Aufgabe 1: (14 Punkte)

Bei den Einfachauswahlfragen in dieser Aufgabe ist jeweils nur **eine** richtige Antwort eindeutig anzukreuzen. Auf die richtige Antwort gibt es die angegebene Punktzahl.

Wollen Sie eine Antwort korrigieren, streichen Sie bitte die falsche Antwort mit drei waagrechten Strichen durch (☒) und kreuzen die richtige an.

Lesen Sie die Frage genau, bevor Sie antworten.

a) Was versteht man beim Zugriff auf I/O-Register unter dem Begriff *Memory-mapped*? 2 Punkte

- ☐ Der Zugriff auf die Register erfolgt mit speziellen mmap-Instruktionen des Prozessors.
- ☐ Die Register sind nicht real, sondern nur virtuell im Hauptspeicher vorhanden (sog. "virtual devices").
- ☐ Beim Zugriff auf spezielle Speicherbereiche des Hauptspeichers werden die Inhalte der Hauptspeicherzellen automatisch in Geräteregister umkopiert.
- ☐ Die Register sind in den Adressraum des Prozessors eingeblendet und der Zugriff erfolgt mit den normalen Speicherzugriffsinstruktionen.

b) Welche Aussage zu *volatile* ist richtig? 2 Punkte

- ☐ Das Schlüsselwort `volatile` unterbindet Optimierungen an einer damit definierten Variable.
- ☐ Das Schlüsselwort `volatile` unterbindet alle Nebenläufigkeitsprobleme.
- ☐ Das Schlüsselwort `volatile` erlaubt dem Compiler bessere Optimierungen durchzuführen.
- ☐ Das Schlüsselwort `volatile` hat nur noch eine historische Bedeutung und ist in heutigen Programmen nicht mehr nötig.

c) Was versteht man unter Nebenläufigkeit? 2 Punkte

- ☐ Wenn für zwei Befehle aus zwei Programmabläufen nicht feststeht, welcher von beiden tatsächlich zuerst ausgeführt werden wird.
- ☐ Die Programmabschnitte im `if`- und `else`-Teil einer bedingten Anweisung.
- ☐ Wenn ein Programm abwechselnd auf zwei verschiedene Speicherbereiche zugreift.
- ☐ Wenn ein Programmabschnitt in einer Schleife mehrfach durchlaufen wird.

d) Welche der folgenden Aussagen bzgl. der Interruptsteuerung ist richtig? 2 Punkte

- ☐ Pegelgesteuerte Interrupts werden bei jedem Wechsel des Pegels ausgelöst.
- ☐ Interrupts sind eine Besonderheit von AVR-Mikroprozessoren. Auf anderen Architekturen müssen externe Ereignisse durch Pollen abgefragt werden.
- ☐ Wurde gerade ein Flanken-gesteuerter Interrupt ausgelöst, so muss erst ein Pegelwechsel der Interruptleitung stattfinden, damit erneut ein Interrupt ausgelöst werden kann.
- ☐ Pegelgesteuerte Interrupts müssen durch Pollen des Pegels abgefragt werden.

e) Was bewirken folgende Programmanweisungen? 2 Punkte

```
uint8_t x = 42;
x ^= ~x;
```

Welche Aussage ist richtig:

- ☐ Alle Bits der Variable ändern ihren Wert.
- ☐ Die Variable hat nach der Operation den Wert `0`.
- ☐ Alle Bitwerte werden um eine Stelle nach links verschoben.
- ☐ Die Variable hat nach der Operation den Wert `255`.

f) Gegeben ist folgendes Makro: 2 Punkte

```
#define SQ(x) (x * x)
```

Wie ist das Ergebnis des folgenden Ausdrucks

```
2 * SQ(1 - 3)
```

- ☐ 8
- ☐ -10
- ☐ 2
- ☐ -4

g) Gegeben ist folgender Ausdruck: 2 Punkte

```
if ((foo > 42) && (foo = 23)) {
    func();
}
```

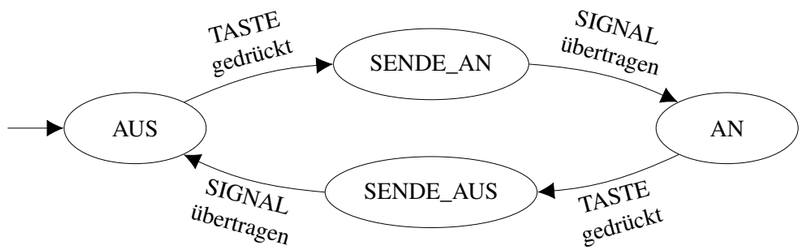
Welche Aussage ist richtig?

- ☐ Der Compiler meldet einen Fehler, weil dieser Ausdruck nicht zulässig ist.
- ☐ Falls `foo` den Wert `23` enthält, wird `func()` aufgerufen.
- ☐ Falls `foo` den Wert `65` enthält, wird `func()` aufgerufen.
- ☐ Die Bedingung wird niemals wahr, somit wird `func()` im gegebenen Ausdruck nicht aufgerufen.

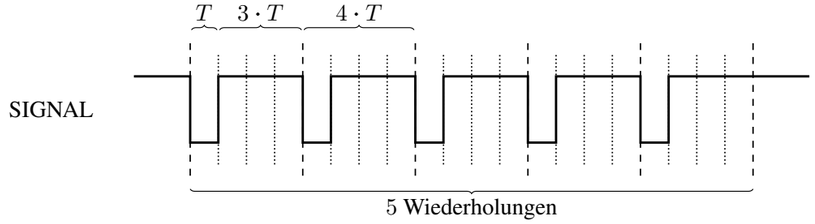
Aufgabe 2: Funksteckdose (30 Punkte)

Sie dürfen diese Seite zur besseren Übersicht bei der Programmierung heraustrennen!

Übersicht: Schreiben Sie ein Programm für den AVR-Mikrocontroller, welches die batteriebetriebene Fernbedienung einer Funksteckdose implementiert: Auf Knopfdruck soll der Zustand der Steckdose durch Ausgabe eines Signals umgeschalten werden. Das Signal soll unter Zuhilfenahme eines Zeitgebers erzeugt werden. Bis zum Ende der Signalübertragung sollen weitere Knopfdrücke ignoriert werden. Die folgende Zustandsmaschine soll den Kern Ihrer Implementierung bilden:



Signal: Das Signal zum Umschalten ist abschnittsweise konstant. Der Abstand zwischen zwei Pegeln beträgt ganzzahlige Vielfache von $T = 16\mu s$.
Wie die nachstehende Grafik illustriert, besteht der zeitliche Verlauf des Signals zum Anschalten (`SENDE_AN`) aus fünf Wiederholungen der Sequenz `low`, `high`, `high`, `high`, wobei der Ruhepegel `high` ist:



Das Signal zum Auschalten (`SENDE_AUS`) besteht entsprechend aus fünf Wiederholungen der Sequenz `low`, `low`, `low`, `high`.

Im Detail soll Ihr Programm wie folgt funktionieren:

- Initialisieren Sie die Hardware in der Funktion **`void`** `init(`**`void`**`)`. Treffen Sie hierbei keine Annahmen über den initialen Zustand der Hardware-Register.
- Implementieren Sie in der Funktion `main()` die oben stehende Zustandsmaschine.
- Verwenden Sie eine externe Interruptquelle zur Erkennung der Tastendrücke.
- Erzeugen Sie die Signale unter Zuhilfenahme eines Zeitgebers. Konfigurieren Sie diesen so, dass er alle $T = 16\mu s$ einen Interrupt auslöst.
- Stellen Sie sicher, dass sich der Mikrocontroller möglichst oft im Schlafmodus befindet um die Batterie der Fernbedienung zu schonen. Deaktivieren Sie hierfür insbesondere in den Zuständen `AUS` und `AN` die Überlaufinterrupts des Zeitgebers und in den Zuständen `SENDE_AN` und `SENDE_AUS` die Interrupts der Taste.

Hinweis: Wir empfehlen die Implementierung der Zustandsmaschine mit **`if-else`** statt mit **`switch-case`** Anweisungen zu realisieren.

Information über die Hardware

Sie dürfen diese Seite zur besseren Übersicht bei der Programmierung heraustrennen!

Taste: Interruptleitung an **`PORTD`**, Pin 2

- active-low: Wird die Taste gedrückt, so liegt ein LOW-Pegel an
- Pin als Eingang konfigurieren: Entsprechendes Bit im **`DDRD`**-Register auf 0
- Internen Pull-Up-Widerstand aktivieren: Entsprechendes Bit im **`PORTD`**-Register auf 1
- Externe Interruptquelle **`INT0`**, ISR-Vektor-Makro: **`INT0_vect`**
- Aktivieren/Deaktivieren der Interruptquelle erfolgt durch Setzen/Löschen des **`INT0`**-Bits im Register **`EIMSK`**

Konfiguration der externen Interruptquelle **`INT0`** (Bits im Register **`EICRA`**)

Interrupt 0		Beschreibung
`ISC01`	`ISC00`	
`0`	`0`	Interrupt bei low Pegel
`0`	`1`	Interrupt bei beliebiger Flanke
`1`	`0`	Interrupt bei fallender Flanke
`1`	`1`	Interrupt bei steigender Flanke

Sendeleitung: Ausgang an **`PORTD`**, Pin 6

- Pin als Ausgang konfigurieren: Entsprechendes Bit im **`DDRD`**-Register auf 1
- Ruhepegel `high`: Entsprechendes Bit im **`PORTD`**-Register auf 1

Zeitgeber (8-bit): **`TIMER0`**

- Es soll die Überlaufunterbrechung verwendet werden (ISR-Vektor-Makro: **`TIMER0_OVF_vect`**)
- Der ressourcenschonendste Vorteiler (*prescaler*) ist 1, wodurch es bei dem 16 MHz CPU-Takt alle $16\mu s$ zum Überlauf des 8-bit-Zählers **`TCNT0`** kommt. Somit entspricht jeder Überlauf genau einer Zeiteinheit T
- Aktivieren/Deaktivieren der Interruptquelle erfolgt durch Setzen/Löschen des **`TOIE0`**-Bits im Register **`TIMSK0`**

Konfiguration der Frequenz des Zeitgebers **`TIMER0`** (Bits im Register **`TCCR0B`**)

`CS02`	`CS01`	`CS00`	Beschreibung
`0`	`0`	`0`	Timer aus
`0`	`0`	`1`	CPU-Takt
`0`	`1`	`0`	CPU-Takt / 8
`0`	`1`	`1`	CPU-Takt / 64
`1`	`0`	`0`	CPU-Takt / 256
`1`	`0`	`1`	CPU-Takt / 1024
`1`	`1`	`0`	Ext. Takt (fallende Flanke)
`1`	`1`	`1`	Ext. Takt (steigende Flanke)

Ergänzen Sie das folgende Codegerüst so, dass ein vollständig übersetzbares Programm entsteht.

```
#include <avr/interrupt.h>
#include <avr/io.h>
#include <avr/sleep.h>
#include <stdint.h>

enum Zustand {
  AUS       = 0,
  SENDE_AUS = 1,
  AN        = 2,
  SENDE_AN  = 3
};

// Funktionsdeklarationen, globale Variablen, etc.

// Unterbrechungsbehandlungsfunktionen

// Ende Unterbrechungsbehandlungsfunktionen
```

A:


```
// Funktion main

  // Initialisierung und lokale Variablen

  // Hauptschleife

    // Warten auf Ereignisse

    // Tastendruck verarbeiten
```

```
    // Überlauf verarbeiten
```

```
// Ende main
```

M:


```
// Initialisierungsfunktion
```

```
// Ende Initialisierungsfunktion
```

I:

Aufgabe 3: Parallel Word Count (15 Punkte)

Sie dürfen diese Seite zur besseren Übersicht bei der Programmierung heraustrennen!

Schreiben Sie ein Programm `pwc` (parallel word count), welches die Anzahl der Wörter in den als Parameter übergebenen Dateien zählt. Das Zählen der Wörter wird dabei für jede Datei in einem eigenen Prozess ausgeführt.

```
$> ./pwc Kant_Streit_der_Fakultaeten.txt Marx_Lohnarbeit_und_Kapital.txt \
       Beckenbauer_WM1974.txt Schoppenhauer_Die_Stachelschweine.txt

   Schoppenhauer_Die_Stachelschweine.txt: 187
   Kant_Streit_der_Fakultaeten.txt: 30916
   Marx_Lohnarbeit_und_Kapital.txt: 9526
   Beckenbauer_WM1974.txt: 9
```

Als ein „Wort“ zählt hierbei jede Sequenz von Symbolen, welche nicht von einem Trennzeichen – Leerzeichen (`' '`), Tabulator (`'\t'`) oder Zeilenumbruch (`'\n'`) – unterbrochen werden. Symbole können **zum Beispiel** Buchstaben, Ziffern, und Satzzeichen sein.

Bitte beachten: Trennzeichen können unter Umständen mehrfach direkt hintereinander vorkommen.

Das Programm soll im Detail wie folgt funktionieren:

- Das Programm prüft zu Beginn, ob mindestens ein Parameter übergeben wurde. Sollte dies nicht der Fall sein, gibt es eine entsprechende Fehlermeldung aus und beendet sich.
- Wurde das Programm korrekt aufgerufen, wird für jeden Parameter ein Kindprozess gestartet, der die Wörter (unter Zuhilfenahme der zu implementierenden Funktion `wordcount()`) zählt und Dateiname sowie Anzahl der Wörter in der Konsole (auf `stdout`) ausgibt.
- Die Funktion `unsigned wordcount(const char *file)` bekommt einen Pfad zu einer Datei übergeben und gibt die Anzahl der darin enthaltenen Wörter zurück.
- Der Hauptprozess wartet mittels `wait()` auf die Beendigung aller Kindprozesse. Bei erfolgreichem Zählen der Wörter in allen Kindprozessen, beendet sich das Programm mit dem Statuscode `EXIT_SUCCESS`.
- Bei Fehlern (wie z.B. nicht vorhandenen Dateien, fehlende Dateiberechtigungen, . . .) soll eine Fehlermeldung ausgegeben werden und das Programm mit einem Fehlerstatus (`EXIT_FAILURE`) beendet werden.
- Achten Sie darauf allokierte Ressourcen wieder freizugeben (`free()`, `fclose()`, . . .).

Hinweise:

Achten Sie auf eine korrekte Fehlerbehandlung der verwendeten Funktionen. Fehlermeldungen sollen generell auf `stderr` erfolgen. Für Fehler, bei denen die `errno` Variable passend gesetzt wurde, kann die vorgegebene Funktion `die()` zur kompakten Fehlerbehandlung genutzt werden.

Ergänzen Sie das folgende Codegerüst so, dass ein vollständig übersetzbares Programm entsteht.

```
#include <unistd.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <sys/wait.h>

static void die(const char message[]){
  perror(message);
  exit(EXIT_FAILURE);
}

// Funktion wordcount
---------------------------------------------------------------------------
---------------------------------------------------------------------------
  // Datei öffnen
---------------------------------------------------------------------------
---------------------------------------------------------------------------
---------------------------------------------------------------------------
---------------------------------------------------------------------------
---------------------------------------------------------------------------
---------------------------------------------------------------------------
---------------------------------------------------------------------------
---------------------------------------------------------------------------
---------------------------------------------------------------------------
---------------------------------------------------------------------------
  // Zeichenweise einlesen und Wörter zählen
---------------------------------------------------------------------------
---------------------------------------------------------------------------
---------------------------------------------------------------------------
---------------------------------------------------------------------------
---------------------------------------------------------------------------
---------------------------------------------------------------------------
---------------------------------------------------------------------------
---------------------------------------------------------------------------
---------------------------------------------------------------------------
---------------------------------------------------------------------------
---------------------------------------------------------------------------
---------------------------------------------------------------------------
---------------------------------------------------------------------------
---------------------------------------------------------------------------
```

```
  // Fehlerbehandlung und Deinitialisierung
```

W:

```
// Funktion main
  // Parameter Fehlerbehandlung
```


F:

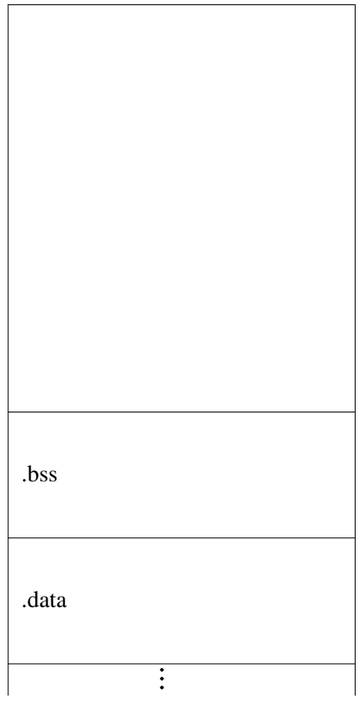
Aufgabe 4: Speicherorganisation (13 Punkte)

Das folgende Programm wird ohne Optimierungen übersetzt und auf einem 8-Bit AVR Mikrocontroller ausgeführt.

Hinweis: Lesen Sie zuerst die Aufgabenstellung – ein vollständiges Verständnis des Programms ist zur Bearbeitung der Aufgabe nicht notwendig.

```
1  #include <avr/io.h>
2
3  #define pins 4
4
5  uint8_t pin[pins] = { PD4, PD5, PD6, PD7 };
6  static uint16_t count = 1;
7
8  uint16_t toggle(uint8_t x) {
9    static uint8_t init[pins] = { 0 };
10   if (init[x] == 0) {
11      DDRD |= (1 << pin[x]);
12      init[x] = 1;
13   }
14   PORTD ^= (1 << pin[x]);
15   return count++;
16 }
17
18 uint16_t toggle_all(void) {
19   uint16_t max;
20   for(uint8_t i = 0 ; i < pins ; i++) {
21     max = toggle(i);
22   }
23   return max;
24 }
```

Speicheraufbau (vereinfacht):



a) Vervollständigen Sie den (vereinfachten) Speicheraufbau:

5 Punkte

1) Ergänzen Sie *Stack* und *Heap* sowie deren Wachstumsrichtung in der Abbildung. (2 Punkte)

2) Ordnen Sie alle im Quelltext vorkommenden Variablen den dargestellten Speichersektionen zu. (3 Punkte)

b) Wie muss der RAM-Speicher beim Start des Mikrocontrollers vorbereitet werden, ehe die eigentliche Programmausführung in `main()` beginnen kann? (2 Punkte)

c) Wann geschieht die statische und wann die dynamische Allokation? Ordnen Sie die genannten Speichersektionen entsprechend zu. Welcher Zusammenhang besteht dabei bezüglich der Lebensdauer der Variablen? (6 Punkte)

Aufgabe 5: C-Module (9 Punkte)

Die folgenden Beschreibungen sollen kurz und prägnant erfolgen (Stichworte, kurze Sätze).

a) Nennen Sie drei Gründe warum man Software in der Programmiersprache C in Module gliedert? (3 Punkte)

b) Nennen und beschreiben Sie zwei Schritte, die notwendig sind, um eine in der Programmiersprache C geschriebene Anwendung (bestehend aus mehreren Modulen) in ein ausführbares Programm zu überführen (3 Punkte)

c) Welche Bedeutung kommt der Header-Datei (`.h`) bei C-Modulen zu und was beinhaltet sie? (2 Punkte)

d) Welche besondere Bedeutung hat das Schlüsselwort `static` in C-Modulen? (1 Punkt)

Aufgabe 6: Prozesse und Signale (9 Punkte)

Die folgenden Beschreibungen sollen kurz und prägnant erfolgen (Stichworte, kurze Sätze).

a) Nennen Sie 3 Zustände, in denen sich ein Linux-Prozess befinden kann und beschreiben Sie kurz wann sich ein Prozess in dem jeweiligen Zustand befindet. (3 Punkte)

b) Die Verwendung von Signalen kann in einem Linux-Prozess zu verschiedenen Nebenläufigkeitsproblemen führen. Beschreiben Sie exemplarisch zwei solcher Probleme und wie man mit ihnen umgeht, um korrekt funktionierende Software zu gewährleisten. (4 Punkte)

c) Zur Synchronisation von nebenläufigen Prozessen können sowohl **spin locks** als auch **sleeping locks** zum Einsatz kommen. Erläutern Sie kurz den Unterschied und ihre Vor- bzw. Nachteile. (2 Punkte)