

DNMS – Digital Noise Measurement Sensor

Beschreibung

und

Bauanleitung

Stand: 10.12.2019

Inhalt

1.	Einführung.....	7
2.	Hardware	8
2.1	Hardware Übersicht	8
2.1.1	Digitales Mikrofon ICS-43434	8
2.1.2	Verbindung ICS-43434 und Mikrocontroller Teensy 3.6 / Teensy 4.0	8
2.1.3	I ² C Anschluss an Kommunikationsprozessor.....	11
2.1.4	I ² C Bus-Verlängerung.....	11
2.1.5	Spannungsversorgung ICS-43434 und Teensy 3.6 / Teensy 4.0.....	12
2.1.6	USB Audio Funktion.....	14
2.2	PCBs und Schaltpläne	14
2.2.1	AIRROHR V1.1	14
2.2.2	AIRROHR V1.2	17
2.2.3	DNMS - T3.6 V1.1.....	19
2.2.4	DNMS – T3.6 V1.2.....	21
2.2.5	DNMS – T3.6+NodeMCU V1.0	23
2.2.6	DNMS - T4 V1.2.....	25
2.2.7	DNMS - T4+NodeMCU V1.2.....	27
3.	Software.....	29
3.1	Teensy Audio Library.....	29
3.2	I ² C Kommunikation.....	29
3.2.1	I ² C Kommandos	30
3.2.1.1	Reset (0x0001)	30
3.2.1.2	Read Version (0x0002)	31
3.2.1.3	Calculate LEQ (0x0003)	31
3.2.1.4	Read Data Ready (0x0004).....	31
3.2.1.5	Read LEQ (0x0005)	31
3.3	GitHub DNMS Software Repository	32
4.	Bauanleitung	33
4.1	Mikfoneinheit	33
4.1.1	Gehäuseteil für die Mikfoneinheit	34
4.1.2	Montage und Ausgießen des Mikfonrohres	37
4.1.3	Stückliste Mikfoneinheit	41
4.2	Gehäuse.....	42

4.2.1	Gehäuse für die Varianten 1.....	42
4.2.1.1	Stückliste Gehäuse Variante 1	47
4.2.2	Gehäuse für die Variante 2.....	48
4.2.2.1	Stückliste Gehäuse Variante 2	52
4.2.3	Wetterschutz Gehäuse und Mikrofon	53
4.3	Zusammenbau der Elektronik	54
4.4	Aufspielen der Firmware (Flashen)	54
4.4.1	Flashen Teensy 3.6 / 4.0	54
4.4.2	Flashen NodeMCU	55
4.5	Montage der Elektronik im Gehäuse	55
4.6	Hinweise zur Anbringung	55
5.	Anbindung an das luftdaten.info Netz	56
6.	Lizenzbestimmungen	58

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Funktionsblöcke ICS-43434.....	8
Abbildung 2 Verbindung Teensy 3.6 - ICS-43434.....	9
Abbildung 3 Verbindung Teensy 4.0 - ICS-43434.....	10
Abbildung 4 Ausschnitt Datenblatt P82B715	12
Abbildung 5 Teensy 3.6 Auftrennen VIN von VUSB	13
Abbildung 6 Teensy 4.0 Auftrennen VIN von VUSB	13
Abbildung 7 AIRROHR V1.1 PCB	15
Abbildung 8 AIRROHR V1.1 Schaltplan.....	16
Abbildung 9 AIRROHR V1.2 PCB	17
Abbildung 10 AIRROHR V1.2 Schaltplan.....	18
Abbildung 11 DNMS - T3.6 V1.1 PCB.....	19
Abbildung 12 DNMS - T3.6. V1.1 Schaltplan	20
Abbildung 13 DNMS - T3.6 V1.2	21
Abbildung 14 Schaltplan DNMS - T3.6 V1.2	22
Abbildung 15 DNMS - T3.6+NodeMCU Vorderseite	23
Abbildung 16 DNMS - T34.6+NodeMCU Rückseite.....	23
Abbildung 17 DNMS - T3.6+NodeMCU V1.0 Schaltplan	24
Abbildung 18 DNMS – T4 V1.2 PCB	25
Abbildung 19 DNMS - T4 V1.2 Schaltplan	26
Abbildung 20 DNMS - T4+NodeMCU V1.2 PCB Frontseite	27
Abbildung 21 DNMS - T4+NodeMCU V1.2 Rückseite.....	27
Abbildung 22 DNMS - T4+NodeMCU V1.2 Schaltplan	28
Abbildung 23 Namenskonvention DNMS Software Versionen.....	31
Abbildung 24 Vorder- und Rückseite des Pesky ICS-43434 Boards	33
Abbildung 25 Pesky Board akustischer Einlass unbestückte Seite	34
Abbildung 26 Pesky Board von unbestückter Seite abkleben	34
Abbildung 27 Pesky Board mit Kreppband gegen Staub geschützt	35
Abbildung 28 Abfeilen der Ecken am Pesky Board	35
Abbildung 29 Kabel am Breakout Board anlöten.....	36
Abbildung 30 Beispiel 1/2 Zoll Kunststoffrohr	36
Abbildung 31 Pesky Board wieder abkleben und Rohr aufsetzten.....	37
Abbildung 32 Festdrücken des Klebebandes am Rohr.....	38
Abbildung 33 Einfüllen der Vergussmasse bis ca. 5mm vor dem Rohrende	39
Abbildung 34 fertig ausgegossenes Mikrofonrohr.....	40
Abbildung 35 Einzelteile 25mm Elektro-Installationsrohr	42
Abbildung 36 zusammengesteckte Einzelteile 25mm Elektro-Installationsrohr	42
Abbildung 37 Verbindungsleitung zum Kommunikationsprozessor mit Kabelbinder zur Zugentlastung.....	43
Abbildung 38 DNMS T3.6 V1.2 mit AIRROHR V1.2 verbunden	44
Abbildung 39 USB-Kabel vom Teensy Board mit Klebeband fixiert.....	44
Abbildung 40 Teensy und Mikrofon vorbereitet für Montage	45
Abbildung 41 Beispiel M25 IP68 Kabelverschraubung aus dem Baumarkt	45
Abbildung 42 fertig montiertes DNMS.....	45

Abbildung 43 Zugentlastung für die Kabel am Ende des 90° Bogens	46
Abbildung 44 DNMS – T3.6+NodeMCU V1.0 mit SPS30 und BME280	48
Abbildung 45 DN40/DN50 HT Rohrteile.....	49
Abbildung 46 M20 IP68 Kabelverschraubung eingeklebt in Muffenstopfen.....	49
Abbildung 47 Montage SPS30 u. Temperatursensor	50
Abbildung 48 Montage SPS30 am Ende des HT DN50 Bogens	50
Abbildung 49 montiertes DN40/DM50 Gehäuse	51
Abbildung 50 Mikrofon mit Schutzkappe von unten	53
Abbildung 51 Mikrofon mit Schutzkappe von oben	53
Abbildung 52 Mikrofon mit Schutzkappe und Windschutz	54
Abbildung 53 Konfiguration DNMS im Web-Server Frontend NodeMCU	56
Abbildung 54 Konfiguration Datenübertragung zu einer InfluxDB.....	57

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 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.

Die Werte werden dann über eine I²C-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 I²S Schnittstelle an einen Mikrocontroller zu übertragen.

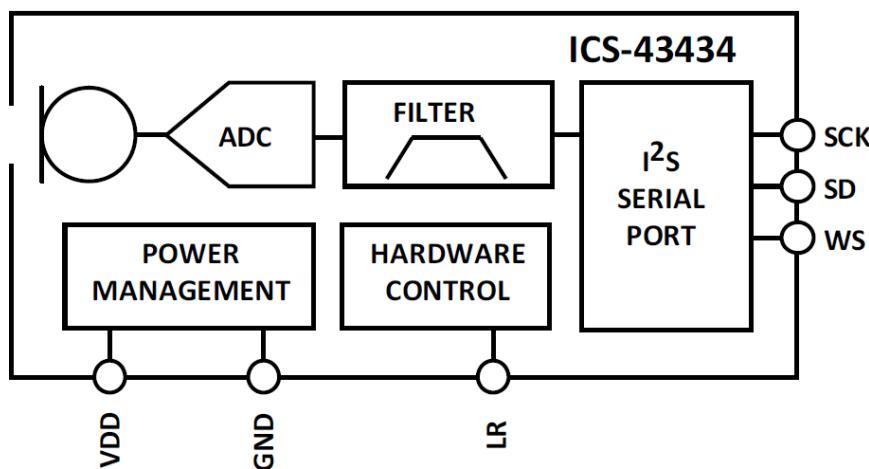


Abbildung 1 Funktionsblöcke ICS-43434

Das ICS-43434 arbeitet als I²S-Slave, das angeschlossene Mikrocontroller Board Teensy 3.6 / Teensy 4.0 arbeitet als I²S-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.

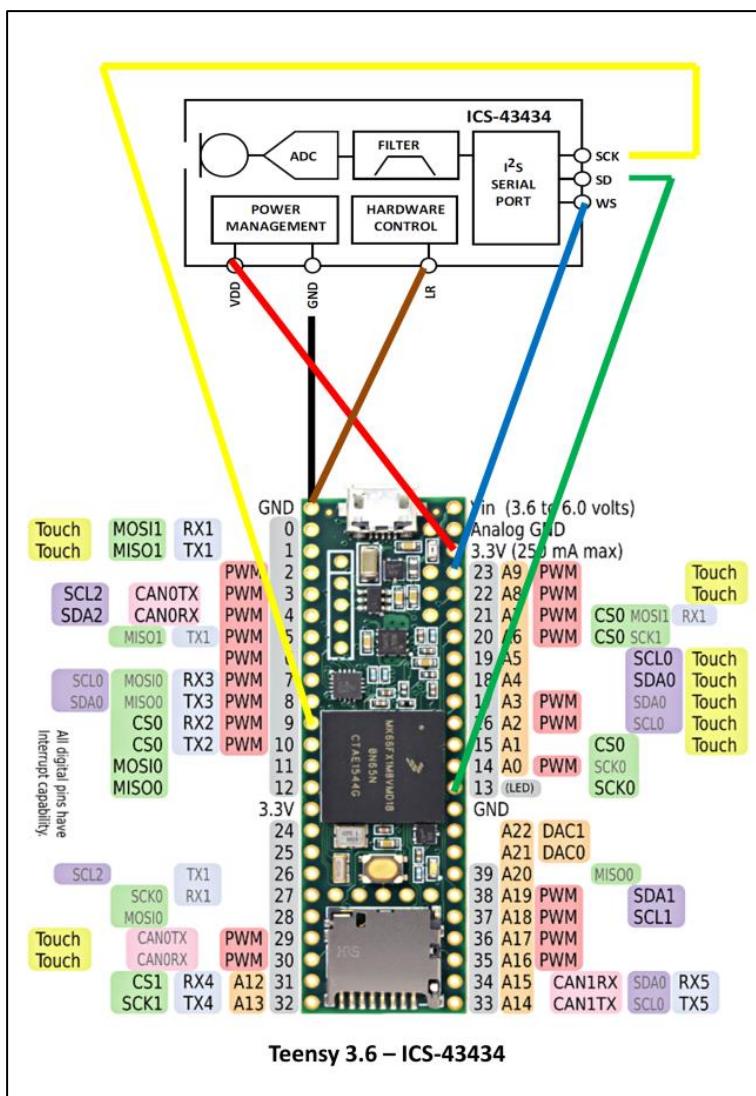


Abbildung 2 Verbindung Teensy 3.6 - ICS-43434

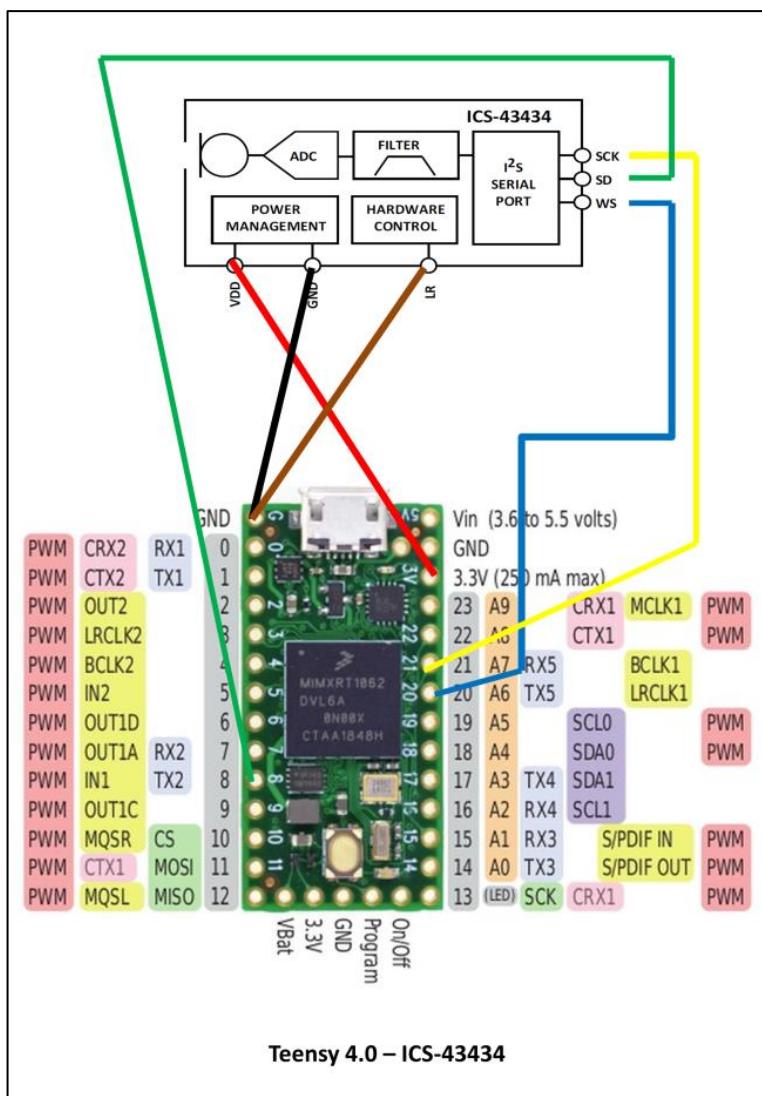


Abbildung 3 Verbindung Teensy 4.0 - ICS-43434

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 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 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 I²C-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 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 eine I²C Bus-Verlängerung eingesetzt werden.

2.1.4 I²C Bus-Verlängerung

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

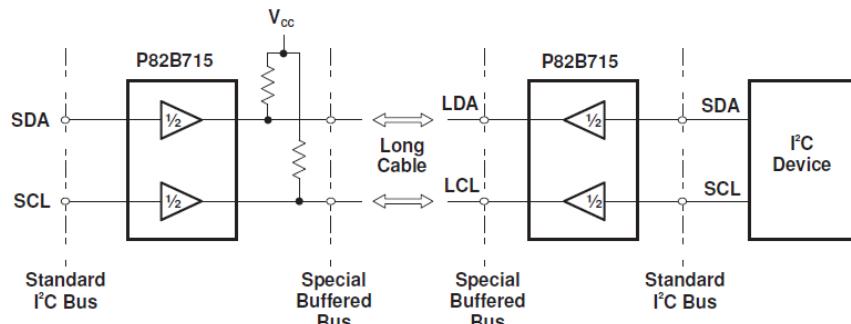


Figure 4. Minimum Subsystem Diagram

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

Copyright © 2007–2016, Texas Instruments Incorporated

[Submit Documentation Feedback](#)

9

Abbildung 4 Ausschnitt Datenblatt P82B715

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 Kommunikationsprozessor erfolgen. Will man das Teensy Board auch ohne Versorgung vom Kommunikationsprozessor 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.

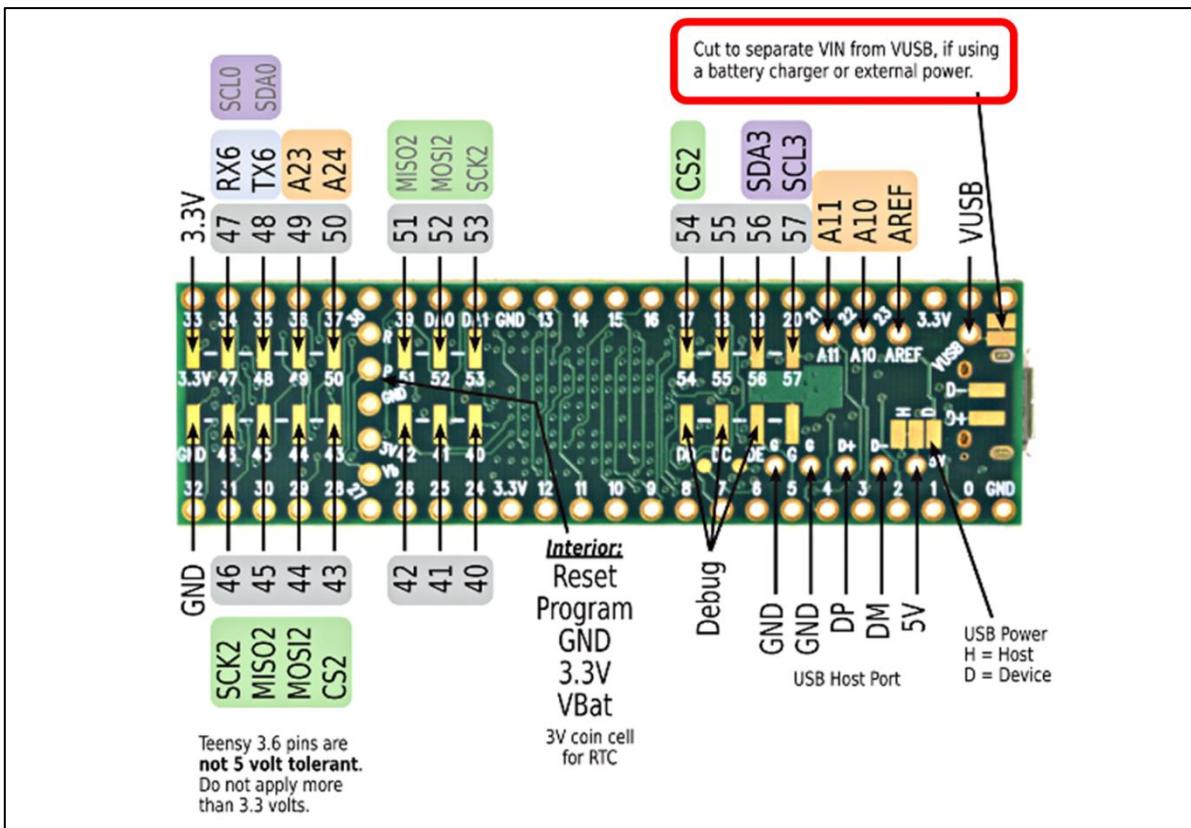


Abbildung 5 Teensy 3.6 Auftrennen VIN von VUSB

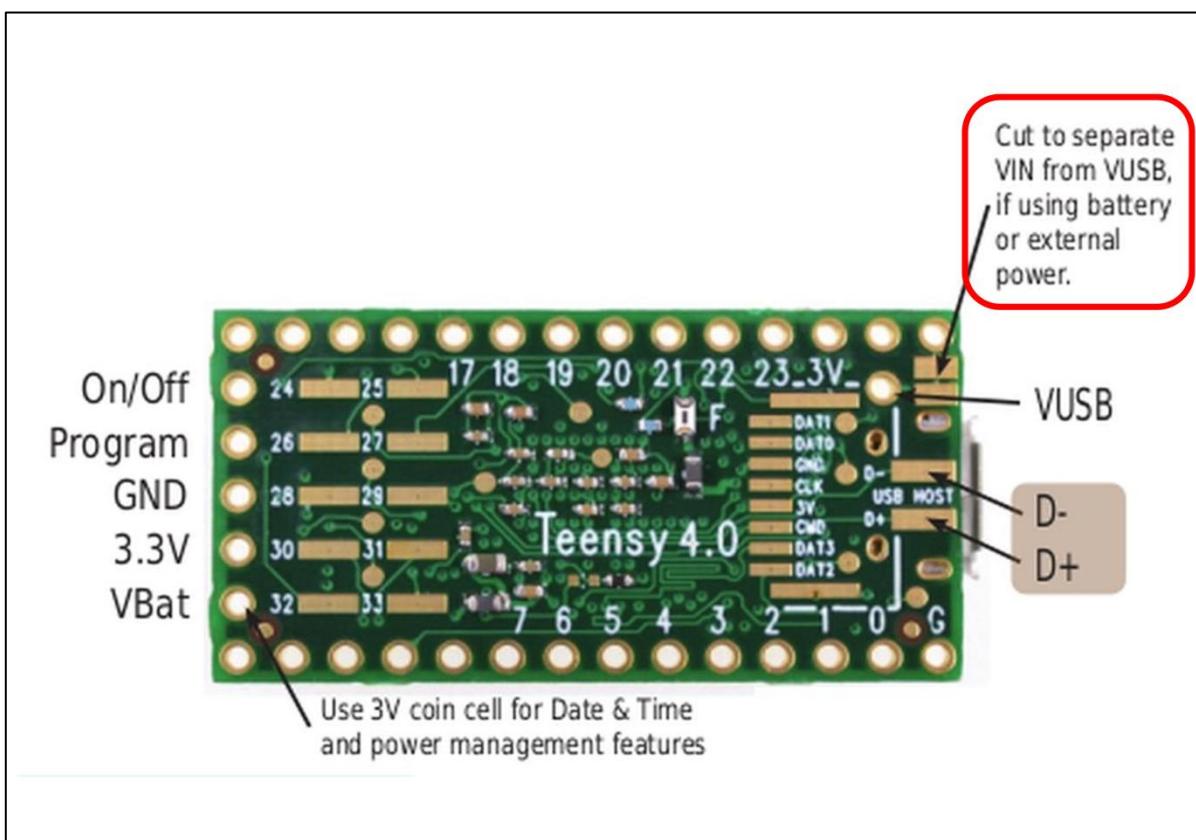


Abbildung 6 Teensy 4.0 Auftrennen VIN von VUSB

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 Kommunikationsprozessor erfolgt.

2.2 PCBs und Schaltpläne

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

- PCB für NodeMCU ESP8266 Kommunikationsprozessor mit I²C Bus-Verlängerung zum Anschluss des DNMS und Möglichkeit andere Sensoren (SDS011, SPS30 u.a. über I²C) anzuschließen (Bezeichnung: **AIRROHR V1.1 und AIRROHR V1.2**).
- PCB für DNMS Teensy 3.6 zum Anschluss des ICS-43434 Mikrofons und Anschluss an einen Kommunikations-Mikrocontroller über I²C (mit oder ohne Bus-Verlängerung) (Bezeichnung: **DNMS - T3.6 V1.1 und DNMS – T3.6 V1.2**).
- PCB für DNMS Teensy 3.6 mit NodeMCU ESP8266 Kommunikationsprozessor als Einheit (Bezeichnung: **DNMS – T3.6+NodeMCU V1.0**).
- 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) (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 zur freien Verfügung: <https://github.com/hbitter/DNMS>

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 Feinstaubsensoiren SDS011 und SPS30 vorhanden. Temperatur-/Luftfeuchtigkeits-Sensoren können über I²C angeschlossen werden. Für den DNMS Anschluss ist sowohl ein normaler I²C Anschluss als auch ein Anschluss über eine I²C Bus-Verlängerung vorhanden. Als Versorgungsspannung für den DNMS Anschluss ist 5V an den Steckerpfosten herausgeführt. Entsprechende Pullup Widerstände für die I²C Schnittstelle können eingesetzt werden, für die I²C Bus-Verlängerung sind separate Pullup

Widerstände vorgesehen. Auch eine externe 5V Stromversorgung kann über ein Anschlussterminal realisiert werden.

Die folgende Abbildung zeigt ein vollbestücktes Board. Es ist natürlich nur das bestückt zu werden, was benutzt werden soll.

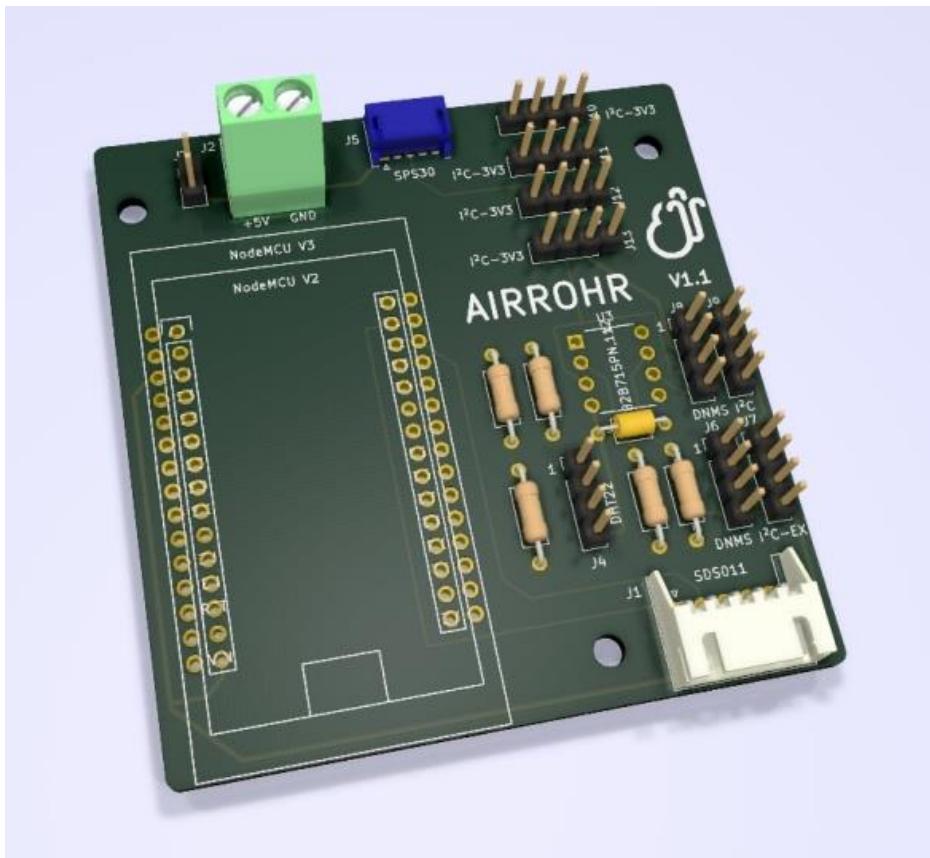
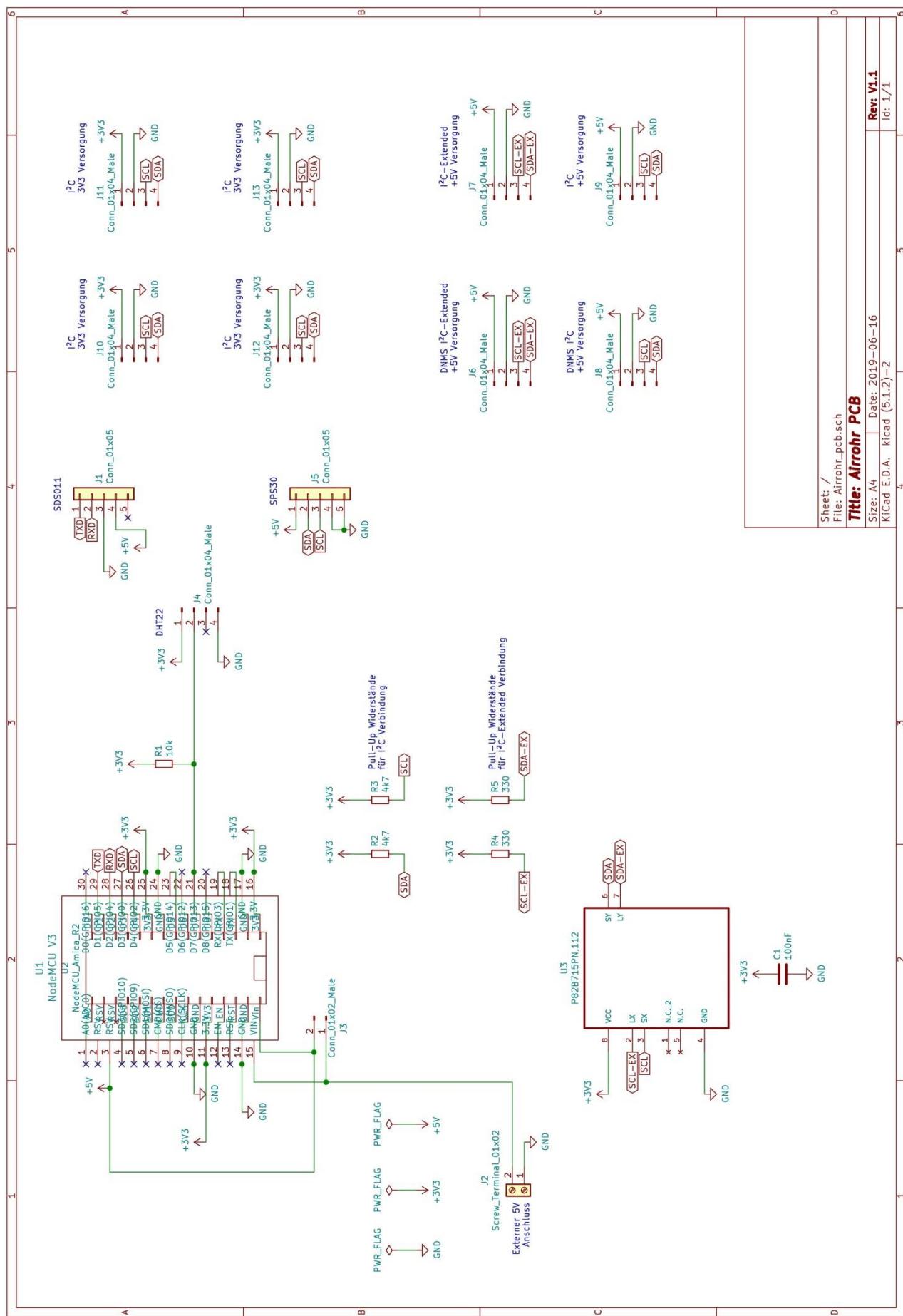


Abbildung 7 AIRROHR V1.1 PCB

Der folgende Schaltplan zeigt die Details.



2.2.2 AIRROHR V1.2

Die Version AIRROHR V1.2 unterscheidet sich von der Version AIRROHR V1.1 nur durch die geänderte Anschlussmöglichkeit für die I²C-Bus-Verlängerung über eine RJ-12 (Modular Jack) 6P/6C Buchse aus. Dadurch kann die Verbindung zum entfernten DNMS Sensor durch ein preiswertes Standard RJ-12 6P/6C Telefonkabel erfolgen.

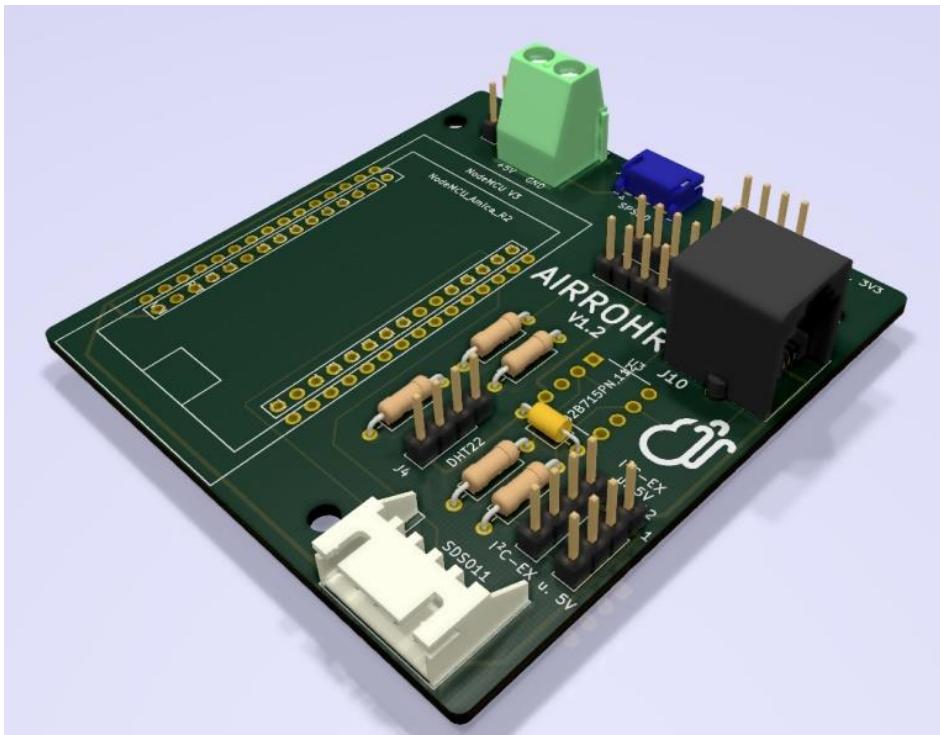


Abbildung 9 AIRROHR V1.2 PCB

Der folgende Schaltplan zeigt die Details.

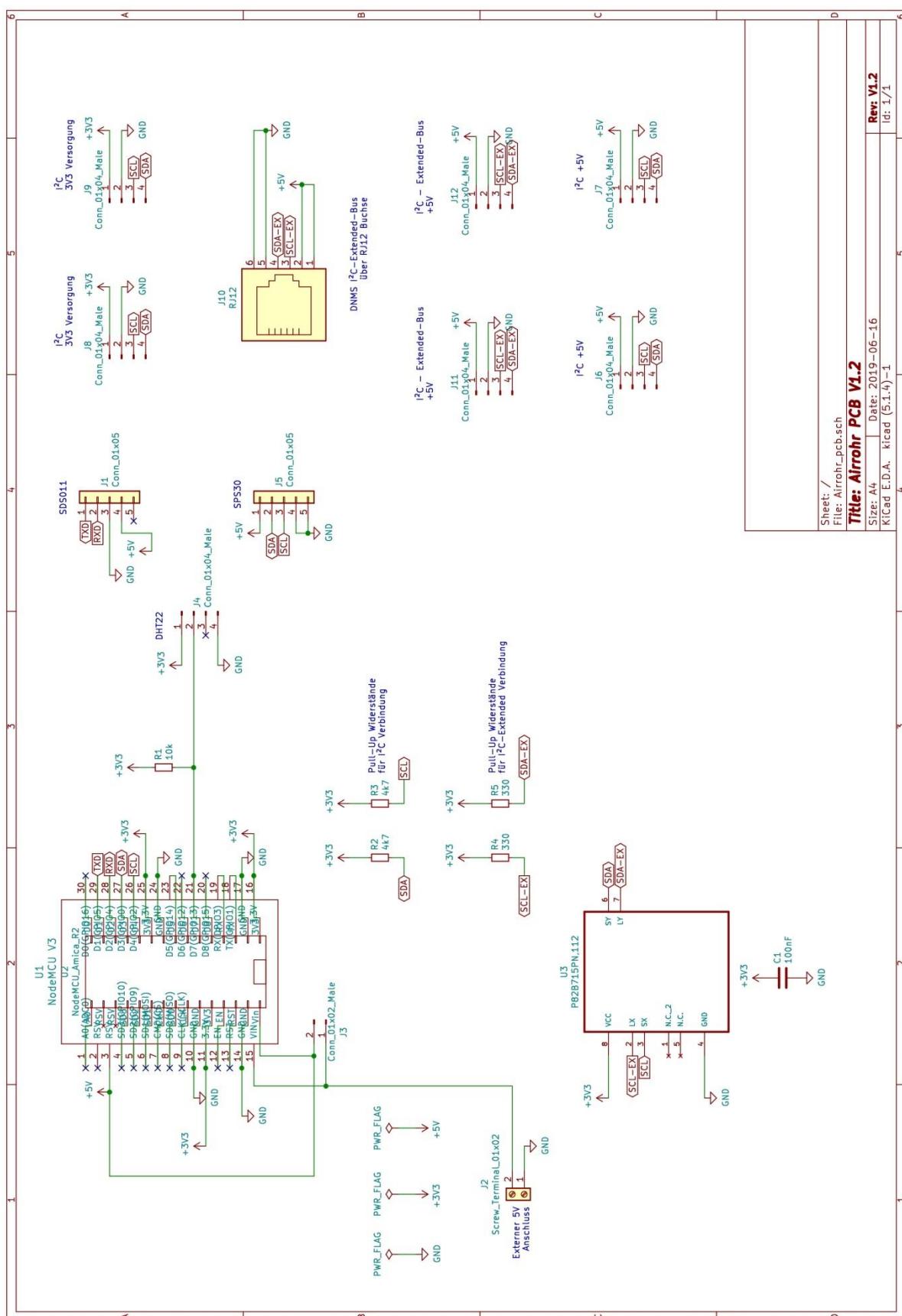


Abbildung 10 AIRROHR V1.2 Schaltplan

2.2.3 DNMS - T3.6 V1.1

Das DNMS - T3.6 V1.1 Board realisiert den Anschluss an die ICS-43434 Mikrofoneinheit über die I²S Schnittstelle. Die Weitergabe der Messwerte erfolgt über eine I²C Schnittstelle. Neben dem normalen I²C Anschluss ist ein Anschluss an eine I²C Bus-Verlängerung möglich, für den Fall, dass das Board mehr als 250mm vom abfragenden Kommunikationsprozessor entfernt platziert werden soll.

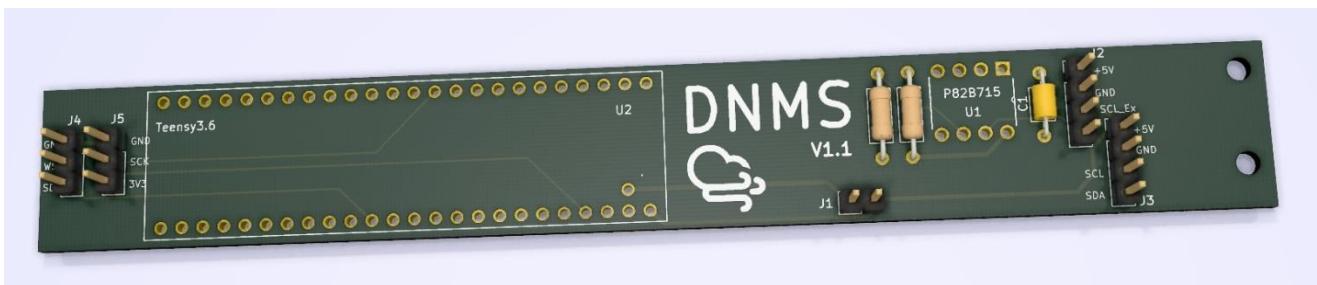


Abbildung 11 DNMS - T3.6 V1.1 PCB

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.

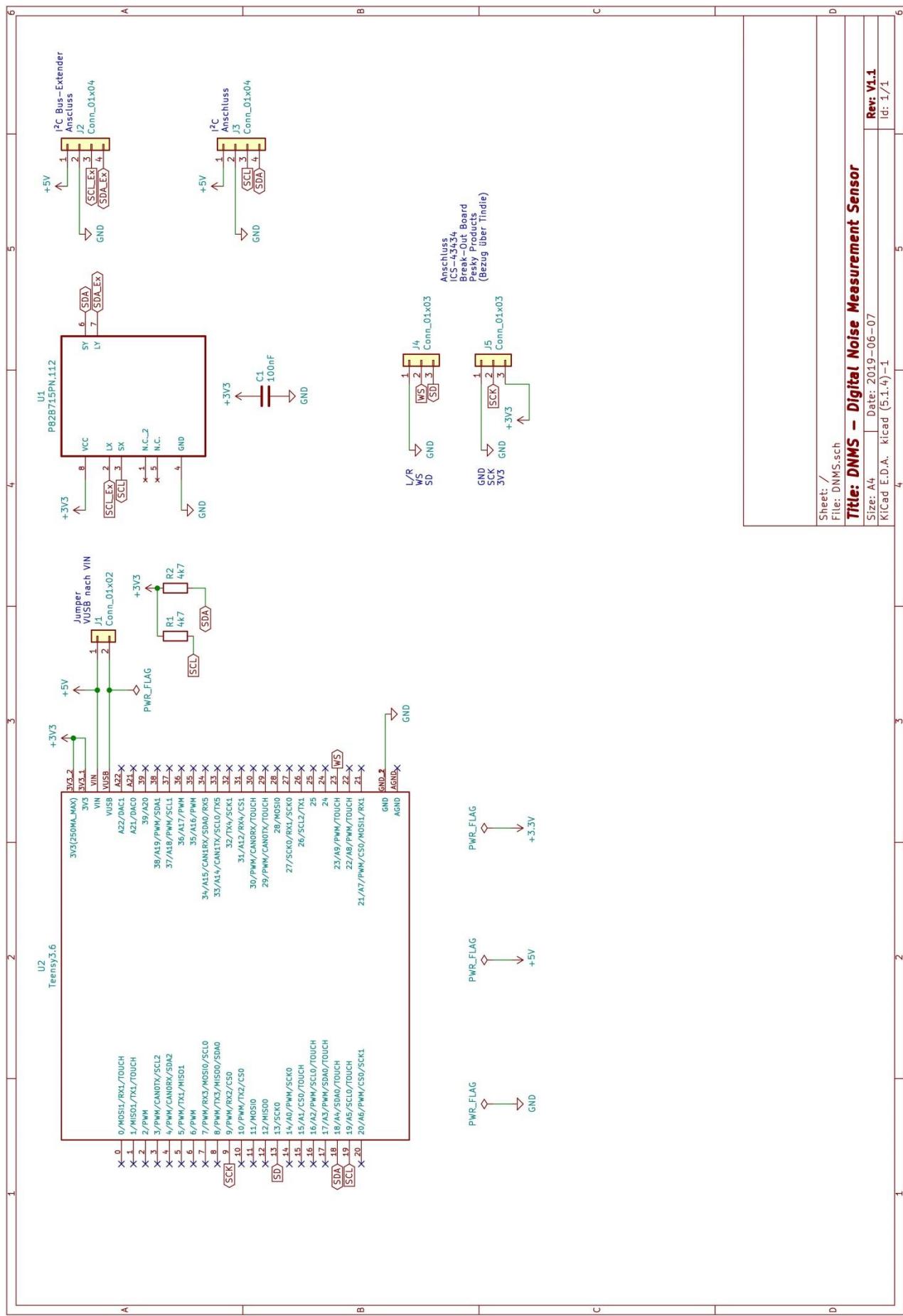


Abbildung 12 DNMS - T3.6. V1.1 Schaltplan

2.2.4 DNMS – T3.6 V1.2

Die Version DNMS – T3.6 V1.2 unterscheidet sich von der Version DNMS – T3.6 V1.1 nur durch die geänderte Anschlussmöglichkeit für die I²C-Bus-Verlängerung über eine RJ-12 (Modular Jack) 6P/6C Buchse aus. Dadurch kann die Verbindung zum entfernten Kommunikationsprozessor (z.B. AIRROHR V1.2 mit NodeMCU) durch ein preiswertes Standard RJ-12 6P/6C Telefonkabel erfolgen. Diese Version passt vom Steckverbinder her zur Version AIRROHR V1.2.

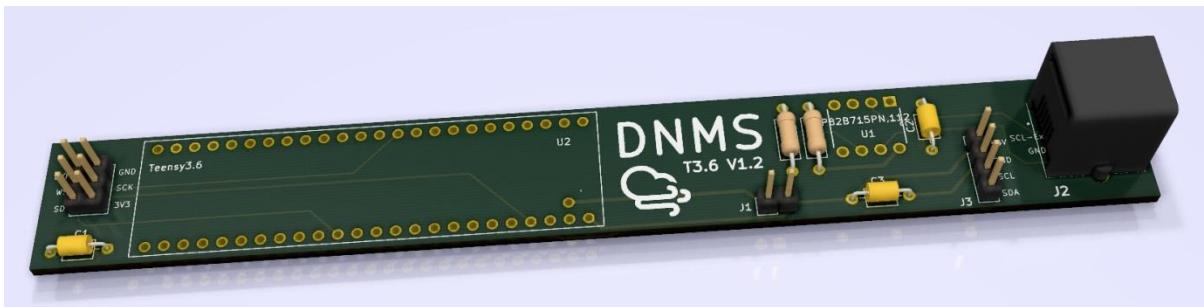


Abbildung 13 DNMS - T3.6 V1.2

Die Details können dem nachfolgenden Schaltplan entnommen werden.

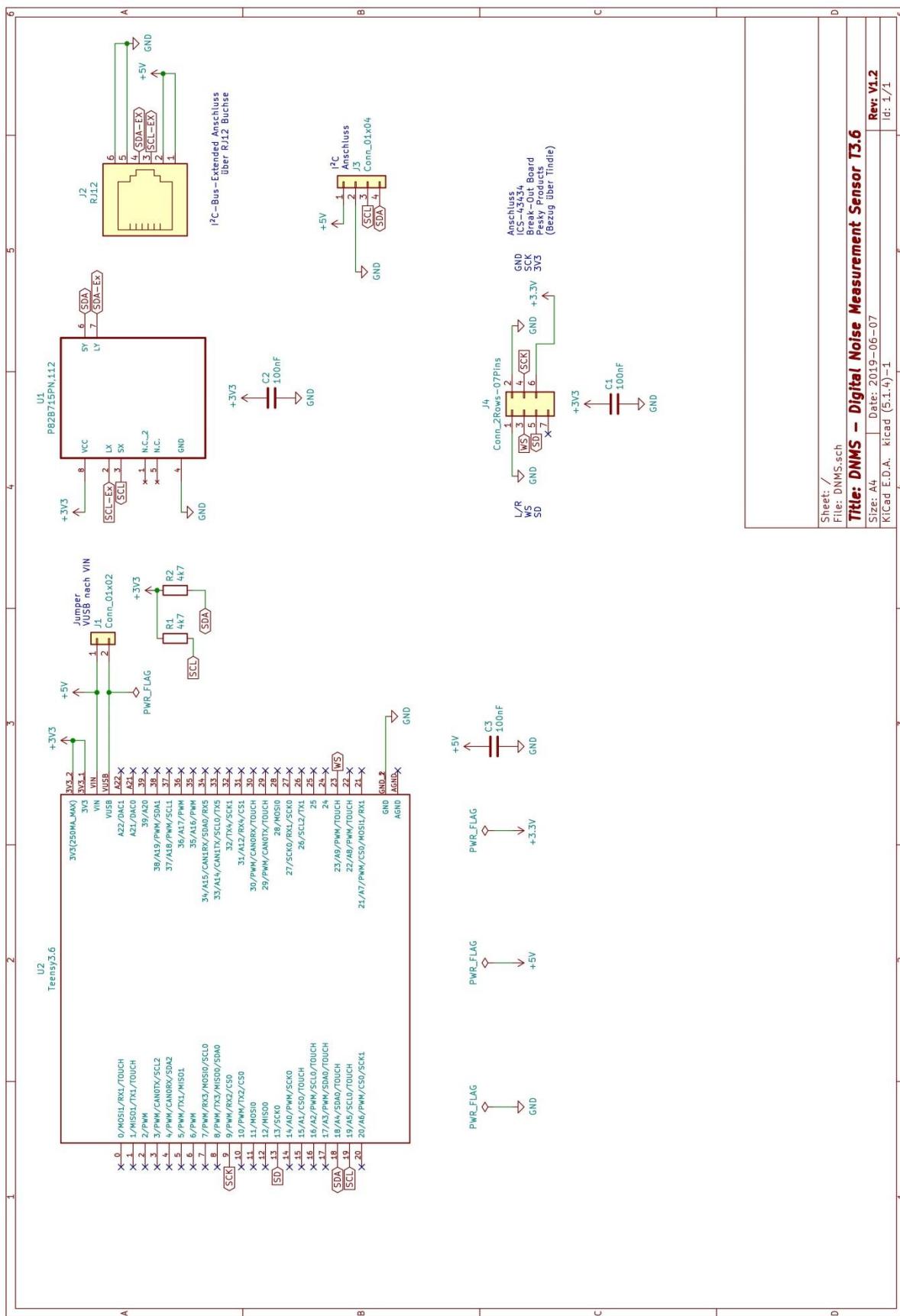


Abbildung 14 Schaltplan DNMS - T3.6 V1.2

2.2.5 DNMS – T3.6+NodeMCU V1.0

Das DNMS – T3.6+NodeMCU V1.0 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 3.6 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.

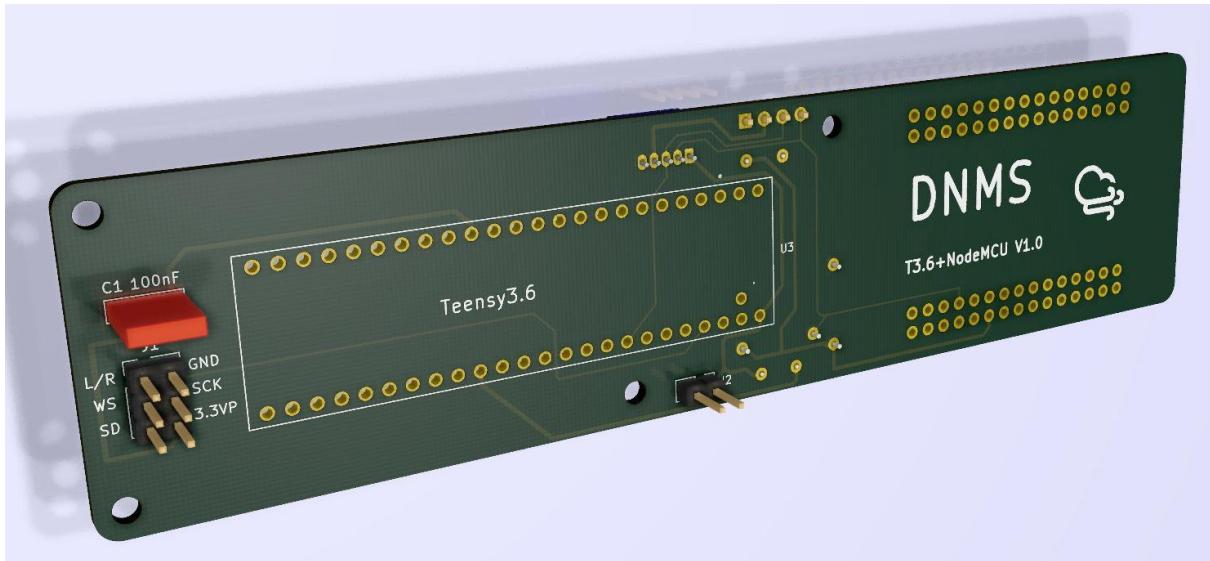


Abbildung 15 DNMS - T3.6+NodeMCU Vorderseite

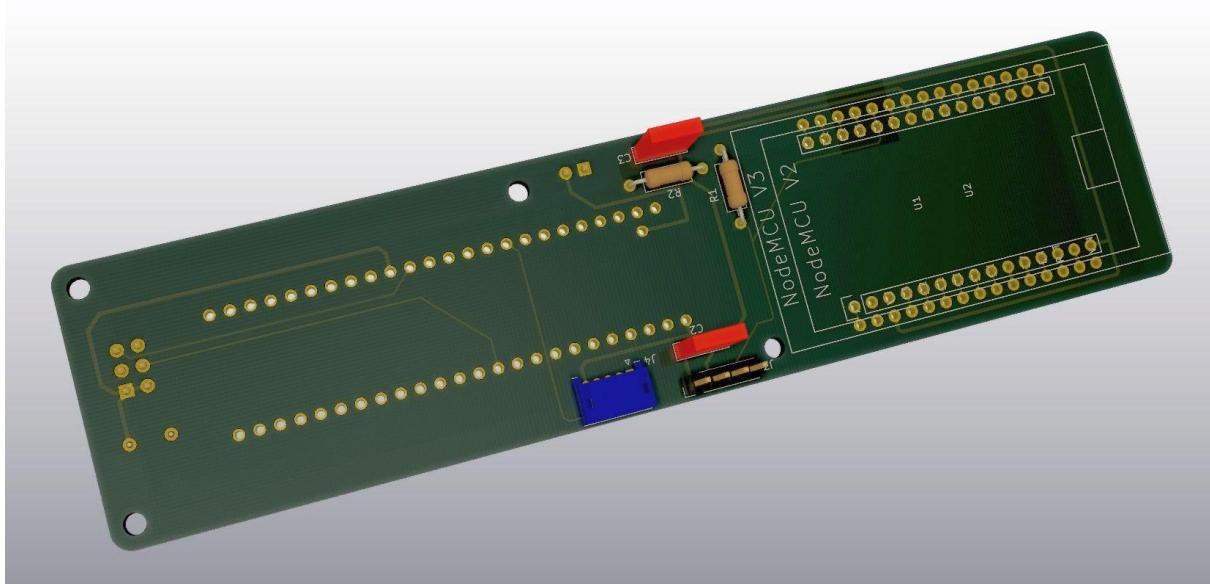


Abbildung 16 DNMS - T3.6+NodeMCU Rückseite

Die Details können dem nachfolgenden Schaltplan entnommen werden.

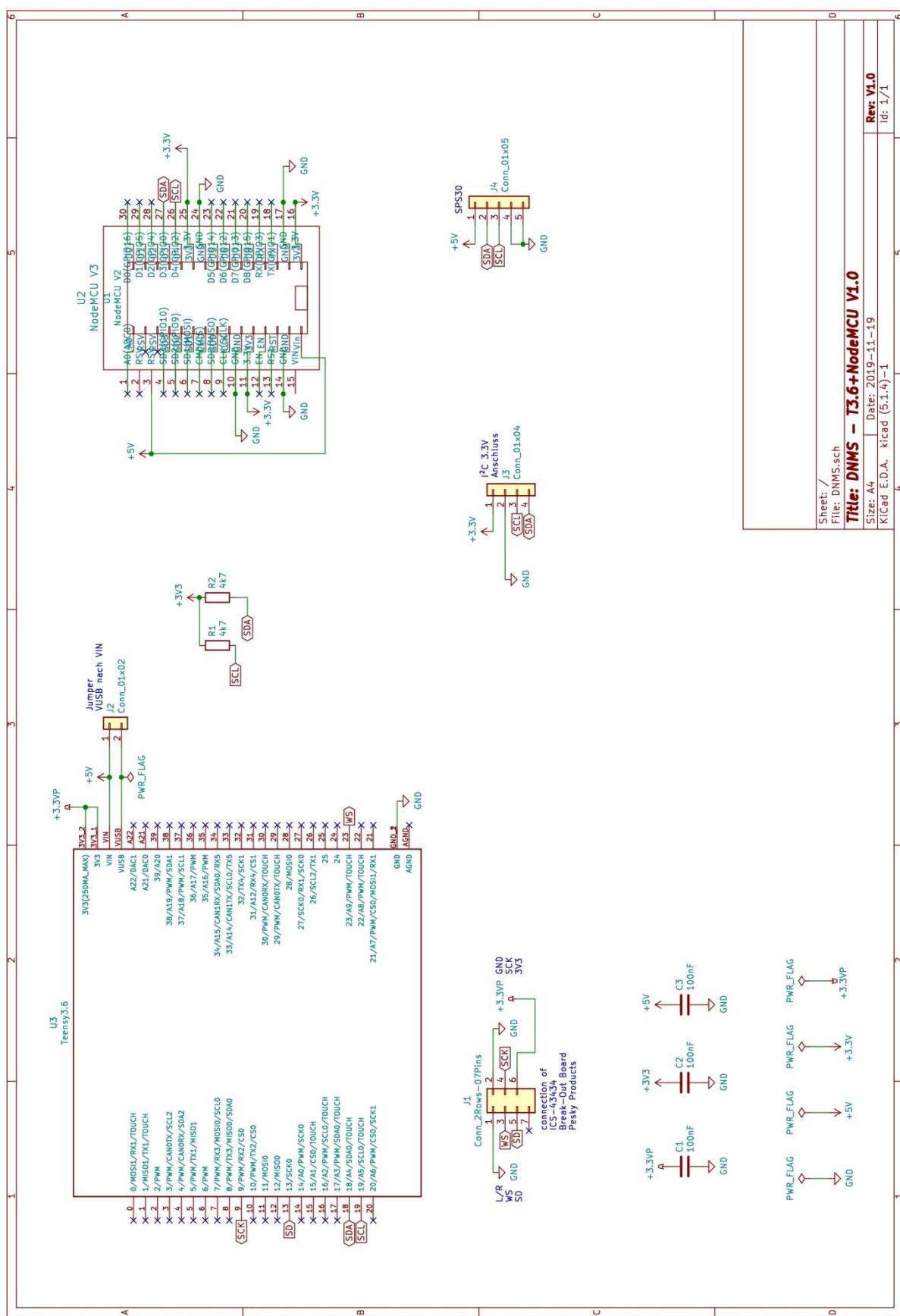


Abbildung 17 DNMS - T3.6+NodeMCU V1.0 Schaltplan

2.2.6 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 befindet z.Zt. noch in der Erprobung.

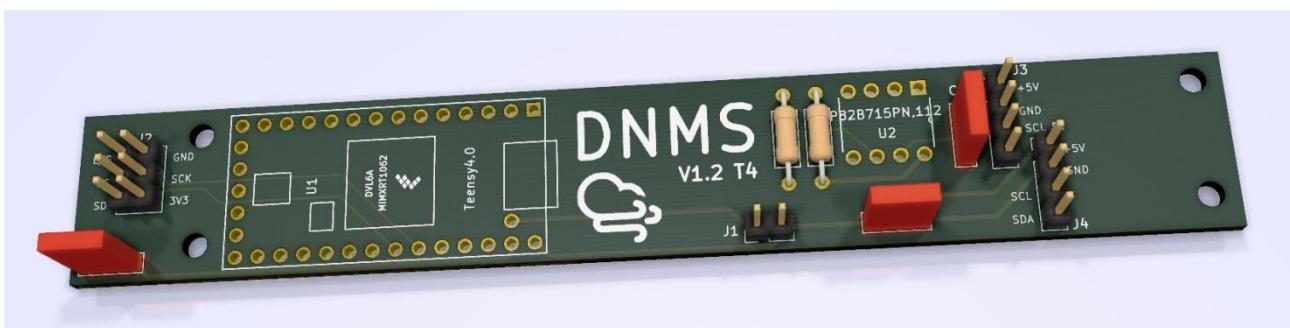
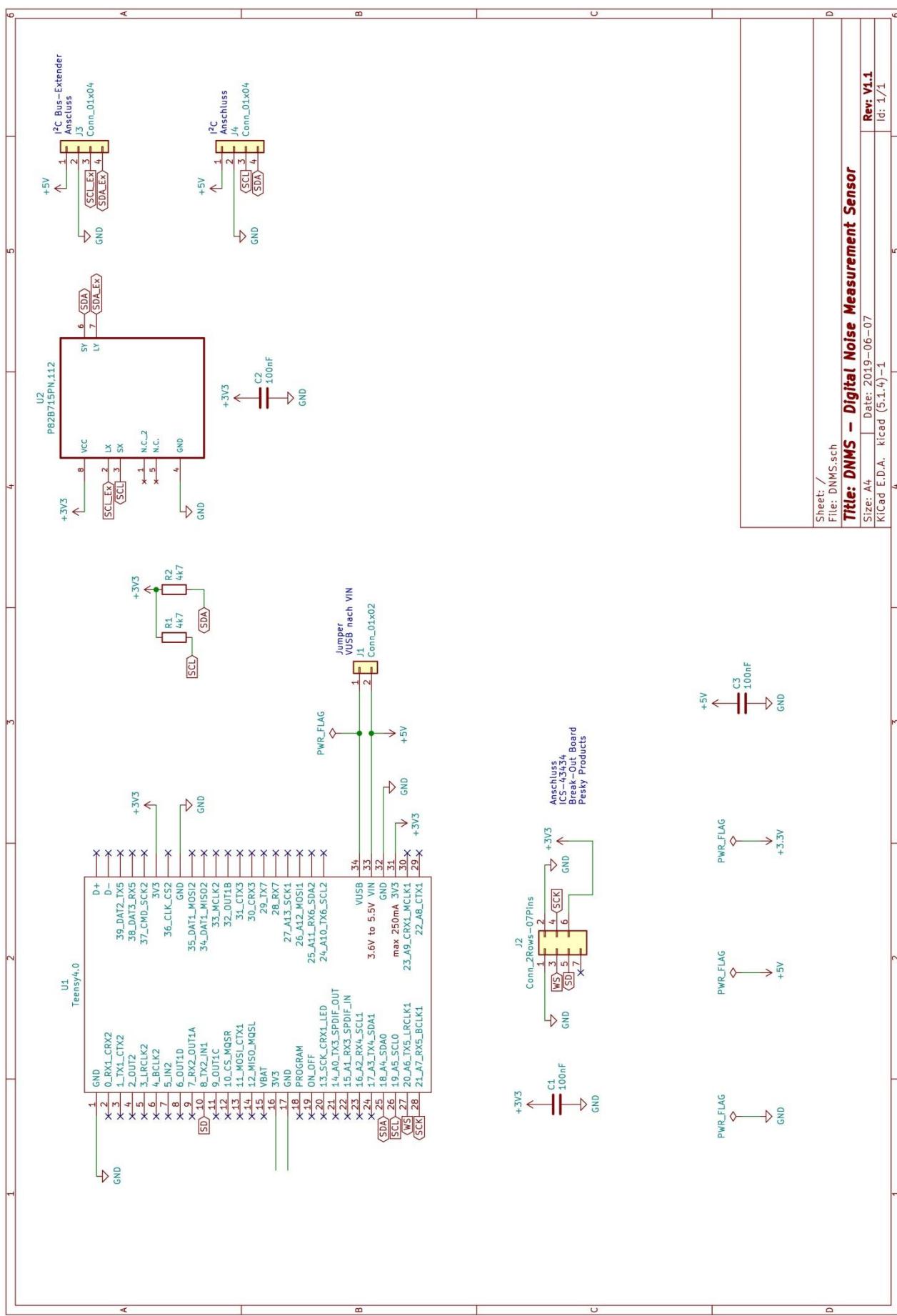


Abbildung 18 DNMS – T4 V1.2 PCB

Die Details können dem nachfolgenden Schaltplan entnommen werden.



2.2.7 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.

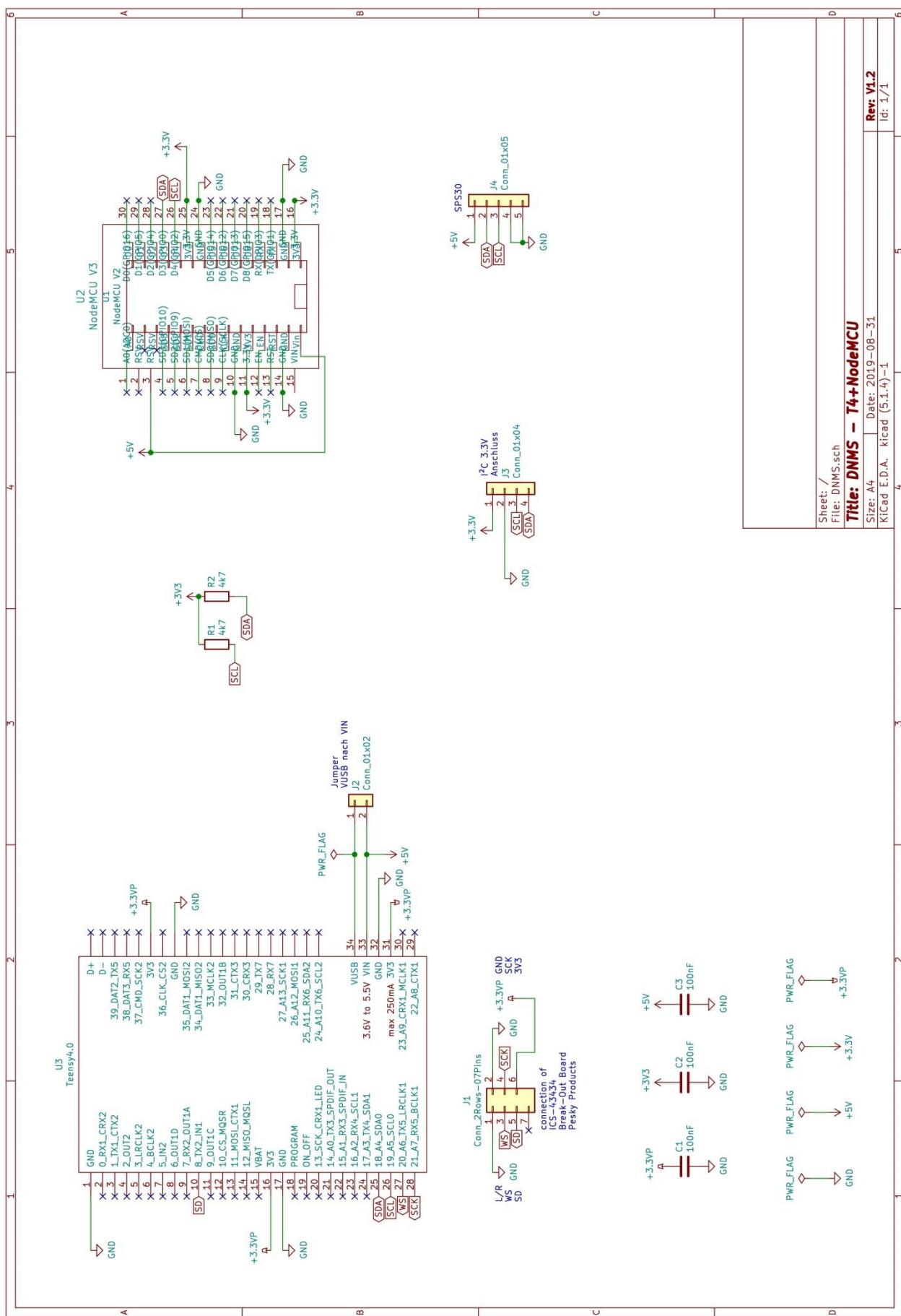


Abbildung 20 DNMS - T4+NodeMCU V1.2 PCB Frontseite



Abbildung 21 DNMS - T4+NodeMCU V1.2 Rückseite

Die Details können dem nachfolgenden Schaltplan entnommen werden.



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 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. 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: 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

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, ist auch hier in der Datei Wire.h der Wert der Buffer Länge auf 64 zu setzen.

Achtung: Für Teensy 4.0 existiert augenblicklich noch keine I²C Slave-Library, die zuverlässig arbeitet. Deshalb ist die Version für Teensy 4.0 noch nicht frei gegeben.

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-Cheksum 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 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.

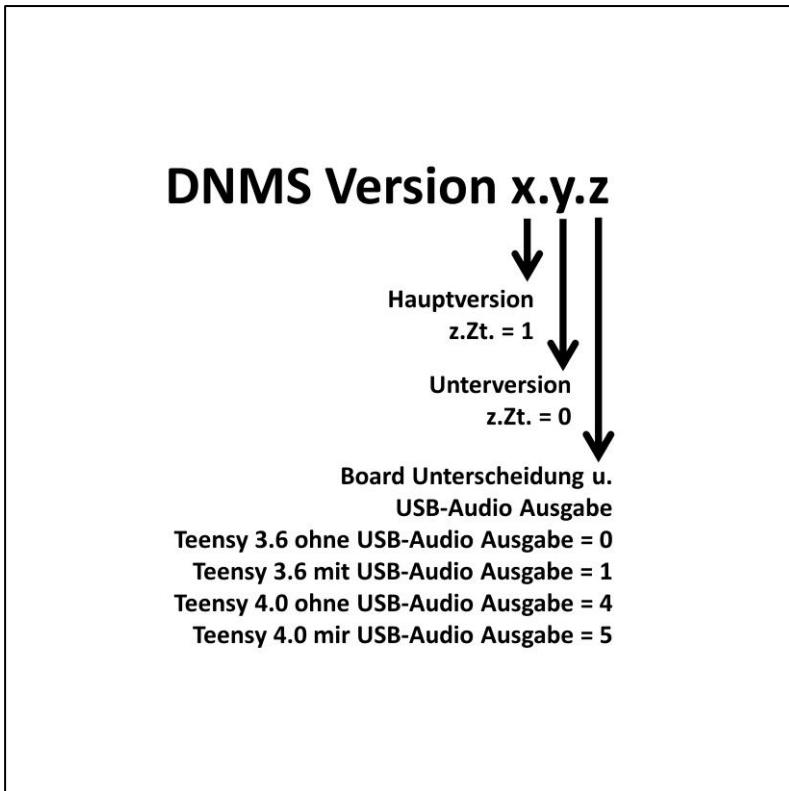


Abbildung 23 Namenskonvention DNMS Software Versionen

3.2.1.3 Calculate LEQ (0x0003)

Das Kommando Calculate LEQ veranlaßt die Berechnung des gesamt L_{Aeq} -Wertes über das bisherige 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 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 4.4.1 ist beschrieben, wie sich die Teensy Boards mit diesen Firmware Versionen flashen lassen.

4. Bauanleitung

Auf Basis der vorhandenen PCBs (AIRROHR V1.1, AIRROHR V1.2, DNMS - T3.6 V1.1, DNMS – T3.6 V1.2, DNMS – 3.6+NodeMCU V1.0, DNMS - T4 V1.2 und DNMS - T4+NodeMCU V1.2) ergeben sich zwei unterschiedliche Aufbau-Varianten:

- **Variante 1:** Teensy 3.6 getrennt vom Kommunikationsprozessor (PCBs: DNMS - T3.6 V1.1 und z.B. AIRROHR V1.1 oder die Kombination DNMS – T3.6 V1.2 mit AIRROHR V1.2) und ebenso Teensy 4.0 getrennt vom Kommunikationsprozessor (PCBs: DNMS – T4 V1.2 und z.B. AIRROHR V1.1).
- **Variante 2:** Teensy 3.6 mit Kommunikationsprozessor kombiniert (PCB: DNMS – T3.6+NodeMCU V1.0) und ebenso Teensy 4.0 mit Kommunikationsprozessor kombiniert (PCB: DNMS - T4+NodeMCU V1.2).

Stücklisten sind bei den jeweiligen Varianten aufgeführt d.h. unterschieden in die Elektronik und die weitere Gehäuseausführung.

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. Das Breakout Board von Pesky Products kann über die Plattform Tindie bezogen werden: <https://www.tindie.com/products/onehorse/ics43434-i2s-digital-microphone/>

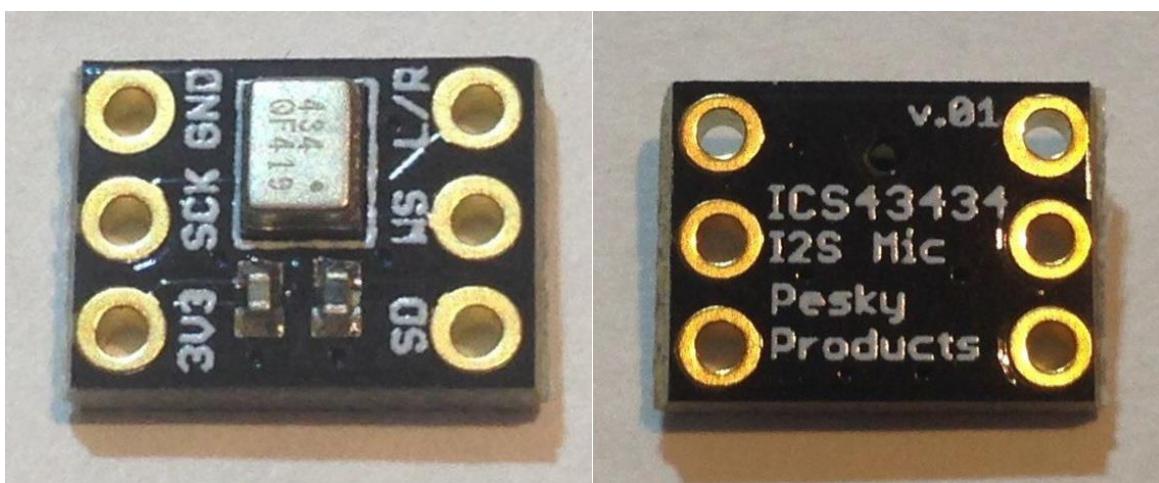


Abbildung 24 Vorder- und Rückseite des Pesky ICS-43434 Boards

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 25 Pesky Board akustischer Einlass unbestückte Seite

Die Diagonalen des Pesky Breakout Boards sind ein wenig größer als der Innendurchmesser des $\frac{1}{2}$ 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 Kreppband (Malerkrepp, das sich rückstandsfrei entfernen lässt) abkleben, damit kein Staub in das Mikrofon gelangt.

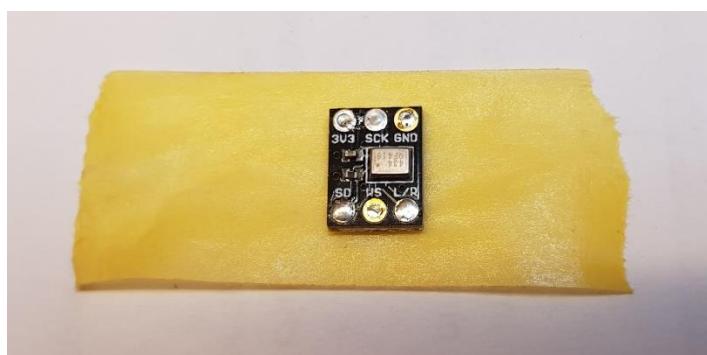


Abbildung 26 Pesky Board von unbestückter Seite abkleben

Das überstehende Kreppband abschneiden.



Abbildung 27 Pesky Board mit Kreppband gegen Staub geschützt

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



Abbildung 28 Abfeilen der Ecken am Pesky Board

Als Nächstes werden die 6 Verbindungskabel am Board angelötet. Hochflexibles Silikonkabel mit einem Querschnitt von 0,15mm² (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.

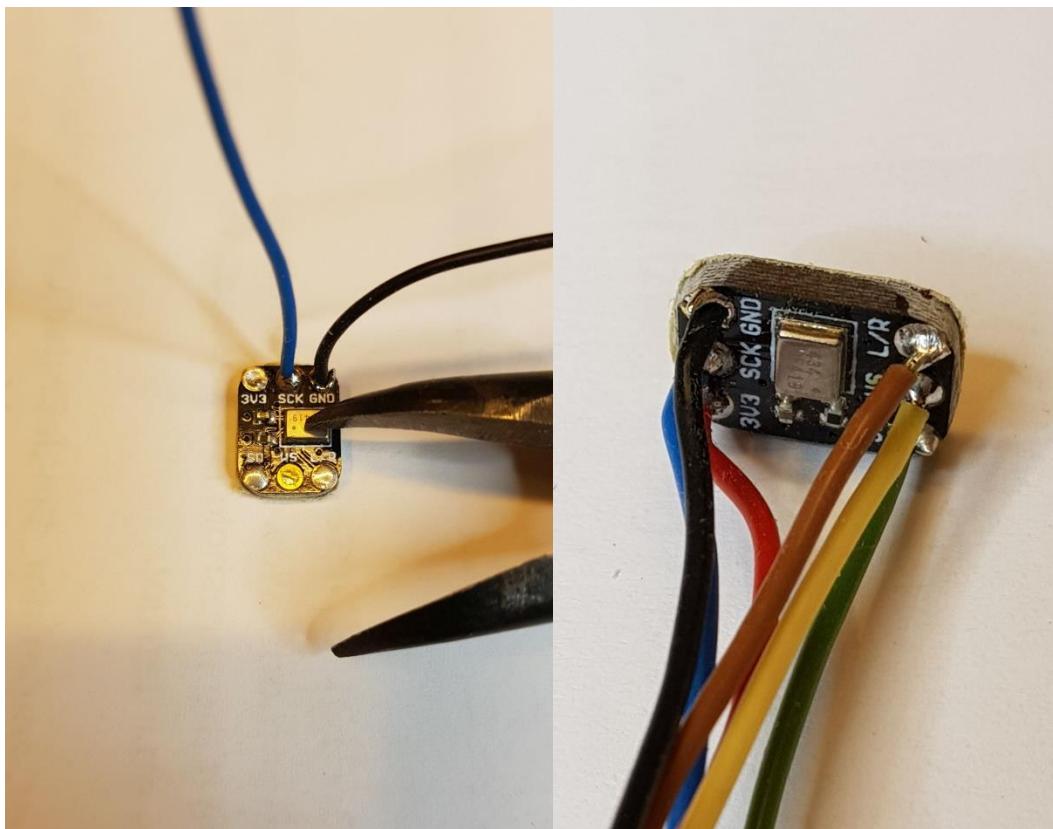


Abbildung 29 Kabel am Breakout Board anlöten

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 30 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.

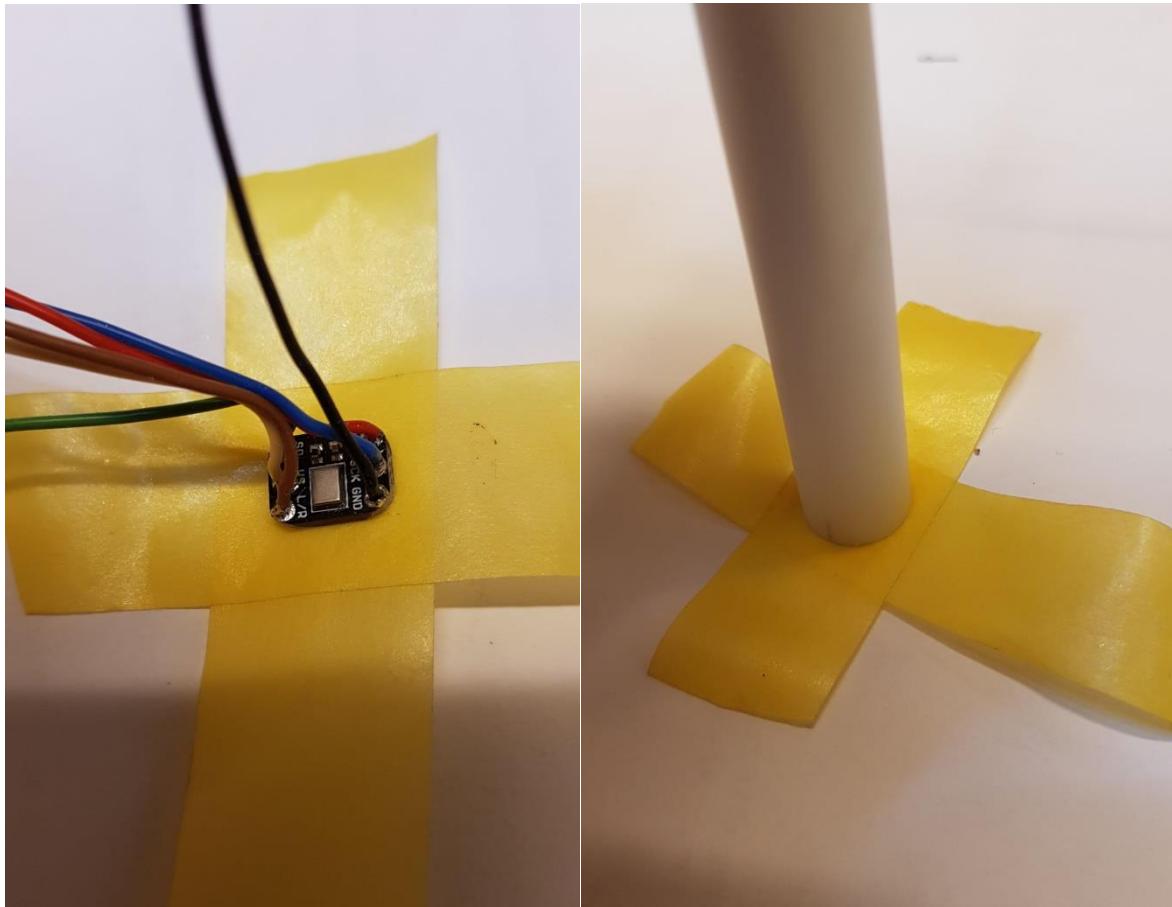


Abbildung 31 Pesky Board wieder abkleben und Rohr aufsetzen

Jetzt wird das Klebeband am Rohr entlang gut festgedrückt.

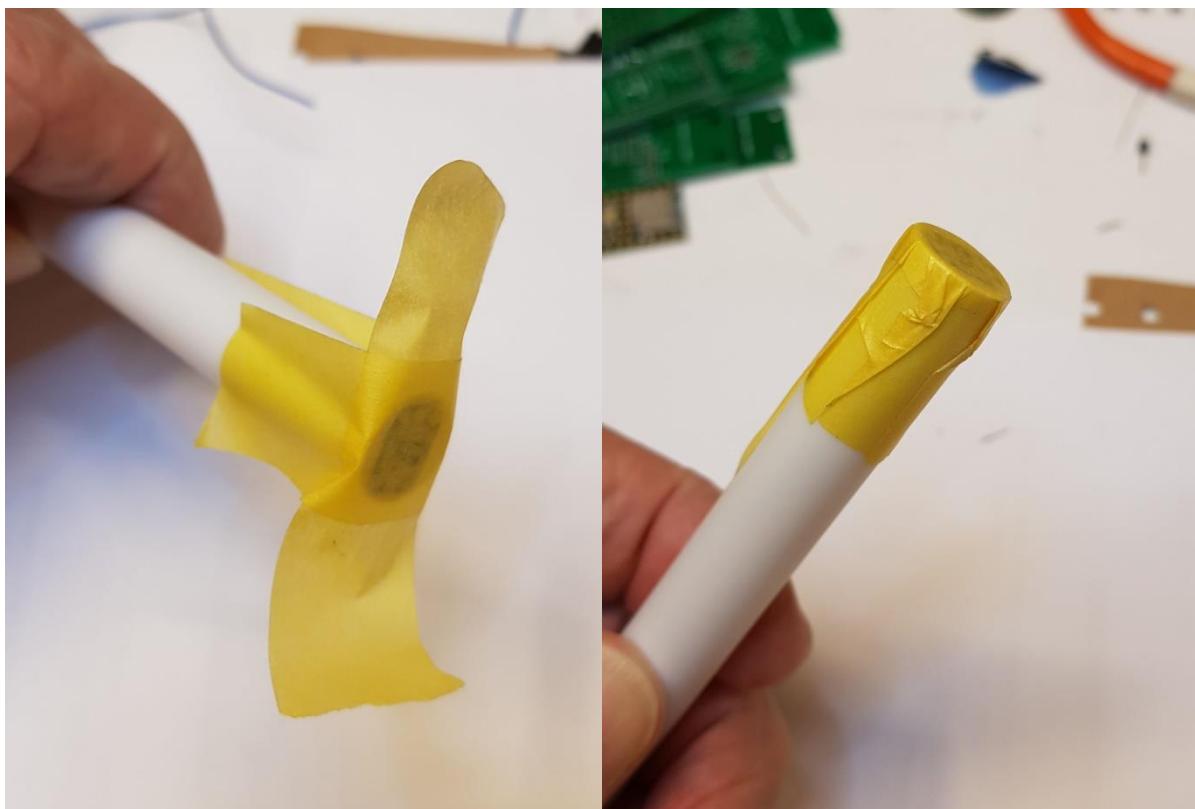


Abbildung 32 Festdrücken des Klebebandes am Rohr

Damit ist das Mikrofon mit dem Rohr für den nächsten Schritt, das Ausgießen des Rohrinneren, 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=EA1aIQobChMlhWFrISr5QIVhuN3Ch26xgHrEAQYASABEgK1s_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.

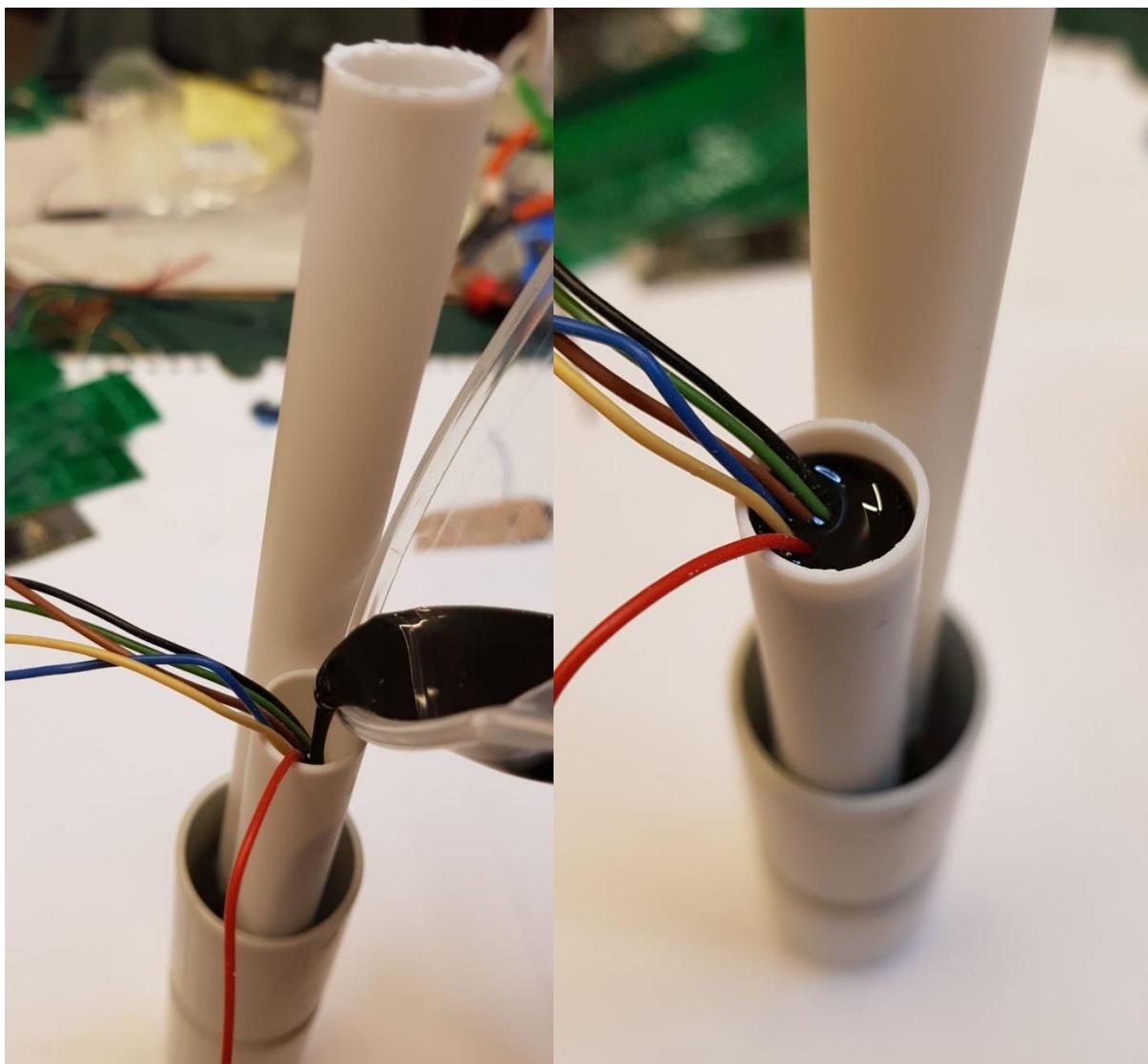


Abbildung 33 Einfüllen der Vergussmasse bis ca. 5mm vor dem Rohrende

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

Die folgende Abbildung zeigt das Ergebnis nach dem Aushärten:



Abbildung 34 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	Vertrieb über Tindie Plattform, https://www.tindie.com/products/onehorse/ics-43434-i2s-digital-microphone/	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/1215900?clid=EA1aQobChMlhbwFr1Sr5QIVhuN3Ch26xgHrEAQYASABEgK1s_D_BwE	ca. 20,35€ 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 35 Einzelteile 25mm Elektro-Installationsrohr



Abbildung 36 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 Verbindungsänge größer als 250mm ist dafür die I²C Bus-Verlängerung zu benutzen. Die Details sind unter 2.2.2 und 2.2.4 zu finden. Als Kabel eignet sich ein handelsübliches 4-poliges Mikrofonkabel. Die Verbindung besteht aus der Stromversorgung mit 5V und GND und den beiden I²C 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.

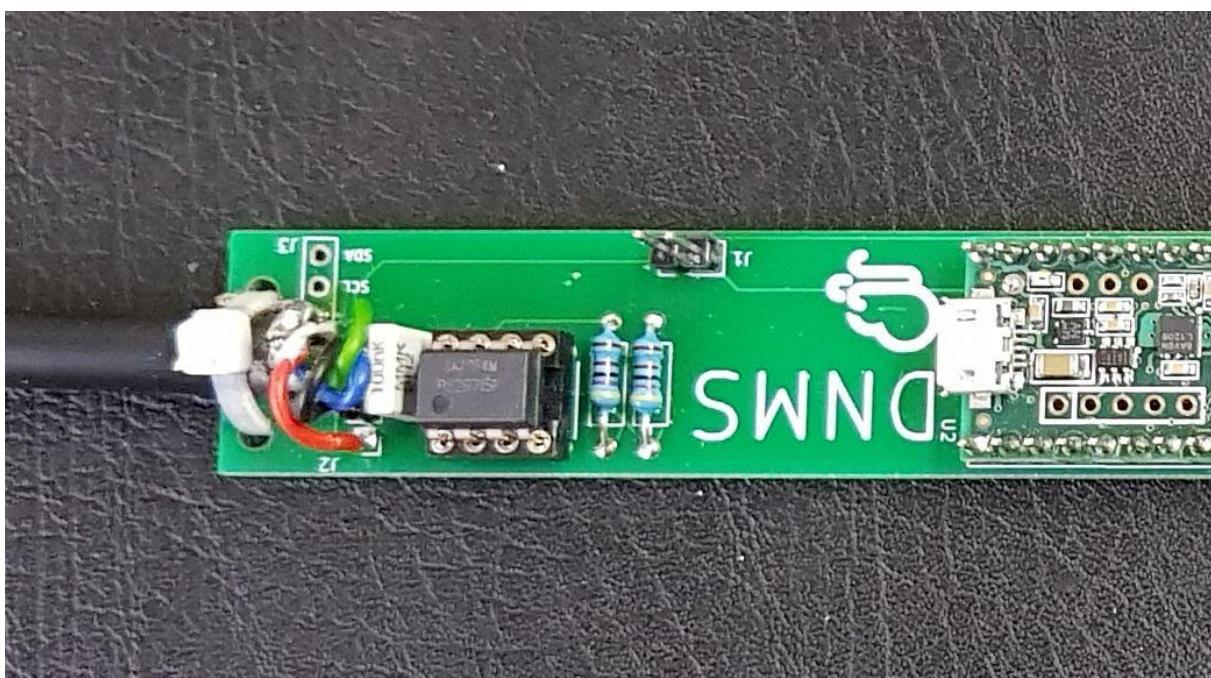


Abbildung 37 Verbindungskabel zum Kommunikationsprozessor mit Kabelbinder zur Zugentlastung

Bei der Version DNMS – T3.6 V1.2 ist die Verbindung zum Kommunikationsprozessor dann mit einer RJ-12 (Modular Jack) 6P/6C Buchse ausgeführt, so dass nur noch ein entsprechendes 6P/6C Kabel aufzustecken ist.

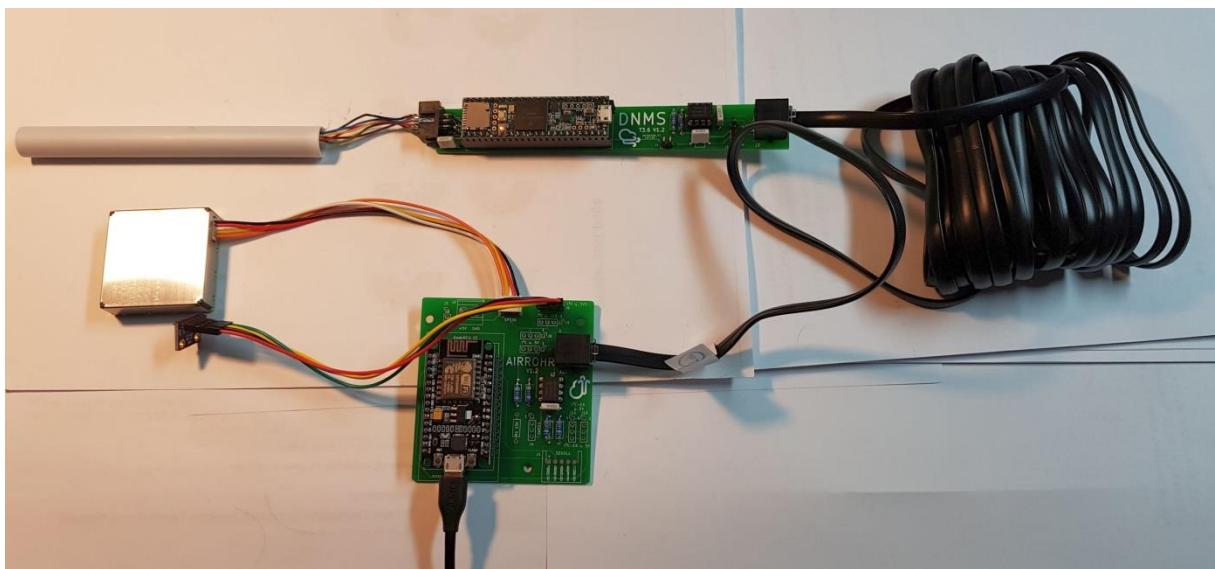


Abbildung 38 DNMS T3.6 V1.2 mit AIRROHR V1.2 verbunden

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

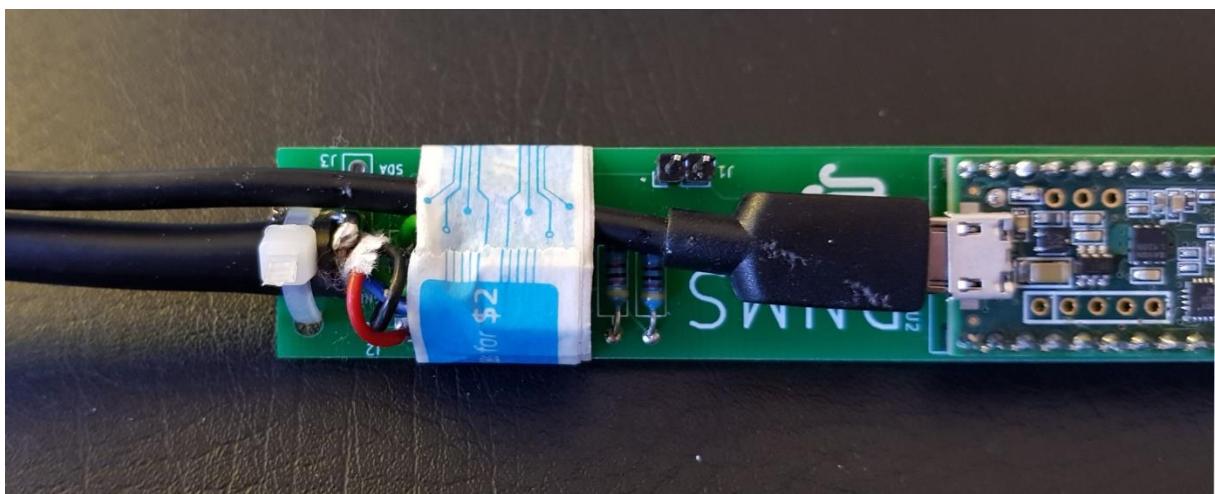


Abbildung 39 USB-Kabel vom Teensy Board mit Klebeband fixiert

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

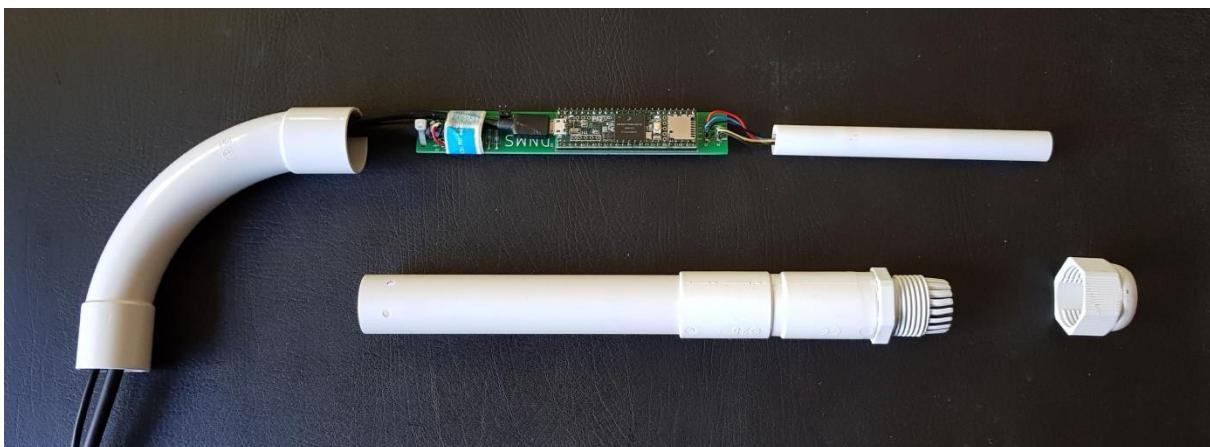


Abbildung 40 Teensy und Mikrofon vorbereitet für Montage

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 41 Beispiel M25 IP68 Kabelverschraubung aus dem Baumarkt

Fertig montiert ergibt sich das folgende Bild.



Abbildung 42 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 43 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 3.6 Board bzw. Teensy 4.0 und das NodeMCU Board auf einem Basis Board (PCB: DNMS – T3.6+NodeMCU V1.0 bzw. DNMS – T4+NodeMCU V1.2) kombiniert. Der Einsatz der NodeMCU V2 als auch der Version V3 ist möglich. Es ergibt sich dadurch eine Breite von 36mm für das DNMS – T3.6+NodeMCU V1.0 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 beeinflussen kann.

Das folgende Bild zeigt eine Konfiguration mit Sensirion SPS30 Feinstaubsensor und einem BME280 Temperatur- Leuftfeuchtesensor.

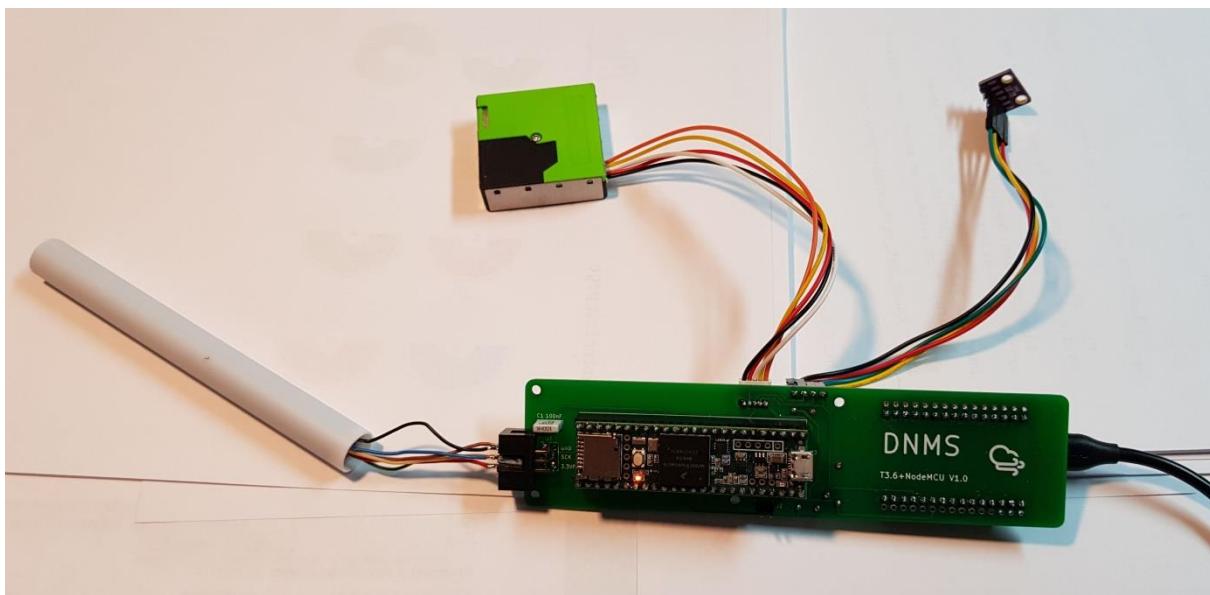


Abbildung 44 DNMS – T3.6+NodeMCU V1.0 mit SPS30 und BME280

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 45 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.



HB-Nr.: 7329200 IU-Nr.: 26632

Abbildung 46 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).

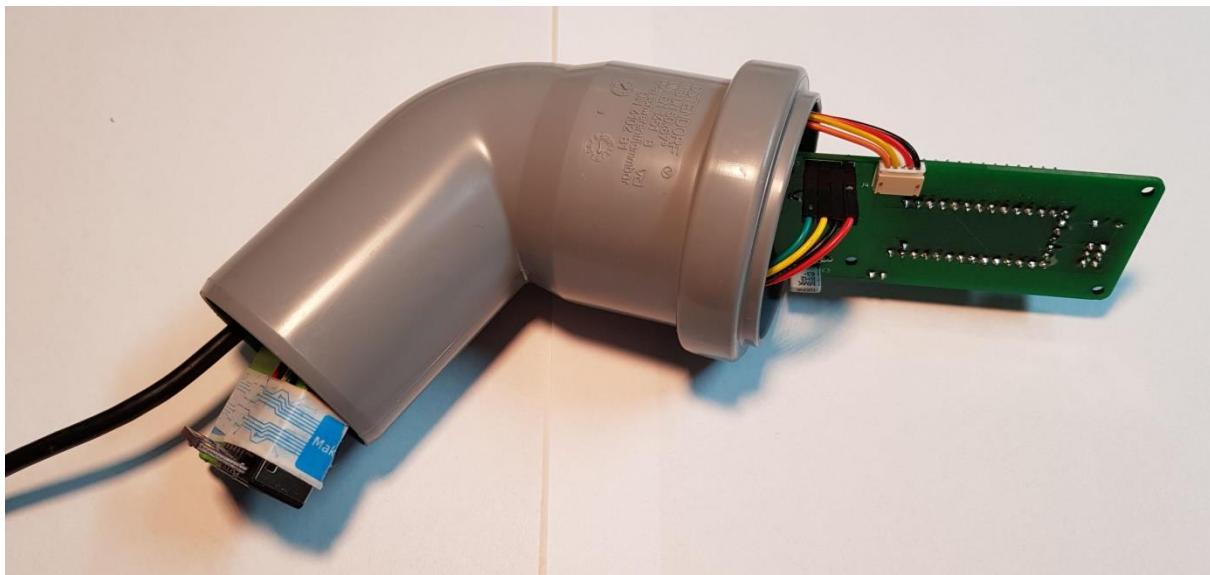


Abbildung 47 Montage SPS30 u. Temperatursensor

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 48 Montage SPS30 am Ende des HT DN50 Bogens

Wichtig ist, wie in der Abbildung 48 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 49 montiertes DN40/DM50 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€

4.2.3 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, InvenSense, 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 das Mikrofon bei waagrechter Anbringung erstaunlich wasserfest ist. Bereits ein selbst gebasteltes kleines auf das Mikrofon gestecktes Stück Kunststoffrohr mit einem schrägen Abschluss hat sich in der Praxis gut bewährt. Dieser Abschluss bildet eine kleine 'Dach'. Ein Überstehen von nur 5 mm auf der Oberseite reicht offensichtlich aus.



Abbildung 50 Mikrofon mit Schutzkappe von unten



Abbildung 51 Mikrofon mit Schutzkappe von oben

Von den vorhandenen 9 Prototypen ist bisher noch kein einziger wegen Wettereinflüssen ausgefallen. 2 Prototypen sind bereits seit Mitte Mai 2019 draußen angebracht und in dieser

Zeit teilweise extremen Wetterbedingungen ausgesetzt, darunter Gewitter, Starkregen, Dauerregen, Hitze bis nahe 40° und Sturm.

Der Wetterschutz bestehend aus einer Schutzkappe hat einen nicht ganz zu vernachlässigenden Einfluss auf die Messergebnisse. Der gemessenen Pegel kann sich bei Vergleichsmessungen mit einem Klasse 1 Referenz-Gerät um bis zu ca. 1 dB(A) erhöhen.

Der Einsatz eines Schaumstoff-Windschutzes ist in jedem Fall notwendig, um deutliche Pegelerhöhungen bei stärkerem Wind zu vermeiden. Es sollte aber darauf geachtet werden, dass der Windschutz zum Mikrofon einen kleinen Abstand hat. Beim Anbringen des Windschutzes über der Schutzkappe sollte darauf geachtet werden, dass Schutzkappe nicht nach hinten rutscht.



Abbildung 52 Mikrofon mit Schutzkappe und Windschutz

Ein Feldversuch mit einem Prototypen deutet darauf hin, dass die Schutzkappe evtl. auch entbehrlich ist. Er hat nur mit Schaumstoff-Windschutz mehrere Regenereignisse überstanden, darunter einen Starkregen bei einem Gewitter.

Leider war es bisher nicht möglich, Vergleichsmessungen mit dem Klasse 1 Referenz-Gerät bei schlechtem Wetter durchzuführen, da für dieses Gerät kein Wetterschutz zur Verfügung stand.

4.3 Zusammenbau der Elektronik

4.4 Aufspielen der Firmware (Flashen)

4.4.1 Flashen Teensy 3.6 / 4.0

Für die Teensy Boards existiert ein standalone Flash-Programm - der Teensy Loader - sowohl mit grafischer Oberfläche als auch als Version für die Kommandozeile jeweils für Windows, Linux und Mac. Der Download des Teensy Loader ist unter:

<https://www.pjrc.com/teensy/loader.html> möglich. Weiterhin ist dort im Detail der Flash Vorgang unter den verschiedenen Betriebssystemen beschrieben.

4.4.2 Flashen NodeMCU

Zum Flashen der NodeMCU mit der Firmware für die Einbindung in das luftdaten.info Netz gibt es eine Anleitung, einen standalone Flasher und natürlich die aktuelle Firmware:

<https://luftdaten.info/feinstaubsensor-bauen/#firmware-einspielen>

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 Kommunikationsprozessor 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 I²C. 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.

The screenshot shows the configuration interface for a WLAN sensor. It includes fields for Name (Feinstaubsensor-2518886) and Password (Passwort), and sections for APIs (API Luftdaten.info and API Madavi.de), Sensors (various sensor options like SDS011, Plantower PMS, Honeywell PM sensor, etc.), and a correction factor for sound level (Korrekturwert bezogen auf 94 dB(A) set to 0.0). A GPS option is also present.

Sensor WLAN	
Sensor WLAN Name im Konfigurationsmodus	
Name	Feinstaubsensor-2518886
Passwort	Passwort
APIs	
<input type="checkbox"/> API Luftdaten.info	(<input type="checkbox"/> HTTPS)
<input type="checkbox"/> API Madavi.de	(<input type="checkbox"/> HTTPS)
Sensoren	
<input type="checkbox"/> SDS011 (Feinstaub)	
<input type="checkbox"/> Plantower PMS(1,3,5,6,7)003 (Feinstaub)	
<input type="checkbox"/> Honeywell PM sensor	
<input type="checkbox"/> PPD42NS	
<input type="checkbox"/> DHT22 (Temperatur, rel. Luftfeuchte)	
<input type="checkbox"/> HTU21D (Temperatur, rel. Luftfeuchte)	
<input type="checkbox"/> BMP180 (Temperatur, Luftdruck)	
<input type="checkbox"/> BMP280 (Temperatur, Luftdruck)	
<input type="checkbox"/> BME280 (Temperatur, rel. Luftfeuchte, Luftdruck)	
<input type="checkbox"/> DS18B20 (Temperatur)	
<input checked="" type="checkbox"/> DNMS (Leq, LAeq)	
Korrekturwert bezogen auf 94 dB(A)	0.0
<input type="checkbox"/> GPS (NEO 6M)	

Abbildung 53 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 54 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.