

# Übungen zu Grundlagen der systemnahen Programmierung in C (GSPIC) im Wintersemester 2017/18

2017-11-21

Bernhard Heinloth

Lehrstuhl für Informatik 4  
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

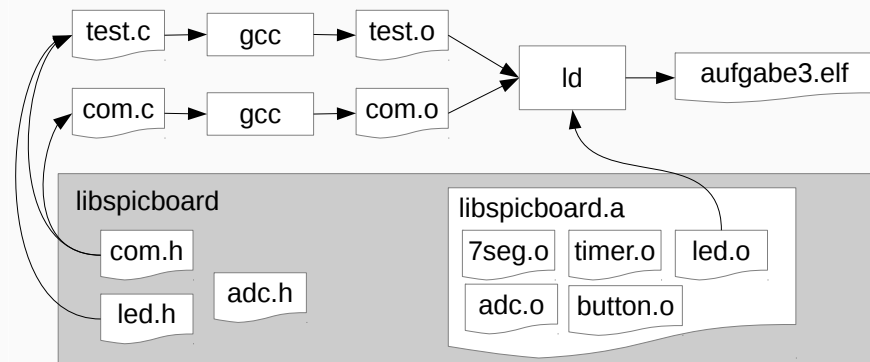


Lehrstuhl für Verteilte Systeme und Betriebssysteme



## Module

### Ablauf vom Quellcode zum laufenden Programm



1. Präprozessor
2. Compiler
3. Linker
4. Programmer/Flasher

### Schnittstellenbeschreibung

- Header Dateien enthalten die Schnittstelle eines Moduls
  - Funktionsdeklarationen
  - Präprozessormakros
  - Typdefinitionen
- Header Dateien können u.U. mehrmals eingebunden werden
  - led.h bindet avr/io.h ein
  - button.h bindet avr/io.h ein
  - ~> Funktionen aus avr/io.h mehrmals deklariert
- Mehrfachinkludierung/Zyklen vermeiden ~> **Include-Guards**
  - Definition und Abfrage eines Präprozessormakros
  - Konvention: Makro hat den Namen der .h-Datei, ' ' ersetzt durch '\_'
  - Inhalt nur einbinden, wenn das Makro noch nicht definiert ist
- **Vorsicht:** flacher Namensraum ~> möglichst eindeutige Namen

- Erstellen einer .h-Datei (Konvention: gleicher Name wie .c-Datei)

```

01 #ifndef COM_H
02 #define COM_H
03 /* fixed-width Datentypen einbinden (im Header verwendet) */
04 #include <stdint.h>
05
06 /* Datentypen */
07 typedef enum {
08     ERROR_NO_STOP_BIT, ERROR_PARITY,
09     ERROR_BUFFER_FULL, ERROR_INVALID_POINTER
10 } COM_ERROR_STATUS;
11
12 /* Funktionen */
13 void sb_com_sendByte(uint8_t data);
14 ...
15 #endif //COM_H

```

3

- Module müssen Initialisierung durchführen
  - zum Beispiel Portkonfiguration
  - **Java:** mit Klassenconstructoren möglich
  - **C:** kennt kein solches Konzept
- Workaround: Modul muss bei erstem Aufruf einer seiner Funktionen ggf. die Initialisierung durchführen
  - muss sich merken, ob die Initialisierung schon erfolgt ist
  - Mehrfachinitialisierung vermeiden
- Anlegen einer Init-Variable
  - Aufruf der Init-Funktion bei jedem Funktionsaufruf
  - Init-Variable anfangs 0
  - Nach der Initialisierung auf 1 setzen

4

## Initialisierung eines Moduls

- `initDone` ist initial 0
  - wird nach der Initialisierung auf 1 gesetzt
- Initialisierung wird nur ein mal durchgeführt

```

01 static void init(void){
02     static uint8_t initDone = 0;
03     if (initDone == 0) {
04         initDone = 1;
05         ...
06     }
07 }
08
09 void mod_func(void) {
10     init();
11     ...

```

5

## Zeiger & Felder

## Wiederholung: Zeiger

- Variable: `uint8_t x`
- Zeiger: `uint8_t *y`
- Adressoperator: `&x`
- Verweisoperator: `*y`

```
01 uint8_t a = 23;  
02 uint8_t b = 42;  
03 uint8_t * p = &a;  
04 *p = 66;  
05 p = &b;  
06 *p = 2;  
07 uint8_t c = *p;
```

	0x10
	0x11
	0x12
	0x13
	0x14
	0x15

- **Achtung:** ATmega328PB hat 8-bit Register und 16-bit Adressen

6

## Wiederholung: Zeiger

- Variable: `uint8_t x`
- Zeiger: `uint8_t *y`
- Adressoperator: `&x`
- Verweisoperator: `*y`

```
01 uint8_t a = 23;  
02 uint8_t b = 42;  
03 uint8_t * p = &a;  
04 *p = 66;  
05 p = &b;  
06 *p = 2;  
07 uint8_t c = *p;
```

	0x10	
a	23	0x11
		0x12
		0x13
		0x14
		0x15

- **Achtung:** ATmega328PB hat 8-bit Register und 16-bit Adressen

6

## Wiederholung: Zeiger

- Variable: `uint8_t x`
- Zeiger: `uint8_t *y`
- Adressoperator: `&x`
- Verweisoperator: `*y`

```
01 uint8_t a = 23;  
02 uint8_t b = 42;  
03 uint8_t * p = &a;  
04 *p = 66;  
05 p = &b;  
06 *p = 2;  
07 uint8_t c = *p;
```

	0x10	
a	23	0x11
b	42	0x12
		0x13
		0x14
		0x15

- **Achtung:** ATmega328PB hat 8-bit Register und 16-bit Adressen

6

## Wiederholung: Zeiger

- Variable: `uint8_t x`
- Zeiger: `uint8_t *y`
- Adressoperator: `&x`
- Verweisoperator: `*y`

```
01 uint8_t a = 23;  
02 uint8_t b = 42;  
03 uint8_t * p = &a;  
04 *p = 66;  
05 p = &b;  
06 *p = 2;  
07 uint8_t c = *p;
```

	0x10	
a	23	0x11
b	42	0x12
p	0x11	0x13
		0x14
		0x15

- **Achtung:** ATmega328PB hat 8-bit Register und 16-bit Adressen

6

## Wiederholung: Zeiger

- Variable: `uint8_t x`
- Zeiger: `uint8_t *y`
- Adressoperator: `&x`
- Verweisoperator: `*y`

```
01 uint8_t a = 23;  
02 uint8_t b = 42;  
03 uint8_t * p = &a;  
04 *p = 66;  
05 p = &b;  
06 *p = 2;  
07 uint8_t c = *p;
```

		0x10
a	66	0x11
b	42	0x12
p	0x11	0x13
		0x14
		0x15

- **Achtung:** ATmega328PB hat 8-bit Register und 16-bit Adressen

## Wiederholung: Zeiger

- Variable: `uint8_t x`
- Zeiger: `uint8_t *y`
- Adressoperator: `&x`
- Verweisoperator: `*y`

```
01 uint8_t a = 23;  
02 uint8_t b = 42;  
03 uint8_t * p = &a;  
04 *p = 66;  
05 p = &b;  
06 *p = 2;  
07 uint8_t c = *p;
```

		0x10
a	66	0x11
b	42	0x12
p	0x12	0x13
		0x14
		0x15

- **Achtung:** ATmega328PB hat 8-bit Register und 16-bit Adressen

6

6

## Wiederholung: Zeiger

- Variable: `uint8_t x`
- Zeiger: `uint8_t *y`
- Adressoperator: `&x`
- Verweisoperator: `*y`

```
01 uint8_t a = 23;  
02 uint8_t b = 42;  
03 uint8_t * p = &a;  
04 *p = 66;  
05 p = &b;  
06 *p = 2;  
07 uint8_t c = *p;
```

		0x10
a	66	0x11
b	2	0x12
p	0x12	0x13
		0x14
		0x15

- **Achtung:** ATmega328PB hat 8-bit Register und 16-bit Adressen

## Wiederholung: Zeiger

- Variable: `uint8_t x`
- Zeiger: `uint8_t *y`
- Adressoperator: `&x`
- Verweisoperator: `*y`

```
01 uint8_t a = 23;  
02 uint8_t b = 42;  
03 uint8_t * p = &a;  
04 *p = 66;  
05 p = &b;  
06 *p = 2;  
07 uint8_t c = *p;
```

		0x10
a	66	0x11
b	2	0x12
p	0x12	0x13
c	2	0x14
		0x15

- **Achtung:** ATmega328PB hat 8-bit Register und 16-bit Adressen

6

6

## Wiederholung: Felder

- Konstanter Zeiger: `uint8_t a[]`
- Variabler Zeiger: `uint8_t *b`
- Aktuelle Element: `*b`
- x-te Element: `b[x]`
- x-te Element: `*(b+x)`

```
01 uint8_t a[] = {2,4,8,16};
02 uint8_t *b = a;
03 uint8_t c = a[0];
04 c = *b;
05 b = b+1;
06 c = *b;
07 c = a[7];
```

	0x10
	0x11
	0x12
	0x13
	0x14
	0x15
	0x16
	0x17
	0x18

7

## Wiederholung: Felder

- Konstanter Zeiger: `uint8_t a[]`
- Variabler Zeiger: `uint8_t *b`
- Aktuelle Element: `*b`
- x-te Element: `b[x]`
- x-te Element: `*(b+x)`

```
01 uint8_t a[] = {2,4,8,16};
02 uint8_t *b = a;
03 uint8_t c = a[0];
04 c = *b;
05 b = b+1;
06 c = *b;
07 c = a[7];
```

	0x10
2	0x11
4	0x12
8	0x13
16	0x14
a 0x11	0x15
	0x16
	0x17
	0x18

7

## Wiederholung: Felder

- Konstanter Zeiger: `uint8_t a[]`
- Variabler Zeiger: `uint8_t *b`
- Aktuelle Element: `*b`
- x-te Element: `b[x]`
- x-te Element: `*(b+x)`

```
01 uint8_t a[] = {2,4,8,16};
02 uint8_t *b = a;
03 uint8_t c = a[0];
04 c = *b;
05 b = b+1;
06 c = *b;
07 c = a[7];
```

	0x10
2	0x11
4	0x12
8	0x13
16	0x14
a 0x11	0x15
b 0x11	0x16
	0x17
	0x18

7

## Wiederholung: Felder

- Konstanter Zeiger: `uint8_t a[]`
- Variabler Zeiger: `uint8_t *b`
- Aktuelle Element: `*b`
- x-te Element: `b[x]`
- x-te Element: `*(b+x)`

```
01 uint8_t a[] = {2,4,8,16};
02 uint8_t *b = a;
03 uint8_t c = a[0];
04 c = *b;
05 b = b+1;
06 c = *b;
07 c = a[7];
```

	0x10
2	0x11
4	0x12
8	0x13
16	0x14
a 0x11	0x15
b 0x11	0x16
c 2	0x17
	0x18

7

## Wiederholung: Felder

- Konstanter Zeiger: `uint8_t a[]`
- Variabler Zeiger: `uint8_t *b`
- Aktuelle Element: `*b`
- x-te Element: `b[x]`
- x-te Element: `*(b+x)`

```
01 uint8_t a[] = {2,4,8,16};
02 uint8_t *b = a;
03 uint8_t c = a[0];
04 c = *b;
05 b = b+1;
06 c = *b;
07 c = a[7];
```

		0x10
	2	0x11
	4	0x12
	8	0x13
	16	0x14
a	0x11	0x15
b	0x11	0x16
c	2	0x17
		0x18

7

## Wiederholung: Felder

- Konstanter Zeiger: `uint8_t a[]`
- Variabler Zeiger: `uint8_t *b`
- Aktuelle Element: `*b`
- x-te Element: `b[x]`
- x-te Element: `*(b+x)`

```
01 uint8_t a[] = {2,4,8,16};
02 uint8_t *b = a;
03 uint8_t c = a[0];
04 c = *b;
05 b = b+1;
06 c = *b;
07 c = a[7];
```

		0x10
	2	0x11
	4	0x12
	8	0x13
	16	0x14
a	0x11	0x15
b	0x12	0x16
c	2	0x17
		0x18

7

## Wiederholung: Felder

- Konstanter Zeiger: `uint8_t a[]`
- Variabler Zeiger: `uint8_t *b`
- Aktuelle Element: `*b`
- x-te Element: `b[x]`
- x-te Element: `*(b+x)`

```
01 uint8_t a[] = {2,4,8,16};
02 uint8_t *b = a;
03 uint8_t c = a[0];
04 c = *b;
05 b = b+1;
06 c = *b;
07 c = a[7];
```

		0x10
	2	0x11
	4	0x12
	8	0x13
	16	0x14
a	0x11	0x15
b	0x12	0x16
c	4	0x17
		0x18

7

## Wiederholung: Felder

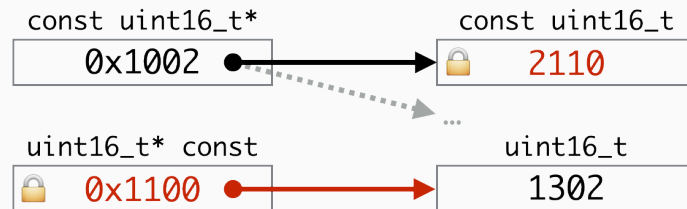
- Konstanter Zeiger: `uint8_t a[]`
- Variabler Zeiger: `uint8_t *b`
- Aktuelle Element: `*b`
- x-te Element: `b[x]`
- x-te Element: `*(b+x)`

```
01 uint8_t a[] = {2,4,8,16};
02 uint8_t *b = a;
03 uint8_t c = a[0];
04 c = *b;
05 b = b+1;
06 c = *b;
07 c = a[7]; // ???
```

		0x10
	2	0x11
	4	0x12
	8	0x13
	16	0x14
a	0x11	0x15
b	0x12	0x16
c	???	0x17
		0x18

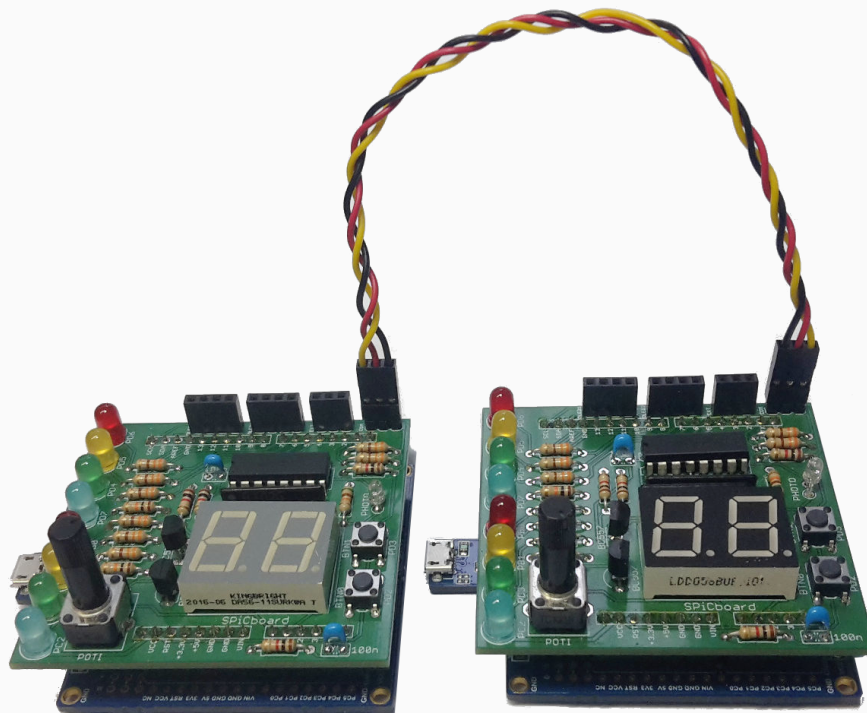
7

- `const uint8_t*`
  - ein Pointer auf einen `uint8_t`-Wert, der konstant ist
  - Wert nicht über den Pointer veränderbar
- `uint8_t* const`
  - ein **konstanter Pointer** auf einen (beliebigen) `uint8_t`-Wert
  - Pointer darf nicht mehr auf eine andere Speicheradresse zeigen



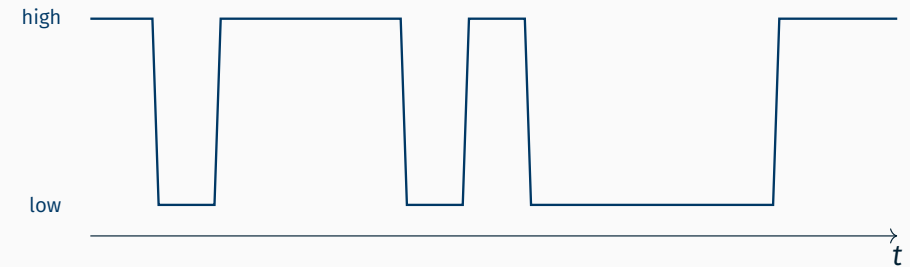
8

## SPiCboard verbinden



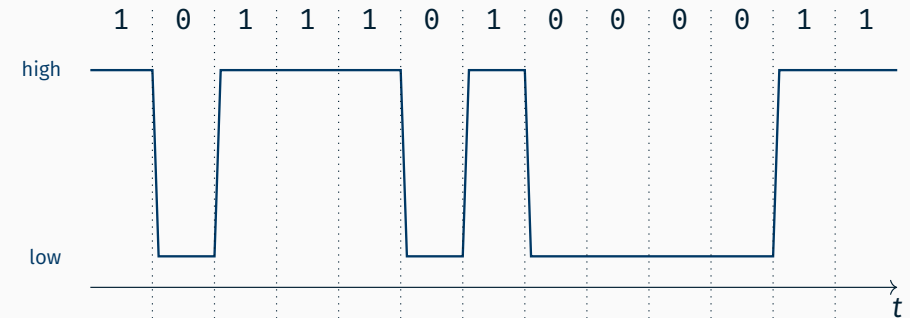
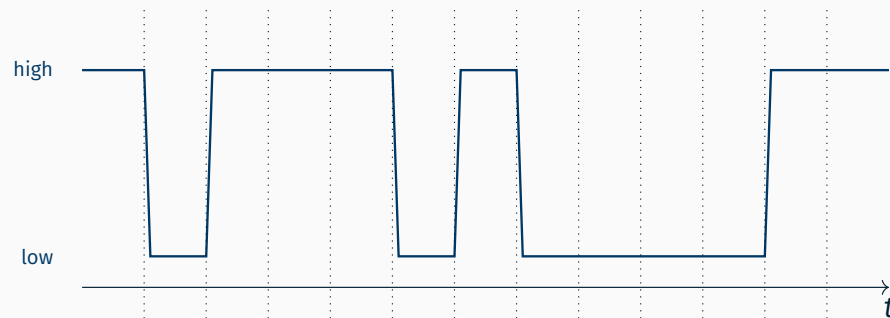
- PD1 Ausgang (TX) wird mit RX des Kommunikationspartners verbunden
- PD0 Eingang (RX) analog mit Ausgang (TX) verbinden
- GND wird mit GND verbunden

- gleiches Protokoll
  - wir nehmen 8-E-1
    - 8 Anzahl der Datenbits
    - E gerades (*even*) Paritätsbit
    - 1 Stopbit
  - sowie (implizit) ein Startbit
  - das Datenbit mit dem niedrigsten Stellenwert wird zuerst übertragen (aufsteigend)
  - hoher Pegel entspricht einer logischen 1, niedriger Pegel einer 0
- gleiche Geschwindigkeit, bei uns 1200 Bd  
(1 Baud entspricht ein Symbol pro Sekunde)



11

12

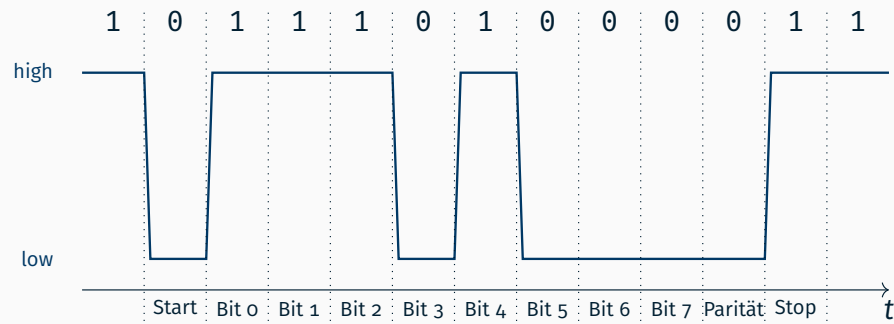


12

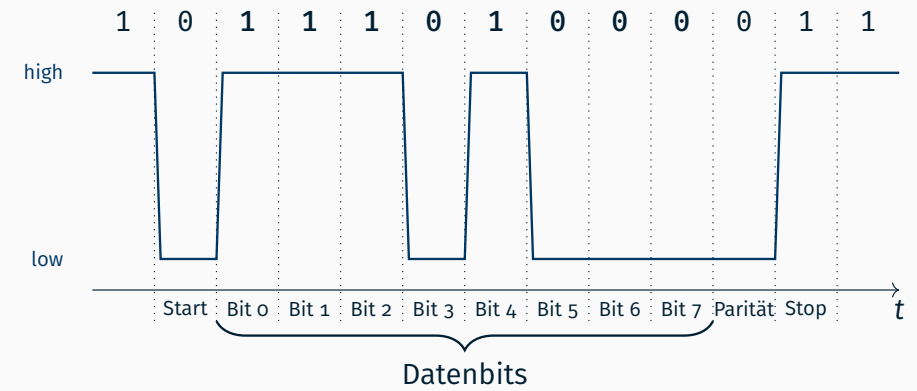
12



## Beispiel



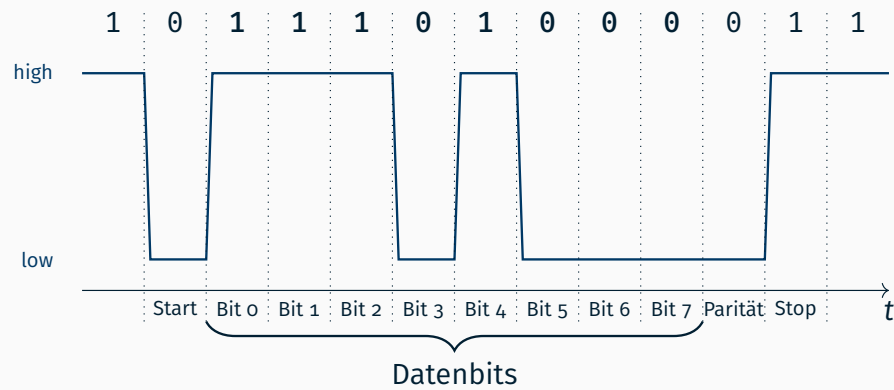
## Beispiel



12

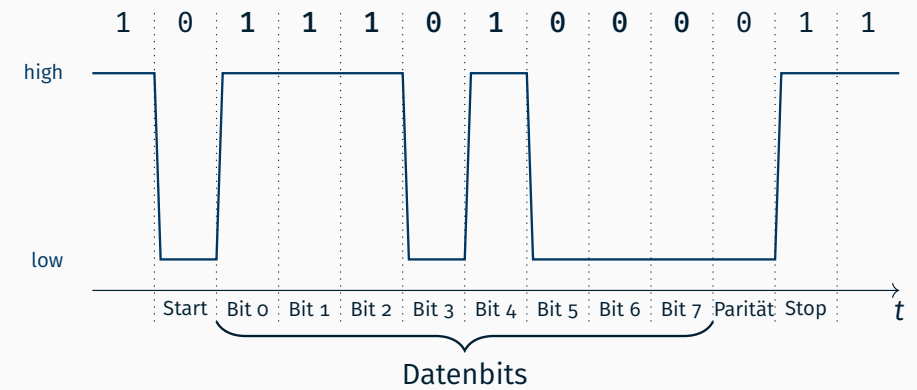
12

## Beispiel



- Empfangenes Byte (rückwärts gelesen):  $00010111_2 = 0x17 = 23$

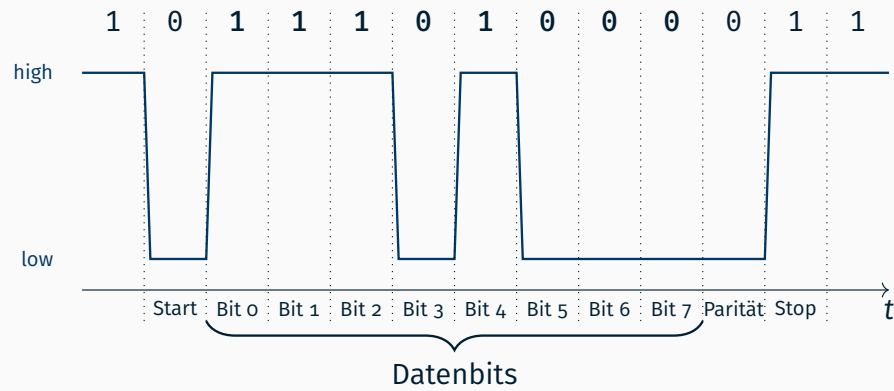
## Beispiel



- Empfangenes Byte (rückwärts gelesen):  $00010111_2 = 0x17 = 23$
- Parität 0 (da Datenbits vier 1er  $\Rightarrow$  gerade Anzahl)

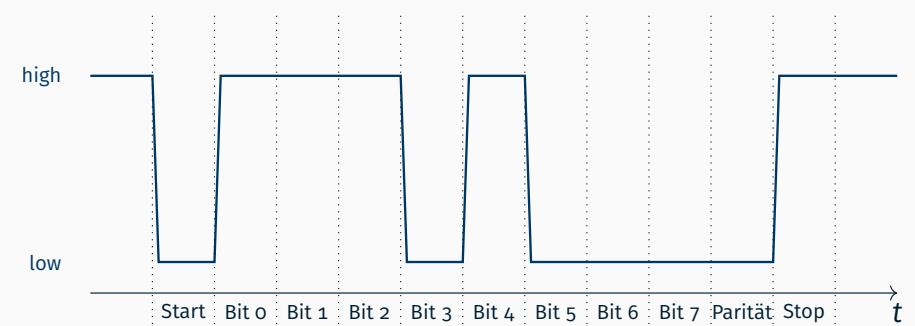
12

12



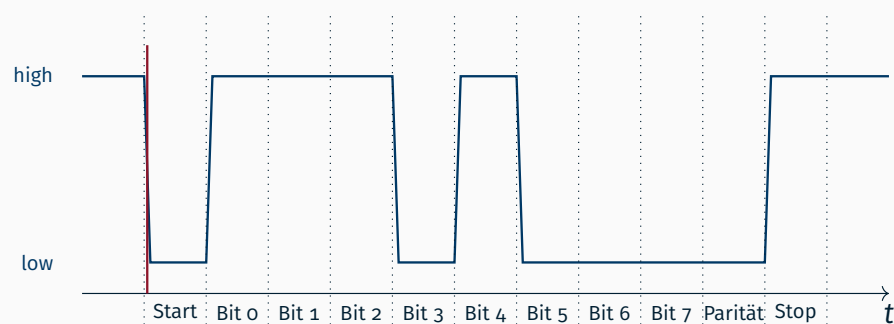
- Empfangenes Byte (rückwärts gelesen):  $00010111_2 = 0x17 = 23$
- Parität 0 (da Datenbits vier 1er  $\Rightarrow$  gerade Anzahl)
- Startbit immer 0 und Stopbit immer 1

12



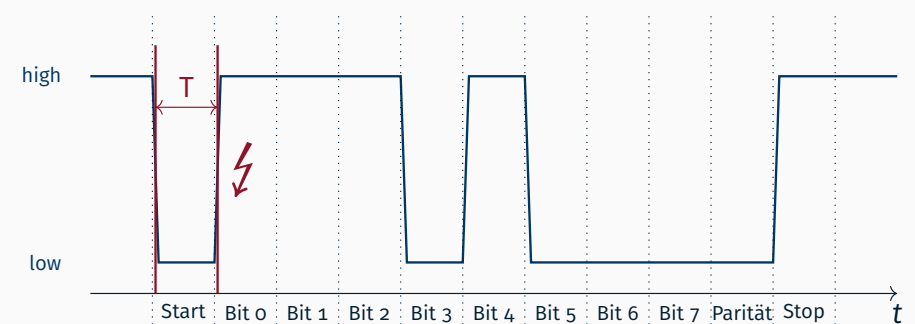
- Die Fenstergröße  $T$  ist uns bekannt

13



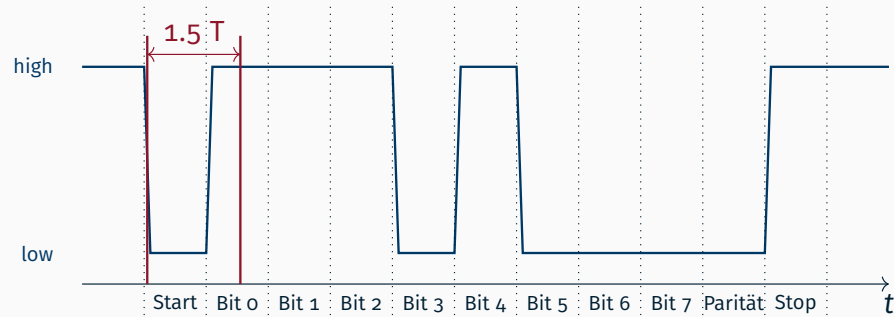
- Die Fenstergröße  $T$  ist uns bekannt
- Anfang ist einen Pegelwechsel von hoch auf niedrig

13



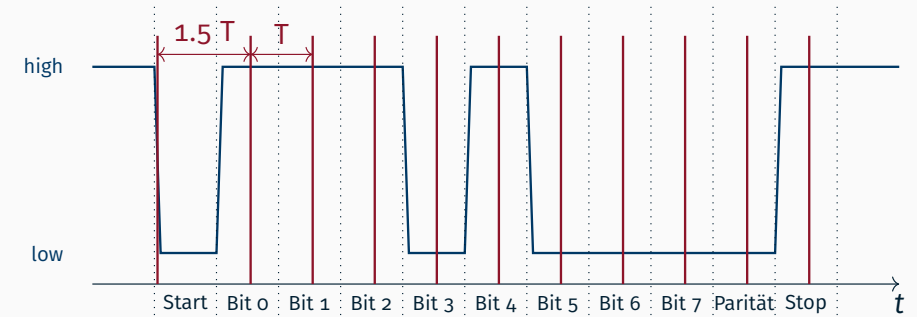
- Die Fenstergröße  $T$  ist uns bekannt
- Anfang ist einen Pegelwechsel von hoch auf niedrig

13



- Die Fenstergröße  $T$  ist uns bekannt
- Anfang ist einen Pegelwechsel von hoch auf niedrig
- warte danach  $1.5 T$  für ein eindeutiges Symbol

13



- Die Fenstergröße  $T$  ist uns bekannt
- Anfang ist einen Pegelwechsel von hoch auf niedrig
- warte danach  $1.5 T$  für ein eindeutiges Symbol
- für jedes weitere Symbol wieder alle  $T$  abtasten

13

## Aufgabe: Eigenes Kommunikationsmodule

## COM-Modul – Aufgabe

- COM-Modul der SPiCboard-Bibliothek selbst implementieren
  - Gleiches Verhalten wie das Original
  - Beschreibung in der Doku auf der Webseite:  
[http://www4.cs.fau.de/Lehre/WS17/V\\_SPIC/Uebung/doc](http://www4.cs.fau.de/Lehre/WS17/V_SPIC/Uebung/doc)

```

01 void sb_com_sendByte(uint8_t data);
02 void sb_com_sendDoubleByte(uint16_t data);
03 void sb_com_sendArray(uint8_t *data, size_t len);
04
05 uint8_t sb_com_receiveByte(uint8_t data);
06 uint8_t sb_com_receiveDoubleByte(uint16_t data);
07 uint8_t sb_com_receiveArray(uint8_t *data, size_t len);
08
09 uint8_t sb_com_byteReadyForReceive();

```

14

- Hilfsfunktionen zum Setzen/Auslesen der Register gegeben
  - Setzen des Pegels für das Senderegister TX
  - Auslesen des Pegels für das Empfangsregister RX
- Hilfsfunktionen gehören nicht zur Schnittstelle
  - ~ Sichtbarkeit mit `static` einschränken

```

01 static inline void sb_com_setTx(uint8_t bit) {
02     if (bit)
03         PORTD |= (1 << PD1);
04     else
05         PORTD &= ~(1 << PD1);
06 }
07
08 static inline uint8_t sb_com_getRx() {
09     return (PIND & (1 << PD0)) != 0;
10 }

```

15

- Funktionen der Schnittstelle müssen überall sichtbar sein
  - ~ Sichtbarkeit nicht einschränken
- Kompatibilität von Schnittstelle und Implementierung durch  
Inkludieren des Headers gewährleistet

```

01 uint8_t sb_com_byteReadyForReceive(){
02     sb_com_init();
03     return sb_com_getRx() != 0;
04 }

```

16

- Implementierung nur einmal machen
- Funktionen auf allgemeinste Funktion abbilden
  - `sb_com_sendByte()` auf Feld der Größe 1 abbilden
  - `sb_com_sendDoubleByte()` auf Feld der Größe 2 abbilden

```

01 void sb_com_sendByte(uint8_t data) {
02     sb_com_sendArray(&data, 1);
03 }
04
05 void sb_com_sendDoubleByte(uint16_t data) {
06     sb_com_sendArray((uint8_t *)&data, 2);
07 }
08
09 void sb_com_sendArray(uint8_t * data, size_t len){
10     // Implement
11 }

```

17

- Analog für Empfangsfunktionen
- Funktionen auf allgemeinste Funktion abbilden
  - `sb_com_receiveByte()` auf Feld der Größe 1 abbilden
  - `sb_com_receiveDoubleByte()` auf Feld der Größe 2 abbilden

```

01 uint8_t sb_com_receiveByte(uint8_t *data) {
02     return sb_com_receiveArray(data, 1);
03 }
04
05 uint8_t sb_com_receiveDoubleByte(uint16_t *data) {
06     return sb_com_receiveArray((uint8_t *) data, 2);
07 }
08
09 uint8_t sb_com_receiveArray(uint8_t *data, size_t len) {
10     // Implement
11 }

```

18

- Aufgabe ist in drei Teile unterteilt
- Teilaufgabe a: Initialisierung
  - Einmaliges Initialisieren der Empfangs- und Senderegister
  - Implementieren der Hilfsfunktion `sb_com_init()`
  - Wird bei jedem Sende- oder Empfangsvorgang aufgerufen

- Aufgabe ist in drei Teile unterteilt
- Teilaufgabe b: Sendefunktionalität
  - Unabhängig vom Empfangen implementieren
  - Implementieren der Funktion `sb_com_sendArray()`
  - Ablauf für jedes zu sendende Byte:
    - Senden des Startbits
    - Senden der Nutzdaten (LSB zuerst)
    - Senden des Paritätsbits
    - Senden des Stopbits
  - Verwendung von `sb_com_wait(1.0)` um ein Symbol zu warten
  - Testen der Sendefunktionalität mit dem vorgebenen Programm `test_receiver.elf`

- Aufgabe ist in drei Teile unterteilt
- Teilaufgabe c: Empfangsfunktionalität
  - Unabhängig vom Senden implementieren
  - Implementieren der Funktion `sb_com_receiveArray()`
  - Ablauf für jedes zu empfangende Byte:
    - Warten auf fallende Flanke an RX
    - Empfangen des Startbits
    - Empfangen der Nutzdaten
    - Empfangen des Paritätsbits
    - Empfangen des Stopbits
  - Treten Fehler während der Übertragung auf, wird der Empfangsvorgang bis zum Ende ausgeführt und der entsprechende Fehlercode zurückgegeben
  - Testen der Empfangsfunktionalität mit dem vorgebenen Programm `test_sender.elf`

- Testen der finalen Implementierung mit einer Anwendung
- Beispielanwendung auf100
  - 2-Personen-Spiel zum Testen des Kommunikationsmoduls  
Spielprinzip: Es wird mit einer zufälligen Zahl begonnen, die auf der 7-Segmentanzeige dargestellt wird. Jeder Spieler kann diese Zahl nun abwechselnd durch drehen des Potentiometers um 1 bis 8 erhöhen. Der Spieler, der die 100 erreicht hat gewonnen.