
Einführung in die Programmierung für Physiker

Die Programmiersprache C – Datentypen, Operatoren, Ausdrücke

Marc Wagner

Institut für theoretische Physik
Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main

WS 2019/20

Terminologie

- **Konstanten:** Z.B. **3**, **114.0**, **-5.7**, ...; nicht veränderbar.
- **Variablen:** Veränderbar; müssen vor ihrer Verwendung **definiert** werden, z.B. **int a**; **double xyz**; ... (dabei wird ihr **Datentyp** [z.B. **int**, **double**, ...] festgelegt).
- **Operatoren:** Z.B. **+**, **-**, *****, **/**, ...; verknüpfen Konstanten und/oder Variablen, produzieren dabei neue Werte.
- Der Datentyp einer Konstante/Variable legt ihren Wertebereich fest und auch, mit welchen Operatoren sie kombiniert werden kann.
- **Ausdrücke:** Kombinationen von Konstanten, Variablen und Operatoren, z.B. **a + 3**, **(xyz / a) * 7.0**, **1.0 - 2.3**, ...

Variablennamen

- Variablennamen bestehen aus Buchstaben (Groß- und Kleinschreibung wird unterschieden; "_" zählt als Buchstabe) und Ziffern.
- Variablennamen müssen mit einem Buchstaben beginnen.
- **Reservierte Worte** (z.B. **if**, **else**, **while**, ...) sind als Variablennamen verboten.
- Beispiele für Variablennamen: **a**, **b**, **i1**, **i2**, **i3**, **z34Ubr3__v**, **h_bar**, **x_square**, ...
- Insbesondere bei umfangreichen Programmcodes empfiehlt sich eine im Wesentlichen selbsterklärende Namensgebung (z.B. **h_bar**, **x_square**, ...).

Datentypen

Integer-Datentypen

- Standard Integer-Datentyp ist **int**:
 - Integer-Zahlen werden im Computer in Form von **Bits** ("0" oder "1") gespeichert; 1 **Byte** besteht aus 8 Bits.
 - Die Anzahl der für einen Integer-Wert verwendeten Bits ist maschinenabhängig; mindestens 16, häufig 32 Bits (4 Bytes); bei z.B. 32 Bits sind $2^{32} = 4294967296$ verschiedene ganze Zahlen darstellbar, von -2^{31} bis $2^{31}-1$.
 - In den meisten Fällen ist die Anzahl der verwendeten Bits und damit der Wertebereich ohne Bedeutung; falls doch von Bedeutung, kann der Wertebereich mit Hilfe von **limits.h** festgestellt werden.
 - **limits.h**:

```
79. ...
80. /* Minimum and maximum values a `signed int' can hold. */
81. # define INT_MIN      (-INT_MAX - 1)
82. # define INT_MAX      2147483647
83.
84. /* Maximum value an `unsigned int' can hold. (Minimum is 0.) */
85. # define UINT_MAX     4294967295U
86. ...
```

- **Beispiel**: Abfrage des Wertebereichs von **int** ...

```
1. #include<limits.h>
2. #include<stdio.h>
3. #include<stdlib.h>
4.
5. int main(void)
6. {
7.     printf("Wertebereich von int: %d ... %d\n", INT_MIN, INT_MAX);
8.
9.     if(INT_MAX < 3000000000)
10.    {
11.        printf("Fehler: Kaufen Sie sich einen besseren Computer!\n");
12.        exit(0);
13.    }
14.
15.    // Ab hier dann das eigentliche Programm ...
16. }
```

```
Wertebereich von int: -2147483648 ... 2147483647
Fehler: Kaufen Sie sich einen besseren Computer!
```

- Analog aber weniger häufig verwendet:
 - **short** (mindestens 16 Bits, darf nicht mehr Bits besitzen als **int**).
 - **long** (mindestens 32 Bits, darf nicht weniger Bits besitzen als **int**).

```
1. #include<limits.h>
2. #include<stdio.h>
3.
4. int main(void)
5. {
6.     printf("Wertebereich von short: %d ... %d\n", SHRT_MIN, SHRT_MAX);
7.
8.     // Verwendung von short analog zu int.
9.     short a;
10.    a = 17;
11.    printf("a = %d\n", a);
12. }
```

```
Wertebereich von short: -32768 ... 32767
a = 17
```

- Für Zeichen verwendet man in der Regel den Datentyp **char**:
 - 8 Bits (1 Byte), damit 256 ganze Zahlen bzw. 256 unterschiedliche Zeichen darstellbar.
 - **ASCII** (American Standard Code for Information Interchange), z.B. <http://www.asciitable.com/>.

Dec	Hx	Oct	Char	Dec	Hx	Oct	Html	Chr	Dec	Hx	Oct	Html	Chr	Dec	Hx	Oct	Html	Chr
0	0	000	NUL (null)	32	20	040	Space		64	40	100	0		96	60	140		
1	001	SOH (start of heading)	33	21	041	!			65	41	101	A		97	61	141	a	
2	002	STX (start of text)	34	22	042	"			66	42	102	B		98	62	142	b	
3	003	ETX (end of text)	35	23	043	#			67	43	103	C		99	63	143	c	
4	004	EOF (end of transmission)	36	24	044	\$			68	44	104	D		100	64	144	d	
5	005	ENQ (enquiry)	37	25	045	%			69	45	105	E		101	65	145	e	
6	006	ACK (acknowledge)	38	26	046	&			70	46	106	F		102	66	146	f	
7	007	BEL (bell)	39	27	047	'			71	47	107	G		103	67	147	g	
8	010	BS (backspace)	40	28	050	(			72	48	110	H		104	68	150	h	
9	011	TAB (horizontal tab)	41	29	051	)			73	49	111	I		105	69	151	i	
10	A	012	LF (NL line feed, new line)	42	2A	052	*		74	4A	112	J		106	6A	152	j	
11	B	013	VT (vertical tab)	43	2B	053	+		75	4B	113	K		107	6B	153	k	
12	C	014	FF (NP form feed, new page)	44	2C	054	,		76	4C	114	L		108	6C	154	l	
13	D	015	CR (carriage return)	45	2D	055	-		77	4D	115	M		109	6D	155	m	
14	E	016	SO (shift out)	46	2E	056	.		78	4E	116	N		110	6E	156	n	
15	F	017	SI (shift in)	47	2F	057	/		79	4F	117	O		111	6F	157	o	
16	10	020	DLE (data link escape)	48	30	060	0		80	50	120	P		112	70	160	p	
17	11	021	DC1 (device control 1)	49	31	061	1		81	51	121	Q		113	71	161	q	
18	12	022	DC2 (device control 2)	50	32	062	2		82	52	122	R		114	72	162	r	
19	13	023	DC3 (device control 3)	51	33	063	3		83	53	123	S		115	73	163	s	
20	14	024	DC4 (device control 4)	52	34	064	4		84	54	124	T		116	74	164	t	
21	15	025	NAK (negative acknowledge)	53	35	065	5		85	55	125	U		117	75	165	u	
22	16	026	SYN (synchronous idle)	54	36	066	6		86	56	126	V		118	76	166	v	
23	17	027	ETB (end of trans. block)	55	37	067	7		87	57	127	W		119	77	167	w	
24	18	030	CAN (cancel)	56	38	070	8		88	58	130	X		120	78	170	x	
25	19	031	EM (end of medium)	57	39	071	9		89	59	131	Y		121	79	171	y	
26	1A	032	SUB (substitute)	58	3A	072	:		90	5A	132	Z		122	7A	172	z	
27	1B	033	ESC (escape)	59	3B	073	;		91	5B	133	[		123	7B	173	{	
28	1C	034	FS (file separator)	60	3C	074	<		92	5C	134	\		124	7C	174	|	
29	1D	035	GS (group separator)	61	3D	075	=		93	5D	135	]		125	7D	175	}	
30	1E	036	RS (record separator)	62	3E	076	>		94	5E	136	^		126	7E	176	~	
31	1F	037	US (unit separator)	63	3F	077	?		95	5F	137	_		127	7F	177	DEL	

Source: www.LookupTables.com

```

1. #include<stdio.h>
2.
3. int main(void)
4. {
5.     printf("%d %c\n", 65, 65);
6.     printf("%d %c\n", 66, 66);
7.
8.     printf("%d %c\n", 'C', 'C');
9.
10. char c1 = 'D';
11. printf("%d %c\n", c1, c1);
12. }

```

```

65 A
66 B
67 C
68 D

```

- Die Integer-Datentypen existieren auch vorzeichenlos, z.B. **unsigned int**, **unsigned short**, ...:
 - Der Wertebereich von z.B. **unsigned int** bei 32 Bits ist $0 \dots 2^{32}-1 = 4294967295$.

```

1. #include<stdio.h>
2.
3. int main(void)
4. {
5.     unsigned int ui;
6.
7.     ui = 27;
8.     printf("ui = %u\n", ui);
9.
10.    ui = -1;
11.    printf("ui = %u\n", ui);
12. }

```

```

ui = 27
ui = 4294967295

```

Gleitkomma-Datentypen

- Gleitkomma-Datentypen sind **float**, **double** (präziser als **float**, am häufigsten verwendet) und **long double** (präziser als **double**):
- Gleitkomma-Zahlen werden im Computer ebenfalls in Form von Bits gespeichert:
 - Vorzeichen S (1 Bit, z.B. $0 = +$, $1 = -$).
 - Mantisse (m_1, m_2, \dots) (mehrere Bits; bei **double** häufig 52 Bits; **double**-Werte sind damit auf etwa 16 Dezimalstellen genau).
 - Exponent E (ganze Zahl, mehrere Bits; bei **double** häufig 11 Bits; damit können **double**-Werte der Größenordnung $10^{-308} \dots 10^{308}$ dargestellt werden).
 - Umrechnung dieser Bits in eine reelle Zahl (im Prinzip) gemäß $S \times M \times 2^E$, wobei $M = 1 + \sum_{n=1}^{\dots} m_n (1/2)^n$ (für Details siehe Informatik- oder Numerik-Bücher).
 - Die meisten reellen Zahlen lassen sich nicht exakt durch Gleitkomma-Zahlen darstellen; es wird die nächstliegende Gleitkomma-Zahl verwendet, was zu Rundungsfehlern führt.**

- Der Wertebereich und die Genauigkeit (maschinenabhängig) kann mit Hilfe von **float.h** festgestellt werden.

```
1. #include<float.h>
2. #include<stdio.h>
3.
4. int main(void)
5. {
6.     printf("Genauigkeit in Dezimalziffern (float) = %d\n", FLT_DIG);
7.     printf("Kleinster Wert x, fuer den 1.0 + x ungleich 1.0 gilt (float) = %e\n", FLT_EPSILON);
8.     printf("Maximaler Wert (float) = %e\n", FLT_MAX);
9.
10.    printf("Genauigkeit in Dezimalziffern (double) = %d\n", DBL_DIG);
11.    printf("Kleinster Wert x, fuer den 1.0 + x ungleich 1.0 gilt (double) = %e\n", DBL_EPSILON);
12.    printf("Maximaler Wert (double) = %e\n", DBL_MAX);
13. }
```

```
Genauigkeit in Dezimalziffern (float) = 6
Kleinster Wert x, fuer den 1.0 + x ungleich 1.0 gilt (float) = 1.192093e-07
Maximaler Wert (float) = 3.402823e+38
Genauigkeit in Dezimalziffern (double) = 15
Kleinster Wert x, fuer den 1.0 + x ungleich 1.0 gilt (double) = 2.220446e-16
Maximaler Wert (double) = 1.797693e+308
```

Konstanten

Numerische Konstanten

- Numerische Konstanten werden wie im folgenden Beispiel geschrieben.

```
1. #include<stdio.h>
2.
3. int main(void)
4. {
5.     int i1 = -115;
6.     unsigned int ui1 = 56u;
7.     unsigned int ui2 = 56U;
8.
9.     long l1 = -115L;
10.    long l2 = -115L;
11.    unsigned long ul1 = 56uL;
12.    unsigned long ul2 = 56UL;
13.
14.    // *****
15.
16.    char c1 = 65; // Wert von "A" im ASCII-Zeichensatz.
17.    char c2 = 'A';
18.
19.    // *****
20.
21.    double d1 = 123.0;
22.    double d2 = 1.23e+2;
23.    double d3 = 12300.0e-2;
24.
25.    float f1 = 123.0f;
26.    float f2 = 123.0F;
27.
28.    long double ld1 = 123.0L;
29.    long double ld2 = 123.0L;
30. }
```

- Wichtig ist vor allem der Dezimalpunkt bzw. "e" bei Gleitkommakonstanten.
- Vorsicht! Häufige Fehlerquelle ...**
Dezimalpunkt vergessen ... z.B. $7/2$ (ergibt **3**, da im Raum der ganzen Zahlen gerechnet wird) an Stelle von $7.0/2.0$ (ergibt **3.5**).

```
1. #include<stdio.h>
2.
3. int main(void)
4. {
5.     double d1;
6.
7.     d1 = 7/2;
8.     printf("d1 = %f\n", d1);
9.
10.    d1 = 7.0/2.0;
11.    printf("d1 = %f\n", d1);
12. }
```

```
d1 = 3.000000
d1 = 3.500000
```

Symbolische Konstanten

- Mit `#define name constant` lassen sich aussagekräftige Namen für Konstanten definieren, sogenannte **symbolische Konstanten**.
- Bei `name` handelt es sich nicht um eine Variable; man kann `name` z.B. keinen neuen Wert zuweisen.
- Symbolische Konstanten verbessern die Lesbarkeit von Programmcode.
- Symbolische Konstanten erlauben eine komfortable und wenig fehleranfällige Veränderung des numerischen Werts einer Konstante (auch wenn die Konstante mehrmals verwendet wird, muss der Programmcode nur an einer Stelle verändert werden).

```
1. #include<stdio.h>
```

```

2.
3. // Ortsfaktor in N/kg (auf der Erde).
4. #define ORTSFAKTOR_G 9.81
5.
6. int main(void)
7. {
8.     double m = 2.0; // Raketenmasse in kg.
9.     printf("Auf die Rakete wirkende Schwerkraft: %f N\n", m * ORTSFAKTOR_G);
10. }

```

Auf die Rakete wirkende Schwerkraft: 19.620000 N

```

2. ...
3. // Ortsfaktor in N/kg (auf dem Mond).
4. #define ORTSFAKTOR_G 1.57
5. ...

```

Auf die Rakete wirkende Schwerkraft: 3.140000 N

Aufzählungskonstanten

- Sollen mehrere Integer-Konstanten, z.B. **0**, **1**, **2**, ..., mit Namen verknüpft werden, bieten sich **Aufzählungskonstanten** an.

```

1. #include<stdio.h>
2.
3. int main(void)
4. {
5.     // Die Aufzaehlungskonstanten MO, DI, ..., SO werden definiert; sie sind vom
6.     // Datentyp "enum wochentag" = int.
7.     enum wochentag { MO, DI, MI, DO, FR, SA, SO };
8.
9.     printf("MO = %d, DI = %d, MI = %d, ...\n", MO, DI, MI);
10.
11.    // *****
12.
13.    enum wochentag wt = DO;
14.
15.    printf("Uni-Termine heute:\n");
16.
17.    if(wt == DO)
18.    {
19.        printf("08:15-09:45  PPROG-Uebung bei Alessandro.\n");
20.        printf("14:15-15:45  PPROG-Vorlesung.\n");
21.    }
22.    else
23.    {
24.        printf("Keine wichtigen Veranstaltungen.\n");
25.    }
26. }

```

```

MO = 0, DI = 1, MI = 2, ...
Uni-Termine heute:
08:15-09:45  PPROG-Uebung bei Alessandro.
14:15-15:45  PPROG-Vorlesung.

```

- Der "neu eingeführte Datentyp" **enum wochentag** ist äquivalent zu **int**; der folgende Programmcode ist damit äquivalent zum obigen.

```

1. #include<stdio.h>
2.
3. int main(void)
4. {
5.     // Die Aufzaehlungskonstanten MO, DI, ..., SO werden definiert.
6.     enum { MO, DI, MI, DO, FR, SA, SO };
7.
8.     printf("MO = %d, DI = %d, MI = %d, ...\n", MO, DI, MI);
9.
10.    // *****
11.
12.    int wt = DO;
13.
14.    printf("Uni-Termine heute:\n");
15.
16.    if(wt == DO)
17.    {
18.        printf("08:15-09:45  PPROG-Uebung bei Alessandro.\n");
19.        printf("14:15-15:45  PPROG-Vorlesung.\n");

```

```
20. }
21. else
22. {
23.     printf("Keine wichtigen Veranstaltungen.\n");
24. }
25. }
```

Definition von Variablen

- Variablen müssen vor ihrer Verwendung definiert werden; dabei wird der Name und der Datentyp der Variable festgelegt.
- Variablen können direkt bei ihrer Definition mit einem Wert **initialisiert** werden.

```
1. ...
2. int a; // Definition einer int-Variablen.
3. int b, c, d; // Definition mehrerer int-Variablen.
4. int e = 27; // Definition und Initialisierung einer int-Variablen.
5. ...
```

- **Vorsicht! Häufige Fehlerquelle ...**

Initialisierung einer Variable vergessen (im folgenden Beispiel **m_neutron**) ... liefert falsche, "zufällige" Ergebnisse.

```
1. #include<stdio.h>
2.
3. int main(void)
4. {
5.     double m_proton, m_neutron, m_electron;
6.
7.     m_proton = 938.272; // Masse des Protons in MeV/c^2.
8.     m_electron = 0.510999; // Masse des Elektrons in MeV/c^2.
9.
10.    double m_Helium_constituents = 2.0*m_proton + 2.0*m_neutron + 2.0*m_electron;
11.
12.    printf("Konstituentenmasse des Helium-Atoms: %f MeV/c^2.\n", m_Helium_constituents);
13. }
```

```
Konstituentenmasse des Helium-Atoms: 1877.565998 MeV/c^2.
```

- Mit **const** können unveränderbare Variablen (also Konstanten) definiert werden (ähnlich, aber nicht identisch zu **#define**).

```
1. #include<stdio.h>
2.
3. int main(void)
4. {
5.     const double pi = 3.1415;
6.     printf("pi = %f\n", pi);
7. }
```

```
pi = 3.141500
```

```
1. #include<stdio.h>
2.
3. int main(void)
4. {
5.     const double pi = 3.1415;
6.     printf("pi = %f\n", pi);
7.
8.     pi = 3.141592;
9. }
```

```
mwagner@laptop-tigger:~/Lecture_ProgPhys/slides/tmp$ g++ -o pi_const pi_const.c
pi_const.c: In Funktion "int main()":
pi_const.c:8:8: Fehler: Zuweisung der schreibgeschützten Variable "pi"
```

Operatoren

Unäre arithmetische Operatoren

Operator/Ausdruck	Beschreibung
+a	plus a
-a	minus a

Binäre arithmetische Operatoren

Operator/Ausdruck	Beschreibung
a + b	a plus b
a - b	a minus b
a * b	a mal b
a / b	a geteilt durch b
a % b	a modulo b (Anwendung nur auf positive Integer-Ausdrücke)

```
1. #include<stdio.h>
2.
3. int main(void)
4. {
5.     printf("23 / 5 = %d, Rest %d\n", 23 / 5, 23 % 5);
6. }
```

```
23 / 5 = 4, Rest 3
```

Vergleichsoperatoren

Operator/Ausdruck	Beschreibung
a == b	Ist a gleich b ?
a != b	Ist a ungleich b ?
a < b	Ist a kleiner b ?
a > b	Ist a größer b ?
a <= b	Ist a kleiner oder gleich b ?
a >= b	Ist a größer oder gleich b ?

- Vergleiche liefern "1" bei Antwort "ja" ("true"), "0" bei Antwort "nein" ("false"), sogenannte **logische Ausdrücke**.

```
1. #include<stdio.h>
2.
3. int main(void)
4. {
5.     printf("7 > 2 --> %d\n", 7 > 2);
6.     printf("3 == 4 --> %d\n", 3 == 4);
7. }
```

```
7 > 2 --> 1
3 == 4 --> 0
```

Logische Operatoren

- Anwendung nur auf logische Ausdrücke.

Operator/Ausdruck	Beschreibung
a && b	logisches "und"; "1", wenn a ungleich "0" (also "true") und b ungleich "0" (also "true"); "0" sonst; b wird nur ausgewertet, falls a ungleich "0" (also "true") ist
a || b	logisches "oder"; "1", wenn a ungleich "0" (also "true") oder b ungleich "0" (also "true"); "0" sonst; b wird nur ausgewertet, falls a gleich "0" (also "false") ist
!a	logische "Negation"; "1", wenn a gleich "0" (also "false"); "0" sonst

```

1. #include<stdio.h>
2.
3. int main(void)
4. {
5.     printf("(7 > 2) && (3 == 4) --> %d\n", (7 > 2) && (3 == 4));
6.     printf("(7 > 2) || (3 == 4) --> %d\n", (7 > 2) || (3 == 4));
7.     printf("!0 --> %d , !1 --> %d\n", !0, !1);
8. }

```

```

(7 > 2) && (3 == 4) --> 0
(7 > 2) || (3 == 4) --> 1
!0 --> 1 , !1 --> 0

```

- Zur Erinnerung: Logische Ausdrücke (Vergleiche und Kombinationen von logischen Operatoren und Vergleichen) werden in Kontrollstrukturen verwendet, z.B.
 - `if(expr){...}else{...}`,
 - `while(expr){...}`,
 - `for(...; expr; ...){...}`.

```

1. ...
2. if((x > 3) && (x < 7))
3. {
4.     ...
5. }
6. else
7. {
8.     ...
9. }
10. ...

```

```

1. ...
2. while( !((x == 2) || (y != z)) )
3. {
4.     ...
5. }
6. ...

```

```

1. ...
2. for(i = 0; i < 10; i = i+1)
3. {
4.     ...
5. }
6. ...

```

Operatoren zur Bit-Manipulation

- Anwendung nur auf Integer-Ausdrücke.

Operator/Ausdruck	Beschreibung
<code>a & b</code>	"und"-Verknüpfung von Bits
<code>a | b</code>	"oder"-Verknüpfung von Bits
<code>a ^ b</code>	"exclusive oder"-Verknüpfung von Bits
<code>~a</code>	Bit-Komplement
<code>a << b</code>	Bit-Verschiebung nach links
<code>a >> b</code>	Bit-Verschiebung nach rechts

```

1. #include<stdio.h>
2.
3. int main(void)
4. {
5.     int a = 6; // Entspricht der Bitfolge ...000110.
6.     int b = 20; // Entspricht der Bitfolge ...010100.
7.
8.     printf("a & b = %d\n", a & b);
9.     printf("a | b = %d\n", a | b);
10.
11.    printf("a >> 1 = %d\n", a >> 1);
12.    printf("a >> 2 = %d\n", a >> 2);
13.    printf("a >> 3 = %d\n", a >> 3);
14. }

```

```
a & b = 4
a | b = 22
a >> 1 = 3
a >> 2 = 1
a >> 3 = 0
```

Zuweisungsoperatoren

Operator/Ausdruck	Beschreibung
a = b	der Variable a wird der Wert von b zugewiesen; der Wert des Ausdrucks ist der zugewiesene Wert
a op= b	$op \in \{+, -, *, /, \%, \&, |, ^, \ll, \gg\}$; äquivalent zu a = (a) op (b)

```
1. #include<stdio.h>
2.
3. int main(void)
4. {
5.     double x;
6.
7.     printf("(x = 5.0) = %f\n", x = 5.0);
8.
9.     x += 2.5;
10.    printf("x = %f\n", x);
11.
12.    printf("(x /= 2.5) = %f\n", x /= 2.5);
13.    printf("x = %f\n", x);
14. }
```

```
(x = 5.0) = 5.000000
x = 7.500000
(x /= 2.5) = 3.000000
x = 3.000000
```

Inkrement- und Dekrement-Operatoren

- Anwendung nur auf einzelne Variablen.

Operator/Ausdruck	Beschreibung
a++	der Wert dieses Ausdrucks ist der ursprüngliche Wert von a ; a wird um 1 erhöht
++a	a wird um 1 erhöht; der Wert dieses Ausdrucks ist der neue Wert von a (äquivalent zu a = a+1)
a--	der Wert dieses Ausdrucks ist der ursprüngliche Wert von a ; a wird um 1 erniedrigt
--a	a wird um 1 erniedrigt; der Wert dieses Ausdrucks ist der neue Wert von a (äquivalent zu a = a-1)

```
1. #include<stdio.h>
2.
3. int main(void)
4. {
5.     int a;
6.
7.     a = 7;
8.     printf("a++ = %d\n", a++);
9.     printf("a = %d\n", a);
10.
11.    a = 7;
12.    printf("++a = %d\n", ++a);
13.    printf("a = %d\n", a);
14.
15.    a = 7;
16.    printf("(a = a+1) = %d\n", a = a+1);
17.    printf("a = %d\n", a);
18. }
```

```
a++ = 7
a = 8
++a = 8
a = 8
(a = a+1) = 8
a = 8
```

Bedingter Ausdruck

Operator/Ausdruck	Beschreibung
-------------------	--------------

a ? b : c

falls der logische Ausdruck **a** "true" ist (also ein Integer-Wert ungleich 0), wird **b** berechnet und dessen Wert ist der Wert des bedingten Ausdrucks, sonst wird **c** berechnet und dessen Wert ist der Wert des bedingten Ausdrucks; sind **b** und **c** von verschiedenem Datentyp, finden die unten diskutierten Regeln zur Umwandlung von Datentypen Anwendung

```
1. #include<stdio.h>
2.
3. int main(void)
4. {
5.     double x, y;
6.
7.     // (x > y) ? x : y entspricht max(x,y).
8.
9.     x = 4.0;
10.    y = 5.5;
11.    printf("(x > y) ? x : y = %f\n", (x > y) ? x : y);
12.
13.    x = 3.2;
14.    y = 1.4;
15.    printf("(x > y) ? x : y = %f\n", (x > y) ? x : y);
16. }
```

```
(x > y) ? x : y = 5.500000
(x > y) ? x : y = 3.200000
```

Umwandlung von Datentypen

- Sind die Operanden eines Operators wie z.B. `+` oder `=` von unterschiedlichem Datentyp, findet eine automatische **Typumwandlung** statt.
- In der Regel findet eine Umwandlung in den Datentyp statt, der den größeren Wertebereich besitzt; z.B. bei Addition eines **int**-Werts und eines **double**-Werts ist das Ergebnis vom Datentyp **double**.
- Bei Zuweisungsoperatoren wie z.B. `=` oder `+=` wird der Wert auf der rechten Seite in den Datentyp der Variable auf der linken Seite umgewandelt.
- Wird ein Gleitkomma-Wert in einen Integer-Wert umgewandelt (z.B. bei einer Zuweisung), werden die Ziffern nach dem Dezimalpunkt ignoriert.

```
1. #include<stdio.h>
2.
3. int main(void)
4. {
5.     int i;
6.     double x;
7.
8.     i = 3;
9.     x = 7.5;
10.    printf("i + x = %f\n", i + x); // Umwandlung von int in double: 3 --> 3.0.
11.
12.    i = 4.25;
13.    printf("i = %d\n", i); // Umwandlung von double in int: 4.25 --> 4.
14.    i = 4.75;
15.    printf("i = %d\n", i); // Umwandlung von double in int: 4.75 --> 4.
16.    i = -4.25;
17.    printf("i = %d\n", i); // Umwandlung von double in int: -4.25 --> 4.
18.    i = -4.75;
19.    printf("i = %d\n", i); // Umwandlung von double in int: -4.75 --> 4.
20. }
```

```
i + x = 10.500000
i = 4
i = 4
i = -4
i = -4
```

- **Liegt der umzuwandelnde Wert nicht im Wertebereich des Datentyps, in den umgewandelt wird, ist das Ergebnis undefiniert, d.h. sinnlos.**

```
1. #include<stdio.h>
2.
3. int main(void)
4. {
5.     char c; // Wertebereich von -128 bis +127.
6.
7.     c = 355;
8.     printf("c = %d\n", c);
9.
10.    c = 355.0;
11.    printf("c = %d\n", c);
12.
13.    double x = 355.0;
14.    c = x;
15.    printf("c = %d\n", c);
16. }
```

```
c = 99
c = 127
c = 99
```

- Eine Typumwandlung kann auch durch einen **Cast-Operator** (`type`) erzwungen werden: `(type)expr` wandelt den Wert von `expr` in den Datentyp `type` um.

```
1. #include<stdio.h>
2.
3. int main(void)
4. {
5.     printf("(double)(7/2) = %f\n", (double)(7/2));
6.     printf("((double)7)/((double)2) = %f\n", ((double)7)/((double)2));
7. }
```

```
(double)(7/2) = 3.000000
((double)7)/((double)2) = 3.500000
```

- **Beispiel:** Ausgabe einer Trajektorie, z.B. als Input-Datei für **gnuplot** ...

```
1. #include<math.h>
2. #include<stdio.h>
3.
4. int main(void)
5. {
6.     const double g = 9.81; // Ortsfaktor in m/s^2.
7.
8.     // Die Trajektorie wird im Zeitfenster t_min ... t_max ausgegeben (num_samples Abtastwerte).
9.     const double t_min = 3.0; // In s.
10.    const double t_max = 6.0; // In s.
11.    const int num_samples = 7;
12.
13.    for(int i = 0; i < num_samples; i++)
14.        {
15.            double t = t_min + (((double)i) / ((double)(num_samples - 1))) * (t_max - t_min);
16.            double z = -0.5 * g * pow(t, 2.0); // Senkrechter freier Fall.
17.            printf("%.3f %+8.3f\n", t, z);
18.        }
19. }
```

```
3.000 -44.145
3.500 -60.086
4.000 -78.480
4.500 -99.326
5.000 -122.625
5.500 -148.376
6.000 -176.580
```

- **Vorsicht! Häufige Fehlerquelle ...**

Cast-Operator bei der Division von Integer-Werten vergessen ... z.B. **1/6** ergibt 0, da im Raum der ganzen Zahlen gerechnet wird.

```
1. #include<math.h>
2. #include<stdio.h>
3.
4. int main(void)
5. {
6.     const double g = 9.81; // Ortsfaktor in m/s^2.
7.
8.     // Die Trajektorie wird im Zeitfenster t_min ... t_max ausgegeben (num_samples Abtastwerte).
9.     const double t_min = 3.0; // In s.
10.    const double t_max = 6.0; // In s.
11.    const int num_samples = 7;
12.
13.    for(int i = 0; i < num_samples; i++)
14.        {
15.            double t = t_min + (i / (num_samples - 1)) * (t_max - t_min);
16.            double z = -0.5 * g * pow(t, 2.0); // Senkrechter freier Fall.
17.            printf("%.3f %+8.3f\n", t, z);
18.        }
19. }
```

```
3.000 -44.145
3.000 -44.145
3.000 -44.145
3.000 -44.145
3.000 -44.145
3.000 -44.145
6.000 -176.580
```

- Eine vollständige Darstellung der Regeln der Typumwandlung findet sich z.B. in **Programmieren in C**, 2. Auflage (B. W. Kernighan, D. M. Ritchie, Hanser), Anhang A.6.
- **Programmcode sollte so geschrieben werden, dass er einfach lesbar ist die Ergebnisse nicht von den Details und Feinheiten dieser Regeln abhängen (z.B. durch Verwendung von Cast-Operatoren).**

Vorrang und Assoziativität von Operatoren

Operator	Assoziativität
(), [], ., ->	links
+ (unär), - (unär), !, ~, ++, --, (type), & (unär), * (unär), sizeof()	rechts
* (binär), /, %	links
+ (binär), - (binär)	links
<<, >>	links
<, >, <=, >=	links
==, !=	links
& (binär)	links
^	links
|	links
&&	links
||	links
?:	rechts
=, +=, -=, *=, /=, %=, &=, |=, ^=, <<=, >>=	rechts
,	links

- Vorrang:**

- Operatoren in der gleichen Tabellenzeile besitzen den gleichen Vorrang.
- Die Zeilen sind gemäß dem Vorrang der enthaltenen Operatoren geordnet (erste Zeile höchster Vorrang, letzte Zeile niedrigster Vorrang).
- Die Auswertung von Ausdrücken findet entsprechend dem Vorrang der enthaltenen Operatoren statt.
- Beispiel: $a + b * c$ ist äquivalent zu $a + (b * c)$.

- Assoziativität:**

- Linksassoziative binäre Operatoren mit gleichem Vorrang \times und $*$:
 $a \times b * c$
 ist äquivalent zu
 $(a \times b) * c$.
- Rechtsassoziative binäre Operatoren mit gleichem Vorrang \times und $*$:
 $a \times b * c$
 ist äquivalent zu
 $a \times (b * c)$.
- Rechtsassoziative unäre Operatoren mit gleichem Vorrang \times und $*$:
 $\times * a$
 ist äquivalent zu
 $\times (*a)$.
- Beispiel: $a - b - c$ ist äquivalent zu $(a - b) - c$.

- Die Reihenfolge, in der die Operanden eines Operators ausgewertet werden, ist nicht festgelegt, d.h. compiler-abhängig (Ausnahmen bilden &&, || und ?:).**

```

1. #include<stdio.h>
2.
3. int main(void)
4. {
5.     int i;
6.
7.     i = 3;
8.     printf("%d (hier steht 7 oder 8, je nach verwendetem Compiler)\n", (i=i+1) + i);
9.
10.    i = 3;
11.    printf("%d (hier steht 6 oder 7, je nach verwendetem Compiler)\n", (i++) + i);
12. }
```

8 (hier steht 7 oder 8, je nach verwendetem Compiler)
6 (hier steht 6 oder 7, je nach verwendetem Compiler)

- **Programmcode sollte so geschrieben werden, dass er einfach lesbar ist und die Ergebnisse nicht von den Details und Feinheiten dieser Regeln abhängen (z.B. durch die Verwendung von Klammern).**