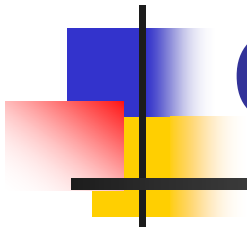
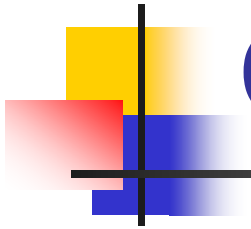
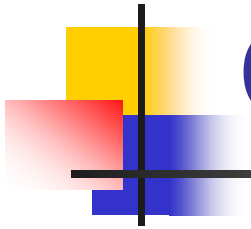


Ganze Zahlen



Celsius to Fahrenheit

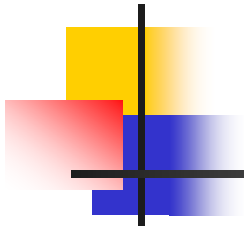
```
// Program: fahrenheit.C
// Convert temperatures from Celsius to Fahrenheit.

#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

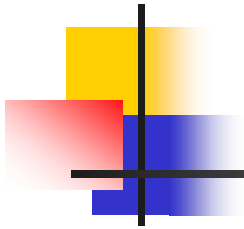
```
// Program: fahrenheit.C
// Convert temperatures from Celsius to Fahrenheit.

#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`

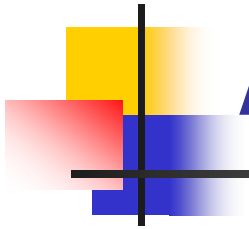
- arithmetischer Ausdruck
- enthält drei Literale, eine Variable, drei Operatorsymbole



`9 * celsius / 5 + 32`

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

Wie ist der Ausdruck geklammert?



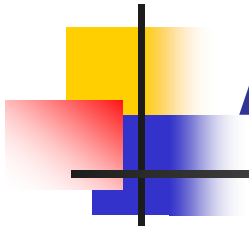
Assoziativität und Präzedenz

Regel 1: Punkt- vor Strichrechnung

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

bedeutet

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



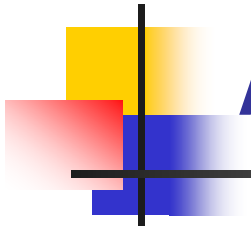
Assoziativität und Präzedenz

Regel 2: Von links nach rechts

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

bedeutet

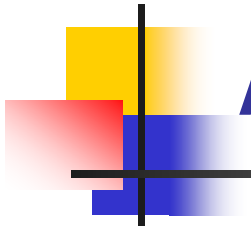
```
((9 * celsius) / 5) + 32
```



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



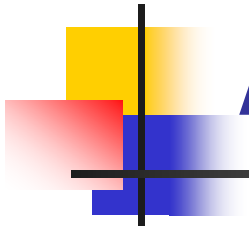
Assoziativität und Präzedenz

Regel 3: Unäre +,- vor binären +,-

```
-3 - 4
```

bedeutet

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



Assoziativität und Präzedenz

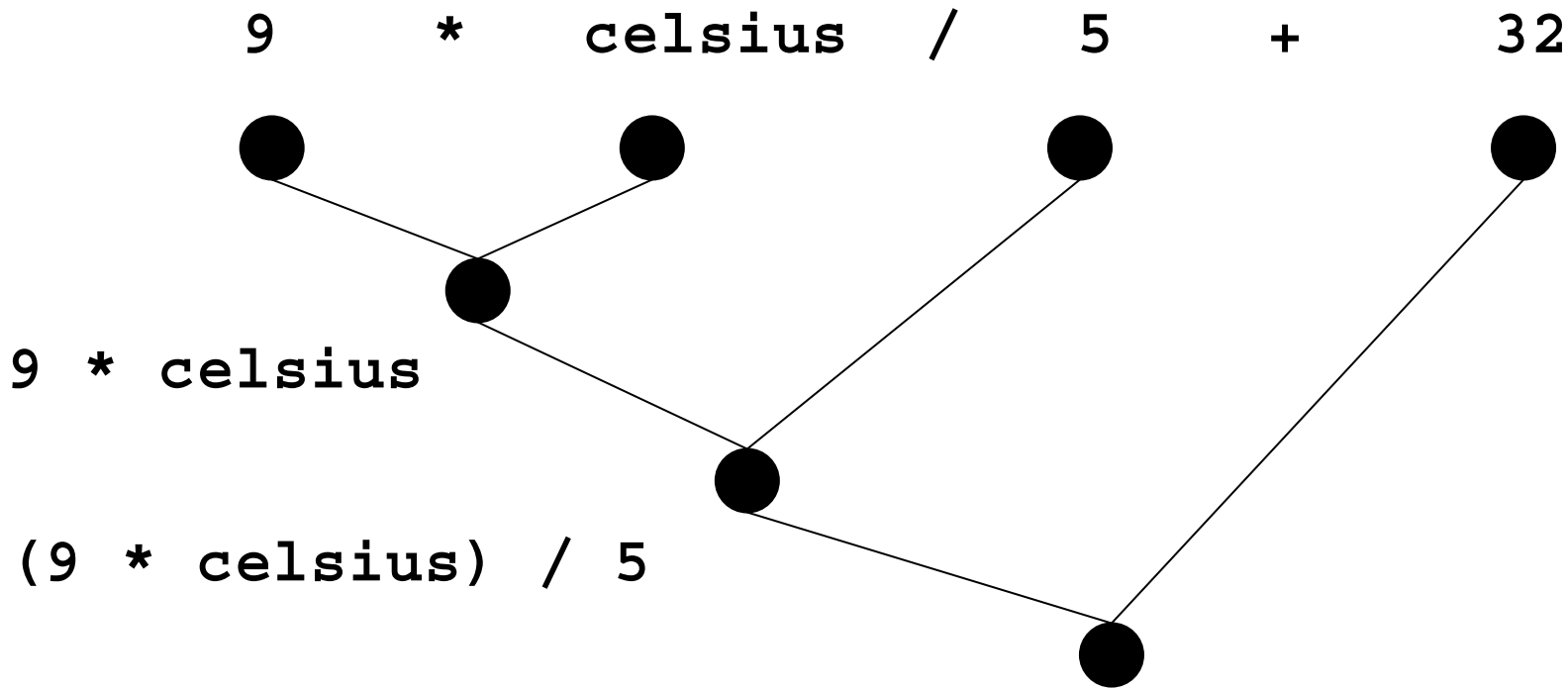
Jeder Ausdruck kann mit Hilfe der

- Assoziativitäten
- Präzedenzen
- Stelligkeiten (Anzahl Operanden)

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

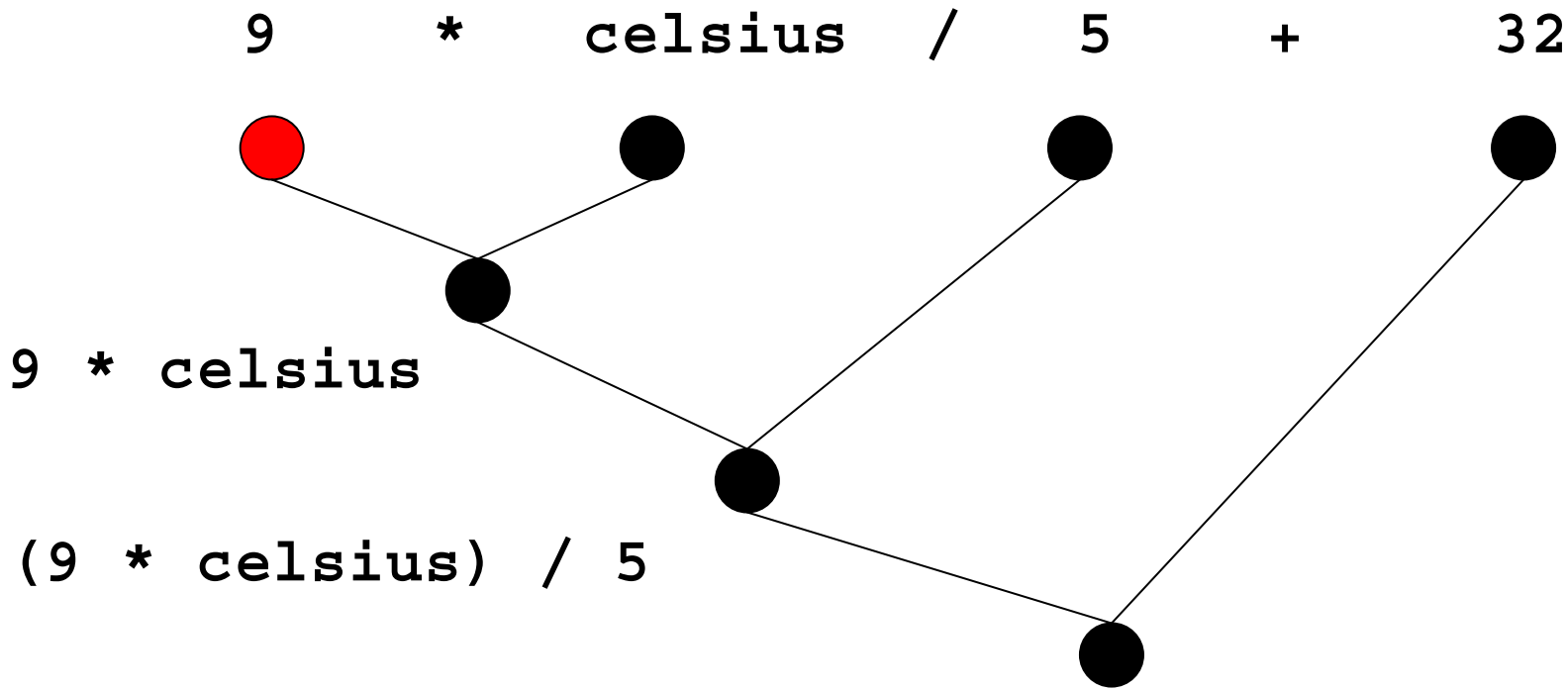
Ausdrucksbäume

Klammerung ergibt *Ausdrucksbaum:*



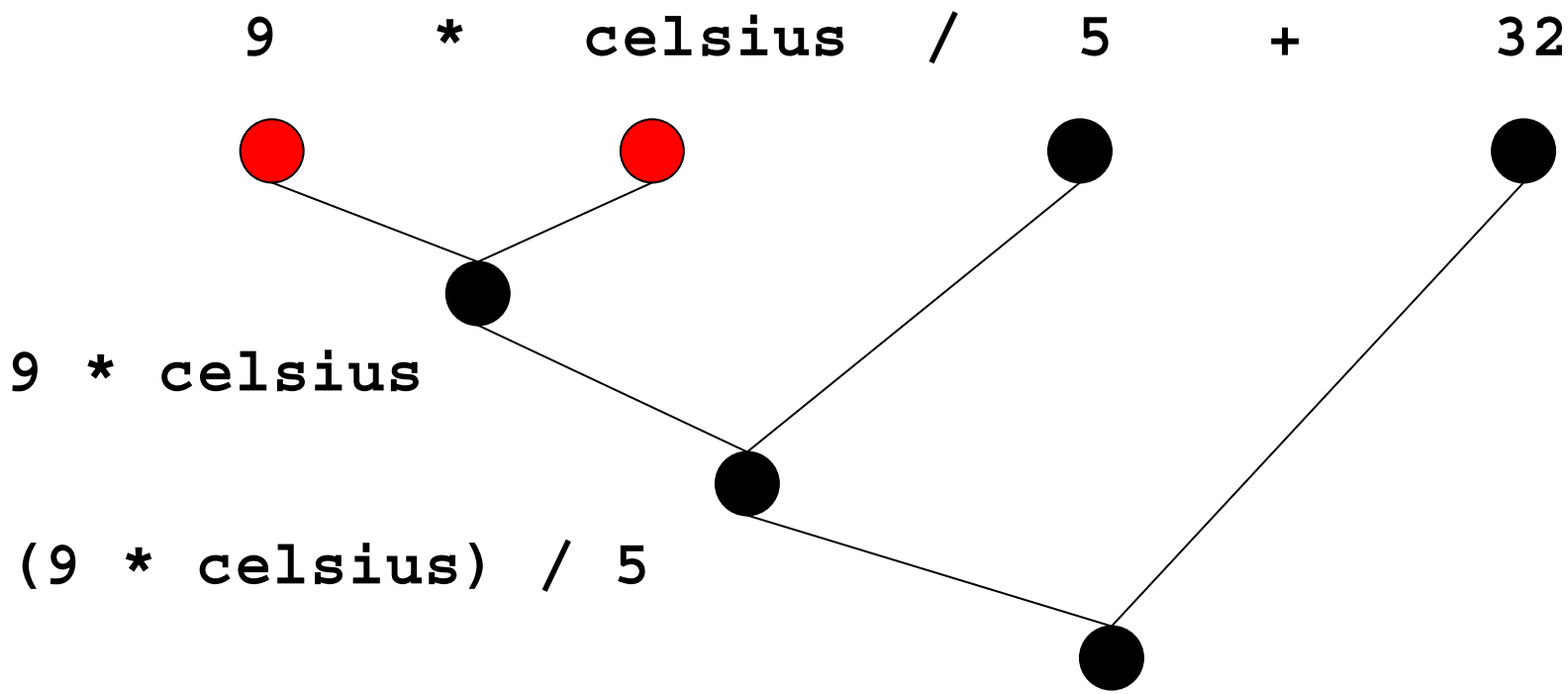
Auswertungsreihenfolge

Von oben nach unten im Ausdrucksbaum:



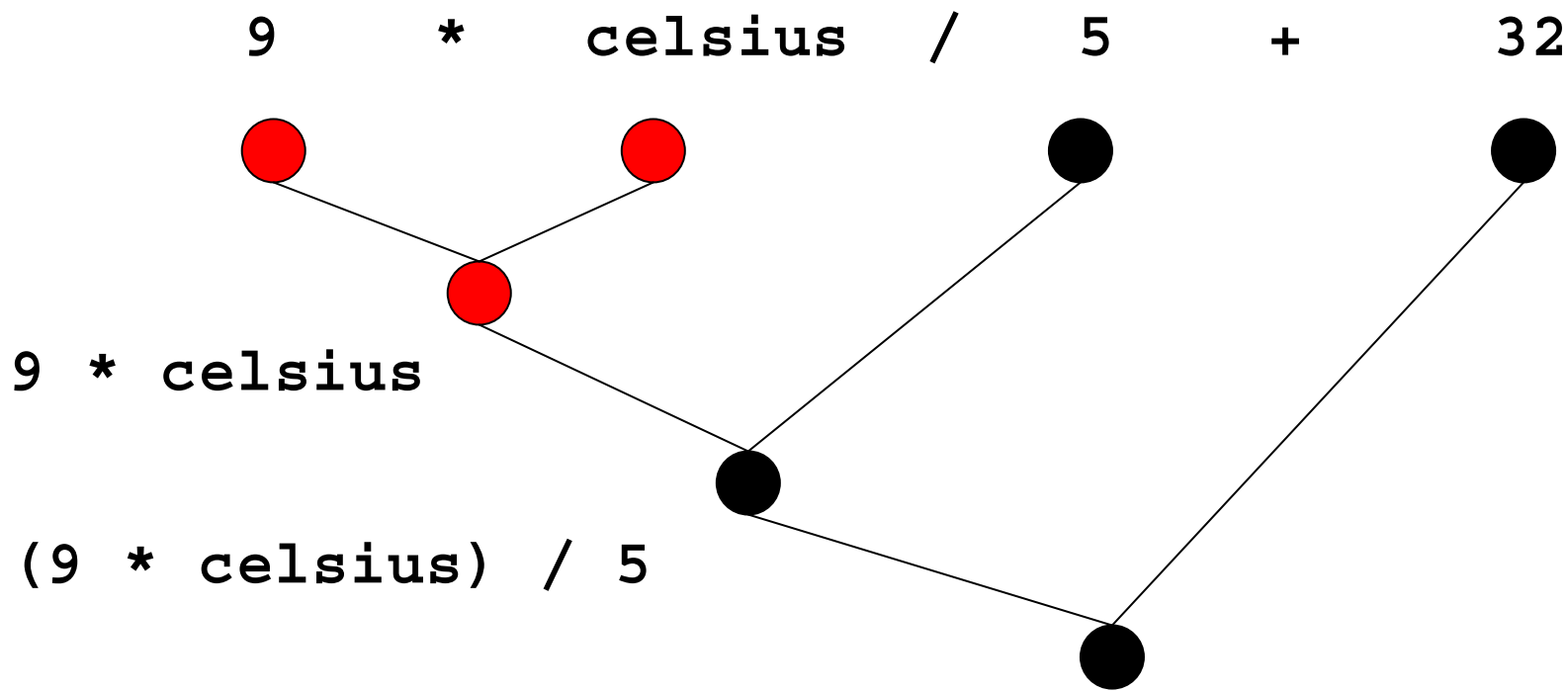
Auswertungsreihenfolge

Von oben nach unten im Ausdrucksbaum:



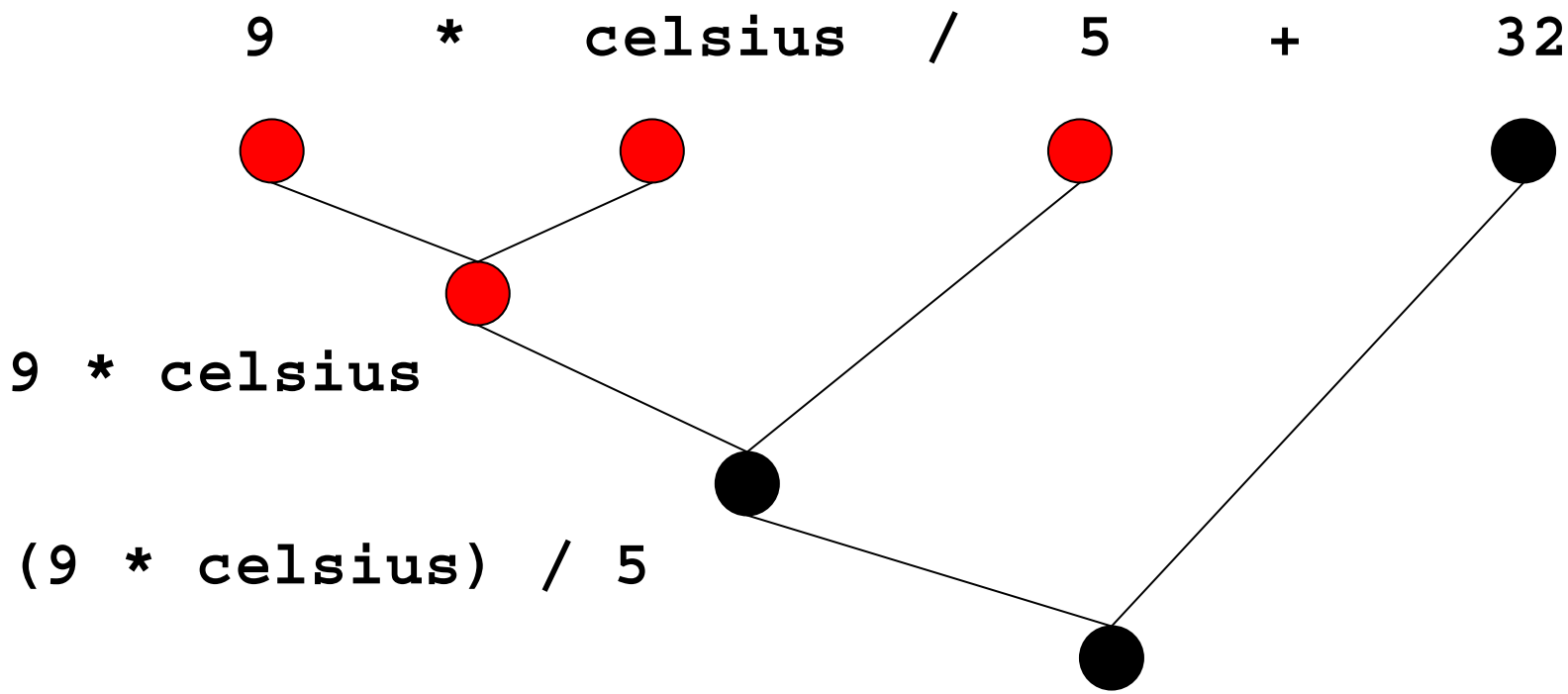
Auswertungsreihenfolge

Von oben nach unten im Ausdrucksbaum:



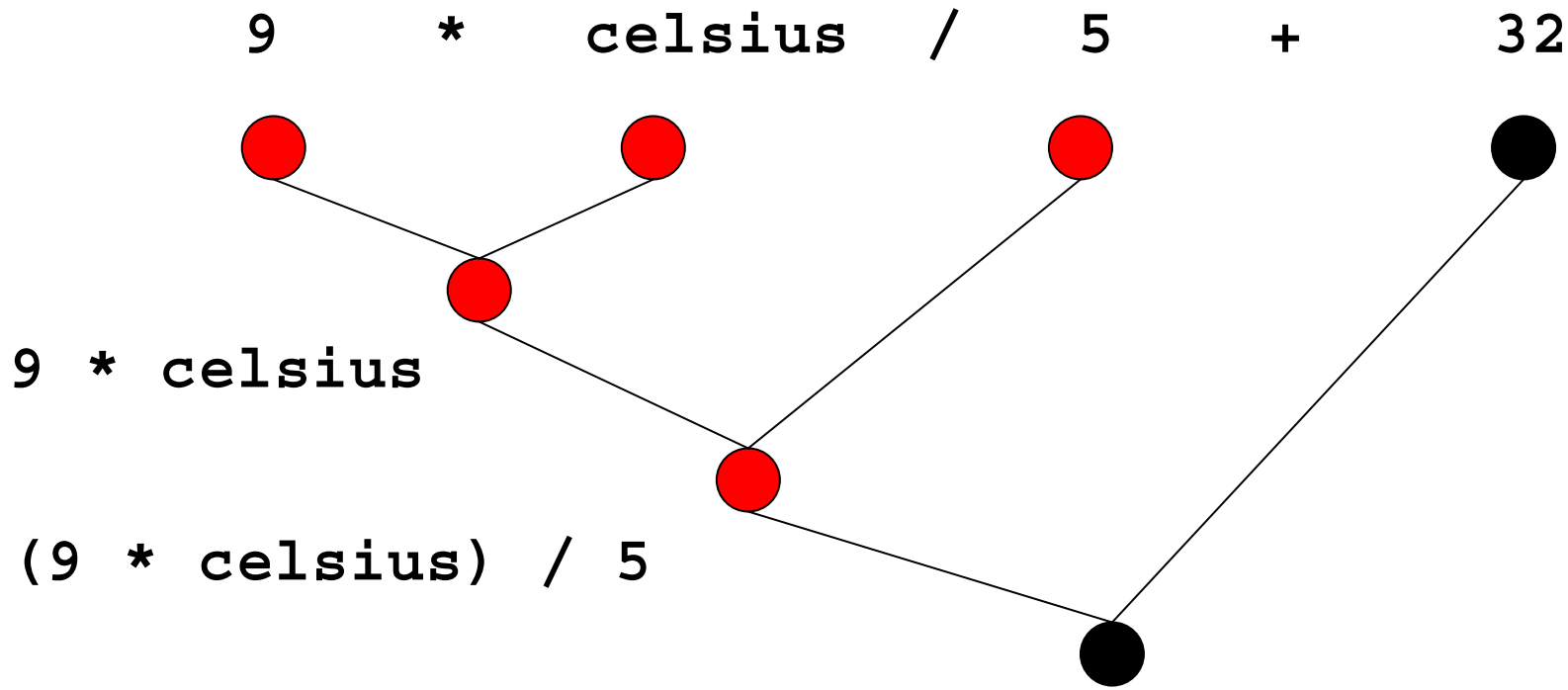
Auswertungsreihenfolge

Von oben nach unten im Ausdrucksbaum:



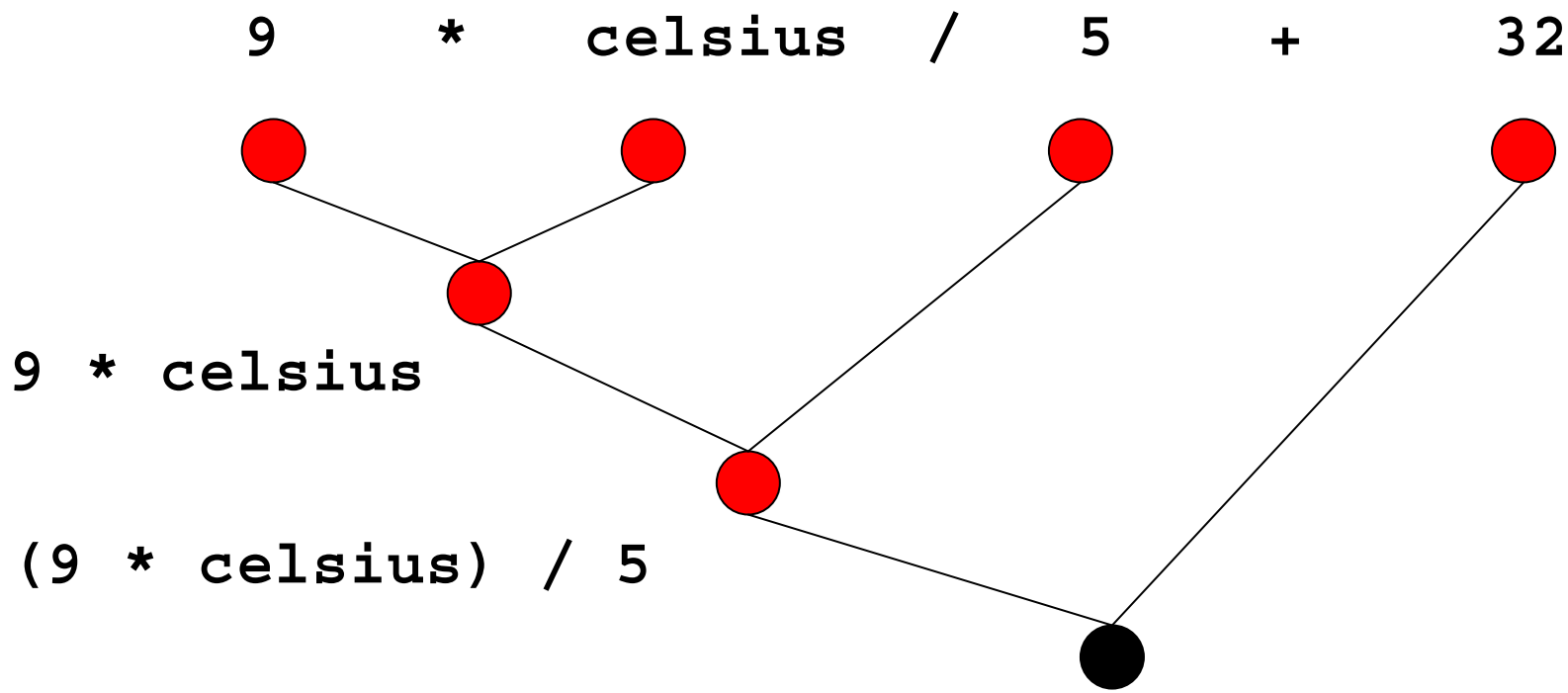
Auswertungsreihenfolge

Von oben nach unten im Ausdrucksbaum:



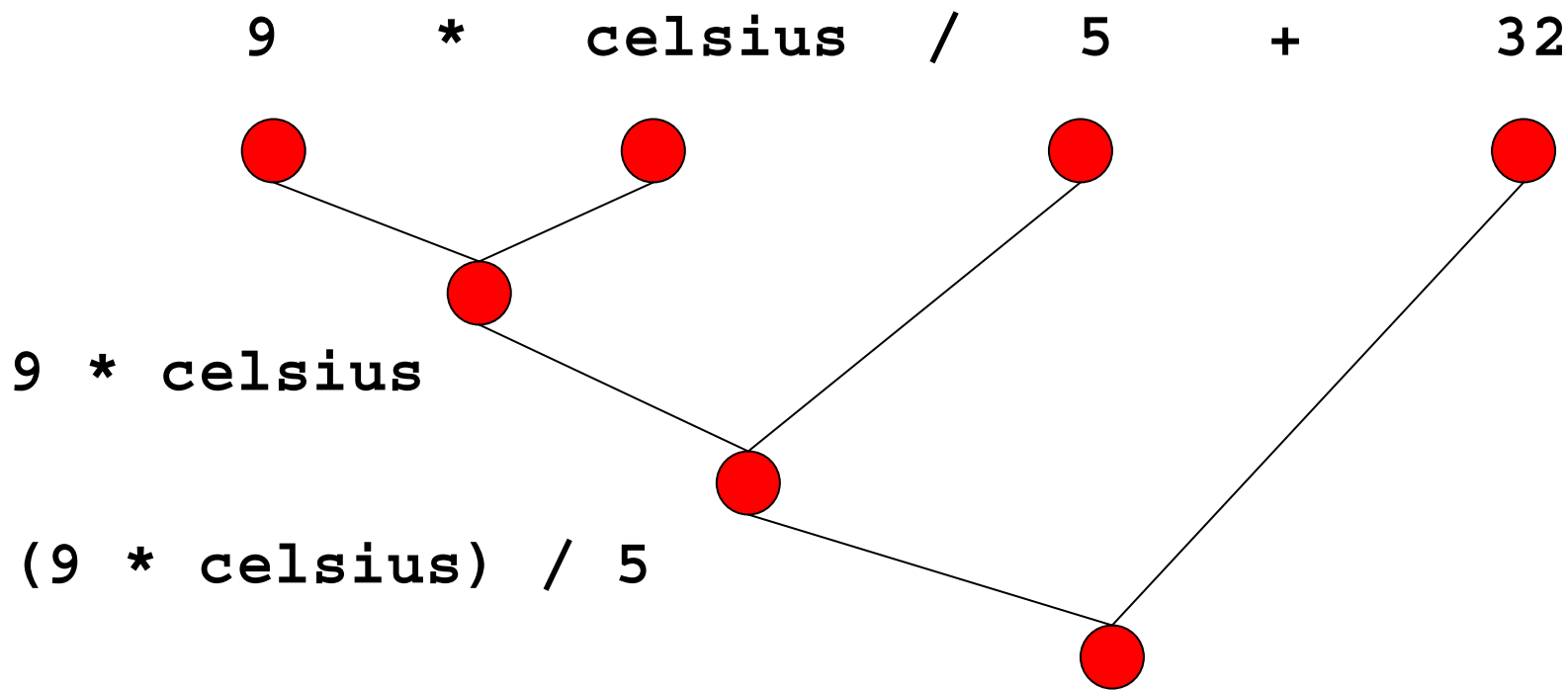
Auswertungsreihenfolge

Von oben nach unten im Ausdrucksbaum:



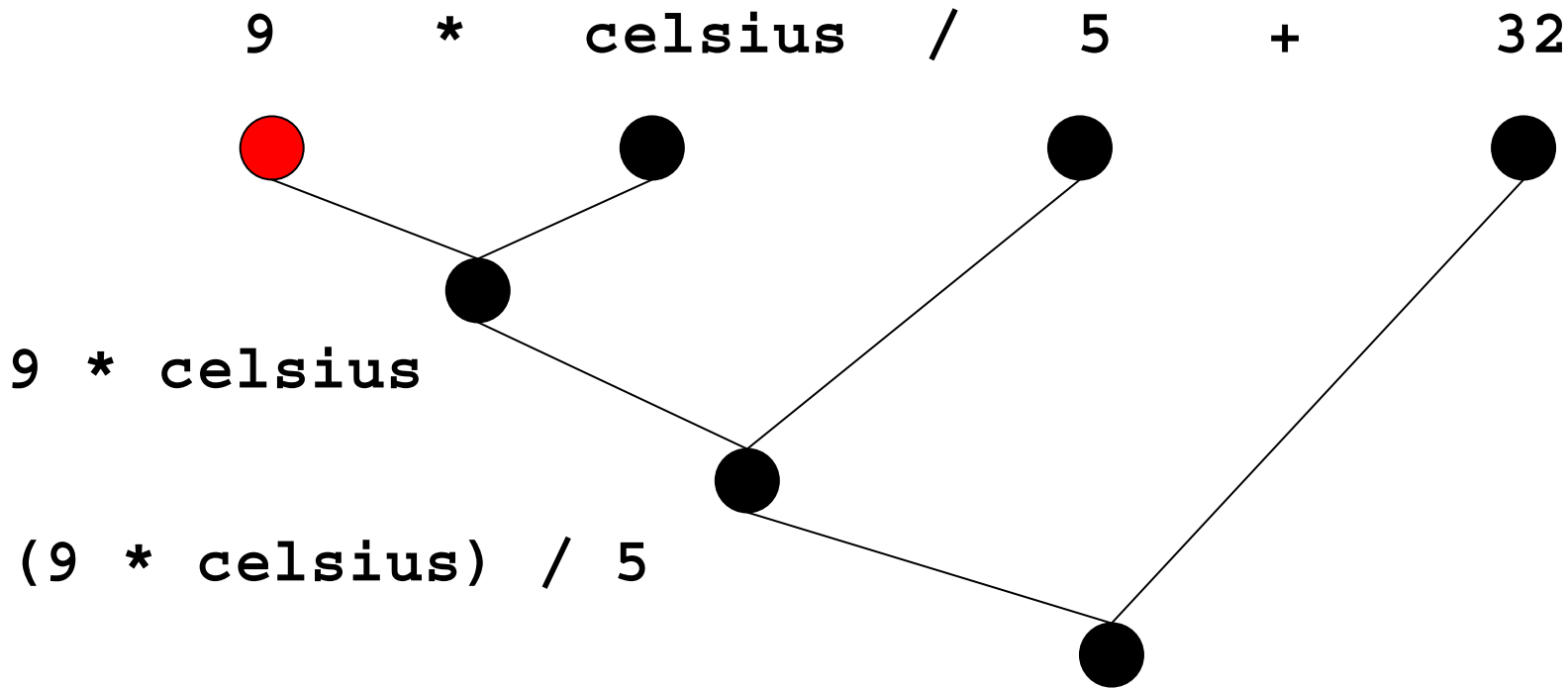
Auswertungsreihenfolge

Von oben nach unten im Ausdrucksbaum:



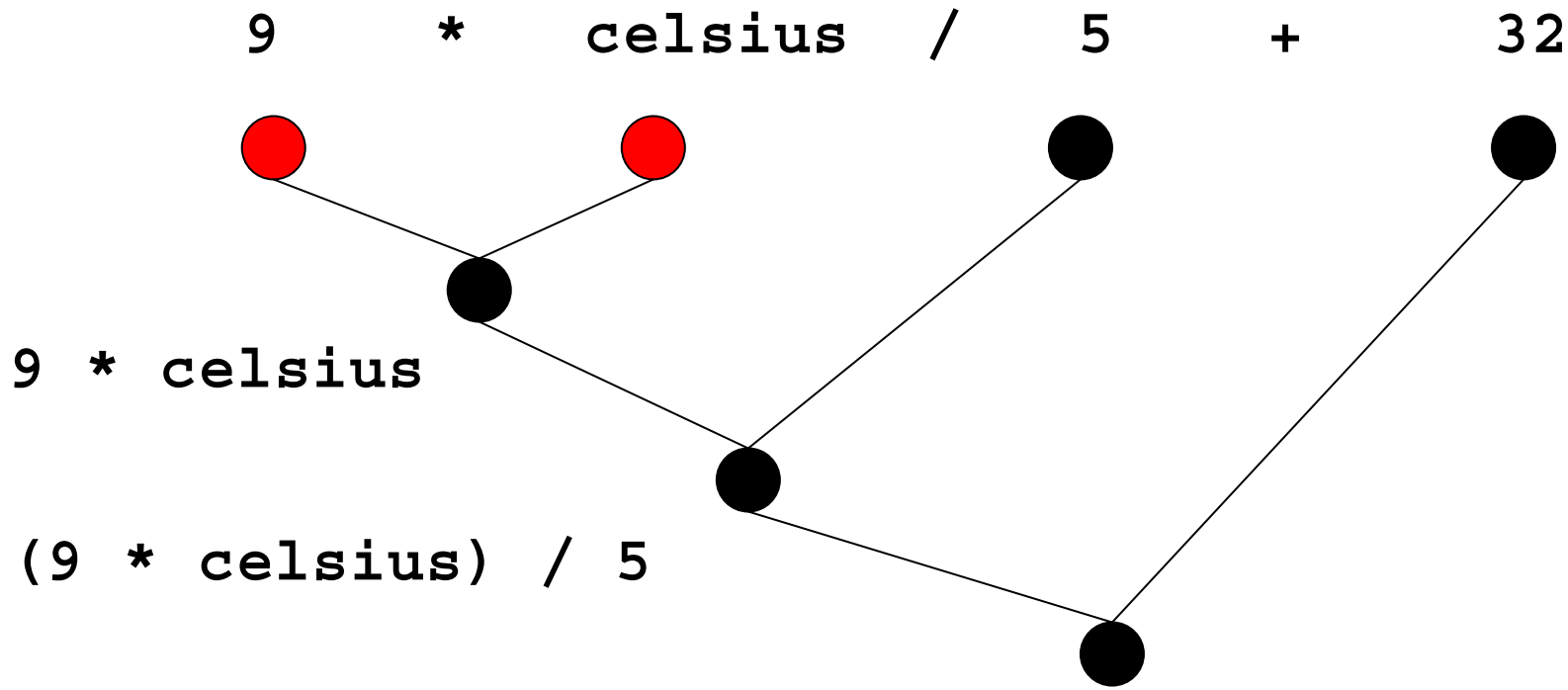
Auswertungsreihenfolge

Reihenfolge ist nicht eindeutig bestimmt:



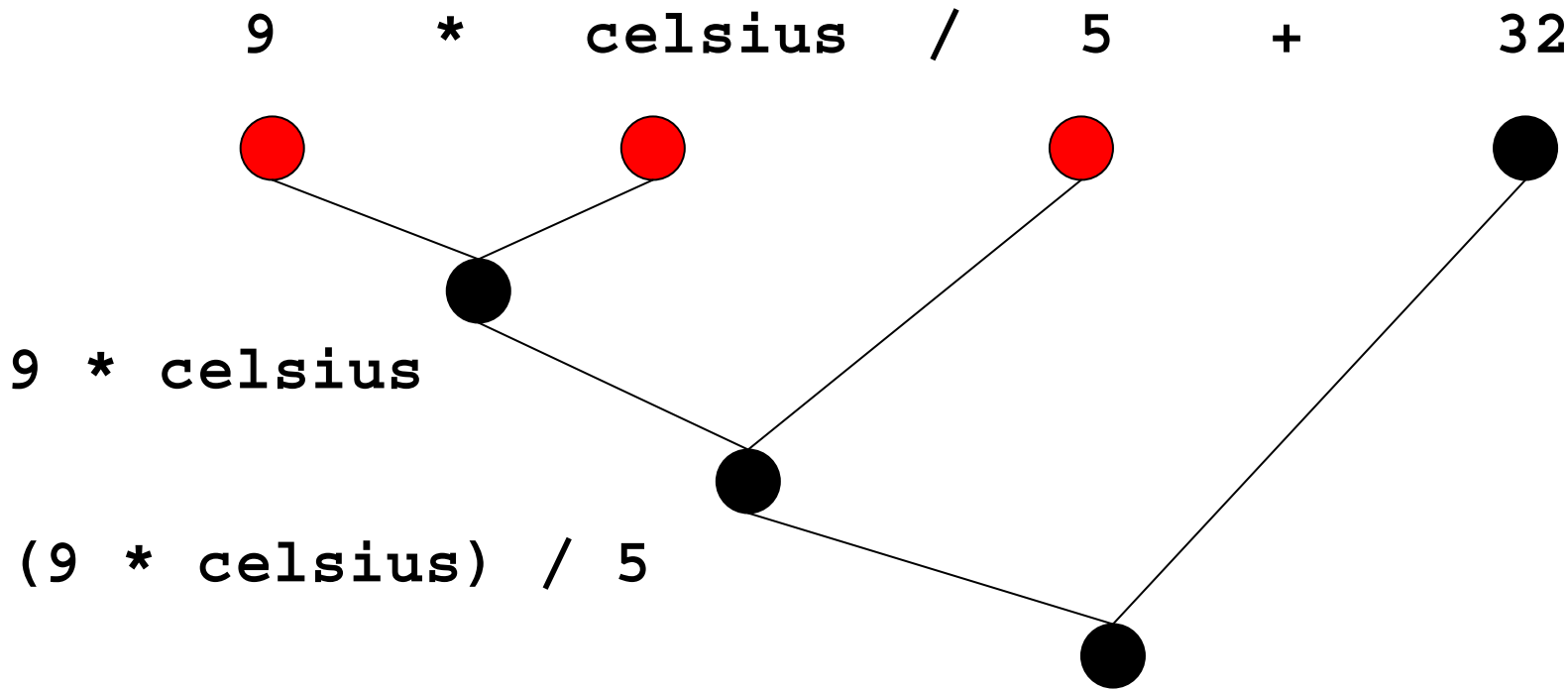
Auswertungsreihenfolge

Reihenfolge ist nicht eindeutig bestimmt:



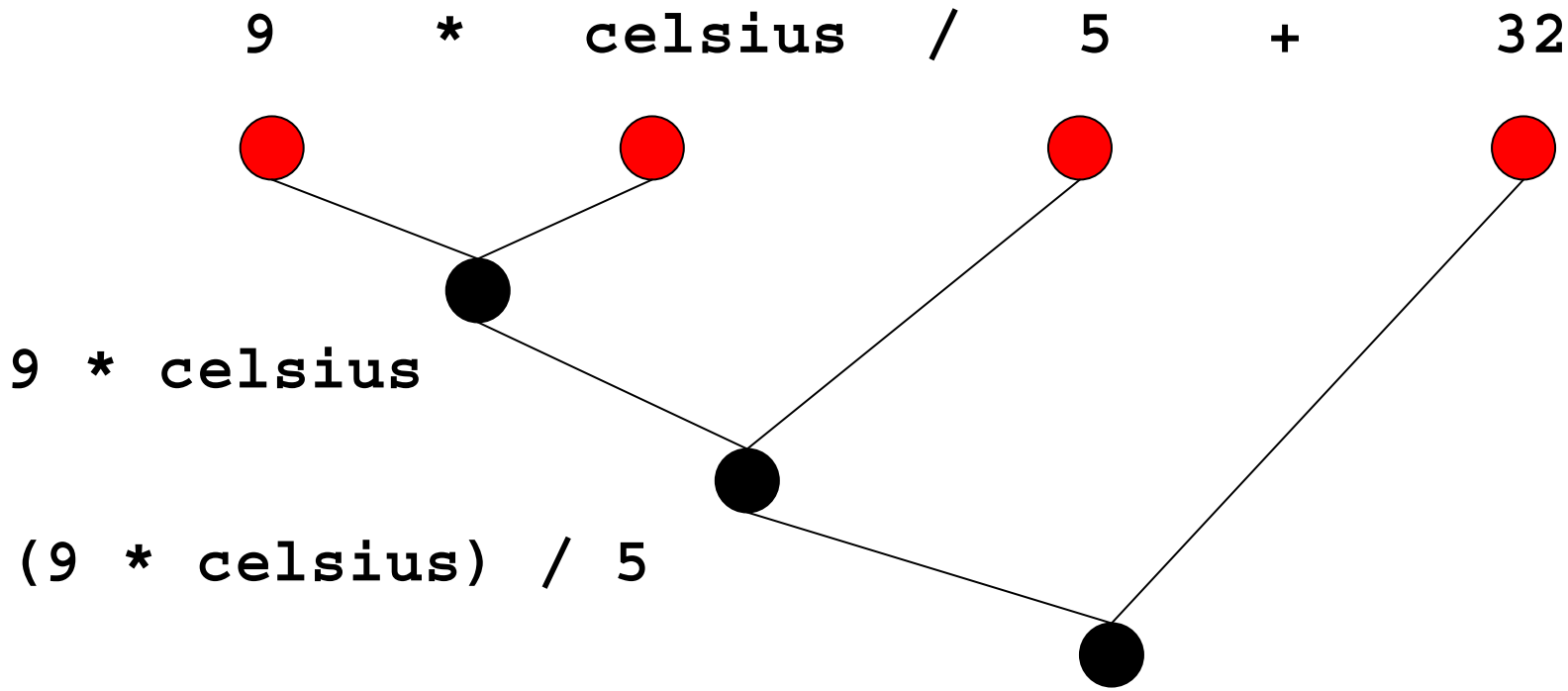
Auswertungsreihenfolge

Reihenfolge ist nicht eindeutig bestimmt:



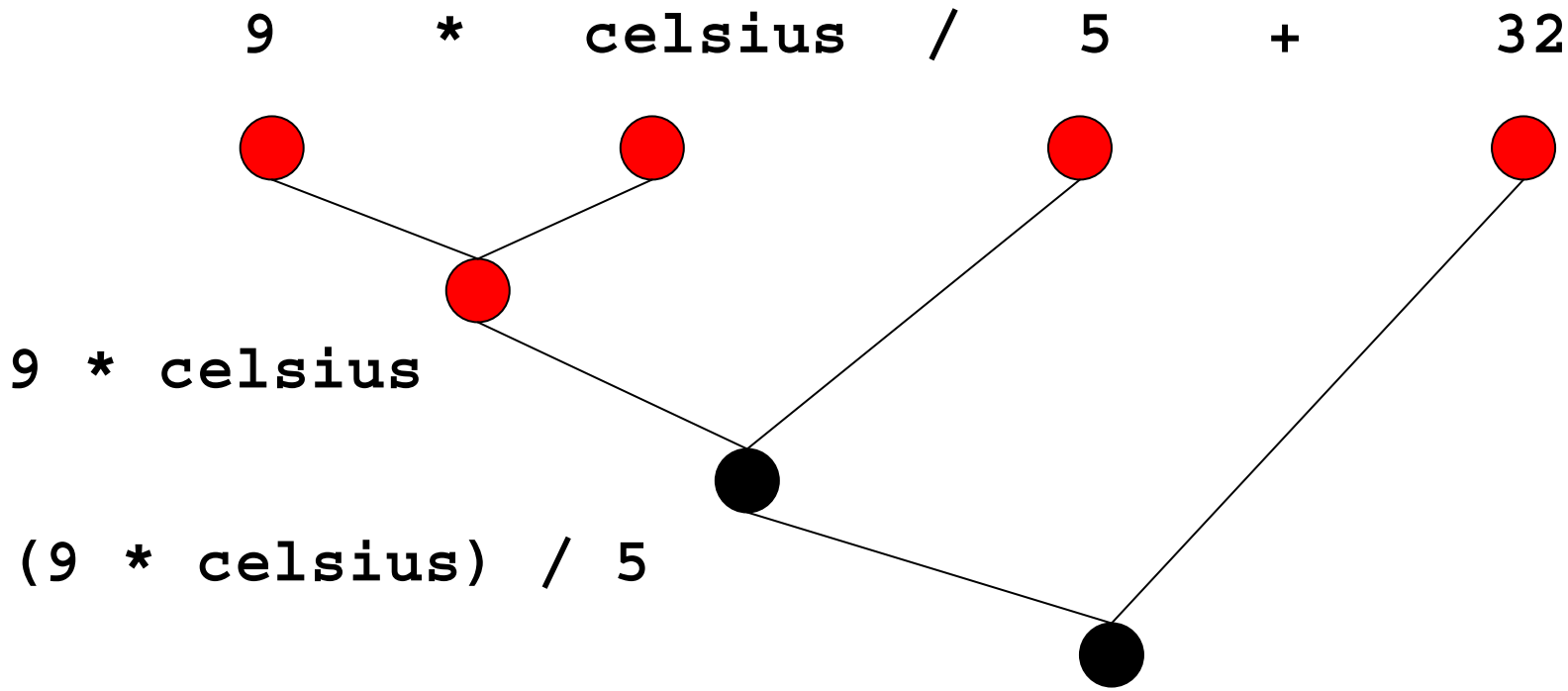
Auswertungsreihenfolge

Reihenfolge ist nicht eindeutig bestimmt:



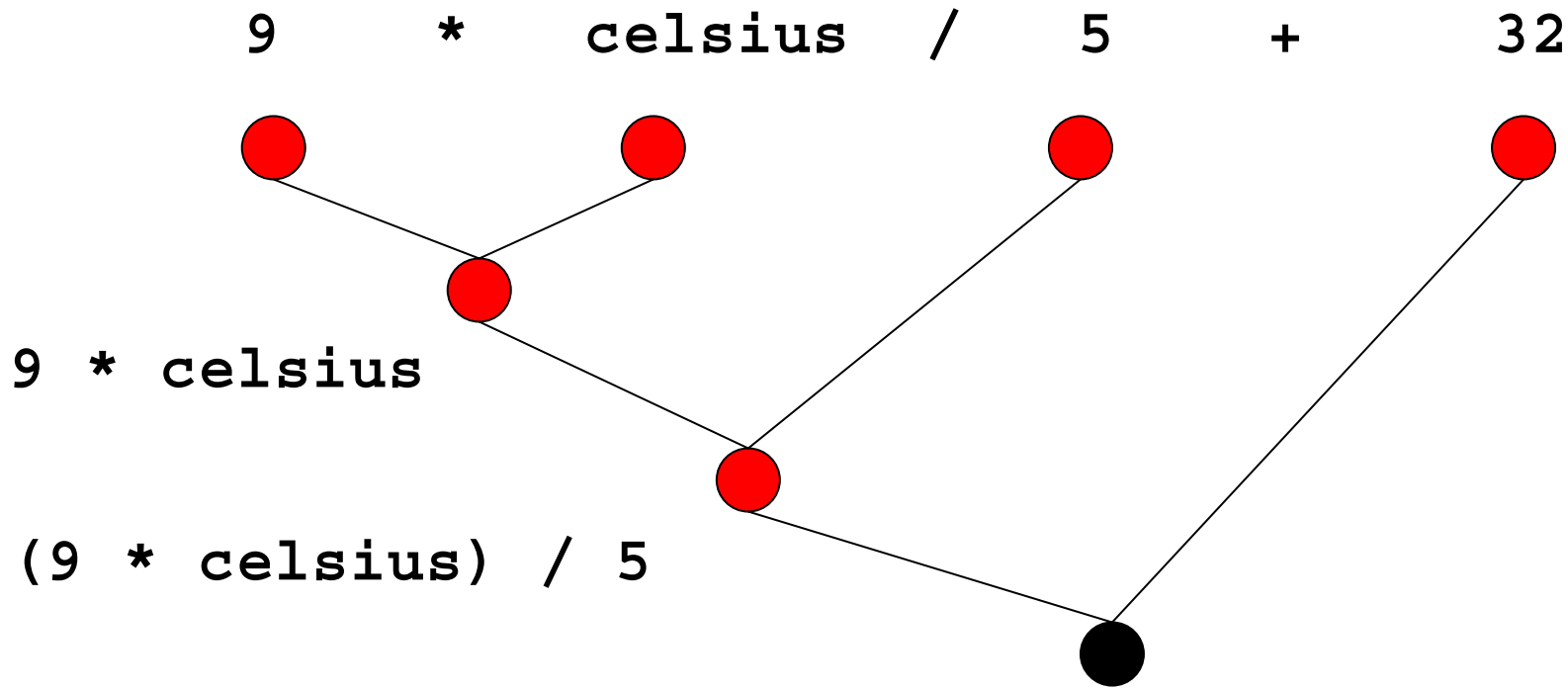
Auswertungsreihenfolge

Reihenfolge ist nicht eindeutig bestimmt:



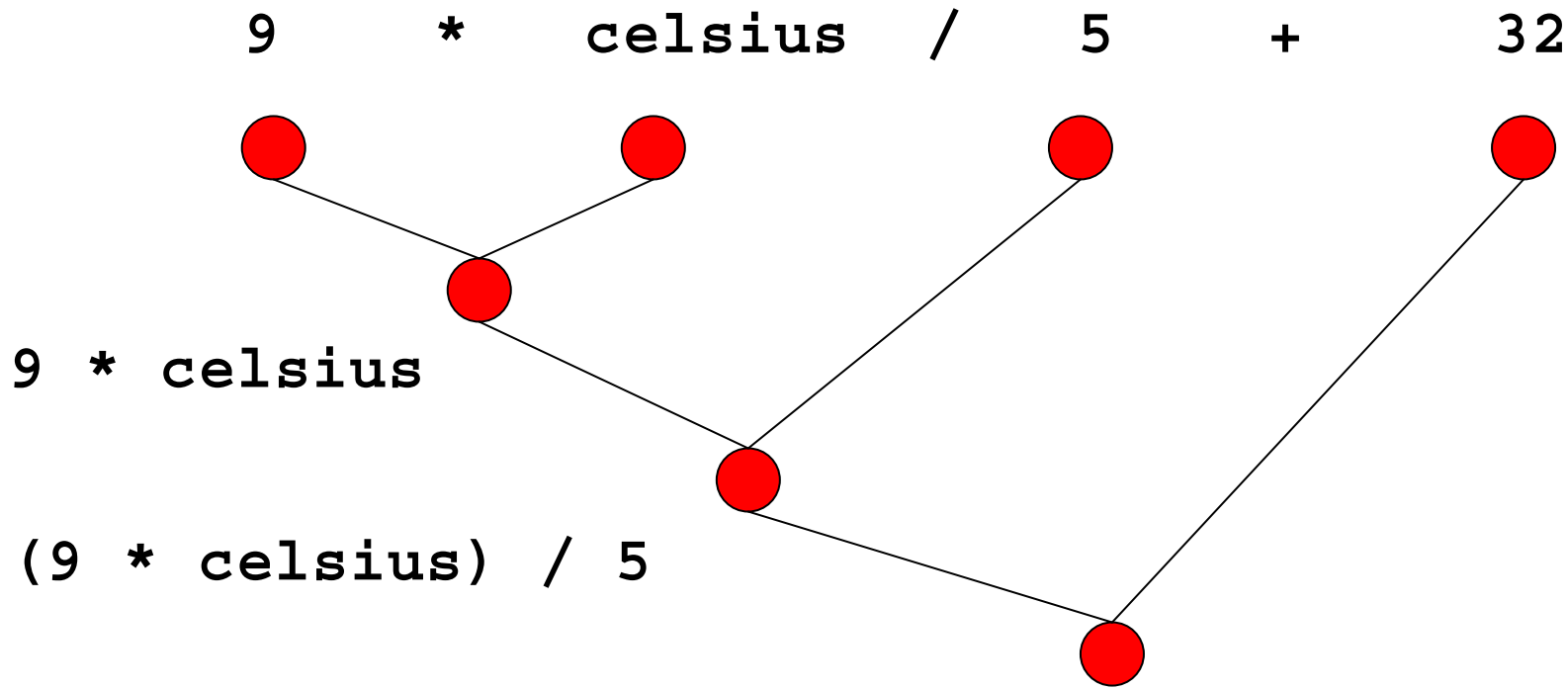
Auswertungsreihenfolge

Reihenfolge ist nicht eindeutig bestimmt:



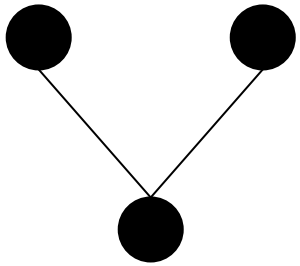
Auswertungsreihenfolge

Reihenfolge ist nicht eindeutig bestimmt:



Auswertungsreihenfolge

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

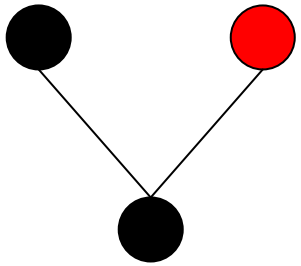


Kinder

Knoten

Auswertungsreihenfolge

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

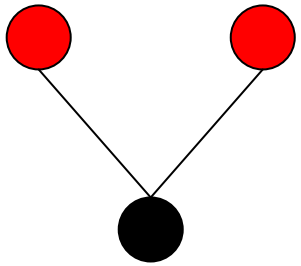


Kinder

Knoten

Auswertungsreihenfolge

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

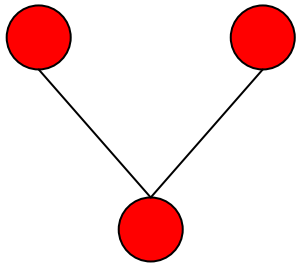


Kinder

Knoten

Auswertungsreihenfolge

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

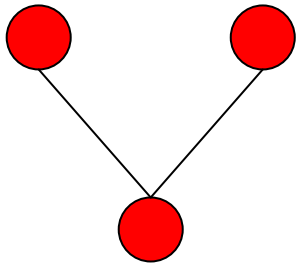


Kinder

Knoten

Auswertungsreihenfolge

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



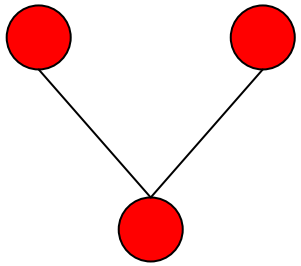
Kinder

Knoten

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

Auswertungsreihenfolge

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



Kinder

Knoten

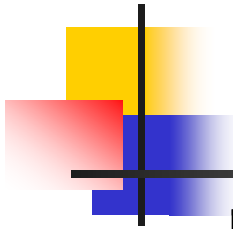
In C++ ist die anzuwendende gültige Reihenfolge nicht spezifiziert.

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

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

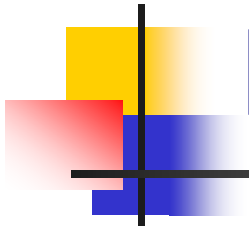
Operand rechts



Arithmetische Operatoren

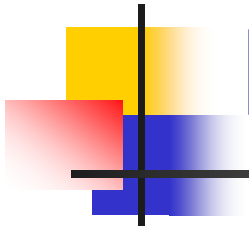
	Symbol	Stelligkeit	Präzedenz	Assoziativität
Unäres +	+	1	16	rechts
Unäres -	-	1	16	rechts
Multiplikation	*	2	14	links
Division	/	2	14	links
Modulus	%	2	14	links
Addition	+	2	13	links
Subtraktion	-	2	13	links

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



Division und Modulus

- Operator / realisiert *ganzzahlige* Division:



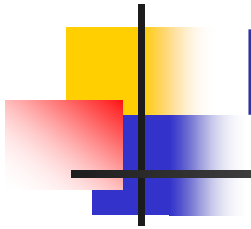
Division und Modulus

- 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

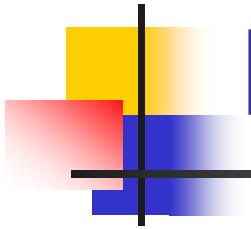
- Operator / realisiert *ganzzahlige* Division:

  `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

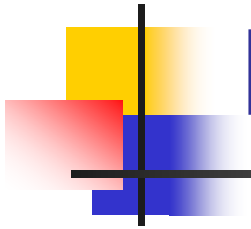
- Operator / realisiert *ganzzahlige* Division:

  `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

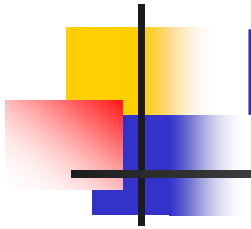
- Operator / realisiert *ganzzahlige* Division:

  `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

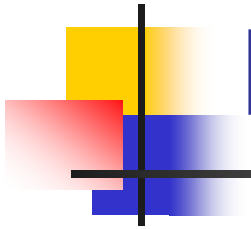
- Operator / realisiert *ganzzahlige* Division:

  `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

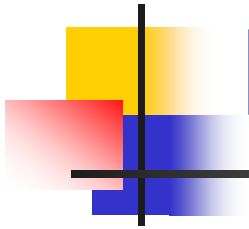
- Operator / realisiert *ganzzahlige* Division:

  `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
```

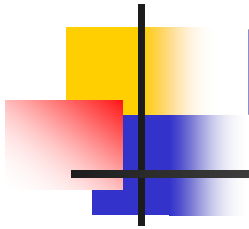


Division und Modulus

- Modulus-Operator berechnet *Rest* der ganzzahligen Division

`5 / 2` hat Wert 2

`5 % 2` hat Wert 1



Division und Modulus

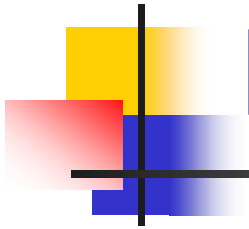
- Modulus-Operator berechnet *Rest* der ganzzahligen Division

`5 / 2` hat Wert 2

`5 % 2` hat Wert 1

- Es gilt immer:

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



Division und Modulus

- Modulus-Operator berechnet *Rest* der ganzzahligen Division

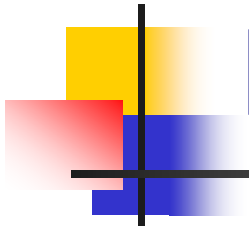
`5 / 2` hat Wert 2

`5 % 2` hat Wert 1

- Es gilt immer:

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

- Falls **`a`** oder **`b`** negativ, so gibt es zwei Möglichkeiten:



Division und Modulus

- Modulus-Operator berechnet *Rest* der ganzzahligen Division

  `5 / 2` hat Wert 2

- Es gilt immer:

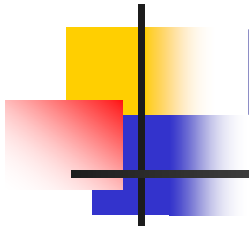
  `(a / b) * b + a % b` hat den Wert von a

- Falls `a` oder `b` negativ, so gibt es zwei Möglichkeiten:

  `-5 / 2` hat Wert -2

  `-5 % 2` hat Wert -1

  Rundung gegen 0



Division und Modulus

- Modulus-Operator berechnet *Rest* der ganzzahligen Division

  `5 / 2` hat Wert 2

- Es gilt immer:

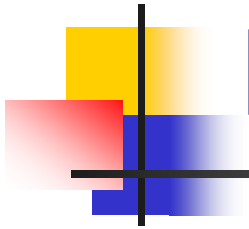
  `(a / b) * b + a % b` hat den Wert von a

- Falls `a` oder `b` negativ, so gibt es zwei Möglichkeiten:

  `-5 / 2` hat Wert -3

  `-5 % 2` hat Wert 1

  Rundung gegen unendlich



Division und Modulus

- Modulus-Operator berechnet *Rest* der ganzzahligen Division

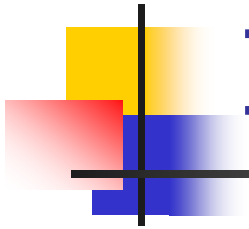
`5 / 2` hat Wert 2

`5 % 2` hat Wert 1

- Es gilt immer:

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

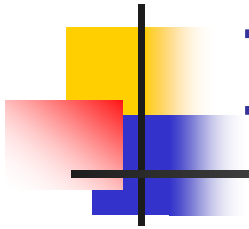
- Meistens: falls **`a`** oder **`b`** negativ, so wird gegen 0 gerundet;



Inkrement und Dekrement

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

```
expr = expr + 1
```

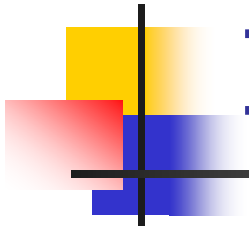


Inkrement und Dekrement

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

```
expr = expr + 1
```

- Nachteile:
  - *relativ lang*

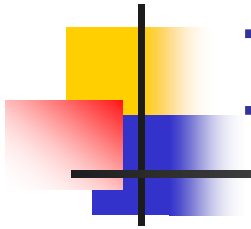


Inkrement und Dekrement

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

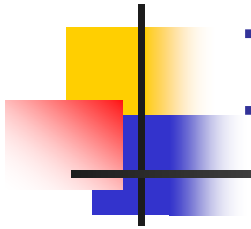
```
expr = expr + 1
```

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



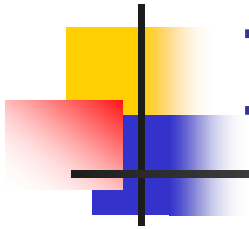
In-/Dekrement-Operatoren

	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

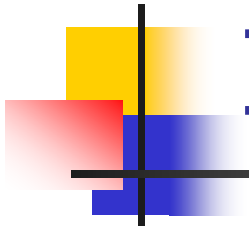
	Gebrauch	Effekt / Wert
Post-Inkrement	*expr*++	Wert von *expr* wird um 1 erhöht, der *alte* Wert von *expr* wird (als R-Wert) zurückgegeben
Prä-Inkrement	++*expr*	Wert von *expr* wird um 1 erhöht, der *neue* Wert von *expr* wird (als L-Wert) zurückgegeben
Post-Dekrement	*expr*--	Wert von *expr* wird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

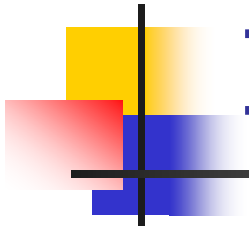
```
int a = 7;
std::cout << ++a << "\n";
std::cout << a++ << "\n";
std::cout << a   << "\n";
```



In/Dekrement-Operatoren

Beispiel:

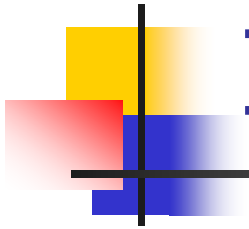
```
int a = 7;
std::cout << ++a << "\n";    // outputs 8
std::cout << a++ << "\n";
std::cout << a   << "\n";
```



In/Dekrement-Operatoren

Beispiel:

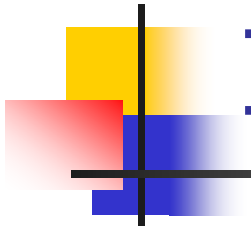
```
int a = 7;
std::cout << ++a << "\n";    // outputs 8
std::cout << a++ << "\n";    // outputs 8
std::cout << a   << "\n";
```



In/Dekrement-Operatoren

Beispiel:

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



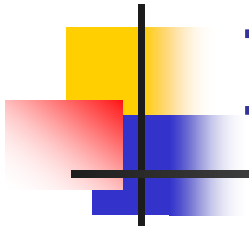
In/Dekrement-Operatoren

Ist die Anweisung

++*expr;*

äquivalent zu

expr++; ?



In/Dekrement-Operatoren

Ist die Anweisung

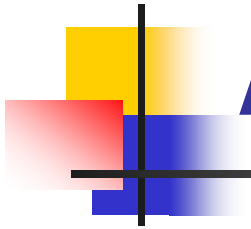
++*expr;*

äquivalent zu

expr++; ?

- 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

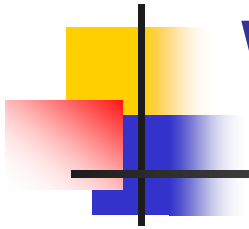


	Gebrauch	Bedeutung
+=	*expr1* += *expr2*	*expr1* = *expr1* + *expr2*
-=	*expr1* -= *expr2*	*expr1* = *expr1* - *expr2*
*=	*expr1* *= *expr2*	*expr1* = *expr1* * *expr2*
/=	*expr1* /= *expr2*	*expr1* = *expr1* / *expr2*
%=	*expr1* %= *expr2*	*expr1* = *expr1* % *expr2*

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*

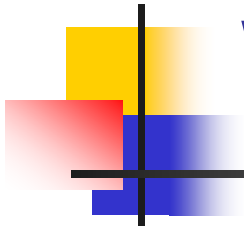
Arithmetische Zuweisungen werten *expr1* nur einmal aus.



Wertebereich des Typs `int`

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

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

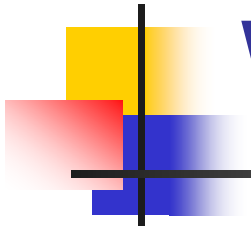


Wertebereich des Typs `int`

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

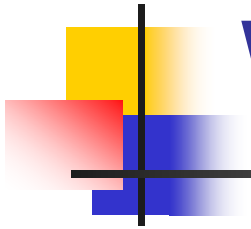
$$\{-2^{b-1}, -2^{b-1}+1, \ldots, -1, 0, 1, \ldots, 2^{b-1}-1\}$$

- Auf den meisten Plattformen: $b = 32$



Wertebereich des Typs `int`

```
// Program: limits.C
// 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;
}
```

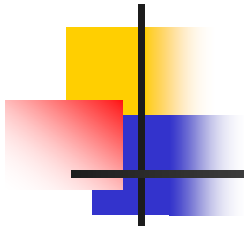


Wertebereich des Typs `int`

```
// Program: limits.C
// 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;
}
```

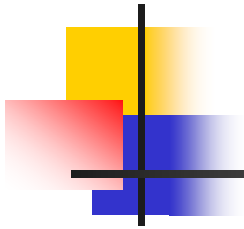
z.B.

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



Überlauf und Unterlauf

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

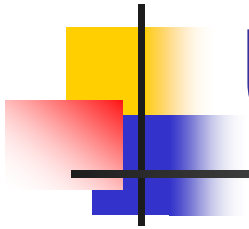


Überlauf und Unterlauf

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

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

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



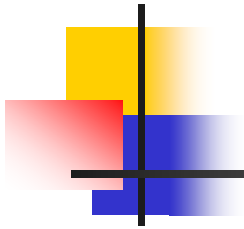
Überlauf und Unterlauf

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

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

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

- Es gibt keine Fehlermeldung!

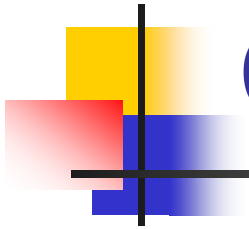


Der Typ `unsigned int`

- Wertebereich

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

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

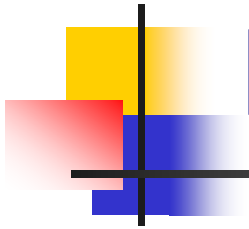


Gemischte Ausdrücke

- 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`**



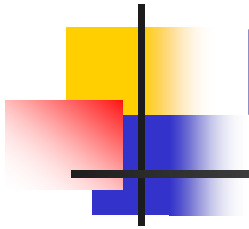
Konversion

`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!

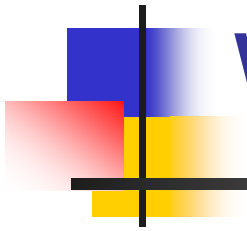


Konversion “andersherum”

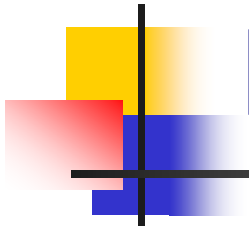
- Die Deklaration

  ```
  int a = 3u
  ```

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



Wahrheitswerte



Boole’sche Funktionen

- Boole’sche Funktion:

  $f: \{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}$

- 0 enstpricht “falsch”
- 1 entspricht “wahr”

Boole'sche Funktionen

- Boole'sche Funktion:

  $f: \{0,1\}^2 \rightarrow \{0,1\}$

- 0 enstpricht "falsch"
- 1 entspricht "wahr"

x	y	AND (x,y)
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Boole'sche Funktionen

- Boole'sche Funktion:

  $f: \{0,1\}^2 \rightarrow \{0,1\}$

- 0 enstpricht "falsch"
- 1 entspricht "wahr"

x	y	OR (x,y)
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

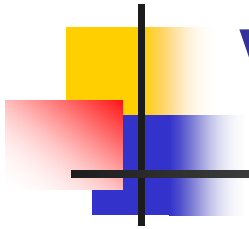
Boole’sche Funktionen

- Boole’sche Funktion:

  $f: \{0,1\}^1 \rightarrow \{0,1\}$

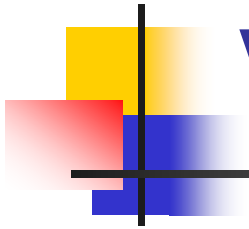
- 0 enstpricht “falsch”
- 1 entspricht “wahr”

x	NOT (x)
0	1
1	0



Vollständigkeit

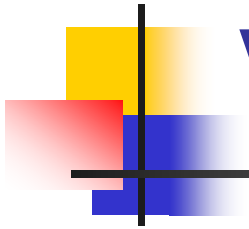
- AND, OR, NOT sind die in C++ verfügbaren Boole’schen Funktionen
- Alle anderen *binären* boole’schen Funktionen sind daraus erzeugbar



Vollständigkeit

- AND, OR, NOT sind die in C++ verfügbaren Boole'schen Funktionen
- Alle anderen *binären* boole'schen Funktionen sind daraus erzeugbar

x	y	XOR (x,y)
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



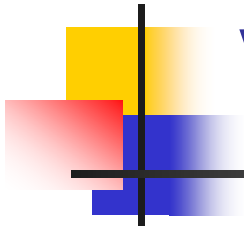
Vollständigkeit

- AND, OR, NOT sind die in C++ verfügbaren Boole'schen Funktionen
- Alle anderen *binären* boole'schen Funktionen sind daraus erzeugbar

x	y	XOR (x,y)
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

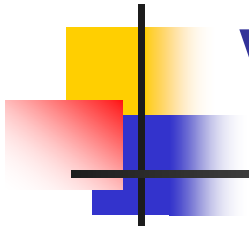
XOR (x,y) =

AND (OR (x,y), NOT (AND (x,y)))



Vollständigkeit: Beweis

- Identifiziere binäre boole'sche Funktion mit ihrem *charakteristischem Vektor*:

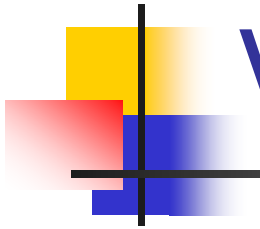


Vollständigkeit: Beweis

- Identifiziere binäre boole'sche Funktion mit ihrem *charakteristischem Vektor*:

x	y	XOR (x,y)
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Charakteristischer Vektor: 0110



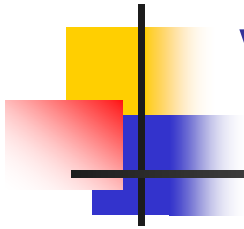
Vollständigkeit: Beweis

- Identifiziere binäre boole'sche Funktion mit ihrem *charakteristischem Vektor*:

x	y	XOR (x,y)
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

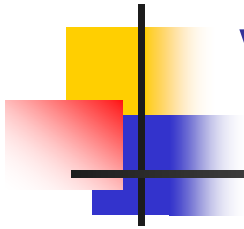
Charakteristischer Vektor: 0110

XOR = f_{0110}



Vollständigkeit: Beweis

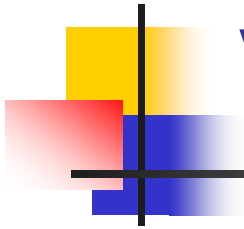
- Schritt 1: erzeuge die Funktionen f_{0001}, f_{0010}, f_{0100}, f_{1000}



Vollständigkeit: Beweis

- Schritt 1: erzeuge die Funktionen f_{0001}, f_{0010}, f_{0100}, f_{1000}

$$f_{0001} = \text{AND}\ (x, y)$$

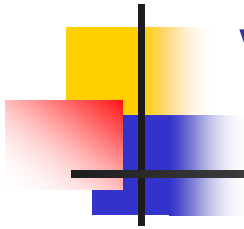


Vollständigkeit: Beweis

- Schritt 1: erzeuge die Funktionen f_{0001}, f_{0010}, f_{0100}, f_{1000}

$$f_{0001} = \text{AND}\ (x, y)$$

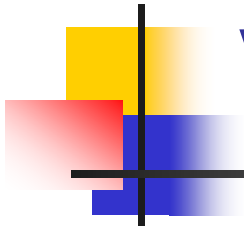
$$f_{0010} = \text{AND}\ (x, \text{NOT}\ (y))$$



Vollständigkeit: Beweis

- Schritt 1: erzeuge die Funktionen f_{0001}, f_{0010}, f_{0100}, f_{1000}

$$f_{0001} = \text{AND}\ (x, y)$$
$$f_{0010} = \text{AND}\ (x, \text{NOT}\ (y))$$
$$f_{0100} = \text{AND}\ (y, \text{NOT}\ (x))$$



Vollständigkeit: Beweis

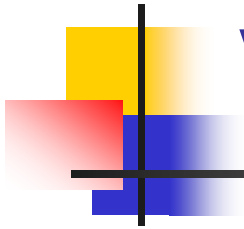
- Schritt 1: erzeuge die Funktionen f_{0001}, f_{0010}, f_{0100}, f_{1000}

f_{0001} = AND (x, y)

f_{0010} = AND (x, NOT (y))

f_{0100} = AND (y, NOT (x))

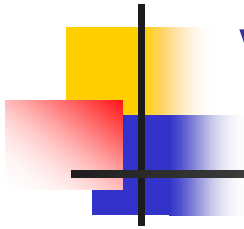
f_{1000} = NOT (OR (x, y))



Vollständigkeit: Beweis

- Schritt 2: erzeuge alle Funktionen

$$f_{1101} = \mathrm{OR}\,(f_{1000}, \mathrm{OR}\,(f_{0100}, f_{0001}))$$

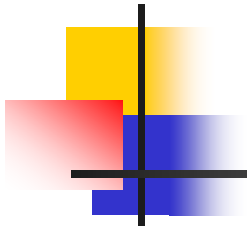


Vollständigkeit: Beweis

- Schritt 2: erzeuge alle Funktionen

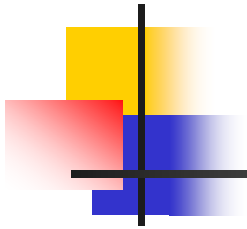
$$f_{1101} = \mathrm{OR}\,(f_{1000}, \mathrm{OR}\,(f_{0100}, f_{0001}))$$

$$f_{0000} = 0$$



Der Typ `bool`

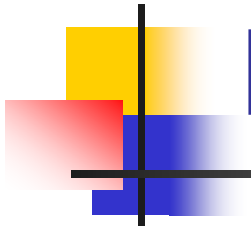
- Repräsentiert Wahrheitswerte
- Literale ***`true`*** und ***`false`***
- Wertebereich {*true, false*}



Der Typ `bool`

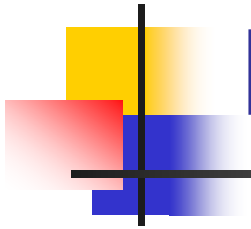
- Repräsentiert Wahrheitswerte
- Literale ***`true`*** und ***`false`***
- Wertebereich {*true, false*}

```
bool b = true; // Variable mit Wert true
```



Logische Operatoren

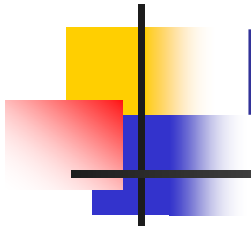
	Symbol	Stelligkeit	Präzedenz	Assoziativität
Logisches Und (AND)	&&	2	6	links
Logisches Oder (OR)	||	2	5	links
Logisches Nicht (NOT)	!	1	16	rechts



Logische Operatoren

	Symbol	Stelligkeit	Präzedenz	Assoziativität
Logisches Und (AND)	&&	2	6	links
Logisches Oder (OR)	||	2	5	links
Logisches Nicht (NOT)	!	1	16	rechts

```
bool (× bool) -> bool
```

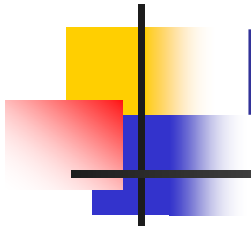


Logische Operatoren

	Symbol	Stelligkeit	Präzedenz	Assoziativität
Logisches Und (AND)	&&	2	6	links
Logisches Oder (OR)	||	2	5	links
Logisches Nicht (NOT)	!	1	16	rechts

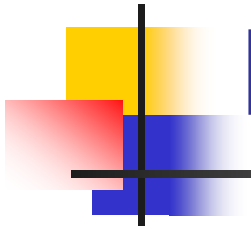
```
bool (× bool) -> bool
```

R-Wert (× R-Wert) -> R-Wert



Relationale Operatoren

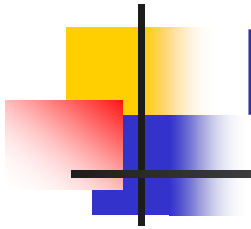
	Symbol	Stelligkeit	Präzedenz	Assoziativität
Kleiner	<	2	11	links
Grösser	>	2	11	links
Kleiner oder gleich	<=	2	11	links
Grösser oder gleich	>=	2	11	links
Gleich	==	2	10	links
Ungleich	!=	2	10	links



Relationale Operatoren

	Symbol	Stelligkeit	Präzedenz	Assoziativität
Kleiner	<	2	11	links
Grösser	>	2	11	links
Kleiner oder gleich	<=	2	11	links
Grösser oder gleich	>=	2	11	links
Gleich	==	2	10	links
Ungleich	!=	2	10	links

Zahlentyp × Zahlentyp -> `bool`

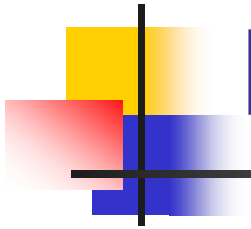


Relationale Operatoren

	Symbol	Stelligkeit	Präzedenz	Assoziativität
Kleiner	<	2	11	links
Grösser	>	2	11	links
Kleiner oder gleich	<=	2	11	links
Grösser oder gleich	>=	2	11	links
Gleich	==	2	10	links
Ungleich	!=	2	10	links

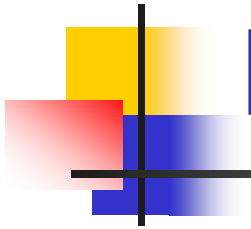
Zahlentyp × Zahlentyp -> `bool`

R-Wert × R-Wert -> R-Wert



Präzedenzen

Binäre arithmetische Operatoren
binden stärker als
Relationale Operatoren,
und diese binden stärker als
binäre logische Operatoren.



Präzedenzen

Binäre arithmetische Operatoren

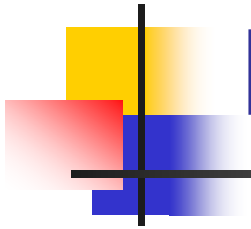
binden stärker als

Relationale Operatoren,

und diese binden stärker als

binäre logische Operatoren.

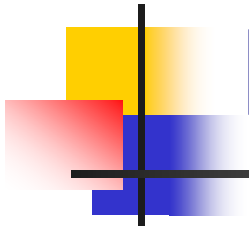
```
7 + x  <  y  &&  y  !=  3 * z
```



Präzedenzen

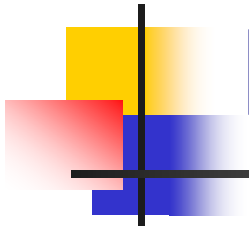
Binäre arithmetische Operatoren
binden stärker als
Relationale Operatoren,
und diese binden stärker als
binäre logische Operatoren.

```
((7 + x) <  y) && (y  != (3 * z))
```



Kurzschlussauswertung

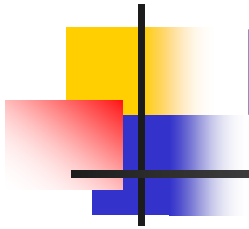
- Logische Operatoren `&&` und `||` werten den *linken* Operanden zuerst aus
- Falls das Ergebnis dann schon feststeht, wird der rechte Operand *nicht mehr* ausgewertet



Kurzschlussauswertung

- Logische Operatoren `&&` und `||` werten den *linken* Operanden zuerst aus
- Falls das Ergebnis dann schon feststeht, wird der rechte Operand *nicht mehr* ausgewertet

```
x != 0 && z / x > y
```

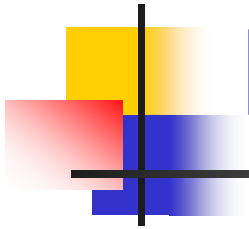


Kurzschlussauswertung

- Logische Operatoren `&&` und `||` werten den *linken* Operanden zuerst aus
- Falls das Ergebnis dann schon feststeht, wird der rechte Operand *nicht mehr* ausgewertet

`x` hat Wert 1:

```
x != 0 && z / x > y
```

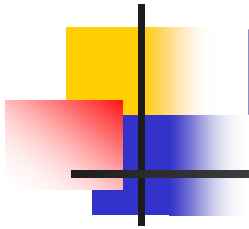


Kurzschlussauswertung

- Logische Operatoren `&&` und `||` werten den *linken* Operanden zuerst aus
- Falls das Ergebnis dann schon feststeht, wird der rechte Operand *nicht mehr* ausgewertet

`x` hat Wert 1:

```
x != 0 && z / x > y
```

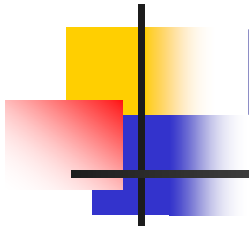


Kurzschlussauswertung

- Logische Operatoren `&&` und `||` werten den *linken* Operanden zuerst aus
- Falls das Ergebnis dann schon feststeht, wird der rechte Operand *nicht mehr* ausgewertet

`x` hat Wert 1:

```
true    && z / x > y
```

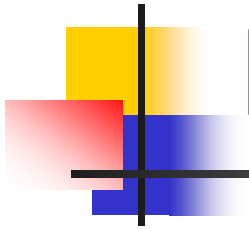


Kurzschlussauswertung

- Logische Operatoren `&&` und `||` werten den *linken* Operanden zuerst aus
- Falls das Ergebnis dann schon feststeht, wird der rechte Operand *nicht mehr* ausgewertet

`x` hat Wert 1:

```
true    && z / x > y
```

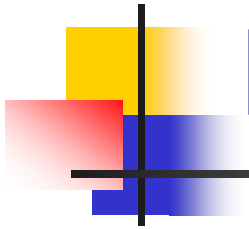


Kurzschlussauswertung

- Logische Operatoren `&&` und `||` werten den *linken* Operanden zuerst aus
- Falls das Ergebnis dann schon feststeht, wird der rechte Operand *nicht mehr* ausgewertet

`x` hat Wert 0:

```
x != 0 && z / x > y
```

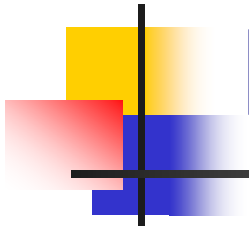


Kurzschlussauswertung

- Logische Operatoren `&&` und `||` werten den *linken* Operanden zuerst aus
- Falls das Ergebnis dann schon feststeht, wird der rechte Operand *nicht mehr* ausgewertet

`x` hat Wert 0:

```
x != 0 && z / x > y
```

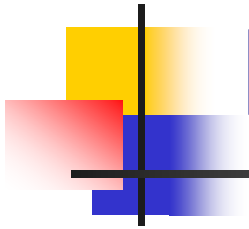


Kurzschlussauswertung

- Logische Operatoren `&&` und `||` werten den *linken* Operanden zuerst aus
- Falls das Ergebnis dann schon feststeht, wird der rechte Operand *nicht mehr* ausgewertet

`x` hat Wert 0:

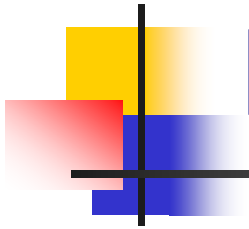
```
false  && z / x > y
```



Kurzschlussauswertung

- Logische Operatoren `&&` und `||` werten den *linken* Operanden zuerst aus
- Falls das Ergebnis dann schon feststeht, wird der rechte Operand *nicht mehr* ausgewertet

`x` hat Wert 0: **`false`**



Kurzschlussauswertung

- Logische Operatoren `&&` und `||` werten den *linken* Operanden zuerst aus
- Falls das Ergebnis dann schon feststeht, wird der rechte Operand *nicht mehr* ausgewertet

```
x != 0 && z / x > y
```

keine Division durch Null!