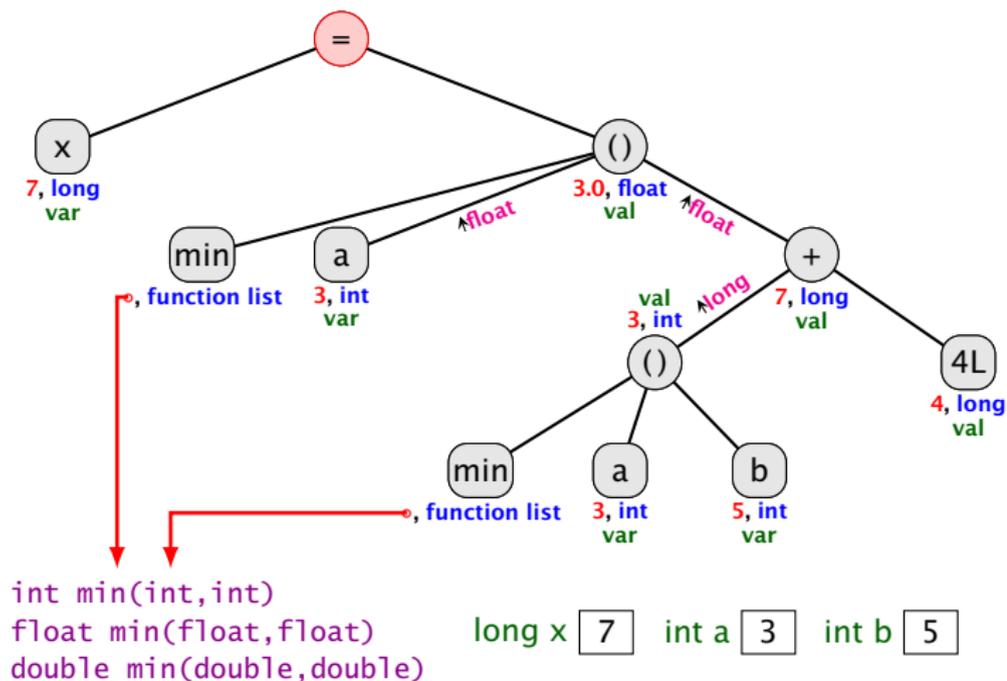
Beispiel:  $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



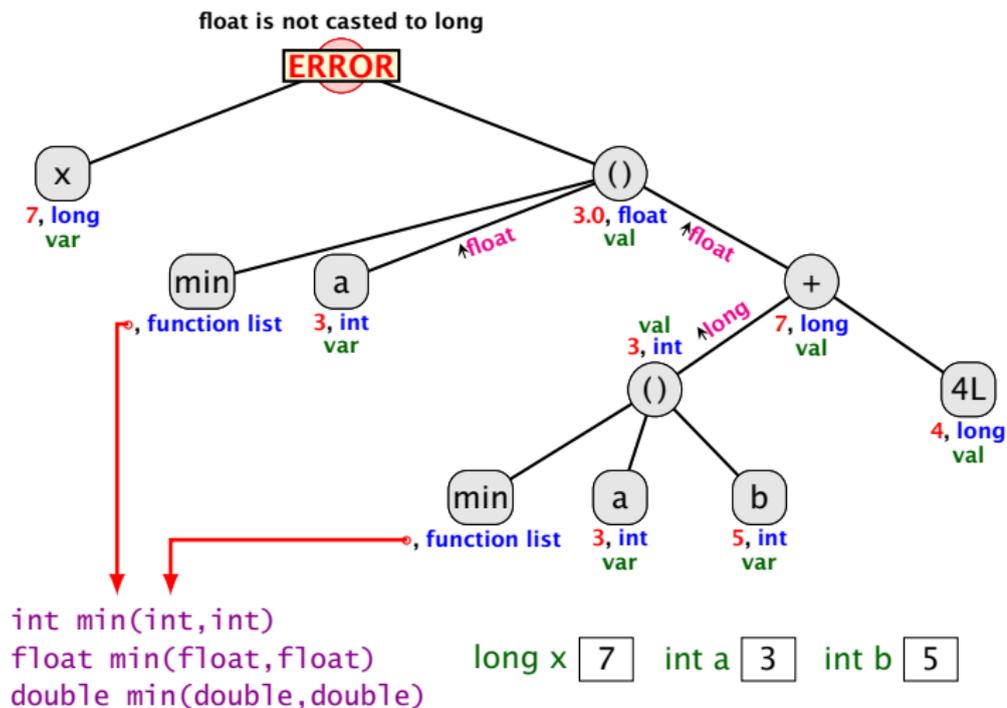
int min(int,int)  
float min(float,float)  
double min(double,double)

long x [ 7 ] int a [ 3 ] int b [ 5 ]

Beispiel:  $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



# Beispiel: $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



# Impliziter Typecast – Strings

## Spezialfall

- ▶ Falls beim Operator `+` ein Typ vom Typ `String` ist, wird der andere auch in einen `String` umgewandelt.  
⇒ Stringkonkatenation.
- ▶ Jeder Typ in `Java` besitzt eine Stringrepräsentation.

**Funktioniert nicht bei selbstgeschriebenen Funktionen.**

Beispiel:  $s = a + b$

$s = a + b$

Beispiel:  $s = a + b$

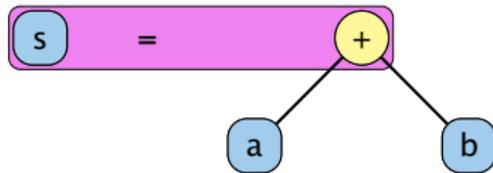


A diagram illustrating the equation  $s = a + b$ . The variables  $s$ ,  $a$ , and  $b$  are each enclosed in a light blue rounded square box. These boxes are arranged horizontally within a larger, light purple rounded rectangle. The equals sign  $=$  and the plus sign  $+$  are placed between the boxes to represent the equation.

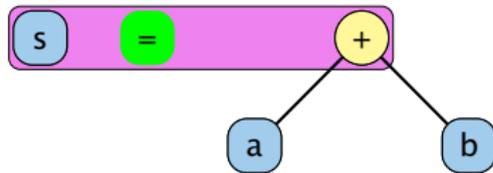
Beispiel:  $s = a + b$



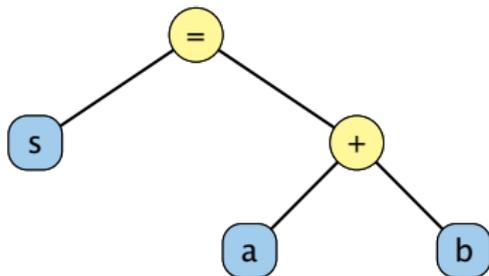
Beispiel:  $s = a + b$



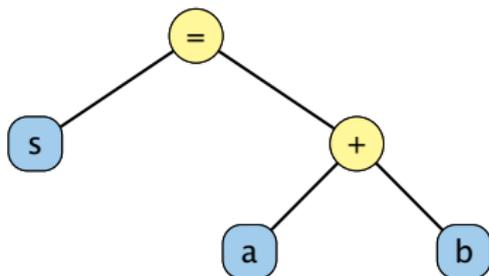
Beispiel:  $s = a + b$



Beispiel:  $s = a + b$



Beispiel:  $s = a + b$

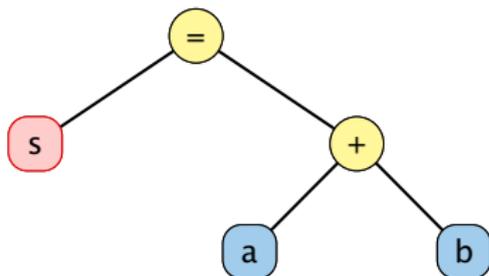


String  $s$    $\rightarrow$

$a$

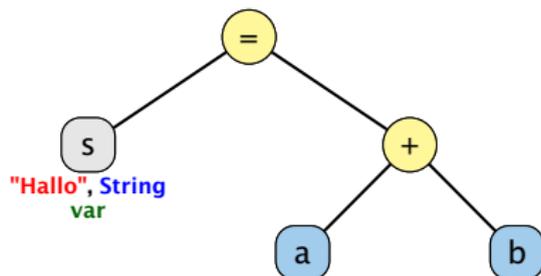
$b$

## Beispiel: $s = a + b$



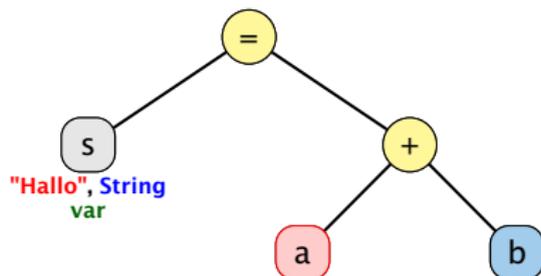
String `s`  →      `a`      `b`

## Beispiel: $s = a + b$



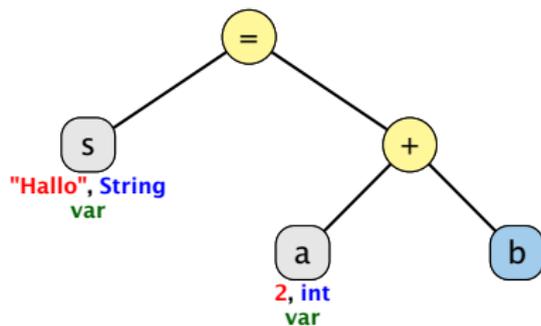
String s  → "Hallo"    a     b

## Beispiel: $s = a + b$



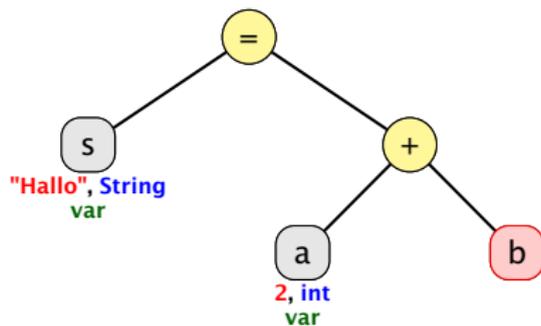
String s  → "Hallo"    a  2    b  6

## Beispiel: $s = a + b$



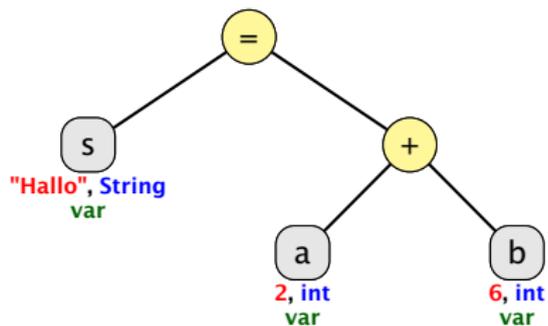
String s  → "Hallo"      a  2      b  6

## Beispiel: $s = a + b$



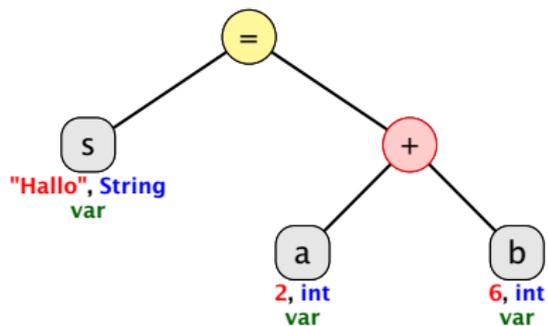
String s  → "Hallo"      a  2      b  6

## Beispiel: $s = a + b$



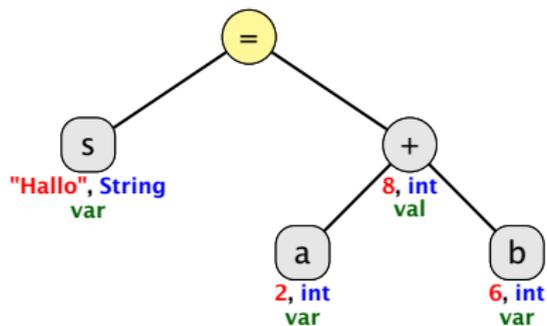
String s  → "Hallo"      a  2      b  6

## Beispiel: $s = a + b$



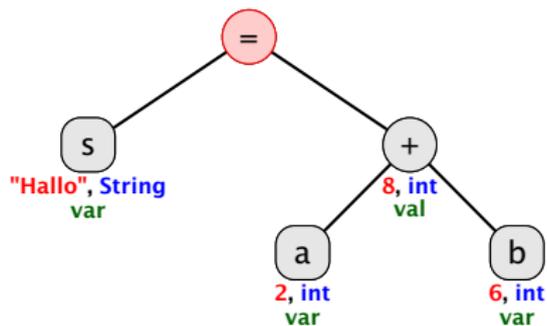
String s  → "Hallo"    a  2    b  6

## Beispiel: $s = a + b$



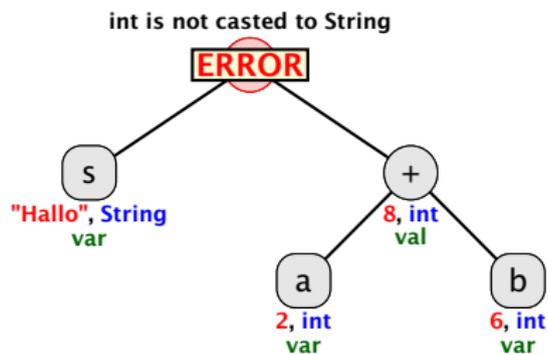
String s  → "Hallo"    a  2    b  6

## Beispiel: $s = a + b$



String s  → "Hallo"      a  2      b  6

## Beispiel: $s = a + b$



String s  → "Hallo"    a     b

Beispiel:  $s = "" + a + b$

$s = "" + a + b$

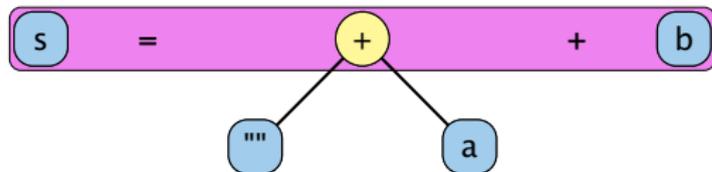
Beispiel:  $s = "" + a + b$



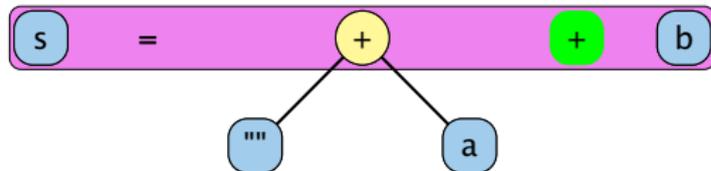
Beispiel:  $s = "" + a + b$



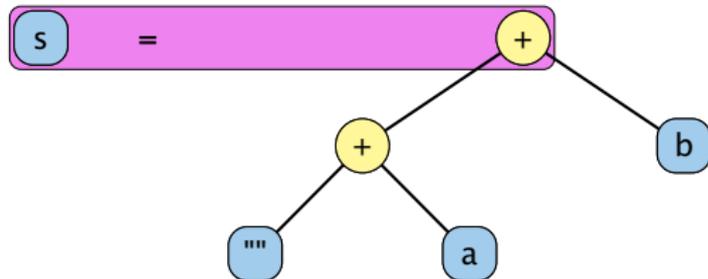
Beispiel:  $s = "" + a + b$



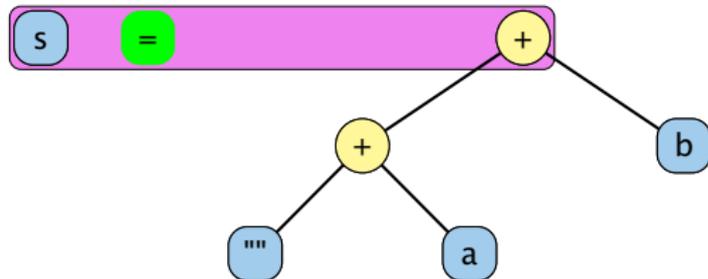
Beispiel:  $s = "" + a + b$



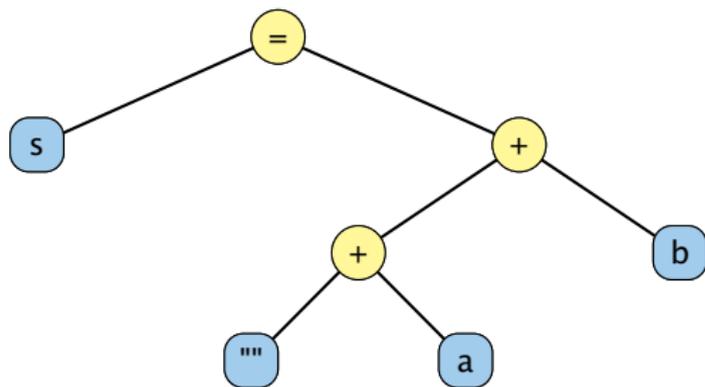
Beispiel:  $s = "" + a + b$



Beispiel:  $s = "" + a + b$



Beispiel:  $s = "" + a + b$

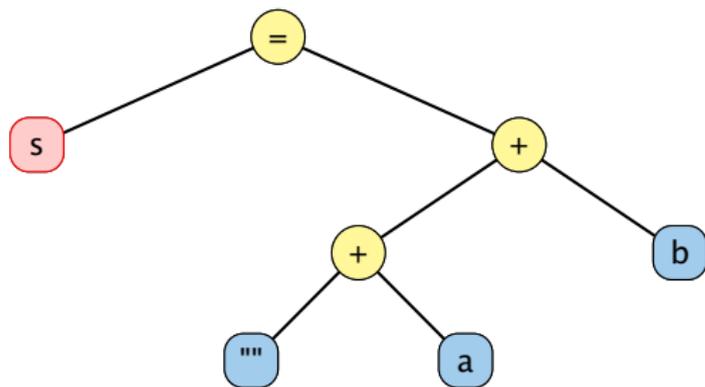


String  $s$    $\rightarrow$  "Hallo"

$a$

$b$

Beispiel:  $s = "" + a + b$

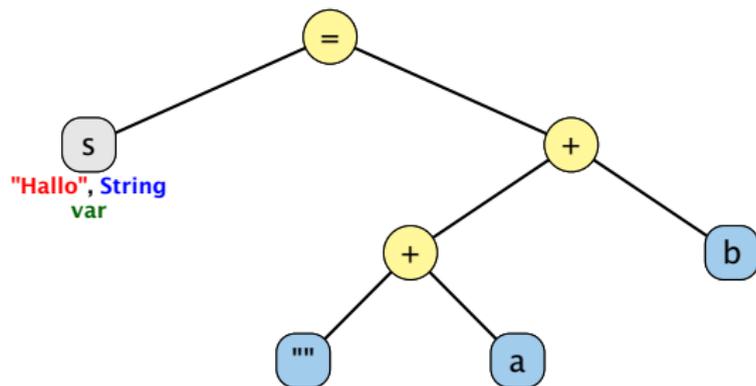


String  $s$    $\rightarrow$  "Hallo"

$a$

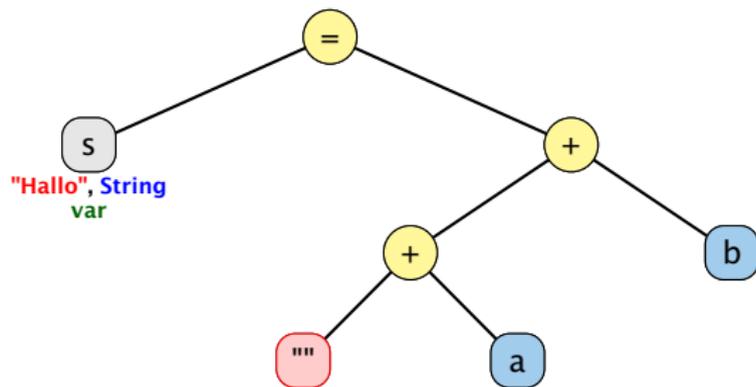
$b$

Beispiel:  $s = "" + a + b$



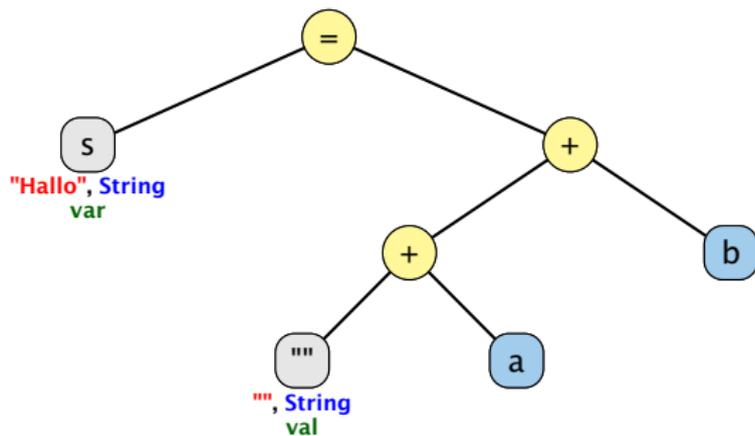
String s  → "Hallo"    a     b

Beispiel:  $s = "" + a + b$



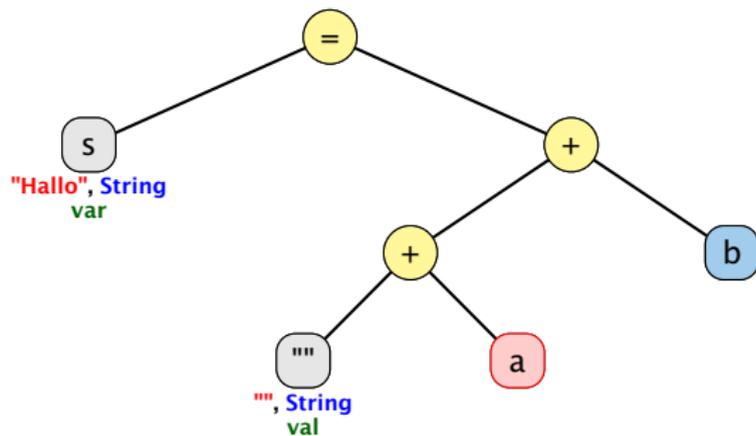
String s  → "Hallo"    a  2    b  6

Beispiel:  $s = "" + a + b$



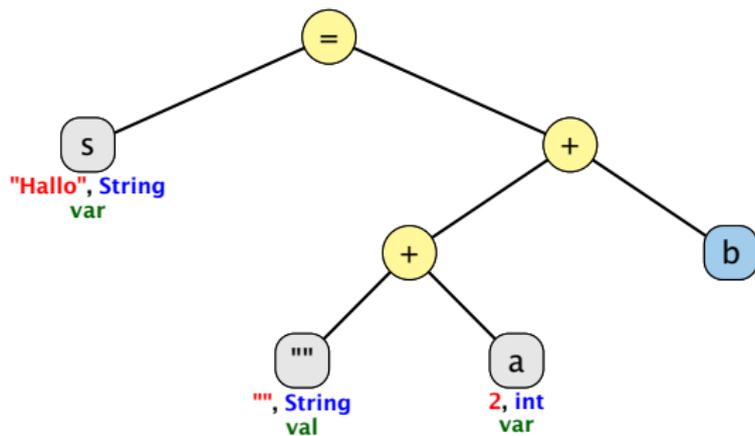
String s  → "Hallo"    a  2    b  6

Beispiel:  $s = "" + a + b$



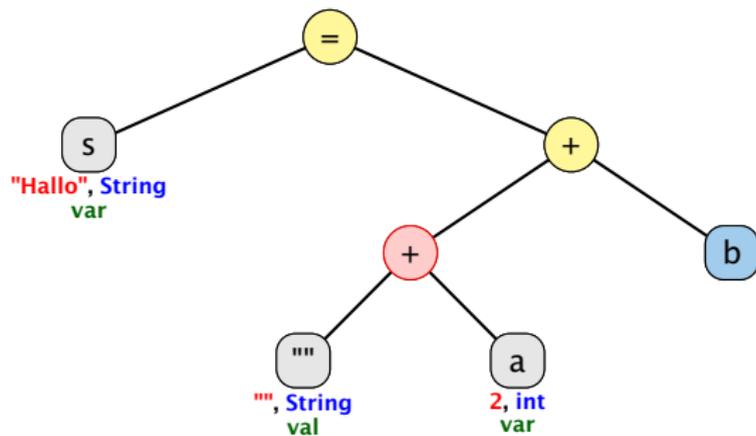
String s  → "Hallo"      a  2      b  6

Beispiel:  $s = "" + a + b$



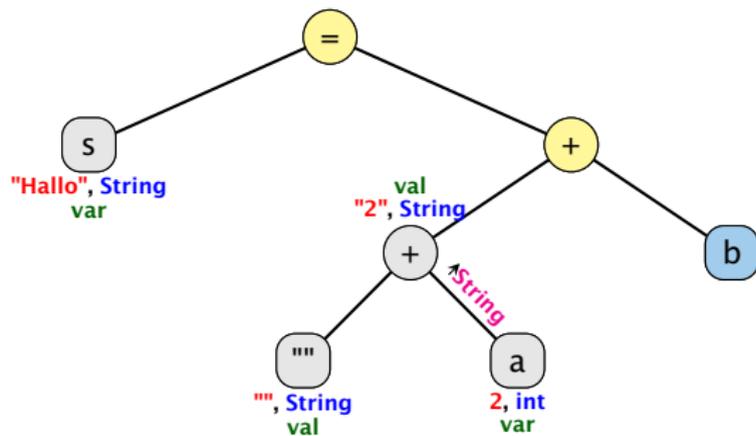
String s  → "Hallo"      a  2      b  6

Beispiel:  $s = "" + a + b$



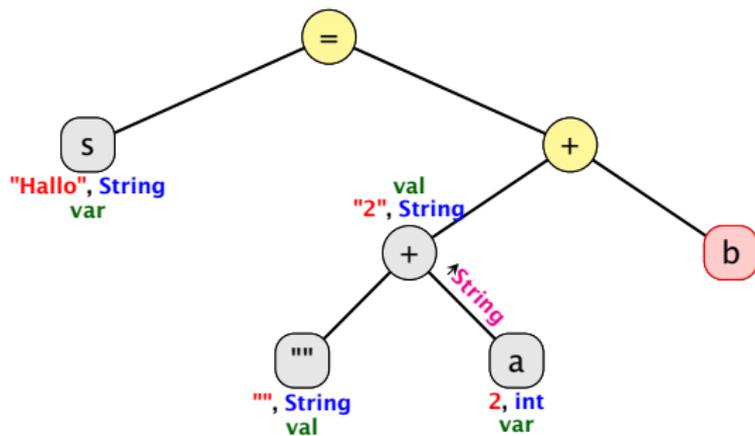
String s  → "Hallo"      a  2      b  6

Beispiel:  $s = "" + a + b$



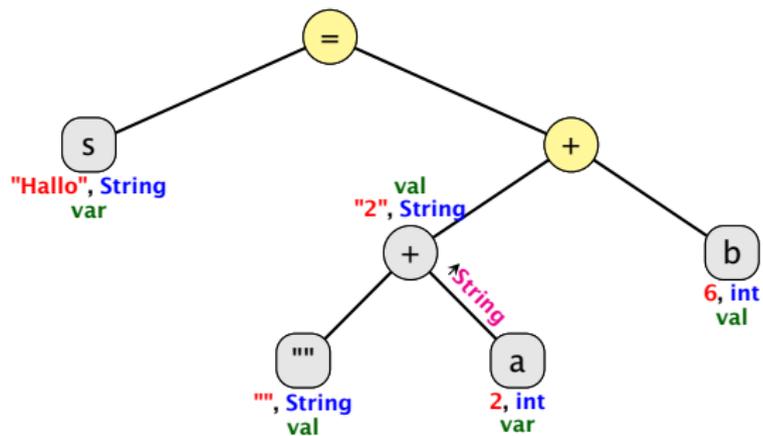
String s  → "Hallo"      a  2      b  6

Beispiel:  $s = "" + a + b$



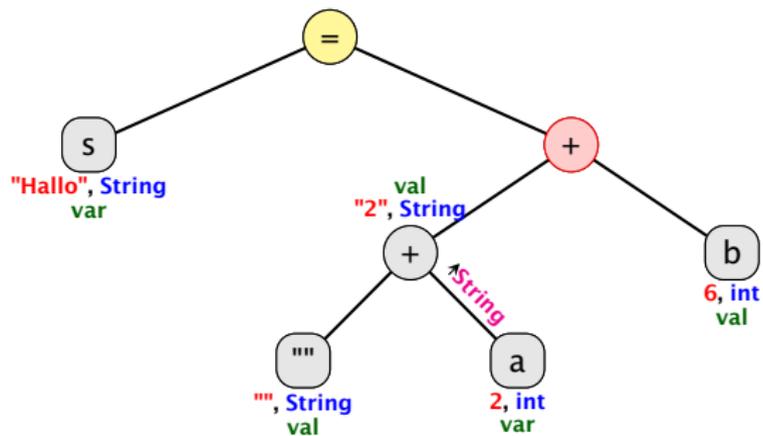
String s  → "Hallo"      a  2      b  6

Beispiel:  $s = "" + a + b$



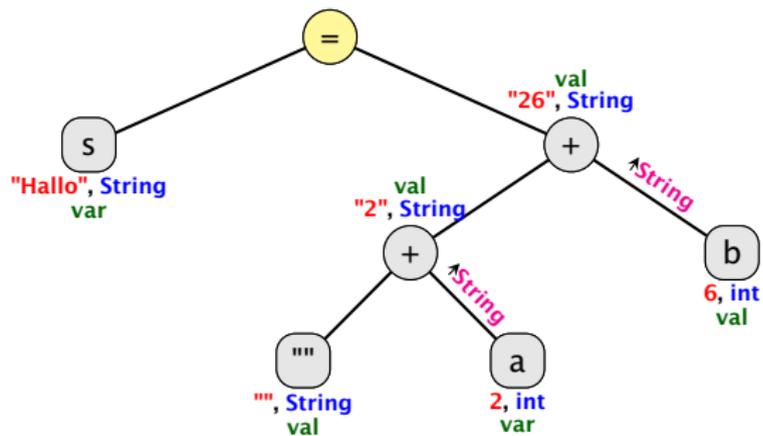
String s  → "Hallo"      a  2      b  6

Beispiel:  $s = "" + a + b$



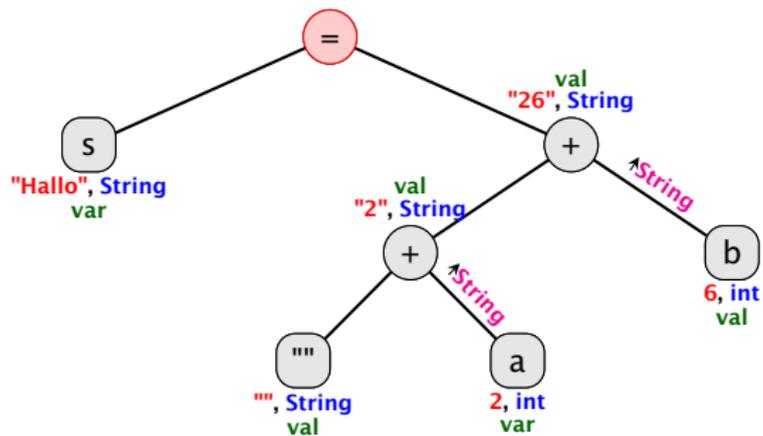
String s  → "Hallo"      a  2      b  6

Beispiel:  $s = "" + a + b$



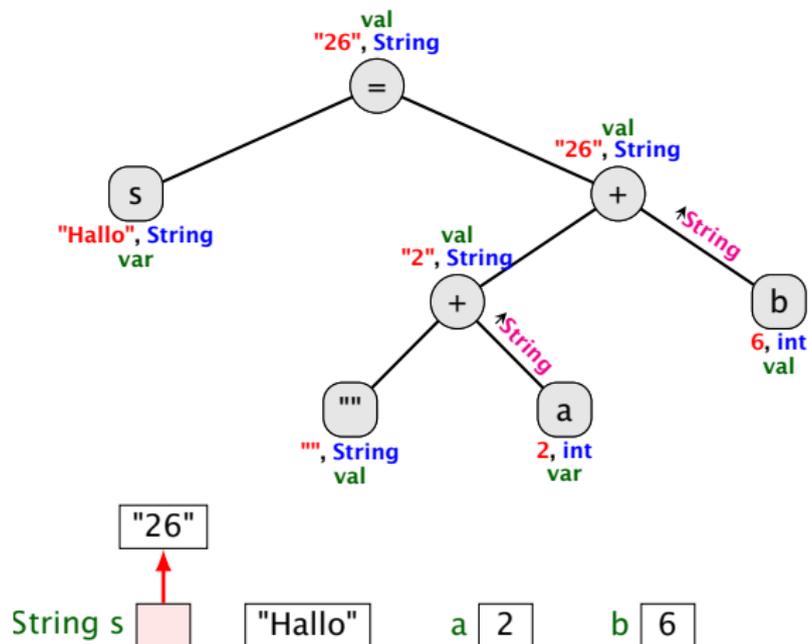
String s  → "Hallo"      a  2      b  6

Beispiel:  $s = "" + a + b$



String s  → "Hallo"      a  2      b  6

Beispiel:  $s = "" + a + b$



Beispiel:  $s = s + 1$

$$s = s + 1$$

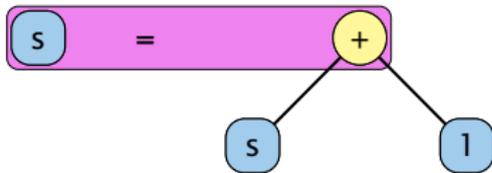
Beispiel:  $s = s + 1$



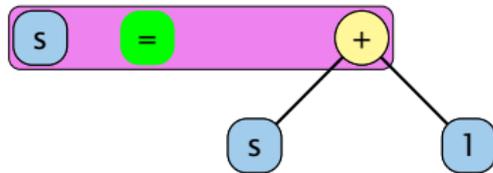
Beispiel:  $s = s + 1$



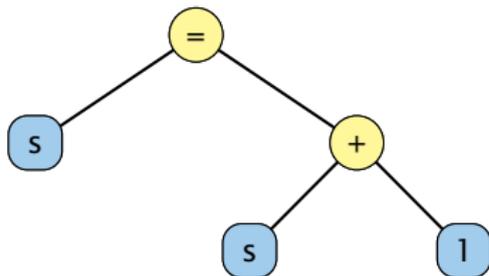
Beispiel:  $s = s + 1$



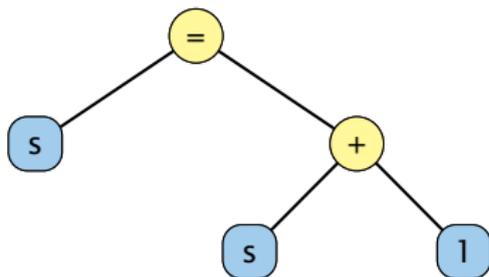
Beispiel:  $s = s + 1$



Beispiel:  $s = s + 1$

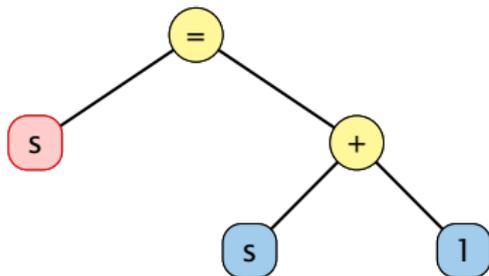


Beispiel:  $s = s + 1$



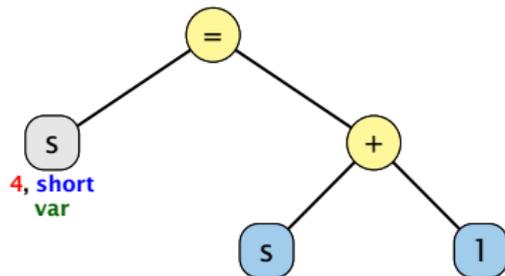
short s

Beispiel:  $s = s + 1$



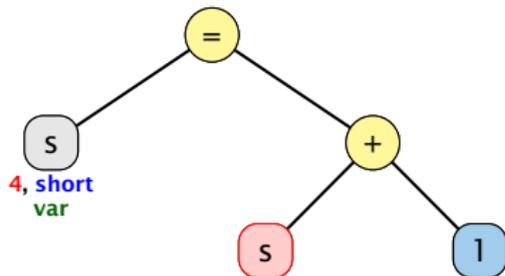
short s 4

Beispiel:  $s = s + 1$



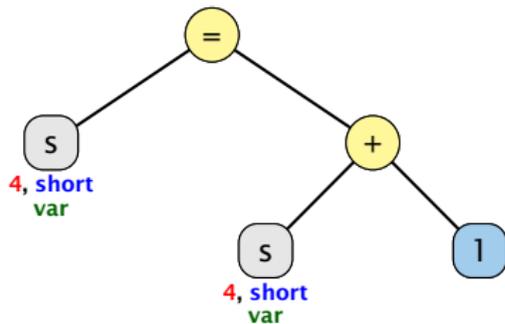
short s 4

Beispiel:  $s = s + 1$



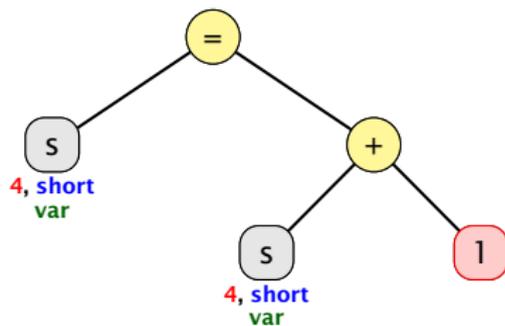
short s 4

Beispiel:  $s = s + 1$



short s 4

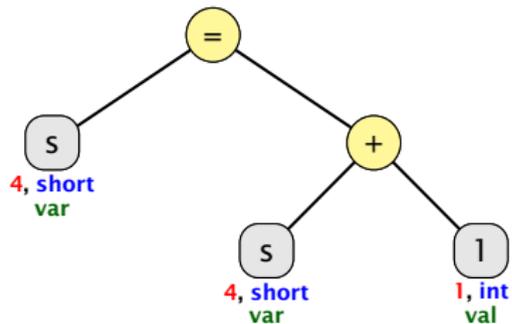
Beispiel:  $s = s + 1$



short s 

4
---

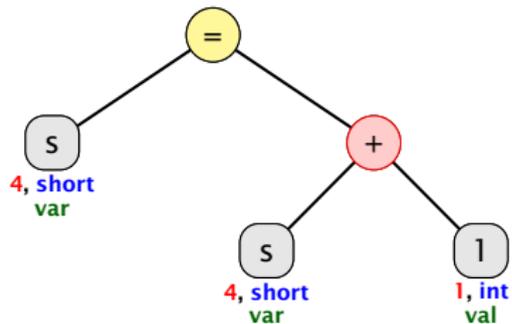
Beispiel:  $s = s + 1$



short s 

4
---

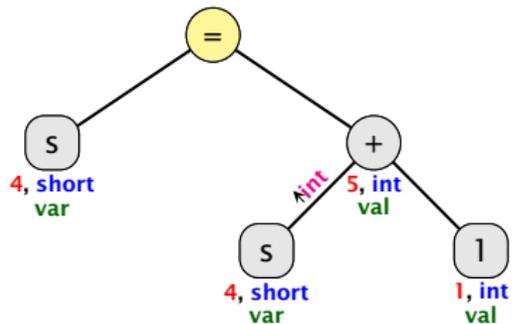
Beispiel:  $s = s + 1$



short s 

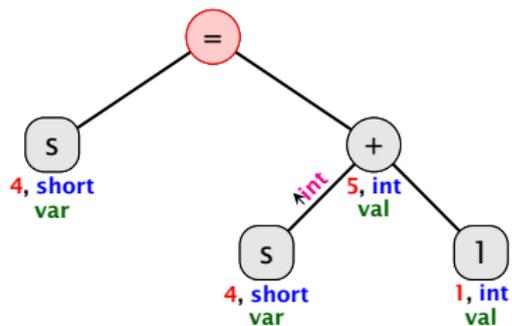
4
---

Beispiel:  $s = s + 1$



short s 4

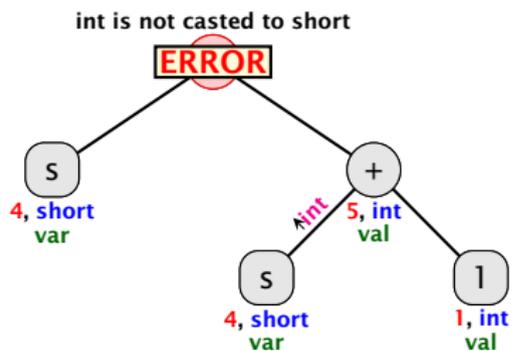
Beispiel:  $s = s + 1$



short s 

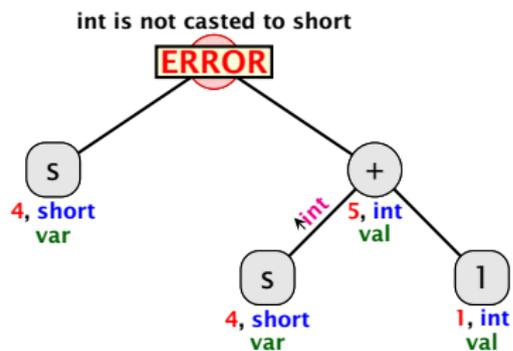
4
---

# Beispiel: $s = s + 1$



short s 4

Beispiel:  $s = s + 1$



short s

Beispiel:  $s = 7 + 1$

$$s = 7 + 1$$

Beispiel:  $s = 7 + 1$

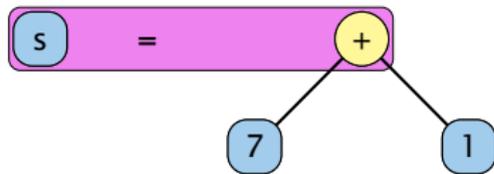


A diagram illustrating the expression  $s = 7 + 1$ . The entire expression is contained within a horizontal pink rounded rectangle. Inside this rectangle, the variable  $s$ , the equals sign  $=$ , the number  $7$ , the plus sign  $+$ , and the number  $1$  are arranged from left to right. Each of these five elements is enclosed in its own light blue rounded square box.

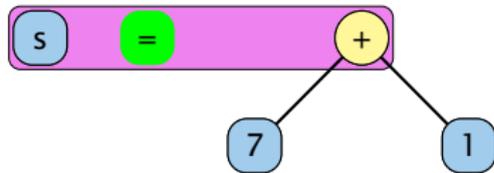
Beispiel:  $s = 7 + 1$



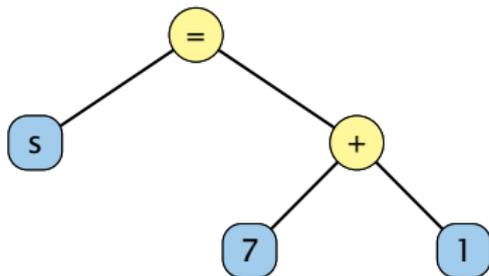
Beispiel:  $s = 7 + 1$



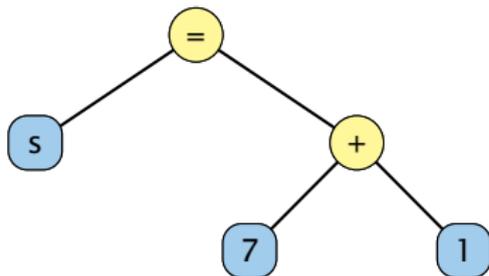
Beispiel:  $s = 7 + 1$



Beispiel:  $s = 7 + 1$

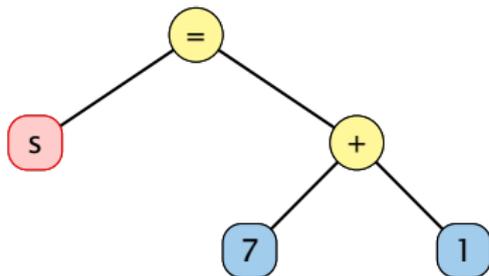


Beispiel:  $s = 7 + 1$



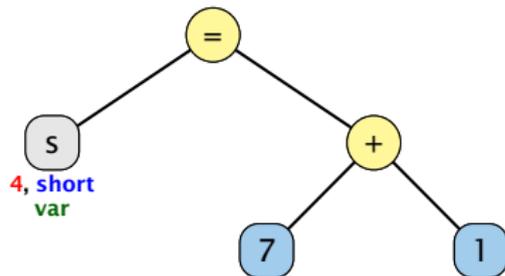
short s

Beispiel:  $s = 7 + 1$



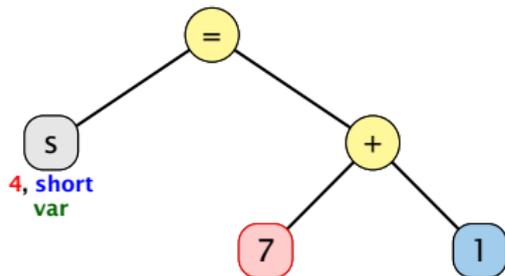
short s

Beispiel:  $s = 7 + 1$



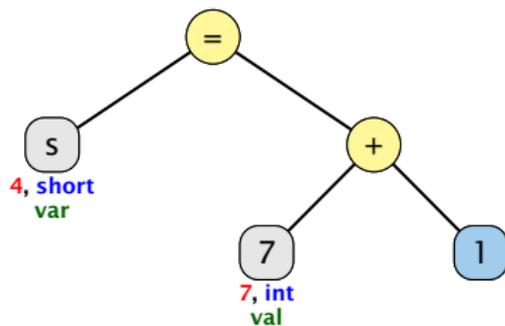
short s 4

Beispiel:  $s = 7 + 1$



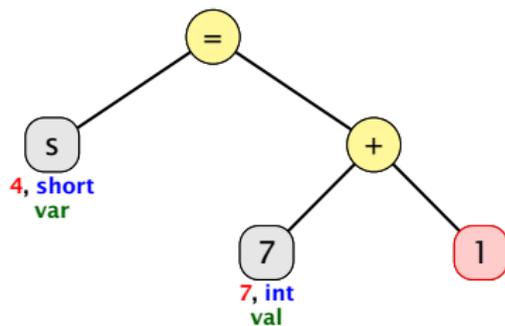
short s 4

Beispiel:  $s = 7 + 1$



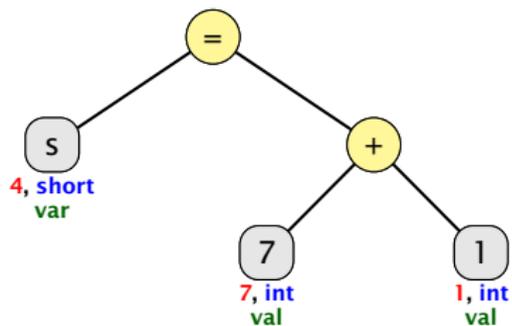
short s 4

Beispiel:  $s = 7 + 1$



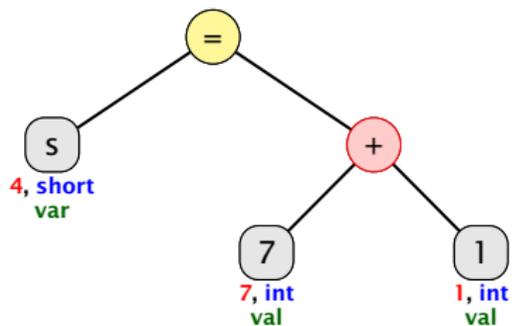
short s 4

Beispiel:  $s = 7 + 1$



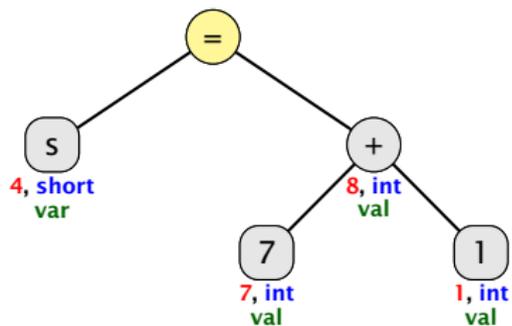
short s 4

Beispiel:  $s = 7 + 1$



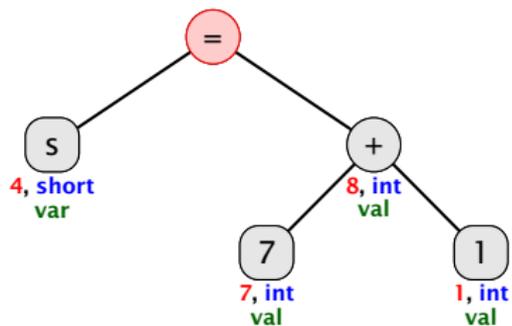
short s 4

Beispiel:  $s = 7 + 1$



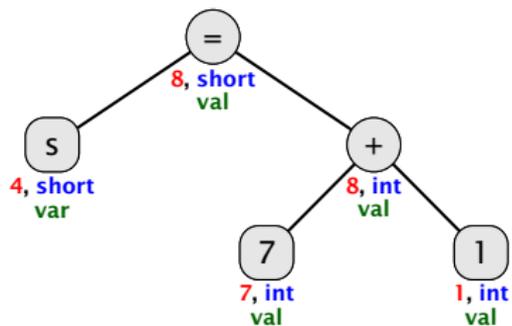
short s 4

Beispiel:  $s = 7 + 1$



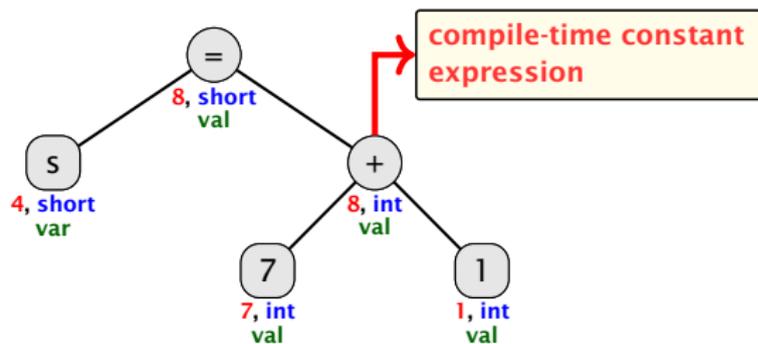
short s

Beispiel:  $s = 7 + 1$



short s 8

Beispiel:  $s = 7 + 1$



short s 8

# Expliziter Typecast

<i>symbol</i>	<i>name</i>	<i>type</i>	<i>L/R</i>	<i>level</i>
(type)	typecast	zahl, char	rechts	3

## Beispiele mit Datenverlust

▶ `short s = (short) 23343445;`

Die obersten bits werden einfach weggeworfen...



`double d = 1.5;`

`short s = (short) d;`

`d` hat danach den Wert `1`.

## ...ohne Datenverlust:



`int x = 5;`

`short s = (short) x;`