



IoT Erfassung von und Darstellung Sensordaten

CAS Big Data

Semesterarbeit

Studienrichtung:	CAS Big Data
Autor:	Marc Habegger
Dozent:	
Experte:	Max Kleiner
Datum:	30. September 2019

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	2
1.1 Übersicht	2
1.2 Hardware	2
2 Sensor Plattform	3
2.1 Mikrokontroller	3
2.2 Sensoren	3
2.3 Aufbau	4
2.4 Funkverbindung mit dem MQTT Gateway	4
2.4.1 Absicherung der Funkverbindung	5
2.5 Software	5
2.5.1 Verwendete Bibliotheken	5
2.5.2 Konfiguration eines Sensors	6
2.5.3 Datenübertragung	7
3 IoT Gateway	8
3.1 Übersicht	8
3.2 Hardware	8
3.2.1 Aufbau	8
3.2.2 Zugriffsschutz	9
3.3 Software	9
3.3.1 Konfiguration	9
4 Speicherung und Visualisierung	10
4.1 Übersicht	10
4.2 Hardware	11
4.3 MQTT Broker	11
4.3.1 Installation	11
4.4 Datenspeicherung	11
4.4.1 Installation	11
4.4.2 Datenbank einrichten	12
4.5 Visualisierung	12
4.5.1 Installation	12
5 Verwendete Bauteile	13
5.1 ESP32 Mikrokontroller	13
5.2 Sensoren	14
5.2.1 Temperatur und Luftfeuchtigkeit	14
5.2.1.1 DHT22	14
5.2.1.2 DHT11	14
5.2.2 Bodenfeuchtigkeit	14
5.2.3 Funk	15

Management Summary

Das Internet der Dinge (Internet of Things) zeichnet sich neben einer allgegenwärtigen Verfügbarkeit von Daten auch durch eine grosse Anzahl der Datenquellen aus. Mit dieser Arbeit soll das Zusammenspiel der verschiedenen Komponenten eines Sensornetzwerkes mit einem Speichersystem und einer grafischen Analyse aufgezeigt werden.

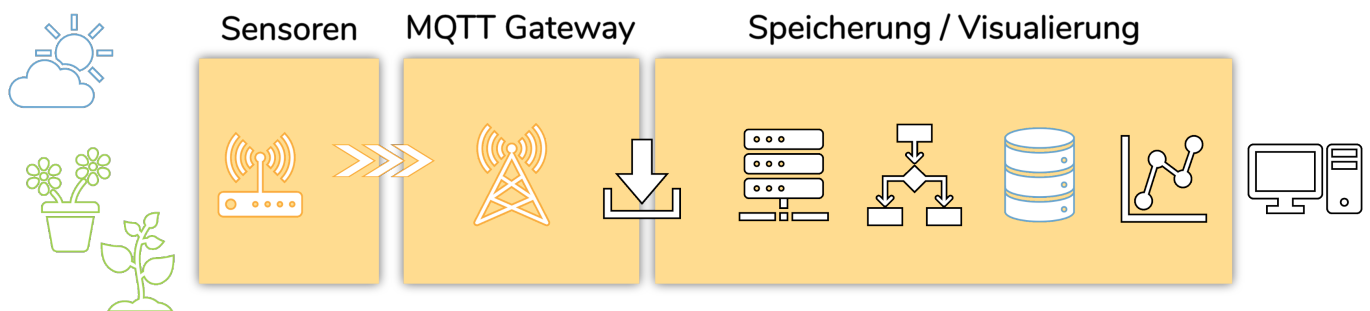


Abbildung 0.1: Systemaufbau Funknetzwerk

Das realisierte Netzwerk besteht aus mehreren Sensoren welche Messdaten über Funk an ein MQTT-Gateway senden welches wieder über das Netzwerk mit der Datenbank verbunden ist. Für die Speicherung der Daten wird eine Zeitreihendatenbank verwendet welche speziell für die Behandlung von Messwerten optimiert ist.

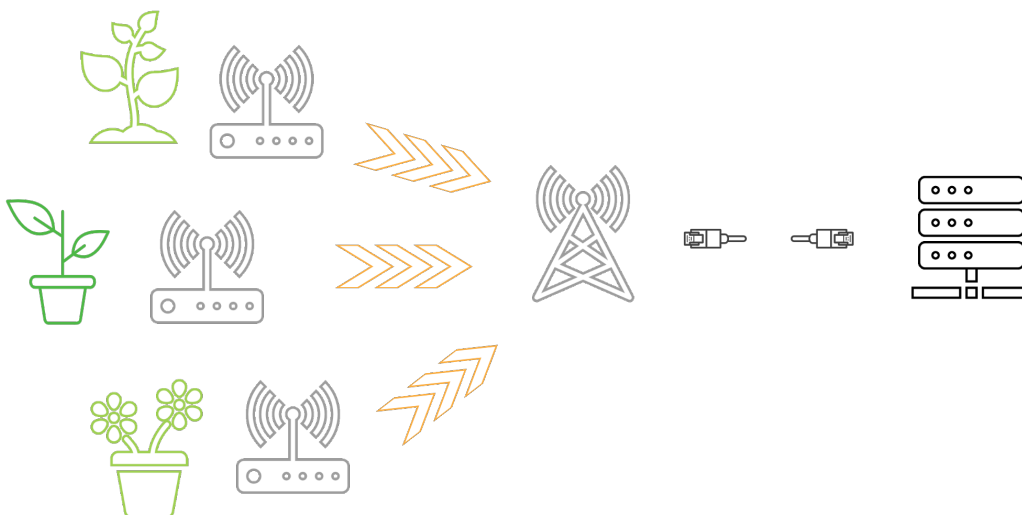


Abbildung 0.2: Systemaufbau

Schlussendlich werden die Daten visualisiert und können über einen Browser betrachtet werden. Beim Erreichen oder Unterschreiten selbst definierter Schwellwerte kann ein Alarm ausgelöst werden.

1 Einleitung

1.1 Übersicht

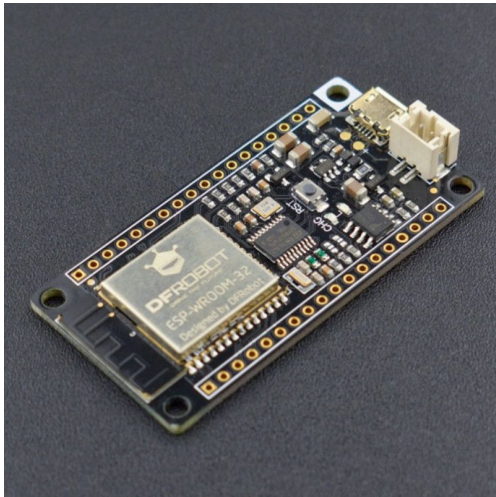
Die Komponenten wurden durch das Vorhandensein von Bibliotheken und Treibern sowie die leichte Beschaffung auch innerhalb der Schweiz bestimmt. Der Verzicht auf kommerzielle Systeme erlaubt eine grosse Flexibilität in der Kombination von Funktionalitäten.

1.2 Hardware

2 Sensor Plattform

2.1 Mikrokontroller

Ein sehr beliebter Mikrokontroller ist der ESP32 von Espressif [9] welcher durch grossen Funktionsumfang und einen recht geringen Preis überzeugen kann. Ein Vorteil ist ebenfalls die Möglichkeit der Programmierung durch die Arduino[10] IDE welche frei verfügbar ist und die Entwicklung stark vereinfacht. Es existieren viele verschiedene Mikrokontroller welche den ESP32 Baustein verwenden, für dieses Projekt kam der Firebeetle [11] von DF Robot zum Einsatz.¹



Der ESP32 besitzt sowohl WLAN als auch Bluetooth LE Schnittstellen. Diese wurden jedoch aus Gründen des Stromverbrauchs (WLAN) oder der Reichweite (Bluetooth LE) in diesem Projekt nicht verwendet.

Der Firebeetle[11] Baustein hat sowohl die Möglichkeit einer Stromversorgung mit 5 Volt als auch mit 3.7 Volt, womit er direkt durch Lithium-Ionen Akkus betrieben werden kann.

Abbildung 2.1: Firebeetle mit dem ESP32 Mikrokontroller

2.2 Sensoren

Es existiert eine grosse Anzahl an verschiedenen Sensoren welche auch für Privatanwendern nutzbar sind. In diesem Projekt wurden Sensoren gewählt für welche frei verfügbare Bibliotheken in einer Version für den ESP32 vorhanden sind. Grundsätzlich wird bei den Sensoren unterschieden zwischen solchen die

- Digitale Werte liefern die direkt einer Einheit (Grad Celsius) oder Prozentangabe (Luftfeuchtigkeit) entsprechen
- Analoge Messwerte welche auf eine Einheit umgerechnet werden müssen

Für dieses Projekt wurden mehrere Sensoren ausgewählt und kombiniert:

- Lufttemperatur- und Luftfeuchtigkeitssensoren DHT11 [5.2.1.2] und DHT22 [5.2.1.1]
- Kapazitiver Bodenfeuchtesensor V1.2 [5.2.2]

¹<https://www.bastelgarage.ch/firebeetle-esp32-iot-mikrocontroller-mit-wifi>

2.3 Aufbau

Die Komponenten werden alle mit den 3.7 Volt und Masse Anschlüssen verbunden. Das Funkmodul benötigt die SPI Kontakte SCK, MOSI und MISO und zusätzlich zwei Digitale Pins für CE und CSN welche frei gewählt werden können. In meinem Code habe ich CE auf den Pin 25 gesetzt und CSN auf Pin 26. Wenn man andere Pins verwenden möchte dann kann dies bei Initialisierung des Funkmoduls angegeben werden:

```
radio = new RF24(25, 26); //CE, CSN
```

Der Daten-Input des Temperatur Sensors benötigt einen Digitalen Eingang welchen ich auf den Pin 27 gesetzt habe. Der Bodenfeuchtigkeitssensor hat einen analogen Ausgang welchen ich mit Pin 4 verbunden hab. Falls andere Pins verwendet werden so können die Variablen am Anfang des Programms angepasst werden:

```
1 // DHT Sensor
2 uint8_t DHTPin = 27;
3 // Moisture Sensor
4 uint8_t MOISTSENSOR_PIN = 4;
```

Die Schaltung kann über den Mikro-USB Anschluss oder einen Lithium-Ionen-Akku mit Strom versorgt werden. Wenn ein Akku direkt angeschlossen werden soll hat es auf der Rückseite unterhalb des USB Anschlusses zwei Lötaugen. Ein so angeschlossener Akku kann danach über die USB Buchse geladen werden, der ESP32 enthält zu diesem Zweck eine Lade-Elektronik.

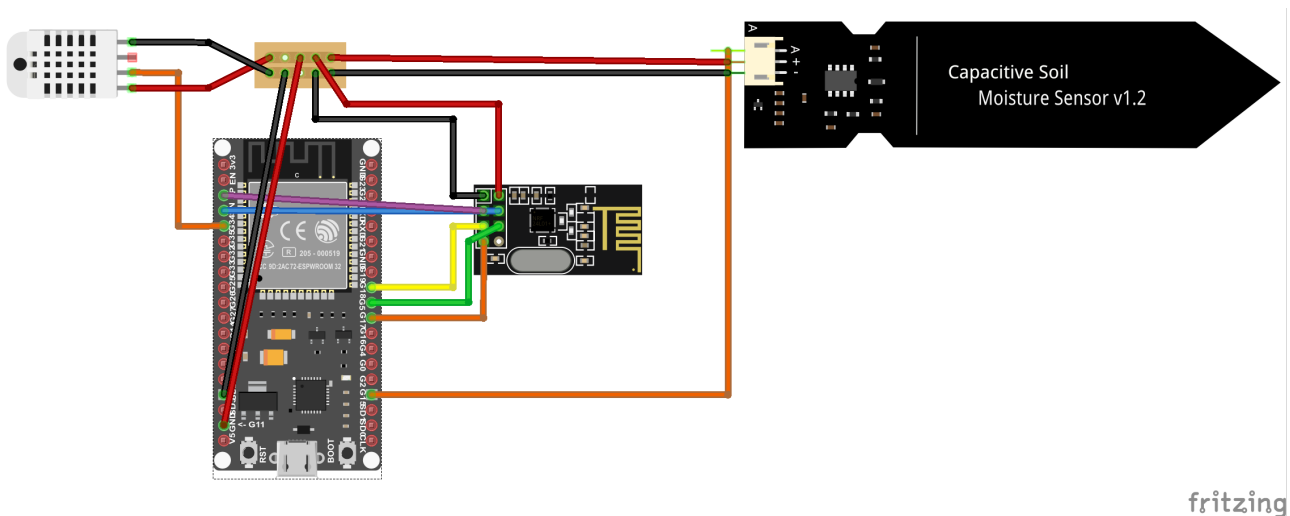


Abbildung 2.2: Verdrahtung der Komponenten

2.4 Funkverbindung mit dem MQTT Gateway

Da die Sensoren nicht WLAN als Funktechnik verwenden können sie nicht direkt auf den MQTT Server verbinden und Nachrichten senden. Diese Aufgabe übernimmt das MQTT-Gateway welches auf der einen Seite ebenfalls mit einem NRF24 [2.4] Funkmodul ausgerüstet ist und andererseits eine Ethernet Netzwerkanbindung hat.

Jedes Funkmodul kann mit 5 anderen Modulen kommunizieren, dabei muss jedes Modul eine eigene Adresse verwenden unter der es senden und empfangen kann.

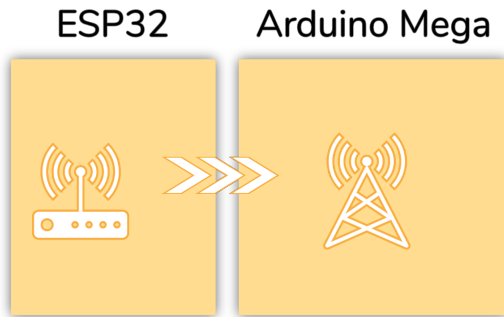


Abbildung 2.3: Funkverbindung



Abbildung 2.4: NRF24L01+ Funkmodul

Bei der Programmierung der Sensoren wurde darauf geachtet dass die Identifikation der Sensoren über eine einzigartige Id unabhängig vom Programmcode vorgenommen werden kann [2.5.2].



Abbildung 2.5: Funkkanäle des NRF24L01

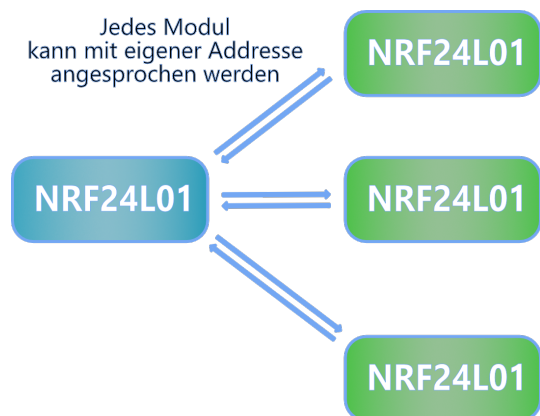


Abbildung 2.6: Addressierung Funkmodule

2.4.1 Absicherung der Funkverbindung

Die Identifikation eines Sensors ist aber nicht zu Verwechseln mit einer Prüfung ob der Sender überhaupt berechtigt ist Daten zu senden. Da das Funkprotokoll unverschlüsselt ist können andere Sender ebenfalls Nachrichten absenden und so Daten verfälschen oder die Verarbeitung stören. Um dies zu verhindern wird eine Technik Namens Keyed-Hash Message Authentication Code (HMAC) eingesetzt. Die eigentliche Nachricht

4;25.1;71.1;10.2

wird dabei um einen Hash-Wert erweitert

3A51266ABD432C1FB797DEDEE215FD16E42BAB627F104BCB6F4169EDE4544582:4;25.1;71.1;10.2

2.5 Software

2.5.1 Verwendete Bibliotheken

SPI library Ansteuerung der Sensoren [4]

mbed TLS Berechnung des HMAC [3]

Einige der aufgeführten Bibliotheken können direkt über die Bibliotheksverwaltung der Arduino IDE installiert werden. Ansonsten können die Bibliotheken über den Link (führt meistens auf github.com) heruntergeladen und von Hand installiert werden. **Achtung: Es gibt viele Bibliotheken mit ähnlichem Namen und Beschreibung. Falls das kompilieren fehlschlägt bitte prüfen ob die richtige Bibliothek eingebunden wurde.**

2.5.2 Konfiguration eines Sensors

Der Flash-Speicher des ESP32 kann in mehrere Bereiche unterteilt werden. So können Dateien unabhängig von dem kompilierten Programm auf den Mikrocontroller geladen werden. Während der Programm-Code während der Entwicklung ständig ändert und immer wieder via Sketch-Upload auf den ESP32 übertragen werden so müssen die Konfigurationsparameter nur einmal festgelegt werden und ändern sich, wenn überhaupt, nur selten.

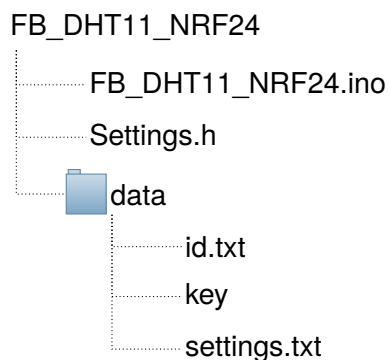


Abbildung 2.7: Verzeichnisstruktur Sensor

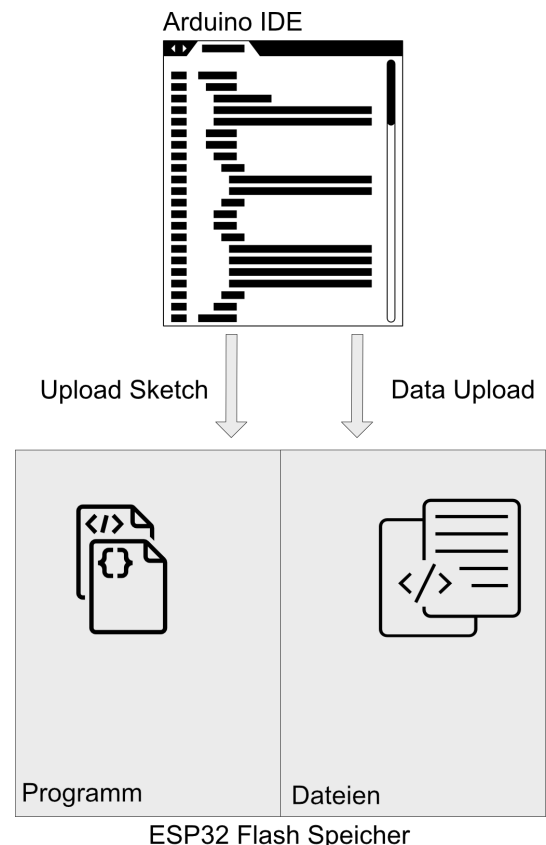


Abbildung 2.8: Speicher-Aufteilung ESP32

Jeder Sensor benötigt einige Parameter:

Id Identifiziert den Sensor, gespeichert in der Datei id.txt

key Der geheime Schlüssel um den HMAC zu berechnen, gespeichert in der Datei key. Dieser Schlüssel muss auf den Sensoren wie auf dem Gateway identisch sein.

Die folgende Parameter werden alle in der Datei settings.txt gespeichert:

sensorType Typ des Temperatursensor, entweder DHT11 oder DHT22

sleepTime Wartezeit zwischen zwei Messungen in Millisekunden

paLevel Funkstärke des NRF24 Moduls, erlaubte Werte sind 'low', 'med und 'high'

2.5.3 Datenübertragung

Da die maximale Grösse eines Datenpaketes des NRF24 Moduls nur 32 Zeichen beträgt muss die gesamte Nachricht in mehreren Paketen übertragen werden.

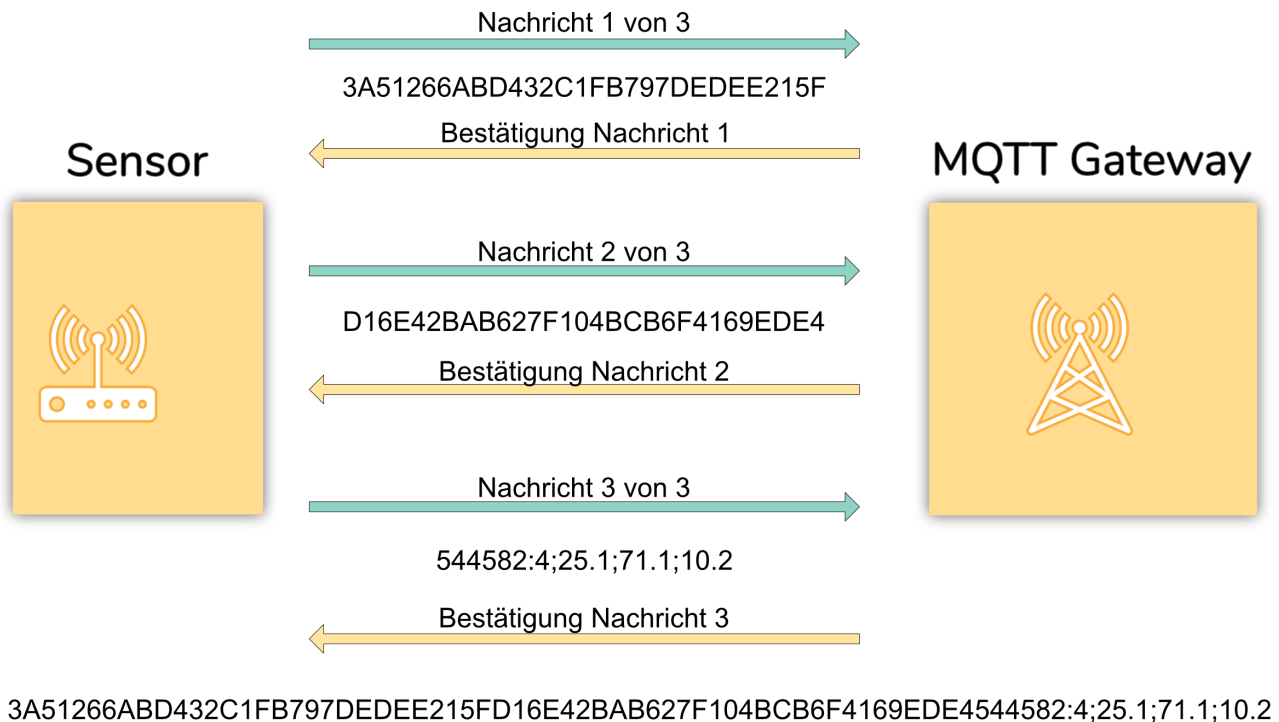


Abbildung 2.9: Übertragen der Messdaten in mehreren Paketen

```
1  bool ok = radio->write( &sending, sizeof(sending));    //Sends first packet to radio
2
3  if (ok) {
4      byte packetReceived = 0; //packetReceived (feedback) = 0th packet
5      radio->startListening(); //start listening for a response
6      int retry = 0;
7      while (!confirmed && retry < 5) {
8          delay(50);
9          if (radio->available()) {
10             radio->read(&packetReceived, sizeof(packetReceived)); //save response
11             if (packetReceived == pkt) { //If packet number received == packet sent
12                 confirmed = true;
13                 Serial.println("Packet was confirmed, proceed to send next packet.");
14             }
15             else {
16                 confirmed = false;
17                 sendArray = false;
18                 Serial.println("Either nothing sent/no confirmation/Mismatch of packets (resend??)");
19             }
20         }
21         retry++;
22     }
23     radio->stopListening();
24 }
```

3 IoT Gateway

3.1 Übersicht

Die Aufgabe des IoT Gateways ist es die Messdaten welche über Funk gesendet werden zu empfangen und an den MQTT Broker weiterzuleiten. Dazu ist es mit einem Funkmodul und einer Ethernet Schnittstelle ausgerüstet.

3.2 Hardware

Die Basis des MQTT Gateway bildet ein Arduino Mega¹ welcher mit einem Ethernet Shield² kombiniert wird. Die Funkverbindung wird wie bei den Sensoren durch ein NRF24 [2.4] Modul hergestellt.

3.2.1 Aufbau

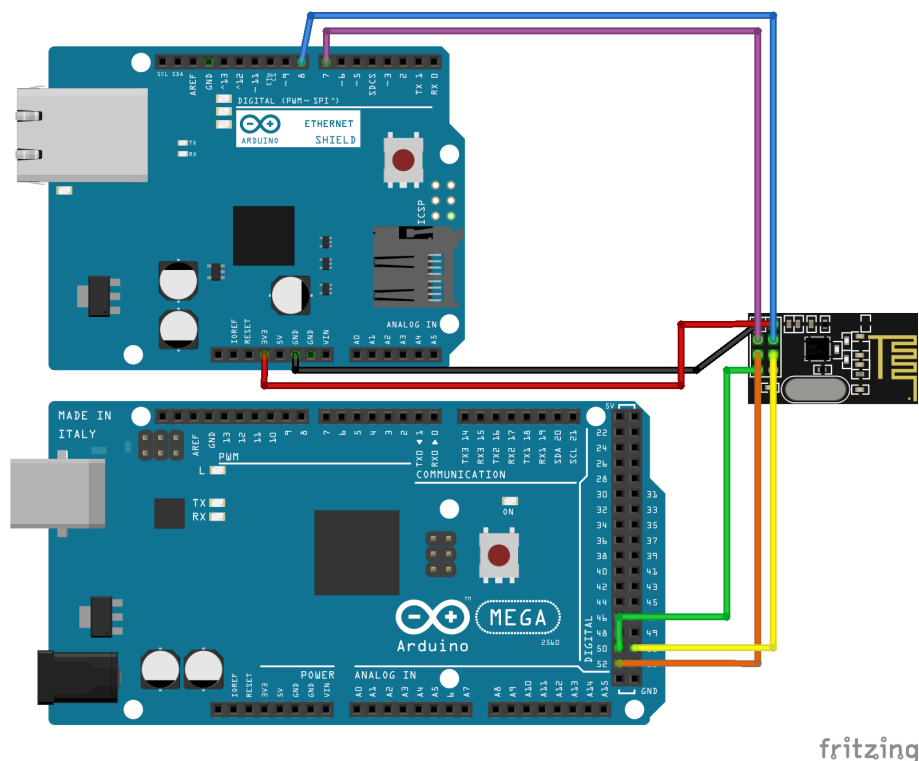


Abbildung 3.1: Verdrahtung der Komponenten

¹<https://store.arduino.cc/arduino-mega-2560-rev3>

²<https://www.bastelgarage.ch/ethernet-shield-spi-w5100-fur-arduino>

3.2.2 Zugriffsschutz

Jede empfangene Nachricht wird durch die Validierung des HMAC (HMAC) sowohl auf einen berechtigten Absender, als auch auf unverfälschte Daten überprüft.

3.3 Software

Nachdem die Nachricht eines Sensors validiert wurde wird das Format in JSON umgewandelt und an ein MQTT Topic verschickt.

```
{  
  "ID": 0001,  
  "Temp.Air": 22.6,  
  "Hum.Air": 78.1,  
  "Hum.Soil": 43.7  
}
```

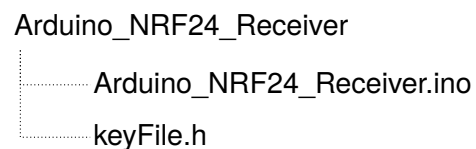
Abbildung 3.2: Sensor Datensatz in JSON Format

3.3.1 Konfiguration

Das Gateway benötigt für die Berechnung des Keyed-Hash Message Authentication Code den gleichen Schlüssel wie der Sensor. Leider bietet der Arduino nicht die Möglichkeit Dateien hochzuladen. Der benötigte geheime Schlüssel wird deshalb in der Datei keyFile.h als String definiert. So kann der Code weiterhin in dem Versionskontrollsystem hinterlegt werden ohne den geheimen Schlüssel preisgeben zu müssen.

Die Datei keyFile.h enthält nur eine Zeile mit der Deklaration des Schlüssels

```
String key_str = "geheimerSchlüssel";
```



4 Speicherung und Visualisierung

4.1 Übersicht

Für die Speicherung und Verarbeitung der gesammelten Sensordaten sind mehrere Softwarekomponenten zuständig.

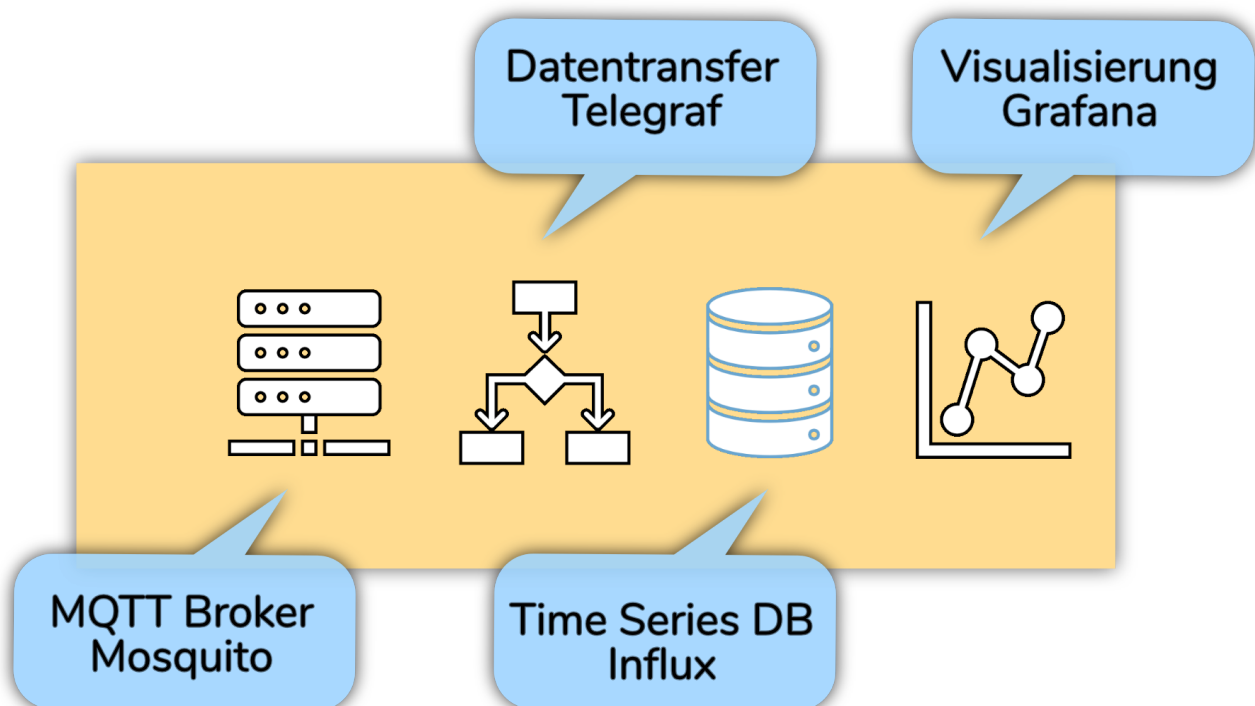


Abbildung 4.1: Verwendete Software

MQTT Broker Die von dem MQTT-Gateway geschickten Nachrichten werden durch Mosquitto [13] in einer Queue bis zu einer weiteren Verarbeitung gespeichert

Datentransfer Um die Daten aus einer (oder mehreren) MQTT Queue in eine Datenbank zu transferieren wird Telegraf [14] mit dem MQTT Plugin benutzt [15]

4.2 Hardware

4.3 MQTT Broker

4.3.1 Installation

```
sudo apt-get install -y mosquitto mosquitto-clients
```

4.4 Datenspeicherung

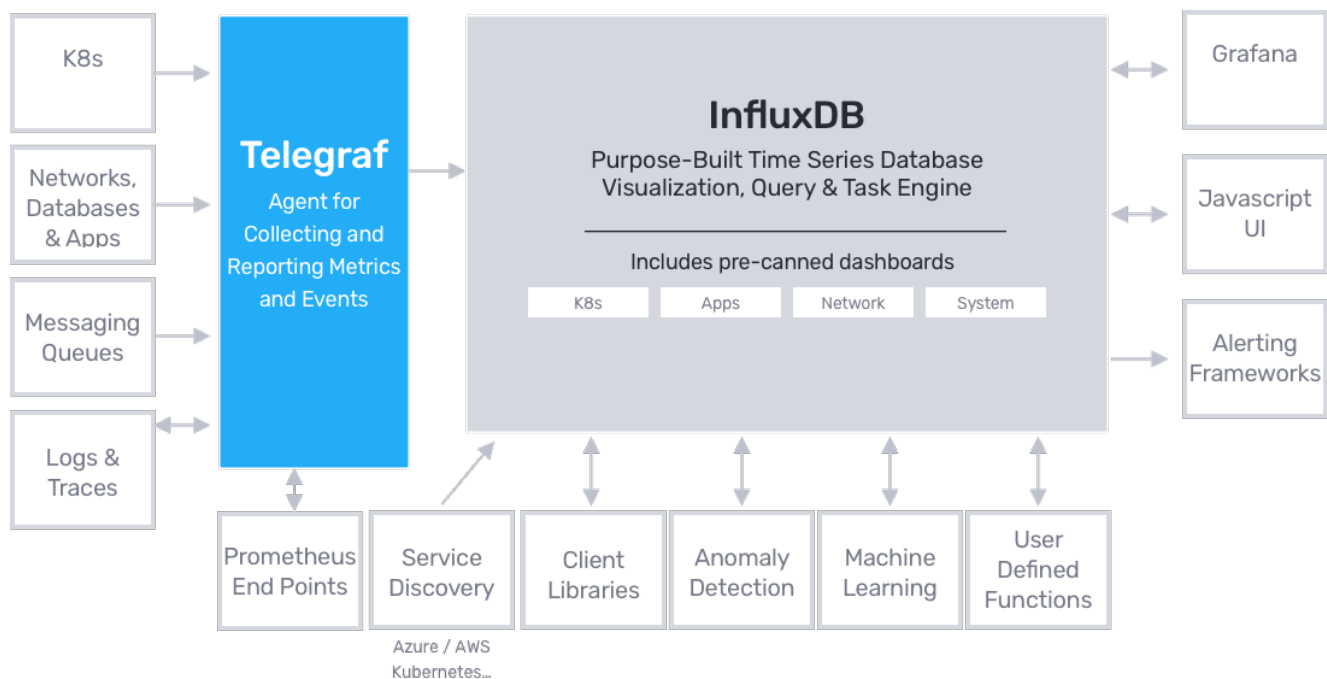


Abbildung 4.2: Übersicht Influx Software

Quelle: www.influxdata.com

4.4.1 Installation

Die Installationsquelle ist unterschiedlich für die verschiedenen Linux Distributionen. Wenn wie in meinem Fall die Raspian Distribution in der Version 'buster' verwendet wird kann das benötigte Repository mit folgenden Kommandos hinzugefügt werden:

```
curl -sL https://repos.influxdata.com/influxdb.key | sudo apt-key add -  
sudo apt install apt-transport-https  
echo "deb https://repos.influxdata.com/debian buster stable" | sudo tee  
↪ /etc/apt/sources.list.d/influxdb.list
```

Die Installation ist danach schnell gemacht:

```
sudo apt-get update && sudo apt-get install influxdb  
sudo systemctl unmask influxdb.service
```

Danach muss der Service noch gestartet werden:

```
sudo systemctl start influxdb
```

4.4.2 Datenbank einrichten

4.5 Visualisierung

4.5.1 Installation

```
wget
```

```
↪ https://github.com/fg2it/grafana-on-raspberry/releases/download/v5.1.4/grafana\_5.1.4\_armhf.deb
```

```
sudo apt-get install -y adduser libfontconfig1
```

```
sudo dpkg -i grafana_5.1.4_armhf.deb
```

```
sudo systemctl enable grafana-server
```

```
sudo systemctl start grafana-server
```

```
sudo systemctl enable grafana-server.service
```


5 Verwendete Bauteile

5.1 ESP32 Mikrokontroller

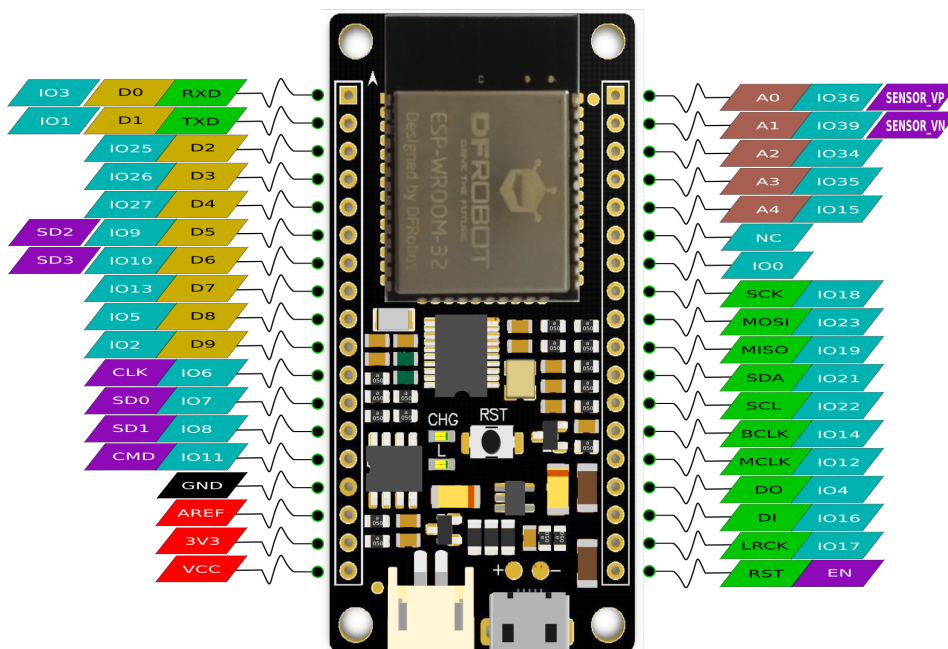
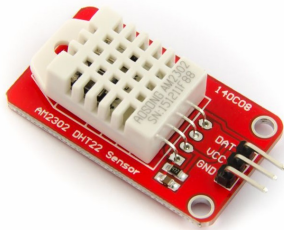


Abbildung 5.1: Anschlüsse des Firebeetle

5.2 Sensoren

5.2.1 Temperatur und Luftfeuchtigkeit

5.2.1.1 DHT22



DHT22 im Onlineshop ¹

Abbildung 5.2: Temperatur und Luftfeuchtigkeitssensor DHT22

5.2.1.2 DHT11

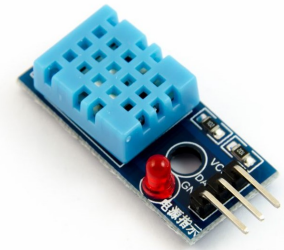


Abbildung 5.3: DHT11 Luft- und Feuchtigkeitssensor

Als Alternative zu dem oben genannten DHT22 gibt es eine billigere Variante mit dem Namen DHT11 ². Der DHT11 Sensor hat eine geringere Auflösung als der DHT22, ist ansonsten aber gleich verwendbar.

5.2.2 Bodenfeuchtigkeit



Abbildung 5.4: Kapazitiver Bodenfeuchtesensor V1.2

¹<https://www.bastelgarage.ch/dht22-temperatur-und-luftfeuchtigkeitssensor-steckbar>

²<https://www.bastelgarage.ch/dht11-temperatur-und-luftfeuchtigkeitssensor>

5.2.3 Funk

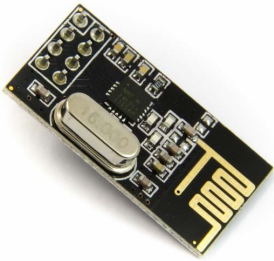


Abbildung 5.5: NRF24L01+ Funkmodul

NRF24L01+ ⁴

³<https://www.bastelgarage.ch/bauteile/sensoren/kapazitiver-bodenfeuchtesensor-v1-2>

⁴<https://www.bastelgarage.ch/bauteile/funk-wireless-lora/nrf24l01-wireless-funk-modul-2-4ghz>

Abbildungsverzeichnis

0.1 Systemaufbau Funknetzwerk	1
0.2 Systemaufbau	1
2.1 Firebeetle mit dem ESP32 Mikrokontroller	3
2.2 Verdrahtung der Komponenten	4
2.3 Funkverbindung	5
2.4 NRF24L01+ Funkmodul	5
2.5 Funkkanäle des NRF24L01	5
2.6 Addressierung Funkmodule	5
2.7 Verzeichnisstruktur Sensor	6
2.8 Speicher-Aufteilung ESP32	6
2.9 Übertragen der Messdaten in mehreren Paketen	7
3.1 Verdrahtung der Komponenten	8
3.2 Sensor Datensatz in JSON Format	9
4.1 Verwendete Software	10
4.2 Übersicht Influx Software	11
5.1 Anschlüsse des Firebeetle	13
5.2 Temperatur und Luftfeuchtigkeitssmesser DHT22	14
5.3 DHT11 Luft- und Feuchtigkeitssensor	14
5.4 Kapazitiver Bodenfeuchtesensor V1.2	14
5.5 NRF24L01+ Funkmodul	15

Tabellenverzeichnis

Glossar

HMAC Keyed-Hash Message Authentication Code. 5

Internet of Things deutsch Internet der Dinge, Bezeichnet ein loses Netzwerk in welcher beliebige elektronische Geräte untereinander vernetzt werden. Wir häufig im Zusammenhang mit Sensornetzwerken verwendet.
https://de.wikipedia.org/wiki/Internet_der_Dinge. 1

Keyed-Hash Message Authentication Code Verfahren zur Absicherung von gesendeten Nachrichten welches mit einer Hash-Funktion und einem geheimen Schlüssel arbeitet.
https://de.wikipedia.org/wiki/Keyed-Hash_Message_Authentication_Code. 6–8

Linkverzeichnis

- [1] What is HMAC Authentication and why is it useful?
<https://www.wolfe.id.au/2012/10/20/what-is-hmac-authentication-and-why-is-it-useful/>
- [2] ESP32 Arduino: Applying the HMAC SHA-256 mechanism
<https://techtutorialsx.com/2018/01/25/esp32-arduino-applying-the-hmac-sha-256-mechanism/>
- [3] mbed TLS, Library für den ESP32 welche viele Kryptografische Funktionen implementiert
<https://tls.mbed.org/>
- [4] Standard Bibliothek sowohl für den Arduino wie auch den ESP32 welche die Kommunikation mit anderen Komponenten, in diesem Fall die einzelnen Sensor Module, übernimmt
<https://www.arduino.cc/en/Reference/SPI>
- [5] Bibliothek für den nRF24L01 Baustein welche sowohl auf dem Arduino als auch dem ESP32 verwendbar ist
<https://github.com/nRF24/RF24>
- [6] Online HMAC Code Generator
<https://www.freeformatter.com/hmac-generator.html#ad-output>
- [7] NRF24L01+ Funkmodul Treiber für Arduino und ESP32
<http://tmrh20.github.io/RF24/index.html>
- [8] Bibliothek für die beiden Sensoren DHT11 und DHT22 sowohl für Arduino als auch den ESP32
<https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library>
- [9] Herstellerseite Espressif für den ESP32
<https://www.espressif.com/en/products/hardware/esp32/overview>
- [10] Arduino Herstellerseite mit der gleichnamigen IDE und vielen Bibliotheken und Tutorials
<https://www.arduino.cc/>
- [11] Herstellerseite des Firebeetle Mikrokontrollers
<https://www.dfrobot.com/product-1590.html>
- [12] Erweiterung für die Arduino IDE um Dateien in den Flash Speicher des ESP32 zu laden
<https://github.com/me-no-dev/arduino-esp32fs-plugin>
- [13] Open Source MQTT Broker Mosquitto
<https://mosquitto.org/>
- [14] Server Agent welcher Daten aus verschiedenen Quellen sammelt und weiterleitet
<https://www.influxdata.com/time-series-platform/telegraf/>
- [15] MQTT Plugin für Telegraf
https://github.com/influxdata/telegraf/tree/master/plugins/inputs/mqtt_consumer

- [16] InfluxDB, Open Source Zeitreihendatenbank
<https://www.influxdata.com/products/influxdb-overview/>
- [17] Datenvisualierungs-Software Grafana
<https://grafana.com/>