

Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

21. November 2019

Hardwarenahe Programmierung

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

- 1 Einführung
- 2 Einführung in C
- 3 Bibliotheken
- 4 Hardwarenahe Programmierung
 - 4.1 Bit-Operationen
 - 4.2 I/O-Ports
 - 4.3 Interrupts
 - 4.4 volatile-Variable
 - ...
- 5 Algorithmen
- ...

4 Hardwarenahe Programmierung

4.1 Bit-Operationen

4.1.1 Zahlensysteme

Basis	Name	Beispiel	Anwendung
2	Binärsystem	1 0000 0011	Bit-Operationen
8	Oktalsystem	0403	Dateizugriffsrechte (Unix)
10	Dezimalsystem	259	Alltag
16	Hexadezimalsystem	0x103	Bit-Operationen
256	(keiner gebräuchlich)	0.0.1.3	IP-Adressen (IPv4)

- Computer rechnen im Binärsystem.
- Für viele Anwendungen (z. B. I/O-Ports, Grafik, ...) ist es notwendig, Bits in Zahlen einzeln ansprechen zu können.

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>

...

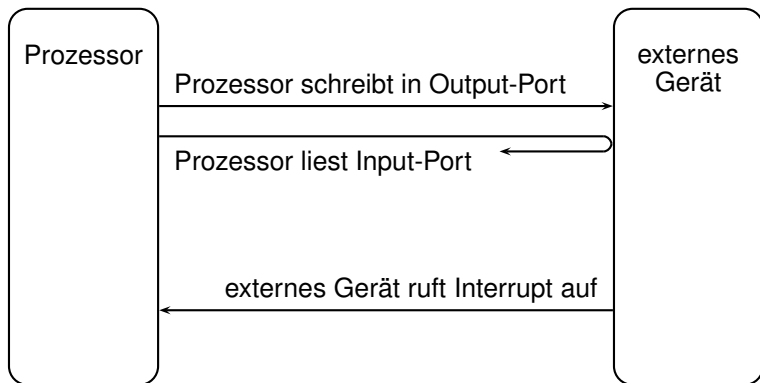
uint64_t x = 42;

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

4.3 Interrupts

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

Beispiel: eingebaute Uhr

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

```
...
```

„Dies ist ein Interrupt-Handler.“

Interrupt-Vektor darauf zeigen lassen

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

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: 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



Hardwarenahe Programmierung

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

1 Einführung

2 Einführung in C

...

2.12 Strukturen

2.13 Dateien und Fehlerbehandlung

2.14 Parameter des Hauptprogramms

2.15 String-Operationen

3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

3.2 Bibliotheken einbinden

3.3 Bibliotheken verwenden

...

4 Hardwarenahe Programmierung

4.1 Bit-Operationen

4.2 I/O-Ports

4.3 Interrupts

4.4 volatile-Variable

...

5 Algorithmen

...

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** "pruzzel.h": auch aktuelles Verzeichnis – eigene Header

3 Bibliotheken

3.2 Bibliotheken einbinden

Inhalt der Header-Datei: externe Deklarationen

```
extern int pruzzel (const char *bla);
```

```
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*