

# Bachelorarbeit

Marcel Bleck

Entwicklung, Konstruktion und Test eines automatisierten  
hydroponischen Beetes

Marcel Bleck

# Entwicklung, Konstruktion und Test eines automatisierten hydroponischen Beetes

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung  
im Studiengang *Bachelor of Science Elektro- und Informationstechnik*  
am Department Informations- und Elektrotechnik  
der Fakultät Technik und Informatik  
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer: Prof. Dr. Martin Lapke  
Zweitgutachter: Prof. Dr. Robert Heß

Eingereicht am: 22. August 2023

**Marcel Bleck**

**Thema der Arbeit**

Entwicklung, Konstruktion und Test eines automatisierten hydroponischen Beetes

**Stichworte**

Automatisierung, Hydroponik, Sensorik, Entwicklung, Arduino, Mikrocontroller, Nachhaltigkeit

**Kurzzusammenfassung**

Diese Thesis beschäftigt sich mit der Entwicklung, Konstruktion und dem Test eines automatisierten hydroponischen Beetes mit dem Ziel, Pflanzen in trockenen und armen Gebieten anzubauen. Das primäre Ziel dieser Arbeit besteht darin, eine nachhaltige Alternative zum konventionellen Anbau zu schaffen, die unabhängig von Bodenbeschaffenheit und klimatischen Bedingungen funktioniert. Gleichzeitig strebt die Arbeit an, durch eine automatisierte Bewässerungs- und Nährstoffzufuhr den Wasserverbrauch und den Ertrag zu optimieren.

**Marcel Bleck**

**Title of Thesis**

Development, construction and testing of an automated hydroponic bed

**Keywords**

automation, hydroponic, sensors, development, Arduino, microcontroller, sustainability

**Abstract**

This thesis deals with the development, construction and testing of an automated hydroponic bed with the aim of growing plants in arid and poor areas. The primary goal of this work is to create a sustainable alternative to conventional cultivation that works regardless of soil type and climatic conditions. At the same time, the work aims to optimize water use and yield through automated irrigation and nutrient delivery.

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	vii
Tabellenverzeichnis	ix
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Theorie</b>	<b>3</b>
2.1 Definition Hydroponik . . . . .	3
2.2 Vor- und Nachteile der Hydroponik . . . . .	3
2.3 Chemische Grundlagen . . . . .	5
2.3.1 Nährstoffe . . . . .	5
2.3.2 pH-Wert . . . . .	7
2.3.3 Elektrischer Leitwert . . . . .	9
2.4 Arten der Hydroponik . . . . .	9
2.4.1 Aktive Systeme . . . . .	10
2.4.2 Passive Systeme . . . . .	17
<b>3 Anforderungen</b>	<b>21</b>
3.1 Allgemeine und mechanische Anforderungen an das Beet . . . . .	21
3.2 Anforderungen an die Software . . . . .	22
3.3 Anforderungen an die Elektronik . . . . .	23
<b>4 Konzept</b>	<b>25</b>
4.1 Auswahl des hydroponischen Systems . . . . .	25
4.2 Grundaufbau . . . . .	25
4.3 Elektronik . . . . .	27
4.3.1 Spannungsversorgung . . . . .	27
4.3.2 Mikrocontroller . . . . .	27
4.3.3 Sensoren . . . . .	28
4.3.4 Aktoren . . . . .	30

<b>5</b>	<b>Aufbau des Beetes</b>	<b>33</b>
5.1	Mechanischer Aufbau Pflanzenbehälter . . . . .	33
5.2	Elektronik . . . . .	36
<b>6</b>	<b>Programmierung</b>	<b>43</b>
6.1	a_global.ino . . . . .	43
6.2	b_setup.ino . . . . .	44
6.2.1	Timer . . . . .	44
6.3	c_loop.ino . . . . .	47
6.4	d_tds_Messung.ino . . . . .	47
6.5	e_pHMessung.ino . . . . .	47
6.6	f_lcd_ausgabe.ino . . . . .	49
6.7	g_getMedianNum.ino . . . . .	50
6.8	h_fuellstand.ino . . . . .	50
6.9	i_led.ino . . . . .	51
<b>7</b>	<b>Test und Beurteilung</b>	<b>52</b>
7.1	Erster Testlauf . . . . .	52
7.1.1	Steigrohr Luftheberpumpe . . . . .	52
7.1.2	Magnetventil . . . . .	52
7.1.3	Beurteilung erster Testlauf . . . . .	53
7.2	Zweiter Testlauf . . . . .	53
7.2.1	Funktionsprüfung Tauchpumpe . . . . .	53
7.2.2	Spannungsregler . . . . .	54
7.2.3	LCD-Display . . . . .	54
7.2.4	Beurteilung zweiter Testlauf . . . . .	54
7.3	Dritter Testlauf . . . . .	55
7.4	Inbetriebnahme des hydroponischen Beetes . . . . .	55
7.4.1	Nährstoffzugabe . . . . .	56
7.5	Beurteilung der Inbetriebnahme . . . . .	56
7.5.1	Beurteilung der allgemeinen und mechanischen Anforderungen . . . . .	57
7.5.2	Beurteilung der Anforderungen der Software . . . . .	60
7.5.3	Beurteilung der elektronischen Anforderungen . . . . .	61
7.6	Zusammenfassung der Ergebnisse . . . . .	61
<b>8</b>	<b>Fazit und Ausblick</b>	<b>62</b>
8.1	Fazit . . . . .	62

8.2	Ausblick . . . . .	63
8.2.1	Luftheberpumpe . . . . .	63
8.2.2	Wassertank . . . . .	63
8.2.3	Spannungsregler des Arduinos . . . . .	64
8.2.4	Tageslichtlampen . . . . .	64
8.2.5	Inselsystem . . . . .	64
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>65</b>
	<b>A Anhang</b>	<b>67</b>
	Selbstständigkeitserklärung . . . . .	71

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Unterschied der Nährstofflösungen für den konventionellen Anbau und der Hydroponik [15] . . . . .	7
2.2	Verfügbarkeit der Elemente bei verschiedenen pH-Werten [15] . . . . .	8
2.3	Nährstoff-Film-Technik [6] . . . . .	11
2.4	Deep-Flow-Technik [6] . . . . .	12
2.5	Ebbe-Flut-System [6] . . . . .	14
2.6	Tropfenbewässerungssystem [6] . . . . .	15
2.7	Aeroponik [12] . . . . .	17
2.8	Dochtsystem [12] . . . . .	18
2.9	Tiefwasserkultur [12] . . . . .	19
4.1	Skizze des grundlegenden Aufbaus . . . . .	26
4.2	pH-Sensor . . . . .	29
4.3	Leitwertsensor . . . . .	29
4.4	Bereits im Deckel eingebauter Füllstandssensor . . . . .	30
5.1	Deckel des Pflanzenbehälters . . . . .	34
5.2	Draufsicht vom Ablauf . . . . .	34
5.3	Untere Ansicht vom Ablauf . . . . .	35
5.4	Schutzkiste mit LCD-Display und zwei LEDs . . . . .	36
5.5	Platine mit aufgestecktem Arduino Nano . . . . .	37
5.6	Pinbelegungsplan des Arduino Nanos . . . . .	38
5.7	Stromlaufplan des Beetes (Erstellt mit EasyEDA) . . . . .	39
5.8	Funktionsweise der Freilaufdiode parallel zum Magnetventil (Erstellt mit EasyEDA) . . . . .	41
5.9	Transistorschaltungen für das Magnetventil und den Wechselrichter auf einem Breadboard . . . . .	42
6.1	Anordnung der INO-Dateien, sortiert nach dem Alphabet . . . . .	43

6.2	Prescaler des Arduino Nanos [10] . . . . .	45
6.3	pH-Sonde während der Kalibrierung in einer Pufferlösung mit einem pH-Wert von 7 . . . . .	49



# Tabellenverzeichnis

7.1	Kosten der verwendeten Bauteile . . . . .	59
A.1	Anforderungsanalyse grundlegender Aufbau . . . . .	68
A.2	Anforderungsanalyse Software . . . . .	69
A.3	Anforderungsanalyse Elektrik . . . . .	70

# 1 Einleitung

Der Wasserbedarf der Menschheit steigt stetig an. Nicht allein durch die immer größer werdende Weltbevölkerung, welche laut des Statistischen Bundesamtes im November 2022 den Wert von 8 Milliarden Menschen überstiegen hat [3], sondern auch durch die damit hergehende wachsende Industrialisierung. So wird laut der Vereinten Nationen der Wasserbedarf im Jahr 2050 um voraussichtlich 55% steigen. [9]

Proportional zum Wachstum der Bevölkerung steigt der Nahrungsbedarf und somit auch der Bedarf an mehr und mehr Anbaufläche für Nutzpflanzen.

In einigen Regionen auf der Welt ist der Zugang sowohl zur Nahrung als auch zum Wasser sehr begrenzt. Zusätzlich herrscht in diesen Regionen häufig ein extremes Klima, sodass fruchtbare Anbauflächen kaum vorhanden sind und somit der ertragreiche konventionelle Anbau von Nutzpflanzen deutlich erschwert ist. Gerade diese Regionen sind auf eine nachhaltigere und wassersparende Alternative zum konventionellen Anbau von Pflanzen angewiesen [17].

Eine dieser nachhaltigeren Lösungen stellt die Hydroponik dar. Ein hydroponisches Beet ist ein in sich abgeschlossenes System, welches keine Erde und somit auch keine ideale Anbaufläche benötigt. Durch die gezielte Steuerung einer Pumpe zirkuliert das Wasser in einem Kreislauf zwischen dem Pflanzenbehälter und dem Wassertank. Das Wasser kann somit mehrmals verwendet werden. Im Vergleich zum konventionellen Anbau kann so der Wasserverbrauch drastisch reduziert werden, da beispielsweise keine Wasserverluste durch Versickerungen im Boden entstehen können.

Diese Arbeit befasst sich mit der Planung, der Entwicklung sowie dem Aufbau und der Inbetriebnahme eines automatisierten hydroponischen Beetes.

Zu Beginn der Arbeit gibt es einen Einblick in die Theorie der Hydroponik. Hier wird zunächst der Begriff „Hydroponik“ erklärt und beschrieben. Anschließend werden die chemischen Grundlagen zum pH-Wert, dem Leitwert und zu den Nährstoffen erklärt. Darauffolgend werden die bedeutendsten Systeme der Hydroponik kurz beschrieben und

verglichen. Anschließend werden die benötigten Komponenten in den Systemen erklärt. Auf die Theorie folgend werden die Anforderungen an das hydroponische Beet für diese Arbeit aufgestellt. Mithilfe dieser Anforderungen wird ein System ausgewählt und ein Konzept erstellt. Das Konzept selbst gestaltet sich aus der Funktionsweise des Beetes sowie der Auswahl der benötigten Komponenten und Materialien.

Das nächste Kapitel begleitet den Aufbau des Systems sowie die Erstellung und Implementierung des Codes. Hierbei werden Schwierigkeiten, neue Erkenntnisse und gegebenenfalls Abweichungen vom Konzept beschrieben und erläutert.

Nach dem Aufbau wird das System getestet und in Betrieb genommen. Anhand der aufgestellten Anforderungen wird das hydroponische System bewertet.

Abschließend gibt es ein Fazit zu der kompletten Arbeit.

## 2 Theorie

### 2.1 Definition Hydroponik

Das Wort Hydroponik hat seine Wurzeln in den griechischen Wörtern: „hydro“ Wasser und „ponos“ Arbeit. Es lässt sich unter anderem durch „mit Wasser arbeiten“ übersetzen [15].

Dies trifft die Funktionsweise der Hydroponik ziemlich gut, denn im Gegensatz zum konventionellen Anbau kommen hydroponische Systeme gänzlich ohne Erde aus. Die Wurzeln der Pflanzen hängen stattdessen im Wasser oder einem Substrat. Das Wasser wird über eine Nährstofflösung angereichert, sodass eine ideale Dosierung der Nährstoffe im Wasser einstellbar ist. Über eine Pumpe wird diese Nährstofflösung durch das komplette System befördert, sodass die Wurzeln stetig genügend Sauerstoff, Nährstoffe und Wasser haben.

Zusätzlich beschreibt die Hydroponik keine einzelne Technik für den Anbau, sondern zeigt mehrere verschiedene Methoden auf. Die wichtigsten Methoden der Hydroponik werden im Laufe dieses Kapitels noch beschrieben und erklärt. Zunächst folgt jedoch ein Vergleich zwischen der Hydroponik und dem konventionellen Anbau.

### 2.2 Vor- und Nachteile der Hydroponik

Die Hydroponik bringt gegenüber dem konventionellen Anbau sowohl einige Vorteile als auch einige Nachteile mit sich. Im Folgenden werden zunächst die Vorteile der aufgelistet:

- **Nährstoff- und pH-Wertkontrolle möglich**

Die Nährstoffzugabe ist komplett kontrollierbar, sodass im Wurzelbereich nur diejenigen Stoffe vorhanden sind, die auch in das Wasser gegeben wurden. Über den

Leit- und pH-Wert des Wassers lassen sich die optimalen Voraussetzungen leicht herstellen [15].

- **Wassereinsparung**

Gegenüber einem konventionellen System bringt die Hydroponik eine Wassereinsparung von etwa 50% mit sich. Dies kommt daher, dass das Wasser lediglich von der Pflanze verdunstet wird und kein Wasser durch Versickerung verloren geht [15].

- **Nährstoffeinsparung**

Wie bereits beim Wasser werden die Nährstoffe nur von den Pflanzen verbraucht. Nährstoffe gehen nicht durch Versickerung verloren. Zusätzlich besteht keine Gefahr, das Grundwasser zu verschmutzen [15].

- **Platzersparnis**

Ein weiter Vorteil ist die Platzersparnis. Durch die optimale Nährstoffdosierung im Wasser müssen die Wurzeln der Pflanzen nicht so stark wachsen. Die Pflanzen brauchen somit weniger Platz. Zusätzlich ist es möglich, die Hydroponik Systeme übereinander anzusiedeln [15].

- **Zugang zu den Wurzeln**

Da sich die Pflanzen in einem hydroponischen Beet meist in einem herausnehmbaren Netztopf befinden, aus dem die Wurzeln der Pflanze in das Wasser herauswachsen, ist der Zugang zu den Wurzeln leicht gegeben. Dies ist ein deutlicher Vorteil gegenüber zum konventionellen Anbau. Denn anhand der Wurzeln kann der Gesundheitszustand einer Pflanze einfacher und schneller abgeleitet werden [15].

- **Anbau unter schlechten Bedingungen möglich**

Auch bei schlechten klimatischen Bedingungen, bei denen ein konventioneller Anbau nicht in Frage kommt, da kein fruchtbarer Boden vorhanden ist, kann ein Anbau in einem hydroponischen System stattfinden [15].

Trotz der vielen Vorteile bringt die Hydroponik auch einige Nachteile mit sich. Die wesentlichen Nachteile sind folgende:

- **Relativ hohe Anschaffungskosten**

Im Vergleich zum konventionellen Anbau sind die Anschaffungskosten ziemlich hoch, da mehr Technik benötigt wird [15].

- **Energiebedarf**

Durch die benötigte Technik wie die Pumpe ist ein gewisser Energiebedarf bei der Hydroponik gegeben. Dieser variiert je nach Standort und Größe des Beetes [15].

- **Größere Auswirkungen bei technischen Defekten oder Fehlern**

Die Wurzeln der Pflanzen werden von der Nährstofflösung umspült. Bei einem technischen Defekt der Pumpe oder gar einem Energieausfall kommen keinerlei Nährstoffe mehr zur Pflanze. Im schlimmsten Fall stirbt die Pflanze in dieser Zeit ab [15].

Die Betrachtung der Vor- und Nachteile der Hydroponik zeigt im Vergleich mehr Vorteile als Nachteile auf. Gerade die Wassereinsparung und der Anbau unter schlechten Bedingungen sind für diese Arbeit bedeutende Punkte. Somit könnten Menschen in Gebieten, in denen der Boden durch das Klima nicht fruchtbar ist oder der Zugang zu Wasser erschwert ist, trotzdem Nutzpflanzen zur Ernährung anbauen.

## 2.3 Chemische Grundlagen

Die Chemie spielt in der Hydroponik eine grundlegende Rolle. Es wird eine Nährstofflösung benutzt, welche die Pflanzen mit allen notwendigen Nährstoffen versorgt. Hierfür bedarf es einer optimalen Konzentration und Zusammensetzung. So spielen nicht nur die Nährstoffe eine wichtige Rolle, sondern auch der Leitwert und der pH-Wert ist für die Aufnahme der Nährstoffe essenziell.

### 2.3.1 Nährstoffe

Die Zusammensetzung der Nährstofflösung muss den Pflanzen angepasst werden, die in dem Beet wachsen sollen. Die Nährstoffe werden in drei Kategorien unterteilt: Die Makronährstoffe, die sekundären Nährstoffe und die Mikronährstoffe.

Zu den Makronährstoffen gehören Stickstoff, Kalium und Phosphor. Diese Nährstoffe werden in großen Mengen benötigt und machen den größten Teil der Lösung aus.

Die sekundären Nährstoffe setzen sich aus Calcium, Magnesium und Schwefel zusammen. Diese Elemente sind in einer geringeren Konzentration in der Nährstofflösung vorhanden, aber dennoch deutlich höher dosiert als die Mikronährstoffe.

Die gering dosierten Mikronährstoffe setzen sich aus folgenden Elementen zusammen: Eisen, Kupfer, Zink, Mangan, Bor, Molybdän und Chlor. Diese Elemente sind nicht in der Struktur der Pflanze vorhanden, sondern greifen bei Enzymreaktionen ein. Dies ist der Grund, weswegen eine geringere Menge der Elemente benötigt wird.

Zusätzlich zu diesen 13 Elementen werden mit Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff noch 3 weitere Elemente benötigt. Diese müssen jedoch nicht über eine Nährstofflösung hinzugefügt werden, sondern sind direkt im Wasser vorhanden.

Diese 16 Elemente sind für den Pflanzenwachstum und die Gesundheit der Pflanze unerlässlich. Es gibt noch eine Reihe an weiteren Elementen, die jedoch nicht absolut notwendig sind [15].

Bei einem Vergleich zwischen einer optimalen Nährstofflösung für die Hydroponik und eines Düngers für den konventionellen Pflanzenanbau in der Erde wird deutlich sichtbar, dass die Lösung für die Hydroponik höher dosiert sein muss. Dies hat den Hintergrund, dass die Erde bereits mit verschiedenen Elementen angereichert ist. Somit müssen nur die fehlenden Nährstoffe hinzugefügt werden. Genau diese Elemente werden in der Hydroponik mit hinzugegeben, sodass die Pflanzen komplett ohne Erde wachsen können und sich die Nährstoffe gänzlich aus der Lösung ziehen.

Die folgende Grafik 2.1 stellt diesen Unterschied deutlich dar.

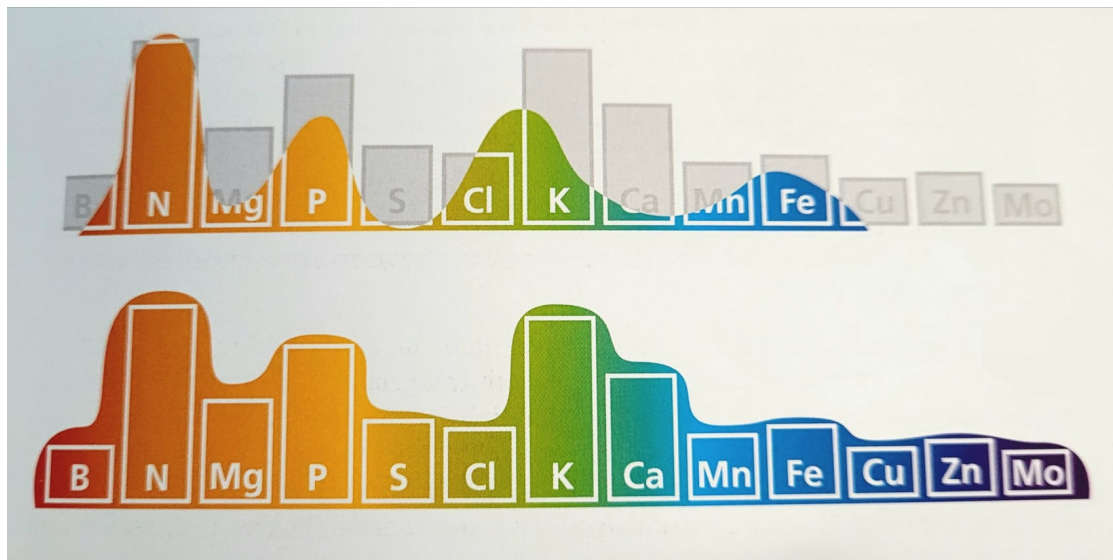


Abbildung 2.1: Unterschied der Nährstofflösungen für den konventionellen Anbau und der Hydroponik [15]

Zu sehen ist in Grafik 2.1, dass im unteren Grafen alle Nährstoffe farblich überdeckt sind, also demnach komplett durch die Lösung bereitgestellt werden müssen. Im Vergleich dazu ist im oberen Grafen nur ein Teil der Elemente farblich hinterlegt, denn der Rest der Nährstoffe ist bereits im Boden vorhanden. Der Dünger bzw. die Nährstoffmischung ist also weniger stark dosiert.

### 2.3.2 pH-Wert

Neben den Nährstoffen der Lösung ist der pH-Wert ein wichtiger Faktor. In der Hydroponik werden sämtliche Pflanzen bei einem leicht sauren pH-Wert gezüchtet, auch wenn diese in der Erde einen völlig anderen pH-Wert bevorzugen [15]. Der Hauptgrund liegt darin, dass bei einem pH-Wert von 7 und höher das Eisen aus der Lösung ausfallen kann.

Somit sollte der pH-Wert stets unter 7, am besten mit einem kleinen Puffer liegen. Einen idealen Wert gibt es hier nicht, denn abhängig vom pH-Wert nehmen die Pflanzen die verschiedenen Nährstoffe unterschiedlich gut auf. Es gibt also keinen idealen Wert, an welchem die Pflanze alle Nährstoffe gleich gut aufnimmt.



Die folgende Tabelle zeigt auf, wie gut verschiedene Elemente von der Pflanze bei pH-Werten von 5 bis 7 aufgenommen werden können.

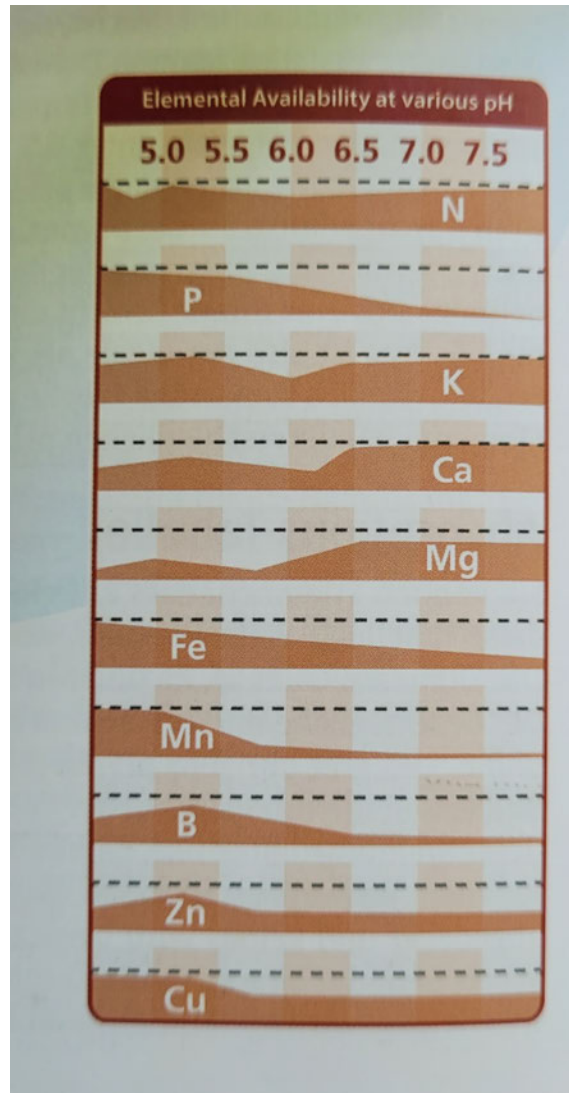


Abbildung 2.2: Verfügbarkeit der Elemente bei verschiedenen pH-Werten [15]

Bei der Betrachtung der Grafik fällt auf, dass besonders die Makronährstoffe eher in der niedrigeren Skala aufgenommen werden können. Laut William Texier sollte der pH-Wert nicht auf einen festen Wert eingegrenzt werden, sondern eher einen bestimmten Bereich abdecken, über dem der pH-Wert schwanken kann [15]. Somit können deutlich mehr

Nährstoffe von der Pflanze aufgenommen werden. Ein guter Bereich liegt zwischen einem pH-Wert von 5,5 bis 6,5. Natürlich muss dieser dennoch an die ausgewählten Pflanzen angepasst werden.

Durch die Nährstoffaufnahme der Pflanzen neigt der pH-Wert anzusteigen. Somit sollte der pH-Wert zunächst an die untere Grenze angepasst werden. Nach und nach steigt der pH-Wert nun an. Sobald dieser den oberen Grenzwert erreicht hat, muss dieser mithilfe eines pH-Senkers manuell herunterkorrigiert werden. Dieser Zyklus muss stetig durchgeführt werden.

### 2.3.3 Elektrischer Leitwert

Die elektrische Leitfähigkeit des Wassers ist ein Maß für die Konzentration der gelösten Salze in der Nährstofflösung. Sie wird in ppm, EC, TDS oder CF gemessen. Die optimale Leitfähigkeit verändert sich mit der Art der Pflanzen. So liegt beispielsweise der ideale EC-Wert bei einem Kopfsalat in einem Bereich von 0,8 - 1,3 mS, für Basilikum wiederum bei 1,4 - 1,8 mS [11].

Bei diesen Werten können die genannten Pflanzen deutlich besser die Nährstoffe aufnehmen. Zusätzlich nimmt die Pflanze keinen Schaden. Bei einem zu hohen Leitwert, also einer höheren Konzentration an gelösten Salzen, besteht die Gefahr, dass die Pflanze einen Wurzelbrand erhält und keine Nährstoffe mehr aufnehmen kann. Dies würde letztendlich zum Absterben der Pflanze führen [15].

## 2.4 Arten der Hydroponik

Es gibt eine Vielfalt an hydroponischen Systemen, welche sich im Wesentlichen in zwei Hauptgruppen unterteilen lassen, die passiven Systeme und die aktiven Systeme.

Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen besteht in der Bewässerung der Pflanzen. Während aktive Systeme das Wasser mithilfe einer Pumpe in einem Kreislauf fördern, kommen passive Systeme gänzlich ohne eine Wasser- oder Luftheberpumpe aus. Hier werden zum Beispiel physiche Effekte wie der Kapillareffekt benutzt oder die Wurzeln hängen durchgehend in der Nährstofflösung.

Die folgenden Abschnitte geben einen Einblick in die wichtigsten hydroponischen Systeme, deren Mindestanforderungen an Komponenten und einer schematischen Darstellung

des Systems. Zunächst werden die aktiven Systeme betrachtet.

### 2.4.1 Aktive Systeme

#### Nährstoff-Film-Technik

Die Nährstoff-Film-Technik oder kurz einfach NFT ist ein aktives hydroponisches System. Die Pflanzenbehälter werden bei diesem System in den meisten Fällen mittels Rohre realisiert. Diese sind mit einer leichten Neigung angebracht, sodass die Nährstofflösung, welche über eine Pumpe in die Rohre befördert wird, selbstständig wieder abfließen kann. Hierbei umspült die Nährstofflösung die Wurzeln der Pflanzen mit einem dünnen Film.

Die Mindestanforderungen eines NFT-Systems sind wie folgt:

- Ein Wasserreservoir
- Pflanzenbehälter mit einer Neigung. (Bspw. Rohre)
- Eine Wasser- oder Luftheberpumpe

Folgend eine schematische Darstellung des NFT-Systems.

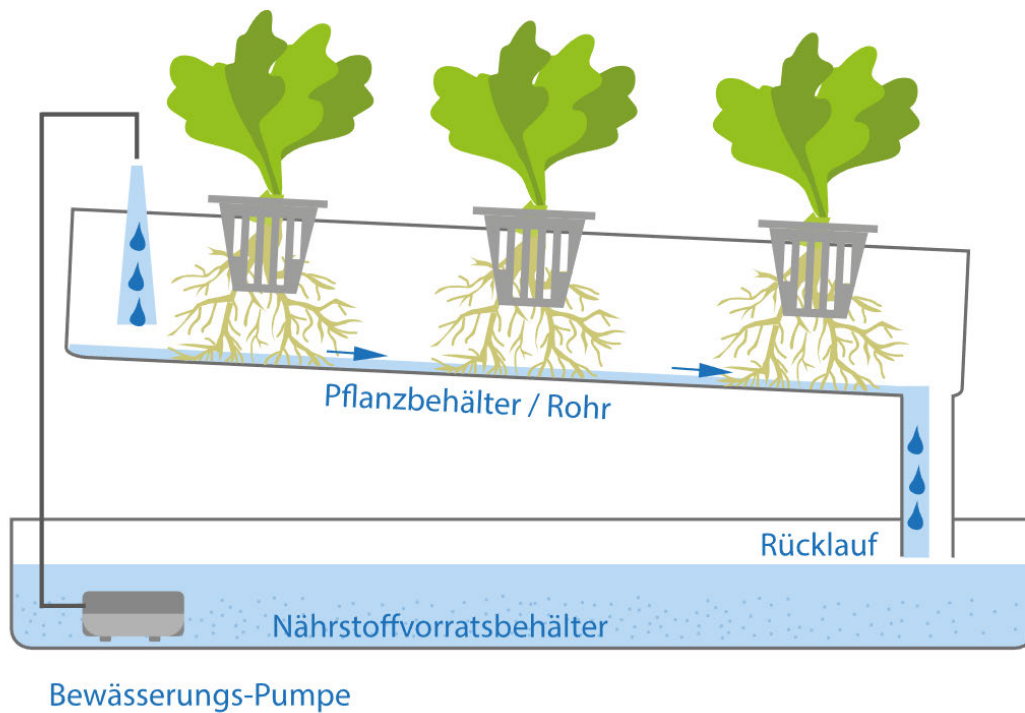


Abbildung 2.3: Nährstoff-Film-Technik [6]

Durch die Neigung der Pflanzenbehälter werden die Wurzeln der Pflanze durchgehend mit frischer Nährstofflösung umspült. Zusätzlich haben die Wurzeln durchgehend einen Zugang zur Luft, da die Nährstofflösung die Wurzeln nur minimal umspült. In diesem System ist ein schnelles Wachstum der Pflanzen gegeben.

Im Vergleich zu anderen aktiven Systemen gestaltet sich die Programmierung beim NFT-System eher einfach, da die Pumpe hier beispielsweise durchgehend läuft. Einzig muss hier beachtet werden, dass die Pumpe nicht zu viel Wasser fördert. Zusätzlich ist es bei diesem System nicht nötig den Code abzuändern, wenn andere Pflanzen in dem System verwendet werden. Hier müssen lediglich die Nährstoffe angepasst werden.

Der größte Nachteil in diesem System ist die starke Abhängigkeit von der Technik. Da die Pflanzen nur von einem millimeterdünnen Film umspült werden, können die Pflanzen schnell austrocknen, wenn ein technischer Fehler vorliegt und die Pumpe kein Wasser mehr fördert [12].

## Deep-Flow-Technik

Die Deep-Flow-Technik, kurz DFT, ist eine abgeänderte Version der Nährstoff-Film-Technik, aber auch diese ist ein aktives System. Wie bei der NFT befinden sich die Pflanzen in Behältern, die mit einer kleinen Neigung angebracht sind und die Nährstofflösung selbstständig abfließen kann. Der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Techniken besteht in dem Volumenstrom der Nährstofflösung, welcher die Wurzeln der Pflanzen umspült. Bei der Deep-Flow-Technik ist dieser 2-4 cm dick.

Die Mindestanforderungen eines DFT-Systems bestehen aus den gleichen Komponenten wie bei einem NFT-System.

- Ein Wasserreservoir
- Pflanzenbehälter mit einer Neigung. (Bspw. Rohre)
- Eine Wasser- oder Luftheberpumpe

In der folgenden Grafik ist der grundlegende Aufbau eines DFT-Systems dargestellt.

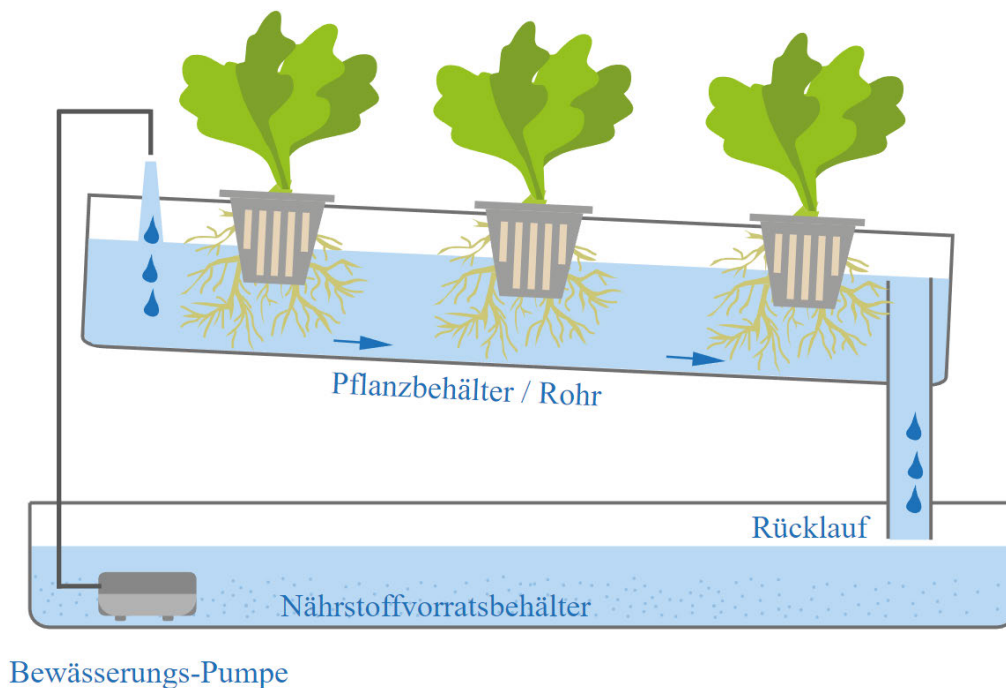


Abbildung 2.4: Deep-Flow-Technik [6]

Bei dem Vergleich der Grafiken 2.3 und 2.4 ist erkennbar, dass der Rücklauf bei einem DFT-System deutlich erhöht ist. Dies hat zur Folge, dass das System deutlich robuster gegenüber technischen Defekten und Stromausfällen ist, da die Wurzeln weiterhin durch die Nährstofflösung versorgt werden.

Ein großer Nachteil bei diesem System liegt in der Sauerstoffversorgung. Gerade bei Systemen, die etwas größer oder länger sind, ist die Versorgung mit Sauerstoff unterschiedlich. Dies resultiert darin, dass die Pflanzen ungleichmäßig wachsen [12].

### **Ebbe-Flut-System**

Das Ebbe-Flut-System ist ein weiteres aktives System. Bei diesem System wird der Behälter mit den Pflanzen regelmäßig mit einer Nährstofflösung geflutet und diese anschließend über einen Abfluss wieder abgeführt. Dies sind die beiden Zustände, nachdem das System benannt ist, die Flut und die Ebbe. Das Fluten wird in einem, auf die Pflanzen optimierten, Intervall festgelegt. Dieses System ist im Vergleich zu den weiteren Systemen etwas aufwendiger im Aufbau und in der Programmierung des Controllers.

Die Mindestanforderung für ein solches System besteht aus folgenden Komponenten:

- Ein Wasserreservoir
- Ein Pflanzenbehälter
- Eine Wasser- oder Luftheberpumpe
- Eine Zeitschaltuhr oder ein Controller, zur Steuerung des Flutungsintervalls
- Ein Abfluss, der weniger Durchsatz hat, als die Pumpe fördert

Die folgende Grafik zeigt eine schematische Darstellung des Ebbe-Flut-Systems.

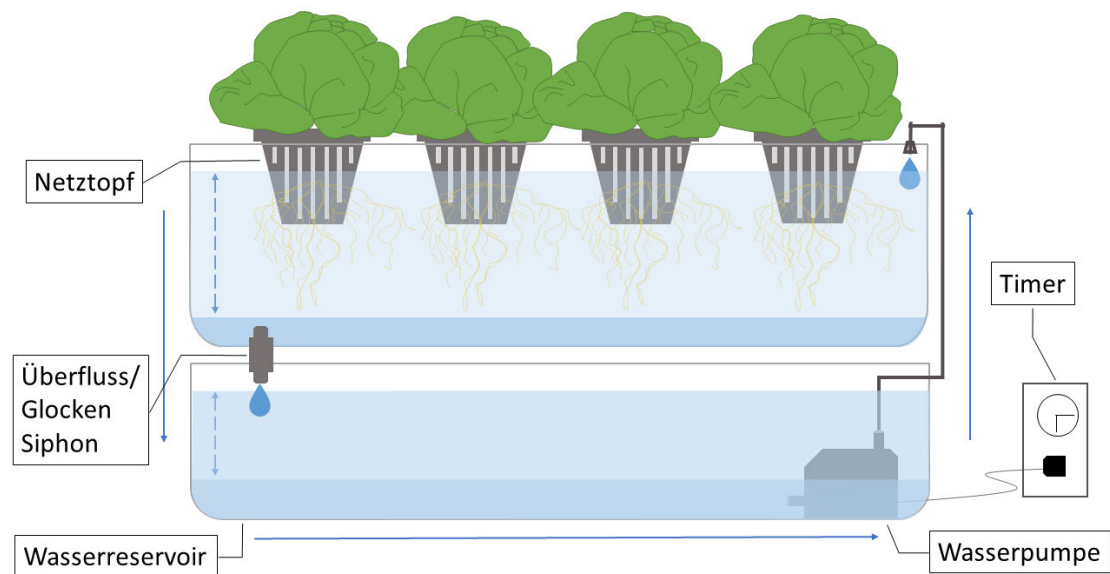


Abbildung 2.5: Ebbe-Flut-System [6]

Über die Intervalle des Flutens und der Ebbe ist es möglich, eine weite Variation an Pflanzen in einem Ebbe-Flut-System zu züchten. Zusätzlich zur Variation ermöglicht die Anpassung der Intervalle vergleichsweise hohe Erträge, da die Nährstoffzugabe so optimal an die Pflanzen angepasst werden kann. Gleichzeitig muss die Pumpe nur in gewissen Intervallen das Wasser fördern, sodass im Vergleich zu anderen Systemen Strom gespart werden kann.

Auch an diesem System liegt ein großer Nachteil in der etwas aufwendigeren Technik. Bei einem Defekt oder einem Stromausfall können die Pflanzen nicht mehr mit Wasser und Nährstoffen versorgt werden und das Risiko des Absterbens der Pflanze ist damit gegeben [12].

## Tröpfchenbewässerungssysteme

Bei dem Tröpfchenbewässerungssystem befinden sich die Pflanzen in einem Substrat, welches die Pflanzen fixiert. Anders als bei den vorherigen Systemen befinden sich die Wurzeln hier nicht in einer Nährstofflösung. Stattdessen wird die Lösung über Tropfleitungen auf das Substrat getropft. Die Nährstofflösung fließt an den Wurzeln vorbei und

versorgt diese. Überschüssige Nährstofflösung fließt in eine Auffangwanne ab und zieht dabei Sauerstoff in den Wurzelbereich.

Für ein einfaches Tröpfchenbewässerungssystem sind folgende Komponenten nötig:

- Ein Wasserreservoir
- Ein Pflanzenbehälter
- Eine Wasser- oder Luftheberpumpe
- Tropfleitungen
- Eine Auffangwanne

In Grafik 2.6 ist der schematische Aufbau eines Tröpfchensystems dargestellt.

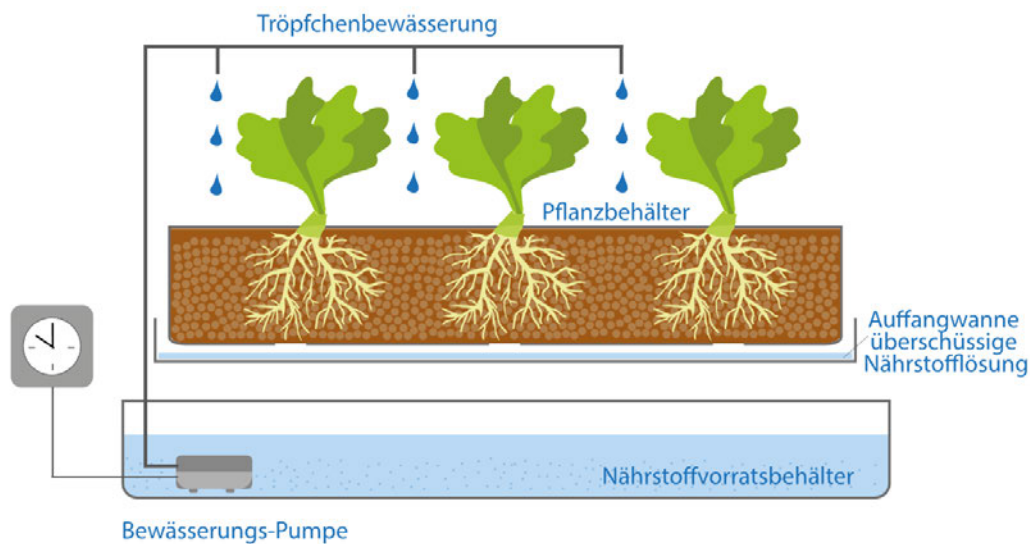


Abbildung 2.6: Tröpfchenbewässerungssystem [6]

Es gibt zwei Varianten des Tröpfchenbewässerungssystems. Unterscheiden lässt sich zwischen einem nicht rezirkulierenden System und einem rezirkulierenden System. In Grafik 2.6 ist ein nicht rezirkulierendes System dargestellt. Um hieraus ein rezirkulierendes System zu erhalten, müsste in die Auffangwanne ein Abfluss eingebaut werden, sodass die Nährstofflösung wieder in das Wasserreservoir abfließen kann.



Bei einem nicht rezirkulierenden System werden die Pflanzen immer mit einer frischen Nährstofflösung betröpfelt, da die bereits verwendete Lösung aufgefangen wird und nicht zurückbefördert wird. Hierdurch ist es möglich, die Ausbreitung von Krankheitserregern zu vermeiden. Jedoch ist bei diesem System ein deutlich erhöhter Verbrauch von Wasser und Nährstoffen gegeben.

Bei einem rezirkulierenden System wird die Lösung wieder zurückgeführt und erneut verwendet. Der Vorteil, die Ausbreitung der Krankheitserreger zu vermeiden, entfällt somit [12].

### **Aeroponik**

In der Aeroponik hängen die Wurzeln, anders als bei den anderen Systemen, in der Luft. Unterhalb der Pflanzen befinden sich Zerstäubungsdüsen, welche die Wurzeln mit einem Nährstoffnebel umhüllen.

Für den Aufbau eines aeroponischen Systems werden folgende Komponenten benötigt:

- Ein Wasserreservoir
- Netztöpfe mit Substrat, die über dem Reservoir hängen
- Zerstäubungsdüsen
- Eine Wasserpumpe

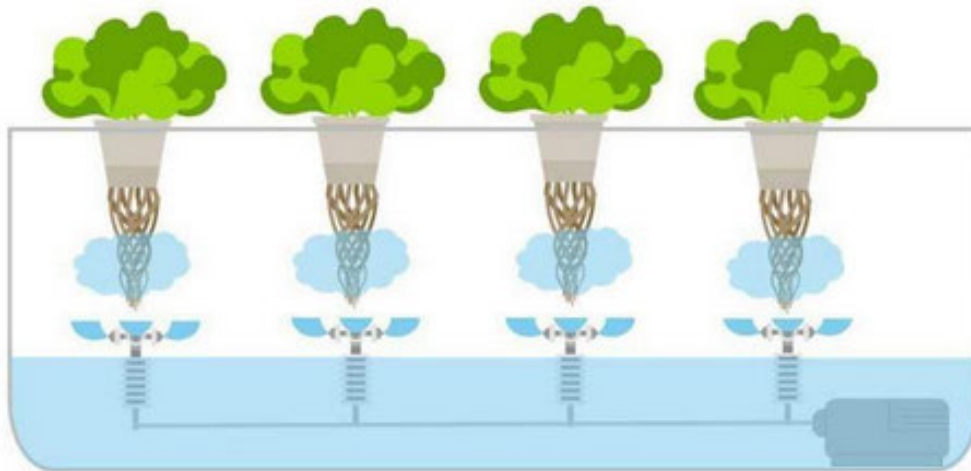


Abbildung 2.7: Aeroponik [12]

Aeroponische Systeme bieten die optimale Versorgung der Wurzeln mit allem, was sie zum Wachsen benötigen, sie arbeiten sehr effektiv und liefern ein maximales Pflanzenwachstum und zählen deshalb zu den aktiven Hydroponiksystemen. Der technische Aufwand ist wegen des hohen Wasserdrucks für die Düsen oder die eingesetzten Vernebler jedoch hoch. Außerdem muss durch technische Maßnahmen ein Verstopfen der Düsen vermieden werden. Nachteilig ist, dass ein Ausfall der Vernebler nicht lange Zeit von den frei hängenden Wurzeln verkraftet wird [12].

#### 2.4.2 Passive Systeme

##### Dochtsystem

Das Dochtsystem ist eines der einfacheren Systeme der Hydroponik. Es ist ein passives System und wird demnach ohne eine Pumpe betrieben. Die Pflanzen hängen über dem Wassertank mit der Nährstofflösung. Über einen Docht sind die Wurzeln der Pflanze mit der Nährstofflösung verbunden. Über den Kapillareffekt wird die Nährstofflösung zu den Wurzeln getragen.

Ein einfaches Dochtsystem benötigt lediglich folgende Komponenten:

- Ein Wasserreservoir
- Netztöpfe mit Substrat
- Einen Docht für jede Pflanze

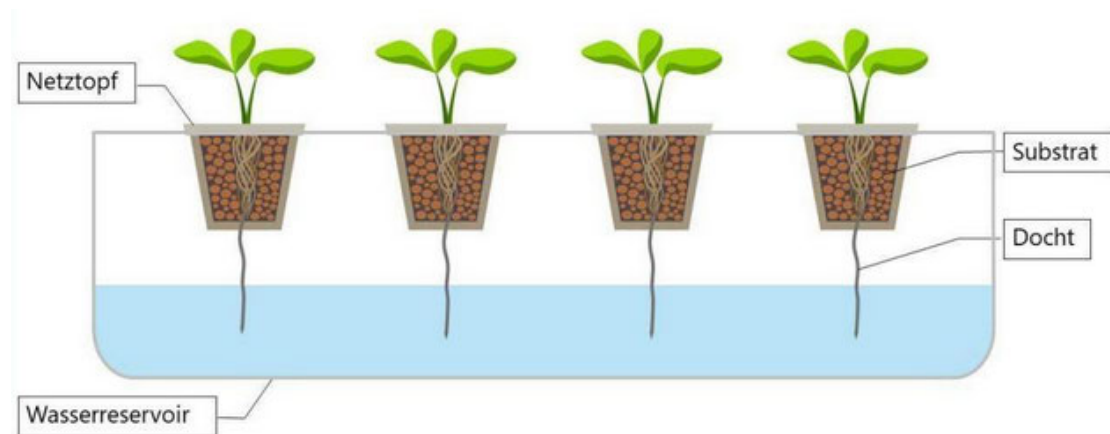


Abbildung 2.8: Dochtsystem [12]

In der Herstellung ist das Dochtsystem eines der günstigsten Systeme der Hydroponik, da sehr wenige mechanische und keine elektrischen Bauteile benötigt werden. Für den Aufbau des Dochtsystems werden lediglich ein Wasserreservoir, ein Pflanzenbehälter und ein Docht benötigt. Daher ist der Aufbau ziemlich einfach.

Mit diesem System können aber lediglich kleinere Pflanzen gezüchtet werden und der Ertrag ist im Vergleich zu den anderen Systemen geringer [12].

## Tiefwasserkultur

Das letzte System, welches betrachtet wird, ist die Tiefwasserkultur. Auch dieses System ist ein passives hydroponisches System, bietet aber die Möglichkeit, aktiv betrieben zu werden. Die einfachste Art der Tiefwasserkultur besteht lediglich aus einem Wasserreservoir mit der Nährstofflösung. Die Pflanzen schwimmen mithilfe von Styropor oder

Ähnlichen in der Nährstofflösung und werden somit durchgehend mit Nährstoffen versorgt. In der aktiven Version wird zusätzlich eine Luftpumpe benutzt.

Folgende Komponenten werden für die Tiefwasserkultur benötigt:

- Ein Wasserreservoir
- Einen Schwimmkörper oder Deckel
- Netztöpfe mit Substrat
- Luftpumpe (Nur in der aktiven Version nötig)

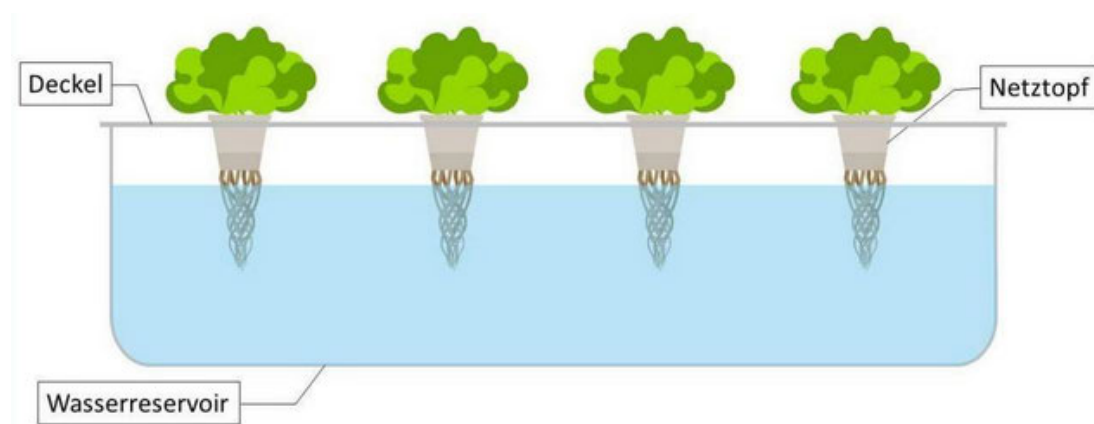


Abbildung 2.9: Tiefwasserkultur [12]

Neben dem einfachen Aufbau des Systems zählen ein hoher Ertrag und geringe Kosten zu den wesentlichen Vorteilen des Systems.

Ein großer Nachteil des Systems besteht jedoch in der Sauerstoffzufuhr der Pflanzen. Da die Pflanzen durchgehend in der Nährstofflösung schwimmen oder hängen, müssen sich die Pflanzen den Sauerstoff aus dem Wasser ziehen. Die Menge an Sauerstoff reicht jedoch nicht aus und die Pflanzen neigen zu einem Sauerstoffmangel.

Daher wird das System zum Teil auch aktiv betrieben, indem eine Luftpumpe hinzugefügt wird, die dem Wasser mehr Sauerstoff zufügt, sodass die Pflanzen genügend Sauerstoff erhalten.

Das System eignet sich durch die geringe Menge an Sauerstoff nicht für alle Arten von Pflanzen. Am besten ist das System für Blattgemüse mit einem geringen Sauerstoffbedarf geeignet [12].

## 3 Anforderungen

In diesem Kapitel werden die Anforderungen an das System gestellt. Die Anforderungen werden in drei Kategorien unterteilt: Allgemeine und mechanische Anforderungen, Softwareanforderungen und Elektronikanforderungen.

Mithilfe dieser Anforderungen wird im Anschluss ein System ausgewählt und daraus ein Konzept für den Bau und die Programmierung des Beetes erstellt.

Abschließend wird das hydroponische Beet anhand der Anforderungen getestet und bewertet.

### 3.1 Allgemeine und mechanische Anforderungen an das Beet

#### **ID01 Funktionalität**

Das Beet soll nach dem Aufbau getestet werden. Daher muss das Grundkonzept des Beetes funktionieren. Die Pumpe muss die Nährstofflösung in den Pflanzenbehälter fördern und die Lösung muss anschließend wieder ablaufen.

#### **ID02 Dichtigkeit**

Ein wesentlicher Vorteil der Hydroponik liegt in der Wassereinsparung. Zusätzlich ist das Beet für Gebiete gedacht, in denen der Zugang zu Wasser eher begrenzt ist. Daher muss das Beet dicht sein, sodass kein Wasser verloren geht.

#### **ID03 Flutphase**

Während der Flutungsphase muss die Luftheberpumpe genügend Nährstofflösung in den Pflanzenbehälter fördern, sodass die Wurzeln der Pflanzen komplett in der Nährstofflösung hängen.

#### **ID04 Ebbephase**

Die Lösung muss während der Ebbephase so weit ablaufen, dass die Wurzeln frei hängen und diese genügend Sauerstoff erhalten können.

#### **ID05 Variation und Wachstum der Pflanzen**

Das Beet muss für verschiedene Arten von Pflanzen verwendet werden können und diese in dem Beet wachsen können. Dies bedeutet, dass das Beet an verschiedene Pflanzen angepasst werden kann, indem die Ebbe-Flut-Zyklen verändert werden, sodass Pflanzen mit unterschiedlichem Wasser- und Nährstoffbedarf angebaut werden können.

#### **ID06 Günstig und einfach**

Da das Beet für den Einsatz in ärmeren Gebieten gedacht ist, muss das Beet relativ günstig herstellbar sein. Gleichzeitig sollten der Aufbau und die Programmierung nicht zu komplex sein, sodass das Beet selbst repariert werden kann.

### **3.2 Anforderungen an die Software**

#### **ID07 Zyklen**

Der Ebbe-Flut-Zyklus muss den Pflanzen entsprechend angepasst werden. Außerdem muss dieser reibungslos funktionieren, da eine Fehlfunktion ein Austrocknen oder Ertränken der Pflanzen zur Folge haben kann.

#### **ID08 pH-Wert**

Der pH-Wert der Nährstofflösung muss regelmäßig überprüft werden, da ein falscher pH-Wert dazu führt, dass die Pflanze gewisse Nährstoffe nicht mehr aufnehmen kann. Über ein optisches Signal oder optional über ein LCD-Display wird ausgegeben, ob der pH-Wert im richtigen Bereich liegt, zu hoch oder zu niedrig ist.

#### **ID09 Leitwert**

Der Leitwert der Nährstofflösung muss regelmäßig überprüft werden. Auch hier wird über ein optisches Signal ausgegeben, ob der Leitwert sich in dem vorgegebenen Bereich befindet oder nicht.

#### **ID10 Magnetventil**

Die Ansteuerung des Magnetventils muss über eine Interrupt Service Routine, kurz ISR, funktionieren. Außerdem muss der Durchsatz durch das Ventil groß genug sein, sodass das Wasser zügig abläuft.

#### **ID11 Luftheberpumpe**

Die Ansteuerung der Luftpumpe muss auch über eine ISR funktionieren. Für die Stromersparnis muss die Pumpe das Pflanzenbehältnis zügig füllen, sodass diese nicht für eine lange Zeit laufen muss.

### **3.3 Anforderungen an die Elektronik**

#### **ID12 Spannungsversorgung**

Die Spannungsversorgung des Systems muss so ausgelegt sein, dass alle Sensoren, alle Aktoren und der Arduino mit Spannung versorgt werden. Außerdem sollte ein Puffer vorhanden sein, um das Beet mit weiteren Sensoren auszustatten.



### **ID13 Wasserdicht**

Die Elektronik muss geschützt vom Wasser sein, falls Anforderung ID02 nicht erfüllt wird oder anderweitig Wasser austritt.

# 4 Konzept

Dieses Kapitel beschreibt die Erstellung des Konzepts für das hydroponische System. Hierbei werden die einzelnen Komponenten für den Aufbau des Beetes sowie der Automatisierung erläutert.

## 4.1 Auswahl des hydroponischen Systems

Da das Beet für ärmere Regionen gedacht ist, muss besonders auf die Stromersparnis, den Wasserverbrauch sowie die Erträge und Variation an möglichen Pflanzen geachtet werden. Somit wird die Auswahl des hydroponischen Systems in Anbetracht der aufgestellten Anforderungen an das Beet auf die aktiven Systeme begrenzt. Bei einem höheren Stromverbrauch haben die aktiven Systeme eine deutlich höhere Ertragseffizienz.

Für diese Thesis fiel die Wahl auf das Ebbe-Flut-System. Dieses System ist im Vergleich zu den anderen aktiven Systemen stromsparend, da die Pumpe nicht durchgehend läuft, sondern nur während der Flutphase.

Die Mindestanforderungen eines einfachen Ebbe-Flut-Systems bestehen aus einem Wassertank, einem Pflanzenbehälter samt Substrat, einem Wasserablauf sowie einer Wasserpumpe inklusive Zeitschaltung. Da diese Arbeit sich mit der Automatisierung eines hydroponischen Beetes befasst, werden zusätzlich einige Sensoren, Aktoren und vor allem ein Mikrocontroller benötigt. Im Laufe dieses Kapitels werden all diese Sensoren beschrieben und erklärt.

## 4.2 Grundaufbau

Zunächst wird der einfache Aufbau des Beetes betrachtet.

Als Wassertank fungiert eine einfache Wassertonne mit einem Fassungsvermögen von 220 l. Dieses Volumen ist mehr als ausreichend, um den Pflanzenbehälter zu fluten.

Der Pflanzenbehälter selbst wird durch eine Eurobox vom Typ 3252N, mit einer Tiefe von 220 mm, einer Breite von 360 mm und einer Länge von 500 mm realisiert. Im Boden der Eurobox befindet sich ein Ablauf, durch welchen die zugeführte Nährstofflösung wieder ablaufen kann. In den Deckel der Eurobox werden insgesamt sieben Löcher gebohrt. In sechs der sieben Löcher werden die Netztöpfe mit Substrat und den Pflanzen eingesetzt. Das siebte Loch, welches sich am Rand des Deckels befindet, dient als Zulauf für die Nährstofflösung und zugleich als Halterung der Luftheberpumpe.

Der Ablauf des Pflanzenbehälters wird realisiert, indem ein Magnetventil über einfache Plastikschläuche mit dem Ablauf verbunden wird und das Wasser zurück in den Wassertank leitet.

In der folgenden Abbildung 4.1 ist der grundlegende Aufbau als Skizze dargestellt.

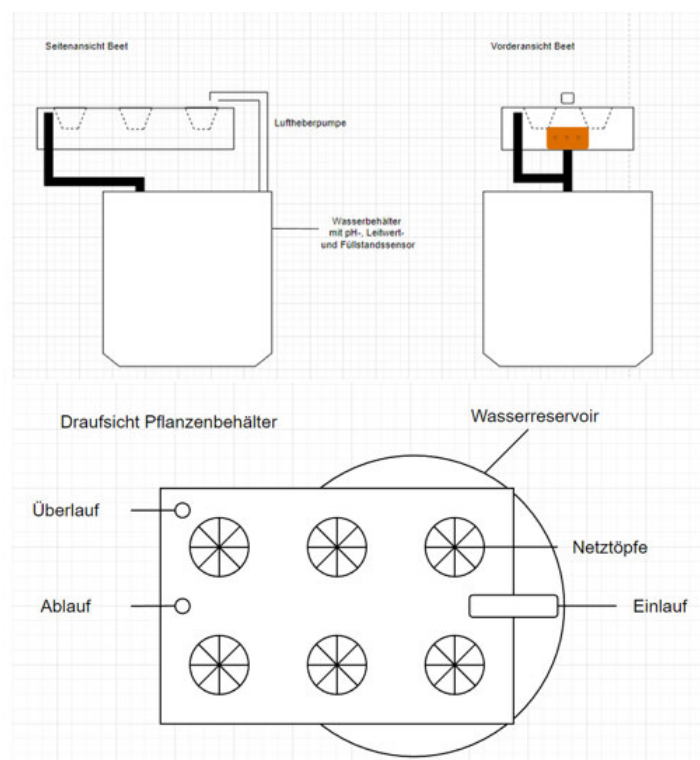


Abbildung 4.1: Skizze des grundlegenden Aufbaus

## 4.3 Elektronik

Der Hauptteil der Elektronik befindet sich in einem wasserdichten Elektrobaukasten. Dieser wurde in einer früheren Bachelorarbeit für die Verwendung eines hydroponischen Beetes entwickelt und gebaut. Bei einer Undichtigkeit des Beetes ist die Elektronik somit weitestgehend geschützt [16].

### 4.3.1 Spannungsversorgung

Die Spannungsversorgung des hydroponischen Beetes stellt ein Netzteil mit einer Spannung von 12 V und einer maximalen Last von 15 A dar. Einerseits können so alle verwendeten Aktoren, Sensoren und der Mikrocontroller versorgt werden, andererseits ist so genügend Puffer, um das Beet zu erweitern.

### 4.3.2 Mikrocontroller

Die Wahl des Mikrocontrollers ist auf den Arduino Nano gefallen. Der Arduino Nano ist das kleinste Entwicklerboard der Arduino Familie und für die Anforderungen des Beetes bestens geeignet.

Mit seiner Taktfrequenz von 16 MHz, also 16.000.000 Takte pro Sekunde ist der Controller schnell genug, um alle Anweisungen und Anforderungen des Beetes zügig durchzuführen. Gleichzeitig besitzt der Arduino Nano 22 Ein- und Ausgangspins. Auch diese Anzahl ist groß genug, um alle Sensoren und Aktoren anzuschließen und zeitgleich genügend Pins übrig zu haben, um das Beet um diverse Sensoren oder Aktoren zu erweitern.

Zusätzlich ist der Arduino mit dem gewählten Netzteil kompatibel. Denn die Spannungsversorgung des Arduinos darf zwischen 7 V und 12 V liegen. Dennoch ist es möglich verschiedene Sensoren und Aktoren über einen integrierten Spannungsregler im Arduino Nano mit 3,3 V oder 5 V Spannung zu versorgen [1].

Alle gewählten Sensoren sind Arduino kompatibel und benötigen eine Eingangsspannung von 5 V. Nur das Magnetventil und die Pumpe benötigen mit 12 V eine höhere Eingangsspannung. Daher wird der Arduino hier nicht als Spannungsquelle, sondern nur zur Steuerung verwendet.

Ein weiterer Grund für die Verwendung eines Arduino Nanos liegt in dem wasserdichten Elektrobaukasten. Dieser hat eine Platine integriert, die für einen Arduino Nano entwickelt wurde. Über Buchsen kann der Mikrocontroller aufgesteckt werden und die Pins werden nach außen an Steckklemmen geleitet. Somit ist es einfacher, Sensoren und Aktoren am Arduino anzuschließen.

Des Weiteren gibt es zwei Steckplätze für Transistoren. Diese werden benötigt, um die Pumpe und das Magnetventil zu steuern. Auch sind auf der Platine bereits Widerstände eingelötet, welche beispielsweise für LEDs benötigt werden.

### 4.3.3 Sensoren

Bei der Auswahl der Sensoren wurde darauf geachtet, dass alle Sensoren kompatibel mit dem Arduino sind, also 3,3 V oder 5 V als Eingangsspannung benötigen. Für das Beet werden verschiedenste Sensoren benötigt. Die wichtigsten hierbei stellen der pH-Wert-Sensor und der Leitwertsensor dar. Neben diesen Sensoren wird noch ein Füllstandssensor benötigt, der verhindern soll, dass der Pflanzenbehälter überläuft.

#### pH-Wert-Sensor

Zur Überwachung des pH-Wertes wird das „pH meter v1.1“ von DFRobot verwendet. Diese Sonde ist für den Arduino geeignet. Auf der Website von DFRobot ist bereits ein Programmcode für die Verwendung der Sonde hinterlegt. Dieser Code wird verwendet und muss im Anschluss noch abgeändert werden, damit der pH-Wert vom Mikrocontroller weiterverarbeitet werden kann.

Vor der Verwendung im ordnungsgemäßen Betrieb des Beetes muss die Sonde noch kalibriert werden. Auch dieser Vorgang wird auf der Website von DFRobot beschrieben. Hierfür werden Pufferlösungen mit verschiedenen pH-Werten benötigt [4]. Der Vorgang der Kalibrierung wird während des Kapitels der Programmierung erläutert.

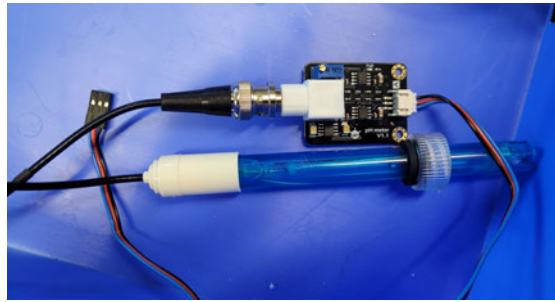


Abbildung 4.2: pH-Sensor

### Leitwertmessung

Die Auswahl des Leitwertsensors ist auch auf einen Sensor des Herstellers DFRobot gefallen. Hierbei handelt es sich um den Sensor „TDS Meter V1.0“. Wie bei der pH-Wert-Sonde gibt es einen Programmcode auf der Herstellerwebsite. Auch dieser Code wird in einer abgeänderten Version verwendet [5].

In der Hydroponik werden vorwiegend EC-Wert-Messgeräte verwendet. Daher ist ein großer Teil der Literatur auch darauf bedacht, optimale Werte der Leitfähigkeit in der Maßeinheit EC anzugeben. Bei dem gewählten Leitwertsensor handelt es sich jedoch um einen TDS-Sensor. Hierbei steht TDS für „Total Dissolved Solids“. Die Messwerte werden dabei mit der Einheit *ppm* angegeben. Für die spätere Inbetriebnahme des Beetes muss also entweder der Leitwert in die Einheit EC umgerechnet werden oder es muss Literatur gefunden werden, die den optimalen Leitwert in *ppm* angibt.



Abbildung 4.3: Leitwertsensor

### Füllstandssensor

Um ein Überlaufen des Beetes zu verhindern, wird ein Füllstandssensor benötigt. Abermals wurde auf einen Sensor vom Hersteller DFRobots zurückgegriffen. Es handelt sich um den Sensor „Liquid Level Sensor V1.0“ von DFRobot.

Dieser Sensor ist ein einfacher Berührungssensor. Sobald der Sensor in Kontakt mit einer Flüssigkeit gerät, ändert der Sensor seinen Status und die Pumpe wird gestoppt.



Abbildung 4.4: Bereits im Deckel eingebauter Füllstandssensor

### 4.3.4 Aktoren

Unter der Betrachtung der Anforderungen werden im Folgenden die nötigen Aktoren ausgewählt. Die wichtigsten Aktoren stellen hierbei das Magnetventil und die Pumpe dar, da diese für den Nährstoffkreislauf zuständig sind.

#### Magnetventil

Bei dem Magnetventil ist die Wahl auf ein 12 V Öffnungsventil gefallen. Dies bedeutet, dass das Magnetventil im ruhenden Zustand geschlossen ist und das Wasser nicht ablaufen kann. Nach der Flutungsphase wird das Magnetventil angesteuert und die Nährstofflösung wird abgelassen.

Da das Magnetventil eine Eingangsspannung von 12 V DC benötigt, ist es nicht möglich, das Magnetventil direkt über den Arduino anzusteuern. Somit muss das Magnetventil an das 12 V Netzteil angeschlossen werden. Über eine Relais- oder Transistorschaltung ist es möglich, das Magnetventil indirekt mit dem Arduino zu steuern.

### **Luftheberpumpe**

Zum Füllen des Pflanzenbehälters wird eine Luftheberpumpe verwendet. Eine Luftheberpumpe besteht aus einer Luftpumpe und einem Steigrohr. Das Steigrohr selbst steht im Wasser. Über die Luftpumpe wird Luft in das untere Ende des Steigrohres geblasen. Die zugeführte Luft steigt im Rohr auf und hebt dabei das Wasser an.

In einer ehemaligen Studienarbeit an der HAW wurden verschiedene Größen von Luftheberpumpen gebaut und in Kombination mit verschieden starken Luftpumpen getestet. Aus der Arbeit geht hervor, dass die Pumpe mit einem Durchmesser von 2 cm in Kombination mit einer Luftpumpe mit einem Durchsatz von  $200 \frac{l}{h}$  die größte Effizienz aufweist [14]. Daher wird diese Kombination für das hydroponische Beet verwendet.

Für die verwendete Luftpumpe wird ein Wechselrichter benötigt, da diese eine Wechselspannung von 230 V, 50 Hz benötigt. Als Wechselrichter wird ein Modell aus dem Automobilbereich verwendet. Dieser wandelt eine 12 V Gleichspannung in eine 230 V, 50 Hz Wechselspannung um.

Wie bereits beim Magnetventil wird der Wechselrichter indirekt über eine Transistorschaltung gesteuert.

### **LEDs**

Um den pH-Wert und den Leitwert zu überwachen, werden zwei RGB-LEDs verwendet. Diese haben mehrere Anschlüsse und können in verschiedensten Farben leuchten. Über den Arduino kann die Farbe der LEDs gesteuert werden. So kann der Status über eine rote und eine grüne LED dargestellt werden.



## LCD-Display

Zur genaueren Überwachung und Einstellung des pH- und Leitwertes könnte optional ein LCD-Display verwendet werden. Über die Ausgabe können die genauen gemessenen Werte ausgegeben werden. Somit ist ein besserer Überblick vorhanden.

Bei dem gewählten LCD-Display handelt es sich um ein Display mit einer  $I^2C$ -Schnittstelle.  $I^2C$  ist die Bezeichnung für *IIC*, Inter-Integrated Circuit. Bei dieser Schnittstelle handelt es sich um einen synchronen seriellen Zweidraht-Bus, welcher jeweils eine bidirektionale Daten- und Taktleitung verwendet und für die Kommunikation zwischen ICs über kleine Distanzen geeignet ist [8].

## 5 Aufbau des Beetes

Dieses Kapitel dokumentiert den Bau des hydroponischen Beetes. In den einzelnen Abschnitten wird erklärt, wie das Beet schrittweise aufgebaut wurde.

### 5.1 Mechanischer Aufbau Pflanzenbehälter

Für die Vorbereitung des Pflanzenbehälters wurden zunächst die Löcher für die Netztöpfe in den Deckel der Schäferbox gebohrt. Dies wurde mit einem Bohrer mit einem Durchmesser von 35 mm durchgeführt. Da die Netztöpfe jedoch einen Durchmesser von 74 mm haben, wurden die Löcher anschließend mit einer Feile vergrößert. Die Löcher für die Netztöpfe sind in einem regelmäßigen Abstand zueinander verteilt, sodass die Pflanzen genügend Platz für das Wachstum haben.

Anschließend wurde ein weiteres Loch in den Deckel gebohrt, durch welches im späteren Verlauf das Ende der Luftheberpumpe durchgeführt wird. Auch dieses Loch wurde mit dem gleichen Bohrer angefertigt und musste noch etwas vergrößert werden.

In Abbildung 5.1 ist der Deckel mit den gebohrten Löchern zu sehen. Eines der Löcher wurde hier bereits auf die richtige Größe für die Netztöpfe gebracht.



Abbildung 5.1: Deckel des Pflanzenbehälters

Als letzte Vorbereitung für den Pflanzenbehälter wurde ein Loch für den Ablauf in die Schäferbox gebohrt. Erneut wurde der 35 mm Bohrer verwendet. Anschließend wurde das Loch abgegratet, sodass keine Unebenheiten an den Rändern des Loches vorhanden sind und dieses wasserdicht ist, wenn die Dichtung des Ablaufs dort anliegt. Der Abfluss wurde in das Loch eingesteckt und mit einer Mutter befestigt.

In den Abbildungen 5.2 und 5.3 ist der eingebaute Ablauf von oben und unten zu sehen. Nach dem Einbau des Ablaufes wurde dieser mit Silikon abgedichtet, sodass keine Undichtigkeit auftritt.

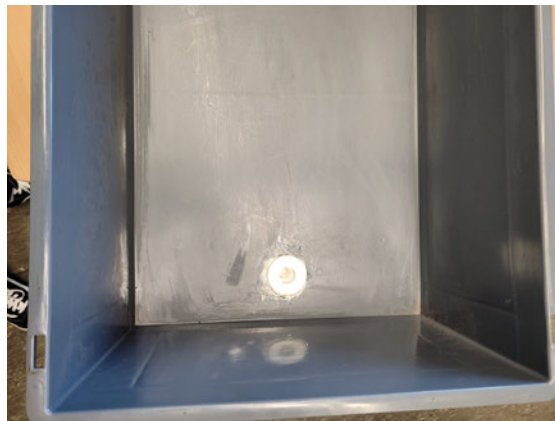


Abbildung 5.2: Draufsicht vom Ablauf



Abbildung 5.3: Untere Ansicht vom Ablauf

An der unteren Außenseite des Pflanzenbehälters wurde das Magnetventil mithilfe von Klebeclips und Kabelbindern befestigt. Anschließend wurde das Magnetventil mit einem Schlauch mit dem Abfluss verbunden. An die andere Seite des Magnetventils wurde ein weiterer Schlauch befestigt, welcher von oben in den Wassertank führt.

Für den Schutz des LCD-Displays, der LEDs sowie der Controller für die einzelnen Sensoren wird eine zweite Schäferbox verwendet. In dieser befindet sich zudem der wasserdichte Elektronikkasten.

Für das LCD-Display wurde eine rechteckige Fläche aus der Seitenwand der unteren Schäferbox entfernt. Hier wurde das Display einfach hereingeschoben und auf der Innenseite vorerst mit Klebeband befestigt. Neben dem Display werden zwei Löcher für die beiden Dioden gebohrt. Die Dioden können dort von innen eingesteckt werden.

Bevor dies geschieht, werden zunächst Leitungen an die Beine der Dioden angelötet, damit diese im späteren Verlauf ordentlich mit dem Arduino verbunden werden können.

Abbildung 5.4 zeigt das eingesteckte Display sowie die LEDs von der Außenseite der Schäferkiste.

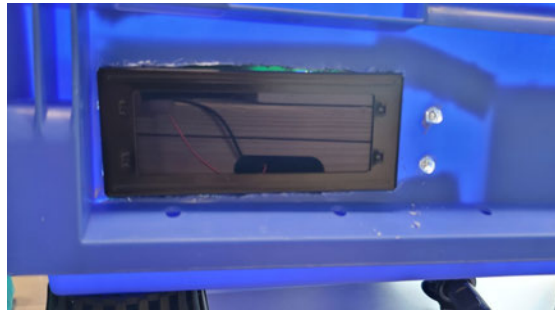


Abbildung 5.4: Schutzkiste mit LCD-Display und zwei LEDs

Zusätzlich wurden zwei weitere rechteckige Flächen aus den Seitenwänden der Schutzkiste entfernt. Gegenüberliegend des Displays und der Leuchtdioden befindet sich ein Loch, durch welches die Leitungen für die Spannungsversorgung, des Wechselrichters und des Magnetventils durchgeführt wurden.

Das weitere Loch dient der Leitungsführung der Sensoren, die im Wassertank oder im Pflanzenbehälter Messwerte aufnehmen müssen.

## 5.2 Elektronik

Der wasserdichte Elektronikkasten, in dem sich der Großteil der Elektronik befindet, wird in die Schutzkiste eingesetzt und befindet sich unterhalb des Pflanzenbehälters. In dem Kasten ist eine Platine, speziell für den Arduino Nano entworfen, integriert. In der folgenden Abbildung 5.5 ist zu sehen, wie der Arduino auf der Platine aufgesteckt wurde. Durch die Platine werden die Pins vom Arduino nach Außen geführt und sind zur Verbindung der Sensoren leicht zu erreichen.

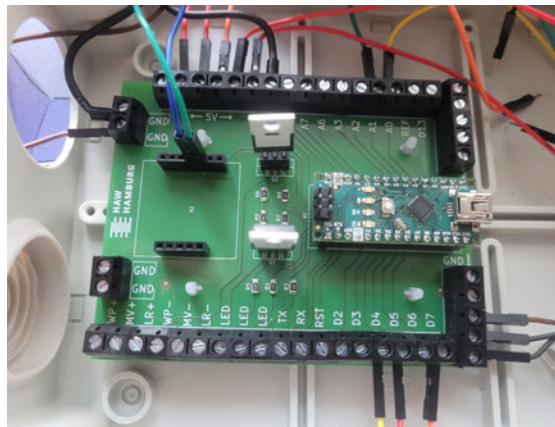


Abbildung 5.5: Platine mit aufgestecktem Arduino Nano

Im Anschluss wurden die Sensoren und Aktoren an die Pins der Platine im Elektronikasten angeschlossen. Anhand Abbildung 5.6 wird die Pinbelegung der Sensoren und Aktoren an dem Arduino Nano dargestellt.

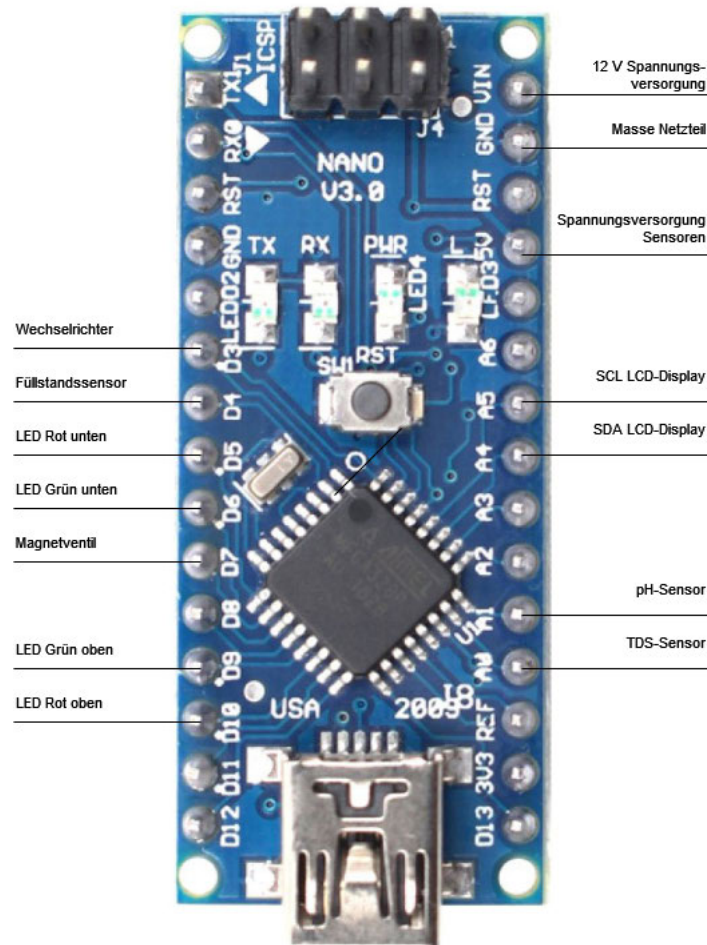


Abbildung 5.6: Pinbelegungsplan des Arduino Nanos

Die Pins „ $V_{IN}$ “ und „GND“ verbinden den Arduino mit der Spannungsversorgung vom Netzteil. Gleichzeitig dient der „GND“-Pin der gemeinsamen Masse aller Sensoren und Aktoren.

Der Pin „5V“ wird über die Platine aufgeteilt und dient als Spannungsversorgung für die Sensoren, LEDs und dem LCD-Display.

Die Pins „A4“ und „A5“ werden für die  $I^2C$  Schnittstelle des LCD-Displays verwendet. Hierbei stellt der Pin „A4“ die SDA-Datenleitung dar und der Pin „A5“ überträgt den Systemtakt vom Arduino.

Die beiden analogen Pins „A1“ und „A0“ werden von dem pH-Sensor und dem TDS-Sensor verwendet.

Für die LEDs, welche den Status des pH- und Leitwertes angeben, werden die digitalen Pins „D5“, „D5“, „D9“ und „D10“ verwendet. Für die optische Darstellung werden zwei RGB-LEDs verwendet. Diese können, je nach Ansteuerung, die Farbe wechseln. Für den Zweck der LEDs reicht es, wenn die Leuchtdioden mit den Farben grün und rot an den digitalen Pins vom Arduino angeschlossen werden. Durch gezielte Ansteuerung mit dem Arduino ist es so möglich, die Farben rot, gelb und grün darzustellen. Somit kann der Status mit den drei Farben eindeutig dargestellt werden.

Die Pins „D3“ und „D7“ dienen der Ansteuerung des Wechselrichters und des Magnetventils. Die Pins steuern jeweils das Gate eines MOSFETs an. Durch die Ansteuerung des Gates wird der MOSFET zwischen den Anschlüssen Source und Drain leitend und die 12 V vom Netzteil liegen so am Magnetventil oder Wechselrichter an.

Der Pin „D4“ dient als Datenleitung für den Füllstandssensor. Kommt der Sensor mit einer Flüssigkeit in Berührung, gibt dieser ein „HIGH“-Signal aus.

Zur besseren Übersicht ist der Stromlaufplan des gesamten Beetes in Abbildung 5.7 dargestellt. Hierbei gilt zu beachten, dass die Ventilseite des Magnetventils nicht im Stromlaufplan verbunden ist, da dieses im Wasserkreislauf angeschlossen und dieser nicht im Stromlaufplan abgebildet ist.

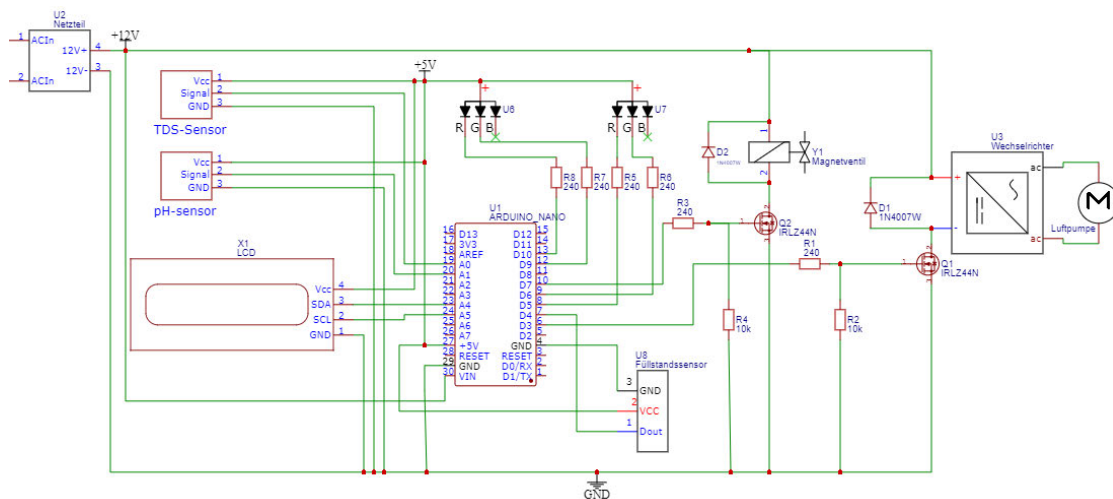


Abbildung 5.7: Stromlaufplan des Beetes (Erstellt mit EasyEDA)



An den digitalen Ausgängen vom Arduino zu den Gates der MOSFETs  $Q1$  und  $Q2$  befinden sich je zwei Widerstände. Der kleinere Widerstand von  $240\ \Omega$  dient als Strombegrenzung. Dies ist nötig, da ansonsten zu hohe Ströme im Schaltvorgang des MOSFETs auftreten können. Die Folge daraus könnte sein, dass der Arduino oder auch der MOSFET beschädigt werden.

Der zweite Widerstand von  $10\ k\Omega$  ist ein sogenannter Pulldownwiderstand. Ein Pulldownwiderstand wird verwendet um ein definiertes Signal am Pin vom Arduino zu erhalten. Gerade beim Einschaltvorgang vom Mikrocontroller ist dies relevant, da zu diesem Zeitpunkt alle Pins als Eingänge beschaltet sind. Dies wird durch den Pulldownwiderstand verhindert und der MOSFET wird sicher gesperrt [7].

Zum Schutze beider Transistoren wird parallel zu den Verbrauchern im Lastpfad, dem Magnetventil und dem Wechselrichter, eine Freilaufdiode eingebaut. Relevant ist dies besonders für das Magnetventil, da ein Magnetventil aus einer Spule und einem Eisenkern besteht. Bei Stromdurchfluss baut die Spule ein Magnetfeld auf und bewegt den Eisenkern, um das Ventil zu öffnen. Da eine Spule nach Abschaltung den Strom weitertreibt und kurzzeitig als eigene Spannungsquelle dient, muss der Strom abgeführt werden, da ansonsten der Transistor beschädigt werden kann.

Hierzu ist die Freilaufdiode da. Diese bildet mit dem Magnetventil einen eigenen Stromkreis und kann den Strom abführen. Dies ist in der Abbildung 5.8 dargestellt. Der Stromfluss ist über eine rote Linie dargestellt.

Das gleiche Prinzip wurde auch auf den Wechselrichter angewendet.

Ebenso wurden Widerstände an den digitalen Pins vom Arduino hin zu den Dioden verbaut. Diese Widerstände dienen ebenfalls zur Strombegrenzung, da ansonsten ein zu hoher Strom fließen kann und die Dioden oder der Arduino beschädigt werden kann

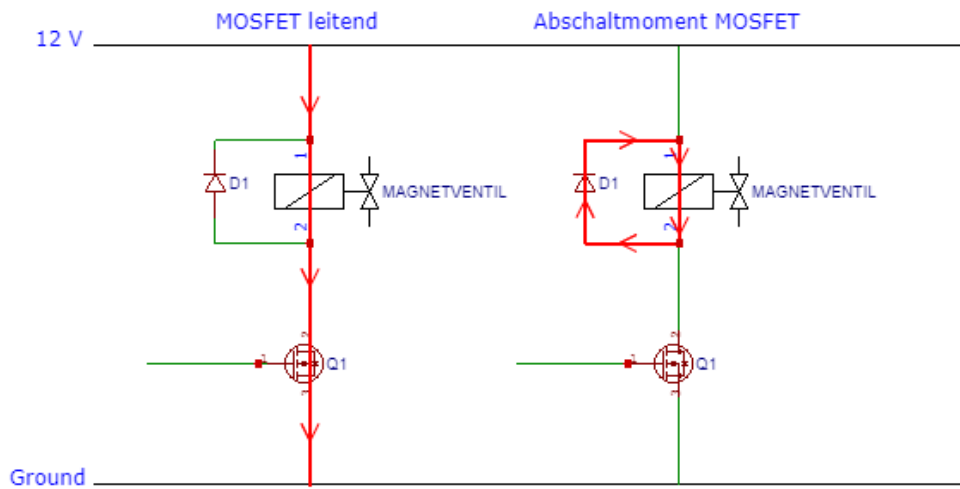


Abbildung 5.8: Funktionsweise der Freilaufdiode parallel zum Magnetventil (Erstellt mit EasyEDA)

Nach einem Test des Magnetventils und der Luftheberpumpe stand fest, dass diese über die Transistoranschlüsse der Platine nicht ordentlich funktionieren. Daher wurde die Transistorschaltung abseits der Platine auf einem Breadboard aufgebaut. Das Breadboard selbst wurde neben der Platine in dem wasserdichten Kasten eingesetzt.

Hierzu wurde jeweils ein Transistor, die zwei genannten Widerstände und eine Freilaufdiode benötigt. Zusätzlich wurde die Spannungsversorgung des Netzteils zunächst auf das Breadboard geleitet. Von hier aus wurden der Arduino und die beiden Aktoren versorgt. In Abbildung 5.9 ist das Breadboard samt Transistoren, Dioden und Widerständen abgebildet.

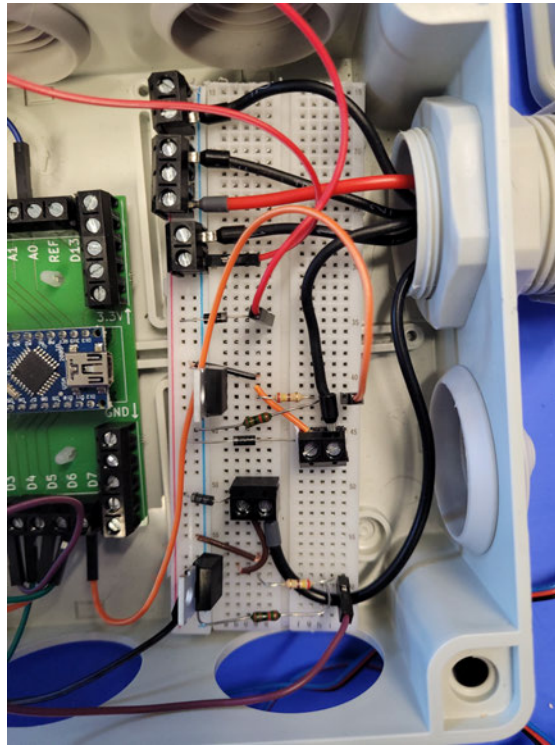
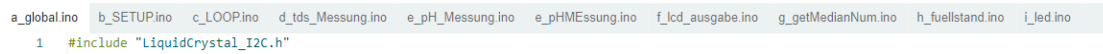


Abbildung 5.9: Transistorschaltungen für das Magnetventil und den Wechselrichter auf einem Breadboard

## 6 Programmierung

Zunächst wurden die einzelnen Sensoren und Aktoren in eigenen Sketches auf der Arduino IDE programmiert. Dies dient dazu, die Sensoren und Aktoren einzeln zu testen. Nach der Testphase werden diese einzelnen Sketche in einem Sketch zusammengeführt und als Funktionen in eigenen INO.-Dateien ausgeführt. Dies dient für die Übersichtlichkeit des Programmes. Auch sind einfache Änderungen schnell durchführbar.

Die Arduino IDE kompiliert die INO-Dateien in der Reihenfolge, wie diese in dem Sketch angelegt sind. Zusätzlich sortiert die IDE die Dateien automatisch nach dem Alphabet. Somit wurden die einzelnen Dateien mit einem Buchstaben, dem Alphabet nach aufsteigend, versehen, um die INO-Dateien richtig anzuordnen. In Abbildung 6.1 ist dies zu sehen. Als Beispiel sollte die erste INO-Datei die sein, in der globale Variablen und Bibliotheken eingebunden werden, darauffolgend muss das Setup durchgeführt werden, bevor dann die Loop startet. Daher wurde ein „a“ vor die globale INO, ein „b“ vor die Setup-INO und ein „c“ vor die Loop-INO gesetzt.



```
a_global.ino b_SETUP.ino c_LOOP.ino d_tds_Messung.ino e_pH_Messung.ino e_pHMESSung.ino f_lcd_ausgabe.ino g_getMedianNum.ino h_fuellstand.ino i_led.ino
1 #include "LiquidCrystal_I2C.h"
```

Abbildung 6.1: Anordnung der INO-Dateien, sortiert nach dem Alphabet

Der Programmcode befindet sich als Anhang auf CD und kann beim Erstgutachter eingesehen werden.

### 6.1 a\_global.ino

Wie bereits kurz erwähnt, müssen in dieser Datei alle globalen Variablen deklariert und gegebenenfalls initialisiert werden. Zudem müssen alle Bibliotheken eingebunden werden, die für dieses Programm benutzt werden. In dieser Arbeit wird lediglich die Bibliothek

für das LCD-Display mit einer  $I^2C$ -Schnittstelle eingebunden werden.

Diese wird mit dem Befehl `#include "LiquidCrystal_I2C.h"` eingebunden.

Neben den Variablen, die generell global verwendet werden müssen, da diese in unterschiedlichen Funktionen aufgerufen werden, wird auch die Pinbelegung des Arduinos global angelegt. Die Pins werden als Typ „const int“ deklariert, damit diese im Laufe des Programms nicht veränderbar sind. Die Pinbelegung global anzulegen hat den einfachen Vorteil, dass diese Pinbelegung im weiteren Verlauf der Arbeit leicht veränderbar ist, falls Änderungen im Programmcode nötig sind. Sollte beispielsweise ein Sensor von Pin D5 auf Pin D6 umgelegt werden, muss lediglich die globale Variable geändert werden. Andernfalls müsste jede Zeile geändert werden, in der eine Statusänderung des Pins durchgeführt werden soll.

## 6.2 b\_setup.ino

Als nächstes wird die Setup-Datei betrachtet. Hier befindet sich die Funktion `setup()`, welche beim Start vom Arduino einmalig durchlaufen wird.

In dieser Funktion werden die vorher angelegten Pins als Eingänge oder Ausgänge deklariert. Da bei einem Arduino die Pins standartmäßig als Eingänge deklariert sind, ist es vor allem für die Ausgänge wichtig, diese zu deklarieren, da der Arduino sonst nichts an diesen Pins ausgibt [2].

Zusätzlich zur Deklaration der Ein- und Ausgänge werden die Pins initialisiert, sodass diese von Anfang an einen zugewiesenen Wert besitzen, wenn das Programm startet. Als Letztes wird in der Datei der Timer initialisiert, der für die Pumpe und den Ablauf verwendet wird. Bei der Initialisierung des Timers muss einiges beachtet werden.

### 6.2.1 Timer

Der Arduino Nano besitzt drei verschiedene Timer, welche für verschiedene Funktionen im System zuständig sind. Über den Systemtakt des Arduinos, welcher bei 16 MHz liegt, werden die Timer inkrementiert, also alle 2,5 ns.

Während Timer 0 und Timer 2 des Arduinos eine Auflösung von 8 Bit besitzen, liegt die Auflösung von Timer 1 mit 16 Bit deutlich höher. Dies zeigt sich vor allem, wenn der

Wertebereich der Timer betrachtet wird. Im Folgenden werden die Wertebereiche der 8 Bit Timer mit dem 16 Bit Timer verglichen:

$$8 \text{ Bit} : 2^8 - 1 = 255.$$

$$16 \text{ Bit} : 2^{16} - 1 = 65535.$$

Aus der Rechnung wird deutlich, dass der Timer 1 mit 16 Bit einen viel größeren Wertebereich besitzt. Daher wird dieser in dieser Arbeit verwendet und im Folgenden betrachtet. Wie bereits erwähnt wird der Timer mit dem Systemtakt inkrementiert. Nachdem der Zähler den Wert 65535 erreicht hat, gibt es beim nächsten Systemtakt einen Überlauf und der Zähler startet wieder bei 0. Somit ergeben sich 244 Überläufe pro Sekunde durch den Systemtakt.

Über die Überläufe des Timers ist es möglich, eine Interrupt Service Routine, kurz ISR, des Controllers durchzuführen. Diese stoppt den normalen Programmablauf und wird vorrangig ausgeführt. 244 Überläufe pro Sekunde, also 244 Interrupts pro Sekunde sind für den Zweck des Beetes jedoch deutlich zu viele.

Daher ist es nötig, den Timer zu konfigurieren. Über einen Prescaler ist es möglich, den Takt, mit dem der Zähler inkrementiert wird, zu reduzieren. In der folgenden Grafik sind die möglichen Prescaler für den Arduino Nano dargestellt.

Prescaler	CS12	CS11	CS10
No clock source (Timer/Counter stopped)	0	0	0
Clock / 1	0	0	1
Clock / 8	0	1	0
Clock / 64	0	1	1
Clock / 256	1	0	0
Clock / 1024	1	0	1

Abbildung 6.2: Prescaler des Arduino Nanos [10]

Aber selbst mit dem höchsten Prescaler kann das Überlaufintervall lediglich auf etwas mehr als 4 Sekunden erhöht werden und erreicht lang nicht die benötigten 10 - 30 Mi-

nuten. Für die einfachere Anpassung des Timers kann die ISR über die Berechnung des *OCR1A* Registers auf 1 Sekunde gesetzt werden. Für die Berechnung des Registers wird die Taktfrequenz des Mikrocontrollers, der gewählte Prescaler und die gewünschte Interrupt Frequenz benötigt. Mit der folgenden Formel kann das Register berechnet werden:

$$OCR1A = \frac{Taktfrequenz}{Prescaler \cdot Interruptfrequenz} - 1.$$

Werden die Werte in die Formel eingesetzt, ergibt sich:

$$OCR1A = \frac{16000000Hz}{1024 \cdot 1Hz} - 1$$
$$OCR1A = 15624.$$

Durch den festgesetzten Wert des Registers wird die ISR jede Sekunde einmal ausgeführt. Für das Intervall von 10 bis 30 min werden zwei Variablen verwendet, die in jedem Aufruf der ISR inkrementiert werden. Über diese Variablen ist es möglich, das Intervall für das Fluten und die Ebbe einzustellen und einfach zu ändern.

In der ISR werden die beiden Variablen in zwei verschiedenen IF-Abfragen überprüft. Die erste IF-Anweisung gilt der Pumpe. Diese wird direkt beim ersten Aufruf der ISR angesteuert. Sobald eine bestimmte Zeit verstrichen ist oder der Pflanzenbehälter vollgelaufen ist und der Füllstandssensor ein HIGH-Signal ausgibt, wird diese gestoppt. Anschließend wird lediglich die Variable für die Pumpe weiterhin inkrementiert, bis das eingestellte Intervall abgelaufen ist und die Variable wieder auf 0 gesetzt wird.

Die zweite IF-Anweisung wird für das Magnetventil verwendet. Das Magnetventil ist standartmäßig geschlossen und wird erst nach 15 min angesteuert. Die Flüssigkeit wird abgelassen. Die benötigte Zeit hierfür wird ermittelt und im Programm angepasst. Ist die benötigte Zeit abgelaufen, wird das Ventil wieder geschlossen. Wie bei der Pumpe wird nun lediglich die Variable inkrementiert, bis das eingestellte Intervall abgelaufen ist. Auch diese Variable wird anschließend auf 0 gesetzt, sodass der ganze Zyklus von vorne beginnt.

### 6.3 c\_loop.ino

In dieser Datei wird die *loop()*-Funktion und damit das Hauptprogramm des Mikrocontrollers ausgeführt und stetig wiederholt. Hier werden die einzelnen Funktionen für die Sensoren und Aktoren aufgerufen. Der Reihe nach werden jeweils die Funktionen *pH\_Messung()*, *tds\_Messung()*, *fuellstand\_Messung()*, *lcd\_Ausgabe()* und *LED()* ausgeführt. Diese Funktionen sind allesamt in eigenen INO-Dateien geschrieben und werden in den folgenden Abschnitten erläutert.

Da die *loop()*-Funktion recht kurz und übersichtlich ist, wurde die ISR auch in der Loop-Datei ausgeführt. Diese befindet sich außerhalb der *loop()*-Funktion in einer eigenen Funktion.

### 6.4 d\_tds\_Messung.ino

Die Datei für die TDS-Messung beinhaltet die Funktion *tds\_Messung()*. Einen funktionierenden Programmcode für den Sensor gibt es bereits vom Hersteller. Dieser Code wurde zunächst verwendet, um den Leitwertsensor über den seriellen Monitor zu testen. Hierzu wurde dieser in zwei verschiedene Flüssigkeiten, Leitungswasser und Seifenwasser, getaucht. Bei dem reinen Leitungswasser wurde ein Wert von 335 ppm ausgegeben. Bei einer Mischung von Seife und Leitungswasser wurde bereits ein Wert von 1550 ppm erreicht. Laut des Herstellers ist der Sensor bereits kalibriert. Auch die Werte sind durchaus plausibel. Laut der Firma Riva liegt der durchschnittliche Leitwert von Leitungswasser in Deutschland zwischen einem Wert von 200 - 500 ppm [13]. Zusätzlich ist es plausibel, dass der Leitwert beim Seifenwasser deutlich höher ausfällt, da deutlich mehr leitende Teilchen im Wasser vorhanden sind.

Nach dem Test des Sensors wurde der Code übernommen und so angepasst, dass die Variable *tdsValue* als Rückgabewert aus der Funktion ausgegeben wird, damit diese in anderen Funktionen verwendet werden kann.

### 6.5 e\_pHMessung.ino

In dieser INO-Datei steht der Code für die Funktion *pH\_Messung()*.

Wie bereits bei dem Leitwertsensor wurde der Programmcode zunächst in einem eigenen



Sketch geschrieben, um den Sensor zu testen und zu kalibrieren. Der pH-Wert wurde direkt über das LCD-Display ausgegeben. Zu Beginn wurden erneut Leitungswasser und Seifenwasser zur einfachen Funktionsprüfung des Sensors verwendet. Bei dem Leitungswasser ergab der Sensor einen pH-Wert von 7,6 und bei der Seifenmischung einen Wert von 9,6. Auch diese Werte sind plausibel und zeigen, dass dieser Sensor ordnungsgemäß misst.

Im weiteren Verlauf wurde der Sensor über Pufferlösungen kalibriert. Hierzu wird die Sonde des Sensors zunächst mit einem Draht kurzgeschlossen. Über den seriellen Monitor kann der aktuell gemessene pH-Wert eingesehen werden. Bei einem kurzgeschlossenen Sensor sollte der pH-Wert auf 7 stehen. Bei einer Abweichung vom pH-Wert 7 wird im Programmcode ein Offset eingestellt, bis der kurzgeschlossene Sensor einen Wert von 7 ausgibt. Abbildung 6.3 zeigt die Ausgabe des Displays, während die Sonde vom pH-Sensor in der Pufferlösung mit einem pH-Wert von 7 eingetaucht ist. Der gemessene Wert weicht leicht von dem ursprünglichen Wert von 7 ab, daher muss die Sonde weiter kalibriert werden.

Im Anschluss wurde eine Pufferlösung mit einem pH-Wert von 4 verwendet. Die Sonde wird in die Pufferlösung eingetaucht und der gemessene Wert über das LCD-Modul betrachtet. Bei Abweichungen wird der pH-Wert mithilfe der Stellschraube auf der Elektronik des Sensors eingestellt, bis dieser mit dem Wert der Pufferlösung übereinstimmt.

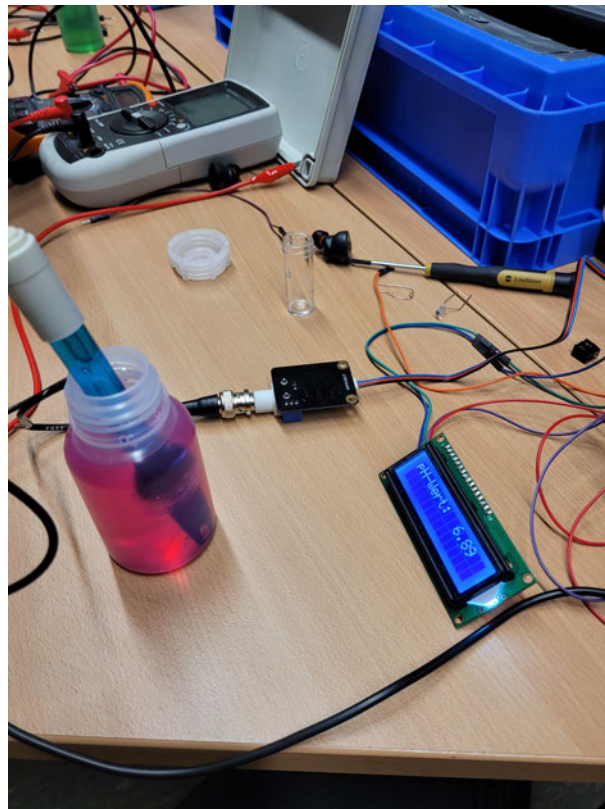


Abbildung 6.3: pH-Sonde während der Kalibrierung in einer Pufferlösung mit einem pH-Wert von 7

Auch hier wurde der Programmcode anschließend abgeändert, dass dieser in der Funktion einen Rückgabewert ausgibt und andere Funktionen, wie die Funktion für das LCD-Display diesen Wert verwendet werden kann.

### 6.6 f\_lcd\_ausgabe.ino

Diese Datei dient der Ausgabe auf dem LCD-Display. In der globalen Datei wurde bereits die Bibliothek für das Display mit der I<sup>2</sup>C Display Schnittstelle eingebunden. Da das Display nur 2 Zeilen zur Verfügung hat, aber mehr Daten ausgegeben werden sollen, muss zwischen 2 Ausgaben gewechselt werden. Über 2 If-Abfragen und die millis-Funktion wird die Anzeige alle 5 Sekunden gewechselt.

In der ersten Ausgabe wird das Display zunächst mit dem Befehl *lcd.init()* initialisiert. Anschließend wird der Cursor mit dem Befehl *lcd.setCursor(0,0)* an die Stelle der ersten Ziffer der ersten Zeile gesetzt und der pH-Wert ausgegeben. Folgend wird der Cursor auf die erste Stelle der zweiten Zeile gesetzt und der Leitwert ausgegeben. Diese beiden Messwerte sind für die Hydroponik am Wichtigsten und stehen daher auf der ersten Ausgabe.

Für die zweite Ausgabe wird das Display zunächst über den Befehl *lcd.clear()* geleert, bevor der Cursor erneut an die erste Stelle der ersten Zeile gesetzt wird und der aktuelle Zyklus ausgegeben wird. Anschließend wird der Timer zurückgesetzt und die erste Ausgabe wird wieder ausgegeben.

### 6.7 g\_getMedianNum.ino

Die INO-Datei beinhaltet die Hilfsfunktion *getMedianNum()* für die TDS-Messung. In dieser Funktion wird der Mittelwert aus einem Array für die Leitwertmessung gebildet und für die Ausgabe zurückgegeben.

### 6.8 h\_fuellstand.ino

Wie bereits bei den anderen Sensoren steht der Programmcode für den Füllstandssensor in einer eigenen Datei. In der Funktion *fuellstand\_Messen()* wird die Messung durchgeführt. Da der Füllstandssensor ein Berührungssensor ist, wird lediglich der Status des Sensors abgefragt. Wenn eine Flüssigkeit mit dem Sensor in Berührung kommt, setzt dieser eine 1. Die Füllstandsabfrage wird verwendet, um die Pumpe zu stoppen und so ein Überlauf des Pflanzenbehälters zu verhindern.

Auch dieser Sensor wurde zunächst einzeln getestet und die Funktionalität anhand des seriellen Monitors überprüft.

## 6.9 i\_led.ino

Die letzte INO-Datei besteht aus der Funktion *LED()* für die Ansteuerung der LEDs. Die zwei eingebauten RGB-LEDs zeigen den Status des pH-Wertes und des Leitwertes an. Für beide Werte werden jeweils 3 If-Abfragen verwendet, um die LEDs in 3 verschiedenen Farben leuchten zu lassen. Mithilfe der IF-Funktionen können 3 Bereiche eingegrenzt werden:

- Bereich 1: Idealer pH- oder Leitwert, der es den Pflanzen ermöglicht die Nahrung optimal aufzunehmen. Dargestellt mit der Farbe Grün.
- Bereich 2: Der Grenzbereich des pH- oder Leitwertes, welcher noch im guten Bereich ist, aber beinahe aus dem positiven Bereich rutscht. Dargestellt mit der Farbe Gelb.
- Bereich 3: PH- und Leitwert außerhalb des idealen Bereichs. Pflanzen können Nährstoffe nicht mehr optimal aufnehmen und das Wachstum ist demnach gebremst. Dargestellt mit der Farbe Rot.

# 7 Test und Beurteilung

In diesem Kapitel wird der Vorgang der Testläufe beschrieben. Zudem werden die Probleme und Defizite erläutert, die während der Tests aufgetreten sind. Anschließend wird das gesamte System anhand der Anforderungen beurteilt.

## 7.1 Erster Testlauf

Für den ersten Testlauf wurde eine kleinere Regentonne als Wassertank verwendet. Der Pflanzenbehälter wurde auf den Wassertank gestellt, sodass das Wasser wieder nach unten in den Tank ablaufen kann, sobald das Magnetventil öffnet.

### 7.1.1 Steigrohr Luftheberpumpe

Da der Pflanzenbehälter sich oberhalb des Wassertanks befand, stand das Steigrohr der Luftheberpumpe zu weit aus dem Wasser. Die Höhe konnte von der Pumpe nicht gefördert werden. Auch nachdem der Pflanzenbehälter auf die gleiche Höhe wie der Tank gebracht wurde, konnte der Testlauf nicht durchgeführt werden, da der Wassertank zu niedrig war und das Steigrohr weiterhin zu weit aus dem Tank herausgeragt hat. Somit wurde der erste Testlauf anschließend doch mit dem ursprünglichen Wasserreservoir durchgeführt.

### 7.1.2 Magnetventil

Während des Testlaufs hat sich aufgezeigt, dass das ursprünglich gedachte Konzept nicht funktioniert, da die Pumpe eine zu geringe Höhe fördert und der Ablauf sich unterhalb des Einlaufs in dem Wassertank befindet. Der hydraulische Druck auf den Leitungen des Ablaufs reichte nicht aus, um das Wasser vom Pflanzenbehälter in den Wassertank zu fördern.

### 7.1.3 Beurteilung erster Testlauf

Somit konnte der erste Testlauf nicht vollständig durchgeführt werden. Während das System aktiv war, wurden sowohl der Leitwert als auch der pH-Wert über das LCD-Modul ausgegeben. Auch die LEDs haben den Status richtig angezeigt. Da derzeit keine Nährstoffe im Wassertank vorhanden waren, leuchteten beide LEDs rot.

Auch der Timer für die Ansteuerung der Pumpe und des Magnetventils haben so funktioniert, wie es vorgesehen war. Für die Testzwecke wurde die Pumpe für 5 Minuten angesteuert. Anschließend wurde das Magnetventil für 5 Minuten angesteuert, geöffnet und dann wieder geschlossen. Folgend waren beide Aktoren für weitere 5 Minuten deaktiviert.

## 7.2 Zweiter Testlauf

Für die Funktionalität des Beetes wurde das Magnetventil durch eine 12 V Tauchpumpe ersetzt. Obwohl die Pumpe eine Tauchpumpe ist, konnten die Schläuche des Magnetventils an der Pumpe angeschlossen werden, sodass die Pumpe selbst außerhalb des Beetes sitzt.

### 7.2.1 Funktionsprüfung Tauchpumpe

Für die Ansteuerung der neuen Pumpe musste weder in der Elektrik noch im Programmcode etwas verändert werden, da diese einfach anstelle des Ventils in die Schaltung eingesetzt wurde.

Zur Funktionsprüfung der Pumpe wurde diese zunächst einzeln geprüft. Hierzu wurde der Programmcode in einem eigenen Sketch erstellt und geprüft, ob die Pumpe das Wasser, welches sich noch aus dem ersten Testlauf im Pflanzenbehälter befand, in den Wassertank fördert.

Die erste Funktionsprüfung war ein voller Erfolg. Der Pflanzenbehälter wurde von der Pumpe entleert. Einzig die Schlauchanschlüsse der Pumpe waren leicht undicht. Diese wurden mit Silikon verdichtet.

### 7.2.2 Spannungsregler

Im Anschluss wurde erneut das komplette System getestet. Der ursprüngliche Programmcode vom Beet wurde auf den Arduino geladen, während dieser in der Schaltung integriert, also auf der Platine aufgesteckt war. Durch die anliegende Spannung von 12 V vom Netzteil und die gleichzeitige Spannungsversorgung des USB-Anschlusses hat der Arduino einen Defekt erlitten.

Um den Fehler zu finden, wurde zunächst die ganze Schaltung überprüft. Mit der Hilfe eines Multimeters wurde überprüft, ob an irgendeiner Stelle ein Kurzschluss vorhanden ist und ob die MOSFETs weiterhin in Ordnung sind. Die Messungen haben keinen Fehler an der Schaltung aufgezeigt. Anschließend wurde der defekte Arduino Nano mit dem Multimeter untersucht. Sobald die 12 V vom Netzteil an dem Arduino angelegt wurden, wurde dieser sehr heiß. Eine Spannungsmessung über den 5 V Ausgang vom Arduino hat ergeben, dass der Spannungsregler defekt ist, da dort eine Spannung von 12 V angelegt war.

### 7.2.3 LCD-Display

Der defekte Spannungsregler hatte zur Folge, dass die Sensoren und das LCD-Display mit 12 V statt den eigentlichen 5 V versorgt wurden. Die Sensoren haben dadurch keinen Schaden erlitten, jedoch aber das Display. Dieses musste ausgetauscht werden.

Das eigentliche Display wurde durch ein größeres LCD-Display, mit 4 Zeilen, ausgetauscht. An das Display musste zunächst der  $I^2C$ -Controller angelötet werden, bevor dies in die Schaltung eingebaut wurde.

Der Programmcode des Displays hat sich dahingehend geändert, dass alle Informationen auf die erste Seite des Displays gepasst haben. Somit konnte der Timer aus der Funktion entfernt werden und alle 4 Informationen gleichzeitig ausgegeben werden.

### 7.2.4 Beurteilung zweiter Testlauf

Auch der zweite Testlauf konnte aufgrund des defekten Mikrocontrollers nicht durchgeführt werden. Die Funktionalität des ganzen Durchlaufs konnte nicht untersucht werden,

da der Arduino das Programm nicht mehr vernünftig abgespielt hat und auch im Anschluss nicht mehr bespielt werden konnte.

### 7.3 Dritter Testlauf

Der dritte und letzte Testlauf wurde mit einem neuen Arduino durchgeführt. Es musste beachtet werden, dass die Spannungsversorgung des Netzteils unterbrochen wurde, bevor der Arduino an die USB-Buchse des Laptops angeschlossen wird. Das Programm wurde auf den neuen Arduino gespielt und konnte getestet werden.

Erneut wurden die Timer so eingestellt, dass das Intervall häufig durchlaufen wird und die Funktionalität so überprüft werden kann. Während des dritten Testlaufs kamen keinerlei Probleme auf. Das gesamte Beet hat funktioniert. Lediglich der Füllstandssensor musste neu befestigt werden, da dieser aufgrund der Wasserspritzer der Luftheberpumpe sporadisch falsche Signale ausgegeben hat. Dadurch wurde der Pumpvorgang immer wieder unterbrochen.

Aufgrund dessen wurde der Sensor versetzt. Hierzu wurde ein weiteres Loch in den Deckel des Pflanzenbehälters gebohrt. Der Sensor wurde durchgeführt und mit einer Mutter befestigt.

Nach dem Versetzen des Sensors funktionierte das Beet einwandfrei.

### 7.4 Inbetriebnahme des hydroponischen Beetes

Zuletzt wurde das Beet nach dem erfolgreichen Testlauf in Betrieb genommen. Hierzu wurde zunächst das Intervall für das Fluten und das Ablassen der Nährstofflösung angepasst und getestet.

Die Pumpe benötigt in etwa 15 Minuten, um den gesamten Pflanzenbehälter zu füllen. Damit der Pflanzenbehälter mit Sicherheit komplett gefüllt wird, wurde ein Zeitpuffer von 5 Minuten addiert, sodass diese für 20 Minuten angesteuert wird. Anschließend wurde geprüft, wie viel Zeit die Ablaufpumpe benötigt, um den Pflanzenbehälter wieder



zu entleeren. Die gemessene Zeit lag etwa bei 5 Minuten. Auch hier wurde ein kleiner Zeitpuffer dazugegeben und zunächst eine Zeit von 10 Minuten eingestellt.

Das Intervall wurde dann so eingestellt, dass die Pumpe die Nährstofflösung in den Pflanzenbehälter fördert. Sobald der Behälter voll ist und die Netztöpfe im Wasser stehen, wird die Luftheberpumpe abgeschaltet und die Pflanzen stehen für 5 Minuten im Wasser. Anschließend wird die Ablaufpumpe angesteuert und das Beet steht für 40 Minuten im Trockenen.

### 7.4.1 Nährstoffzugabe

Nach der Einstellung des Intervalls wurden die Nährstoffe in den Wassertank gemischt. Hierzu wurde ein Biodünger verwendet. Auf einem Liter Wasser müssen etwa 4 ml Dünger hinzugefügt werden. Dies bedeutet, dass bei einem Wasservolumen von 220 l eine Menge von 880 ml Dünger hinzugefügt werden müssen.

Währenddessen wurde stets der Leitwert und der pH-Wert der Lösung überprüft. Der pH-Wert stieg außerhalb des optimalen Bereichs an, während der Leitwert mit 734 ppm im richtigen Bereich lag.

Über eine weitere Flüssigkeit, dem pH-Minus, wurde der pH-Wert gesenkt. Hier reichen einige Milliliter aus, um den pH-Wert drastisch zu senken. Auch hier wurde der Wert durchgehend überprüft. Immer wieder wurden einige Milliliter in den Wassertank gemischt, untergerührt und beobachtet, wie sich der pH-Wert ändert.

Für die Salatpflanzen, welche in dem Beet verwendet werden sollen, befindet sich der optimale pH-Wert laut der Website *Pflanzenfabrik.de* im Bereich zwischen 5,5 und 6,5 [11]. Bei einem pH-Wert von 6,1 wurde die Hinzugabe gestoppt und das gesamte Beet gestartet.

## 7.5 Beurteilung der Inbetriebnahme

In diesem Abschnitt wird das hydroponische Beet anhand der aufgestellten Anforderungen bewertet. Hierzu werden die einzelnen Anforderungen systematisch getestet.

## 7.5.1 Beurteilung der allgemeinen und mechanischen Anforderungen

### ID01 Funktionalität

Das Grundkonzept des Beetes hat funktioniert. Hierbei wurde die Nährstofflösung in den Pflanzenbehälter befördert. Über einen Zeitraum von 10 min verblieb die Nährstofflösung in dem Pflanzenbehälter, bevor die Ablaufpumpe die Nährstofflösung wieder in den Wassertank gefördert hat.

### ID02 Dichtigkeit

Für die Dichtigkeitsprüfung des Systems wurde der ganze Wasserkreislauf begutachtet. Der eigentliche Kreislauf von der Luftheberpumpe zum Pflanzenbehälter und von dort über den Ablauf und die Tauchpumpe in den Wassertank zurück wies keine Undichtigkeit auf.

Auch die Schlauchanschlüsse vom Ablauf und der Ablaufpumpe, welche zu Beginn eine Leckage hatten, waren nach dem Abdichten mit Silikon vollkommen dicht.

Eine Undichtigkeit trat jedoch am Wasserreservoir des Systems auf. Aufgrund dieser Leckage musste die Inbetriebnahme gestoppt werden und das System wurde wieder abgebaut.

Das Beet war die Nacht über aktiv. Über Nacht bildete sich eine Pfütze ausgehend von der Regentonne. Es besteht die Möglichkeit, dass die Regentonne potenziell einen Mikroriss aufwies. Durch den Wasserdruck der gefüllten Regentonne könnte der Riss sich ein wenig geweitet haben und so einige Milliliter Wasser pro Stunde verloren haben.

Eine Leckage des Beetes ist zu dem Zeitpunkt auszuschließen, da sowohl die Schläuche als auch die Pumpen und die Behälter von außen trocken waren.

Aufgrund dieser Undichtigkeit kann das Projekt als gescheitert angesehen werden, da keine Pflanzen in dem Beet gewachsen sind.

### **ID03 Flutphase**

Die Luftheberpumpe hat mit dem eingestellten Intervall genügend Nährstofflösung gefördert, sodass die Netztöpfe im Wasser standen und der Füllstandssensor ein Signal ausgegeben hat.

### **ID04 Ebbephase**

Während der Ebbephase wurde die Nährstofflösung weitestgehend abgepumpt. Ein kleiner Rest der Lösung verblieb im Pflanzenbehälter, da der Ablauf eine leichte Außenwölbung hat und daher etwas erhöht liegt. Dennoch hingen die Wurzeln zu dem Zeitpunkt nicht mehr in der Nährstofflösung und konnten genügend Sauerstoff erhalten.

### **ID05 Variation und Wachstum der Pflanzen**

Eine Variation der Pflanzen und das Wachstum konnten nicht getestet werden, da der Aufbau wegen des undichten Wassertanks abgebrochen wurde.

Dennoch lässt sich sagen, dass verschiedene Pflanzen durchaus in das Beet eingesetzt werden könnten, da das Intervall zum Fluten und Entleeren des Pflanzenbehälters über den Programmcode anpassbar ist.

Zusätzlich kann die unterschiedliche Nährstoffzugabe mittels der Leitwertausgabe auf dem LCD-Modul überprüft werden, sodass der optimale Leitwert für verschiedenste Pflanzen eingestellt werden kann.

Auch die Größe der Schäferbox für das Beet ist für den Einstieg eine gute Größe. Die Pflanzen haben sowohl für das Wurzelwachstum genügend Platz als auch für das Wachstum oberhalb des Beetes.

Für eine Nahrungsmittelversorgung eines Haushaltes müsste das Beet dennoch deutlich größer ausfallen.

## ID06 Günstig und einfach

Die Kosten des Beetes sind überschaubar. Ausgenommen der Teile, die schon vorhanden waren, wurde ein Wert von etwa 130 € in dem System verbaut. Am teuersten waren hierbei die pH-Sonde mit 33,50 € und der Arduino Nano mit 24,99 €.

Abgesehen von den Kosten ist die Mechanik des Beetes ziemlich einfach und leicht zu reparieren und nachzubauen, da die Bauteile lediglich mit Schläuchen verbunden sind.

Einzig die Elektronik ist aufgrund der Transistorschaltung der beiden Pumpen für einen Laien etwas komplizierter und gegebenenfalls schwieriger zu reparieren, falls dort Schäden auftreten.

Auch der Programmcode ist recht einfach gehalten. Dieser könnte noch optimiert werden, sodass das Intervall für die Pflanzen in einer Variable gespeichert wird und lediglich diese Variable angepasst werden muss. Andernfalls muss im Programmcode nichts verändert oder angepasst werden.

Anbei eine Übersicht der Kosten von den einzelnen Komponenten.

Nr.	Bauteil	Kosten
01	Arduino Nano	24,99 €
02	TDS meter v1.0	15,98 €
03	pH meter v1.1	33,50 €
04	Schäferbox	Schon vorhanden
05	Netztöpfe	2,00 €
06	Füllstandssensor	8,23 €
07	Ablaufpumpe	15,99 €
08	LCD Display	9,99 €
09	Wassertonne	Schon vorhanden
10	Luftheberpumpe	Schon vorhanden
11	Wechselrichter	Schon vorhanden

Tabelle 7.1: Kosten der verwendeten Bauteile

Sparen könnte man in diesem Fall, wenn kein originaler Arduino verwendet werden würde. Hier ist es möglich, auf günstigere Alternativen zurückzugreifen. Für die Funktionalität

des Mikrocontrollers müssten lediglich die richtigen Treiber vom jeweiligen Hersteller installiert werden, damit das Programm weiterhin mit der Arduino IDE aufgespielt werden kann.

### 7.5.2 Beurteilung der Anforderungen der Software

#### **ID07 Zyklen**

Das Intervall der Zyklen der Ebbe und der Flut haben einwandfrei funktioniert. Auch die Anpassung der Zeitintervalle verlief ohne Probleme.

#### **ID08 pH-Wert**

Nach der Kalibrierung des Sensors konnte der pH-Wert jederzeit vom LCD-Modul abgelesen werden. Dieser aktualisierte sich alle paar Sekunden, sodass sich Änderungen des Wertes schnell aufgezeigt haben. Auch gab die LED durch die Farbe an, ob der eingestellte Bereich eingehalten wurde oder nicht. Anhand der Tests mit den Pufferlösungen konnte bestätigt werden, dass der Sensor den richtigen pH-Wert anzeigt.

#### **ID09 Leitwert**

Auch der Leitwert war über das LCD-Display jederzeit einsehbar. Während der Testphase zeigte sich, dass der Sensor die richtigen Werte in der Einheit *ppm* anzeigt.

#### **ID10 Magnetventil**

Die Anforderung des Magnetventils gilt als gescheitert. Da der Ablauf nicht wie im Konzept geplant durchgeführt werden konnte und das Ventil durch eine Pumpe ersetzt wurde.

Als Teilerfolg könnte angesehen werden, dass das Pflanzenbehältnis dennoch durch die Pumpe entleert werden konnte. An der Funktionalität des Beetes hat dies nichts geändert.

### **ID11 Luftheberpumpe**

Die Luftheberpumpe wurde durch die ISR in dem richtigen Intervall angesteuert. Der Pflanzenbehälter wurde gefüllt. Dies hat jedoch mehr Zeit in Anspruch genommen als im Voraus gedacht und musste ganze 15 bis 20 min laufen. Diese Zeit sollte optimiert werden, um mehr Strom zu sparen. Diese Anforderung ist weder vollkommen gescheitert noch im Ganzen bestanden.

### **7.5.3 Beurteilung der elektronischen Anforderungen**

#### **ID12 Spannungsversorgung**

Über das Netzteil konnten alle Sensoren, Aktoren und der Controller versorgt werden. Zusätzlich hat das Netzteil mit einer maximalen Stromstärke von 15 A einen reichlichen Puffer, um das Beet noch zu erweitern.

#### **ID13 Wasserdicht**

Durch den wasserdichten Elektronikkasten und der zusätzlichen Sicherheitskiste ist die Elektronik gut vor Wassereintritt geschützt. Einzig die Leitungen der Sensoren können durch mögliche Leckagen nass werden. Dies ist aber kein Problem, da diese sowieso gut isoliert sind und zum Teil im Wasserreservoir sitzen.

## **7.6 Zusammenfassung der Ergebnisse**

Im Gesamtbild kann das Projekt als gescheitert angesehen werden. Das Grundprinzip des Beetes hat funktioniert, jedoch lief das System lediglich für einen Tag, bevor der Wassertank aufgrund der Leckage entfernt und das Beet abgebaut wurde. Somit konnte das Beet im Rahmen dieser Arbeit nicht für Pflanzen verwendet werden.

Sowohl die Elektronik als auch die Software liefen fehlerfrei. Mit einem Wassertank ohne Schäden hätten weitere Tests durchgeführt werden können. Möglicherweise hätte das Gesamtkonzept funktioniert und die Salatpflanzen wären gewachsen.

# 8 Fazit und Ausblick

## 8.1 Fazit

Diese Bachelorthesis zur Konstruktion eines hydroponischen Beetes war darauf ausgerichtet, eine nachhaltigere Methode des Pflanzenanbaus zu erforschen und umzusetzen. Trotz der sorgfältigen Planung und Konstruktion stellte sich heraus, dass das Beet aufgrund von einer Undichtigkeit des Wassertanks nicht gänzlich in Betrieb genommen werden konnte. Diese Undichtigkeit erwies sich als eine unerwartete Hürde, da das Beet ansonsten funktionstüchtig war und somit leider wieder abgebaut werden musste.

Zusätzlich zu dieser Undichtigkeit zeigten sich während des Baus mit dem defekten Spannungsregler des Controllers und der fehlerhaften Planung des Magnetventils weitere Hindernisse auf, welche im Verlauf dieser Arbeit aber beseitigt werden konnten. Diese Schwierigkeiten verdeutlichen, welche Herausforderungen in der Entwicklung und Realisierung technischer Systeme auftreten können.

Anhand der Testläufe wurde aber auch deutlich, dass ein hydroponisches Beet in dieser Größenordnung durchaus mit recht günstigen und einfachen Materialien realisiert werden kann. Obwohl ein Arduino weniger in der Industrie verwendet wird, konnte die Automatisierung des Beetes einfach mit diesem ausgeführt werden. Sowohl die Sensoren als auch die Aktoren und der Timer haben störungsfrei funktioniert.

Auch wenn das Ziel der Arbeit, ein funktionierendes Beet, nicht erreicht werden konnte, wurden dennoch einige wichtige Erkenntnisse gewonnen. Es hat sich einerseits aufgezeigt, wie wichtig es ist, die Qualität der Materialien vor der Verwendung zu überprüfen. Auch hat sich gezeigt, wie wichtig es ist, immer wieder Tests durchzuführen. Diese haben geholfen, den defekten Spannungsregler zu lokalisieren. Es ist also wichtig, flexibel zu sein, um auf unerwartete Probleme schnell reagieren zu können.

## 8.2 Ausblick

Das konstruierte Beet hat mit einigen Änderungen und Verbesserungen durchaus das Potential, ein funktionstüchtiges Beet darzustellen, in dem Pflanzen angebaut werden können. Folgend zunächst Anregungen zur Verbesserung der derzeit verwendeten Bauteile. Abschließend werden noch Ideen zur Verbesserung des gesamten Systems erläutert.

### 8.2.1 Luftheberpumpe

Während der Thesis wurde eine Luftheberpumpe verwendet, die bereits in einer anderen Studienarbeit gebaut wurde. Das Füllen des Pflanzenbehälters hat mit dieser Pumpe länger gedauert als vorerst gedacht. Zusätzlich war die Wahl des Wasserreservoirs durch das lange Steigrohr dieser Pumpe ziemlich begrenzt, da dieses beinahe vollkommen im Wasser stehen muss, damit genügend Wasser gefördert wird.

In dem Studierendenraum im 13ten Stock an der HAW gibt es die Möglichkeit, sich ein Steigrohr aus Einzelteilen selbst herzustellen. Dies sollte womöglich bei weiteren Versuchen zu einem hydroponischen Beet genutzt werden, damit eine Pumpe mit einem kleineren Steigrohr verwendet werden kann, sodass erstens der Wassertank kleiner ausfallen kann und zweitens die Pumpe mehr Wasser fördert.

### 8.2.2 Wassertank

Durch die unerwartete Undichtigkeit des Wassertanks sollte in der Zukunft darauf geachtet werden, dass dieser gegen Leckagen abgesichert wird. Hierzu könnte eine Auffangwanne benutzt werden, in der die Regentonne steht. Auch könnte das Material des Wassertanks anders gewählt werden. In dieser Thesis bestand die Regentonne aus Plastik. Womöglich entstand ein Mikroriss aufgrund von einer Materialermüdung. Ein Wassertank aus beispielsweise Aluminium könnte hier eine größere Sicherheit darstellen.

Zusätzlich zu diesen Sicherheitsmaßnahmen sollten die Materialien vor der Benutzung geprüft werden. Die Regentonne hätte im Badezimmer neben dem Ablauf gefüllt werden können. Hier wäre das Wasser bei einer Undichtigkeit ohne Probleme einfach wieder abgelaufen und die Regentonne wäre direkt ausgesondert worden.



### **8.2.3 Spannungsregler des Arduinos**

Des Weiteren könnte der Arduino geschützt werden, indem ein zusätzlicher Schalter in den elektrischen Kreislauf eingebaut werden würde. Dieser könnte die Spannungsversorgung vom Arduino zwischen dem USB-Port und dem Netzteil wechseln. Somit besteht nicht die Gefahr, beide Spannungsversorgungen gleichzeitig an den Arduino zu schalten und diesen somit zu beschädigen.

### **8.2.4 Tageslichtlampen**

Zur Optimierung des Systems könnten noch Tageslichtlampen benutzt werden. Diese könnten, wie bereits die beiden Pumpen, über einen Timer gesteuert werden. Somit kann die Lichtzufuhr den Pflanzen angepasst werden, gerade da die Lichtverhältnisse im Studienraum im 13ten Stock der HAW nicht optimal für die Pflanzen sind.

### **8.2.5 Inselsystem**

Wie bereits in einer weiteren Bachelorarbeit getestet, könnte das System als ein Insel-system betrieben werden. Dies hat den Vorteil, dass das Beet in sehr armen Gebieten, in denen der Zugang zum Strom kaum vorhanden ist, benutzt werden kann. Ein Nachteil hierbei sind die erhöhten Kosten aufgrund des Solarmoduls und des Laderegler. Zeitgleich wird das System komplexer und ist für die Reparatur durch einen Laien nicht mehr gegeben.

# Literaturverzeichnis

- [1] ARDUINO: Arduino Nano. In: <https://docs.arduino.cc/hardware/nano> (2022)
- [2] ARDUINO: Digital Pins. In: <https://docs.arduino.cc/learn/microcontrollers/digital-pins> (2023)
- [3] BUNDESAMT, Statistisches: Weltbevölkerung 2023: Mehr als acht Milliarden Menschen auf der Erde. In: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Laender-Regionen/Internationales/Thema/bevoelkerung-arbeit-soziales/bevoelkerung/Weltbevoelkerung.html> (2023)
- [4] DFROBOT: SEN0161 PH meter. In: [https://wiki.dfrobot.com/PH\\_meter\\_SKU\\_\\_SEN0161\\_](https://wiki.dfrobot.com/PH_meter_SKU__SEN0161_)
- [5] DFROBOT: SEN0244 Gravity Analog TDS Sensor Meter For Arduino. In: [https://wiki.dfrobot.com/Gravity\\_\\_Analog\\_TDS\\_Sensor\\_\\_Meter\\_For\\_Arduino\\_SKU\\_\\_SEN0244](https://wiki.dfrobot.com/Gravity__Analog_TDS_Sensor__Meter_For_Arduino_SKU__SEN0244)
- [6] GARDENING, Urban: Verschiedene Hydroponik-Systeme. In: <https://www.hydroponik-urban-gardening.de/rubriken/various-hydroponics-systems/?L=1> (2019)
- [7] GRIEGER, Christian: Pullup- und Pulldown-Widerstände. In: <https://elektro.turanis.de/html/prj035/index.html> (2018)
- [8] MIKROCONTROLLER.NET: I<sup>2</sup>C. In: <https://www.mikrocontroller.net/articles/I2C>
- [9] NATIONEN, Vereinte: Wasser für eine Nachhaltige Welt. In: <https://www.unesco.de/sites/default/files/2018-01/Wasserbericht2015.pdf> (2015)

- [10] NERD, Corner: Arduino Timer Interrupts – Arduino Register programmieren. In: <https://nerd-corner.com/de/arduino-timer-interrupts-arduino-register-programmieren/> (2021)
- [11] POLSFUSS, Lasse: Hydroponik: ph- und EC-Werte für Pflanzen. In: <https://pflanzenfabrik.de/ph-und-ec-werte-fuer-hydroponische-pflanzen/#sidr-main> (2022)
- [12] POLSFUSS, Lasse: HYdroponik Systeme. In: <https://pflanzenfabrik.de/systeme-der-hydroponik/> (2022)
- [13] RIVA: TDS Wert – Was sagt der TDS Wert wirklich aus? In: [https://riva-filter.de/tds-wert/#Ppm-Werte\\_Tabelle\\_fuer\\_Wasser](https://riva-filter.de/tds-wert/#Ppm-Werte_Tabelle_fuer_Wasser) (2022)
- [14] SCHEELE, Tatjana: Studienarbeit - Auslegung Luftheberpumpe. (2020)
- [15] TEXIER, W.: *William Texier /Hydroponik leicht gemacht. Alles über Pflanzenanbau im Haus.* Mama Publishing, 2018. – URL [https://www.google.de/books/edition/Hydroponik\\_leicht\\_gemacht/4rPaDwAAQBAJ?hl=de&gbpv=1&dq=hydroponik+leicht+gemacht&printsec=frontcover](https://www.google.de/books/edition/Hydroponik_leicht_gemacht/4rPaDwAAQBAJ?hl=de&gbpv=1&dq=hydroponik+leicht+gemacht&printsec=frontcover). – ISBN 2845941633
- [16] WEGNER, Jerome P.: Design und Implementierung eines einsatzfähigen und erweiterbaren Steuerungsmoduls zur Automatisierung von hydroponischen Systemen. In: *Bachelorthesis* (2021)
- [17] WELTHUNGERHILFE: Factsheet: Dürre in Ostafrika. In: <https://www.welthungerhilfe.de/aktuelles/publikation/detail/factsheet-duerre-in-ostafrika> (2023)

# A Anhang

ID	Anforderung	Erklärung der Anforderung	Ergebnis	Erläuterung
01	Funktionalität	Das Grundkonzept des Beetes muss funktionieren.	Zum Teil bestanden	Die Inbetriebnahme wurde aufgrund des undichten Wassertanks abgebrochen. Das Grundkonzept selbst hat funktioniert, jedoch konnten keine Pflanzen darin gezüchtet werden.
02	Dichtigkeit	Das Beet muss dicht sein, sodass kein Wasserverlust vorhanden ist. Die Wassereinsparung ist ein wesentlicher Punkt der Theses und ein Vorteil der Hydroponik.	Nicht bestanden	Wie in ID01 ist die Anforderung wegen des undichten Wassertanks gescheitert. Das restliche System wies keine Undichtigkeiten auf.
03	Flut	Die Wurzeln der Pflanzen müssen beim Fluten vollkommen in der Nährstofflösung hängen.	Bestanden	Beim Fluten des Pflanzenbehälters förderte die Pumpe genügend Wasser, sodass die Pflanzen und Netztöpfe im Wasser standen.
04	Ebbe	Während der Ebephase muss die Lösung soweit ablaufen, dass die Wurzeln frei hängen und genügend Sauerstoff erhalten.	Bestanden	Das Wasser wurde durch die zweite Pumpe abgepumpt, bis lediglich ein kleiner Rest aufgrund des erhöhten Ablaufs übrig blieb.
05	Variation und Wachstum der Pflanzen	Verschiedene Arten von Pflanzen sollen in dem Beet verwendet werden können. Diese sollen in dem Gemüsebeet wachsen.	Nicht getestet	Konnte wegen des Abbruchs der Inbetriebnahme nicht weiter getestet werden.
06	Günstig und einfach	Das ganze System soll relativ günstig reproduzierbar sein. Zusätzlich darf es nicht zu komplex sein, sodass Reparaturen einfach durchgeführt werden können.	Bestanden	Mit 130 Euro ist dies ein recht günstiges Projekt. Zusätzlich ist der Aufbau und die Programmierung einfach gehalten. Lediglich die Transistorschaltungen in der Elektronik sind etwas fortgeschrittener.

Tabelle A.1: Anforderungsanalyse grundlegender Aufbau

ID	Anforderung	Erklärung der Anforderung	Ergebnis	Erläuterung
07	Zyklen	Der Ebbe-Flut-Zyklus muss ordnungsgemäß funktionieren, da die Pflanzen sonst absterben können.	Bestanden	Sowohl in den Testphasen als auch in der Inbetriebnahme funktionierte das Zyklusintervall fehlerfrei.
08	pH-Wert	Der pH-Wert muss regelmäßig überprüft werden. Über ein optisches Signal wird ausgegeben, ob der pH-Wert im richtigen Bereich liegt, zu hoch oder zu niedrig ist.	Bestanden	Über das LCD-Modul wurde der pH-Wert regelmäßig ausgegeben. Anhand von Pufferlösungen wurde die Genauigkeit überprüft und bestätigt.
09	Leitwert	Der Leitwert der Nährstofflösung muss regelmäßig überprüft werden. Ein optisches Signal gibt aus, ob der Leitwert zu hoch oder zu niedrig ist.	Bestanden	Über das LCD-Modul wurde der Leitwert regelmäßig ausgegeben. In der Testphase hat sich gezeigt, dass dieser die richtigen Werte ausgibt.
10	Magnetventil	Die Ansteuerung des Magnetventils muss über eine ISR funktionieren. Zusätzlich muss der Durchsatz des Ventils groß genug sein, sodass das Wasser schnell wieder abläuft.	Teilweise bestanden	Statt des Magnetventils wurde eine Pumpe verwendet. Dies hat nichts an der Funktionalität des Beetes geändert. Die Ansteuerung über die ISR hat funktioniert und die Pumpe hat das Wasser schnell abgepumpt.
11	Luftheberpumpe	Die Ansteuerung der Luftheberpumpe muss über eine ISR funktionieren. Der Pflanzenbehälter sollte zügig gefüllt werden, sodass die Pumpe nicht für eine lange Zeit laufen muss.	Teilweise bestanden	Die Ansteuerung über die ISR hat funktioniert. Lediglich die Pumpleistung war geringer als erwartet, sodass eine längere Zeit für das Befüllen gebraucht wurde.

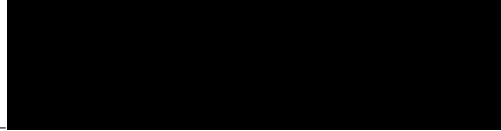
Tabelle A.2: Anforderungsanalyse Software

<b>ID</b>	<b>Anforderung</b>	<b>Erklärung der Anforderung</b>	<b>Ergebnis</b>	<b>Erläuterung</b>
12	Spannungsversorgung	Die Spannungsversorgung muss so ausgelegt sein, dass alle Sensoren, Aktoren und der Arduino versorgt werden. Ein zusätzlicher Puffer sollte vorhanden sein, um das System gegebenenfalls durch weitere Sensoren zu erweitern.	Bestanden	Das Netzteil wurde großzügig genug ausgelegt und die alle Komponenten wurden mit Spannung versorgt. Zusätzlich gibt es genügend Puffer um weitere Sensoren oder Aktoren zu versorgen.
13	Wasserdicht	Die Elektronik muss geschützt vom Wasser sein, falls Anforderung 02 nicht erfüllt wird oder Wasser anderweitig austritt.	Nicht getestet	Die Anforderung wurde nicht getestet. Dennoch ist die Elektronik durch den wasserdichten Kasten und die Sicherheitsbox doppelt vor einem Wasserschaden geschützt.

Tabelle A.3: Anforderungsanalyse Elektrik

## Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.



---

Ort

Datum

Unterschrift im Original