

# Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

14. November 2022

# Hardwarenahe Programmierung

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

- 1 Einführung**
- 2 Einführung in C**
- 4 Hardwarenahe Programmierung**
  - 4.1 Bit-Operationen
  - 4.2 I/O-Ports
  - 4.3 Interrupts
  - 4.4 volatile-Variable
  - 4.5 Byte-Reihenfolge – Endianness
  - 4.6 Binärdarstellung negativer Zahlen
  - 4.7 Speicherausrichtung – Alignment
- 5 Algorithmen**
  - 5.1 Differentialgleichungen
  - 5.2 Rekursion
  - 5.3 Aufwandsabschätzungen
- 6 Objektorientierte Programmierung**
- 7 Datenstrukturen**

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

- 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>&amp;</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>&lt;&lt;</code>	Verschiebung nach links	Maske generieren
<code>&gt;&gt;</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>

...

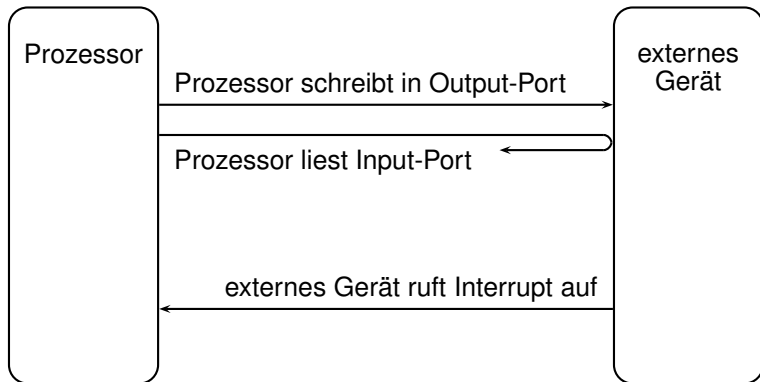
uint64\_t x = 42;

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

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

```
#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: Taster

statt *Busy Waiting*:  
Hauptprogramm kann  
andere Dinge tun

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

```
...
```

```
ISR (INT0_vect)
```

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

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



## 4.4 volatile-Variable

Was ist eigentlich PORTD?

```
avr-gcc -Wall -Os -mmcu=atmega328p blink-3.c -E
```

PORTD = 0x01;

→ `(*(volatile uint8_t *) ((0x0B) + 0x20)) = 0x01;`

↑  
Umwandlung in Zeiger  
auf **volatile** uint8\_t

Zahl: 0x2B

Dereferenzierung des Zeigers

→ **volatile** uint8\_t-Variable an Speicheradresse 0x2B

→ `PORTA = PORTB = PORTC = PORTD = 0` ist eine schlechte Idee.

## 4.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

### 4.5.1 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!**

## 4.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

### 4.5.1 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



## 4.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

### 4.5.2 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

## 4.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

### 4.5.3 Datenübertragung

- RS-232 (serielle Schnittstelle): LSB first
- I<sup>2</sup>C: MSB first
- USB: beides

## 4.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

### 4.5.3 Datenübertragung

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

## 4.6 Binärdarstellung negativer Zahlen

Speicher ist begrenzt!

→ feste Anzahl von Bits

8-Bit-Zahlen ohne Vorzeichen: `uint8_t`

→ Zahlenwerte von `0x00` bis `0xff` = 0 bis 255

## 4.6 Binärdarstellung negativer Zahlen

Speicher ist begrenzt!

→ feste Anzahl von Bits

8-Bit-Zahlen ohne Vorzeichen: `uint8_t`

→ Zahlenwerte von `0x00` bis `0xff` = 0 bis 255

→  $255 + 1 = 0$

## 4.6 Binärdarstellung negativer Zahlen

Speicher ist begrenzt!

→ feste Anzahl von Bits

8-Bit-Zahlen ohne Vorzeichen: `uint8_t`

→ Zahlenwerte von `0x00` bis `0xff` = 0 bis 255

→  $255 + 1 = 0$

8-Bit-Zahlen mit Vorzeichen: `int8_t`

`0xff` = 255 ist die „natürliche“ Schreibweise für  $-1$ .

## 4.6 Binärdarstellung negativer Zahlen

Speicher ist begrenzt!

→ feste Anzahl von Bits

8-Bit-Zahlen ohne Vorzeichen: `uint8_t`

→ Zahlenwerte von `0x00` bis `0xff` = 0 bis 255

→  $255 + 1 = 0$

8-Bit-Zahlen mit Vorzeichen: `int8_t`

`0xff` = 255 ist die „natürliche“ Schreibweise für  $-1$ .

→ Zweierkomplement

## 4.6 Binärdarstellung negativer Zahlen

Speicher ist begrenzt!

→ feste Anzahl von Bits

8-Bit-Zahlen ohne Vorzeichen: `uint8_t`

→ Zahlenwerte von `0x00` bis `0xff` = 0 bis 255

→  $255 + 1 = 0$

8-Bit-Zahlen mit Vorzeichen: `int8_t`

`0xff` = 255 ist die „natürliche“ Schreibweise für  $-1$ .

→ Zweierkomplement

Oberstes Bit = 1: negativ

Oberstes Bit = 0: positiv

→  $127 + 1 = -128$



## 4.6 Binärdarstellung negativer Zahlen

Speicher ist begrenzt!

→ feste Anzahl von Bits

16-Bit-Zahlen ohne Vorzeichen: `uint16_t`

→ Zahlenwerte von `0x0000` bis `0xffff` = 0 bis 65535

→  $65535 + 1 = 0$

`uint8_t`

0 bis 255

$255 + 1 = 0$

16-Bit-Zahlen mit Vorzeichen: `int16_t`

`0xffff` = 65535 ist die „natürliche“ Schreibweise für  $-1$ .

→ Zweierkomplement

`int8_t`

`0xff` = 255 =  $-1$

Oberstes Bit = 1: negativ

Oberstes Bit = 0: positiv

→  $32767 + 1 = -32768$

Literatur: <http://xkcd.com/571/>

## 4.6 Binärdarstellung negativer Zahlen

Frage: Für welche Zahl steht der Speicherinhalt 

a3	90
----	----

 (hexadezimal)?

## 4.6 Binärdarstellung negativer Zahlen

Frage: Für welche Zahl steht der Speicherinhalt 

a3	90
----	----

 (hexadezimal)?

Antwort: Das kommt darauf an. ;—)

## 4.6 Binärdarstellung negativer Zahlen

Frage: Für welche Zahl steht der Speicherinhalt 

a3	90
----	----

 (hexadezimal)?

Antwort: Das kommt darauf an. ;—)

Little-Endian:

als <code>int8_t</code> :	−93	(nur erstes Byte)
als <code>uint8_t</code> :	163	(nur erstes Byte)
als <code>int16_t</code> :	−28509	
als <code>uint16_t</code> :	37027	
<code>int32_t</code> oder größer:	37027	(zusätzliche Bytes mit Nullen aufgefüllt)

## 4.6 Binärdarstellung negativer Zahlen

Frage: Für welche Zahl steht der Speicherinhalt 

a3	90
----	----

 (hexadezimal)?

Antwort: Das kommt darauf an. ;–)

Little-Endian:

als <code>int8_t</code> :	–93	(nur erstes Byte)
als <code>uint8_t</code> :	163	(nur erstes Byte)
als <code>int16_t</code> :	–28509	
als <code>uint16_t</code> :	37027	
<code>int32_t</code> oder größer:	37027	(zusätzliche Bytes mit Nullen aufgefüllt)

Big-Endian:

als <code>int8_t</code> :	–93	(nur erstes Byte)
als <code>uint8_t</code> :	163	(nur erstes Byte)
als <code>int16_t</code> :	–23664	
als <code>uint16_t</code> :	41872	
als <code>int32_t</code> :	–1550843904	(zusätzliche Bytes mit Nullen aufgefüllt)
als <code>uint32_t</code> :	2744123392	
als <code>int64_t</code> :	–6660823848880963584	
als <code>uint64_t</code> :	11785920224828588032	

## 4.7 Speicherausrichtung – Alignment

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

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

## 4.7 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

## 4.7 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



## 4.7 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

## 4.7 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;
```

## 4.7 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;
```

## 4.7 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

# 5 Algorithmen

## 5.1 Differentialgleichungen

### Beispiel 1: Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

$$x'(t) = v_x(t)$$

$$y'(t) = v_y(t)$$

$$v'_x(t) = 0$$

$$v'_y(t) = -g$$

# 5 Algorithmen

## 5.1 Differentialgleichungen

### Beispiel 1: Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

$$x'(t) = v_x(t) \qquad x(t) = \int v_x(t) dt$$

$$y'(t) = v_y(t) \qquad \Rightarrow \qquad y(t) = \int v_y(t) dt$$

$$v'_x(t) = 0 \qquad v_x(t) = \int 0 dt$$

$$v'_y(t) = -g \qquad v_y(t) = \int -g dt$$

# 5 Algorithmen

## 5.1 Differentialgleichungen

### Beispiel 1: Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

$$x'(t) = v_x(t) \qquad x(t) = \int v_x(t) dt$$

$$y'(t) = v_y(t) \qquad y(t) = \int v_y(t) dt$$

$\Rightarrow$

$$v'_x(t) = 0 \qquad v_x(t) = \int 0 dt = v_{0x}$$

$$v'_y(t) = -g \qquad v_y(t) = \int -g dt$$

# 5 Algorithmen

## 5.1 Differentialgleichungen

### Beispiel 1: Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

$$x'(t) = v_x(t) \qquad x(t) = \int v_x(t) dt = \int v_{0x} dt$$

$$y'(t) = v_y(t) \qquad y(t) = \int v_y(t) dt$$

$\Rightarrow$

$$v'_x(t) = 0 \qquad v_x(t) = \int 0 dt = v_{0x}$$

$$v'_y(t) = -g \qquad v_y(t) = \int -g dt$$



# 5 Algorithmen

## 5.1 Differentialgleichungen

### Beispiel 1: Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

$$x'(t) = v_x(t) \qquad x(t) = \int v_x(t) dt = \int v_{0x} dt = x_0 + v_{0x} \cdot t$$

$$y'(t) = v_y(t) \qquad \Rightarrow \qquad y(t) = \int v_y(t) dt$$

$$v'_x(t) = 0 \qquad v_x(t) = \int 0 dt = v_{0x}$$

$$v'_y(t) = -g \qquad v_y(t) = \int -g dt$$

# 5 Algorithmen

## 5.1 Differentialgleichungen

### Beispiel 1: Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

$$x'(t) = v_x(t) \qquad x(t) = \int v_x(t) dt = \int v_{0x} dt = x_0 + v_{0x} \cdot t$$

$$y'(t) = v_y(t) \qquad y(t) = \int v_y(t) dt$$

$\Rightarrow$

$$v'_x(t) = 0 \qquad v_x(t) = \int 0 dt = v_{0x}$$

$$v'_y(t) = -g \qquad v_y(t) = \int -g dt = v_{0y} - g \cdot t$$

# 5 Algorithmen

## 5.1 Differentialgleichungen

### Beispiel 1: Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

$$x'(t) = v_x(t) \qquad x(t) = \int v_x(t) dt = \int v_{0x} dt = x_0 + v_{0x} \cdot t$$

$$y'(t) = v_y(t) \qquad \Rightarrow \qquad y(t) = \int v_y(t) dt = \int v_{0y} - g \cdot t dt$$

$$v'_x(t) = 0 \qquad v_x(t) = \int 0 dt = v_{0x}$$

$$v'_y(t) = -g \qquad v_y(t) = \int -g dt = v_{0y} - g \cdot t$$

# 5 Algorithmen

## 5.1 Differentialgleichungen

### Beispiel 1: Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

$$x'(t) = v_x(t) \qquad x(t) = \int v_x(t) dt = \int v_{0x} dt = x_0 + v_{0x} \cdot t$$

$$y'(t) = v_y(t) \qquad \Rightarrow \qquad y(t) = \int v_y(t) dt = \int v_{0y} - g \cdot t dt = y_0 + v_{0y} \cdot t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$v'_x(t) = 0 \qquad v_x(t) = \int 0 dt = v_{0x}$$

$$v'_y(t) = -g \qquad v_y(t) = \int -g dt = v_{0y} - g \cdot t$$

# 5 Algorithmen

## 5.1 Differentialgleichungen

### Beispiel 1: Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

$$x'(t) = v_x(t) \quad x += v_x * dt;$$

$$y'(t) = v_y(t) \quad \Rightarrow \quad y += v_y * dt;$$

Siehe: [gtk-13.c](#)

$$v'_x(t) = 0 \quad v_x += 0 * dt;$$

$$v'_y(t) = -g \quad v_y += -g * dt;$$

# 5 Algorithmen

## 5.1 Differentialgleichungen

**Beispiel 1: Gleichmäßig beschleunigte Bewegung**

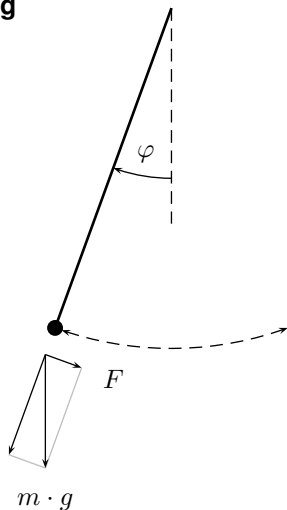
**Beispiel 2: Mathematisches Pendel**

$$\varphi'(t) = \omega(t)$$

$$\omega'(t) = -\frac{g}{l} \cdot \sin \varphi(t)$$

- Von Hand (analytisch):  
Lösung raten (Ansatz), Parameter berechnen
- Mit Computer (numerisch):  
Eulersches Polygonzugverfahren

```
phi += dt * omega;  
omega += - dt * g / l * sin (phi);
```



# 5 Algorithmen

## 5.1 Differentialgleichungen

**Beispiel 1: Gleichmäßig beschleunigte Bewegung**

**Beispiel 2: Mathematisches Pendel**

$$\varphi'(t) = \omega(t)$$

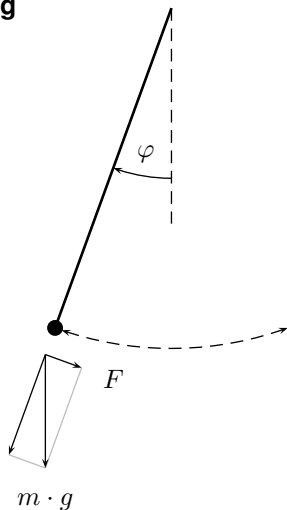
$$\omega'(t) = -\frac{g}{l} \cdot \sin \varphi(t)$$

- Von Hand (analytisch):  
Lösung raten (Ansatz), Parameter berechnen
- Mit Computer (numerisch):  
Eulersches Polygonzugverfahren

```
phi += dt * omega;  
omega += - dt * g / l * sin (phi);
```

**Beispiel 3: Weltraum-Simulation**

Praktikumsaufgabe



# Hardwarenahe Programmierung

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

## 1 Einführung

## 2 Einführung in C

## 4 Hardwarenahe Programmierung

### 4.1 Bit-Operationen

### 4.2 I/O-Ports

### 4.3 Interrupts

### 4.4 volatile-Variable

### 4.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

### 4.6 Binärdarstellung negativer Zahlen

### 4.7 Speicherausrichtung – Alignment

## 5 Algorithmen

### 5.1 Differentialgleichungen

### 5.2 Rekursion

### 5.3 Aufwandsabschätzungen

## 6 Objektorientierte Programmierung

## 7 Datenstrukturen



## 5.2 Rekursion

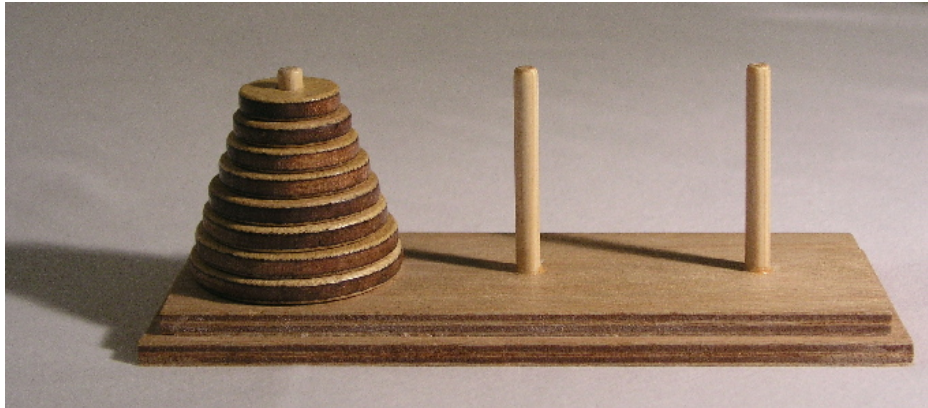
Vollständige Induktion:  $\left. \begin{array}{l} \text{Aussage gilt für } n = 1 \\ \text{Schluß von } n - 1 \text{ auf } n \end{array} \right\} \text{ Aussage gilt für alle } n \in \mathbb{N}$

## 5.2 Rekursion

Vollständige Induktion:

Aussage gilt für  $n = 1$   
Schluß von  $n - 1$  auf  $n$  } Aussage gilt für alle  $n \in \mathbb{N}$

Türme von Hanoi

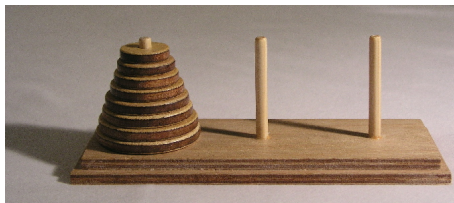


## 5.2 Rekursion

Vollständige Induktion: 
$$\left. \begin{array}{l} \text{Aussage gilt für } n = 1 \\ \text{Schluß von } n - 1 \text{ auf } n \end{array} \right\} \text{Aussage gilt für alle } n \in \mathbb{N}$$

### Türme von Hanoi

- 64 Scheiben, 3 Plätze, immer 1 Scheibe verschieben
- Ziel: Turm verschieben
- Es dürfen nur kleinere Scheiben auf größeren liegen.

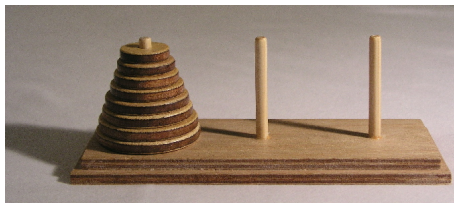


## 5.2 Rekursion

Vollständige Induktion:  $\left. \begin{array}{l} \text{Aussage gilt für } n = 1 \\ \text{Schluß von } n - 1 \text{ auf } n \end{array} \right\} \text{ Aussage gilt für alle } n \in \mathbb{N}$

### Türme von Hanoi

- 64 Scheiben, 3 Plätze, immer 1 Scheibe verschieben
- Ziel: Turm verschieben
- Es dürfen nur kleinere Scheiben auf größeren liegen.
- $n = 1$  Scheibe: fertig
- Wenn  $n - 1$  Scheiben verschiebbar: schiebe  $n - 1$  Scheiben auf Hilfsplatz, verschiebe die darunterliegende, hole  $n - 1$  Scheiben von Hilfsplatz



## 5.2 Rekursion

Vollständige Induktion:  $\left. \begin{array}{l} \text{Aussage gilt für } n = 1 \\ \text{Schluß von } n - 1 \text{ auf } n \end{array} \right\} \text{ Aussage gilt für alle } n \in \mathbb{N}$

### Türme von Hanoi

- 64 Scheiben, 3 Plätze, immer 1 Scheibe verschieben
- Ziel: Turm verschieben
- Es dürfen nur kleinere Scheiben auf größeren liegen.
- $n = 1$  Scheibe: fertig
- Wenn  $n - 1$  Scheiben verschiebbar: schiebe  $n - 1$  Scheiben auf Hilfsplatz, verschiebe die darunterliegende, hole  $n - 1$  Scheiben von Hilfsplatz

```
void move (int from, int to, int disks)
{
    if (disks == 1)
        move_one_disk (from, to);
    else
    {
        int help = 0 + 1 + 2 - from - to;
        move (from, help, disks - 1);
        move (from, to, 1);
        move (help, to, disks - 1);
    }
}
```

# Hardwarenahe Programmierung

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

- 1 Einführung**
- 2 Einführung in C**
- 4 Hardwarenahe Programmierung**
  - 4.1 Bit-Operationen
  - 4.2 I/O-Ports
  - 4.3 Interrupts
  - 4.4 volatile-Variable
  - 4.5 Byte-Reihenfolge – Endianness
  - 4.6 Binärdarstellung negativer Zahlen
  - 4.7 Speicherausrichtung – Alignment
- 5 Algorithmen**
  - 5.1 Differentialgleichungen
  - 5.2 Rekursion
  - 5.3 **Aufwandsabschätzungen**
- 6 Objektorientierte Programmierung**
- 7 Datenstrukturen**