

DNMS – Digital Noise Measurement Sensor

Beschreibung

und

Bauanleitung

Stand: 23.10.2020

Inhalt

1.	Einführung.....	8
2.	Hardware.....	11
2.1	Hardware Übersicht.....	11
2.1.1	Digitales Mikrofon ICS-43434.....	11
2.1.2	Verbindung ICS-43434 und Mikrocontroller Teensy 4.0.....	11
2.1.3	I ² C Anschluss an Kommunikationsprozessor.....	13
2.1.4	I ² C Extended Bus.....	13
2.1.5	Spannungsversorgung ICS-43434 und Teensy 4.0.....	14
2.1.6	USB Audio Funktion.....	15
2.2	PCBs.....	16
2.2.1	Airrohr-PCB-V1.4.....	18
2.2.1.1	Übersicht.....	18
2.2.1.2	Eigenschaften.....	18
2.2.1.3	Anschlüsse und Bestückung.....	19
2.2.1.3.1	J1 SDS011 Feinstaubsensor Anschlussbuchse (optional).....	19
2.2.1.3.2	J2, J3 Schraubterminal für externe 5V Spannungsversorgung (optional).....	20
2.2.1.3.3	J4 DHT22 Anschluss (optional).....	21
2.2.1.3.4	J5 SPS30 Feinstaubsensor Anschlussbuchse (optional).....	21
2.2.1.3.5	J6, J7 I ² C 5V Anschlüsse weitere Sensoren (optional).....	22
2.2.1.3.6	J8, J9 I ² C 3,3V Anschlüsse weitere Sensoren (optional).....	22
2.2.1.3.7	J10 I ² C Extended Anschluss für DNMS (optional).....	23
2.2.1.3.8	J11/J12 I ² C Extended Anschluss DNMS über RJ12 Buchse (optional).....	23
2.2.1.3.9	C1 keramischer Kondensator 100nF.....	23
2.2.1.3.10	R1 10K Pull-up Widerstand für DHT22 (optional).....	24
2.2.1.3.11	R2, R3 4,7k Pull-up Widerstände für I ² C Bus (optional).....	24
2.2.1.3.12	R4, R5 Pull-up Widerstände 330 Ohm für I ² C Extended Bus (optional).....	25
2.2.1.3.13	U1/U2 NodeMCU V2 oder V3.....	25
2.2.1.3.14	U3/U4 P82B715 IC für I ² C Extended Bus (optional).....	26
2.2.1.4	Schaltplan.....	27
2.2.1.5	Stückliste.....	28
2.2.2	DNMS-T4.0-V1.4.....	30
2.2.2.1	Übersicht.....	30
2.2.2.2	Eigenschaften.....	30

2.2.2.3	Anschlüsse und Bestückung.....	31
2.2.2.3.1	J1 Jumper/Brücke Verbindung VUSB – VIN	31
2.2.2.3.2	J2 2x3-poliger Mikrofon Anschluss	31
2.2.2.3.3	J3 I ² C Anschluss (optional)	32
2.2.2.3.4	J4 3,3V Anschluss (optional)	33
2.2.2.3.5	J5/J6 I ² C Extended Anschluss DNMS über RJ12 Buchse	34
2.2.2.3.6	C1, C2, C3 keramische Kondensatoren 100nF	34
2.2.2.3.7	R1, R2 4,7k Pull-up Widerstand für internen I ² C Bus.....	35
2.2.2.3.8	U1 Teensy4.0 Board	35
2.2.2.3.9	U2/U3 P82B715 IC für I ² C Extended Bus.....	36
2.2.2.4	Schaltplan.....	37
2.2.2.5	Stückliste	38
2.2.3	DNMS-T4.0+NodeMCU-V1.4	40
2.2.3.1	Übersicht.....	40
2.2.3.2	Eigenschaften.....	41
2.2.3.3	Anschlüsse und Bestückung.....	41
2.2.3.3.1	J1 2x3-poliger Mikrofon Anschluss	41
2.2.3.3.2	J2 Jumper/Brücke Verbindung VUSB – VIN	42
2.2.3.3.3	J3 I ² C Anschluss (optional)	43
2.2.3.3.4	J4 SPS30 Feinstaubsensor Anschlussbuchse (optional).....	43
2.2.3.3.5	C1, C2, C3 keramische Kondensatoren 100nF	44
2.2.3.3.6	R1, R2 4,7k Pull-up Widerstand für I ² C Bus.....	45
2.2.3.3.7	U1/U2 NodeMCU V2 oder V3	45
2.2.3.3.8	U3 Teensy 4.0.....	46
2.2.3.4	Schaltplan.....	47
2.2.3.5	Stückliste	48
3.	Software	50
3.1	Teensy Audio Library	50
3.2	I ² C Kommunikation.....	50
3.2.1	I ² C Kommandos	51
3.2.1.1	Reset (0x0001)	51
3.2.1.2	Read Version (0x0002)	52
3.2.1.3	Calculate LEQ (0x0003)	52
3.2.1.4	Read Data Ready (0x0004).....	52
3.2.1.5	Read LEQ (0x0005)	52
3.3	GitHub DNMS Software Repository	53

4.	Bauanleitung	54
4.1	Mikrofoneinheit	54
4.1.1	Gehäuseteil für die Mikrofoneinheit	55
4.1.2	Montage und Ausgießen des Mikrofonrohres	59
4.1.3	Stückliste Mikrofoneinheit	62
4.2	Gehäuse.....	63
4.2.1	Gehäuse für die Varianten 1.....	63
4.2.1.1	Stückliste Gehäuse Variante 1	67
4.2.2	Gehäuse für die Variante 2.....	68
4.2.2.1	Stückliste Gehäuse Variante 2	72
4.3	Aufspielen der Firmware (Flashen)	73
4.3.1	Flashen NodeMCU Board	73
4.3.2	Flashen Teensy Board.....	73
4.4	Zusammenbau der Elektronik und erster Test.....	76
4.5	Montage der Elektronik im Gehäuse	76
4.6	Wetterschutz Gehäuse und Mikrofon.....	77
4.7	Hinweise zur Anbringung	78
4.8	Integration in das Sensor.community Netz.....	81
5.	Lizenzbestimmungen.....	84
6.	Änderungs Historie.....	85

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 DNMS getrennt vom Kommunikations-Prozessor	9
Abbildung 2 DNMS zusammen mit Kommunikations-Prozessor	9
Abbildung 3 Funktionsblöcke ICS-43434.....	11
Abbildung 4 Verbindung Teensy 4.0 - ICS-43434.....	12
Abbildung 5 I ² C Extended Bus - Ausschnitt Datenblatt P82B715	14
Abbildung 6 Teensy 4.0 Auftrennen VIN von VUSB	15
Abbildung 7 Airrohr Board und DNMS T4.0 Board mit weiteren Sensoren	17
Abbildung 8 DNMS-T4.0+NodeMCU-V1.4 mit SPS30 und Temperatursensor	17
Abbildung 9 Airrohr-PCB-V1.4.....	18
Abbildung 10 J1 SDS011 Anschlussbuchse.....	19
Abbildung 11 passendes Kabel vom SDS011.....	19
Abbildung 12 SDS011 und Airrohr-PCB-V1.4 zu einer Einheit verbunden.....	20
Abbildung 13 J2, J3 externe Spannungsversorgung.....	20
Abbildung 14 J4 DHT22 Anschluss	21
Abbildung 15 J5 SPS30 Anschlussbuchse	21
Abbildung 16 J6, J7 I ² C Anschlüsse 5V.....	22
Abbildung 17 J8, J9 I ² C Anschlüsse 3,3V.....	22
Abbildung 18 I ² C Extended Anschluss für DNMS über Stiftleiste	23
Abbildung 19 J11/J12 I ² C Extended Anschluss DNMS über RJ12 Buchse	23
Abbildung 20 C1 keramischer Kondensator 100nF.....	24
Abbildung 21 R1 10k Pull-up Widerstand für DHT22.....	24
Abbildung 22 R2, R3 4,7k Pull-up Widerstände für I ² C Bus	25
Abbildung 23 R4, R5 330 Ohm Pull-up Widerstände für I ² C Extended Bus	25
Abbildung 24 U1/U2 NodeMCU V2 od. V3	26
Abbildung 25 U3/U4 P82B715 IC für I ² C Extended Bus	26
Abbildung 26 Airrohr-PCB-V1.4 Schaltplan	27
Abbildung 27 DNMS-T4.0-V1.4 PCB	30
Abbildung 28 J2 3x3-poliger Mikrofon Anschluss	32
Abbildung 29 2x3-polige abgewinkelte Stiftleiste mit Wanne.....	32
Abbildung 30 J3 I ² C Anschluss (optional)	33
Abbildung 31 J4 3,3V Anschluss (optional)	33
Abbildung 32 J5/J6 I ² C Extended Anschluss DNMS über RJ12 Buchse	34
Abbildung 33 C1, C2, C3 keramische Kondensatoren 100nF	34
Abbildung 34 R1, R2 4,7k Pull-up Widerstand für internen I ² C Bus.....	35
Abbildung 35 U1 Teensy 4.0 Board	35
Abbildung 36 U2/U3 P82B715 IC für I ² C Extended Bus.....	36
Abbildung 37 Schaltplan DNMS-T4.0-V1.4.....	37
Abbildung 38 DNMS-T4.0+NodeMCU-V1.4 PCB Frontseite.....	40
Abbildung 39 DNMS-T4.0+NodeMCU-V1.4 Rückseite	40
Abbildung 40 J1 2x3-poliger Mikrofon Anschluss	41
Abbildung 41 2x3-polige abgewinkelte Stiftleiste mit Wanne.....	42
Abbildung 42 Jumper/Brücke Verbindung VUSB – VIN	42
Abbildung 43 J3 I ² C Anschluss (optional)	43
Abbildung 44 J4 SPS30 Feinstaubsensor Anschlussbuchse (optional).....	44
Abbildung 45 C1 keramischer Kondensator 100nF.....	44
Abbildung 46 C2, C3 keramischer Kondensatoren 100nF.....	44
Abbildung 47 R1/R2 4,7k Pull-up Widerstände.....	45

Abbildung 48 U1/U2 NodeMCU V2 oder V3	45
Abbildung 49 U3 Teensy 4.0.....	46
Abbildung 50 Schaltplan DNMS-T4.0+NodeMCU-V1.4.....	47
Abbildung 51 Namenskonvention DNMS Software Versionen.....	52
Abbildung 52 Vorder- und Rückseite des Pesky ICS-43434 Boards	55
Abbildung 53 Pesky Board akustischer Einlass unbestückte Seite	56
Abbildung 54 Pesky Board von unbestückter Seite abkleben	56
Abbildung 55 Pesky Board mit Klebeband gegen Staub geschützt.....	57
Abbildung 56 Abfeilen der Ecken am Pesky Board	57
Abbildung 57 Kabel am Breakout Board anlöten.....	58
Abbildung 58 Beispiel 1/2 Zoll Kunststoffrohr	58
Abbildung 59 Pesky Board wieder abkleben und Rohr aufsetzen.....	59
Abbildung 60 Festdrücken des Klebebandes am Rohr.....	59
Abbildung 61 Einfüllen der Vergussmasse bis ca. 5mm vor dem Rohrende	60
Abbildung 62 fertig ausgegossenes Mikrofonrohr.....	61
Abbildung 63 Einzelteile 25mm Elektro-Installationsrohr	63
Abbildung 64 zusammengesteckte Einzelteile 25mm Elektro-Installationsrohr	63
Abbildung 65 Verbindung mit RJ12 Telefonkabel.....	64
Abbildung 66 Fixierung USB Kabel mit Klebeband.....	64
Abbildung 67 Teensy und Mikrofon vorbereitet für Montage	65
Abbildung 68 Beispiel M25 IP68 Kabelverschraubung aus dem Baumarkt	65
Abbildung 69 fertig montiertes DNMS.....	65
Abbildung 70 Zugentlastung für die Kabel am Ende des 90° Bogens	66
Abbildung 71 DNMS–T4.0+NodeMCU V1.4 mit SPS30 und SHT85.....	68
Abbildung 72 DN40/DN50 HT Rohrteile.....	69
Abbildung 73 M20 IP68 Kabelverschraubung eingeklebt in Muffenstopfen.....	69
Abbildung 74 Montage SPS30 u. Temperatursensor	70
Abbildung 75 Montage SPS30 am Ende des HT DN50 Bogens	70
Abbildung 76 montiertes DN40/DN50 Gehäuse.....	71
Abbildung 77 Download DNMS Repository	73
Abbildung 78 Teensy auf DNMS Board vorbereitet zum Flashen.....	74
Abbildung 79 Teensy vorbereitet zum Flashen.....	74
Abbildung 80 Teensy Loader gestartet	74
Abbildung 81 Teensy Loader nach Auswahl des HEX-Files	75
Abbildung 82 Teensy im Programmier Mode	75
Abbildung 83 Teensy4.0 Testausgabe über USB.....	76
Abbildung 84 Schaumstoff Wind- und Wetterschutz	78
Abbildung 85 Mikrofon Anbringung Beispiel 1	79
Abbildung 86 Mikrofon Anbringung Beispiel 2	79
Abbildung 87 Mikrofon Anbringung Beispiel 3	80
Abbildung 88 Mikrofon Anbringung Beispiel 4	80
Abbildung 89 Konfiguration DNMS im Web-Server Frontend NodeMCU	81
Abbildung 90 Ausgabe der DNMS Werte auf der lokalen Webseite	82
Abbildung 91 Sensor.community Map Darstellung DNMS Werte.....	83
Abbildung 92 Konfiguration Datenübertragung zu einer InfluxDB.....	84

1. Einführung

Das DNMS (Digital Noise Measurement Sensor) ist ein Sensor-Modul zur Schallpegelmessung. Es ist auf die kontinuierliche Messung von Umgebungslärm hin ausgerichtet und optimiert. Die gemessenen Werte werden über eine I²C Schnittstelle an einen abfragenden Mikrocontroller zur Weiterverarbeitung übertragen.

Das zentrale Element des DNMS ist ein digitales MEMS-Mikrofon (TDK InvenSense ICS-43434). Ein Mikrocontroller-Board (Teensy 4.0 / Teensy 3.6) übernimmt die digitalen Daten vom Mikrofon über die I²S Schnittstelle als 16-Bit, 44,1 kHz PCM Daten. Die Audiodaten werden über einen digitalen A-Filter bewertet, dann wird der Effektivwert bestimmt und daraus der Schalldruckpegel entsprechend der Mikrofonsensitivität berechnet. Die einzelnen Schalldruckpegelwerte werden zu einem fortlaufenden L_{Aeq}-Wert weitergerechnet.

In der vorliegenden Version liefert der Sensor folgende 3 Schallpegel-Messwerte jeweils über eine Taktzeit. Die Taktzeit kann zwischen 1 und 3600 sec liegen und wird vom abfragenden Mikrocontroller bestimmt:

- **L_{Aeq}**: Der äquivalente Dauerschallpegel A-bewertet. Dies ist die über die Zeit gemittelte Schallenergie. Der L_{Aeq} ist der wesentliche Messwert bei Lärmmessungen. Grenzwerte aus Richtlinien, Verordnungen und Gesetzen beziehen sich meist auf den L_{Aeq}.
- **L_{Amax}**: Höchster Einzelpegel innerhalb des Taktes, wobei die interne Taktrate eines Einzelpegels 35 Millisekunden beträgt
- **L_{Amin}**: Niedrigster Einzelpegel innerhalb des Taktes, wobei die interne Taktrate eines Einzelpegels 35 Millisekunden beträgt

Aus dem L_{Aeq} können die üblichen Mittelwerte wie Stundenmittel, Tagesmittel, Tages- und Nachtmittel oder der EU-Indexwert L_{den} gebildet werden.

Die Entwicklung des Sensors erfolgte in enger Zusammenarbeit mit der Hochschule für Technik Stuttgart. Im Akustiklabor erfolgten Vergleichsmessungen zwischen mehreren Versionen des Lärmsensors und einem Klasse 1 Referenz-Messgerät des Instituts. In einer iterativen Vorgehensweise wurden die Signale des Mikrofons mit Hilfe von Software so angepasst, dass die zur Messung des Umgebungslärms notwendigen Anforderungen erreicht werden konnten. Dies war eine zeitaufwändige aber wichtige Arbeit, da die Rohwerte der MEMS-Mikrofone diese Anforderungen bei weitem nicht erfüllen können. Diese spezielle auf einen Mikrontyp ausgerichtete Anpassung entscheidet über die Qualität der gemessenen Werte für den angestrebten Zweck.

Die Idee zur Entwicklung des Sensors entstand aus dem Projekt der [Sensor.community](https://sensor.community) (vormals luftdaten.info) als Erweiterung der Feinstaubmessungen um die Messung von Umgebungslärm. Daher werden die vom DNMS gemessenen Werte an den Kommunikations-Prozessor der Sensor.community übertragen und auf den Servern des Netzwerkes gespeichert, ausgewertet, visualisiert und archiviert. Dies erfolgt in ähnlicher Weise wie bei den bereits bewährten Messungen von Feinstaub, wobei die Auswertungen

selbstverständlich zusätzlich auf die akustischen Anforderungen ausgerichtet sind. Dazu gibt es z.B. diese spezielle [Anwendung](#).

Der Sensor kann sowohl in Verbindung mit einem Feinstaubsensor betrieben werden oder als eigenständiger Lärmsensor. Im ersten Fall enthält er nur die Mikrofoneinheit und den Akustik-Prozessor und nutzt über ein Datenkabel (I²C-Bus) den Kommunikationsprozessor des Feinstaubensors, im zweiten Fall ist der Kommunikations-Prozessor im Lärmsensor mit enthalten.

Die beiden folgenden Abbildungen geben eine Übersicht über diese beiden möglichen Konfigurationen.

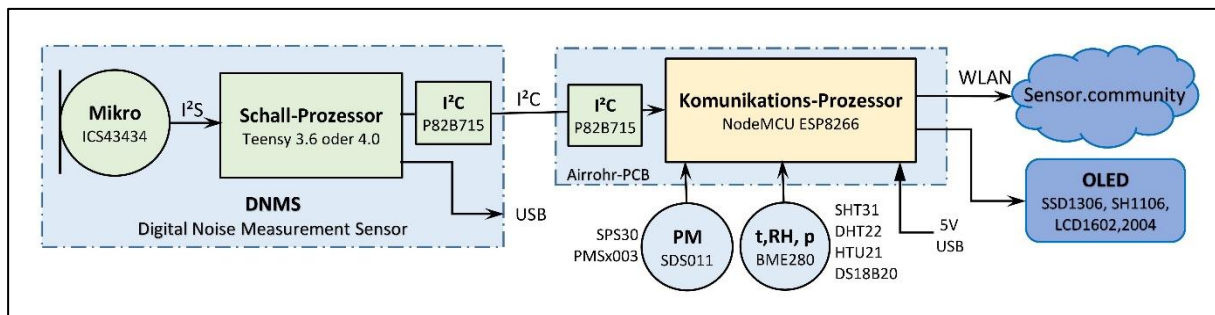


Abbildung 1 DNMS getrennt vom Kommunikations-Prozessor

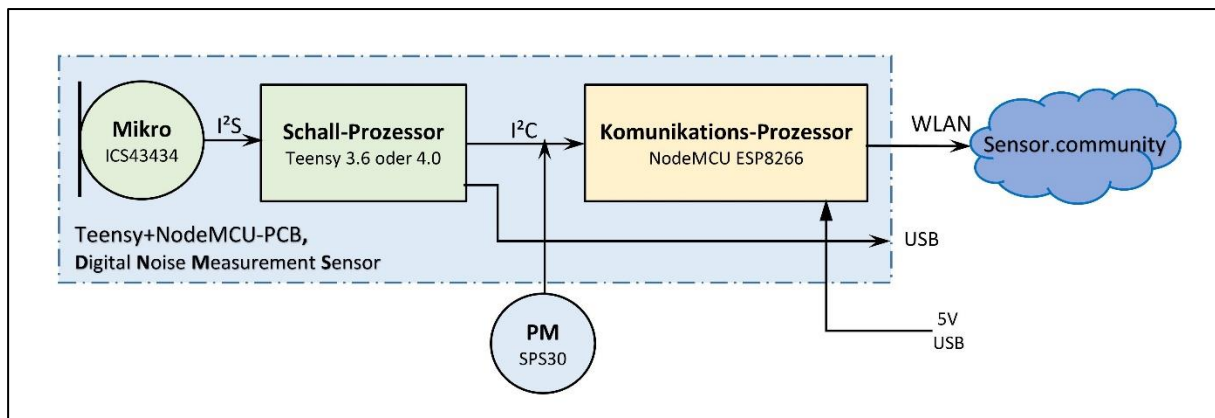


Abbildung 2 DNMS zusammen mit Kommunikations-Prozessor

Besonderer Wert wurde auch auf ein wetterfestes Gehäuse gelegt, denn nur so sind kontinuierliche Umgebungslärmessungen überhaupt sinnvoll möglich. Aufgrund dieses modularen Konzepts und insbesondere aufgrund der hohen Leistungsfähigkeit des Teensy Boards sind künftig auch komplexe funktionale Erweiterungen möglich. Geplant sind insbesondere die zusätzliche Ausgabe von $L_{Ceq, min.}$ und $L_{Ceq, max.}$ L_C -Werten sowie die Werte einer Frequenzanalyse (FFT-Analyse). Denkbar wären auch Analysen zur Erkennung von Lärmarten, ggf. auch mit Hilfe von Methoden der KI.

In den Versionen 2.x des Manuals wird nur noch auf die aktuellen Boards auf Basis von Teensy 4.0 eingegangen. Die früheren Versionen auf Basis Teensy 3.6 sind im Manual Version 1.1 beschrieben.

Im Folgenden werden die Funktion und der Aufbau des DNMS und die zum Anschluss an das Sensor.community Netz erforderlichen Board-Versionen sowie die empfohlenen Gehäuse auf der Basis von Baumarktartikeln im Detail beschrieben. Denkbar wären auch Gehäuse auf der Basis von 3-D-Druck. Dafür gibt es Prototypen der Firma Cirp (Heimsheim), die jedoch noch auf Wetterfestigkeit erprobt werden müssen und daher in diesem Manual nicht beschrieben werden.

Auf [Sensor.community](https://www.sensor.community) ist eine Bauanleitung in englischer Sprache zu finden.

2. Hardware

2.1 Hardware Übersicht

2.1.1 Digitales Mikrofon ICS-43434

Das digitale Mikrofon ICS-43434 enthält alle notwendigen Funktionen um aus dem eintreffenden Schall ein digitales Signal zu erzeugen und über eine I²S Schnittstelle an einen Mikrocontroller zu übertragen.

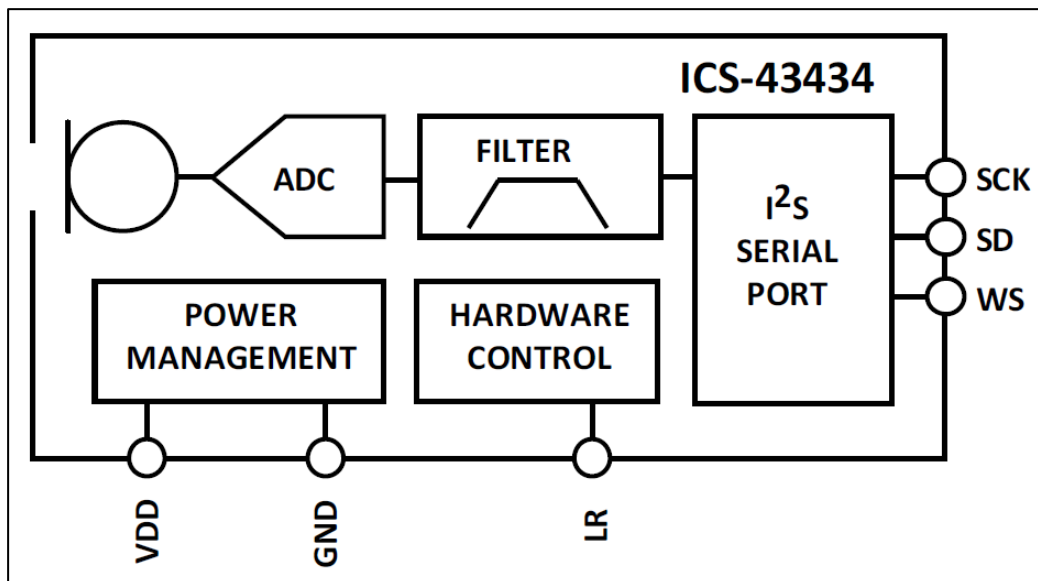


Abbildung 3 Funktionsblöcke ICS-43434

Das ICS-43434 arbeitet als I²S-Slave, das Mikrocontroller Board Teensy 4.0 arbeitet als I²S-Master.

Mit dem ICS-43434 beginnt in dieser Konfiguration der untere Messbereich für den L_{Aeq} bei ca. 38 dBA. Das obere Ende des Messbereichs liegt beim AOP (Absolut Overload Point) des Mikrofons bei 120 dB. Die ICS-43434 Mikrofone sind vom Hersteller mit ± 1 dB Abweichung spezifiziert d.h. eine Kalibrierung ist im Rahmen dieser Abweichung nicht notwendig. Weitere Informationen zum TDK InvenSense ICS-43434 finden sich auf der Web-Seite von TDK InvenSense unter: <https://invensense.tdk.com/products/ics-43434/>

2.1.2 Verbindung ICS-43434 und Mikrocontroller Teensy 4.0

Die Verbindung der beiden Komponenten zeigen die

[Abbildung 4 Verbindung Teensy 4.0 - ICS-43434](#) als auch die [Tabelle 1 Verbindung ICS-43434 - Teensy 4.0.](#)

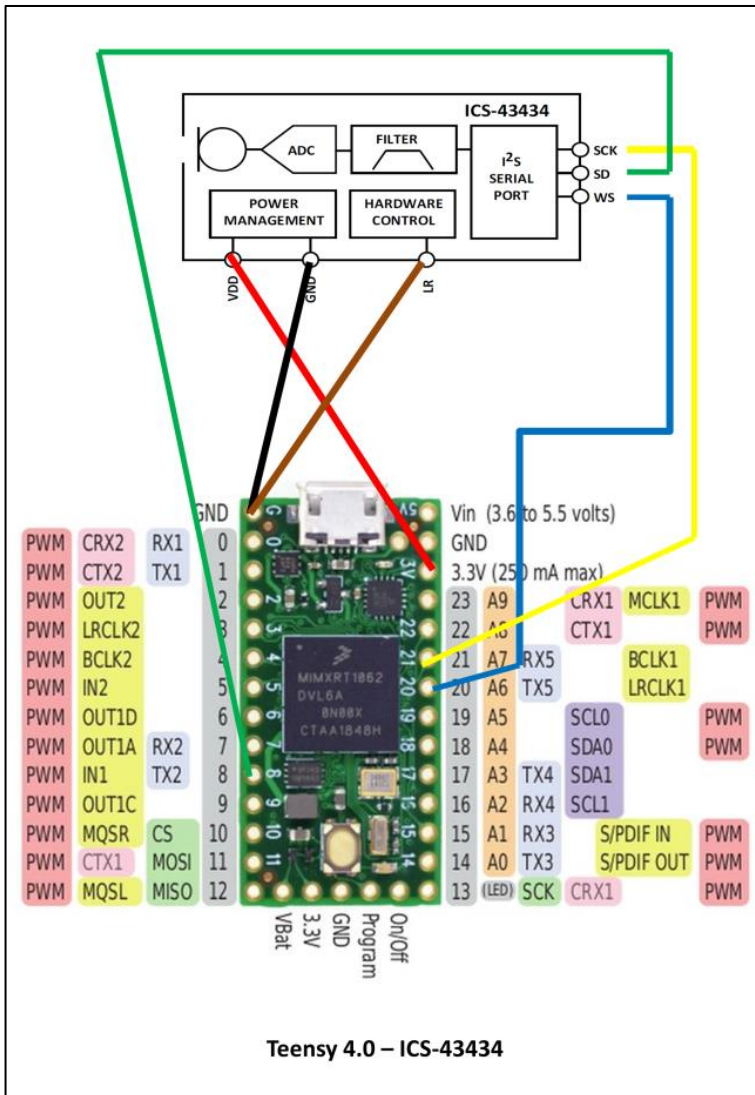


Abbildung 4 Verbindung Teensy 4.0 - ICS-43434

ICS-43434	Teensy 4.0	
Signal	Signal	PIN
GND	GND	GND
VDD	3.3V	3.3V
L/R	GND	GND
WS	LRCLK1	20
SD	IN1	8
SCK	BCLK1	21

Tabelle 1 Verbindung ICS-43434 - Teensy 4.0

L/R mit GND verbunden bedeutet in der I²S Verbindung das linke Signal.

Weitere Informationen zum Mikrocontroller Board Teensy 4.0 sind unter <https://www.pjrc.com/teensy-4-0/> zu finden.

2.1.3 I²C Anschluss an Kommunikationsprozessor

Der Anschluss an einen Kommunikationsprozessor erfolgt über eine I²C Schnittstelle, wobei das DNMS als Slave arbeitet und der Kommunikationsprozessor als Master. Die folgende Tabelle zeigt die Verbindung zu einem NodeMCU ESP8266 V2 oder V3 Board als Kommunikationsprozessor.

Teensy 4.0		NodeMCU ESP8266 V2 od. V3	
Signal	PIN	Signal	PIN
GND	GND	GND	GND
SCL0	19	SCL	D4 (GPIO2)
SDA0	18	SDA	D3 (GPIO0)

Tabelle 2 Verbindung Teensy 4.0 - NodeMCU ESP8266 V2 od. V3

Die I²C-Adresse für das DNMS ist 0x55H.

SCL und SDA Leitung jeweils mit einem 4,7KOhm Pull-up Widerstand an 3,3V anschließen.

Die übliche Leitungslänge von I²C Verbindungen sollte 250mm nicht überschreiten. Falls eine längere Verbindung zwischen DNMS und Kommunikationsprozessor notwendig ist, um das Mikrofon in eine gute Position zu bringen, kann ein I²C Extended Bus (I²C Bus-Verlängerung) eingesetzt werden.

2.1.4 I²C Extended Bus

Ein I²C Extended Bus (I²C Bus-Verlängerung) kann z.B. mit den Standard Bausteinen P82B715 erfolgen. Der nachfolgende Ausschnitt aus dem Datenblatt des ICs P82B715 zeigt das Prinzip des I²C Extended Bus.

9.2 Typical Application

By using two (or more) P82B715 devices, a subsystem can be built that retains the interface characteristics of a normal I²C device so that the subsystem may be included in, or added to, any I²C or related system.

The subsystem features a low-impedance or buffered bus capable of driving large wiring capacitance (see Figure 4).

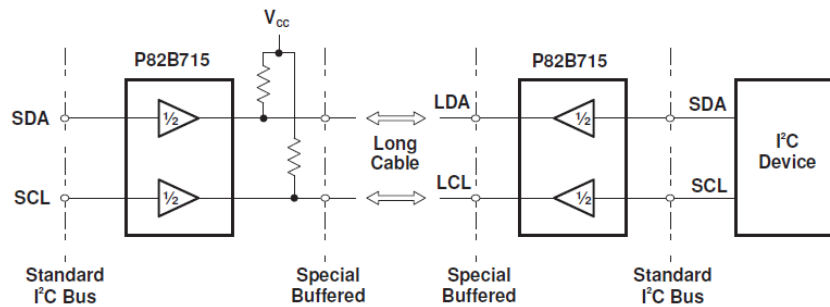


Figure 4. Minimum Subsystem Diagram

9.2.1 Design Requirements

Table 1 lists the design parameters for this example.

Table 1. Design Parameters

PARAMETER	DESCRIPTION	VALUE
V_{CC}	Supply Voltage	3.3 V
C_{Lx}	Capacitance on the Lx / Ly bus	3000 pF
R_{PU_Sx}	Pullup resistor for the Sx / Sy bus	4700 Ω
R_{PU_Lx}	Pullup resistor for the Lx / Ly bus	330 Ω

2.1.5 Spannungsversorgung ICS-43434 und Teensy 4.0

Die Spannungsversorgung des ICS-43434 erfolgt vom Teensy 4.0 Board aus mit 3,3V wie im Diagramm gezeigt. Das Teensy 4.0 Board wird normalerweise über die USB-Schnittstelle mit 5V versorgt. Um dies zu ändern, ist die Verbindung VIN zu VUSB zu trennen entsprechend der Abbildung 6 Teensy 4.0 Auftrennen VIN von VUSB. Die Versorgung erfolgt mit 5V an VIN vom Kommunikationsprozessor aus. Um das Teensy Board auch ohne Versorgung vom Kommunikationsprozessor zu betreiben, ist es sinnvoll VIN und VUSB über zwei kurze Verbindungen zu einem Jumper zu führen. Über den Jumper kann dann die Verbindung zur Versorgung des Teensy 4.0 Boards über USB durch eine Steckbrücke erfolgen z.B. zum Flashen des Boards.

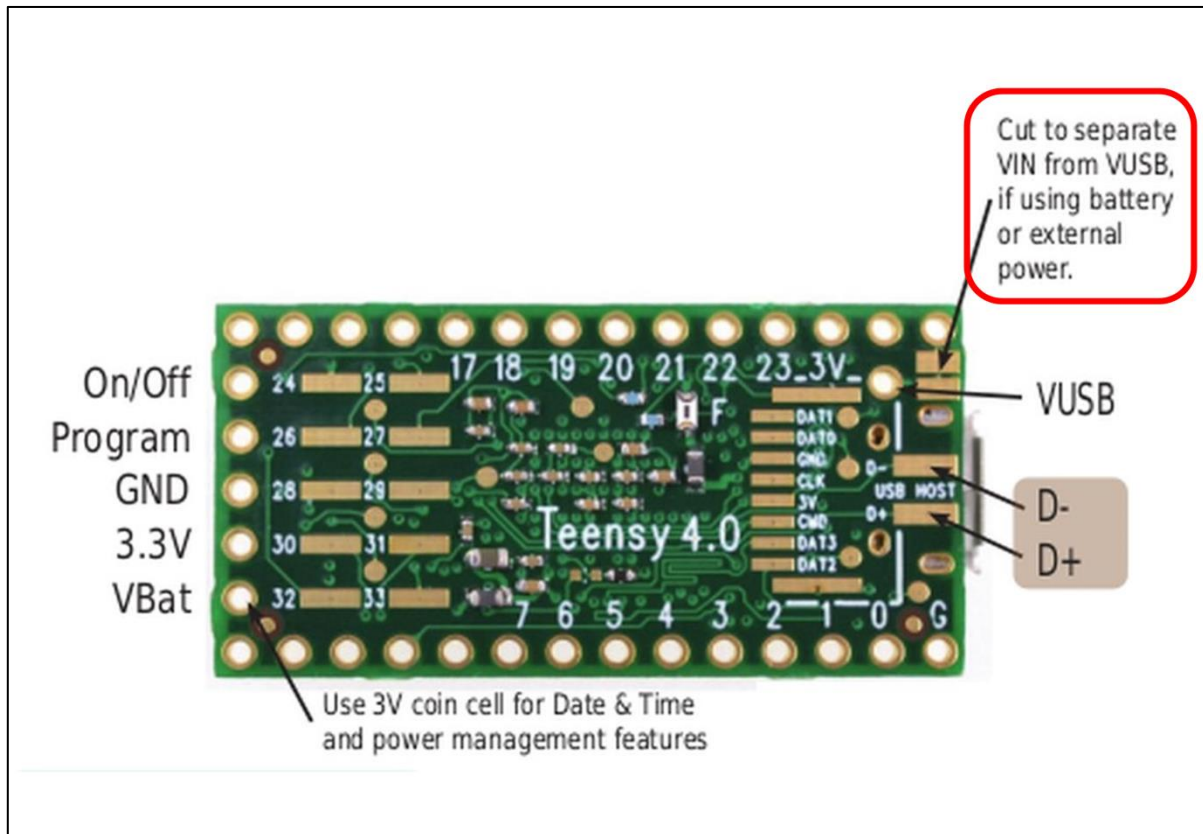


Abbildung 6 Teensy 4.0 Auftrennen VIN von VUSB

2.1.6 USB Audio Funktion

Die eingesetzte Teensy Audio Library bietet die Möglichkeit, dass das Teensy Board sich als USB Audio Device verhält. Es wird dann das A-gefilterte Signal des Mikrofons über die USB-Schnittstelle ausgegeben. Dies Signal kann dann z.B. über einen angeschlossenen PC zur weiteren Auswertung aufgenommen werden. Hierfür eignet sich z. B. das Open Source Tool [Audacity](#). Es wird ein PCM-Signal mit 16-Bit und 44,1 kHz ausgegeben. Hierbei sollte, wie unter [2.1.5](#) beschrieben, die Verbindung VIN – VUSB aufgetrennt sein, wenn die Versorgung durch den Kommunikationsprozessor erfolgt.

2.2 PCBs

Der Begriff PCB steht im Englischen für Printed Circuit Board was im Deutschen Leiterplatte, gedruckte Schaltung oder auch Platine bedeutet. Im Verlauf des Projektes sind verschiedene PCBs entstanden und stehen auf GitHub zur Verfügung.

Im Folgenden werden nur die aktuellen Versionen basierend auf Teensy 4.0 beschrieben. Die älteren Versionen auf Basis Teensy 3.6 sind in der Version 1.1 des Manuals beschrieben, das weiterhin auf GitHub verfügbar ist. Ebenso sind alle Unterlagen zu den älteren PCBs weiterhin auf GitHub verfügbar.

- **Airrohr-PCB-V1.4**
PCB für NodeMCU ESP8266 Kommunikationsprozessor mit I²C Bus-Verlängerung zum Anschluss des DNMS und Möglichkeit andere Sensoren (SDS011, SPS30 u.a. über I²C) anzuschließen.
- **DNMS-T4.0-V1.4**
PCB für DNMS Teensy 4.0 zum Anschluss des ICS-43434 Mikrofons und Anschluss an einen Kommunikations-Mikrocontroller über I²C (mit oder ohne Bus-Verlängerung).
- **DNMS-T4.0+NodeMCU-V1.4**
PCB für die Kombination von DNMS Teensy 4.0 mit NodeMCU ESP8266 als Kommunikationsprozessor auf einem PCB. Ein Feinstaubsensor (SPS30) und ein weiterer Sensor können über I²C angeschlossen werden.

Die Boards sind mit der Software KiCad entwickelt. Die kompletten KiCad Files stehen auf GitHub zur freien Verfügung: <https://github.com/hbitter/DNMS>
Die Gerber- und Drill-Files sind für jedes PCB in einem Zip-File zusammengefasst, so dass PCBs direkt bestellt werden können, ohne die Notwendigkeit KiCad zu benutzen oder auch installieren zu müssen.

Damit ergeben sich zwei unterschiedliche Systemkonfigurationen:

- **Kombination aus Airrohr-PCB-V1.4 und DNMS-T4.0-V1.4**
Das Airrohr-PCB-V1.4 beherbergt zum einen die NodeMCU für die Kommunikation zum Sensor.community Netzwerk und Abfrage der angeschlossenen Sensoren sowie zum anderen die Anschlussmöglichkeit für Feinstaubsensor (SDS011 oder SPS30) und weitere Sensoren wie BME/P 280, DHT22 oder SHT3x oder auch Display. Das DNMS Board wird über ein auch mehrere Meter langes Kabel (Telefonkabel) mit dem Airrohr Board verbunden. Das DNMS kann dadurch akustisch optimal positioniert werden (siehe dazu auch [4.7](#)) ohne auf Einschränkungen durch die WLAN Abdeckung Rücksicht nehmen zu müssen.
- **Kombiboard DNMS-T4.0+NodeMCU-V1.4**
Hier sind NodeMCU und Teensy4.0 auf einem Board vereint. Die Anschlussmöglichkeiten für weitere Sensoren ist aber stark begrenzt (s.o.). Da die

NodeMCU mit auf dem Board integriert ist und von der NodeMCU aus die WLAN Verbindung erfolgt, ergibt sich hier aufgrund der WLAN Abdeckung eventuell eine Limitierung in der Positionierung des Systems. Wenn diese Einschränkungen aber nicht bestehen nur der Umgebungslärm gemessen werden soll bzw. die Anschlussmöglichkeiten ausreichen, ist diese Systemkonfiguration eine sinnvoll Alternative.

Die beiden folgenden Abbildungen zeigen exemplarisch diese zwei Systemkonfigurationen.

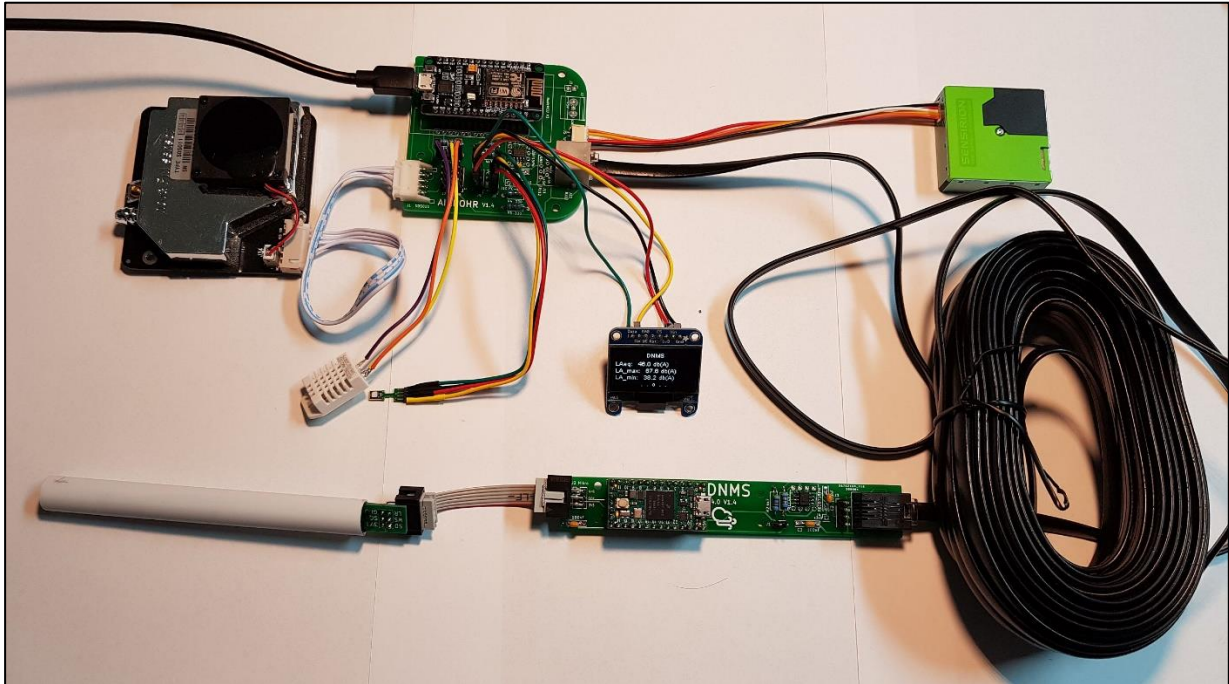


Abbildung 7 Airrohr Board und DNMS T4.0 Board mit weiteren Sensoren

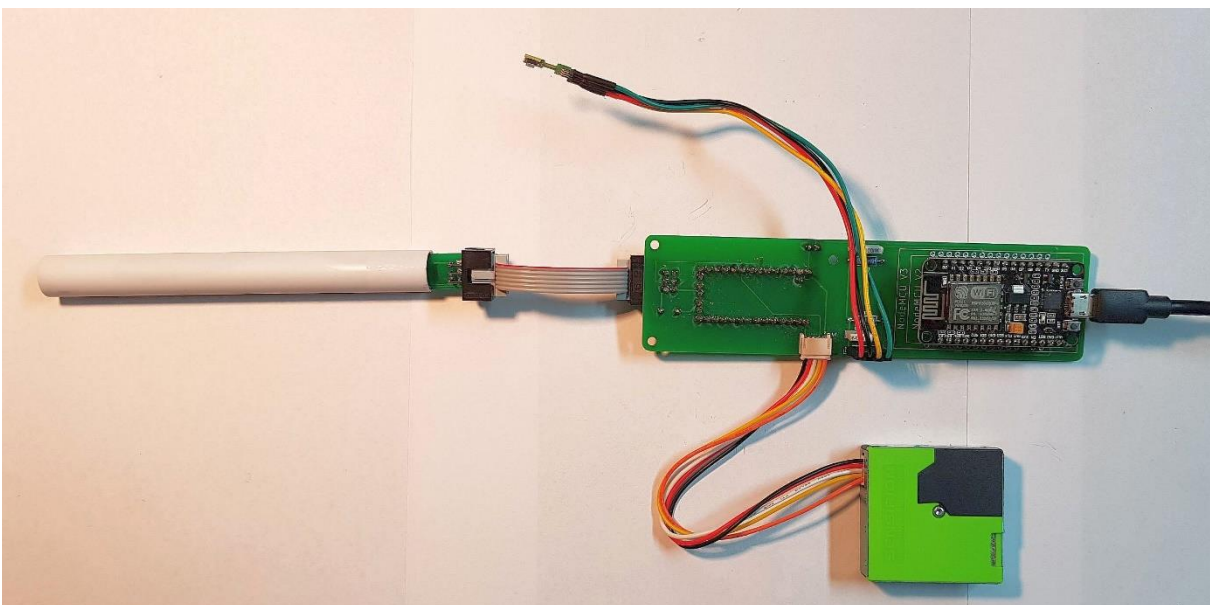


Abbildung 8 DNMS-T4.0+NodeMCU-V1.4 mit SPS30 und Temperatursensor

2.2.1 Airrohr-PCB-V1.4

2.2.1.1 Übersicht

Das Board dient einerseits zur Aufnahme einer NodeMCU (V2 oder V3) um über WLAN die Verbindung zum Sensor.community Netz herzustellen und zum anderen die verschiedenen Sensoren anzuschließen wie Feinstaub, Temperatur und insbesondere den DNMS Lärm Sensor.

Die Abbildung 9 Airrohr-PCB-V1.4 zeigt ein Board mit Bestückung von Widerständen, Buchsen und Stiftleisten aber ohne NodeMCU. Es braucht natürlich nur das bestückt zu werden, was benutzt werden soll.

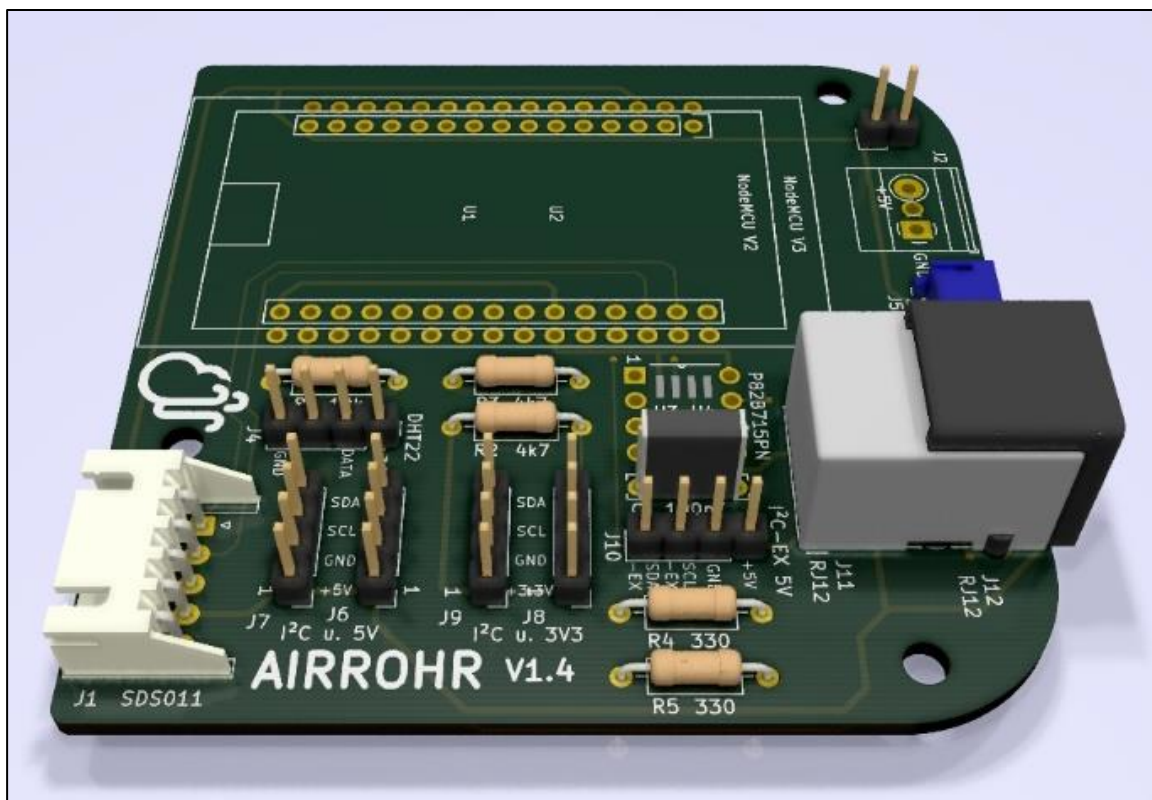


Abbildung 9 Airrohr-PCB-V1.4

2.2.1.2 Eigenschaften

Das Airrohr-PCB-V1.4 Board hat die folgenden Eigenschaften:

- Nutzung der NodeMCU V2 oder NodeMCU V3
- Feinstaubsensor SDS011 Anschluss über 5-polige JST XH Buchse
- Feinstaubsensor SPS30 Anschluss über 5-polige JST ZH Buchse
- RJ12 Buchse (6P/6C) für den DNMS Anschluss über ein längeres Kabel (>5m), dazu ist eine I²C Bus-Verlängerung mit dem IC P82B715 vorhanden
- Layout RJ12 Buchse für zwei verschiedene Bauformen

- Montage des IC P82B715 im DIP8 oder SO8 Gehäuse mit separaten Pull-up Widerständen
- 2 x I²C Anschluss mit 3,3V Versorgungsspannung (BME/P280, SHT3x, Display u.a.) an Stiftleisten mit I²C Pull-up Widerständen
- 2 x I²C Anschluss mit 5V Versorgungsspannung (BME/P280, SHT3x, Display u.a.) an Stiftleisten
- OneWire Anschluss für DHT22 Temperatur-/Luftfeuchtigkeitssensor mit Pull-up Widerstand
- Alternativer Anschluss einer externen Stromversorgung über Schraubklemmen ([2.2.1.3.2](#))

2.2.1.3 Anschlüsse und Bestückung

2.2.1.3.1 J1 SDS011 Feinstaubsensor Anschlussbuchse (optional)

Für den Anschluss des SDS011 ist eine 5-polige Buchse vorgesehen, so dass der SDS011 mit dem zum SDS011 meist mitgelieferten Kabel direkt angeschlossen werden kann.

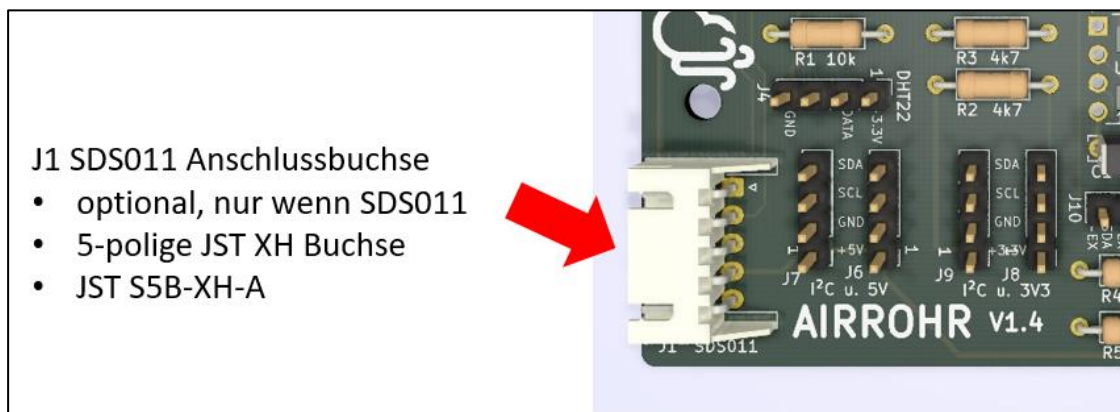


Abbildung 10 J1 SDS011 Anschlussbuchse

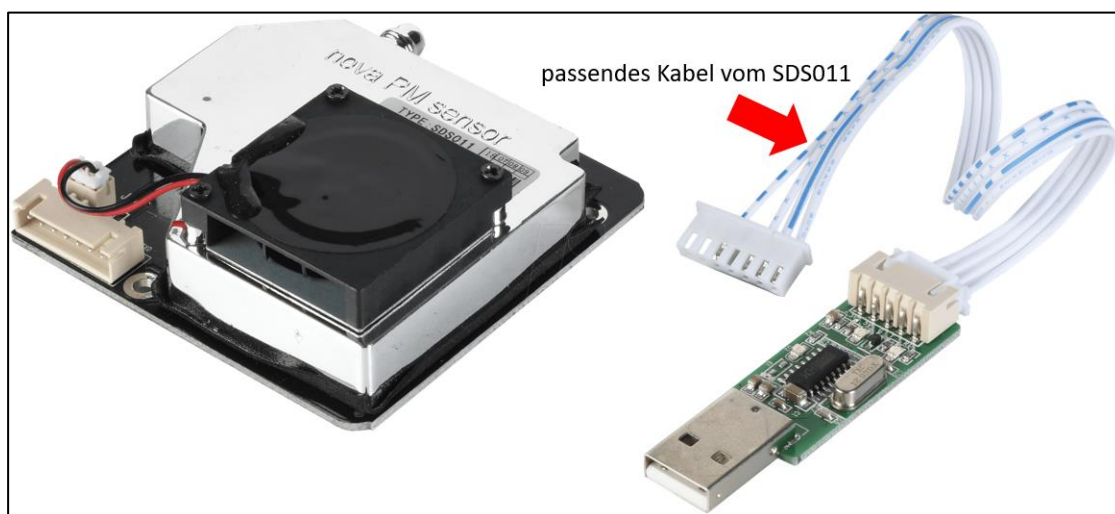


Abbildung 11 passendes Kabel vom SDS011

Der SDS011 kann mittels Abstandshalter in den drei Bohrungen mit dem Airrohr-PCB-V1.4 Board zu einer kompakten Einheit verbunden werden.

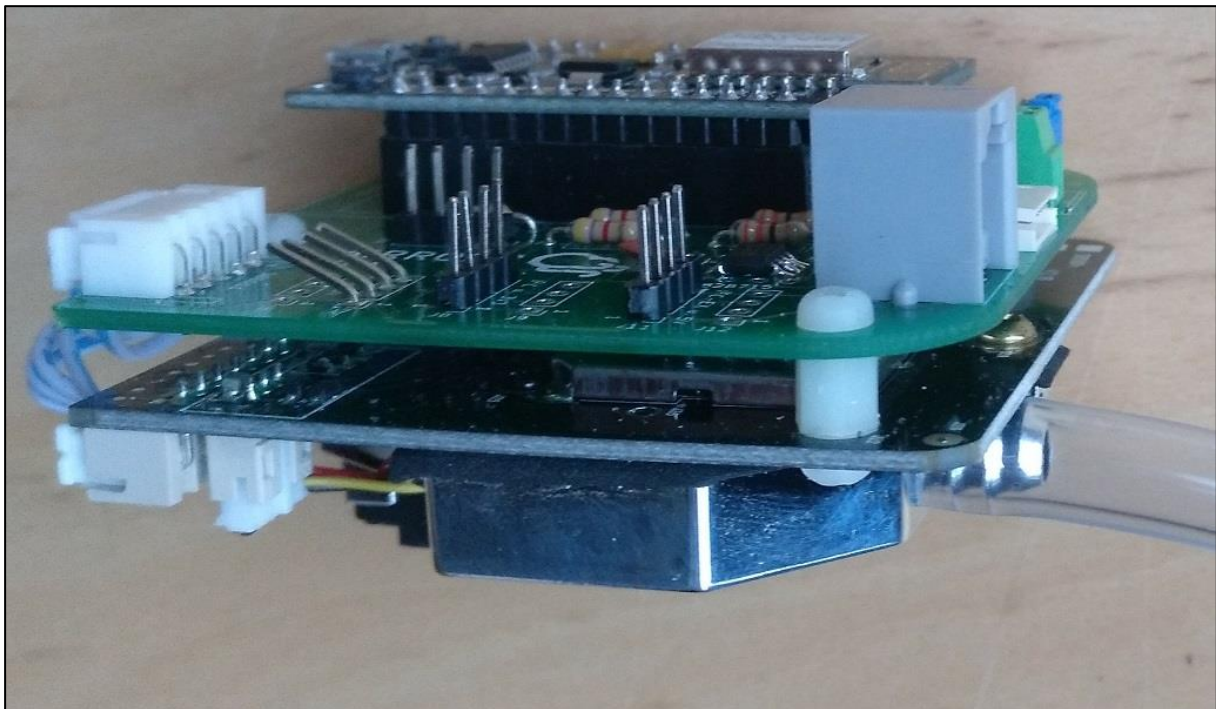


Abbildung 12 SDS011 und Airrohr-PCB-V1.4 zu einer Einheit verbunden

2.2.1.3.2 J2, J3 Schraubterminal für externe 5V Spannungsversorgung (optional)

Das Airrohr Board wird entweder über den Mikro-USB Anschluss der NodeMCU mit 5V Spannung versorgt oder extern über das Schraubterminal J2. Es können Schraubterminals im Raster 2,54mm oder 5,08mm bestückt werden.

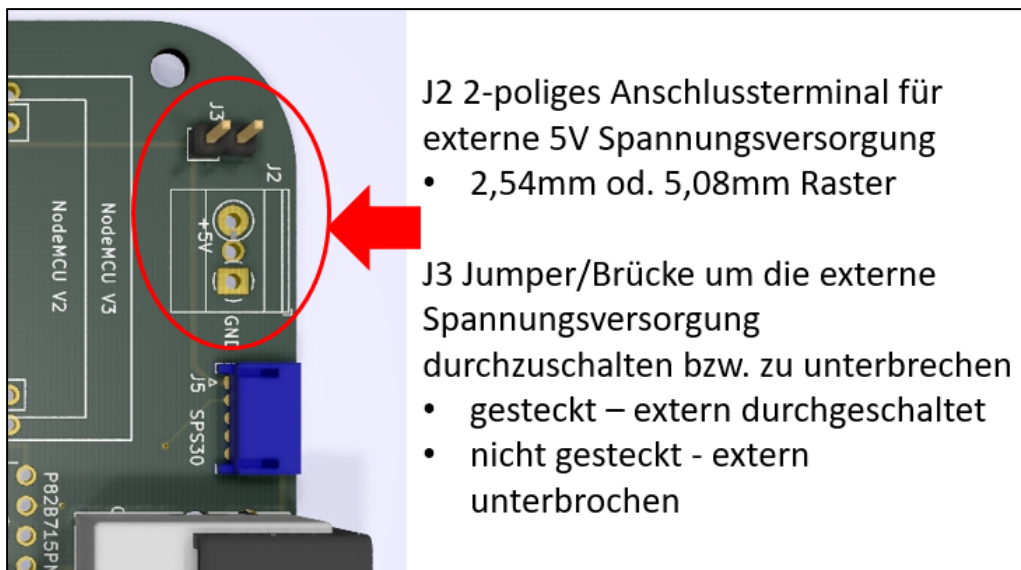


Abbildung 13 J2, J3 externe Spannungsversorgung

J3 ist ein zusätzlicher Jumper bzw. eine Brücke um die externe Spannungsversorgung durchzuschalten bzw. bei Bedarf auch wieder zu unterbrechen, wenn z.B. kurzzeitig wieder die Spannungsversorgung über die USB Buchse der NodeMCU erfolgen soll.

2.2.1.3.3 J4 DHT22 Anschluss (optional)

An J4 wird ein optionaler DHT Temperatur- Feuchtigkeitssensor angeschlossen. J4 kann mit einer 4-poligen Stiftleiste im 2,54mm Raster bestückt werden. Alternativ kann auch eine gerade JST XH Buchse bestückt werden.



Abbildung 14 J4 DHT22 Anschluss

2.2.1.3.4 J5 SPS30 Feinstaubsensor Anschlussbuchse (optional)

An J5 kann ein optionaler Sensirion SPS30 Feinstaub Sensor angeschlossen werden. Es ist die gleiche Buchse wie am Sensirion SPS30 vorgesehen – eine 5-polige JST ZH Buchse S5B-ZR. Die Verbindung zwischen SPS30 und NodeMCU kann dann mittels eines 1:1 Kabels erfolgen. Die Bestückung der Buchse ist optional nur bei Verwendung eines SPS30.

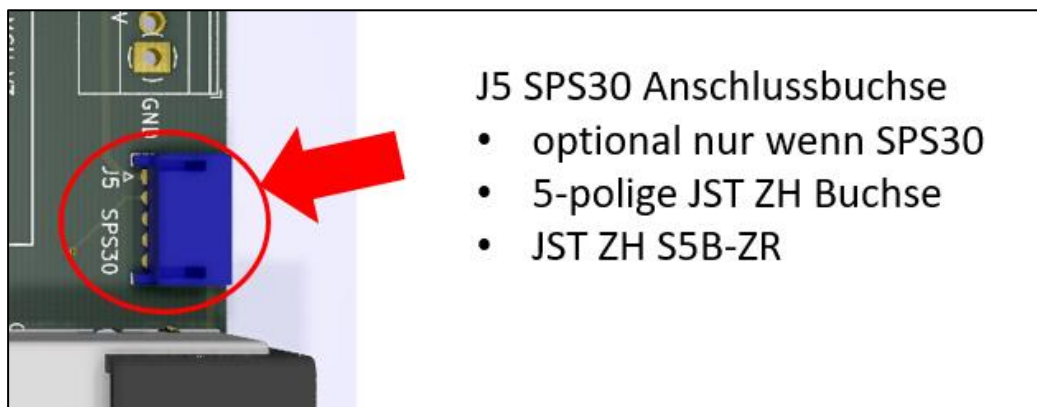


Abbildung 15 J5 SPS30 Anschlussbuchse

2.2.1.3.5 J6, J7 I²C 5V Anschlüsse weitere Sensoren (optional)

An J6 und J7 können 2 Sensoren mit I²C Verbindung und 5V Versorgungsspannung über je eine 4-polige Stiftleiste im 2,54mm Raster angeschlossen werden. Alternativ kann auch eine gerade JST XH Buchse bestückt werden.



Abbildung 16 J6, J7 I²C Anschlüsse 5V

2.2.1.3.6 J8, J9 I²C 3,3V Anschlüsse weitere Sensoren (optional)

An J8 und J9 können 2 Sensoren mit I²C Verbindung und 3,3V Versorgungsspannung über je eine 4-polige Stiftleiste im 2,54mm Raster angeschlossen werden. Alternativ kann auch eine gerade JST XH Buchse bestückt werden.

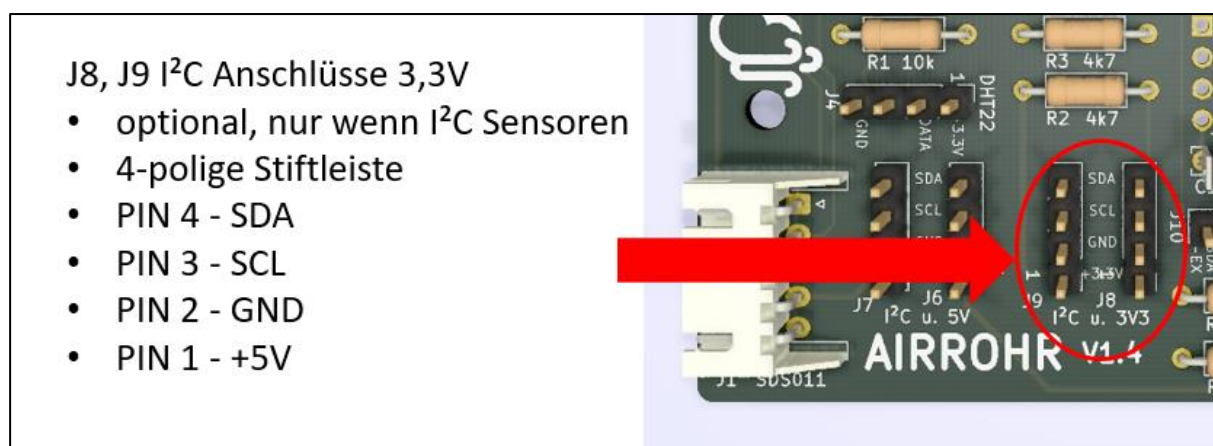


Abbildung 17 J8, J9 I²C Anschlüsse 3,3V

2.2.1.3.7 J10 I²C Extended Anschluss für DNMS (optional)

Über die 4-polige Stiftleiste J10 kann ein abgesetzter DNMS Sensor od. ähnliches über den I²C Extended Bus angeschlossen werden ohne die RJ12 Buchse (J11/J12) zu benutzen. Die Bestückung ist optional, nur wenn ein DNMS angeschlossen wird ohne die RJ12 Buchse zu benutzen. Alternativ kann auch eine gerade JST XH Buchse bestückt werden oder es können Kabel eingelötet werden.

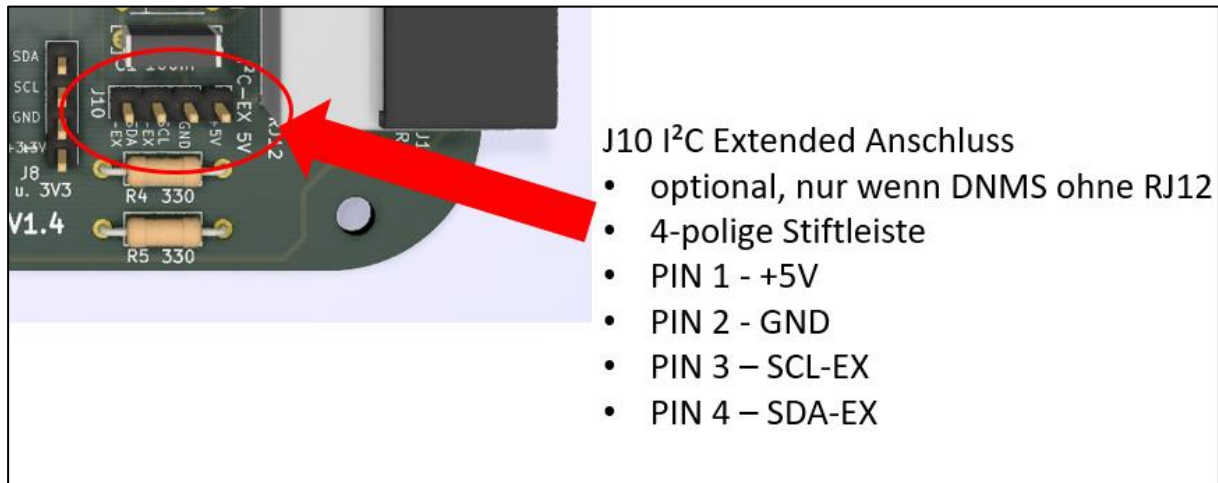


Abbildung 18 I²C Extended Anschluss für DNMS über Stiftleiste

2.2.1.3.8 J11/J12 I²C Extended Anschluss DNMS über RJ12 Buchse (optional)

Ein abgesetzter DNMS Sensor kann mittels Telefonkabel mit RJ12 Steckern (6P/6C) einfach an die RJ12 Buchse J11/J12 angeschlossen werden. Es sind zwei verschiedene Layouts von RJ12 Buchsen ausgeführt die alternativ bestückt werden können. Die Bestückung ist optional für den Fall, dass ein DNMS hierrüber angeschlossen werden soll.

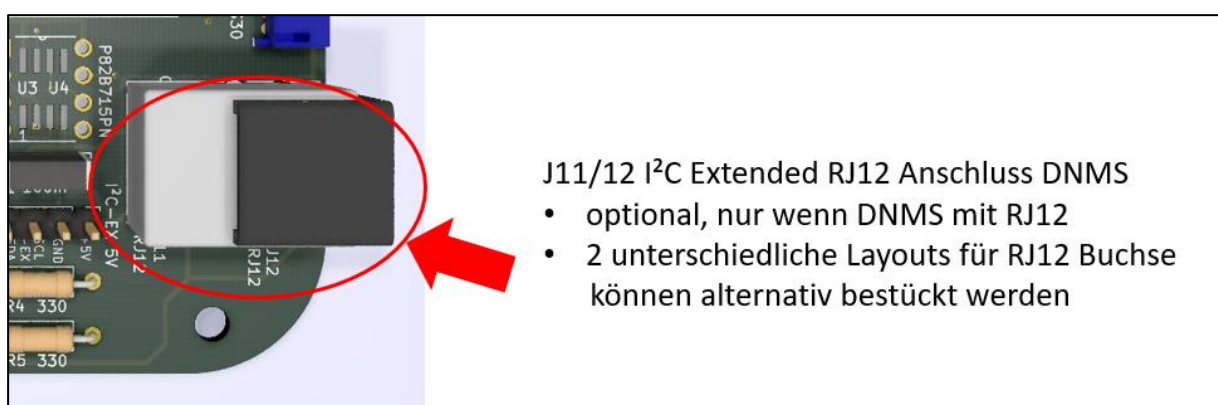


Abbildung 19 J11/J12 I²C Extended Anschluss DNMS über RJ12 Buchse

2.2.1.3.9 C1 keramischer Kondensator 100nF

Keramischer Puffer und Entkopplungskondensator von 100nF. Sollte immer bestückt werden.



Abbildung 20 C1 keramischer Kondensator 100nF

2.2.1.3.10 R1 10K Pull-up Widerstand für DHT22 (optional)

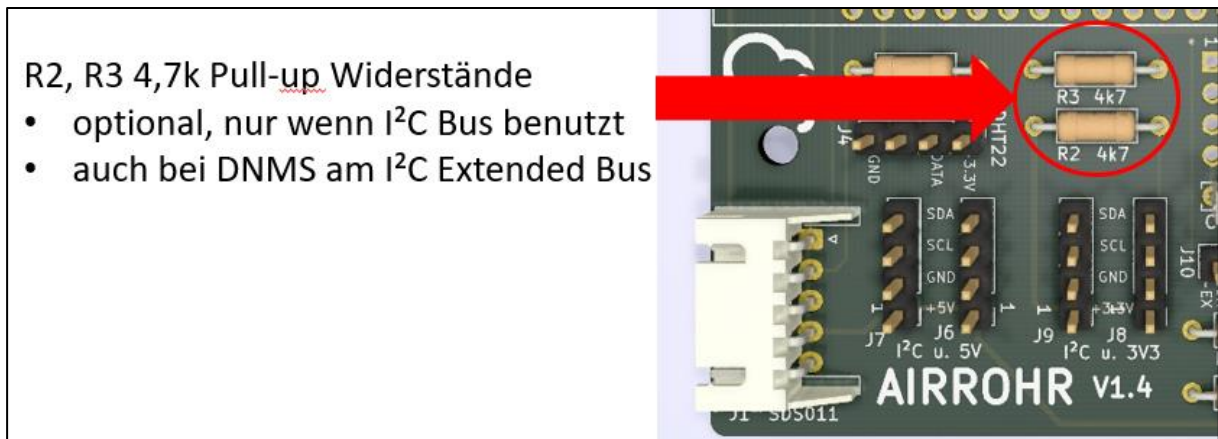
R1 ist ein 10k Ohm Pull-up Widerstand für den Anschluss des DHT22 Temperatur – und Feuchtigkeitssensors. Die Bestückung ist optional und nur erforderlich, wenn ein DHT22 angeschlossen wird.



Abbildung 21 R1 10k Pull-up Widerstand für DHT22

2.2.1.3.11 R2, R3 4,7k Pull-up Widerstände für I²C Bus (optional)

R2 und R3 sind 4,7k Ohm Pull-up Widerstände für den I²C Bus. Diese Widerstände sollten bestückt werden, wenn Sensoren am I²C Bus angeschlossen werden z.B. ein BMP/E 280 oder SHT3X Temperatur- u. Feuchtigkeitssensor. Wenn ein DNMS angeschlossen wird – auch über den I²C Extended Anschluss – sollten R2/R3 ebenfalls bestückt werden.

Abbildung 22 R2, R3 4,7k Pull-up Widerstände für I²C Bus

2.2.1.3.12 R4, R5 Pull-up Widerstände 330 Ohm für I²C Extended Bus (optional)

R4/R5 sind 330 Ohm Pull-up Widerstände für den I²C Extended Bus. Die Bestückung ist nur notwendig, wenn das IC U3/U4 (P82B715 I²C Extended Bus Transceiver) bestückt ist z.B. für den abgesetzten DNMS Anschluss.

Abbildung 23 R4, R5 330 Ohm Pull-up Widerstände für I²C Extended Bus

2.2.1.3.13 U1/U2 NodeMCU V2 oder V3

Als U1 oder U2 kann die NodeMCU entweder als Version V2 oder als Version V3 bestückt werden. Die NodeMCU mit Stiftleisten kann direkt eingelötet werden. Es können aber auch

Buchsenleisten im 2,54mm Raster eingelötet werden, in die die NodeMCU dann eingesteckt wird. Dies hat den Vorteil, dass die NodeMCU einfach gewechselt werden kann. Es führt aber zu einem höheren Aufbau, was bei der Planung für den Gehäuseeinbau zu beachten ist. Es können auch doppelreihige Buchsenleisten verwendet werden, so dass auch ein Wechsel zwischen NodeMCU V2 und V3 möglich ist.

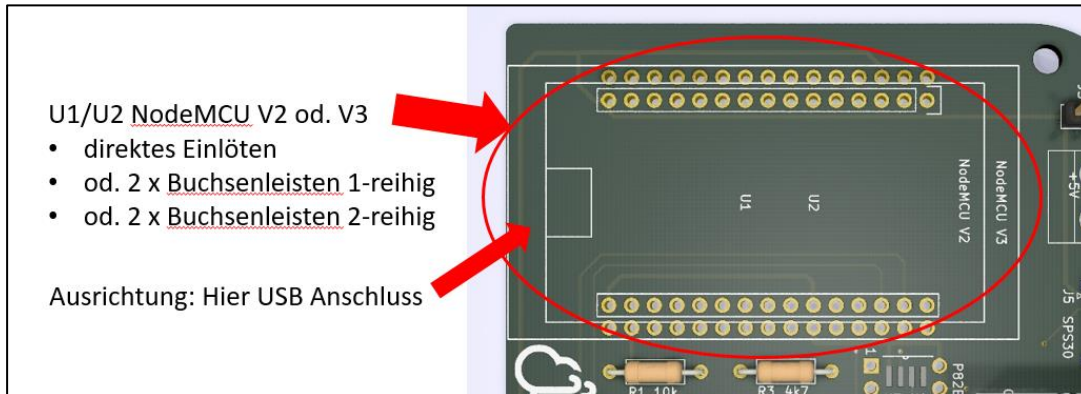


Abbildung 24 U1/U2 NodeMCU V2 od. V3

2.2.1.3.14 U3/U4 P82B715 IC für I²C Extended Bus (optional)

Mit U3/U4 kann ein P82B715 Transceiver IC für den Extended I²C Bus bestückt werden. Dadurch ist es möglich die Länge der I²C Verbindung von 250mm auf etliche Meter auszudehnen und z.B. einen DNMS Sensor einige Meter entfernt in akustisch günstiger Position anzubringen. Das Layout berücksichtigt sowohl die DIP8 Bauform als auch die SMD Variante SO8, welche alternativ bestückt werden kann. Achtung: Bei der SO8 Bauform mit einer sehr feinen Lötspitze (Lötadel) arbeiten. Bei der DIP8 Bauform kann auch eine DIP8 IC-Fassung bestückt werden, so dass im Fehlerfall ein Wechsel des ICs einfach möglich ist.

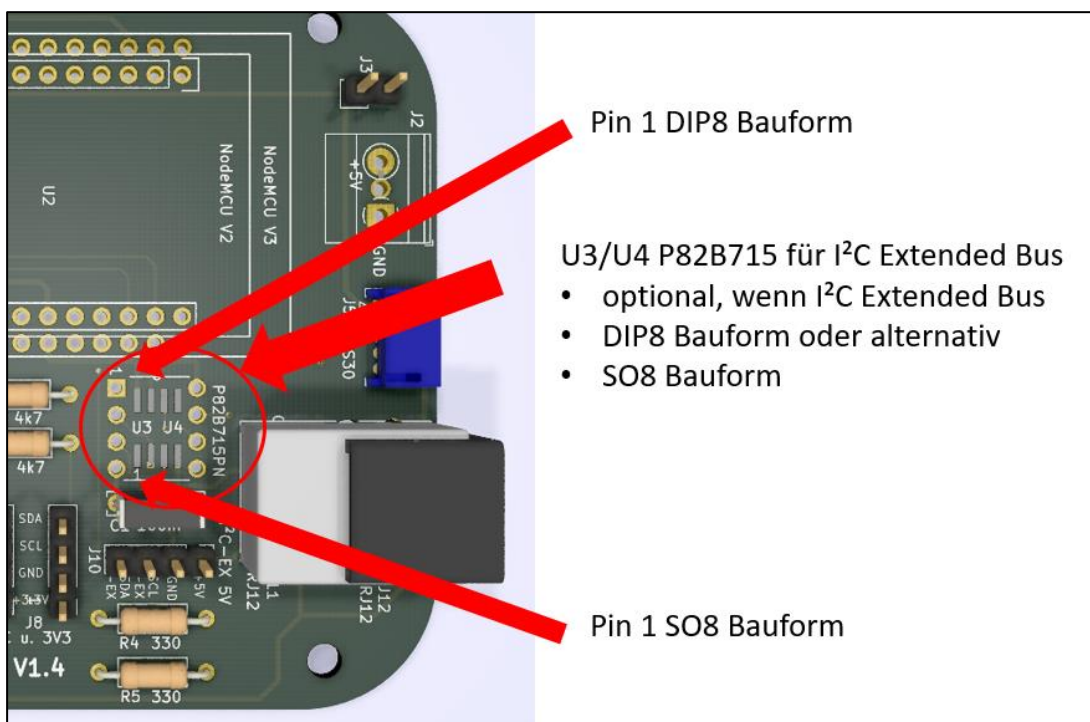


Abbildung 25 U3/U4 P82B715 IC für I²C Extended Bus

2.2.1.4 Schaltplan

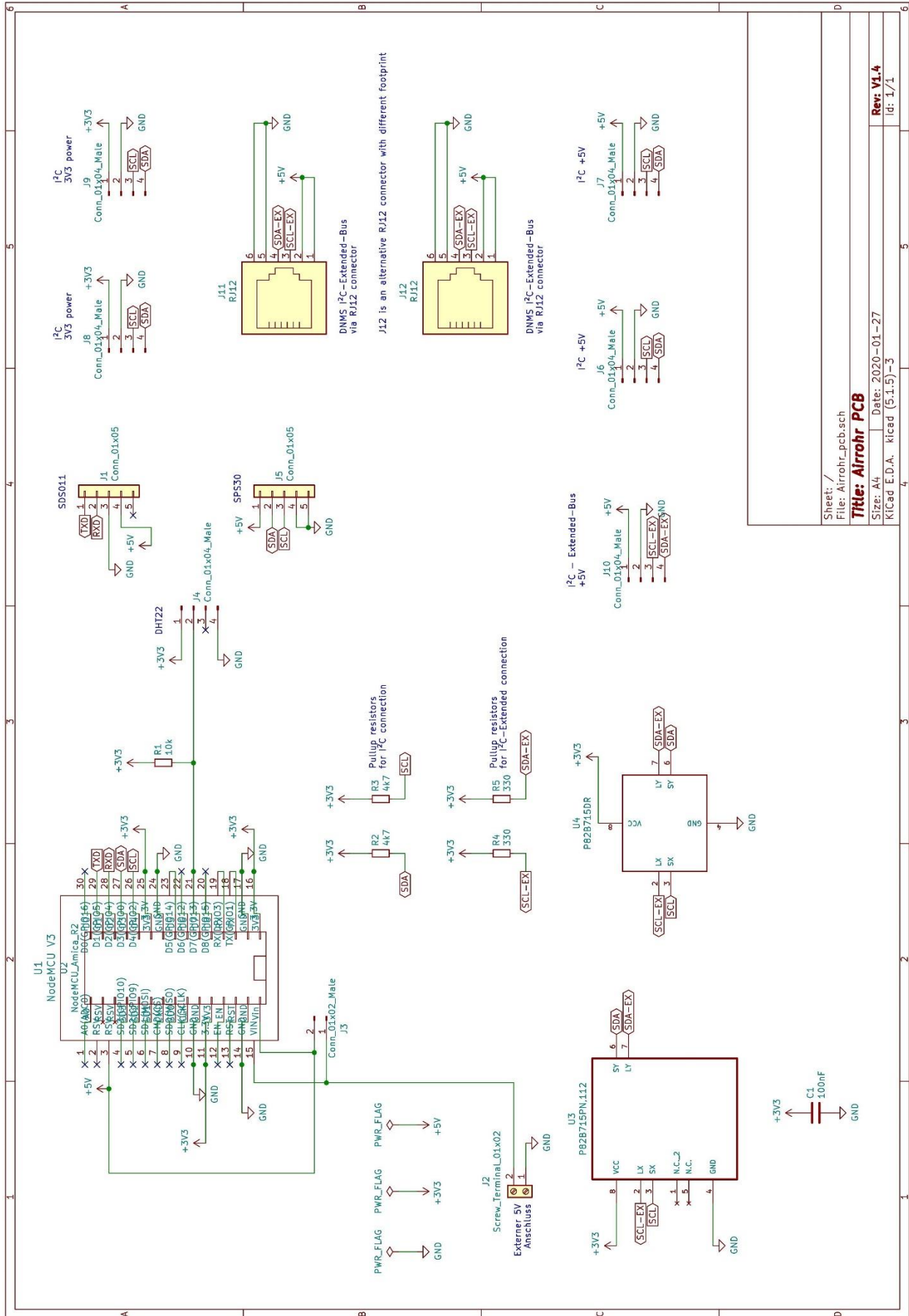


Abbildung 26 Airrohr-PCB-V1.4 Schaltplan

2.2.1.5 Stückliste

Anmerkungen zur Stückliste:

Als erster Lieferant ist bei den meisten Teilen der Distributor Mouser genannt aus folgenden Gründen:

- Mouser hat viele der benötigten Teile im Vertrieb
- Es gibt eine eindeutige Zuordnung zu den Teilen und dem Hersteller mit Angabe der Artikelnummer des Herstellers, was die weitere Suche vereinfacht
- Mouser liefert international

Darüber hinaus sind meist noch zwei weitere Bezugsquellen in Deutschland genannt.

Die Preisangabe bezieht sich auf das Angebot des ersten Lieferanten, der Preis kann sich aber mittlerweile verändert haben und ist nur als Anhaltspunkt zu verstehen.

Viele der Teile wie Widerstände, Kondensatoren oder Stiftleisten können oft auch günstig über Amazon, Ebay und AliExpress bezogen werden. Da sich das Angebot dort aber ständig ändert, sind feste Links zu diesen Anbietern oft nicht lange gültig.

Bei den Bauteilen wie NodeMCU und Teensy 4.0 gibt es oftmals Unterschiede im Lieferumfang mal mit, mal ohne Stiftleisten d.h. ggf. kann es notwendig sein, hierfür noch Stiftleisten zu beschaffen. Diese Stiftleisten sind in der Stückliste nicht enthalten. Weiterhin sind in der Stückliste keine passenden Buchsenleisten für NodeMCU und/oder Teensy 4.0 enthalten, da dies individuell zu entscheiden ist, ob diese Bauteile direkt eingelötet werden oder in Buchsenleisten eingesetzt werden sollen.

Zuletzt noch eine Anmerkung zu Stiftleisten im 2,54mm Raster, die auf den Boards mehrfach in unterschiedlicher Polzahl zur Anwendung kommen. In der Stückliste sind diese getrennt nach Polzahl (2-polig, 4-polig, usw.) aufgeführt. Da man gekerbte Stiftleisten mit dem Seitenschneider sehr gut selbst trennen kann, ist es sicher vorteilhafter längere Stiftleisten anzuschaffen und diese nach Bedarf zu trennen.

Die Stückliste ist im DNMS GitHub Repository als Excel File vorhanden und unterstützt dann Links zu den Distributoren.

Im GitHub Repository sind auch die kompletten Details zum PCB (Board/Platine) eingestellt. Das Board ist mit dem Open Source Tool KiCAD entwickelt. Um ein PCB zu bestellen ist es nicht notwendig KiCAD zu installieren, es den entsprechenden Gerber File an einen PCB Hersteller zu übertragen z.B. DNMS-T4.0-V1.4-Gerber.zip.

In Frage kommende PCB Hersteller auch für kleine Stückzahlen sind:

[Aisler](#), [Elektor Platinen Service](#), [Eurocircuits](#) oder aus China [JLCPCB](#) und [PCBWay](#).

Besonders die Hersteller aus China bieten zu sehr günstigen Konditionen an z.B. 5 Stück DNMS-T4.0-V1.4 PCB für 4,70 \$, allerdings kommt hier der Versand mit mindestens 6,71 \$ (bei 10 – 20 Tagen Laufzeit bzw. mehr bei kürzerer Laufzeit) hinzu und ebenso Einfuhrumsatzsteuer und ggf. Zoll.

Item #	Reference	Qty	Manufacturer	Manufacturer Part #	Description / Value	Package/Footprint	Type	Distributor	Distributor #	Link to Distributor	Link to alternate Source	Link to alternate Source	Notes	Price (single Qty)	Price
1	C1	1	Vishay	K104K15X7RF534BL	Multilayer Ceramic Capacitors MLCC - Leaded 0.1uF 50Volts 10% X7R 5mm LS	5mm LS	THT	Mouser	594-K104K15X7RF5345	Mouser	Reichelt	VoeLiner	any other Manufacturer is ok	0,095	0,09
2	J1	1	JST	SSB-XHA	Through-hole type stranded header, side entry	P2,5mm	THT	Reichelt	JST XHSPT90	Reichelt	VoeLiner	TME	(optional)	0,2	0,20
3	J2	1	PTR	50500120134G	PCB Terminal Block, Screw Terminal, 2 pole	P5,08	THT	VoeLiner	D2944	VoeLiner	Reichelt	Mouser	any other Manufacturer is ok, (optional)	0,18	0,18
4	J3	1	Amphenol FCI	10129378-92001BLF	Pin Header 1x02 P2,54mm vertical	P2,54mm	THT	Mouser	649-1012937892001BLF	Mouser	Reichelt	VoeLiner	any other Manufacturer is ok, (optional)	0,095	0,09
5	J4, J6, J7, J8, J9, J10	6	A+D/OP/Operational Commercial Products	G800W304018EU	Pin Header 2,54mm Pitch STR DIP, 1x4Pin, FULL GF, NVT 6,1mm 2,5mm 3,0mm Color Black BAG	P2,54mm	THT	Mouser	523-G800W304018EU	Mouser	Reichelt	VoeLiner	any other Manufacturer is ok, (optional)	0,095	0,51
6	J5	1	JST	SSB-ZR(LF)(SN)	Through-hole type stranded header, side entry	P1,5mm	THT	VoeLiner	D19571	VoeLiner	smob		(optional)	0,53	0,53
7	J11	1	Amphenol FCI	54601-906WPLF	MOD JACK RJ45 6P6C CAT 3 HORZ 1 PORT		THT	Mouser	649-54601-906WPLF	Mouser			either J11 or J12 as alternate assembly, this is the preferred assembly because of the height, any other Manufacturer with same height is ok, (optional)	0,347	0,35
8	J12	1	Pulse Electronics	E5566-QULK22L	Modular Jack RJ45RJ45 25-6P6C SDE ENTRY		THT	Mouser	673-E566-QULK22L	Mouser	Reichelt	VoeLiner	either J11 or J12 as alternate assembly, any other Manufacturer is ok, (optional)	0,44	0,44
9	R1	1	Vishay	CCF0710K0JKE36	Metal Film Resistor 1/4Watt 10kOhms 5% Rated to 1/2Watt	6,62x2,29mm axial	THT	Mouser	71-CCF0710K0JKE36	Mouser	Reichelt	VoeLiner	any other Manufacturer is ok, Kohleschicht oder Metallschicht, 0,25V/att oder 0,5V/att, (optional)	0,152	0,15
10	R2, R3	2	Vishay	CCF074K0JKE36	Metal Film Resistor 1/4Watt 4,7kOhms 5% Rated to 1/2Watt	6,62x2,29mm axial	THT	Mouser	71-CCF07-4,7K-E3	Mouser	Reichelt	VoeLiner	any other Manufacturer is ok, Kohleschicht oder Metallschicht, 0,25V/att oder 0,5V/att, (optional)	0,152	0,30
11	R4, R5	2	Vishay	CCF07330R0JKE36	Metal Film Resistor 1/4Watt 330 Ohms 5% Rated to 1/2Watt	6,62x2,29mm axial	THT	Mouser	71-CCF07330R0JKE36	Mouser	Reichelt	VoeLiner	any other Manufacturer is ok, Kohleschicht oder Metallschicht, 0,25V/att oder 0,5V/att, (optional)	0,085	0,17
12	U1	1	diverse	NodeMCU V3	NodeMCU ESP8266 Entwicklungs Board V3	58 x 31mm	THT	KOMPUTER DE	KP06014	KOMPUTER DE	AZ-Delivery		either U1 or U2 as alternate assembly	3,12	3,12
13	U2	1	diverse	NodeMCU V2	ESP8266 NodeMCU V2 Development Board	48 x 26mm	THT	AZ-Delivery	NodeMCU Lua America Modul V2 ESP8266 ESP-12F	AZ-Delivery	BernBase		either U1 or U2 as alternate assembly	5,79	5,79
14	U3	1	Texas Instruments	P82B715P	Signal Buffer, Verstärker I2C Bus Extender	DIP8	THT	Mouser	595-P82B715P	Mouser			either U3 or U4 as alternate assembly, any other Manufacturer is ok, (optional)	2,29	2,29
15	U4	1	Texas Instruments	P82B715DR	Signal Buffer, Verstärker I2C Bus Extender	SOP8	SMD	Mouser	595-P82B715DR	Mouser	Reichelt		either U3 or U4 as alternate assembly, any other Manufacturer is ok, (optional)	1,58	1,58

2.2.2 DNMS-T4.0-V1.4

2.2.2.1 Übersicht

Das DNMS-T4.0-V1.4 Board berechnet aus dem Mikrofonsignal die Messwerte des Umgebungslärms. Vom ICS-43434 Mikrofon kommt das digitale Audiosignal über die I²S Schnittstelle zum Teensy 4.0. Daraus berechnet die Firmware auf dem Teensy 4.0 nach Frequenzbewertung über ein A-Filter den Schalldruckpegel und berechnet weiterhin über die Zeit den lärmäquivalenten Dauerschallpegel (LAeq). Abgespeichert werden auch der L_{Amin} und der L_{Amax}. Die Weitergabe der gemessenen Werte erfolgt über eine I²C Schnittstelle an einen Kommunikationsprozessor (z.B. NodeMCU). Das Zeitintervall für die Abfrage des LAeq, L_{Amin} und L_{Amax} legt der Kommunikationsprozessor fest. Von DNMS Seite aus kann das Intervall im Bereich einer Sekunde bis zu einer Stunde liegen.

Die Abbildung 27 DNMS–T4.0-V1.4 PCB zeigt das Board ohne Teensy 4.0 und ohne bestücktes IC P82B715 für die I²C Verlängerung.

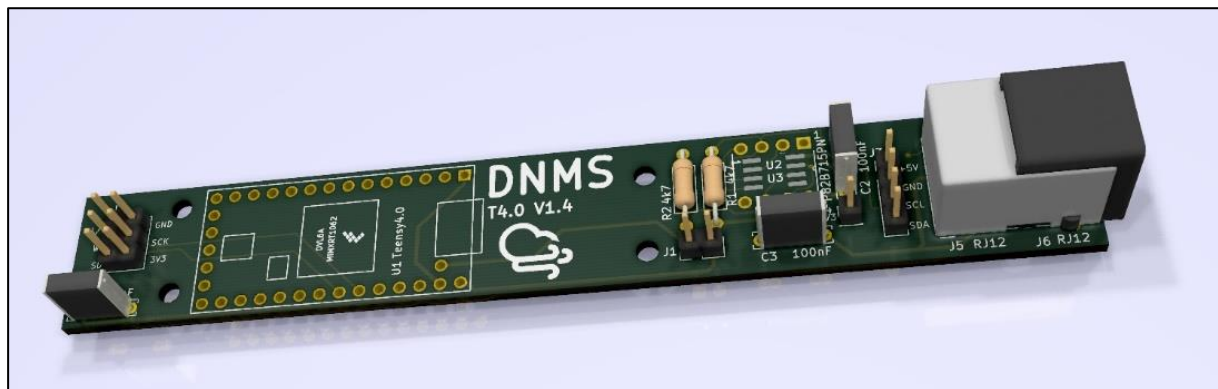


Abbildung 27 DNMS–T4.0-V1.4 PCB

2.2.2.2 Eigenschaften

- Anschluss des ICS-43434 Mikrofons mittels 2-reihiger Stiftleiste oder auch abgewinkelter verpolungssicherer Buchse
- RJ12 Buchse (6P/6C) für die Verbindung zum Airrohr Board über ein längeres Kabel (>5m), dazu ist eine I²C Bus-Verlängerung mit dem IC P82B715 vorhanden
- Layout RJ12 Buchse für zwei verschiedene Bauformen
- Montage des IC P82B715 im DIP8 oder SO8 Gehäuse
- schlanke Form erlaubt den Einbau in ein zylindrisches Gehäuse oder Rohr von nur 25mm Durchmesser, was die akustischen Eigenschaften begünstigt

2.2.2.3 Anschlüsse und Bestückung

2.2.2.3.1 J1 Jumper/Brücke Verbindung VUSB – VIN

Unter 2.1.5 ist das Auftrennen der Verbindung VUSB – VIN am Teensy Board beschrieben. Es gibt aber Situationen, dass das Teensy Board ohne eine Verbindung zur NodeMCU betrieben werden soll und die Stromversorgung wieder über den USB Anschluss des Teensy Boards erfolgen soll. Hierfür ist der Jumper J1 vorgesehen, der die Verbindung VUSB – VIN wieder schließt. Dieser Jumper/Brücke kann als 2-polige Stiftleiste im 2,54mm Raster ausgeführt werden.



2.2.2.3.2 J2 2x3-poliger Mikrofon Anschluss

2x3-poliges Anschlussfeld für den Anschluss des ICS-43434 Mikrofons. Es kann eine 2x3-polige Stiftleiste bestückt werden oder eine abgewinkelte 2x3-polige Stiftleiste mit Wanne in verpolungssicherer Ausführung. Das Anschlussfeld kann auch zum direkten Einlöten der Kabel vom Mikrofon genutzt werden. Die Belegung der einzelnen Pins ist auf der Platine aufgedruckt.

J2 2x3-poliges Anschlussfeld für Mikrofon

- 2x3-polige Stiftleiste 2,54mm Raster od.
- 2x3-polige abgewinkelte Stiftleiste mit Wanne
- Lötfeld zum direkten Einlöten der Kabel

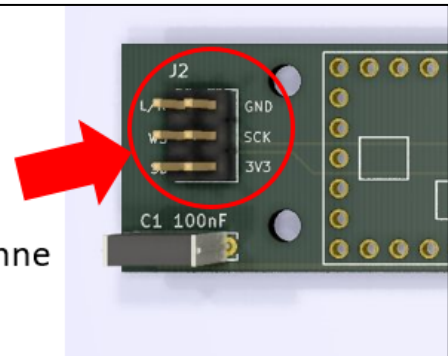


Abbildung 28 J2 3x3-poliger Mikrofon Anschluss

Die folgende Abbildung zeigt eine abgewinkelte 2x3-polige Stiftleiste mit Wanne in verpolungssicherer Ausführung.

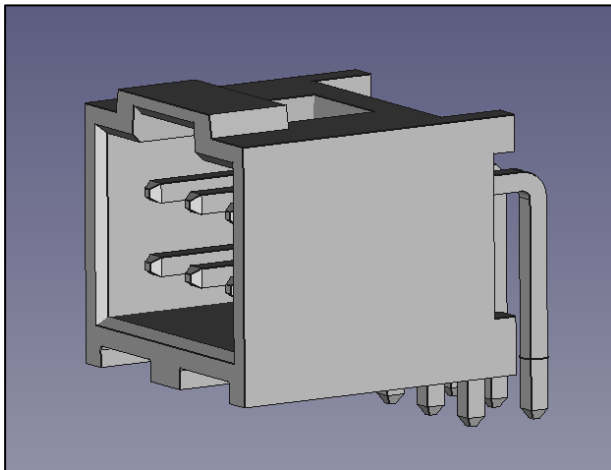


Abbildung 29 2x3-polige abgewinkelte Stiftleiste mit Wanne

2.2.2.3.3 J3 I²C Anschluss (optional)

J3 ist eine optionaler 4-polige Stiftleiste mit den internen I²C Bus Signalen hinter dem IC P82B715. Dieser Anschluss kann auch zur Verbindung mit einer NodeMCU dienen, wenn die Länge des Verbindungskabels 250mm nicht überschreitet. Weiterhin dient dieser Anschluss zu Testzwecken um das am Teensy anliegende interne I²C Signal zu prüfen. Als eine weitere Möglichkeit könnte hieran ein kleiner Temperatur- Feuchtigkeitsensor (z.B. Sensirion SHT85) angeschlossen werden.

Abbildung 30 J3 I²C Anschluss (optional)

2.2.2.3.4 J4 3,3V Anschluss (optional)

J4 ist eine 1-polige Stiftleiste, an der die 3,3V Spannung des Teensy Boards herausgeführt ist. Dies dient als Testpunkt um zu prüfen, ob die 3,3V Spannung vorhanden ist. Im Zusammenhang mit J3 können hierüber aber auch andere Sensoren mit 3,3V versorgt werden.



Abbildung 31 J4 3,3V Anschluss (optional)

2.2.2.3.5 J5/J6 I²C Extended Anschluss DNMS über RJ12 Buchse

Anschluss des DNMS Sensors über RJ12 Buchse mittels Telefonkabel mit RJ12 Steckern (6P/6C) an eine NodeMCU. Es sind zwei verschiedene Layouts von RJ12 Buchsen ausgeführt die alternativ bestückt werden können. Aufgrund der I²C Ausführung als Extended Bus ist eine Kabellänge von mehreren Metern möglich, was eine gute akustische Positionierung des DNMS ermöglicht. Die Stromversorgung des DNMS erfolgt ebenfalls über diese Verbindung von der NodeMCU aus.

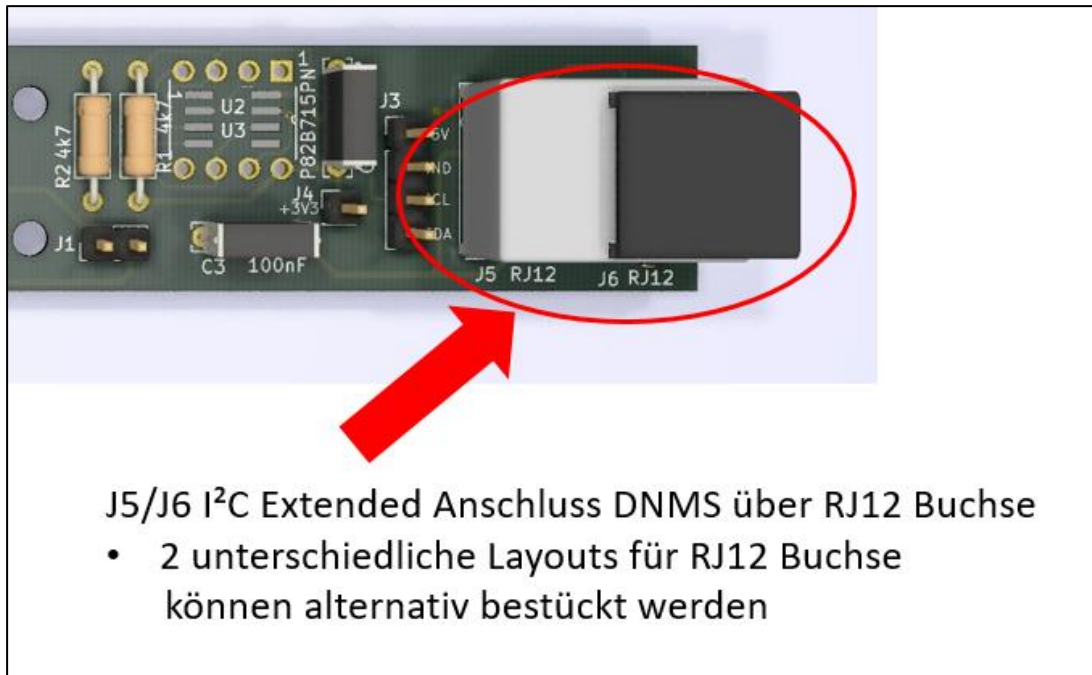


Abbildung 32 J5/J6 I²C Extended Anschluss DNMS über RJ12 Buchse

2.2.2.3.6 C1, C2, C3 keramische Kondensatoren 100nF

C1, C2 und C3 sind keramische Puffer und Entkopplungskondensator von 100nF. Sie sollten immer bestückt werden.



Abbildung 33 C1, C2, C3 keramische Kondensatoren 100nF

2.2.2.3.7 R1, R2 4,7k Pull-up Widerstand für internen I²C Bus

R1 und R2 sind 4,7k Ohm Pull-up Widerstände für den internen I²C Bus. Sie sollten immer bestückt werden.

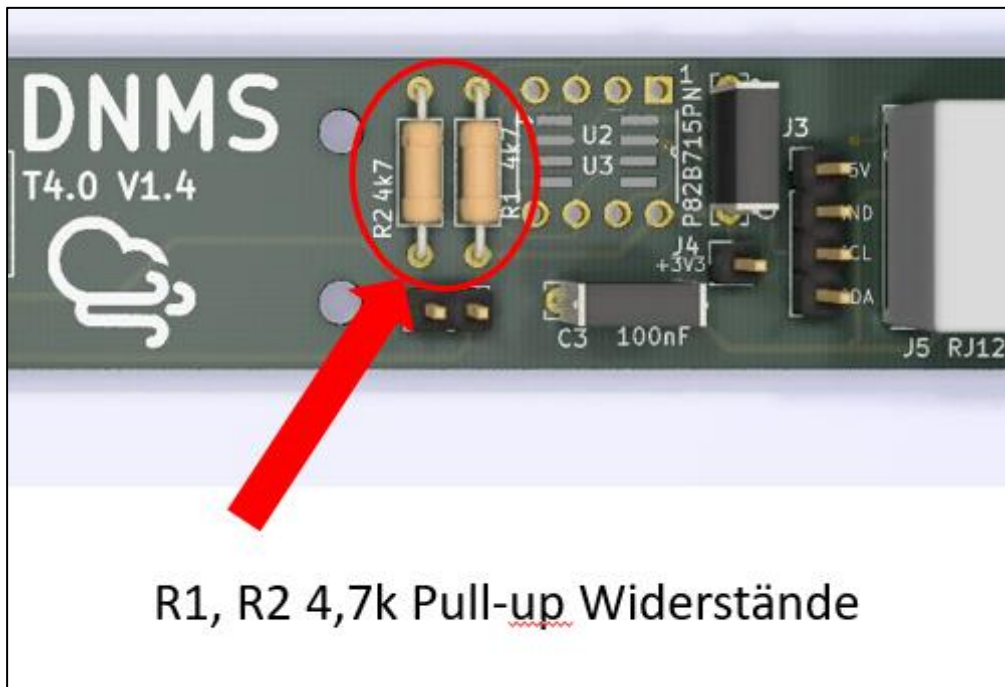


Abbildung 34 R1, R2 4,7k Pull-up Widerstand für internen I²C Bus

2.2.2.3.8 U1 Teensy4.0 Board

Platz für das Teensy 4.0 Board. Das Teensy 4.0 Board mit Stiftleisten kann direkt eingelötet werden. Es können aber auch Buchsenleisten im 2,54mm Raster eingelötet werden, in die das Teensy 4.0 Board dann eingesteckt wird. Dies hat den Vorteil, dass das Teensy 4.0 Board einfach gewechselt werden kann. Es führt aber zu einem höheren Aufbau, was bei der Planung für den Gehäuseeinbau zu beachten ist.



Abbildung 35 U1 Teensy 4.0 Board

2.2.2.3.9 U2/U3 P82B715 IC für I²C Extended Bus

Mit U2/U3 kann ein Transceiver IC für den Extended I²C Bus bestückt werden. Dadurch ist es möglich die Länge der I²C Verbindung von 250mm auf etliche Meter auszudehnen und z.B. einen DNMS Sensor einige Meter entfernt in akustisch günstiger Position anzubringen. Das Layout berücksichtigt sowohl die DIP8 Bauform als auch die SMD Variante SO8, welche alternativ bestückt werden kann. Achtung: Bei der SO8 Bauform mit einer sehr feinen Lötspitze (Lötadel) arbeiten. Bei der DIP8 Bauform kann auch eine DIP8 IC-Fassung bestückt werden, so dass im Fehlerfall ein Wechsel des ICs einfach möglich ist.

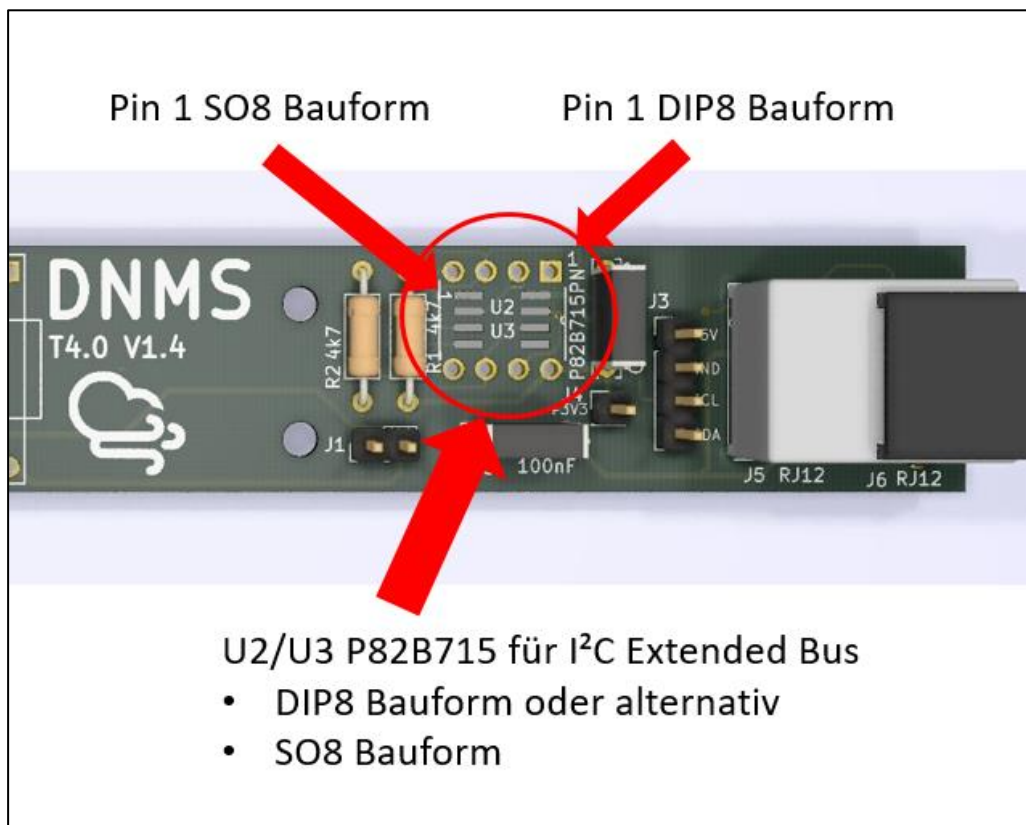


Abbildung 36 U2/U3 P82B715 IC für I²C Extended Bus

2.2.2.4 Schaltplan

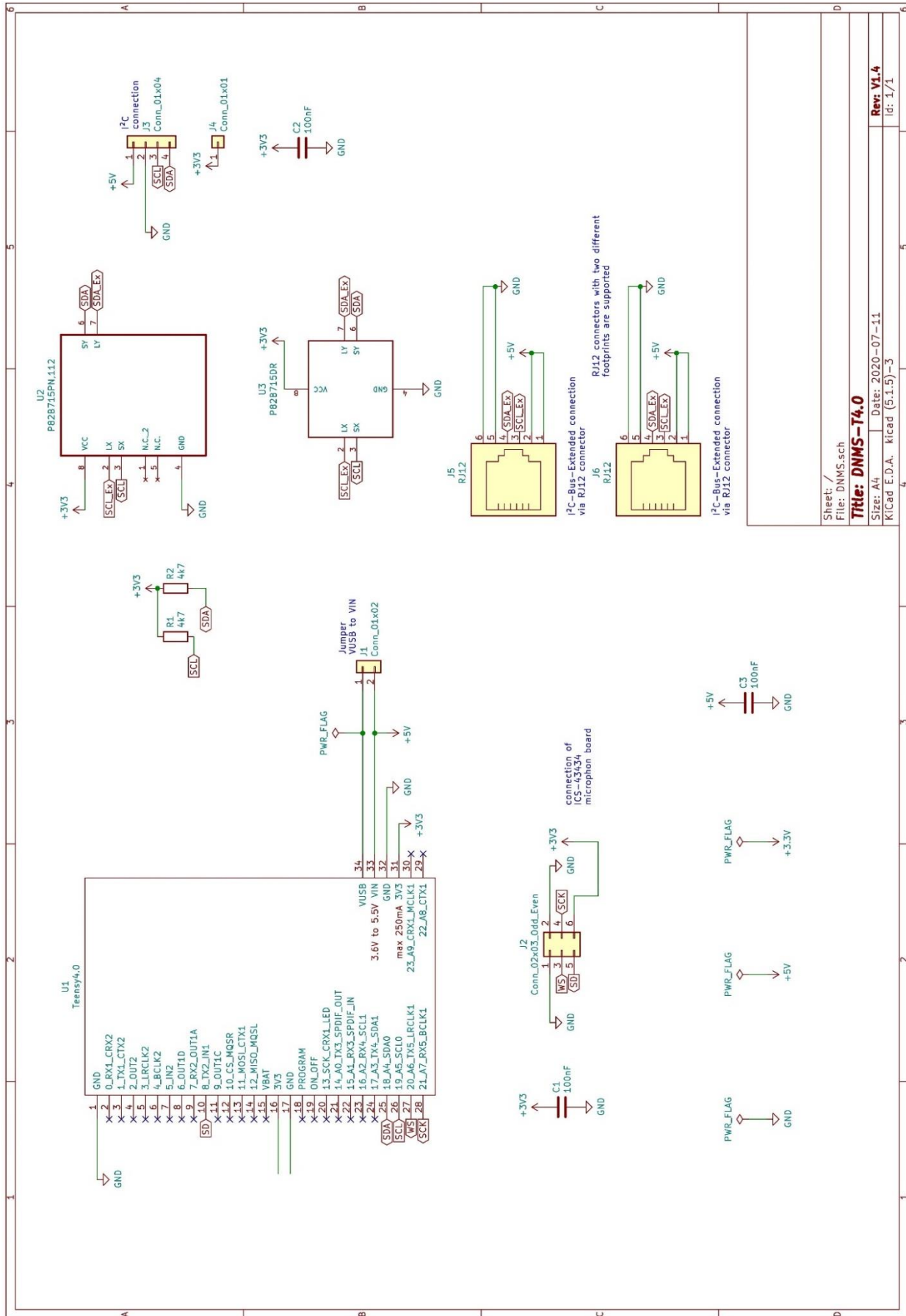


Abbildung 37 Schaltplan DNMS-T4.0-V1.4

2.2.2.5 Stückliste

Anmerkungen zur Stückliste:

Als erster Lieferant ist bei den meisten Teilen der Distributor Mouser genannt aus folgenden Gründen:

- Mouser hat viele der benötigten Teile im Vertrieb
- Es gibt eine eindeutige Zuordnung zu den Teilen und dem Hersteller mit Angabe der Artikelnummer des Herstellers, was die weitere Suche vereinfacht
- Mouser liefert international

Darüber hinaus sind meist noch zwei weitere Bezugsquellen in Deutschland genannt.

Die Preisangabe bezieht sich auf das Angebot des ersten Lieferanten, der Preis kann sich aber mittlerweile verändert haben und ist nur als Anhaltspunkt zu verstehen.

Viele der Teile wie Widerstände, Kondensatoren oder Stiftleisten können oft auch günstig über Amazon, Ebay und AliExpress bezogen werden. Da sich das Angebot dort aber ständig ändert, sind feste Links zu diesen Anbietern oft nicht lange gültig.

Bei den Bauteilen wie NodeMCU und Teensy 4.0 gibt es oftmals Unterschiede im Lieferumfang mal mit, mal ohne Stiftleisten d.h. ggf. kann es notwendig sein, hierfür noch Stiftleisten zu beschaffen. Diese Stiftleisten sind in der Stückliste nicht enthalten. Weiterhin sind in der Stückliste keine passenden Buchsenleisten für NodeMCU und/oder Teensy 4.0 enthalten, da dies individuell zu entscheiden ist, ob diese Bauteile direkt eingelötet werden oder in Buchsenleisten eingesetzt werden sollen.

Zuletzt noch eine Anmerkung zu Stiftleisten im 2,54mm Raster, die auf den Boards mehrfach in unterschiedlicher Polzahl zur Anwendung kommen. In der Stückliste sind diese getrennt nach Polzahl (2-polig, 4-polig, usw.) aufgeführt. Da man gekerbte Stiftleisten mit dem Seitenschneider sehr gut selbst trennen kann, ist es sicher vorteilhafter längere Stiftleisten anzuschaffen und diese nach Bedarf zu trennen.

Die Stückliste ist im DNMS GitHub Repository als Excel File vorhanden und unterstützt dann Links zu den Distributoren.

Im GitHub Repository sind auch die kompletten Details zum PCB (Board/Platine) eingestellt. Das Board ist mit dem Open Source Tool KiCAD entwickelt. Um ein PCB zu bestellen ist es nicht notwendig KiCAD zu installieren, es den entsprechenden Gerber File an einen PCB Hersteller zu übertragen z.B. DNMS-T4.0-V1.4-Gerber.zip.

In Frage kommende PCB Hersteller auch für kleine Stückzahlen sind:

[Aisler](#), [Elektor Platinen Service](#), [Eurocircuits](#) oder aus China [JLCPCB](#) und [PCBWay](#).

Besonders die Hersteller aus China bieten zu sehr günstigen Konditionen an z.B. 5 Stück DNMS-T4.0-V1.4 PCB für 4,70 \$, allerdings kommt hier der Versand mit mindestens 6,71 \$ (bei 10 – 20 Tagen Laufzeit bzw. mehr bei kürzerer Laufzeit) hinzu und ebenso Einfuhrumsatzsteuer und ggf. Zoll.

Item #	Reference	Qty	Manufacturer	Manufacturer Part #	Description / Value	Package/Footprint	Type	Distributor	Distributor #	Link to Distributor	Link to alternate Source	Link to alternate Source	Notes	Price (single Qty)	Price (Mouser Qty)
1	C1, C2, C3	3	Vishay	K104K15XTRF53H5L	Multilayer Ceramic Capacitors,MLCC - Leaded,0.1uF 50volts 10% XTR 5mm LS	5mm LS	THT	Mouser	594-K104K15XTRF53H5	Mouser	Reichelt	VoeLiner	any other Manufacturer is ok	0,085	0,26
2	J1	1	Amphenol FCI	10129378-90201BLF	PIN Header 1x02 P2.54mm vertical	P2.54mm	THT	Mouser	649-10129378-90201BLF	Mouser	Reichelt	VoeLiner	any other Manufacturer is ok	0,085	0,09
3	J2	1	Würth	61200621721	Soclet & Kabageleläuse WR-BHD 2.54mm Male 6P Angl Gold Box Hdr	P2.54mm 2x3	THT	Mouser	710-61200621721	Mouser	Reichelt	VoeLiner	any other Manufacturer is ok	0,923	0,92
4	J3	1	Amphenol Commercial Products	G800W304018EU	Pin Header 2.54mm Pitch STR DIP, 1x4Pin-FULL G/F,NV6T 6.1mm*2.5mm*3.0mm, Color-Back BAG	P2.54mm	THT	Mouser	523-G800W304018EU	Mouser	Reichelt	VoeLiner	any other Manufacturer is ok, (optional)	0,085	0,09
5	J4	1	Semtec	TSW-101-07-T-S	PIN Header 1x01 P2.54mm vertical	P2.54mm	THT	Mouser	200-TSW10107TS	Mouser	Reichelt	VoeLiner	any other Manufacturer is ok, (optional)	0,085	0,09
6	J5	1	Amphenol FCI	54601-906WPLF	MOD JACK RJ12 6P6C CAT 3 HORIZ 1 PORT		THT	Mouser	649-54601-906WPLF	Mouser	Reichelt	VoeLiner	either J5 or J6 as alternate assembly, this is the preferred assembly because of the height, any other Manufacturer with same height is ok	0,347	0,35
7	J6	1	Pulse Electronics	E5566-00UJ22-L	Modular Jack RJ12/RJ25 6P6C SDE ENTRY		THT	Mouser	673-E5566-00UJ22-L	Mouser	Reichelt	VoeLiner	either J5 or J6 as alternate assembly, any other Manufacturer is ok	0,44	0,44
8	R1, R2	2	Vishay	CCF074K70XK636	Meal Film Resistor 1/4watt 4.7kOhms 5% Rated to 125watt	6.2mm axial	THT	Mouser	71-CCF07-4.7K-E3	Mouser	Reichelt	VoeLiner	any other Manufacturer is ok, Kohleschicht oder Metallschicht, 0.25Watt oder 0.5Watt	0,152	0,30
9	U1	1	PJRC	TEENSY40	Teensy4.0 Development Board	1.4 by 0.7 inch	THT	Antratek Electronics Deutschland	TEENSY40	Antratek Electronics Deutschland	EXP GmbH			19,6	19,60
10	U2	1	Texas Instruments	P82B715P	Signal Buffer, Verstärker I2C Bus Extender	DIP8	THT	Mouser	555-P82B715P	Mouser	Reichelt	VoeLiner	either U2 or U3 as alternate assembly, any other Manufacturer is ok		0,00
11	U3	1	Texas Instruments	P82B715DR	Signal Buffer, Verstärker I2C Bus Extender	SOIC8	SMD	Mouser	555-P82B715DR	Mouser	Reichelt	VoeLiner	either U2 or U3 as alternate assembly, any other Manufacturer is ok	1,58	1,58

2.2.3 DNMS-T4.0+NodeMCU-V1.4

2.2.3.1 Übersicht

Das DNMS-T4.0+NodeMCU-V1.4 Board vereint die beiden Funktionen DNMS und Kommunikationsprozessor auf einem Board. Aufgrund der Abmessungen der NodeMCU V2 bzw. V3 Boards beträgt der Mindestdurchmesser zum Einbau 36mm d.h. es eignet sich zum Einbau in ein HT DN40 Rohr. Ein Feinstaubsensor SPS30 von Sensirion sowie ein Temperatur-Luftfeuchtesensor (z.B. BMP/E280 od. SHT3x od. SHT85) können ebenfalls angeschlossen werden. Der Lüfter des SPS30 könnte allerdings die akustischen Eigenschaften durch Vibration und Lärm beeinflussen, auch wenn er viel leiser ist als derjenige eines SDS011. Dieser mögliche Einfluss ist bisher noch nicht getestet.

Die Bestückung des Boards erfolgt von beiden Seiten. Das Teensy 4.0 Mikrocontroller Board und der Mikrofonanschluss sind auf der Frontseite platziert und das NodeMCU V2 oder V3 Mikrocontroller Board mit den Anschlüssen für den Feinstaubsensor und/oder Temperatur-Luftfeuchtesensor auf der Rückseite. Diese doppelseitige Bestückung wurde gewählt um den Anschluss auch im bestückten Zustand zum USB Port des Teensy 4.0 zu gewährleisten z.B. für späteres Updaten der Teensy 4.0 Firmware oder um den USB Anschluss für die Audio Ausgabe zu nutzen.

Die folgenden Abbildungen zeigen das Board von beiden Seiten ohne Teensy und NodeMCU Bestückung.

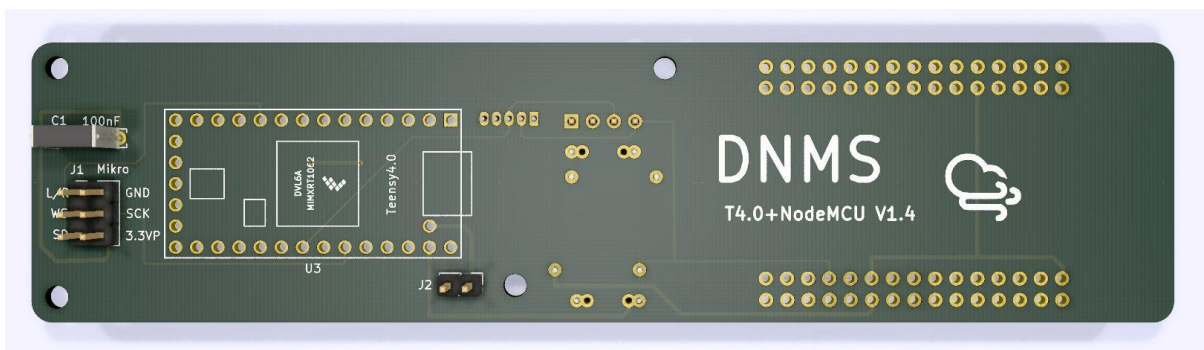


Abbildung 38 DNMS-T4.0+NodeMCU-V1.4 PCB Frontseite

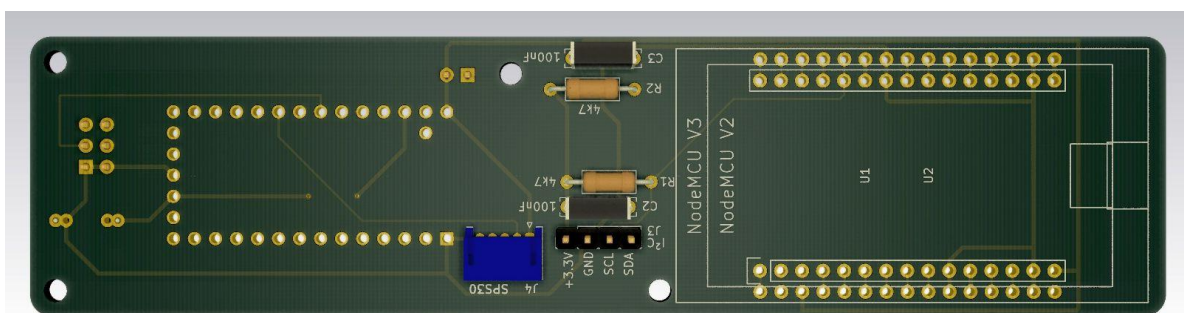


Abbildung 39 DNMS-T4.0+NodeMCU-V1.4 Rückseite

2.2.3.2 Eigenschaften

Das DNMS-T4.0+NodeMCU-V1.4 Board weist die folgenden Eigenschaften auf:

- Nutzung der NodeMCU V2 oder NodeMCU V3
- Feinstaubsensor SPS30 Anschluss
- RJ12 Buchse (6P/6C) für die Verbindung zum Airrohr Board über ein längeres Kabel (>5m), dazu ist eine I²C Bus-Verlängerung mit dem IC P82B715 vorhanden
- Layout RJ12 Buchse für zwei verschiedene Bauformen
- 1 x I²C Anschluss mit 3,3V Versorgungsspannung (BME/P280, SHT3x, Display u.a.) an Stiftleisten mit I²C Pull-up Widerständen
- Anschluss des ICS-43434 Mikrofons mittels 2-reihiger Stiftleiste oder auch abgewinkelter verpolungssicherer Buchse

2.2.3.3 Anschlüsse und Bestückung

2.2.3.3.1 J1 2x3-poliger Mikrofon Anschluss

2x3-poliges Anschlussfeld für den Anschluss des ICS-43434 Mikrofons. Es kann eine 2x3-polige Stiftleiste bestückt werden oder eine abgewinkelte 2x3-polige Stiftleiste mit Wanne in verpolungssicherer Ausführung. Das Anschlussfeld kann auch zum direkten Einlöten der Kabel vom Mikrofon genutzt werden. Die Belegung der einzelnen Pins ist auf der Platine aufgedruckt.



Abbildung 40 J1 2x3-poliger Mikrofon Anschluss

Die folgende Abbildung zeigt eine abgewinkelte 2x3-polige Stiftleiste mit Wanne in verpolungssicherer Ausführung.

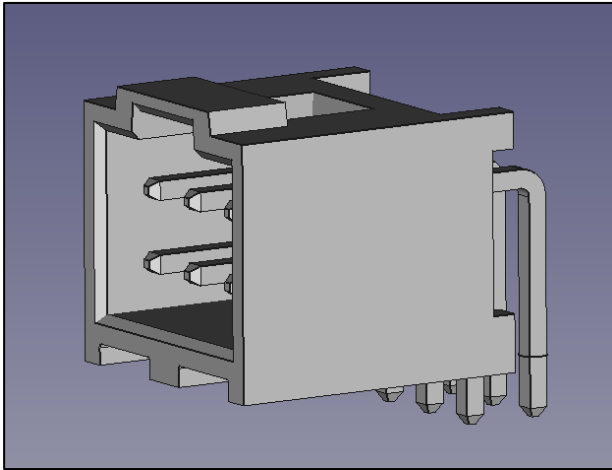


Abbildung 41 2x3-polige abgewinkelte Stiftleiste mit Wanne

2.2.3.3.2 J2 Jumper/Brücke Verbindung VUSB – VIN

Unter [2.1.5](#) ist das Auftrennen der Verbindung VUSB – VIN am Teensy Board beschrieben. Es gibt aber Situationen, dass das Teensy Board ohne eine Verbindung zur NodeMCU betrieben werden soll und die Stromversorgung wieder über den USB Anschluss des Teensy Boards erfolgen soll. Hierfür ist der Jumper J1 vorgesehen, der die Verbindung VUSB – VIN wieder schließt. Dieser Jumper/Brücke kann als 2-polige Stiftleiste im 2,54mm Raster ausgeführt werden.

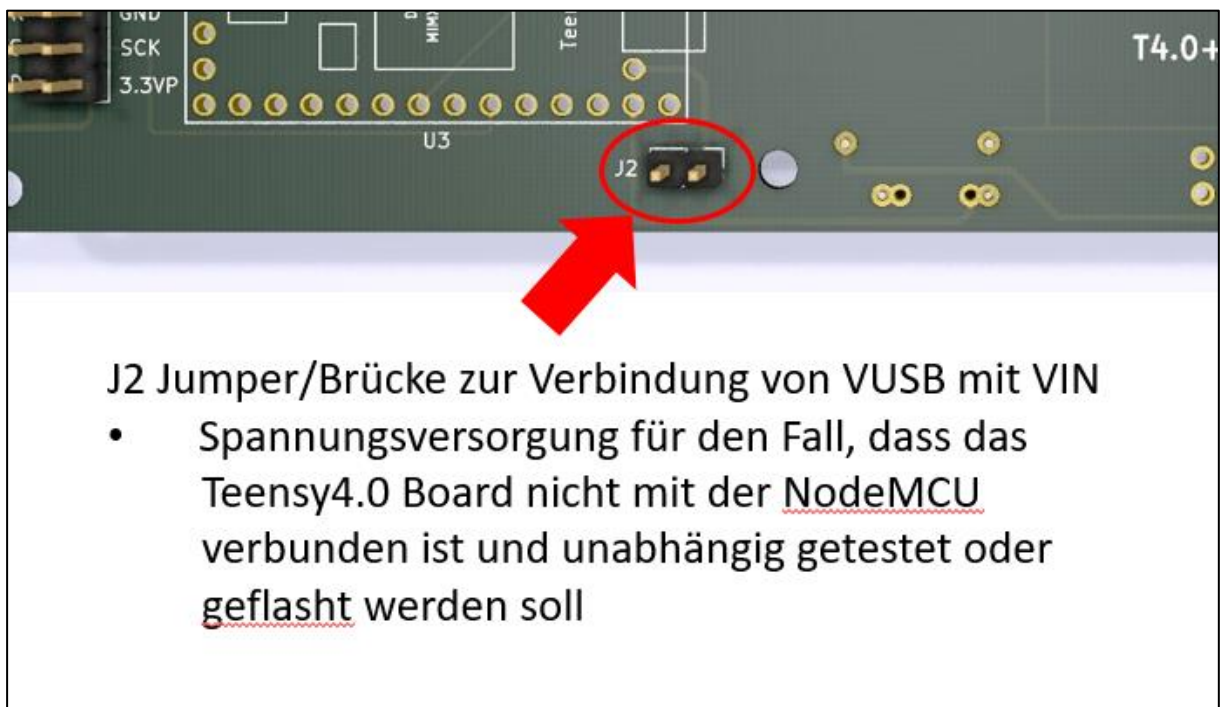


Abbildung 42 Jumper/Brücke Verbindung VUSB – VIN

2.2.3.3.3 J3 I²C Anschluss (optional)

An J3 kann ein Sensor mit I²C Verbindung und 3,3V Versorgungsspannung über eine 4-polige Stiftleiste im 2,54mm Raster angeschlossen werden. Alternativ kann auch eine gerade JST XH Buchse bestückt werden.

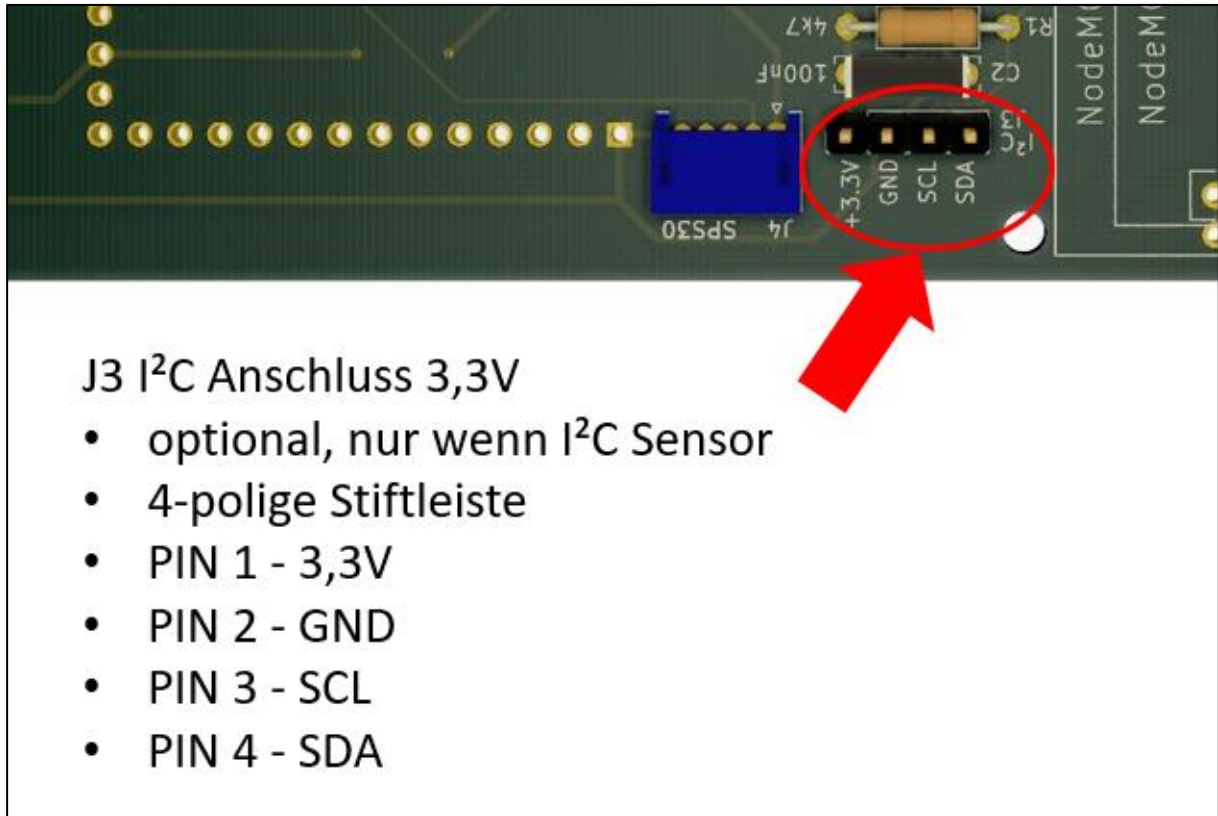


Abbildung 43 J3 I²C Anschluss (optional)

2.2.3.3.4 J4 SPS30 Feinstaubsensor Anschlussbuchse (optional)

An J4 kann ein optionaler Sensirion SPS30 Feinstaub Sensor angeschlossen werden. Es ist die gleiche Buchse wie am Sensirion SPS30 vorgesehen – eine 5-polige JST ZH Buchse S5B-ZR. Die Verbindung zwischen SPS30 und DNMS-TeensyT4.0+NoceMCU-V1.4 kann dann mittels eines 1:1 Kabels erfolgen. Die Bestückung der Buchse ist optional nur bei Verwendung eines SPS30.

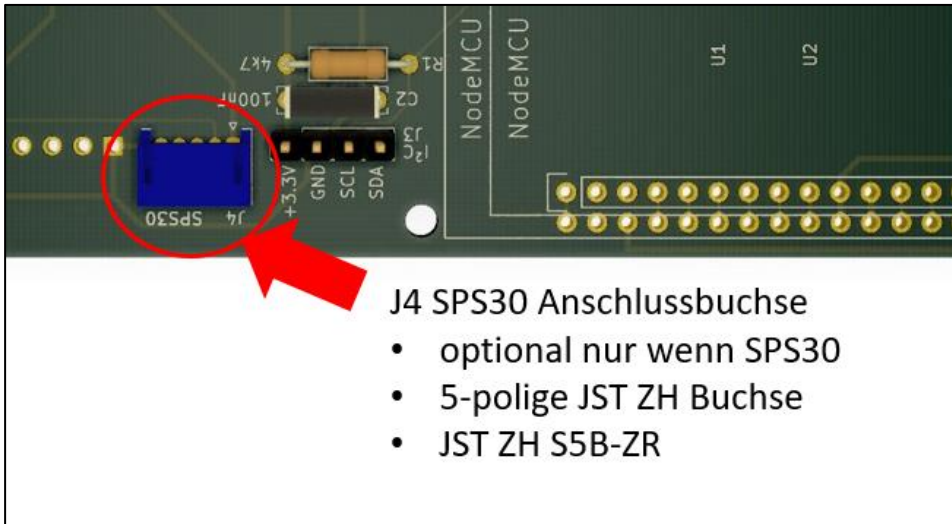


Abbildung 44 J4 SPS30 Feinstaubsensor Anschlussbuchse (optional)

2.2.3.3.5 C1, C2, C3 keramische Kondensatoren 100nF

C1, C2 und C3 sind keramische Puffer und Entkopplungskondensator von 100nF. Sie sollten immer bestückt werden.

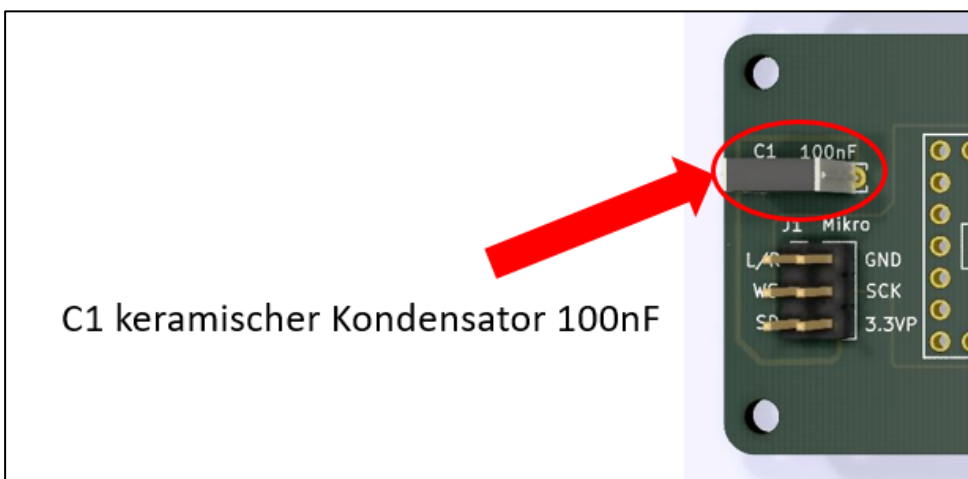


Abbildung 45 C1 keramischer Kondensator 100nF

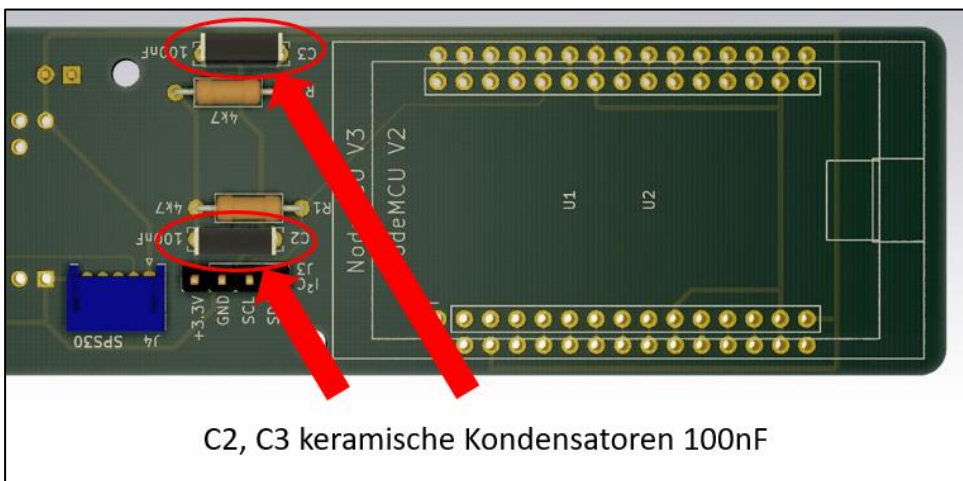


Abbildung 46 C2, C3 keramischer Kondensatoren 100nF

2.2.3.3.6 R1, R2 4,7k Pull-up Widerstand für I²C Bus

R1 und R2 sind 4,7k Ohm Pull-up Widerstände für den internen I²C Bus. Sie sollten immer bestückt werden.

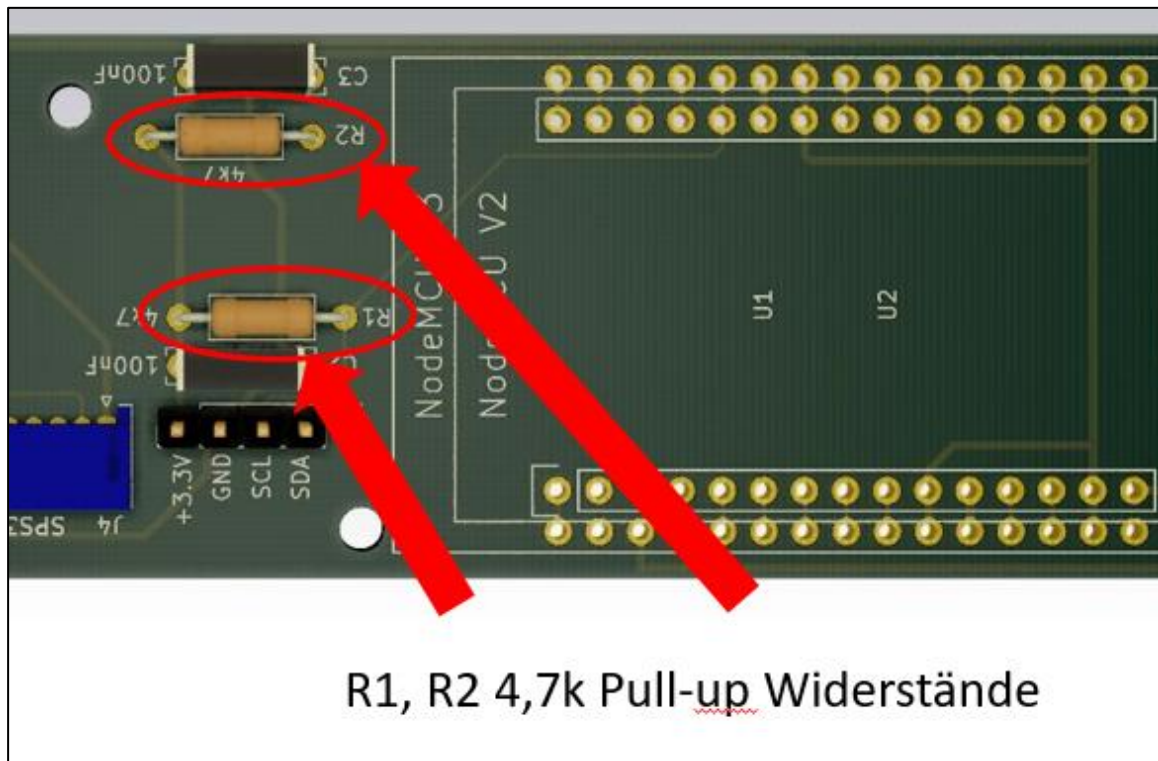


Abbildung 47 R1/R2 4,7k Pull-up Widerstände

2.2.3.3.7 U1/U2 NodeMCU V2 oder V3

Als U1 oder U2 kann die NodeMCU entweder als Version V2 oder als Version V3 bestückt werden. Die NodeMCU mit Stiftleisten kann direkt eingelötet werden. Es können aber auch Buchsenleisten im 2,54mm Raster eingelötet werden, in die die NodeMCU dann eingesteckt wird. Dies hat den Vorteil, dass die NodeMCU einfach gewechselt werden kann. Es führt aber zu einem höheren Aufbau, was bei der Planung für den Gehäuseeinbau zu beachten ist. Es können auch doppelreihige Buchsenleisten verwendet werden, so dass auch ein Wechsel zwischen NodeMCU V2 und V3 möglich ist.

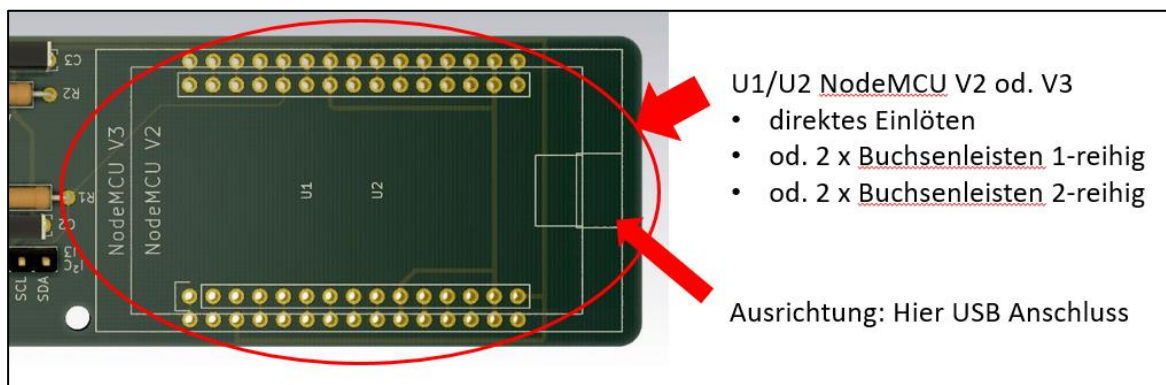


Abbildung 48 U1/U2 NodeMCU V2 oder V3

2.2.3.3.8 U3 Teensy 4.0

Platz für das Teensy 4.0 Board. Das Teensy 4.0 Board mit Stiftleisten kann direkt eingelötet werden. Es können aber auch Buchsenleisten im 2,54mm Raster eingelötet werden, in die das Teensy 4.0 Board dann eingesteckt wird. Dies hat den Vorteil, dass das Teensy 4.0 Board einfach gewechselt werden kann. Es führt aber zu einem höheren Aufbau, was bei der Planung für den Gehäuseeinbau zu beachten ist.



Abbildung 49 U3 Teensy 4.0

2.2.3.4 Schaltplan

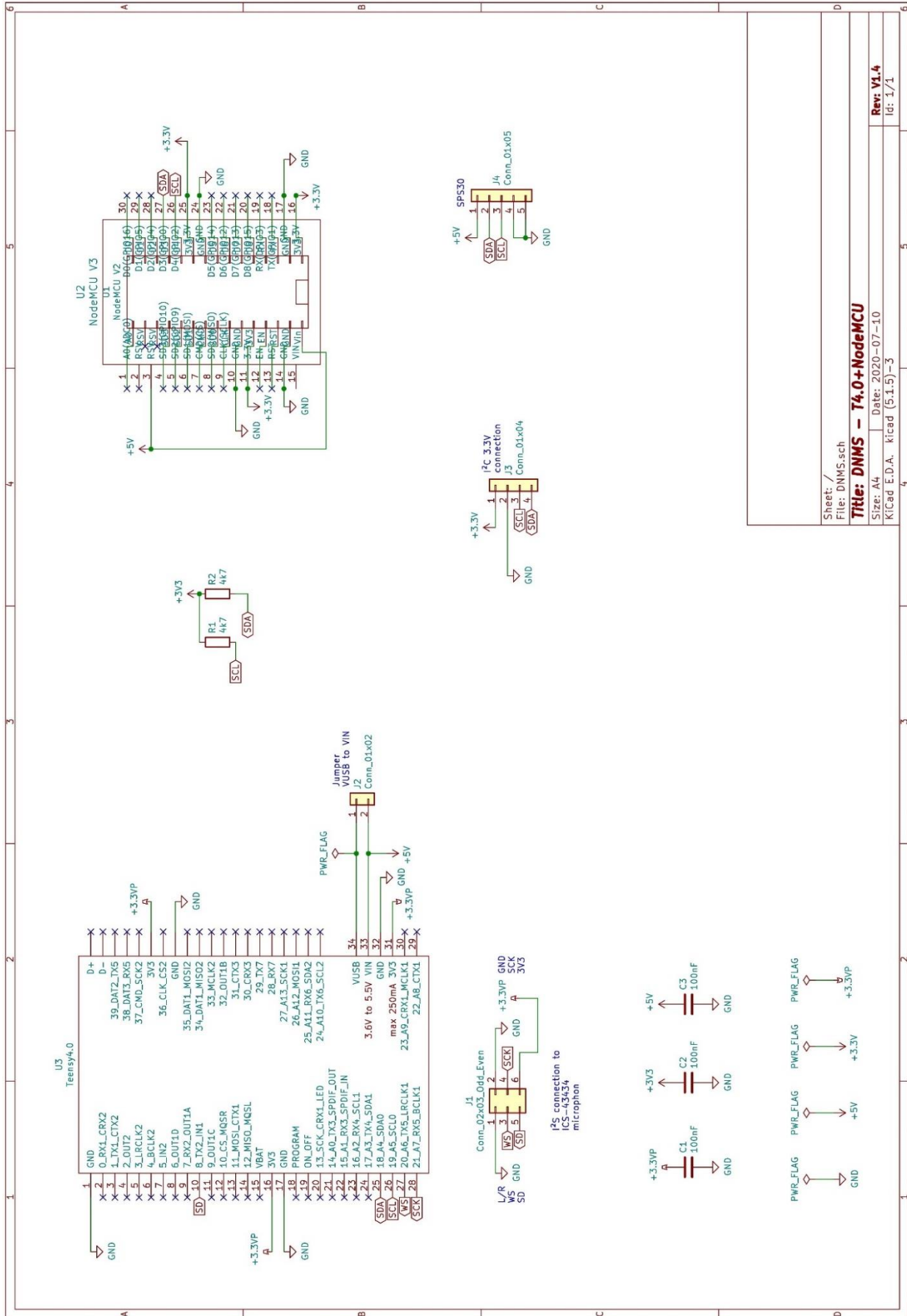


Abbildung 50 Schaltplan DNMS-T4.0+NodeMCU-V1.4

2.2.3.5 Stückliste

Anmerkungen zur Stückliste:

Als erster Lieferant ist bei den meisten Teilen der Distributor Mouser genannt aus folgenden Gründen:

- Mouser hat viele der benötigten Teile im Vertrieb
- Es gibt eine eindeutige Zuordnung zu den Teilen und dem Hersteller mit Angabe der Artikelnummer des Herstellers, was die weitere Suche vereinfacht
- Mouser liefert international

Darüber hinaus sind meist noch zwei weitere Bezugsquellen in Deutschland genannt.

Die Preisangabe bezieht sich auf das Angebot des ersten Lieferanten, der Preis kann sich aber mittlerweile verändert haben und ist nur als Anhaltspunkt zu verstehen.

Viele der Teile wie Widerstände, Kondensatoren oder Stiftleisten können oft auch günstig über Amazon, Ebay und AliExpress bezogen werden. Da sich das Angebot dort aber ständig ändert, sind feste Links zu diesen Anbietern oft nicht lange gültig.

Bei den Bauteilen wie NodeMCU und Teensy 4.0 gibt es oftmals Unterschiede im Lieferumfang mal mit, mal ohne Stiftleisten d.h. ggf. kann es notwendig sein, hierfür noch Stiftleisten zu beschaffen. Diese Stiftleisten sind in der Stückliste nicht enthalten. Weiterhin sind in der Stückliste keine passenden Buchsenleisten für NodeMCU und/oder Teensy 4.0 enthalten, da dies individuell zu entscheiden ist, ob diese Bauteile direkt eingelötet werden oder in Buchsenleisten eingesetzt werden sollen.

Zuletzt noch eine Anmerkung zu Stiftleisten im 2,54mm Raster, die auf den Boards mehrfach in unterschiedlicher Polzahl zur Anwendung kommen. In der Stückliste sind diese getrennt nach Polzahl (2-polig, 4-polig, usw.) aufgeführt. Da man gekerbte Stiftleisten mit dem Seitenschneider sehr gut selbst trennen kann, ist es sicher vorteilhafter längere Stiftleisten anzuschaffen und diese nach Bedarf zu trennen.

Die Stückliste ist im DNMS GitHub Repository als Excel File vorhanden und unterstützt dann Links zu den Distributoren.

Im GitHub Repository sind auch die kompletten Details zum PCB (Board/Platine) eingestellt. Das Board ist mit dem Open Source Tool KiCAD entwickelt. Um ein PCB zu bestellen ist es nicht notwendig KiCAD zu installieren, es den entsprechenden Gerber File an einen PCB Hersteller zu übertragen z.B. DNMS-T4.0-V1.4-Gerber.zip.

In Frage kommende PCB Hersteller auch für kleine Stückzahlen sind:

[Aisler](#), [Elektor Platinen Service](#), [Eurocircuits](#) oder aus China [JLCPCB](#) und [PCBWay](#).

Besonders die Hersteller aus China bieten zu sehr günstigen Konditionen an z.B. 5 Stück DNMS-T4.0-V1.4 PCB für 4,70 \$, allerdings kommt hier der Versand mit mindestens 6,71 \$ (bei 10 – 20 Tagen Laufzeit bzw. mehr bei kürzerer Laufzeit) hinzu und ebenso Einfuhrumsatzsteuer und ggf. Zoll.

Item #	Reference	Qty	Manufacturer	Manufacturer Part #	Description / Value	Package/Footprint	Type	Distributor	Distributor #	Link to Distributor	Link to alternate Source	Link to alternate Source	Notes	Price (single Qty)	Price
1	C1, C2, C3	3	Vistay	K104K15X7R53H5L	Multi-layer Ceramic Capacitors MLCC - Leaded 0.1uF 50volts 10% X7R 5mm LS	5mm LS	THT	Mouser	594-K104K15X7R53H5	Mouser	Reichelt	Vöelner	any other Manufacturer is ok	0,085	0,26
2	U1	1	Würth	61200621721	Socket & Kabagehäuse WR-RHD 2,54mm Male 6P Ang Gold Box Hid	P2,54mm 2x3	THT	Mouser	710-6200621721	Mouser	Reichelt	Vöelner	any other Manufacturer is ok	0,923	0,92
3	U2	1	Amphenol FCI	10129376-90201BLF	Pin Header 1x02 P2,54mm vertical	P2,54mm	THT	Mouser	699-1022937690201BLF	Mouser	Reichelt	Vöelner	any other Manufacturer is ok	0,085	0,09
4	U3	1	Amphenol Commercial Products	6800W304018EU	Pin Header 2,54mm Pitch STR DIP, 1x4P Pin FULL GF, NGT, 6,1mm x 2,5mm x 3,0mm, Color: Black, BAG	P2,54mm	THT	Mouser	523-6800W304018EU	Mouser	Reichelt	Vöelner	any other Manufacturer is ok, (optional)	0,085	0,09
5	U5	1	JST	SSB-ZR(LF)(SW)	Through-hole type stranded header, side entry	P1,5mm	THT	Vöelner	D19871	Vöelner	smby		(optional)	0,53	0,53
6	R1, R2	2	Vistay	CCF074K70ME36	Metal Film Resistor 1/4watt 4,7kOhms 5% Rated to 1/2watt	6,62mm axial	THT	Mouser	71-CCF074-4,7K-E3	Mouser	Reichelt	Vöelner	any other Manufacturer is ok, Kohleschicht oder Metallschicht, 0,25Watt oder 0,5Watt	0,152	0,30
7	U1	1	diverse	NodeMCU V3	NodeMCU ESP8266 Entwicklungs Board V3	58 x 31mm	THT	KOMPUTER DE	KP18014	KOMPUTER DE	AZ-Delivery		either U1 or U2 as alternate assembly	3,12	3,12
8	U2	1	diverse	NodeMCU V2	ESP8266 NodeMCU V2 Development Board	48 x 26mm	THT	AZ-Delivery	NodeMCU Lua Amica Modul V2 ESP8266 ESP-12F	AZ-Delivery	Bernd&Bode		either U1 or U2 as alternate assembly	5,79	5,79
9	U3	1	PJRC	TEENS40	Teensy 4.0 Development Board	1,4 by 0,7 inch	THT	Attratek Electronics Deutschland	TEENS40	Attratek Electronics Deutschland	EPG GmbH			19,6	19,60

3. Software

Die Software des DNMS auf dem Teensy 3.6 / Teensy 4.0 Mikrocontroller Board ist unter der Arduino IDE entwickelt. Für die Teensy Boards gibt es eine Erweiterung für die Arduino IDE. Details zum Download, zur Installation und zu den Besonderheiten sind unter <https://www.pjrc.com/teensy/teensyduino.html> zu finden. Es ist nicht notwendig die Arduino IDE und die Teensy Erweiterung zu installieren, wenn man das Teensy Board nur mit der vorhandenen Firmware flashen will. Eine Beschreibung zum Flashen findet sich unter [4.3](#). Die Installation der Arduino IDE und Teensy Erweiterung ist nur notwendig, wenn eigene Erweiterungen realisiert werden sollen. Die aktuelle Firmware steht im GitHub zur freien Verfügung: <https://github.com/hbitter/DNMS>

3.1 Teensy Audio Library

Die Teensy Audio Library stellt Funktionen für den I²S Anschluss des InvenSense ICS-43434 Mikrofons zur Verfügung. Weiterhin werden Funktionen zur Effektiv-Wert Berechnung und Realisierung des A-Filters aus der Library eingesetzt. Weitegehende Informationen zur Teensy Audio Library sind unter https://www.pjrc.com/teensy/td_libs_Audio.html zu finden.

3.2 I²C Kommunikation

- I²C address: 0x55
- Max. speed: standard mode 100 kbit/s
- Clock stretching: not used

Als I²C Library wird für Teensy 3.6 die Library **i2c_t3** eingesetzt. Diese Library steht auf GitHub zur Verfügung: https://github.com/nox771/i2c_t3

Für Teensy 4.0 kommt die I²C Library **teensy4_i2c** zum Einsatz. Diese Library steht auf GitHub zur Verfügung: https://github.com/Richard-Gemmell/teensy4_i2c

Achtung:

Da bei der I²C Übertragung mehr als 32 Bytes übertragen werden, ist in Wire.h der Wert für die Buffer Länge auf 64 zu setzen:

```
#define BUFFER_LENGTH 64
```

Falls die Software des abfragenden Kommunikationsprozessors ebenfalls unter der Arduino IDE entwickelt wird (z.B. NodeMCU od. ESP32), ist auch hier in der Datei Wire.h der Wert der Buffer Länge auf 64 zu setzen.

Vom Kommunikationsprozessor (I²C Master) können die unter 3.2.1 beschriebenen 2-Byte langen Kommandos an das DNMS System (I²C Slave) gesendet werden. Die Übertragung von Daten vom DNMS an den Kommunikationsprozessor ist durch eine CRC-Checksum abgesichert. Nach jeweils 2 Bytes wird ein CRC-Byte eingefügt und übertragen. Die folgende C Programmsequenz zeigt die CRC Generierung:

```

#define CRC8_POLYNOMIAL          0x31
#define CRC8_INIT                0xFF
#define CRC8_LEN                  1

uint8_t dnms_common_generate_crc(uint8_t *data, uint16_t count) {
    uint16_t current_byte;
    uint8_t crc = CRC8_INIT;
    uint8_t crc_bit;

    /* calculates 8-Bit checksum with given polynomial */
    for (current_byte = 0; current_byte < count; ++current_byte) {
        crc ^= (data[current_byte]);
        for (crc_bit = 8; crc_bit > 0; --crc_bit) {
            if (crc & 0x80)
                crc = (crc << 1) ^ CRC8_POLYNOMIAL;
            else
                crc = (crc << 1);
        }
    }
    return crc;
}

```

3.2.1 I²C Kommandos

Die folgenden Kommandos sind z.Zt. realisiert:

DNMS_CMD_RESET	0x0001
DNMS_CMD_READ_VERSION	0x0002
DNMS_CMD_CALCULATE_LEQ	0x0003
DNMS_CMD_READ_DATA_READY	0x0004
DNMS_CMD_READ_LEQ	0x0005

Geplante Erweiterungen sind C-Bewertung und Übertragung dieser Werte sowie FFT-Analyse. Die dazu notwendigen Funktionen und Kommandos werden in einer zukünftigen Version realisiert.

3.2.1.1 Reset (0x0001)

Durch das Reset Kommando erfolgt eine Reset des DNMS gesteuert vom Kommunikationsprozessor d.h. die bisher erfassten Audiodaten und die gebildeten L_{Aeq}-Werte werden gelöscht.

3.2.1.2 Read Version (0x0002)

Das Read Version Kommando überträgt einen 18-Byte langen String mit der Versionsangabe des DNMS: „DNMS Version x.y.z“ und der folgenden Bedeutung.

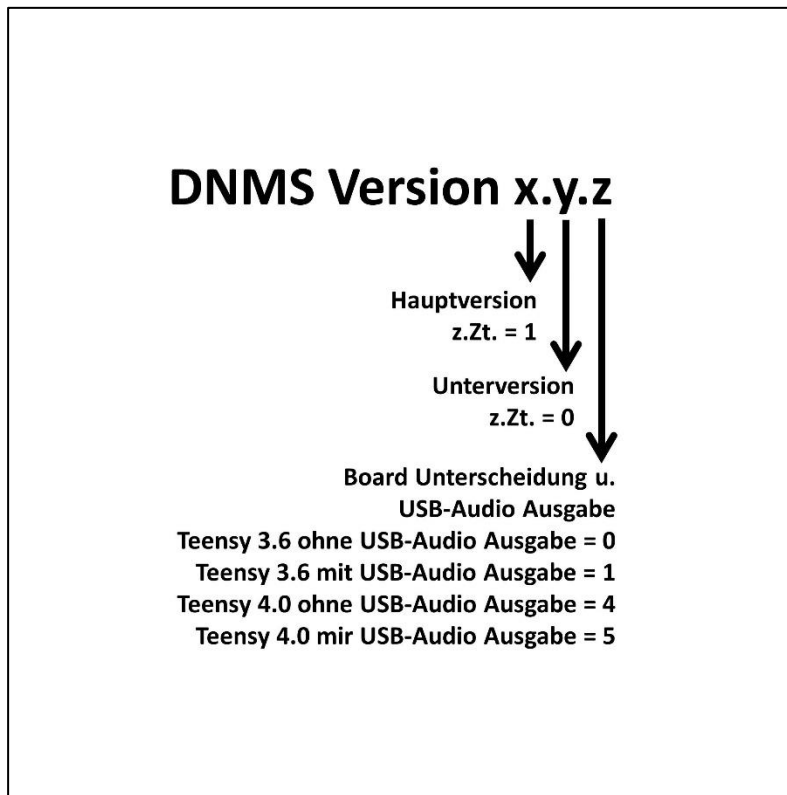


Abbildung 51 Namenskonvention DNMS Software Versionen

3.2.1.3 Calculate LEQ (0x0003)

Das Kommando Calculate LEQ veranlaßt die Berechnung des gesamt L_{Aeq} -Wertes über das bisherige Intervall. Der Wert wird intern abgespeichert ebenso die L_{Amin} - und L_{Amax} -Werte. Die Werte werden für die Übertragung bereitgestellt.

3.2.1.4 Read Data Ready (0x0004)

Mit dem Kommando Read Data Ready lässt sich abfragen, ob der gesamt L_{Aeq} -Wert und die L_{Amin} - und L_{Amax} -Werte für die Übertragung über I²C bereit stehen.

3.2.1.5 Read LEQ (0x0005)

Das Kommando Read LEQ überträgt die bereit stehenden Daten über I²C an den Kommunikationsprozessor. Die Daten werden als Float-Werte übertragen.

3.3 GitHub DNMS Software Repository

Wie unter [3.](#) erwähnt, steht die DNMS Software unter GitHub zur freien Verfügung:

<https://github.com/hbitter/DNMS>

Entsprechend der Namenskonvention für die verschiedenen Versionen ([3.2.1.2](#)) sind im DNMS Firmware Ordner Unterordner für die verschiedenen Versionen vorhanden. Neben dem Source Code ist auch von jeder Version die übersetzte Firmware vorhanden unter der Bezeichnung: **DNMS_Vx.y.z.ino.hex**. Unter [4.3.2](#) ist beschrieben, wie sich die Teensy Boards mit diesen Firmware Versionen flashen lassen.

4. Bauanleitung

Empfohlen wird der Aufbau auf Basis der aktuellen PCBs im GitHub d.h. es wird empfohlen Teensy 4.0 zu benutzen und nicht mehr Teensy 3.6. Teensy 4.0 ist leistungsfähiger und außerdem günstiger. Die früheren PCB Versionen auch auf Basis von Teensy 3.6 sind weiterhin im GitHub zu finden. Die Version 1.1 dieser Beschreibung und Bauanleitung geht auf die Versionen basierend auf Teensy 3.6 ein. Hier in der Version 2.0 und folgende wird vom Teensy 4.0 ausgegangen.

Auf Basis der vorhandenen PCBs (Airrohr-PCB-V1.4, DNMS-T4.0-V1.4, DNMS-T4.0+NodeMCU-V1.4) ergeben sich zwei unterschiedliche Aufbau-Varianten:

- **Variante 1:** Teensy 4.0 getrennt vom Kommunikationsprozessor (PCBs: DNMS-T4.0-V1.4 und AIRROHR-PCB-V1.4).
- **Variante 2:** Teensy 4.0 mit Kommunikationsprozessor kombiniert (PCB: DNMS – T4.0+NodeMCU V1.4).

Die Variante 1 hat den Vorzug, dass der DNMS Lärmsensor in einem akustisch vorteilhaften schmalen Gehäuse eingebaut werden kann. Weiterhin kann er akustisch günstig angebracht werden, mehrere Meter entfernt vom Kommunikationsprozessor (Airrohr-PCB-V1.4) über ein einfaches Telefonkabel. Dies ist insbesondere hilfreich bei nicht so guter WLAN Abdeckung im Außenbereich. Ein weiterer Vorteil dieser Variante ist, dass am Airrohr Board alle anderen Sensoren angeschlossen werden können um einen kompletten Feinstaubsensor zu realisieren (SDS011 oder SPS30, BME/P280 und/oder DHT22 und/oder SHT3x).

Die Variante 2 hat den Vorzug, nur aus einer Einheit zu bestehen. Voraussetzung ist aber, dass an dem Ort ein ausreichender WLAN Signalpegel zur Verfügung steht und ebenso die Stromversorgung durch ein USB Netzteil. Durch den I²C Bus kann auch hier ein SPS30 Feinstaubsensor und/oder ein BME/P280 oder SHT3x Temperatur- und Feuchtigkeitssensor ergänzt werden.

Stücklisten sind bei den jeweiligen Varianten entsprechend der unterschiedlichen Gehäuseausführung aufgeführt. Die Stücklisten für die Elektronik Boards sind im Kapitel 2 bei den jeweiligen Boards aufgeführt.

Gemeinsam ist beiden Varianten der Aufbau der Mikrofoneinheit. Deshalb wird im Folgenden mit dem Bau der Mikrofoneinheit begonnen.

4.1 Mikrofoneinheit

Der Bau der Mikrofoneinheit basiert auf einem Breakout Board mit dem ICS-43434 Mikrofon, dadurch ist die Realisierung auch ohne aufwändige SMD Montage möglich. Ein passendes Breakout Board von Pesky Products kann über die Plattform Tindie bezogen werden: <https://www.tindie.com/products/onehorse/ics43434-i2s-digital-microphone/>

Ein weiteres Breakout Board mit dem ICS-43434 Mikrofon wird von Sensor Maestros angeboten. Dieses Board kann als Alternative zum Pesky Board benutzt werden. Informationen zu diesem Board sind auf der Webseite von Sensor Maestros zu finden: <https://sensormaestros.com/>

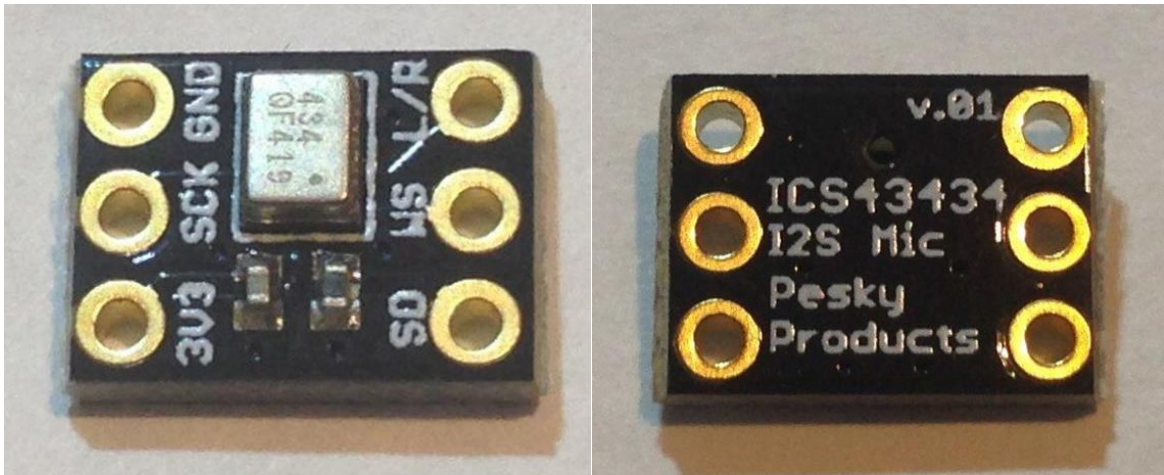


Abbildung 52 Vorder- und Rückseite des Pesky ICS-43434 Boards

4.1.1 Gehäuseteil für die Mikrofoneinheit

Als Gehäuseteil für das Pesky ICS-43434 Board kommt ein Kunststoffrohr mit einem Außendurchmesser von $\frac{1}{2}$ Zoll (12,7mm) zum Einsatz. Der $\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser ist bei Messmikrofonen ein häufig benutzter Standard, es können dadurch z.B. auch Standard Kalibratoren für $\frac{1}{2}$ Zoll auf das Mikrofon aufgesteckt werden. Weiterhin gibt es akustische Gründe, den Durchmesser möglichst gering zu halten.

Das ICS-43434 Mikrofon ist ein sogenanntes „bottom port“ Mikrofon d.h. der akustische Einlass befindet sich an der Unterseite. Entsprechend hat das Pesky Board auf der unbestückten Seite seinen akustischen Einlass.



Abbildung 53 Pesky Board akustischer Einlass unbestückte Seite

Die Diagonalen des Pesky Breakout Boards sind ein wenig größer als der Innendurchmesser des ½ Zoll Kunststoffrohrs. Die Ecken müssen deshalb ein wenig abgefeilt werden, damit das Board in das Kunststoffrohr passt.

Achtung: Das Board von der unbestückten Seite mit feinem Klebeband, das sich rückstandsfrei entfernen lässt, abkleben, damit kein Staub in das Mikrofon gelangt.

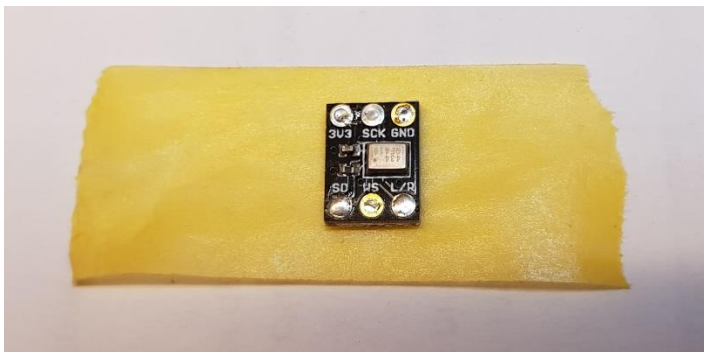


Abbildung 54 Pesky Board von unbestückter Seite abkleben

Das überstehende Klebeband abschneiden.



Abbildung 55 Pesky Board mit Klebeband gegen Staub geschützt

Nun werden vorsichtig die Ecken mit einer Feile abgefeilt, bis das Board in das Rohr passt.



Abbildung 56 Abfeilen der Ecken am Pesky Board

Als Nächstes werden die 6 Verbindungskabel am Board angelötet. Hochflexibles Silikonkabel mit einem Querschnitt von $0,15\text{mm}^2$ (AWG 26) hat sich dabei bewährt. Die 6 Kabel sollten mit einer Länge von 200mm konfektioniert werden. Es sollen unterschiedliche Farben

verwendet werden, damit später keine Verwechslung auftritt. Hier ist [Link](#) zu Amazon zu einem Set solcher AWG 26 Silikonkabel in verschiedenen Farben.

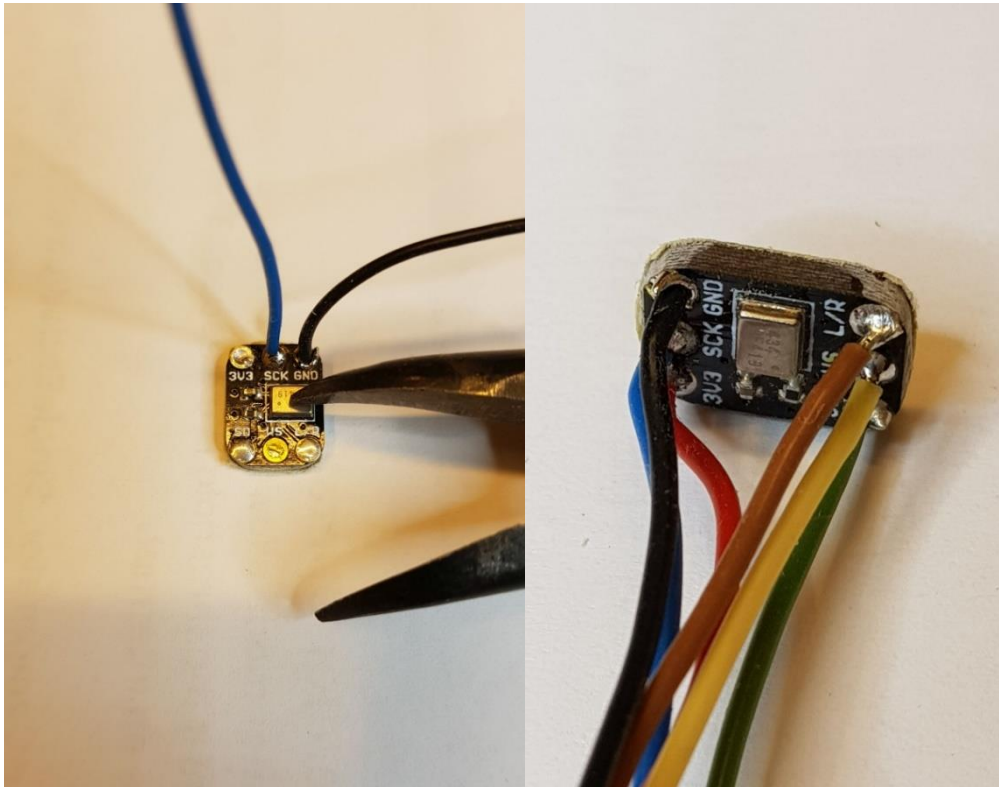


Abbildung 57 Kabel am Breakout Board anlöten

Nun wird ein passendes Stück ½ Zoll Kunststoffrohr mit einer Länge von ca. 115mm zugeschnitten. Kunststoffrohre mit ½ Zoll (12,7 mm) Außendurchmesser sind im Modellbau bzw. Architekturmodellbau erhältlich z.B. Evergreen Nr. 236 Rundrohr ½ Zoll.



Abbildung 58 Beispiel 1/2 Zoll Kunststoffrohr

Eine Einkaufsquelle ist z.B.: <https://www.architekturbedarf.de/kunststoffe/evergreen-profile/rundrohre-355-mm/evergreen-rundrohr-127-x-115-mm>

In einer Packung sind 2 Rohre à 355mm d.h. aus einem Rohr können drei Mikrofonrohre hergestellt werden bzw. aus der Packung 6 Stück.

4.1.2 Montage und Ausgießen des Mikrofonrohres

Zunächst wird das Klebeband von der Unterseite des Pesky Boards entfernt. Dann nimmt man sich erneut zwei Streifen von dem Klebeband und klebt diese über Kreuz auf die Unterseite des Pesky Boards. Die Kabel werden in das Stück Kunststoffrohr gefädelt und das Rohr über das Pesky Board aufgesetzt. Bitte fest aufdrücken, damit das Rohr gut am Klebeband haftet.

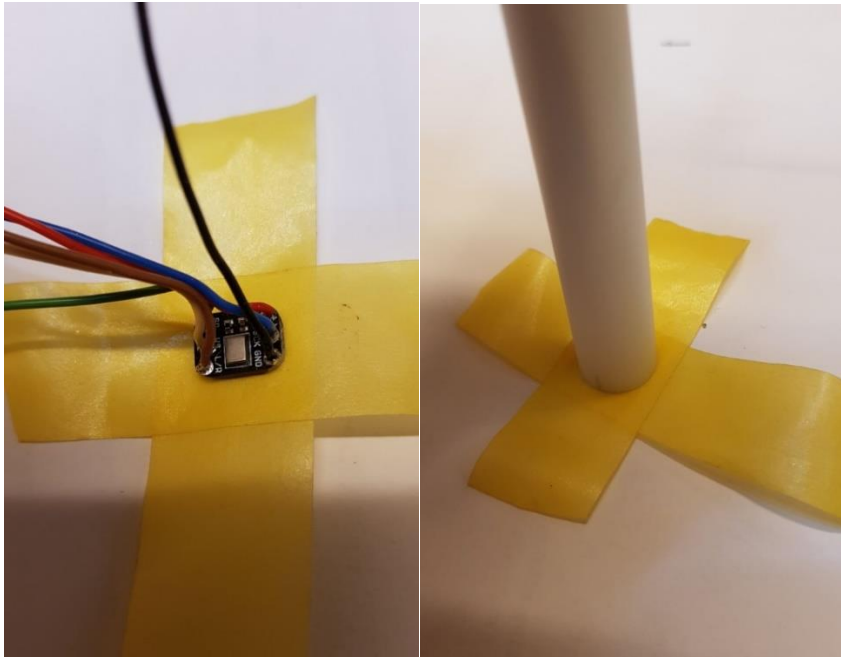


Abbildung 59 Pesky Board wieder abkleben und Rohr aufsetzen

Jetzt wird das Klebeband am Rohr entlang gut festgedrückt.

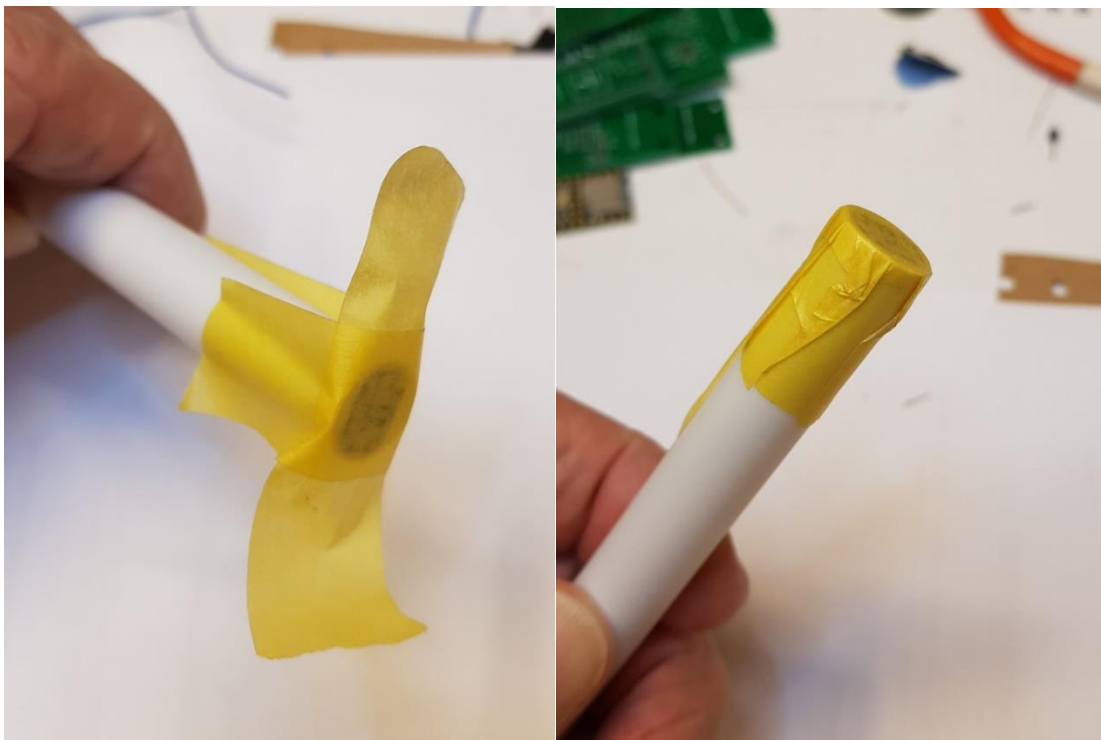


Abbildung 60 Festdrücken des Klebebandes am Rohr

Damit ist das Mikrofon mit dem Rohr für den nächsten Schritt, das Ausgießen des Rohrinnenen, vorbereitet. Durch das Ausgießen wird das Mikrofon fest mit dem Rohr verbunden. Das Ausgießen unterdrückt aber auch unerwünschte Resonanzen im Rohr. Als Vergussmasse hat sich die 2-Komponenten Vergussmasse PURe Isolation ST 33 der Firma copaltec GmbH bewährt. Unter www.copaltec.de können die Verarbeitungshinweise herunter geladen werden. Wichtig, wie bei allen 2-Komponenten Vergussmassen, sind gutes Aufrühren, das Einhalten des angegebenen Mischungsverhältnisses und gutes Vermischen der beiden Komponenten.

Eine Bezugsquelle für die Vergussmasse PURe Isolation ST 33 ist z.B. die Firma Bürklin: https://www.buerklin.com/de/Produkte/Werkzeuge-und-Hilfsmittel/Chemisch-Technische-Produkte/Dichtmassen-und-Vergussmassen/Polyurethan-Gie%C3%9Fharz,-Copaltec-PURe-Isolation-ST-33,-schwarz/p/12L5900?gclid=EAlaIQobChMIhbWFrI5r5QIVhuN3Ch26xgHrEAQYASABEGk1s_D_BwE.

Beim Einfüllen der Vergussmasse ist für einen sicheren Stand des Mikrofonrohrs zu sorgen. Die Vergussmasse sollte bis 5mm vor dem Rohrende eingefüllt werden, dafür werden ca. 12g gemischte Vergussmasse benötigt.

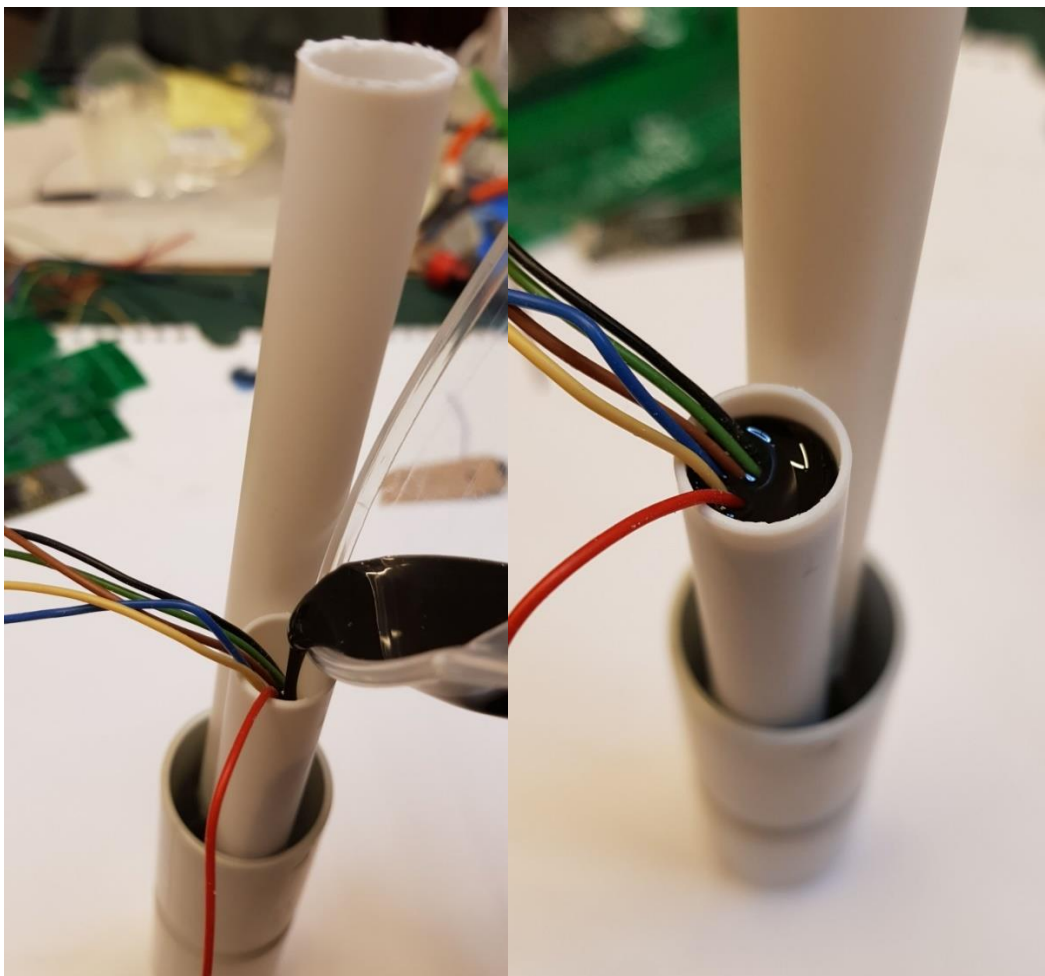


Abbildung 61 Einfüllen der Vergussmasse bis ca. 5mm vor dem Rohrende

Die Aushärtungszeit der Vergussmasse beträgt bei 22°C ca. 16 - 30 Stunden.

Die folgende Abbildung zeigt das Ergebnis nach dem Aushärten:



Abbildung 62 fertig ausgegossenes Mikrofonrohr

4.1.3 Stückliste Mikrofoneinheit

Anzahl	Gegenstand u. Anmerkungen	Hersteller u. Produkt	Bezugsquelle	Preis
1	Mikrofon ICS-43434 auf Breakout-Board	Pesky Products oder Sensor Maestros	Pesky über https://www.tindie.com/products/onehorse/ics43434-i2s-digital-microphone/ oder Sensor Maestros über https://sensormaestros.com/products/audio-2/mems-microphone/smmic-ics43434/	10,70€ zzgl. Versandkos ten
1	1/2 Zoll (12,7mm) Kunststoffrohr, Stück ca. 115mm lang, Packung enthält 2 Rohre à 355mm Länge, reicht für 6 Mikrofone	Evergreen Nr. 236 Rundrohr ½ Zoll	https://www.architekturbedarf.de/kunststoffe/evergreen-profile/rundrohre-355-mm/evergreen-rundrohr-127-x-115-mm	4,35€ zzgl. Versandkos ten
1	2-Komponenten Vergussmasse PURE Isolation ST 33, 345g Gebinde reicht für ca. 20 Mikrofone	copaltec GmbH, www.copaltec.de	https://www.buerklin.com/de/Produkte/Werkzeuge-und-Hilfsmittel/Chemisch-Technische-Produkte/Dichtmassen-und-Vergussmassen/Polyurethan-Gie%C3%9Fharz,-Copaltec-PURE-Isolation-ST-33,-schwarz/p/12L5900?gclid=EAlaIQobChMIhbWFFrISr5QIVhuN3Ch26xgHrEAQYASABEGk1s D BWE	ca. 20,35€ zzgl. Versandkos ten
1	Buchsenleiste RM 2,54mm, gerade, zweireihig, 6 Kontakte, mit Nase Anmerkung: Die Ausführungen mit Nase (auch als Kodierstift od. Polarizing Key bezeichnet) sind oft schwer erhältlich. Eine standard Buchsenleiste geht natürlich auch. Die Richtung sollte aber gekennzeichnet werden.	z.B. Sullins SFH11-NBPC-D03-ST- BK oder W+P 157B 6 2	https://www.digikey.de/product-detail/de/sullins-connector-solutions/SFH11-NBPC-D03-ST-BK/S9717-ND/4558818	Ca. 0,67€ zzgl. Versandkos ten

4.2 Gehäuse

Abhängig vom Platzbedarf der gewählten PCBs ergeben sich zwei Gehäuseausführungen.

4.2.1 Gehäuse für die Varianten 1

Ein preiswertes aber akustisch vorteilhaftes Gehäuse lässt sich aus Standard Elektro-Installationsmaterial für die Varianten 1 zusammenstellen. Ein Stück gerades Elektro-Installationsrohr mit 25mm Durchmesser bildet die Basis. Weiterhin werden noch eine 25mm Steckmuffe (nur wenn das Rohr keine Aufweitung hat), ein 90° Bogen und eine M25 IP68 Kabelverschraubung benötigt. Die folgenden Bilder zeigen die Einzelteile und dann das zusammengeklebte Gehäuse.



Abbildung 63 Einzelteile 25mm Elektro-Installationsrohr



Abbildung 64 zusammengesteckte Einzelteile 25mm Elektro-Installationsrohr

Ein Stück gerades Rohr von ca. 160mm Länge ist ausreichend, wenn das Rohr keine Aufweitung an einer Seite hat. Dieses Rohr wird mittels einer Steckmuffe verlängert. Die Steckmuffe wird mit dem Rohr verklebt (Kunststoffkleber oder Silikon). Hat das Rohr eine Aufweitung, so ist keine Steckmuffe zur Verlängerung notwendig, die Rohrlänge sollte in diesem Fall aber ca. 210mm betragen.

In die Steckmuffe bzw. in die Aufweitung wird dann die M25 IP68 Kabelverschraubung eingeklebt. Der 90° Bogen wird erst nach Montage der Mikrofoneinheit und des Teensy Boards am anderen Rohrende aufgesteckt, evtl. mit wenig Silikon fixiert, so dass am

Übergang Bogen – Rohr keine Feuchtigkeit eindringen kann aber der 90° Bogen wieder abgezogen werden kann, wenn z.B. das Teensy Board einen Firmware Update erhalten soll. Der 90° Bogen verhindert das Eindringen von Feuchtigkeit in das Gehäuse, dazu ist der Bogen bei der Montage des Mikrofons entsprechend nach unten auszurichten.

Das Verbindungskabel DNMS zum Kommunikationsprozessor wird nun montiert. Bei einer Verbindungslänge größer als 250mm ist dafür die I²C Bus-Verlängerung zu benutzen. Die Details sind unter [2.1.4](#), [2.2.1.3.8](#) und [2.2.2.3.3](#) zu finden. Als Kabel eignet sich ein handelsübliches 6-poliges Telefonkabel mit RJ12 Steckern (6P/6C). Die Verbindung besteht aus der Stromversorgung mit 5V und GND (je 2 x) und den beiden I²C Signalen SDA und SCL.

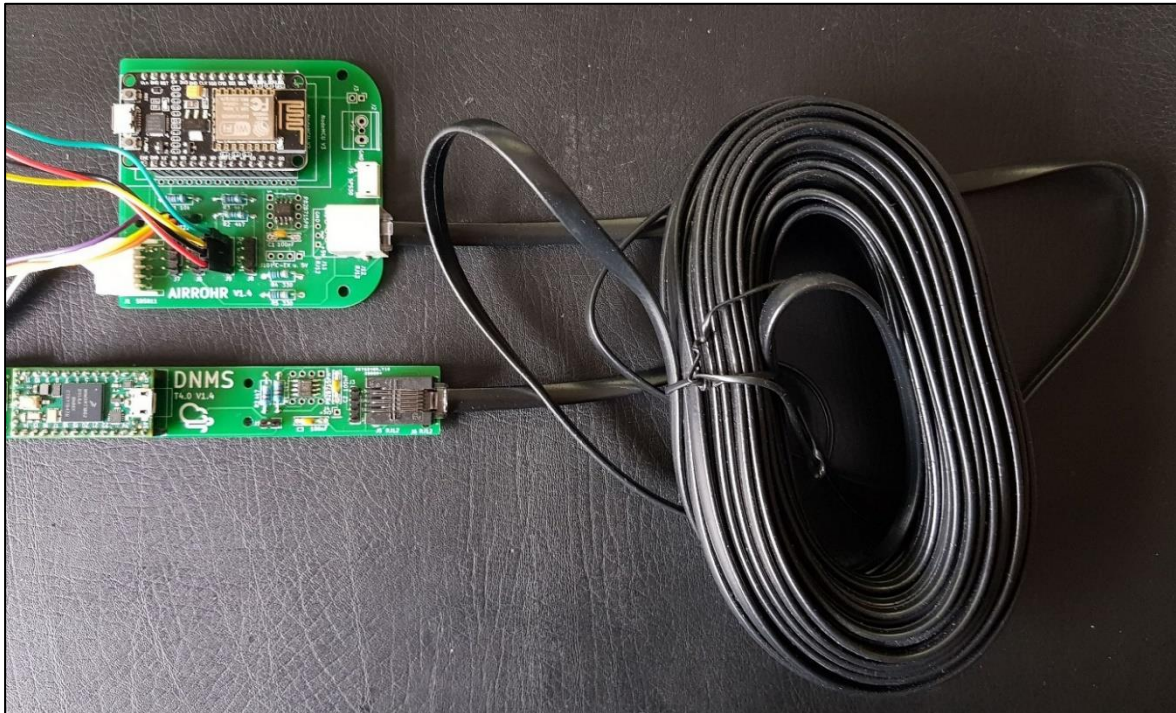


Abbildung 65 Verbindung mit RJ12 Telefonkabel

Soll der USB-Anschluss vom Teensy Board ebenfalls dauerhaft herausgeführt werden, so ist es sinnvoll das USB-Kabel mit etwas Klebeband zu fixieren.



Abbildung 66 Fixierung USB Kabel mit Klebeband

Das bzw. die Kabel werden durch den 90° Bogen gefädelt, dann kann das Teensy Board mit dem Mikrofonteil in das Rohr eingeschoben werden.

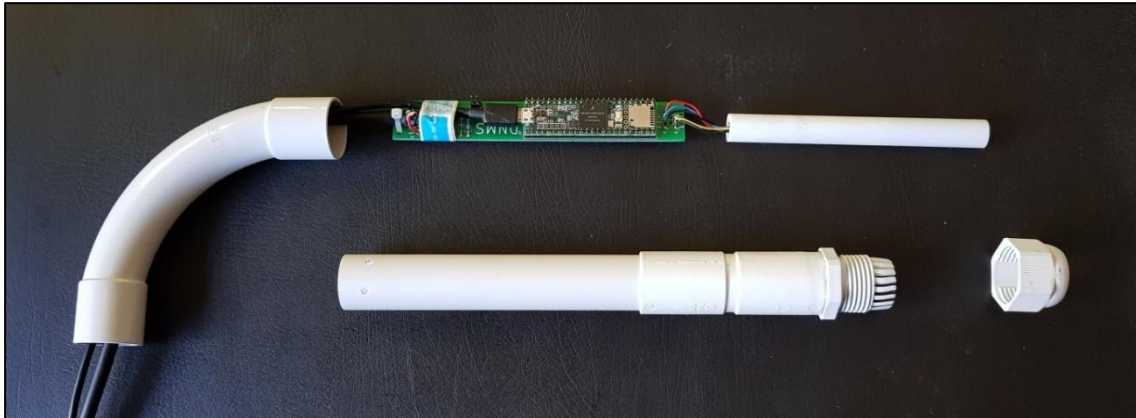


Abbildung 67 Teensy und Mikrofon vorbereitet für Montage

Das Mikrofonrohr wird mittels Klemmkonus der M25 Kabelverschraubung im 25mm Rohr gehalten. Wichtig ist hierbei eine M25 IP68 Kabelverschraubung zu nehmen um die notwendige Abdichtung gegen Feuchtigkeit zu erhalten.



Abbildung 68 Beispiel M25 IP68 Kabelverschraubung aus dem Baumarkt

Fertig montiert ergibt sich das folgende Bild.



Abbildung 69 fertig montiertes DNMS

Am Ende des 90° Bogens lässt sich durch zwei 3mm Bohrungen und einen Kabelbinder eine wirkungsvolle Zugentlastung für die Kabel (Mikrofon – Kommunikationsprozessor und evtl. USB-Kabel) realisieren.



Abbildung 70 Zugentlastung für die Kabel am Ende des 90° Bogens

4.2.1.1 Stückliste Gehäuse Variante 1

Anzahl	Gegenstand u. Anmerkungen	Hersteller u. Produkt	Bezugsquelle	Preis
1	Elektro-Installationsrohr 25mm, Stück ca. 160mm bzw. 210mm lang, erhältliche Länge meist 2m od. 3m	verschiedene	Baumarkt	ca. 1,75€
1	Steckmuffe M25 für Elektro- Installationsrohr, Packung enthält meist 2 od. mehr	verschiedene	Baumarkt	ca. 2,35€
1	M25 IP68 Kabelverschraubung, Packung enthält oft 2 od. mehr	verschiedene	Baumarkt	ca. 3,40€
1	90° Steckbogen zum 25mm Elektro- Installationsrohr, Packung enthält meist 2 Stück	verschiedene	Baumarkt	ca. 3,25€

Dazu kommt noch etwas Kleinmaterial wie Klebstoff, Kabel (Länge nach Bedarf), Kabelbinder (zur Zugentlastung), ggf. Steckverbinder (falls das Mikrofonkabel über Steckverbinder angeschlossen sein soll).

4.2.2 Gehäuse für die Variante 2

Bei dieser Variante sind das Teensy 4.0 Board und das NodeMCU Board auf einem Basis Board (PCB: DNMS-T4.0+NodeMCU-V1.4) kombiniert. Der Einsatz der NodeMCU V2 als auch der Version V3 ist möglich. Es ergibt sich dadurch eine Breite von 36mm für das DNMS-T4.0+NodeMCU-V1.4 Board, was ein etwas größeres Gehäuse erfordert als bei den Variante 1. Hier bietet sich der Einsatz von HT Rohren, wie schon im Feinstaubprojekt, an. Die beiden Größen DN40 oder DN50 kommen dabei in Betracht. DN40 sollte gewählt werden, wenn nur der Lärmsensor zum Einsatz kommt und DN50, wenn zusätzlich der Feinstaubsensor Sensirion SPS30 und evtl. auch ein Temperatur- Luftfeuchtesensor (z.B. BME280) angeschlossen wird. Je größer der Durchmesser gewählt wird, umso größer werden die akustischen Reflexionen von der Oberfläche des Gehäuses zurück zum Mikrofon, was die Messwerte dann beeinflusst.

Das folgende Bild zeigt eine Konfiguration mit Sensirion SPS30 Feinstaubsensor und einem SHT85 Temperatur- Luftfeuchtesensor.

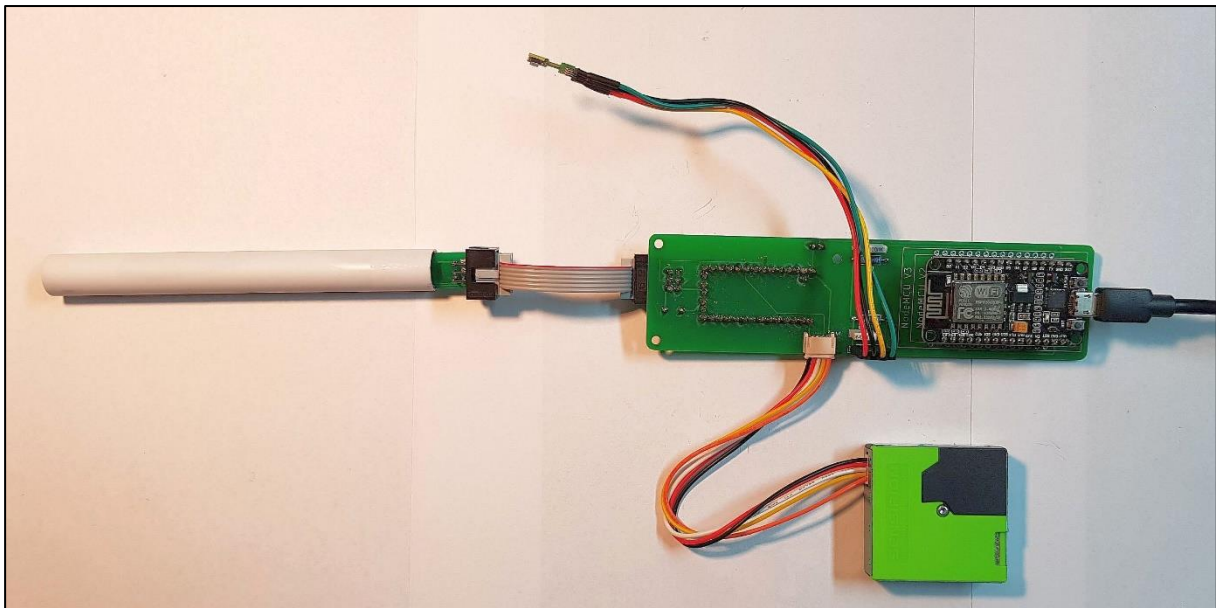


Abbildung 71 DNMS-T4.0+NodeMCU V1.4 mit SPS30 und SHT85

Die Gehäuse bestehen jeweils aus 4 Teilen: Einem Stück geraden DN/DN50 Rohr von 150mm oder 200mm Länge, einem DN40/DN50 67° oder 87° Bogen als Abschluss, einem DN40/DN50 Muffenstopfen und einer M20 IP68 Elektro-Kabelverschraubung, die in den Muffenstopfen eingeklebt wird.



Abbildung 72 DN40/DN50 HT Rohrteile

Muffenstopfen, gerades Rohrstück und Bogen brauchen nicht miteinander verklebt zu werden, da die HT Rohre eine Gummidichtung besitzen. Es empfiehlt sich der Einsatz eines HT-Rohr Gleit-/Schmiermittels, die im Baumarkt als Zubehör für HT-Rohre erhältlich sind.

In den Muffenstopfen ist die M20 IP68 Elektro-Kabelverschraubung gut einzukleben (Kunststoffkleber od. Silikon) und von innen zu verschrauben, damit über diese Verbindung keine Feuchtigkeit in das Gehäuse eindringt.



Abbildung 73 M20 IP68 Kabelverschraubung eingeklebt in Muffenstopfen

Ein Sensirion SPS30 Feinstaubsensor ist im 67°/87° Bogen zu platzieren. Ein evtl. Temperatur- Luftfeuchtesensor kann mit Klebeband auf dem SPS30 montiert werden (auch unter dem Temperatursensor Klebeband verwenden, damit kein Kurzschluss entsteht).

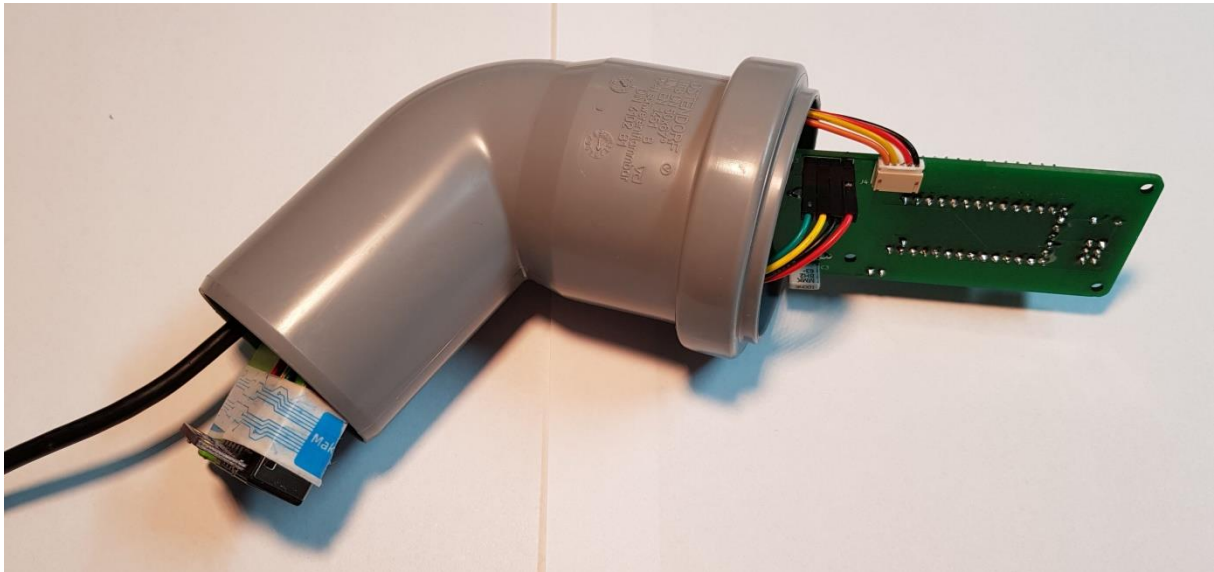


Abbildung 74 Montage SPS30 u. Temperatursensor

Den SPS30 dann zum Ende des Bogens hin mit doppeltem Schaumstoffklebeband (Modellbau) montieren.

Achtung: Es sollte auf akustische Entkopplung von Gehäuse geachtet werden, damit keine Körperschallübertragung auf das Mikrofon erfolgt.



Abbildung 75 Montage SPS30 am Ende des HT DN50 Bogens

Wichtig ist, wie in der Abbildung 75 Montage SPS30 am Ende des HT DN50 Bogens gezeigt, dass beim SPS30 die Ansaug- und Ausblasseite nach außen zeigt. Dies ist an den Schlitzreihen im Gehäuse des SPS30 zu erkennen.

Nun wird das Stück gerades Rohr aufgeschoben und danach das Mikrofonrohr durch den Muffenstopfen mit M20 IP68 Kabelverschraubung geschoben, der Klemmkonus verschraubt und der Muffenstopfen ins Rohr eingedrückt.

Die folgende Abbildung zeigt das fertig montierte Gehäuse.



Abbildung 76 montiertes DN40/DN50 Gehäuse

Am Bogenende lässt sich auch bei diesem Gehäuse durch zwei 3mm Bohrungen und einen Kabelbinder eine wirkungsvolle Zugentlastung für das oder die Kabel (USB-Stromversorgung und evtl. USB-Kabel vom Teensy Board) realisieren.

4.2.2.1 Stückliste Gehäuse Variante 2

Anzahl	Gegenstand u. Anmerkungen	Hersteller u. Produkt	Bezugsquelle	Preis
1	HT DN40 od. DN50 Rohr, gerade, 150mm od. 200mm lang	verschiedene	Baumarkt	ca. 0,75€
1	HT DN40 od. DN50 Bogen 67° od. 87°	verschiedene	Baumarkt	ca. 0,65€
1	HT DN40 od. DN50 Muffenstopfen	verschiedene	Baumarkt	ca. 0,45€
1	M20 IP68 Elektro-Kabelverschraubung, oft 2 od. mehr in einer Packung	verschiedene	Baumarkt	ca. 3,40€

4.3 Aufspielen der Firmware (Flashen)

Das Flashen von Teensy bzw. NodeMCU kann noch vor der Montage auf dem DNMS bzw. Airrohr Board erfolgen. Da es sich um unterschiedliche Mikrocontroller handelt, kommen zum Flashen unterschiedliche Tools zum Einsatz.

4.3.1 Flashen NodeMCU Board

Zum Flashen der NodeMCU mit der airrohr Firmware gibt es auf den Sensor.community Seiten eine [Anleitung \(https://sensor.community/de/sensors/airrohr\)](https://sensor.community/de/sensors/airrohr). Dort wird auch verwiesen auf evtl. notwendige Treiber (abhängig vom Betriebssystem) weiterhin wird dort ein grafisches Firmware Flashing Tool für das NodeMCU Board (u.a. ESP8266 und ESP32 Boards) zum Download angeboten. Die weitere Vorgehensweise ist dort ebenfalls beschrieben.

4.3.2 Flashen Teensy Board

Für die Teensy Boards existiert ein standalone Flash-Programm - die Teensy Loader Application - sowohl mit grafischer Oberfläche als auch in einer Version für die Kommandozeile jeweils für Windows, Linux und Mac. Der Download der Teensy Loader Application ist unter: <https://www.pjrc.com/teensy/loader.html> möglich. Damit kann das Flashen ohne Installation der Arduino IDE und der Teensyduino Erweiterung erfolgen. Die Vorgehensweise ist wie folgt:

- Download des gewählten DNMS Teensy Firmware HEX-Files (z.B. DNMS_V1.0.4.ino.hex) vom GitHub Repository. Achtung: Beim Download einer einzelne Firmware Datei wird über den Browser und GitHub eine HTML-Datei erzeugt, die dann beim Flashen zu Fehlern führt. Es ist einfacher das gesamte DNMS Repository als ZIP herunterzuladen und dann zu entpacken.

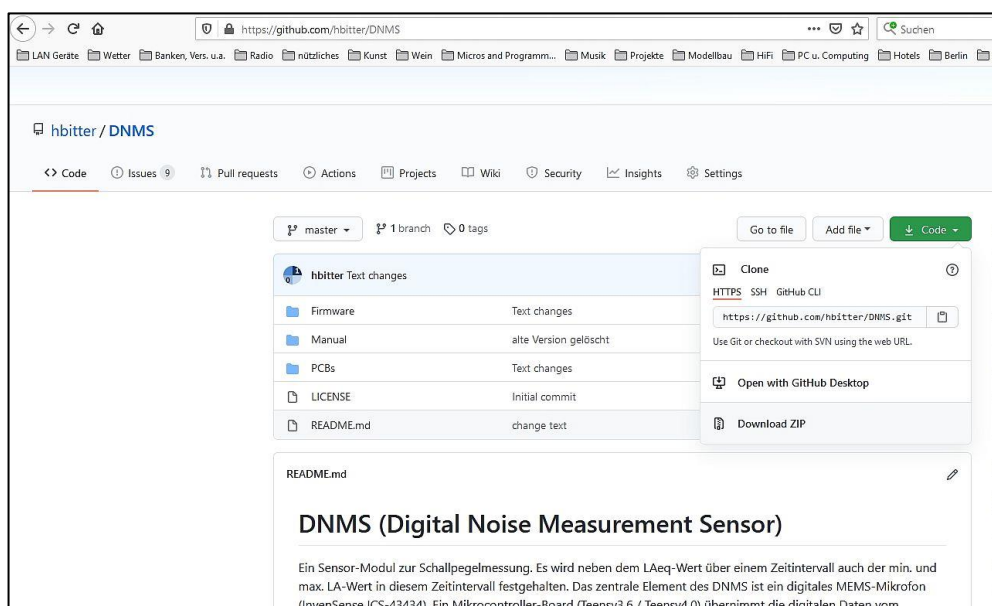


Abbildung 77 Download DNMS Repository

- Verbinden des Teensy Boards über USB mit dem PC.
Achtung: Ist die Verbindung VUSB – VIN aufgetrennt worden, so ist für das Flashen dafür zu sorgen, dass die Verbindung durch eine Brücke auf dem DNMS Board oder durch ein Dupont Kabel direkt am Teensy Board aufgesteckt geschlossen wird, um das Teensy Board mit 5V zu versorgen.

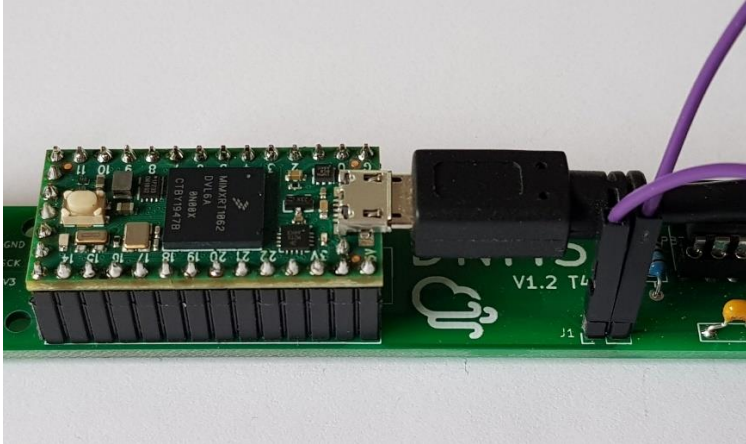


Abbildung 78 Teensy auf DNMS Board vorbereitet zum Flashen

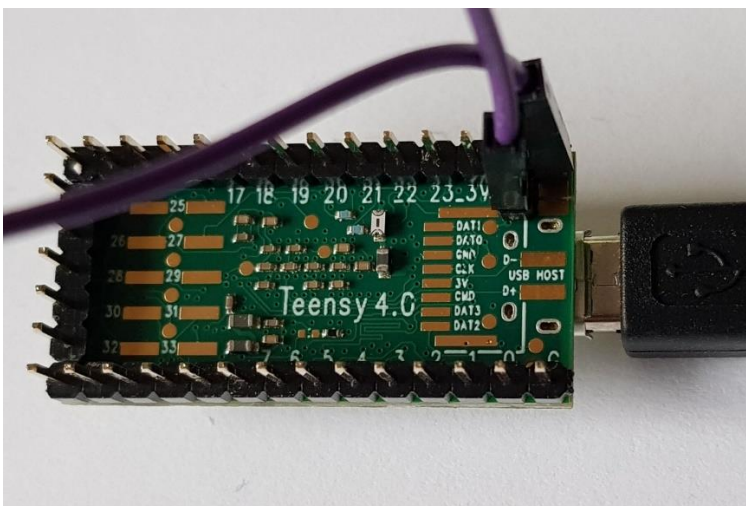


Abbildung 79 Teensy vorbereitet zum Flashen

- Teensy Loader starten (Teensy.exe unter Windows).



Abbildung 80 Teensy Loader gestartet

- Über <File> und <Open HEX File> den Firmware File z.B. DNMS_V1.0.4.ino.hex auswählen.



Abbildung 81 Teensy Loader nach Auswahl des HEX-Files

- Wie vom Teensy Loader angezeigt nun auf dem Teensy Board den Knopf drücken um in den Programmier Mode zu gelangen.

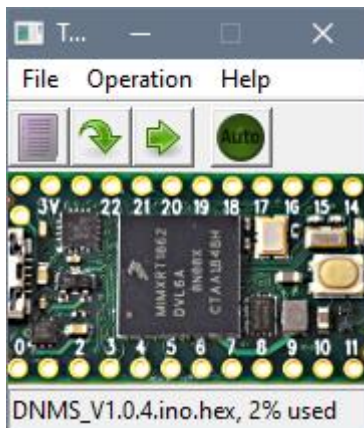




Abbildung 82 Teensy im Programmier Mode

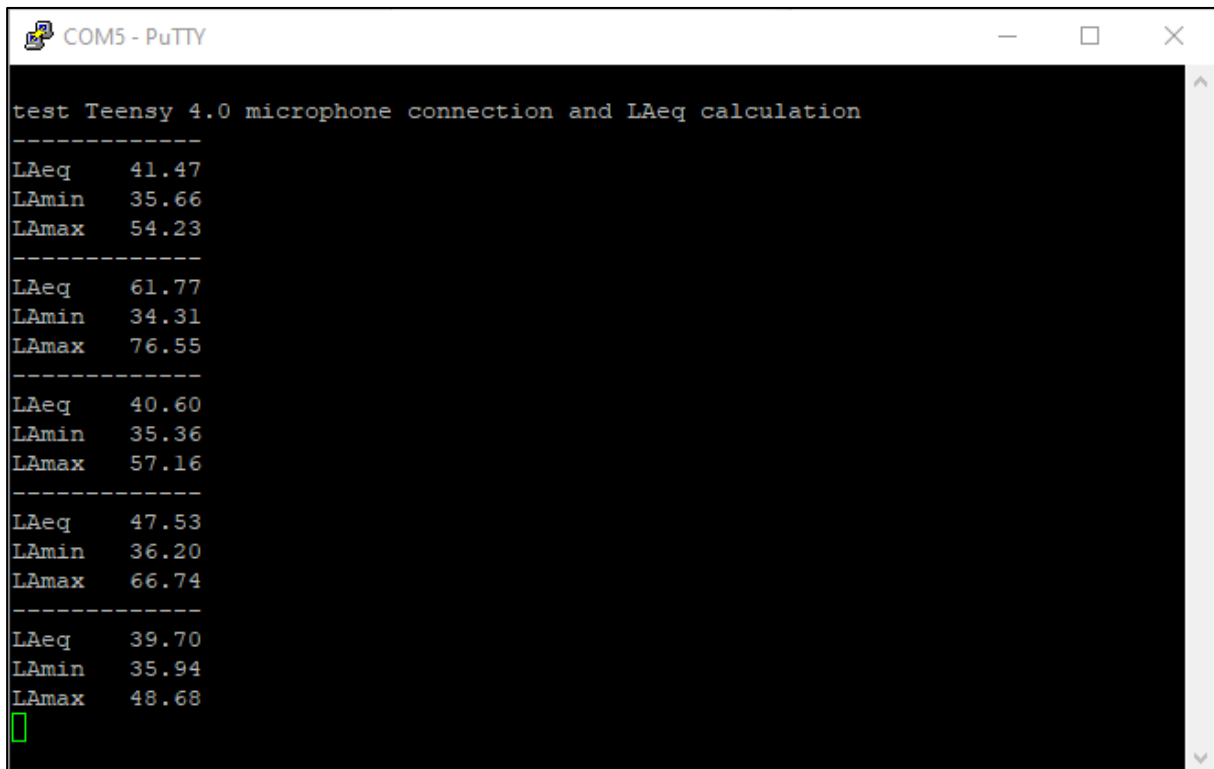
- Über <Operation> und <Program> (oder direkt über den Button ) das Flashen starten.
- Der Teensy Loader meldet kurz: Download Complete.
- Zum Abschluss über <Operation> und <Reboot> (oder direkt über den Button ) den Neustart (Reboot) des Teensys vveranlassen. Der Teensy Loader kurz: Reboot OK. Die ausgewählte DNMS Firmware läuft nun auf dem Teensy. Die Teensy 4.0 Firmware Versionen lassen die interne LED (rote LED neben dem Taster) zur Kontrolle mit einer Frequenz von ca. 2Hz blinken (245ms an, 245ms aus).
- **Tipp um das Flashen und das Teensy Board zu testen:**
Von der PJRC Webseite lässt sich über diesen [Link](https://www.pjrc.com/teensy/blink_both.zip) (https://www.pjrc.com/teensy/blink_both.zip - Download von blink_both.zip) ein kleines Blink Testprogramm für alle Teensy Versionen laden, das die interne LED auf dem Teensy Board schnell bzw. langsam blinken lässt.

4.4 Zusammenbau der Elektronik und erster Test

Für die Bestückung der Platinen gelten die allgemeinen Regeln zuerst mit den niedrigen Bauelementen zu beginnen wie Widerstände und Kondensatoren. Es folgen IC-Fassungen und Steckverbinder (je nach Höhe). Dann erfolgt die Bestückung der aktiven Bauelemente wie I²C Transceiver Baustein P82B715 und einsetzen bzw. einlöten Teensy und NodeMCU Board.

Weiter sollte ein erster Test mit eingesetztem Teensy bzw. NodeMCU aber noch ohne angeschlossene Sensoren erfolgen.

Für einen Test des Teensy 4.0 Boards (DNMS-T4.0-V1.4 und auch DNMS-T4.0+NodeMCU-V1.4) zusammen mit dem Mikrofon gibt es im GitHub DNMS Repository die Firmware DNMS_Vt.0.4. Dieses Testprogramm bildet LAeq, LAmin und LAmax und gibt diese Werte alle 10 Sekunden über die USB Schnittstelle aus. Zum Empfang wird auf der PC Seite ein Terminal Programm benötigt (z.B. PuTTY), das auf 115200 Baud einzustellen ist. Bei Windows findet man über den Geräte-Manager welcher COM Port benutzt wird und kann diesen dann im Terminal Programm eingeben.



```
COM5 - PuTTY

test Teensy 4.0 microphone connection and LAeq calculation
-----
LAeq      41.47
LAmin     35.66
LAmax     54.23
-----
LAeq      61.77
LAmin     34.31
LAmax     76.55
-----
LAeq      40.60
LAmin     35.36
LAmax     57.16
-----
LAeq      47.53
LAmin     36.20
LAmax     66.74
-----
LAeq      39.70
LAmin     35.94
LAmax     48.68
█
```

Abbildung 83 Teensy4.0 Testausgabe über USB

4.5 Montage der Elektronik im Gehäuse

Abhängig von den gewählten DNMS Boards - getrennt oder kombiniert mit der NodeMCU – ergibt sich die Gehäusegröße. Aus akustischen Gründen sollte die Größe und Form so klein und schlank wie möglich gehalten werden.

Die Gehäusegröße wird ebenfalls beeinflusst durch die Wahl, ob das Teensy Board und/oder das NodeMCU Board direkt eingelötet werden oder ob die Boards in Buchsenleisten eingesetzt werden, um sie auswechseln zu können. Dies ist bei der Planung zu berücksichtigen.

Das Kabel der Stromversorgung, das Telefonkabel zwischen Airrohr Board und DNMS, wenn vorhanden, und das USB Kabel für die DNMS Audio Funktion, wenn vorhanden, sollten mit einer Zugentlastung versehen werden. Eine Zugentlastung kann einfach durch jeweils zwei kleine Bohrungen im HT Kunststoffrohr und einem Kabelbinder realisiert werden. Bohrungen so anordnen, dass dadurch kein Regenwasser eindringen kann.

Da Airrohr und DNMS außen installiert werden, ist die Elektronik dem Wetter ausgesetzt d.h. auch hoher Luftfeuchtigkeit, die evtl. zu Kondensation führen kann.

Es wird empfohlen die Boards mit einem Korrosionsschutzlack für Elektronik zu behandeln (z.B. Plastik 70 in der Spraydose).

4.6 Wetterschutz Gehäuse und Mikrofon

Die beschriebenen Gehäuse sind durch die gewählten Materialien und den Aufbau witterungsbeständig.

Der wesentliche Punkt bzgl. der Witterungsbeständigkeit betrifft das Mikrofon mit seiner akustischen Öffnung. Der Hersteller des Mikrofons, TDK InvenSense, empfiehlt in einer Application Note den Einsatz einer Schutzfolie vor der akustischen Öffnung (AN-1124 – Recommendations for Sealing InvenSense Bottom-Port MEMS Microphones from Dust and Liquid Ingress – Link: <https://www.invensense.com/download-pdf/an-1124-recommendations-for-sealing-invensense-bottom-port-mems-microphones-from-dust-and-liquid-ingress/>).

Es ist uns leider bisher nicht gelungen die in der Application Note erwähnten Folien zu erhalten. Ein Test mit solchen Folien konnte deshalb bisher noch nicht durchgeführt werden. Auf jeden Fall ändert der Einsatz eine Folie vor der akustischen Öffnung in starken Maße die Frequenzkurve des Mikrofons und damit auch die Messwerte. Vom Gesichtspunkt der Messgenauigkeit her kann der Einsatz deshalb nicht empfohlen werden.

In der Praxis hat sich der Einsatz eines Schaumstoff Wind- und Wetterschutzes aus mehreren Gründen als sinnvoll gezeigt:

- Mindert die Windgeräusche, die sonst die Messwerte stark erhöhen
- Schützt gegen direktes Eindringen von Regen- und Kondenswasser in das Mikrofon über die akustische Öffnung
- Schützt vor direkter Sonneneinstrahlung auf das Mikrofon, was ebenfalls die Messwerte beeinflussen kann aber auch die Lebensdauer des Mikrofons herabsetzen kann

Der Einsatz eines solchen Schaumstoff Wind- und Wetterschutzes wird dringend empfohlen.



Abbildung 84 Schaumstoff Wind- und Wetterschutz

Spezielle Schaumstoff Wind- und Wetterschutze für Messmikrofone mit $\frac{1}{2}$ " Durchmesser sind meist recht teuer. Man kann auch eine Schaumstoffkugel nehmen und selbst mit der Schere eine Öffnung einarbeiten. Günstige Angebote sind z.B. der Windschutz Monaco WS-30 (z.B bei [Voelkner](#)) oder Linhuipad WS-0945 (z.B bei [AliExpress](#)).

Wichtig ist, dass der Windschutz nach dem Aufstecken auf das Mikrofon wieder ca. 10mm zurückgezogen wird, damit direkt vor dem Mikrofon - vor der akustischen Öffnung - ein Leerraum verbleibt. Dies soll verhindern, dass Wasser vom Schaumstoff in die akustische Öffnung eindringt.

4.7 Hinweise zur Anbringung

Um gute Messergebnisse zu erzielen, ist die Positionierung des Mikrofons ein wesentlicher Punkt. Das Mikrofon sollte so frei wie möglich angebracht sein d.h. der Abstand zu Schall reflektierenden Wänden und Decken sollte so groß wie möglich sein. Deshalb sollte das Mikrofon nicht direkt an einer Hauswand angebracht werden. Idealerweise sollte der Abstand zu einer Wand größer als 1m sein, was aber nicht immer zu bewerkstelligen ist. Bei einem Abstand der Mikrofonspitze von 0,5m zu einer Wand ist aber der dadurch verursachte Messfehler noch im tolerierbaren Bereich.

Gute Plätze zur Anbringung sind z.B. die Geländer von Balkonen oder Terrassen.

Die folgenden Abbildungen zeigen einige Beispiele zur Anbringung:



Abbildung 85 Mikrofon Anbringung Beispiel 1

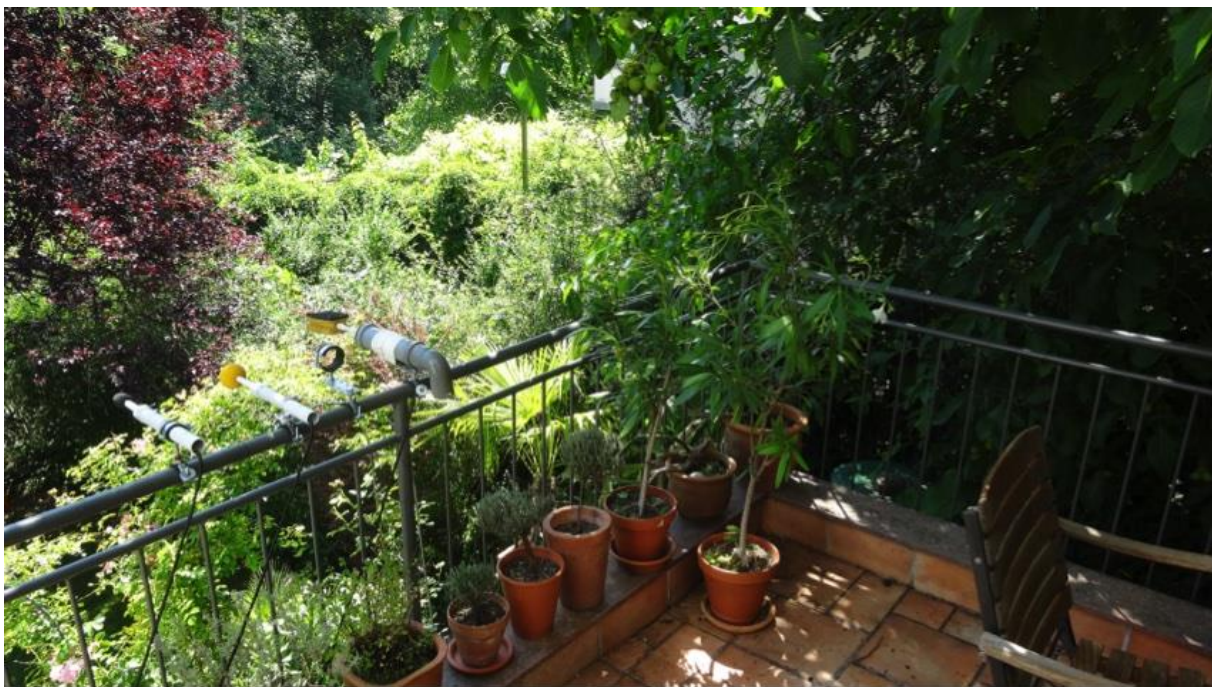


Abbildung 86 Mikrofon Anbringung Beispiel 2



Abbildung 87 Mikrofon Anbringung Beispiel 3



Abbildung 88 Mikrofon Anbringung Beispiel 4

4.8 Integration in das Sensor.community Netz

Beim Sensor.community Netz kommt als Kommunikationsprozessor ein NodeMCU Mikrocontroller Board basierend auf der esp8266 CPU zum Einsatz. Wie unter [2.1.3](#) und [3.2.1](#) beschreiben, erfolgt der Anschluss des DNMS Sensors an das NodeMCU Board über I²C. Die Software zur DNMS Anbindung für das NodeMCU Board ist in der aktuellen airrohr Firmware des Sensor.community Projekts integriert. Wie andere Sensoren auch kann der DNMS Sensor über das Konfigurationsmenü eingebunden werden, was die folgende Abbildung zeigt.

Übersicht » Konfiguration

WLAN Daten Weitere Einstellungen **Sensoren** APIs

- SDS011 (Feinstaub)
- Honeywell PM (Feinstaub)
- Sensirion SPS30 (Feinstaub)
- DHT22 (Temperatur, rel. Luftfeuchte)
- HTU21D (Temperatur, rel. Luftfeuchte)
- BMP280/BME280 (Temperatur, rel. Luftfeuchte, Luftdruck)
- SHT3X (Temperatur, rel. Luftfeuchte)
- DNMS (LAeq)

Korrekturwert in dB(A):

Korrekturwert in °C:

Weitere Sensoren

- DS18B20 (Temperatur)
- Plantower PMS(1,3,5,6,7)003 (Feinstaub)
- BMP180 (Temperatur, Luftdruck)
- GPS (NEO 6M)

[Speichern und neu starten](#)

[Zurück zur Startseite](#)

[© Open Knowledge Lab Stuttgart a.o. \(Code for Germany\)](#) ([Ein Problem melden](#))

Abbildung 89 Konfiguration DNMS im Web-Server Frontend NodeMCU

Die DNMS werden wie die Werte der anderen Sensoren auf der lokalen Webseite der des Sensor Kontens dargestellt und ebenso auf einem OLED Display (SSD1306 od. SH1106) falls dies angeschlossen und konfiguriert ist.

Übersicht » Aktuelle Werte

68 Sekunden seit der letzten Messung.

Sensor	Parameter	Wert
Sensirion SPS30	PM1	0.5 µg/m³
Sensirion SPS30	PM2.5	0.5 µg/m³
Sensirion SPS30	PM4	0.5 µg/m³
Sensirion SPS30	PM10	0.5 µg/m³
Sensirion SPS30	NC0.5	3.4 #/cm³
Sensirion SPS30	NC1.0	4.0 #/cm³
Sensirion SPS30	NC2.5	4.0 #/cm³
Sensirion SPS30	NC4.0	4.1 #/cm³
Sensirion SPS30	NC10	4.1 #/cm³
Sensirion SPS30	TPS	0.5 µm
SHT3x	Temperatur	14.5 °C
SHT3x	rel. Luftfeuchte	54.7 %
DNMS	LAeq	41.2 dB(A)
DNMS	LA min	36.5 dB(A)
DNMS	LA max	47.0 dB(A)
WiFi	Signal	-73 dBm
WiFi	Qualität	54 %

[Zurück zur Startseite](#)

Abbildung 90 Ausgabe der DNMS Werte auf der lokalen Webseite

Wie auch andere Sensor Werte werden die DNMS Werte (LAeq, L_{Amin} und L_{Amax}) an das Sensor.Community Netz übertragen und in der Karte dargestellt.

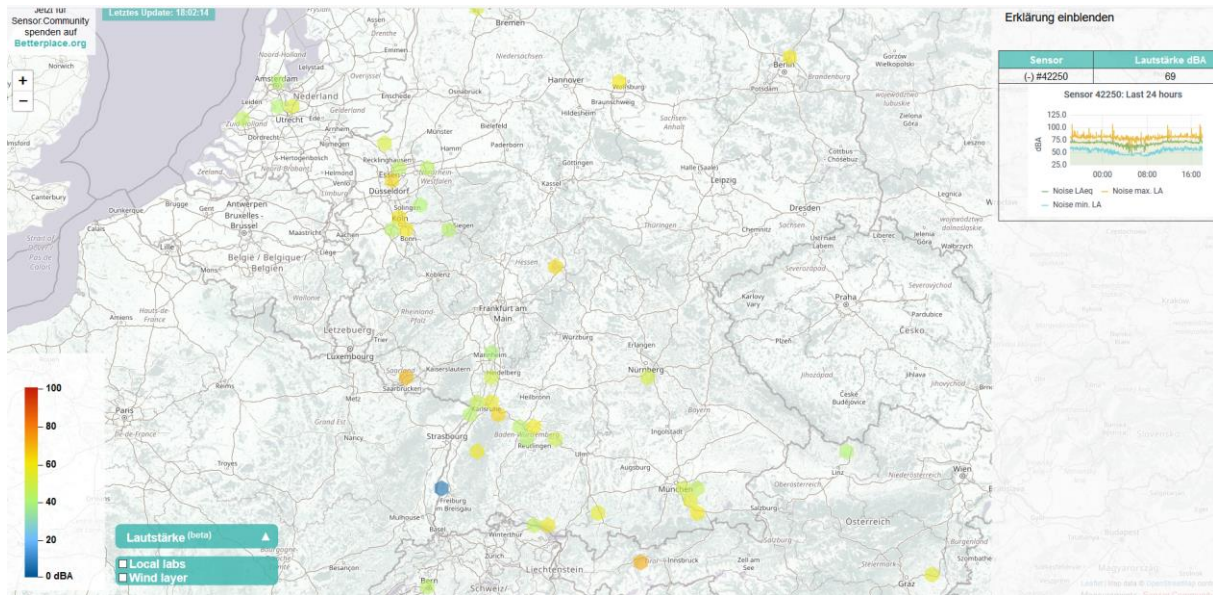


Abbildung 91 Sensor.community Map Darstellung DNMS Werte

Die DNMS Werte sind auch langfristig im Sensor.community Archiv tageweise als CSV Files gespeichert. Ein Zugriff auf diese Daten ist über diesen [Link](https://archive.sensor.community/) (<https://archive.sensor.community/>) möglich.

Auch eine direkte Weitergabe der Daten an eine InfluxDB ist konfigurierbar um von dort weitere Auswertungen und Visualisierungen vorzunehmen.

Weitere APIs

Senden an CSV

Senden an Feinstaub-App

Senden an OpenSenseMap

senseBox-ID:

An eigene API senden

Server

Pfad

Port

Benutzer

Passwort

Senden an InfluxDB

Server

Pfad

Port

Benutzer

Passwort

© Open Knowledge Lab Stuttgart a.o. (Code for Germany)

Abbildung 92 Konfiguration Datenübertragung zu einer InfluxDB

5. Lizenzbestimmungen

Die gesamte DNMS Entwicklung und die einzelnen Bestandteile wie Firmware, Dokumentation und Hardware werden zur freien Verfügung gestellt und unterliegen der GNU GPLv3 Lizenz. Falls die GNU GPLv3 Lizenz nicht mit der Firmware, Dokumentation oder Hardware übergeben wurde, kann eine Kopie unter <http://www.gnu.org/licenses/> heruntergeladen bzw. eingesehen werden.

6. Änderungs Historie

Version	Datum	Änderungen
V 1.0	23.10.2019	Erste Version
V 1.1	10.12.2019	<ul style="list-style-type: none"> • Neues Airrohr-PCB-V1.2 Board • Neues DNMS-T3.6-V1.2 Board • Beschreibung Bau der Mikrofoneinheit • Stücklisten für die Gehäusevarianten • Hinweise zur Anbringung erweitert • Hinweise zum Wetterschutz erweitert
V 2.0	03.10.2020	<ul style="list-style-type: none"> • Neues Airrohr-PCB-V1.4 Board • Neues DNMS-T4.0-V1.4 • Neues DNMS-T4.0+NodeMCU-V1.4 • Detaillierte Beschreibung der neuen Boards inclusive Stücklisten • Hinweise zur Anbringung überarbeitet • Hinweise zum Wetterschutz überarbeitet
V2.1	18.10.2020	<ul style="list-style-type: none"> • 2.2 Einfügen einer Erklärung für den Begriff PCB • 4.7 Streichung eines doppelten Wortes • Alternatives ICS-43434 Breakout Board von Sensor Maestros eingefügt • Empfehlung eingefügt die Boards mit Korrosionsschutzlack zu behandeln
V2.2	22.10.2020	<ul style="list-style-type: none"> • Verweise im Dokument nun in blau und unterstrichen • 2.1 Einfügung Info zum Messbereich • 2.1.6 Einfügung Tool Audacity • 2.2 Verweis auf 4.7 eingefügt • 2.2.1.2. Verweis auf 2.2.1.3.2 eingefügt • 2.2.1.3.2 doppelten Text entfernt • Begriff „verdrehesicher“ durch „verpolungssicher“ ersetzt • 4.1.3 Stückliste Mikrofoneinheit um Buchsenleiste ergänzt