

# Projektdokumentation Smartstall

1<sup>st</sup> Hannes Bruhn

Hochschule für angewandte Wissenschaften Coburg  
hannes\_bruhn@web.de

2<sup>nd</sup> Florian Wermbter

Hochschule für angewandte Wissenschaften Coburg  
florianwermbter@gmail.com

**Abstract**—Hier steht das Abstract.

**Index Terms**—component, formatting, style, styling, insert

## I. HINTERGRUND UND ZIEL DES PROJEKTS

Das Projekt Smartstall ist im Rahmen des Moduls "Hardware cypher-physischer Systeme" des Master-Studiengangs Informatik entstanden, bei dem es um Schnittstellen und Datenübertragung von Endgeräten, sowie die Anbindung dieser an die Cloud nach dem Internet of Things (IoT) Konzept geht.

Ziel dieses Projekts ist die Erfassung unterschiedlicher Sensordaten zur Überwachung der Luftqualität in einem Stall. Die erfassten Daten sollen über einen Raspberry Pi an eine, für dieses Projekt entwickelte Webanwendung gesendet werden. Dadurch soll der Anwender die Möglichkeit erhalten, die Daten über eine benutzerfreundliche Oberfläche anzuzeigen und zu analysieren. Bei der Überschreitung von festlegbaren Schwellwerten bestimmter Attribute wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit oder Ammoniakgehalt, soll der Anwender außerdem per Push-Up Benachrichtigung auf seinem Smartphone informiert werden können.

Des Weiteren soll die Belüftung von der Webanwendung bei Bedarf ein- und ausgeschaltet werden können, um die Schwellwerte auch ohne aktives Eingreifen des Anwenders wieder unterschreiten zu können. Dies soll durch die Ansteuerung einer WLAN-Steckdose umgesetzt werden. Durch regelmäßige und kontinuierliche Datenerfassung wird dafür gesorgt, dass die Belüftung nur so lange wie nötig aktiviert ist, womit die Aspekte Effizienz und Nachhaltigkeit berücksichtigt und in das Projekt integriert werden.

## II. ÜBERBLICK

### III. ANFORDERUNGSERHEBUNG

#### A. Ursprüngliche Überlegungen

Das Ziel von SmartStall ist die Kontrolle der Luftqualität in einem Stall. Durch den Einsatz von Sensoren sollen Ammoniak, Temperatur und Luftfeuchtigkeit überwacht werden, um sicherzustellen, dass diese Werte nicht in schädliche Bereiche gelangen. Da die Umrüstung auf eine neue smarte Belüftung sehr kostspielig sein kann, soll SmartStall eine kostengünstige Alternative bieten. Die erfassten Luftqualitätsdaten sollen in Diagrammen für einen Tag und eine Woche in einer Webanwendung visualisiert werden. Diese Webanwendung soll mit einem Login, bei dem Benutzername und Passwort eingegeben werden muss, geschützt werden. In den Diagrammen sollen die

Grenzen, ab denen die einzelnen Luftdaten schädlich werden, rot markiert sein. Neben den aktuellen Daten sollen auch die durchschnittlichen Werte für eine Woche und einen Tag angezeigt werden. Es gibt insgesamt drei Diagramme: eines für Ammoniak, eines für Temperatur und eines für Luftfeuchtigkeit. Der Landwirt soll eine Push-Benachrichtigung erhalten, wenn ein Schwellwert überschritten wird, und die Belüftung soll automatisch eingeschaltet werden. Sobald alle Werte unter den Schwellwerten liegen, soll die Belüftung wieder ausgeschaltet werden. Es ist von großer Bedeutung, dass die Werte für Ammoniak, Luftfeuchtigkeit und Temperatur in einem Stall nicht zu hoch sind. Hohe Ammoniakkonzentrationen können die Atemwege der Tiere und Menschen reizen und zu ernsthaften gesundheitlichen Problemen führen. Eine zu hohe Luftfeuchtigkeit kann das Wachstum von Schimmel und anderen schädlichen Mikroorganismen fördern, was wiederum die Gesundheit der Tiere beeinträchtigt. Extreme Temperaturen, ob zu hoch oder zu niedrig, können den Komfort und das Wohlbefinden der Tiere negativ beeinflussen, was zu Stress und einer verminderten Produktivität führen kann. Daher ist die Überwachung und Regelung dieser Parameter essenziell für die Gesundheit und das Wohlbefinden der Tiere sowie für eine effiziente landwirtschaftliche Produktion. Nach den ersten Überlegungen zu dem Projekt SmartStall wurde folgende Skizze zu einem möglichen Userinterface entwickelt:

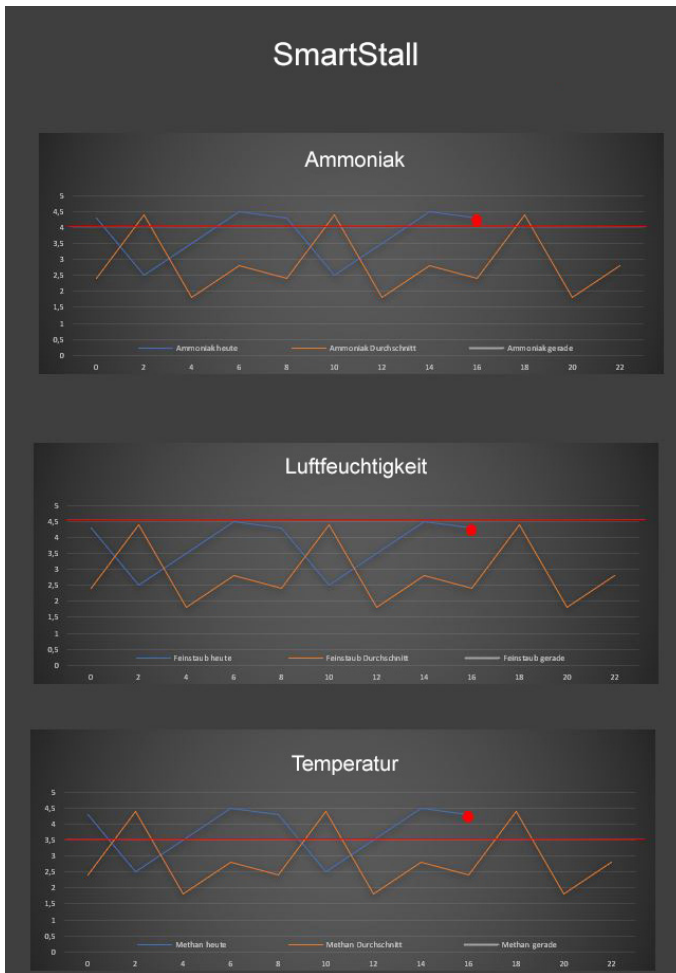


Fig. 1. Erstentwurf eines möglichen Userinterfaces für die Webanwendung von smartStall nach den ursprünglichen Überlegungen

### B. Gespräch mit Landwirten

Da SmartStall ein IT-Produkt für Landwirte mit Tierhaltungsbetriebe werden soll, wurde nach den ersten Überlegungen und der ersten Skizze ein Gespräch mit zwei verschiedenen Landwirten geführt. Der erste landwirtschaftliche Betrieb ist der Bauernhof Stenglein in Rothwind, der etwa 80 Kühe in einem Stall hält. Der zweite landwirtschaftliche Betrieb ist der Bauernhof der Familie Stark aus Eichberg, die in der Ferkelerzeugung tätig sind. Beide reagierten positiv auf die Idee von SmartStall und fanden die Grundidee gut, brachten jedoch einige Verbesserungsvorschläge und wichtige Anmerkungen ein: Die Landwirte waren der Meinung, dass es wenig Sinn macht, die durchschnittlichen Werte der einzelnen Luftqualitätsdaten anzuzeigen, da diese wenig aussagekräftig sind. Als Beispiel nannten sie die Temperatur: Im Sommer ist diese sehr hoch, im Winter eher niedrig. Ein Mittelwert daraus liefert keine nützlichen Informationen im Vergleich zum aktuellen Wert. Der Mittelwert wäre nur dann sinnvoll, wenn der Stall das ganze Jahr über konstante Bedingungen hätte, wie gleiche Außentemperatur und gleiche Dauer von geöffneten bzw. geschlossenen Türen und Fenstern, was in der Praxis je-

doch nicht vorkommt. Da die Stalltüren ab spätem Frühling meist bis Herbst fast durchgängig geöffnet sind, herrschen unterschiedliche Bedingungen im Stall. Aus diesem Grund kann der durchschnittliche Wert der einzelnen Daten aus den Diagrammen entfernt werden, was zusätzlich die Lesbarkeit der Diagramme verbessert. Den Landwirten war es außerdem wichtig, dass sie die Steuerung der Belüftung und die Push-Benachrichtigungen kontrollieren können. Da es sich um ein erstmaliges Projekt handelt, das noch nicht im Einsatz war, möchten sie sich nicht vollständig auf das System verlassen und die Möglichkeit haben, wie gewohnt vorzugehen. Ein weiterer Verbesserungsvorschlag war das Hinzufügen des aktuellen Werts zu jedem Diagramm, damit man auf einen Blick den aktuellen Zustand im Stall erkennen kann. Da der Bauernhof der Familie Stenglein recht groß ist und auch Angestellte im Stall arbeiten, die nicht viel mit Technik zu tun haben, wenig davon verstehen und nicht gut Deutsch sprechen, war es ihnen wichtig, dass die Anwendung simpel gehalten wird, damit sie theoretisch jeder bedienen und verstehen kann.

### C. Resultat

Das Resultat des Projekts SmartStall ist wie folgt: Die Luftqualitätsdaten des Stalls werden über einen Raspberry Pi in eine Datenbank geschrieben. Diese Daten werden in einer passwortgeschützten Webanwendung visualisiert, die drei verschiedene Diagramme enthält: eines für Ammoniak, eines für Luftfeuchtigkeit und eines für Temperatur. Die Diagramme zeigen die aktuellen Werte des Tages bzw. der letzten sieben Tage an. Die durchschnittlichen Werte für Tag und Woche wurden entfernt, um die Lesbarkeit zu verbessern. Neben den Diagrammen wird der aktuelle Wert angezeigt, der in roter Schrift dargestellt ist, wenn der Wert die schädliche Grenze überschreitet, und in grüner Schrift, wenn er im unkritischen Bereich liegt. Es gibt außerdem zwei Schalter, mit denen die Automatisierung der Belüftung und das Benachrichtigen per Push-Nachricht bei Überschreitung des Grenzwerts aktiviert werden können. Die Push-Benachrichtigungen werden an eine Telegram-Gruppe gesendet, in die alle Mitarbeiter eines Bauernhofs aufgenommen werden können, sodass jeder informiert ist. Eine Benachrichtigung wird auch gesendet, wenn die Steuerung der Belüftung deaktiviert wird, woraufhin das System die Belüftung abschaltet. Dies verhindert, dass die Belüftung unnötig lange läuft, falls sie zum Zeitpunkt der Deaktivierung noch aktiv ist, und trägt dazu bei, den Energieverbrauch des Stalls zu reduzieren. In Abschnitt VI-E wird genauer auf das finale Userinterface eingegangen.

## IV. HARDWARE KOMPONENTEN

### A. Raspberry Pi 3B

Der Raspberry Pi (Modell 3B) ist ein beliebter Einplatinencomputer, der von der Raspberry Pi Foundation entwickelt wurde. Er bietet ausreichend Rechenleistung, Speicher und Konnektivität, um komplexe Aufgaben auszuführen und eine Vielzahl von Erweiterungen und Anwendungen zu unterstützen und ist somit ein kostengünstige und vielseitige

Plattform für Projekte im Bereich der Einbettung von Computern und des IoT. Die umfangreiche Community und Dokumentation rund um den Raspberry Pi machen es einfach, Projekte zu starten und Unterstützung zu erhalten. Es gibt eine Vielzahl von Erweiterungsmodulen und Zubehörteilen, die den Raspberry Pi erweitern und an individuelle Anforderungen anpassen können. Um den Raspberry Pi 3B zu nutzen, ist eine grundlegende Einrichtung erforderlich, auf welche in Kapitel V genauer eingegangen wird. [9]

### B. Bosch Sensortec BME680 Sensor

Der Bosch Sensortec BME680 ist ein fortschrittlicher Umweltsensor, der verschiedene Messungen in einer kompakten Einheit vereint. Der BME680 Sensor ermöglicht die Messung von vier Umweltparametern:

- Temperatur: Der Sensor misst die Umgebungstemperatur mit hoher Präzision.
- Luftfeuchtigkeit: Er erfasst die relative Luftfeuchtigkeit und liefert genaue Feuchtigkeitswerte.
- Luftdruck: Der Sensor kann den atmosphärischen Druck messen und damit Wettervorhersagen ermöglichen.
- Luftqualität: Der BME680 Sensor ist in der Lage, flüchtige organische Verbindungen (VOCs) und verschiedene Gase wie Kohlenmonoxid (CO) und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) zu erkennen.

Der BME680 Sensor findet Anwendung in einer Vielzahl von Bereichen, wie beispielsweise der Erfassung von Wetterdaten in Außenbereichen und der Überwachung von Luftqualität in Innenräumen. [7]

### C. MQ137 NH<sub>3</sub>-Gassensormodul

Das MQ137 Gassensor-Modul ist ein Sensor, der speziell entwickelt wurde, um Ammoniakgas (NH<sub>3</sub>) in der Umgebungsluft zu messen. Er basiert auf der Metalloxid-Gassensortechnologie und erfasst die Konzentration von Ammoniak in Parts per Million (ppm). Der Sensor reagiert auf das Vorhandensein von Ammoniak, indem er Änderungen in der elektrischen Leitfähigkeit erkennt. Das MQ137 Gassensor-Modul ermöglicht eine präzise Erfassung von Ammoniakgas und findet Anwendung in verschiedenen Bereichen wie Industrie, Landwirtschaft und Umweltüberwachung.

### D. Verbinden der Komponenten

Um die vorgestellten Sensoren nutzen zu können, müssen diese an die korrekten Pins des Raspberry Pis angeschlossen werden. Die zur Verfügung stehenden Pins des Raspberry Pis sind in Abbildung 2 dargestellt.

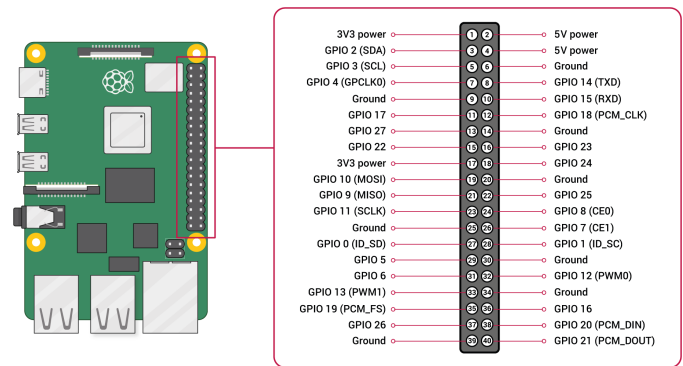


Fig. 2. Raspberry Pi 3B Pin Belegung

1) *Anschließen des BME680 Sensors:* Der BME680 besitzt sechs Pins, welche Abbildung 3 zu entnehmen sind. Relevant sind hierbei die oberen 4 Pins, welche wie in Abbildung 4 aufgezeigt an den Raspberry Pi angeschlossen werden müssen. [8]

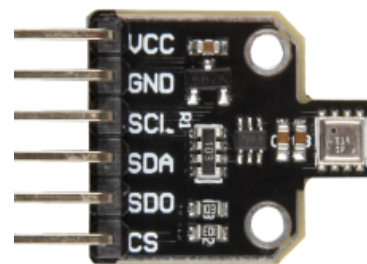


Fig. 3. BME680 Pins

Verkabelung	
Raspberry Pi GPIO Pin	BME680 Pin
1 (3v3 power)	VCC
6 (Ground)	GND
5 (GPIO3 / SCL)	SCL
3 (GPIO2 / SDA)	SDA

Fig. 4. Pin Verbindungen von Raspberry Pi und BME680

2) *Anschließen des MQ137 Sensors:* Der MQ137 Sensor besitzt, wie in Abbildung 5 zu sehen 4 Pins, welche ebenfalls mit den jeweiligen Pins des Raspberry Pis verbunden werden müssen:

- VCC: Stromversorgung (5V)
- GND: Ground
- DO: digitaler Signalausgang
- AO: analoger Signalausgang



Fig. 5. MQ137 Gassensormodul

3) *Gesamtaufbau:* Die Sensoren wurden mittels Jumper-Kabeln und einem Breadboard mit dem Raspberry Pi verbunden. Der Aufbau und die beschriebene Verkabelung der Sensoren mit dem Raspberry Pi ist Abbildung 6 zu sehen.

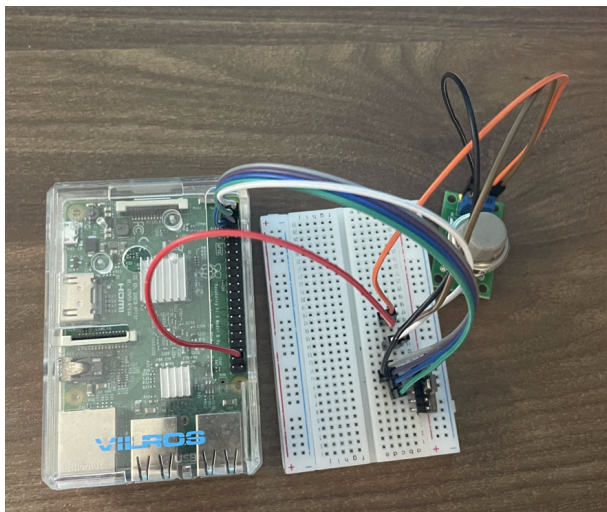


Fig. 6. Verkabelung der Sensoren mit dem Raspberry Pi

## V. EINRICHTUNG RASPBERRY PI

### A. Konfiguration

Die erstmalige Einrichtung eines Raspberry Pi 3B umfasst mehrere Schritte, welche in diesem Kapitel aufgelistet werden. Zunächst eine Auflistung der benötigten und in diesem Projekt verwendeten Komponenten:

- Raspberry Pi 3B
- MicroSD-Karte (mindestens 8 GB)
- Netzteil (5V)
- USB-Tastatur und -Maus
- HDMI-Kabel
- Bildschirm oder Fernseher mit HDMI-Eingang

Wenn das Anschließen von Ein- und Ausgabegeräten an den Raspberry Pi nicht gewünscht oder möglich ist, kann dieser nach der ersten Einrichtung alternativ auch über einen anderen Computer angesteuert werden, entweder per Remote-Desktopverbindung oder per Kommandozeile mit Hilfe des Secure Shell (SSH) Netzwerkprotokolls. [9] Zur erstmaligen Einrichtung muss zunächst das gewünschte Betriebssystem

für den Raspberry Pi heruntergeladen werden, in diesem Fall Raspbian. Hierfür wurde das Program Raspberry Pi Imager von der offiziellen Raspberry Pi Website verwendet, welches die ausgewählte Version des Betriebssystems herunterlädt und diese direkt auf der MicroSD-Karte installiert. Anschließend kann die MicroSD-Karte in den Raspberry Pi eingesetzt und dieser gestartet werden. Für die Einrichtung muss nun lediglich den Anweisungen auf dem Bildschirm gefolgt werden, anschließend kann der Raspberry Pi über die grafische Benutzeroberfläche verwendet oder über Konsole angesteuert werden.

### B. Software und Bibliotheken

Nach der Einrichtung des Raspberry Pi musste zunächst das I2C (Inter-Integrated Circuit) Interface über die raspi-config aktiviert werden. I2C ist ein serieller Kommunikationsbus zur Verbindung von elektronischen Bauteilen über nur zwei Datenleitungen: SDA (Serial Data Line) und SCL (Serial Clock Line). Es ermöglicht die einfache Kommunikation zwischen verschiedenen Geräten wie Mikrocontrollern, Sensoren und Aktoren. Dieser wird vom BME680 Sensor zur Übertragung der Messwerte genutzt. Da für das Abfragen der Sensordaten in diesem Projekt Python verwendet wird, welches bereits standardmäßig mit dem Raspian Betriebssystem mitinstalliert wird, müssen zusätzlich noch einige Bibliotheken installiert werden:

- `python3-smbus`: Ermöglicht die Kommunikation über in I2C-Bus in Python. Es werden Funktionen bereitgestellt I2C-Geräte anzusprechen und Daten zu senden und zu empfangen.
- `i2c-tools`: Wird für die Verwaltung und Diagnose des I2C-Busses verwendet. Dies bietet zusätzliche Funktionalitäten wie das Anzeigen angeschlossener Geräte.
- `adafruit-circuitpython-bme680`:

### C. Datenübertragung

Die Datenübertragung vom Raspberry Pi an die Webanwendung findet über ein Python-Skript statt. Python bietet sich hierbei als Programmiersprache aufgrund der knappen und prägnanten Syntax an und ist außerdem auf dem Betriebssystem des Raspberry Pi vorinstalliert, sodass kein zusätzlicher Aufwand nötig ist, um das Skript zum laufen zu bringen. Ein weiterer Vorteil von Python ist die Plattformunabhängigkeit, wodurch die Datenübertragung ebenfalls auf anderen Betriebssystemen wie Windows, Linux und MacOS problemlos ohne Änderungen ausgeführt werden könnte.

Das Skript dient dazu, die von den Sensoren gemessenen Daten zu erfassen, entsprechend zu formatieren und an die Webanwendung zu senden. Es beginnt mit der Initialisierung und Erkennung der Sensoren. Das Skript versucht, den BME680 Sensor unter der primären I2C-Adresse zu initialisieren. Wird der Sensor erkannt, werden verschiedene Parameter wie Oversampling und Filtergröße konfiguriert, um genaue Messungen zu gewährleisten. Zusätzlich wird der MQ137-Sensor konfiguriert. Der digitale Ausgangspin dieses Sensors wird angesteuert, und es wird überprüft, ob der Sensor betriebsbereit ist. Im nächsten Schritt erfasst das Skript die Sensordaten und



sendet sie per HTTP-Anfrage an die Webanwendung. Hierbei werden die aktuellen Sensorwerte ausgelesen und in ein JSON-Objekt verpackt. Dieses Objekt wird dann über eine vordefinierte Route mit der entsprechenden URL an die Webanwendung gesendet. Das Skript überprüft anschließend, ob die Übertragung erfolgreich war und gibt entsprechend eine Erfolgsmeldung oder eine Fehlermeldung zurück, falls der Raspberry Pi nicht mit dem Internet verbunden, oder die Webanwendung nicht erreichbar ist. Diese Meldungen werden zusammen mit den Sensordaten in einer Log-Datei gespeichert. Ein beispielhafter Log-Eintrag für eine erfolgreiche Datenübertragung ist in Abbildung 7 zu sehen.

```

pi@raspberrypi: ~
GNU nano 7.2 send_data.log

Skript zum Erfassen der Sensordaten und Senden an Webanwendung gestartet
BME680-Sensor erkannt.
MQ137-Sensor erkannt

Erfasste Sensorwerte um 16:30:02
Ammoniak:      22
Luftfeuchtigkeit: 37.667
Temperatur:    28.34

Sensordaten erfolgreich an Webanwendung gesendet

```

Fig. 7. Logeintrag für erfolgreich gesendete Sensordaten

Zum Abschluss werden die verwendeten GPIO-Pins bereinigt, um sicherzustellen, dass keine Ressourcen unnötig belegt bleiben.

Um weitere Ressourcen zu schonen, befindet sich keine Schleife im Skript, welche die Daten alle paar Minuten ausliest und sendet. Stattdessen wird das Skript nach der Ausführung, also der einmaligen Datenübertragung, zunächst beendet. Für die regelmäßige Ausführung des Skripts wird Crontab genutzt.

Crontab ist ein Dienst auf Unix-basierten Betriebssystemen, der es ermöglicht, Aufgaben zu einem bestimmten Zeitplan auszuführen. Es handelt sich um eine Zeitplanungsdatei, die als Crontab-Datei bezeichnet wird und in der definiert wird, wann und wie oft bestimmte Befehle oder Skripte automatisch ausgeführt werden sollen. Die Verwendung von Crontab zur regelmäßigen Ausführung eines Python-Skripts alle paar Minuten bietet mehrere Vorteile, insbesondere in Bezug auf den effizienten Umgang mit Systemressourcen, die einfache Verwaltung und das Debugging sowie die Systemwartung. Ein dauerhaft laufendes Skript verbraucht kontinuierlich Speicher, selbst wenn es inaktiv ist. Crontab startet das Skript nur bei Bedarf, wodurch der Speicherverbrauch erheblich reduziert wird und die Systemressourcen effizienter genutzt werden. Darüber hinaus erleichtert Crontab die Verwaltung und das Debugging. Jedes Mal, wenn das Skript neu startet, beginnt es in einem sauberen Zustand, was die Fehlersuche vereinfacht und die Stabilität erhöht. Fehler oder inkonsistente Zustände, die sich in einem dauerhaft laufenden Skript ansammeln könnten, werden durch den Neustart behoben. Ein weiterer Vorteil ist die automatische Handhabung von Systemwartungen. Während dauerhaft laufende Skripte nach einem Neustart manuell neu gestartet werden müssen, starten Crontab-Jobs

automatisch, was die Wiederherstellung des Betriebs nach Wartung, Updates oder unerwarteten Neustarts erleichtert.

## VI. WEBANWENDUNG

### A. Architektur und Design

### B. Empfangen der Daten

### C. Anbindung einer MYSQL Datenbank

### D. Auslesen und Anzeigen der Sensordaten

Für die Anzeige der Sensordaten in der Webanwendung wurden bestimmte Anforderungen definiert. Zum einen sollten die Daten in einem Liniendiagramm dargestellt werden, und zum anderen sollte die Webanwendung sowohl auf PCs und Laptops als auch auf mobilen Geräten reibungslos funktionieren. Dies erforderte die Nutzung eines responsiven Frameworks wie Bootstrap. Bootstrap wurde gewählt, da es eine breite Palette an vorgefertigten UI-Komponenten und ein responsives Grid-System bietet. Dies ermöglicht eine einfache Integration und schnelle Entwicklung von modernen und benutzerfreundlichen Webseiten, unabhängig vom verwendeten Gerät [6]. Um Bootstrap effektiv zu nutzen, wurden folgende JavaScript-Bibliotheken integriert: jQuery: Diese leistungsstarke Bibliothek unterstützt die Manipulation des DOM und erleichtert AJAX-Interaktionen. In Verbindung mit Bootstrap ermöglicht sie die dynamische Aktualisierung von Inhalten und die Interaktion mit Benutzeroberflächenelementen wie Dropdown-Menüs oder Modalfenstern.

```
<script src="https://code.jquery.com/jquery-3.6.0.min.js"></script>
```

Popper.js: Diese Bibliothek wird verwendet, um Popups, Tooltips und Dropdown-Menüs präzise innerhalb einer Bootstrap-Anwendung zu positionieren. Dies verbessert die Benutzerfreundlichkeit und sorgt für eine optimale Platzierung basierend auf dem verfügbaren Bildschirmraum.

```
<script src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/popper.js@1.16.1/dist/umd/popper.min.js"></script>
```

Bootstrap: Das Bootstrap-Bundle enthält das Haupt-JavaScript von Bootstrap. Dieses Framework bietet Funktionen wie responsives Design, Grid-Systeme und Modalkomponenten, die für die Implementierung des Liniendiagramms und anderer UI-Elemente essentiell sind.

```
<script src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/bootstrap@4.6.2/dist/js/bootstrap.bundle.min.js"></script>
```

Zusammen stellen diese Skript-Links sicher, dass Bootstrap nahtlos in die Webanwendung integriert wird und eine optimale Benutzerinteraktion sowie eine responsive Darstellung auf verschiedenen Geräten gewährleistet ist. Für die Darstellung der Sensordaten in einem Liniendiagramm wurde Chart.js gewählt. Diese Bibliothek bietet eine einfache und flexible Möglichkeit, Daten visuell ansprechend darzustellen. Im Vergleich zu Grafana, das eher für umfangreichere und komplexe

Datenvisualisierungen in großen Systemen verwendet wird [5], ist Chart.js leichter in kleinere Webanwendungen zu integrieren und bietet dennoch ausreichend Funktionalität für die Anforderungen der Sensordatenvisualisierung [3]. Die folgenden Links integrieren Chart.js und das zugehörige Datum-Adapter-Bundle in die Webseite:

```
<script src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/chart.js"></script>
<script src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/chartjs-adapter-date-fns/dist/chartjs-adapter-date-fns.bundle.min.js"></script>
```

Diese Entscheidungen zusammen ermöglichen eine effektive und effiziente Darstellung der Sensordaten in der Webanwendung, optimiert für verschiedene Geräte und Benutzerumgebungen. Nachdem die benötigten Bibliotheken eingebunden wurden, können die Diagramme in der Webanwendung aufgebaut werden. Der HTML-Code in A definiert die Struktur eines Diagramms inklusive dem aktuellen Wert anhand der Temperatur.

Das eigentliche Diagramm wird durch das `<canvas>`-Element mit der ID `lineChartTemperatur` dargestellt. Mit dieser ID kann genau dieses Diagramm bearbeitet werden. Um die Sensordaten für die Temperatur abzurufen, wird AJAX verwendet. AJAX ermöglicht es, Daten asynchron im Hintergrund zu laden, ohne die gesamte Webseite neu zu laden. Der JavaScript-Code in Anhang C zeigt einen Beispielaufruf. Hierbei ist `GetTemperatur` die URL, unter der die Sensordaten abgerufen werden. Hinter dieser URL steckt eine Funktion, die im C#-Code implementiert ist. Diese Funktion ist dafür zuständig, alle Daten aus der Datenbank für einen Zeitraum von einer Woche und einem Tag abzurufen, sie in ein Objekt zu transformieren und dieses an die aufrufende Stelle zurückzusenden. Die empfangenen Daten werden anschließend im Frontend in ein JavaScript-Dictionary (`temperaturWerteTagAktuellDictionary`) umgewandelt, um sie später im Diagramm anzeigen zu können. Die Verwendung von AJAX ist besonders nützlich, da sie eine flüssige Benutzererfahrung ermöglicht, indem Daten im Hintergrund geladen werden, während die Benutzeroberfläche weiterhin interaktiv bleibt. Dies ist wichtig für die dynamische Aktualisierung und Visualisierung von Echtzeitdaten. In der Funktion `createTemperaturDiagramTag` wird das Diagramm erstellt, wobei die Sensordaten entsprechend bearbeitet werden müssen. Der folgende Codeabschnitt ist hierbei von Bedeutung:

```
var dataTemperaturValues =
parseDictionary(labels, dataValues);
```

`dataTemperaturValues` enthält die Datenpaare, die später im Diagramm angezeigt werden. Um sicherzustellen, dass diese korrekt dargestellt werden, müssen die Daten zunächst in das richtige Format gebracht werden. Die Funktion `parseDictionary` wandelt beispielsweise einzelne Temperaturwerte von 23,45 in 23.45 um, da Chart.js nicht mit

Kommazahlen umgehen kann. Ebenso müssen die Labels, also die Zeitstempel, angepasst werden.

Sobald die Daten korrekt bearbeitet wurden, kann das Diagramm aufgebaut werden. Der Code wurde exemplarisch für das Diagramm in Anhang D hinterlegt.

Mit diesem Code wird das Diagramm konfiguriert und angezeigt. Dabei wird ein Liniendiagramm erstellt, das die aktuellen Temperaturwerte sowie eine festgelegte Temperaturgrenze darstellt. Die X-Achse ist als Zeitachse konfiguriert, die die Daten nach Stunden darstellt, während die Y-Achse die Temperatur in Grad Celsius anzeigt. Dieses Vorgehen wird ebenfalls für die Anzeige der Daten der letzten sieben Tage verwendet, wobei die entsprechenden Daten und Labels ebenfalls angepasst werden.

## E. Benutzeroberfläche

Oben auf der Seite befindet sich der Titel "SmartStall", der den Titel des Projekts kennzeichnet. Direkt darunter sind zwei Schalter platziert: Mit dem Schalter "Benachrichtigung" können Benachrichtigungen aktiviert oder deaktiviert werden. Bei Aktivierung werden Benachrichtigungen über Telegram gesendet, wenn die Messwerte bestimmte Grenzwerte überschreiten. Der Schalter "Belüftung" dient dazu, die automatische Belüftung ein- oder auszuschalten. Wenn dieser Schalter aktiviert ist, schaltet sich die Belüftung automatisch ein, sobald die Messwerte über die festgelegten Grenzwerte steigen.

Die Webanwendung umfasst drei Hauptsektionen zur Überwachung der Luftqualität: Ammoniak, Luftfeuchtigkeit und Temperatur. Jede dieser Sektionen enthält ein interaktives Diagramm, das die Messwerte über einen Tages- oder Wochenverlauf anzeigt, je nach gewählter Ansicht ("Tag" oder "Woche") und alle 3 Minuten aktualisiert wird. Die Diagramme haben eine x-Achse, die die Zeit über den Tag hinweg darstellt, und eine y-Achse, die die gemessenen Werte wie Ammoniakkonzentration in ppm (parts per million), Luftfeuchtigkeit in Prozent oder Temperatur in Grad Celsius zeigt. Eine schwarze Linie stellt die aktuellen Messwerte dar, während eine rote Linie die festgelegten Grenzwerte anzeigt.

Neben jedem Diagramm wird der aktuelle Messwert groß und deutlich angezeigt. Dieser Wert ist grün hinterlegt, wenn er unterhalb der festgelegten Grenzwerte liegt, und rot hinterlegt, wenn er die Grenzwerte überschreitet. Dies ermöglicht den Benutzern, die aktuellen Bedingungen im Stall schnell zu erkennen. Die strukturierte Gestaltung des Interface stellt sicher, dass alle wichtigen Informationen auf einen Blick verfügbar sind und einfach verwaltet werden können.

Das Userinterface kann dem Anhang B für den PC und der Abbildung 8 für das Handy entnommen werden entnommen werden.

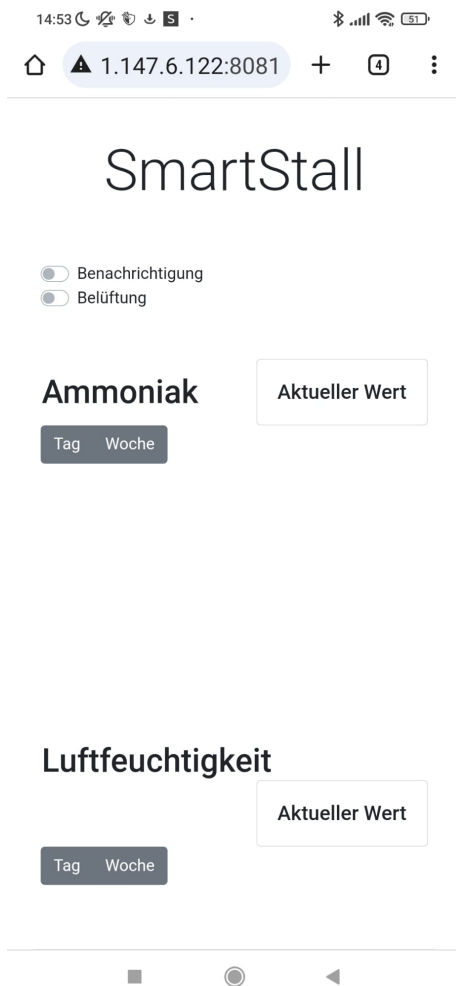


Fig. 8. Userinterface auf dem Smartphone

Auf einem Handy kann die Webanwendung zusätzlich durch die Einstellung "Zum Startbildschirm hinzufügen" im Browser an den Bildschirm angeheftet werden. Das für SmartStall entworfene Icon enthält die Initialen "ST" sowie Abbildungen eines Schweins, einer Kuh und eines Huhns. Unter diesem Logo, das in Abbildung 9 zu sehen ist, wird die Webanwendung auf dem Handy sichtbar und kann wie eine App verwendet werden.

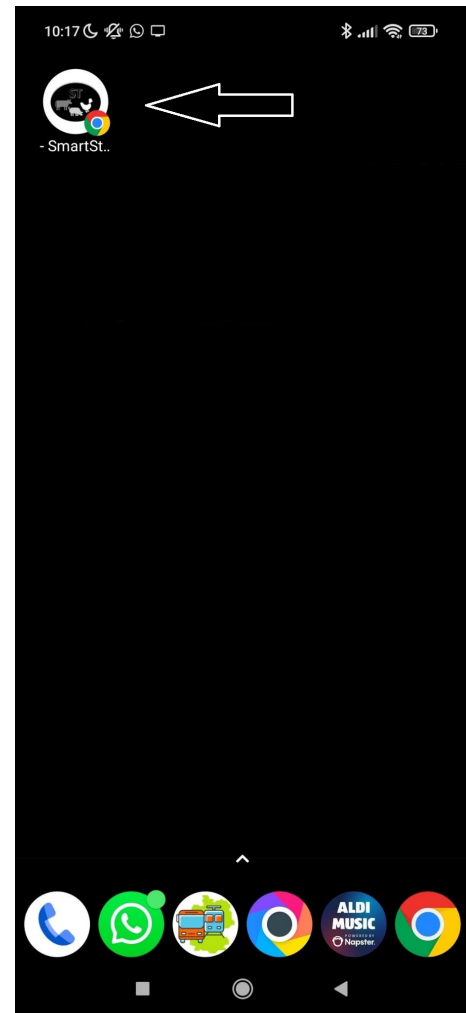


Fig. 9. Speichern der Webanwendung auf dem Startbildschirm des Smartphones, wodurch diese als App bedienbar ist

#### F. Telegram Anbindung

Die Benachrichtigung per Telegram wird ausgelöst, wenn ein bestimmter Wert, wie beispielsweise die Temperatur, einen definierten Schwellenwert überschreitet. Telegram bietet sich aus mehreren Gründen hervorragend an, um Nachrichten in diesem Szenario zu versenden. Zum einen ist Telegram eine weit verbreitete Messaging-App, die auf verschiedenen Plattformen wie Android, iOS, Windows, macOS und im Web verfügbar ist. Das bedeutet, dass der Landwirt die Benachrichtigungen auf seinem Smartphone, Tablet oder Computer empfangen kann, unabhängig davon, welches Gerät er verwendet. Außerdem unterstützt Telegram Push-Benachrichtigungen, die in Echtzeit gesendet werden. Ein weiterer Vorteil ist die einfache Implementierung. Telegram bietet eine API, die es Entwicklern ermöglicht, automatisierte Nachrichten einfach und effizient zu versenden. Darüber hinaus legt Telegram großen Wert auf Datenschutz und Sicherheit. Nachrichten werden verschlüsselt gesendet, was bedeutet, dass nur der Landwirt und die von ihm autorisierten Personen Zugriff auf die Informationen haben. Dies ist besonders wichtig,

um sicherzustellen, dass sensible Daten nicht in die falschen Hände geraten. Ein weiterer Pluspunkt ist die Kosteneffizienz: Telegram ist kostenlos nutzbar und erfordert keine zusätzlichen Kosten für den Versand von Nachrichten [10]. In diesem Projekt enthält die Nachricht den aktuellen Wert und eine Warnung, dass dieser zu hoch ist. Entscheidet sich der Landwirt, die automatische Steuerung abzuschalten, erhält er zusätzlich eine Mitteilung darüber, dass die Belüftung ausgeschaltet ist und er diese nun manuell steuern muss. Der folgende Code wird verwendet, um eine Telegram-Nachricht zu verschicken:

```
string botToken =
"6076806213:AAEXa-EkyOE9ImDtQO9BmwXtMOMP
NgCIjI";
string chatId = "-4018396712";
string nachricht = message;
string apiUrl = $"https://api.telegram.org
/bot{botToken}/sendMessage";
using(HttpClient client = new HttpClient())
{
    var content = new StringContent(
        $"chat_id={chatId}&text={nachricht}",
        Encoding.UTF8,
        "application/x-www-form-urlencoded");
    HttpResponseMessage response =
        await client.PostAsync(apiUrl, content);
}
```

In diesem Code werden zunächst die botToken und die chatId definiert. Das botToken ist der eindeutige Schlüssel, der den Bot bei Telegram authentifiziert, während die chatId die Identifikation des Chat-Kanals darstellt, in den die Nachricht gesendet wird. Die Nachricht selbst wird in der Variable nachricht gespeichert. Die URL der Telegram-API, die für das Senden von Nachrichten verwendet wird, wird in der Variable apiUrl gespeichert. Mit einem HttpClient wird eine HTTP-Post-Anfrage an diese URL gesendet. Dabei wird die Nachricht in einem Formular mit dem entsprechenden Chat-ID und dem Textinhalt als application/x-www-form-urlencoded kodiert und im Body der Anfrage übermittelt. Der Server antwortet daraufhin mit einem HttpResponseMessage, die den Erfolg oder Misserfolg der Anfrage dokumentiert.

#### G. Ansteuerung der Steckdose

Um die Belüftung zu steuern, ist es notwendig, eine WLAN-Steckdose zu integrieren, die mittels einer POST-Anfrage ein- oder ausgeschaltet werden kann. Zunächst muss die Steckdose mit dem WLAN verbunden werden. Dies erfolgt, indem die Steckdose an eine Stromquelle angeschlossen wird. Daraufhin erzeugt sie ein eigenes WLAN, mit dem sich mittels PC, Laptop oder Smartphone verbunden werden muss. Sobald die Verbindung hergestellt ist, öffnet sich eine Benutzeroberfläche, in der das WLAN und das zugehörige Passwort eingegeben werden. Nach einem Neustart verbindet sich die WLAN-Steckdose mit dem angegebenen Netzwerk. Ist die Steckdose erfolgreich eingerichtet, kann sie entweder über das User Interface oder einen POST-Befehl im lokalen

Netzwerk gesteuert werden. Beispielsweise kann folgende URL verwendet werden, um die Steckdose einzuschalten: <http://localhost/cm?cmd=Power%20On>. Diese URL funktioniert jedoch nur innerhalb des eigenen Netzwerks [4].

1) *Dyndns*: Um die Steckdose auch außerhalb des eigenen Netzwerks steuern zu können, sind zusätzliche Schritte erforderlich, wie die Einrichtung von DynDNS und die Konfiguration der Portfreigabe. DynDNS (Dynamic Domain Name System) ermöglicht den Zugriff auf das Heimnetzwerk über das Internet, indem eine dynamische IP-Adresse in eine statische Domain umgewandelt wird. Dies erfolgt durch Registrierung bei einem DynDNS-Anbieter (in diesem Projekt der Anbieter dyndnsfree) und die Konfiguration des Dienstes auf dem Router, um eine Domain zu erstellen, die auf die dynamische IP-Adresse verweist [1].

2) *Portfreigabe*: Für die Portfreigabe muss man sich in die Benutzeroberfläche des Routers einloggen und die Einstellungen für die Portweiterleitung suchen. Hier wird eine Regel hinzugefügt, die den Port (in diesem Projekt der Port 80), über den die WLAN-Steckdose kommuniziert, an deren lokale IP-Adresse weiterleitet [2]. Durch diese Konfiguration wird die Steckdose über das Internet erreichbar und kann entsprechend gesteuert werden. Die URL zur Steuerung sieht dann so aus: <http://wlansteckdose.dnsuser.de/cm?cmd=Power%20On>

## VII. TEST DES GESAMTEN SYSTEMAUFBAUS

Im Folgenden werden zwei Tests unterschieden: ein Test, bei dem die Webanwendung lokal auf dem Rechner läuft, und ein finaler Test des gesamten Systems.

Für den Test der lokalen Webanwendung musste zunächst ein Python-Skript erstellt werden, das regelmäßig Daten in die Testdatenbank schreibt. Da der Raspberry Pi die Sensordaten nur in die produktive Datenbank schreibt, die sich auf dem Server befindet und somit für die lokale Anwendung nicht zugänglich ist, musste das Senden der Sensordaten simuliert werden. Das Python-Skript verbindet sich mit der Testdatenbank und schreibt minütlich Daten für Ammoniak, Temperatur und Luftfeuchtigkeit, jeweils mit Zeitstempel, in die Datenbank. Dabei wurden Grenzen definiert, innerhalb derer sich die Daten befinden dürfen: Ammoniak zwischen 15 und 25, Temperatur zwischen 20 und 28, und Luftfeuchtigkeit zwischen 50 und 65.

Die Webanwendung wurde lokal getestet. Dabei wurden beide Schalter für Benachrichtigung und Belüftung eingeschaltet und überprüft, ob diese gemäß der eingebauten Logik arbeiten und die Diagramme mit den entsprechenden Werten aktualisiert werden. Anschließend wurde der Schalter für die Belüftung ausgeschaltet und überprüft, ob eine Nachricht gesendet wird, die darüber informiert, dass die Belüftung ausgeschaltet ist und manuell gesteuert werden muss. Der lokale Test war erfolgreich.

Der Test für die produktive Webanwendung verlief ähnlich. Zunächst wurde geprüft, ob der Raspberry Pi die Sensordaten mit dem korrekten Zeitstempel in die Datenbank schreibt.



Dazu wurde eine Logdatei erstellt, mit der überprüft werden kann, welche Daten wann in die Datenbank geschrieben wurden, wie in Abbildung 10 zu sehen ist.

```

pi@raspberrypi: ~
GNU nano 7.2 send_data.log

Skript zum Erfassen der Sensordaten und Senden an Webanwendung gestartet
BME680-Sensor erkannt.
MQ137-Sensor erkannt

Erfasste Sensorwerte um 16:30:02
Ammoniak:      22
Luftfeuchtigkeit: 37.667
Temperatur:    28.34

Sensordaten erfolgreich an Webanwendung gesendet

```

Fig. 10. Logfile zum Testen, ob Daten erfolgreich und korrekt in die Datenbank geschrieben wurden

Anschließend wurde überprüft, ob die Daten korrekt in der Webanwendung visualisiert werden. Wie im lokalen Test wurden die Schalter für Benachrichtigung und Belüftung eingeschaltet. Die Sensoren wurden mit einem Föhn beheizt. Ein deutlicher Anstieg der Temperatur konnte über die Webanwendung erfasst werden, wie in Abbildung 11 zu sehen ist.

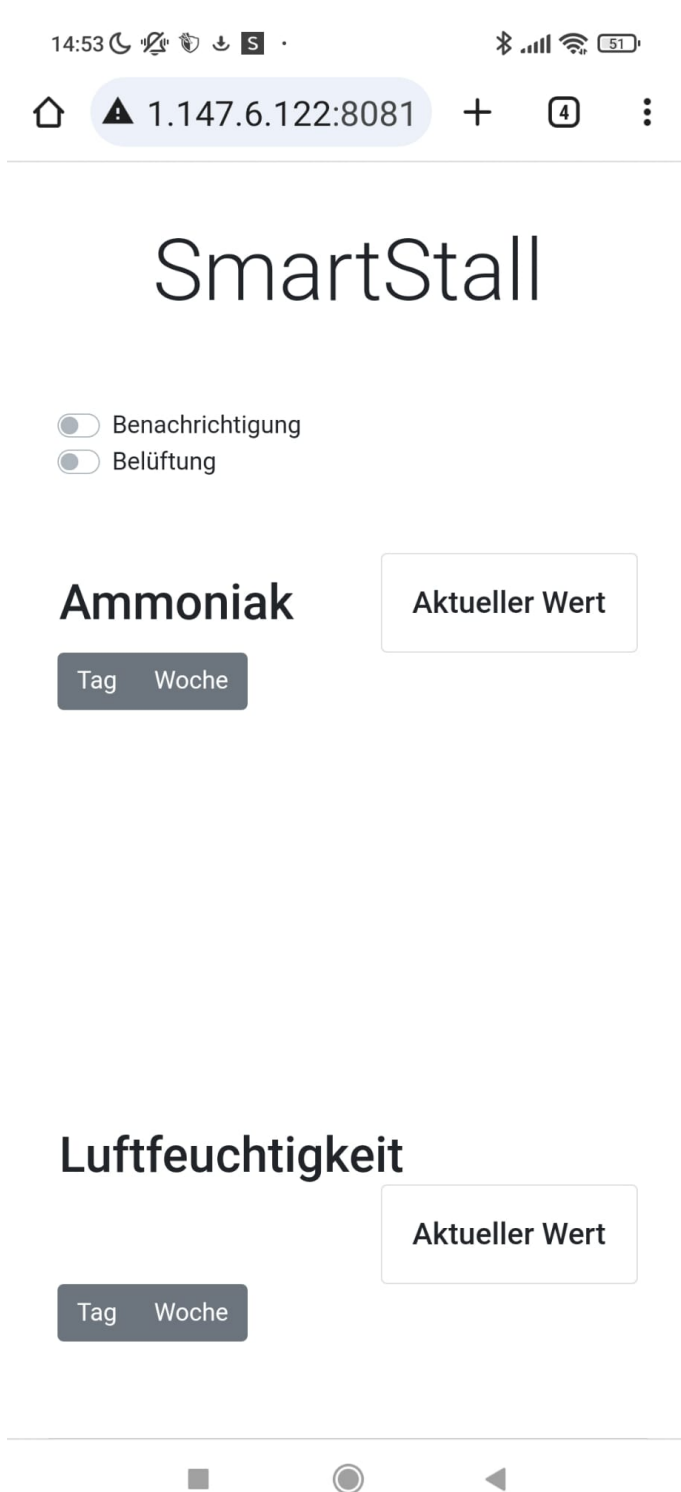


Fig. 11. Visualisierung des Temperaturanstiegs in der Webanwendung

Die Temperaturwerte lagen dementsprechend über der festgelegten Grenze von 25. Die Benachrichtigung wurde korrekt gesendet und die WLAN-Steckdose eingeschaltet. Anschließend wurde der Schalter für die Belüftung ausgeschaltet und überprüft, ob eine Nachricht gesendet wird, die darüber

informiert, dass die Belüftung ausgeschaltet ist und manuell gesteuert werden muss. Nachdem die Temperaturwerte sanken und alle Werte unter der Grenze lagen, schaltete sich die WLAN-Steckdose automatisch aus. Der produktive Test war ebenfalls erfolgreich.

## VIII. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Um das Projekt "SmartStall" in Zukunft weiter auszubauen, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Ein Vorteil wäre es, die Luftqualität nicht nur an einem Punkt, sondern an mehreren Stellen im Stall zu messen, da die Luftqualität in einem großen Stall an verschiedenen Punkten unterschiedlich sein kann. Mehrere Sensoren könnten im Stall installiert werden, um einen detaillierteren Einblick in die Luftqualität zu erhalten. Entsprechend könnte auch die Belüftung nur in bestimmten Bereichen des Stalls aktiviert werden. Falls mehrere Sensoren verbaut werden, könnte das Userinterface umgestaltet werden, sodass der Landwirt sehen kann, an welchen Punkten im Stall die Luftqualität schlecht ist.

Ein weiterer Aspekt zur Verbesserung des Projekts ist der Ausbau der Datenbank. Wenn "SmartStall" von mehreren Bauern genutzt wird, ist es sinnvoll, Nutzerdaten in der Datenbank zu hinterlegen, inklusive Logindaten. Für jeden Nutzer könnten auch individuelle Parameter wie die Grenzwerte hinterlegt werden. Dadurch besteht die Möglichkeit, ein individuelles Dashboard basierend auf den Daten aus der Datenbank zu erstellen.

Zwei weitere Punkte betreffen den Ausbau der Funktionen, die dem Landwirt in der Webanwendung zur Verfügung stehen. Zum einen könnte eine Einstellungsseite hinzugefügt werden, auf der der Landwirt selbst die Grenzwerte für verschiedene Luftqualitätsdaten festlegen kann. Zum anderen wäre es möglich, dass der Landwirt auf Benachrichtigungen über eine Schwellwertüberschreitung in Telegram antworten und auf diesem Weg die Belüftung anschalten kann. Dies könnte jedoch dazu führen, dass einige Landwirte, die keinen technologischen Hintergrund haben, sich überfordert fühlen.

Insgesamt bietet "SmartStall" viel Potenzial für den weiteren Ausbau des Projekts und ermöglicht es Landwirten, die Belüftung ihres Stalls mit IoT-Technologie zu überwachen und zu steuern.

## REFERENCES

- [1] AVM Foundation, "Dynamic DNS in FRITZ!Box einrichten", Online. Verfügbar unter: [https://avm.de/service/wissensdatenbank/dok/FRITZ-Box-7590/30\\_Dynamic-DNS-in-FRITZ-Box-einrichten/](https://avm.de/service/wissensdatenbank/dok/FRITZ-Box-7590/30_Dynamic-DNS-in-FRITZ-Box-einrichten/). [Zugriffsdatum: 05. Juli 2024].
- [2] AVM Foundation, "Portfreigabe in FRITZ!Box einrichten", Online. Verfügbar unter: [https://avm.de/service/wissensdatenbank/dok/FRITZ-Box-7490/34\\_Portfreigaben-in-FRITZ-Box-einrichten/](https://avm.de/service/wissensdatenbank/dok/FRITZ-Box-7490/34_Portfreigaben-in-FRITZ-Box-einrichten/). [Zugriffsdatum: 05. Juli 2024].
- [3] Chart.js, "Line Chart", Online. Verfügbar unter: <https://www.chartjs.org/docs/latest/charts/line.html>. [Zugriffsdatum: 05. Juli 2024].
- [4] Delock, "Wlan Power Socket Switch", Online. Verfügbar unter: <https://www.delock.de/files/71415.download>. [Zugriffsdatum: 05. Juli 2024].
- [5] Grafana Labs, "Grafana documentation", Online. Verfügbar unter: <https://grafana.com/docs/grafana/latest/>. [Zugriffsdatum: 05. Juli 2024].
- [6] JavaScript Bootstrap, "Get started with Bootstrap", Online. Verfügbar unter: <https://getbootstrap.com/docs/5.3/getting-started/introduction/>. [Zugriffsdatum: 05. Juli 2024].
- [7] Joy-It, "BME680", Online. Verfügbar unter: <https://joy-it.net/de/products/SEN-BME680>. [Zugriffsdatum: 10. Juli 2023].
- [8] Laub-Home Wiki, "Raspberry Pi BME680 Gas Sensor", Online. Verfügbar unter: [https://www.laub-home.de/wiki/Raspberry\\_Pi\\_BME680\\_Gas\\_Sensor](https://www.laub-home.de/wiki/Raspberry_Pi_BME680_Gas_Sensor). [Zugriffsdatum: 12. Juli 2023].
- [9] Raspberry Pi Foundation, "Raspberry Pi", Online. Verfügbar unter: <https://www.raspberrypi.com>. [Zugriffsdatum: 10. Juli 2023].
- [10] Telegram Foundation, "Telegram APIs", Online. Verfügbar unter: <https://core.telegram.org/>. [Zugriffsdatum: 05. Juli 2024].

APPENDIX A  
HTML-CODE FÜR DIGRAMMABSCHNITT

```
<div class="container mt-5">
  <div class="row align-items-center">
    <div class="col-auto">
      <h2 class="mb-0 align-self-center">Temperatur</h2>
    </div>
    <div class="col-auto ml-auto">
      <div class="card text-center">
        <div class="card-body">
          <h5 class="card-title" style="margin-bottom: 0;">Aktueller Wert</h5>
          <p class="card-text display-4" id="wertTemperatur"></p>
        </div>
      </div>
    </div>
  </div>
</div>

<div class="btn-group ml-3" role="group" aria-label="Chart View">
  <button id="tagBtnTemperatur" type="button" class="btn btn-secondary">Tag</button>
  <button id="wocheBtnTemperatur" type="button" class="btn btn-secondary">Woche</button>
</div>
<canvas id="lineChartTemperatur"></canvas>
```

# SmartStall

- ☐ Benachrichtigung
- ☐ Belüftung

Ammoniak

Aktueller Wert

Tag Woche

Luftfeuchtigkeit

Aktueller Wert

Tag Woche

Temperatur

Aktueller Wert

Tag Woche

## APPENDIX C

### AJAX-AUFRUF, UM SENSORDATEN ASYNCHRON ZU LADEN

```
function buildAmmoniakDiagramTag() {
    $.ajax({
        url: 'GetAmmoniak',
        type: 'GET',
        dataType: 'json',
        success: function (data) {
            var ammoniakWerteTagAktuellDictionary = {};

            for (var key in data.ammoniakWerteTagAktuell) {
                if (data.ammoniakWerteTagAktuell.hasOwnProperty(key)) {
                    ammoniakWerteTagAktuellDictionary[key] = data.ammoniakWerteTagAktuell[key];
                }
            }

            createAmmoniakDiagramTag(ammoniakWerteTagAktuellDictionary);
        },
        error: function (error) {
            console.error('Fehler beim Abrufen der Daten:', error);
        }
    });
};
```



APPENDIX D  
JAVA-SCRIPTCODE ZUM AUFBAU EINES DIAGRAMMS

```
dataTemperatur = {
  datasets: [
    {
      label: "Temperatur-Aktuell",
      data: dataTemperaturValues,
      fill: true,
      borderColor: "rgb(13, 13, 13)",
      tension: 0.2
    },
    {
      label: "Temperaturgrenze",
      data: [
        { x: minDay, y: 25 },
        { x: maxDay, y: 25 },
      ],
      fill: true,
      borderColor: "rgb(240, 2, 2)",
      tension: 0.1
    }
  ]
};

optionsTemperatur = {
  responsive: true,
  scales: {
    x: {
      type: 'time',
      time: {
        unit: 'day'
      },
      min: minDay,
      max: maxDay,
      title: {
        display: true,
        text: 'Tag'
      },
    },
    y: {
      suggestedMin: 5,
      suggestedMax: 30,
      title: {
        display: true,
        text: 'Temperatur Grad Celsius'
      }
    }
  }
};

lineChartTemperatur = new Chart($("#lineChartTemperatur"), {
  type: "line",
  data: dataTemperatur,
  options: optionsTemperatur
});
```