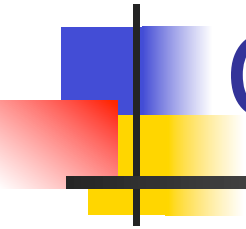
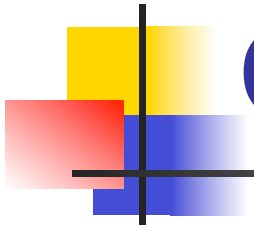


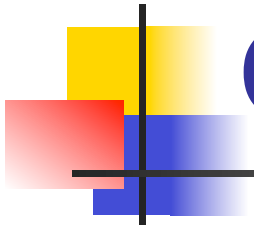
Ganze Zahlen

Die Typen `int`, `unsigned int`; Auswertung arithmetischer Ausdrücke, arithmetische Operatoren



Celsius to Fahrenheit

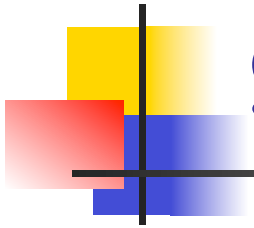
```
// Program: fahrenheit.cpp
// Convert temperatures from Celsius to Fahrenheit.

#include <iostream>

int main()
{
  // Input
  std::cout << "Temperature in degrees Celsius =? ";
  int celsius;
  std::cin >> celsius;

  // Computation and output
  std::cout << celsius << " degrees Celsius are "
            << 9 * celsius / 5 + 32 << " degrees Fahrenheit.\n";
  return 0;
}
```



Celsius to Fahrenheit

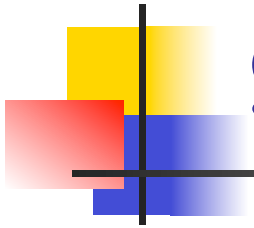
```
// Program: fahrenheit.cpp
// Convert temperatures from Celsius to Fahrenheit.

#include <iostream>

int main()
{
  // Input
  std::cout << "Temperature in degrees Celsius =? ";
  int celsius;
  std::cin >> celsius;

  // Computation and output
  std::cout << celsius << " degrees Celsius are "
            << 9 * celsius / 5 + 32 << " degrees Fahrenheit.\n";
  return 0;
}
```

```
15 degrees Celsius are 59 degrees Fahrenheit.
```



`9 * celsius / 5 + 32`

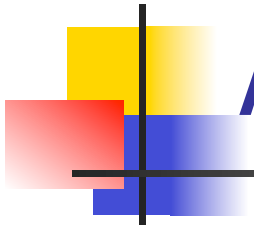
- arithmetischer Ausdruck
- enthält drei Literale, eine Variable, drei Operatorsymbole



`9 * celsius / 5 + 32`

- arithmetischer Ausdruck
- enthält drei Literale, eine Variable, drei Operatorsymbole

Wie ist der Ausdruck geklammert?



Assoziativität und Präzedenz

Regel 1: Punkt- vor Strichrechnung

```
9 * celsius / 5 + 32
```

bedeutet

```
(9 * celsius / 5) + 32
```

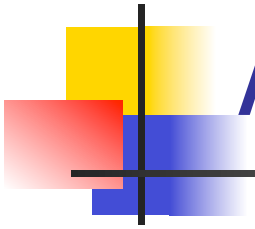
Assoziativität und Präzedenz

Regel 2: Von links nach rechts

```
(9 * celsius / 5) + 32
```

bedeutet

```
((9 * celsius) / 5) + 32
```



Assoziativität und Präzedenz

Regel 1: Multiplikative Operatoren (*, /, %) haben höhere Präzedenz (“binden stärker”) als additive Operatoren (+, -)

Regel 2: Arithmetische Operatoren (*, /, %, +, -) sind linksassoziativ (bei gleicher Präzedenz erfolgt Auswertung von links nach rechts

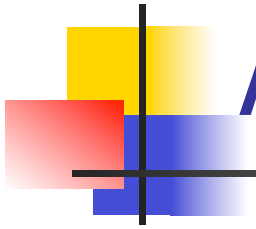
Assoziativität und Präzedenz

Regel 3: Unäre +,- vor binären +,-

```
-3 - 4
```

bedeutet

```
(-3) - 4
```



Assoziativität und Präzedenz

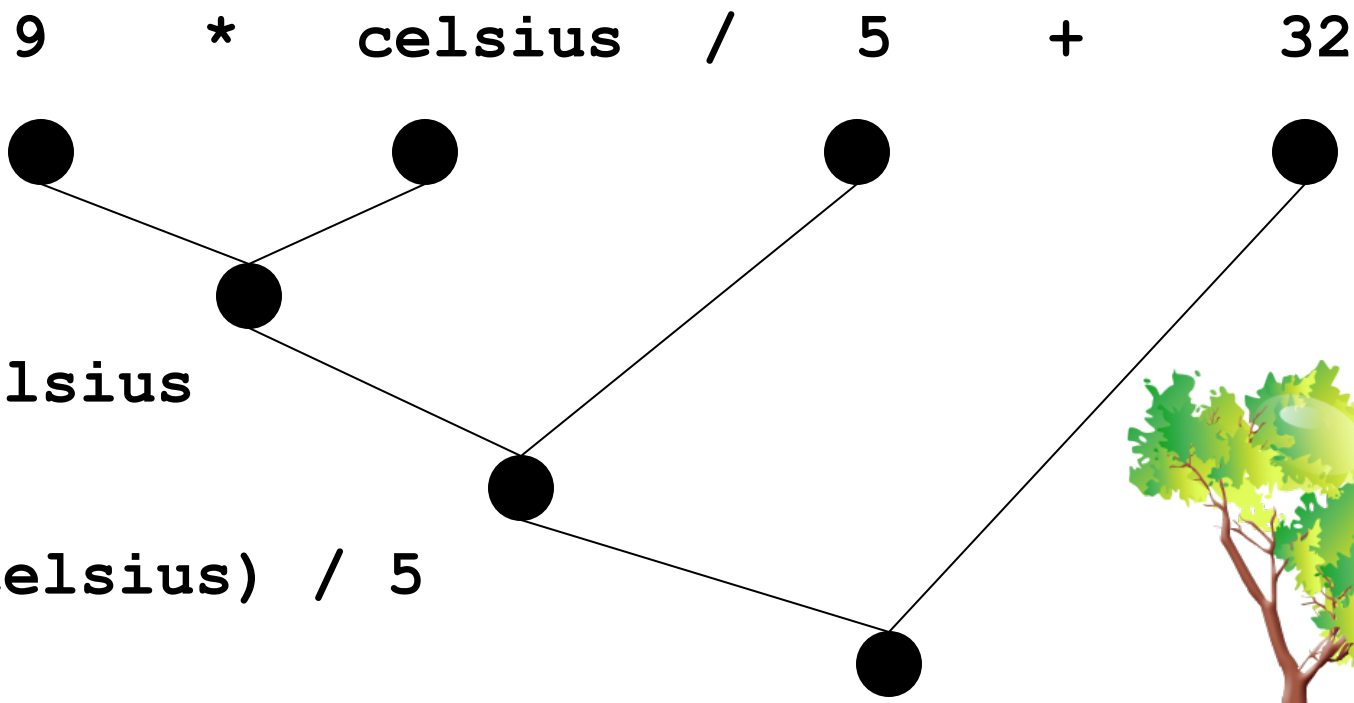
Jeder Ausdruck kann mit Hilfe der

- Assoziativitäten
- Präzedenzen
- Stelligkeiten (Anzahl Operanden)

der beteiligten Operatoren eindeutig geklammert werden (*Details* im Skript).

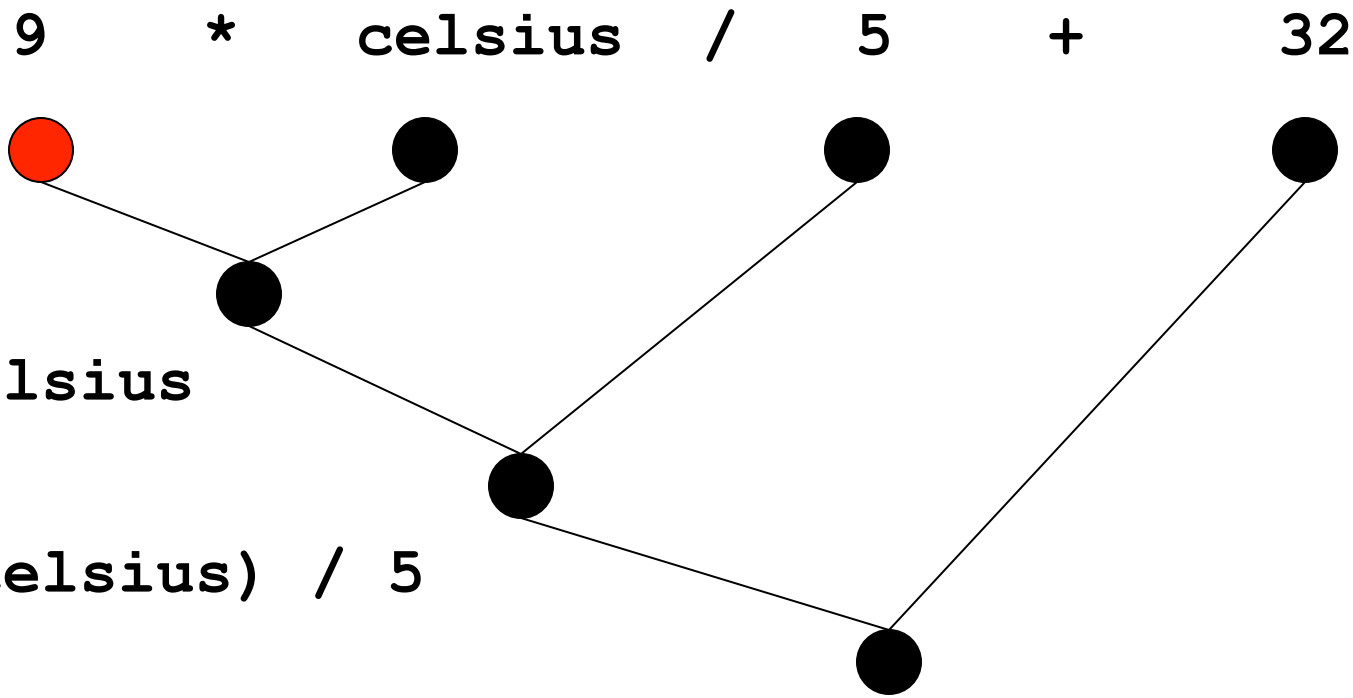
Ausdrucksbäume

Klammerung ergibt *Ausdrucksbaum:*



Auswertungsreihenfolge

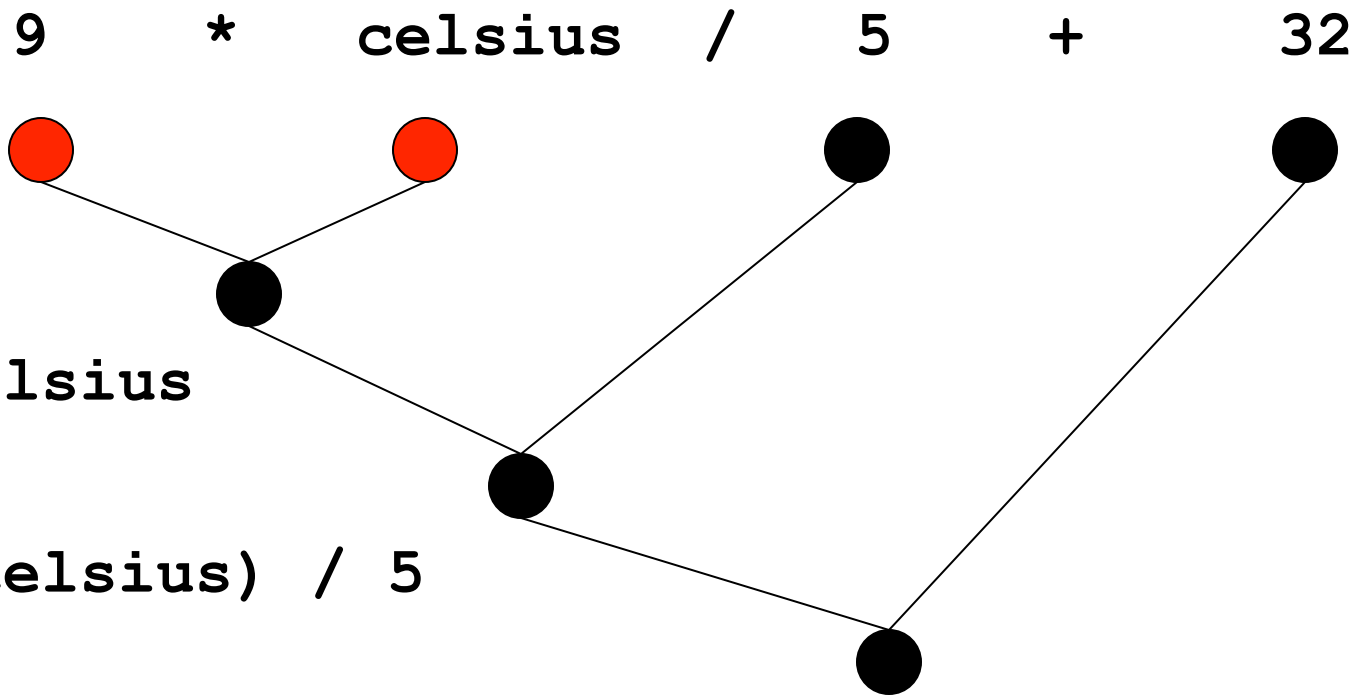
Von oben nach unten im Ausdrucksbaum:




```
9 * celsius

(9 * celsius) / 5

((9 * celsius) / 5) + 32
```

Auswertungsreihenfolge

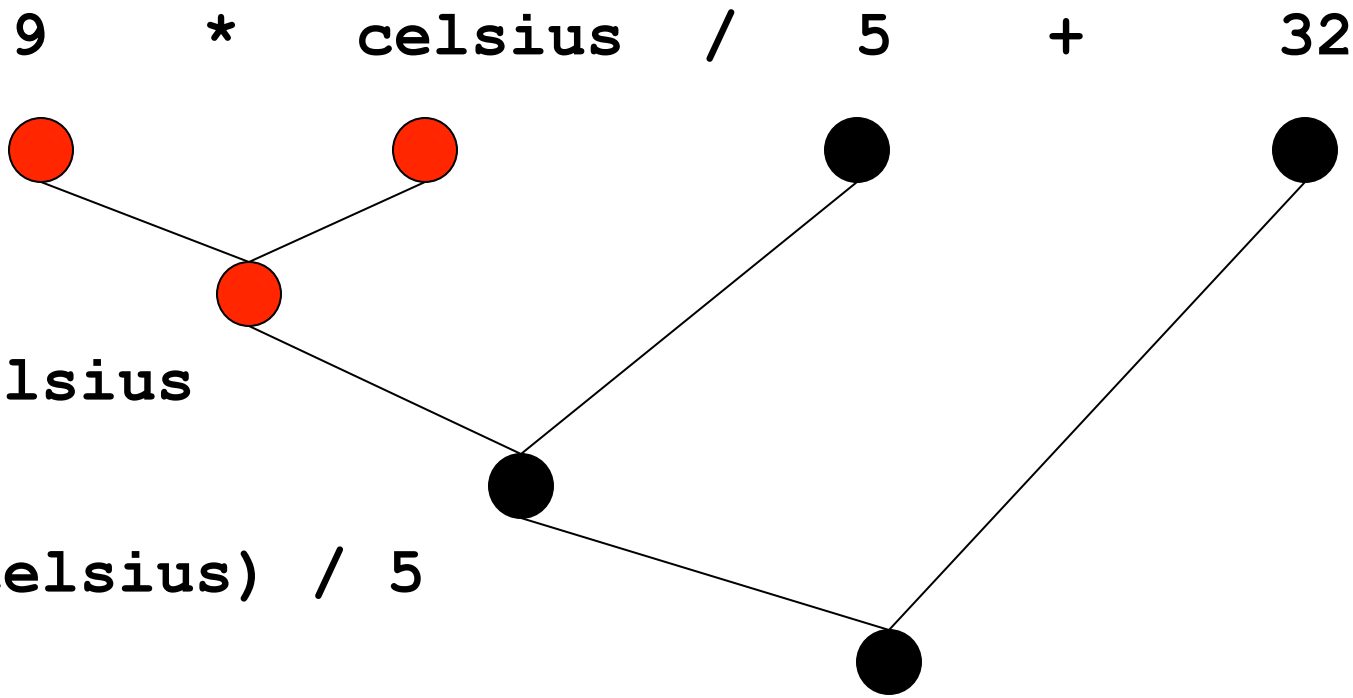
Von oben nach unten im Ausdrucksbaum:




```
9 * celsius

(9 * celsius) / 5

((9 * celsius) / 5) + 32
```

Auswertungsreihenfolge

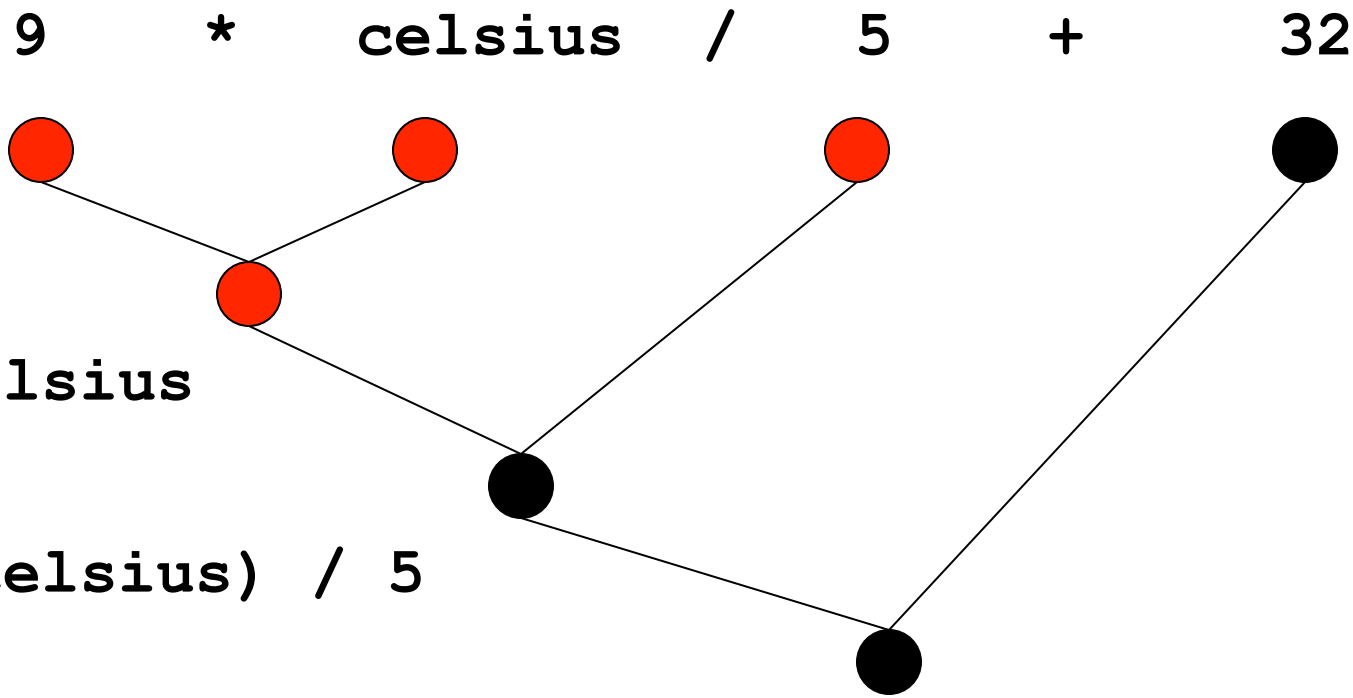
Von oben nach unten im Ausdrucksbaum:




```
9 * celsius

(9 * celsius) / 5

((9 * celsius) / 5) + 32
```

Auswertungsreihenfolge

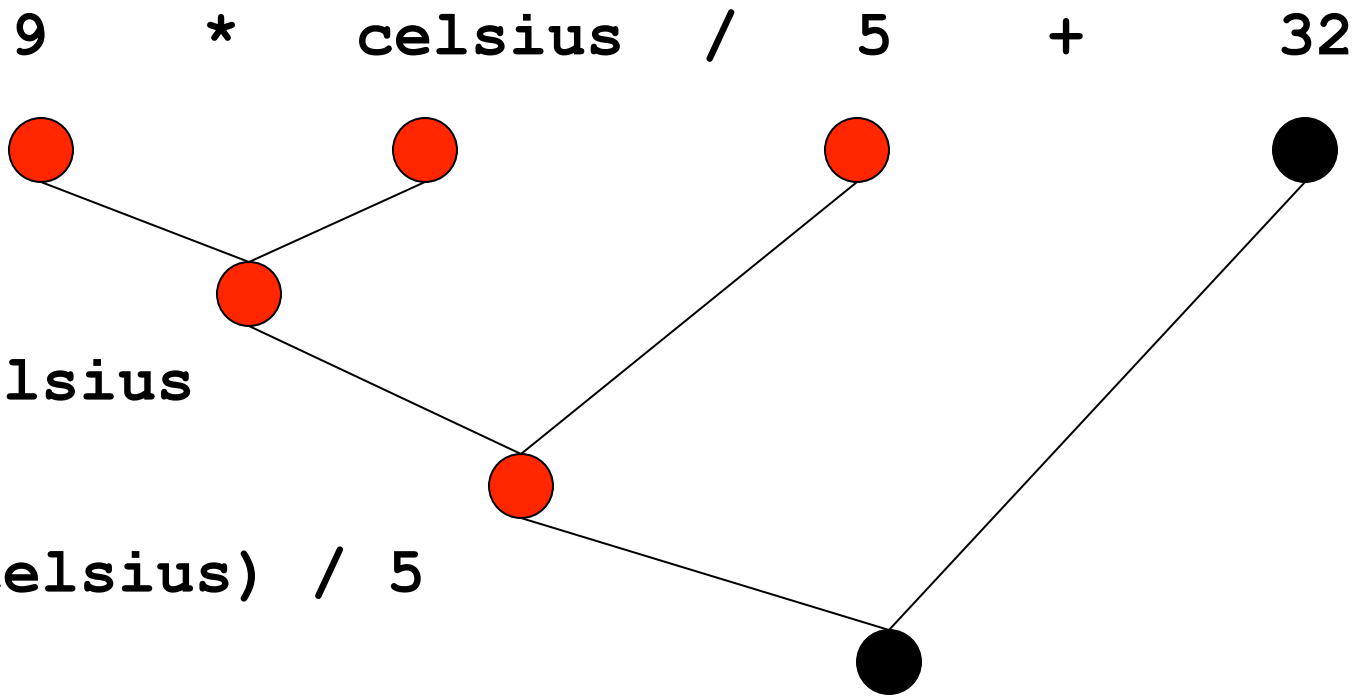
Von oben nach unten im Ausdrucksbaum:




```
9 * celsius

(9 * celsius) / 5

((9 * celsius) / 5) + 32
```

Auswertungsreihenfolge

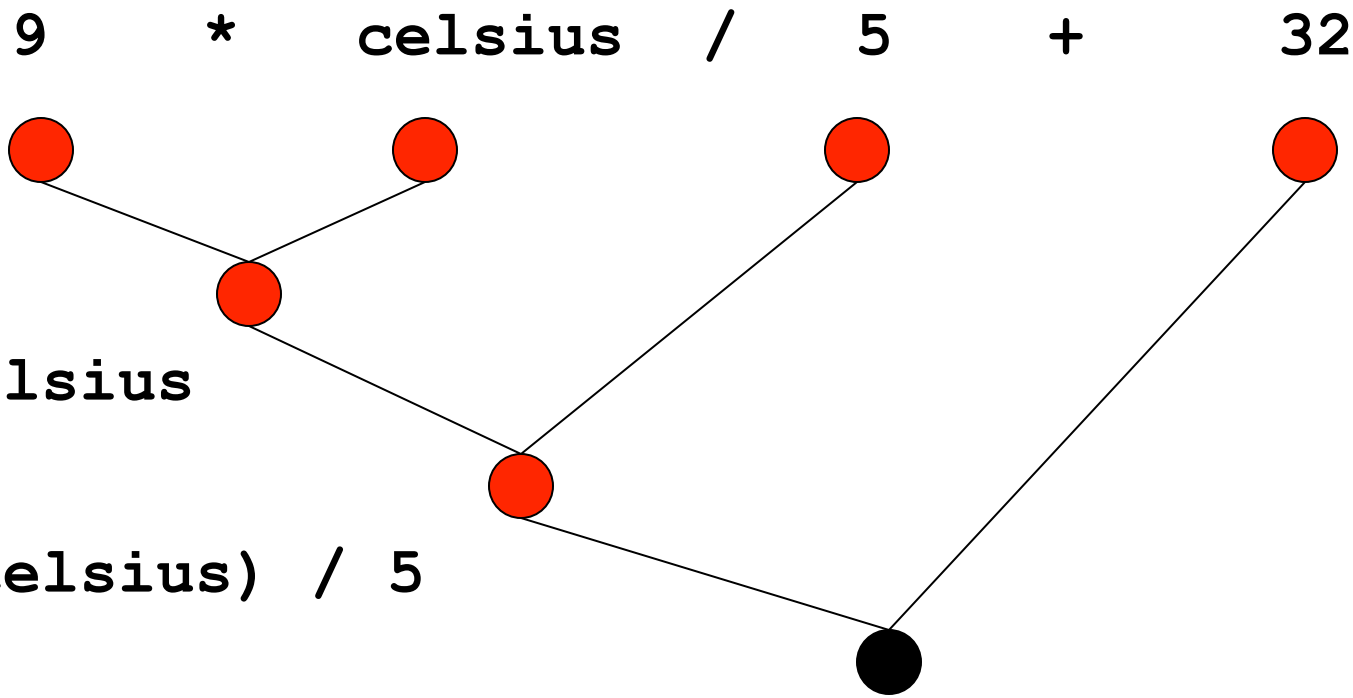
Von oben nach unten im Ausdrucksbaum:




```
9 * celsius

(9 * celsius) / 5

((9 * celsius) / 5) + 32
```

Auswertungsreihenfolge

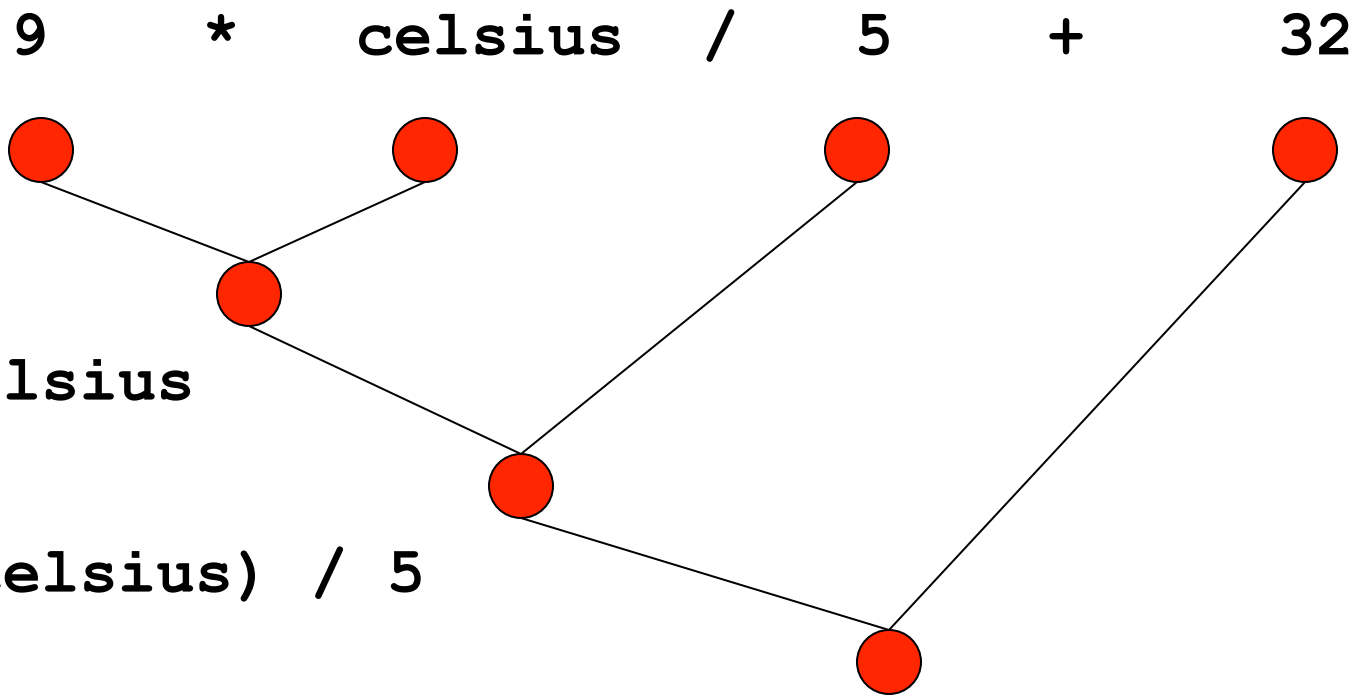
Von oben nach unten im Ausdrucksbaum:




```
9 * celsius

(9 * celsius) / 5

((9 * celsius) / 5) + 32
```

Auswertungsreihenfolge

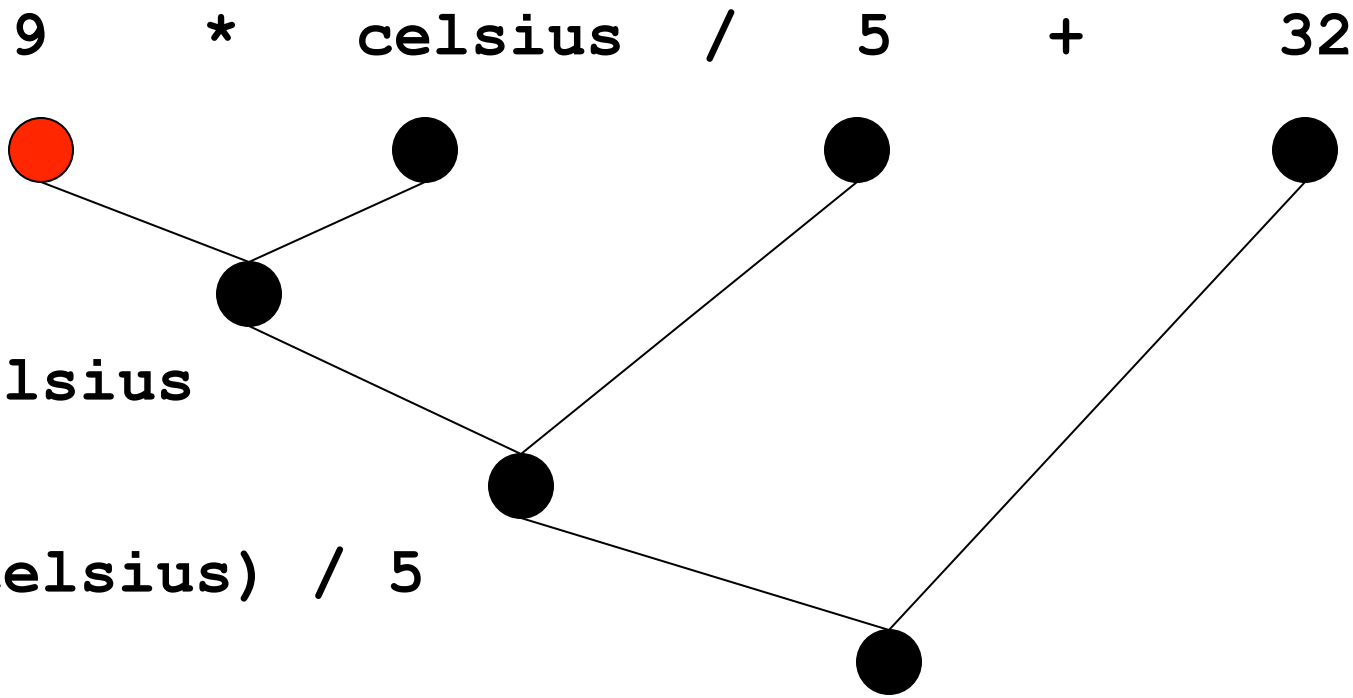
Von oben nach unten im Ausdrucksbaum:




```
9 * celsius

(9 * celsius) / 5

((9 * celsius) / 5) + 32
```

Auswertungsreihenfolge

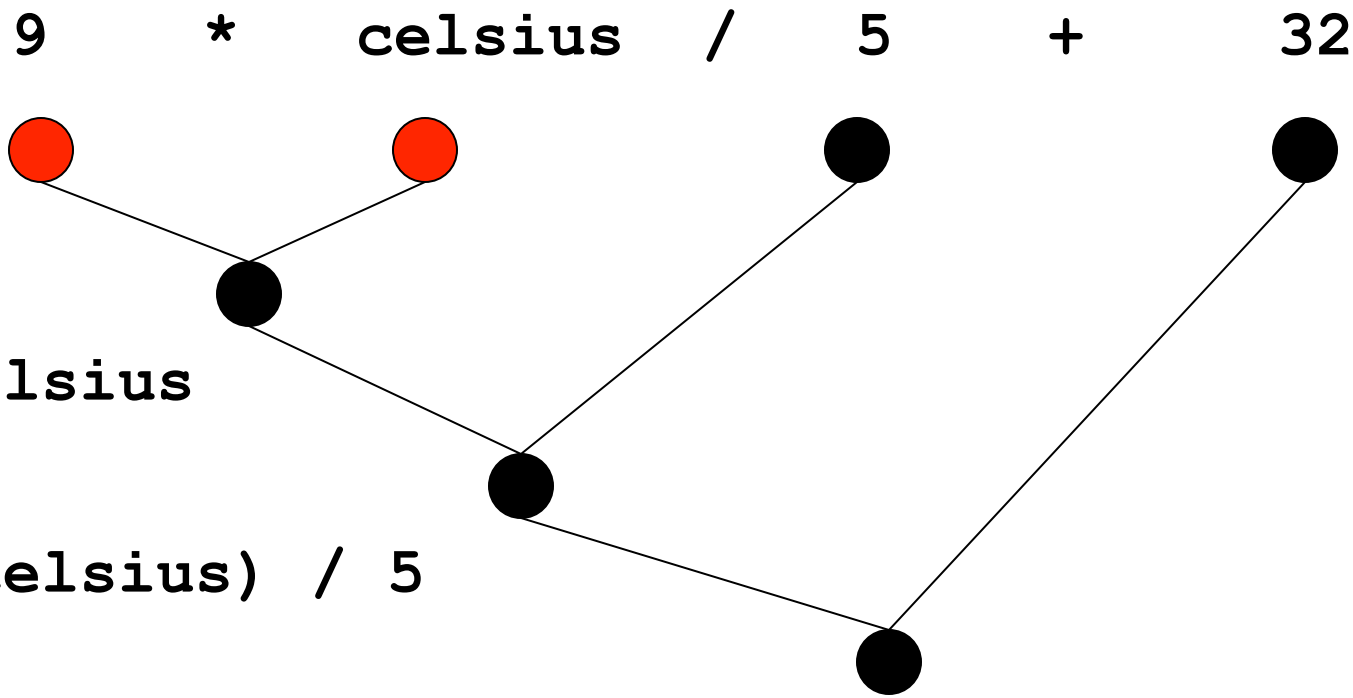
Reihenfolge ist nicht eindeutig bestimmt:




```
9 * celsius

(9 * celsius) / 5

((9 * celsius) / 5) + 32
```

Auswertungsreihenfolge

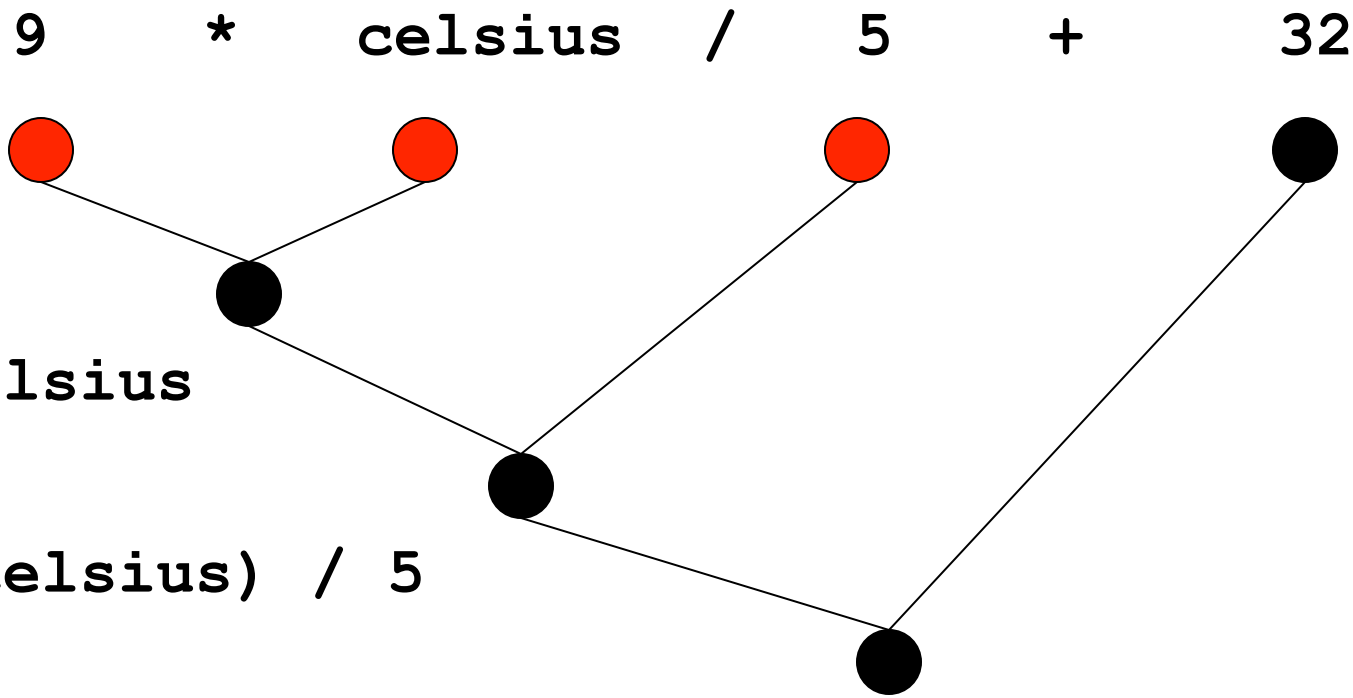
Reihenfolge ist nicht eindeutig bestimmt:




```
9 * celsius

(9 * celsius) / 5

((9 * celsius) / 5) + 32
```

Auswertungsreihenfolge

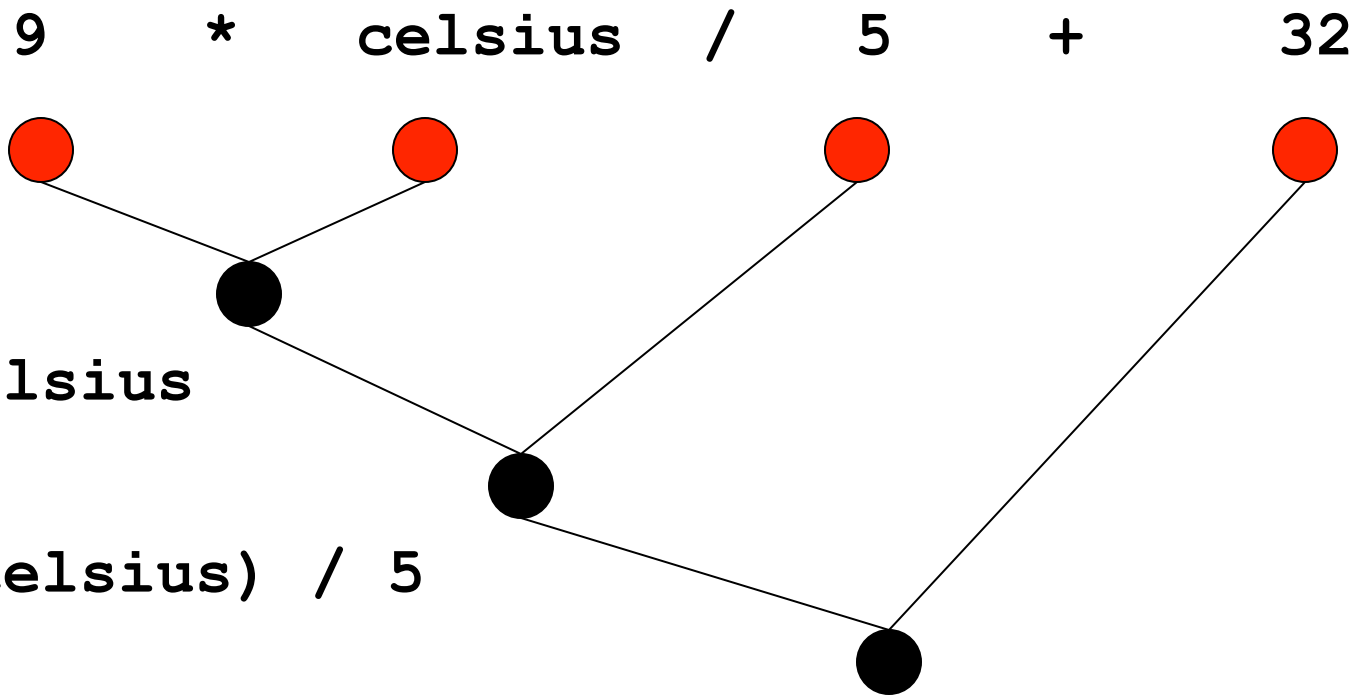
Reihenfolge ist nicht eindeutig bestimmt:




```
9 * celsius

(9 * celsius) / 5

((9 * celsius) / 5) + 32
```

Auswertungsreihenfolge

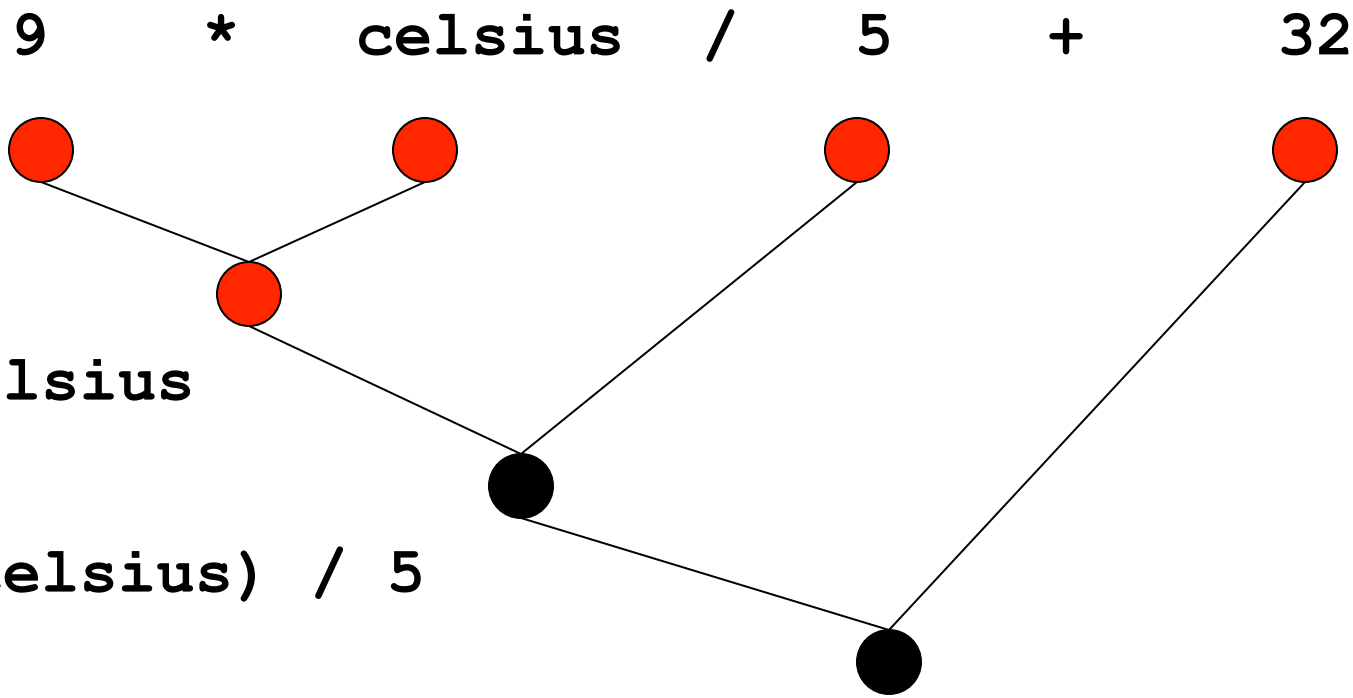
Reihenfolge ist nicht eindeutig bestimmt:




```
9 * celsius

(9 * celsius) / 5

((9 * celsius) / 5) + 32
```

Auswertungsreihenfolge

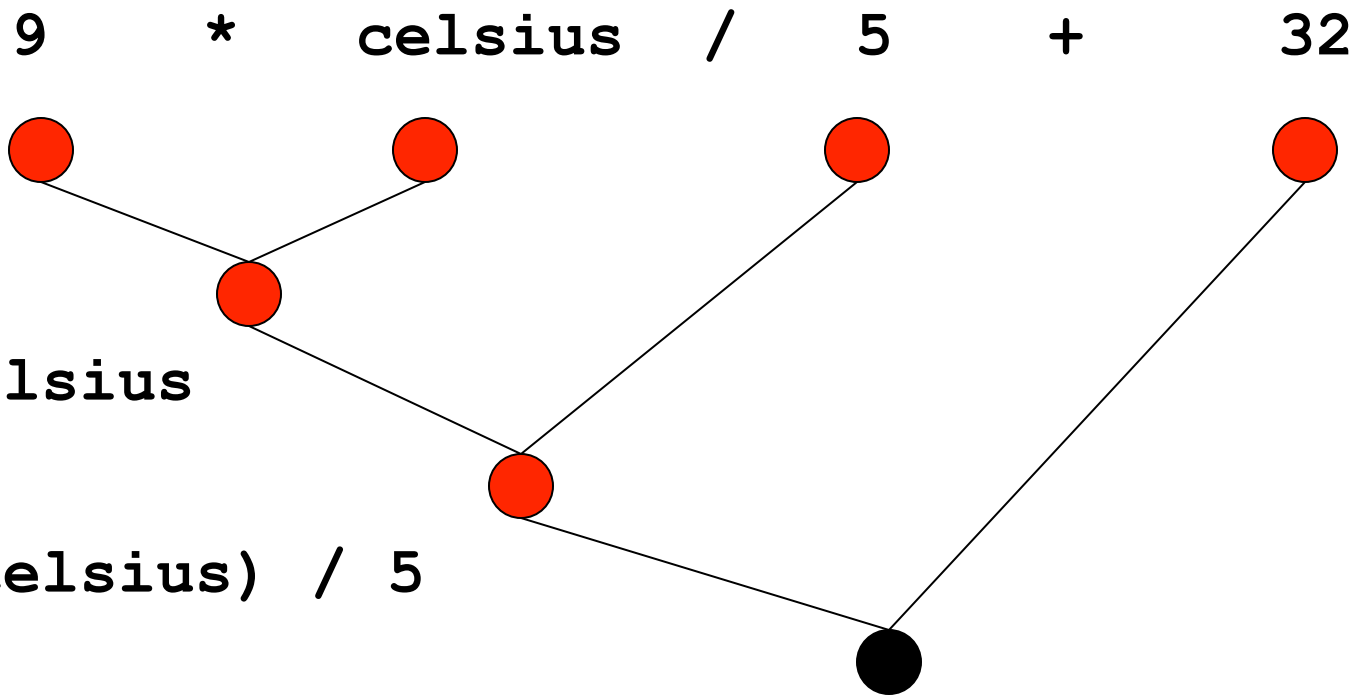
Reihenfolge ist nicht eindeutig bestimmt:




```
9 * celsius

(9 * celsius) / 5

((9 * celsius) / 5) + 32
```

Auswertungsreihenfolge

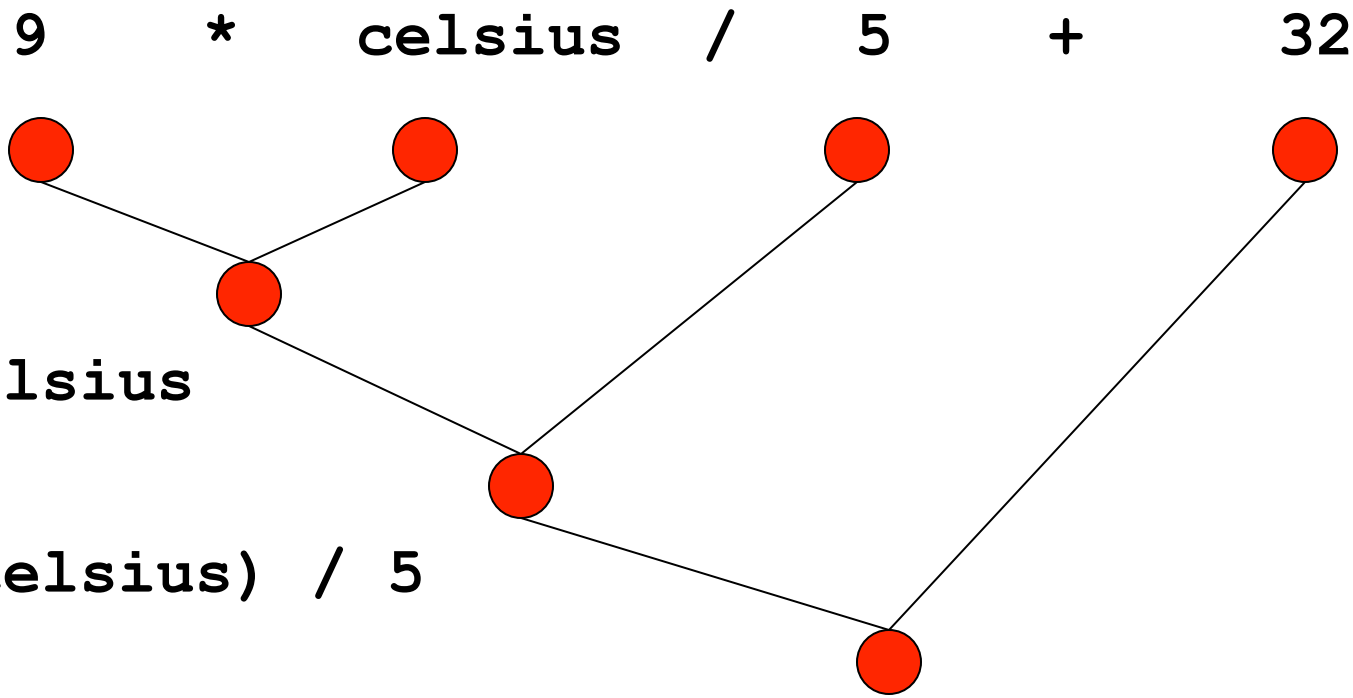
Reihenfolge ist nicht eindeutig bestimmt:




```
9 * celsius

(9 * celsius) / 5

((9 * celsius) / 5) + 32
```

Auswertungsreihenfolge

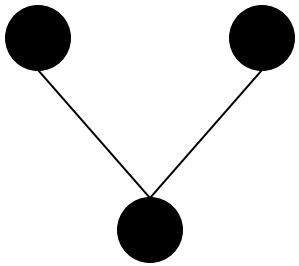
Reihenfolge ist nicht eindeutig bestimmt:




```
9 * celsius

(9 * celsius) / 5

((9 * celsius) / 5) + 32
```

Auswertungsreihenfolge

- Gültige Reihenfolge: Jeder Knoten wird erst *nach* seinen Kindern ausgewertet.

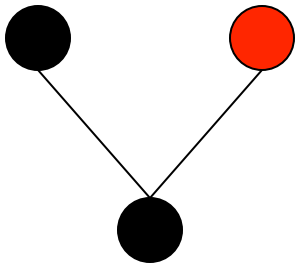


Kinder

Knoten

Auswertungsreihenfolge

- Gültige Reihenfolge: Jeder Knoten wird erst *nach* seinen Kindern ausgewertet.

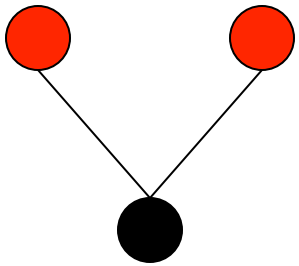


Kinder

Knoten

Auswertungsreihenfolge

- Gültige Reihenfolge: Jeder Knoten wird erst *nach* seinen Kindern ausgewertet.

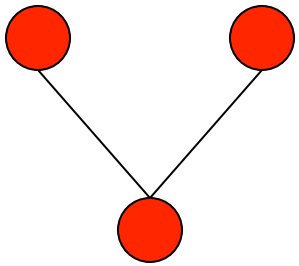


Kinder

Knoten

Auswertungsreihenfolge

- Gültige Reihenfolge: Jeder Knoten wird erst *nach* seinen Kindern ausgewertet.

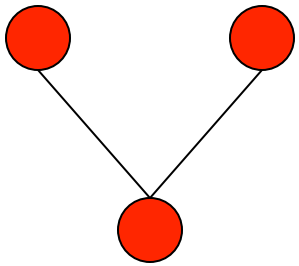


Kinder

Knoten

Auswertungsreihenfolge

- Gültige Reihenfolge: Jeder Knoten wird erst *nach* seinen Kindern ausgewertet.



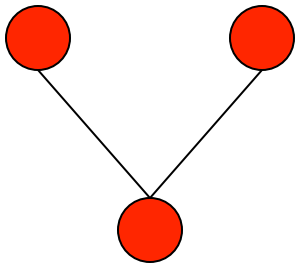
Kinder

Knoten

In C++ ist die anzuwendende gültige Reihenfolge nicht spezifiziert.

Auswertungsreihenfolge

- Gültige Reihenfolge: Jeder Knoten wird erst *nach* seinen Kindern ausgewertet.



Kinder

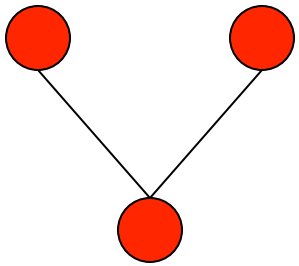
Knoten

In C++ ist die anzuwendende gültige Reihenfolge nicht spezifiziert.

- "Guter" Ausdruck: jede gültige Reihenfolge führt zum gleichen Ergebnis

Auswertungsreihenfolge

- Gültige Reihenfolge: Jeder Knoten wird erst *nach* seinen Kindern ausgewertet.



Kinder

Knoten

In C++ ist die anzuwendende gültige Reihenfolge nicht spezifiziert.

- "Schlechter" Ausdruck: Beispiel in der Uebungsserie (sollte man vermeiden).

Arithmetische Operatoren

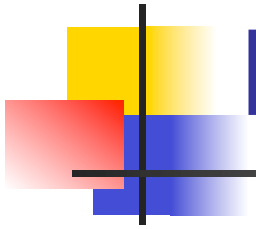
	Symbol	Stelligkeit	Präzedenz	Assoziativität
Unäres +	+	1	16	rechts
Unäres -	-	1	16	rechts
Multiplikation	*	2	14	links
Division	/	2	14	links
Modulus	%	2	14	links
Addition	+	2	13	links
Subtraktion	-	2	13	links

Operand rechts

Arithmetische Operatoren

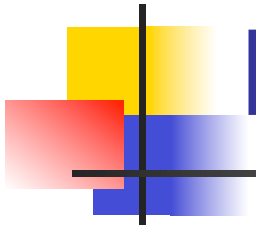
	Symbol	Stelligkeit	Präzedenz	Assoziativität
Unäres +	+	1	16	rechts
Unäres -	-	1	16	rechts
Multiplikation	*	2	14	links
Division	/	2	14	links
Modulus	%	2	14	links
Addition	+	2	13	links
Subtraktion	-	2	13	links

Alle Operatoren: R-Wert × R-Wert → R-Wert



Division und Modulus

- Operator / realisiert *ganzzahlige* Division:



Division und Modulus

- Operator / realisiert *ganzzahlige* Division:

  `5 / 2` hat Wert 2

- in **`fahrenheit.C`**:

```
9 * celsius / 5 + 32:

  15 degrees Celsius are 59 degrees Fahrenheit
```

Division und Modulus

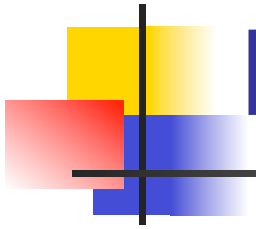
- Operator / realisiert *ganzzahlige* Division:

  `5 / 2` hat Wert 2

- in **`fahrenheit.C`**:

```
9 * celsius / 5 + 32:
  15 degrees Celsius are 59 degrees Fahrenheit
```

```
9 / 5 * celsius + 32:
  15 degrees Celsius are 47 degrees Fahrenheit
```



Division und Modulus

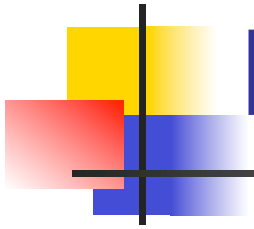
- Operator / realisiert *ganzzahlige* Division:

  `5 / 2` hat Wert 2

- in **`fahrenheit.C`**:

```
9 * celsius / 5 + 32:
  15 degrees Celsius are 59 degrees Fahrenheit
```

```
9 / 5 * celsius + 32:
  15 degrees Celsius are 47 degrees Fahrenheit
```



Division und Modulus

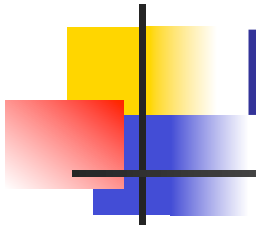
- Operator / realisiert *ganzzahlige* Division:

  `5 / 2` hat Wert 2

- in **`fahrenheit.C`**:

```
9 * celsius / 5 + 32:

  15 degrees Celsius are 59 degrees Fahrenheit
```

```
1 * celsius + 32:

  15 degrees Celsius are 47 degrees Fahrenheit
```



Division und Modulus

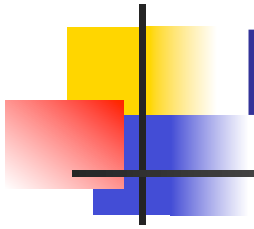
- Operator / realisiert *ganzzahlige* Division:

  `5 / 2` hat Wert 2

- in **`fahrenheit.C`**:

```
9 * celsius / 5 + 32:
  15 degrees Celsius are 59 degrees Fahrenheit
```

```
1 * 15 + 32:
  15 degrees Celsius are 47 degrees Fahrenheit
```



Division und Modulus

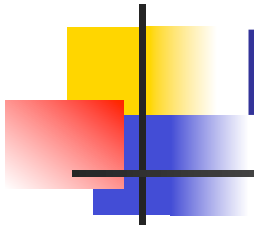
- Operator / realisiert *ganzzahlige* Division:

  `5 / 2` hat Wert 2

- in **`fahrenheit.C`**:

```
9 * celsius / 5 + 32:

  15 degrees Celsius are 59 degrees Fahrenheit
```

```
47:

  15 degrees Celsius are 47 degrees Fahrenheit
```

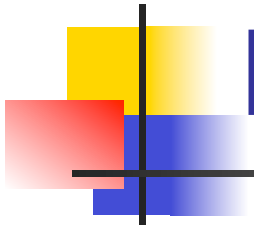


Division und Modulus

- Modulus-Operator berechnet *Rest* der ganzzahligen Division

`5 / 2` hat Wert 2

`5 % 2` hat Wert 1



Division und Modulus

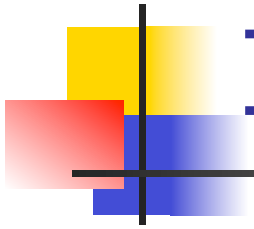
- Modulus-Operator berechnet *Rest* der ganzzahligen Division

`5 / 2` hat Wert 2

`5 % 2` hat Wert 1

- Es gilt immer:

`(a / b) * b + a % b` hat den Wert von a

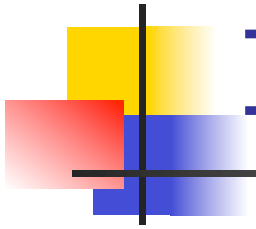


Inkrement und Dekrement

- Erhöhen / Erniedrigen einer Zahl um 1 ist eine häufige Operation
- geht für einen L-Wert *so:*

```
expr = expr + 1
```

Inkrement und Dekrement

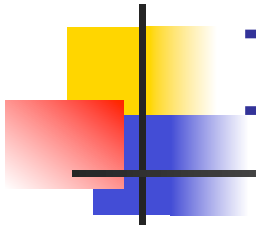


- Erhöhen / Erniedrigen einer Zahl um 1 ist eine häufige Operation
- geht für einen L-Wert *so:*

```
expr = expr + 1
```

- Nachteile:
  - *relativ lang*

Inkrement und Dekrement



- Erhöhen / Erniedrigen einer Zahl um 1 ist eine häufige Operation
- geht für einen L-Wert *so:*

```
expr = expr + 1
```

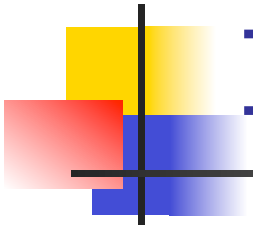
- Nachteile:
  - *relativ lang*
  - *expr* wird zweimal ausgewertet (Effekte!)

In-/Dekrement-Operatoren

	Gebrauch	Stelligkeit	Präz.	Assoz.	L/R-Werte
Post-Inkrement	*expr*++	1	17	links	L-Wert -> R-Wert
Prä-Inkrement	++*expr*	1	16	rechts	L-Wert -> L-Wert
Post-Dekrement	*expr*--	1	17	links	L-Wert -> R-Wert
Prä-Dekrement	--*expr*	1	16	rechts	L-Wert-> L-Wert

In-/Dekrement-Operatoren

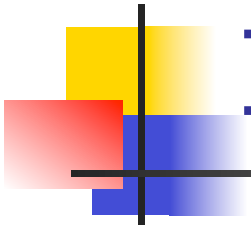
	Gebrauch	Effekt / Wert
Post-Inkrement	*expr*++	Wert von *expr* wird um 1 erhöht, der *alte* Wert von *expr* wird (als R-Wert) zurückgegeben
Prä-Inkrement	++*expr*	Wert von *expr* wird um 1 erhöht, der *neue* Wert von *expr* wird (als L-Wert) zurückgegeben
Post-Dekrement	*expr*--	Wert von *expr* wird um 1 erniedrigt, der *alte* Wert von *expr* wird (als R-Wert) zurückgegeben
Prä-Dekrement	--*expr*	Wert von *expr* wird um 1 erniedrigt, der *neue* Wert von *expr* wird (als L-Wert) zurückgegeben



In/Dekrement-Operatoren

Beispiel:

```
int a = 7;
std::cout << ++a << "\n";
std::cout << a++ << "\n";
std::cout << a   << "\n";
```



In/Dekrement-Operatoren

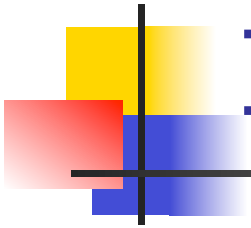
Beispiel:

```
int a = 7;
std::cout << ++a << "\n";    // 8
std::cout << a++ << "\n";
std::cout << a   << "\n";
```

In/Dekrement-Operatoren

Beispiel:

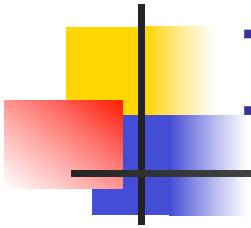
```
int a = 7;
std::cout << ++a << "\n";    // 8
std::cout << a++ << "\n";    // 8
std::cout << a   << "\n";
```



In/Dekrement-Operatoren

Beispiel:

```
int a = 7;
std::cout << ++a << "\n";    // 8
std::cout << a++ << "\n";    // 8
std::cout << a   << "\n";    // 9
```



In/Dekrement-Operatoren

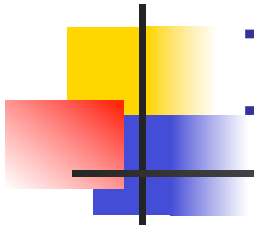
Ist die Anweisung

++*expr;*

äquivalent zu

expr++; ?

In/Dekrement-Operatoren



Ist die Anweisung

++*expr;*

äquivalent zu

expr++; ?

Wir bevorzugen diese Variante.

- Ja, aber…
  - Prä-Inkrement ist effizienter (alter Wert muss nicht gespeichert werden)
  - Post-In/Dekrement sind die einzigen linksassoziativen unärern Operatoren (nicht sehr intuitiv)

Arithmetische Zuweisungen

	Gebrauch	Bedeutung
+=	*expr1 += expr2*	*expr1 = expr1 + expr2*
-=	*expr1 -= expr2*	*expr1 = expr1 - expr2*
*=	*expr1 *= expr2*	*expr1 = expr1 * expr2*
/=	*expr1 /= expr2*	*expr1 = expr1 / expr2*
%=	*expr1 %= expr2*	*expr1 = expr1 % expr2*

Arithmetische Zuweisungen

	Gebrauch	Bedeutung
+=	*expr1* += *expr2*	*expr1* = *expr1* + *expr2*
-=	*expr1* -= *expr2*	*expr1* = *expr1* - *expr2*
*=	*expr1* *= *expr2*	*expr1* = *expr1* * *expr2*
/=	*expr1* /= *expr2*	*expr1* = *expr1* / *expr2*
%=	*expr1* %= *expr2*	*expr1* = *expr1* % *expr2*

Arithmetische Zuweisungen werten *expr1* nur einmal aus.

Wertebereich des Typs `int`

- *b*-Bit-Repräsentierung: Wertebereich umfasst die ganzen Zahlen

$$\{-2^{b-1}, -2^{b-1}+1, \ldots, -1, 0, 1, \ldots, 2^{b-1}-1\}$$

Wertebereich des Typs `int`

- *b*-Bit-Repräsentierung: Wertebereich umfasst die ganzen Zahlen

$$\{-2^{b-1}, -2^{b-1}+1, \ldots, -1, 0, 1, \ldots, 2^{b-1}-1\}$$

- Auf den meisten Plattformen: $b = 32$

Wertebereich des Typs `int`

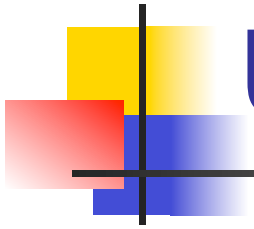
```
// Program: limits.cpp
// Output the smallest and the largest value of type int.

#include <iostream>
#include <limits>

int main()
{
  std::cout << "Minimum int value is "
            << std::numeric_limits<int>::min() << ".\n"
            << "Maximum int value is "
            << std::numeric_limits<int>::max() << ".\n";
  return 0;
}
```

Wertebereich des Typs `int`

```
// Program: limits.cpp
// Output the smallest and the largest value of type int.

#include <iostream>
#include <limits>

int main()
{
  std::cout << "Minimum int value is "
            << std::numeric_limits<int>::min() << ".\n"
            << "Maximum int value is "
            << std::numeric_limits<int>::max() << ".\n";
  return 0;
}
```

z.B.

```
Minimum int value is -2147483648
Maximum int value is 2147483647
```



Überlauf und Unterlauf

- Arithmetische Operationen (+, -, *) können aus dem Wertebereich herausführen
- Ergebnisse können inkorrekt sein.

Überlauf und Unterlauf

- Arithmetische Operationen (+, -, *) können aus dem Wertebereich herausführen
- Ergebnisse können inkorrekt sein.

`power8.cpp:` $15^8 = -1732076671$

`power20.cpp:` $3^{20} = -808182895$

Überlauf und Unterlauf

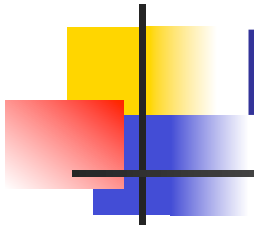
- Arithmetische Operationen (+, -, *) können aus dem Wertebereich herausführen
- Ergebnisse können inkorrekt sein.

  `power8.cpp:` $15^8 = -1732076671$

  `power20.cpp:` $3^{20} = -808182895$

- Es gibt keine Fehlermeldung!

Der Typ `unsigned int`

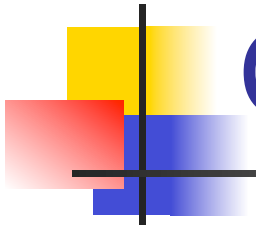


- Wertebereich

$$\{0, 1, \ldots, 2^b-1\}$$

- Alle arithmetischen Operatoren gibt es auch für **`unsigned int`**
- Literale: **`1u`**, **`17u`**,…

Gemischte Ausdrücke



- Operatoren können Operanden verschiedener Typen haben (z.B. **`int`** und **`unsigned int`**

```
17 + 17u
```

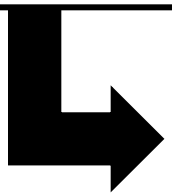
- Solche gemischten Ausdrücke sind vom "allgemeineren" Typ **`unsigned int`**
- **`int`**-Operanden werden *konvertiert* nach **`unsigned int`**

Konversion

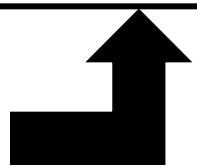
`int` Wert	Vorzeichen	`unsigned int` Wert
x	≥ 0	x
x	< 0	$x + 2^b$

Konversion

`int` Wert	Vorzeichen	`unsigned int` Wert
x	≥ 0	x
x	< 0	$x + 2^b$



Bei *Zweierkomplement*-Darstellung passiert dabei intern gar nichts!



Konversion “andersherum”

- Die Deklaration

```
int a = 3u
```

konvertiert `3u` nach `int` (Wert bleibt erhalten, weil er im Wertebereich von `int` liegt; andernfalls ist das Ergebnis implementierungsabhängig)