

# Ultraschall Abstandssensor HC-SR04

**Autor:** Lukas Honerlage

**Betreuer:** Prof. Schneider

## Inhaltsverzeichnis

- - 1 Einleitung
- - 2 Technische Übersicht
    - - 2.1 Ultraschall Abstandssensor HC-SR04
- - 3 Hardwareaufbau
    - - 3.1 Schaltplan und Steckplatine
- - 4 Equipment
    - - 4.1 Verwendete Software
      - 4.2 Verwendete Komponente
- - 5 Messkette
    - - 5.1 Schaltkreis des HC-SR04
      - 5.2 Mikrocontroller U1
      - 5.3 Sender U3
      - 5.4 Empfänger U2
- - 6 Primer Sensoren
- - 7 Prinziperklärung Ultraschallmessung mit dem HC-SR04
    - - 7.1 Signale des HC-SR04 des HC-SR04
- - 8 Signale des HC-SR04 im Oszilloskop
- - 9 Softwarearchitektur
- - 10 Signalverarbeitung
    - - 10.1 Messungen am Empfänger-Sensor
      - 10.2 Analog-Digital-Umsetzer
      - 10.3 Bussystem
- - 11 Umwelteinflüsse auf die Messung
    - - 11.1 Mathematisches Hilfsmittel
      - 11.2 Lautstärke berechnen
      - 11.3 Berechnung der Schallgeschwindigkeit
      - 11.4 Umgang mit der Messunsicherheit
- - 12 Bewertung des Sensors
    - - 12.1 Vorteile
      - 12.2 Nachteile



Abbildung 1: HC-SR04 <sup>[1]</sup>

## 12.3 Alternative

- 13 Zusammenfassung
- 14 Lernerfolg
- 15 YouTube Video
- 16 Schwierigkeitsgrad
- 17 Quellenverzeichnis

## Einleitung

In dem Projekt wird ein Ultraschall-Sensormodul (HC-SR04) in Betrieb genommen. Es wird das Arbeitsprinzip von einem HC-SR04 erläutert. Ebenfalls wird beschrieben, wie eine Messung mit Ultraschall funktioniert und von welchen wesentlichen Faktoren diese abhängt. Die Inbetriebnahme wird mit den Arduino Board UNO durchgeführt. Zur Veranschaulichung wird ein Ausschnitt des seriellen Monitors gezeigt und erläutert, welche Rohsignale (RAW) vom HC-SR04 an den Arduino gesendet werden. Des Weiteren wird die softwareseitige Verarbeitung der Signale erklärt.

## Technische Übersicht

### Ultraschall Abstandssensor HC-SR04

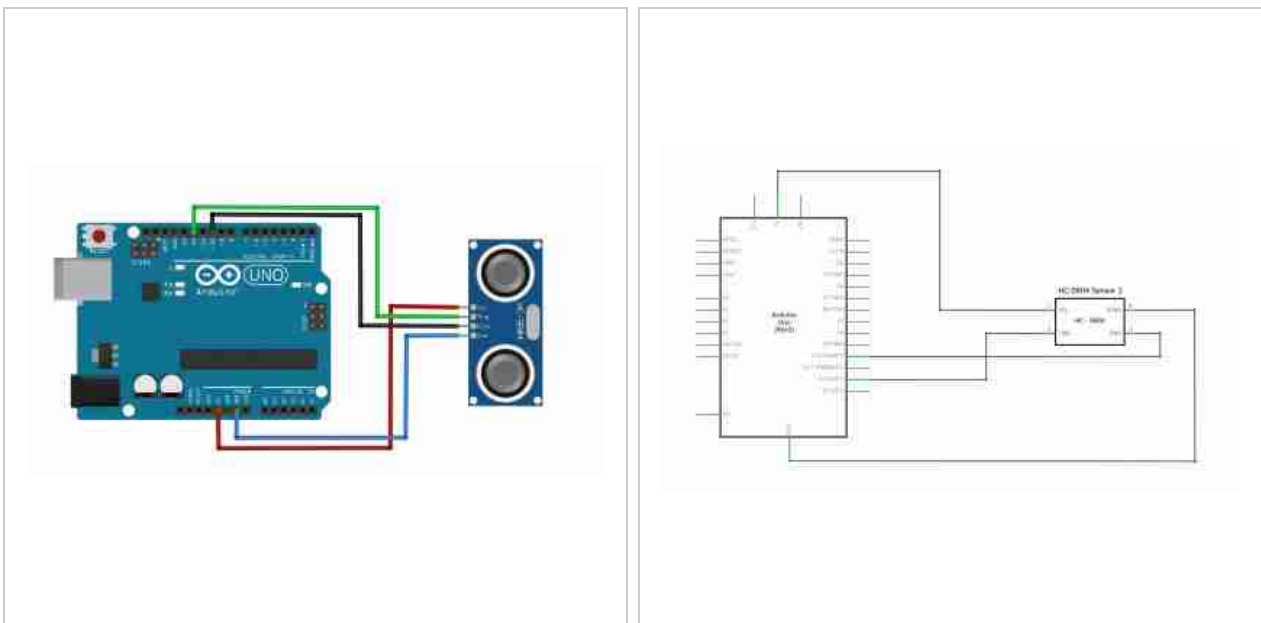
Eigenschaft	Daten <sup>[2]</sup>
Spannungsversorgung	VCC 5 V
Stromaufnahme	15 mA
Messbereich	3 cm bis ca. 400 cm
Messintervall	0,3 cm
Messung pro Sekunde	max. 50
Messfrequenz	40 Hz
Messkegel	ca. 15°
Abmessung (l,b,h)	45 mm x 25 mm x 20 mm

Pin	Funktion <sup>[2]</sup>
1. VCC-Pin	5 V
2. Trigger-Pin	TTL-Pegel
3. Echo-Pin	Messergebnis, TTL-Pegel
4. GND	0 V

## Hardwareaufbau

### Schaltplan und Steckplatine

Abstandssensor Sensor HC-SR04



Der Hardwareaufbau besteht aus dem Anschluss des Ultraschallsensors an den Arduino UNO. Der HC-SR04 benötigt vier Anschlüsse. Es werden VCC und GND für die Versorgungsspannung benötigt. Die anderen beiden sind für die Trigger Impulse und das Echo Signal. Der Trigger-Pin wird auf Pin 12 am Arduino angeschlossen und wird in der Software als Output-Pin deklariert. Der Echo-Pin wird auf Pin 10 am Arduino angeschlossen und liefert das Messergebnis vom Ultraschallsensor. In der Software wird das Signal als Input-Pin deklariert.

## Equipment

### Verwendete Software

Für die Erarbeitung der oben genannten Aufgabenstellungen wurden folgende Softwares verwendet:

- Arduino Software IDE 1.8.13
- MATLAB/Simulink 2020b
- Fritzing
- TortoiseSVN

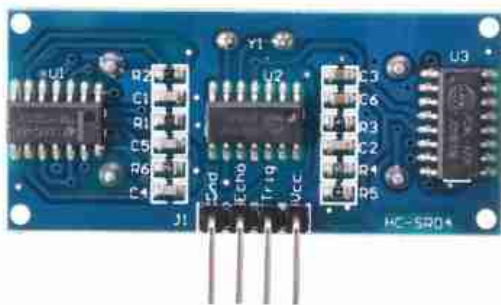
### Verwendete Komponente

Für die Erarbeitung der oben genannten Aufgabenstellungen wurden folgende Komponenten eingesetzt:

- Ultraschall Abstandssensor: HC-SR04
- LCD Display mit I2C Anschluss
- Arduino UNO R3 (AZ-Delivery Edition)

## Messkette

Die Analyse der Messkette fängt mit der Betrachtung des Sensors an. Die unten stehenden Abbildungen veranschaulichen den Aufbau und die einzelnen Bauteile des HC-SR04. Die genaue Bedeutung dieser wird im Nachgang genauer erklärt. Die Messkette des HC-SR04 dient zur Auswertung des Sensors. In der Abbildung 4 ist die Rückseite der Platine mit den beschrifteten Bauteilen abgebildet.



Der linke Sensor auf dem HC-SR04 sendet die Ultraschallimpulse aus. Der rechte Sensor empfängt diese und wandelt sie in ein elektrisches Signal um. Die genaue Funktionsweise der beiden Sensoren wird im weiteren Verlauf genauer definiert.

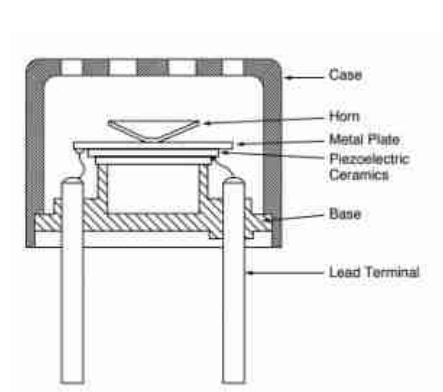


Abbildung 6: Aufbau Empfänger/Sender [8]



Abbildung 7: Ultraschallsender/Empfänger, Ø 16mm, H 12mm [9]

## Prinziperklärung Ultraschallmessung mit dem HC-SR04

Das Prinzip eines Ultraschallsensormoduls stellt ein Laufzeitverfahren dar (Abb. 9). Der HC-SR04 enthält einen Ultraschallsender, welches einen Ultraschallimpuls aussendet. Dieses Signal wird bei einem Kontakt auf einen Widerstand (physisches Objekt) reflektiert, ähnlich wie ein Echo. Wenn das reflektierte Signale zurückkommt, wird es vom (HC-SR04 rechten) Sensor wieder aufgenommen. Um die Distanz zu dem Objekt zu bestimmen, wird die Zeit vom ausgehenden Signal bis zum Wiedereintreffen des Echos gemessen. Der Microcontroller misst die Zeit von der ausgesandten steigenden Flanke bis zur wiedereintreffenden steigenden Flanke vom Sensor, der das Signal empfängt. Durch die Schallgeschwindigkeit und die verstrichene Zeit kann durch eine Berechnung die Distanz ermittelt werden. Da Schallwellen die Strecke einmal hin und wieder zurück zurücklegen müssen, ist die gemessene Zeit noch zu halbieren. [1] (<https://cdn-reichelt.de/documents/datenblatt/B400/ULTRASCHA LL%20SENSOR.pdf>)

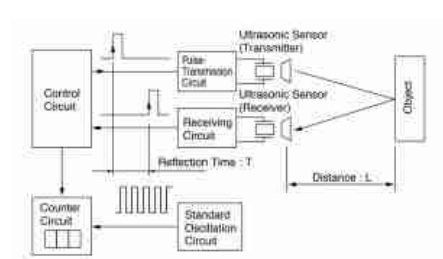


Abbildung 9: Timing des HC-SR04 [8]

## Signale des HC-SR04 des HC-SR04

Um eine Messung durchzuführen, muss der Trigger-Eingang für 10µs (0,00001s) auf High gesetzt werden. Im Anschluss sendet der Sensor acht kurze Rechteckwellen von 40kHz in ungefähr 200µs (0,0002s). Direkt danach wird der Echo Pin auf High gesetzt. Das Signal bleibt solange auf High bis das reflektierende Signal wieder empfangen wird. Wenn kein reflektierendes Signal zurückkommt, wird nach 170ms (0,17s) der Pin zurück auf Low gesetzt. Die Messung wird als gescheitert betrachtet. Dieser Prozess ist in Abbildung 10 visualisiert dargestellt. [2] ([https://www.mikrocontroller.net/attachment/218122/HC-SR04\\_ultraschallmodul\\_beschreibung\\_3.pdf](https://www.mikrocontroller.net/attachment/218122/HC-SR04_ultraschallmodul_beschreibung_3.pdf))

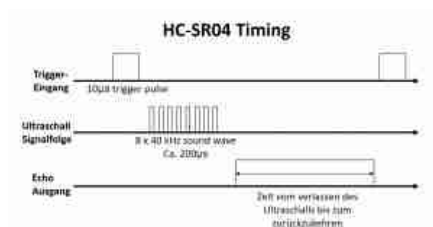
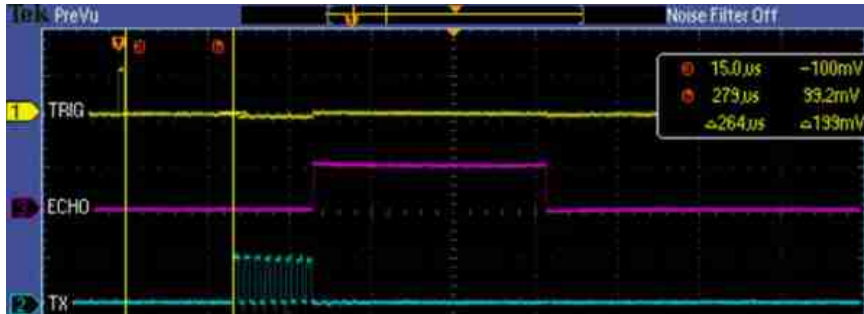


Abbildung 10: Prinzipien der Entfernungsmessung <sup>[10]</sup>

## Signale des HC-SR04 im Oszilloskop

Im Oszilloskop können die Signale, die vom HC-SR04 gesendet werden, sichtbar gemacht werden. In Abbildung 11 ist demnach zu erkennen, wie am Anfang das Signal kurz auf High gesetzt wird. Im Anschluss erfolgt der Burst von 8 x 40 kHz-Impulsen. Ebenfalls ist am Echo Ausgang zu sehen, dass nach den acht Impulsen der Ausgang auf High gesetzt wird. Wenn das erste Signal zurückkommt, fällt die Flanke wieder. Dieses Prinzip findet bei einer konstanten Messung in einer Schleife statt. [3] (<http://www.pcserviceelectronics.co.uk/arduino/Ultrasonic/>)



Prinzipien der Entfernungsmessung im Oszilloskop <sup>[11]</sup>

## Softwarearchitektur



Abbildung 11 :Auswertung der Messwerte des HC-SR04

Der Ausleseprozess des Sensors ist nicht sehr umfangreich, da ein großer Teil vom Sensor direkt übernommen wird. Dieser Prozess ist in Abbildung 12 kurz zusammengefasst. Es muss lediglich festgelegt werden, wann das Signal ausgesendet wird. Diese Sendung geschieht digital, indem der Trigger-Pin für 5ms auf High gesetzt wird und danach zurück auf Low. Das Auslesen des Echo Pins erfolgt ebenfalls digital. In der Arduino IDE gibt es bereits eine Funktion, in der die Zeit gemessen wird, wie lange ein Pin auf High gesetzt ist. Dieser Wert wird im Anschluss umgerechnet in die Distanz in cm. Um Messunsicherheiten auszuschließen, wird der Wert immer auf eine ganze Zahl gerundet. Das errechnete Ergebnis wird im Anschluss in dem seriellen Monitor der Arduino IDE ausgegeben. Dieser Ablauf erfolgt dauerhaft in einer Schleife.

## Signalverarbeitung

### Messungen am Empfänger-Sensor

Zur Bewertung, ob eine analoge Möglichkeit zur Ermittlung einer Distanz über den eingehenden Strom besteht, wurde an den Pins des Ultraschallempfängers des HC-SR04 jeweils ein Kabel angelötet. Die ermittelten Werten (Abb. 13) zeigen, dass auf kurzer Distanz unterschiedliche Spannungen gemessen wurden. Diese Werte schwanken trotz gleicher Distanz. Eine analoge Entfernungsmessung ist damit nicht möglich.

#### Distanz in cm Spannung in mV

5	0,1-0,3
10	0,1-0,2
50	0,1-0,2
100	0,1
150	0,1
200	0,1
250	0,1

### Analog-Digital-Umsetzer

Um trotzdem eine Messung durchführen zu können, werden die niedrige Spannungen verstärkt und gefiltert. Im dem Mikroprozessor EM78P153 wird dieses Signal im Anschluss in ein digitales 5 Volt High oder Low Signal umgewandelt. Dieses wird sodann über den Trigger-Pin ausgelesen.

## Bussystem

Der HC-SR04 enthält kein Bussystem.

## Umwelteinflüsse auf die Messung

Um Schallgeschwindigkeiten zu berechnen, spielen äußere Gegebenheiten eine entscheidende Rolle. Die Schallgeschwindigkeit ist abhängig von der Elastizität, der Dichte, der Temperatur und der Windgeschwindigkeit. Um eine exakte Messung bei unterschiedlichen Umweltbedingungen durchzuführen, muss durchgehend die Temperatur, die Höhe vom Meeresspiegel, die Luftfeuchte und die Windgeschwindigkeit gemessen werden. In der Atmosphäre nimmt die Schallgeschwindigkeit mit der Höhe ab. Mit diesen Werten kann die momentane Schallgeschwindigkeit unter Berücksichtigung der äußeren Umwelteinflüsse berechnet werden. Bei dem HC-SR04 wird keine Messung der äußeren Einflüsse durchgeführt. Alle Versuche sind in einem geschlossenen Raum durchgeführt, so dass mit einer Schallgeschwindigkeit von 343,5 m/s gerechnet wird. <sup>[12]</sup>

### Übersicht der Schallgeschwindigkeit bei Temperatur

Temperatur °C	Temperatur K	Schallgeschwindigkeit m/s	Schallgeschwindigkeit km/h
-50	223,15	299,63	1079
-40	233,15	306,27	1103
-30	243,15	312,77	1126
-20	253,15	319,09	1149
-10	263,15	325,35	1171
0	273,15	331,50	1193
10	283,15	337,54	1215
20	293,15	343,46	1236
30	303,15	349,29	1257
40	313,15	354,94	1278
50	323,15	360,57	1298

Die Schallgeschwindigkeit bei trockener Luft und einer Temperatur von 20°C beträgt 343,5 m/s (1236 km/h).<sup>[12]</sup> Bei der Programmierung des Sensors wird eine Schallgeschwindigkeit von 343,5 m/s als Grundlage zur Bestimmung der Entfernung genommen.

## Mathematisches Hilfsmittel

### Lautstärke berechnen

Die erzeugte Lautstärke wird direkt vom Sensor übernommen und kann von außen nicht beeinflusst werden. Bei dem Ultraschallsender lässt sich die Lautstärke mit der Formel des Schalldruckpegel berechnen.

(S.P.L.) = Sound pressure level  
 $P$  = Schalldruck des Sensors  
 $P_0$  = Referenzschalldruck

$$SPL = 20 \log \frac{P}{P_0} (dB)$$

Die Lautstärke des Sensors beträgt auf dem HC-SR04 100dB.  
Nach 0,5 Meter sind es nur noch 80dB. [4] (<https://cdn-reichelt.de/documents/datenblatt/B400/ULTRASCHALL%20SENSOR.pdf>)

### Berechnung der Schallgeschwindigkeit

Um eine exakte Messung der Schallgeschwindigkeit durchzuführen, sind alle Umwelteinflüsse, die die Geschwindigkeit des Schalls beeinflussen, zu betrachten. Die wesentliche Geschwindigkeit hängt von den folgenden Faktoren ab. <sup>[13]</sup>

Für trockene Luft: Molmasse in Meereshöhe:

$$M = 0,02896 \frac{kg}{mol}$$

Für das zweiatomige Gas: Sauerstoff

$$O_2 \kappa = \frac{7}{5} = 1,40$$

Die universelle Gaskonstante:

$$R = 8,31448 \frac{J}{K \cdot mol}$$

Die Temperatur in Kelvin:  
 $K = 293,15K$

Durch das einsetzen der Variablen lässt sich die Schallgeschwindigkeit berechnen. Die eingesetzten Werte entsprechen einem trockenem Raum bei einer Temperatur von 20 °C.

$$C_{Luft} \approx \sqrt{1,40 \cdot \frac{8,3145 \frac{J}{mol K} \cdot 293,15K}{0,02896 \frac{kg}{mol}}} = 343,5 \frac{m}{s}$$

### Umgang mit der Messunsicherheit

Um die Umrechnung einfach zu gestalten, gibt es eine Näherungsformel, die mit einer Genauigkeit von 99,8% den Messbereich von -20°C bis 40°C abbildet. Da der HC-SR04-Sensor nur auf Zentimeter rundet, ist die Messunsicherheit von 0,2% zu vernachlässigen. Zu beachten ist jedoch die Temperatur. Bei 0°C bis +20°C entsteht eine Messunsicherheit von 3,49%. Bei einer Temperatur von -20°C bis 20°C entsteht eine Messunsicherheit von 6,99%. Zur Messung genauer Werte sollte demnach bei starken Temperaturschwankungen zusätzlich eine Temperaturmessung in die Berechnung mit einfließen. Die nachfolgende Tabelle verdeutlicht die Laufzeit bei unterschiedlicher Temperatur.<sup>[13]</sup>

$$C_{Luft} \approx (331,5 + 0,6 \vartheta / ^\circ C) \frac{m}{s}$$

Distanz zum Objekt cm	Laufzeit in ms bei 20°C	Laufzeit in ms bei 0°C	Laufzeit in ms bei -20°C
2	0,1164	0,1206	0,1251
5	0,2911	0,3016	0,3129
10	0,5822	0,6033	0,6259
25	1,4556	1,5082	1,5649
50	2,9112	3,0165	3,1289
100	5,8224	6,0331	6,2597
150	8,7336	9,0497	9,3896
200	11,6448	12,0663	12,5195
250	14,5560	15,0829	15,6494
300	17,4672	18,0995	18,7793

### Bewertung des Sensors

#### Vorteile

Als Vorteil des Sensors ist besonders der Preis von unter 5 Euro zu nennen. Für den Preis bietet der Sensor eine gute Möglichkeit, den Abstand von 3 cm bis 250 cm auf 1 cm genau zu bestimmen. Ebenfalls liegt der Vorteil darin, dass der Sensor einen Großteil der Messung selbst übernimmt. Hierdurch ist er ressourcenschonend am Mikrocontroller im Ausleseprozess des Sensors.

#### Nachteile

Ein wesentlicher Nachteil des Sensors ist die fehlende Messung der Temperatur, welche den Umweltbedingungen entgegenwirken würde. Des Weiteren ist lediglich eine begrenzte Messung von 3 cm bis 250 cm möglich. Zudem ist es nicht möglich eine Entfernung auf Millimeter genau zu messen. Ebenfalls werden zwei Sensoren Sender/Empfänger und die interne Verarbeitung auf einer Platine angebracht. Durch ist die Bauweise der Sensor sehr groß und die Sensoren können nicht getrennt von der Platine Montiert werden.

#### Alternative

Bei den Ultraschallsensoren gibt es noch weitere Unterschiede. Speziell auf den Anwendungsfall muss beachtet werden, ob die Eigenschaften des Sensors ausreichen. Der AJ-SR04M (Abb. 12) kann z.B. eine längere Distanz messen, allerdings erst ab einer Reichweite von 0,25 m. Ebenfalls spielt die Bauform, Langlebigkeit und der Preis eine wichtige Rolle bei der Auswahl des richtigen Sensors.



Abbildung 12: AJ-SR04M Ultraschall Abstandssensor [14]

## AJ-SR04M

Sensor	Spezifikationen[5] ( <a href="https://www.roboter-bausatz.de/1689/jsn-sr04t-wasserdichtes-ultraschall-modul-entfernungsmesser">https://www.roboter-bausatz.de/1689/jsn-sr04t-wasserdichtes-ultraschall-modul-entfernungsmesser</a> )
Technologie	Ultraschall
Mindestbereich	0,25 m
Maximale Reichweite	5 m
Genauigkeit	+/- 1 %
Typische Aktualisierungsrate	40 kHz
Eingangsspannung	5,0 V
Max. Dauerstromverbrauch	30,0 mA
Schnittstellen	Digital

Darüber hinaus existieren noch alternative Verfahren zur Messung von Abständen. Beispielhaft sind in den folgenden Abbildungen verschiedene Sensoren dargestellt. Es besteht z.B. die Möglichkeit die Entfernung mit LED (Abb. 13), LiDAR (Abb. 14) oder VCSEL (Abb. 15) Technologie zu messen. Ebenfalls muss hier der Anwendungsfall betrachtet werden, da die Sensoren sehr unterschiedliche Eigenschaften aufweisen.



Abbildung 13: Sharp GP2Y0A21YK0F LED Abstandssensor [15]

## Sharp GP2Y0A21YK0F

Sensor	Spezifikationen[6] ( <a href="https://cdn-reichelt.de/documents/datenblatt/B400/DS_GP2Y0A21YK0F.pdf">https://cdn-reichelt.de/documents/datenblatt/B400/DS_GP2Y0A21YK0F.pdf</a> )
Technologie	LED
Mindestbereich	0,10 m
Maximale Reichweite	0,80 m
Genauigkeit	+/- 1%
Typische Aktualisierungsrate	26 Hz
Wellenlänge (Licht)	850 nm
Eingangsspannung	4,5 V - 5,5 V
Max. Dauerstromverbrauch	30,0 mA
Schnittstellen	Analog



Abbildung 14: MINI-S LIDAR Abstandssensor [16]

## MINI-S

Sensor	Spezifikationen[7] ( <a href="https://cdn-reichelt.de/documents/datenblatt/C300/BENEWAKE_TFMINI-S_DATASHEET.pdf">https://cdn-reichelt.de/documents/datenblatt/C300/BENEWAKE_TFMINI-S_DATASHEET.pdf</a> )
Technologie	LIDAR
Mindestbereich	0,1 m
Maximale Reichweite	12 m
Genauigkeit	+/- 1%
Typische Aktualisierungsrate	26 Hz
Wellenlänge (Licht)	850 nm
Eingangsspannung	5,0 V
Max. Dauerstromverbrauch	30,0 mA
Schnittstellen	Analog





Abbildung 15: VL6180X VCSEL Abstandssensor <sup>[17]</sup>

## VL6180X

Sensor	Spezifikationen[8] ( <a href="https://www.distrelec.de/Web/Downloads/_t/ds/Adafruit_VL6180X_eng_tds.pdf">https://www.distrelec.de/Web/Downloads/_t/ds/Adafruit_VL6180X_eng_tds.pdf</a> )
Technologie	VCSEL
Mindestbereich	0,1 m
Maximale Reichweite	2 m
Auflösung	1 mm
Genauigkeit	+/- 1 %
Typische Aktualisierungsrate (Hz)	10 Hz
Wellenlänge (Licht)	850 nm
Eingangsspannung	5,0V
Max. Dauerstromverbrauch	15,0 mA
Schnittstellen	IC2

## Zusammenfassung

Zusammenfassend kann der Sensor im Gesamtumfang positiv bewertet werden. Er sendet und empfängt zuverlässig Ultraschallwellen auf eine Entfernung von 3 cm bis 250 cm. Auf die Entfernung reflektierende Schallwellen sind stark genug, um den Ultraschallempfänger in Schwingung zu versetzen, so dass ein messbares Signal entsteht. Durch die interne Signalverarbeitung auf dem Sensor, ist der Sensor einfach einzusetzen. Lediglich ein Startimpuls von 3,3 V bis 5 V sowie eine Zeitmessung für die Dauer des Highs auf dem EchoPin ist notwendig. Dadurch kann sodann durch eine einfache Umrechnung die Distanz berechnet werden. Der Umgang mit möglichen Messfehler ist bei diesem Sensor extern zu betrachten. Auftretende Fehler können mit einer Temperaturmessung und dessen Wert in der Formel behoben werden.

## Lernerfolg

Bei dieser Ausarbeitung des HC-SR04 Abstandssensor konnte ein tiefer Einblick in das Prinzip der Ultraschallmessung erlangt werden. Angefangen bei den Hardwarekomponenten und deren Bedeutung in der Ultraschallerzeugung bis hin zum Auffangen von reflektierten Signale zur Umwandlung in eine messbare elektronische Größe. Des Weiteren wurde der Umgang von Fritzing bei der Erstellung des Schaltbildes und eines Anschlussplans vertieft. Zudem konnte ein Eindruck über die physikalischen Auswirkungen sowie die mathematische Bedeutung bei der Berechnung der Schallgeschwindigkeit gewonnen werden. Durch die eigene Programmierung des Sensors konnte das erarbeitete Verständnis in der Praxis angewandt werden. Hierdurch wurde die Inbetriebnahme eines Abstandssensors mit einem Microcontroller vertieft. Dieses führte zu einem Wissensaufbau, wie mit dem Microcontroller eine Flanke über die Zeit ausgelesen werden kann. Ebenfalls wurde auf den Umgang mit Messunsicherheiten eingegangen und Lösungswege zur Behebung dieser analysiert. Abschließend wurden noch mögliche Alternativen betrachtet, die ebenso eine Distanzmessung ermöglichen.

## YouTube Video

Zur weiteren Veranschaulichung wurde ein Video erstellt und auf YouTube hochgeladen. In dem Video ist eine Messung anhand des Ultraschallsensors zusehen. Die Ausgabe der Werte erfolgt über einen LCD Display und auf dem seriellen Monitor des Laptops. Der Arduino mit dem Sensor und dem serielleren Display kann ebenso einer externen Spannungsquelle angeschlossen werden wie z.B. einer Powerbank. Dies hat den Vorteil, dass eine Messung unabhängig vom Laptop erfolgen kann. Ebenfalls wurde zum Schutz vor äußeren Einflüssen ein Gehäuse für die einzelnen Bauteile erstellt. Video des HC-SR04 (<https://www.youtube.com/watch?v=cDORLVIXkXg>)

## Schwierigkeitsgrad

Die Inbetriebnahme des Sensors ist nicht sonderlich kompliziert. Die vier Anschlüsse vom HC-SR04 sind an den Arduino anzuschließen. Die richtige Software für die Inbetriebnahme erhöht den Schwierigkeitsgrad in diesem Zuge. Es müssen die vorverarbeitenden Signale vom Sensor aufgenommen und die Distanz aus diesen errechnet werden. Insgesamt wird dem Ultraschall Abstandssensor HC-SR04 ein mittlerer Schwierigkeitsgrad zugeordnet.

## Quellenverzeichnis

1. BANGGOOD: *Ultraschallmodul HC-SR04*. URL: [https://www.banggood.com/3Pcs-HC-SR04-Ultrasonic-Module-with-RGB-Light-Distance-Sensor-Obstacle-Avoidance-Sensor-Smart-Car-Robot-Geekcreit-for-Arduino-products-that-work-with-official-Arduino-boards-p-1608924.html?rmmds=detail-topright-recommendation1&cur\\_warehouse=CN](https://www.banggood.com/3Pcs-HC-SR04-Ultrasonic-Module-with-RGB-Light-Distance-Sensor-Obstacle-Avoidance-Sensor-Smart-Car-Robot-Geekcreit-for-Arduino-products-that-work-with-official-Arduino-boards-p-1608924.html?rmmds=detail-topright-recommendation1&cur_warehouse=CN), 20. Januar 2021
2. Joy-IT.: *Ultrasonic Distance Sensor*. 2017. URL: <https://cdn-reichelt.de/documents/datenblatt/A300/SEN-US01-DATASHEET.pdf>, 23. Dezember 2020
3. BANGGOOD: *Ultraschallmodul HC-SR04*. URL: [https://www.banggood.com/Wholesale-Geekcreit-Ultrasonic-Module-HC-SR04-Distance-Measuring-Ranging-Transducers-Sensor-DC-5V-2-450cm-p-40313.html?akmClientCountry=America&&utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc\\_ods&cam-sds-view-telscope-content-pc&utm\\_content=arvin&gclid=Cj0KCQIA2af-BRDzARIsAIVQUOdUqObSv6DEN3AAWBKRID20KRye4\\_nSknvVbfc](https://www.banggood.com/Wholesale-Geekcreit-Ultrasonic-Module-HC-SR04-Distance-Measuring-Ranging-Transducers-Sensor-DC-5V-2-450cm-p-40313.html?akmClientCountry=America&&utm_source=google&utm_medium=cpc_ods&cam-sds-view-telscope-content-pc&utm_content=arvin&gclid=Cj0KCQIA2af-BRDzARIsAIVQUOdUqObSv6DEN3AAWBKRID20KRye4_nSknvVbfc), 20. Januar 2021
4. PC Services: *HC-SR04*. URL: <http://www.pcserviceelectronics.co.uk/arduino/Ultrasonic/HC-SR04-cct.pdf>, 15. Januar 2021
5. Federau, Joachim: *Operationsverstärker Lehr- und Arbeitsbuch zu angewandten Grundsaltungen*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 4. Auflage 2006, Seiten 44ff. ISBN: 978-3-8348-0183-8.
6. Sheno, Belle A.: *Introduction to digital signal processing and filter design*/ B.A. Sheno. Hoboken, NJ: Wiley, 1. Auflage 2005, Seiten 150ff. ISBN: 9780471464822.
7. Ehrhardt, Dietmar: *Verstärkertechnik*. Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 1. Auflage 1992, Seiten 170ff. ISBN: 978-3-322-83026-5.
8. Murata Manufacturing Co., Ltd.: *Application Manual*. 2013. URL: <https://cdn-reichelt.de/documents/datenblatt/B400/ULTRASCHALL%20SENSOR.pdf>, 23. Dezember 2020
9. Reichelt: *Ultraschallsender*. URL: [https://www.reichelt.de/ultraschallsender-16mm-h-12mm-ust-40t-p22188.html?&nbc=1&trstct=lsbght\\_slidr](https://www.reichelt.de/ultraschallsender-16mm-h-12mm-ust-40t-p22188.html?&nbc=1&trstct=lsbght_slidr), 20. Januar 2021
10. Wolles Elektronikliste: *HC-SR04 und JSN-SR04T-2.0 Abstandssensoren* URL: <https://wolles-elektronikkiste.de/hc-sr04-und-jsn-sr04t-2-0-abstandssensoren>, 20. Januar 2021
11. PC Services: *Ultraschall-Entfernungsmessung mit HC-SR04* URL: <http://www.pcserviceelectronics.co.uk/arduino/Ultrasonic/>, 20. Januar 2021
12. Douglas, Giancoli: *Physik Lehr- und Übungsbuch*. München: Pearson Studium ein Imprint von Pearson Deutschland, 3. Auflage 2009, Seiten 561ff. ISBN: 978-3-868-94023-7.
13. Owen, Cramer: *The variation of the specific heat ratio and the speed of sound in air with temperature, pressure, humidity*. In: The Journal of the Acoustical Society of America. Bd. 93(5)
14. Amazon: *5V Ultraschallwellen Entfernungsmessungsbrett Ranging Modul Mit Wasserdichtem Sensor* URL: [https://www.amazon.de/Ultraschallwellen-Entfernungsmessungsbrett-Ranging-Wasserdichtem/dp/B076SWF5FV/ref=sr\\_1\\_1\\_sspa?\\_\\_mk\\_de\\_DE=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&dchikSR04T+Wasserdichtes+Ultrasonic+Ultraschall+Modul+Entfernungsmesser+SR04M&qid=1607934753&sr=8-1-spons&psc=1&smid=A5QX2SUPA7LK7&spLa=ZW5jenlwdGVkUXVhbC](https://www.amazon.de/Ultraschallwellen-Entfernungsmessungsbrett-Ranging-Wasserdichtem/dp/B076SWF5FV/ref=sr_1_1_sspa?__mk_de_DE=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&dchikSR04T+Wasserdichtes+Ultrasonic+Ultraschall+Modul+Entfernungsmesser+SR04M&qid=1607934753&sr=8-1-spons&psc=1&smid=A5QX2SUPA7LK7&spLa=ZW5jenlwdGVkUXVhbC), 19. Januar 2021
15. Reichelt: *GP2-1080K Distanzsensor* URL: <https://www.reichelt.de/index.html?ACTION=446&LA=3&nbc=1&q=gp2-1080k>, 18. Januar 2021
16. Reichelt: *TF MINI-S Benewake TFmini-S LiDAR* URL: [https://www.reichelt.de/benewake-tfmini-s-lidar-12m-tf-mini-s-p287742.html?&trstct=pos\\_1&nbc=1](https://www.reichelt.de/benewake-tfmini-s-lidar-12m-tf-mini-s-p287742.html?&trstct=pos_1&nbc=1), 20. Januar 2021
17. Distrelec: *ToF-Distanzmessgerät* URL: [https://www.distrelec.de/de/tof-distanzmessgeraet-v16180x-5v-adafruit-3316/p/30129217?channel=b2c&price\\_gs=14.4536&source=googleps&ext\\_cid=shg00aqdede-na&kw=%7Bkeyword%7D&&s\\_kwid=AL!8921!3!474063074157!!!g!9!BRB\\_EiwA2osbxfahMtmFWuSdwb4ZWtsX4bXe5vNK3-nBlgD5-tEjEnELvDMPUxklhoCkz8QAvD\\_BwE](https://www.distrelec.de/de/tof-distanzmessgeraet-v16180x-5v-adafruit-3316/p/30129217?channel=b2c&price_gs=14.4536&source=googleps&ext_cid=shg00aqdede-na&kw=%7Bkeyword%7D&&s_kwid=AL!8921!3!474063074157!!!g!9!BRB_EiwA2osbxfahMtmFWuSdwb4ZWtsX4bXe5vNK3-nBlgD5-tEjEnELvDMPUxklhoCkz8QAvD_BwE), 18. Januar 2021

→ zurück zum Hauptartikel: Sensortechnik WS 20/21

Abgerufen von „[https://wiki.hshl.de/wiki/index.php?title=Ultraschall\\_Abstandssensor\\_HC-SR04&oldid=76170](https://wiki.hshl.de/wiki/index.php?title=Ultraschall_Abstandssensor_HC-SR04&oldid=76170)“