

# Praktikum1

April 19, 2023

Version 1.0.1 19.04.2023

## 1 Praktikum 1 Intelligente Sensorsysteme

Tim Tiedemann, Thomas Lehmann, Roman Kusche, Tobias de Gasperis

## 2 Einfaches (intelligentes) Sensorsystem

Im Praktikum 1 geht es um die Eigenschaften eines einfachen, gerade noch nicht intelligenten Sensorsystems, sowie eine erste Sensordatenverarbeitung mittels Mikrocontroller. Es sollen dazu die Eigenschaften des Systems ermittelt und durch geeignete Software idealisiert werden.

Lesen Sie sich die Aufgaben gut durch. Sollten Sie eine Aufgabe nicht lösen können, so beschreiben Sie zumindest, wie weit Sie gekommen sind und auf welche Weise Sie vorgegangen sind.

Beachten Sie auf der methodischen Seite, dass es bei einem Experiment die Schritte der Dokumentation wesentlicher Aspekte des Aufbaus, der Datenerhebung, der Datenauswertung und der Kommentierung des Ergebnisses gibt. Alle Diagramme sind entsprechend korrekt zu beschriften.

Die Aufgaben sind direkt hier als Protokoll zu bearbeiten. Das abgegebene Notebook soll ausführbar sein. Daneben ist der PDF-Export des Notebook mit abzugeben.

Autoren des Protokolls: Berivan Elmas, Khanh Nhu Pham

## 3 Fallbeschreibung

Ein Forschungsroboter soll zur besseren Kollisionsvermeidung den Abstand zu Objekten in der Umgebung erfassen. Für die Abstandsmessung soll ein Sensorknoten entwickelt werden, der den Abstand optisch ermittelt und die Entfernung über serielle Schnittstelle in Zentimeter [cm] ausgibt. Die Übertragung erfolgt im Klartext als Gleitkommazahl. Jeder Messwert wird durch Zeilenumbruch von dem vorherigen Messwert getrennt. Es muss eine Messrate von mindestens 4 Hz erreicht werden.

Für einen ersten Prototyp wurde der Sensor Sharp GP2Y0A21 ausgesucht. Als Mikrocontrollersystem steht ein Development-Kit Nucleo144-F429ZI der Firma STMicroelectronics zur Verfügung.

Entwickeln Sie einen ersten Prototypen für das Sensorsystem auf Basis des Sensors und des Mikrocontrollersystems. Beurteilen Sie dabei die Qualität des Sensorsystems.

## 4 Vorbereitungsaufgaben

### 4.1 Mikrcontroller

Beschaffen Sie sich Datenblätter und ggf. weiteres Informationsmaterial zu dem ITS-Mikrocontroller-Board mit dem Nucleo144-F429ZI-Board. Was für ein Mikrocontroller ist darauf verbaut? Welche Informationen in den Datenblättern sind für die Bearbeitung der Praktikumsaufgabe relevant (auflisten)?

- Auf dem Board ist der Mikrocontroller STM32 verbaut

Abschnitte: 1. Features 2. Ordering Information 3. Development Environment 4. Conventions 5. Quick Start 6. Hardware Layout and Configuration 7. Nucleo -144 (MB1137) information 8. Federal Communications Commission (FCC) and ISED Canada Compliance Statements 9. CE conformity 10. Revision History

- Für die korrekte Verwendung des Boards ist wichtig zu wissen, welche Pins und Ports zu Verfügung stehen, welche Adressen im Rahmen des Memory Mappings nutzbar sind und wie viel die Versorgungsspannung und das maximale Potential beträgt.

### 4.2 Sensor

Es soll der Sensor vom Typ Sharp GP2Y0A21 verwendet werden. Beschaffen Sie sich das entsprechende Datenblatt. Welche Quellen für Datenblätter gibt es? Welche haben Sie warum gewählt?

- Der Hersteller
- Distributoren
- Als präferierte Quelle für die Datenblätter wurden die jeweiligen Herstellerseiten gewählt, da diese als die verlässlichste Quelle gewertet wurden.

Welche Abschnitte gibt es grob in dem Datenblatt? Welche Informationen in dem Datenblatt sind für die Bearbeitung der Praktikumsaufgabe relevant (auflisten)?

- Allgemeine Informationen zum Sensor
- Aufbau des Sensors (innerlich und äußerlich)
- Angaben zu optimalen Konditionen für den Betrieb
- Darstellungen zum Verhalten der Distanzmessung
- Richtlinien und Nutzungshinweise
- Die Angaben zu optimalen Konditionen sowie die Darstellungen zum Verhalten der Distanzmessung sind von Relevanz, um den Sensor nicht zu beschädigen und die gemessenen Werte korrekt abzulesen und zu werten.

Um was für eine Art von Sensor handelt es sich? Beschreiben Sie kurz das Funktionsprinzip des Sensors.

Der Sensor ist ein Abstandssensor, welcher mit einer Infrarot-Diode und einem optischen Positionssensor funktioniert. Der Positionssensor kann dann den Lichtpunkt, welcher von der Diode stammt und vom gemessenen Objekt reflektiert wird, messen.

### 4.3 Vorbereitung auf das Labor

Lesen sie die Aufgaben, welche im Labor durchgeführt werden sollen durch.

Erstellen Sie, wenn noch nicht vorhanden einen github-Account um Zugang zu der bereitgestellten Software für das ITS-BRD zu bekommen. Teilen Sie den Namen ihres github-Accounts über die entsprechende Buchungsliste mit (siehe Teams-Raum).

Legen Sie ein neues Projekt mit Hilfe der Batch-Datei newProgramADC.bat aus dem Submodul ITS\_BRD\_Sensorik an. Versuchen Sie dieses Projekt zu öffnen und zu kompilieren.

Sammeln Sie alle Fragen und Probleme auf die Sie dabei stoßen.

## 5 Im Labor

### 5.1 Analoge Entfernungsmessung

Nehmen Sie den Sensor Sharp GP2Y0A21 in Absprache mit dem Tutor mit Labornetzteil und Oszilloskop in Betrieb. Skizzieren Sie vorab einen Schaltplan, sprechen diesen mit dem Tutor ab und bauen Sie dann die Verdrahtung auf.

Fügen Sie die Skizze hier ein.

- siehe Anhang: Schaltbild1\_Blatt1

Untersuchen Sie das Verhalten des Sensors. Was beobachten Sie?

- Der Sensor ist empfindlich gegenüber minimalen Einflüssen (s. Abschnitt zu allgemeinem Sensorverhalten)

Wählen Sie sechs Entfernungen aus und messen Sie jeweils das Ausgangssignal des Sensors. Verwenden Sie das Anhalten des Scans, um die Breite des Rauschens abzuschätzen. Alternativ kann die Min-/Max-Funktion des Oszilloskops helfen, um Minimal- und Maximalwert zu messen – aber Achtung: Ausreißer sollen hierbei nicht beachtet werden! Für Ausreißer in Messsignalen werden wir noch andere Methoden betrachten.

Fügen Sie hier eine Tabelle mit den Messwerten (Distanz, Messwert, Rauschbreite) ein. Welche Einheit haben die Werte?

Distanz	Messwert	Rauschbreite
5cm	3V	200mV
10cm	2.56V	100mV
25cm	900mV	100mV
40cm	600mV	100mV
55cm	500mV	120mV
70cm	400mV	120mV

Stellen Sie Ihre Messwerte graphisch in einem linearen Koordinatensystem dar. Versuchen Sie, eine Funktion  $y = y_0 + m \cdot x$  entlang Ihren Messdaten zu legen. Wie haben Sie die Koeffizienten der Funktion ermittelt? Wie gut passt das lineare Modell zu Ihren Daten? Haben Sie eine Erklärung dafür?

```
[15]: import matplotlib.pyplot as plt

fig, ach = plt.subplots()
```

```

messwerte = [3000, 2560, 800, 600, 500, 400]
distanzen = [5, 10, 25, 40, 55, 70]

summeX = 0
summeY = 0

for i in range(len(messwerte)):
    summeX += distanzen[i]
    summeY += messwerte[i]

durchschnittX = summeX / len(distanzen)
durchschnittY = summeY / len(messwerte)

#Zähler für die Steigungsberechnung
z = 0
for i in range(len(messwerte)):
    z += (distanzen[i] - durchschnittX) * (messwerte[i] - durchschnittY)

#Nenner für die Steigungsberechnung
n = 0
for i in range(len(messwerte)):
    n += pow((distanzen[i] - durchschnittX), 2)

steigung = z / n

y = durchschnittY - steigung * durchschnittX

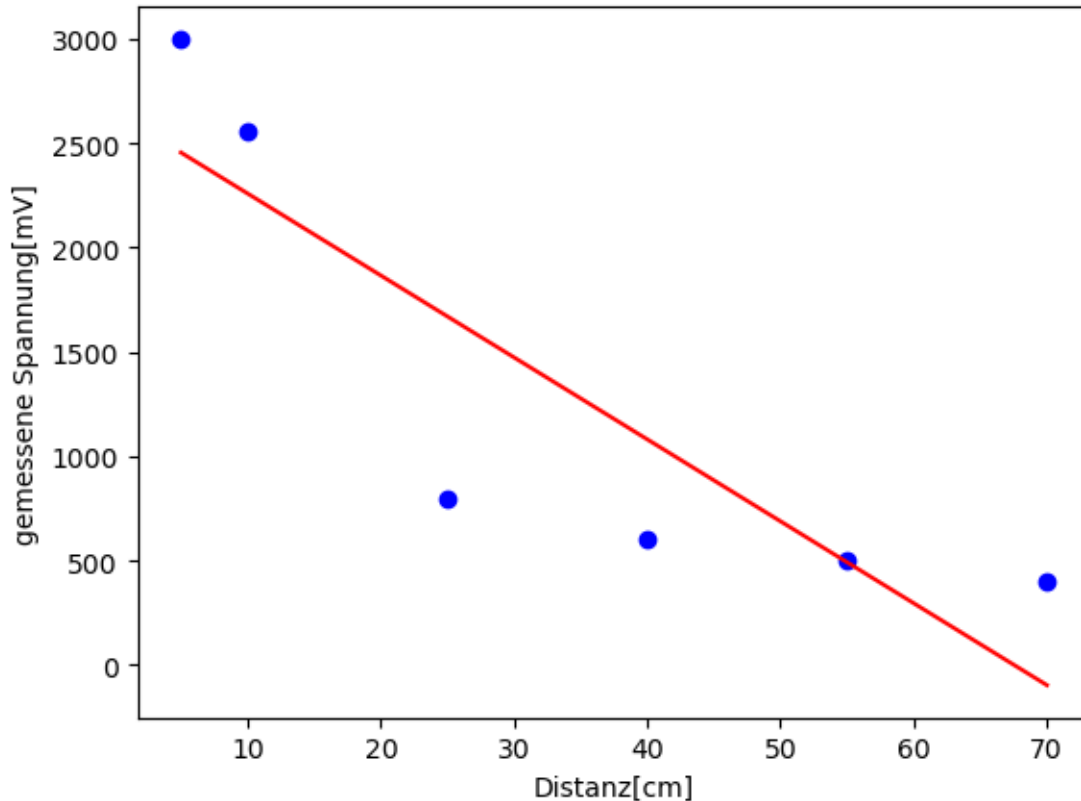
#Messpunkte plotten
plt.plot(distanzen, messwerte, 'bo')

#Regressionslinie plotten
plt.plot(distanzen, [steigung * xi + y for xi in distanzen], color='red')

#Achsen beschriften
ach.set_xlabel('Distanz[cm]')
ach.set_ylabel('gemessene Spannung[mV]')

plt.show()

```



- Das lineare Modell kann lediglich den abfallenden Trend der Messwerte darstellen, passt jedoch nicht zu den Daten, da diese teilweise zu stark gestreut sind und von der Geraden abweichen.

Erkennen Sie irgendwelche Probleme bei diesem Versuchsaufbau oder gab es Fehlannahmen über das erwartete Verhalten? Beschreiben Sie kurz.

- Die Messwerte, welche sich im Versuch ergaben entsprachen nicht der erwarteten Genauigkeit.
- Die angebrachte Platte, dessen Distanz gemessen werden sollte, war sehr locker angebracht und die Position war somit bei erneuten Messungen ein ausschlaggebender Grund für Abweichungen.
- Die Lichtverhältnisse sind bei jedem Versuch anders, die natürliche Umgebung beeinflusst also (in diesem Falle) unvermeidbar die Versuchsergebnisse auf unterschiedliche Weise.

Was fällt Ihnen insgesamt an dem Sensorverhalten auf? Gibt es negative Eigenschaften? Erkennen Sie zwei verschiedene Arten von Störungen, die zu falschen Messwerten führen?

- Material des gemessenen Objekts: verschiedene Dinge reflektieren unterschiedlich stark.
- Positionierung des Objekts: bei schiefer Ausrichtung des gemessenen Objekts reflektiert das Licht nicht in einem messbaren/rekonstruierbaren Winkel. Die Messwerte, welche der Sensor liefert, können sich also in der selben Distanz durch diese Winkel unterscheiden.
- Externe Lichtquellen: Externes Licht wird ebenfalls von dem optischen Positionssensor aufgefangen und verzerrt die Messwerte.

## 5.2 Digitale Entfernungsmessung

### 5.2.1 Analyse des Vorarbeiten in der Software

Im Rahmen der Vorauswahl von Sensor und Mikrocontroller-Board wurde schon ein erstes Beispielprojekt erstellt. Das Keil-Projekt erhalten Sie über github

Eventuell muss in der Keil-Umgebung vor dem / beim ersten Start die Unterstützung des verwendeten Mikrocontrollers nachinstalliert werden.

Analysieren Sie sich das zur Verfügung gestellte Projekt. Was wurde bereits in den Vorarbeiten erledigt? Wo/wie werden die Mikrocontroller-internen Komponenten angesteuert? Wo die initiale Konfiguration der Mikrocontroller-internen Komponenten? Wo findet ein Zugriff auf die ADC-Ergebnisse statt? Insbesondere, wo findet die Board-spezifische Konfiguration statt: An welchem Pin des Controllers wird der Analogwert eingelesen?

Was wurde bereits in den Vorarbeiten erledigt? - ADC Funktionen und HAL sind bereits zur Verfügung gestellt

Wo/wie werden die Mikrocontroller-internen Komponenten angesteuert? - Drivers/STM32F4xx\_HAL\_Driver

Wo findet ein Zugriff auf die ADC-Ergebnisse statt? - main.c & adc.c

Kompilieren Sie das Programm und laden es auf den Mikrocontroller. Prüfen Sie die Funktionsweise des Programms.

Auf dem PC/Notebook benötigen Sie ein Programm, um die serielle Schnittstelle auszulesen, z.B. TeraTerm oder HyperTerm, das passend konfiguriert sein muss.

Falls Sie mit der der Simulation in Keil arbeiten, müssen Sie (im Simulations-/Debug-Modus) unter "View"-"Serial Windows" den "UART#2" auswählen. Dieses Fenster ist im ursprünglichen Projekt bereits geöffnet. Fragen Sie ggf. Ihren Tutor dazu.

### 5.2.2 Analyse Systemverhalten

Vor der Entwicklung des Prototypen muss nun das Systemverhalten des Sensors in Kombination mit dem Mikrocontroller ebenfalls analysiert werden.

Skizzieren Sie Ihren Aufbau (Kästchengrafik) ihres Systems, ggf. auf Papier, und fügen Sie das Bild hier ein.

- siehe Anhang: Schaltbild2\_Blatt1

Schliessen Sie den Sensor an Ihr ITS-Board an. Lesen Sie Sensorwerte über den ADC im Mikrocontroller ein und übertragen die Werte über die serielle Schnittstelle an den Host. Es sollen auf dem Host die Rohwerte des ADC (digit) angezeigt werden.

Nehmen Sie für die sechs Entfernungen (s.o.) jeweils sechs aufeinander folgende vom ADC ausgelesene Werte auf. Fügen Sie hier wieder die Tabelle (Distanz, sechse Messwerte, Mittelwert) mit Ihren Messwerten ein. Berechnen Sie die jeweiligen Mittelwerte Ihrer Messungen.

Distanz	sechste Messwerte	Mittelwert
5cm	3819, 3825, 3817, 3821, 3837, 3818	3822.83

Distanz	sechste Messwerte	Mittelwert
10cm	3108, 3113, 3261, 3274, 3415, 3260	3238.50
25cm	1324, 1316, 1328, 1317, 1309, 1371	1327.50
40cm	1049, 1014, 1032, 1052, 1020, 1022	1031.50
55cm	895, 867, 879, 900, 882, 912	889.17
70cm	774, 753, 762, 756, 771, 751	761.17

Bewerten Sie wieder die Linearität des Systems.

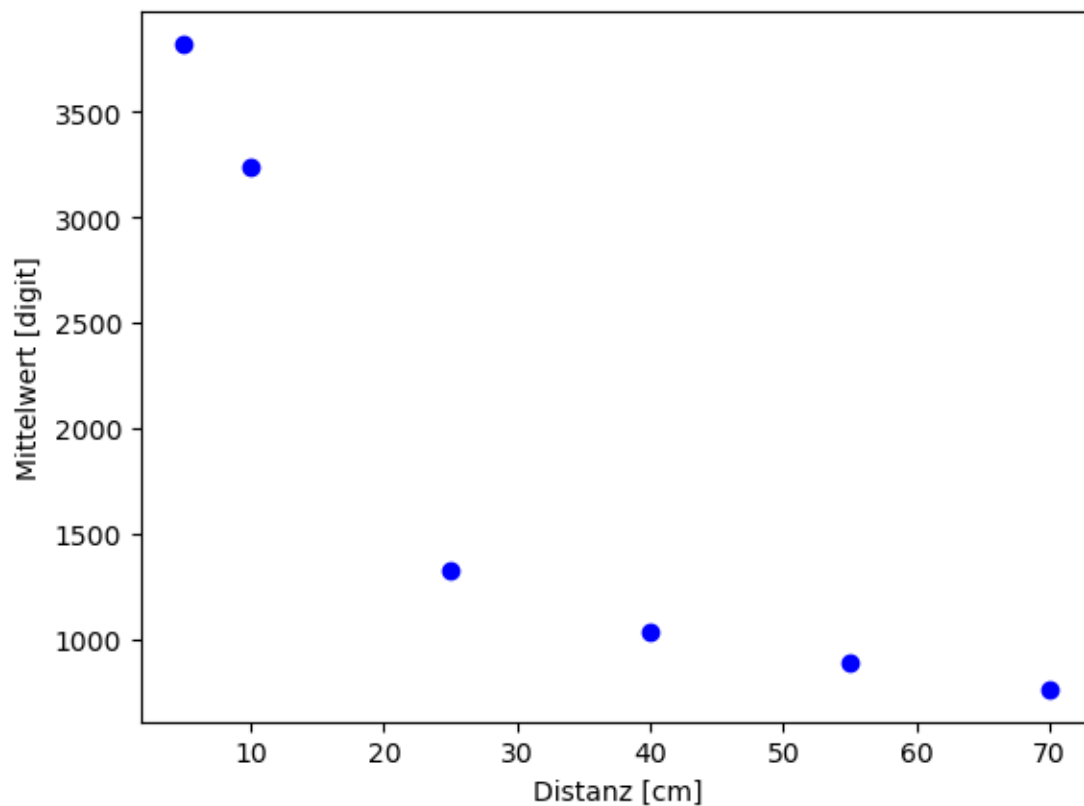
- Das System ist nicht linear.

```
[16]: #Plot der Messwerte: digit zu cm
figure, achse = plt.subplots()
mittelwerte = [3822.83, 3238.50, 1327.50, 1031.50, 889.17, 761.17]

achse.set_xlabel('Distanz [cm]')
achse.set_ylabel('Mittelwert [digit]')

plt.plot(distanzen, mittelwerte, 'bo')

plt.show()
```



Schlagen Sie ein oder mehrere Methoden vor um der Nichtlinearität zu begegnen! Und wieso ist eine Korrektur überhaupt notwendig?

- Lineare Approximation
- Eine Korrektur ist notwendig, da das System ansonsten unvorhersehbar wäre (Keine Messdaten an jedem Punkt)

## 5.3 Systementwicklung

### 5.3.1 Korrekturfunktion

Implementieren Sie eine Korrekturmethode, mit der die ADC-Werte in Zentimeter umgerechnet werden, z.B. durch eine eigene Funktion: `double korrektur(uint16_t dig) { ... }`

Wählen Sie die Modell und Konfiguration ihrer Korrekturmethode basierend auf Ihren Messwerten und geben Sie die Distanz jetzt in cm (mit mindestens einer Nachkommastelle) über die serielle Schnittstelle aus. Wieviele Nachkommastellen halten Sie für sinnvoll (begründen Sie ggf. über die diskrete Auflösung des Systems)?

Fügen Sie hier auch den C-Code der Funktion ein.

```
double korrekturFunktion(double adc){
const double mittelwerte[] = {3822.24, 3238.12, 1327.50, 1031.04,
                               889.99, 761.01};
const int distanzen[] = {5, 10, 25, 40, 55, 70};

    double distanz = -1;

    //durchlaufen Mittelwerte und suchen nach passenden Bereich
    for(int i = 0; i < 6; i++){

        //wenn ADC Wert innerhalb des aktuellen Bereichs liegt
        //Berechnen wir lineare Interpolation
        if(mittelwerte[i] >= adc && adc >= mittelwerte[i+1]){

            //Formel für lineare Interpolation:
            //y(x) = y1 + (y2-y1/x2-x1)*(x-x1)
            distanz = distanzen[i] + (distanzen[i+1] - distanzen[i]) /
            (mittelwerte[i+1]-mittelwerte[i]) * (adc-mittelwerte[i]);
            break;
        }
    }
    return distanz;
}
```

### 5.3.2 Qualität und Performanz

Untersuchen Sie die Qualität Ihres Sensorsystems. Führen Sie wieder Vergleichsmessungen zwischen der Referenzentfernung (Zollstock) und Ihrem Sensorsystem durch.



Führen Sie drei Messungen an Entfernungen durch, wo Sie bei Ihrer Korrekturmethode eine geringe Abweichung erwarten. Führen Sie drei weitere Messungen bei Entfernungen durch, wo Sie eine hohe Abweichung auf Grund Ihrer Korrekturmethode erwarten. Begründen Sie kurz die Wahl der Punkte.

Nehmen Sie pro Entfernung sechs Messwerte auf. Welcher absolute Fehler zwischen Referenz und Mittelwert der Messwerte ergibt sich bei den Entfernungen jeweils?

Welches Vertrauensintervall  $\pm\nu$  ergibt sich jeweils für jede der Entfernungsmessungen für eine statistische Sicherheit von 68,3 %?

Ergänzen sie hier die Tabelle der Messwerte, den Code zur Berechnung von Mittelwert, Abweichung und Vertrauensintervall, sowie die Tabelle mit den Ergebnissen.

### 5.3.3 Geringe Abweichung:

Distanz	Messwerte[cm]	Messwerte[digits]
10cm	10.14, 10.09, 10.06, 10.04, 11.17, 10.83	3220, 3226, 3230, 3233, 3089, 3132
15cm	13.94, 14.09, 13.86, 13.96, 13.95, 13.92	2037, 2716, 2746, 2733, 2734, 2738
20cm	19.52, 20.07, 20.33, 20.45, 20.39, 20.14	2025, 1955, 1922, 1907, 1915, 1947

### 5.3.4 Große Abweichung:

Distanz	Messwerte[cm]	Messwerte[digits]
50cm	45.53, 45.32, 45.64, 42.55, 42.77, 45.32	979, 981, 978, 1007, 1005, 981
60cm	52.23, 55.93, 54.47, 56.86, 54.89, 58.26	916, 882, 895, 874, 891, 862
80cm	449600119.87, 479572281.15, 493676827.63, 481335349.46, 447837951.56, 431969436.76	506, 489, 481, 488, 507, 516

```
[17]: tenCM = [10.14, 10.09, 10.06, 10.04, 11.17, 10.83]
fifteenCM = [13.94, 14.09, 13.86, 13.96, 13.95, 13.92]
twentyCM = [19.52, 20.07, 20.33, 20.45, 20.39, 20.14]
#Berechnung von Mittelwert
def mittelwert_berechnen(array):
    summe = 0.0
    mittelwert = 0.
    for element in array:
        summe += element
```

```

        mittelwert = summe/len(array)
        return mittelwert
mittelwert_ten = mittelwert_berechnen(tenCM)
mittelwert_fifteen = mittelwert_berechnen(fifteenCM)
mittelwert_twenty = mittelwert_berechnen(twentyCM)

#print("Mittelwert von 10cm: "+ str(mittelwert_ten))
#print("Absoluter Fehler: "+ str(mittelwert_ten-10))

#print("\nMittelwert von 15cm: "+ str(mittelwert_fifteen))
#print("Absoluter Fehler: "+ str(mittelwert_fifteen-15))

#print("\nMittelwert von 20cm: "+ str(mittelwert_twenty))
#print("Absoluter Fehler: "+ str(mittelwert_twenty-20))

```

```

[18]: #Berechnung von Mittelwert
fiftyCM = [45.53, 45.32, 45.64, 42.55, 42.77, 45.32]
sixtyCM = [52.23, 55.93, 54.47, 56.86, 54.89, 58.26]
eightyCM = [449600119.87, 479572281.15, 493676827.63, 481335349.46, 447837951.
    ↪56, 431969436.76]

mittelwert_fifty = mittelwert_berechnen(fiftyCM)
mittelwert_sixty = mittelwert_berechnen(sixtyCM)
mittelwert_eighty = mittelwert_berechnen(eightyCM)

#print("Mittelwert von 50cm: "+ str(mittelwert_fifty))
#print("Absoluter Fehler: "+ str(mittelwert_fifty-50))

#print("\nMittelwert von 60cm: "+ str(mittelwert_sixty))
#print("Absoluter Fehler: "+ str(mittelwert_sixty-60))

#print("\nMittelwert von 80cm: "+ str(mittelwert_eighty))
#print("Absoluter Fehler: "+ str(mittelwert_eighty-80))

```

```

[19]: mittelwerte_mittel = [mittelwert_ten, mittelwert_fifteen, mittelwert_twenty,
    ↪mittelwert_fifty, mittelwert_sixty, mittelwert_eighty]

```

```

[23]: import math
#Standardabweichung berechnen:

def standardabweichung(array):
    mittelwert = mittelwert_berechnen(array)
    summe = 0
    for element in array:
        summe += (element-mittelwert)**2
    stdabweichung = summe/(len(array)-1)
    stdabweichung = math.sqrt(stdabweichung)

```

```

    return stdabweichung
#print(standardabweichung(mittelwerte_mittel))

```

1.4489916033803192

```

[27]: vertrauensintervall = 0
      #Korrekturfaktor bei n=6 und ~68.3%
      t = 1.11

      vertrauensintervall = t*standardabweichung(mittelwerte_mittel)
      #print(vertrauensintervall, ", ", 0-vertrauensintervall)

```

22.137855563530763 , -22.137855563530763

Welche Laufzeitkomplexität hat Ihre Korrekturfunktion? (O-Notation oder Floating-Point-Operations)

- $O(n)$ , also linear, da die Laufzeitkomplexität von dem Arrayzugriff innerhalb der for-Schleife abhängt und diese n-mal (in unserem Falle 6-mal) durchlaufen wird.

Kann eine Datenrate von 4 Hz von dem gesamten System erreicht werden? Was wäre die maximal erreichbare Datenrate ihres derzeitigen Systems? Überlegen Sie dazu, welches Ihrer Teilsysteme welche maximale Bandbreite besitzt.

- Diese Aufgabe wurde übersprungen.
- Ansatz zur Berechnung: Einholen der Sampling Rates von ADC und Sensor sowie der Baudrate...?

Bei ADCs tritt ein sogenanntes "digitales Rauschen" auf, d.h. das LSB rauscht. Welche (maximale) Auswirkung hat dieses Rauschen von einem Bit auf die in Ihrem System bestimmte Entfernung?

- Im Datenblatt wird ein Spannungsbereich von 1.7V bis 3.3V angegeben
- 12 Bit Auflösung

$$\text{LSB} = V_{\text{ref}}/2^N$$

$$= 3.3\text{V}/2^{12} = 0.00081\text{V} = 0.81\text{mV}$$

$$x_1 = 10\text{cm}, y_1 = 2560\text{mV} \quad x_2 = 25\text{cm}, y_2 = 900\text{mV}$$

$$m = -1660/15 = -110,67$$

$$x = y/m = 899,19/-110,67 = -8,12 \rightarrow \text{absoluter Wert } 8,12\text{cm}$$

$$x_5 = 55\text{cm}, y_5 = 500\text{mV} \quad x_6 = 70\text{cm}, y_6 = 400\text{mV}$$

$$m = -100/15 = -6,67$$

$$x = y/m = 399,19/-6,67 = -59,85 \rightarrow \text{absoluter Wert } 59,85$$

## 6 Anhang

[t-Verteilung]<>(t-VerteilungDIN1319-3.png)

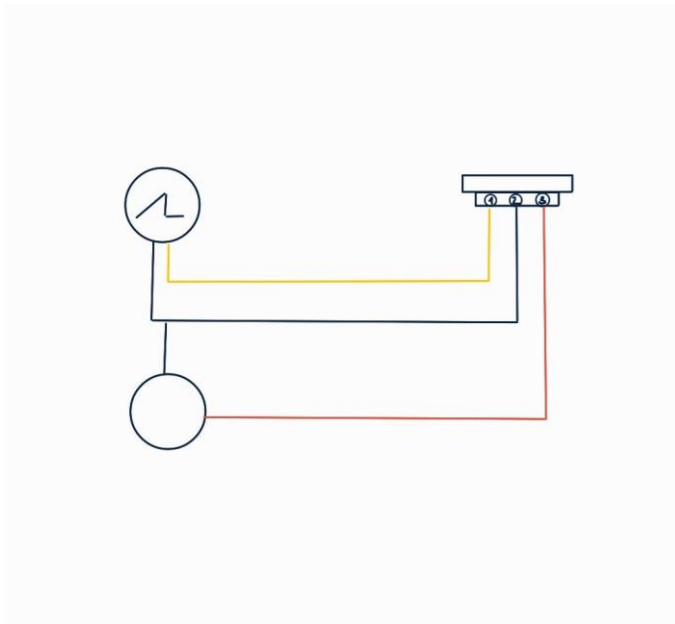


Abb. 1: Schaltbild1\_Blatt1

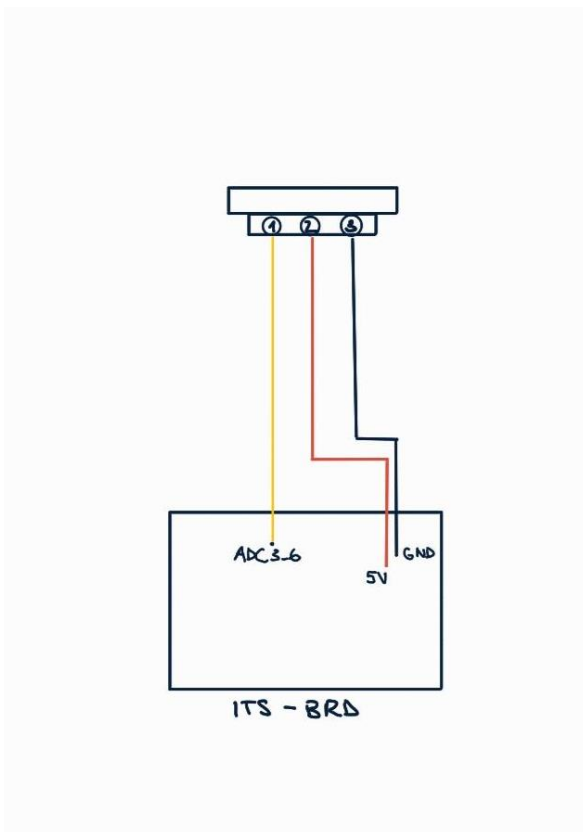


Abb. 2: Schaltbild2\_Blatt1