

Pflichtenheft

Smarte Gartenbewässerung über LoRaWAN

Mitarbeiter und Autoren:

- Rami Hammouda
- Khac Hoa Le
- Jaro Machnow

Versionshistorie

Version	Datum	Verantwortlich	Änderung
1.0	05.05.2021	Jaro Machnow	Dokumenterstellung
1.1	10.05.2021	Alle	Erstentwurf aller Inhalte
1.2	16.05.2021	Alle	Vervollständigung aller Inhalte
1.3	19.05.2021	Jaro Machnow	Fertigstellung

Inhaltsverzeichnis

1. Vorhandene Dokumente	3
2. Überblick	3
3. Hauptziele	4
4. Annahmen und Abgrenzungen	5
5. Workflow	6
6. Funktionalität	8
6.1 Überblick	8
6.2 Daten über TTN empfangen	9
6.3 Daten über TTN senden	10
6.4 Sensorwerte auslesen	11
6.5 Fehlermeldungen auslesen	14
6.6 Wasserfluss regeln	16
6.7 Autonome Bewässerung	18
6.8 Wartung/Komponenten austauschen	19
8. Materialliste	20

1. Vorhandene Dokumente

Tabelle 1: Vohandene Dokumente

Dokument	Autor(en)	Datum
Lastenheft	Rami Hammouda, Khac Hoa Le, Jaro Machnow	28.04.2021
Lastenheft + Kommentare	+ Prof. Dr. Mohammad Abuosba	30.04.2021
Anforderung-Email	Holger Martin	10.04.2021

2. Überblick

Ausgehend von dem Dokument *Lastenheft-Gartenbewässerung_abu.pdf* werden folgende Anforderungen in diesem Projekt umgesetzt:

Es wird eine smarte und möglichst preisgünstige und überwachte Bewässerung von Beeten per Netzwerksteuerung gebaut. Die Netzwerksteuerung erfolgt über das *The-Things-Network* (TTN), das auf dem *Long Range Wide Area Network* (LoRaWAN) basiert. Im Urban Garden wird ein Mikrocontroller verbaut, an dem verschiedene Sensoren und Aktoren angeschlossen sind. Zu den Sensoren gehören: Wasserdrucksensor, Wasserdurchflusssensor, Wasserstandssensor für den Wassertank und Bodenfeuchtesensoren. Zu den Aktoren gehören: Pumpe und Magnetventil.

Mit Hilfe einer LoRaWAN-Antenne werden die Daten der Sensoren vom Urban Garden aus in das Netzwerk gesendet und können durch den MQTT-Client *MQTT.fx* auf einem entfernten Computer ausgelesen werden. Zusätzlich können diese Daten auch als Visualisierung auf *OpenSenseMap.org* angesehen werden. Des Weiteren können auch Daten zur Steuerung der Aktoren über MQTT.fx an den Mikrocontroller im Urban Garden gesendet werden. So ist eine gezielte Steuerung der Aktoren möglich.

Alle Komponenten der Bewässerung, wozu alle Sensoren und Aktoren sowie zusätzlich Schläuche und benötigte Verbindungsstücke und Halter und natürlich die Tropfer gehören, werden in einer sinnvollen Reihenfolge und sicher miteinander verbunden. So können Fehler erkannt und behandelt werden und der Nutzer informiert werden.

Außerdem werden Mechanismen zur automatischen Bewässerung und Fehlerbehandlung eingebaut. Dazu gehören vor allem das Abschalten des Wasserflusses im Falle eines Lecks und das eigenständige Starten der Bewässerung beim Erreichen einer bestimmten Bodenfeuchte.

Für alle eingebauten Komponenten und Funktionen gilt der Grundsatz, dass das System in Zukunft leicht modular erweitert werden kann.

3. Hauptziele

Tabelle 2: Hauptziele des Projekts

Nr.	Ziel	Beschreibung der Implementation
1	Daten über TTN senden und Empfangen	Mikrocontroller, LoRaWAN, MQTT.fx
2	Sensorwerte auslesen	Sensoren, OpenSenseMap
3	Aktoren gezielt steuern	Aktoren
4	Automatisierungen bei bestimmten Sensorwerten	Mikrocontroller
5	Erfahrungen sammeln und Grundlagen für weitere Projekte schaffen	

4. Annahmen und Abgrenzungen

Tabelle 3: fachliche und technische Annahmen für das Projekt

Nr.	Annahmen
1	12 V und maximal 8 A stehen von einer Solaranlage zur Verfügung
2	LoRaWAN ist vorhanden
3	Zwei Beete mit je 4 m ² stehen für Experimente zur Verfügung
4	500 l Wassertank ist vorhanden

Tabelle 4: Abgrenzungen für das Projekt (das wird nicht gemacht)

Nr.	Abgrenzungen
1	Komplett eigene entwickelte App oder Weboberfläche zur Überwachung und Steuerung wird nicht programmiert, jedoch wird Anwendung zur Steuerung mittels bestehenden Möglichkeiten umgesetzt (z. B. Opensense)
2	Autonome Bewässerung ans Wetter angepasst (z. B. wenn es am nächsten Tag regnen soll, wird nicht automatische bewässert) wird nicht umgesetzt, aber Bewässerung je nach Bodenfeuchte wird umgesetzt.

5. Workflow

Graphische Einbindung der Workflows

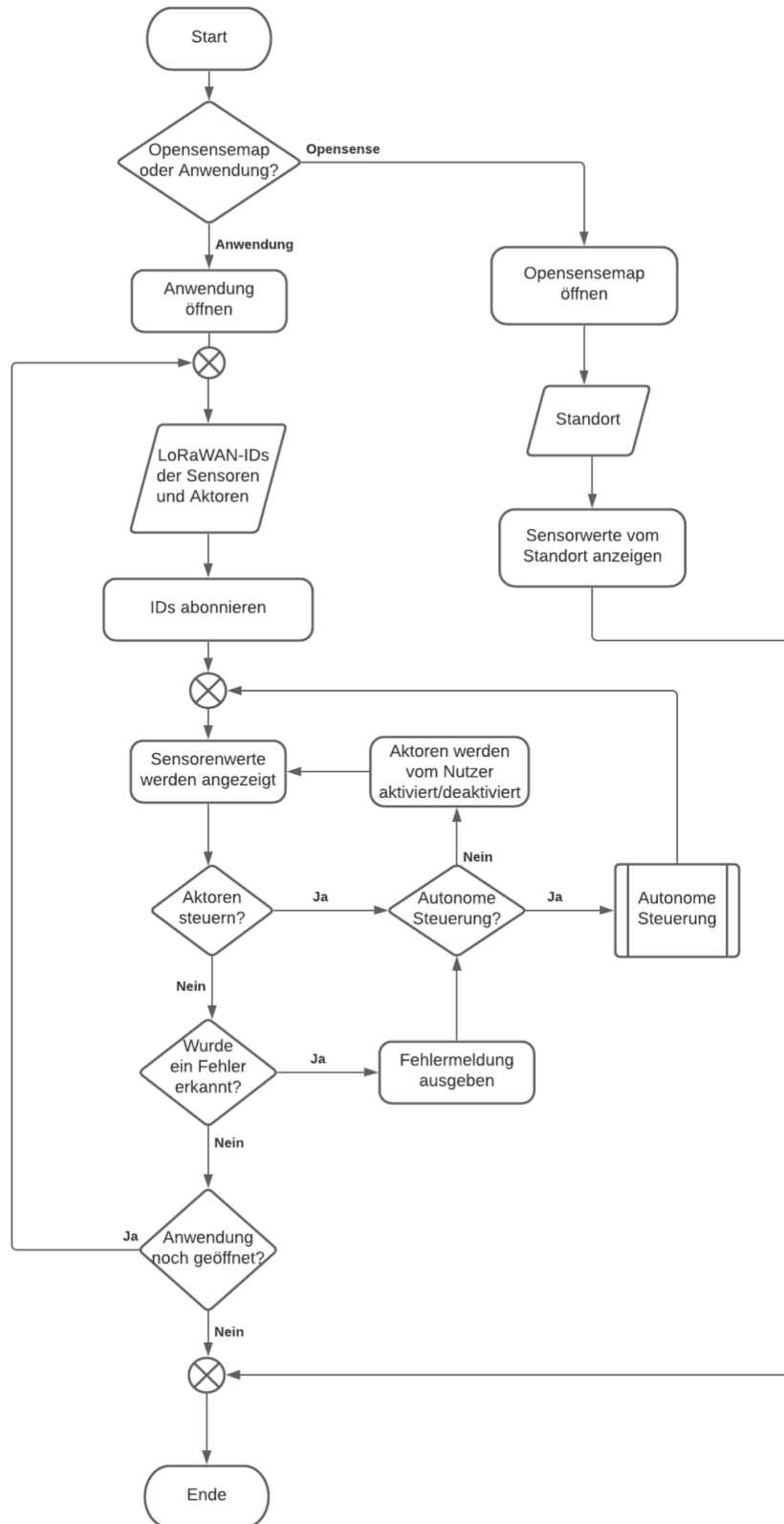


Abbildung 1: Workflow Bewässerungssteuerung

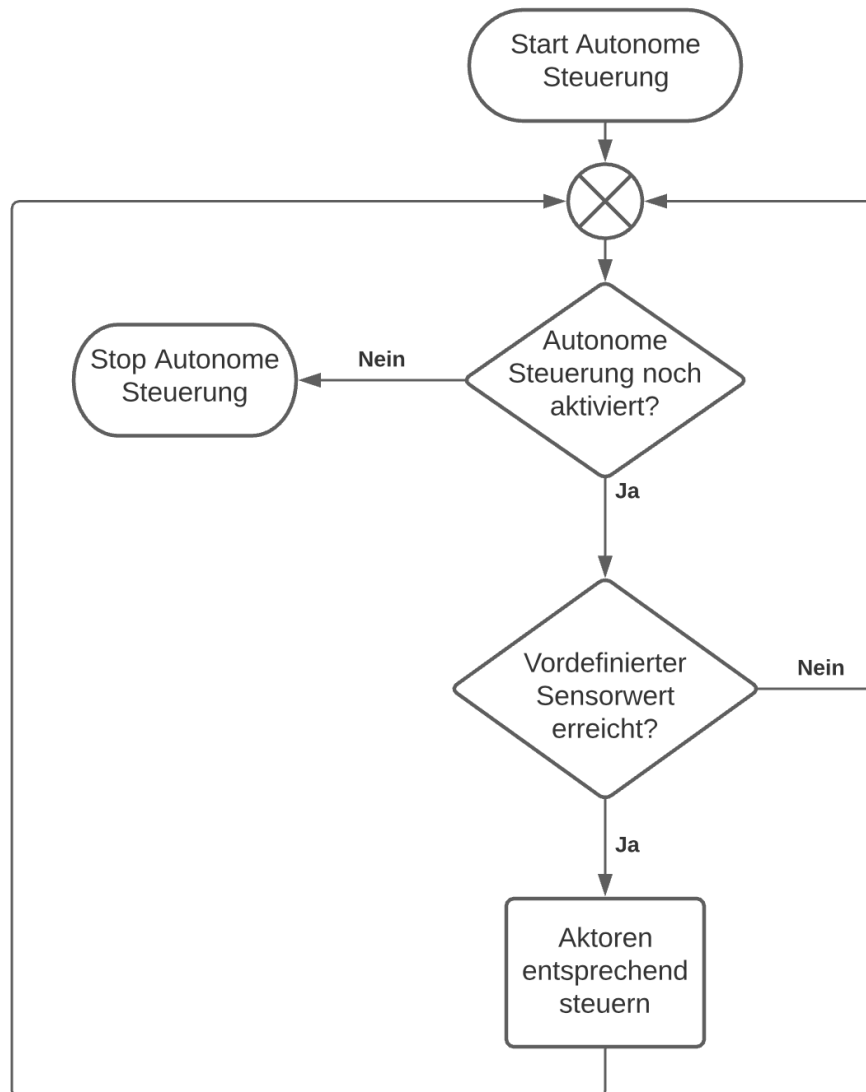


Abbildung 2: Workflow Autonome Bewässerung

6. Funktionalität

6.1 Überblick

Der Nutzer hat die Möglichkeit das Bewässerungssystem über eine Anwendung zu steuern und auszulesen. Zusätzlich kann der sich die Sensorwerte in der Opensensemap anschauen. Sowohl die Anwendung als auch Opensense sind mit TTN verknüpft. Der Nutzer hat demnach die Möglichkeit Daten über TTN zu versenden (6.3) und Daten über TTN zu empfangen (6.2).

Über die Anwendung kann der Nutzer Sensoren per Eingabe der entsprechenden ID abonnieren. Diese erscheinen dann im "Dashboard" des Nutzers und er kann jederzeit die zuletzt empfangenen Sensordaten einsehen (6.4).

Außerdem kann der Nutzer die Aktoren ebenfalls mit Eingabe der entsprechenden ID abonnieren und hat dadurch die Möglichkeit den Wasserfluss im Bewässerungssystem zu regeln (6.6).

Des Weiteren erscheinen in der Benutzeroberfläche Fehlermeldungen, falls ein Fehler bei der Bewässerung auftritt (6.5). Fehler werden automatisch vom System erkannt und der Nutzer kann dann entsprechend auf die Fehler reagieren und Anpassungen vornehmen.

Allerdings hat der Nutzer auch die Möglichkeit die Autonome Bewässerung (6.7) zu aktivieren. Dadurch korrigiert das System eigenständig Fehler bzw. reagiert auf die Fehler mit entsprechenden Aktoren-Maßnahmen.

Falls eine Komponente ausfällt oder kaputt geht oder eine neue Komponente im System gewünscht ist, kann ein geschulter Nutzer bzw. Wartungsarbeiter diese Komponente leicht austauschen oder Wartungsarbeiten durchführen (6.8).

Nachfolgendes Use-Case-Diagramm stellt die grundlegenden Anwendungsfälle graphisch dar.

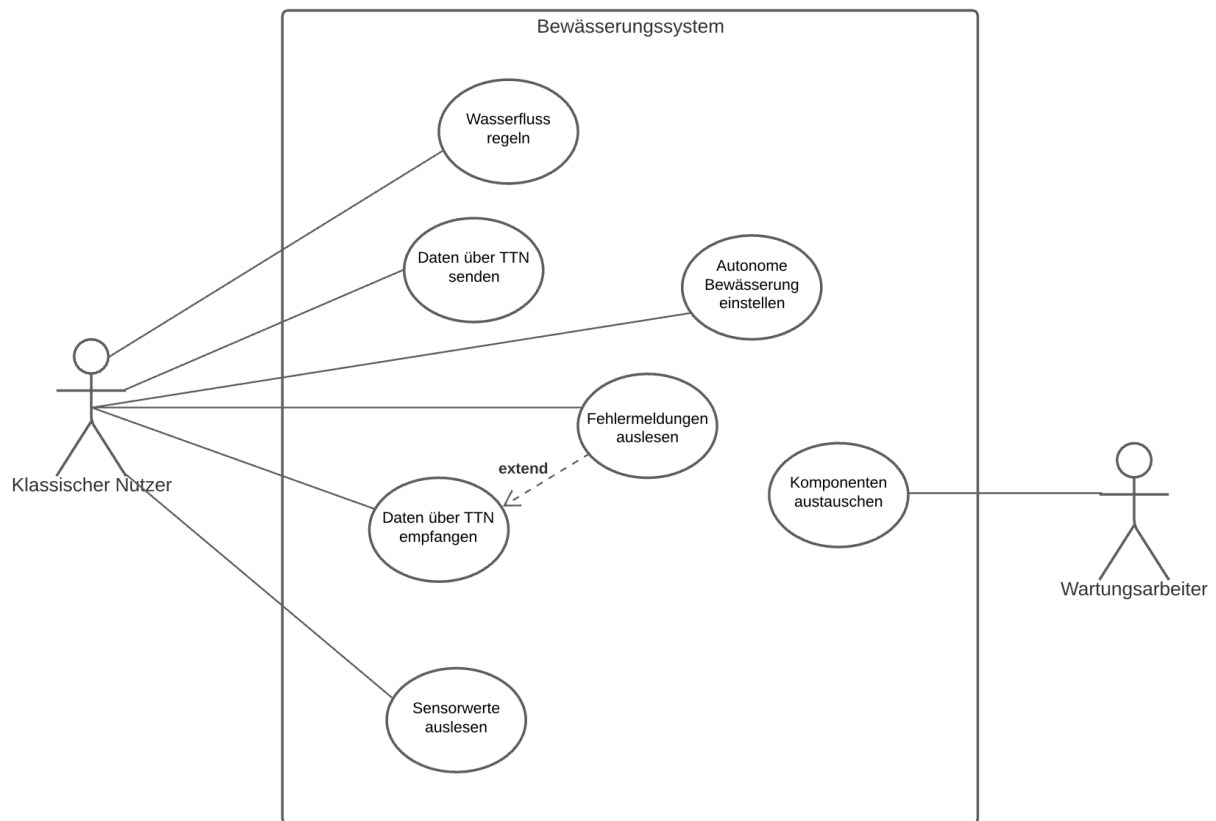


Abbildung 3: Use-Case-Diagramm

6.2 Daten über TTN empfangen

Tabelle 5: Daten über TTN empfangen

Zweck/Ziel	Mit dieser Funktion soll der Nutzer Daten aus dem TTN empfangen können.
Akteur/Auslöser	User
Vorbedingung	<ul style="list-style-type: none"> - Verbindung zum Internet - Kenntnis über die ID des im TTN verknüpften Gerätes
Daten-Input	Messdaten der Sensoren aus dem Urban Garden
Verarbeitungsschritte	Messdaten von Mikrocontroller mithilfe von Lora Antena durch Radio Frequency (868 Mhz in EU) verschickt, dann überleiten Gateway diesen Signal durch Internetverbindung zur ein MQTT-Broker (hier TTN).
Ergebnis	Messdaten werden durch ein MQTT-Client angezeigt
Plausibilitäten	hohe Genauigkeit, zuverlässig, Datenrate ist von 0.3 kbps bis 5.5 kbps (bei TTN ist maximal 30 Sekunden Time-On-Air (ToA)/AirTime eingeschränkt)
Fehlerbehandlung	Die Korrektur des Signals erfolgt mit Hilfe von Forward Error Correction Mechanismen, falls ein Fehler auftritt.
Anforderung	FA-02, FA-03, TA-01,NF-01
Test Cases	Empfangen von Testdaten

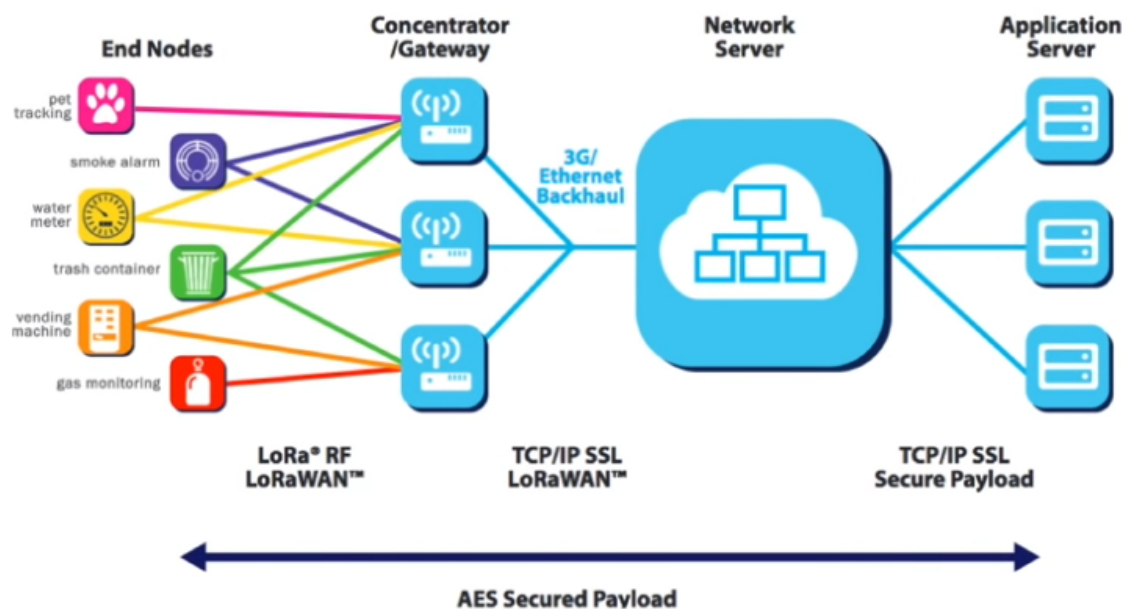


Abbildung 4: Illustration der LoRaWAN Netzwerkarchitektur

Quelle:

https://www.researchgate.net/figure/LoRaWAN-network-composed-of-the-end-nodes-any-LoRa-enabled-sensor-node-gateways_fig2_323620460, 19.05.2021

6.3 Daten über TTN senden

Tabelle 6: Daten über TTN senden

Zweck/Ziel	Mit dieser Funktion soll der Nutzer Daten aus dem TTN senden können.
Akteur/Auslöser	User
Vorbedingung	<ul style="list-style-type: none"> - Verbindung zum Internet - Kenntnis über die ID des im TTN verknüpften Gerätes
Daten-Input	Messdaten von Microcontroller, die ins TTN als Publish verschickt wurden
Verarbeitungsschritte	TTN spielt als MQTT Broker. Es wird das Signal nach einer Liste von abonniert Subscribe MQTT Client durch HTTP Protokoll eventuell RadioFrequency verschickt
Ergebnis	Messdaten oder Triggersignal werden von MQTT Client bekommen bzw angezeigt
Plausibilitäten	Zuverlässig durch Internetverbindung
Fehlerbehandlung	als normal Internetpaket behandeln wird
Anforderung	FA-01, FA-04, TA-01, NF-01
Test Cases	Verschicken von Testdaten

6.4 Sensorwerte auslesen

Tabelle 7: Sensorwerte auslesen

Zweck/Ziel	Mit dieser Funktion soll der Nutzer die Sensorwerte aus dem Urban Garden auslesen können.
Akteur/Auslöser	User
Vorbedingung	<ul style="list-style-type: none"> - Erfolgreiche Verbindung über LoRaWAN. - Die Sensoren-IDs sind mit der Anwendung verknüpft.
Daten-Input	Messdaten der Sensoren aus dem Urban Garden, verschickt mit dem Mikrocontroller über LoRaWAN.
Verarbeitungsschritte	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sensoren erfassen Werte 2. Messwerte werden vom Mikrocontroller gelesen und zur Übertragung mit LoRaWAN vorbereitet (in eigenes Format umgewandelt) 3. Datenpakete werden ins TTN verschickt 4. Daten werden von Anwendung empfangen 5. Datenpakete werden wieder in Originalform umgewandelt und Sensorwerte angezeigt 6. Nach bestimmter Zeit (z. B. 5 min): Wiederholung ab Schritt 1
Ergebnis	Messdaten werden in der Anwendung angezeigt
Plausibilitäten	<ul style="list-style-type: none"> - Sind Sensorwerte gültig und plausibel und überhaupt möglich? - Sprechen die Sensorwerte für einen Fehler im System?
Fehlerhandling	Sensorwerte erneut prüfen und Fehlermeldung ausgeben.
Anforderung	FA-05, FA-06, FA-07, FA-08, TA-04, TA-06, NF-05, NF-04
Test Cases	<ul style="list-style-type: none"> - Beispielwerte senden nach erstmaligem Start des Systems - Aktualisieren der Daten nach bestimmter Zeit - Sensorwerte müssen zu den Umständen passen (z. B. wenn gerade Bewässert wird oder es regnet, sollten die Bodenfeuchtesensoren höhere Werte ausgeben; wenn Bewässert wird, sollte es einen Wasserdurchfluss geben;...)

6.5 Fehlermeldungen auslesen

Tabelle 8: Fehlermeldungen auslesen

Zweck/Ziel	Mit dieser Funktion soll der Nutzer Fehlermeldungen in bestimmten Fehlerfällen angezeigt bekommen.
Akteur/Auslöser	User
Vorbedingung	<ul style="list-style-type: none"> - Erfolgreiche Verbindung über LoRaWAN. - Sensorwerte werden ausgelesen
Daten-Input	<ul style="list-style-type: none"> - Messdaten der Sensoren aus dem Urban Garden, verschickt mit dem Mikrocontroller über LoRaWAN - Aufgerufene Funktionen zur Steuerung der Aktoren
Verarbeitungsschritte	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sensoren erfassen Werte 2. Prüfen, ob Werte gültig sind und entsprechend der Bedingungen im Bereich des möglichen liegen bzw. ob Sensoren Werte erfassen, die im Normalfall nicht gemessen werden sollten (siehe Tabelle mit Fehlerszenarien) 3. Falls nicht: Fehler und zugehörige Sensorwerte anzeigen 4. Für alle empfangenen Sensorwerte erneut prüfen
Ergebnis	Fehlermeldung wird in Anwendung angezeigt
Plausibilitäten	<ul style="list-style-type: none"> - Passt der Fehler zu den Sensorwerten? (Vom Nutzer geprüft)
Fehlerhandling	Nutzer kann Fehlermeldung ignorieren, falls Fehlermeldung falsch ist und Korrekturen bei der Fehlererkennung vornehmen.
Anforderung	FA-11, FA-12
Test Cases	<ul style="list-style-type: none"> - System gezielt manipulieren, um Fehlermeldung zu provozieren (entsprechend Tabelle mit Fehlerszenarien)

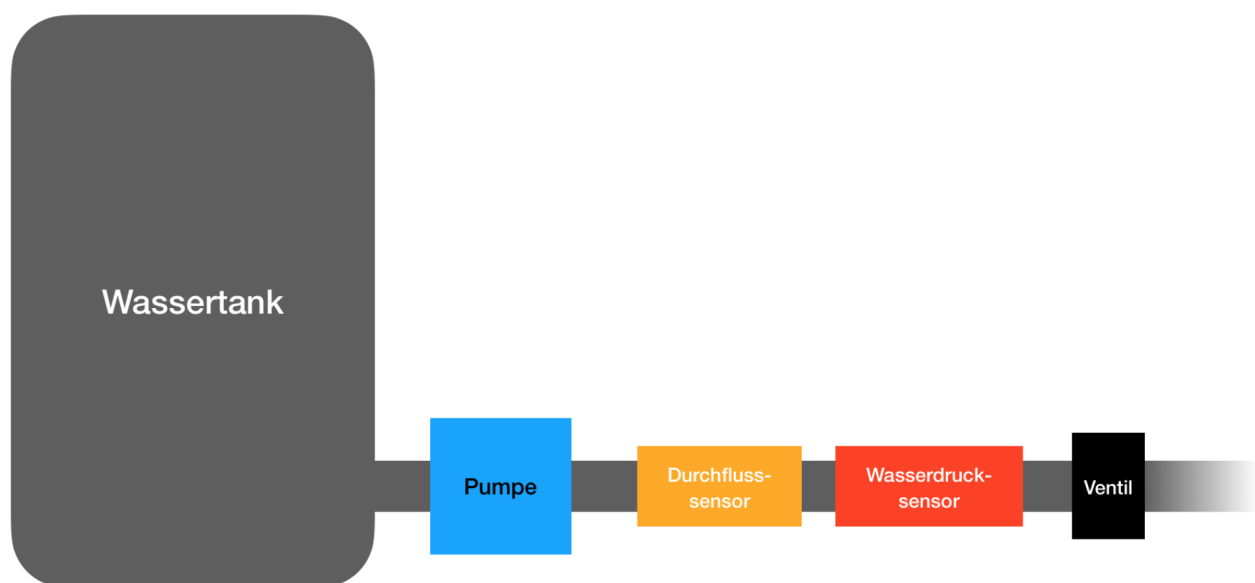


Abbildung 5: Anordnung der Komponenten zur Fehlerfindung

Mit Hilfe dieser Anordnung können durch Feststellung verschiedener Sensorwerte Fehler erfasst werden. Folgende Szenarien gibt es dabei:

Tabelle 9: Szenarien für Fehlermeldungen

Nr.	Szenario	Erkannter Fehler	Fehlerbehandlung
1	<ul style="list-style-type: none"> - Magnetventil geschlossen - Pumpe aktiviert - kein Wasserdruck, der dem der Pumpe entspricht 	Pumpe defekt	Wartung
2	<ul style="list-style-type: none"> - Magnetventil offen - Pumpe aktiviert - Wasserdurchfluss erkannt - Wasserdruck geringer als der erwartete Druck in der Wasserleitung 	Wasserleck	Wasser sofort abstellen
3	<ul style="list-style-type: none"> - Pumpe aktiviert - kein Wasserdurchfluss 	Kein Wasser im Wassertank übrig	Wasser muss nachgefüllt werden, Aktoren zum Strom sparen abschalten
4	<ul style="list-style-type: none"> - Pumpe aktiviert - Magnetventil offen - kein Wasserdurchfluss - Wasserdruck höher als der erwartete Druck in der Leitung 	Verstopfung	Pumpe deaktivieren, Magnetventil schließen, Wartung

6.6 Wasserfluss regeln

Tabelle 10: Wasserfluss regeln

Zweck/Ziel	Mit dieser Funktion soll der Nutzer die Aktoren im Urban Garden steuern können.
Akteur/Auslöser	User
Vorbedingung	<ul style="list-style-type: none"> - Erfolgreiche Verbindung über LoRaWAN. - Die Aktoren-IDs sind mit der Anwendung verknüpft.
Daten-Input	Nutzereingabe zur gewünschten Steuerung
Verarbeitungsschritte	<ol style="list-style-type: none"> 1. Anwendung am Computer geöffnet 2. Eingabe von Werten zur gezielten Steuerung der Aktoren 3. System startet automatische Diagnose der Funktionsfähigkeit der Aktoren (siehe Fehlerszenario Nr. 1) 4. Aktoren angesteuert über LoRaWAN Magnetventil: An/Aus Pumpe: An/Aus oder Ansteuerung und Dauer der Funktion angeben und dann automatisch Aus setzen
Ergebnis	Aktoren agieren entsprechend der Nutzereingabe
Plausibilitäten	<ul style="list-style-type: none"> - Verändern sich die Messwerte der Sensoren so, wie es bei Aktivierung der Aktoren im Normalfall zu erwarten wäre?
Fehlerhandling	Aktoren stoppen, Fehlermeldung ausgeben
Anforderung	FA-09, FA-10, TA-06, KA-08, KA-09, KA-10
Test Cases	<ul style="list-style-type: none"> - automatische Diagnose Funktionsfähigkeit der Aktoren nach jedem Start der Aktoren mit Hilfe der Sensorwerte

6.7 Autonome Bewässerung

Tabelle 11: Autonome Bewässerung

Zweck/Ziel	Mit dieser Funktion soll das System automatisch bestimmte Aktionen auf Grundlage von Sensorwerten starten (ohne Eingabe durch den Nutzer).
Akteur/Auslöser	System
Vorbedingung	<ul style="list-style-type: none"> - Autonome Szenarien wurden festgelegt - Autonome Bewässerung wurde aktiviert
Daten-Input	Sensorwerte
Verarbeitungsschritte	<ol style="list-style-type: none"> 1. Messwerte der Sensoren werden mit voreingestellten Trigger-Werten verglichen 2. Wenn Triggerwerte über- oder unterschritten werden, werden entsprechende Aktoren gezielt gestartet
Ergebnis	System läuft ohne Eingaben des Nutzers autonom
Plausibilitäten	-
Fehlerhandling	Autonomie stoppen und auf Eingaben des Nutzers warten
Anforderung	FA-12, FA-13, FA-14
Test Cases	<ul style="list-style-type: none"> - Autonome Bewässerung wird über einen bestimmten Zeitraum durch den Nutzer überwacht

Es gibt folgende Automatisierungsszenarien:

Tabelle 12: Szenarien für die Automatisierung

Nr.	Szenario/Bedingung	Automatisierung
1	Das System erkennt einen Fehler entsprechenden der Fehlerszenarien in Tabelle 8...	...und reagiert daraufhin mit einer Fehlerbehandlung (entsprechend der Fehlerszenarien in Tabelle 8)
2	Die Bodenfeuchtesensoren ermitteln die Bodenfeuchte. Das System erkennt, dass eine festgelegte Bodenfeuchte unterschritten wurde (detaillierte Werte im Laufe des Projektes) und reagiert daraufhin mit dem Start der Bewässerung, d. h. mit dem Aktivieren der entsprechenden Aktoren.
3	Beim Start der Bewässerung gibt es eine Automation, die...	...die Funktionsfähigkeit der Pumpe checkt. Das wird durch den Aufbau der Komponenten, wie in Abbildung 5 dargestellt, umgesetzt und durch Messung des Drucks, wie im Lastenheft in der angestrebten Lösungsskizze beschrieben. Fehler, die dabei erkannt werden könnten, sind in Tabelle 8 beschrieben.

6.8 Wartung/Komponenten austauschen

Tabelle 13: Wartung/Komponenten austauschen

Zweck/Ziel	Mit dieser Funktion soll das System leicht gewartet werden können, Komponenten ausgetauscht werden können und das System gegebenenfalls erweitert werden können.
Akteur/Auslöser	Wartungsarbeiter
Vorbedingung	<ul style="list-style-type: none"> - System heruntergefahren/deaktiviert
Verarbeitungsschritte	<ul style="list-style-type: none"> - Komponente austauschen und neue Komponente in TTN einbinden (falls nötig) - Komplett neue Komponente hinzufügen und in TTN einbinden
Ergebnis	System bleibt aktuell und funktionsfähig und wird eventuell sogar erweitert
Anforderung	FA-15, TA-07, NF-06, NF-04
Test Cases	<ul style="list-style-type: none"> - Funktionsfähigkeit der neuen Komponente durch Starten und Nutzen des Systems sicherstellen

8. Materialliste

Tabelle 14: Materialliste

Nr.	Gruppe	Bauteil
1	Mikrocontroller + LoRaWAN	LoRa32
2	Sensoren	Wasserdrucksensor
3		Wasserdruchflusssensor
4		Bodenfeuchtesensor
5		Wasserstandsensord
6	Aktoren	Pumpe
7		Magnetventil
8	Sonstige Elektronik	Relais
9		Kabel
10	Bewässerung	Schläuche
11		Tröpfchenbewässerungsschlauch
12	Sonstiges	Verbindungsstücke
13		Halter

Auflistung zum jetzigen Stand in Frage kommender Aktoren und Sensoren:

Tabelle 15: Pumpe

Nr.	Link	Kenndaten
1	http://www.amazon.de/dp/B074P6BP5X/	12 V max. 3,5 A Stromaufnahme 50 W bis zu 4 bar Druck mit Druckschalter —> sobald Wasser an ist Förderleistung: max. 6 Liter/Minute Förderleistung bei 4 bar: 3 Liter/Minute Selbstansaugend bis 2 m - Schlauchanschluss-Ø Saugseite: 8...10 mm -Schlauchanschluss Druckseite: Gewinde 18 mm mit passendem Gartenschlauch-Adapter -Länge der Anschlusslitzen: 300 mm

Tabelle 16: Magnetventil

Nr.	Link	Kenndaten
1	http://www.amazon.de/dp/B07PF475XD/	-12 V -300 mA -0.02-0.8Mpa -aus Plastik
2	https://www.amazon.de/EXLECO-Elektromagnetventil-Wassereinlass-Magnetventil-Geschlossenes/dp/B085BYC9X2/ref=psdc_2076819031_t1_B07PF475XD	-Gewindegröße--G1/2 -12 V -300 mA -0.02-0.8Mpa -aus Metall

Tabelle 17: Wasserdrucksensor

Nr.	Sensorbezeichnung	Kenndaten
1	https://www.amazon.de/dp/B074QLGSFT	- bis 150 Psi - 1 V - 2 W
2	https://www.amazon.de/Drucksensor-Edelstahl-Wasser-Heizöl-0-200PSI/dp/B07YZL6TYD	-Range: 0-100 Psi -Input : 5V -Output: 0-4.5V -Material: stainless steel. -Output signal type: analog sensor -Accuracy: 1% FS. -Thread: G1/4 inch.
3	https://www.amazon.de/Drucksensor-Edelstahl-Wasser-Heizöl-0-200PSI/dp/B07YZL36FN	- 0 bis 200 Ps -Stromversorgung: 5 V -Signal: 0,5–4,5 V/0–5 V

Tabelle 18: Wasserflusssensor

Nr.	Sensorbezeichnung	Kenndaten
1	https://www.amazon.de/Youmile-Wasserdurchflusssensor-Kontrollflüssigkeit-Durchflussmesser-Temperaturmessgerät/dp/B07XTDR7QS	- Working range: 1 ~ 30 l/min. - Water pressure: ≤ 1.75 MPa. - Pipe thread: G1/2 (DN15). - Thread outer diameter: approx. 2 cm - Input : 5V - Outer diameter: 20 mm. - Intake diameter: 9 mm. - Outlet diameter: 12 mm.
2	https://www.amazon.de/Keenso-Wasserdurchflusssensor-Hall-Effekt-Sensor-Durchflussmesser-Durchflusszähler/dp/B07QHYDJZK	- ähnlich

Tabelle 19: Wasserstandssensor

Nr.	Sensorbezeichnung	Kenndaten
1	https://www.amazon.de/Aideepen-Wasserstandssensor-Kunststoff-Schwimmerschalter-horizontal/dp/B08D63B9PY/	Mehrere würden benötigt werden, da der Sensor nur prüft, ob er im Wasser ist.
2	https://www.amazon.de/Berührungsloser-Flüssigkeitsstandsensor-Füllstandssensor-Flüssigkeitsstandregler-Wasserstandssensors/dp/B07R12DGHJ/ref=sr_1_14?__mk_de_DE=ÅMÅŽŲÑ&child=1&keywords=wasserstandssensor&qid=1621178597&sr=8-14	-berührungslos von außen anbringbar
3	https://www.amazon.de/AZDelivery-HC-SR04-Ultraschall-Entfernungsmesser-Raspberry/dp/B07TKVPPHF	-HC-SR04 Ultrasonic Sensor Kit -Suitable for Arduino, Raspberry Pi and other microcontrollers -Detection range: 3cm-4m. -Favorit, da einfach umzusetzen und preiswert

Tabelle 19: Bodenfeuchtesensor

Nr.	Sensorbezeichnung	Kenndaten
1	https://www.amazon.de/-/en/AZDelivery-hygro-meter-capacitive-compatible-including/dp/B07HJ6N1S4	- capacitive soil moisture sensor - input 5V - output Analog