

# **DNMS – Digital Noise Measurement Sensor**

**Beschreibung**

**und**

**Bauanleitung**



## Inhalt

1. Einführung.....	6
2. Hardware .....	7
2.1 Hardware Übersicht .....	7
2.1.1 Digitales Mikrofon ICS-43434 .....	7
2.1.2 Verbindung ICS-43434 und Mikrocontroller Teensy 3.6 / Teensy 4.0 .....	7
2.1.3 I <sup>2</sup> C Anschluss an Messwerterfassungs-Mikrocontroller .....	10
2.1.4 I <sup>2</sup> C Bus-Verlängerung .....	10
2.1.5 Spannungsversorgung ICS-43434 und Teensy 3.6 / Teensy 4.0 .....	11
2.1.6 USB Audio Funktion .....	13
2.2 PCBs und Schaltpläne .....	13
2.2.1 AIRROHR V1.1 .....	13
2.2.2 DNMS - T3.6 V1.1 .....	16
2.2.3 DNMS - T4 V1.2 .....	18
2.2.4 DNMS - T4+NodeMCU V1.2 .....	20
3. Software .....	22
3.1 Teensy Audio Library .....	22
3.2 I <sup>2</sup> C Kommunikation .....	22
3.2.1 I <sup>2</sup> C Kommandos .....	23
3.2.1.1 Reset (0x0001) .....	24
3.2.1.2 Read Version (0x0002) .....	24
3.2.1.3 Calculate LEQ (0x0003) .....	24
3.2.1.4 Read Data Ready (0x0004) .....	24
3.2.1.5 Read LEQ (0x0005) .....	24
4. Bauanleitung .....	25
4.1 Mikrofoneinheit .....	25
4.1.1 Gehäuse für die Mikrofoneinheit .....	26
4.1.2 Montage und Ausgießen des Mikrofonrohres .....	29
4.2 Gehäuse .....	32
4.2.1 Gehäuse für die Variante 1 und Variante 2 .....	32
4.2.1.1 Stückliste Gehäuse Variante 1 und Variante 2 .....	37
4.2.2 Gehäuse Variante 3 .....	38
4.2.3 Witterungsbeständigkeit Gehäuse und Mikrofon .....	40
4.3 Zusammenbau der Elektronik .....	40

4.4	Aufspielen der Firmware (Flashen) .....	40
4.5	Montage der Elektronik im Gehäuse .....	40
4.6	Hinweise zur Anbringung und Wetterfestigkeit.....	40
5.	Anbindung an das luftdaten.info Netz.....	41
6.	Lizenzbestimmungen .....	43

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Funktionsblöcke ICS-43434.....	7
Abbildung 2 Verbindung Teensy 3.6 - ICS-43434.....	8
Abbildung 3 Verbindung Teensy 4.0 - ICS-43434.....	9
Abbildung 4 Ausschnitt Datenblatt P82B715.....	11
Abbildung 5 Teensy 3.6 Auftrennen VIN von VUSB.....	12
Abbildung 6 Teensy 4.0 Auftrennen VIN von VUSB.....	12
Abbildung 7 AIRROHR V1.1 PCB.....	14
Abbildung 8 AIRROHR V1.1 Schaltplan.....	15
Abbildung 9 DNMS - T3.6 V1.1 PCB.....	16
Abbildung 10 DNMS - T3.6. V1.1 Schaltplan.....	17
Abbildung 11 DNMS – T4 V1.2 PCB.....	18
Abbildung 12 DNMS - T4 V1.2 Schaltplan.....	19
Abbildung 13 DNMS - T4+NodeMCU V1.2 PCB Frontseite.....	20
Abbildung 14 DNMS - T4+NodeMCU V1.2 Rückseite.....	20
Abbildung 15 DNMS - T4+NodeMCU V1.2 Schaltplan.....	21
Abbildung 16 Vorder- und Rückseite des Pesky ICS-43434 Boards.....	25
Abbildung 17 Pesky Board akustischer Einlass unbestückte Seite.....	26
Abbildung 18 Pesky Board von unbestückter Seite abkleben.....	26
Abbildung 19 Pesky Board mit Kreppband gegen Staub geschützt.....	27
Abbildung 20 Abfeilen der Ecken am Pesky Board.....	27
Abbildung 21 Kabel am Breakout Board anlöten.....	28
Abbildung 22 Beispiel 1/2 Zoll Kunststoffrohr.....	28
Abbildung 23 Pesky Board wieder abkleben und Rohr aufsetzen.....	29
Abbildung 24 Festdrücken des Klebebandes am Rohr.....	30
Abbildung 25 Einfüllen der Vergussmasse bis ca. 5mm vor dem Rohrende.....	31
Abbildung 26 fertig ausgegossenes Mikrofonrohr.....	32
Abbildung 27 Konfiguration DNMS im Web-Server Frontend NodeMCU.....	41
Abbildung 28 Konfiguration Datenübertragung zu einer InfluxDB.....	42

## 1. Einführung

Das DNMS (Digital Noise Measurement Sensor) ist ein Sensor-Modul zur Schallpegelmessung. Es wird neben dem  $L_{Aeq}$ -Wert über einem Zeitintervall auch der min. und max.  $L_A$ -Wert in diesem Zeitintervall festgehalten. Das zentrale Element des DNMS ist ein digitales MEMS-Mikrofon (InvenSense ICS-43434). Ein Mikrocontroller-Board (Teensy 3.6 / Teensy 4.0) übernimmt die digitalen Daten vom Mikrofon über die I<sup>2</sup>S 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.

Die Werte werden dann über eine I<sup>2</sup>C-Schnittstelle an einen abfragenden Mikrocontroller zur Weiterverarbeitung übertragen. Das Abfrage-Intervall kann 1 Sekunde betragen oder auch bis zu 3600 Sekunden. Bei der weiteren Rechnung mit den  $L_{Aeq}$ -Werten ist natürlich zu beachten, dass äquidistante Zeitintervalle Voraussetzung sind, um einen gesamt  $L_{Aeq}$ -Wert über einen längeren Zeitraum (z.B. Stunde oder Tag) zu bilden.

Die USB-Schnittstelle des Teensy Boards arbeitet als Audio Gerät, darüber wird das A-bewertete Signal zur weiteren Auswertung übertragen. Funktionale Erweiterungen wie die zusätzliche Ausgabe von  $L_{Ceq}$ , min. und max.  $L_C$ -Werten sowie FFT-Analyse sind geplant.

## 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 I<sup>2</sup>S Schnittstelle an einen Mikrocontroller zu übertragen.

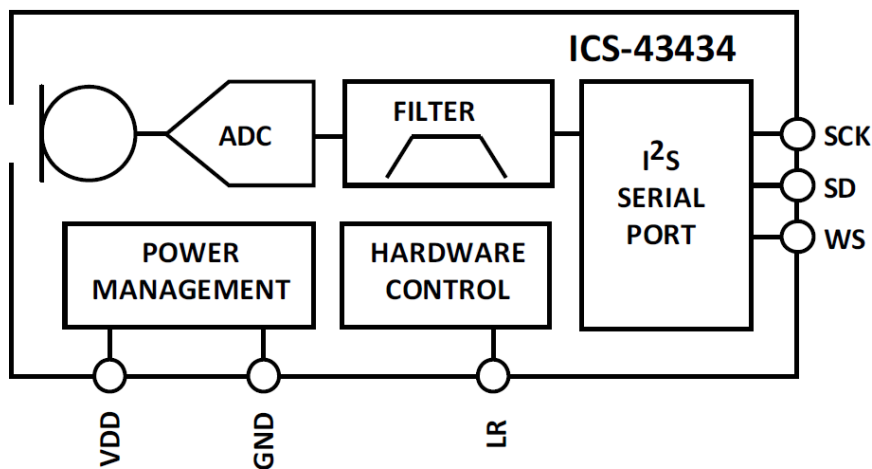


Abbildung 1 Funktionsblöcke ICS-43434

Das ICS-43434 arbeitet als I<sup>2</sup>S-Slave, das angeschlossene Mikrocontroller Board Teensy 3.6 / Teensy 4.0 arbeitet als I<sup>2</sup>S-Master.

Weitere Informationen zum InvenSense ICS-43434 finden sich auf der Web-Seite von InvenSense unter: <https://www.invensense.com/products/ics-43434/>

#### 2.1.2 Verbindung ICS-43434 und Mikrocontroller Teensy 3.6 / Teensy 4.0

Die Verbindung der beiden Komponenten zeigen die nachfolgenden Bilder sowie die nachfolgende Tabelle.

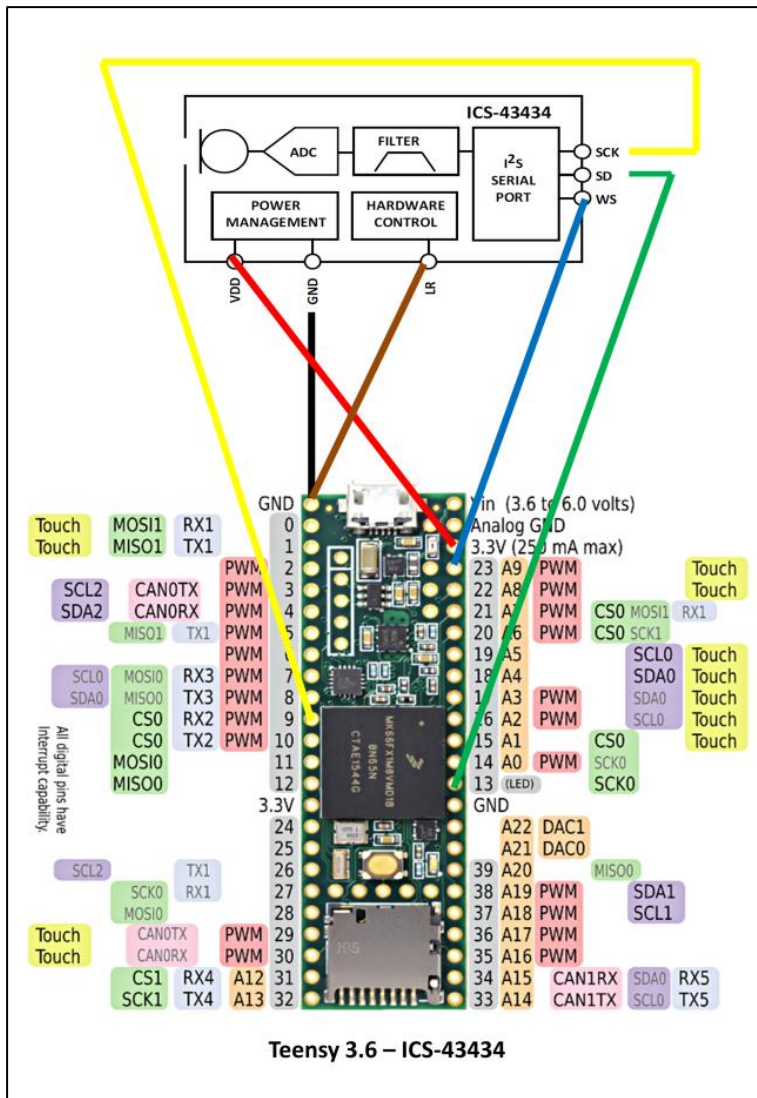


Abbildung 2 Verbindung Teensy 3.6 - ICS-43434



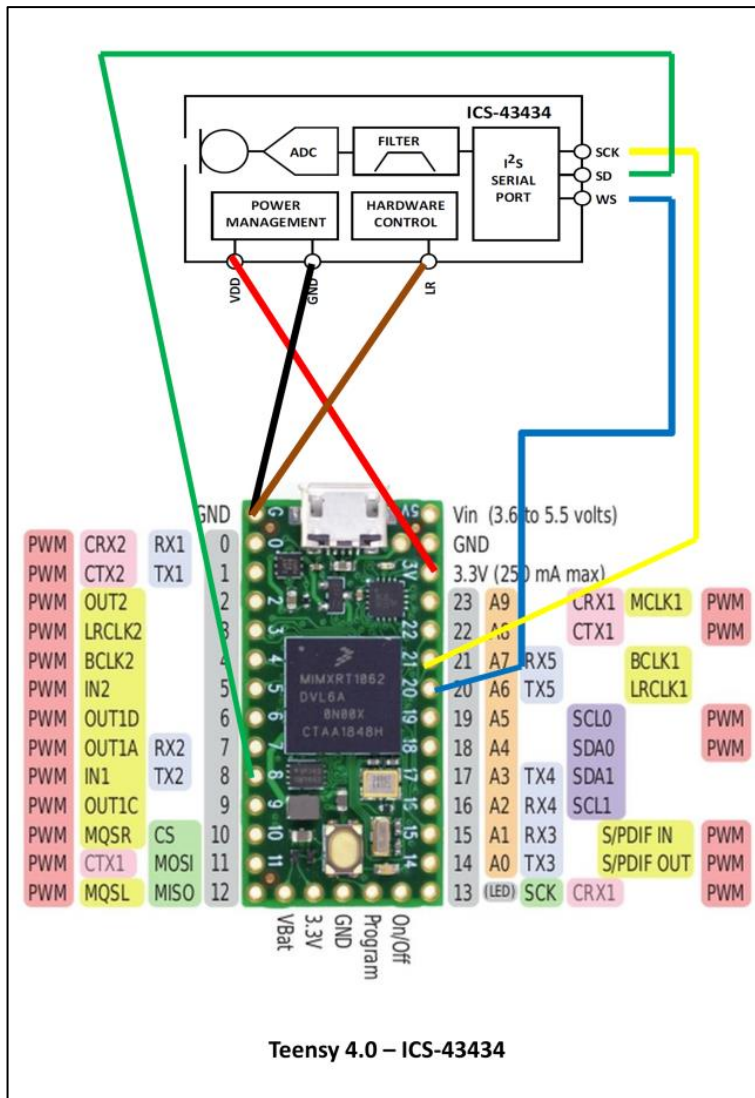


Abbildung 3 Verbindung Teensy 4.0 - ICS-43434

ICS-43434	Teensy 3.6		Teensy 4.0	
Signal	Signal	PIN	Signal	PIN
GND	GND	GND	GND	GND
VDD	3.3V	3.3V	3.3V	3.3V
L/R	GND	GND	GND	GND
WS	LRCLK	23	LRCLK1	20
SD	RX	13	IN1	8
SCK	BCLK	9	BCLK1	21

Tabelle 1 Verbindung ICS-43434 - Teensy 3.6 / Teensy 4.0

Weitere Informationen zum Mikrocontroller Board Teensy 3.6 sind unter <https://www.pjrc.com/store/teensy36.html> bzw. zum Teensy 4.0 unter <https://www.pjrc.com/teensy-4-0/> zu finden.

### 2.1.3 I<sup>2</sup>C Anschluss an Messwerterfassungs-Mikrocontroller

Der Anschluss an einen Messwerterfassungs-Mikrocontroller (im Folgenden auch als Kommunikationsprozessor bezeichnet) erfolgt über eine I<sup>2</sup>C-Schnittstelle, wobei das DNMS als Slave arbeitet und der Messwerterfassungs-Mikrocontroller als Master. Die folgende Tabelle zeigt die Verbindung zu einem NodeMCU ESP8266 V2 oder V3 Board als Messwerterfassungs-Mikrocontroller.

Teensy 3.6		Teensy 4.0		NodeMCU ESP8266 V2 od. V3	
Signal	PIN	Signal	PIN	Signal	PIN
GND	GND	GND	GND	GND	GND
SCL0	19	SCL0	19	SCL	D4 (GPIO2)
SDA0	18	SDA0	18	SDA	D3 (GPIO0)

Tabelle 2 Verbindung Teensy 3.6 / Teensy 4.0 - NodeMCU ESP8266 V2 od. V3

Die I<sup>2</sup>C-Adresse für das DNMS ist 0x55H.

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

Die übliche Leitungslänge von I<sup>2</sup>C-Verbindungen sollte 250mm nicht überschreiten. Falls eine längere Verbindung zwischen DNMS und Messwerterfassungs-Mikrocontroller notwendig ist, um das Mikrofon in eine gute Position zu bringen, kann eine I<sup>2</sup>C Bus-Verlängerung eingesetzt werden.

### 2.1.4 I<sup>2</sup>C Bus-Verlängerung

Eine I<sup>2</sup>C Bus-Verlängerung kann z.B. mit den Standard Bausteinen P82B715 erfolgen. Der nachfolgende Ausschnitt aus dem Datenblatt des P82B715 zeigt das Prinzip der I<sup>2</sup>C Bus-

Verlängerung.

## 9.2 Typical Application

By using two (or more) P82B715 devices, a subsystem can be built that retains the interface characteristics of a normal I<sup>2</sup>C device so that the subsystem may be included in, or added to, any I<sup>2</sup>C or related system.

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

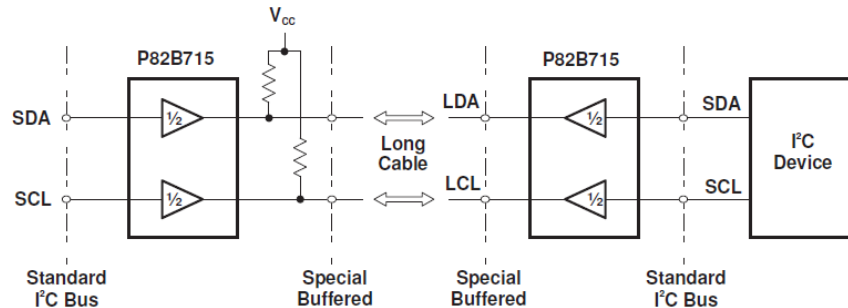


Figure 4. Minimum Subsystem Diagram

### 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 $\Omega$
$R_{PU\_Lx}$	Pullup resistor for the Lx / Ly bus	330 $\Omega$

## 2.1.5 Spannungsversorgung ICS-43434 und Teensy 3.6 / Teensy 4.0

Die Spannungsversorgung des ICS-43434 erfolgt vom Teensy 3.6 / Teensy 4.0 Board aus mit 3,3V wie im Diagramm gezeigt. Das Teensy 3.6 / 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 nachfolgenden Bilder. Die Versorgung kann dann mit 5V an VIN vom Messwerterfassungs-Mikrocontroller erfolgen. Will man das Teensy Board auch ohne Versorgung vom Messwerterfassungs-Mikrocontroller betreiben können, so kann man VIN und VUSB über zwei kurze Verbindungen zu einem Jumper führen und über den Jumper dann ggf. die Verbindung zur Versorgung des Teensy 3.6 / Teensy 4.0 Boards über USB ermöglichen z.B. zum Flashen des Boards.

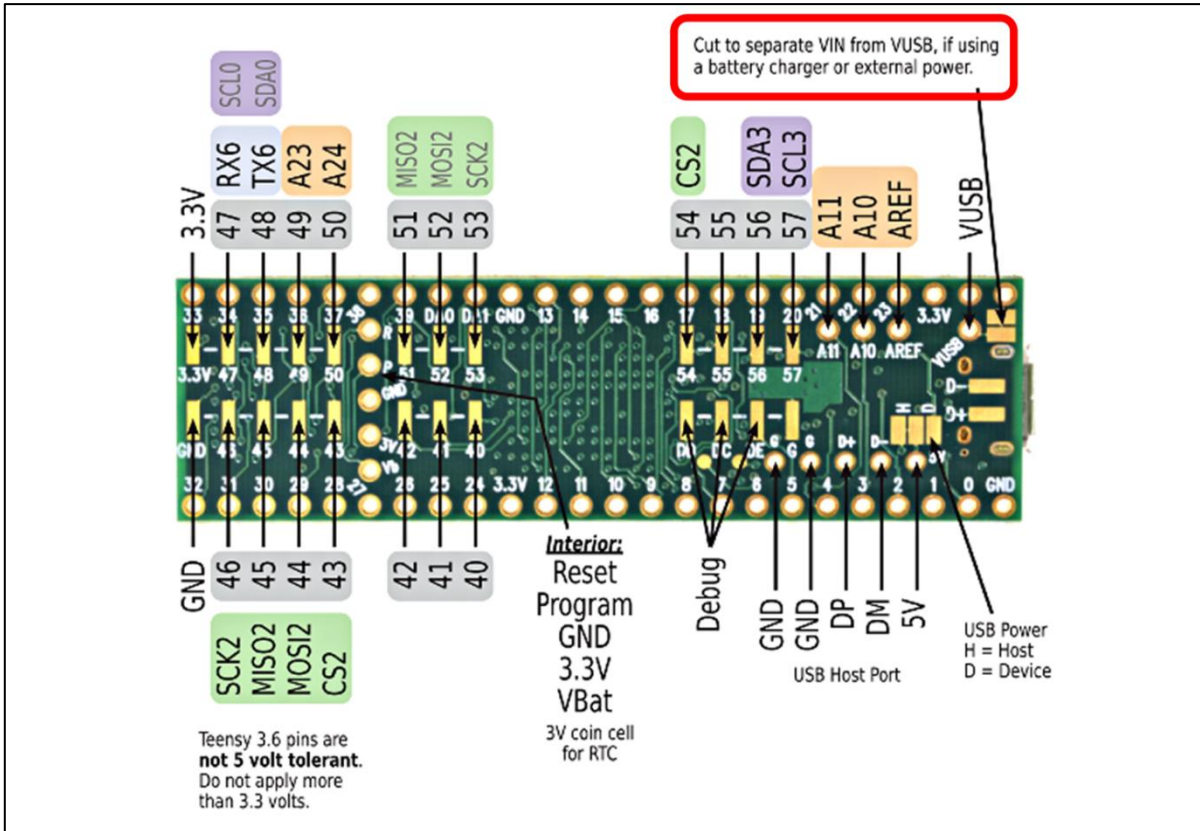


Abbildung 5 Teensy 3.6 Auftrennen VIN von VUSB

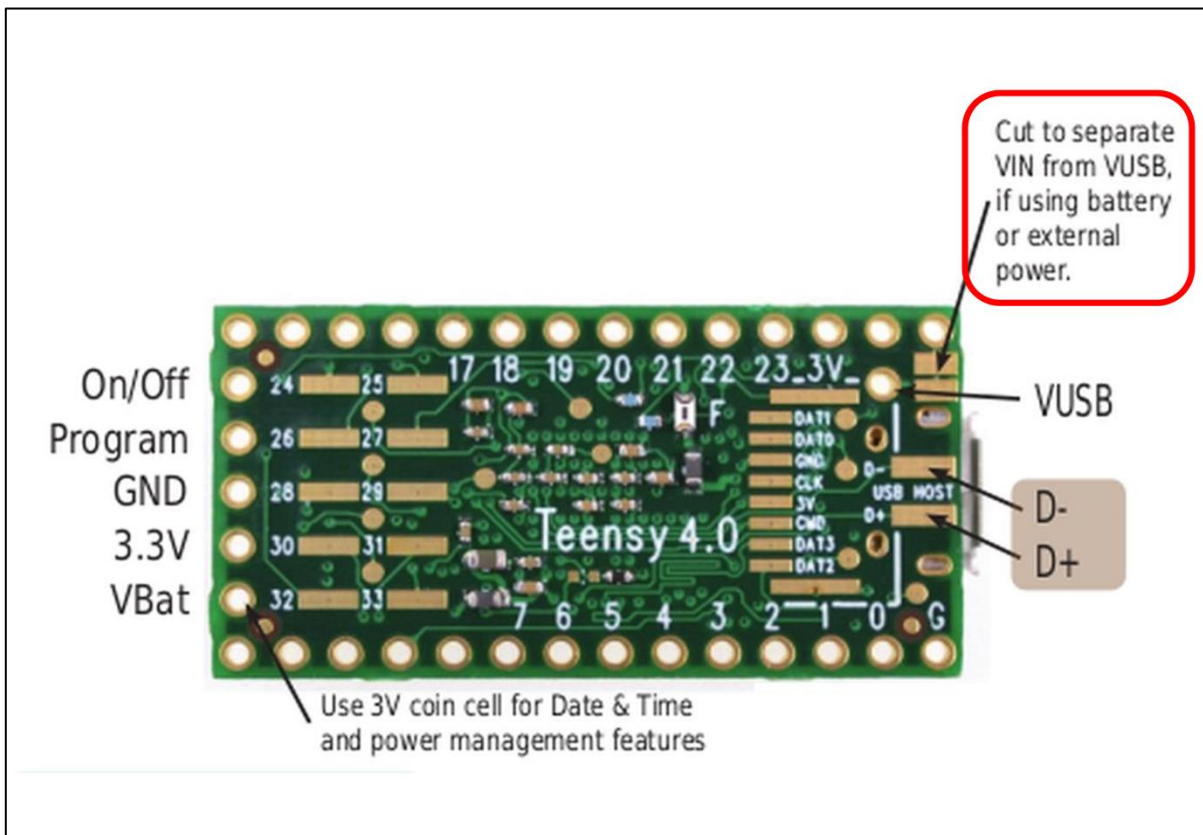


Abbildung 6 Teensy 4.0 Auftrennen VIN von VUSB

### 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 weitergegeben. Dies Signal kann dann z.B. über einen angeschlossenen PC zur weiteren Auswertung aufgenommen werden. Es wird ein PCM-Signal mit 16-Bit und 44,1 kHz ausgegeben. Hierbei ist es natürlich notwendig, wie unter 2.1.5 beschrieben, dass die Verbindung VIN – VUSB aufgetrennt ist, wenn die Versorgung durch den Messwerterfassungs-Mikrocontroller erfolgt.

## 2.2 PCBs und Schaltpläne

Im Rahmen des Projektes sind vier PCBs entstanden und stehen zur Verfügung.

- PCB für NodeMCU ESP8266 Kommunikationsprozessor mit I<sup>2</sup>C Bus-Verlängerung zum Anschluss des DNMS und Möglichkeit andere Sensoren (SDS011, SPS30 u.a. über I<sup>2</sup>C) anzuschließen (Bezeichnung: **AIRROHR V1.1**).
- PCB für DNMS Teensy 3.6 zum Anschluss des ICS-43434 Mikrofons und Anschluss an einen Kommunikations-Mikrocontroller über I<sup>2</sup>C (mit oder ohne Bus-Verlängerung) (Bezeichnung: **DNMS - T3.6 V1.1**).
- PCB für DNMS Teensy 4.0 zum Anschluss des ICS-43434 Mikrofons und Anschluss an einen Kommunikations-Mikrocontroller über I<sup>2</sup>C (mit oder ohne Bus-Verlängerung) (Bezeichnung: **DNMS - T4 V1.2**).
- PCB für DNMS Teensy 4.0 mit NodeMCU ESP8266 Kommunikationsprozessor als Einheit (Bezeichnung: **DNMS - T4+NodeMCU V1.2**).

Die Boards sind mit dem System KiCad entwickelt. Die kompletten KiCad Files stehen auf GitHub unter ... zur Verfügung. Die Gerber- und Drill-Files sind jeweils in einem Zip-File zusammengefasst, so dass PCBs direkt bestellt werden können, ohne KiCad benutzen zu müssen (oder installieren zu müssen).

### 2.2.1 AIRROHR V1.1

Auf dem Board können wahlweise die NodeMCU V2 oder die NodeMCU V3 verwendet werden. Es sind Anschlüsse für die Feinstaubsensoren SDS011 und SPS30 vorhanden. Temperatur-/Luftfeuchtigkeits-Sensoren können über I<sup>2</sup>C angeschlossen werden. Für den DNMS Anschluss ist sowohl ein normaler I<sup>2</sup>C Anschluss als auch ein Anschluss über eine I<sup>2</sup>C Bus-Verlängerung vorhanden. Als Versorgungsspannung für den DNMS Anschluss ist 5V an den Steckerpfosten herausgeführt. Entsprechende Pullup Widerstände für die I<sup>2</sup>C Schnittstelle können eingesetzt werden, für die I<sup>2</sup>C Bus-Verlängerung sind separate Pullup Widerstände vorgesehen. Auch eine externe 5V Stromversorgung kann über ein Anschlussterminal realisiert werden.



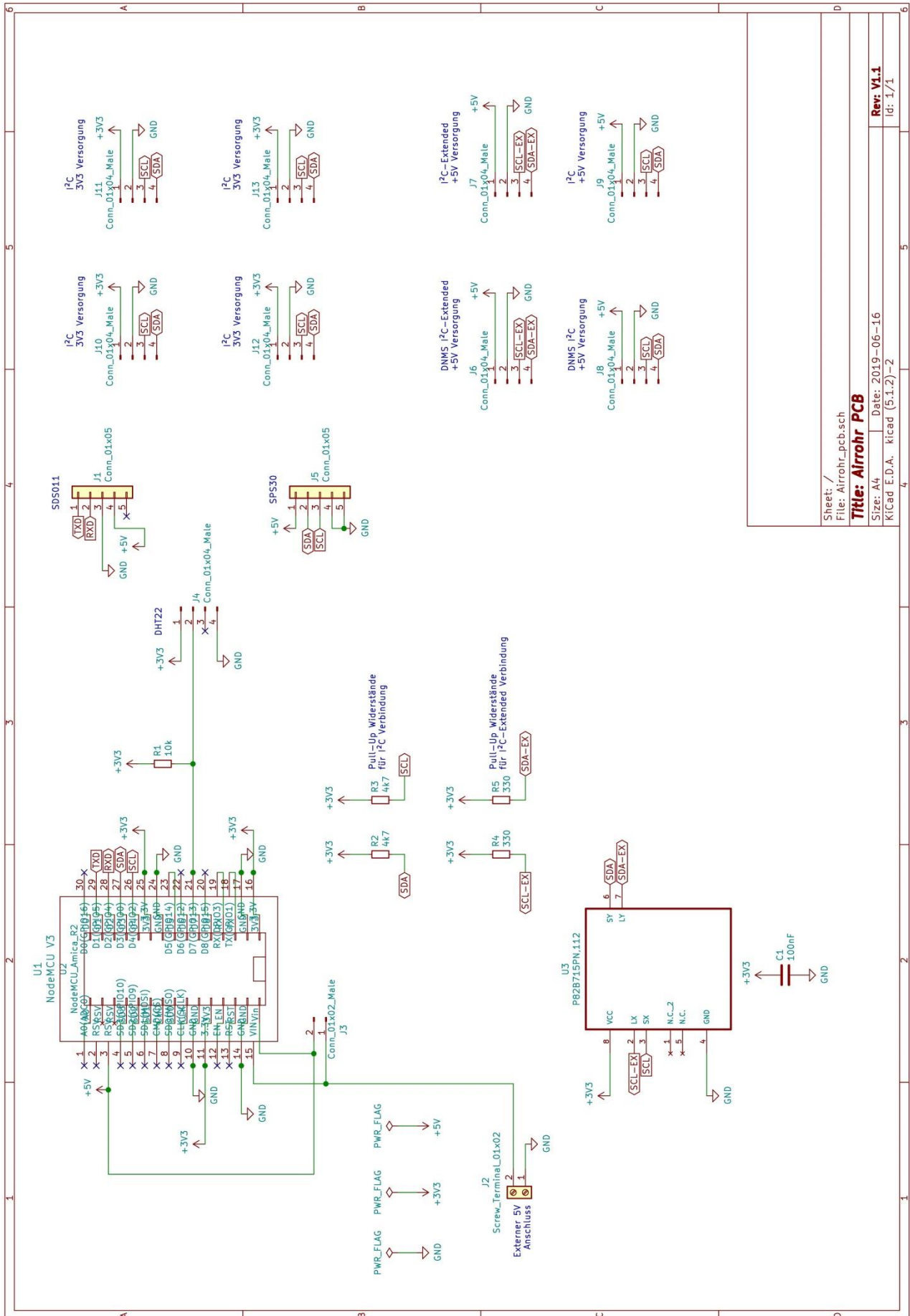


Abbildung 8 AIRROHR V1.1 Schaltplan

Sheet: /	File: Airrohr_pcb.sch
<b>Title: Airrohr PCB</b>	
Size: A4	Date: 2019-06-16
KiCad E.D.A.	KiCad (5.1.2)-2
<b>Rev: V1.1</b> Id: 1/1	

### 2.2.2 DNMS - T3.6 V1.1

Das DNMS - T3.6 V1.1 Board realisiert den Anschluss an die ICS-43434 Mikrofoneinheit über die I<sup>2</sup>S Schnittstelle. Die Weitergabe der Messwerte erfolgt über eine I<sup>2</sup>C Schnittstelle. Neben dem normalen I<sup>2</sup>C Anschluss ist ein Anschluss an eine I<sup>2</sup>C Bus-Verlängerung möglich, für den Fall, dass das Board mehr als 250mm vom abfragenden Kommunikationsprozessor entfernt platziert werden soll.

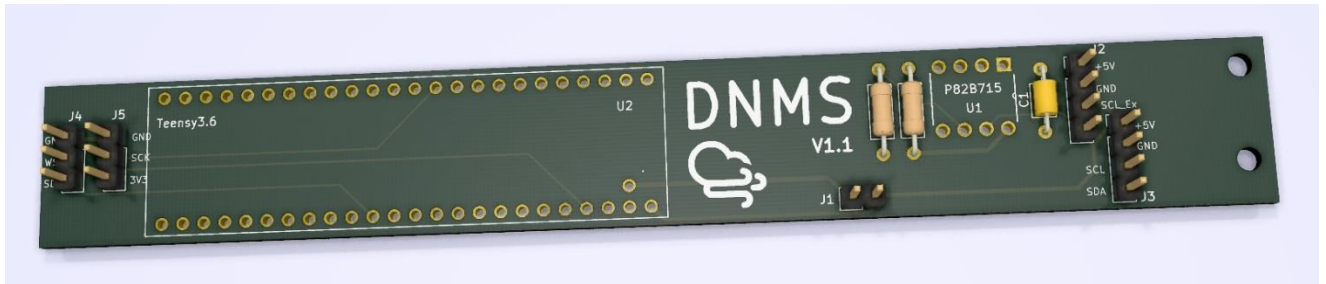


Abbildung 9 DNMS - T3.6 V1.1 PCB

Die schlanke Form erlaubt den Einbau in ein zylindrisches Gehäuse von nur 25mm Durchmesser, was den akustischen Eigenschaften zu Gute kommt.

Die Details können dem nachfolgenden Schaltplan entnommen werden.



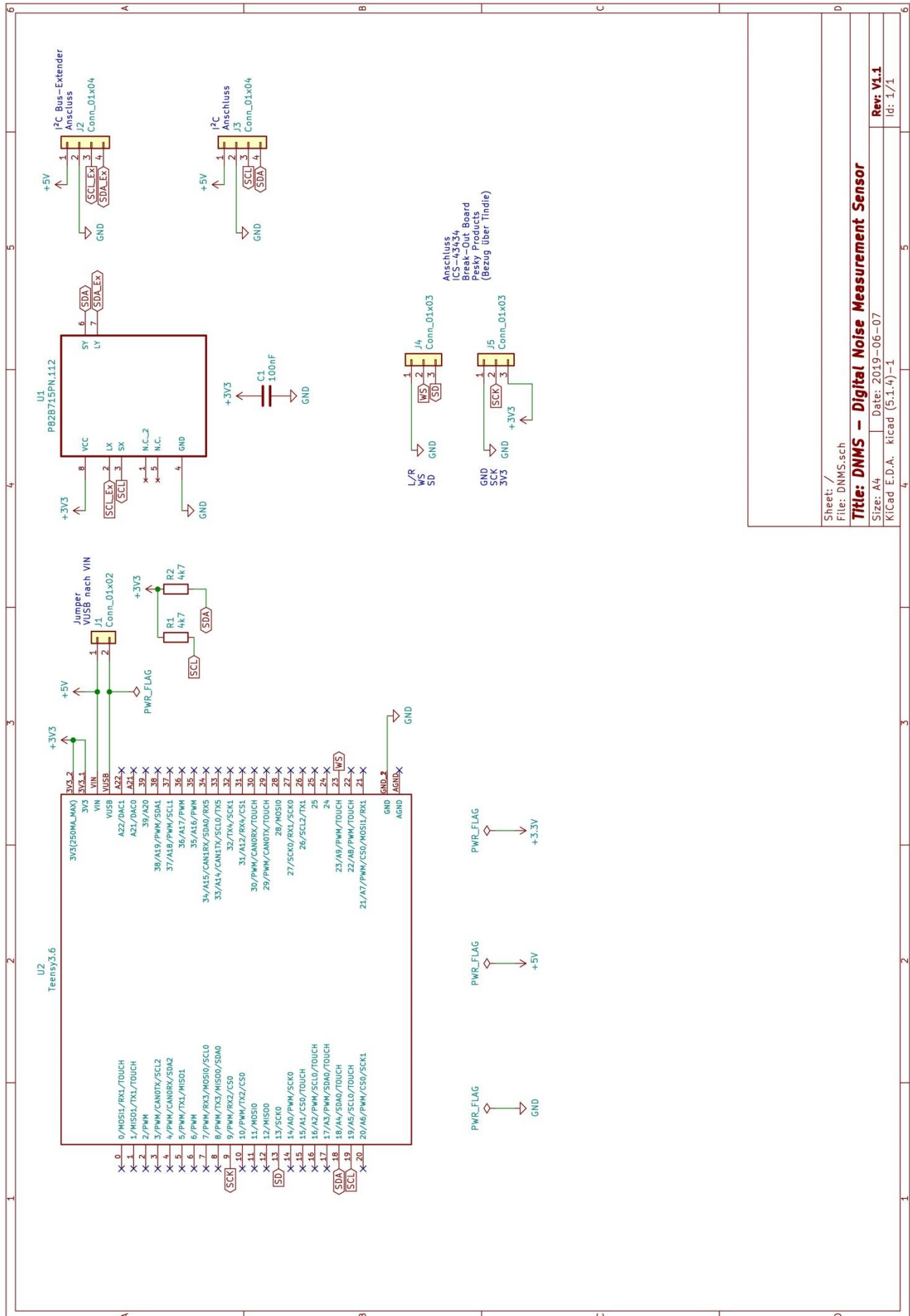


Abbildung 10 DNMS - T3.6. V1.1 Schaltplan

Sheet: /  
 File: DNMS.sch  
**Title: DNMS – Digital Noise Measurement Sensor**  
 Size: A4 Date: 2019-06-07  
 KicCad E.D.A. kiccad (5.1.4)-1  
 Rev: V1.1  
 Id: 1/1

### 2.2.3 DNMS - T4 V1.2

Das DNMS –T4 V1.2 erfüllt die gleichen Aufgaben wie das DNMS – T3.6 V1.1. Der Unterschied ist, dass statt des Teensy 3.6 Mikrocontroller Boards ein Teensy 4.0 Mikrocontroller Board zum Einsatz kommt. Dieses Board stand anfangs noch nicht zur Verfügung. Die CPU des Teensy 4.0 weist gegenüber dem Teensy 3.6 eine wesentlich höhere Leistungsfähigkeit aus bei geringeren Kosten. Das Board befindetet z.Zt. noch in der Erprobung.

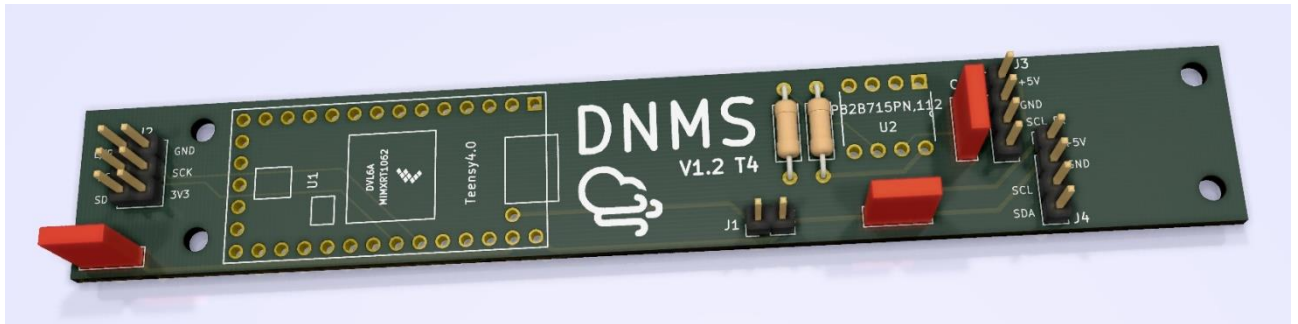
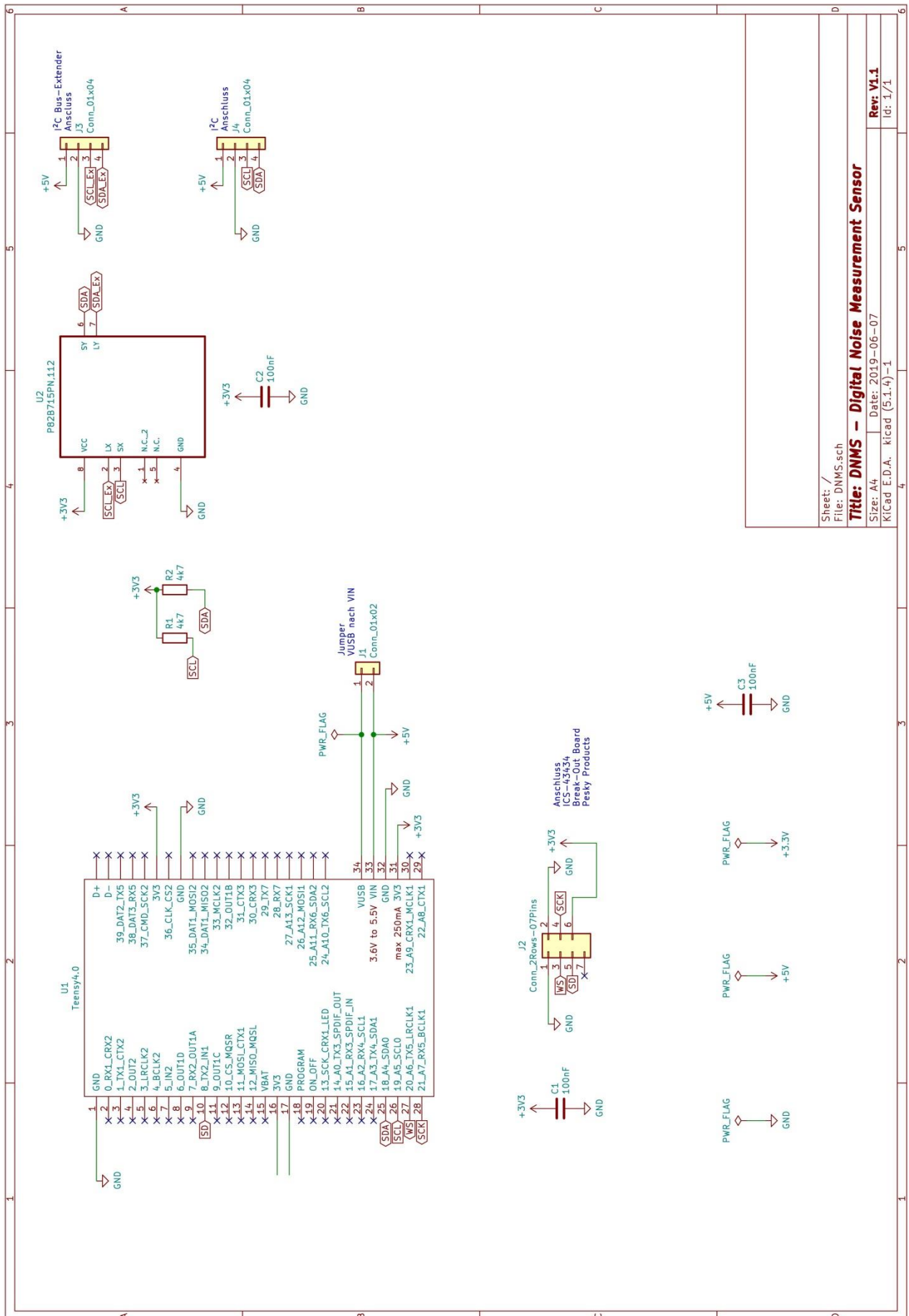


Abbildung 11 DNMS – T4 V1.2 PCB

Die Details können dem nachfolgenden Schaltplan entnommen werden.



Sheet: /  
 File: DNMS.sch  
**Title: DNMS – Digital Noise Measurement Sensor**  
 Size: A4 | Date: 2019-06-07 | Rev: V1.1  
 KiCad E.D.A. | kicad (5.1.4)-1 | Id: 1/1

Abbildung 12 DNMS - T4 V1.2 Schaltplan

### 2.2.4 DNMS - T4+NodeMCU V1.2

Das DNMS – T4+NodeMCU V1.2 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. BME280) können ebenfalls angeschlossen werden. 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.



Abbildung 13 DNMS - T4+NodeMCU V1.2 PCB Frontseite



Abbildung 14 DNMS - T4+NodeMCU V1.2 Rückseite

Die Details können dem nachfolgenden Schaltplan entnommen werden.

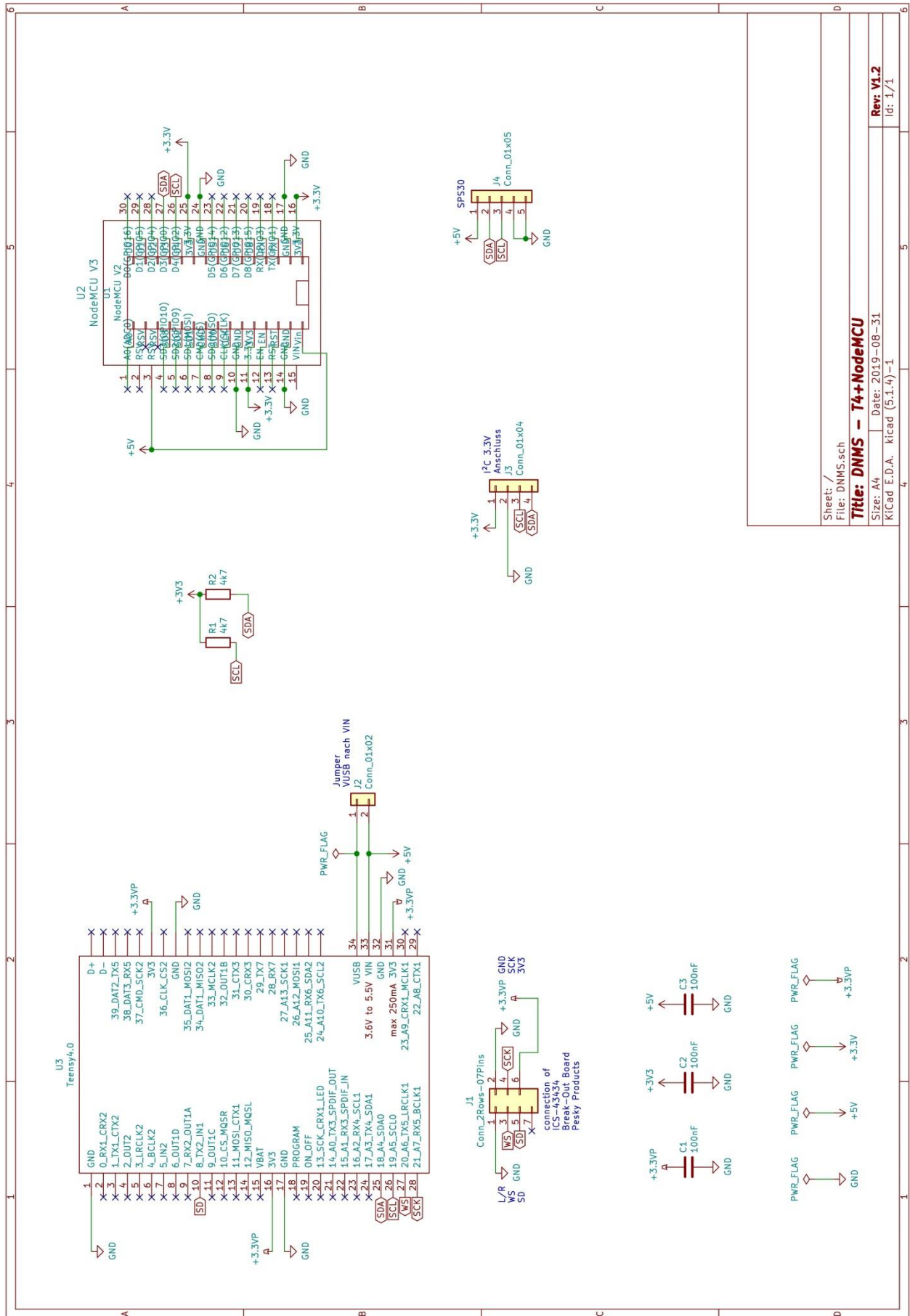


Abbildung 15 DNMS - T4+NodeMCU V1.2 Schaltplan

Sheet: /  
 File: DNMS.sch  
**Title: DNMS – T4+NodeMCU**  
 Size: A4 Date: 2019-08-31  
 KiCad E.D.A. kicad (5.1.4)-1  
**Rev: V1.2**  
 Id: 1/1

### 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 4.4. Die Installation der Arduino IDE und Teensy Erweiterung ist nur notwendig, wenn eigene Erweiterungen realisiert werden sollen. Die vorhandene Firmware steht unter GitHub ... zur Verfügung.

#### 3.1 Teensy Audio Library

Die Teensy Audio Library stellt Funktionen für den I<sup>2</sup>S Anschluss des InvenSense ICS-43434 Mikrofons zur Verfügung. Weiterhin werden Funktionen zur Effektiv-Wert Berechnung und Realisierung des A-Filters aus der Library eingesetzt. Informationen zur Teensy Audio Library sind unter [https://www.pjrc.com/teensy/td\\_libs\\_Audio.html](https://www.pjrc.com/teensy/td_libs_Audio.html) zu finden.

#### 3.2 I<sup>2</sup>C Kommunikation

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

Als I<sup>2</sup>C Library kommt die Library Wire zum Einsatz in der Version für die Teensy Boards.

Achtung:

Da bei der I<sup>2</sup>C 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
```

Aufgrund spezieller Optimierungen für den Prozessor des Teensy 3.6 Boards wird für die I<sup>2</sup>C Kommunikation die Datei WireKinetic.h benutzt. Dort ist der Wert für die Buffer Länge ebenfalls auf 64 zu setzen:

```
#define BUFFER_LENGTH 64
```

Wenn das Teensy 4.0 Boards eingesetzt wird heißt die entsprechende Datei WireIMXRT.h. Dort ist der Wert für die Buffer Länge ebenfalls auf 64 zu setzen:

```
#define BUFFER_LENGTH 64
```

Falls die Software des abfragenden Messwerterfassungs-Mikrocontrollers ebenfalls unter der Arduino IDE entwickelt wird, ist auch hier in der Datei Wire.h der Wert der Buffer Länge auf 64 zu setzen.

Vom Messwerterfassungs-Mikrocontroller (I<sup>2</sup>C Master) können die unter 3.2.1 beschriebenen 2-Byte langen Kommandos an das DNMS System (I<sup>2</sup>C Slave) gesendet werden. Die Übertragung von Daten vom DNMS an den Messwerterfassungs-Mikrocontroller ist durch eine CRC-Checksum gesichert. 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 I<sup>2</sup>C 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 Messwerterfassungs-Mikrocontroller 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.x.x

Aktuell bei der Version Teensy 3.6: DNMS Version 1.0.0  
und bei der Version Teensy 4.0: DNMS Version 1.1.0

### 3.2.1.3 Calculate LEQ (0x0003)

Das Kommando Calculate LEQ veranlaßt die Berechnung des gesamt  $L_{Aeq}$ -wertes über das bisherige Intervalls. Der Wert wird intern abgespeichert ebenso die min. und max.  $L_A$ -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 min. und max.  $L_A$ -Werte für die Übertragung über I<sup>2</sup>C bereit stehen.

### 3.2.1.5 Read LEQ (0x0005)

Das Kommando Read LEQ überträgt die bereit stehenden Daten über I<sup>2</sup>C an den Messwerterfassungs-Mikrocontroller. Die Daten werden als Float-Werte übertragen.



## 4. Bauanleitung

Auf Basis der vorhandenen PCBs (AIRROHR V1.1, DNMS - T3.6 V1.1, DNMS - T4 V1.2 und DNMS - T4+NodeMCU V1.2) ergeben sich drei unterschiedliche Aufbau-Varianten:

- **Variante 1:** Teensy 3.6 getrennt vom Kommunikationsprozessor (PCBs: DNMS - T3.6 V1.1 und z.B. AIRROHR V1.1)
- **Variante 2:** Teensy 4.0 getrennt vom Kommunikationsprozessor (PCBs: DNMS - T4 V1.2 und z.B. AIRROHR V1.1)
- **Variante 3:** Teensy 4.0 mit Kommunikationsprozessor kombiniert (PCB: DNMS - T4+NodeMCU V1.2)

Weitere Varianten sind möglich z.B. die Kombination des DNMS - T3.6 V1.1 Boards direkt mit einem NodeMCU V2 od. V3 Board ohne I<sup>2</sup>C Bus-Verlängerung (entspricht technisch der Variante 3 aber auf Teensy 3.6 basierend und ohne weiteres PCB für die NodeMCU). Stücklisten sind bei den jeweiligen Varianten aufgeführt d.h. unterschieden in die Elektronik und die weitere Gehäuseausführung.

Gemeinsam ist allen drei 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. Das Breakout Board von Pesky Products kann über die Plattform Tindie bezogen werden:

<https://www.tindie.com/products/onehorse/ics43434-i2s-digital-microphone/>

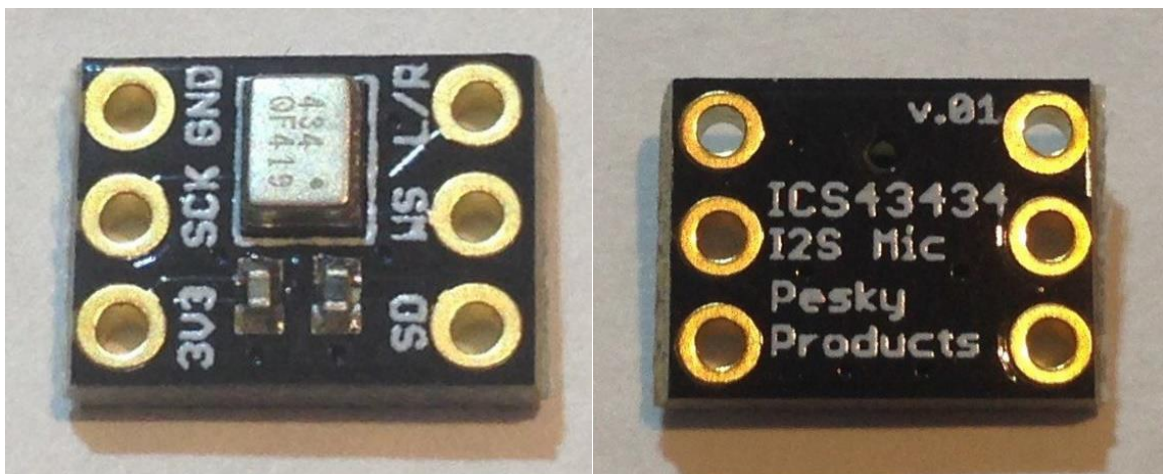


Abbildung 16 Vorder- und Rückseite des Pesky ICS-43434 Boards

### 4.1.1 Gehäuseteil für die Mikrofoneinheit

Als Gehäuseteil für das Pesky ICS-43434 Board kommt ein Kunststoffrohr mit einem Außendurchmesser von ½ Zoll (12,7mm) zum Einsatz. Der ½ Zoll Durchmesser ist bei Messmikrofonen ein häufig benutzter Standard, es können dadurch z.B. auch Standard Kalibratoren für ½ 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 17 Pesky Board akustischer Einlass unbestückte Seite

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

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

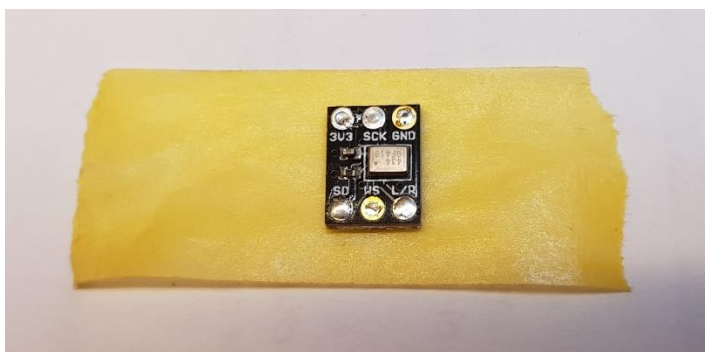


Abbildung 18 Pesky Board von unbestückter Seite abkleben

Das überstehende Kreppband abschneiden.



Abbildung 19 Pesky Board mit Kreppband gegen Staub geschützt

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

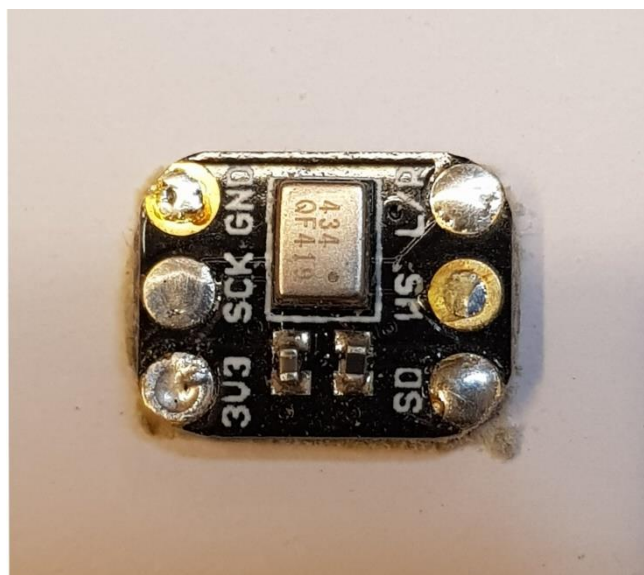


Abbildung 20 Abfeilen der Ecken am Pesky Board

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.

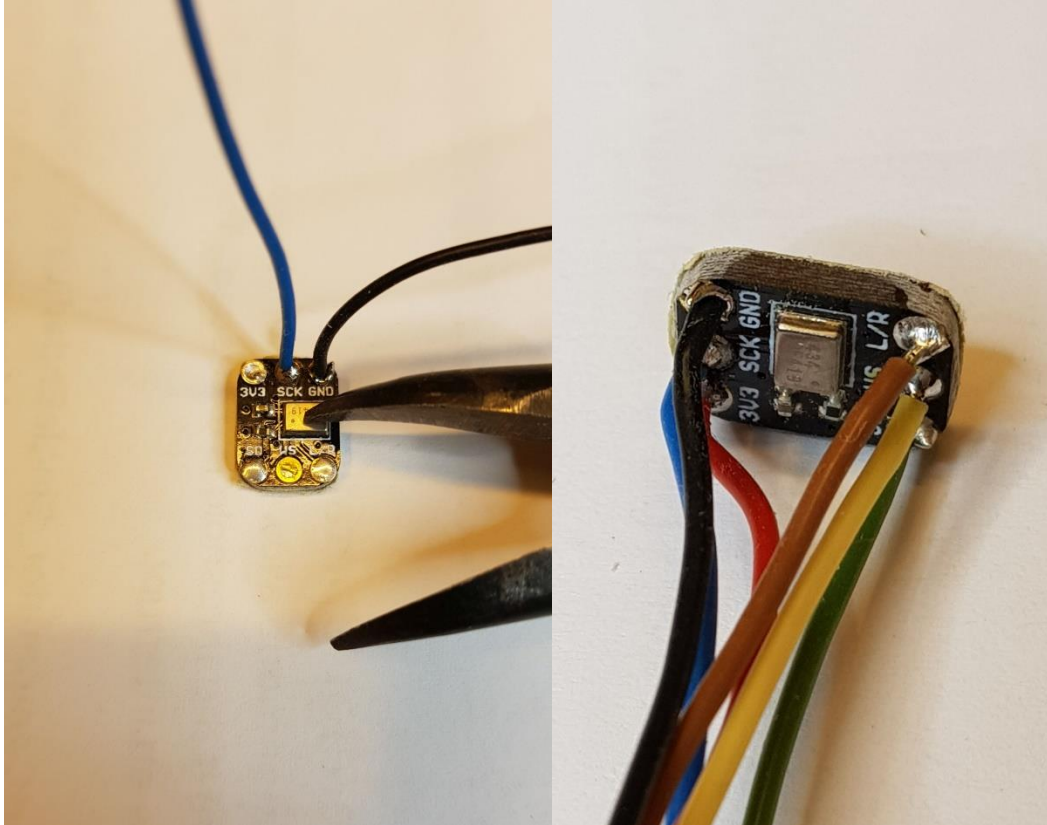


Abbildung 21 Kabel am Breakout Board anlöten

Nun wird ein passendes Stück  $\frac{1}{2}$  Zoll Kunststoffrohr mit einer Länge von ca. 115mm zugeschnitten. Kunststoffrohre mit  $\frac{1}{2}$  Zoll (12,7 mm) Außendurchmesser sind im Modellbau bzw. Architekturmodellbau erhältlich z.B. Evergreen Nr. 236 Rundrohr  $\frac{1}{2}$  Zoll.



Abbildung 22 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 Krepp Klebeband von der Unterseite des Pesky Boards entfernt. Dann nimmt man sich erneut zwei Streifen von dem Krepp Klebeband und klebt diese über Kreuz auf die Unterseite des Pesky Boards. Die Kabel werden in das das Stück Kunststoffrohr gefädelt und das Rohr über das Pesky Board aufgesetzt. Bitte fest aufdrücken, damit das Rohr gut am Klebeband haftet.

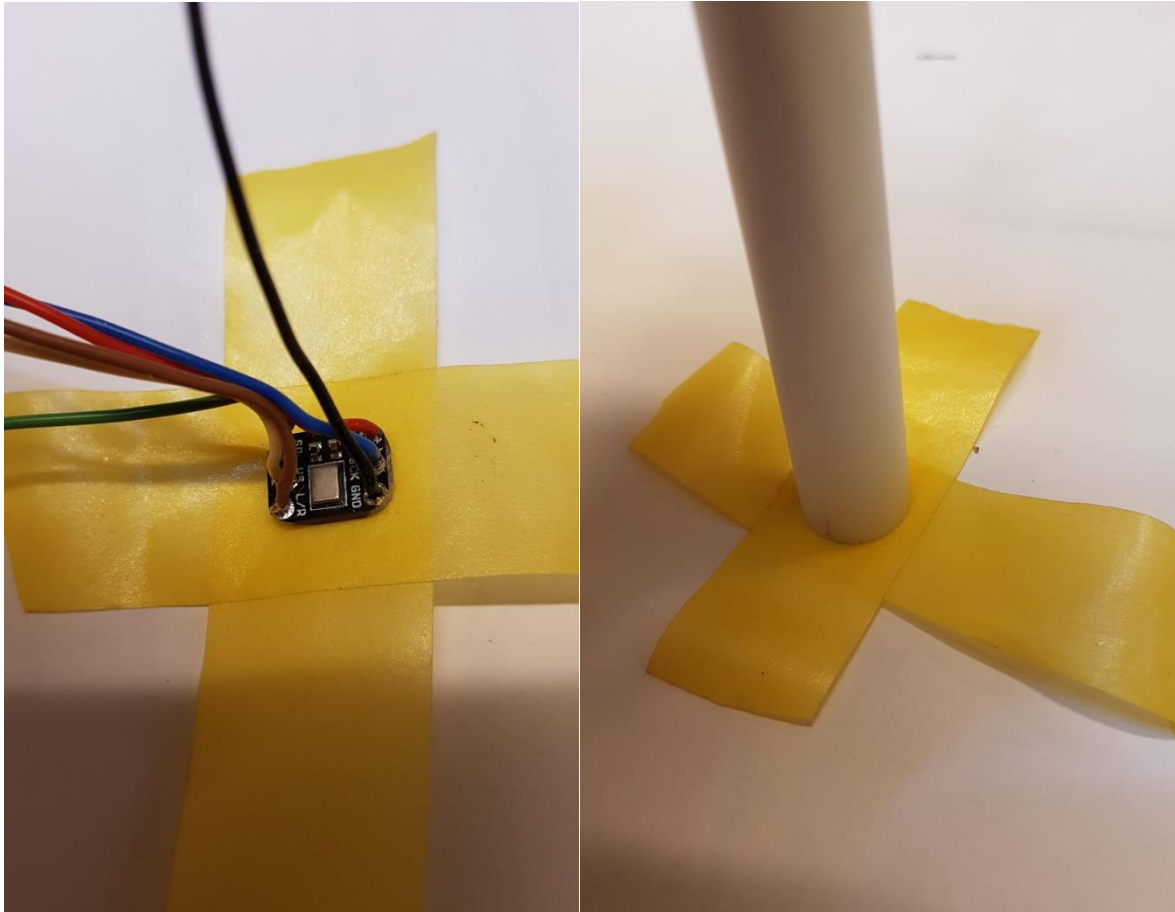


Abbildung 23 Pesky Board wieder abkleben und Rohr aufsetzen

Jetzt wird das Klebeband am Rohr entlang gut festgedrückt.

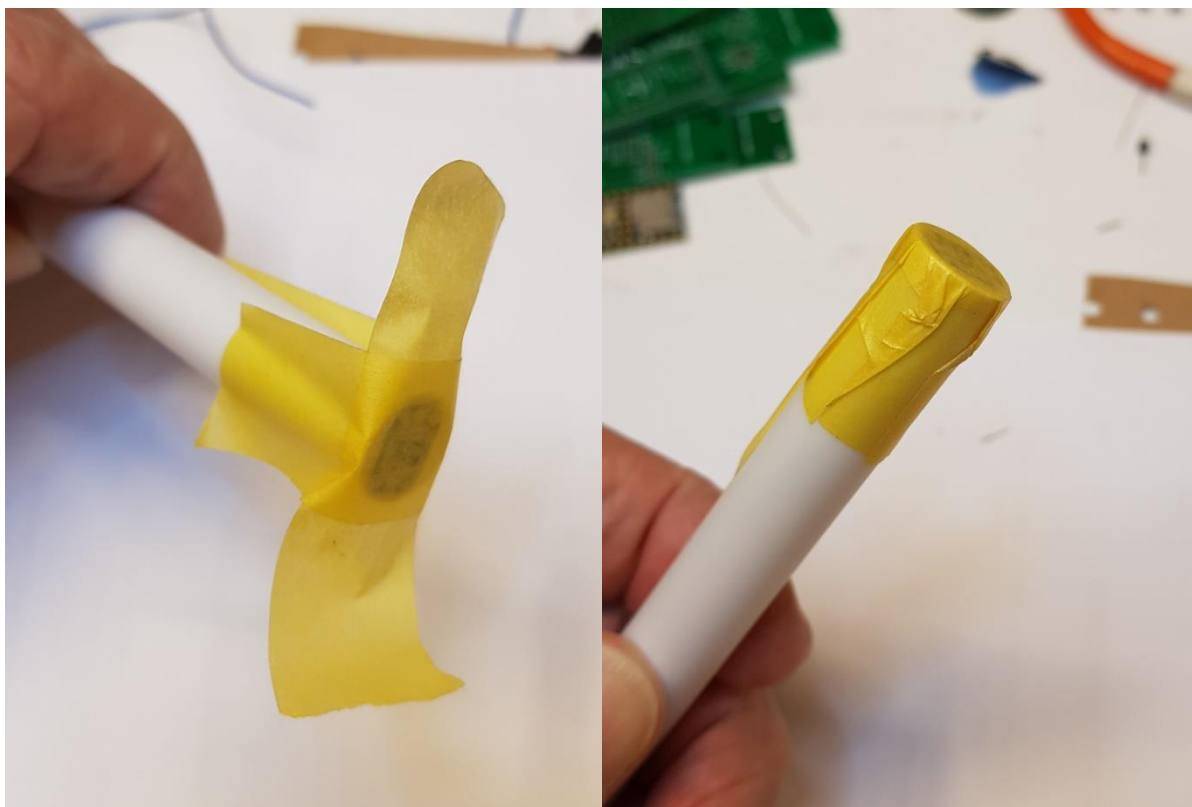


Abbildung 24 Festdrücken des Klebebandes am Rohr

Damit ist das Mikrofon mit dem Rohr für den nächsten Schritt, das Ausgießen des Rohrinne, 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](http://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](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. 15g gemischte Vergussmasse benötigt.

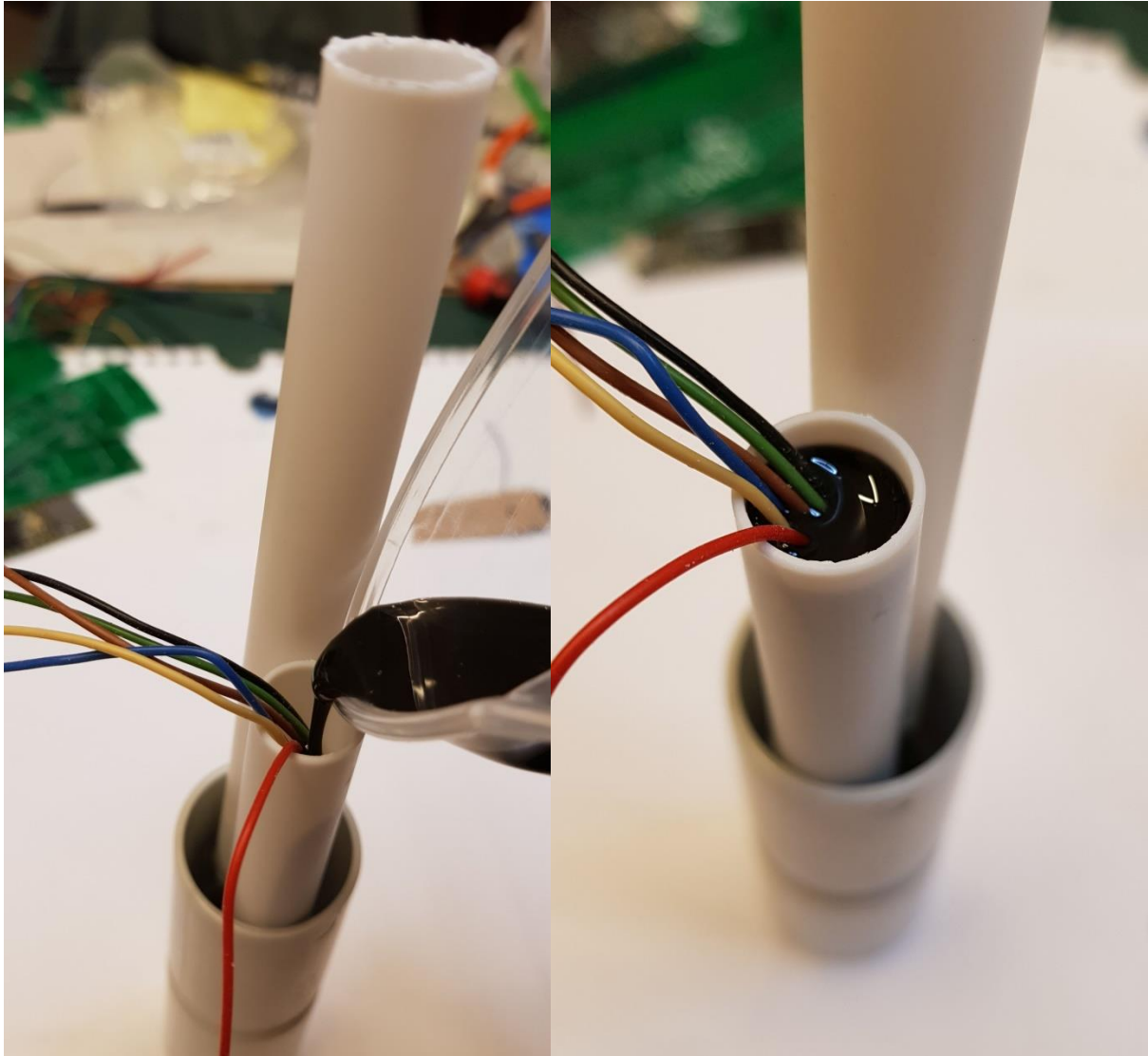


Abbildung 25 Einfüllen der Vergussmasse bis ca. 5mm vor dem Rohrende

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

Die folgende Abbildung zeigt das Ergebnis nach dem Aushärten:



Abbildung 26 fertig ausgegossenes Mikrofonrohr

## 4.2 Gehäuse

Abhängig vom Platzbedarf der gewählten PCBs ergeben sich zwei Gehäuseausführungen.

### 4.2.1 Gehäuse für die Varianten 1 und 2

Ein preiswertes aber akustisch vorteilhaftes Gehäuse lässt sich aus Standard Elektro-Installationsmaterial für die Varianten 1 und 2 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 27 Einzelteile 25mm Elektro-Installationsrohr



Abbildung 28 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 I<sup>2</sup>C Bus-Verlängerung zu benutzen. Die Details sind unter 2.2.2 und 2.2.3 zu finden. Als Kabel eignet sich ein handelsübliches 4-poliges Mikrofonkabel. Die Verbindung besteht aus der Stromversorgung mit 5V und GND und den beiden I<sup>2</sup>C Signalen SDA und SCL. Sinnvoll ist es am Ende des Kabels zum Kommunikationsprozessor eine Steckverbindung vorzusehen (z.B. 5-polige XLR-Verbindung, bei Amazon/Ebay sind auch günstige Angebote zu finden). Auf dem Board sind zwei Bohrungen durch die ein Kabelbinder zur Zugentlastung geführt werden kann.

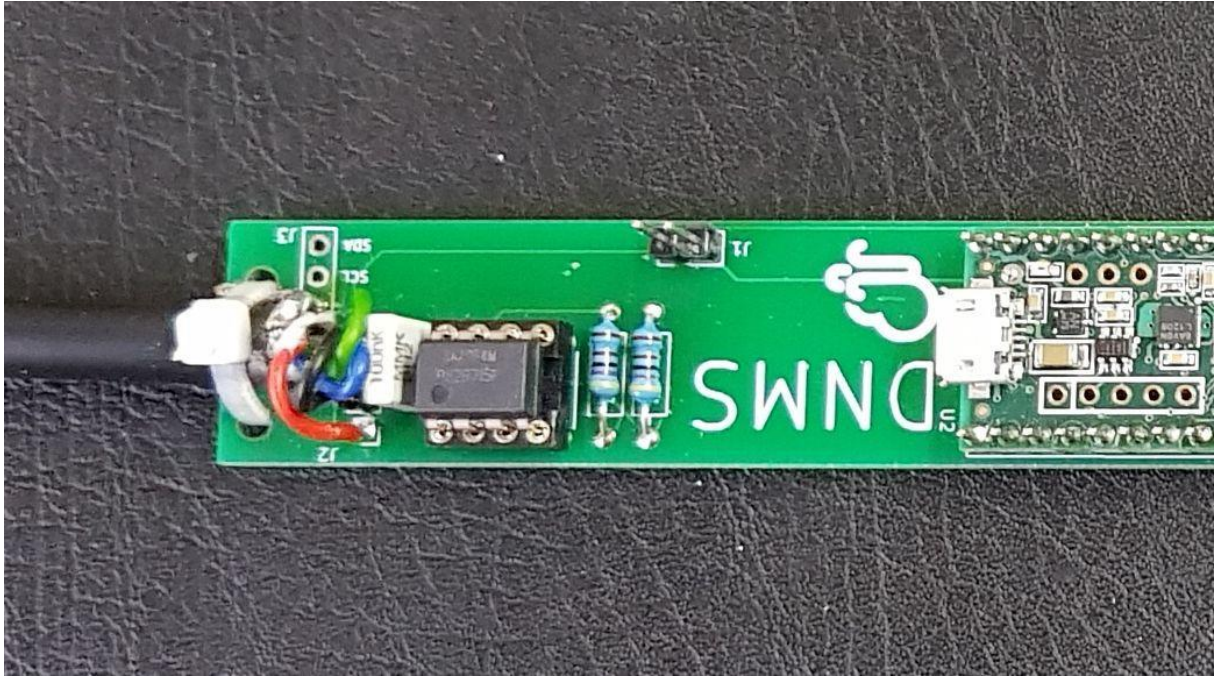


Abbildung 29 Verbindungskabel zum Kommunikationsprozessor mit Kabelbinder zur Zugentlastung

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



Abbildung 30 USB-Kabel vom Teensy Board mit Klebeband fixiert

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

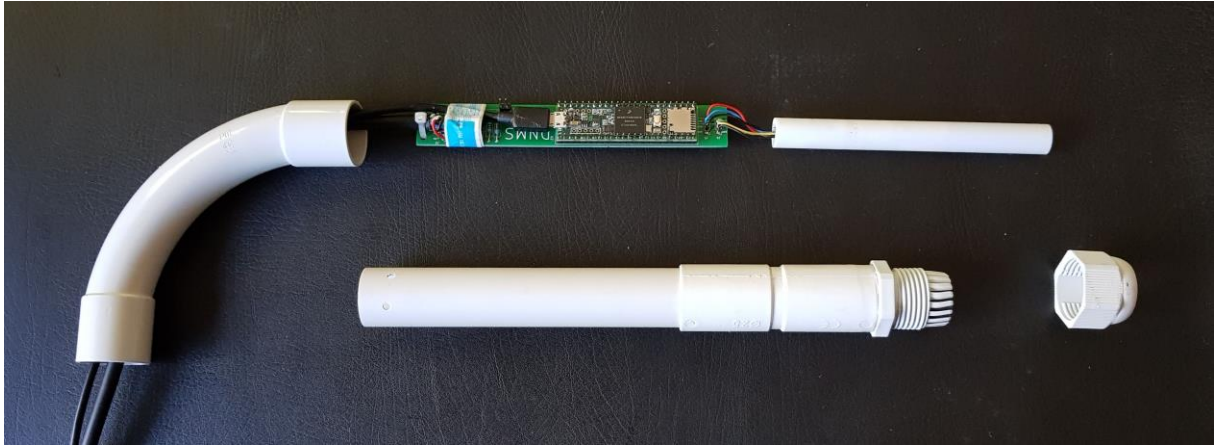


Abbildung 31 Teesy und Mikrofon vorbereitet für Montage

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 32 Beispiel M25 IP68 Kabelverschraubung aus dem Baumarkt

Fertig montiert ergibt sich das folgende Bild.



Abbildung 33 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 34 Zugentlastung für die Kabel am Ende des 90° Bogens

## 4.2.1.1 Stückliste Gehäuse Variante 1 und Variante 2

Anzahl	Gegenstand u. Anmerkungen	Hersteller u. Produkt	Bezugsquelle	Preis
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	<a href="https://www.architekturbedarf.de/kunststoffe/evergreen-profile/rundrohr-355-mm/evergreen-rundrohr-127-x-115-mm">https://www.architekturbedarf.de/kunststoffe/evergreen-profile/rundrohr-355-mm/evergreen-rundrohr-127-x-115-mm</a>	4,35€ zzgl. Versandkos ten
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 meist 2 od. mehr	verschiedene	Baumarkt	ca. 2,35€
1	90° Steckbogen zum 25mm Elektro- Installationsrohr, Packung enthält meist 2 Stück	verschiedene	Baumarkt	ca. 3,25€
1	2-Komponenten Vergussmasse Püre Isolation ST 33, 345g Gebinde reicht für ca. 20 Mikrofone	copaltec GmbH, www.copaltec.de	<a href="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/1215900?gclid=EAlaIqOBChMlhbWFrISr5QIVhuN3Ch26xgHrEAQYASABEGK1s_D_BwE">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/1215900?gclid=EAlaIqOBChMlhbWFrISr5QIVhuN3Ch26xgHrEAQYASABEGK1s_D_BwE</a>	ca. 20,35€ zzgl. Versandkos ten

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 3**

#### 4.2.2.1 Stückliste Gehäuse Variante 3

### 4.2.3 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. Vom Hersteller des Mikrofons, IvenSense, gibt es die Application Note AN-1124 – Recommendations for Sealing InvenSense Bottom-Port MEMS Microphones from Dust and Liquid Ingress. Unter dem folgenden Link kann die Application Note heruntergeladen werden: <https://www.invensense.com/download-pdf/an-1124-recommendations-for-sealing-invensense-bottom-port-mems-microphones-from-dust-and-liquid-ingress/>

Die in der Application Note erwähnten Folien sind nur schwer erhältlich. Ein Test mit solchen Folien konnte deshalb bisher noch nicht durchgeführt werden.

??? Im praktischen Versuch hat sich gezeigt, dass durch den Einsatz einer kleinen Schutzkappe am Mikrofonrand und weiterhin durch einen Schaumstoffwindschutz (Kugel von 8 – 9cm Durchmesser) ein guter Wetterschutz gegeben ist. Die akustischen Eigenschaften verschlechtern sich dadurch nur unwesentlich. ????

### 4.3 Zusammenbau der Elektronik

### 4.4 Aufspielen der Firmware (Flashen)

### 4.5 Montage der Elektronik im Gehäuse

### 4.6 Hinweise zur Anbringung



## 5. Anbindung an das luftdaten.info Netz

Beim luftdaten.info Netz kommt als Messwerterfassungs-Mikrocontroller ein NodeMCU Mikrocontroller basierend auf der esp8266 CPU zum Einsatz. Wie unter 2.1.3 und 3.2.1 beschreiben, erfolgt der Anschluss daran über I<sup>2</sup>C. Die Software zur DNMS Anbindung ist in der aktuellen airrohr-firmware des luftdaten.info Projekts für die NodeMCU integriert. Wie andere Sensoren auch kann das DNMS System über das Konfigurationsmenü eingebunden werden, was die folgende Abbildung zeigt.

**Sensor WLAN**  
Sensor WLAN Name im Konfigurationsmodus  
Name   
Passwort

**APIs**  
 API Luftdaten.info (  HTTPS)  
 API Madavi.de (  HTTPS)

**Sensoren**  
 SDS011 (Feinstaub)  
 Plantower PMS(1,3,5,6,7)003 (Feinstaub)  
 Honeywell PM sensor  
 PPD42NS  
 DHT22 (Temperatur, rel. Luftfeuchte)  
 HTU21D (Temperatur, rel. Luftfeuchte)  
 BMP180 (Temperatur, Luftdruck)  
 BMP280 (Temperatur, Luftdruck)  
 BME280 (Temperatur, rel. Luftfeuchte, Luftdruck)  
 DS18B20 (Temperatur)  
 DNMS (Leq, LAeq)  
Korrekturwert bezogen auf 94 dB(A)

GPS (NEO 6M)

Abbildung 35 Konfiguration DNMS im Web-Server Frontend NodeMCU

Eine direkte Weitergabe der Daten an eine InfluxDB ist natürlich auch konfigurierbar.

**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 36 Konfiguration Datenübertragung zu einer InfluxDB

## 6. 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.