Teil 6 – C-Programmierung auf Mikrocontrollern

6.1. Datentypen mit definierter Länge
6.2. Bit-Operationen
6.3. Volatile
6.4. Ports und Register
6.5. Statische Daten im Programm-Flash

```
// ------------------------------------------------------------------
// Timer-Interrupt: Wenn der Sinus-Modus aktiv ist, regelt diese Interrupt-
// Funktion die Ansteuerung des DA-Wandlers und ggf. des Trigger-Ausgangs.
// ------------------------------------------------------------------
ISR (TIMER0_COMPA_vect)
{
    PORTB = next_sin_value;  // Nächsten Sinus-Stützpkt. an DA-Wandler senden
    PORTD = next_dig_value;  // Falls gewünscht, ggf. Triggersignal ausgeben

    cbi(PORTD, DAC_ENABLE);  // Chip-Enable-Signal für DA-Wandler generieren
    asm volatile ("nop");    // (...Spannung kurz runter und wieder rauf...)
    sbi(PORTD, DAC_ENABLE);

    // Die beim nachfolgenden Timer-Interrupt auszugebenden Werte
    // (next_sin_value, next_dig_value) werden hier schon vorbereitet,
    // dann stehen sie beim nächsten Interrupt gleich zur Verfügung!
    ++sin_index;
    next_sin_value = pgm_read_byte_near(sin_table + sin_index);
    if(!next_sin_value)
    {
        sin_index = 0;
        next_sin_value = pgm_read_byte_near(sin_table + sin_index);
        if(trigger_on) next_dig_value ^= (1<<DIG_SIGNAL);
    }
}
```

Beispiel aus dem Praktikum

Demoprogramm zum Senden über die serielle Schnittelle

```
//                          +----------------------------------- Startbit
//                          |  +---------------------------------- Datenbit 0
//                          |  |  +------------------------------- Datenbit 1
//                          |  |  |  +---------------------------- Datenbit 2
//                          |  |  |  |  +------------------------- Datenbit 3
//                          |  |  |  |  |  +---------------------- Datenbit 4
//                          |  |  |  |  |  |  +------------------- Datenbit 5
//                          |  |  |  |  |  |  |  +---------------- Datenbit 6
//                          |  |  |  |  |  |  |  |  +------------- Datenbit 7
//                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  +---------- Stoppbit
//                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
//                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
//                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
int bits_zum_senden[] = { 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 1,
                          1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1,  // kleine Pause...
                          1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1,  // kleine Pause...
                         -1 };  // Ende der Übertragung - zurück zum Anfang
```

Beispiel aus dem Praktikum

Das Feld mit den zu übertragenden Einsen und Nullen wird im Datentyp „int“ abgespeichert. Auf dem Mikrocontroller ATmega328 belegt daher jede Zahl zwei Byte Speicher!

2.2.Senden1.hex

```
ü . à P ÿ O . . . . . ! ô . .   :1000F000FC01E050FF4F80819181019621F4109224
? . . . > . ÿ . ï . . . . . / .   :10010000 3F0110923E01FF91EF919F918F912F91AE
. . . ¾ . . . . . . . Á . . à   :10011000 0F900FBE0F901F9018951092C10082E0B3
. ¹ . µ . ` . ½ . µ . ` . ½ . á   :10012000 8AB984B5826084BD85B5836085BD89E167
. ½ î æ ð à . . . ` . . x . . .   :10013000 87BDEEE6F0E0808182608083789408 9548
. . . . ÿ Ï ø . ÿ Ï               :0A014000 0E948D00FFCFF894FFCF 5E
. . . . . . . . . . . . . . . .   :10014A00 0000000000000000100010000000100A2
. . . . . . . . . . . . . . . .   :10015A00 0000010001000100010001000100010008E
. . . . . . . . . . . . . . . .   :10016A00 0100010001000100010001000100010007D
. . . . . . . . . . . . ÿ ÿ       :0E017A00 0100010001000100010001000 FFFF73
No data for this line             :00000001FF
```

5.2.4.2.1 Sizes of integer types <limits.h>

1 expression that is an object of the corresponding type converted according to the integer promotions. Their implementation-defined values shall be equal or greater in magnitude (absolute value) to those shown, with the same sign.

— number of bits for smallest object that is not a bit-field (byte)
`CHAR_BIT` 8

— minimum value for an object of type `int`
`INT_MIN` `-32767 //` $-(2^{15} - 1)$

— maximum value for an object of type `int`
`INT_MAX` `+32767 //` $2^{15} - 1$

— maximum value for an object of type `unsigned int`
`UINT_MAX` `65535 //` $2^{16} - 1$

6.2.5 Types

4 There are five *standard signed integer types*, designated as **`signed char`**, **`short int`**, **`int`**, **`long int`**, and **`long long int`**. (These and other types may be designated in several additional ways, as described in 6.7.2.) There may also be

6 For each of the signed integer types, there is a corresponding (but different) unsigned integer type (designated with the keyword **`unsigned`**) that uses the same amount of storage (including sign information) and has the same alignment requirements. The type

Ausschnitt aus stdint.h

Integer-Typen für AVR-8-Bit-Mikrocontroller

```
/*
* ISO/IEC 9899:1999  7.18 Integer types <stdint.h>
*/

typedef signed char int8_t;
typedef unsigned char uint8_t;
typedef signed int int16_t;
typedef unsigned int uint16_t;
typedef signed long int int32_t;
typedef unsigned long int uint32_t;
```

Beispiel aus dem Praktikum

LED am Ausgang PB5 ein- und ausschalten

```
int main(void)
{
    DDRB = 0b00100000;  // PB5 als Ausgang konfigurieren

    while(1)
    {
        PORTB = 0b00100000;  // ein
        _delay_ms(500);

        PORTB = 0b00000000;  // aus
        _delay_ms(500);
    }
}
```

C++ Operator Precedence

Die folgende Tabelle zeigt Ausführungspriorität und Assoziativität der C++-Operatoren. nach unten von vorrangiger zu nachrangiger Priorität hin geordnet.

Priorität	Operator	Beschreibung
1	: :	Bereichsauflösung
	++ - -	Suffix-/Postfix-Inkrement und -Dekrement
	( )	Funktionsaufruf
	[ ]	Arrayindizierung
	+ -	Addition und Subtraktion
7	<< >>	bitweise Rechts- und Linksverschiebung
8	< <=	kleiner-als und kleiner-gleich
	> >=	größer-als und größer-gleich
9	== !=	gleich und ungleich
10	&	bitweises AND
11	^	bitweises XOR (entweder-oder)
12	|	bitweises OR (ein oder beide)
13	&&	logisches AND
14	||	logisches OR

Quelle: [1]

Beispiel aus dem Praktikum (a)

Timer 0 konfigurieren: ca. 20 Timer-Interrupts pro Sekunde

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	COM0A1	COM0A0	COM0B1	COM0B0	–	–	WGM01	WGM00	TCCR0A
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	
	FOC0A	FOC0B	–	–	WGM02	CS02	CS01	CS00	TCCR0B
Read/Write	W	W	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

```
// PB3 als Ausgang konfigurieren
DDRB = 0b00001000;

// Timer 0 konfigurieren
TCCR0A = 0b00000010;    // CTC Modus --> WGM01-Bit setzen
TCCR0B = 0b00000101;    // Prescaler: 1024 --> CS00- und CS02 setzen
OCR0A = 58;             // Vergleichswert für Timer

// Compare Interrupt erlauben
TIMSK0 = 0b00000100;    // OCIE0A-Bit setzen
```

Beispiel aus dem Praktikum (b)

Timer 0 konfigurieren: ca. 20 Timer-Interrupts pro Sekunde

```
// PB3 als Ausgang konfigurieren
DDRB |= _BV(PB3);

// Timer 0 konfigurieren
TCCR0A |= _BV(WGM01);             // CTC Modus ("Clear Timer on Compare Match")
TCCR0B |= _BV(CS00) + _BV(CS02);  // Prescaler: 1024
OCR0A = 58;                       // Vergleichswert für Timer

// Compare Interrupt erlauben
TIMSK0 |= _BV(OCIE0A);
```

Beispiel

Variable "millis" wird im Interrupt und im Hauptprogramm genutzt

```
volatile int64_t millis = 0;  // Millisekunden seit Programmstart

ISR(TIM0_COMPA_vect) // Timer Compare Match Interrupt
{
    ++millis;
}

int main(void)
{
    int seconds;
    ...
    while(1)
    {
        // Achtung: Timer-Interrupts kurz deaktivieren, damit "millis"
        // nicht während (!) der folgenden Berechnung verändert wird!
        cli(); seconds = millis / 1000; sei();

        if(seconds % 2 == 0)
            PORTB = 0b00001000;
        else
            ...
```

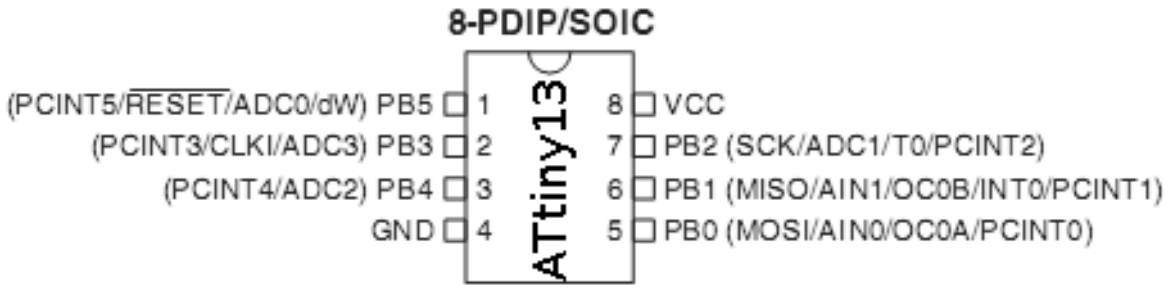
ATtiny13

Übersicht über alle Register, siehe Datenblatt S. 157

Register Summary

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
0x3F	SREG	I	T	H	S	V	N	Z	C
0x3E	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–
		SP[7:0]							
0x1A	Reserved	–							
0x19	Reserved	–							
0x18	PORTB	–	–	PORTB5	PORTB4	PORTB3	PORTB2	PORTB1	PORTB0
0x17	DDRB	–	–	DDB5	DDB4	DDB3	DDB2	DDB1	DDB0
0x16	PINB	–	–	PINB5	PINB4	PINB3	PINB2	PINB1	PINB0
0x15	PCMSK	–	–	PCINT5	PCINT4	PCINT3	PCINT2	PCINT1	PCINT0

Das Register PORTB liegt an Adresse 0x18



Quelle: [2]

pgmspace.h

Statische Daten im Programm-Flash ablegen

```
#include <avr/pgmspace.h>
const uint8_t sin_tab[] PROGMEM =
{   // Vorberechnete Sinustabelle...
    35,  35, 195, 195,  67,  67, 131, 131,   3,   3,
    93,  93, 157, 157,  29,  29, 237, 237, 109, 109,
    ......
    19,  19,  19, 227, 227,  99,  99, 163, 163, 163,   0
};                          // Ende der Tabelle:  --------^
uint16_t sin_index = 0;
```

```
ISR (TIMER0_OVF_vect)
{   // Regelmäßiger Timer-Interrupt...
    uint8_t x = pgm_read_byte_near(sin_tab + sin_index);
    sin_index = sin_index + 1;
    if(x == 0)
    {
        sin_index = 0; // Tabellenende? --> Zurück zum Anfang...
        x = pgm_read_byte_near(sin_tab + sin_index);
    }
    . . . .
```

Quellenverzeichnis

[1] de.cppreference.com: Sprache, Operator-Vorrang (Stand: 10.05.2016)

[2] www.atmel.com: Datenblatt ATtiny13 (Stand: 12.04.2016)