

# Angewandte Informatik

## Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

12. Dezember 2016

# Angewandte Informatik

## Hardwarenahe Programmierung

- 1 Einführung
- 2 Einführung in C
- 3 Bibliotheken
- 4 Algorithmen
- 5 Hardwarenahe Programmierung
  - 5.1 Bit-Operationen
  - 5.2 I/O-Ports
  - 5.3 Interrupts
  - 5.4 volatile-Variable
  - 5.5 Byte-Reihenfolge – Endianness
  - 5.6 Speicherausrichtung – Alignment
- 6 Objektorientierte Programmierung

...

## 5.1 Bit-Operationen

Numerierung der Bits: von rechts ab 0

Bit Nr. 3 auf 1 setzen:  $a |= 1 << 3;$        $a |= 0x08;$   
Bit Nr. 4 auf 0 setzen:  $a \&= \sim(1 << 4);$        $a \&= \sim 0x10;$   
Bit Nr. 0 invertieren:  $a \wedge= 1 << 0;$        $a \wedge= 0x01;$

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

## 5.4 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;
```

```
}
```

## 5.4 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



## 5.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

### 5.5.1 Konzept

Eine Zahl geht über mehrere Speicherzellen.

Beispiel: 16-Bit-Zahl in 2 8-Bit-Speicherzellen

Welche Bits liegen wo?

$$1027 = 1024 + 2 + 1 = 0000\ 0100\ 0000\ 0011_2 = 0403_{16}$$

Speicherzellen:

04	03
----	----

 Big-Endian „großes Ende zuerst“  
für Menschen leichter lesbar

03	04
----	----

 Little-Endian „kleines Ende zuerst“  
bei Additionen effizienter

→ Geschmackssache

... **außer bei Datenaustausch!**

## 5.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

### 5.5.1 Konzept

Eine Zahl geht über mehrere Speicherzellen.  
Beispiel: 16-Bit-Zahl in 2 8-Bit-Speicherzellen

Welche Bits liegen wo?

—→ Geschmackssache

... **außer bei Datenaustausch!**

- Dateiformate
- Datenübertragung

## 5.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

### 5.5.2 Dateiformate

Audio-Formate: Reihenfolge der Bytes in 16- und 32-Bit-Zahlen

- RIFF-WAVE-Dateien (.wav): Little-Endian
- Au-Dateien (.au): Big-Endian
- ältere AIFF-Dateien (.aiff): Big-Endian
- neuere AIFF-Dateien (.aiff): Little-Endian

Grafik-Formate: Reihenfolge der Bits in den Bytes

- PBM-Dateien: Big-Endian, MSB first
- XBM-Dateien: Little-Endian, LSB first

MSB/LSB = most/least significant bit



## 5.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

### 5.5.3 Datenübertragung

- RS-232 (serielle Schnittstelle): LSB first
- I<sup>2</sup>C: MSB first
- USB: beides
- Ethernet: LSB first
- TCP/IP (Internet): Big-Endian

# Angewandte Informatik

## Hardwarenahe Programmierung

- 1 Einführung**
- 2 Einführung in C**
- 3 Bibliotheken**
- 4 Algorithmen**
- 5 Hardwarenahe Programmierung**
  - 5.1** Bit-Operationen
  - 5.2** I/O-Ports
  - 5.3** Interrupts
  - 5.4** volatile-Variable
  - 5.5** Byte-Reihenfolge – Endianness
  - 5.6** Speicherausrichtung – Alignment
- 6 Objektorientierte Programmierung**

...

## 5.6 Speicherausrichtung – Alignment

```
#include <stdint.h>
```

```
uint8_t a;  
uint16_t b;  
uint8_t c;
```

## 5.6 Speicherausrichtung – Alignment

```
#include <stdint.h>
```

```
uint8_t a;  
uint16_t b;  
uint8_t c;
```

Speicheradresse durch 2 teilbar – „16-Bit-Alignment“

- 2-Byte-Operation: effizienter

## 5.6 Speicherausrichtung – Alignment

```
#include <stdint.h>
```

```
uint8_t a;  
uint16_t b;  
uint8_t c;
```

Speicheradresse durch 2 teilbar – „16-Bit-Alignment“

- 2-Byte-Operation: effizienter
- ... oder sogar nur dann erlaubt

## 5.6 Speicherausrichtung – Alignment

```
#include <stdint.h>
```

```
uint8_t a;  
uint16_t b;  
uint8_t c;
```

Speicheradresse durch 2 teilbar – „16-Bit-Alignment“

- 2-Byte-Operation: effizienter
- ... oder sogar nur dann erlaubt

→ Compiler optimiert Speicherausrichtung

## 5.6 Speicherausrichtung – Alignment

```
#include <stdint.h>
```

```
uint8_t a;  
uint16_t b;  
uint8_t c;
```

Speicheradresse durch 2 teilbar – „16-Bit-Alignment“

- 2-Byte-Operation: effizienter
- ... oder sogar nur dann erlaubt

→ Compiler optimiert Speicherausrichtung

```
uint8_t a;  
uint8_t dummy;  
uint16_t b;  
uint8_t c;
```

## 5.6 Speicherausrichtung – Alignment

```
#include <stdint.h>
```

```
uint8_t a;  
uint16_t b;  
uint8_t c;
```

Speicheradresse durch 2 teilbar – „16-Bit-Alignment“

- 2-Byte-Operation: effizienter
- ... oder sogar nur dann erlaubt

→ Compiler optimiert Speicherausrichtung

```
uint8_t a;  
uint8_t dummy;    uint8_t a;  
uint16_t b;        uint8_t c;  
uint8_t c;         uint16_t b;
```



## 5.6 Speicherausrichtung – Alignment

```
#include <stdint.h>
```

```
uint8_t a;  
uint16_t b;  
uint8_t c;
```

Speicheradresse durch 2 teilbar – „16-Bit-Alignment“

- 2-Byte-Operation: effizienter
- ... oder sogar nur dann erlaubt

→ Compiler optimiert Speicherausrichtung

```
uint8_t a;  
uint8_t dummy;  
uint16_t b;  
uint8_t c;  
  
uint8_t a;  
uint8_t c;  
uint16_t b;
```

Fazit:

- **Adressen von Variablen sind systemabhängig**
- Bei Definition von Datenformaten Alignment beachten → effizienter

# Angewandte Informatik

## Hardwarenahe Programmierung

- 1 Einführung**
- 2 Einführung in C**
- 3 Bibliotheken**
- 4 Algorithmen**
- 5 Hardwarenahe Programmierung**
  - 5.1** Bit-Operationen
  - 5.2** I/O-Ports
  - 5.3** Interrupts
  - 5.4** volatile-Variable
  - 5.5** Byte-Reihenfolge – Endianness
  - 5.6** Speicherausrichtung – Alignment
- 6 Objektorientierte Programmierung**

...

# Angewandte Informatik

## Hardwarenahe Programmierung

- 1 Einführung
- 2 Einführung in C
- 3 Bibliotheken
- 4 Algorithmen
- 5 Hardwarenahe Programmierung
- 6 Objektorientierte Programmierung
  - 6.0 Dynamische Speicherverwaltung
  - 6.1 Konzepte und Ziele
  - 6.2 Beispiel: Zahlen und Buchstaben
  - 6.3 Beispiel: graphische Benutzeroberfläche (GUI)
  - 6.4 Einführung in C++

...

# 6 Objektorientierte Programmierung

## 6.0 Dynamische Speicherverwaltung

- Array: feste Anzahl von Elementen desselben Typs (z. B. 3 ganze Zahlen)
- Dynamisches Array: variable Anzahl von Elementen desselben Typs

```
char *name[] = { "Anna", "Berthold", "Caesar" };
```

...

~~name[3] = "Dieter";~~

# 6 Objektorientierte Programmierung

## 6.0 Dynamische Speicherverwaltung

```
#include <stdlib.h>
```

```
...
```

```
char **name = malloc (3 * sizeof (char *));  
/* Speicherplatz für 3 Zeiger anfordern */
```

```
...
```

```
free (name)  
/* Speicherplatz freigeben */
```

# 6 Objektorientierte Programmierung

## 6.1 Konzepte und Ziele

- Array: feste Anzahl von Elementen desselben Typs (z. B. 3 ganze Zahlen)
- Dynamisches Array: variable Anzahl von Elementen desselben Typs
- Problem: Elemente unterschiedlichen Typs
- Lösung: den Typ des Elements zusätzlich speichern

# 6 Objektorientierte Programmierung

## 6.1 Konzepte und Ziele

- Array: feste Anzahl von Elementen desselben Typs (z. B. 3 ganze Zahlen)
- Dynamisches Array: variable Anzahl von Elementen desselben Typs
- Problem: Elemente unterschiedlichen Typs
- Lösung: den Typ des Elements zusätzlich speichern
- Funktionen, die mit dem Objekt arbeiten: *Methoden*
- Was die Funktion bewirkt, hängt vom Typ des Objekts ab
- Realisierung über endlose **if**-Ketten

# 6 Objektorientierte Programmierung

## 6.1 Konzepte und Ziele

- Array: feste Anzahl von Elementen desselben Typs (z. B. 3 ganze Zahlen)
- Dynamisches Array: variable Anzahl von Elementen desselben Typs
- Problem: Elemente unterschiedlichen Typs
- Lösung: den Typ des Elements zusätzlich speichern
- Funktionen, die mit dem Objekt arbeiten: *Methoden*
- ~~Was die Funktion bewirkt~~ Welche Funktion aufgerufen wird, hängt vom Typ des Objekts ab: *virtuelle Methode*
- Realisierung über ~~endlose if-Ketten~~ Zeiger, die im Objekt gespeichert sind (Genaugenommen: Tabelle von Zeigern)



# 6 Objektorientierte Programmierung

## 6.1 Konzepte und Ziele

- Problem: Elemente unterschiedlichen Typs
- Lösung: den Typ des Elements zusätzlich speichern
- *Methoden* und *virtuelle Methoden*
- Zeiger auf verschiedene Strukturen  
mit einem gemeinsamen Anteil von Datenfeldern  
→ „verwandte“ *Objekte*, *Klassen* von Objekten

# 6 Objektorientierte Programmierung

## 6.1 Konzepte und Ziele

- Problem: Elemente unterschiedlichen Typs
- Lösung: den Typ des Elements zusätzlich speichern
- *Methoden* und *virtuelle Methoden*
- Zeiger auf verschiedene Strukturen mit einem gemeinsamen Anteil von Datenfeldern  
→ „verwandte“ *Objekte*, *Klassen* von Objekten
- Struktur, die *nur* den gemeinsamen Anteil enthält  
→ „Vorfahr“, *Basisklasse*, *Vererbung*

# 6 Objektorientierte Programmierung

## 6.1 Konzepte und Ziele

- Problem: Elemente unterschiedlichen Typs
- Lösung: den Typ des Elements zusätzlich speichern
- *Methoden* und *virtuelle Methoden*
- Zeiger auf verschiedene Strukturen mit einem gemeinsamen Anteil von Datenfeldern  
→ „verwandte“ *Objekte*, *Klassen* von Objekten
- Struktur, die *nur* den gemeinsamen Anteil enthält  
→ „Vorfahr“, *Basisklasse*, *Vererbung*
- Zeiger auf die Basisklasse dürfen auf Objekte der *abgeleiteten Klasse* zeigen  
→ *Polymorphie*

# 6 Objektorientierte Programmierung

## 6.2 Beispiel: Zahlen und Buchstaben

```
typedef struct
{
    int type;
} t_base;
```

```
typedef struct
{
    int type;
    int content;
} t_integer;
```

```
typedef struct
{
    int type;
    char *content;
} t_string;
```

```
typedef struct
{
    int type;
} t_base;
```

```
typedef struct
{
    int type;
    int content;
} t_integer;
```

```
typedef struct
{
    int type;
    char *content;
} t_string;
```

```
t_integer i = { 1, 42 };
t_string s = { 2, "Hello,_world!" };
```

```
t_base *object[] = { (t_base *) &i, (t_base *) &s };
```



explizite

Typumwandlung

# Angewandte Informatik

## Hardwarenahe Programmierung

- 1 Einführung
- 2 Einführung in C
- 3 Bibliotheken
- 4 Algorithmen
- 5 Hardwarenahe Programmierung
- 6 Objektorientierte Programmierung
  - 6.0 Dynamische Speicherverwaltung
  - 6.1 Konzepte und Ziele
  - 6.2 Beispiel: Zahlen und Buchstaben
  - 6.3 Beispiel: graphische Benutzeroberfläche (GUI)
  - 6.4 Einführung in C++

...