

Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

28. November 2019

Hardwarenahe Programmierung

<https://gitlab.cvh-server.de/pgerwinski/hp>

1 Einführung

2 Einführung in C

3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

3.2 Bibliotheken einbinden

3.3 Bibliotheken verwenden

3.4 Projekt organisieren: make

4 Hardwarenahe Programmierung

4.1 Bit-Operationen

4.2 I/O-Ports

4.3 Interrupts

4.4 volatile-Variable

...

5 Algorithmen

...

4.1.1 Zahlensysteme

000	0	0000	0	1000	8
001	1	0001	1	1001	9
010	2	0010	2	1010	A
011	3	0011	3	1011	B
100	4	0100	4	1100	C
101	5	0101	5	1101	D
110	6	0110	6	1110	E
111	7	0111	7	1111	F

- Oktal- und Hexadezimalzahlen lassen sich ziffernweise in Binär-Zahlen umrechnen.
- Hexadezimalzahlen sind eine Kurzschreibweise für Binärzahlen, gruppiert zu jeweils 4 Bits.
- Oktalzahlen sind eine Kurzschreibweise für Binärzahlen, gruppiert zu jeweils 3 Bits.
- Trotz Taschenrechner u. ä. lohnt es sich, die o. a. Umrechnungstabelle **auswendig** zu kennen.

4.1.2 Bit-Operationen in C

C-Operator	Verknüpfung	Anwendung
<code>&</code>	Und	Bits gezielt löschen
<code> </code>	Oder	Bits gezielt setzen
<code>^</code>	Exklusiv-Oder	Bits gezielt invertieren
<code>~</code>	Nicht	Alle Bits invertieren
<code><<</code>	Verschiebung nach links	Maske generieren
<code>>></code>	Verschiebung nach rechts	Bits isolieren

Numerierung der Bits: von rechts ab 0

Bit Nr. 3 auf 1 setzen: `a |= 1 << 3;`

Bit Nr. 4 auf 0 setzen: `a &= ~(1 << 4);`

Bit Nr. 0 invertieren: `a ^= 1 << 0;`

Abfrage, ob Bit Nr. 1 gesetzt ist: `if (a & (1 << 1))`

4.1.2 Bit-Operationen in C

C-Datentypen für Bit-Operationen:

#include <stdint.h>

	8 Bit	16 Bit	32 Bit	64 Bit
mit Vorzeichen	int8_t	int16_t	int32_t	int64_t
ohne Vorzeichen	uint8_t	uint16_t	uint32_t	uint64_t

Ausgabe:

#include <stdio.h>

#include <stdint.h>

#include <inttypes.h>

...

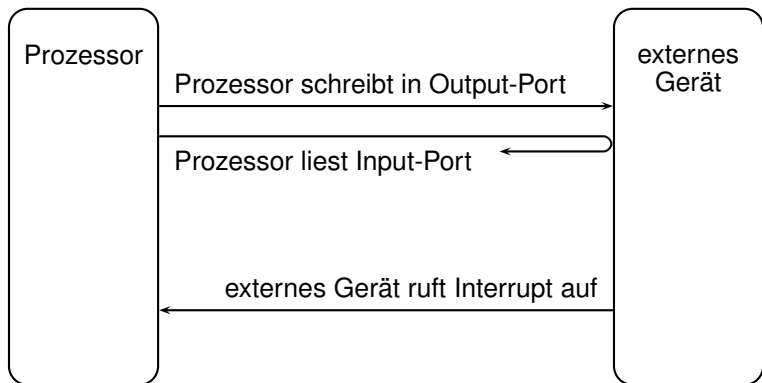
uint64_t x = 42;

printf ("Die_Antwort_lautet:_% " PRIu64 "\n", x);

4.2 I/O-Ports

4.3 Interrupts

Kommunikation mit externen Geräten



4.2 I/O-Ports

In Output-Port schreiben = Aktoren ansteuern

Beispiel: LED

```
#include <avr/io.h>
```

```
...
```

```
DDRC = 0x70;    binär: 0111 0000
```

```
PORTC = 0x40;   binär: 0100 0000
```

Herstellerspezifisch!

DDR = Data Direction Register

Bit = 1 für Output-Port

Bit = 0 für Input-Port

Details: siehe Datenblatt und Schaltplan

4.2 I/O-Ports

Aus Input-Port lesen = Sensoren abfragen

Beispiel: Taster

```
#include <avr/io.h>
```

```
...
```

```
DDRC = 0xfd;          binär: 1111 1101
```

```
while ((PINC & 0x02) == 0) binär: 0000 0010
```

```
; /* just wait */
```

Herstellerspezifisch!

DDR = Data Direction Register

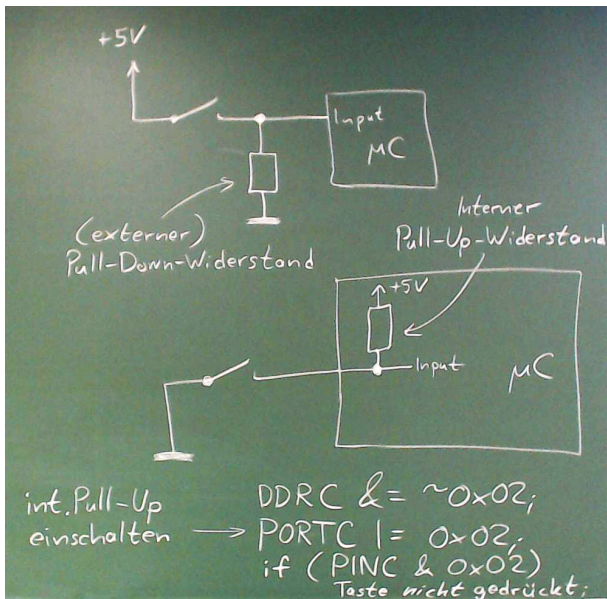
Bit = 1 für Output-Port

Bit = 0 für Input-Port

Details: siehe Datenblatt und Schaltplan

Praktikumsaufgabe: Druckknopfampel

Pull-Up- und Pull-Down-Widerstände



4.3 Interrupts

Externes Gerät ruft (per Stromsignal) Unterprogramm auf
Zeiger hinterlegen: „Interrupt-Vektor“

Beispiel: eingebaute Uhr

statt Zählschleife (`_delay_ms`):
Hauptprogramm kann
andere Dinge tun

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

```
...  
ISR (TIMER0B_COMP_vect)  
{  
    PORTD ^= 0x40;  
}
```

„Dies ist ein Interrupt-Handler.“

Interrupt-Vektor darauf zeigen lassen

Herstellerspezifisch!

Initialisierung über spezielle Ports: `TCCR0B`, `TIMSK0`

Details: siehe Datenblatt und Schaltplan

4.3 Interrupts

Externes Gerät ruft (per Stromsignal) Unterprogramm auf
Zeiger hinterlegen: „Interrupt-Vektor“

Beispiel: Taster

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

```
...
```

```
ISR (INT0_vect)
```

```
{  
    PORTD ^= 0x40;  
}
```

statt *Busy Waiting*:
Hauptprogramm kann
andere Dinge tun

Herstellerspezifisch!

Initialisierung über spezielle Ports: `EICRA`, `EIMSK`

Details: siehe Datenblatt und Schaltplan

4.4 volatile-Variable

Externes Gerät ruft (per Stromsignal) Unterprogramm auf
Zeiger hinterlegen: „Interrupt-Vektor“

Beispiel: Taster

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

```
...
```

```
uint8_t key_pressed = 0;
```

```
ISR (INT0_vect)
```

```
{  
    key_pressed = 1;  
}
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
...
```

```
while (1)
```

```
{
```

```
    while (!key_pressed)
```

```
        ; /* just wait */
```

```
    PORTD ^= 0x40;
```

```
    key_pressed = 0;
```

```
}
```

```
return 0;
```

```
}
```

4.4 volatile-Variable

Externes Gerät ruft (per Stromsignal) Unterprogramm auf
Zeiger hinterlegen: „Interrupt-Vektor“
Beispiel: Taster

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

```
...
```

```
volatile uint8_t key_pressed = 0;
```

```
ISR (INT0_vect)
```

```
{  
    key_pressed = 1;  
}
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
...
```

```
while (1)
```

```
{
```

```
    while (!key_pressed)
```

```
        ; /* just wait */
```

```
        PORTD ^= 0x40;
```


```
        key_pressed = 0;
```

```
    }
```

```
    return 0;
```

```
}
```

volatile:
Speicherzugriff
nicht wegoptimieren



3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

#include: Text einbinden

3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

#include: Text einbinden

- **#include** <stdio.h>: Standard-Verzeichnisse – Standard-Header

3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

#include: Text einbinden

- **#include <stdio.h>**: Standard-Verzeichnisse – Standard-Header
- **#include "answer.h"**: auch aktuelles Verzeichnis – eigene Header

3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

#include: Text einbinden

- **#include** <stdio.h>: Standard-Verzeichnisse – Standard-Header
- **#include** "answer.h": auch aktuelles Verzeichnis – eigene Header

#define VIER 4: Text ersetzen lassen – Konstante definieren

3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

#include: Text einbinden

- **#include <stdio.h>**: Standard-Verzeichnisse – Standard-Header
- **#include "answer.h"**: auch aktuelles Verzeichnis – eigene Header

#define VIER 4: Text ersetzen lassen – Konstante definieren

- Kein Semikolon!

3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

#include: Text einbinden

- **#include <stdio.h>**: Standard-Verzeichnisse – Standard-Header
- **#include "answer.h"**: auch aktuelles Verzeichnis – eigene Header

#define VIER 4: Text ersetzen lassen – Konstante definieren

- Kein Semikolon!
- Berechnungen in Klammern setzen:
#define VIER (2 + 2)

3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

#include: Text einbinden

- **#include** <stdio.h>: Standard-Verzeichnisse – Standard-Header
- **#include** "answer.h": auch aktuelles Verzeichnis – eigene Header

#define VIER 4: Text ersetzen lassen – Konstante definieren

- Kein Semikolon!
- Berechnungen in Klammern setzen:
#define VIER (2 + 2)
- Konvention: Großbuchstaben

3 Bibliotheken

3.2 Bibliotheken einbinden

Inhalt der Header-Datei: externe Deklarationen

3 Bibliotheken

3.2 Bibliotheken einbinden

Inhalt der Header-Datei: externe Deklarationen

extern int answer (**void**);

3 Bibliotheken

3.2 Bibliotheken einbinden

Inhalt der Header-Datei: externe Deklarationen

```
extern int answer (void);
```

```
extern int printf (__const char *__restrict __format, ...);
```

3 Bibliotheken

3.2 Bibliotheken einbinden

Inhalt der Header-Datei: externe Deklarationen

```
extern int answer (void);
```

```
extern int printf (__const char *__restrict __format, ...);
```

Funktion wird „anderswo“ definiert

3 Bibliotheken

3.2 Bibliotheken einbinden

Inhalt der Header-Datei: externe Deklarationen

extern int answer (**void**);

extern int printf (__const **char** *__restrict __format, ...);

Funktion wird „anderswo“ definiert

- separater C-Quelltext: mit an `gcc` übergeben

3 Bibliotheken

3.2 Bibliotheken einbinden

Inhalt der Header-Datei: externe Deklarationen

extern int answer (**void**);

extern int printf (__const **char** *__restrict __format, ...);

Funktion wird „anderswo“ definiert

- separater C-Quelltext: mit an *gcc* übergeben
- Zusammenfügen zu ausführbarem Programm durch den *Linker*

3 Bibliotheken

3.2 Bibliotheken einbinden

Inhalt der Header-Datei: externe Deklarationen

extern int answer (**void**);

extern int printf (__const **char** *__restrict __format, ...);

Funktion wird „anderswo“ definiert

- separater C-Quelltext: mit an `gcc` übergeben
- Zusammenfügen zu ausführbarem Programm durch den *Linker*
- vorcompilierte Bibliothek: `-lfoo`

3 Bibliotheken

3.2 Bibliotheken einbinden

Inhalt der Header-Datei: externe Deklarationen

```
extern int answer (void);
```

```
extern int printf (__const char *__restrict __format, ...);
```

Funktion wird „anderswo“ definiert

- separater C-Quelltext: mit an `gcc` übergeben
- Zusammenfügen zu ausführbarem Programm durch den *Linker*
- vorcompilierte Bibliothek: `-lfoo`
= Datei `libfoo.a` in Standard-Verzeichnis

3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: GTK+)

- `#include <gtk/gtk.h>`

3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: GTK+)

- `#include <gtk/gtk.h>`
- Mit `pkg-config --cflags --libs` erfährt man, welche Optionen und Bibliotheken man an `gcc` übergeben muß:

3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: GTK+)

- `#include <gtk/gtk.h>`
- Mit `pkg-config --cflags --libs` erfährt man, welche Optionen und Bibliotheken man an `gcc` übergeben muß:

```
$ pkg-config --cflags --libs gtk+-3.0
-pthread -I/usr/include/gtk-3.0 -I/usr/include/at-spi2-atk/2.0 -I/usr/include/at-spi-2.0 -I/usr/include/dbus-1.0 -I/usr/lib/x86_64-linux-gnu/dbus-1.0/include -I/usr/include/gtk-3.0 -I/usr/include/gio-unix-2.0/ -I/usr/include/cairo -I/usr/include/pango-1.0 -I/usr/include/harfbuzz -I/usr/include/pango-1.0 -I/usr/include/atk-1.0 -I/usr/include/cairo -I/usr/include/pixman-1 -I/usr/include/freetype2 -I/usr/include/libpng16 -I/usr/include/gdk-pixbuf-2.0 -I/usr/include/libpng16 -I/usr/include/glib-2.0 -I/usr/lib/x86_64-linux-gnu/glib-2.0/include -lgtk-3 -lgdk-3 -lpangocairo-1.0 -lpango-1.0 -latk-1.0 -lcairo-gobject -lcairo -lgdk_pixbuf-2.0 -lgio-2.0 -lgobject-2.0 -lglib-2.0
```

3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: GTK+)

- `#include <gtk/gtk.h>`
- Mit `pkg-config --cflags --libs` erfährt man, welche Optionen und Bibliotheken man an `gcc` übergeben muß.

→ Compiler-Aufruf:

```
$ gcc -Wall -O hello-gtk.c -pthread -I/usr/include/gtk-3.0 -I/usr/include/at-spi2-atk/2.0 -I/usr/include/at-spi-2.0 -I/usr/include/dbus-1.0 -I/usr/lib/x86_64-linux-gnu/dbus-1.0/include -I/usr/include/gtk-3.0 -I/usr/include/gio-unix-2.0/ -I/usr/include/cairo -I/usr/include/pango-1.0 -I/usr/include/harfbuzz -I/usr/include/pango-1.0 -I/usr/include/atk-1.0 -I/usr/include/cairo -I/usr/include/pixman-1 -I/usr/include/freetype2 -I/usr/include/libpng16 -I/usr/include/gdk-pixbuf-2.0 -I/usr/include/libpng16 -I/usr/include/glib-2.0 -I/usr/lib/x86_64-linux-gnu/glib-2.0/include -lgtk-3 -lgdk-3 -lpangocairo-1.0 -lpango-1.0 -latk-1.0 -lcairo-gobject -lcairo -lgdk_pixbuf-2.0 -lgio-2.0 -lgobject-2.0 -lglib-2.0 -o hello-gtk
```

3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: GTK+)

- `#include <gtk/gtk.h>`
- Mit `pkg-config --cflags --libs` erfährt man, welche Optionen und Bibliotheken man an `gcc` übergeben muß.

→ Compiler-Aufruf:

```
$ gcc -Wall -O hello-gtk.c $(pkg-config --cflags --libs)
    -o hello-gtk
```

3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: GTK+)

- `#include <gtk/gtk.h>`
- Mit `pkg-config --cflags --libs` erfährt man, welche Optionen und Bibliotheken man an `gcc` übergeben muß.

→ Compiler-Aufruf:

```
$ gcc -Wall -O hello-gtk.c $(pkg-config --cflags --libs)  
-o hello-gtk
```

Optionen:

u. a. viele Include-Verzeichnisse:

`-I/usr/include/gtk-3.0`

Bibliotheken:

u. a. `-lgtk-3 -lcairo`

3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: GTK+)

Selbst geschriebene Funktion übergeben: *Callback*

```
gboolean draw (GtkWidget *widget, cairo_t *c, gpointer data)
{
    /* Zeichenbefehle */
    ...

    return FALSE;
}

...

g_signal_connect (drawing_area, "draw", G_CALLBACK (draw), NULL);
```


→ GTK+ ruft immer dann, wenn es etwas zu zeichnen gibt,
die Funktion `draw` auf.

3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: GTK+)

Selbst geschriebene Funktion übergeben: *Callback*

```
gboolean draw (GtkWidget *widget, cairo_t *c, gpointer data)
{
    /* Zeichenbefehle */
    ...
    return FALSE;
}
...
```

repräsentiert den
Bildschirm, auf den
gezeichnet werden soll



```
g_signal_connect (drawing_area, "draw", G_CALLBACK (draw), NULL);
```

→ GTK+ ruft immer dann, wenn es etwas zu zeichnen gibt,
die Funktion `draw` auf.

3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: GTK+)

Selbst geschriebene Funktion übergeben: *Callback*

```
gboolean draw (GtkWidget *widget, cairo_t *c, gpointer data)
{
    /* Zeichenbefehle */
    ...
    return FALSE;
}
```

repräsentiert den
Bildschirm, auf den
gezeichnet werden soll

optionale Zusatzinformationen
für draw(), typischerweise
ein Zeiger auf ein struct

```
g_signal_connect (drawing_area, "draw", G_CALLBACK (draw), NULL);
```

→ GTK+ ruft immer dann, wenn es etwas zu zeichnen gibt,
die Funktion `draw` auf.

3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: GTK+)

Selbst geschriebene Funktion übergeben: *Callback*

```
gboolean timer (GtkWidget *widget)
{
    /* Rechenbefehle */
    ...

    gtk_widget_queue_draw_area (widget, 0, 0, WIDTH, HEIGHT);
    g_timeout_add (50, (GSourceFunc) timer, widget);
    return FALSE;
}

...

g_timeout_add (50, (GSourceFunc) timer, drawing_area);
```


→ GTK+ ruft nach 50 Millisekunden die Funktion `timer` auf.

3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: GTK+)

Selbst geschriebene Funktion übergeben: *Callback*

```
gboolean timer (GtkWidget *widget)
{
    /* Rechenbefehle */
    ...
```

Dieser Bereich soll
neu gezeichnet werden.



```
    gtk_widget_queue_draw_area (widget, 0, 0, WIDTH, HEIGHT);
    g_timeout_add (50, (GSourceFunc) timer, widget);
    return FALSE;
}
```

```
...

g_timeout_add (50, (GSourceFunc) timer, drawing_area);
```


→ GTK+ ruft nach 50 Millisekunden die Funktion `timer` auf.

3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: GTK+)

Selbst geschriebene Funktion übergeben: *Callback*

```
gboolean timer (GtkWidget *widget)
{
    /* Rechenbefehle */
    ...
```

Dieser Bereich soll
neu gezeichnet werden.



```
    gtk_widget_queue_draw_area (widget, 0, 0, WIDTH, HEIGHT);
    g_timeout_add (50, (GSourceFunc) timer, widget);
    return FALSE;
}
```

In weiteren 50 Millisekunden soll

... die Funktion erneut aufgerufen werden.

```
g_timeout_add (50, (GSourceFunc) timer, drawing_area);
```


→ GTK+ ruft nach 50 Millisekunden die Funktion `timer` auf.

3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: GTK+)

Selbst geschriebene Funktion übergeben: *Callback*

```
gboolean timer (GtkWidget *widget)
{
    /* Rechenbefehle */
    ...
```

Dieser Bereich soll
neu gezeichnet werden.



```
    gtk_widget_queue_draw_area (widget, 0, 0, WIDTH, HEIGHT);
    g_timeout_add (50, (GSourceFunc) timer, widget);
    return FALSE;
}
```

In weiteren 50 Millisekunden soll
die Funktion erneut aufgerufen werden.

Explizite Typumwandlung
eines Zeigers (später)



```
g_timeout_add (50, (GSourceFunc) timer, drawing_area);
```

→ GTK+ ruft nach 50 Millisekunden die Funktion `timer` auf.