

1-Wire-Präzisions NDIR CO₂-Sensor



Bild 1: CO₂-Sensor mit 1-Wire Modul

1 Physikalische Funktionsweise

1.1 Grundlagen

Gase sind für elektromagnetische Wellen wie das sichtbare Licht, Infrarot- oder UV-Strahlen nicht im gesamten Wellenlängenspektrum durchlässig. Verschiedene Wellenlängenbereiche werden absorbiert, d.h. die Energie wird von dem Gas aufgenommen. Ein bekanntes Beispiel dafür ist Ozon, welches in der Ozonschicht kurzwellige UV-Strahlung des Wellenlängenbereichs unterhalb von 300 Nanometer praktisch vollständig absorbiert. Je nach chemischer Zusammensetzung gibt es spezifische Absorptionsspektren für jedes Gas. Sozusagen einen Fingerabdruck im Spektrum. In Bild 2 zeigt diesen „Fingerabdruck“ für verschiedene Gase. Je nachdem wie viele Moleküle eines Gases zwischen Sender und Empfänger der elektromagnetischen Strahlung liegen, fällt auch die Absorption unterschiedlich aus. In nichtdispersiven Infrarotsensoren wird diese Eigenschaft genutzt, um Gaskonzentration zu bestimmen.

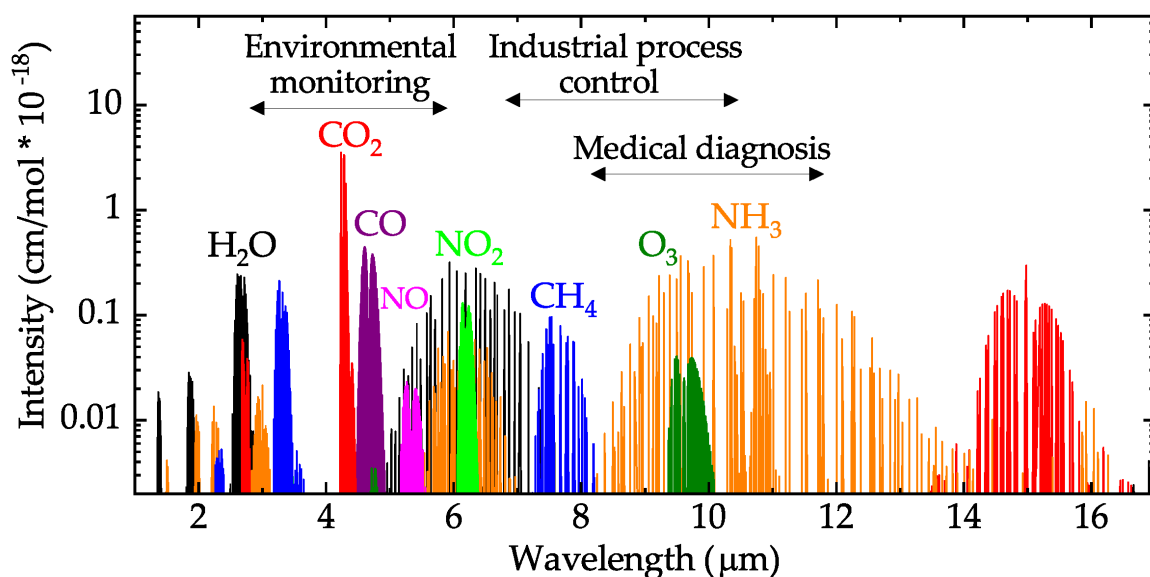


Bild 2: Absorptionsspektren für verschiedene Gase [1]

Für die Messung der CO₂-Konzentration ist vor allen der ausgeprägte Peak bei der Wellenlänge von 4,3 µm interessant.

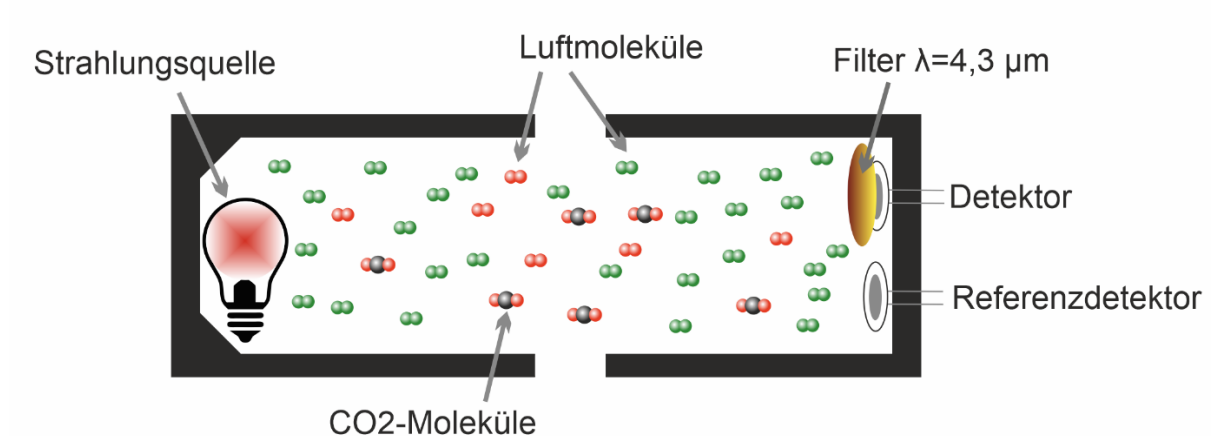


Bild 3: Aufbau NDIR CO₂ Sensor

Um genauere Messungen zu erreichen, hat sich ein Referenzdetektor als sinnvoll erweisen. So relativiert sich die Abhängigkeit von der Helligkeit der Strahlungsquelle, die ja oft im Laufe der Zeit abnimmt oder sich durch Spannungsschwankungen ändert. Einen Überblick über verschiedene Infrarot-Gassensoren gibt die Übersicht von Popa und Udrea [1].

1.2 Abhängigkeit von Temperatur und Luftdruck

Die Absorption der elektromagnetischen Wellen erfolgt von den einzelnen CO₂-Molekülen. Die Messwerte spiegeln deshalb die Anzahl der Moleküle zwischen Strahlungsquelle und Detektor wieder. In der Praxis wird aber die Konzentration von CO₂ im Verhältnis zur gesamten Luft (in der Regel als ppm – parts per million) angegeben. Geht man von einer gleichen CO₂-Konzentration aus so befinden sich bei höherem Luftdruck mehr CO₂-Moleküle im Messfeld als bei geringerem Luftdruck, da die Moleküle näher beieinander liegen. Dadurch erhöht sich auch der gemessene Wert entsprechend. Bei steigender Temperatur dehnt sich die Luft aus. Dadurch kommt es zu einer Verringerung des Messwertes.

Sind Luftdruck und Temperatur für die ausgegebenen Messwerte bekannt, so lassen sich die realen Werte mit der allgemeinen Gasgleichung berechnen. Die Messwerte der verwendeten Sensoren von Sensirion gelten für 25 °C und 1013 hPa [3]. Die reale Gasvolumenkonzentration $\rho(p, t)$ lässt sich also mit der Formel

$$\rho(p, t) = \rho(1013 \text{ hPa}, 25 \text{ °C}) \cdot \frac{p}{1013 \text{ hPa}} \cdot \frac{273 + 25 \text{ °C}}{(273 + t)}$$

berechnen. Dabei ist p der aktuelle Luftdruck und t die aktuelle Temperatur.

Um ein Gefühl für die Größe der Abweichung zu bekommen, sind in Tabelle 1 die Messwerte bei einer CO₂-Konzentration von 420 ppm bei verschiedenen Temperatur- und Luftdruckwerten angegeben.

Luftdruck in hPa								
		800	850	900	950	1013	1025	1050
Temperatur in °C	0	303,9	322,9	341,8	360,8	384,8	389,3	398,8
	10	315,0	334,7	354,4	374,1	398,9	403,6	413,4
	20	326,1	346,5	366,9	387,3	413,0	417,8	428,0
	25	331,7	352,4	373,1	393,9	420,0	425,0	435,3
	30	337,3	358,3	379,4	400,5	427,0	432,1	442,6
	40	348,4	370,2	391,9	413,7	441,1	446,4	457,3

Tabelle 1: Ausgabe des Sensors bei verschiedenen Temperatur- und Luftdruckwerten bei einer CO₂-Konzentration von 420 ppm

In allen Sensoren ist eine Temperatur-Korrektur fest eingebaut. Da der Luftdruck mit zunehmender Höhe abnimmt (400 m etwa 95 %, 800 m etwa 90 %) ist es sinnvoll zumindest eine feste Korrektur der Werte vorzunehmen, wenn an einem Standort höher als 150 über NN gemessen werden soll.

Die natürlichen Luftdruckschwankungen bezogen auf NN belaufen sich in Deutschland etwa zwischen 970 hPa und 1050 hPa. Damit ergibt sich eine Abweichung von ungefähr ± 4 %. Die Module werden bei tm3d.de auch immer mit einem eingebauten Drucksensor angeboten. Die sind dann unabhängig von Wetterlage und Höhe korrekt angegeben.

2 Maße und Einbauhinweise

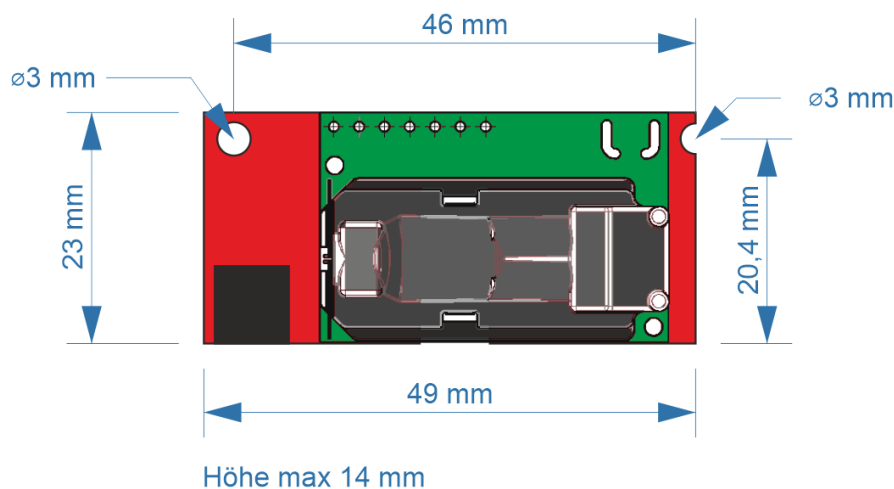


Bild 4: Maße des 1-Wire Moduls mit dem NDIR Sensor SCD30

Die Maße des Moduls sind in Bild 4 skizziert. Die Höhe vom tiefsten Punkt (DIP-Schalter auf der Rückseite) bis zum höchsten Punkt (SCD30 Modul) beträgt maximal 14 mm. Die Bohrlöcher sind kompatibel zum Gehäuse 016 von TM3D.DE.

Beim Einbau des Modules ist auf eine gute Verbindung zur Umgebungsluft zu achten. Der Luftzugang zur Sensorkammer erfolgt über die beiden Öffnungen an der Unterseite des Sensors (helle rechteckige Bereiche über den Ausfräzungen an der roten Modulplatine).

Bei Luftströmungen z.B. in Kanälen ist zu beachten, dass es sehr schnell zu Druckabfällen bzw. Schwankungen führen kann. Das führt zu Messungenauigkeiten bzw. Rauschen in der Messung. Beispiele für gute und schlechte Positionierungen sind in Bild 5 dargestellt.

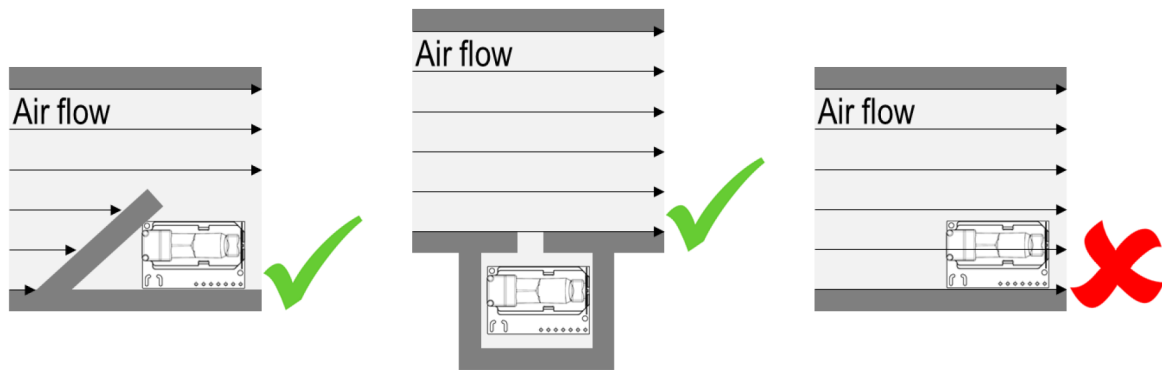


Bild 5: CO₂-Messung im Strömungskanälen [2]

Des Weiteren wirkt sich direkte Sonneneinstrahlung negativ auf die Messgenauigkeit aus. Dies führt zu sprunghaften Temperaturveränderung die nicht die Umgebungsbedingungen des Sensors widerspiegeln (Bild 6).

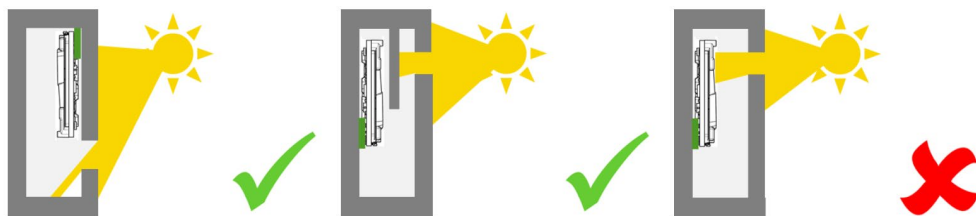


Bild 6: Schutz vor direkter Sonneneinstrahlung [2]

3 Elektrische Eigenschaften und Anschlussbelegung

Die Versorgungsspannung des Moduls muss zwischen 4 und 5,5 V liegen. In diesem Bereich muss die Spannung nicht konstant sein. Alle 30 s findet eine Messung statt. Dabei fließt für 400 ms ein Messstrom von etwa 55 mA.

	Wert	Minimum	Maximum	Einheit
Versorgungsspannung		4	5,5	V
Messstrom			55	mA
Ruhestrom			5	mA
1-Wire-Bus		3,6	5,5	V

Tabelle 2: Elektrische Eigenschaften

Damit es bei mehreren Sensoren an einer Stromversorgung nicht zu unerwünschten Stromspitzen kommt, wird bei den Modulen die erste Messung verzögert. Die Verzögerung richtet sich nach dem ersten 6 Bits aus dem zweiten Byte in der 1-Wire-ID, d.h. dem Byte vor dem Family-Code (Bild 7). Die Verzögerung berechnet sich aus 200 ms mal diesen 6 Bits. Maximal ist also eine Verzögerung von 12,6 s möglich (0xXX111111 * 200 ms). Das Beispiel in Bild 7 hat eine Verzögerung von 34*200 ms = 6,8 s.



Bild 7: Grundlage des Verzögerten Mess-Startes um Stromspitzen zu vermeiden.

Die Anschlussbelegung ist in Bild 8 skizziert. Der Anschluss ist eine PTSM-Federklemme von Phoenix Contact. Nähere Informationen dazu gibt es unter [4]. Die Eingänge sind mit einem ESD-Schutz (IEC 61000-4-2; level 4) >12 kV ausgestattet.

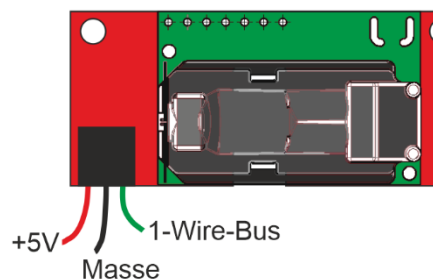


Bild 8: Anschlussbelegung

4 Modell-Varianten und Datenzugriff

Der Sensor ist mit und ohne integriertem Luftdrucksensor verfügbar. Für jede Variante können verschiedene 1-Wire-Geräte simuliert werden um die Werte auszugeben.

4.1 Modul ohne Luftdrucksensor

4.1.1 DS18B20

Der DS18B20 ist einer der einfachsten 1-Wire-Chips und ist im original ein Thermometer. Entsprechend wird auch nur ein Wert ausgegeben. Der große Vorteil ist, dass der DS18B20 praktisch von jeder 1-Wire Software unterstützt wird. Die CO₂-Werte in ppm werden berechnet durch

$$\rho_{CO_2} = (Temp * 16) + 1280$$

Dabei ist *Temp* das, was der DS18B20 als Temperatur ausgibt. -55 °C entsprechen dann einer CO₂-Konzentration von 400 ppm.

4.1.2 DS18B20 + DS2438

Die CO₂-Konzentration wird hier genauso über die Temperatur eines DS18B20 ausgegeben wie im Kapitel 4.1.1 beschrieben. Da das Sensormodul SCD30 zusätzlich auch noch Temperatur und Luftfeuchte misst, kann diese auch genutzt werden. Die „klassische“ Variante für die Messung der Luftfeuchte mit dem 1-Wire-Bus ist die Kombination von DS2438 mit einem HIH40XX. Viele Software-Systeme für 1-Wire haben die entsprechende Berechnung der Luftfeuchte aus den Werten des DS2438 fest eingebaut. Bei Software *owfs* wird z.B. die Luftfeuchte mit der Datei HIH4000 ausgegeben.

Die Formel für die Berechnung der Feuchte ist im Datenblatt von einem HIH403X [5] zu finden. Die Feuchte berechnet sich aus V_{DD} , V_{AD} , und $Temp$ wie folgt:

$$RH = \frac{161.29 \cdot \frac{V_{AD}}{V_{DD}} - 25.8065}{1.0546 - 0.00216 \cdot Temp}$$

V_{DD} ist in diesen Fall nur eine „fiktive“ Größe zur Kompatibilität und immer 5 V.

Wenn die Formel nicht in der Software vorgegeben ist kann auch auf der Platine ein Lötjumper (J3, Bild 9) verbunden werden. Dann gilt einfach:

$$RH = V_{AD} * 10$$

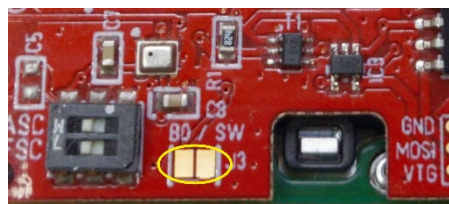


Bild 9: Jumper J3 zur einfachen Berechnung der relativen Luftfeuchte

4.1.3 DS2450

Der Chip DS2450 ist im Original ein 4-fach A/D-Wandler mit einer Auflösung von 16 Bit. Die vier Kanäle werden mit A bis D bezeichnet. Es gibt zwei verschiedene Messbereiche 0 – 5,12 V und 0 – 2,56 V. Der DS2450 wird nicht von allen Systemen unterstützt. Bei Loxone z.B. fehlt die Integration.

In Tabelle 3 sind die Berechnungsvorschriften für die Verschiedenen Kanäle angegeben. Die beste Methode ist die Verwendung der 16 Bit Werte (eine Zahl zwischen 0 und 65535). „W“ bezeichnet immer den von DS2450 ausgegeben Wert.

	Kanal	A	B	C	D
Beispiel Formel	Werte	CO2	Temperatur	Feuchte	Frei
	16 Bit	W/2	(W-32767)/100	W/100	
	0..5,12V	W*6400	(W-2,56)*128	W*128	
	0..2,56V	W*12800	(W-1,28)*256	W*256	
	16 Bit	1232	34890	5039	
	0..5,12V	0,09625	2,72582	0,393678	
	0..2,56V	0,048125	1,36291	0,196839	
	Wert	616 ppm	21,2 °C	50,4 %	

Tabelle 3: Berechnung der Werte bei einem DS2450

4.2 Modul mit Luftdrucksensor

4.2.1 DS18B20

Die Funktionsweise des Moduls entspricht im Wesentlichen der Beschreibung im Kapitel 4.1.1. Der einzige Unterschied ist natürlich, dass der Wert luftdruckkompensiert ist (siehe Kapitel 1.2). Die Abhängigkeit von der Temperatur wird immer berücksichtigt.

4.2.2 DS18B20 – DS2438

Die Funktionsweise des Moduls entspricht im Wesentlichen der Beschreibung im Kapitel 4.1.2. Der einzige Unterschied ist, dass der Wert für die CO₂-Konzentration luftdruckkompensiert ist (siehe Kapitel 1.2)

4.2.3 DS2438 – DS2438

Bei den vorhergehenden Varianten wird leider der Luftdruck nicht mit ausgegeben. Deshalb gibt es diese Version. Der DS2438 mit der größeren ID (ohne CRC-code, siehe Bild 7) gibt die Luftfeuchte und Temperatur wie in 4.1.2 beschrieben aus.

Die Temperatur des anderen DS2438 entspricht den kompensierten CO₂-Werten. Dabei gilt:

$$\rho_{CO_2} = Temp * 256$$

Der Luftdruck (in hPa) wird über V_{DD} und V_{AD} ausgegeben. Die Berechnung kann durch

$$p = V_{DD} \cdot 1000 + V_{AD}$$

erfolgen.

4.2.4 DS2450

Zusätzlich zu dem in 4.1.3 beschriebenen Vorgehen wird hier der Luftdruck im Kanal D ausgegeben. Tabelle 4 fasst noch einmal alle Werte und Berechnungen zusammen.

	Kanal	A	B	C	D
Formel	Werte	CO2 kompensiert	Temperatur	Feuchte	Luftdruck
	16 Bit	W/2	(W-32767)/100	W/100	W/32
	0..5,12V	W*6400	(W-2,56)*128	W*128	W*400
	0..2,56V	W*12800	(W-1,28)*256	W*256	W*800
Beispiel	16 Bit	1232	34890	5039	31323
	0..5,12V	0,09625	2,72582	0,393678	2.44715
	0..2,56V	0,048125	1,36291	0,196839	1,223575
	Wert	616 ppm	21,2 °C	50,4 %	978,8 hPa

Tabelle 4: Berechnung der Werte bei einem DS2450 mit Luftdruck

5 Kalibrierung

Der Sensor SCD30 von Sensirion ist mit verschiedenen Möglichkeiten zur Kalibrierung ausgestattet. Es wird dabei zwischen *Automatic Self-Calibration* (ASC) und *Forced Recalibration* (FRC) unterschieden. Auf den Modulen kann die Kalibrierung mittels DIP Schalter gesteuert werden (siehe Bild 10).

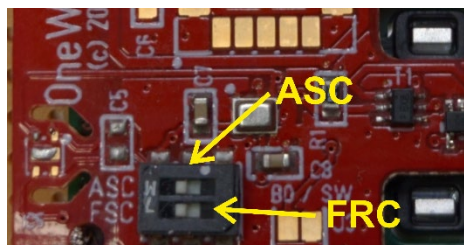


Bild 10: Dip-Schalter zur Kalibrierung

5.1 Automatic Self-Calibration (ASC)

Diese Methode benötigt regelmäßig, am besten täglich, frische Luft. Die Kalibrierung erfolgt über einen längeren Zeitraum. Sensirion empfiehlt mindestens 7 Tage. Der Schalter kann aber auch durchgehend angeschaltet bleiben.

5.2 Forced Recalibration (FRC)

Wird der FRC-Schalter (auf der Platine als FSC bezeichnet) auf ON (Punkt) geschaltet, so wird der niedrigste gemessene Wert für die CO₂-Konzentration einer Konzentration von 420 ppm gleichgesetzt. Dies gilt aber nur für einen Zeitraum von 30 min. Wichtig ist dabei, dass beim Schalten auf ON, die Stromversorgung am Sensor angeschlossen ist. Zur Kalibrierung sollte der Sensor sich in einem gut gelüfteten Raum befinden. Es kann wie folgt vorgegangen werden:

1. Sensor an die Versorgungsspannung anschließen
2. FRC-Schalter einschalten.
3. 30 min (oder länger) bei frischer Luft
4. FRC-Schalter ausschalten

Quellen

- [1] Popa, Daniel, and Florin Udrea. "Towards Integrated Mid-Infrared Gas Sensors." *Sensors (Basel, Switzerland)* vol. 19,9 2076. 4 May. 2019, doi:10.3390/s19092076
- [2] Sensirion. "Design-In guidelines for SCD30 CO₂, humidity, and temperature sensor" https://www.sensirion.com/fileadmin/user_upload/customers/sensirion/Dokumente/9.5_CO2/Sensirion_CO2_Sensors_SCD30_Design-In_Guidelines_D1.pdf
- [3] Sensirion. "Datasheet Sensirion SCD30 Sensor Module" https://www.sensirion.com/fileadmin/user_upload/customers/sensirion/Dokumente/9.5_CO2/Sensirion_CO2_Sensors_SCD30_Datasheet.pdf
- [4] Phoenix Contact PTSM series - <https://www.youtube.com/watch?v=tWeE5nETzQc>
- [5] Datenblatt HIH403X - <http://www.tm3d.de/downloads/HH403X.pdf>