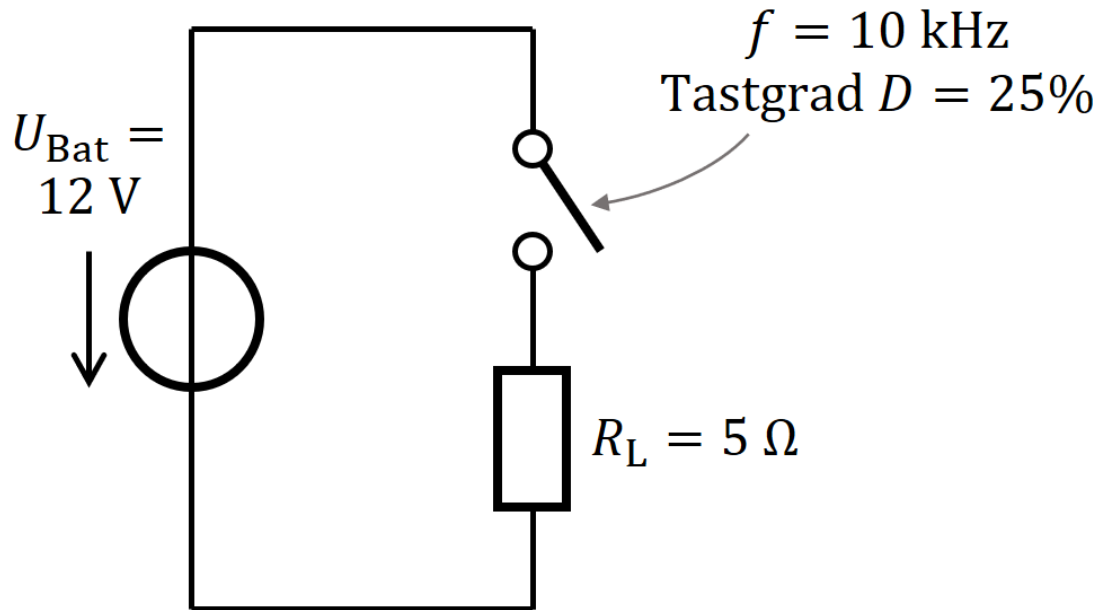


Einleitung

Wenn große Verbraucher (Elektromotoren, Heizungen, Lampen) stufenlos angesteuert werden müssen, geschieht dies oft mittels Pulsweitenmodulation (PWM). Die Versorgungsspannung des Verbrauchers wird dabei mit einer hohen Frequenz ständig ein- und ausgeschaltet. Die Versorgungsspannung hat also eine konstante Amplitude und eine konstante Frequenz, der Tastgrad ist allerdings variabel.

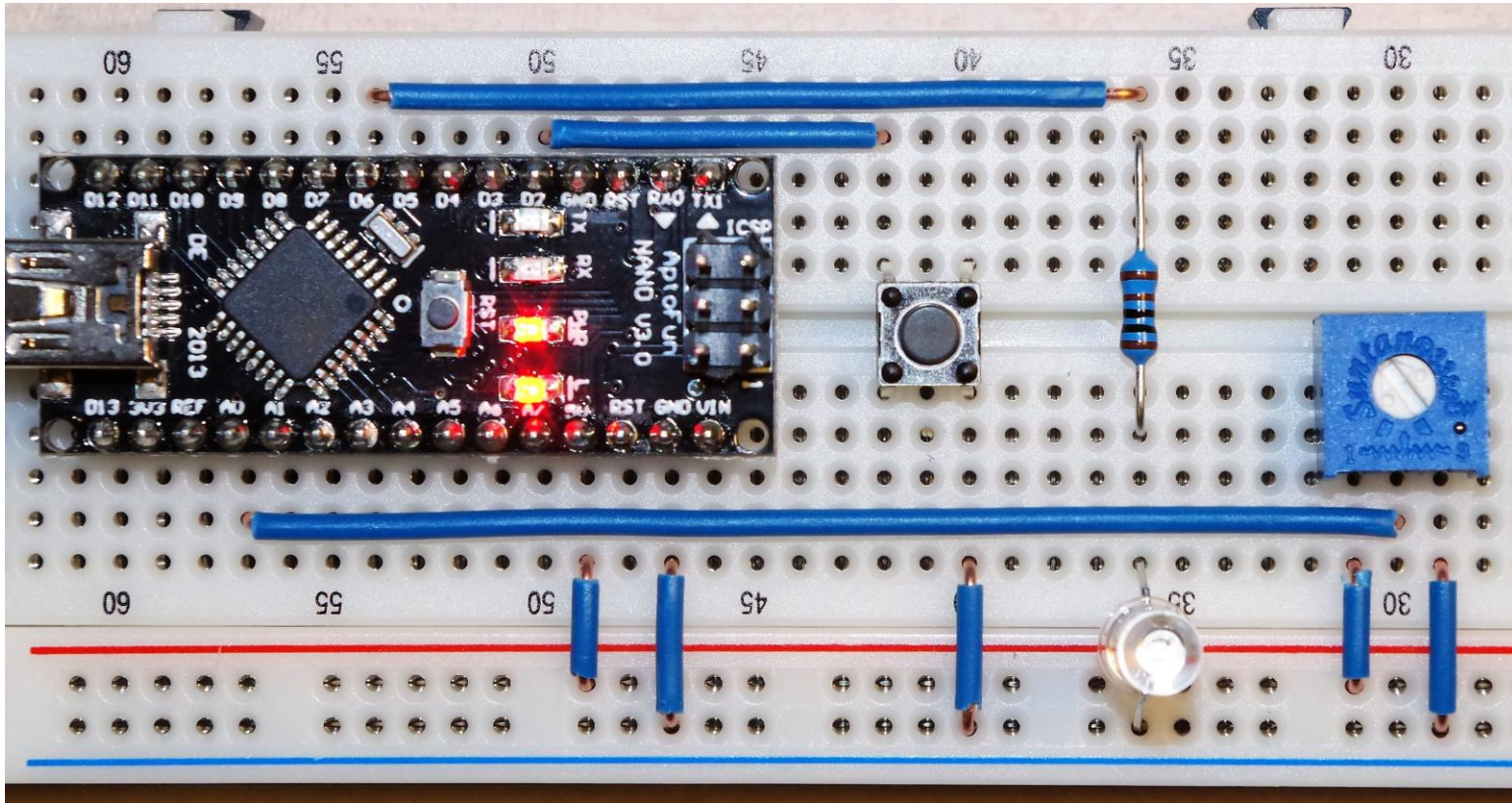


Eine stufenlose Ansteuerung über regelbare Vorwiderstände verbietet sich aus Effizienzgründen: Zuviel Energie ginge im Vorwiderstand als Wärme verloren...

PWM-Testprogramm (a)

Aufgabe E1

Verbinden Sie einen regelbaren Widerstand mit dem Anschluss ADC0/PC0 (siehe Praktikum, Teil D) sowie eine Leuchtdiode mit dem Anschluss OC0A/PD6.



Laden Sie das Testprogramm von der nächsten Folie auf den Mikrocontroller und beobachten Sie die Leuchtdiode. Berechnen Sie mithilfe der Angaben aus dem Datenblatt die Frequenz und den Tastgrad des PWM-Signals!

PWM-Testprogramm (b)

```
#define F_CPU 16000000UL
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>

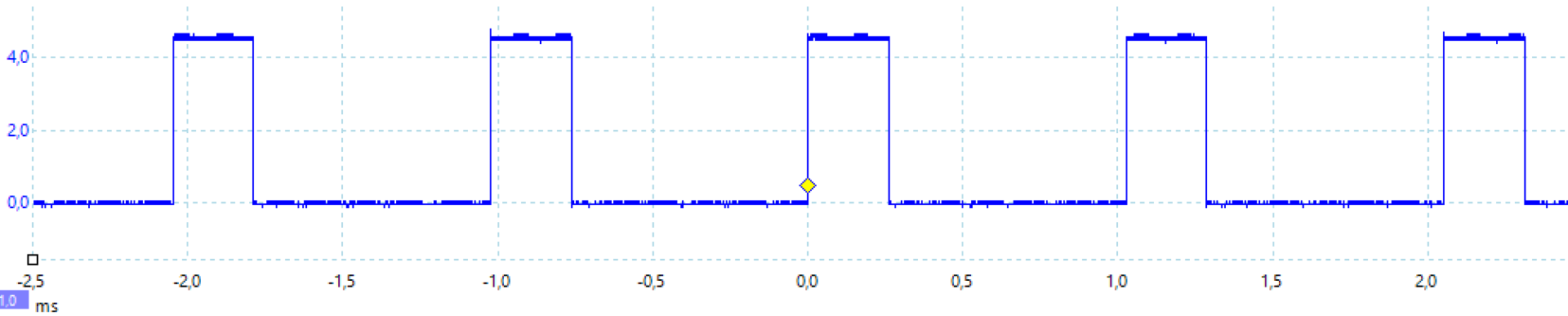
void init_pwm(void)
{
    DDRD = _BV(PD6); // PWM-Ausgabe erfolgt immer an PD6/OC0A
    TCCR0A = _BV(COM0A1) + _BV(WGM00) + _BV(WGM01); // S. 139f., Tab. 19-5/-9
    TCCR0B = _BV(CS00) + _BV(CS01); // Datenblatt S. 142, Tab. 19-10
    OCR0A = 128; // Tastgrad
}

int main(void)
{
    init_pwm();
    while(1)
    {
        OCR0A = 0; _delay_ms(1000); // Frequenz, Tastgrad = ...?!
        OCR0A = 64; _delay_ms(1000); OCR0A = 128; _delay_ms(1000);
        OCR0A = 192; _delay_ms(1000); OCR0A = 255; _delay_ms(1000);
    }
}
```

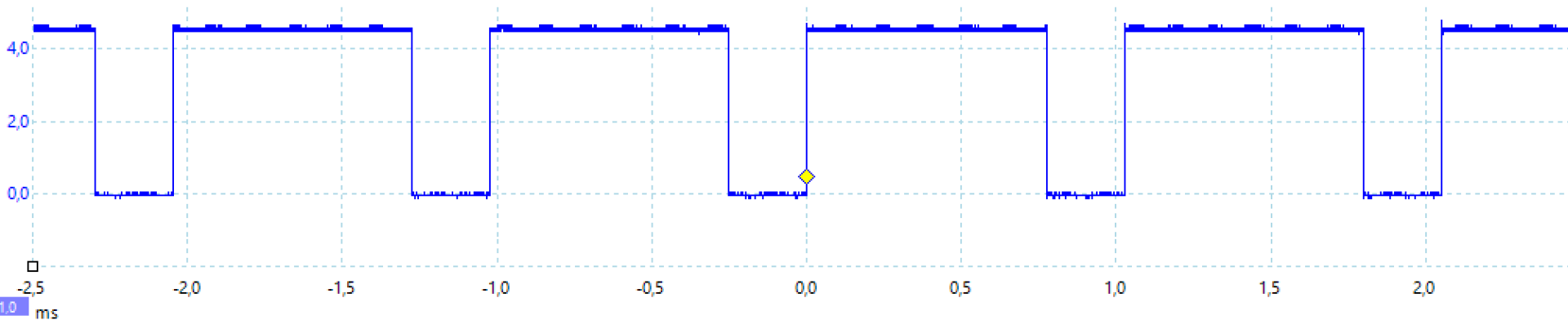
PWM-Testprogramm (c)

Aufgabe E1

Messung mit dem Oszilloskop, Spannungsverlauf am Anschluss OC0A/PD6:



Channel	Name	Value	Min	Max	Average	σ	Capture Count	Span
A	Frequency	975.9 Hz	975.9 Hz	975.9 Hz	975.9 Hz	12.52 μ	20	Whole trace
A	Duty Cycle	25.41 %	25.41 %	25.41 %	25.41 %	0.000 %	20	Whole trace



Channel	Name	Value	Min	Max	Average	σ	Capture Count	Span
A	Frequency	975.9 Hz	975.9 Hz	975.9 Hz	975.9 Hz	17.71 μ	20	Whole trace
A	Duty Cycle	75.41 %	75.41 %	75.45 %	75.44 %	0.017 %	20	Whole trace

PWM mit regelbarem Widerstand einstellen

Erstellen Sie nun ein Programm, welches die Leuchtdiode am Anschluss OC0A/PD6 mit einem Tastgrad zwischen 0% und 100% ansteuert:

- Der gewünschte Tastgrad wird vom Anwender über den regelbaren Widerstand am Anschluss ADC0/PC0 vorgegeben.
- Wenn der regelbare Widerstand nach rechts gedreht wird, soll die Leuchtdiode heller werden.
- Was müssen Sie an Ihrem Programm ändern, damit sich die Helligkeit erhöht, wenn der Widerstand nach links gedreht wird?
- Zusatzaufgabe: Die vom Auge empfundene Helligkeit ist in etwa dem Logarithmus des Reizes proportional. Wenn man den vom Analog-Digital-Wandler gelieferten Eingangswert im Bereich 0...1023 linear auf einen PWM-Tastgrad im Bereich von 0...255 abbildet, fühlt sich die Bedienung des Reglers „unnatürlich“ an.

Verbessern Sie daher die Berechnung des PWM-Tastgrads: Der Tastgrad soll sich abhängig vom Eingangswert exponentiell ändern. Sie können für die notwendigen Berechnungen den Datentyp „double“ sowie die mathematischen Funktionen aus der Include-Datei „math.h“ verwenden.

Ausgabe einer Sinusschwingung (a)

Erstellen Sie ein Programm, welches am Anschluss OC0A/PD6 eine Sinusschwingung als PWM-Signal ausgibt:

- Beginnen Sie mit dem vorbereiteten Quelltext auf den folgenden Folien.
- Die Tabelle zu Beginn des Programms enthält für alle Winkel von 0° bis 358° (in Schritten von 2°) die bereits ausgerechneten Sinuswerte. Die Tabelle wird im Programm-Flash des Mikrocontrollers gespeichert.
- Die ausgerechneten Sinuswerte sind so skaliert, dass alle Werte im Bereich von 1 bis einschließlich 255 liegen. Sie können also direkt zur Einstellung des PWM-Tastgrads verwendet werden.
- Der „Timer 0“ erledigt in diesem Programm zwei Aufgaben:
 1. Er generiert das PWM-Signal am Anschluss OC0A/PD6 des Mikrocontrollers.
 2. Wenn der Zählerstand von 255 wieder auf 0 springt, wird ein „Overflow Interrupt“ ausgelöst. In der dazugehörigen Interrupt-Funktion wird der nächste Sinuswert aus der Tabelle gelesen und als PWM-Tastgrad übernommen.

Ausgabe einer Sinusschwingung (b)

```
#define F_CPU 16000000UL
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <avr/pgmspace.h>

const uint8_t sin_tab[] PROGMEM =
{
    // Sinuswerte von 0°...358° in Schritten von 2°
    128, 132, 137, 141, 146, 150, 154, 159, 163, 167, 171, 176,
    180, 184, 188, 192, 195, 199, 203, 206, 210, 213, 216, 219,
    222, 225, 228, 231, 233, 236, 238, 240, 242, 244, 246, 247,
    249, 250, 251, 252, 253, 254, 254, 255, 255, 255, 255, 255,
    254, 254, 253, 252, 251, 250, 249, 247, 246, 244, 242, 240,
    238, 236, 233, 231, 228, 225, 222, 219, 216, 213, 210, 206,
    203, 199, 195, 192, 188, 184, 180, 176, 171, 167, 163, 159,
    154, 150, 146, 141, 137, 132, 128, 124, 119, 115, 110, 106,
    102, 97 , 93 , 89 , 85 , 80 , 76 , 72 , 68 , 65 , 61 , 57 ,
    53 , 50 , 46 , 43 , 40 , 37 , 34 , 31 , 28 , 25 , 23 , 20 ,
    18 , 16 , 14 , 12 , 10 , 9 , 7 , 6 , 5 , 4 , 3 , 2 ,
    2 , 1 , 1 , 1 , 1 , 1 , 2 , 2 , 3 , 4 , 5 , 6 ,
    7 , 9 , 10 , 12 , 14 , 16 , 18 , 20 , 23 , 25 , 28 , 31 ,
    34 , 37 , 40 , 43 , 46 , 50 , 53 , 57 , 61 , 64 , 68 , 72 ,
    76 , 80 , 85 , 89 , 93 , 97 , 102, 106, 110, 115, 119, 124,
    0 // <--- Ende-Markierung
};
```


Ausgabe einer Sinusschwingung (c)

```
uint16_t sin_index = 0; // Aktuelle Position in der Sinustabelle

ISR(TIMER0_OVF_vect) // Timer-Overflow-Interrupt
{
    // TODO: Nächsten Sinuswert aus Tabelle lesen
    // und den PWM-Tastgrad entsprechend einstellen!
}

void init_pwm_and_interrupt(void) // PWM und Overflow-Interrupt aktivieren
{
    DDRD = _BV(PD6); // PWM-Ausgabe am Anschluss PD6/OC0A
    TCCR0A = _BV(COM0A1) + _BV(WGM00) + _BV(WGM01); // S. 139f., Tab. 19-5/-9
    TCCR0B = _BV(CS02); // clk/256-Prescaler, Datenblatt S. 142, Tab. 19-10
    TIMSK0 |= _BV(TOIE0); // Overflow-Interrupt aktivieren
    sei();
}

int main(void)
{
    init_pwm_and_interrupt();
    while(1) { /* Interrupt-Funktion erledigt den Rest... */ }
}
```

Welche Frequenz hat die Sinusschwingung?

Ausgabe einer Sinusschwingung (d)

Spannungsverlauf an OC0A/PD6 ohne (oben) und mit (unten) Tiefpassfilter:

