Beispiel: Fehlererkennung durch Betriebssystem

Linux: Division durch 0

```
1  #include <stdio.h>
2
3
4  int main(int argc, char** argv) {
5    int a = 23;
6    int b = 0;
7
8    b = 4711 / (a-23);
9    printf("Ergebnis: %d\n", b);
10
11   return 0;
12 }
```

Übersetzen und Ausführen ergibt:

```
gcc error-linux.c -o error-linux
./error-linux
Floating point exception
```

⇝ Programm wird **abgebrochen**.

SPiCboard: Division durch 0

```
#include <7seg.h>
#include <avr/interrupt.h>

void main() {
  int a = 23;
  int b = 0;
  sei();
  b = 4711 / (a-23);
  sb_7seg_showNumber(b);

  while(1){}
}
```

Ausführen ergibt:

⇝ Programm setzt Berechnung fort mit **falschen Daten**.

Überblick: Teil B Einführung in C

Struktur eines C-Programms – allgemein

```
1  // include files
2  #include ...
3
4  // global variables
5  ... variable1 = ...
6
7  // subfunction 1
8  ... subfunction_1(...) {
9    // local variables
10   ... variable1 = ...
11   // statements
12   ...
13 }
```

```
14 // subfunction n
15 ... subfunction_n(...) {
16
17   ...
18
19 }
20
21 // main function
22 ... main(...) {
23
24   ...
25
26 }
```

- Ein C-Programm besteht (üblicherweise) aus
  - Menge von globalen Variablen
  - Menge von (Sub-)Funktionen
    - Menge von lokalen Variablen
    - Menge von Anweisungen
  - Der Funktion `main()`, in der die Ausführung beginnt

Struktur eines C-Programms – am Beispiel

```
1  // include files
2  #include <led.h>
3
4  // global variables
5  LED nextLED = RED0;
6
7  // subfunction 1
8  LED lightLED(void) {
9    if (nextLED <= BLUE1) {
10     sb_led_on(nextLED++);
11   }
12   return nextLED;
13 }
```

```
14 // subfunction 2
15 void wait() {
16   volatile unsigned int i;
17   for (i=0; i<0xffff; i++)
18     ;
19 }
20
21 // main function
22 void main() {
23   while (lightLED() < 8) {
24     wait();
25   }
26 }
```

- Ein C-Programm besteht (üblicherweise) aus
  - Menge von globalen Variablen — `nextLED`, Zeile 5
  - Menge von (Sub-)Funktionen — `wait()`, Zeile 15
    - Menge von lokalen Variablen — `i`, Zeile 16
    - Menge von Anweisungen — `for`-Schleife, Zeile 17
  - Der Funktion `main()`, in der die Ausführung beginnt

Bezeichner [= Java]

```
1  // include files
2  #include <led.h>
3
4  // global variables
5  LED nextLED = RED0;
6
7  // subfunction 1
8  LED lightLED(void) {
9    if (nextLED <= BLUE1) {
10     sb_led_on(nextLED++);
11   }
12   return nextLED;
13 }
14 // subfunction 2
15 void wait() {
16   volatile unsigned int i;
17   for (i=0; i<0xffff; i++)
18     ;
19 }
20
21 // main function
22 void main() {
23   while (lightLED() < 8) {
24     wait();
25   }
26 }
```

- Vom Entwickler vergebener **Name** für ein Element des Programms
  - Element: Typ, Variable, Konstante, Funktion, Sprungmarke
  - Aufbau: **[** *A-Z, a-z, _* **]** **[** *A-Z, a-z, 0-9, _* **]** $*$
    - Buchstabe gefolgt von Buchstaben, Ziffern und Unterstrichen
    - Unterstrich als erstes Zeichen möglich, aber reserviert für Compilerhersteller
  - Ein Bezeichner muss vor Gebrauch deklariert werden

Schlüsselwörter [≈ Java]

```
1  // include files
2  #include <led.h>
3
4  // global variables
5  LED nextLED = RED0;
6
7  // subfunction 1
8  LED lightLED(void) {
9    if (nextLED <= BLUE1) {
10     sb_led_on(nextLED++);
11   }
12   return nextLED;
13 }
14 // subfunction 2
15 void wait() {
16   volatile unsigned int i;
17   for (i=0; i<0xffff; i++)
18     ;
19 }
20
21 // main function
22 void main() {
23   while (lightLED() < 8) {
24     wait();
25   }
26 }
```

- **Reservierte Wörter** der Sprache
  (⇝ dürfen nicht als Bezeichner verwendet werden)
  - Eingebaute (*primitive*) Datentypen `unsigned int`, `void`
  - Typmodifizierer `volatile`
  - Kontrollstrukturen `for`, `while`
  - Elementaranweisungen `return`

Schlüsselwörter in C99 [Handout]

- Referenz: Liste der Schlüsselwörter (bis einschließlich C99)
  - `auto`, `_Bool`, `break`, `case`, `char`, `_Complex`, `const`, `continue`, `default`, `do`, `double`, `else`, `enum`, `extern`, `float`, `for`, `goto`, `if`, `_Imaginary`, `inline`, `int`, `long`, `register`, `restrict`, `return`, `short`, `signed`, `sizeof`, `static`, `struct`, `switch`, `typedef`, `union`, `unsigned`, `void`, `volatile`, `while`

Literale [= Java]

```
1  // include files
2  #include <led.h>
3
4  // global variables
5  LED nextLED = RED0;
6
7  // subfunction 1
8  LED lightLED(void) {
9    if (nextLED <= BLUE1) {
10     sb_led_on(nextLED++);
11   }
12   return nextLED;
13 }
14 // subfunction 2
15 void wait() {
16   volatile unsigned int i;
17   for (i=0; i<0xffff; i++)
18     ;
19 }
20
21 // main function
22 void main() {
23   while (lightLED() < 8) {
24     wait();
25   }
26 }
```

- (Darstellung von) **Konstanten im Quelltext**
  - Für jeden primitiven Datentyp gibt es eine oder mehrere Literalformen
    - Bei Integertypen: dezimal (Basis 10: `65535`), hexadezimal (Basis 16, führendes `0x`: `0xffff`), oktal (Basis 8, führende `0`: `0177777`)
  - Der Programmierer kann jeweils die am besten geeignete Form wählen
    - `0xffff` ist handlicher als `65535`, um den Maximalwert einer vorzeichenlosen 16-Bit-Ganzzahl darzustellen

Anweisungen [= Java]

```
1  // include files
2  #include <led.h>
3
4  // global variables
5  LED nextLED = RED0;
6
7  // subfunction 1
8  LED lightLED(void) {
9    if (nextLED <= BLUE1) {
10     sb_led_on(nextLED++);
11   }
12   return nextLED;
13 }
```

```
14 // subfunction 2
15 void wait() {
16   volatile unsigned int i;
17   for (i=0; i<0xffff; i++)
18     ;
19 }
20
21 // main function
22 void main() {
23   while (lightLED() < 8) {
24     wait();
25   }
26 }
```

- Beschreiben den eigentlichen **Ablauf** des Programms
- Werden hierarchisch komponiert aus drei Grundformen
  - Einzelanweisung – **Ausdruck** gefolgt von **;**
    - einzelnes Semikolon ↦ leere Anweisung
  - **Block** – Sequenz von Anweisungen, geklammert durch **{...}**
  - **Kontrollstruktur**, gefolgt von Anweisung

Überblick: Teil B Einführung in C

Ausdrücke [= Java]

```
1  // include files
2  #include <led.h>
3
4  // global variables
5  LED nextLED = RED0;
6
7  // subfunction 1
8  LED lightLED(void) {
9    if (nextLED <= BLUE1) {
10     sb_led_on(nextLED++);
11   }
12   return nextLED;
13 }
```

```
14 // subfunction 2
15 void wait() {
16   volatile unsigned int i;
17   for (i=0; i<0xffff; i++)
18     ;
19 }
20
21 // main function
22 void main() {
23   while (lightLED() < 8) {
24     wait();
25   }
26 }
```

- Gültige Kombination von **Operatoren**, **Literalen** und **Bezeichnern**
  - „Gültig“ im Sinne von Syntax und Typsystem
  - Vorrangregeln für Operatoren legen die Reihenfolge fest, in der Ausdrücke abgearbeitet werden ↪ 7–14
    - Auswertungsreihenfolge kann mit Klammern **( )** explizit bestimmt werden
    - Der Compiler darf Teilausdrücke in möglichst effizienter Folge auswerten

Was ist ein Datentyp? [↪ GDI, II-11]

- **Datentyp** := (<*Menge von Werten*>, <*Menge von Operationen*>)
  - Literal — Wert im Quelltext ↪ 5–6
  - Konstante — Bezeichner für einen Wert
  - Variable — Bezeichner für Speicherplatz, der einen Wert aufnehmen kann
  - Funktion — Bezeichner für Sequenz von Anweisungen, die einen Wert zurückgibt

  ⇝ Literale, Konstanten, Variablen, Funktionen haben einen **(Daten-)Typ**
- Datentyp legt fest
  - Repräsentation der Werte im Speicher
  - Größe des Speicherplatzes für Variablen
  - Erlaubte Operationen
- Datentyp wird festgelegt
  - Explizit, durch Deklaration, Typ-Cast oder Schreibweise (Literale)
  - Implizit, durch „Auslassung“ (⇝ int schlechter Stil!)

Primitive Datentypen in C

- Ganzzahlen/Zeichen `char`, `short`, `int`, `long`, `long long` (C99)
  - Wertebereich: implementierungsabhängig [≠Java]
    Es gilt: `char` ≤ `short` ≤ `int` ≤ `long` ≤ `long long`
  - Jeweils als `signed`- und `unsigned`-Variante verfügbar
- Fließkommazahlen `float`, `double`, `long double`
  - Wertebereich: implementierungsabhängig [≠Java]
    Es gilt: `float` ≤ `double` ≤ `long double`
  - Ab C99 auch als `_Complex`-Datentypen verfügbar (für komplexe Zahlen)
- Leerer Datentyp `void`
  - Wertebereich: ∅
- Boolescher Datentyp `_Bool` (C99)
  - Wertebereich: {0, 1} (↩ letztlich ein Integertyp)
  - Bedingungsausdrücke (z. B. `if(...)`) sind in C vom Typ `int`! [≠Java]

Integertypen [≈Java][↪ GDI, II-13]

Integertyp	Verwendung	Literalformen
`char`	kleine Ganzzahl oder Zeichen	`'A'`, `65`, `0x41`, `0101`
`short [int]`	Ganzzahl (`int` ist optional)	s. o.
`int`	Ganzzahl „natürlicher Größe“	s. o.
`long [int]`	große Ganzzahl	`65L`, `0x41L`, `0101L`
`long long [int]`	sehr große Ganzzahl	`65LL`, `0x41LL`, `0101LL`

Typ-Modifizierer	werden vorangestellt	Literal-Suffix
signed	Typ ist vorzeichenbehaftet (Normalfall)	-
unsigned	Typ ist vorzeichenlos	`U`
const	Variable des Typs kann nicht verändert werden	-

- Beispiele (Variablendefinitionen)

```
char a               = 'A';    // char-Variable, Wert 65 (ASCII: A)
const int b          = 0x41;   // int-Konstante, Wert 65 (Hex: 0x41)
long c               = 0L;     // long-Variable, Wert 0
unsigned long int d = 22UL;    // unsigned-long-Variable, Wert 22
```

Integertypen: Größe und Wertebereich [≠Java]

- Die interne Darstellung (Bitbreite) ist implementierungsabhängig

Datentyp-Breite in Bit

	Java	C-Standard	gcc_{IA32}	gcc_{IA64}	gcc_{AVR}
`char`	16	≥ 8	8	8	8
`short`	16	≥ 16	16	16	16
`int`	32	≥ 16	32	32	16
`long`	32	≥ 32	32	64	32
`long long`	-	≥ 64	64	64	64

- Der Wertebereich berechnet sich aus der Bitbreite
  - signed $-(2^{Bits-1}+1) \longrightarrow +(2^{Bits-1})$
  - unsigned $0 \longrightarrow +(2^{Bits}-1)$

Hier zeigt sich die C-Philosophie: Effizienz durch **Maschinennähe** ↪ 3–14

Die interne Repräsentation der Integertypen ist definiert durch die **Hardware** (Registerbreite, Busbreite, etc.). Das führt im Ergebnis zu **effizientem Code**.

Integertypen: Maschinennähe ⟶ Problemnähe

- **Problem:** Breite (⇝ Wertebereich) der C-Standardtypen ist implementierungsspezifisch ↦ **Maschinennähe**
- **Oft benötigt:** Integertyp definierter Größe ↦ **Problemnähe**
  - Wertebereich sicher, aber möglichst kompakt darstellen
  - Register definierter Breite n bearbeiten
  - Code unabhängig von Compiler und Hardware halten (⇝ Portierbarkeit)
- **Lösung:** Modul `stdint.h`
  - Definiert Alias-Typen: `int`n`_t` und `uint`n`_t` für $n \in \{8, 16, 32, 64\}$
  - Wird vom Compiler-Hersteller bereitgestellt

Wertebereich `stdint.h`-Typen

`uint8_t`	0	→	255	`int8_t`	−128	→	+127
`uint16_t`	0	→	65.535	`int16_t`	−32.768	→	+32.767
`uint32_t`	0	→	4.294.967.295	`int32_t`	−2.147.483.648	→	+2.147.483.647
`uint64_t`	0	→	$> 1,8 * 10^{19}$	`int64_t`	$< -9,2 * 10^{18}$	→	$> +9,2 * 10^{18}$

Typ-Aliase mit `typedef` [≠Java]

- Mit dem `typedef`-Schlüsselwort definiert man einen Typ-Alias:
  `typedef` *Typausdruck Bezeichner*`;`
  - *Bezeichner* ist nun ein alternativer Name für *Typausdruck*
  - Kann überall verwendet werden, wo ein Typausdruck erwartet wird

```
// stdint.h (avr-gcc)                  // stdint.h (x86-gcc, IA32)
typedef unsigned char uint8_t;         typedef unsigned char  uint8_t;
typedef unsigned int  uint16_t;        typedef unsigned short uint16_t;
...                                    ...
```

```
// main.c
#include <stdint.h>

uint16_t counter = 0;     // global 16-bit counter, range 0-65535
...
typedef uint8_t Register; // Registers on this machine are 8-bit
...
```

Typ-Aliase mit `typedef` (Forts.) [≠Java]

- Typ-Aliase ermöglichen einfache problembezogene Abstraktionen
  - `Register` ist problemnäher als `uint8_t`
    ⇝ Spätere Änderungen (z. B. auf 16-Bit-Register) zentral möglich
  - `uint16_t` ist problemnäher als `unsigned char`
  - `uint16_t` ist sicherer als `unsigned char`

Definierte Bitbreiten sind bei der μC-Entwicklung sehr wichtig!

- Große Unterschiede zwischen Plattformen und Compilern
  ⇝ Kompatibilitätsprobleme
- Um Speicher zu sparen, sollte immer der **kleinstmögliche** Integertyp verwendet werden

Regel: Bei der systemnahen Programmierung werden Typen aus `stdint.h` verwendet!

Aufzählungstypen mit `enum` [≈Java]

- Mit dem `enum`-Schlüsselwort definiert man einen Aufzählungstyp über eine explizite Menge symbolischer Werte:
  `enum` $Bezeichner_{opt}$ `{` *KonstantenListe* `} ;`
- Beispiel
  - Definition:

```
enum eLED {RED0, YELLOW0, GREEN0, BLUE0,
           RED1, YELLOW1, GREEN1, BLUE1};
```

  - Verwendung:

```
enum eLED myLed = YELLOW0;  // enum necessary here!
...
sb_led_on(BLUE1);
```

- Vereinfachung der Verwendung durch `typedef`
  - Definition:

```
typedef enum eLED {RED0, YELLOW0, GREEN0, BLUE0,
                   RED1, YELLOW1, GREEN1, BLUE1} LED;
```

  - Verwendung:

```
LED myLed = YELLOW0;  // LED --> enum eLED
```

`enum` ↦ `int` [≠Java]

- Technisch sind `enum`-Typen Integers (`int`)
  - `enum`-Konstanten werden von 0 an durchnummeriert

```
typedef enum { RED0,      // value: 0
               YELLOW0,   // value: 1
               GREEN0,    // value: 2
               ··· } LED;
```

  - Es ist auch möglich, Werte direkt zuzuweisen

```
typedef enum { BUTTON0 = 4, BUTTON1 = 8 } BUTTON;
```

  - Man kann sie verwenden wie `int`s (z. B. mit ihnen rechnen)

```
sb_led_on(RED0 + 2);  // -> LED GREEN0 is on
sb_led_on(1);         // -> LED YELLOW0 is on
for( int led = RED0, led <= BLUE1; led++ )
  sb_led_off(led);    // turn off all LEDs
// Also possible...
sb_led_on(4711);      // no compiler/runtime error!
```

- ⇝ Es findet **keinerlei Typprüfung** statt!

Das entspricht der **C-Philosophie**! ↪ 3–14

Fließkommatypen [≈Java][↪ GDI, II-14]

- Fließkommatyp — Verwendung — Literalformen
  - `float` — einfache Genauigkeit (≈ 7 St.) — `100.0F`, `1.0E2F`
  - `double` — doppelte Genauigkeit (≈ 15 St.) — `100.0`, `1.0E2`
  - `long double` — „erweiterte Genauigkeit“ — `100.0L` `1.0E2L`
- Genauigkeit / Wertebereich sind implementierungsabhängig [≠Java]
  - Es gilt: `float` ≤ `double` ≤ `long double`
  - `long double` und `double` sind auf vielen Plattformen identisch

„Effizienz durch Maschinennähe“ ↪ 3–14

Fließkommazahlen + μC-Plattform = $$$

- Oft keine Hardwareunterstützung für `float`-Arithmetik
  ⇝ **sehr teure** Emulation in Software (langsam, viel zusätzlicher Code)
- Speicherverbrauch von `float`- und `double`-Variablen ist **sehr hoch**
  ⇝ mindestens 32/64 Bit (`float`/`double`)

Regel: Bei der μ-Controller-Programmierung ist auf Fließkommaarithmetik **zu verzichten**!

Zeichen ↦ Integer [≈Java]

- Zeichen sind in C ebenfalls Ganzzahlen (Integers) ↪ 6–3
  - `char` gehört zu den Integer-Typen (üblicherweise 8 Bit = 1 Byte)
- Repräsentation erfolgt durch den ASCII-Code ↪ 6–12
  - 7-Bit-Code ↦ 128 Zeichen standardisiert (die verbleibenden 128 Zeichen werden unterschiedlich interpretiert)
  - Spezielle Literalform durch Hochkommata `'A'` ↦ ASCII-Code von `A`
  - Nichtdruckbare Zeichen durch Escape-Sequenzen
    - Tabulator `'\t'`
    - Zeilentrenner `'\n'`
    - Backslash `'\\'`
- Zeichen ↦ Integer ⇝ man kann mit Zeichen rechnen

```
char b = 'A' + 1;        // b: 'B'

int lower(int ch) {      // lower('X'): 'x'
  return ch + 0x20;
}
```


ASCII-Code-Tabelle (7 Bit)

ASCII ↦ *American Standard Code for Information Interchange*

NUL 00	SOH 01	STX 02	ETX 03	EOT 04	ENQ 05	ACK 06	BEL 07
BS 08	HT 09	NL 0A	VT 0B	NP 0C	CR 0D	SO 0E	SI 0F
DLE 10	DC1 11	DC2 12	DC3 13	DC4 14	NAK 15	SYN 16	ETB 17
CAN 18	EM 19	SUB 1A	ESC 1B	FS 1C	GS 1D	RS 1E	US 1F
SP 20	! 21	" 22	# 23	$ 24	% 25	& 26	' 27
(28	) 29	* 2A	+ 2B	, 2C	- 2D	. 2E	/ 2F
0 30	1 31	2 32	3 33	4 34	5 35	6 36	7 37
8 38	9 39	: 3A	; 3B	< 3C	= 3D	> 3E	? 3F
@ 40	A 41	B 42	C 43	D 44	E 45	F 46	G 47
H 48	I 49	J 4A	K 4B	L 4C	M 4D	N 4E	O 4F
P 50	Q 51	R 52	S 53	T 54	U 55	V 56	W 57
X 58	Y 59	Z 5A	[5B	\ 5C	] 5D	^ 5E	_ 5F
` 60	a 61	b 62	c 63	d 64	e 65	f 66	g 67
h 68	i 69	j 6A	k 6B	l 6C	m 6D	n 6E	o 6F
p 70	q 71	r 72	s 73	t 74	u 75	v 76	w 77
x 78	y 79	z 7A	{ 7B	| 7C	} 7D	~ 7E	DEL 7F

Zeichenketten (Strings) [≠Java]

- Ein String ist in C ein Feld (Array) von Zeichen
  - Repräsentation: Folge von Einzelzeichen, terminiert durch (letztes Zeichen): `NUL` (ASCII-Wert 0)
  - Speicherbedarf: (Länge + 1) Bytes
  - Datentyp: `char[]` oder `char*` (synonym)
- Spezielle Literalform durch doppelte Hochkommata:

`"Hi!"` ↦

'H'	'i'	'!'	0

← abschließendes 0-Byte

- Beispiel (Linux)

```
#include <stdio.h>
char[] string = "Hello, World!\n";
int main(){
  printf(string);
  return 0;
}
```

Zeichenketten brauchen vergleichsweise viel Speicher und „größere“ Ausgabegeräte (z. B. LCD-Display).
⇝ Bei der μC-Programmierung spielen sie nur eine untergeordnete Rolle.

Ausblick: Komplexe Datentypen

- Aus einfachen Datentypen lassen sich (rekursiv) auch komplexe(re) Datentypen bilden
  - Felder (Arrays) ↪ Sequenz von Elementen gleichen Typs [≈Java]

```
int intArray[4];        // allocate array with 4 elements
intArray[0] = 0x4711;   // set 1st element (index 0)
```

  - Zeiger ↪ veränderbare Referenzen auf Variablen [≠Java]

```
int  a = 0x4711;        // a: 0x4711
int *b = &a;            // b: -->a (memory location of a)
int  c = *b;            // pointer dereference (c: 0x4711)
*b     = 23;            // pointer dereference (a: 23)
```

  - Strukturen ↪ Verbund von Elementen bel. Typs [≠Java]

```
struct Point { int x; int y; };
struct Point p;         // p is Point variable
p.x = 0x47;             // set x-component
p.y = 0x11;             // set y-component
```

- Wir betrachten diese detailliert in späteren Kapiteln

Überblick: Teil B Einführung in C

Arithmetische Operatoren [=Java]

- Stehen für alle Ganzzahl- und Fließkommatypen zur Verfügung

$+$	Addition	
$-$	Subtraktion	
$\star$	Multiplikation	
/	Division	
unäres $-$	negatives Vorzeichen (z. B. $-a$)	$\rightsquigarrow$ Multiplikation mit -1
unäres $+$	positives Vorzeichen (z. B. $+3$)	$\rightsquigarrow$ kein Effekt

- Zusätzlich nur für Ganzzahltypen:

%	Modulo (Rest bei Division)

Inkrement-/Dekrement-Operatoren [=Java][↪ GDI, II-26]

- Stehen für Ganzzahltypen und Zeigertypen zur Verfügung

++	Inkrement (Erhöhung um 1)
−−	Dekrement (Verminderung um 1)

- Linksseitiger Operator (Präfix) ++x bzw. --x
  - Erst wird der Inhalt von x verändert
  - Dann wird der (neue) Inhalt von x als Ergebnis geliefert
- Rechtsseitiger Operator (Postfix) x++ bzw. x--
  - Erst wird der (alte) Inhalt von x als Ergebnis geliefert
  - Dann wird der Inhalt von x verändert
- Beispiele

```
a = 10;
b = a++;  // b: 10, a: 11
c = ++a;  // c: 12, a: 12
```

Vergleichsoperatoren [=Java][↪ GDI, II-29]

- Vergleichen von zwei Ausdrücken

`<`	kleiner
`<=`	kleiner gleich
`>`	größer
`>=`	größer gleich
`==`	gleich (zwei Gleichheitszeichen!)
`!=`	ungleich

- Beachte: Ergebnis ist vom Typ `int` [≠Java]
  - Ergebnis: *falsch* ↦ 0, *wahr* ↦ 1
  - Man kann mit dem Ergebnis rechnen
- Beispiele

```
if (a >= 3) {···}
if (a == 3) {···}
return a * (a > 0);   // return 0 if a is negative
```

Logische Operatoren [≈Java][↪ GDI, II-30]

- Verknüpfung von Wahrheitswerten (wahr / falsch), kommutativ

&&	„und“ (Konjunktion)	*wahr* && *wahr* → *wahr* *wahr* && *falsch* → *falsch* *falsch* && *falsch* → *falsch*
||	„oder“ (Disjunktion)	*wahr* || *wahr* → *wahr* *wahr* || *falsch* → *wahr* *falsch* || *falsch* → *falsch*
!	„nicht“ (Negation, unär)	! *wahr* → *falsch* ! *falsch* → *wahr*

- Beachte: Operanden und Ergebnis sind vom Typ `int` [≠Java]
  - Operanden (Eingangsparameter): 0 ↦ *falsch*, ≠0 ↦ *wahr*
  - Ergebnis: *falsch* ↦ 0, *wahr* ↦ 1

Logische Operatoren – Auswertung [=Java]

- Die Auswertung eines logischen Ausdrucks wird abgebrochen, sobald das Ergebnis feststeht
  - Sei `int a = 5; int b = 3; int c = 7;`

$\underbrace{\underbrace{a > b}_{1} \;||\; \underbrace{a > c}_{?}}_{1}$ ⟵ wird nicht ausgewertet, da der erste Term bereits *wahr* ergibt

$\underbrace{\underbrace{a > c}_{0} \;\&\&\; \underbrace{a > b}_{?}}_{0}$ ⟵ wird nicht ausgewertet, da der erste Term bereits *falsch* ergibt

- Kann überraschend sein, wenn Teilausdrücke Nebeneffekte haben

```
int a = 5; int b = 3; int c = 7;
if ( a > c && !func(b) ) {···}      // func() will not be called
```

Zuweisungsoperatoren [=Java]

- Allgemeiner Zuweisungsoperator (=)
  - Zuweisung eines Wertes an eine Variable
  - Beispiel: `a = b + 23`
- Arithmetische Zuweisungsoperatoren (+=, −=, . . .)
  - Abgekürzte Schreibweise zur Modifikation des Variablenwerts
  - Beispiel: `a += 23` ist äquivalent zu `a = a + 23`
  - Allgemein: `a` *op*`= b` ist äquivalent zu `a = a` *op* `b`
    für *op* ∈ { +, −, ⋆, %, <<, >>, &, ^, | }
- Beispiele

```
int a = 8;
a += 8;      // a: 16
a %= 3;      // a: 1
```

Zuweisungen sind Ausdrücke!

- Zuweisungen können in komplexere Audrücke geschachtelt werden
  - Das Ergebnis eines Zuweisungsausdrucks ist der zugewiesene Wert

```
int a, b, c;
a = b = c = 1;  // c: 1, b: 1, a: 1
```

  - Die Verwendung von Zuweisungen in beliebigen Ausdrücken führt zu **Nebeneffekten**, die nicht immer offensichtlich sind

```
a += b += c;    // Value of a and b?
```

Besonders gefährlich: Verwendung von = statt ==

In C sind Wahrheitswerte Integers: $0 \mapsto$ *falsch*, $\emptyset \mapsto$ *wahr*

- Typischer „Anfängerfehler“ in Kontrollstrukturen:

```
if (a = 6) {···} else {···} // BUG: if-branch is always taken!!!
```

- Compiler beanstandet das Konstrukt nicht, es handelt sich um einen gültigen Ausdruck! $\rightsquigarrow$ Fehler wird leicht übersehen!

Bitoperationen [= Java][↪ GDI, II-32]

- Bitweise Verknüpfung von Ganzzahltypen, kommutativ

&	bitweises „Und“ (Bit-Schnittmenge)	1 & 1 → 1 1 & 0 → 0 0 & 0 → 0
|	bitweises „Oder“ (Bit-Vereinigungsmenge)	1 | 1 → 1 1 | 0 → 1 0 | 0 → 0
∧	bitweises „Exklusiv-Oder“ (Bit-Antivalenz)	1 ∧ 1 → 0 1 ∧ 0 → 1 0 ∧ 0 → 0
~	bitweise Inversion (Einerkomplement, unär)	~ 1 → 0 ~ 0 → 1

Bitoperationen (Forts.) [= Java][↪ GDI, II-32]

- Schiebeoperationen auf Ganzzahltypen, nicht kommutativ

<<	bitweises Linksschieben (rechts werden 0-Bits „nachgefüllt“)
>>	bitweises Rechtsschieben (links werden 0-Bits „nachgefüllt“)

- Beispiele (x sei vom Typ `uint8_t`)

Bit#	7	6	5	4	3	2	1	0	
x=156	1	0	0	1	1	1	0	0	0x9c
~x	0	1	1	0	0	0	1	1	0x63
7	0	0	0	0	0	1	1	1	0x07
x | 7	1	0	0	1	1	1	1	1	0x9f
x & 7	0	0	0	0	0	1	0	0	0x04
x ^ 7	1	0	0	1	1	0	1	1	0x9B
x << 2	0	1	1	1	0	0	0	0	0x70
x >> 1	0	1	0	0	1	1	1	0	0x4e

Bitoperationen – Anwendung

- Durch Verknüpfung lassen sich gezielt einzelne Bits setzen/löschen

Bit#	7	6	5	4	3	2	1	0	
PORTD	?	?	?	?	?	?	?	?	Bit 7 soll verändert werden, die anderen Bits jedoch erhalten bleiben!
0x80	1	0	0	0	0	0	0	0	Setzen eines Bits durch **Ver-odern** mit Maske, in der nur das Zielbit 1 ist
PORTD |= 0x80	1	?	?	?	?	?	?	?	
~0x80	0	1	1	1	1	1	1	1	Löschen eines Bits durch **Ver-unden** mit Maske, in der nur das Zielbit 0 ist
PORTD &= ~0x80	0	?	?	?	?	?	?	?	
0x08	0	0	0	0	1	0	0	0	Invertieren eines Bits durch **Ver-xodern** mit Maske, in der nur das Zielbit 1 ist
PORTD ^=0x08	?	?	?	?	¿	?	?	?	

Bitoperationen – Anwendung (Forts.)

- Bitmasken werden gerne als Hexadezimal-Literale angegeben

Bit#	7	6	5	4	3	2	1	0
0x8f	1	0	0	0	1	1	1	1
	8				f			

Jede Hex-Ziffer repräsentiert genau ein Halb-Byte (*Nibble*) ⇝ Verständlichkeit

- Für „Dezimal-Denker“ bietet sich die Linksschiebe-Operation an

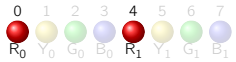
```
PORTD |= (1<<7);    // set bit 7:  1<<7 --> 10000000
PORTD &= ~(1<<7);   // mask bit 7: ~(1<<7) --> 01111111
```

- Zusammen mit der Oder-Operation auch für komplexere Masken

```
#include <led.h>
void main() {
  uint8_t mask = (1<<RED0) | (1<<RED1);

  sb_led_set_all_leds (mask);

  while(1) ;
}
```

⇝ 

Bedingte Auswertung [≈Java][↪ GDI, II-34]

- Formulierung von Bedingungen in Ausdrücken

  Ausdruck$_1$ **?** *Ausdruck*$_2$ **:** *Ausdruck*$_3$
  - Zunächst wird *Ausdruck*$_1$ ausgewertet
    - *Ausdruck*$_1 \neq 0$ (*wahr*) ⇝ Ergebnis ist *Ausdruck*$_2$
    - *Ausdruck*$_1 = 0$ (*falsch*) ⇝ Ergebnis ist *Ausdruck*$_3$
  - `?:` ist der einzige ternäre (dreistellige) Operator in C

- Beispiel

```
int abs(int a) {
  // if (a<0) return -a; else return a;
  return (a<0) ? -a : a;
}
```


Sequenzoperator [≠Java]

- Reihung von Ausdrücken

  Ausdruck$_1$ **,** *Ausdruck*$_2$
  - Zunächst wird *Ausdruck*$_1$ ausgewertet
    ⇝ Nebeneffekte von *Ausdruck*$_1$ werden sichtbar
  - Ergebnis ist der Wert von *Ausdruck*$_2$

- Verwendung des Komma-Operators ist selten erforderlich!
  (Präprozessor-Makros mit Nebeneffekten)

Vorrangregeln bei Operatoren [≈Java][↪ GDI, II-35]

	Klasse	Operatoren	Assoziativität

1	Funktionsaufruf, Feldzugriff
	Strukturzugriff
	Post-Inkrement/-Dekrement
		`x() x[]`
		`x.y x->y`
		`x++ x--`
			links → rechts

2	Prä-Inkrement/-Dekrement
	unäre Operatoren
	Adresse, Verweis (Zeiger)
	Typkonvertierung (cast)
	Typgröße
		`++x --x`
		`+x -x ~x !x`
		`& *`
		`(<Typ>)x`
		`sizeof(x)`
			rechts → links

3	Multiplikation, Division, Modulo	`* / %`	links → rechts
4	Addition, Subtraktion	`+ -`	links → rechts
5	Bitweises Schieben	`>> <<`	links → rechts
6	Relationaloperatoren	`< <= > >=`	links → rechts
7	Gleichheitsoperatoren	`== !=`	links → rechts
8	Bitweises UND	`&`	links → rechts
9	Bitweises OR	`|`	links → rechts
10	Bitweises XOR	`^`	links → rechts
11	Konjunktion	`&&`	links → rechts
12	Disjunktion	`||`	links → rechts
13	Bedingte Auswertung	`:=`	rechts → links
14	Zuweisung	`= op=`	rechts → links
15	Sequenz	`,`	links → rechts

Typumwandlung in Ausdrücken

- Ein Ausdruck wird *mindestens* mit `int`-Wortbreite berechnet
  - `short`- und `signed char`-Operanden werden implizit „aufgewertet“ (↪ *Integer Promotion*)
  - Erst das Ergebnis wird auf den Zieldatentyp abgeschnitten/erweitert

```
int8_t a=100, b=3, c=4, res;  // range: -128 --> +127

res   = a * b / c;            // promotion to int: 300 fits in!
int8_t: 75    int: 300
                  int: 75
```

- Generell wird die *größte* beteiligte Wortbreite verwendet ↪ 6–3

```
int8_t a=100, b=3, res;  // range: -128 --> +127
int32_t c=4;             // range: -2147483648 --> +2147483648

res   =  a * b   / c;    // promotion to int32_t
int8_t: 75    int32_t: 300
                  int32_t: 75
```


Typumwandlung in Ausdrücken – Typ-Casts

- Durch den Typ-Cast-Operator kann man einen Ausdruck gezielt in einen anderen Typ konvertieren

  (*Typbezeichner***)** *Ausdruck*

```
int s = -1, res;      // range: -32768 --> +32767
unsigned u = 1;       // range: 0 --> 65536

res = s < (int) u;    // cast u to int
int: 1      int: 1
                int: 1
```


Typumwandlung in Ausdrücken (Forts.)

- Fließkomma-Typen gelten dabei als „größer“ als Ganzzahl-Typen

```
int8_t a=100, b=3, res;       // range: -128 --> +127

res   =  a * b   /   4.0  ; // promotion to double
int8_t: 75    double: 300.0    double: 4.0
                    double: 75.0
```

- `unsigned`-Typen gelten dabei als „größer“ als `signed`-Typen

```
int s = -1, res;          // range: -32768 --> +32767
unsigned u = 1;           // range: 0 --> 65536

res  =     s      < u;   // promotion to unsigned: -1 --> 65536
int: 0    unsigned: 65536
              unsigned: 0
```

↝ Überraschende Ergebnisse bei negativen Werten!

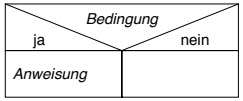
↝ Mischung von `signed`- und `unsigned`-Operanden vermeiden!

Überblick: Teil B Einführung in C

Bedingte Anweisung [=Java][↪ GDI, II-46]

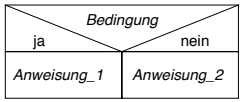
- `if`-Anweisung (bedingte Anweisung)

```
if ( Bedingung )
  Anweisung;
```



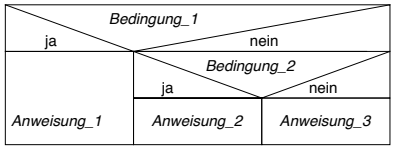
- `if-else`-Anweisung (einfache Verzweigung)

```
if ( Bedingung )
  Anweisung1;
else
  Anweisung2;
```



- `if-else-if`-Kaskade (mehrfache Verzweigung)

```
if ( Bedingung1 )
  Anweisung1;
else if ( Bedingung2 )
  Anweisung2;
else
  Anweisung3;
```



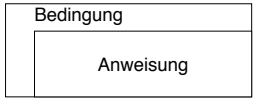
Fallunterscheidung [=Java][↪ GDI, II-49]

- `switch`-Anweisung (Fallunterscheidung)
  - Alternative zur `if`-Kaskade bei Test auf Ganzzahl-Konstanten


```
switch ( Ausdruck ) {
  case Wert1:
    Anweisung1;
    break;
  case Wert2:
    Anweisung2;
    break;
  ...
  case Wertn:
    Anweisungn;
    break;
  default:
    Anweisungx;
}
```


Abweisende und nicht-abweisende Schleife [=Java]

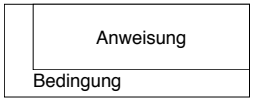
- Abweisende Schleife
  [↪ GDI, II-57] [↪ GDI-Ü, II-9]
  - `while`-Schleife
  - Null- oder mehrfach ausgeführt




```
while( Bedingung )
  Anweisung;
```

```
while (
  sb_button_getState(BUTTON0)
  == BTNRELEASED
) {
  ··· // do unless button press.
}
```

- Nicht-abweisende Schleife
  [↪ GDI, II-58]
  - `do-while`-Schleife
  - Ein- oder mehrfach ausgeführt



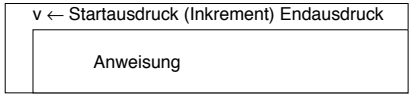

```
do
  Anweisung;
while( Bedingung );
```

```
do {
  ··· // do at least once
} while (
  sb_button_getState(BUTTON0)
  == BTNRELEASED
);
```


Zählende Schleife [=Java][↪ GDI, II-51]

- `for`-Schleife (Laufanweisung)

```
for ( Startausdruck;
      Endausdruck;
      Inkrement–Ausdruck )
  Anweisung;
```



- Beispiel (übliche Verwendung: *n* Ausführungen mit Zählvariable)

```
uint8_t sum = 0; // calc sum 1+...+10
for (uint8_t n = 1; n < 11; n++) {
  sum += n;
}
sb_7seg_showNumber( sum );
```

- Anmerkungen
  - Die Deklaration von Variablen (`n`) im *Startausdruck* ist erst ab C99 möglich
  - Die Schleife wird wiederholt, solange *Endausdruck* $\neq 0$ (*wahr*)
    $\rightsquigarrow$ die `for`-Schleife ist eine „verkappte“ `while`-Schleife

Schleifensteuerung [=Java][↪ GDI, II-54]

- Die `continue`-Anweisung beendet den aktuellen Schleifendurchlauf
  ⇝ Schleife wird mit dem nächsten Durchlauf fortgesetzt

```
for( uint8_t led=0; led < 8; ++led ) {
  if( led == RED1 ) {
    continue;          // skip RED1
  }
  sb_led_on(led);
}
```

- Die `break`-Anweisung verlässt die (innerste) Schleife
  ⇝ Programm wird *nach* der Schleife fortgesetzt

```
for( uint8_t led=0; led < 8; ++led ) {
  if( led == RED1 ) {
    break;          // break at RED1
  }
  sb_led_on(led);
}
```

Überblick: Teil B Einführung in C

Was ist eine Funktion?

- **Funktion** := Unterprogramm [↪ GDI, II-79]
  - Programmstück (Block) mit einem Bezeichner
  - Beim Aufruf können Parameter übergeben werden
  - Bei Rückkehr kann ein Rückgabewert zurückgeliefert werden
- Funktionen sind elementare Programmbausteine
  - Gliedern umfangreiche Aufgaben in kleine, beherrschbare Komponenten
  - Ermöglichen die einfache Wiederverwendung von Komponenten
  - Ermöglichen den einfachen Austausch von Komponenten
  - Verbergen Implementierungsdetails (**Black-Box**-Prinzip)

Funktion ↦ Abstraktion ↪ 4–1

- Bezeichner und Parameter abstrahieren
  - Vom tatsächlichen Programmstück
  - Von der Darstellung und Verwendung von Daten
- Ermöglicht schrittweise Abstraktion und Verfeinerung

Beispiel

- Funktion (Abstraktion) `sb_led_set_all_leds()`

```
#include <led.h>
void main() {
  sb_led_set_all_leds( 0xaa );
  while(1) {}
}
```

- Implementierung in der `libspicboard`

```
void sb_led_set_all_leds(uint8_t setting)
{
  uint8_t i = 0;
  for (i = 0; i < 8; i++) {
    if (setting & (1<<i)) {
      sb_led_on(i);
    } else {
      sb_led_off(i);
    }
  }
}
```

Sichtbar: Bezeichner und formale Paramter

Unsichtbar: Tatsächliche Implementierung

Funktionsdefinition [≈Java]

- Syntax: *Typ Bezeichner* **(** $FormaleParam_{opt}$ **)** **{***Block***}**
  - *Typ* — Typ des Rückgabewertes der Funktion, `void` falls kein Wert zurückgegeben wird [=Java]
  - *Bezeichner* — Name, unter dem die Funktion aufgerufen werden kann ↪ 5–3 [=Java]
  - $FormaleParam_{opt}$ — Liste der formalen Parameter: $Typ_1\ Bez_{1\,opt}$, ..., $Typ_n\ Bez_{n\,opt}$ (Parameter-Bezeichner sind optional) [=Java]
    `void`, falls kein Parameter erwartet wird [≠Java]
  - {*Block*} — Implementierung; formale Parameter stehen als lokale Variablen bereit [=Java]
- Beispiele:

```
int max( int a, int b ) {
  if (a>b) return a;
  return b;
}
```

```
void wait( void ) {
  volatile uint16_t w;
  for( w = 0; w<0xffff; w++ ) {
  }
}
```

Funktionsaufruf [=Java]

- Syntax: *Bezeichner* **(** *TatParam* **)**
  - *Bezeichner* — Name der Funktion, in die verzweigt werden soll [=Java]
  - *TatParam* — Liste der tatsächlichen Parameter (übergebene Werte, muss anzahl- und typkompatibel sein zur Liste der formalen Parameter) [=Java]
- Beispiele:

```
int x = max( 47, 11 );
```

Aufruf der `max()`-Funktion. `47` und `11` sind die tatsächlichen Parameter, welche nun den formalen Parametern `a` und `b` der `max()`-Funktion (↪ 9–3) zugewiesen werden.

```
char[] text = "Hello, World";
int x = max( 47, text );
```

Fehler: `text` ist nicht `int`-konvertierbar (tatsächlicher Parameter 2 passt nicht zu formalem Parameter `b` ↪ 9–3)

```
max( 48, 12 );
```

Der Rückgabewert darf ignoriert werden (was hier nicht wirklich Sinn ergibt)

Funktionsaufruf – Parameterübergabe [≠Java]

- Generelle Arten der Parameterübergabe [↪ GDI, II-88]
  - *Call-by-value* — Die formalen Parameter sind Kopien der tatsächlichen Parameter. Änderungen in den formalen Parametern gehen mit Verlassen der Funktion verloren. **Dies ist der Normalfall in C.**
  - *Call-by-reference* — Die formalen Parameter sind Verweise (Referenzen) auf die tatsächlichen Parameter. Änderungen in den formalen Parametern betreffen auch die tatsächlichen Parameter. **In C nur indirekt über Zeiger möglich.** ↪ 13–5
- Des weiteren gilt
  - Arrays werden in C immer *by-reference* übergeben [=Java]
  - Die Auswertungsreihenfolge der Parameter ist undefiniert! [≠Java]

Funktionsaufruf – Rekursion [=Java]

- Funktionen können sich auch selber aufrufen (Rekursion)

```
int fak( int n ) {
  if (n > 1)
    return n * fak(n-1);
  return 1;
}
```

Rekursive Definition der Fakultätsfunktion.

Ein anschauliches, aber mieses Beispiel für den Einsatz von Rekursion!

Rekursion ↦ $$$

Rekursion verursacht erhebliche Laufzeit- und Speicherkosten!
Pro Rekursionsschritt muss:

- Speicher bereit gestellt werden für Rücksprungadresse, Parameter und alle lokalen Variablen
- Parameter kopiert und ein Funktionsaufruf durchgeführt werden

Regel: Bei der systemnahen Softwareentwicklung wird möglichst auf **Rekursion verzichtet!**

Funktionsdeklaration [≠Java]

- Funktionen müssen vor ihrem ersten Aufruf im Quelltext deklariert (↦ bekannt gemacht) worden sein
  - Eine voranstehende Definition beinhaltet bereits die Deklaration
  - Ansonsten (falls die Funktion „weiter hinten“ im Quelltext oder in einem anderen Modul definiert wird) muss sie explizit deklariert werden
- Syntax: *Bezeichner* **(** *FormaleParam* **) ;**
- Beispiel:

```
// Deklaration durch Definition
int max( int a, int b) {
  if(a > b) return a;
  return b;
}

void main() {
  int z = max( 47, 11 );
}
```

```
// Explizite Deklaration
int max( int, int );

void main() {
  int z = max( 47, 11 );
}

int max( int a, int b) {
  if(a > b) return a;
  return b;
}
```

Funktionsdeklaration (Forts.) [≠Java]

- Funktionen ~~müssen~~ **sollten** vor ihrem ersten Aufruf im Quelltext deklariert (↦ bekannt gemacht) worden sein

Achtung: C erzwingt dies nicht!

- Es ist erlaubt **nicht-deklarierte** Funktionen aufzurufen (↪ implizite Deklaration)
- Derartige Aufrufe sind jedoch **nicht typsicher**
  - Compiler kennt die formale Parameterliste nicht
    ⇝ kann nicht prüfen, ob die tatsächlichen Parameter passen
  - Man kann **irgendwas** übergeben
- Moderne Compiler generieren immerhin eine **Warnung**
  ⇝ Warnungen des Compilers immer ernst nehmen!

Funktionsdeklaration (Forts.) [≠Java]

- Funktionen ~~müssen~~ **sollten** vor ihrem ersten Aufruf im Quelltext deklariert (↦ bekannt gemacht) worden sein
- **Beispiel:**

```
1  #include <stdio.h>
2
3  int main() {
4    double d = 47.11;
5    foo( d );
6    return 0;
7  }
8
9  void foo( int a, int b) {
10   printf( "foo: a:%d, b:%d\n", a, b);
11 }
```

5 Funktion `foo()` ist nicht **deklariert** ⇝ der Compiler **warnt**, aber akzeptiert beliebige tatsächliche Parameter

9 `foo()` ist **definiert** mit den formalen Parmetern `(int, int)`. Was immer an tatsächlichen Parametern übergeben wurde, wird entsprechend interpretiert!

10 **Was wird hier ausgegeben?**

Funktionsdeklaration (Forts.) [≠Java]

- Funktionen ~~müssen~~ **sollten** vor ihrem ersten Aufruf im Quelltext deklariert (↦ bekannt gemacht) worden sein
  - Eine Funktion, die mit leerer formaler Parameterliste deklariert wurde, akzeptiert ebenfalls beliebige Parameter ⇝ **keine Typsicherheit**
  - In diesem Fall warnt der Compiler **nicht!** Die Probleme bleiben!
- **Beispiel:**

```
#include <stdio.h>

void foo(); // "open" declaration

int main() {
  double d = 47.11;
  foo( d );
  return 0;
}

void foo( int a, int b) {
  printf( "foo: a:%d, b:%d\n", a, b);
}
```

Funktion `foo` wurde mit **leerer** formaler Parameterliste deklariert ⇝ dies ist formal ein **gültiger Aufruf!**

Funktionsdeklaration (Forts.) [≠Java]

- Funktionen ~~müssen~~ **sollten** vor ihrem ersten Aufruf im Quelltext deklariert (↦ bekannt gemacht) worden sein
  - Eine Funktion, die mit leerer formaler Parameterliste deklariert wurde, akzeptiert ebenfalls beliebige Parameter ⇝ **keine Typsicherheit**
  - In diesem Fall warnt der Compiler **nicht!** Die Probleme bleiben!

Achtung: Verwechslungsgefahr

- In Java deklariert `void foo()` eine **parameterlose** Methode
  - In C muss man dafür `void foo(void)` schreiben ↪ 9–3
- In C deklariert `void foo()` eine **offene** Funktion
  - Das macht nur in (sehr seltenen) Ausnahmefällen Sinn!
  - Schlechter Stil ⇝ Punktabzug

Regel: Funktionen werden stets **vollständig deklariert!**

Überblick: Teil B Einführung in C

Variablendefinition [≈Java]

- **Variable** := Behälter für Werte (↦ Speicherplatz)
- Syntax (Variablendefinition):
  SK_{opt} Typ_{opt} Bez_1 [= $Ausdr_1$]$_{opt}$ [, Bez_2 [= $Ausdr_2$]$_{opt}$, . . .]$_{opt}$;
  - SK_{opt} — Speicherklasse der Variable, `auto`, `static`, oder leer [≈Java]
  - Typ — Typ der Variable, `int` falls kein Typ angegeben wird (↦ schlechter Stil!) [=Java] [≠Java]
  - Bez_i — Name der Variable [=Java]
  - $Ausdr_i$ — Ausdruck für die initiale Wertzuweisung; wird kein Wert zugewiesen so ist der Inhalt von nicht-`static`-Variablen **undefiniert** [≠Java]

Variablendefinition (Forts.)

- Variablen können an verschiedenen Positionen definiert werden
  - Global — außerhalb von Funktionen, üblicherweise am Kopf der Datei
  - Lokal — zu Beginn eines `{ Blocks }`, direkt nach der öffnenden Klammer C89
  - Lokal — überall dort, wo eine Anweisung stehen darf C99

```
int a = 0;                  // a: global
int b = 47;                 // b: global

void main() {
  int a = b;                // a: local to function, covers global a
  printf("%d", a);
  int c = 11;               // c: local to function (C99 only!)
  for(int i=0; i<c; i++) {  // i: local to for-block (C99 only!)
    int a = i;              // a: local to for-block,
  }                         //    covers function-local a
}
```

Variablen – Sichtbarkeit, Lebensdauer

- Variablen haben
  - Sichtbarkeit (*Scope*) „Wer kann auf die Variable zugreifen?“
  - Lebensdauer „Wie lange steht der Speicher zur Verfügung?“
- Wird festgelegt durch Position (Pos) und Speicherklasse (SK)

Pos	SK	↦	Sichtbarkeit	Lebensdauer
Lokal	*keine*, `auto`		Definition → Blockende	Definition → Blockende
	`static`		Definition → Blockende	Erste Verwendung → Programmende
Global	*keine*		unbeschränkt	Programmstart → Programmende
	`static`		modulweit	Programmstart → Programmende

```
int a = 0;                  // a: global
static int b = 47;          // b: local to module

void f() {
  auto int a = b;           // a: local to function (auto optional)
                            //    destroyed at end of block
  static int c = 11;        // c: local to function, not destroyed
}
```


Variablen – Sichtbarkeit, Lebensdauer (Forts.)

- Sichtbarkeit und Lebensdauer sollten restriktiv ausgelegt werden
  - Sichtbarkeit so beschränkt wie möglich!
    - Überraschende Zugriffe „von außen“ ausschließen (Fehlersuche)
    - Implementierungsdetails verbergen (Black-Box-Prinzip, *information hiding*)
  - Lebensdauer so kurz wie möglich
    - Speicherplatz sparen
    - Insbesondere wichtig auf μ-Controller-Plattformen ↪ 1–3

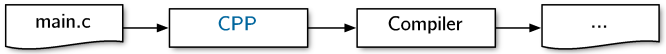
Konsequenz: Globale Variablen vermeiden!

- Globale Variablen sind überall sichtbar
- Globale Variablen belegen Speicher über die gesamte Programmlaufzeit

Regel: Variablen erhalten stets die **geringstmögliche Sichtbarkeit und Lebensdauer**

Überblick: Teil B Einführung in C

Der C-Präprozessor [≠Java]



- Bevor eine C-Quelldatei übersetzt wird, wird sie zunächst durch einen Makro-Präprozessor bearbeitet
  - Historisch ein eigenständiges Programm (**CPP** = **C P**re**P**rocessor)
  - Heutzutage in die üblichen Compiler integriert
- Der CPP bearbeitet den Quellcode durch Texttransformation
  - Automatische Transformationen („Aufbereiten“ des Quelltextes)
    - Kommentaren werden entfernt
    - Zeilen, die mit \ enden, werden zusammengefügt
    - ...
  - Steuerbare Transformationen (durch den Programmierer)
    - Präprozessor-Direktiven werden evaluiert und ausgeführt
    - Präprozessor-Makros werden expandiert

Präprozessor-Direktiven [≠Java]

- **Präprozessor-Direktive** := Steueranweisung an den Präprozessor

`#include <Datei>`	**Inklusion:** Fügt den Inhalt von *Datei* an der aktuellen Stelle in den Token-Strom ein.
`#define` *Makro Ersetzung*	**Makrodefinition:** Definiert ein Präprozessor-Makro *Makro*. In der Folge wird im Token-Strom jedes Auftreten des Wortes *Makro* durch *Ersetzung* substituiert. *Ersetzung* kann auch leer sein.
`#if`(*Bedingung*), `#elif`, `#else`, `#endif`	**Bedingte Übersetzung:** Die folgenden Code-Zeilen werden in Abhängigkeit von *Bedingung* dem Compiler überreicht oder aus dem Token-Strom entfernt.
`#ifdef` *Makro*, `#ifndef` *Makro*	Bedingte Übersetzung in Abhängigkeit davon, ob *Makro* (z. B. mit `#define`) definiert wurde.
`#error` *Text*	**Abbruch:** Der weitere Übersetzungsvorgang wird mit der Fehlermeldung *Text* abgebrochen.

Der Präprozessor definiert letztlich eine eingebettete **Meta-Sprache**. Die Präprozessor-Direktiven (Meta-Programm) verändern das C-Programm (eigentliches Programm) vor dessen Übersetzung.

Präprozessor – Verwendungsbeispiele [≠Java]

- Einfache Makro-Definitionen

Leeres Makro (Flag)	`#define USE_7SEG`
Quelltext-Konstante	`#define NUM_LEDS (4)`
„Inline“-Funktion	`#define SET_BIT(m,b) (m | (1<<b))`

Präprozessor-Anweisungen werden **nicht** mit einem Strichpunkt abgeschlossen!

- Verwendung

```
#if( (NUM_LEDS > 8) || (NUM_LEDS < 0) )
#  error invalid NUM_LEDS           // this line is not included
#endif

void enlighten(void) {
  uint8_t mask = 0, i;
  for (i = 0; i < NUM_LEDS; i++) {  // NUM_LEDS --> (4)
    mask = SET_BIT(mask, i);        // SET_BIT(mask, i) --> (mask | (1<<i))
  }
  sb_led_set_all_leds( mask );      // -->

#ifdef USE_7SEG
  sb_show_HexNumber( mask );        // --> 0F
#endif

}
```

Präprozessor – Gefahren [≠Java]

- Funktionsähnliche Makros sind keine Funktionen!
  - Parameter werden nicht evaluiert, sondern textuell eingefügt
    Das kann zu unangenehmen Überraschungen führen

```
#define POW2(a) 1 << a              << hat geringere Präzedenz als *
n = POW2( 2 ) * 3                 ⇝ n = 1 << 2 * 3
```

  - Einige Probleme lassen sich durch korrekte Klammerung vermeiden

```
#define POW2(a) (1 << a)
n = POW2( 2 ) * 3                 ⇝ n = (1 << 2) * 3
```

  - Aber nicht alle

```
#define max(a,b) ((a > b) ? a : b)    a++ wird ggf. zweimal ausgewertet
n = max( x++, 7 )                 ⇝ n = ((x++ > 7) ? x++ : 7)
```

- Eine mögliche Alternative sind `inline`-Funktionen C99
  - Funktionscode wird eingebettet ⇝ ebenso effizient wie Makros

```
inline int max(int a, int b) {
  return (a > b) ? a : b;
}
```