



# Integration Sensoren für Lärm und NO<sub>2</sub>

- Integration in NodeMCU und Messnetz
- Auf bewährte Lösung aufsetzen
- Kosten
- Erste Ansätze



# Lärm

- Aufbauend auf bewährtem Mikrofonmodul



- Der Firma AK MODUL-BUS Computer GmbH
- Enthält: Kondensatormikrofon, Vorverstärker, A-Filter und logarithmischen Gleichrichter
- Kosten 89€ für das Mikrofonmodul; Board ohne Kondensatormikrofon 59€



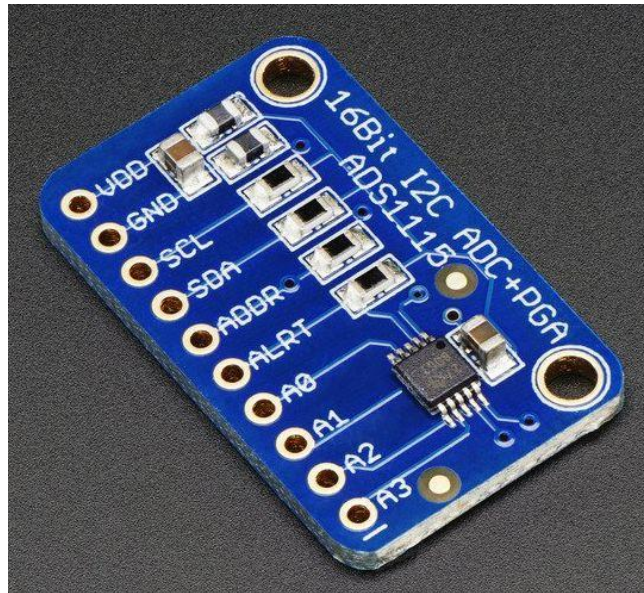
# Lärm

- Messbereich: 35 dB(A) bis 100 dB(A)
- Ausgangsspannung: ca. 1,0 V bis 2,5 V
- Betriebsspannung: 4 V bis 6 V
- Stromaufnahme: ca. 5 mA
- Anschluss über AD-Wandler an NodeMCU
  - ADS1115 über I<sup>2</sup>C an NodeMCU



# Lärm

- z.B. ADS1115 Modul von Adafruit



- 16Bit Auflösung (15 + Vorzeichen)
- 4 Kanäle (4 single or 2 differential)
- PGA von  $\pm 6.144$  V(FSR) mit  $187.5 \mu\text{V}$ (LSB) bis  $\pm 0.256$  V(FSR) mit  $7.8125 \mu\text{V}$ (LSB)
- langsam (max. 860-SPS)
- I<sup>2</sup>C mit 4 Adressen
- low cost – Modul 1,78\$ in China
- Bibliotheken für arduino, Python usw.



# Lärm

- Was wird beim Lärm gemessen?
- Schalldruckpegel A-bewertet in dB – dB(A)
- Nach DIN und entsprechenden Vorschriften sind L<sub>01</sub>, L<sub>95</sub> und L<sub>eq</sub> zu bilden
  - L<sub>95</sub> wird als Minimalwert verwendet. Es ist der Pegel, der von 95 % aller Pegel überschritten wird.
  - L<sub>01</sub> wird als Maximalwert verwendet. Es ist der Pegel, der nur noch von 1 % aller Pegel überschritten wird. Die Festlegung von L<sub>01</sub> und L<sub>95</sub> sondert "Ausreißer" in den gemessenen Pegeln aus.
  - L<sub>eq</sub> wird als Mittelwert (über die Zeit) verwendet. Es ist der energieäquivalente Mittelwert, also der Pegel, der im Mittel die gleiche Schallenergie enthält.



# Lärm

$$L_m = 10 \cdot \lg \left( \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N 10^{0,1 \cdot L_i} \right)$$



# Lärm

- Varianten in der Messung u. Berechnung
  - Variante 1: Messung alle 200ms und Abspeicherung des Wertes; vor der Übertragung Berechnung L01, L95, Leq
  - Variante 2: Messung bei jedem Loop-Durchlauf (19 ms – 30 ms) und festhalten des max. Wertes; alle 600ms Abspeicherung des max. Wertes; vor der Übertragung Berechnung L01, L95, Leq
  - Variante 2 präferiert: weniger Speicherplatz, Impulse werden besser berücksichtigt



# Lärm

- Was ist zu tun:
  - Mechanische Integration (ADS1115 Modul, Gehäuse)
  - Kalibrierung und Fehlerbetrachtung
  - Überprüfen ob die Bildung von  $L_{eq}$  bezogen auf ein Intervall von 150 s legitim ist. Für längere Zeiträume können die Werte weiter gemittelt werden
  - Realer Test mit Abspeicherung der Werte auf dem Server



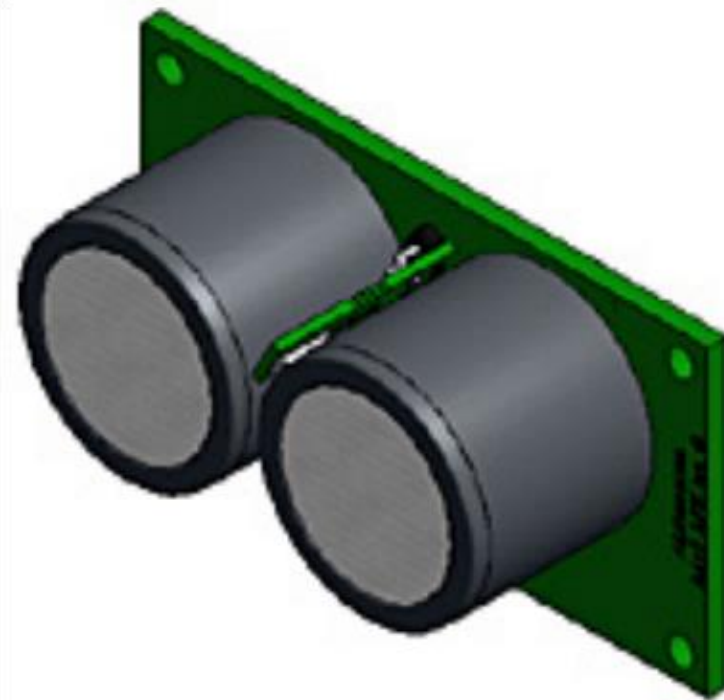


## NO<sub>2</sub>

- Die Sensoren der Firma Alphasense haben sich in einigen Untersuchungen und Projekten wohl als die sinnvollsten herausgestellt.
- 3 Exemplare des Sensors NO2-A43F und des passenden Analog Front End (AFE) sind angeschafft worden.

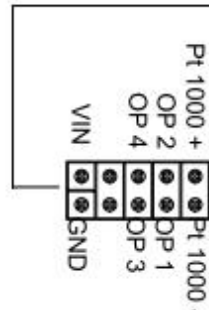
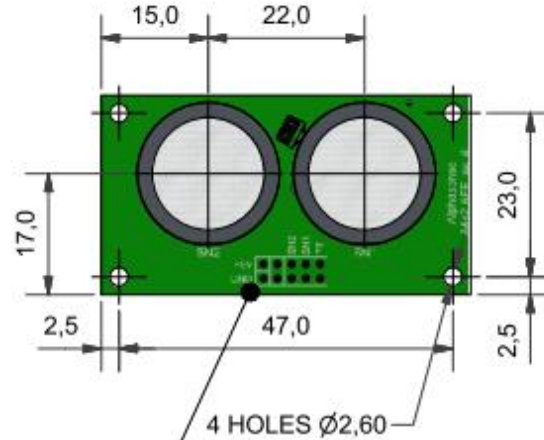


$\text{NO}_2$





# NO<sub>2</sub>



VIN	Power	
GND	Power	
OP 1	Sensor 1 (SN 1)	Working electrode
OP 2	Sensor 1 (SN 1)	Auxiliary electrode
OP 3	Sensor 2 (SN 2)	Working electrode
OP 4	Sensor 2 (SN 2)	Auxiliary electrode
Pt 1000	Pt 1000 +	See Notes
Pt 1000	Pt 1000 -	See Notes



# NO<sub>2</sub>

- Jeder Sensor wird mit dem zugehörigen AFE Board zusammen gemessen.
- Die Daten sind für die Berechnung notwendig und damit in jedem Messpunkt individuell einzugeben.



# Alphasense A4 (2-way) Air Quality Sensor Module

- Jec
- gel
- Die
- jec

Customer  
Order No  
Zero Cal Date  
AFE Serial N°  
Test Voltage  
AFE Type  
Circuit Type

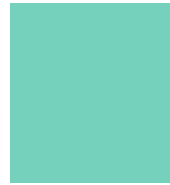
Open Knowledge Foundation
"
31-10-2017
10-000145
"
810-0021
00

Circuit Type	SN1	SN2
Type 00	NO2/O3	NO2/O3
Type 01	NO2/O3	NO
Type 02	NO2/O3	CO/SO2/H2S
Type 03	NO	CO/SO2/H2S
Type 04	CO/SO2/H2S	CO/SO2/H2S
Custom		

Sensor Type  
Serial Number  
Working electrode Zero (mV)  
WE Sensor Zero (mV)  
Total WE Zero (mV)  
AE Electronic Zero (mV)  
AE Sensor Zero (mV)  
Total AE Zero (mV)  
Sensitivity (nA/ppb)  
Sensitivity NO2 (nA/ppb)  
PCB Gain (mV/nA)  
Sensitivity (mV/ppb)  
Sensitivity (NO2 mV/ppb)

SN1	SN2
NO2-A43F	Blank
212100308	"
295	409
0	0
295	409
293	412
0	0
293	412
-0.392	"
-0.392	"
-0.73	-0.73
0.286	#VALUE!
0.286	#VALUE!

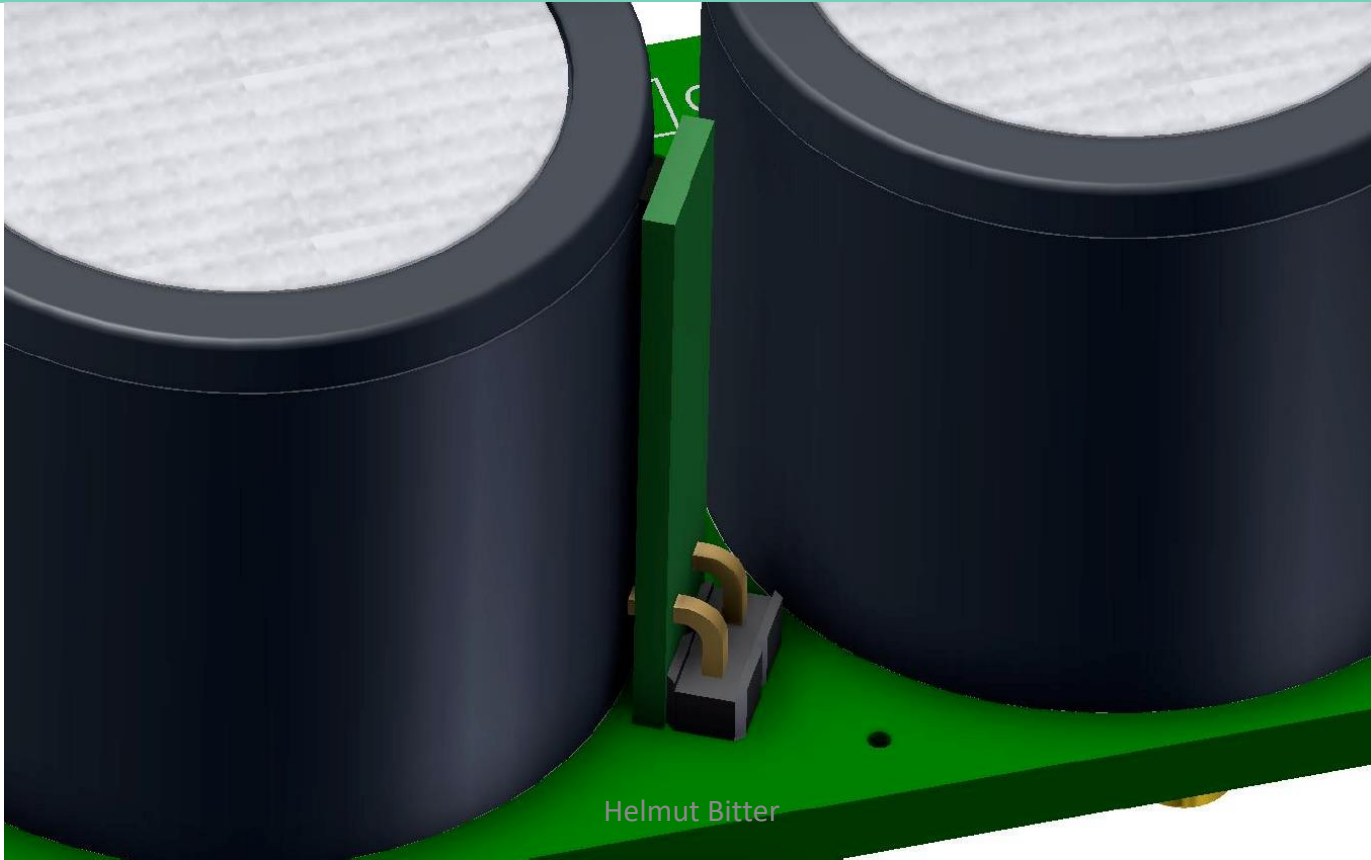
Create CSV file  
Create CSV & Print sheet  
Clear sheet



imen  
in



NO<sub>2</sub>





- **Berechnungsschritte**
  - Pt1000 Element Temperatur bestimmen
    - Alphasense empfiehlt eine Linearisierung der Pt1000 Kennlinie durch Splines im Bereich  $-30^{\circ}\text{C}$  -  $+50^{\circ}\text{C}$  – erste Realisierung mittels look-up table.
    - Alphasense empfiehlt einen Temperaturabgleich bei  $20^{\circ}\text{C}$  – erste Realisierung ohne Abgleich – Frage: Genauigkeit des Abgleichs.



# NO<sub>2</sub>

**Table 1 : Algorithms to correct the WE output for the effects of temperature**

Algorithm	Equation	Notes
1	$WE_c = WE_u - n_T * AE_u$	Directly scales the AE output. Gross under or over compensation can occur if AE <sub>u</sub> is of opposite sign to n <sub>T</sub> , or AE <sub>u</sub> is significantly smaller or larger than WE <sub>u</sub> .
2	$WE_c = WE_u - k_T * \left( \frac{WE_o}{AE_o} \right) * AE_u$	Scales AE by using the individual sensor calibration data. Gross under or over compensation will result if AE is very small or zero, or if WE <sub>cal</sub> and AE <sub>cal</sub> are of opposite signs, or the AE <sub>T</sub> output is significantly smaller or larger than the WE <sub>T</sub> output.
3	$WE_c = WE_u - (WE_o - AE_o) - k'_T AE_u$	Avoids the problem of Algorithm 2 with a zero AE <sub>o</sub> value. Gross over or under compensation can result if AE <sub>o</sub> is of opposite sign to WE <sub>o</sub> , or if AE <sub>o</sub> is significantly smaller or larger than WE <sub>o</sub> .
4	$WE_c = WE_u - WE_o - k''_T$	Correction without using the AE <sub>o</sub> result. Gross under or over compensation can occur if AE <sub>u</sub> is significantly smaller or larger than WE <sub>u</sub> .





- Weitere Berechnung:
  - Algorithmen 1 und 3 werden von Alphasense für  $\text{NO}_2$  empfohlen
  - Berechnungsschritte nach Alphasense

## Correcting measurements and calculating gas concentration

- 1 Measure the WE and AE current (or voltage) in your application.
- 2 If using Alphasense AFE boards or ISBs, subtract the WE and AE electronic offsets from both the WE and AE total outputs. On your own boards, determine the sensor output by subtracting any offsets to obtain the actual sensor output.
- 3 Determine the temperature of operation, and from this temperature select the appropriate correction factor of  $n_T$ ,  $k_T$ ,  $k'_T$  or  $k''_T$  depending on which algorithm is to be used (Table 1).
- 4 Table 1 illustrates how each equation uses a different approach for how the sensor parameters are combined. Table 2 is offered as a suggestion of which equation to use for a sensor type, but you are encouraged to explore the other models (equations) from Table 1. Each model has their own limitations and you may find your own optimum choice to better suit the conditions in which the sensor is used.
- 5 Divide the corrected WE result ( $WE_c$ ) by the sensor's sensitivity to calculate the gas concentration. If desired, developers may wish to add a further refinement to the final gas concentration value by dividing the corrected WE output ( $WE_c$ ) by a temperature corrected sensitivity instead of only the single ambient sensor sensitivity value provided. Each sensor type usually has a plot in its technical datasheet illustrating how the sensor sensitivity varies with temperature. Thus a complete temperature profile for the sensor type can be produced that corrects for background current changes (above) and sensitivity (or gain) changes due to temperature changes.

**Feinstaubsensor**ID: 1162844  
MAC: A0:20:A6:11:BE:5C  
Firmware: NRZ-2017-100-B14-NO2**Feinstaubsensor**ID: 1162844  
MAC: A0:20:A6:11:BE:5C  
Firmware: NRZ-2017-100-B14-NO2**Feinstaubsensor**ID: 1162844  
MAC: A0:20:A6:11:BE:5C  
Firmware: NRZ-2017-100-B14-NO2**Feinstaubsensor**ID: 1162844  
MAC: A0:20:A6:11:BE:5C  
Firmware: NRZ-2017-100-B14-NO2**Übersicht » Aktuelle Werte**

6 Sekunden seit der letzten Messung.

Sensor	Parameter	Wert
PMS	PM1	6.0 µg/m³
PMS	PM2.5	7.0 µg/m³
PMS	PM10	7.0 µg/m³
NO2 Sensor	NO2 Algo.1	19.7 µg/m³
NO2 Sensor	NO2 Algo.3	12.0 µg/m³
BMP280	Temperatur	26.4 °C
BMP280	Luftdruck	737.23 hPa
SHT3X	Temperatur	24.8 °C
SHT3X	rel. Luftfeuchte	40.2 %
NOISE	L01	59.1 dB(A)
NOISE	L95	29.3 dB(A)
NOISE	Leq	44.4 dB(A)
WiFi	Signal	-50 dBm
WiFi	Qualität	100 %

**Übersicht » Aktuelle Werte**

4 Sekunden seit der letzten Messung.

Sensor	Parameter	Wert
PMS	PM1	5.5 µg/m³
PMS	PM2.5	6.2 µg/m³
PMS	PM10	6.2 µg/m³
NO2 Sensor	NO2 Algo.1	5.2 µg/m³
NO2 Sensor	NO2 Algo.3	12.1 µg/m³
BMP280	Temperatur	26.4 °C
BMP280	Luftdruck	737.23 hPa
SHT3X	Temperatur	24.5 °C
SHT3X	rel. Luftfeuchte	41.6 %
NOISE	L01	92.0 dB(A)
NOISE	L95	29.4 dB(A)
NOISE	Leq	71.8 dB(A)
WiFi	Signal	-52 dBm
WiFi	Qualität	96 %

**Übersicht » Aktuelle Werte**

5 Sekunden seit der letzten Messung.

Sensor	Parameter	Wert
PMS	PM1	6.2 µg/m³
PMS	PM2.5	7.5 µg/m³
PMS	PM10	7.5 µg/m³
NO2 Sensor	NO2 Algo.1	6.5 µg/m³
NO2 Sensor	NO2 Algo.3	5.3 µg/m³
BMP280	Temperatur	26.4 °C
BMP280	Luftdruck	737.23 hPa
SHT3X	Temperatur	24.6 °C
SHT3X	rel. Luftfeuchte	41.2 %
NOISE	L01	60.7 dB(A)
NOISE	L95	26.4 dB(A)
NOISE	Leq	45.8 dB(A)
WiFi	Signal	-50 dBm
WiFi	Qualität	100 %

**Übersicht » Aktuelle Werte**

5 Sekunden seit der letzten Messung.

Sensor	Parameter	Wert
PMS	PM1	6.7 µg/m³
PMS	PM2.5	7.0 µg/m³
PMS	PM10	7.0 µg/m³
NO2 Sensor	NO2 Algo.1	5.8 µg/m³
NO2 Sensor	NO2 Algo.3	4.6 µg/m³
BMP280	Temperatur	26.4 °C
BMP280	Luftdruck	737.23 hPa
SHT3X	Temperatur	24.3 °C
SHT3X	rel. Luftfeuchte	41.8 %
NOISE	L01	59.2 dB(A)
NOISE	L95	26.9 dB(A)
NOISE	Leq	44.7 dB(A)
WiFi	Signal	-50 dBm
WiFi	Qualität	100 %



# NO<sub>2</sub>

- Ergebnisse des Urban AirQ Projekts  
Amsterdam auswerten und einfließen lassen

1304

B. Mijling et al.: Field calibration of electrochemical NO<sub>2</sub> sensors

Table 2. Regression models for NO<sub>2</sub>.

Model A	$\text{NO}_2 = c_0 + c_1 \cdot S_{\text{WE}} + c_2 \cdot S_{\text{AE}}$	Linear combination of working electrode and auxiliary electrode
Model B	$\text{NO}_2 = c_0 + c_1 \cdot S_{\text{WE}} + c_2 \cdot S_{\text{AE}} + c_4 \cdot \text{RH}$	Relative humidity correction
Model C	$\text{NO}_2 = c_0 + c_1 \cdot S_{\text{WE}} + c_2 \cdot S_{\text{AE}} + c_3 \cdot T$	Temperature correction
Model D	$\text{NO}_2 = c_0 + c_1 \cdot S_{\text{WE}} + c_2 \cdot S_{\text{AE}} + c_3 \cdot T + c_4 \cdot \text{RH}$	Temperature and RH correction
Model E	$\text{NO}_2 = c_0 + c_1 \cdot S_{\text{WE}} + c_2 \cdot S_{\text{AE}} + c_3 \cdot T + c_4 \cdot \text{RH} + c_5 \cdot \text{O}_3$	Correction for temperature, RH, and ozone cross-sensitivity



NO<sub>2</sub>

- Was ist noch zu tun:
  - Empfindlichkeit Spannungsversorgung überprüfen
  - Mechanischer Aufbau (Board, Gehäuse)
  - Realer Test mit Abspeicherung der Werte auf dem Server um Vergleichswerte zu gewinnen
  - ...