2. Ganze Zahlen

Auswertung arithmetischer Ausdrücke, Assoziativität und Präzedenz, arithmetische Operatoren, Wertebereich der Typen **`int`**, **`unsigned int`**

Beispiel: power8.cpp

```
int a; // Input
int r; // Result

std::cout << "Compute a^8 for a = ?";
std::cin >> a;

r = a * a; // r = a^2
r = r * r; // r = a^4

std::cout << "a^8 = " << r*r << '\n';
```

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;
}
```

`9 * celsius / 5 + 32`

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

- Arithmetischer Ausdruck,

9 * celsius / 5 + 32

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

- Arithmetischer Ausdruck,
- drei Literale, eine Variable, drei Operatorsymbole

`9 * celsius / 5 + 32`

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

- Arithmetischer Ausdruck,
- drei Literale, eine Variable, drei Operatorsymbole

`9 * celsius / 5 + 32`

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

- Arithmetischer Ausdruck,
- drei Literale, eine Variable, drei Operatorsymbole

`9 * celsius / 5 + 32`

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

- Arithmetischer Ausdruck,
- drei Literale, eine Variable, drei Operatorsymbole

Wie ist der Ausdruck geklammert?

Präzedenz

Punkt vor Strichrechnung

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

bedeutet

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

Präzedenz

Regel 1: Präzedenz

Multiplikative Operatoren (`*`, `/`, `%`) haben höhere Präzedenz („binden stärker“) als additive Operatoren (`+`, `-`)

Assoziativität

Von links nach rechts

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

bedeutet

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

Assoziativität

Regel 2: Assoziativität

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

Stelligkeit

Vorzeichen

```
-3 - 4
```

bedeutet

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

Stelligkeit

Regel 3: Stelligkeit

Unäre Operatoren **+**, **−** vor binären **+**, **−**.

Klammerung

Jeder Ausdruck kann mit Hilfe der

- Assoziativitäten
- Präzedenzen
- Stelligkeiten

der beteiligten Operatoren eindeutig geklammert werden.

Ausdrucksbäume

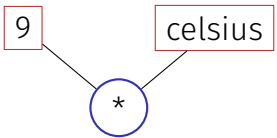
Klammerung ergibt Ausdrucksbaum

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

Ausdrucksbäume

Klammerung ergibt Ausdrucksbaum

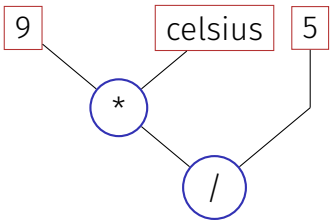
```
(9 * celsius) / 5 + 32
```



Ausdrucksbäume

Klammerung ergibt Ausdrucksbaum

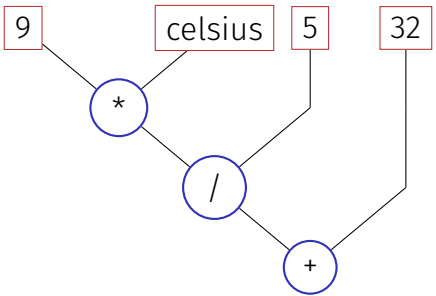
```
((9 * celsius) / 5) + 32
```



Ausdrucksbäume

Klammerung ergibt Ausdrucksbaum

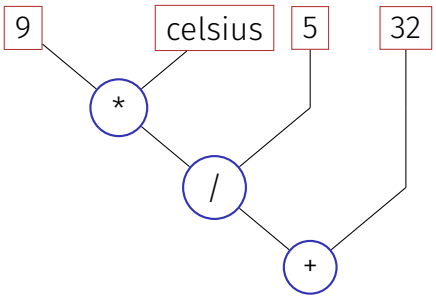
```
(((9 * celsius) / 5) + 32)
```



Auswertungsreihenfolge

„Von oben nach unten“ im Ausdrucksbaum

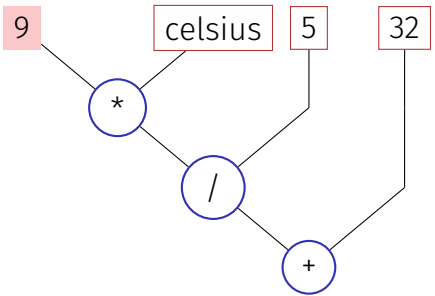
```
9 * celsius / 5 + 32
```



Auswertungsreihenfolge

„Von oben nach unten“ im Ausdrucksbaum

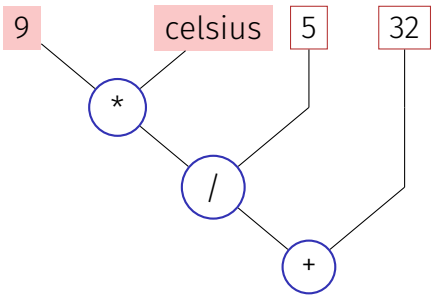
```
9 * celsius / 5 + 32
```



Auswertungsreihenfolge

„Von oben nach unten“ im Ausdrucksbaum

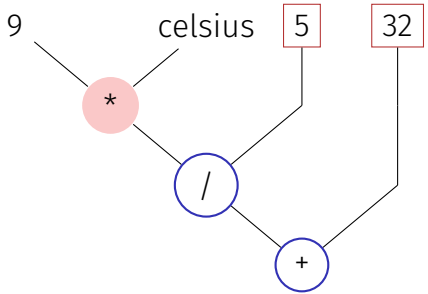
```
9 * celsius / 5 + 32
```



Auswertungsreihenfolge

„Von oben nach unten“ im Ausdrucksbaum

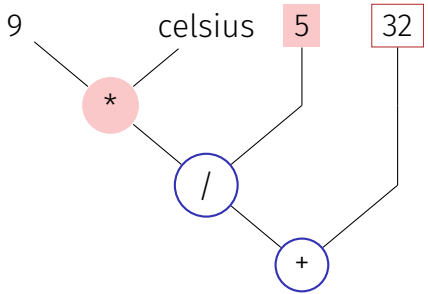
```
9 * celsius / 5 + 32
```



Auswertungsreihenfolge

„Von oben nach unten“ im Ausdrucksbaum

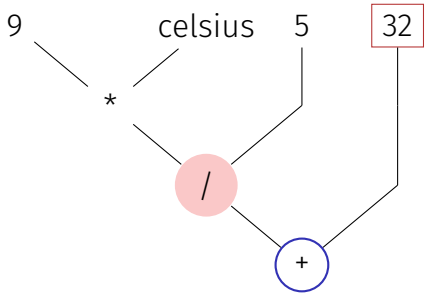
```
9 * celsius / 5 + 32
```



Auswertungsreihenfolge

„Von oben nach unten“ im Ausdrucksbaum

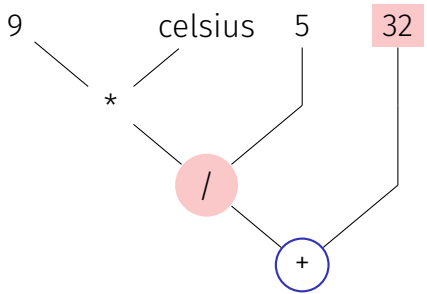
```
9 * celsius / 5 + 32
```



Auswertungsreihenfolge

„Von oben nach unten“ im Ausdrucksbaum

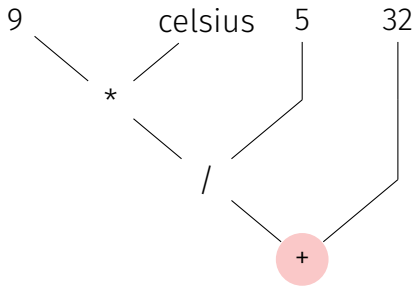
```
9 * celsius / 5 + 32
```



Auswertungsreihenfolge

„Von oben nach unten“ im Ausdrucksbaum

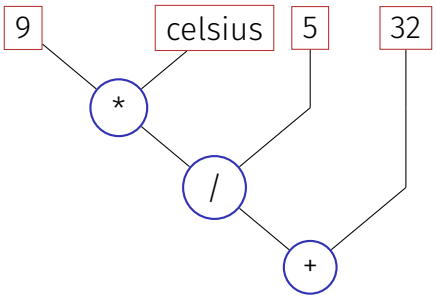
```
9 * celsius / 5 + 32
```



Auswertungsreihenfolge

Reihenfolge nicht eindeutig bestimmt:

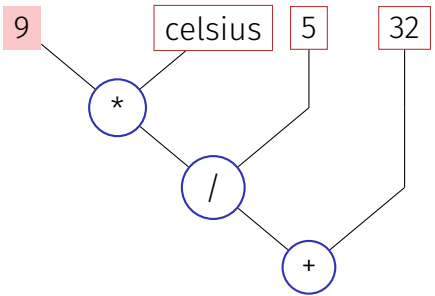
```
9 * celsius / 5 + 32
```



Auswertungsreihenfolge

Reihenfolge nicht eindeutig bestimmt:

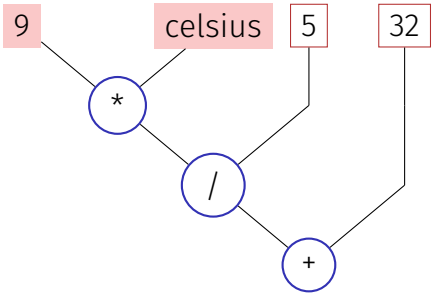
```
9 * celsius / 5 + 32
```



Auswertungsreihenfolge

Reihenfolge nicht eindeutig bestimmt:

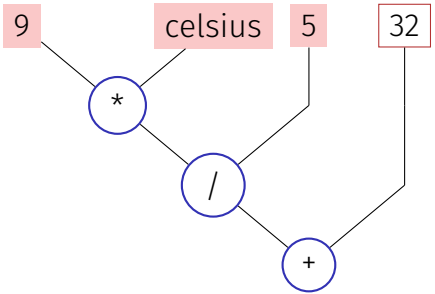
```
9 * celsius / 5 + 32
```



Auswertungsreihenfolge

Reihenfolge nicht eindeutig bestimmt:

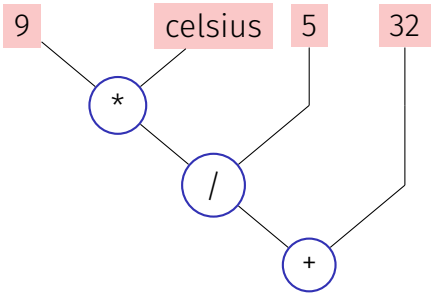
```
9 * celsius / 5 + 32
```



Auswertungsreihenfolge

Reihenfolge nicht eindeutig bestimmt:

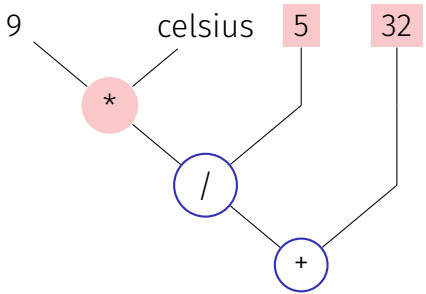
```
9 * celsius / 5 + 32
```



Auswertungsreihenfolge

Reihenfolge nicht eindeutig bestimmt:

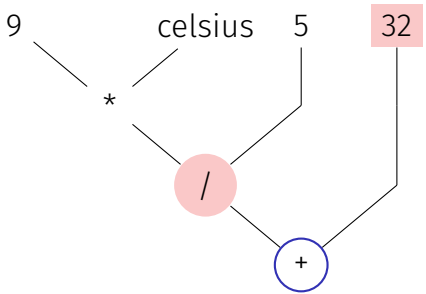
```
9 * celsius / 5 + 32
```



Auswertungsreihenfolge

Reihenfolge nicht eindeutig bestimmt:

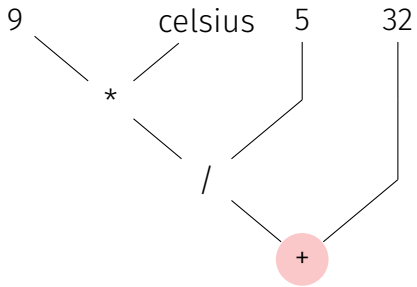
```
9 * celsius / 5 + 32
```



Auswertungsreihenfolge

Reihenfolge nicht eindeutig bestimmt:

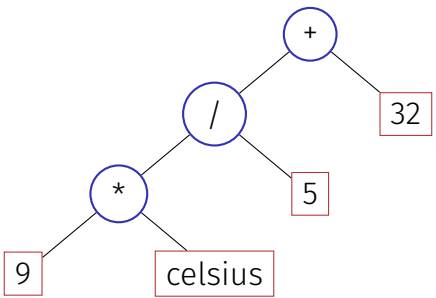
```
9 * celsius / 5 + 32
```



Ausdrucksbäume – Notation

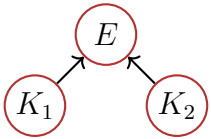
Üblichere Notation: Wurzel oben

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



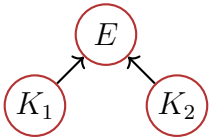
Auswertungsreihenfolge – formaler

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



Auswertungsreihenfolge – formaler

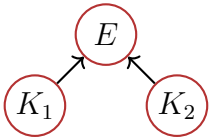
Gültige Reihenfolge: Jeder Knoten wird erst **nach** seinen Kindern ausgewertet.



C++: anzuwendende gültige Reihenfolge nicht spezifiziert.

Auswertungsreihenfolge – formaler

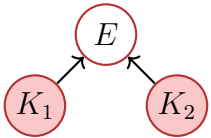
Gültige Reihenfolge: Jeder Knoten wird erst **nach** seinen Kindern ausgewertet.



C++: anzuwendende gültige Reihenfolge nicht spezifiziert.

Auswertungsreihenfolge – formaler

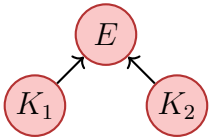
Gültige Reihenfolge: Jeder Knoten wird erst **nach** seinen Kindern ausgewertet.



C++: anzuwendende gültige Reihenfolge nicht spezifiziert.

Auswertungsreihenfolge – formaler

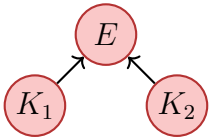
Gültige Reihenfolge: Jeder Knoten wird erst **nach** seinen Kindern ausgewertet.



C++: anzuwendende gültige Reihenfolge nicht spezifiziert.

Auswertungsreihenfolge – formaler

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

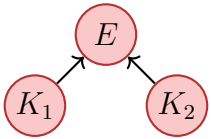


C++: anzuwendende gültige Reihenfolge nicht spezifiziert.

- „Guter Ausdruck“: jede gültige Reihenfolge führt zum gleichen Ergebnis.

Auswertungsreihenfolge – formaler

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



C++: anzuwendende gültige Reihenfolge nicht spezifiziert.

- „Guter Ausdruck“: jede gültige Reihenfolge führt zum gleichen Ergebnis.
- Beispiel eines „schlechten Ausdrucks“: `a*(a=2)`

Auswertungsreihenfolge

Richtlinie

Vermeide das Verändern von Variablen, welche im selben Ausdruck noch einmal verwendet werden!

Arithmetische Operatoren

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

Einschub: Zuweisungsausdruck – nun genauer

- Bereits bekannt: `a = b` bedeutet Zuweisung von `b` (R-Wert) an `a` (L-Wert). Rückgabe: L-Wert.

Einschub: Zuweisungsausdruck – nun genauer

- Bereits bekannt: `a = b` bedeutet Zuweisung von `b` (R-Wert) an `a` (L-Wert). Rückgabe: L-Wert.
- Was bedeutet `a = b = c` ?

Einschub: Zuweisungsausdruck – nun genauer

- Bereits bekannt: `a = b` bedeutet Zuweisung von `b` (R-Wert) an `a` (L-Wert). Rückgabe: L-Wert.
- Was bedeutet `a = b = c` ?
- Antwort: Zuweisung rechtsassoziativ, also

Einschub: Zuweisungsausdruck – nun genauer

- Bereits bekannt: `a = b` bedeutet Zuweisung von `b` (R-Wert) an `a` (L-Wert). Rückgabe: L-Wert.
- Was bedeutet `a = b = c` ?
- Antwort: Zuweisung rechtsassoziativ, also

`a = b = c` $\iff$ `a = (b = c)`

Mehrfachzuweisung: `a = b = 0` $\Longrightarrow$ `b=0; a=0`

Division

- Operator `/` realisiert ganzzahlige Division

  `5 / 2` hat Wert 2

Division

- Operator `/` realisiert ganzzahlige Division

  `5 / 2` hat Wert 2

- In **`fahrenheit.cpp`**

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

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

Division

- Operator `/` realisiert ganzzahlige Division

  `5 / 2` hat Wert 2

- In **`fahrenheit.cpp`**

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

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

Division

- Operator `/` realisiert ganzzahlige Division

  `5 / 2` hat Wert 2

- In **`fahrenheit.cpp`**

```
9 * celsius / 5 + 32

15 degrees Celsius are 59 degrees Fahrenheit
```

- Mathematisch äquivalent…

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

Division

- Operator `/` realisiert ganzzahlige Division

  `5 / 2` hat Wert 2

- In **`fahrenheit.cpp`**

```
9 * celsius / 5 + 32

15 degrees Celsius are 59 degrees Fahrenheit
```

- Mathematisch äquivalent…

```
1 * celsius + 32
```

Division

- Operator `/` realisiert ganzzahlige Division

  `5 / 2` hat Wert 2

- In **`fahrenheit.cpp`**

```
9 * celsius / 5 + 32

15 degrees Celsius are 59 degrees Fahrenheit
```

- Mathematisch äquivalent…

```
15 + 32
```

Division

- Operator `/` realisiert ganzzahlige Division

  `5 / 2` hat Wert 2

- In **`fahrenheit.cpp`**

```
9 * celsius / 5 + 32

15 degrees Celsius are 59 degrees Fahrenheit
```

- Mathematisch äquivalent…

```
47
```

Division

- Operator `/` realisiert ganzzahlige Division

  `5 / 2` hat Wert 2

- In **`fahrenheit.cpp`**

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

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

- Mathematisch äquivalent…aber nicht in C++!

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

```
15 degrees Celsius are  47 degrees Fahrenheit
```

Präzisionsverlust

Richtlinie

- Auf möglichen Präzisionsverlust achten
- Potentiell verlustbehaftete Operationen möglichst spät durchführen, um „Fehlereskalation“ zu vermeiden

Division und Modulo

- Modulo-Operator berechnet Rest der ganzzahligen Division

`5 / 2` hat Wert 2, `5 % 2` hat Wert 1.

- Es gilt

```
(-a)/b == -(a/b)
```

Division und Modulo

- Modulo-Operator berechnet Rest der ganzzahligen Division

  `5 / 2` hat Wert 2, `5 % 2` hat Wert 1.

- Es gilt

```
(-a)/b == -(a/b)
```

- Es gilt auch:

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

Division und Modulo

- Modulo-Operator berechnet Rest der ganzzahligen Division

  `5 / 2` hat Wert 2, `5 % 2` hat Wert 1.

- Es gilt

```
(-a)/b == -(a/b)
```

- Es gilt auch:

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

- Daraus lässt sich herleiten, welche Ergebnisse Division und Modulo mit negativen Zahlen ergeben (müssen)

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

```
expr = expr + 1.
```

Nachteile

- relativ lang

Inkrement und Dekrement

```
expr = expr + 1.
```

Nachteile

- relativ lang
- **expr** wird zweimal ausgewertet
  - Später: L-wertige Ausdrücke deren Auswertung „teuer“ ist

Inkrement und Dekrement

```
expr = expr + 1.
```

Nachteile

- relativ lang
- **expr** wird zweimal ausgewertet
  - Später: L-wertige Ausdrücke deren Auswertung „teuer“ ist
  - **expr** könnte einen Effekt haben (aber sollte nicht, siehe Richtlinie)

In-/Dekrement Operatoren

Post-Inkrement

```
expr++
```

Wert von `expr` wird um 1 erhöht, der **alte** Wert von `expr` wird (als R-Wert) zurückgegeben

In-/Dekrement Operatoren

Prä-Inkrement

```
++expr
```

Wert von `expr` wird um 1 erhöht, der **neue** Wert von `expr` wird (als L-Wert) zurückgegeben

In-/Dekrement Operatoren

Post-Dekrement

```
expr--
```

Wert von `expr` wird um 1 verringert, der **alte** Wert von `expr` wird (als R-Wert) zurückgegeben

In-/Dekrement Operatoren

Prä-Dekrement

```
--expr
```

Wert von **`expr`** wird um 1 verringert, der **neue** Wert von **`expr`** wird (als L-Wert) zurückgegeben

In-/Dekrement Operatoren

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

In-/Dekrement Operatoren

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

In-/Dekrement Operatoren

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

In-/Dekrement Operatoren

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

Arithmetische Zuweisungen

```
a += b
```

$\Leftrightarrow$

```
a = a + b
```

Arithmetische Zuweisungen

```
a += b
```

$\Leftrightarrow$

```
a = a + b
```

Analog für `-`, `*`, `/` und `%`

Binäre Zahlendarstellungen

Binäre Darstellung (Bits aus $\{0, 1\}$)

$$b_n b_{n-1} \dots b_1 b_0$$

entspricht der Zahl $b_n \cdot 2^n + \dots + b_1 \cdot 2^1 + b_0 \cdot 2^0$

Binäre Zahlendarstellungen

Binäre Darstellung (Bits aus $\{0, 1\}$)

$$b_n b_{n-1} \dots b_1 b_0$$

entspricht der Zahl $b_n \cdot 2^n + \dots + b_1 \cdot 2 + b_0$

Binäre Zahlendarstellungen

Binäre Darstellung (Bits aus $\{0, 1\}$)

$$b_n b_{n-1} \dots b_1 b_0$$

entspricht der Zahl $b_n \cdot 2^n + \dots + b_1 \cdot 2 + b_0$

```
101011
```

Binäre Zahlendarstellungen

Binäre Darstellung (Bits aus $\{0, 1\}$)

$$b_n b_{n-1} \dots b_1 b_0$$

entspricht der Zahl $b_n \cdot 2^n + \dots + b_1 \cdot 2 + b_0$

101011 entspricht **32+8+2+1**.

Binäre Zahlendarstellungen

Binäre Darstellung (Bits aus $\{0, 1\}$)

$$b_n b_{n-1} \dots b_1 b_0$$

entspricht der Zahl $b_n \cdot 2^n + \dots + b_1 \cdot 2 + b_0$

101011 entspricht **43**.

Binäre Zahlendarstellungen

Binäre Darstellung (Bits aus $\{0, 1\}$)

$$b_n b_{n-1} \dots b_1 b_0$$

entspricht der Zahl $b_n \cdot 2^n + \dots + b_1 \cdot 2 + b_0$

101011 entspricht **43**.

Hexadezimale Zahlen

Zahlen zur Basis 16. Darstellung

$$h_n h_{n-1} \dots h_1 h_0$$

entspricht der Zahl

$$h_n \cdot 16^n + \dots + h_1 \cdot 16 + h_0.$$

Schreibweise in C++: vorangestelltes **`0x`**

`0xff` entspricht **255**.

Hex Nibbles

hex	bin	dec
0	0000	0
1	**0001**	**1**
2	**0010**	**2**
3	0011	3
4	**0100**	**4**
5	0101	5
6	0110	6
7	0111	7
8	**1000**	**8**
9	1001	9
a	1010	10
b	1011	11
c	1100	12
d	1101	13
e	1110	14
f	1111	15

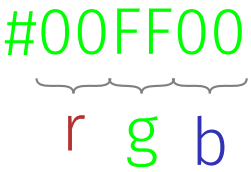
Wozu Hexadezimalzahlen?

- Ein Hex-Nibble entspricht **genau** 4 Bits.

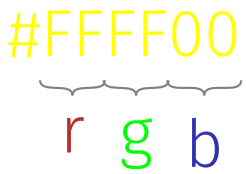
Wozu Hexadezimalzahlen?

- Ein Hex-Nibble entspricht **genau** 4 Bits.
- „Kompakte Darstellung von Binärzahlen“.

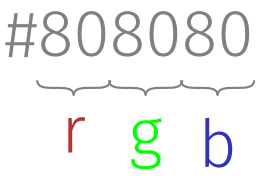
Beispiel: Hex-Farben



Beispiel: Hex-Farben



Beispiel: Hex-Farben



Beispiel: Hex-Farben

Wertebereich des Typs `int`

```
// 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`

```
// 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;
}
```

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

Wertebereich des Typs `int`

```
// 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;
}
```

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

Woher kommen diese Zahlen?

Wertebereich des Typs `int`

- Repräsentation mit B Bits. Wertebereich

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

Wertebereich des Typs `int`

- Repräsentation mit B Bits. Wertebereich

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

- Auf den meisten Plattformen $B = 32$

Wertebereich des Typs `int`

- Repräsentation mit B Bits. Wertebereich

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

- Für den Typ **`int`** garantiert C++ $B \geq 16$

Überlauf und Unterlauf

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

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

- Es gibt **keine Fehlermeldung!**

Der Typ `unsigned int`

- Wertebereich

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

- Alle arithmetischen Operationen 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
```

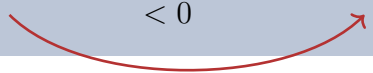
- Solche gemischten Ausdrücke sind vom „allgemeineren“ Typ `unsigned int`.
- `int`-Operanden werden **konvertiert** nach `unsigned int`.

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	$x + 2^B$



Dank cleverer Repräsentation (Zweierkomplement) muss intern gar nicht addiert werden

Zahlen mit Vorzeichen

Hinweis: Die verbleibenden Folien zur vorzeichenbehafteten Zahlendarstellung, dem Rechnen mit Binärzahlen sowie der Zweierkomplementdarstellung sind *nicht* klausurrelevant

Vorzeichenbehaftete Zahlendarstellung

- Soweit klar (hoffentlich): Binäre Zahlendarstellung ohne Vorzeichen, z.B.

$$[b_{31}b_{30}\dots b_0]_u \quad \widehat{=} \quad b_{31}\cdot 2^{31} + b_{30}\cdot 2^{30} + \dots + b_0$$

- Suche möglichst konsistente Lösung

> Die Darstellung mit Vorzeichen sollte möglichst viel mit der vorzeichenlosen Lösung „gemein haben“. Positive Zahlen sollten sich in beiden Systemen algorithmisch möglichst gleich verhalten.

Rechnen mit Binärzahlen (4 Stellen)

Einfache Addition

$$\begin{array}{r} 2 \\ +3 \\ \hline 5 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 0010 \\ +0011 \\ \hline 0101_2 \end{array} \quad = 5_{10}$$

Rechnen mit Binärzahlen (4 Stellen)

Einfache Subtraktion

$$\begin{array}{r} 5 \\ -3 \\ \hline 2 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 0101 \\ -0011 \\ \hline 0010_2 \end{array} \quad = 2_{10}$$

Rechnen mit Binärzahlen (4 Stellen)

Addition mit Überlauf

$$\begin{array}{rr} 7 & 0111 \\ +10 & +1010 \\ \hline 17 & (1)0001_2 \end{array} \quad = 1_{10} (= 17 \bmod 16)$$

Rechnen mit Binärzahlen (4 Stellen)

Subtraktion mit Unterlauf

$$\begin{array}{rr} 5 & 0101 \\ +(-10) & 1010 \\ \hline -5 & (\ldots 11)1011_2 \end{array} \quad = 11_{10} (= -5 \bmod 16)$$

Warum das funktioniert

Modulo-Arithmetik: Rechnen im Kreis[3]

[3] Die Arithmetik funktioniert auch mit Dezimalzahlen (und auch für die Multiplikation)

Negative Zahlen (3 Stellen)

	a	$-a$
0	000	
1	001	
2	010	
3	011	
4	100	
5	101	
6	110	
7	111	

Negative Zahlen (3 Stellen)

	a	$-a$	
0	000	000	0
1	001		
2	010		
3	011		
4	100		
5	101		
6	110		
7	111		

Negative Zahlen (3 Stellen)

	a	$-a$	
0	000	000	0
1	001	**111**	-1
2	010		
3	011		
4	100		
5	101		
6	110		
7	**111**		

Negative Zahlen (3 Stellen)

	a	$-a$	
0	000	000	0
1	001	111	-1
2	010	**110**	-2
3	011		
4	100		
5	101		
6	**110**		
7	111		

Negative Zahlen (3 Stellen)

	a	$-a$	
0	000	000	0
1	001	111	-1
2	010	110	-2
3	011	**101**	-3
4	100		
5	**101**		
6	110		
7	111		

Negative Zahlen (3 Stellen)

	a	$-a$	
0	000	000	0
1	001	111	-1
2	010	110	-2
3	011	101	-3
4	**100**	**100**	-4
5	101		
6	110		
7	111		

Negative Zahlen (3 Stellen)

	a	$-a$	
0	000	000	0
1	001	111	-1
2	010	110	-2
3	011	101	-3
4	100	100	-4
5	101		
6	110		
7	111		

Negative Zahlen (3 Stellen)

	a	$-a$	
0	000	000	0
1	001	111	-1
2	010	110	-2
3	011	101	-3
4	100	100	-4
5	101		
6	110		
7	111		

Das höchste Bit entscheidet über das Vorzeichen *und* es trägt zum Zahlwert bei.