
HYDROKULTUR- GARTEN

Ein effizientes Garten Projekt



ABBILDUNG I: PVC-RÖHREN FÜR ANBAU VON SALATEN

Projektarbeit 2024
Mikroprozessortechnik

Samuel Haab, Paul Vodak
Techniker Informatik, Fachrichtung Applikationsentwicklung
Klasse: Z-TIN-21-T-a, Dozent: Christian Meier

I Inhaltsverzeichnis

I	Inhaltsverzeichnis	2
2	Organisation.....	3
2.1	Einleitung.....	3
2.2	Pflichtenheft.....	4
2.2.1	Kurzübersicht.....	4
2.2.2	Zielsetzung.....	4
2.2.3	System Komponenten.....	4
2.2.4	Anzeige	4
2.2.5	Sicherheitsanforderungen.....	4
2.2.6	Terminplan und Meilensteine	5
2.2.7	Budget.....	5
2.3	Github	5
3	SW-Engineering.....	6
3.1	Elektronik-Schema	6
3.2	Demo Aufbau.....	6
3.3	Überlegungen zur SW-Modularisierung	7
3.4	Fluss-Diagramme sämtlicher SW-Module.....	7
3.4.1	Übersicht.....	7
3.4.2	Methodendiagramme.....	8
3.5	Software-Regeln / Clean-Code	10
3.6	Verwendete 3rd-Party Fragmente	10
3.7	Zusammenbau der Elektronik.....	11
3.8	Besonders ausgefeilte Features.....	12
3.8.1	IP65 Wasserschutz.....	12
3.8.2	Batteriebetrieben	12
3.8.3	Kalibrierung PH-Sensor	12
4	Aufbau und Konfiguration	13
5	Abschluss.....	14
5.1.1	Inbetriebnahme- und Testprotokoll für Hydroponik-System.....	14
5.1.2	Soll-/IST Abgleich mit Pflichtenheft.....	15
5.2	Fazit/Ausblick.....	16
6	Abbildungsverzeichnis	17
7	Anhang.....	18
7.1	Arduino_config.h.....	18
7.2	Main.ino	19

2 Organisation

2.1 Einleitung

Im Rahmen des Diplomprojektes für das Modul 'Mikroprozessortechnik' wird in dieser Arbeit ein hydroponisches Garten-System konzipiert und realisiert. Das Projekt wurde massgeblich durch die Inspiration von Samuels Schwester angeregt, die eingeladen wurde, an einem umfangreichen internationalen Hydrokulturprojekt mitzuarbeiten, sich aber letztendlich gegen das Vorhaben entschied.

Obwohl sich Samuels Schwester gegen das Projekt entschieden hat, hat es ihn dazu motiviert, sich im Rahmen eines Mikrocomputerprojekts intensiv mit der Thematik der Hydrokultur auseinanderzusetzen.

Das Ziel ist es, die Prinzipien der Hydroponik - also die Kultivierung von Pflanzen in einer nährstoffreichen Lösung anstelle von traditioneller Erde - mit den technologischen Möglichkeiten der Mikroprozessortechnik zu verbinden. Das Projekt hat zum Ziel, einen hydroponischen Garten als Prototyp zu entwickeln. Dabei sollen Methoden für den effizienten Pflanzenanbau ohne Erde erforscht werden.

Der Schwerpunkt liegt auf der Integration von Mikroprozessortechnik zur präzisen Kontrolle und Überwachung der Wachstumsparameter. Hierbei wird auch die Automatisierung der Nährstoff- und Sauerstoffversorgung der Pflanzen berücksichtigt.

Es dient als Schnittstelle zwischen theoretischem Wissen und praktischer Anwendung. Das Diplomprojekt vermittelt fundierte Kenntnisse in der Hydroponik und in der Anwendung von Mikroprozessortechnik zur Optimierung pflanzlicher Wachstumsprozesse.

2.2 Pflichtenheft

2.2.1 Kurzübersicht

Entwicklung eines automatisierten Hydroponik-Systems unter Verwendung eines Arduino-Mikrocontrollers zur Kontrolle und Überwachung des Wachstums von Pflanzen.

2.2.2 Zielsetzung

Im Folgenden haben wir eine Liste von Zielen erstellt, die im Rahmen dieses Projekts erreicht werden sollen. Auf der Grundlage dieser Ziele wird dann das Material bestellt.

Ziele	Dringlichkeit
Rohre zur Anpflanzung von Kräutern/Salate	Muss
Automatische Anpassung der Wasser- und Nährstoffzufuhr basierend auf den Sensorwerten	Muss
Automatisierte Wasseraufbereitung mit Sauerstoff	Soll
Überwachung pH-Wert	Muss
Überwachung Nährstoffkonzentration (EC-Wert)	Muss
Überwachung Wassertemperatur	Soll
Benutzerfreundliche Überwachung und Steuerung der Anlage	Soll
Regelung der Wachstumslampen nach einem vorgegebenen Zeitplan.	Soll

2.2.3 System Komponenten

Im Folgenden haben wir eine Liste der Komponenten zusammengestellt, die für die erfolgreiche Durchführung des Projekts erforderlich sind:

Element	Bestellstatus
Arduino Mikrocontroller	Im Kit vorhanden
PH-Sensor zur Messung des Säuregehalts	Bestellt
EC-Sensor zur Überwachung der Nährstoffkonzentration	Bestellt
Temperatursensor für das Wasser	Bestellt
Wasser- und Luft-Pumpen	Bestellt
LED-Wachstumslampen	Bestellt – Demo
Display	Im Kit vorhanden
Relais zur Steuerung von Pumpen und Lampen	Im Kit vorhanden
Verschiedene Grössen von Schläuchen und Verbindungsstücken	Bestellt
Stromversorgung und Verkabelung	Bereits vorhanden

2.2.4 Anzeige

Für die Anzeige wird das L2C-Display verwendet, das im Arduino-Bausatz von Teko enthalten ist. Auf ihm sollen die live-Messwerte angezeigt werden.

2.2.5 Sicherheitsanforderungen

Da wir in diesem Projekt mit Wasser und Strom arbeiten, haben wir dafür gesorgt, dass alle Komponenten entweder mit 12V DC oder mit 5V DC arbeiten. So minimieren wir die Gefahr eines Stromschlages.

2.2.6 Terminplan und Meilensteine

2.2.6.1 Termine

Projektstart	08.01.2024
Abschluss	18.03.2024
Präsentation	18.03.2024

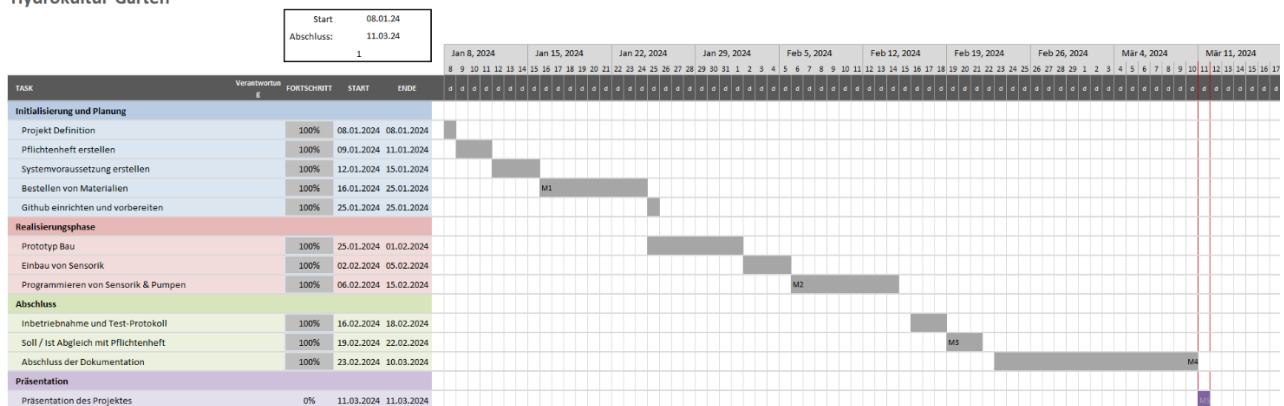
2.2.6.2 Meilensteine

Bestellen von Materialien
Abschluss Programmieren von Sensorik und Pumpen
Soll / Ist Abgleich und Tests
Abschluss der Dokumentation
Präsentation

2.2.6.3 Zeitplan

Nach erfolgreicher Definition des Projekts ist nun die Erstellung eines detaillierten Zeitplans möglich. Dieser Zeitplan dient als Grundlage für die systematische Durchführung der Arbeitsphasen, um die termingerechte Fertigstellung des Projekts zu gewährleisten. Im Zeitplan sind Meilensteine mit dem Präfix „M“ gefolgt von einer fortlaufenden Nummerierung gekennzeichnet.

Hydrokultur-Garten



(Excel Terminplan Vorlage, 2024)

ABBILDUNG 2: TERMINPLAN

2.2.7 Budget

Wir haben uns persönlich ein Budget von max. 200 Franken gesetzt. Die Komponenten wurden auf Aliexpress bestellt und kosteten jedoch lediglich 170 Franken.

2.3 Github

Um die Effizienz der Codebearbeitung zu steigern und eine Versionskontrolle zu implementieren, haben wir ein GIT-Repository eingerichtet und den Code darin hinterlegt.

Das GIT-Repo und den Code dazu kann unter folgendem Link geöffnet werden:

<https://github.com/prycannatik/Growbox>

3 SW-Engineering

3.1 Elektronik-Schema

Nachfolgend der Aufbau in Form eines detaillierten Elektronik-Schemas mit Steckerbelegung.

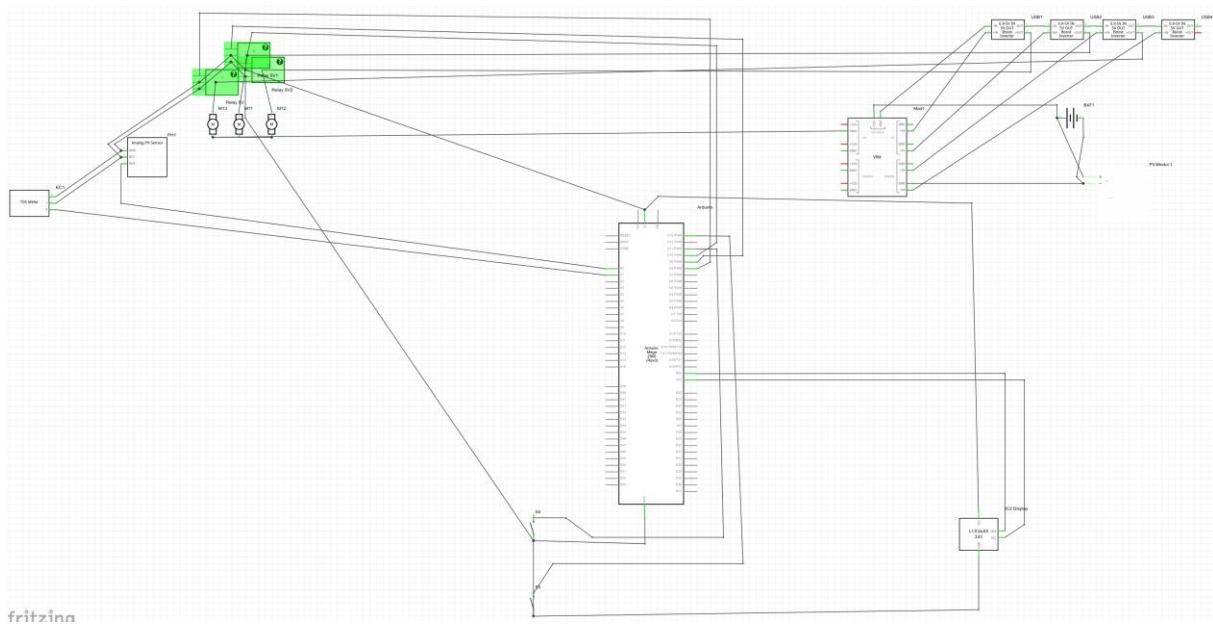


ABBILDUNG 3: ELEKTRONIK-SCHEMA

3.2 Demo Aufbau

Hier zu sehen ist der dazugehörige Komponentenaufbau mit Verdrahtung.

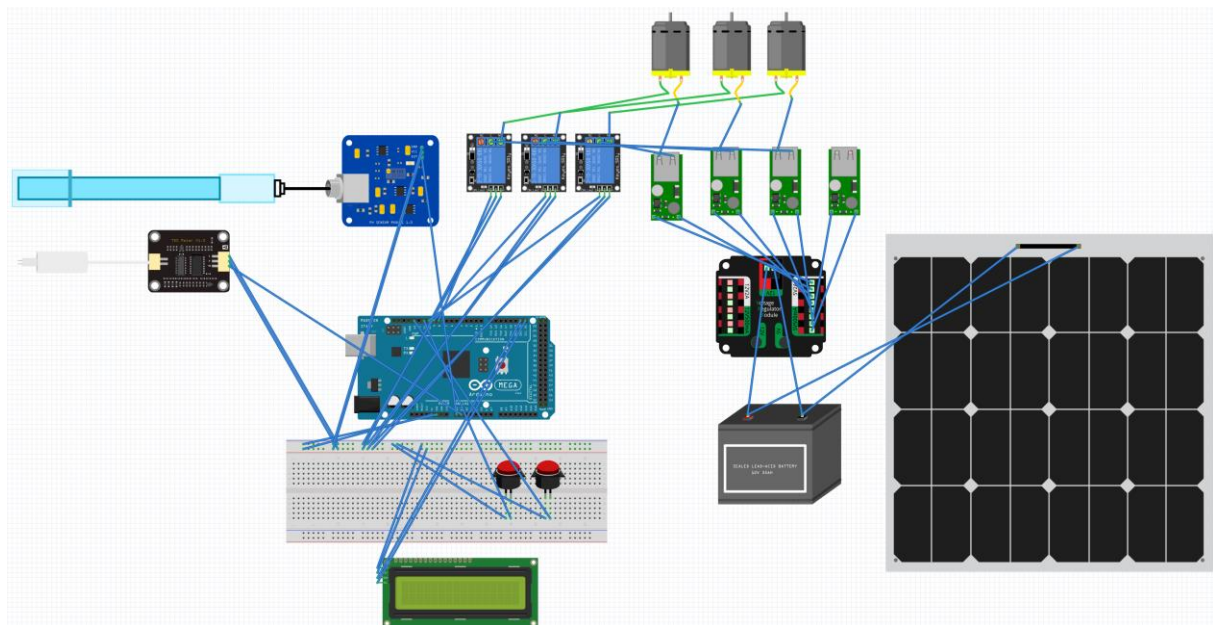


ABBILDUNG 4: DEMO-AUFBAU

3.3 Überlegungen zur SW-Modularisierung

Wir haben einen strukturierten Ansatz zur Modularisierung der Software verfolgt, um die Codequalität, Lesbarkeit und Skalierbarkeit zu verbessern. Dies beinhaltete die Verwendung einer externen Bibliothek für die Ansteuerung des I2C-Displays, die Aufteilung des Codes in eine Konfigurations-Datei und eine Hauptdatei und die Erstellung von Flussdiagrammen um die Übersichtlichkeit zu gewährleisten.

3.4 Fluss-Diagramme sämtlicher SW-Module

3.4.1 Übersicht

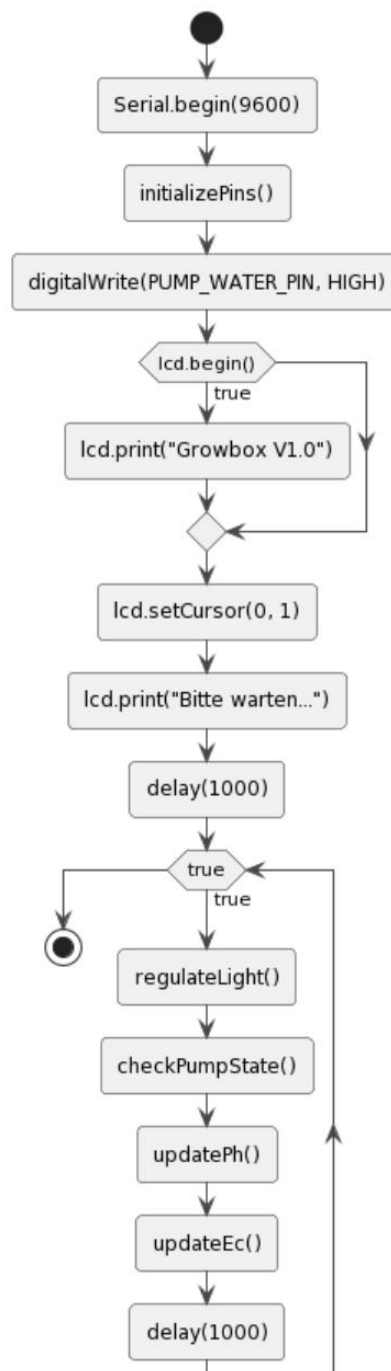


ABBILDUNG 5: ÜBERSICHT FLUSS DIAGRAMM

3.4.2 Methodendiagramme

3.4.2.1 initializePins

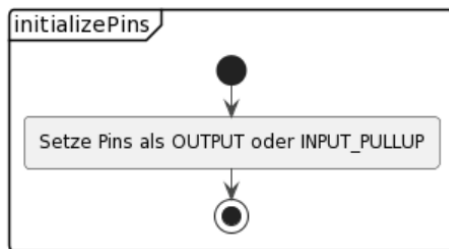


ABBILDUNG 6: METHODENDIAGRAMM INITIALIZEPINS

3.4.2.2 regulateLight

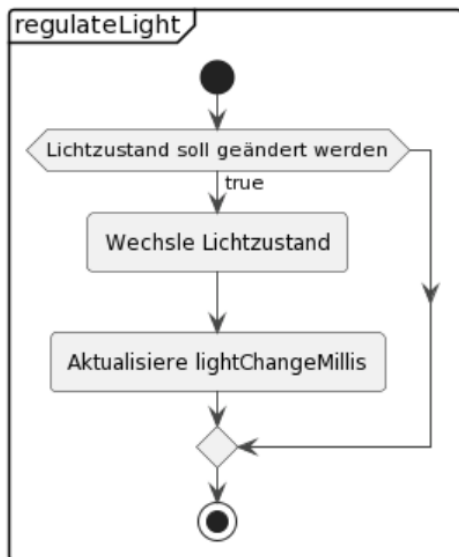


ABBILDUNG 7: METHODENDIAGRAMM REGULATELIGHT

3.4.2.3 checkPumpState

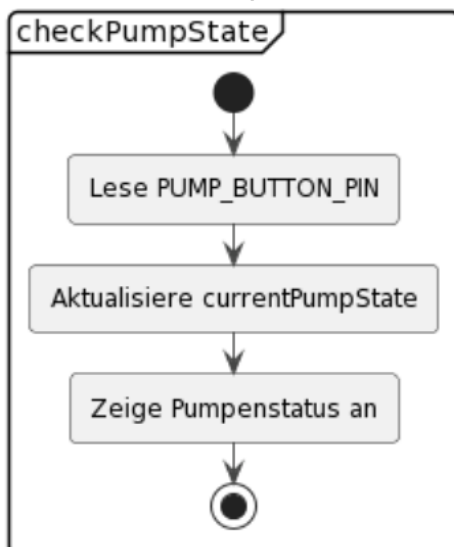


ABBILDUNG 8: METHODENDIAGRAMM CHECKPUMPSTATE

3.4.2.4 updatePh

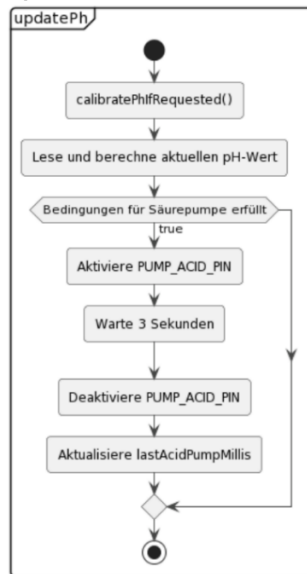


ABBILDUNG 9: METHODENDIAGRAMM UPDATEPH

3.4.2.5 calibratePhifRequested

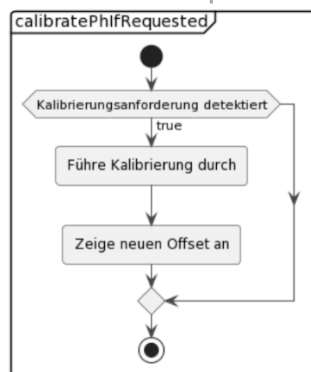


ABBILDUNG 10: METHODENDIAGRAMM CALIBRATEPHIFREQUESTED

3.4.2.6 updateEc

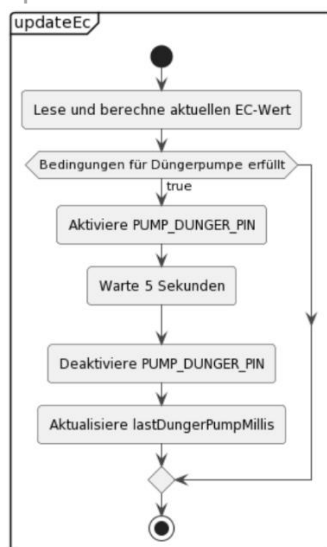


ABBILDUNG 11: METHODENDIAGRAMM UPDATEEC

3.5 Software-Regeln / Clean-Code

Um die Übersichtlichkeit des Codes zu gewährleisten, insbesondere bei der gemeinsamen Arbeit, haben wir spezifische Software-Regeln definiert, die bei der Programmierung berücksichtigt werden.

Software-Regel	Beschreibung
Konfiguration	Für die Konfiguration sollte der Übersichtlichkeit halber eine eigene Konfigurations-Datei angelegt werden.
Konstanten	Werden in einem config-file deklariert und GROSS geschrieben.
Funktionen	Aufgaben die wiederverwendet werden, sollen in Funktionen ausgelagert werden.
Variablen	Werden wenn möglich auch im config-file deklariert und klein geschrieben.
Kommentare	Nur die wichtigsten Sachen werden kommentiert. Der Code muss so geschrieben werden, dass ein Entwickler diesen auch ohne Kommentare versteht.

3.6 Verwendete 3rd-Party Fragmente

Folgende externe Bibliotheken wurden bei diesem Projekt eingesetzt:

Bibliothek-Name / Funktion	Zweck	Lizenz	Quelle	Datum
LCDIC2 – Helder Rodrigues	Display	GPL-3.0	https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/lcdic2/	11.02.2024
Mapfloat funktion	Berechnung EC-Wert		https://forum.arduino.cc/t/help-with-ph-sensor-pin-abbreviations/323936/20	05.03.2024

3.7 Zusammenbau der Elektronik

Dank des 3D-gezeichneten Elektronikrasters war der Zusammenbau der gesamten Elektronik verhältnismässig einfach. Es mussten jedoch noch Löcher in die wasserfeste Box gebohrt werden. Ausserdem gab es noch einige Anpassungen, bei denen ich nicht genau gemessen hatte oder wo ein Kabel im Weg war und improvisiert werden musste, um einen zweiten 3D-Druck zu sparen.

Die Kabellänge der Kabel im Arduino Kit ist zu lang. Mit einigen Anpassungen und anderer Hardware könnten in der Zukunft einige Kabel eingespart werden.

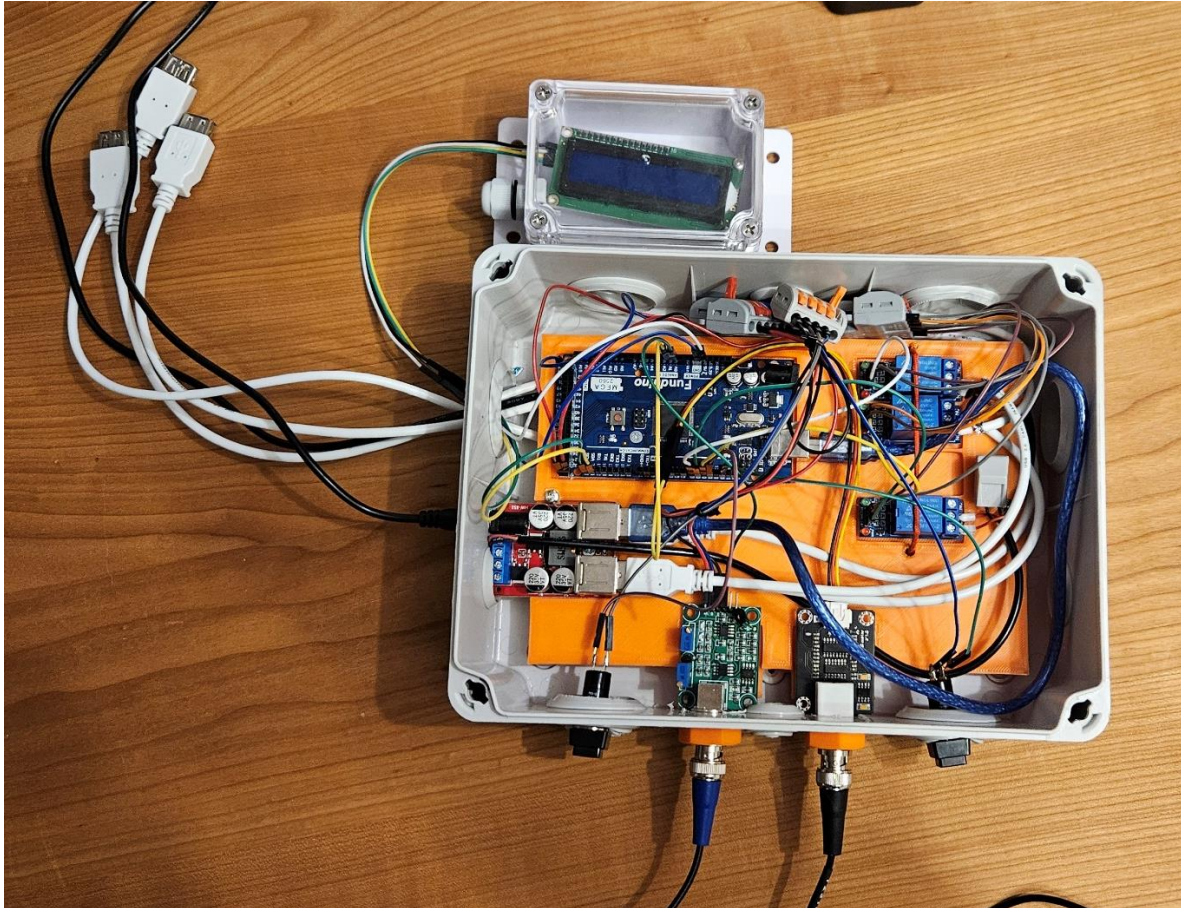


ABBILDUNG 12: VERKABELUNG / EXTERNE STECKVERBINDUNGEN

3.8 Besonders ausgefeilte Features

3.8.1 IP65 Wasserschutz

Da die Anlage grösstenteils auf dem Balkon stehen wird, wurde ein wasserdichtes Gehäuse gekauft und ein Raster für die Elektronischen Sensoren 3D-gezeichnet und gedruckt.

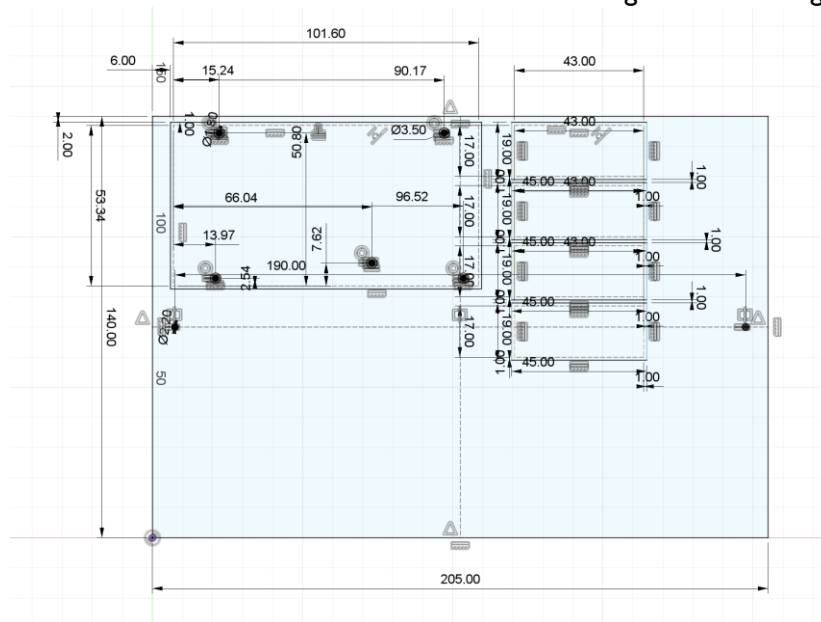


ABBILDUNG 13: ERSTE SKIZZE DES MASSGESCHNEIDERTEN 3D-DRUCKS

3.8.2 Batteriebetrieben

Die Elektronik der Sensoren wurde so ausgelegt, dass diese unabhängig vom 230V AC Stromnetz mit einer alten Motorrad Batterie über einige Tage hinweg betrieben werden kann. Zukünftig werden wir eine Solarzelle organisieren, damit der Hydroponik Garten komplett eigenständig funktionieren kann.

3.8.3 Kalibrierung PH-Sensor

Der ursprüngliche Plan, 2 Kalibrierungspunkte zu verwenden wurde verworfen, da durch den erstmaligen Testaufbau die Notwendigkeit dessen als unnötig befunden wurde. Im finalen Aufbau wird der PH-Sensor einmalig mittels Referenz Flüssigkeit auf den PH Wert 7 kalibriert.



ABBILDUNG 14: KALIBRIERUNGS-VERSUCHE DES PH-SENSORS

4 Aufbau und Konfiguration

Als einen der letzten Schritte haben wir die Zielwerte des Salats für pH und EC überprüft und in der Konfiguration gespeichert. Der Zielwert für den pH-Wert liegt zwischen 5 und 6,2 und der EC-Zielwert sollte etwa 2,6 betragen. Diese Werte wurden in der Konfigurationsdatei gespeichert.

Abschließend wurde das System gemäss des im letzten Abschnitt definierten Testprotokolls aufgebaut.

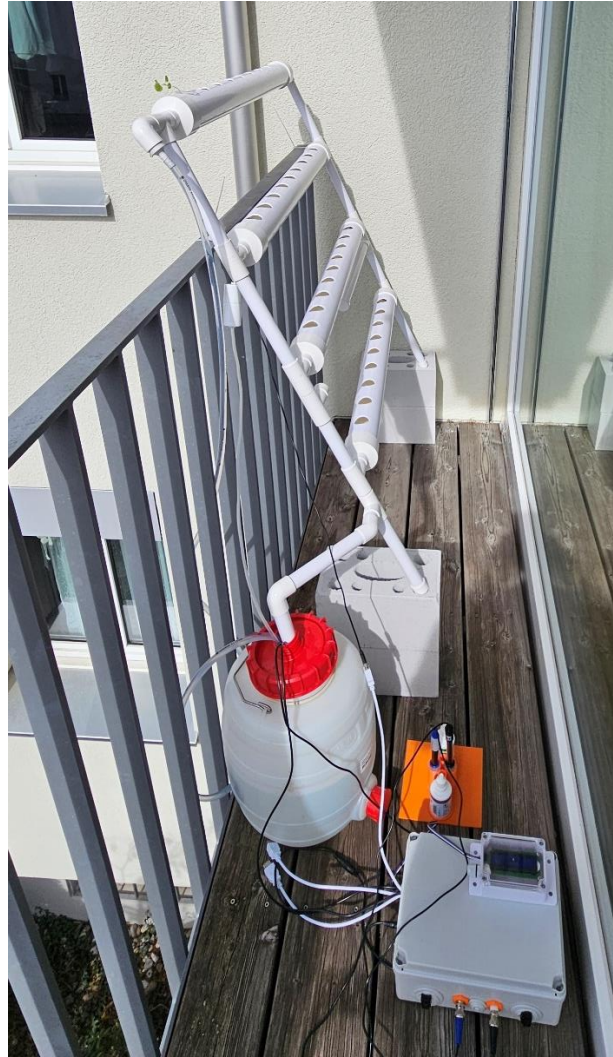


ABBILDUNG 15: FINALER AUFBAU FÜR TESTPROTOKOLL

5 Abschluss

5.1.1 Inbetriebnahme- und Testprotokoll für Hydroponik-System

Datum der Inbetriebnahme	Tester	Bemerkungen	
05.03.2024	Paul Vodak / Samuel Haab	Testprotokoll vor der ersten Bepflanzung	
Inbetriebnahme-Checkliste:			
Komponente	Überprüft	Funktionstest	Bemerkungen
Arduino Mikrocontroller	OK	OK	
pH-Sensor	OK	Teilweise	EC und PH Wert können nicht gleichzeitig gemessen werden, da EC Wert eine kleine Spannung abgibt.
EC-Sensor	OK	Teilweise	
Temperatursensor	N/A	N/A	Der Temperatursensor wurde im ersten Schritt komplexitätshalber weggelassen.
Wasser-Pumpe	OK	OK	
Luft-Pumpe	OK	OK	
LED-Wachstums Lampen	FAIL	FAIL	Die LED-Wachstums Lampen mussten im ersten Schritt weggelassen werden, die die Hydroponics Anlage draussen und nicht wie zuerst angedacht drinnen aufgestellt wurde
Relais	OK	OK	
Verkabelung und Anschlüsse	OK	OK	Betrieben durch Motorrad Batterie
Funktion	Überprüft	Ergebnis	Bemerkungen
Sensor-Kalibrierung	OK		1-Punkt Kalibrierung anstatt wie zuerst angedacht 2-Punkt
Nährstoffzufuhr-Steuerung	OK		
Lichtsteuerung	N/A		
Benutzeroberfläche	OK		
Warnsystem	N/A		Noch kein WIFI Controller
Abschliessende Überprüfung	OK		<u>Bestanden</u>
Kriterium	Überprüft	Erfüllt	Bemerkungen
Dokumentation und Handbuch	OK	OK	Erstellt

5.1.2 Soll-/IST Abgleich mit Pflichtenheft

5.1.2.1 Zielsetzung

Nachfolgend die Auswertung der Zielsetzung, welche im Pflichtenheft definiert wurden.

Soll-Ziele	Dringlichkeit	Ist-Status
Rohre zur Anpflanzung von Kräutern/Salate	Muss	OK
Automatische Anpassung der Wasser- und Nährstoffzufuhr basierend auf den Sensorwerten	Muss	OK
Automatisierte Wasseraufbereitung mit Sauerstoff	Soll	OK
Überwachung pH-Wert	Muss	PH-Sensor kann nicht permanent im Wasser gelassen werden
Überwachung Nährstoffkonzentration (EC-Wert)	Muss	OK
Überwachung Wassertemperatur	Soll	Pendent – Wird in der V2.0 umgesetzt
Benutzerfreundliche Überwachung und Steuerung der Anlage	Soll	OK – Umsetzung von MQTT in V2.0
Regelung der Wachstumslampen nach einem vorgegebenen Zeitplan.	Soll	Nicht erreicht – Aufgrund von aussen anstatt innen-Aufbau

5.1.2.2 System Komponenten

Im Folgenden noch eine Übersicht über die System-Komponenten. Diese sind alle rechtzeitig eingetroffen.

Element	Bestellstatus	Status
Arduino Mikrocontroller	Im Kit vorhanden	OK
pH-Sensor zur Messung des Säuregehalts	Bestellt	OK
EC-Sensor zur Überwachung der Nährstoffkonzentration	Bestellt	OK
Temperatursensor für das Wasser	Bestellt	OK
Wasser- und Luft-Pumpen	Bestellt	OK
LED-Wachstumslampen	Bestellt – Demo	OK
Display	Im Kit vorhanden	OK
Relais zur Steuerung von Pumpen und Lampen	Im Kit vorhanden	OK
Verschiedene Grössen von Schläuchen und Verbindungsstücken	Bestellt	OK
Stromversorgung und Verkabelung	Bereits vorhanden	OK

5.1.2.3 Meilensteine

Alle im Pflichtenheft definierten Meilensteine wurden termingerecht erreicht.

5.2 Fazit/Ausblick

Die Projektarbeit war eine spannende Herausforderung, die nicht nur unsere technischen Fähigkeiten, sondern auch unser allgemeines Wissen über die Pflanzenzucht im Wasser verbessert hat.

Mit Hilfe eines Arduino-Mikrocontrollers konnten wir ein automatisiertes Hydrokultursystem entwickeln, mit dem wir das Wachstum der Pflanzen effizient steuern und überwachen konnten.

Die Zusammenarbeit zwischen Samuel Haab und Paul Vodak wurde durch die Verwendung von GitHub für die Codeverwaltung erleichtert.

Durch die sorgfältige Auswahl der Hardwarekomponenten konnten wir das Projekt verhältnismässig reibungslos durchführen und innerhalb des vorgegebenen Zeit- und Budgetrahmens abschliessen.

Da die Projektdauer für einen ausgewachsenen Salat nicht ausreichte, war für uns das Inbetriebnahme- und Testprotokoll, mit dem der Zustand und die Funktionalität des Systems überprüft werden konnte, einer der wichtigsten Punkte.

Das Protokoll stellte sicher, dass alle Anforderungen erfüllt wurden, und trug zum erfolgreichen Abschluss des Projekts bei.

Ein Problem, das noch gelöst werden muss, ist, dass der pH-Wert und der EC-Wert nicht gleichzeitig gemessen werden können. Der EC-Sensor gibt eine Spannung an das Wasser ab, wodurch eine gleichzeitige Messung unmöglich ist. An einer möglichen Lösung haben wir aber bereits angefangen zu arbeiten. Und zwar verwenden wir nun auch da geschaltete Pins für PH und EC VCC, um abwechselnd eine Spannung an den EC- und dann an den pH-Sensor anzulegen. Damit es jedoch einwandfrei funktioniert, muss hier in Zukunft noch ein Pull-Down Widerstand eingebaut werden.

Trotz dieser Herausforderungen konnten wir die meisten unserer Ziele erreichen und wertvolle Erfahrung in der Mikroprozessortechnik gewinnen.

Für die Zukunft planen wir, das System weiterzuentwickeln, indem wir die Überwachung der Wassertemperatur implementieren und die Benutzerfreundlichkeit durch die Integration von MQTT verbessern.

6 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: PVC-Röhren für anbau von Salaten	1
Abbildung 2: Terminplan	5
Abbildung 3: Elektronik-Schema	6
Abbildung 4: Demo-Aufbau	6
Abbildung 5: Übersicht Fluss Diagramm.....	7
Abbildung 6: Methodendiagramm initializePins	8
Abbildung 7: Methodendiagramm regulateLight	8
Abbildung 8: Methodendiagramm checkPumpState.....	8
Abbildung 9: Methodendiagramm updatePh.....	9
Abbildung 10: Methodendiagramm calibratePhIfRequested.....	9
Abbildung 11: Methodendiagramm updateEc.....	9
Abbildung 12: Verkabelung / Externe Steckverbindungen.....	11
Abbildung 13: Erste Skizze des massgeschneiderten 3D-Drucks	12
Abbildung 14: Kalibrierungs-Versuche des PH-Sensors.....	12
Abbildung 15: Finaler Aufbau für Testprotokoll	13

7 Anhang

7.1 Arduino_config.h

```
#ifndef ARDUINO_CONFIG_H
#define ARDUINO_CONFIG_H

// Pin definitions
const int PH_PIN = A0;
const int PH_POWER = 5;
const int EC_PIN = A1;
const int EC_POWER = 6;

const int LIGHT_RELAY_PIN = 7;
const int PUMP_DUNGER_PIN = 8;
const int PUMP_WATER_PIN = 9;
const int PUMP_ACID_PIN = 10;
const int PH_CALIBRATION_BUTTON_PIN = 11;
const int PUMP_BUTTON_PIN = 13;

// Target values for lettuce
const float TARGET_EC = 2.60; // in mS/cm
const float TARGET_PH_LOW = 5.0;
const float TARGET_PH_HIGH = 6.2;

// PH Calibration Offset
float phCalibrationOffset = 0;
float currentPhValue = 7;
float ph7ReadValue = 665;
float ph4ReadValue = 765;

// Light cycle in hours
const long LIGHT_ON_HOURS = 16;
const long LIGHT_OFF_HOURS = 8;
unsigned long lightChangeMillis = 0;
bool lightState = false;

//Button States
bool lastPhCalibrationButtonState = digitalRead(PH_CALIBRATION_BUTTON_PIN);
bool currentPhCalibrationButtonState = digitalRead(PH_CALIBRATION_BUTTON_PIN);

bool pumpsInactiveState = digitalRead(PUMP_BUTTON_PIN);
bool currentPumpState = false;

#endif
```

7.2 Main.ino

```
#include "arduino_config.h"
#include "LCDIC2.h"

LCDIC2 lcd(0x27, 16, 2);

void initializePins() {
    pinMode(LIGHT_RELAY_PIN, OUTPUT);
    pinMode(PUMP_DUNGER_PIN, OUTPUT);
    pinMode(PUMP_WATER_PIN, OUTPUT);
    pinMode(PUMP_ACID_PIN, OUTPUT);
    pinMode(PH_POWER, OUTPUT);
    pinMode(EC_POWER, OUTPUT);
    pinMode(PH_CALIBRATION_BUTTON_PIN, INPUT_PULLUP);
    pinMode(PUMP_BUTTON_PIN, INPUT_PULLUP);
}

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    initializePins();
    digitalWrite(PUMP_WATER_PIN, HIGH); // Wasser soll immer eingeschaltet sein
    if (lcd.begin()) lcd.print("Growbox V1.0");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Bitte warten...");
    delay(1000);
}

void loop() {
    regulateLight();
    checkPumpState();
    updatePh();
    updateEc();
    delay(1000);
}

void checkPumpState() {
    currentPumpState = (digitalRead(PUMP_BUTTON_PIN) == pumpsInactiveState) ? false : true;
    String supplyPumpStatusText = currentPumpState ? "Pumpen aktiv" : "Pumpen
inaktiv ";
    Serial.println(supplyPumpStatusText);
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(supplyPumpStatusText);
}

// pH calibration function
void calibratePhIfRequested() {
    int calibrationLiquidValue = 7;
    currentPhCalibrationButtonState = digitalRead(PH_CALIBRATION_BUTTON_PIN);
    if ((lastPhCalibrationButtonState == HIGH && currentPhCalibrationButtonState == LOW) ||
(lastPhCalibrationButtonState == LOW && currentPhCalibrationButtonState == HIGH)) {
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Kalibrierung... ");
        delay(1000);

        phCalibrationOffset = 7 - (mapfloat(analogRead(PH_PIN), ph4ReadValue, ph7ReadValue,
4.01, 7.01));
        ph7ReadValue = analogRead(PH_PIN);

        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Offset: ");
        lcd.print(String(phCalibrationOffset));
        delay(1000);
    }

    lastPhCalibrationButtonState = currentPhCalibrationButtonState;
}
```

```

// pH regulation function
void updatePh() {
    digitalWrite(EC_POWER, LOW); //PH und EC dürfen nie gleichzeitig strom haben
    delay(1000);
    digitalWrite(PH_POWER, HIGH);
    delay(1000);
    calibratePhIfRequested();
    currentPhValue = mapfloat(analogRead(PH_PIN), ph4ReadValue, ph7ReadValue, 4.01, 7.01);

    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("PH ");
    lcd.print(String(currentPhValue, 2));
    lcd.print(" ");
    Serial.print("PH Wert: ");
    Serial.println(currentPhValue, 2);

    static unsigned long lastAcidPumpMillis = 0;
    if (currentPumpState && currentPhValue > TARGET_PH_HIGH && millis() - lastAcidPumpMillis
> 60000) { // 60 seconds delay
        digitalWrite(PUMP_ACID_PIN, HIGH);
        delay(3000);
        digitalWrite(PUMP_ACID_PIN, LOW);
        lastAcidPumpMillis = millis();
    }
}

//Manuell Gemessene Werte umwandeln
float mapfloat(long x, long in_min, long in_max, float out_min, float out_max) {
    return (float)(x - in_min) * (out_max - out_min) / (float)(in_max - in_min) + out_min;
}

void updateEc() {
    digitalWrite(PH_POWER, LOW);
    delay(1000);
    digitalWrite(EC_POWER, HIGH);
    delay(1000);
    int sensorValueEC = analogRead(EC_PIN);
    float voltageEC = sensorValueEC * (5.0 / 1023.0);
    float EC = voltageEC;

    lcd.print("EC: ");
    lcd.print(String(EC, 2));
    lcd.print(" ");
    Serial.print("EC Wert: ");
    Serial.println(EC, 2);

    static unsigned long lastDungerPumpMillis = 0;
    Serial.println((millis() - lastDungerPumpMillis));
    if (currentPumpState && EC < TARGET_EC && (millis() - lastDungerPumpMillis) > 60000) {
        digitalWrite(PUMP_DUNGER_PIN, HIGH);
        delay(5000);
        digitalWrite(PUMP_DUNGER_PIN, LOW);
        lastDungerPumpMillis = millis();
    }
}

void regulateLight() {
    if ((lightState && millis() - lightChangeMillis >= LIGHT_ON_HOURS * 3600000UL) ||
(!lightState && millis() - lightChangeMillis >= LIGHT_OFF_HOURS * 3600000UL)) {
        lightState = !lightState;
        digitalWrite(LIGHT_RELAY_PIN, lightState ? HIGH : LOW);
        lightChangeMillis = millis();
    }
}

```