

Digitales Messen mit dem Raspberry Pi auf Basis von PhyPiDAQ -

Vorschlag eines Einführungskurses,
der zu grundlegendem Verständnis
digitaler Messtechnik und
selbstständigem Arbeiten der Schüler
führen soll

PhyPiDAQ – Digitales Messdatenerfassungssystem für den Physikunterricht auf Basis des Raspberry Pi

Auswahl an Sensoren für verschiedene physikalische Größen

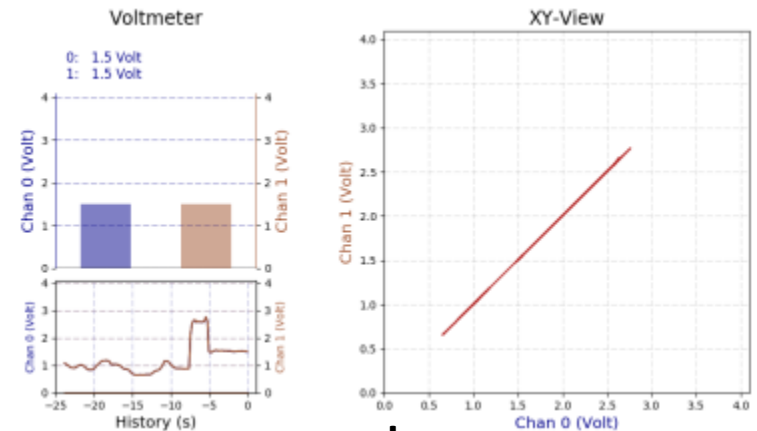
- Distanz
- Beschleunigung
- Temperatur
- Magnetische Flussdichte
- Druck
- Kraft
- Elektrische Stromstärke

(genauere Beschreibung der Sensoren: siehe zweiter Teil der Präsentation)

Die Sensoren müssen zum größeren Teil noch getestet werden!

Speichern der Daten zur Auswertung z.B. mit Excel

Einfach parametrierbare grafische Messdatenanzeige wie z.B.

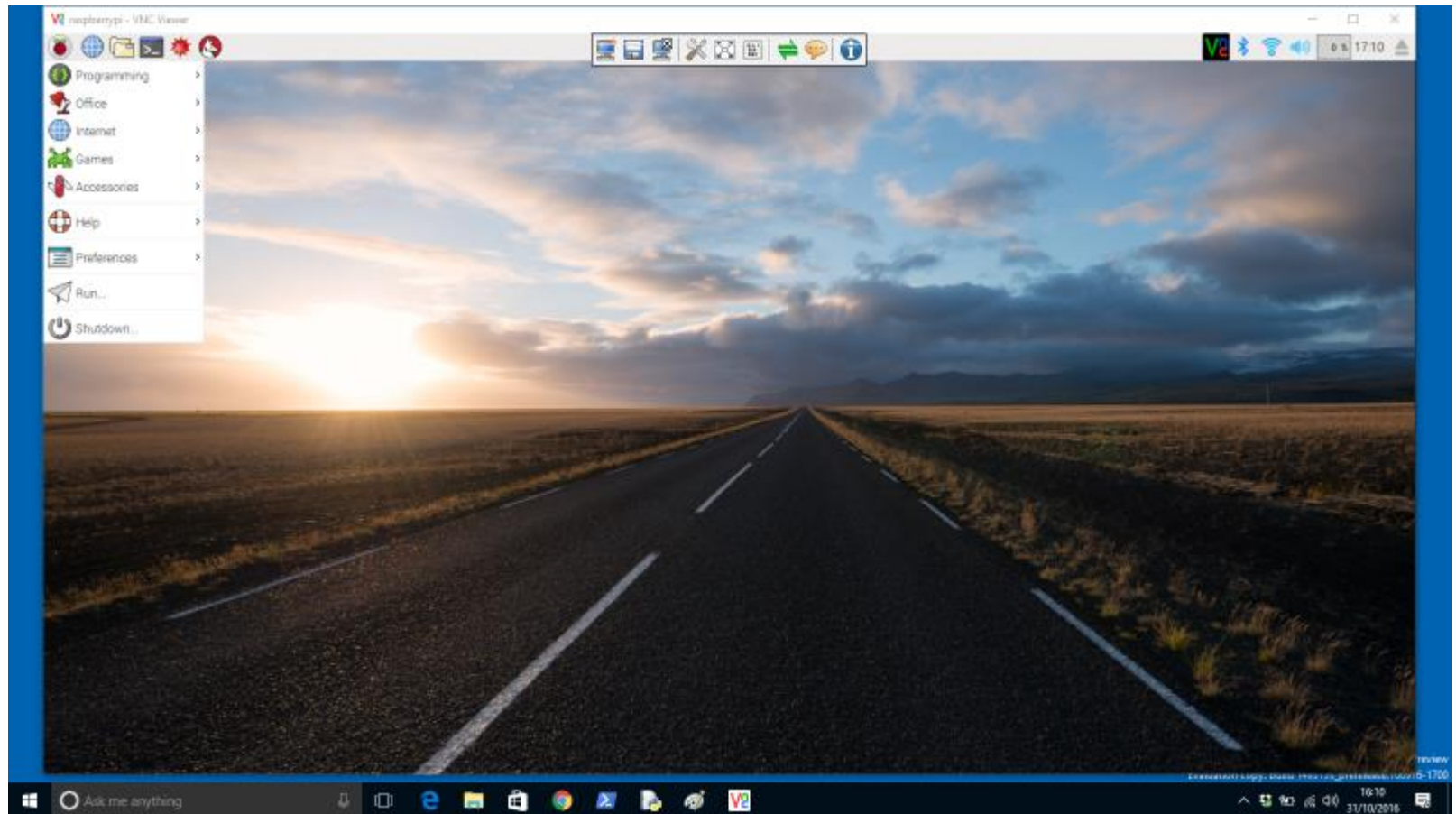


oder



PhyPiDAQ – Digitales Messdatenerfassungssystem für den Physikunterricht auf Basis des Raspberry Pi

Remotezugriff durch einen anderen Computer (Schullaptop) oder Tablet mittels VNC Server und Viewer.



Bildquelle:

<https://www.raspberrypi.org/magpi/vnc-raspberry-pi/>

Möglicher Verlauf des Einführungskurses

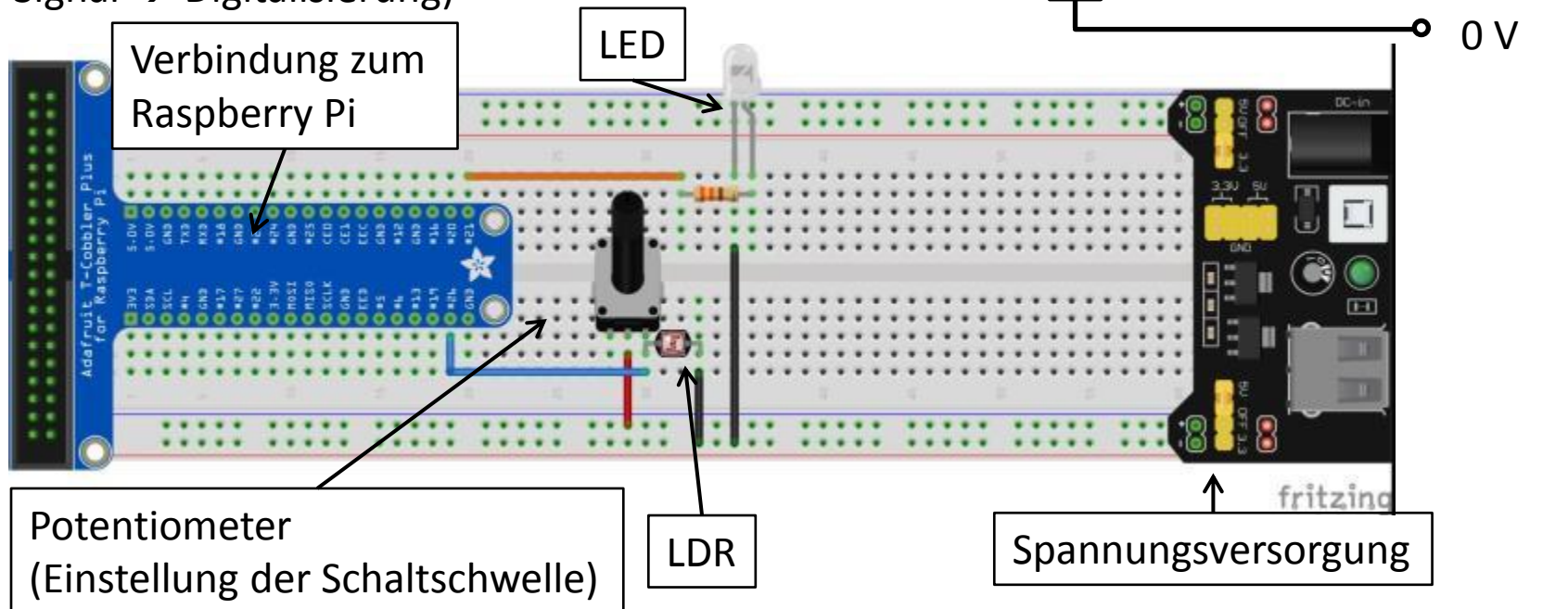
1. Kennenlernen des Raspberry Pi und einfacher Sensoren an den GPIO-Pins (**g**eneral **p**urpose **i**nput/**o**utput)
2. Heranführung an das Thema „Digitales Messen“ in der Physik mit Analog-Digital-Wandlung und Datenlogger, Einführung XY-Plotter
3. Einsatz von PhyPiDAQ mit unterschiedlichen für den Physikunterricht interessanten Sensoren

Auf Folie 14 finden sich zudem erste Projektideen, die aufbauend auf PhyPiDAQ realisiert werden könnten.

1. Kennenlernen des Raspberry Pi und einfacher Sensoren an den GPIO-Pins (**general purpose input/output**) – **Variante LDR**

Motivation: Licht (weiße LED) soll abhängig von der Umgebungshelligkeit an- bzw. ausgehen

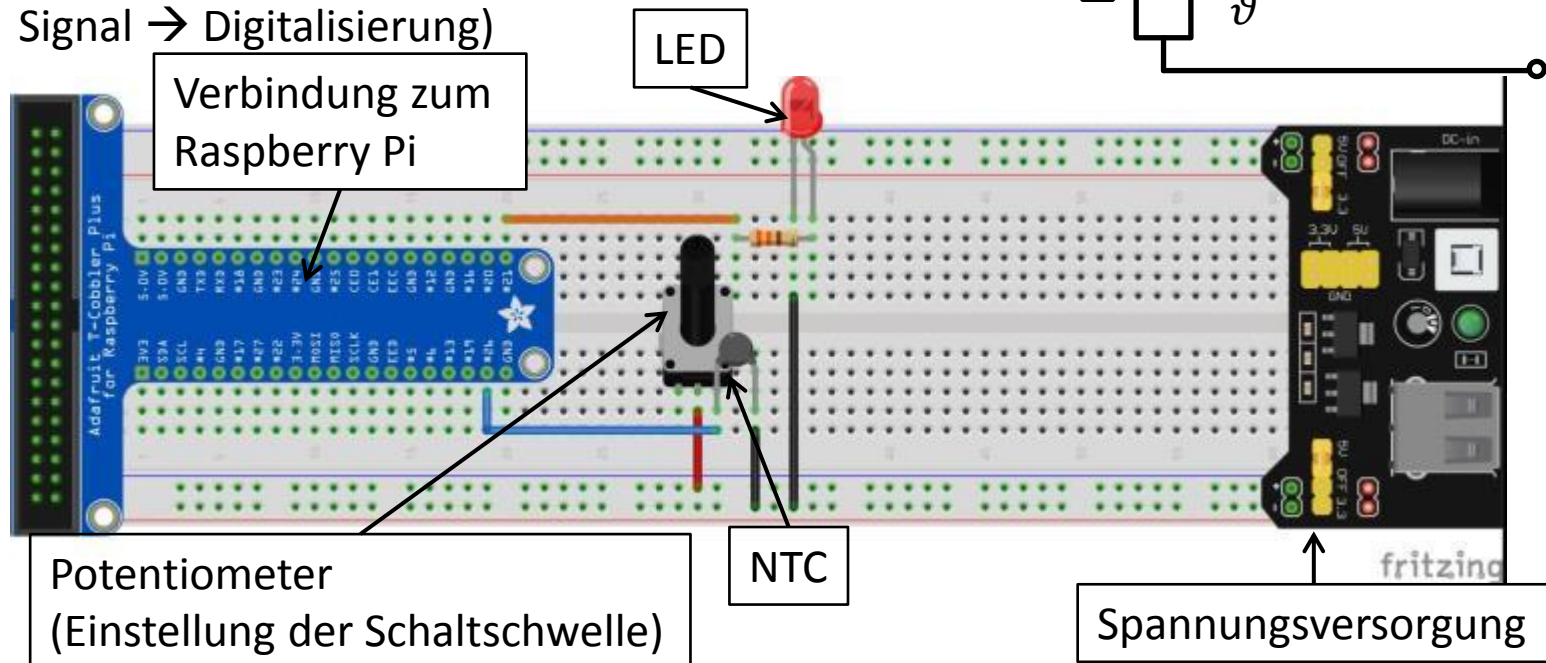
- Schaltschwelle über Poti einstellbar
- Grundprinzip digitalen Messens wird greifbar gemacht (Messgröße → physikalischer Effekt → Wandlung in weiterverarbeitbares elektrisches Signal → Digitalisierung)



1. Kennenlernen des Raspberry Pi und einfache Sensoren an den GPIO-Pins (general purpose input/output) – Variante NTC

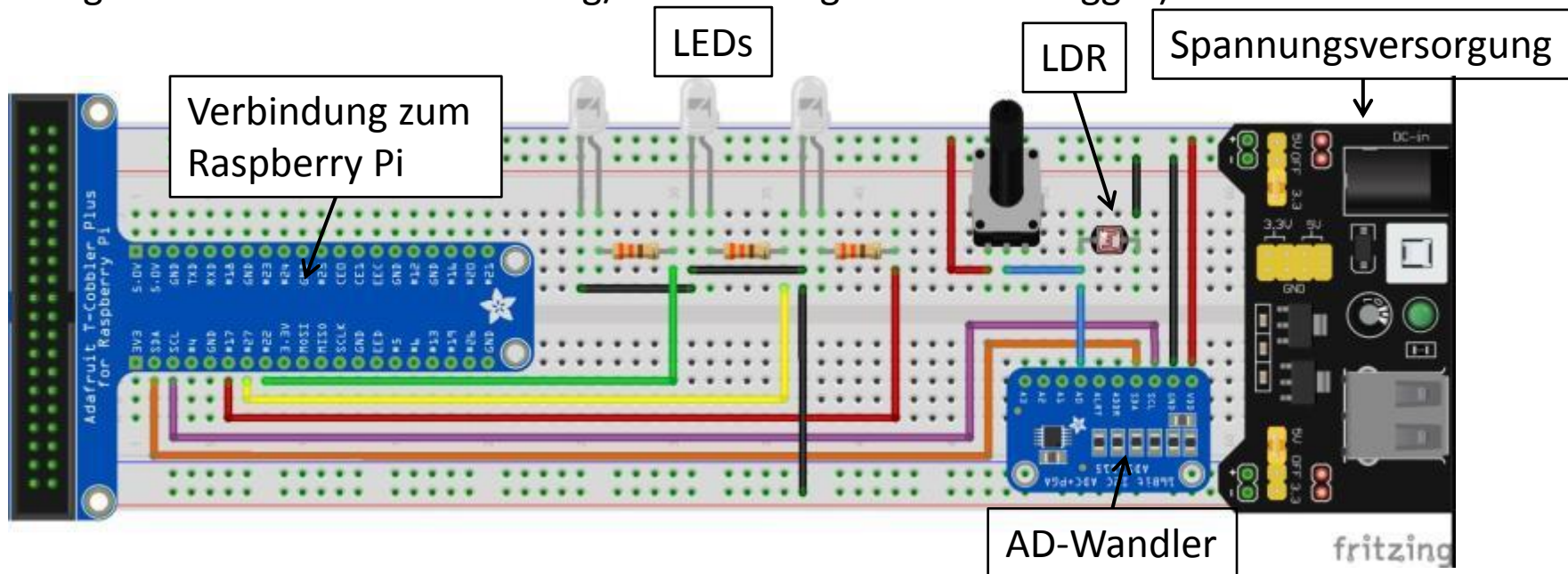
Motivation: Licht (rote LED) soll abhängig von der Umgebungstemperatur an- bzw. ausgehen

- Schaltschwelle über Poti einstellbar
- Grundprinzip digitalen Messens wird greifbar gemacht (Messgröße → physikalischer Effekt → Wandlung in weiterverarbeitbares elektrisches Signal → Digitalisierung)



2. Heranführung an das Thema „Digitales Messen“ in der Physik mit Analog-Digital-Wandlung und Datenlogger - **Variante LDR**

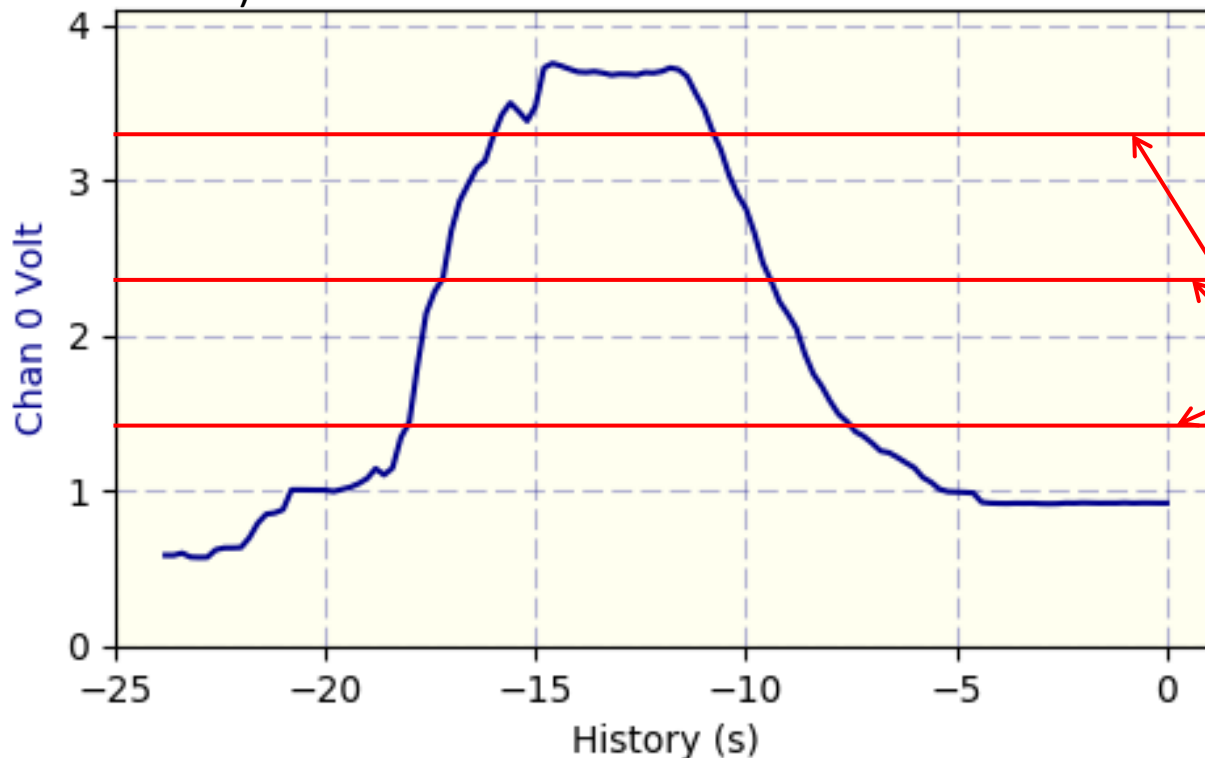
- Beispielhaft: Erweiterung des LDR-Spannungsteilers („Hell-Dunkel-Sensor“) um einen AD-Wandler, sodass helligkeitsabhängig nacheinander weiße LEDs an- bzw. zugeschaltet werden können (Hinführung zur Analog-Digital-Wandlung)
- Heranführung der Schüler an den Einsatz des Raspberry zum Erfassen, Darstellen und Speichern von Messwerten (Messen der Spannung am LDR mittels Analog-Digital-Wandler und Darstellung/ Auswertung durch DataLogger)



2. Heranführung an das Thema „Digitales Messen“ in der Physik mit Analog-Digital-Wandlung und Datenlogger - **Variante LDR**

Aufzeichnung des Spannungsverlaufs am LDR mit dem Datenlogger bei zeitweiser Abdunklung:

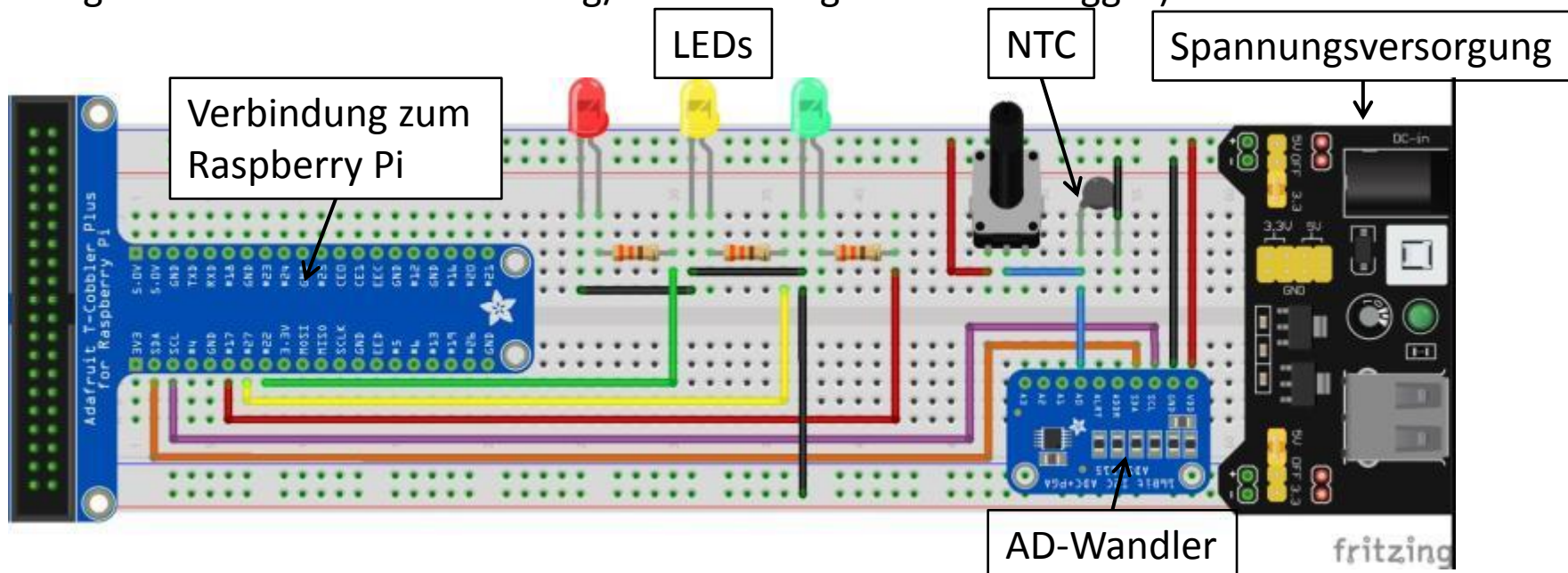
anhand des Diagramms wird ersichtlich, dass sich mithilfe des AD-Wandlers nicht nur zwei Zustände hell und dunkel bzw. 0 und 1, sondern $2^n - 1$ Zustände erfassen lassen (n = Bit-Anzahl)



Beispiel für drei
Schaltschwellen für
die LEDs

2. Heranführung an das Thema „Digitales Messen“ in der Physik mit Analog-Digital-Wandlung und Datenlogger - **Variante NTC**

- Beispielhaft: Erweiterung des NTC-Spannungsteiler („Warm-Kalt-Sensor“) um einen AD-Wandler, sodass temperaturabhängig LEDs (rot, gelb, grün) angeschaltet werden können (Hinführung zur Analog-Digital-Wandlung)
- Heranführung der Schüler an den Einsatz des Raspberry zum Erfassen, Darstellen und Speichern von Messwerten (Messen der Spannung am LDR mittels Analog-Digital-Wandler und Darstellung/ Auswertung durch DataLogger)



Im Grunde gleiches Vorgehen wie beim Einsatz eines LDR.

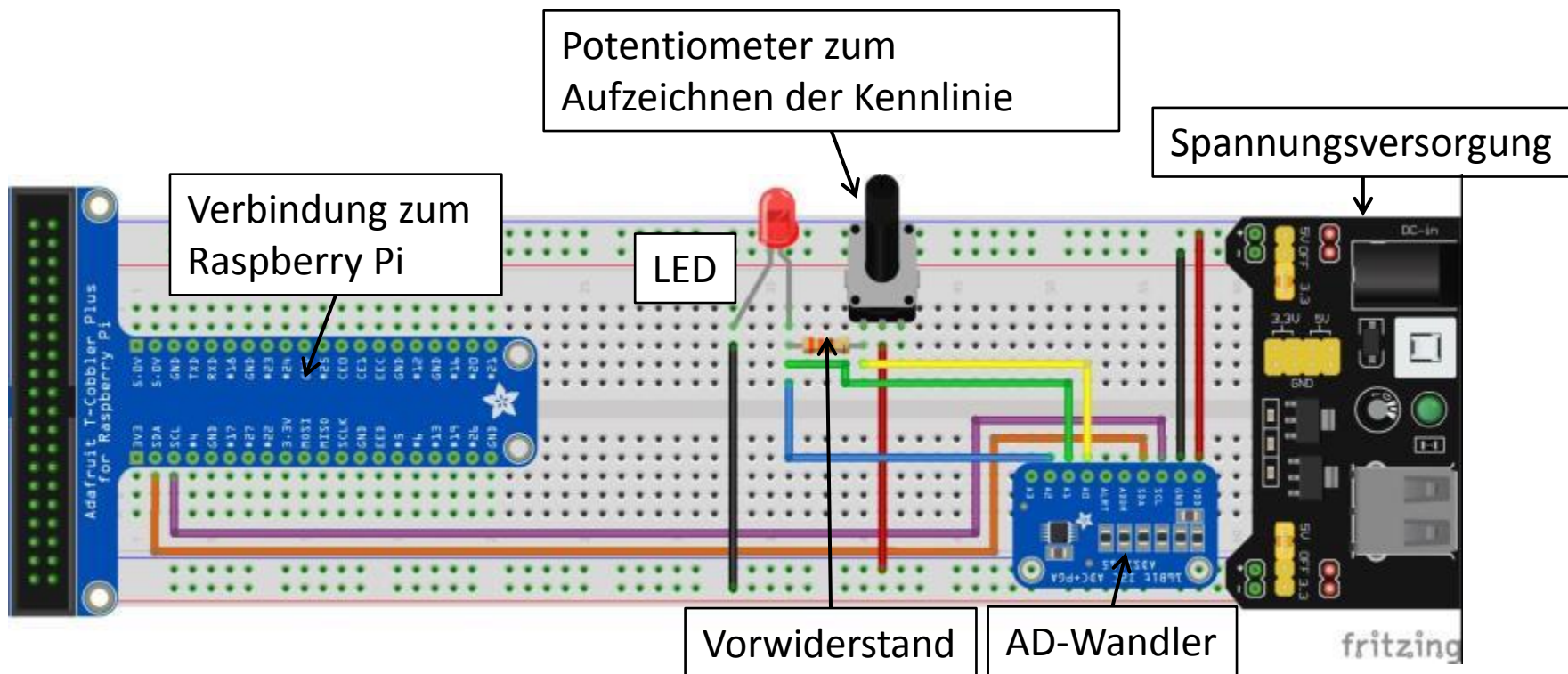
2. Heranführung an das Thema „Digitales Messen“ in der Physik mit Analog-Digital-Wandlung und Datenlogger – **Kalibrierung Variante NTC**

- Sensor mit LDR lässt sich mit einfachen Mitteln nicht kalibrieren
- Kalibrierung erfolgt deshalb am Beispiel des NTC
- Aufnahme von Stützstellen einer Kalibrierungskurve, Verwendung eines gekapselten NTC-Fühlers (Einsatz im Wasser)
- Kalibrierung auf Grundlage der Stützstellen und Interpolation

Resultat: einfacher Temperatursensor

2. Einführung des XY-Plotters

Übergang zu kalibrierten physikalischen Sensoren und Kennlernen des XY-Plotters (Darstellung des XY-Plotters: siehe Folie 2): Aufnahme von Kennlinien verschiedener LEDs durch Messen des Stroms über den Spannungsfall am Vorwiderstand und gleichzeitiges Messen des Spannungsfalls an der LED



3. Einsatz von PhyPiDAQ mit unterschiedlichen für den Physikunterricht interessanten Sensoren

Beispiel: analoger Beschleunigungssensor ADXL335

- Kalibrierung des Sensors mithilfe der Gravitationsfeldstärke
- Interessante Messaufgabe aus der Physik durch Verwendung des Sensors und PhyPiDAQ realisieren: z.B. Beschleunigung während einer Aufzugsfahrt aufzeichnen
- Aus den gewonnenen Daten die Aufzugsfahrt rekonstruieren:
 - zurückgelegte Strecke bestimmen
 - Abstand der Geschosse
 - Geschwindigkeit nach der Beschleunigungsphase
 - ...

Beispiel: analoger Distanzsensor Sharp 2Y0A02 F 79

- Kalibrierung des Sensors mithilfe definierter Abstandmessungen
- Aufzeichnen und Auswerten einer gedämpften Schwingung eines Federpendels

3. Einsatz von PhyPiDAQ mit unterschiedlichen für den Physikunterricht interessanten Sensoren

Digitale Sensoren → Schüler lernen Sensoren kennen, bei denen die Digitalisierung bereits auf dem Chip erfolgt

Beispiel: digitaler Luftdrucksensor BMP280

- Kalibrierung z.B. auf Höhe Karlsruhe
- Bestimmung der Höhe eines hohen Gebäudes über die barometrische Höhenformel

Beispiel: digitaler Kraftsensor (Wägezelle und H711)

- Kalibrierung mit bekannten Massen
- Messung der Kraft im Aufhängepunkt eines Federpendels und Berechnung der Beschleunigung

...

Erste Projektideen, die aufbauend auf PhyPiDAQ realisiert werden könnten

EKG-Sensor AD8232

- EKG aufzeichnen
- EMG: Reaktionen des Raspberry auf Muskelbewegungen (z.B. bei Schließen der Hand → Ausschalten einer Lampe)

Oximeter und Pulssensor MAX30102

- Bestimmung des Blutsauerstoffgehalts
- Bestimmung des Pulses

...

Mögliche Komponenten des „Digitalen Messkoffers“ (PhyPiDAQ)

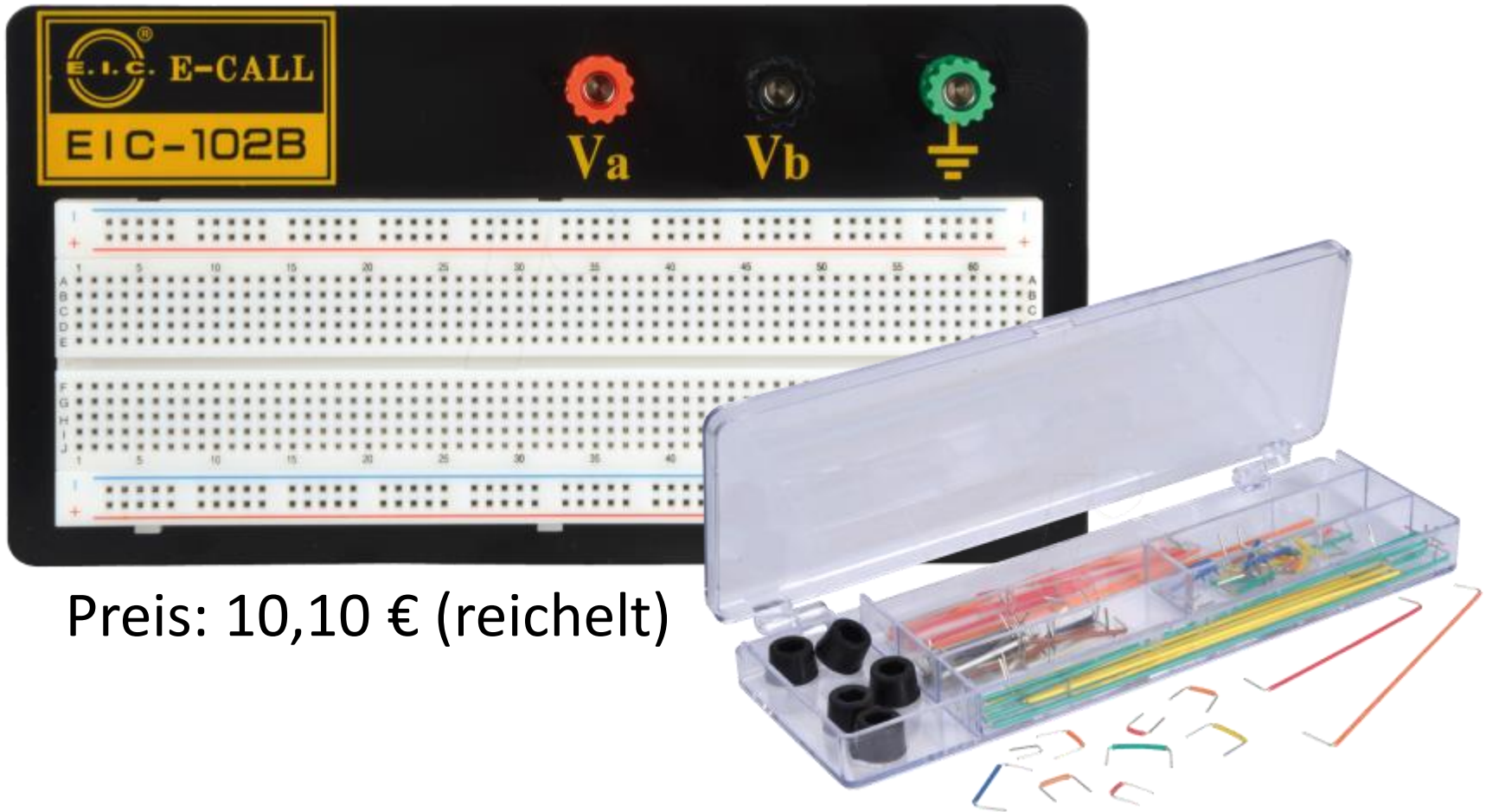
Raspberry Pi 3B+



Preis: 35,90 € (reicht)

Gehäuse muss noch
ausgewählt werden (ca. 10 €)

Breadboard

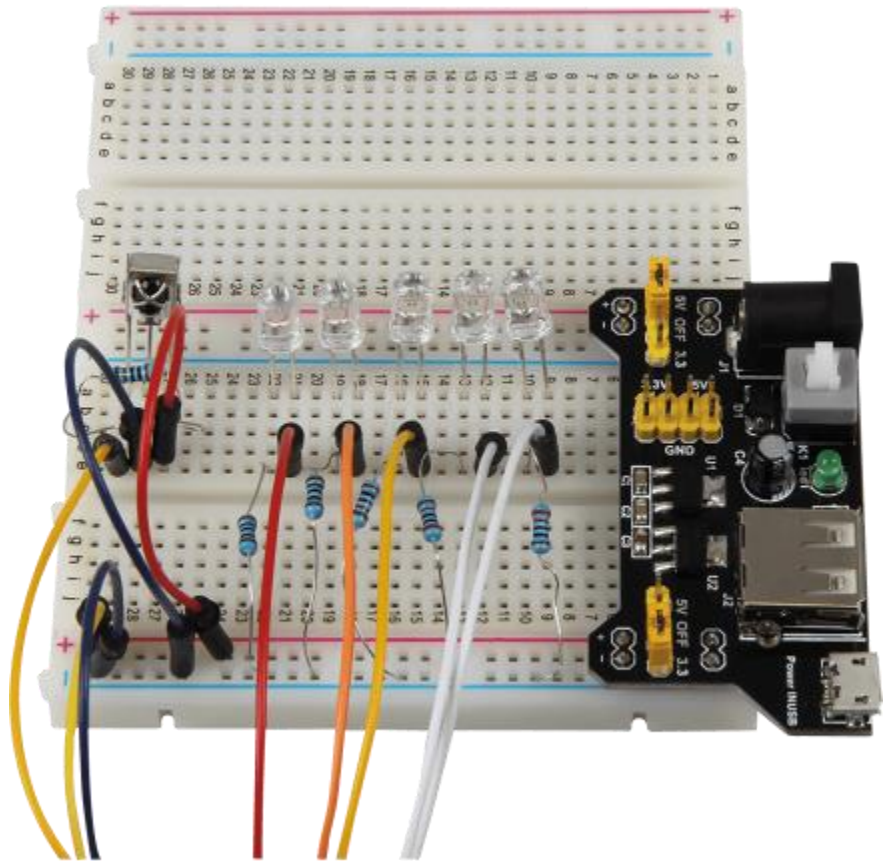


Preis: 10,10 € (reicht)

Spannungsversorgung

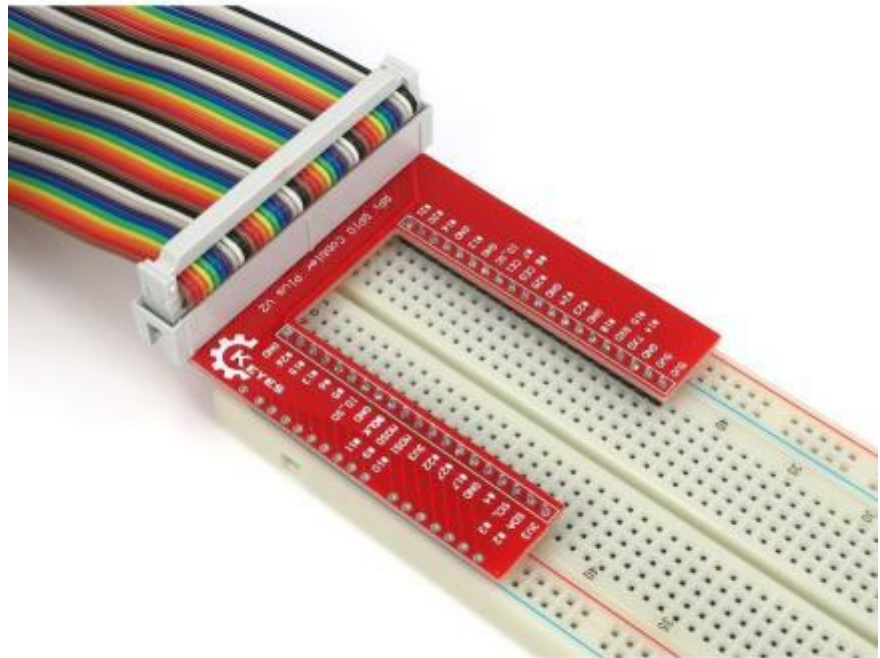


Preis: 11,50 € (reichelt)



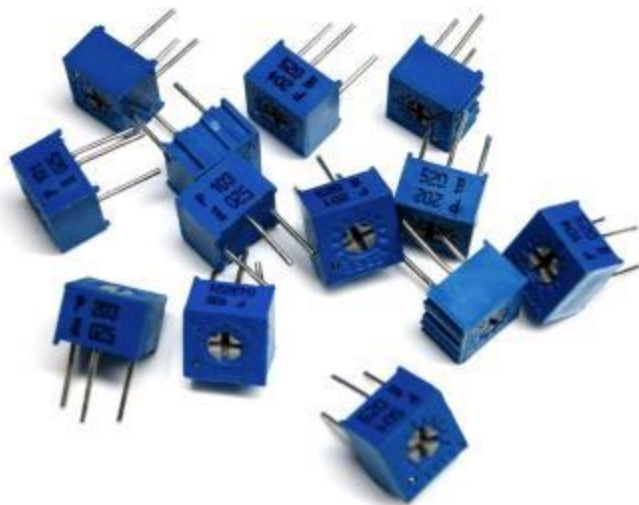
Preis: 4,90 € (reichelt)

GPIO Adapter



Preis: 7,95 € (Eckstein)

Widerstandssortiment



1,92 € (Eckstein)

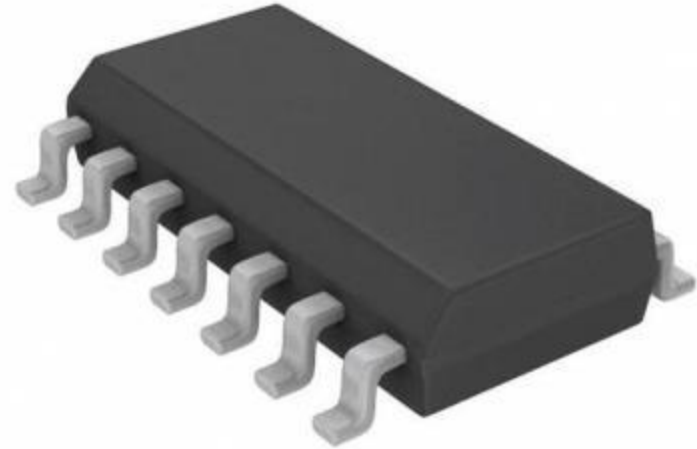
13 Stück: 100 – 1 MΩ

12,43 € (conrad)

Präziser OP AD8630



soic-to-dip Adapter
Preis: 3,95 € (Eckstein)

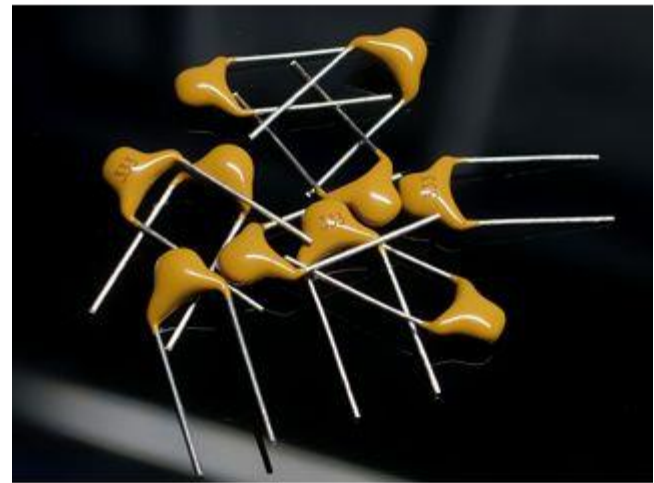


Preis: 9,74 € (conrad)
4 OPs in einem Chip
rail-to-rail
Offsetvoltage 1 μV
Drift 0,002 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$

Kondensatoren



Preis (120 Stück)
0,22 μ F – 470 μ F:
1,95 € (Eckstein)



Preis 180 Stück) 20pF – 1 μ F:
2,77 € (Eckstein)

LDR



Preis (50 Stück): 3,95 € (Eckstein)

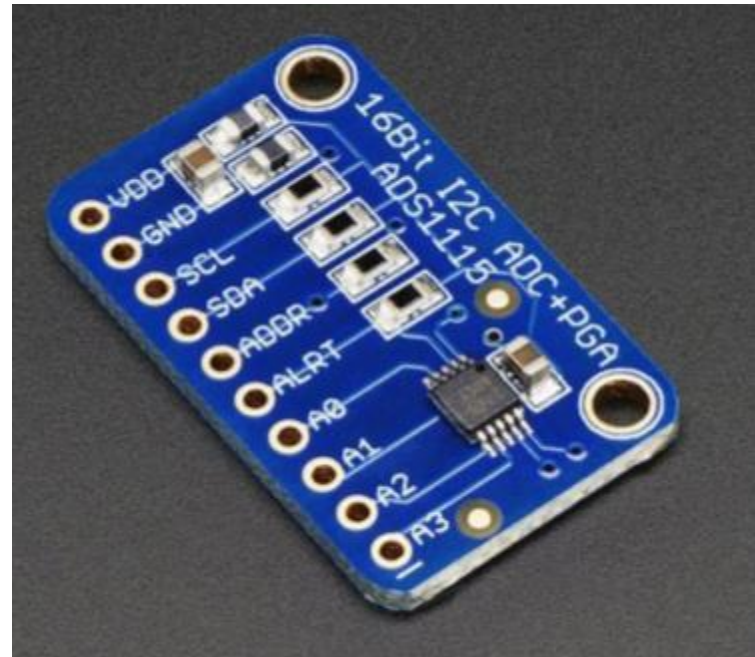
NTC



Falls Kalibrierung in Wasser erfolgt:
Preis: 3,49 € (Conrad)

AD-Wandler ADS1115

Auflösung: 16 bit
Sampling Rate: 860 samples/sec
4 Kanäle (single ended)
2 Kanäle (differential)
Programmierbarer Eingangsverstärker
Interne Referenzspannung
Schnittstelle: I2C
Preis: 10,99 € (conrad)



Bildquelle: <https://eckstein-shop.de/Adafruit-ADS1115-16-Bit-ADC-4-Channel-with-Programmable-Gain-Amplifier>
https://www.conrad.de/de/raspberry-pi-erweiterungs-platine-ky053adc-raspberry-pi-a-b-b-raspberry-pi-a-raspberry-pi-b-1656368.html?WT.mc_id=google_pla&WT.srch=1&ef_id=WpxVWQAAAd5REI2q:20180628153235:s&gclid=EAlaIqobChMItJnPgtf22wIVB4myCh1Z8AJWEAYYA_iABEgKhxPD_BwE&hk=SEM&insert_kz=VQ&s_kwcid=AL!222!3!254339639453!!!g!!

Distanzsensoren

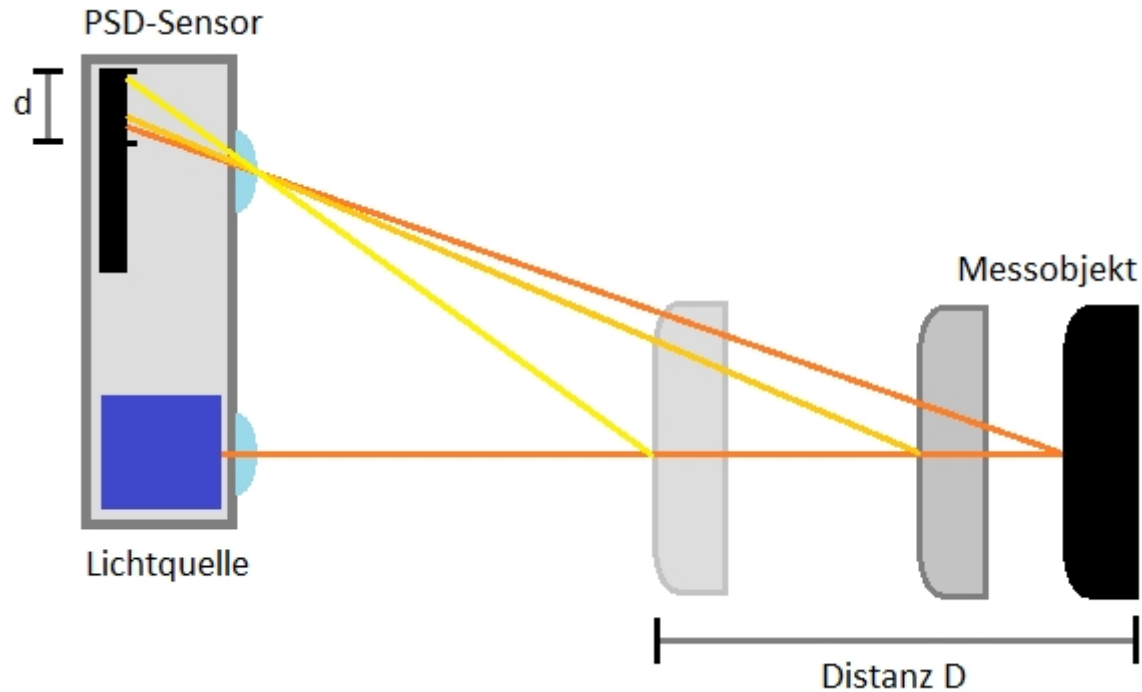
Sharp 2Y0A02 F 79



- Infrarot Distanzsensor (13,95€ Eckstein)
- Messprinzip Triangulation mit Position- Sensitive- Device (PSD) (großflächige Photodiode)
- Messbereich 20 – 150 cm (gibt es auch mit kleinerem Messbereich)
- Analoge Ausgangsspannung
- Nichtlinearer Zusammenhang zwischen Ausgangsspannung und gemessener Entfernung
- Dauer einer Messung $38.3 \text{ ms} \pm 9.6 \text{ ms}$

Distanzsensoren

Sharp 2Y0A02 F 79

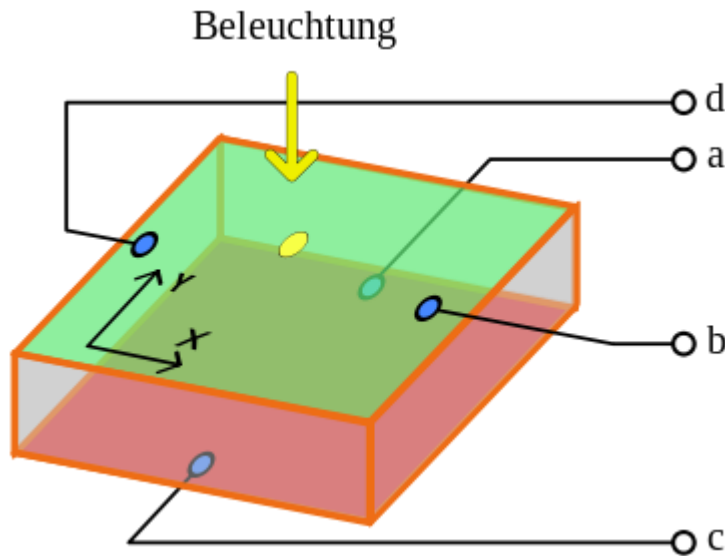


Messprinzip: Triangulation

Bildquelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Position_Sensitive_Device#/media/File:Position_Sensitive_Device_DE.svg

Distanzsensoren

Sharp 2Y0A02 F 79



Position Sensitive Device

Bildquelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Position_Sensitive_Device#/media/File:Position_Sensitive_Device_DE.svg

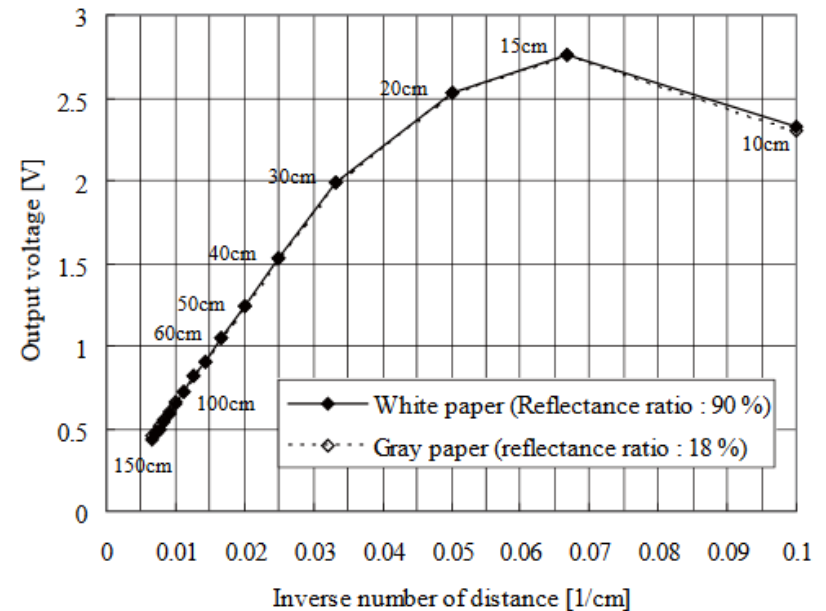
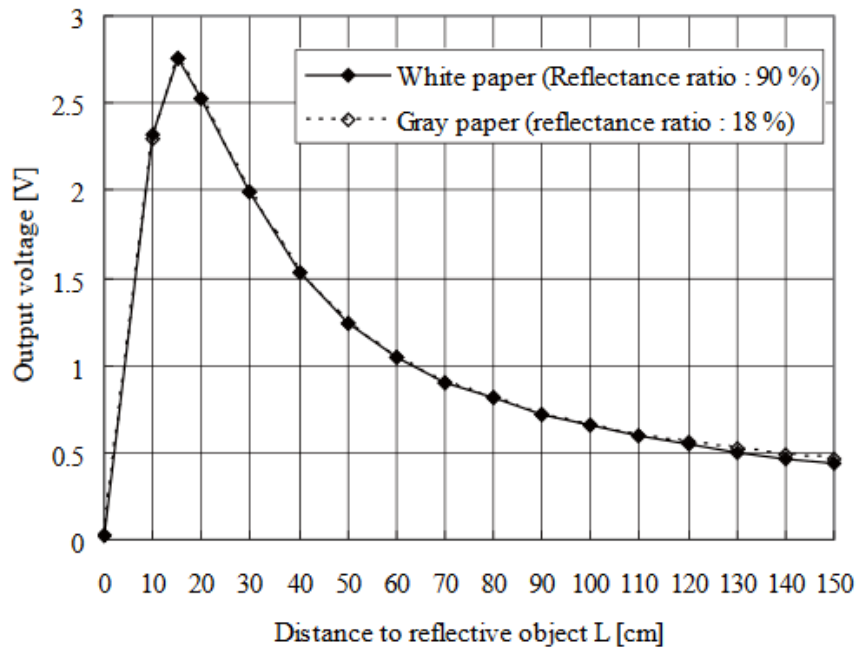
- Diode punktförmig belichtet
- Photostrom im Bereich der Belichtung
- Je nach Position fließt je nach Position in bestimmtem Verhältnis über die Kontaktierungen an den Rändern ab
- Aus den Strömen wird der Ort der Belichtung bestimmt

$$x = k_x \cdot \frac{I_b - I_d}{I_b + I_d}$$

$$y = k_y \cdot \frac{I_a - I_c}{I_a + I_c}$$

Distanzsensoren

Sharp 2Y0A02 F 79



Geringe Abhängigkeit vom Reflexionsgrad des Messobjekt

Distanzsensoren

VL53L0X

- Time-of-Flight Laser Distanzsensor
- 940 nm Klasse 1 Laser
- 17,78€ bzw. 9,95€



Table 11. Max ranging capabilities with 33ms timing budget

Target reflectance level (Full FOV)	Conditions	Indoor (2)	Outdoor overcast (2)
White Target (88%)	Typical	200cm+ (1)	80cm
	Minimum	120cm	60cm
Grey Target (17%)	Typical	80cm	50cm
	Minimum	70cm	40cm

Note (1): using long range API profile

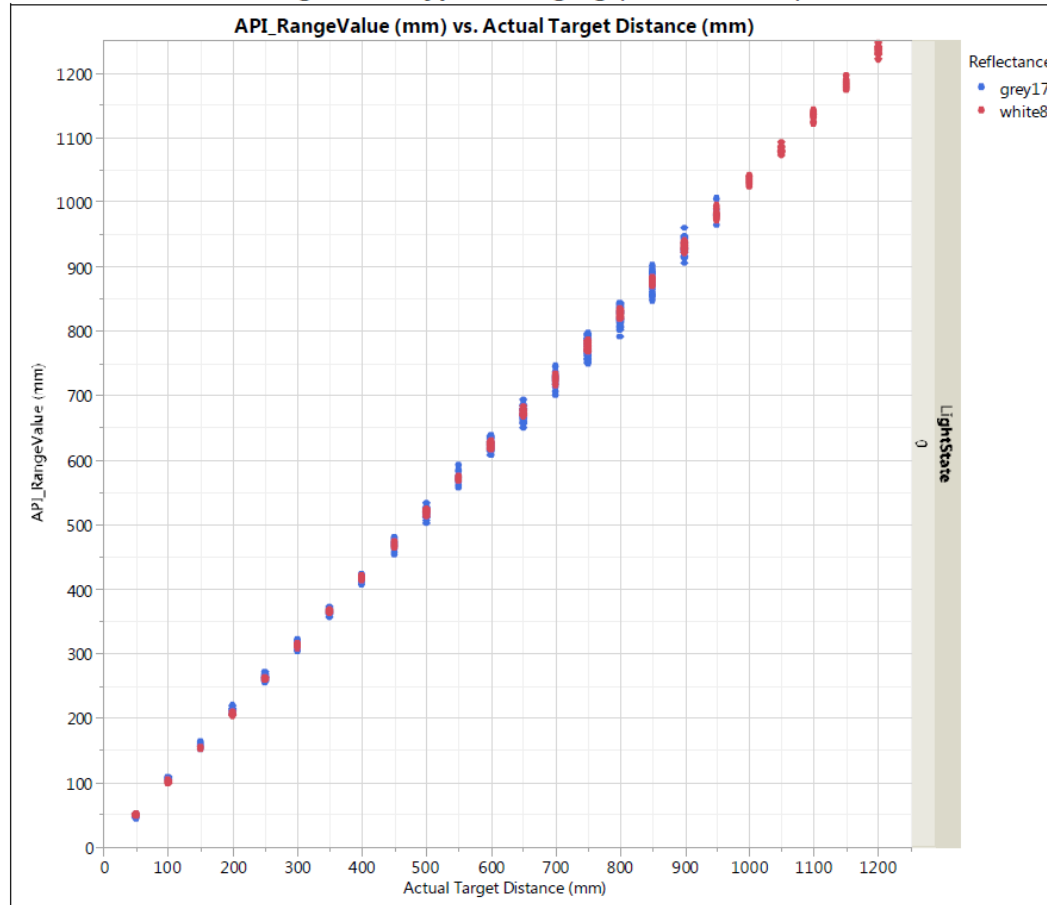
Quelle: Datenblatt VL53L0X

Bildquelle: <https://eckstein-shop.de/Adafruit-VL53L0X-Time-of-Flight-Distance-Sensor-30-to-1000mm>

Distanzsensoren

VL53L0X

Figure 20. Typical ranging (default mode)



Distanzsensoren

Ultraschallsensor HC-SR04

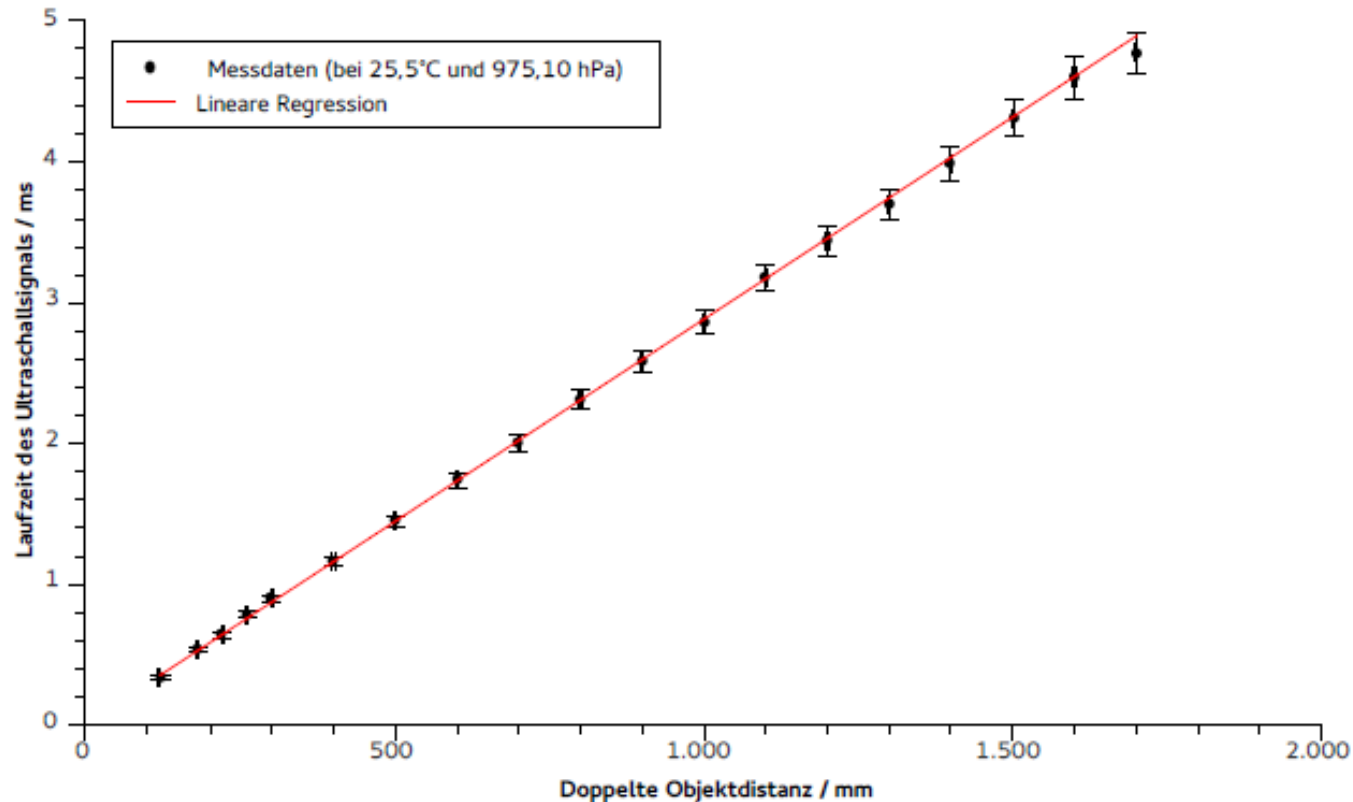
- Laufzeitmessung und Bestimmung des Abstands über die Schallgeschwindigkeit (2,95 €)
- Temperaturabhängig
- Bestimmung der Schallgeschwindigkeit möglich
- maximal 50 Messungen pro Sekunde
- Großer Messbereich



Bildquelle: <https://eckstein-shop.de/HC-SR04-Abstandsmessung-Ultraschall-Ultrasonic-Sensor-Module>

Distanzsensoren

Ultraschallsensor HC-SR04



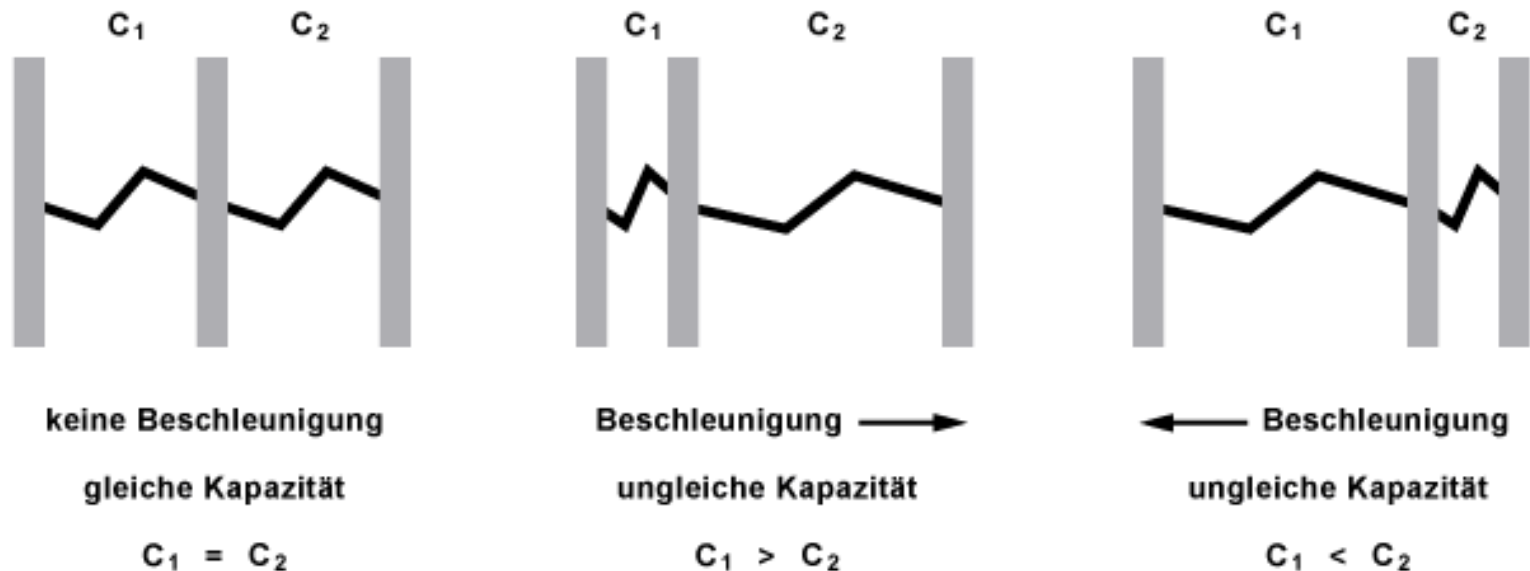
Beispiel: Bestimmung der Schallgeschwindigkeit

Beschleunigungssensoren

MMA8451



- Digitaler Beschleunigungssensor (14 bit ADC)
- Messbereich von +-2g bis +- 8g einstellbar
- Funktionsprinzip: Feder-Masse-System, Kapazitätsänderung wird ausgewertet
- Preis: 9,46 € (Eckstein)

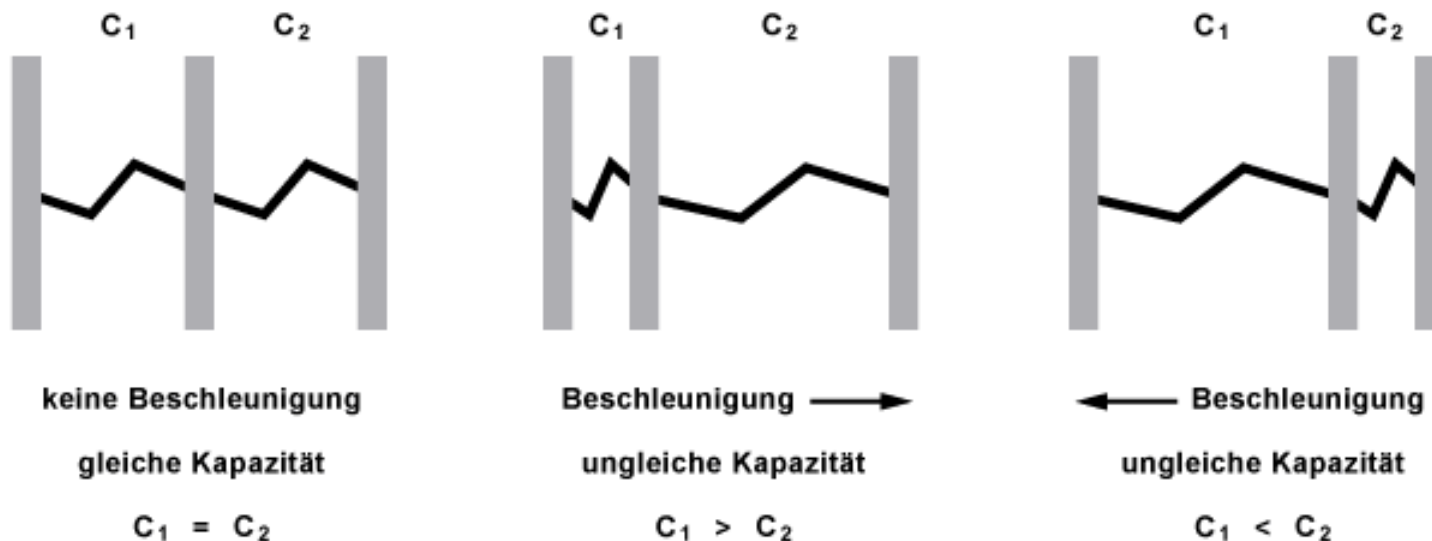


Beschleunigungssensoren

ADXL335



- analoger Beschleunigungssensor
- Messbereich: -3g bis +3g
- Funktionsprinzip: Feder-Masse-System, Kapazitätsänderung wird ausgewertet
- Preis: 5,95 € (Eckstein)

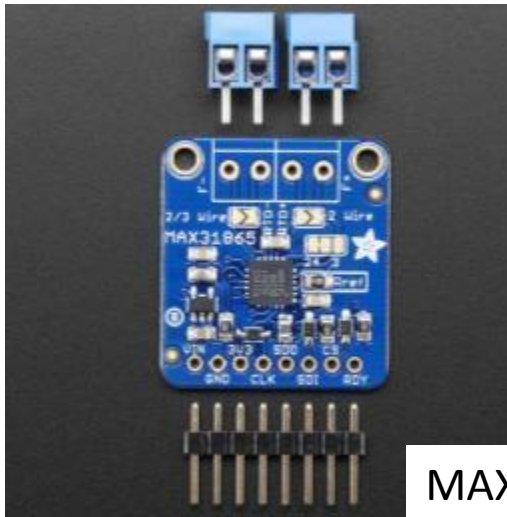


Temperatursensoren

PT100 (conrad 16,95€)

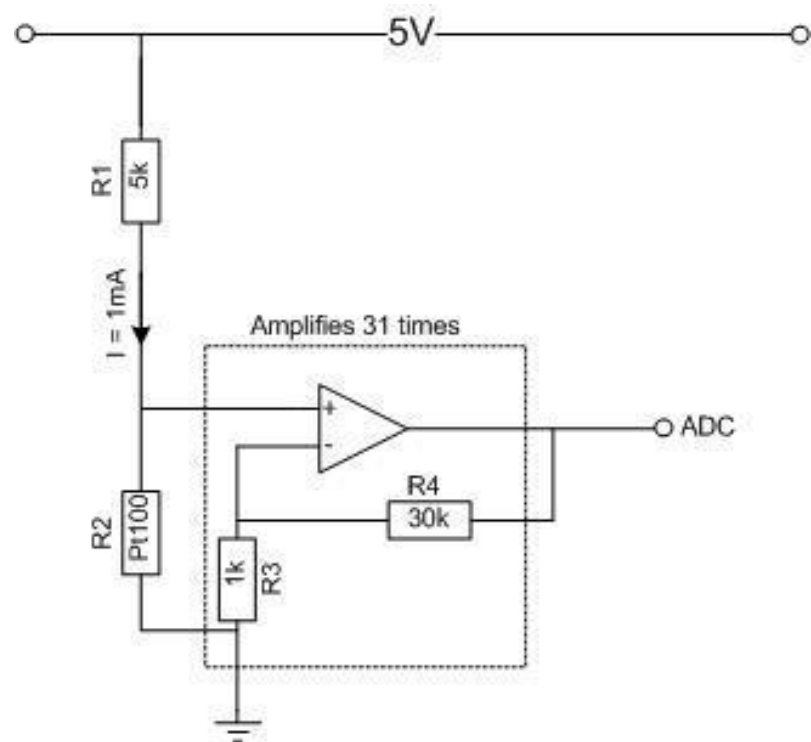


conrad 16,95€



MAX31865

Eckstein 17,79€



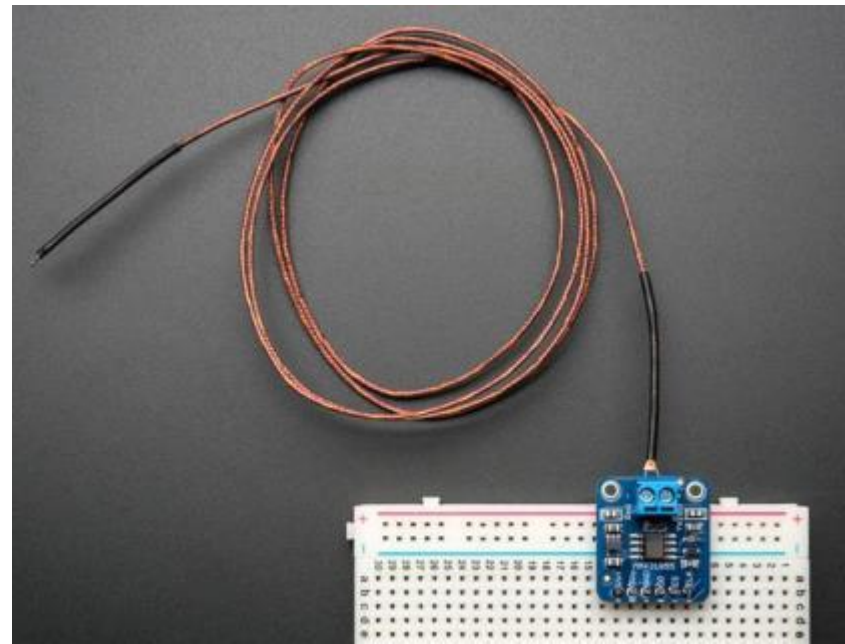
Temperatursensoren

Thermoelement BB ML NL50 3,0



Temperaturbereich: -200 – 1100 °C
Material: NiCr-Ni
reichelt 23,05€

Entweder Verstärkerschaltung mit OP oder
Verstärker für Thermoelemente Typ K
MAX31855 (Eckstein 17,79€)



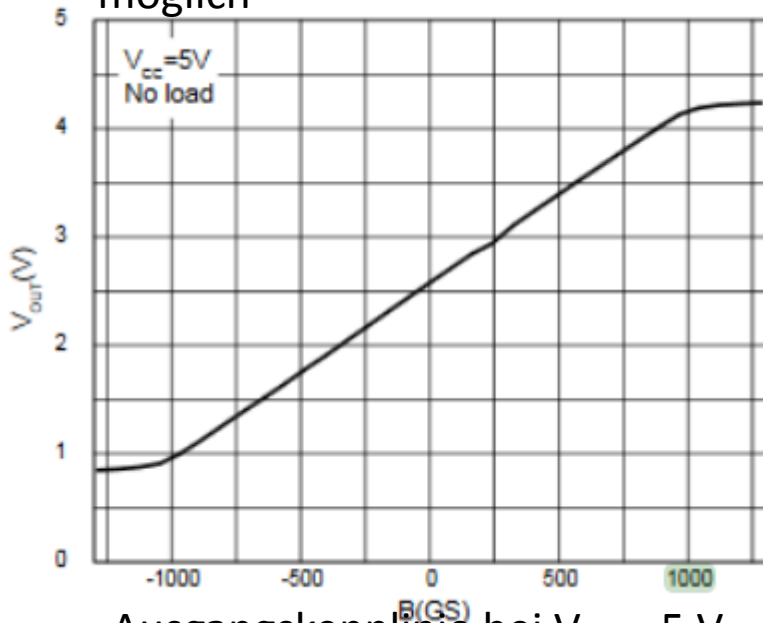
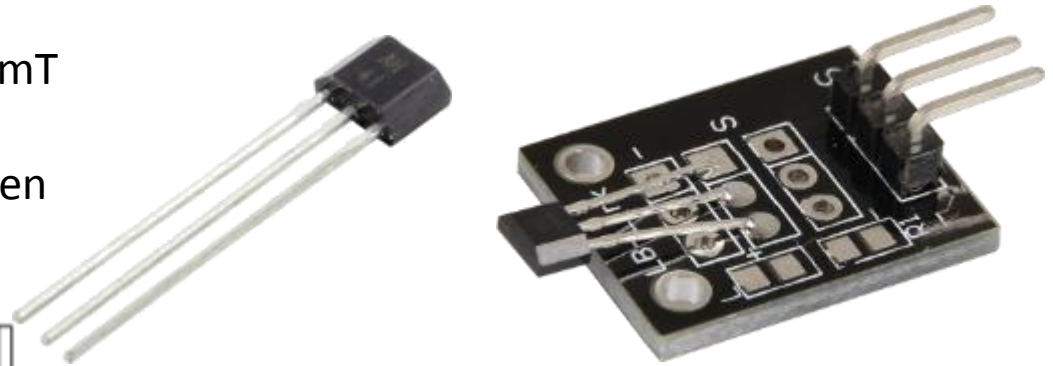
magnetische Flussdichte

Hallsensor AH49E

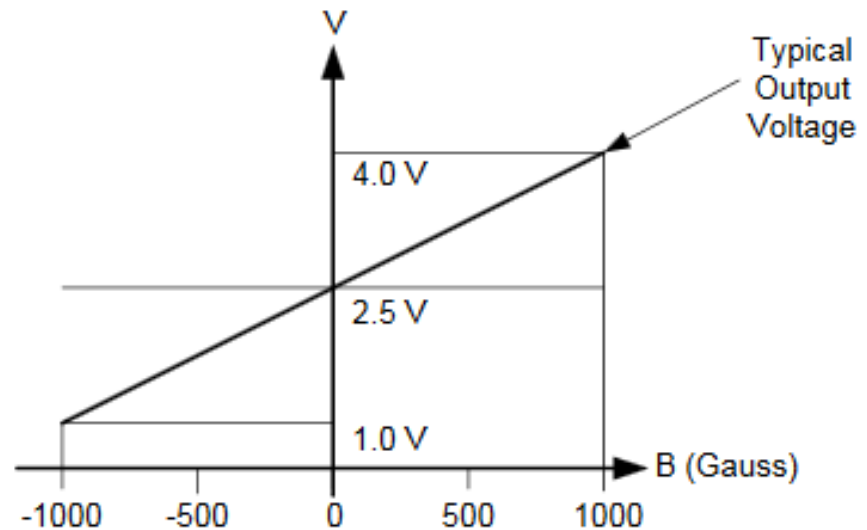
Messbereich: -100 mT – bis +100 mT

Preis: Conrad einzeln 0,83€

Für kleine magnetische Flussdichten
auch 3-Achs-Sensor HMC5883L
möglich



Ausgangskennlinie bei $V_{cc} = 5\text{ V}$



Bildquelle: <https://www.diodes.com/assets/Datasheets/AH49E.pdf>

<https://www.conrad.de/de/hallsensor-ah49eua-45-6-vdc-messbereich-00125-00205-t-to-92-loeten-1424991.html>

<http://sensorkit.joy-it.net/images/7/71/KY-0035.png>

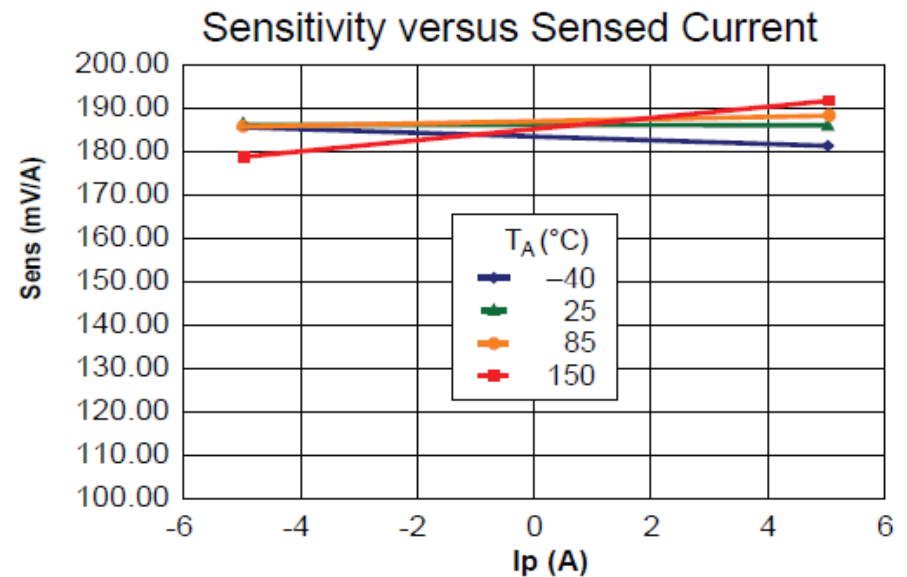
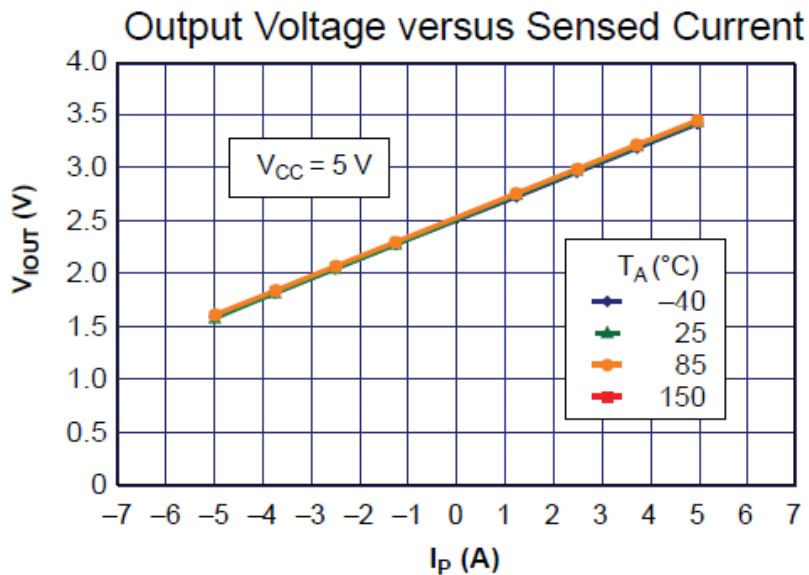
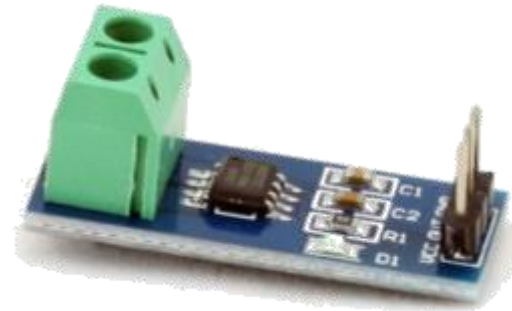
Elektrische Stromstärke

Hall-Effekt Stromsensor ACS712

Messbereich: -5 A bis +5 A (AC/DC)

Analogausgang

Preis: 3,09€ (Eckstein)



Bildquelle: Datenblatt ACS712

<https://eckstein-shop.de/5A-Stromsensor-ACS712-5-Current-Sensor-mit-Analogausgang>

Drucksensoren

Differenzdrucksensor MPX 4250DP

Messbereich: 0 kPa bis 200 kPa

Messprinzip: piezoresistiver Drucksensor

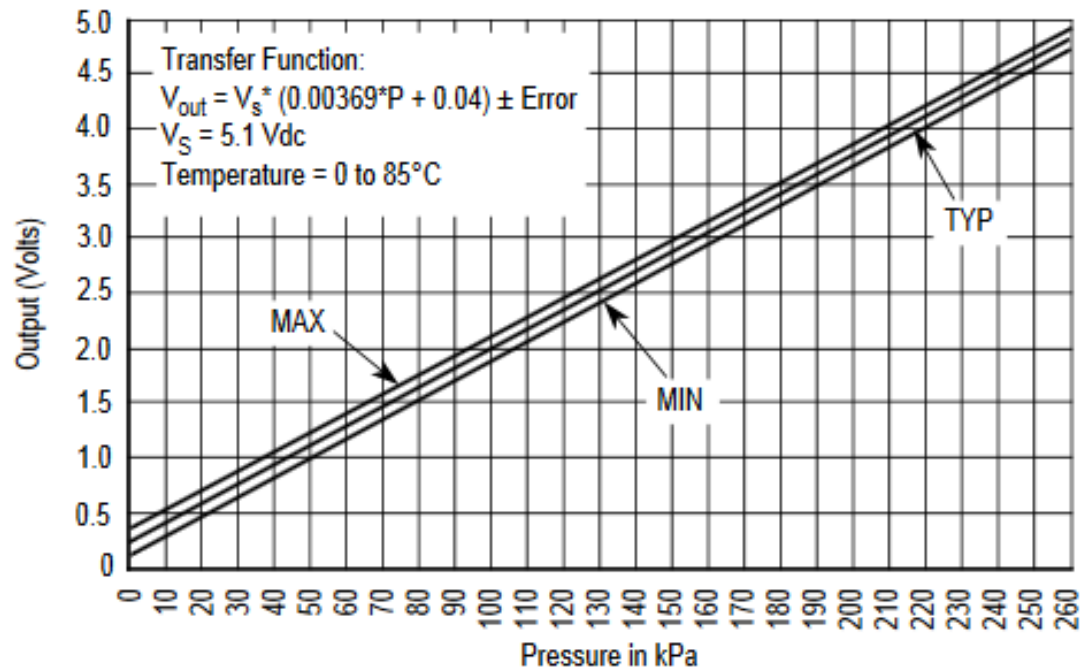
Analogausgang: 0 – 4,7 V

Empfindlichkeit: 18,8 mV/kPa

Preis: 18,50€ (reichelt)



Je nach Modell verschiedene Messbereiche möglich!



Drucksensoren

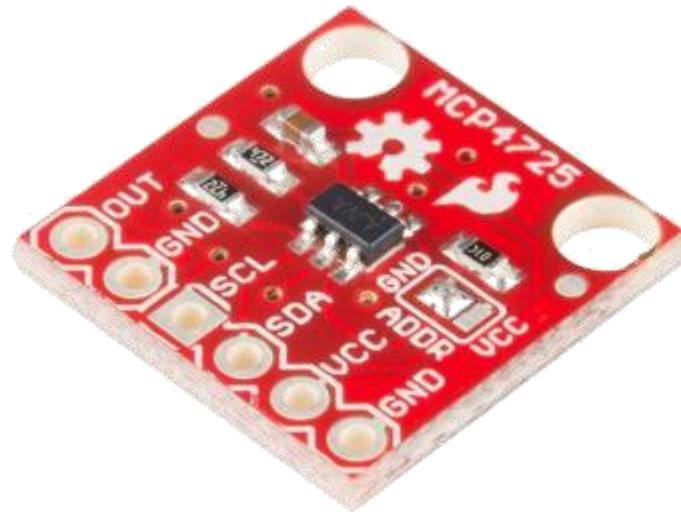
Luftdrucksensor BMP280

Druckbereich: 300 -1100 hPa
Betriebsspannung: 1,71V - 3,6 V
Genauigkeit: 1 hPa
Auflösung: 0.16 Pa
Digitaler Ausgang (I2C, SPI)
Temperaturmessung
Preis: 11,84€ (Eckstein)
Günstigere aber ungenauere
Alternative Vorgänger BMP180



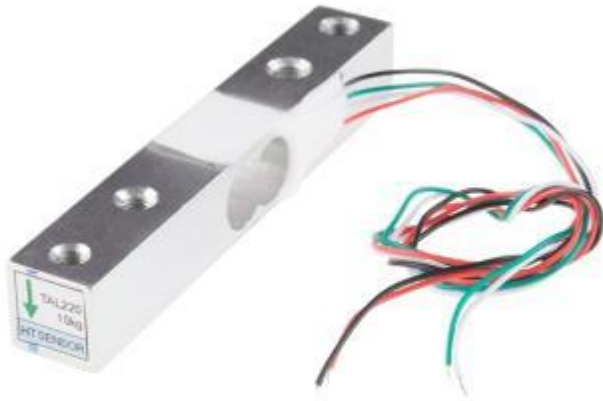
DA-Wandler MCP4725

Auflösung: 12 bit
Setting Time: 6 μ s
Schnittstelle: I2C
Preis: 4,95 € (Eckstein)



Bildquelle: https://eckstein-shop.de/SparkFun-I2C-DAC-Breakout-MCP4725?curr=EUR&gclid=EAlaIQobChMI2Z2gzNT22wIVxU0YCh0ArQxtEAQYAyABEgJxX_D_BwE

Kraftsensor



Wägezelle 10 kg
Preis: 7,50 € (expotech)



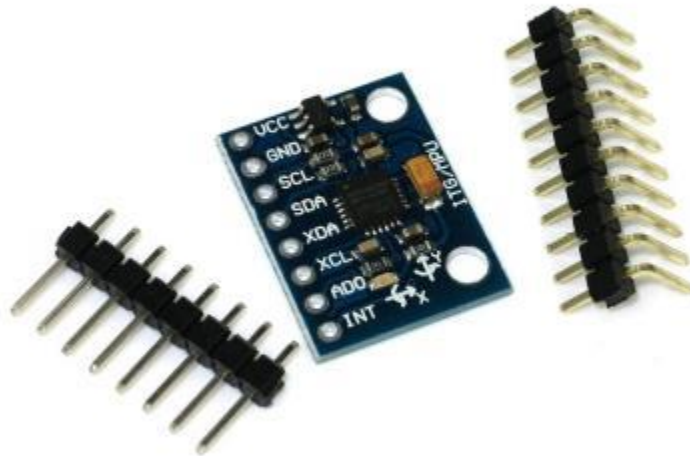
HX711
Preis: 9,95 € (Eckstein)
(oder diskret aufbauen mit
Instrumentenverstärker)

Bildquelle:

<https://www.exp-tech.de/sensoren/druck/7547/load-cell-10kg-straight-bar-tal220>

<https://eckstein-shop.de/SparkFun-Load-Cell-Amplifier-HX711-for-Weight-Measurements>

Neigungssensor GY-521



Preis: 7,84 € (Eckstein)

Bildquelle:

<https://eckstein-shop.de/GY-521-Gyroskop-Accelerometer-6DOF-3-Achsen-IMU-Modul-MPU-6050-fuer-Arduino-Raspberry-Pi>

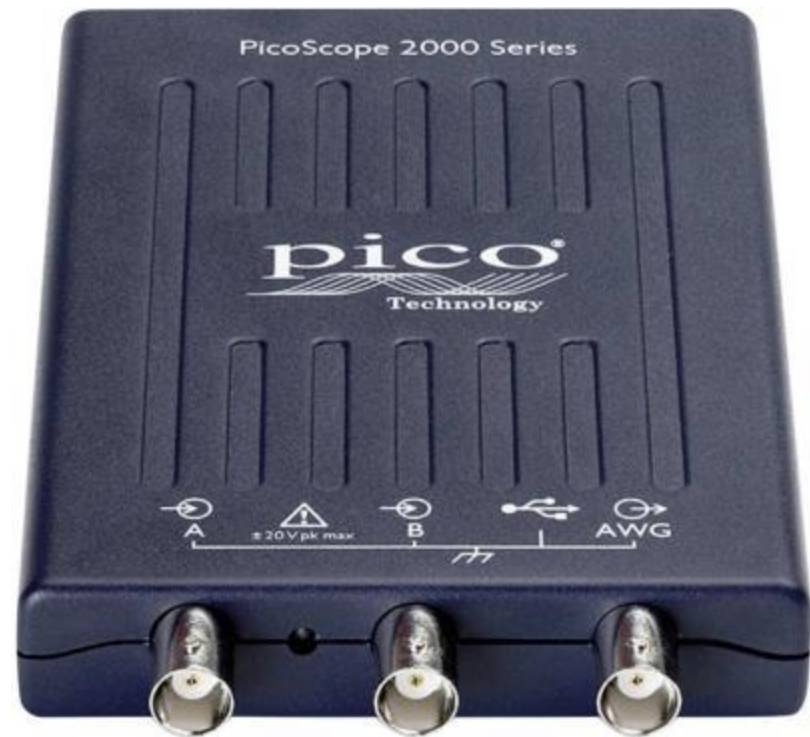
Pico 2204A USB-Oszilloskop 10MHz

Auflösung: 8 bit

Kanäle: 2

Abtastrate: 50 Msa/s

Preis: 133,70 € (reichelt)



Bildquelle: https://www.voelkner.de/products/550900/Pico-2204A-USB-Oszilloskop-10MHz-2-Kanal-50-MSa-s-8-kpts-8-Bit-Digital-Speicher-DSO-Funktionsgenerator-Spectrum-Analyser.html?ref=43&gclid=EAlaIQobChMI9aSd6-L22wIVGI4ZCh3A3AGbEAKYAABEGJUufD_BwE

Medizintechnik (für Projekte)

MAX30102 (Oximeter und
Pulsfrequenz)

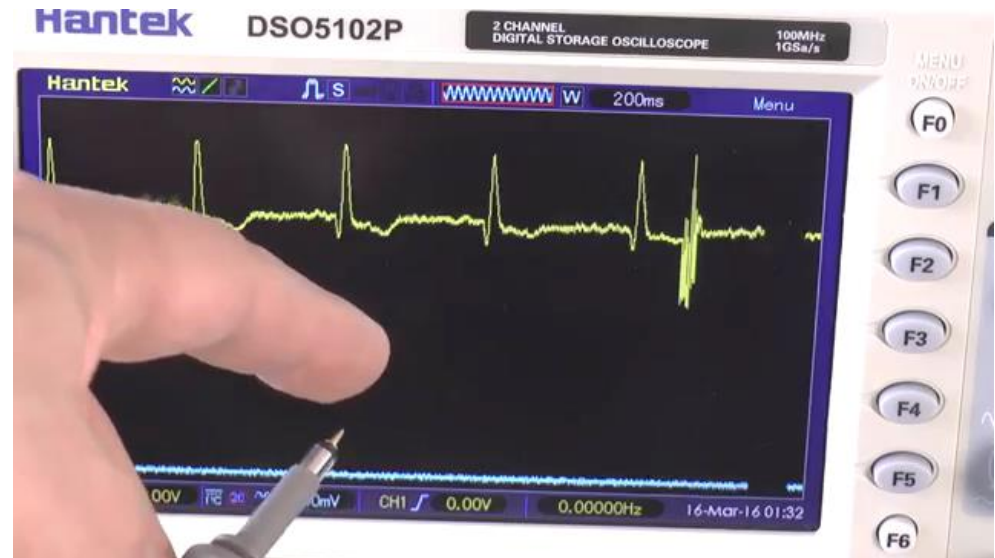


KY-039 Herzschlag-Sensor-Modul
(Eventuell nur als Set mit anderen Sensoren
erhältlich)



Bildquelle: https://www.amazon.de/ILS-MAX30102-Oxygen-Breakout-Arduino/dp/B0769FG5MX/ref=sr_1_2?ie=UTF8&qid=1530201132&sr=8-2&keywords=MAX30102
<http://sensorkit.joy-it.net/index.php?title=Datei:KY-039-02g.png>

Medizintechnik AD8232 (für Projekte)



- Sensor zur Verstärkung und Filterung von bioelektrischen Signalen (EKG, EMG,...)
- Analoges Ausgangssignal kann über ADC und Raspberry Pi ausgewertet werden

Bildquellen:

https://eckstein-shop.de/SparkFun-Single-Lead-Heart-Rate-Monitor-AD8232?curr=EUR&gclid=EAlaIqobChMIgZDqiINT62gIVRp3VCh1ymA4fEAQYBCABEgJE5_D_BwE