

Arithmetische Datentypen

- **Ganzzahlige Datentypen mit Vorzeichen**

[signed] short [int], [signed] int oder signed, [signed] long [int]

Zahlbereich (short) \subset Zahlbereich (int) \subset Zahlbereich (long)

Zweierkomplementdarstellung (häufig verwendet):

<i>ganze Zahl</i>	<i>Darstellung</i>
$0 \leq z \leq 2^{n-1} - 1$	Dualdarstellung von z
$-2^{n-1} \leq z \leq -1$	Dualdarstellung von $z + 2^n$

- **Vorzeichenlose ganzzahlige Datentypen**

unsigned short [int], unsigned [int], unsigned long [int]

<i>ganze Zahl</i>	<i>Darstellung</i>
$0 \leq z \leq 2^n - 1$	Dualdarstellung von z

Addition, Subtraktion, Multiplikation werden modulo 2^n durchgeführt.

- **Ganzzahlliterale**

Sind immer ≥ 0 ; Vorzeichen gelten als Operatoren.

Dezimalschreibweise: Ziffernfolge ohne führende Null ggf. mit Suffix

<i>Suffix</i>	<i>Datentyp (gemäß Größe)</i>
keiner	int \rightarrow long
u,U	unsigned \rightarrow unsigned long
l,L	long \rightarrow unsigned long
ul,lu,Ul,lU	unsigned long
uL,Lu,UL,LU	unsigned long

Oktalschreibweise: Ziffernfolge aus 0-7 mit führender Null ggf. mit Suffix

<i>Suffix</i>	<i>Datentyp (gemäß Größe)</i>
keiner	int \rightarrow unsigned \rightarrow long \rightarrow unsigned long
u,l,ul,...	wie bei der Dezimalschreibweise

Hexadezimalschreibweise: Ziffernfolge aus 0-9,a-f,A-F mit führendem 0x,0X ggf. mit Suffix

Bedeutung der Suffixe wie in der Oktalschreibweise.

- **Kenngößen der Ganzzahlarithmetik (Auszug aus <limits>)**

Zahlbereich: $[\min, \max] \cap \mathbb{Z}$

<i>Kenngöße</i>	<i>typischer Wert¹ für int</i>	<i>typ. Wert¹ für unsigned</i>	<i>Bedeutung</i>
min()	-2147483648	0	min
max()	2147483647	4294967295	max
is_signed	true	false	vorzeichenbehaftet
is_modulo	true	true	keine Überlaufbehandlung

Diese Kenngößen befindet sich für den Datentyp T jeweils in der Klasse `numeric_limits<T>`, daher erfolgt der Zugriff mittels `numeric_limits<T>::Kenngöße`.

Bsp.: `numeric_limits<int>::max()` liefert den Wert der größten int-Zahl.

¹z.B. g++-9.4 unter Ubuntu Linux 20.04 (amd64)

• **Gleitpunktdatentypen**

float, double, long double

Zahlbereich (float) \subset Zahlbereich (double) \subset Zahlbereich (long double)

Gleitpunktdatentypen bei g++-7.5: Bitmuster

s	e	f
---	---	---

 (N_e : Bitzahl des Exp.felds)

<i>Wert</i>	<i>Bereich</i>	<i>Bemerkung</i>
$x = (-1)^s \cdot 1.f \cdot 2^{e-E}$	$0 < e < 2^{N_e} - 1$	normalisierte Gleitpunktzahl
$x = (-1)^s \cdot 0.f \cdot 2^{e-E+1}$	$e = 0, f \neq 0$	subnormale Gleitpunktzahl
$x = \pm 0$	$e = 0, f = 0$	Null mit Vorzeichen
$x = \pm \infty$	$e = 2^{N_e} - 1, f = 0$	unendlich mit Vorzeichen
$x = \text{NaN}$	$e = 2^{N_e} - 1, f \neq 0$	“not a number“

<i>Datentyp</i>	<i>Entsprechung</i>	N_s	N_e	N_f	E
float	IEEE-single	1	8	23	127
double	IEEE-double	1	11	52	1023
long double ²	IEEE-binary128	1	15	112	16383

• **Gleitpunktliterale** (Schreibweise im Programmtext)

Immer ≥ 0 ; Vorzeichen gelten als Operatoren.

Dezimale Festpunkt- oder Exponentialschreibweise ggf. mit Suffix.

(Ganzzahliger Teil oder Bruchteil darf fehlen).

<i>Suffix</i>	<i>Datentyp</i>
f, F	float
—	double
l, L	long double

• **Kenngrößen der Gleitpunktarithmetik (Auszug aus <limits>)**

Normalisierte Maschinenzahl $\neq 0$ (NMZ):

$$x = (-1)^s \cdot B^e \cdot \sum_{i=1}^t z_i B^{-i} \quad z_1 \neq 0, \quad z_i \in \{0, \dots, B-1\}, \quad e_{\min} \leq e \leq e_{\max}$$

<i>Kenngröße</i>	<i>Wert für float¹</i>	<i>Wert für double¹</i>	<i>Bedeutung</i>
radix	2	2	B
digits	24	53	t
digits10	6	15	dezimale Genauigkeit
min_exponent	-125	-1021	e_{\min}
max_exponent	128	1024	e_{\max}
denorm_min()	$1.4 \cdot 10^{-45}$	$4.9 \cdot 10^{-324}$	kleinste positive MZ
min()	$1.2 \cdot 10^{-38}$	$2.2 \cdot 10^{-308}$	kleinste positive NMZ
max()	$3.4 \cdot 10^{38}$	$1.8 \cdot 10^{308}$	größte NMZ
epsilon()	$1.2 \cdot 10^{-7}$	$2.2 \cdot 10^{-16}$	$\min\{x : x \text{ MZ}, x > 1\} - 1$
infinity()			∞
quiet_NaN()			NaN

Bsp.: numeric_limits<double>::infinity() liefert den Wert ∞ als double-Zahl.

²Oft nicht als IEEE-binary128 implementiert, dadurch reduzierte Mantissenlänge, z.B. 64 Bit statt 112 Bit
³gemäß IEEE-754

• **Arithmetische Ausdrücke**

Seiteneffekte

Ausdrücke in C++ besitzen in der Regel einen Wert. Bei der Auswertung eines Ausdrucks können zusätzlich Seiteneffekte eintreten. Im folgenden sei v eine ganzzahlige oder Gleitpunktvariable, v_0 ihr Wert *vor* Ausführung des ++- bzw. --Operators und a sei ein Ausdruck mit Wert a_0 .

<i>Ausdruck</i>	<i>Wert</i>	<i>Seiteneffekt</i>
$v++$	v_0	v um 1 erhöhen
$v--$	v_0	v um 1 erniedrigen
$++v$	v_0+1	v um 1 erhöhen
$--v$	v_0-1	v um 1 erniedrigen
$v=a$	a_0	Zuweisung von a_0 an v

Bsp.:

```
int i=5,j=5,k;
k=i++; /* i=6, k=5 */
k=++j; /* j=6, k=6 */
```

Die Seiteneffekte sind eingetreten, wenn die Ausdrucksanweisung beendet ist. Jede Variable darf in einer Ausdrucksanweisung nur einmal modifiziert werden, andernfalls ist das Ergebnis undefiniert (z.B. $j=i++i--$).

Syntaktisch unzulässig ist die mehrfache Anwendung des Postfixinkrement/dekrement-Operators auf eine Variable (z.B. $i++++$) und die Zuweisung an postfixinkrementierte/dekrementierte Variablen (z.B. $i++=j$).

Assoziativität

Klammerung, Operatorvorrang und Assoziativität bestimmen die Bildung von Teilausdrücken, jedoch wird die Auswertungsreihenfolge dadurch *nicht* festgelegt. Der Übersetzer darf Kommutativ- und Assoziativgesetze nur dann anwenden, wenn die Maschinenoperationen sie auch erfüllen.

Bsp.:

```
#include <limits>
using namespace std;
:
double eps=numeric_limits<double>::epsilon();
1.0 + eps/2 - 1.0 ; /* Ergebnis: 0 */
1.0 - 1.0 + eps/2 ; /* Ergebnis: eps/2 */
```

Vorzeichen

Die Anwendung des einwertigen Plus/Minusoperators kann bereits implizite Typumwandlungen bewirken (s.u.). Klammerung ist nicht unbedingt nötig; $+a$ ist gleichbedeutend mit $(0+a)$.

Bsp.:

```
int i=5,j=2,k;
k=i*-j; /* gleichbedeutend mit k=i*(-j); */
k=--i; /* i=4, (j=2), k=4 */
k=- -j; /* (i=4), j=2, k=2 */
k=-i++; /* i=5, (j=2), k=-4 */
k=-+i-++j; /* i=5, j=3, k=-8 */
k=i+++++j; /* ? */
```

Division und Rest

Bei ganzzahligen (typgleichen) Operanden gilt

$i/j = \left\lfloor \frac{i}{j} \right\rfloor$ falls $i \geq 0, j > 0$), sonst implementierungsabhängig

$i\%j = i - (i/j)*j$

Bsp.:

```
int i; double x;
i=9/4; /* i=2 */
i=9%4; /* i=1 */
x=9.0/4; /* x=2.25 */
x=9/4; /* x=2.0 */
```

Zuweisungen

Zuweisungen sind rechtsassoziativ, Mehrfachzuweisungen sind möglich.

Bsp.:

```
double x,y,z,a=5;
x=y=z=a; /* gleichbedeutend mit x=(y=(z=a)) */
x+=y; /* gleichbedeutend mit x=x+y (analog fuer -,*,/,%) */
x*=y+5; /* gleichbedeutend mit x=x*(y+5), nicht mit x=x*y+5 */
```

- **Implizite arithmetische Typumwandlungen (ohne Zuweisung)**

Binäre Operatoren

Ziel: Umwandlung eines oder beider Operanden in denselben Datentyp, der auch Ergebnistyp ist.

1. Fall: Mindestens ein Gleitpunktoperand

Ergebnistyp ist der längste beteiligte Gleitpunktoperand; der andere Operand wird in diesen umgewandelt.

Bsp.:

```
double x;
x=1/2*0.5; /* x=0.0 */
x=0.5*1/2; /* x=0.25 */
```

2. Fall: Nur ganzzahlige Operanden

Zunächst Umwandlung kürzerer Datentypen als `int` in den Datentyp `int`, sofern `int` alle Werte des kürzeren Datentyps darstellen kann. Andernfalls Umwandlung in `unsigned int`. („Integererweiterung“)

Ergebnistyp ist dann der „größte“ vorkommende Datentyp unter Zugrundelegung der Ordnung `int < unsigned < long < unsigned long` (bzw. `unsigned long`, falls `long` nicht alle Werte von `unsigned` darstellen kann). Der andere Operand wird in den Ergebnistyp umgewandelt.

Unäre Operatoren (Vorzeichen)

Integererweiterung des Operanden.