



Informatikwerkstatt, Foliensatz 4

Joystick und Motorsteuerung

G. Kemnitz

Institut für Informatik, Technische Universität Clausthal
17. November 2014



Inhalt des Foliensatzes

Joystick

Motoren, Wegmessung

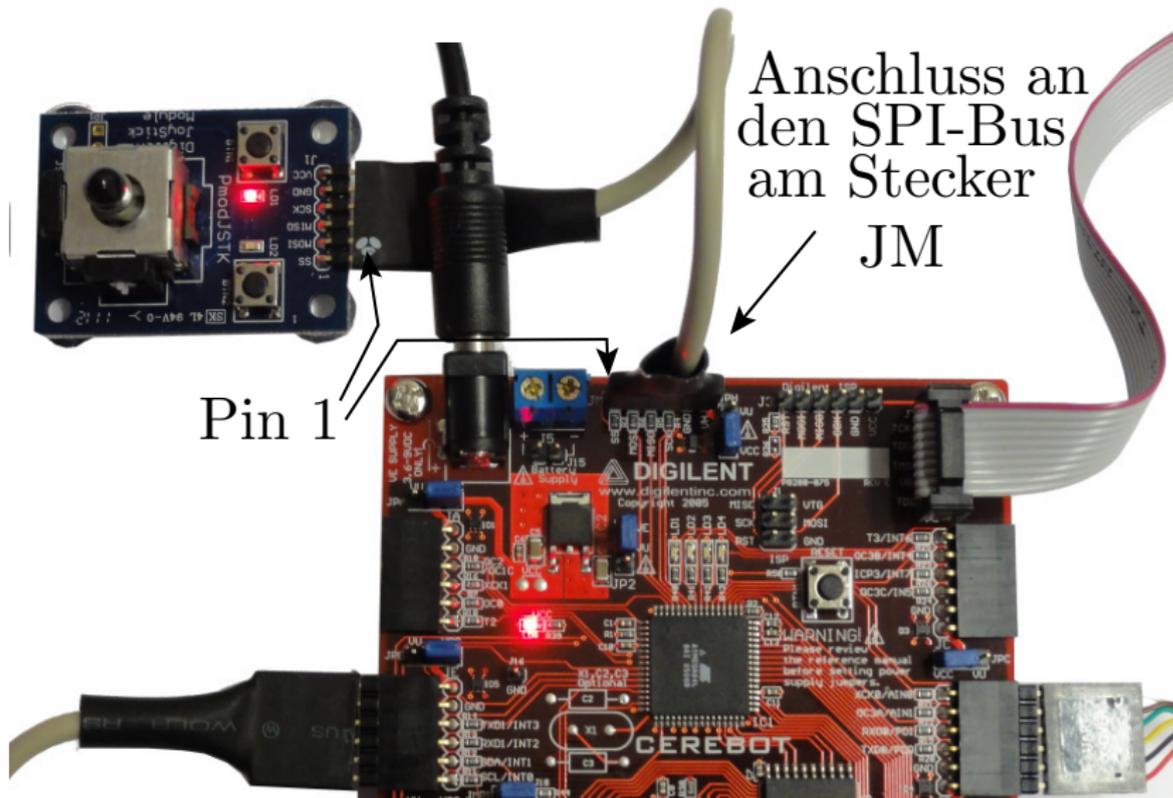


Joystick



1. Joystick

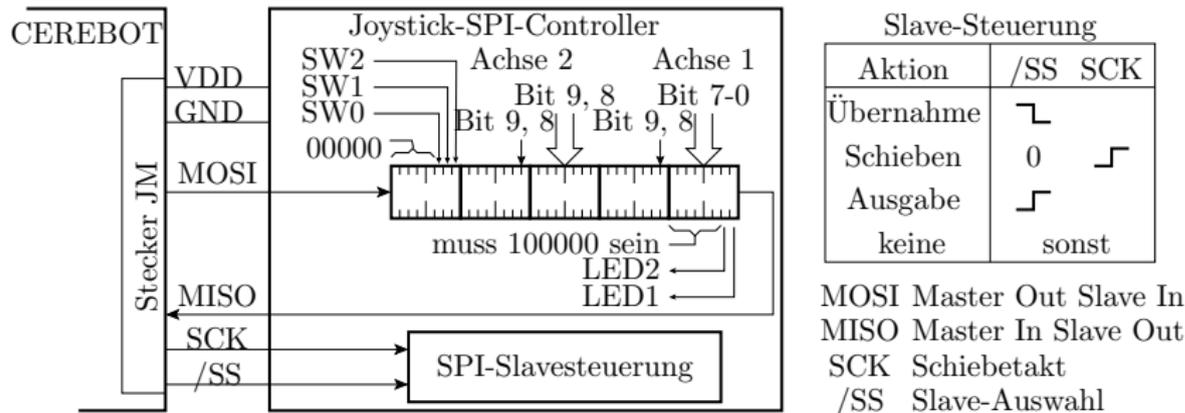
Anschluss des Joysticks





SPI-Funktionalität im Joystick

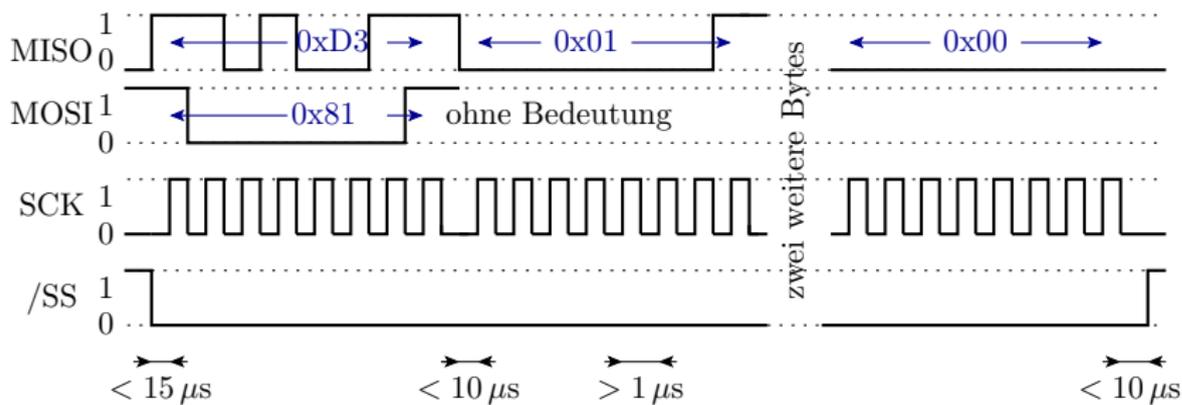
SPI – Serial Peripheral Bus



- Der SPI-Slave des Joysticks ist ein 5x8 Bit Schieberegister, das vom Joystick Daten übernimmt, geschoben wird und Daten übergibt. Steuerung über SCK und /SS.
- Der Master im Mikrorechner muss /SS aktivieren, 5 Bytes schicken - warten - übernehmen und /SS deaktivieren.



1. Joystick



- Die Zeiten im Bild sind einzuhalten, sonst Übertragungsfehler. Eine sofortige serielle Weitergabe nach Byteempfang verboten, da Sendedauer bei 9600 Baud ca. 1 ms \gg 10 μs max. zulässige Pause zwischen zwei SPI-Übertragungen.
- Gesendet wird ein Byte 0b100000l₂l₁ (l_i – LED-Ausgabewert) und 4×beliebige Bytes.
- Empfangen werden zwei Bytes mit dem *x*- zwei Bytes mit dem *y*-Wert und eines mit drei Tasterwerten.



Initialisierung des SPI-Busses im Mikroprozessor

- SPI-Bus aktivieren, auf Master setzen und Frequenz von SCK über Teilerwert festlegen.

Name	Address	Value	Bits
[-] SPCR	0x2D	0x53	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
SPIE	0x00	0x00	<input type="checkbox"/>
SPE	0x01	0x01	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
DORD	0x00	0x00	<input type="checkbox"/>
MSTR	0x01	0x01	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
CPOL	0x00	0x00	<input type="checkbox"/>
CPHA	0x00	0x00	<input type="checkbox"/>
SPR	0x03	0x03	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
[+] SPSR	0x2E	0x00	<input type="checkbox"/>
SPDR	0x2F	0x00	<input type="checkbox"/>

SPI aktivieren

als Master

Bittakt = CPU-Takt durch 128, hier ca. 62 kHz

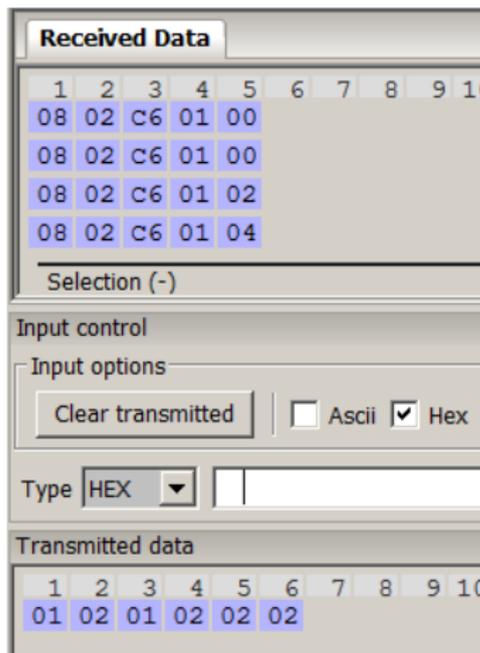


Aufgabe 4.1: Testbeispiel für Joystick vorbereiten

- Neues Projekt »Joystick« mit den Dateien TestJoystick.c, Joystick.c/h, comPC.c/h von der Web-Seite anlegen.
- Spannung aus. Joystick wie auf Folie 4 an JM stecken. Programm übersetzen und starten.
- HTerm starten mit 9600 Baud 8n1, nur Hex-Anzeige und Newline every 5 characters.

Das Programm wartet auf Eingabe und gibt die Bytes B_1 bis B_5 aus:

- x-Wert: $B_2 \cdot 2^8 + B_1$
- y-Wert: $B_4 \cdot 2^8 + B_3$
- B_5 mit den Tasterwerten in Bit 0 bis 2.





Das Testprogramm für den Joystick

```
 9 #include <avr/io.h>
10 #include "comPC.h"
11 #include "Joystick.h"
12 uint8_t dat[5];           // Datenpuffer

14 int main(void){
15     initUSART0();         // USART0 initialisieren
16     initSPI();            // SPI-Initialisierung
17     uint8_t din, i;       // Daten und Zähler
18     while(1) {
19         din = getByte();
20         comSPI(dat, din);
21         for (i=0; i<5; i++){ // Wiederhole für i=0 bis 4
22             sendByte(dat[i]); // versende ein Byte
        }
    }
}
```



1. Joystick

- Die Funktionen `initUSART0()`, `getBytes()`, `sendByte()` sind in `comPC.h` definiert. Funktionsweise siehe Foliensatz 3.
- Initialisierung des SPI-Busses:

```
9 // Initialisierung SPI-Bus
10 // Stecker Belegung Bedeutung
11 // JM-1 /SS PB0 Slave-Auswahl (Ausgang)
12 // JM-2 MOSI PB2 Master-Out-Slave-In (Ausgang)
13 // JM-3 MISO PB3 Master-In-Slave-Out (Eingang)
14 // JM-4 SCK PB1 Schiebetakt (Ausgang)
15 void initSPI(){
16     DDRB = 0xf7; // /SS, MOSI, SCK: Ausgänge
17     PORTB |= 0x1; // /SS=1 (Slave deaktiviert)
18     // SPI als Master mit f_SCK=f_CPU/128 einschalten
19     SPCR = (1<<SPE)|(1<<MSTR)|(0b11<<SPR0);
20 }
```

(SPE – SPI Enable; MSTR – Master; SPR – Einstellung des Teilerfaktors)



1. Joystick

```
22 // Datenaustausch mit dem Joystick
23 // ptr:   Zeiger auf einen 5 Byte großen Puffer
24 // LedDat: einzuschaltende Joystick-Leds, Wert 0 bis 3
25 void comSPI(uint8_t *buffer, uint8_t LedDat){
26     PORTB &=~1;           // Slave aktivieren
27                           // 1. Byte senden
28     SPDR = 0b10000000|(LedDat & 0b11);
29     uint8_t i;
30     for (i=0;i<5;i++){
31                           // Warte auf SPI-Übertragung
32         while (!(SPSR & (1<<SPIF))){}
33         buffer[i] = SPDR;
34         if (i<4) SPDR = 0;
35     }
36     PORTB |= 1;           // Slave deaktivieren
37 }
```

- Das SPIF-Bit wird gelöscht, wenn zuerst SPSR gelesen und dann ein Zugriff auf SPDR erfolgt.



Aufgabe 4.2: Joystick-Programm

Schreiben Sie ein Programm, das auf dem HTerm als Text die Eingabe einer Zahl von 0 bis drei auffordert, die LEDs auf dem Joystick entsprechend dieses Wertes setzt und folgenden Ausgabertext erzeugt:

```
x=<gelesener Wert>, y=<gelesener Wert>, BTN1=1/0,  
BTN2=1/0, Hebel taste=1/0
```

Ändern Sie das Programm so, dass die Ausgabe auf dem LC-Display erfolgt.

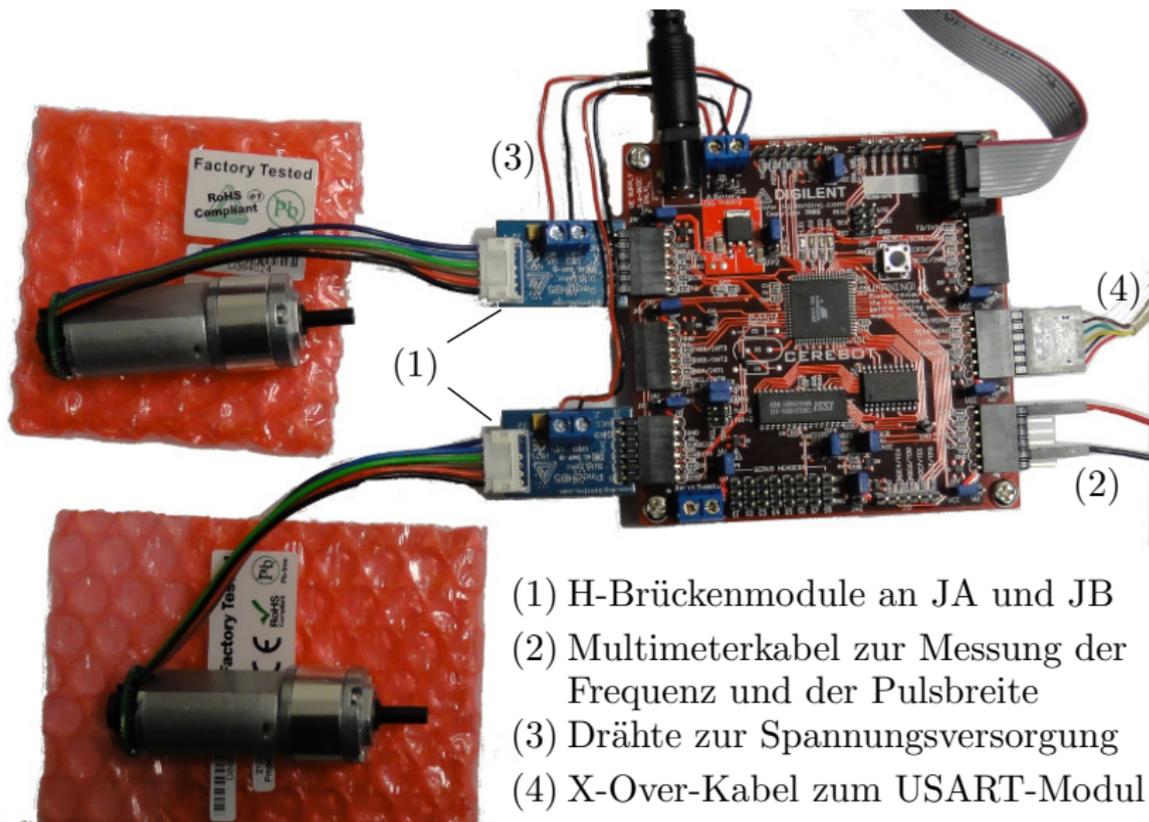


Aufgabe 4.3: Joystick-LCD-Ausgabe

Schreiben Sie ein Programm, das die Joystickwerte fortlaufend auf dem LC-Display anzeigt.



Motoren, Wegmessung

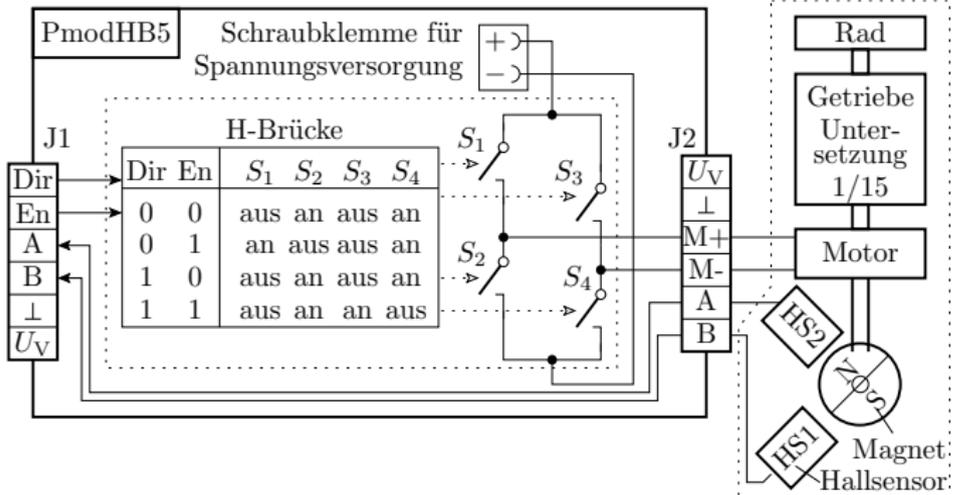




Die Antriebs- und HB5-Module

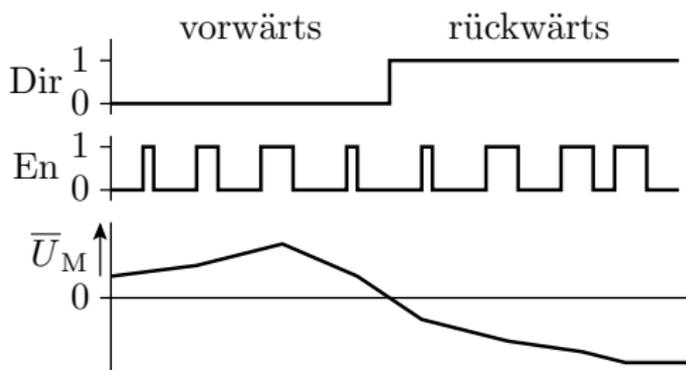
Port-Zuordnung
Mikrocontroller

Motor an JB	Motor an JA
PD6	PD7
PB5	PB4
PD4	PD5
PB6	PB7



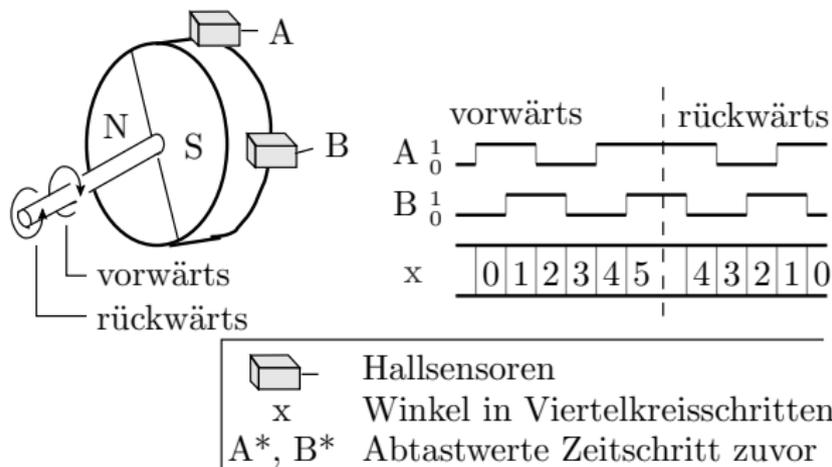
Motoransteuerung

En	1	0	0	1
Dir	0	0	1	1



- Einstellung der Drehrichtung über das Richtungsbit Dir.
- Einstellung der Drehgeschwindigkeit über den Anteil der Zeit, in der das En-Signal eins ist (relative Pulsbreite). Schaltabstand im unteren bis mittleren Millisekundenbereich. Ausprobieren!

Positionsmessung



A* B*	A	B	x
0 0	0	0	—
0 0	0	1	-1
0 0	1	0	+1
0 1	0	1	—
0 1	0	0	+1
0 1	1	1	-1
1 0	1	0	—
1 0	1	1	+1
1 0	0	0	-1
1 1	1	1	—
1 1	1	0	-1
1 1	0	1	+1

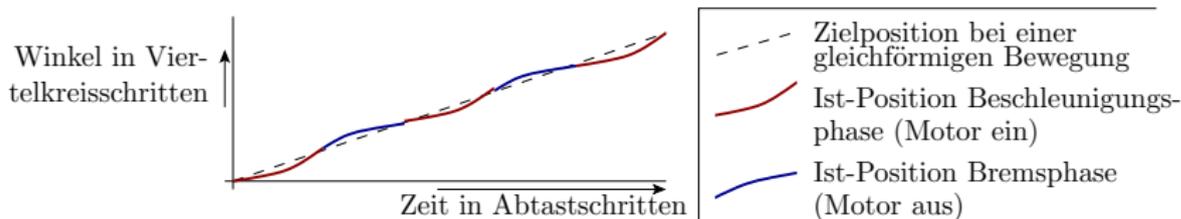
- Abtastung mindestens einmal zwischen zwei Signalwechseln.
- Auf den Signalen A und B treten bis zu 600 Signalwechsel pro s auf. Der Mikrorechner muss die Sensorwerte 800 bis 1000 mal pro s einlesen und auswerten.
- Es bietet sich die Byteversendezeit als Wartezeit an.



Positionsregelung

Für die Steuerung des Fahrzeugs ist es wünschenswert, dass der Mikrorechner aus der Vorgabe der Zielposition und Zielgeschwindigkeit die Ein- und Ausschaltzeitpunkte berechnet und den Motoren vorgibt. Einfachste Lösung ist ein Zweipunktregler:

- Wenn Vorwärtsbewegung:
 - Wenn Ziel- größer Ist-Position, Motor vorwärts einschalten.
 - Sonst Motor aus.
- Sonst wenn Rückwärtsbewegung:
 - Wenn Ziel- kleiner Ist-Position, Motor rückwärts einschalten.
 - Sonst Motor aus.





Konzeption des Testprogramms

Schleife, die 960 mal je Sekunde (Sendezeit für ein Byte)

- auf eine Steuereingabe wartet und,
- wenn die Motorsteuerung eingeschaltet ist, für jeden Motor
 - eine Wegmessschritt durchführt,
 - entscheidet, ob Motor ein- oder aus sein soll, und
 - die Ergebnisse zur Kontrolle an den PC schickt.

Bei 960 Schleifendurchläufen pro Sekunde kann die Eingabe und die Ausgabe nur je ein Byte umfassen.

Steuerbyte	
1000 0000	Antrieb ein
1000 0001	Antrieb aus
aaaa aaa0	Sollgeschwindigkeit* Motor A
bbbb bbb0	Sollgeschwindigkeit* Motor B

* 7Bit-Zweierkomplement
Wertebereich -63 bis $+63$

Kontrollbyte		
Bit 7	Motor A	-1
Bit 6		+1
Bit 5		Dir
Bit 4		En
Bit 3	Motor B	-1
Bit 2		+1
Bit 1		Dir
Bit 0		En



Aufgabe 4.4: Testbeispiel für Motorsteuerung vorbereiten

- Neues Projekt »TestMotor« mit den Dateien Zweipunktreglung.c, Motorsteuerung.c/h und comPC.c/h von der Web-Seite anlegen.
- Spannungsversorgung abziehen. Beide H-Brücken, Motormodule, serielle Schnittstelle und Multimeter wie auf Folie 15 zusammenstecken. Drähte für die Motorspannungsversorgung festschrauben. Spannungsversorgung anschließen.
- Übersetzen und im Debugger starten.

Test 1: Motor von Hand drehen. Die auf LD1 bis LD4 durchgereichten Sensorsignale kontrollieren. Welche LEDs sind Motor A und welche sind Motor B zugeordnet?



2. Motoren, Wegmessung

Test 2: HTerm starten.

- Eingabe von 0x80. Dauerempfang von ca. 960 Byte pro Sekunde. An PF1 sollte die Hauptschleifenfrequenz von ca. 960 Hz zu messen sein.
- Eingabe von Sollgeschwindigkeiten:
 - gerade Zahl von 0x2...0x7E: Vorwärtsbewegung Motor A
 - gerade Zahl von 0x82...0xFE: Rückwärtsbewegung Motor A
 - ungerade Zahl von 0x3...0x7F: Vorwärtsbewegung Motor B
 - ungerade Zahl von 0x83...0xFF: Rückwärtsbewegung Motor B
 - 0: Motor A hält an
 - 1: Motor B hält an
- Steuerung stoppen durch Eingabe von 0x81. Zeichenempfang hört auf.



Private globale Daten der Motorsteuerung

```
11 // Datenstruktur für die Messung und Regelung der
12 // der Motorposition
13 struct MCTRL_t { //
14     uint8_t state; // aktuelle und vorherige Sensorwerte
15     int32_t CtIst; // Wegzähler Istwert in 2^6 Schritten
16     int32_t CtSoll; // Wegzähler Sollwert in 2^6 Schritten
17     int8_t vSoll; // Sollgeschwindigkeit in 2^6
18                 // Schritten je Schleifenzeit
19     uint8_t err; // Zähler für Unterabtastfehler
20 };
22 void initMCTRL(struct MCTRL_t *m, uint8_t x)
29 // private globale Daten der Motorsteuerung
30 struct MCTRL_t MCTRL_MA, MCTRL_MB;
31 uint16_t MCTRL_ts; // Zähler für Zeitschritte
32 uint8_t MCTRL_an; // wenn Steuerung an 1, sonst 0
```

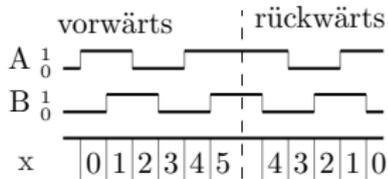
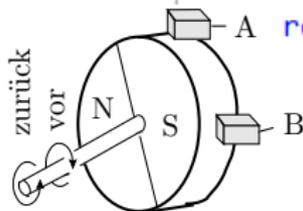


2. Motoren, Wegmessung

```

45 // Umrechnung der Geberwerte in Wege-Increments
48 uint8_t QuadEnc(struct MCTRL_t *m, uint8_t x){
49     m->state = ((m->state<<2)&0b1100)|(x&0b11);
50     switch (m->state){
51         case 0b0010:
52         case 0b0100:
53         case 0b1011:
54         case 0b1101:
55             m->CtIst+=(1<<6);
56             return 0b10;
57         case 0b0001:
58         case 0b0111:
59         case 0b1000:
60         case 0b1110:
61             m->CtIst-=(1<<6);
             return 0b01;
        case 0b0011:
        case 0b0110:
        case 0b1100:
        case 0b1001:
            m->err++;
            return 0b11;
    }
    return 0;
}

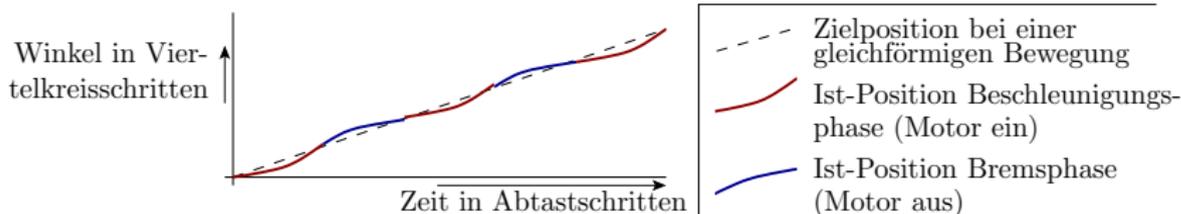
```



A*B*	A	B	x
0 0	0 0	—	
0 0	0 1	-1	
0 0	1 0	+1	
0 1	0 1	—	
0 1	0 0	+1	
0 1	1 1	-1	
1 0	1 0	—	
1 0	1 1	+1	
1 0	0 0	-1	
1 1	1 1	—	
1 1	1 0	-1	
1 1	0 1	+1	



2. Motoren, Wegmessung



```
63 // Motorregelung: Berechnet aus Motordaten Steuerbits
64 // Rückgabebit 0: En (Motorfreigabe)
65 // Rückgabebit 1: Dir (Drehrichtung)
66 □ uint8_t Motorregelung(struct MCTRL_t *m){
67     m->CtSoll += m->vSoll;// neue Sollposition
68     // Sollbewegung vorwärts und Soll- größer Istwert
69     if ((m->vSoll>0)&& (m->CtSoll>m->CtIst)){
70         return 0b01;    // Motor vorwä. ein (Dir=0, En=1)
71     } // Sollbewegung rückwärts und Soll- kleiner Istwert
72     else if ((m->vSoll<0) && (m->CtSoll<m->CtIst)){
73         return 0b11;    // Motor rückw. ein (Dir=1, En=1)
74     }
75     return 0;           // Motor aus (Dir=0, En=0)
}
```



2. Motoren, Wegmessung

```
79 // Kopieren eines Bits aus einem in ein anderes Byte
80 // d, nd: Byte und Bitnummer des Kopierziels
81 // s, ns: Byte und Bitnummer der Kopierquelle
82 uint8_t cpybit(uint8_t d, uint8_t nd,
83 +           uint8_t s, uint8_t ns)...
```

87

```
88 // Schrittfunktion der Gesamtsteuerung für beide Motoren
89 - void Antriebsschritt(){
90     uint8_t wa, wb, qa, qb, msa, msb, sbyte;
91     MCTRL_ts++; // Zeit weiterschalten
92     // für beide Motoren neue Sensorwerte verarbeiten
93     wa = ((PIND>>4)&0b10)|((PINB>>7)&0b01); //Sensoren A
94     wb = ((PIND>>3)&0b10)|((PINB>>6)&0b01); //Sensoren B
95     qa = QuadEnc(&MCTRL_MA, wa); //Sensorwerte A => Inc.
96     qb = QuadEnc(&MCTRL_MB, wb); //Sensorwerte B => Inc.
```



2. Motoren, Wegmessung

```
98 // für beide Motoren Reglerfunktion ausführen
99 msa = Motorregelung(&MCTRL_MA); // Berechnung (DirA,EnA)
100 msb = Motorregelung(&MCTRL_MB); // Berechnung (DirB,EnB)
101 if ((PORTB&(1<<4))!=(msa&1)){ // wenn sich ENA ändert
102     PORTF = cpybit(PORTF, 1, msa, 0); // EnA => PF1
103     PORTB = cpybit(PORTB, 4, msa, 0); // EnA => PB4
104 }
105 if ((PORTB&(1<<5))!=(msb&1)){ // wenn sich ENB ändert
106     PORTF = cpybit(PORTF, 2, msb, 0); // EnB => PF2
107     PORTB = cpybit(PORTB, 5, msb, 0); // EnB => PB5
108 }
109 PORTD = cpybit(PORTD, 7, msa, 1); // DirA => PD7
110 PORTD = cpybit(PORTD, 6, msb, 1); // DirB => PD6
111
112 // Alle Daten in einem Sendebyte zusammenfassen
113 sbyte = (qa<<6) | (msa<<4) | (qb<<2) | msb;
114
115 PORTF |= 1; // PF0 wird zur Messung der Schleifen-
116 sendByte(sbyte); // frequenz und der anteiligen Wartezeit
117 PORTF &= ~1; // während des Sendens gesetzt.
118 }
```



2. Motoren, Wegmessung

Zusammengefasst besteht ein Antriebsschritt darin, für beide Motoren:

- Sensorwerte lesen [93-94]
- damit Weg-Increments bestimmen und Ist-Position aktualisieren [95-96]
- Soll-Position und Motorsteuerwerte (En, Dir) berechnen [99-100]
- Steuerwerte an Motor und Kontrollausgänge weitergeben [101-110]
- Die Increment und Motorsteuerwerte in einem Byte versenden [112-117]

Aufbau des Kontrollbytes

Bit 7	Motor A	-1
Bit 6		+1
Bit 5		Dir
Bit 4		En
Bit 3	Motor B	-1
Bit 2		+1
Bit 1		Dir
Bit 0		En

Die folgende Funktion empfängt und verarbeitet die Steuerbytes:

Aufbau eines Steuerbytes

* 7Bit-Zweierkomplement
Wertebereich -63 bis $+63$

1000 0000	Antrieb ein
1000 0001	Antrieb aus
aaaa aaa0	Sollgeschwindigkeit* Motor A
bbbb bbb0	Sollgeschwindigkeit* Motor B



2. Motoren, Wegmessung

```
125 void Kommandointerpreter(){
126     int8_t dat;
127     if (getBytesNB(&dat)){
128         if (dat==0x80){           // Antrieb einschalten
129             MCTRL_an    = 1;       // Zustand setzen
130             MCTRL_ts    = 0;       // Zähler initialisieren
131             uint8_t wa = ((PIND>>4)&0b10)|((PINB>>7)&0b01);
132             uint8_t wb = ((PIND>>3)&0b10)|((PINB>>6)&0b01);
133             initMCTRL(&MCTRL_MA, wa);
134         } initMCTRL(&MCTRL_MB, wb);
136         else if (dat==0x7F){      // Antrieb ausschalten
137             } initMotorsteuerung(); // und Motoren aus
139         else if ((dat&1)==0){     // gerade: Sollgeschw. A
140             } MCTRL_MA.vSoll=dat/2;
142         else{                      // ungerade: Sollgeschw. B
143             } MCTRL_MB.vSoll=dat/2;
        } } }
```



2. Motoren, Wegmessung

```
19 int main(void){
20     // Ausgänge: PD6..7, PB4..5, PE4..7
21     DDRB = 0b00110000; // EnA, EnB
22     DDRD = 0b11000000; // DirA, DirB
23     DDRE = 0b11110000; // LD4 bis LD1
24     DDRF = 0b111;      // PF0 bis PF2
25     initMotorsteuerung();
26     initUSART0();
27
28     while(1) {
29         // Ausgabe der Sensorwerte an LD1 bis LD4
30         PORTE=cpybit(PORTE, 4, PIND, 5);
31         PORTE=cpybit(PORTE, 5, PINB, 7);
32         PORTE=cpybit(PORTE, 6, PIND, 4);
33         PORTE=cpybit(PORTE, 7, PINB, 6);
34         Kommandointerpreter();
35         if (MotorenAn()){
36             Antriebsschritt();
37         }
38     }
39 }
```



Datenauswertung mit Matlab

Der Mikrocontroller liefert 960 Bytes pro Sekunde. Wie können wir das Verhalten der Regelung kontrollieren? Dafür eignet sich ein Matlabprogramm mit einem Programmablauf siehe rechts.

serielle Verbindung öffnen
Startkommmando 0x80 senden
Motorgeschwindigkeiten senden
wiederhole für eine gegebene Anzahl
Byte empfangen
in seine einzelnen Bits zerlegen
Soll- und Istpositionen berechnen
in Tabellendarstellung bringen
in eine Graphik einzeichnen

- HTerm Verbindung schließen.
- Matlab öffnen.
- Das m-Skript TestMotor.m von der Webseite laden, öffnen und starten.



Tabellarische Ausgabe

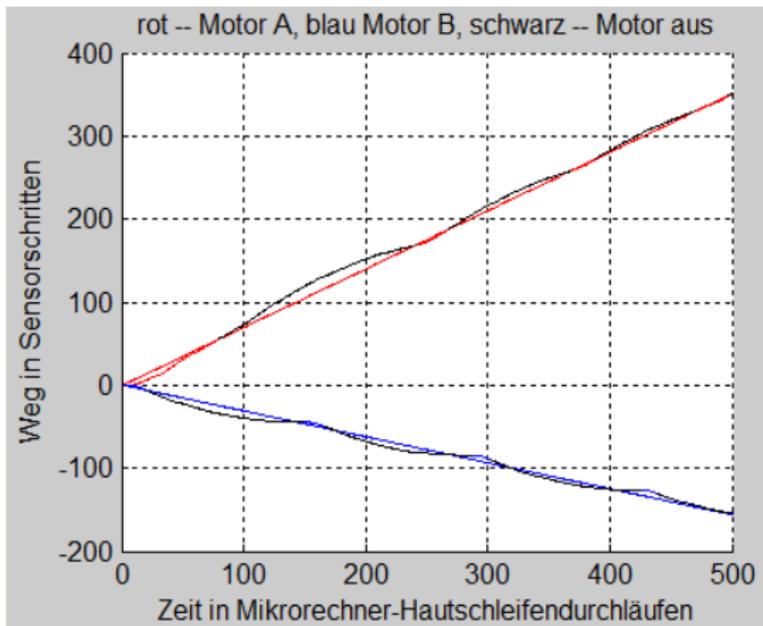
```

-----|
Zeit|           Motor A           |           Motor B           |
  | En Dir + - | ist  soll | En Dir + - | ist  soll |
2|  1  0  0  0 |  0  0.70 |  1  1  0  0 |  0 -0.31 |
3|  1  0  0  0 |  0  1.41 |  1  1  0  0 |  0 -0.63 |
4|  1  0  0  0 |  0  2.11 |  1  1  0  0 |  0 -0.94 |
5|  1  0  0  0 |  0  2.81 |  1  1  0  0 |  0 -1.25 |
6|  1  0  0  0 |  0  3.52 |  1  1  0  0 |  0 -1.56 |
7|  1  0  1  0 |  1  4.22 |  1  1  0  0 |  0 -1.88 |
8|  1  0  0  0 |  1  4.92 |  1  1  0  0 |  0 -2.19 |
9|  1  0  0  0 |  1  5.63 |  1  1  0  0 |  0 -2.50 |
10| 1  0  0  0 |  1  6.33 |  1  1  0  1 | -1 -2.81 |
11| 1  0  1  0 |  2  7.03 |  1  1  0  0 | -1 -3.13 |
12| 1  0  0  0 |  2  7.73 |  1  1  0  0 | -1 -3.44 |

```



Graphische Ausgabe





Erläuterung des Matlabprogramms

```
clear;           % Daten löschen
clf;            % Plot löschen

% Festlegunge der Geschwindigkeiten und der Bewegungsdauer
Testzeit= 500; % Zeit in Schleifenperioden (sp)
vA = 45;       % Geschwindigkeit in Sensorschritten pro sp
vB = -20;      % mal 64, WB: -63 bis 63, ganzzahlig

s = serial('COM9','BAUD',9600);
set(s,'Timeout',1000); % Timeout 1000s (kein sofortiger Abbruch
fopen(s);           % wenn der Prozessor im Debugger hält)
                   % SIO bei Absturz freigeben /Alternative
                   % Neustart von Matlab nach jedem Fehler

closeFID = onCleanup(@() fclose(s));
fwrite(s,[128]);    % Startkommando
```



2. Motoren, Wegmessung

```
%Geschwindigkeiten als 7Bit-Zweierkoplement * 2 (+1)
if vA<0 v = 128+vA;, else v = vA;, end;
fwrite(s, v*2);           % A erwartet geraden Wert
if vB<0 v = 128+vB;, else v = vB;, end;
fwrite(s, v*2+1);       % B erwartet ungeraden Wert

istA(1) = 0;             % Vektoren, zur Speicherung der Ist- und
solla(1)= 0;            % Sollwerte der Motorpositionen in
istB(1) = 0;            % Anhängigkeit von der Zeit (in Mikro-
sollB(1)= 0;            % rechnerschleifendurchläufen)

fprintf('\n-----|\n');
fprintf('Zeit|          Motor A          |          Motor B          |\n');
fprintf('    | En Dir + - | ist  soll | En Dir + - | ist  soll |\n');
hold on;                % graphische Ausgabe weiterzeichnen
```



2. Motoren, Wegmessung

```
for t =2:Testzeit
    dat=fread(s,1);    % ein Datenbyte vom Mikrorechner lesen
    if length(dat)<1, return, end % Abbruch, falls keine Daten

    % Aufspalten des Empfangsbytes in seine einzelnen Bits
    pA = bitget(dat, 8);
    nA = bitget(dat, 7);
    DirA= bitget(dat, 6);
    EnA = bitget(dat, 5);
    pB = bitget(dat, 4);
    nB = bitget(dat, 3);
    DirB= bitget(dat, 2);
    EnB = bitget(dat, 1);
    istA(t) = istA(t-1) + pA - nA;
    sollA(t)= sollA(t-1)+ single(vA)/64;
    istB(t) = istB(t-1) + pB - nB;
    sollB(t)= sollB(t-1)+ single(vB)/64;
```



2. Motoren, Wegmessung

```
% tabellarische Ausgabe
```

```
fprintf('%4i| %i %i %i %i |',t, EnA, DirA, pA, nA);
```

```
fprintf('%4i %6.2f | ', istA(t), sollA(t));
```

```
fprintf(' %i %i %i %i |', EnB, DirB, pB, nB);
```

```
fprintf('%4i %6.2f |\n', istB(t), sollB(t));
```

```
% graphische Ausgabe
```

```
plot([t],[sollA(t)], 'r', [t],[sollB(t)], 'b');
```

```
if EnA plot([t],[istA(t)], 'r');
```

```
else plot([t],[istA(t)], 'k'), end;
```

```
if EnB plot([t],[istB(t)], 'b');
```

```
else plot([t],[istB(t)], 'k'), end;
```

```
end;
```



2. Motoren, Wegmessung

```
hold off;          % Weiterzeichnen | der Graphik abschließen
xlabel('Zeit in Mikrorechner-Hauptschleifendurchläufen')
ylabel('Weg in Sensorschritten');
title('rot -- Motor A, blau Motor B, schwarz -- Motor aus');
grid on;

fwrite(s, [129]); % Motoren ausschalten
fclose(s);       % serielle Schnittstelle schließen
```



*Aufgabe 4.5: Aufbau des Fahrzeugs

- Bauen Sie das Fahrzeug mit Motorbaugruppen, Mikrorechner, H-Brücken und Bluetooth-Modul zusammen. Aufbauhinweise siehe Webseite »Montage.pdf«.
- Programmieren Sie das Beispielpogramm in den Mikrorechner und testen Sie eine Geradeausfahrt mit Steuerung über Matlab und Bluetooth.
- Entwickeln Sie das Matlab-Programm so weiter, dass das Fahrzeug eine vorgegebene Bahn abfährt.

Hinweis: Spalten Sie aus dem vorgegeben Matlab-Programm eine Funktion ab, die eine Bewegung mit den Aufrufparametern

- Zeit in Schleifenschritten und
- je Motor Geschwindigkeit in 64-stel Schleifenschritten.

ausführt (Funktionsdefinition in Matlab siehe »google matlab function«). Ergänzen Sie ein Hauptprogramm, das die serielle Schnittstelle öffnet und die Bewegungsfunktion mehrfach aufgerufen.



*Aufgabe 4.6: Motorregelung verbessern

Die Zweipunktregelung läuft sehr ruckhaft. In der Matlab-Graphik auf Folie 33 erkennt man, dass der Motor etwa 5 bis 10 Zeitschritte maximal beschleunigt und danach 50 bis 100 Zeitschritte ausläuft. Wie könnte man das verbessern?

Hinweise finden Sie mit google unter dem Stichwort »empirischer Reglerentwurf«.